Perencanaan dan Pemodelan Transportasi

Beberapa masalah transportasi di sejumlah kota besar telah berada pada tahap kritis, antara lain masalah kemacetan, tundaan, serta polusi suara dan udara. Selain itu, permasalahan transportasi regional juga sudah membutuhkan perhatian serius.
Untuk menanggulanginya, perlu dipelajari dan dipahami pola keterkaitan antara berbagai faktor penyebabnya. Buku Perencanaan dan pemodelan transportasi ini menjelaskan pola keterkaitan tersebut, masalah yang dihadapi, serta konsep perencanaan dan pemodelan transportasi yang berkembang sampai saat ini.
Pemodelan yang dibahas dapat diterapkan pada moda transportasi darat, laut, dan udara dengan skala permasalahan yang berbeda-beda. Juga dijelaskan proses pemilihan model, pengembangan, adaptasi, dan penggunaannya untuk konteks yang berbeda.Setiap pokok bahasan diterangkan secara terinci, mulai dari teori dasar dan asumsi, pengumpulan data spesifikasi model, proses pemikiran, pengabsahan, kalibrasi, aplikasi, dan dilengkapi dengan contoh soal.
Isinya yang cukup lengkap membuat buku ini sangat berguna bagi para konsultan, perencanaan dan pengelola transportasi, pengembang wilayah, mahasiswa dan dosen yang menangani mata kuliah perencanaan dan pemodelan transportasi, serta masyarakat yang berkecimpung dalam bidang ini.

PENERBIT ITB
Jl. Ganesa 10 Bandung, Telp./Fax. (022) 2504257
e-mail: itbpress@bdg.centrin.net.id

ISBN 979-9299-10-1

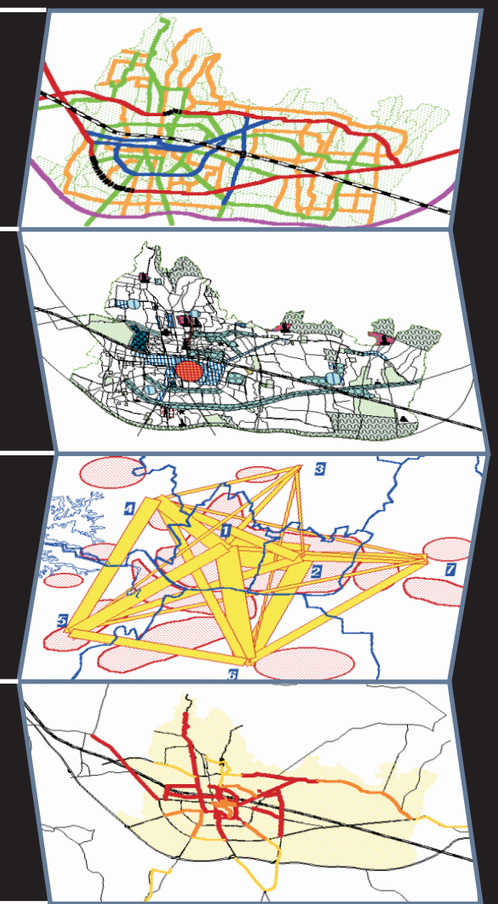
Ofyar Z. Tamin Perencanaan dan Pemodelan Transportasi EDISI KEDUA

Perencanaan & Pemodelan Transportasi

EDISI KEDUA

Ofyar Z. Tamin

Jurusan Teknik Sipil
Institut Teknologi Bandung



Penerbit ITB

Isi

Prakata Edisi 2 19a

Prakata Edisi 1 21a

1 Pendahuluan 1

1.1 Perencanaan dan pemodelan transportasi 1
1.1.1 Latar belakang 1
1.1.2 Model dan peranannya 3
1.2 Ciri permasalahan transportasi 5
1.2.1 Ciri kebutuhan akan transportasi 5
1.2.2 Ciri sistem prasarana transportasi 7
1.2.3 Keseimbangan antara sistem prasarana transportasi dan kebutuhan akan transportasi 7
1.3 Pemilihan pendekatan model 9
1.4 Faktor dalam pemodelan transportasi 11
1.4.1 Spesifikasi model 11
1.4.1.1 Struktur model 11
1.4.1.2 Bentuk fungsional 11
1.4.1.3 Spesifikasi peubah 11
1.4.2 Kalibrasi dan pengabsahan model 11
1.4.3 Beberapa definisi dalam pemodelan 12
1.5 Ciri dasar perencanaan transportasi 13
1.5.1 Pendahuluan 13
1.5.1.1 Multimoda 13
1.5.1.2 Multidisiplin 13
1.5.1.3 Multisektoral 14
1.5.1.4 Multimasalah 14
1.5.2 Ciri pergerakan tidak-spasial 15
1.5.2.1 Sebab terjadinya pergerakan 15
1.5.2.2 Waktu terjadinya pergerakan 15
1.5.2.3 Jenis sarana angkutan yang digunakan 17
1.5.3 Ciri pergerakan spasial 18
1.5.3.1 Pola perjalanan orang 19
1.5.3.2 Pola perjalanan barang 20
1.6 Campur tangan manusia pada sistem transportasi 20
1.7 Perencanaan transportasi sebagai bentuk campur tangan manusia 22
1.8 Pihak yang terlibat dalam perencanaan transportasi 23

KMKO Sipil Unhas
kmkosipil.blogspot.com

2 Pendekatan perencanaan transportasi 25
2.1 Umum 25
2.2 Pendekatan sistem untuk perencanaan transportasi 26
2.2.1 Pengertian sistem 26
2.2.2 Sistem transportasi makro 27
2.2.3 Sistem tata guna lahan–transportasi 30
2.3 Analisis interaksi sistem kegiatan dengan sistem jaringan 31
2.4 Aksesibilitas dan mobilitas 32
2.4.1 Apakah aksesibilitas dan mobilitas itu? 32
2.4.2 Hubungan transportasi 33
2.4.3 Aksesibilitas berdasarkan tujuan dan kelompok sosial 35
2.4.4 Aksesibilitas dalam model perkotaan 36
2.4.5 Pengukuran aksesibilitas di daerah perkotaan 36
2.4.5.1 Ukuran grafis aksesibilitas 36
2.4.5.2 Ukuran fisik aksesibilitas 36
2.4.5.3 Aksesibilitas perumahan sebagai fungsi tersedianya fasilitas transportasi 37
2.4.6 Aksesibilitas dan perilaku perjalanan 37
2.4.7 Contoh penggunaan aksesibilitas 37
2.4.8 Ringkasan 39
2.5 Konsep perencanaan transportasi 40
2.5.1 Bangkitan dan tarikan pergerakan 40
2.5.1.1 Umum 40
2.5.1.2 Jenis tata guna lahan 41
2.5.1.3 Intensitas aktivitas tata guna lahan 42
2.5.2 Sebaran pergerakan 42
2.5.2.1 Umum 42
2.5.2.2 Pemisahan ruang 43
2.5.2.3 Intensitas tata guna lahan 43
2.5.2.4 Pemisahan ruang dan intensitas tata guna lahan 43
2.5.3 Bangkitan dan sebaran pergerakan 44
2.5.4 Pemilihan moda transportasi dan rute 44
2.5.4.1 Pemilihan moda transportasi 44
2.5.4.2 Pemilihan rute 45
2.5.5 Arus lalulintas dinamis (arus pada jaringan jalan) 45
2.5.6 Tingkat pelayanan 46
2.5.6.1 Tingkat pelayanan (tergantung-arus) 46
2.5.6.2 Tingkat pelayanan (tergantung-fasilitas) 47
2.5.7 Hubungan arus lalulintas dengan waktu tempuh 48
2.5.8 Penentuan indeks tingkat pelayanan (ITP) 50
2.5.8.1 Pendekatan linear 50
2.5.8.2 Pendekatan tidak-linear 51
2.5.8.3 Pendekatan rata-rata 53
2.5.9 Penentuan nilai $\boldsymbol{T_0}$ 53
2.5.10 Ringkasan konsep dasar 57

2.6 Perhitungan kapasitas ruas jalan dan persimpangan 62
2.6.1 Perhitungan kapasitas ruas jalan 62
2.6.1.1 Kapasitas dasar C_0 62
2.6.1.2 Faktor koreksi kapasitas akibat pembagian arah (FC_{SP}) 62
2.6.1.3 Faktor koreksi kapasitas akibat lebar jalan (FC_W) 63
2.6.1.4 Faktor koreksi kapasitas akibat gangguan samping (FC_{SF}) 63
2.6.1.5 Faktor koreksi kapasitas akibat ukuran kota (FC_{CS}) 65
2.6.2 Pengaruh parkir pada kapasitas ruas jalan 67
2.6.3 Perhitungan kapasitas persimpangan 69
2.6.3.1 Persimpangan tidak berlampu lalulintas 69
2.6.3.2 Persimpangan berlampu lalulintas 69
2.7 Contoh sederhana model interaksi 70
2.7.1 Pendahuluan 70
2.7.1.1 Bangkitan pergerakan 71
2.7.1.2 Sebaran pergerakan 71
2.7.1.3 Pemilihan moda transportasi dan rute 72
2.7.2 Contoh penerapan sederhana 72
2.7.2.1 Cara analitis 73
2.7.2.2 Cara grafis 77

3 Konsep pemodelan 82
3.1 Pemodelan sistem 82
3.2 Model sistem kegiatan dan sistem jaringan 83
3.3 Penggunaan model sistem kegiatan–sistem jaringan 86
3.4 Pencerminan sistem kegiatan dan sistem jaringan 87
3.4.1 Daerah kajian 87
3.4.2 Zona 90
3.4.3 Ruas jalan 93
3.4.4 Konsep biaya gabungan 96
3.4.4.1 Biaya operasi kendaraan (BOK) 97
3.4.4.2 Nilai waktu 99
3.5 Galat dalam pemodelan dan peramalan 100
3.5.1 Galat pengukuran 101
3.5.2 Galat sampel 102
3.5.3 Galat perhitungan 102
3.5.4 Galat spesifikasi 102
3.5.5 Galat transfer 103
3.5.6 Galat pengelompokan 103
3.5.6.1 Pengelompokan data 103
3.5.6.2 Pengelompokan alternatif 104
3.5.6.3 Pengelompokan model 104
3.6 Kompleksitas model atau ketepatan data 104

3.7 Pengumpulan data 107
3.7.1 Pertimbangan praktis 107
3.7.2 Jenis survei 108
3.7.2.1 Sistem prasarana transportasi 108
3.7.2.2 Sistem tata guna lahan 109

4 Model bangkitan pergerakan 111
4.1 Pendahuluan 111
4.1.1 Definisi dasar 112
4.1.2 Klasifikasi pergerakan 114
4.1.2.1 Berdasarkan tujuan pergerakan 114
4.1.2.2 Berdasarkan waktu 114
4.1.2.3 Berdasarkan jenis orang 115
4.1.3 Faktor yang mempengaruhi 115
4.1.4 Model faktor pertumbuhan 116
4.2 Analisis regresi 117
4.2.1 Model analisis regresi-linear 117
4.2.1.1 Pendahuluan 117
4.2.1.2 Koefisien determinasi (R^2) 118
4.2.1.3 Regresi-linear-berganda 119
4.2.2 Model regresi berbasis zona 121
4.2.2.1 Model berbasis zona 121
4.2.2.2 Peranan intersep 121
4.2.2.3 Zona kosong 122
4.2.2.4 Total zona vs rata-rata zona 122
4.2.3 Contoh pemodelan 123
4.2.3.1 Bangkitan pergerakan 123
4.2.3.2 Tarikan pergerakan (untuk pergerakan berbasis rumah) 124
4.2.4 Tahapan uji statistik dalam model analisis-regresi berbasis zona 124
4.2.4.1 Uji kecukupan data 124
4.2.4.2 Uji korelasi 125
4.2.4.3 Uji linearitas 125
4.2.4.4 Uji kesesuaian 125
4.2.5 Proses model analisis-regresi berbasis zona 126
4.2.5.1 Metode analisis langkah-demi-langkah tipe 1 126
4.2.5.2 Metode analisis langkah-demi-langkah tipe 2 126
4.2.5.3 Metode coba-coba 127
4.2.5.4 Penerapan di Propinsi Jawa Barat 127
4.2.6 Kajian empiris yang menggunakan model analisis-regresi 130
4.2.6.1 Kajian lalulintas di kota Detroit 130
4.2.6.2 Kajian pengembangan jaringan jalan di Pulau Jawa 133
4.2.6.3 Kajian standarisasi bangkitan dan tarikan lalulintas di zona Bandung Raya 134

4.2.7 Model regresi berbasis rumah tangga 135
4.2.8 Masalah ketidaklinearan 139
4.2.9 Mendapatkan nilai zona keseluruhan 141
4.2.10 Mencocokkan hasil bangkitan pergerakan dengan tarikan pergerakan 142
4.3 Analisis klasifikasi silang atau analisis kategori 143
4.3.1 Model klasik 143
4.3.1.1 Pendahuluan 143
4.3.1.2 Definisi peubah dan spesifikasi model 143
4.3.1.3 Penerapan model pada tingkat agregat 145
4.3.1.4 Tahapan perhitungan 146
4.3.1.5 Contoh sederhana 148
4.3.1.6 Komentar tentang pendekatan analisis kategori 149
4.3.2 Perbaikan model dasar 149
4.3.2.1 Analisis klasifikasi ganda (*Multiple Classification Analysis*/*MCA*) 149
4.3.2.2 Analisis regresi untuk tingkat rumah tangga 150
4.3.3 Pendekatan kategori-orang 151
4.3.3.1 Pendahuluan 151
4.3.3.2 Definisi peubah dan spesifikasi model 151
4.4 Peramalan peubah dalam analisis bangkitan pergerakan 151

5 Model sebaran pergerakan 154
5.1 Pendahuluan 155
5.2 Kegunaan matriks pergerakan 155
5.3 Definisi dan notasi 157
5.4 Metode konvensional 161
5.4.1 Metode langsung 161
5.4.1.1 Wawancara di tepi jalan 161
5.4.1.2 Wawancara di rumah 162
5.4.1.3 Metode menggunakan bendera 162
5.4.1.4 Metode foto udara 163
5.4.1.5 Metode mengikuti-mobil 163
5.4.2 Metode tidak langsung 163
5.5 Metode analogi 164
5.5.1 Metode tanpa-batasan 165
5.5.2 Metode dengan-satu-batasan 166
5.5.2.1 Metode dengan-batasan-bangkitan 166
5.5.2.2 Metode dengan-batasan-tarikan 167
5.5.3 Metode dengan-dua-batasan 167
5.5.3.1 Metode rata-rata 168
5.5.3.2 Metode Fratar 169
5.5.3.3 Metode Detroit 170
5.5.3.4 Metode Furness 171
5.5.4 Keuntungan dan kerugian 173

5.6 Metode sintetis 175
5.7 Model *gravity* (GR) 176
5.7.1 Analogi 176
5.7.2 Fungsi hambatan 178
5.7.3 Sebaran panjang pergerakan 179
5.7.4 Jenis model *gravity* 180
5.7.4.1 Model UCGR 180
5.7.4.2 Model PCGR 182
5.7.4.3 Model ACGR 183
5.7.4.4 Model DCGR 184
5.7.5 Saat penggunaan model *gravity* 185
5.7.6 Kalibrasi model *gravity* 186
5.7.6.1 Metode sederhana 187
5.7.6.2 Metode Hyman 187
5.7.6.3 Metode analisis regresi-linear 188
5.7.6.4 Metode penaksiran kuadrat-terkecil (KT) 190
5.7.6.5 Metode penaksiran kemiripan-maksimum (KM) 191
5.7.6.6 Metode penaksiran inferensi-bayes (IB) 195
5.7.6.7 Metode penaksiran entropi-maksimum (EM) 201
5.7.6.8 Metode lain 203
5.7.6.9 Penggunaan data MAT parsial 204
5.7.6.10 Metode kalibrasi Newton–Raphson 205
5.7.6.11 Program komputer dan prosedur kalibrasi 206
5.7.7 Penurunan model *gravity* dengan pendekatan entropi-maksimum 207
5.7.8 Beberapa perilaku model *gravity* 209
5.8 Model *intervening-opportunity* (IO) 210
5.9 Model *gravity-opportunity* (GO) 212
5.9.1 Latar belakang 212
5.9.2 Definisi 215
5.9.2.1 MAT terurut 215
5.9.2.2 Normalisasi 215
5.9.2.3 Transformasi 216
5.9.3 Spesifikasi fungsi kesempatan 216
5.9.4 Struktur faktor proporsi 217
5.9.5 Aksioma IIA dan model GO 220
5.9.6 Model GO yang diusulkan 221
5.10 Beberapa permasalahan praktis 221
5.10.1 Penanganan zona eksternal 221
5.10.2 Pergerakan intrazona internal 222
5.10.3 Tujuan pergerakan 223
5.10.4 Matriks yang mempunyai banyak sel kosong 223
5.10.5 Bangkitan–tarikan dan asal–tujuan 224
5.10.6 Faktor ‘K’ 224
5.11 Ketelitian MAT yang dihasilkan oleh metode konvensional 225

6 Model pemilihan moda 227
6.1 Pendahuluan 227
6.2 Faktor yang mempengaruhi pemilihan moda 228
6.3 Model pemilihan moda ujung-perjalanan 230
6.4 Model pemilihan moda pertukaran-perjalanan 230
6.5 Model pemilihan moda dan kaitannya dengan model lain 231
6.5.1 Model jenis I 232
6.5.2 Model jenis II 232
6.5.3 Model jenis III 233
6.5.4 Model jenis IV 234
6.5.5 Beberapa komentar tentang model pemilihan moda 236
6.5.5.1 Biaya 236
6.5.5.2 Angkutan umum *captive* 236
6.5.5.3 Lebih dari dua moda 236
6.6 Model sintetis 238
6.6.1 Model kombinasi sebaran pergerakan–pemilihan moda 238
6.6.2 Model pemilihan multimoda 240
6.6.3 Model logit-biner 242
6.6.3.1 Metode penaksiran kemiripan-maksimum (KM) 243
6.6.3.2 Metode penaksiran regresi-linear 245
6.6.3.3 Model logit-biner-selisih 246
6.6.3.4 Model logit-biner-nisbah 247
6.6.4 Kalibrasi model pemilihan moda berhierarki 248
6.7 Model kebutuhan-langsung 250
6.7.1 Pendahuluan 250
6.7.2 Model abstrak dan model kebutuhan-langsung 250
6.7.3 Model simultan 253
6.8 Model pemilihan diskret 256
6.8.1 Pertimbangan umum 256
6.8.2 Kerangka teori 259
6.9 Model logit-multinomial (LM) 261
6.10 Contoh penggunaan model logit-biner 262
6.10.1 Model logit-biner-selisih 263
6.10.2 Model logit-biner-nisbah 265
6.10.3 Analisis uji kepekaan 267

7 Model pemilihan rute 270
7.1 Konsep dasar 270
7.1.1 Pendahuluan 270
7.1.2 Definisi dan notasi 274
7.1.3 Kurva kecepatan–arus dan biaya–arus 274
7.2 Metode pemilihan rute 281
7.2.1 Pendahuluan 281
7.2.2 Proses pemilihan rute 282

7.2.3 Pembentukan pohon 286
7.2.3.1 Inisialisasi 286
7.2.3.2 Prosedur 286
7.2.4 Alasan pemilihan rute 287
7.2.4.1 Pembebanan *all-or-nothing* 288
7.2.4.2 Pembebanan banyak-ruas 288
7.2.4.3 Pembebanan berpeluang 288
7.2.5 Faktor penentu utama 288
7.2.5.1 Waktu tempuh 288
7.2.5.2 Nilai waktu 288
7.2.5.3 Biaya perjalanan 288
7.2.5.4 Biaya operasi kendaraan 289
7.3 Model *all-or-nothing* 290
7.3.1 Umum 290
7.3.2 Algoritma 291
7.3.2.1 Pendekatan pasangan-demi-pasangan 291
7.3.2.2 Pendekatan sekaligus 291
7.4 Model stokastik 294
7.4.1 Model Burrell 294
7.4.2 Model Sakarovitch 296
7.4.3 Model stokastik-proporsional 296
7.4.4 Model perilaku-kebutuhan-akan-transportasi 300
7.5 Model batasan-kapasitas 302
7.5.1 Metode *all-or-nothing*-berulang 304
7.5.2 Metode pembebanan-bertahap 305
7.5.3 Metode pembebanan stokastik dengan batasan-kapasitas 310
7.5.4 Metode pembebanan-berulang 310
7.5.5 Metode pembebanan-kuantal 312
7.5.6 Metode pembebanan-banyak-rute 313
7.5.7 Metode pembebanan-berpeluang 313
7.6 Model keseimbangan 314
7.6.1 Pendekatan pemrograman-matematika 315
7.6.2 Algoritma Frank–Wolfe 320
7.6.2.1 Algoritma 320
7.6.2.2 Kriteria konvergensi 322
7.6.3 Pembebanan keseimbangan-sosial (KS) 323
7.6.4 Pembebanan keseimbangan-pengguna-stokastik (KPS) 324
7.7 Pembebanan keseimbangan lanjut 326
7.7.1 Batasan metode klasik 326
7.7.2 Metode interaksi persimpangan 329
7.7.3 Pengaruh tingkat resolusi sistem jaringan 330
7.7.3.1 Pendahuluan 330
7.7.3.2 Kebutuhan data 331
7.7.3.3 Tingkat resolusi 332
7.7.3.4 Prosedur analisis 333
7.7.3.5 Analisis jaringan 334
7.7.3.6 Hasil analisis 335

7.7.3.7 Kesimpulan 341
7.8 Keseimbangan sistem transportasi 342
7.8.1 Pendahuluan 342
7.8.2 Kombinasi pemilihan moda dengan pembebanan 343
7.8.3 Moda, tujuan, dan metode pemilihan rute pada kondisi keseimbangan 346
7.8.3.1 Kombinasi sebaran dan pembebanan 346
7.8.3.2 Kombinasi sebaran, pembebanan, dan pemilihan moda 346
7.8.3.3 Kombinasi bangkitan, sebaran, pembebanan, dan pemilihan moda 348
7.9 Model kurva diversi 349
7.9.1 Model JICA 352
7.9.1.1 Model I 352
7.9.1.2 Model II 352
7.9.2 Model logit-binomial dan regresi-pengali 353
7.9.2.1 Model logit-binomial 353
7.9.2.2 Model regresi-pengali 354
7.10 Masalah pembebanan-berlebih 355
7.10.1 Metode pembebanan keseimbangan-elastis 356
7.10.1.1 Prinsip dasar 356
7.10.1.2 Algoritma 356
7.10.1.3 Kriteria konvergensi 359
7.10.1.4 Fungsi permintaan pergerakan dan fungsi biaya 360
7.10.1.5 Contoh penerapan 362
7.10.2 Metode pemangkasan matriks pergerakan 363
7.10.2.1 Prosedur pemangkasan 363
7.10.2.2 Struktur metode pemangkasan matriks 365
7.10.2.3 Prosedur pemangkasan matriks pergerakan 366
7.10.2.4 Contoh penerapan 368

8 Model transportasi berdasarkan data arus lalulintas 369
8.1 Pendahuluan 369
8.2 Pemikiran dasar 371
8.3 Penelitian yang telah dilakukan 372
8.3.1 Pendekatan penaksiran model kebutuhan-akan-transportasi 372
8.3.1.1 Penaksiran model *gravity* 372
8.3.1.2 Penaksiran model kebutuhan-langsung 373
8.3.1.3 Penaksiran model *gravity-opportunity* (GO) 375
8.3.2 Pendekatan penaksiran keseimbangan-jaringan 376
8.3.3 Pendekatan penaksiran teori informasi 378
8.3.3.1 Model-estimasi-matriks-entropi-maksimum (EMEM) 378
8.3.3.2 Model minimum-informasi (MI) 385
8.3.3.3 Model Bayes 386

8.3.3.4 Model kemiripan-maksimum (KM) 387
8.3.3.5 Model MODCOST 389
8.4 Kesimpulan 390
8.5 Keuntungan penggunaan data arus lalulintas 390
8.6 Permasalahan dalam penggunaan data arus lalulintas 392
8.6.1 Masalah perhitungan arus lalulintas 392
8.6.1.1 Ketergantungan 393
8.6.1.2 Ketidakkonsistenan 393
8.6.2 Masalah kurang-terspesifikasi 393
8.7 Model transportasi berdasarkan data arus lalulintas 395
8.7.1 Prinsip dasar 395
8.7.2 Beberapa metode pembebanan rute 396
8.7.3 Konsep dasar 397
8.8 Penaksiran model kombinasi SPPM dengan data arus penumpang 398
8.8.1 Prinsip dasar 398
8.8.2 Model kombinasi sebaran pergerakan–pemilihan moda (SPPM) 399
8.8.2.1 Model *gravity* sebagai model transportasi 399
8.8.2.2 Model logit-multinomial (LM) sebagai model pemilihan moda 400
8.8.2.3 Persamaan dasar 400
8.9 Metode penaksiran 401
8.10 Metode penaksiran kuadrat-terkecil (KT) 402
8.10.1 Metode penaksiran kuadrat-terkecil-linear (KTL) 403
8.10.2 Metode penaksiran kuadrat-terkecil-tidak-linear (KTTL) 404
8.11 Metode penaksiran kemiripan-maksimum (KM) 405
8.11.1 Pendahuluan 405
8.11.2 Definisi 406
8.11.2.1 Kemiripan 406
8.11.2.2 Nisbah kemiripan 406
8.11.2.3 Dukungan 407
8.11.3 Aksioma kemungkinan 407
8.11.3.1 Hukum kemiripan 407
8.11.3.2 Prinsip kemiripan 407
8.11.3.3 Aksioma kemiripan 407
8.11.4 Tafsiran kemiripan 408
8.11.5 Kemiripan sampel multinomial 408
8.11.6 Kerangka metode penaksiran kemiripan-maksimum jenis I (KM1) 409
8.11.7 Kerangka metode penaksiran kemiripan-maksimum jenis II (KM2) 411
8.12 Metode penaksiran inferensi-bayes (IB) 413
8.12.1 Dasar pendekatan 413
8.12.2 Penerapan metode IB 414
8.13 Metode penaksiran entropi-maksimum (EM) 416

8.14 Penggunaan data MAT parsial 418
8.14.1 Pendahuluan 418
8.14.2 Solusi yang diusulkan 419
8.15 Pemecahan metode penaksiran 420
8.15.1 Pendahuluan 420
8.15.2 Beberapa metode kalibrasi 421
8.15.2.1 Perbandingan beberapa metode kalibrasi 421
8.15.2.2 Metode kalibrasi hibrid 421
8.15.3 Metode Newton–Raphson 422
8.15.3.1 Kasus satu-tujuan-perjalanan 422
8.15.3.2 Kasus K-tujuan-perjalanan 423
8.15.4 Teknik eliminasi matriks Gauss–Jordan 425
8.16 Program komputer dan prosedur kalibrasi 426
8.16.1 Pendahuluan 426
8.16.2 Paket program MOTORS 428
8.16.2.1 Representasi jaringan 428
8.16.2.2 Simpul dan ruas 428
8.16.2.3 Ruas jalan berbasis satu-arah 429
8.16.3 Program komputer 429
8.17 Indikator uji statistik untuk membandingkan MAT 432
8.17.1 Pendahuluan 432
8.17.2 *Root Mean Square Error* (RMSE) dan Standard Deviasi (SD) 432
8.17.3 *Mean Absolute Error* (MAE) 433
8.17.4 Koefisien Determinasi (R^2) 433
8.17.5 *Normalised Mean Absolute Error* (NMAE) 433
8.18 Beberapa penerapan yang telah dilakukan 434
8.18.1 Pemodelan pergerakan kendaraan perkotaan di kota Ripon (Inggris) 434
8.18.2 Pemodelan pergerakan angkutan barang di pulau Bali 439
8.18.2.1 Beberapa uji kepekaan dan keabsahan 439
8.18.2.2 Kesimpulan 441
8.18.3 Uji kedalaman tingkat resolusi sistem zona dan jaringan terhadap akurasi MAT 442
8.18.3.1 Penomoran titik simpul, kodefikasi zona dan penghubung pusat zona 442
8.18.3.2 Pengolahan data 444
8.18.3.3 Hasil analisis 450
8.18.3.4 Kesimpulan 459
8.18.4 Pemodelan kebutuhan akan angkutan umum di Jakarta 460
8.18.5 Pemodelan transportasi regional di propinsi Jawa Timur 463
8.18.5.1 Umum 463
8.18.5.2 Pendekatan model 464
8.18.5.3 Analisis kebutuhan akan pergerakan 467
8.18.5.4 Penerapan di Propinsi Jawa Timur 468

8.18.6 Aplikasi lain 473
8.18.7 Saran untuk penelitian lanjutan 474
8.18.7.1 Nilai awal untuk metode Newton–Raphson 474
8.18.7.2 Pengembangan dengan metode pembebanan-keseimbangan 474
8.18.7.3 Memasukkan parameter ε dan μ dalam proses kalibrasi 475
8.18.7.4 Penelitian lanjutan dengan model transportasi lain 475
8.18.7.5 Simplifikasi algoritma untuk jaringan luas 476
8.19 Pemanfaatan data arus lalulintas (ATCS) untuk mendapatkan informasi MAT di daerah perkotaan 476
8.19.1 Latar belakang 476
8.19.2 Pengembangan sistem 477
8.20 Pemanfaatan data arus lalulintas (IRMS) untuk mendapatkan informasi MAT regional 480
8.20.1 Latar belakang 480
8.20.2 Pengembangan sistem informasi transportasi (SIT) 482
8.20.2.1 Konfigurasi dasar 482
8.20.2.2 Sistem transfer data (STD) 485
8.20.2.3 Pusat pengolahan data (PPD) 486
8.20.2.4 Pusat pengolahan keluaran (PPK) 487
8.20.2.5 Uji keabsahan 488
8.20.3 Potensi penggunaan dalam pengembangan sistem jaringan jalan 488

9 Permasalahan transportasi di negara sedang berkembang 490
9.1 Permasalahan transportasi perkotaan 490
9.2 Permasalahan transportasi regional 495
9.2.1 Pentingnya sistem transportasi regional propinsi 495
9.2.2 Rencana tata ruang wilayah nasional (RTRWN) 496
9.2.3 Rencana tata ruang wilayah propinsi (RTRWP) 497
9.2.4 Sistem transportasi nasional (Sistranas) 498
9.2.5 Sistem transportasi regional propinsi 499
9.3 Pendekatan sistem transportasi 500
9.3.1 Umum 500
9.3.2 Keterkaitan tata ruang dengan transportasi 503
9.4 Sistem integrasi transportasi antarmoda terpadu 504
9.4.1 Umum 504
9.4.2 Waktu tempuh dan biaya transit sebagai kendala utama 504
9.4.3 Tempat pertukaran moda 505
9.4.4 Peranan peti kemas dalam usaha menunjang perekonomian 506
9.5 Kebijaksanaan pengembangan sistem transportasi perkotaan 508
9.6 Aspek permasalahan 510
9.6.1 Kondisi sistem transportasi di perkotaan 511
9.6.2 Kebutuhan akan transportasi di perkotaan 513

9.6.3 Organisasi dan kelembagaan 514
9.6.4 Peraturan pelaksanaan 514
9.6.5 Undang-undang dan peraturan 515
9.6.6 Analisis permasalahan 515
9.6.6.1 Aspek organisasi 516
9.6.6.2 Peraturan pelaksanaan 516
9.6.6.3 Aspek transportasi 517
9.6.6.4 Undang-undang dan peraturan 518
9.7 Alternatif pemecahan masalah 518
9.7.1 Umum 518
9.7.2 Kebutuhan akan transportasi 520
9.7.3 Prasarana transportasi 520
9.7.3.1 Pembangunan jalan baru 520
9.7.3.2 Peningkatan kapasitas prasarana 521
9.7.4 Rekayasa dan manajemen lalulintas 523
9.7.4.1 Perbaikan sistem lampu lalulintas dan sistem jaringan jalan 523
9.7.4.2 Kebijakan perparkiran 523
9.7.4.3 Prioritas angkutan umum 525
9.7.5 Permasalahan 526
9.7.6 Hal lain yang dapat dilakukan 527
9.7.6.1 Pelatihan transportasi perkotaan bagi staf pemerintah daerah 527
9.7.6.2 Analisis Dampak Lalulintas (Andall) 527
9.7.6.3 Sosialisasi peraturan dan penegakan hukum 528
9.8 Konsep manajemen kebutuhan akan transportasi (MKT) 528
9.8.1 Pendahuluan 528
9.8.2 Pengembangan konsep 529
9.8.2.1 Pergeseran waktu 531
9.8.2.2 Pergeseran rute atau lokasi 531
9.8.2.3 Pergeseran moda 531
9.8.2.4 Pergeseran lokasi tujuan 533
9.9 Analisis dampak lalulintas (Andall) 533
9.9.1 Pendahuluan 533
9.9.2 Metode analisis dampak lalulintas 534
9.9.2.1 Tahap penyajian informasi awal 534
9.9.2.2 Tahapan andall 536
9.9.2.3 Tahapan penyusunan rencana pengelolaan dan pemantauan 539
9.9.3 Analisis ruas jalan dan persimpangan 540
9.9.3.1 Kinerja lalulintas di ruas jalan dan persimpangan 540
9.9.3.2 Kinerja ruas jalan 540
9.9.3.3 Kondisi persimpangan 543
9.9.3.4 Nilai bobot 545
9.9.3.5 Pemeringkatan permasalahan 545
9.9.4 Bangkitan lalulintas 546

9.9.4.1 Umum 546
9.9.4.2 Tingkat bangkitan lalulintas 547
9.9.4.3 Bangkitan lalulintas 548
9.9.4.4 Sebaran bangkitan lalulintas 548
9.9.5 Analisis penanganan masalah 548
9.9.5.1 R1: Manajemen lalulintas 549
9.9.5.2 R2: Peningkatan ruas jalan 549
9.9.5.3 R3: Pembangunan jalan baru 549
9.10 Sistem angkutan umum massa (SAUM) 550
9.10.1 Permasalahan 550
9.10.2 Kendala yang dihadapi 553
9.11 Sistem angkutan umum transportasi perkotaan terpadu (SAUTPT) 554
9.11.1 Kasus DKI-Jakarta 554
9.11.2 Kasus Kotamadya Bandung 555
9.12 Kesimpulan dan saran 555
9.12.1 Kesimpulan 556
9.12.2 Saran 558

Notasi dan singkatan 559
Notasi 559
Singkatan 562

Padanan kata Inggris–Indonesia 567

Padanan kata Indonesia–Inggris 576

Pustaka 585

Penjurus 615

Prakata edisi 2

Dengan mengucapkan puji syukur ke hadirat Allah SWT, atas rahmat dan berkah-Nya, akhirnya buku Perencanaan dan Pemodelan Transportasi edisi ke-2 ini dapat diselesaikan. Buku ini merupakan penyempurnaan dari buku edisi ke-1 yang telah diterbitkan pada tahun 1997. Banyak sekali hal yang ditambahkan pada edisi ini khususnya mengenai penurunan rumus secara lebih rinci, contoh penerapan, contoh soal, pengembangan konsep dan teknik mutakhir, serta hasil-hasil penelitian terbaru yang telah dilakukan oleh penulis dan rekan-rekan peneliti di Sub-Jurusan Rekayasa Transportasi, Jurusan Teknik Sipil, ITB, selama 2 tahun terakhir ini; yang secara keseluruhan membuat buku ini menjadi jauh lebih lengkap dan lebih sempurna dibandingkan dengan edisi sebelumnya.

Buku ini juga berisikan koreksi atas kesalahan khususnya editorial yang ditemukan pada edisi ke-1 dan juga berisikan penyempurnaan sebagai jawaban atas komentar, saran, dan kritik atas buku edisi ke-1 yang diterima dari teman sejawat dan para ahli.

Bab 2 pada buku edisi ke-1, mengenai Persyaratan Matematika, terpaksa kami hilangkan pada edisi ke-2 ini dengan alasan karena isi bab tersebut merupakan pengetahuan dasar matematika yang secara umum harus sudah diketahui oleh setiap pembaca, dan sekaligus juga untuk mengurangi halaman buku edisi ke-2 ini. Sehingga, bab 3 pada edisi ke-1 menjadi bab 2 pada edisi ke-2, dan seterusnya. Bab 8 dan 9 buku edisi ke-1 digabung menjadi bab 7 pada edisi ke-2, sehingga jumlah bab pada edisi ke-1 yang semulanya sebanyak 11 bab menjadi hanya 9 bab pada edisi ke-2.

Pada buku edisi ke-2 ini, beberapa hal yang ditambahkan adalah sebagai berikut:

- Bab 2.5: Tingkat Pelayanan, Hubungan Arus Lalulintas dengan Waktu Tempuh, Penentuan Indeks Tingkat Pelayanan (ITP), dan Penentuan Nilai $\boldsymbol{T_0}$.
- Bab 2.6: Perhitungan Kapasitas Ruas Jalan dan Persimpangan, Pengaruh Parkir pada Kapasitas Ruas Jalan, dan Contoh Sederhana Model Interaksi (Cara Analitis dan Cara Grafis).
- Bab 3: Konsep Biaya Gabungan dan Metoda Pengumpulan Data
- Bab 4: Tahapan Uji Statistik Dalam Model Analisis-Regresi Berbasis Zona, Proses Model Analisis-Regresi Berbasis Zona, dan Kajian Empiris Yang Menggunakan Model Analisis-Regresi.
- Bab 5: Metode Penaksiran Entropi-Maksimum (EM) dan Beberapa Permasalahan Praktis.
- Bab 6: Metode Penaksiran Kemiripan-Maksimum (KM) dan Regresi-Linear, model Logit-Biner-Selisih dan Logit-Biner-Nisbah, Model Simultan, serta Contoh Penggunaan Model Logit-Biner termasuk analisis uji kepekaan.

- Bab 7: Pengaruh tingkat resolusi sistem jaringan terhadap pembebanan, metode pembebanan-kuantal dan masalah Pembebanan Berlebih yang terdiri dari Metode Pembebanan Keseimbangan-Elastis dan Metode Pemangkasan Matriks Pergerakan.
- Bab 8: Metode Penaksiran Inferensi-Bayes (IB), Metode Penaksiran Entropi-Maksimum (EM), Indikator Uji Statistik untuk membandingkan Matriks Asal–Tujuan (MAT), penerapan model di Propinsi Jawa Timur, uji kedalaman tingkat resolusi sistem zona dan jaringan terhadap akurasi MAT, pemanfaatan data arus lalulintas (ATCS) untuk mendapatkan informasi MAT di daerah perkotaan, dan pemanfaatan data arus lalulintas (IRMS) untuk mendapatkan informasi MAT regional.
- Bab 9: Permasalahan transportasi perkotaan dan transportasi regional, Sistem Integrasi Transportasi Antarmoda Terpadu, Kebijaksanaan pengembangan sistem transportasi perkotaan, Konsep Manajemen Kebutuhan akan Transportasi (MKT), dan Analisis Dampak Lalulintas (Andall).

Sekali lagi, buku edisi ke-2 ini tidak akan pernah terwujud jika tidak ada dorongan penuh dari seluruh keluarga khususnya Mami, Ekha dan Yozzi. Sekali lagi, penulis mempersembahkan buku ini buat mereka.

Secara khusus, penulis juga mengucapkan terima kasih yang setulus-tulusnya kepada Dra. Sofia Niksolihin atas bantuannya menyunting buku edisi ke-2 ini dan kepada saudara Ir. Wiradat Anindito, Ir. Ricky Kusmawan, dan Suhendin, Dadi Sumardi yang telah membantu membuat gambar, tabel, dan grafik. Tulisan manusia tidak akan pernah luput dari kesalahan dan kekurangan. Untuk itu, penulis sangat mengharapkan komentar, kritik, dan saran yang membangun dari teman sejawat dan para ahli untuk sekali lagi menyempurnakan buku edisi ke-2 ini.

Prakata edisi 1

Permasalahan transportasi berupa kemacetan, tundaan, serta polusi suara dan udara yang sering kita temui setiap hari di beberapa kota besar di Indonesia ada yang sudah berada pada tahap yang sangat kritis. Sebelum dapat ditentukan cara pemecahan yang terbaik, hal pertama yang perlu dilakukan adalah mempelajari dan mengerti secara terinci pola keterkaitan antarfaktor yang menyebabkan timbulnya permasalahan tersebut dalam bentuk kualitatif dan kuantitatif (terukur). Perencanaan dan pemodelan transportasi adalah media yang paling efektif dan efisien yang dapat menggabungkan semua faktor tersebut dan keluarannya dapat digunakan untuk memecahkan permasalahan transportasi baik pada masa sekarang maupun pada masa yang akan datang.

Ilmu pengetahuan tentang perencanaan dan pemodelan transportasi makin dirasakan pentingnya dalam menangani permasalahan transportasi, khususnya di daerah perkotaan. Keberadaan buku yang membahas transportasi pada umumnya serta perencanaan dan pemodelan transportasi pada khususnya sangat jarang dijumpai di Indonesia. Di samping itu, adanya mata kuliah Perencanaan dan Pemodelan Transportasi sebagai mata kuliah wajib dalam kurikulum Program Sarjana (S1) di Jurusan Teknik Sipil dan Teknik Planologi dan juga di Program Magister (S2) yang berkaitan dengan bidang transportasi di semua perguruan tinggi (negeri dan swasta) di Indonesia, telah mendorong penulis untuk menyusun buku ini dengan harapan dapat mengisi kekurangan buku yang ada. Selain itu, buku ini dapat juga digunakan sebagai buku ajar bagi para mahasiswa atau sebagai bahan rujukan bagi para peneliti muda, perencana transportasi, pengembang wilayah, dan lain-lain.

Buku ini menjelaskan secara terinci pola keterkaitan antarfaktor, permasalahan yang dihadapi, serta konsep tentang perencanaan dan pemodelan transportasi yang telah berkembang sampai dengan saat ini. Pemodelan dan pendekatan yang dipakai dapat digunakan untuk setiap moda transportasi (darat, laut, maupun udara) dengan skala permasalahan yang berbeda (regional atau perkotaan). Juga, diterangkan cara pemilihan model, pengembangan, adaptasi, dan penggunaannya untuk setiap konteks yang berbeda. Setiap subjek diterangkan secara terinci, mulai dari teori dasar dan asumsi, pengumpulan data, spesifikasi model, proses perkiraan, pengabsahan, kalibrasi, dan aplikasinya. Beberapa teknik juga dijelaskan untuk memilih tingkat kecermatan analisis yang disyaratkan sesuai dengan kebutuhan serta keuntungan dan kerugian dari setiap model yang dikembangkan.

Secara keseluruhan, buku ini mencakup sebagian besar disertasi penulis sewaktu mengambil program doktor, kumpulan tulisan dan hasil pemikiran terdahulu, termasuk hasil-hasil penelitian dan modul pelatihan yang telah dilakukan penulis beserta beberapa peneliti lainnya di Sub-Jurusan Rekayasa Transportasi, Jurusan Teknik Sipil, ITB. Oleh karena itu, tidak mengherankan jika banyak bagian buku ini yang berisikan tulisan Batty, Bell, Edwards, Robillard, Ortuzar, Spiess, Van Vliet,

Willumsen, Wardrop, Wilson, serta penulis lain yang namanya tidak dapat disebutkan satu per satu.

Isinya yang cukup lengkap membuat buku ini sangat berguna bagi para praktisi (konsultan, pengelola transportasi), para perencana transportasi dan pengembang wilayah (regional dan perkotaan), para mahasiswa tingkat Sarjana (S1) maupun Magister (S2) di Jurusan Teknik Sipil, Teknik Planologi, dan Teknik Industri yang mengambil mata kuliah Perencanaan dan Pemodelan Transportasi, serta masyarakat yang berkecimpung dalam bidang transportasi.

Buku ini tidak akan pernah terwujud jika tidak ada dorongan dari seluruh keluarga khususnya Mami, Ekha dan Yozzi. Untuk itu, penulis mempersembahkan buku ini untuk mereka semua. Selain itu, teman sejawat juga sangat berperan dalam proses penulisan buku ini. Kepada mereka, penulis mengucapkan banyak terima kasih. Secara khusus, penulis mengucapkan terima kasih kepada Dra. Sofia Niksolihin atas bantuannya menyunting naskah awal buku ini dan kepada saudara Ir. Wiradat Anindito, Ir. Ricky Kusmawan, dan Suhendin, Dadi Sumardi yang telah banyak membantu membuat gambar, tabel, dan grafik. Sudah barang tentu, tulisan manusia tidak pernah luput dari kesalahan dan kekurangan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari teman sejawat dan para ahli untuk menyempurnakan buku ini.

1 Pendahuluan

1.1 Perencanaan dan pemodelan transportasi

1.1.1 Latar belakang

Permasalahan transportasi dan teknik perencanaannya mengalami revolusi yang pesat sejak tahun 1980-an. Pada saat ini kita masih merasakan banyak permasalahan transportasi yang sebenarnya sudah terjadi sejak tahun 1960-an dan 1970-an, misalnya kemacetan, polusi suara dan udara, kecelakaan, dan tundaan. Permasalahan transportasi yang sudah ada sejak dulu bisa saja masih dijumpai pada masa sekarang, tetapi dengan tingkat kualitas yang jauh lebih parah dan kuantitas yang jauh lebih besar; mungkin saja mempunyai bentuk lain yang jauh lebih kompleks karena semakin banyaknya pihak yang terkait sehingga lebih sukar diatasi.

Pada akhir tahun 1980-an, negara maju memasuki tahapan yang jauh lebih maju dibandingkan dengan 20 tahun yang lalu di sektor perencanaan dan pemodelan transportasi. Hal ini disebabkan antara lain oleh pesatnya perkembangan pengetahuan mengenai elektronika dan peralatan komputer yang memungkinkan berkembangnya beberapa konsep baru mengenai sistem prasarana transportasi, sistem pergerakan, dan peramalan kebutuhan akan transportasi yang tidak pernah terpikirkan pada masa lalu.

Tersedianya peralatan komputer yang murah dan berkecepatan tinggi telah mengakibatkan hilangnya anggapan bahwa teknik komputasi selalu membatasi perkembangan teknik perencanaan dan pemodelan transportasi. Selain itu, dapat dikatakan di sini bahwa proses perencanaan merupakan bagian dari proses pengambilan keputusan atau kebijakan. Dengan kata lain, para pengambil keputusan atau kebijakan akan menggunakan hasil dari perencanaan sebagai alat bantu dalam mengambil keputusan.

Banyak negara sedang berkembang menghadapi permasalahan transportasi dan beberapa di antaranya sudah berada dalam tahap sangat kritis. Permasalahan yang terjadi bukan saja disebabkan oleh terbatasnya sistem prasarana transportasi yang ada, tetapi sudah ditambah lagi dengan permasalahan lainnya. Pendapatan rendah, urbanisasi yang sangat cepat, terbatasnya sumber daya, khususnya dana, kualitas dan kuantitas data yang berkaitan dengan transportasi, kualitas sumber daya manusia, tingkat disiplin yang rendah, dan lemahnya sistem perencanaan dan kontrol membuat permasalahan transportasi menjadi semakin parah.

Di Indonesia, permasalahan transportasi sudah sedemikian parahnya, khususnya di beberapa kota besar seperti DKI-Jakarta, Surabaya, Medan, dan Bandung. Kota yang berpenduduk lebih dari 1–2 juta jiwa dapat dipastikan mempunyai permasalahan transportasi. Pada akhir tahun 2000, diperkirakan hampir semua ibukota propinsi dan beberapa ibukota kabupaten akan berpenduduk di atas 1–2 juta

jiwa sehingga permasalahan transportasi tidak bisa dihindarkan. Hal ini merupakan lampu merah bagi para pembina daerah perkotaan di Indonesia karena mereka akan dihadapkan pada permasalahan baru yang memerlukan pemecahan yang baru pula, yaitu permasalahan transportasi perkotaan.

Kota kecil juga mempunyai permasalahan transportasi yang perlu pemecahan secara dini pula, namun pada umumnya masih dalam skala kecil dan pemecahannya tidak memerlukan biaya besar dan waktu lama. Dengan demikian, peranan perencanaan dan pemodelan transportasi dalam merencanakan pembangunan sistem prasarana transportasi, pengembangan wilayah, dan lain-lainnya menjadi semakin terlihat nyata.

Pada beberapa negara sedang berkembang, khususnya Indonesia, sektor pertanian konvensional secara perlahan terlihat semakin kurang menarik dan tidak lagi diminati, terutama oleh generasi muda. Di sisi lain, perkotaan menawarkan begitu banyak kesempatan, baik di sektor formal maupun informal. Tambahan lagi, pertumbuhan wilayah di daerah pedalaman lebih lambat dibandingkan dengan di daerah perkotaan. Hal ini menyebabkan tersedia lebih banyak lapangan kerja serta upah dan gaji yang jauh lebih tinggi di daerah perkotaan dibandingkan dengan di daerah pedalaman.

Semua hal ini merupakan daya tarik yang sangat kuat bagi para petani di daerah pedalaman untuk berurbanisasi ke daerah perkotaan. Di mana ada **gula**, pasti akan banyak **semut** yang datang menghampiri. Hal ini mendukung pernyataan yang mengatakan bahwa proses urbanisasi yang sangat cepat telah terjadi beberapa tahun belakangan ini pada beberapa kota besar di Indonesia, khususnya DKI-Jakarta.

Namun, sebesar apa pun kota tersebut dengan segala kelengkapannya, pasti mempunyai keterbatasan berupa batas daya dukung lahan. Jika batas tersebut sudah terlampaui, akan terjadi dampak yang sangat merugikan. Dalam konteks kota di Indonesia, fenomena kota bermasalah sudah mulai terlihat, yang diperkirakan akan terus berkembang menjadi persoalan yang semakin rumit seiring dengan semakin tingginya laju urbanisasi. Hal ini sulit dihindari karena daerah perkotaan sudah terlanjur dianggap sebagai penyedia berbagai macam lapangan pekerjaan.

Tingginya urbanisasi secara tidak langsung dapat dikatakan sebagai akibat dari tidak meratanya pertumbuhan wilayah di Indonesia; antara daerah pedalaman dengan daerah perkotaan. Semakin besar perbedaan tingkat pertumbuhan wilayah tersebut, semakin tinggi pula tingkat urbanisasi yang pada gilirannya akan menimbulkan beberapa permasalahan perkotaan, khususnya di sektor transportasi. Tambahan lagi, proses urbanisasi dan industrialisasi selalu terjadi secara hampir bersamaan, terutama di negara yang beralih dari negara pertanian ke negara industri. Indonesia, pada saat ini, tergolong negara yang sedang bergerak menuju negara **semi industri**.

Beberapa data kota besar di dunia menyatakan bahwa semakin tinggi intensitas industri di daerah tersebut, semakin tinggi pula tingkat urbanisasinya. Hal ini mungkin karena, berdasarkan **Teori Lokasi**, lokasi industri yang sangat efektif dan efisien berada di dekat pasar, yaitu daerah perkotaan. Industri tersebut memberikan lapangan pekerjaan yang cukup tinggi dan dengan sistem penggajian yang jauh

lebih baik dibandingkan dengan daerah pedalaman. Hal ini yang menyebabkan tingkat urbanisasi yang cukup tinggi.

Laju urbanisasi yang semakin pesat ini tentu menimbulkan sejumlah permasalahan; salah satu di antaranya masalah transportasi. Dapat dikatakan permasalahan transportasi perkotaan masa mendatang sudah berada di depan mata. Selain urbanisasi, beberapa kecenderungan lain yang perlu dicermati, yang akan sangat mempengaruhi transportasi perkotaan, adalah sebagai berikut:

- **semakin jauh rata-rata pergerakan manusia setiap hari**: semakin mahalnya harga tanah di pusat perkotaan menyebabkan lahan permukiman semakin bergeser ke pinggiran kota, sedangkan tempat pekerjaan cenderung semakin terpusat di pusat perkotaan. Hal ini menyebabkan seseorang akan bergerak lebih jauh dan lebih lama untuk mencapai tempat kerja. Semakin jauh dan semakin lama seseorang membebani jaringan jalan, semakin tinggi pula kontribusinya terhadap kemacetan.
- **semakin banyak wanita yang bekerja**: tidak dapat disangkal lagi, kebutuhan keluarga pada masa sekarang tidak hanya bisa ditunjang oleh penghasilan suami saja. Perlu ada tambahan lain, dan ini menyebabkan istri juga harus bekerja, yang berakibat sehingga menyebabkan semakin banyaknya pergerakan yang dilakukan oleh keluarga.
- **semakin banyak pelajar dan mahasiswa**: kecenderungan persaingan yang semakin ketat di masa mendatang menyebabkan pendidikan berkelanjutan seperti kursus, pelatihan, pendidikan bergelar paruh waktu menjadi suatu keharusan bagi seseorang yang telah bekerja. Kecenderungan ini menyebabkan terjadi pergerakan tambahan ke pusat kota, tempat biasanya pusat pendidikan tersebut berlokasi.
- **semakin banyak wisatawan**: tingginya tekanan yang dirasakan oleh setiap orang yang tinggal di daerah perkotaan menyebabkan rekreasi menjadi suatu kebutuhan utama. Sudah barang tentu hal ini pun menyebabkan semakin banyaknya pergerakan.

Untuk mengatasi semakin meningkatnya pergerakan ini, beberapa perkembangan penting dalam perencanaan dan pemodelan transportasi terjadi pada pertengahan tahun 1970-an, khususnya pada beberapa pusat penelitian dan pengembangan. Perkembangan penting tersebut lebih ditingkatkan serta diimplementasikan oleh para konsultan dan kontraktor. Akan tetapi, banyak penemuan baru itu tidak mendapat perhatian yang baik dari pihak luar, padahal belakangan terbukti bahwa perencanaan dan pemodelan transportasi sangat berperan dalam memecahkan berbagai permasalahan transportasi.

1.1.2 Model dan peranannya

Model dapat didefinisikan sebagai bentuk penyederhanaan suatu realita (atau dunia yang sebenarnya); termasuk di antaranya:

- model fisik (model arsitek, model teknik sipil, wayang golek, dan lain-lain);
- peta dan diagram (grafis);
- model statistika dan matematika (persamaan) yang menerangkan beberapa aspek fisik, sosial-ekonomi, dan model transportasi.

Semua model tersebut merupakan cerminan dan penyederhanaan realita untuk tujuan tertentu, seperti memberikan penjelasan, pengertian, serta peramalan. Beberapa model dapat mencerminkan realita secara tepat. Sebagai ilustrasi, model maket (bagian dari model fisik) sering digunakan dalam ilmu arsitektur untuk mempelajari dan menganalisis dampak pembangunan suatu kota baru ataupun pengembangan wilayah terhadap lingkungan sekitarnya dengan menggunakan model berskala lebih kecil. Dalam ilmu teknik sipil, model maket (misalnya berskala 1:100) sering juga digunakan untuk mempelajari perilaku bendungan atau jembatan sebelum bangunan sipil tersebut dibangun dengan ukuran yang sebenarnya.

Begitu juga dalam bidang pariwisata; sering kita temui penjualan model miniatur pariwisata (misalnya candi Borobudur) yang sebenarnya merupakan replika candi tersebut dalam skala lebih kecil. Dengan melihat model miniatur itu, seseorang tidak perlu mengeluarkan biaya besar pergi ke Yogyakarta untuk melihat candi tersebut (realita), tetapi dapat membayangkannya dengan hanya melihat model tersebut.

Selain itu, dengan hanya menggunakan media informasi garis dan angka dalam suatu peta kontur, seseorang (ahi geodesi) dapat langsung membayangkan perkiraan situasi dan kondisi lapangan sebenarnya (realita) tanpa harus pergi ke lapangan, cukup dengan hanya melihat peta kontur tersebut. Foto, sketsa, atau peta dapat dikategorikan sebagai model karena dapat merepresentasikan realita dengan cara yang lebih sederhana.

Secara umum dapat dikatakan bahwa semakin mirip suatu model dengan realitanya, semakin sulit model tersebut dibuat (misalnya, wayang golek lebih mirip manusia dibandingkan dengan wayang kulit sehingga wayang golek lebih sulit dibuat dibandingkan dengan wayang kulit). Model yang canggih belum tentu merupakan model yang baik; kadang-kadang model yang jauh lebih sederhana ternyata lebih cocok untuk tujuan, situasi, dan kondisi tertentu.

Dalam perencanaan dan pemodelan transportasi, kita akan sangat sering menggunakan beberapa model utama, yaitu **model grafis** dan **model matematis**. Model grafis adalah model yang menggunakan gambar, warna, dan bentuk sebagai media penyampaian informasi mengenai keadaan sebenarnya (realita). Model grafis sangat diperlukan, khususnya untuk transportasi, karena kita perlu mengilustrasikan terjadinya pergerakan (arah dan besarnya) yang terjadi yang beroperasi secara spasial (ruang). Model matematis menggunakan persamaan atau fungsi matematika sebagai media dalam usaha mencerminkan realita.

Walaupun merupakan penyederhanaan, model tersebut bisa saja sangat kompleks dan membutuhkan data yang sangat banyak dan waktu penyelesaian yang sangat lama. Beberapa keuntungan dalam pemakaian model matematis dalam perencanaan

transportasi adalah bahwa sewaktu pembuatan formulasi, kalibrasi serta penggunaannya, para perencana dapat belajar banyak, melalui eksperimen, tentang perilaku dan mekanisme internal dari sistem yang sedang dianalisis.

Akan tetapi, pemodelan transportasi hanya merupakan salah satu unsur dalam perencanaan transportasi. Lembaga, departemen, pengambil keputusan, masyarakat, administrator, peraturan, dan penegakan hukum adalah beberapa unsur lainnya yang harus direncanakan dengan baik untuk mendapatkan sistem perencanaan transportasi yang baik. Perencanaan dan pemodelan transportasi serta pengambil keputusan dapat dikombinasikan dengan cara yang berbeda-beda; tergantung pada pengalaman lokal, tradisi, dan pengalaman. Sebelum kita mendiskusikan cara memilih model yang baik, sebaiknya diterangkan dahulu beberapa ciri utama permasalahan transportasi dan hal apa saja yang terkait di dalamnya.

1.2 Ciri permasalahan transportasi

Ruang lingkup permasalahan transportasi telah bertambah luas dan permasalahannya itu sendiri bertambah parah, baik di negara maju (industri) maupun di negara sedang berkembang. Terbatasnya bahan bakar secara temporer bukanlah permasalahan yang parah; akan tetapi, peningkatan arus lalulintas serta kebutuhan akan transportasi telah menghasilkan kemacetan, tundaan, kecelakaan, dan permasalahan lingkungan yang sudah berada di atas ambang batas.

Permasalahan ini tidak hanya terbatas pada jalan raya saja. Pertumbuhan ekonomi menyebabkan mobilitas seseorang meningkat sehingga kebutuhan pergerakannya pun meningkat melebihi kapasitas sistem prasarana transportasi yang ada. Kurangnya investasi pada suatu sistem jaringan dalam waktu yang cukup lama dapat mengakibatkan sistem prasarana transportasi tersebut menjadi sangat rentan terhadap kemacetan yang terjadi apabila volume arus lalulintas meningkat lebih dari rata-rata.

Permasalahan tersebut semakin bertambah parah melihat kenyataan bahwa meskipun sistem prasarana transportasi sudah sangat terbatas, akan tetapi banyak dari sistem prasarana tersebut yang berfungsi secara tidak efisien (beroperasi di bawah kapasitas), misalnya: adanya warung tegal yang menempati jalur pejalan kaki yang menyebabkan pejalan kaki terpaksa harus menggunakan badan jalan yang tentunya akan mengurangi kapasitas jalan tersebut. Contoh lainnya: parkir di badan jalan sudah barang tentu akan mengurangi kapasitas jalan dan akan menyebabkan penurunan kecepatan bagi kendaraan yang melaluinya. Hal yang perlu diperhatikan di sini adalah berapa besar keuntungan yang dapat diterima dari retribusi parkir dibandingkan dengan besarnya biaya yang harus dikeluarkan oleh setiap kendaraan yang melalui ruas jalan tersebut akibat menurunnya kecepatan.

1.2.1 Ciri kebutuhan akan transportasi

Kebutuhan akan pelayanan transportasi bersifat sangat kualitatif dan mempunyai ciri yang berbeda-beda sebagai fungsi dari waktu, tujuan perjalanan, frekuensi, jenis kargo yang diangkut, dan lain-lain. Pelayanan transportasi yang tidak sesuai dengan kebutuhan akan pergerakan menyebabkan sistem transportasi tersebut tidak berguna

(mubazir). Ciri ini membuat analisis dan peramalan kebutuhan akan pergerakan menjadi semakin sulit.

Kebutuhan akan pergerakan bersifat sebagai **kebutuhan turunan**. Hal ini dapat dijelaskan sebagai berikut. Seperti kita ketahui, pergerakan terjadi karena adanya proses pemenuhan kebutuhan. Pemenuhan kebutuhan merupakan kegiatan yang biasanya harus dilakukan setiap hari, misalnya pemenuhan kebutuhan akan pekerjaan, pendidikan, kesehatan, dan olahraga. Kita sebenarnya tidak perlu bergerak kalau semua kebutuhan tersebut tersedia di tempat kita berada (tempat tinggal).

Akan tetapi, dalam ilmu perencanaan wilayah dan perkotaan, setiap tata guna lahan mempunyai beberapa ciri dan persyaratan teknis yang harus dipenuhi dalam perencanaan dan perancangannya. Misalnya, bandara harus berada jauh dari daerah perkotaan karena alasan keselamatan dan kebisingan serta harus pula jauh dari daerah pegunungan karena alasan operasi penerbangan pesawat yang menggunakan bandara tersebut.

Daerah permukiman, industri, pertokoan, perkantoran, fasilitas hiburan, dan fasilitas sosial, semuanya mempunyai beberapa persyaratan teknis dan non-teknis yang harus dipenuhi dalam menentukan lokasinya. Setiap lahan atau tata guna lahan mempunyai ciri teknis tersendiri yang dapat menentukan jenis kegiatan yang cocok di lokasi tersebut. Beberapa ciri teknis yang sering dipakai adalah kondisi topografi (datar, bukit, pegunungan), kesuburan tanah, dan geologi.

Akibatnya, lokasi kegiatan tersebar secara heterogen di dalam ruang yang ada yang akhirnya menyebabkan perlu adanya pergerakan yang digunakan untuk proses pemenuhan kebutuhan. Seseorang akan berangkat pada pagi hari dari lokasi perumahan ke lokasi tempat bekerja. Kemudian, sebelum pulang ke rumah pada sore hari, mungkin ia mampir dulu untuk berbelanja, dan berolahraga pada lokasi lain yang berbeda.

Dengan demikian, fasilitas sosial, fasilitas hiburan, pusat perbelanjaan, dan perkantoran yang merupakan tempat pemenuhan kebutuhan harian harus disebar secara merata dalam suatu daerah perkotaan sehingga jarak dari perumahan ke berbagai lokasi tersebut menjadi lebih pendek. Semakin jauh kita bergerak, semakin tinggi peluang kita memberikan kontribusi terhadap kemacetan di kota tersebut.

Dalam melakukan pergerakan untuk memenuhi kebutuhan tersebut, kita mempunyai dua pilihan, yaitu bergerak dengan moda transportasi atau tanpa moda transportasi (berjalan kaki). Pergerakan tanpa moda transportasi (misal berjalan kaki) biasanya berjarak pendek (1–2 km), sedangkan pergerakan dengan moda transportasi berjarak sedang atau jauh.

Jenis moda transportasi yang digunakan juga sangat beragam, seperti mobil pribadi, taksi, bus, kereta api, sepeda motor, pesawat terbang, dan kapal laut. Apa pun moda transportasinya, moda tersebut tidak akan pernah dapat bergerak kalau kita tidak mempersiapkan tempat mereka bergerak seperti jalan raya, jalan rel, bandar udara, dan pelabuhan laut yang biasa disebut **sistem prasarana transportasi** dan akan dijelaskan berikut ini.

1.2.2 Ciri sistem prasarana transportasi

Ciri utama sistem prasarana transportasi adalah melayani pengguna; bukan berupa barang atau komoditas. Oleh karena itu, prasarana tersebut tidak mungkin disimpan dan digunakan hanya pada saat diperlukan. Sistem prasarana transportasi harus selalu dapat digunakan di mana pun dan kapan pun, karena jika tidak, kita akan kehilangan manfaatnya (mubazir). Oleh karena itu pula, sangatlah penting mengetahui secara akurat besarnya kebutuhan akan transportasi pada masa mendatang sehingga kita dapat menghemat sumber daya dengan mengatur atau mengelola sistem prasarana transportasi yang dibutuhkan.

Pada dasarnya, sistem prasarana transportasi mempunyai dua peran utama, yaitu:

- sebagai alat bantu untuk mengarahkan pembangunan di daerah perkotaan;
- sebagai prasarana bagi pergerakan manusia dan/atau barang yang timbul akibat adanya kegiatan di daerah perkotaan tersebut.

Peran pertama sering digunakan oleh para perencana pengembang wilayah untuk dapat mengembangkan wilayahnya sesuai dengan rencana. Katakanlah ada suatu daerah permukiman baru yang hendak dipasarkan; tidak akan pernah ada peminatnya kalau di daerah itu tidak disediakan sistem prasarana transportasi. Begitu sistem prasarana transportasinya tersedia, maka aksesibilitas permukiman tersebut menjadi semakin tinggi (semakin mudah dicapai) yang akhirnya menyebabkan minat pembeli menjadi bertambah untuk tinggal di situ.

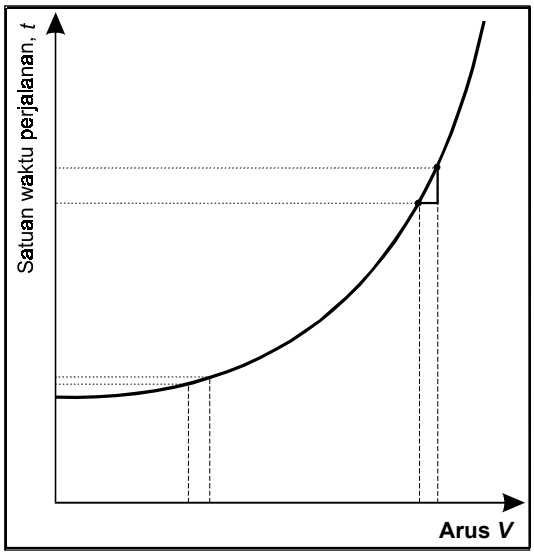
Hal yang sama juga terjadi di lahan permukiman transmigrasi. Suatu kawasan permukiman tidak akan dapat berkembang, meskipun fasilitas rumah dan sawah sudah siap pakai, jika tidak tersedia sistem prasarana transportasi; hal ini akan mengakibatkan biaya transportasi menjadi sangat tinggi. Sebaliknya, sistem prasarana transportasi mungkin belum diperlukan pada saat sekarang karena kebutuhan akan pergerakan masih sangat rendah atau belum ada sama sekali. Jika hal ini dibiarkan terus menerus maka kawasan permukiman tersebut tidak akan pernah bisa berkembang selamanya.

Oleh sebab itu, kebijakan yang harus dilakukan adalah menyediakan sistem prasarana transportasi dengan kualitas seminimal mungkin tetapi masih bisa dilalui. Adanya keterhubungan atau konektivitas ini akan menyebabkan kawasan tersebut menjadi mudah dicapai dan orang akan mulai mau tinggal di sana. Seterusnya, setelah kawasan tersebut berkembang yang menyebabkan terbentuknya kebutuhan akan pergerakan yang cukup besar, barulah sistem prasarana transportasinya ditingkatkan sesuai dengan peramalan kebutuhan akan pergerakan pada masa mendatang. Di sinilah mulai tampak peran kedua dari sistem prasarana transportasi.

1.2.3 Keseimbangan antara sistem prasarana transportasi dan kebutuhan akan transportasi

Seperti terlihat pada gambar 1.1, secara umum dapat dikatakan bahwa peranan perencanaan transportasi sebenarnya adalah untuk dapat memastikan bahwa kebutuhan akan pergerakan dalam bentuk pergerakan manusia, barang, atau

kendaraan dapat ditunjang oleh sistem prasarana transportasi yang ada dan harus beroperasi di bawah kapasitasnya.



Gambar 1.1
Kemacetan dan beberapa efek eksternalnya
Sumber: Ortuzar and Willumsen (1994)

Kebutuhan akan pergerakan itu sendiri mempunyai ciri yang berbeda-beda, seperti perbedaan tujuan perjalanan, moda transportasi yang digunakan, dan waktu terjadinya pergerakan. Sistem prasarana transportasinya sendiri terbentuk dari:

- sistem prasarana (penunjang), misalnya sistem jaringan jalan raya atau jalan rel termasuk terminal;
- sistem manajemen transportasi, misalnya undang-undang, peraturan, dan kebijakan;
- beberapa jenis moda transportasi dengan berbagai macam operatornya.

Pertimbangkan satu set volume pergerakan pada suatu sistem jaringan (**V**), satu set kecepatan (**S**), dan kapasitas operasional (**Q**) yang beroperasi di bawah sistem manajemen transportasi tertentu (**M**). Dalam bentuk umum, dapat dikatakan bahwa kecepatan arus pergerakan dalam sistem jaringan tersebut dapat ditampilkan dalam persamaaan berikut:

$$\mathbf{S} = f\{\mathbf{Q},\mathbf{V},\mathbf{M}\} \tag{1.1}$$

Kecepatan dapat dianggap sebagai indikator umum dalam menyatakan tingkat pelayanan (*Level of Service*=**LOS**) dari sistem jaringan tersebut. Dalam bentuk yang lebih umum, LOS tergantung dari kombinasi kecepatan atau waktu tempuh, waktu tunggu dan tarif (bus atau parkir), dan lain-lain. Sistem manajemen (**M**) meliputi manajemen lalulintas, sistem lampu lalulintas terkoordinasi, batasan lalulintas, biaya penggunaan jalan, atau peraturan yang diberlakukan bagi setiap moda transportasi. Kapasitas (**Q**) akan sangat tergantung pada sistem manajemen (**M**) dan tingkat penyediaan investasi (**I**) selama beberapa tahun, sehingga:

$$\mathbf{Q} = f\{\mathbf{I},\mathbf{M}\} \tag{1.2}$$

Sistem manajemen juga bisa digunakan untuk mendistribusikan kembali kapasitas setiap sistem prasarana transportasi, yang akan menghasilkan **Q'**, dan/atau memberikan prioritas khusus pada pengguna tertentu, misalnya efisiensi (pengguna angkutan umum, pengendara sepeda), lingkungan (kendaraan berbahan bakar gas atau listrik) atau, hak penggunaan prasarana yang adil (pejalan kaki).

Seperti dalam kasus barang dan pelayanannya, seseorang akan memperkirakan bahwa tingkat kebutuhan akan pergerakan (**D**) akan tergantung pada tingkat pelayanan yang disediakan oleh sistem transportasi dan juga pengalokasian aktivitas (**A**) dalam ruang:

$$\mathbf{D} = f\{\mathbf{S},\mathbf{A}\} \tag{1.3}$$

Dengan menggabungkan persamaan (1.1) dan (1.3) untuk suatu sistem aktivitas yang sudah tetap, akan ditemukan satu set titik keseimbangan antara kebutuhan akan pergerakan dengan sistem prasarana transportasi. Akan tetapi, sistem aktivitas tersebut mungkin akan berubah sejalan dengan perubahan tingkat pelayanan prasarana dalam ruang dan waktu. Oleh karena itu, akan ditemukan beberapa set titik keseimbangan untuk jangka pendek dan jangka panjang.

Tujuan perencanaan transportasi adalah meramalkan dan mengelola evolusi titik keseimbangan ini sejalan dengan waktu sehingga kesejahteraan sosial dapat dimaksimumkan. Hal ini, sudah barang tentu, bukanlah hal yang mudah; pemodelan titik keseimbangan akan menolong kita memahami evolusi tersebut secara lebih baik sehingga dapat menyarankan berbagai macam kebijakan, strategi sistem manajemen transportasi (**M**), dan program investasi (**I**).

1.3 Pemilihan pendekatan model

Kebijakan transportasi yang akan diambil atau diputuskan oleh para pengambil keputusan biasanya menggunakan hasil perencanaan dan pemodelan transportasi sebagai alat bantu dalam mengambil keputusan. Oleh sebab itu, para pengambil keputusan lebih mempunyai wewenang dalam menentukan kebijakan yang akan ditentukan dibandingkan dengan para perencana transportasi. Hal ini karena para pengambil keputusan memperhitungkan faktor yang lain, seperti lingkungan, keamanan, pertahanan, ekonomi, dan sosial budaya yang mungkin tidak (pernah) terpikirkan oleh para perencana transportasi.

Model transportasi yang diabaikan oleh para pengambil keputusan bukan saja merupakan pemborosan, tetapi dapat membuat frustrasi para perencana transportasi. Jadi, dapat dikatakan bahwa hasil perencanaan dan pemodelan transportasi merupakan alat bantu bagi para pengambil keputusan dalam menentukan kebijakan yang akan diambil, bukan sebagai penentu kebijakan.

Oleh karena itu, **Tamin (1988a)** dan **Ortuzar and Willumsen (1994)** mengusulkan beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam menentukan pendekatan analitis yang akan dipakai, antara lain yang berikut ini.

1 **Pengambilan keputusan** Hal yang perlu diperhatikan di sini antara lain apakah keputusan tersebut bersifat strategis, taktis, atau operasional. Sifat keputusan tersebut dapat menentukan tingkat kedalaman analisis; apakah hanya

faktor transportasi saja atau ada faktor lain yang ikut mempengaruhi atau ikut terpengaruh. Dari sisi sistem transportasi, apakah kita hanya tertarik pada kebutuhan akan pergerakan saja atau termasuk juga sistem prasarananya dan lain-lain? Pertanyaan mengenai berapa banyak pilihan yang harus dipertimbangkan dalam menentukan suatu kebijakan transportasi juga merupakan hal yang perlu diperhatikan.

2 **Persyaratan ketepatan** Ketepatan hasil kajian perencanaan dan pemodelan transportasi sangat diperlukan dan tergantung pada tujuan kajian tersebut. Ketepatan data sangat menentukan ketepatan hasil pemodelan, sedangkan ketepatan data sangat tergantung pada jumlah data yang dikumpulkan, kualitas peralatan yang digunakan untuk mendapatkan data tersebut serta kualitas surveyor yang menggunakan peralatan tersebut. Menatar surveyor sebelum melaksanakan survei dan penjelasan manual peralatan merupakan suatu usaha yang tepat dalam meningkatkan ketepatan data.

3 **Tersedianya data yang dibutuhkan** Data merupakan permasalahan utama dalam pemodelan. Terbatasnya data dari sisi kualitas dan kuantitas menyebabkan hasil pemodelan tidak mempunyai ketepatan yang tinggi. Selain itu, sistem transformasi data yang tidak begitu baik menyebabkan data tersebut sangat susah didapat, meskipun sudah tersedia. Fasilitas faksimili merupakan alat bantu utama dalam proses transformasi data. Pada saat sekarang ini, fasilitas internet telah pula tersedia dan bisa didapat dengan biaya yang sangat murah yang memungkinkan data bisa langsung didapatkan pada saat yang bersamaan dengan kegiatan pengumpulan data (waktu-nyata).

4 **Kemutakhiran pemodelan** Pemodelan adalah pencerminan dan penyederhanaan realita. Jadi, semakin kita dapat mencerminkan realita, dapat dikatakan model tersebut menjadi semakin baik. Akan tetapi, untuk mencapai hal tersebut biasanya dibutuhkan dana yang sangat besar dan data yang sangat banyak. Karena keterbatasan biaya dan waktu, kemampuan memilih model yang tepat sangat dibutuhkan yang harus sesuai dengan situasi dan kondisi tertentu.

5 **Sumber daya yang tersedia** Hal ini menyangkut dana, data, perangkat komputer, termasuk paket program yang tersedia, kemampuan peneliti, dan seterusnya. Dua jenis sumber daya yang perlu digarisbawahi di sini adalah **waktu** dan **tingkat komunikasi** dengan para pengambil keputusan dan masyarakat. Waktu merupakan hal terpenting – jika hanya sedikit waktu yang tersedia dalam penentuan kebijakan, maka melakukan pemodelan sesederhana mungkin akan lebih baik daripada pemodelan yang menyeluruh. Selain itu, adanya komunikasi yang baik dengan para pengambil keputusan serta masyarakat sebagai pengguna akan mengurangi permasalahan.

6 **Persyaratan proses data** Mungkin salah satu pertanyaan yang timbul di sini adalah seberapa besar kemampuan perangkat komputer yang diperlukan? Jawabannya, mungkin tidak perlu terlalu besar karena satu komputer jinjing sudah mempunyai kemampuan yang sangat besar dan kecepatan proses yang sangat tinggi dengan harga yang cukup murah. Hambatan utama dalam

memproses data tersebut adalah kemampuan manusia dalam mengumpulkan, mengkodefikasi, memasukkan data, menjalankan program, dan menafsirkan keluaran dari program tersebut.

7 **Tingkat kemampuan perencana dan peneliti** Biaya pelatihan biasanya cukup tinggi sehingga langkah yang terbaik adalah menggunakan model yang ada seefisien mungkin sambil mempelajari dan memahami model lainnya yang lebih baik. Jumlah perencana atau peneliti yang banyak serta berkualitas baik sangat diperlukan. Peningkatan kemampuan para peneliti tidak perlu dilakukan melalui pendidikan formal karena membutuhkan waktu yang cukup lama dan biaya yang mahal. Pelatihan atau penyuluhan merupakan salah satu hal yang sangat efektif untuk mengatasi permasalahan tersebut.

1.4 Faktor dalam pemodelan transportasi

1.4.1 Spesifikasi model

Tamin (1988a) dan **Ortuzar and Willumsen (1994)** menjelaskan beberapa hal penting yang harus dipertimbangkan yang dirasakan perlu dijabarkan lebih lanjut.

1.4.1.1 Struktur model Apakah mungkin kita membuat model untuk suatu sistem dengan suatu struktur sederhana yang berupa fungsi dari beberapa alternatif yang saling tidak berhubungan? Atau, apakah perlu kita membuat model yang sangat kompleks yang digunakan untuk menghitung peluang dari suatu kejadian yang telah pernah terjadi?

Pertanyaan ini sering timbul pada setiap peneliti. Model kontemporer selalu mempunyai banyak parameter untuk bisa menunjukkan aspek struktural model tersebut, dan dengan metodologi yang sudah berkembang sekarang sangat dimungkinkan membentuk model yang sangat umum yang memiliki banyak peubah.

1.4.1.2 Bentuk fungsional Apakah mungkin menggunakan bentuk linear atau-kah suatu permasalahan memerlukan pemecahan yang bersifat tidak-linear? Pemecahan tidak-linear akan dapat mencerminkan realita secara lebih tepat, tetapi membutuhkan lebih banyak sumber daya dan teknik untuk proses pengkalibrasian model tersebut.

1.4.1.3 Spesifikasi peubah Peubah apa yang dapat digunakan dan bagaimana peubah tersebut berhubungan satu sama lain dalam suatu model? Untuk menjelaskannya diperlukan proses tertentu dalam menentukan peubah yang dominan, antara lain proses kalibrasi dan pengabsahan.

1.4.2 Kalibrasi dan pengabsahan model

Suatu model dapat secara sederhana dinyatakan sebagai fungsi matematika dari beberapa peubah $\boldsymbol{X}$ dan parameter $\boldsymbol{\theta}$, seperti:

$$\boldsymbol{Y} = \boldsymbol{f}(\boldsymbol{X}, \boldsymbol{\theta}) \tag{1.4}$$

Sangatlah menarik mengkaji perbedaan antara kalibrasi model dan taksiran model, khususnya dalam pemakaian di bidang transportasi. **Pengkalibrasian** model mensyaratkan pemilihan parameter yang mengoptimumkan satu atau lebih ukuran kesesuaian yang juga merupakan fungsi dari data hasil pengamatan. Prosedur ini sering digunakan oleh fisikawan dan ahli teknik yang bertugas membuat model pertama (awal) dan mereka tidak perlu mencemaskan perilaku statistika yang dihasilkan.

Sementara itu, **penaksiran** model meliputi usaha untuk mendapatkan nilai parameter sehingga hasil spesifikasi model tersebut dapat mendekati data hasil pengamatan (realita). Dalam kasus ini, bisa saja satu atau lebih parameter dianggap tidak signifikan dan oleh karena itu perlu dikeluarkan dari model. Taksiran juga mempertimbangkan kemungkinan mempelajari beberapa faktor spesifikasi secara empiris.

Prosedur ini sering dilakukan oleh para ahli teknik dan ekonomi yang bertanggung jawab dalam pengembangan model selanjutnya yang lebih mementingkan perilaku statistika model tersebut. Akan tetapi, kedua prosedur tersebut pada dasarnya sama karena cara untuk menentukan parameter mana yang lebih baik yang akan digunakan ditentukan oleh ukuran kesesuaian.

Suatu model yang sudah dikalibrasi dengan data tertentu belum tentu cocok dipakai untuk penerapan yang lain. Hal ini disebabkan karena pada dasarnya realita antara kedua terapan tersebut berbeda, terutama peubah yang mungkin tidak sama. Oleh karena itu, sebelum diterapkan di tempat lain, model tersebut perlu diabsahkan terlebih dahulu dengan menggunakan data asli daerah tersebut.

1.4.3 Beberapa definisi dalam pemodelan

Beberapa definisi berikut ini perlu dijelaskan karena sering digunakan dalam proses pemodelan (**Black, 1981** dan **LPM-ITB, 1997c**).

a **Fungsi** Konsep matematis yang digunakan untuk menyatakan bagaimana satu nilai peubah (tidak bebas) ditentukan oleh satu atau beberapa peubah lainnya (bebas).

b **Argumen** Nilai tertentu suatu fungsi dapat dihitung dengan memasukkan nilai pada peubah (bebas) yang ada dalam fungsi tersebut; peubah bebas itu disebut argumen.

c **Peubah** Kuantitas yang dapat digunakan untuk mengasumsikan nilai numerik yang berbeda-beda. Jika suatu huruf digunakan untuk menyatakan nilai suatu fungsi, huruf itu disebut peubah tidak bebas; jika digunakan sebagai argumen suatu fungsi, disebut peubah bebas.

d **Parameter** Kuantitas yang mempunyai suatu nilai konstan yang berlaku pada kasus tertentu, yang mungkin mempunyai nilai konstan yang berbeda pada kasus yang lain.

e **Koefisien** Dalam aplikasi matematika, koefisien mempunyai definisi yang sama dengan parameter.

f **Kalibrasi** Proses yang dilakukan untuk menaksir nilai parameter atau koefisien sehingga hasil yang didapatkan mempunyai galat yang sekecil mungkin dibandingkan dengan hasil yang sebenarnya (realita).

g **Algoritma** Suatu prosedur yang menunjukkan urutan operasi aritmatik yang rumit. Biasanya algoritma sering digunakan dalam pembuatan program komputer.

1.5 Ciri dasar perencanaan transportasi

1.5.1 Pendahuluan

Perlu disadari bahwa kajian perencanaan transportasi mempunyai ciri yang berbeda dengan kajian bidang lain. Hal ini disebabkan karena objek penelitian suatu kajian perencanaan transportasi cukup luas dan beragam. Di samping itu, kajian perencanaan transportasi juga biasanya melibatkan aspek yang cukup banyak dan beragam pula. Secara singkat, ciri kajian perencanaan transportasi ditandai dengan adanya multimoda, multidisiplin, multisektoral, dan multimasalah (lihat juga **LPM-ITB, 1996, 1997a**).

1.5.1.1 Multimoda Kajian perencanaan transportasi selalu melibatkan lebih dari satu moda transportasi sebagai bahan kajian. Hal ini mudah dimengerti mengingat objek dasar kajian perencanaan transportasi adalah pergerakan manusia, dan/atau barang, yang pasti melibatkan banyak moda transportasi. Tambahan lain, Indonesia dikenal sebagai negara yang terdiri dari ribuan pulau sehingga pergerakan dari suatu tempat asal ke tempat tujuan sangat tidak mungkin hanya menggunakan satu moda saja. Tidaklah mengherankan bahwa Sistem Transportasi Nasional (Sistranas) yang kita miliki mempunyai konsep utama, yaitu **konsep sistem transportasi integrasi antarmoda**.

Kalaupun kajian yang dimaksud difokuskan pada daerah tertentu, misalnya terminal bus atau bandara, aspek multimoda akan selalu timbul ke permukaan. Perencana transportasi, bagaimana pun, harus memperhatikan adanya interaksi antara pergerakan internal di dalam daerah kajian (misalnya terminal bus atau bandara) dengan pergerakan eksternalnya. Artinya, harus diperhatikan adanya moda transportasi lain selain bus (untuk terminal bus) atau pesawat udara (untuk bandara).

Terminal dalam konsep sistem transportasi integrasi antarmoda memegang peranan yang sangat penting karena proses pertukaran moda terjadi di terminal dan waktu proses tersebut merupakan hal terpenting yang sangat perlu diperhatikan para perencana transportasi. Ketidakefisienan dalam proses pertukaran moda akan menyebabkan sistem transportasi integrasi antarmoda pun secara keseluruhan menjadi tidak efisien.

1.5.1.2 Multidisiplin Kajian perencanaan transportasi melibatkan banyak disiplin keilmuan karena aspek kajiannya sangat beragam, mulai dari ciri pergerakan, pengguna jasa, sampai dengan sistem prasarana atau pun sarana transportasi itu sendiri. Tentu saja dalam pelaksanaannya, semua aspek kajian tersebut harus dapat diantisipasi. Kajian perencanaan transportasi biasanya melibatkan bidang keilmuan

seperti rekayasa, ekonomi, geografi, penelitian operasional, sosial politik, matematika, informatika, dan psikologi.

Sebagai ilustrasi, mari kita tinjau kajian penyusunan rencana induk terminal bus antarkota. Untuk melakukan kajian tersebut, diperlukan seorang ahli perencana wilayah untuk menentukan lokasi terminal bus yang baik, ditinjau dari sudut pandang penataan tata ruang dan daerah. Selanjutnya, juga dibutuhkan seorang ahli teknik untuk mengkaji tata letak bangunan di areal terminal dan juga untuk mengkaji jenis konstruksi setiap prasarana terminal.

Selain itu, dalam kajian ini juga akan dibutuhkan seorang ahli transportasi untuk mengkaji dan memperkirakan potensi jumlah penumpang atau pun jumlah bus yang akan dilayani oleh terminal bus itu pada tahun rencana, dan untuk mengkaji sistem sirkulasi internal dan eksternal yang terbaik bagi terminal bus itu. Di samping itu, seorang ahli ekonomi juga dibutuhkan untuk mengkaji sistem dan besaran tarif di lingkungan terminal dan juga untuk mengkaji tingkat kelayakan ekonomi dan keuangan dari rencana pengembangan terminal antarkota itu.

1.5.1.3 Multisektoral Yang dimaksud dengan multisektoral di sini adalah banyaknya lembaga, atau pihak terkait yang berkepentingan dengan kajian perencanaan transportasi. Kajian perencanaan transportasi biasanya melibatkan beberapa lembaga pemerintah atau pun swasta yang masing-masing mempunyai kepentingan yang berbeda sehingga diperlukan koordinasi dan penanganan yang baik. Untuk kasus perencanaan terminal bus antarkota seperti contoh di atas misalnya, lembaga pemerintah atau pun swasta yang terkait meliputi DLLAJ, BPN, Dinas Tata kota, polantas, operator bus, Dinas Pendapatan Daerah, dan lain-lain.

1.5.1.4 Multimasalah Karena kajian perencanaan transportasi merupakan kajian multimoda, multidisiplin, dan multisektoral, tentu saja menimbulkan multimasalah – permasalahan yang dihadapi mempunyai dimensi yang cukup beragam dan luas, mulai dari yang berkaitan dengan aspek pengguna jasa, rekayasa, operasional, ekonomi, sampai dengan aspek sosial.

Untuk contoh kasus pengembangan terminal bus antarkota di atas, masalah yang mungkin timbul meliputi masalah rekayasa (lapisan tanah yang jelek atau sistem drainase yang buruk), masalah ekonomi (alokasi dana pemerintah yang terbatas, daya beli masyarakat yang rendah), masalah pertanahan (lahan yang terbatas), masalah sosial (perilaku penumpang bus yang tidak disiplin atau timbulnya premanisme), masalah lalulintas (gangguan lalulintas di pintu masuk dan keluar terminal atau perilaku pengemudi yang tidak disiplin).

Meskipun terdapat perbedaan antara kota-kota di berbagai negara, pergerakan di dalam daerah perkotaan mempunyai beberapa ciri yang sama yang berlaku hampir pada semua kota kecil dan kota besar di dunia. Ciri ini merupakan prinsip dasar yang merupakan titik tolak kajian transportasi. Ciri ini juga mendefinisikan konsep yang digunakan oleh para perencana angkutan dan perekayasa untuk memahami dan mempelajari pergerakan.

Oleh sebab itu, perlu dikaji beberapa konsep dasar yang melatarbelakangi kajian angkutan dan bagaimana konsep ini saling berkaitan untuk membentuk apa yang disebut **sistem transportasi**. Konsep yang akan dikaji dibagi dalam dua bagian, yaitu (lihat juga **LPM-ITB, 1996, 1997c**):

a konsep mengenai ciri pergerakan tidak-spasial (tanpa batas ruang) di dalam kota, misalnya yang menyangkut pertanyaan mengapa orang melakukan perjalanan, kapan orang melakukan perjalanan, dan jenis angkutan apa yang mereka pergunakan;

b konsep mengenai ciri pergerakan spasial (dengan batas ruang) di dalam kota, termasuk pola tata guna lahan, pola perjalanan orang, dan pola perjalanan angkutan barang.

Sebagian besar konsep ini telah dikembangkan pada tahun 1960-an dan awal tahun 1970-an, baik di Eropa maupun di Amerika Serikat. Kemudian, muncul permasalahan mengenai relevansinya dengan negara sedang berkembang seperti Indonesia. Meskipun demikian, sebelum data kota di Indonesia dikumpulkan secara rutin, kita tidak akan dapat mengetahui secara pasti bagaimana konsep ini harus disesuaikan dengan keadaan kota di Indonesia.

1.5.2 Ciri pergerakan tidak-spasial

Seperti diuraikan sebelumnya, ciri pergerakan tidak-spasial adalah semua ciri pergerakan yang berkaitan dengan aspek tidak-spasial, seperti sebab terjadinya pergerakan, waktu terjadinya pergerakan, dan jenis moda yang digunakan.

1.5.2.1 Sebab terjadinya pergerakan Sebab terjadinya pergerakan dapat dikelompokkan berdasarkan maksud perjalanan (lihat tabel 1.1). Biasanya maksud perjalanan dikelompokkan sesuai dengan ciri dasarnya, yaitu yang berkaitan dengan ekonomi, sosial, budaya, pendidikan, dan agama. Jika ditinjau lebih jauh lagi akan dijumpai kenyataan bahwa lebih dari 90% perjalanan berbasis tempat tinggal; artinya, mereka memulai perjalanannya dari tempat tinggal (rumah) dan mengakhiri perjalanannya kembali ke rumah. Pada kenyataan ini biasanya ditambahkan kategori keenam tujuan perjalanan, yaitu maksud perjalanan pulang ke rumah.

1.5.2.2 Waktu terjadinya pergerakan Waktu terjadinya pergerakan sangat tergantung pada kapan seseorang melakukan aktivitasnya sehari-harinya. Dengan demikian, waktu perjalanan sangat tergantung pada maksud perjalanan. Perjalanan ke tempat kerja atau perjalanan dengan maksud bekerja biasanya merupakan perjalanan yang dominan, dan karena itu sangat penting diamati secara cermat. Karena pola kerja biasanya dimulai jam 08.00 dan berakhir pada jam 16.00, maka waktu perjalanan untuk maksud perjalanan kerja biasanya mengikuti pola kerjanya.

Dalam hal ini kita dapati bahwa pada pagi hari, sekitar jam 06.00 sampai jam 08.00, dijumpai begitu banyak perjalanan untuk tujuan bekerja, dan pada sore hari sekitar jam 16.00 sampai jam 18.00 dijumpai banyak perjalanan dari tempat kerja ke rumah masing-masing. Karena jumlah perjalanan dengan maksud bekerja ini merupakan jumlah yang dominan, maka kita dapatkan bahwa kedua waktu terjadinya perjalanan dengan tujuan bekerja ini menghasilkan waktu puncak pergerakan.

Tabel 1.1 Klasifikasi pergerakan orang di perkotaan berdasarkan maksud pergerakan

Aktivitas	Klasifikasi perjalanan	Keterangan
I. EKONOMI a. Mencari nafkah b. Mendapatkan barang dan pelayanan	1. Ke dan dari tempat kerja 2. Yang berkaitan dengan bekerja 3. Ke dan dari toko dan keluar untuk keperluan pribadi Yang berkaitan dengan belanja atau bisnis pribadi	Jumlah orang yang bekerja tidak tinggi, sekitar 40–50% penduduk. Perjalanan yang berkaitan dengan pekerja termasuk: a. pulang ke rumah b. mengangkut barang c. ke dan dari rapat Pelayanan hiburan dan rekreasi diklasifikasikan secara terpisah, tetapi pelayanan medis, hukum, dan kesejahteraan termasuk di sini.
II. SOSIAL Menciptakan, menjaga hubungan pribadi	1. Ke dan dari rumah teman 2. Ke dan dari tempat pertemuan bukan di rumah	Kebanyakan fasilitas terdapat dalam lingkungan keluarga dan tidak menghasilkan banyak perjalanan. Butir 2 juga terkombinasi dengan perjalanan dengan maksud hiburan.
III. PENDIDIKAN	1. Ke dan dari sekolah, kampus dan lain-lain	Hal ini terjadi pada sebagian besar penduduk yang berusia 5–22 tahun. Di negara sedang berkembang jumlahnya sekitar 85% penduduk.
IV. REKREASI DAN HIBURAN	1. Ke dan dari tempat rekreasi 2. Yang berkaitan dengan perjalanan dan berkendaraan untuk rekreasi	Mengunjungi restoran, kunjungan sosial, termasuk perjalanan pada hari libur.
V. KEBUDAYAAN	1. Ke dan dari tempat ibadah 2. Perjalanan bukan hiburan ke dan dari daerah budaya serta pertemuan politik	Perjalanan kebudayaan dan hiburan sangat sulit dibedakan.

Sumber: LPM-ITB (1996, 1997ac)

Di samping kedua puncak tersebut, dijumpai pula waktu puncak lainnya, yaitu sekitar jam 12.00 sampai 14.00; pada saat itu para pekerja pergi untuk makan siang dan kembali lagi ke kantornya masing-masing. Tentu saja jumlah perjalanan yang dilakukan pada siang hari ini tidak sebanyak pada pagi atau sore hari mengingat makan siang terkadang dapat dilakukan di kantor atau kantin di sekitar kantor.

Selanjutnya, perjalanan dengan maksud sekolah atau pun pendidikan cukup banyak jumlahnya dibandingkan dengan tujuan lainnya sehingga pola perjalanan sekolah ini pun turut mewarnai pola waktu puncak perjalanan. Mengingat sekolah dari tingkat dasar sampai tingkat menengah pada umumnya terdiri dari dua giliran, yaitu sekolah pagi dan sekolah sore, maka pola perjalanan sekolah pun dipengaruhi oleh keadaan ini. Dalam hal ini dijumpai tiga puncak perjalanan sekolah, yaitu pada pagi hari jam 06.00 sampai 07.00, di siang hari pada jam 13.00–14.00, dan di sore hari pada jam 17.00–18.00.

Perjalanan lainnya yang cukup berperan adalah perjalanan untuk maksud berbelanja. Karena kegiatan berbelanja ini tidak mempunyai waktu khusus, dan pelakunya bisa melakukannya kapan pun selama toko atau pasar buka, maka tidak ada pola khusus untuk perjalanan dengan maksud belanja ini; pada umumnya berupa pola menyebar. Meskipun terdapat juga puncak pada pagi dan sore hari, puncak ini tidak terlalu nyata.

Jadi, jika ditinjau secara keseluruhan, pola perjalanan setiap hari di suatu kota pada dasarnya merupakan gabungan dari pola perjalanan untuk maksud bekerja, pendidikan, berbelanja, dan kegiatan sosial lainnya. Pola perjalanan yang diperoleh dari penggabungan ketiga pola perjalanan di atas terkadang disebut juga **pola variasi harian**, yang menunjukkan tiga waktu puncak, yaitu waktu puncak pagi, waktu puncak siang, dan waktu puncak sore.

Pola variasi harian seperti ini dijumpai di semua kota berukuran sedang dan besar di seluruh dunia. Tentu saja rincian waktu terjadinya waktu puncak berbeda antara satu kota dengan kota lainnya, tergantung pada ciri pola waktu kerja yang ada dan ciri pola waktu sekolah.

Informasi mengenai pola variasi harian ini sangat penting bagi perencana transportasi. Dengan mempelajari pola variasi harian perjalanan, ahli transportasi dapat mengetahui pada jam-jam berapa saja sebenarnya prasarana jaringan jalan atau pun jaringan angkutan umum akan menerima beban puncaknya. Dengan demikian, penanganan yang paling sesuai dapat diterapkan pada waktu yang tepat sehingga masalah kemacetan dapat dihindari sejak awal.

Selain itu, informasi pola variasi harian ini juga dapat digunakan sebagai acuan untuk menentukan strategi yang paling sesuai untuk pengaturan sistem angkutan umum mengingat bahwa pola beban yang berbeda mengakibatkan pola operasional yang berbeda dan juga pola pembiayaan yang berbeda. Dengan diketahuinya pola variasi harian ini, perencana transportasi dapat mengatur, misalnya, sistem frekuensi dan sistem pentarifan yang paling sesuai.

Adanya pola variasi harian yang tidak seimbang antara waktu puncak dan waktu tidak-puncak saat ini menjadi perhatian utama para ahli perencana transportasi karena masalah yang dihadapi di kota besar biasanya masalah kemacetan yang terjadi pada jam puncak. Jika waktu puncak diantisipasi dengan baik, maka pada waktu tidak-puncak, prasarana dan sarana transportasi yang disediakan menjadi rendah tingkat pemakaiannya. Untuk itu perlu dipikirkan cara lain agar penyediaan prasarana dan sarana transportasi mampu mengantisipasi perjalanan yang ada dan sekaligus mempunyai tingkat pemakaian yang memadai.

1.5.2.3 Jenis sarana angkutan yang digunakan Dalam melakukan perjalanan, orang biasanya dihadapkan pada pilihan jenis angkutan – mobil, angkutan umum, pesawat terbang, atau kereta api. Dalam menentukan pilihan jenis angkutan, orang mempertimbangkan berbagai faktor, yaitu maksud perjalanan, jarak tempuh, biaya, dan tingkat kenyamanan. Meskipun dapat diketahui faktor yang menyebabkan seseorang memilih jenis moda yang digunakan, pada kenyataannya sangatlah sulit merumuskan mekanisme pemilihan moda ini.

Dari hasil survei yang pernah dilakukan di DKI-Jakarta pada tahun 1987 terlihat bahwa moda yang paling umum digunakan dalam perjalanan di dalam kota adalah berjalan kaki, becak, sepeda motor, kendaraan pribadi, taksi, dan bus kota. Dari semua jenis moda angkutan umum tersebut terlihat bahwa yang paling dominan adalah perjalanan dengan moda angkutan bus, disusul oleh taksi dan paratransit. Jika kita bandingkan dengan salah satu kota di Amerika Serikat, akan didapatkan pola yang hampir sama.

Dari hasil penelitian di Chicago diperoleh kenyataan bahwa perjalanan dengan maksud pendidikan merupakan 10% dari seluruh jumlah perjalanan; sekitar 70% dari perjalanan tersebut dilakukan dengan berjalan kaki, 15% dengan bus, dan 10% dengan mobil atau sepeda motor. Perjalanan ke tempat kerja mencakup 20% dari jumlah seluruh perjalanan; 80% dilakukan dengan mobil pribadi, sepeda motor dan bus, dan hanya 20% dengan berjalan kaki.

Dari data tersebut jelas terlihat bahwa ditinjau dari maksud perjalanan, sebagian besar perjalanan dengan maksud bekerja dilakukan oleh orang dewasa yang memiliki kendaraan dan mengemudikannya sendiri ke tempat kerja. Karena anak-anak tidak memiliki kendaraan dan tidak dapat mengemudi sendiri, mereka berjalan kaki atau naik bus ke sekolah.

Dari faktor jarak terlihat bahwa jarak kurang dari 2 km didominasi oleh perjalanan dengan berjalan kaki, yaitu sampai 90% dari jumlah perjalanan. Mobil tercatat digunakan kurang dari 10% untuk perjalanan berjarak dekat ini. Sebaliknya, dengan meningkatnya jarak perjalanan, proporsi perjalanan dengan berjalan kaki menurun, dan perjalanan dengan mobil meningkat. Angkutan dengan bus juga meningkat untuk jarak perjalanan sampai sejauh 9 km.

Dari data di atas jelas tampak bahwa secara umum faktor jarak dan faktor maksud perjalanan merupakan faktor yang paling dominan dalam menentukan jenis atau moda kendaraan yang digunakan. Dengan berjalan kaki, persentase tinggi cenderung untuk perjalanan jarak dekat, sedangkan perjalanan dengan mobil dan sepeda motor dengan persentase tinggi cenderung untuk jarak tempuh yang lebih jauh.

Perjalanan untuk maksud belajar dilakukan oleh anak-anak, terutama untuk ke sekolah, yang biasanya jarak perjalanannya masih dapat dijangkau dengan berjalan kaki dari rumah atau dapat dicapai dengan mudah dengan menggunakan angkutan umum.

1.5.3 Ciri pergerakan spasial

Seperti yang telah dijelaskan, perjalanan terjadi karena manusia melakukan aktivitas di tempat yang berbeda dengan daerah tempat mereka tinggal. Artinya, keterkaitan antarwilayah ruang sangatlah berperan dalam menciptakan perjalanan. Jika suatu daerah sepenuhnya terdiri dari lahan tandus tanpa tumbuhan dan sumber daya alam, dapat diduga bahwa pada daerah tersebut tidak akan timbul perjalanan mengingat di daerah tersebut tidak mungkin timbul aktivitas. Juga, tidak akan pernah ada keterkaitan ruang antara daerah tersebut dengan daerah lainnya.

Konsep paling mendasar yang menjelaskan terjadinya pergerakan atau perjalanan selalu dikaitkan dengan pola hubungan antara distribusi spasial perjalanan dengan distribusi spasial tata guna lahan yang terdapat di dalam suatu wilayah. Dalam hal ini, konsep dasarnya adalah bahwa suatu perjalanan dilakukan untuk melakukan kegiatan tertentu di lokasi yang dituju, dan lokasi kegiatan tersebut ditentukan oleh pola tata guna lahan kota tersebut. Jadi, faktor tata guna lahan sangat berperan. Berikut ini dijelaskan beberapa ciri perjalanan spasial, yaitu pola perjalanan orang dan pola perjalanan barang (lihat juga **LPM-ITB, 1996, 1997c**).

1.5.3.1 Pola perjalanan orang Seperti dikatakan sebelumnya, perjalanan terbentuk karena adanya aktivitas yang dilakukan bukan di tempat tinggal sehingga pola sebaran tata guna lahan suatu kota akan sangat mempengaruhi pola perjalanan orang. Dalam hal ini pola penyebaran spasial yang sangat berperan adalah sebaran spasial dari daerah industri, perkantoran, dan permukiman.

Pola sebaran spasial dari ketiga jenis tata guna lahan ini sangat berperan dalam menentukan pola perjalanan orang, terutama perjalanan dengan maksud bekerja. Tentu saja sebaran spasial untuk pertokoan dan areal pendidikan juga berperan. Tetapi, mengingat porsi keduanya tidak begitu signifikan, pola sebaran pertamalah yang sangat mempengaruhi pola perjalanan orang.

Sebagai contoh diambil pola penyebaran daerah perkantoran yang ada di DKI-Jakarta. Pusat perkantoran atau pusat lapangan kerja yang tertinggi jelas terdapat di sekitar segitiga emas dan di sepanjang koridor jalan utama yang mengarah keluar dari pusat perdagangan. Di sekeliling daerah yang tinggi jumlah kesempatan kerjanya tersebut terdapat daerah perumahan utama yang kesempatan kerjanya jauh lebih rendah.

Jika ditinjau lebih jauh terlihat bahwa makin jauh dari pusat kota, kesempatan kerja makin rendah, dan sebaliknya kepadatan perumahan makin tinggi. Tingkat perjalanan yang muncul dari setiap daerah ke arah pusat kota sebenarnya menunjukkan hubungan antara kepadatan penduduk dengan kesempatan kerja, yang kondisinya sangat tergantung pada jarak lokasi daerah yang bersangkutan ke pusat kota.

Pada lokasi yang kepadatan penduduknya lebih tinggi daripada kesempatan kerja yang tersedia, terjadi surplus penduduk, dan mereka harus melakukan perjalanan ke pusat kota untuk bekerja. Di sini terlihat bahwa makin jauh jarak dari pusat kota, makin banyak daerah perumahan dan makin sedikit kesempatan kerja yang berakibat makin banyak perjalanan yang terjadi antara daerah tersebut yang menuju pusat kota.

Kenyataan sederhana ini menentukan dasar ciri pola perjalanan orang di kota. Pada jam sibuk pagi hari akan terjadi arus lalulintas perjalanan orang menuju ke pusat kota dari sekitar daerah perumahan, sedangkan jam sibuk sore hari dicirikan oleh arus lalulintas perjalanan orang dari pusat kota ke sekitar daerah perumahan. Arus lalulintas ini persentasenya sekitar 50–70% dari total jumlah perjalanan harian yang dibangkitkan di dalam daerah perkotaan, dan karena itu merupakan faktor terpenting yang membentuk pola perjalanan orang di kota.

1.5.3.2 Pola perjalanan barang Berbeda dengan pola perjalanan orang, pola perjalanan barang sangat dipengaruhi oleh aktivitas produksi dan konsumsi, yang sangat tergantung pada sebaran pola tata guna lahan permukiman (konsumsi), serta industri dan pertanian (produksi). Selain itu, pola perjalanan barang sangat dipengaruhi oleh pola rantai distribusi yang menghubungkan pusat produksi ke daerah konsumsi.

Beberapa kajian menunjukkan bahwa 80% dari perjalanan barang yang dilakukan di kota menuju ke daerah perumahan; ini menunjukkan bahwa perumahan merupakan daerah konsumsi yang dominan. Meskipun demikian, perlu dicatat bahwa jumlah perjalanan yang besar itu hanya merupakan 20% dari total jumlah kilometer perjalanan. Hal ini menunjukkan bahwa pola perjalanan barang lebih didominasi oleh perjalanan menuju daerah lainnya, yaitu ke daerah pusat distribusi (pasar) atau ke daerah industri.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa ditinjau dari jumlah kilometer perjalanan, perjalanan barang menuju daerah dan dari daerah industri merupakan yang terbesar, yaitu perjalanan yang cukup panjang. Jadi, sangatlah jelas bahwa pola menyeluruh dari perjalanan barang sangat tergantung pada sebaran tata guna lahan yang berkaitan dengan daerah industri, daerah pertanian, dan daerah permukiman.

1.6 Campur tangan manusia pada sistem transportasi

Secara ekonomi, ketidakefisienan sistem transportasi atau permasalahan transportasi merupakan pemborosan besar. Amat banyak bahan bakar terbuang percuma akibat kendaraan terpaksa berjalan di bawah kecepatan optimum atau sering berhenti. Selain itu, ban dapat lebih cepat aus karena kendaraan terlalu sering direm, dan masih banyak persoalan lain yang dapat diungkapkan untuk membuktikan akibat negatif yang timbul oleh transportasi yang tidak direncanakan dengan baik.

Kegiatan manusia yang berbagai macam menyebabkan mereka perlu saling berhubungan. Untuk itu diperlukan alat perhubungan, salah satu di antaranya dan yang paling tua umurnya adalah transportasi. Jadi, transportasi bukanlah tujuan akhir, melainkan sekadar alat untuk melawan jarak. Dengan kemajuan teknologi, muncul berbagai macam atau bentuk alat transportasi untuk memenuhi berbagai keperluan.

Sarana transportasi (alat angkut) terus berkembang mengikuti fenomena baru yang timbul akibat penggalian sumber daya, seperti penemuan teknologi baru, perkembangan struktur masyarakat, dan peningkatan produksi. Keterlambatan perkembangan alat angkut akan menyebabkan tidak tercapainya maksud utama pembangunan nasional, yaitu menyejahterakan masyarakat.

Contohnya, untuk memanfaatkan sumber daya alam yang ada di pulau Sumatera harus dapat dibuat hubungan antara berbagai sumber alam tersebut dengan tempat pengolahan, dan kemudian dengan pasar; untuk ini diperlukan transportasi. Karena itulah pemanfaatan sumber daya alam bagi kesejahteraan masyarakat hanyalah angan-angan belaka selama transportasi untuk itu belum tersedia. Di sinilah diperlukan campur tangan manusia atau pemerintah pada sistem transportasi.

Pemerintah memiliki sejarah panjang dalam hal campur tangan dan prakarsa di bidang transportasi. Penjelasan mengenai hal ini tidak sulit diperoleh. Akan tetapi, tingkat keterlibatan pemerintah tersebut tumbuh seiring dengan meningkatnya kerumitan sistem transportasi dan peranannya dalam perekonomian nasional secara keseluruhan.

Selanjutnya, kebijakan sosial suatu pemerintah yang modern mempunyai dampak terhadap sistem transportasi nasional dan industri transportasi itu sendiri. Persoalan dasar transportasi sebenarnya sederhana, yaitu terlalu besarnya kebutuhan akan pergerakan dibandingkan dengan sistem prasarana transportasi yang tersedia. Karena itu, **Wells (1970)** menyatakan bahwa usaha pemecahannya tidak terlalu sulit. Yang mungkin dilakukan adalah:

1 membangun sistem prasarana transportasi dengan dimensi yang lebih besar sehingga kapasitasnya sesuai dengan atau melebihi kebutuhan;

2 mengurangi tuntutan akan pergerakan dengan mengurangi jumlah kendaraan pemakai jalan;

3 menggabungkan (**1**) dan (**2**), yaitu menggunakan sistem prasarana transportasi yang ada secara optimum, membangun sistem prasarana transportasi tambahan, dan sekaligus melakukan pengawasan dan pengendalian sejauh mungkin atas meningkatnya kebutuhan akan pergerakan.

Cara pertama tentu saja tak mungkin dilakukan terus menerus tanpa batas. Pada daerah yang sudah berkembang, bahkan pelebaran jalan saja pun hampir tidak mungkin karena biayanya terlalu mahal, tidak ekonomis, dan tidak jarang menimbulkan berbagai masalah sosial. Cara kedua, mengurangi atau membatasi jumlah kendaraan pun hampir tak mungkin dilakukan. Setiap orang berhak menikmati kesejahteraan dan tidak ada dasar hukum yang melarang orang memiliki kendaraan bermotor yang diperolehnya secara sah; pabrik kendaraan pun tak bisa diharapkan berhenti berproduksi. Karena itu, penanggulangan dengan mencari jalan tengah di antara kedua cara tersebut adalah cara yang pada umumnya ditempuh.

Secara umum bentuk campur tangan manusia pada sistem transportasi dimungkinkan dengan cara (lihat juga **LPM-ITB, 1996, 1997a**):

- mengubah teknologi transportasi
- mengubah teknologi informasi
- mengubah ciri kendaraan
- mengubah ciri ruas jalan
- mengubah konfigurasi jaringan transportasi
- mengubah kebijakan operasional dan organisasi
- mengubah kebijakan kelembagaan
- mengubah perilaku perjalanan
- mengubah pilihan kegiatan

1.7 Perencanaan transportasi sebagai bentuk campur tangan manusia

Seperti telah dikemukakan, sarana transportasi adalah salah satu dari sekian macam alat penghubung yang dimaksudkan untuk melawan jarak. Melawan jarak tidak lain adalah menyediakan sistem sarana dan prasarana transportasi, yaitu alat yang bergerak, menyediakan ruang untuk alat angkut tersebut, dan tempat berhentinya (untuk bongkar muat), mengatur kegiatan transportasi, menentukan tempat perhentian, lokasi untuk berproduksi dan mengkonsumsi, serta merencanakan semuanya untuk perkembangan selanjutnya. Pengembangan mengenai perencanaan itu disebut **perencanaan transportasi**.

Perencanaan transportasi merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari perencanaan kota atau perencanaan daerah. Rencana kota atau rencana daerah tanpa mempertimbangkan keadaan dan pola transportasi yang akan terjadi sebagai akibat rencana itu sendiri akan menghasilkan kesemrawutan lalulintas di kemudian hari. Keadaan ini akan membawa akibat berantai cukup panjang dengan meningkatnya jumlah kecelakaan, pelanggaran lalulintas, menurunnya sopan santun berlalulintas, dan lain-lain.

Dalam kaitan antara perencanaan transportasi dan perencanaan kota, maka menetapkan suatu bagian kawasan kota menjadi tempat kegiatan tertentu (misalnya kawasan perumahan mewah Pondok Indah atau kawasan Industri Pulo Gadung di DKI-Jakarta) bukanlah sekadar memilih lokasi. Pada akhirnya, dalam perencanaan tata guna lahan untuk perkotaan harus diperhitungkan lalulintas yang bakal terjadi akibat penetapan lokasi itu sendiri, lalulintas di kawasan itu sendiri, serta lalulintas antara kawasan itu dengan kawasan lain yang sudah ada lebih dahulu.

Perencanaan transportasi itu sendiri dapat didefinisikan sebagai **suatu proses yang tujuannya mengembangkan sistem transportasi yang memungkinkan manusia dan barang bergerak atau berpindah tempat dengan aman dan murah** (**Pignataro, 1973**). Selain itu, sebenarnya masih ada unsur ‘cepat’; jadi, selain aman dan murah, transportasi juga harus cepat. Bahkan untuk memindahkan manusia, selain cepat, aman, dan murah, sistem transportasi harus pula nyaman.

Perencanaan transportasi ini merupakan proses yang dinamis dan harus tanggap terhadap perubahan tata guna lahan, keadaan ekonomi, dan pola arus lalulintas. Modal yang dikeluarkan untuk menerapkan sistem transportasi sangat besar sehingga mungkin saja terjadi perubahan yang radikal atas tata guna lahan tempat sistem prasarana transportasi dibangun karena pemakai lahan mengharapkan mendapatkan keuntungan atas pembangunan prasarana tersebut.

Perlu dicatat bahwa proses perencanaan transportasi dipengaruhi secara langsung oleh ada tidaknya pengawasan atas pola dan sistem kegiatan manusia, yang biasanya dicerminkan dengan pola tata guna lahan. Misalnya, pada keadaan tanpa pengawasan tata guna lahan, maka jaringan transportasi dengan sendirinya akan menjadi penentu yang kuat bagi peruntukan tata guna lahan tersebut. Jadi, harus direncanakan dengan memperhatikan dampaknya. Hal seperti ini akan terjadi di

negara sedang berkembang yang pertumbuhannya berjalan cepat dan tidak terpengaruh oleh kurangnya sarana pelayanan umum yang lain.

Apa pun asumsi yang dibuat tentang tata guna lahan, perencanaan transportasi akan mengusulkan untuk membuat jalan, jembatan, dan tempat parkir, serta membuat kebijakan dan peraturan yang diperlukan, misalnya tarif, pengendalian perparkiran, dan pembatasan lalulintas. Kekuatan hukum diperlukan bilamana suatu rencana diajukan. Di negara sedang berkembang, para pejabatnya kurang memiliki wewenang untuk memperoleh tanah guna membuat jalan, memungut ongkos parkir, mengadakan larangan beberapa jenis kendaraan yang datang dari jalan pribadi, atau mengawasi masalah perparkiran kendaraan pribadi.

Perencanaan transportasi tanpa pengendalian tata guna lahan adalah mubazir karena perencanaan transportasi pada dasarnya adalah usaha untuk mengantisipasi kebutuhan akan pergerakan di masa mendatang, dan faktor aktivitas yang dicanangkan (dan juga tata guna lahan) merupakan dasar analisisnya.

Jadi, bila tata guna lahan tidak bisa diawasi atau dikendalikan melalui tindakan hukum, maka perencanaan transportasi harus dimulai dari posisi antara yang diinginkan dan yang bisa berjalan wajar tanpa perencanaan. Contohnya adalah proses timbulnya pasar. Kebijakan yang mungkin bisa digunakan untuk mempengaruhi perkembangan tata guna lahan adalah (lihat juga **LPM-ITB, 1996, 1997a**):

1 memberikan rangsangan berbentuk uang untuk mereka yang dapat menciptakan lapangan kerja di daerah tertentu, dengan cara memberi hadiah atau pengurangan pajak kepada setiap pengusaha;

2 membebankan pajak yang lebih tinggi kepada pengusaha yang membangun daerah lain, selain yang ditunjuk;

3 menurunkan tarif umum untuk listrik, gas, air PAM, dan telepon untuk daerah yang sedang dibangun, dan menaikkan tarif tersebut untuk daerah yang tidak mendapat izin pembangunan lagi;

4 memberikan rangsangan berupa subsidi pembangunan dan penyewaan untuk bangunan industri, ruang perkantoran, dan pertokoan di daerah pembangunan;

5 memperbaiki jalan raya dan pelayanan transportasi yang lebih baik untuk menunjang daerah yang dibangun;

6 menerapkan pengaturan yang baik untuk merancang akses.

1.8 Pihak yang terlibat dalam perencanaan transportasi

Dalam kajian perencanaan transportasi, pihak yang terlibat sangatlah beragam di berbagai negara. Semuanya sangat tergantung pada sistem kelembagaan yang ada di negara yang bersangkutan, terutama kelembagaan yang menyelenggarakan atau bertanggung jawab terhadap pelaksanaan kajian perencanaan transportasi. Meskipun demikian, dalam kajian perencanaan transportasi biasanya ada tiga kelompok atau pihak yang terlibat, yaitu (lihat juga **LPM-ITB, 1996, 1997a**):

1 **penyelenggara kajian**, yaitu orang atau lembaga yang bertanggung jawab dalam pengambilan keputusan dari hasil kajian. Untuk proyek milik swasta, pihak yang dimaksud dapat berupa wakil perusahaan penyelenggara kajian, misalnya pengembang kawasan industri atau pemodal sistem prasarana transportasi.

2 **profesional atau pakar**, yaitu pihak yang bertanggung jawab terhadap pelaksanaan kajian. Pihak itu biasanya merupakan lembaga profesional (konsultan, pusat kajian, atau pusat penelitian).

3 **masyarakat**, yaitu mencakup sekelompok anggota masyarakat yang dipilih untuk mewakili masyarakat umum dalam proses pengkajian.

Dalam pelaksanaan kajian, pihak penyelenggara dan masyarakat selanjutnya berfungsi sebagai pihak yang mengawasi atau mengarahkan pelaksanaan kajian oleh pihak profesional. Biasanya tugas pengarahan ini dikelompokkan dalam tiga komite; setiap komite menangani tugas dan kepentingan yang berbeda. Misalnya, untuk kajian dengan skala yang cukup besar, komite yang dimaksud meliputi:

1 **komite eksekutif**, terdiri dari perwakilan dari pihak yang terlibat dalam pengambilan keputusan (misalnya menteri, direktur jenderal, kepala direktorat).

2 **komite pengarah teknis**, terdiri dari perwakilan penyelenggara kajian atau perwakilan dari lembaga terkait. Komite ini bersifat teknis, yaitu mampu mengarahkan kajian secara substansif. Karena itu, anggota komite ini terdiri dari orang yang mempunyai latar belakang yang cukup secara teknis, seperti ahli ekonomi, perencana, ahli teknik, dan manajer operasi.

3 **komite perwakilan masyarakat**, terdiri atas perwakilan dari kelompok kepentingan yang ada di masyarakat luas. Komite perwakilan masyarakat biasanya terisolasi dalam penyelenggaraan kajian yang dilakukan di negara Barat. Di Indonesia, partisipasi masyarakat luas belum begitu dikenal sehingga komite perwakilan masyarakat dalam pelaksanaan kajian perencanaan transportasi seperti ini jarang sekali terlihat.

2 Pendekatan perencanaan transportasi

2.1 Umum

Tujuan dasar para perencana transportasi adalah memperkirakan jumlah serta lokasi kebutuhan akan transportasi (misalnya menentukan total pergerakan, baik untuk angkutan umum maupun angkutan pribadi) pada masa mendatang atau pada tahun rencana yang akan digunakan untuk berbagai kebijakan investasi perencanaan transportasi. Agar lebih terarah dan jelas, penjelasan berikut akan diarahkan pada perencanaan transportasi di daerah perkotaan.

Terdapat beberapa skala atau periode waktu dalam perencanaan sistem transportasi perkotaan, yaitu: skala panjang, menengah, dan pendek. Jangka waktu perencanaan bisa sangat lama (misalnya 25 tahun) yang biasanya digunakan untuk perencanaan strategi pembangunan kota berjangka panjang. Strategi ini akan sangat dipengaruhi oleh perencanaan tata guna lahan dan perkiraan arus lalulintas dalam perencanaan ini biasanya dikategorikan berdasarkan moda dan rute. Kajian tersebut biasa dilakukan untuk merencanakan kota baru.

Kajian lainnya adalah kajian transportasi berskala pendek, dengan tahun rencana maksimum 5 tahun. Kajian ini biasanya berupa kajian manajemen transportasi yang lebih menekankan dampak kebijakan manajemen lalulintas terhadap perubahan rute suatu moda transportasi. Kajian tersebut pada dasarnya bersifat sangat teknis karena dampak tata guna lahan tidak begitu signifikan pada waktu yang sangat singkat.

Di antara kedua kajian tersebut terdapat kajian transportasi berskala menengah dengan umur perencanaan sekitar 10–20 tahun di masa mendatang. Kajian semacam ini telah dimulai sejak tahun 1950-an di Amerika Serikat, dilakukan minimal sekali pada hampir semua kota besar di Amerika Serikat dan di beberapa negara dunia ketiga. Di Indonesia, yaitu di DKI-Jakarta, Surabaya, Bandung, dan Medan telah pula dilakukan kajian semacam itu pada waktu 10 tahun belakangan ini.

Teori, model, dan metode yang digunakan dalam kajian transportasi berskala menengah merupakan topik utama buku ini. Buku ini menjelaskan hubungan dalam bentuk kuantitatif (model matematis) yang dapat digunakan untuk memperkirakan besarnya kebutuhan akan transportasi sebagai akibat adanya kegiatan yang dilakukan pada tata guna lahan. Hubungan dan model yang dikembangkan digunakan untuk lebih memahami hubungan yang terjadi dalam suatu kota, yaitu antara tata guna lahan (kegiatan), transportasi (jaringan), dan lalulintas (pergerakan). Model tersebut harus dengan mudah dapat dimodifikasi dan diperbaiki secara terus menerus. Hal ini sering dilakukan oleh pemerintah untuk meramalkan arus lalulintas yang nantinya menjadi dasar perencanaan investasi untuk suatu fasilitas transportasi yang baru.

2.2 Pendekatan sistem untuk perencanaan transportasi

Pendekatan sistem adalah pendekatan umum untuk suatu perencanaan atau teknik dengan menganalisis semua faktor yang berhubungan dengan permasalahan yang ada. Contohnya, kemacetan lokal yang disebabkan oleh penyempitan lebar jalan dapat dipecahkan dengan melakukan perbaikan secara lokal. Akan tetapi, hal ini mungkin menyebabkan permasalahan berikutnya yang timbul di tempat lain.

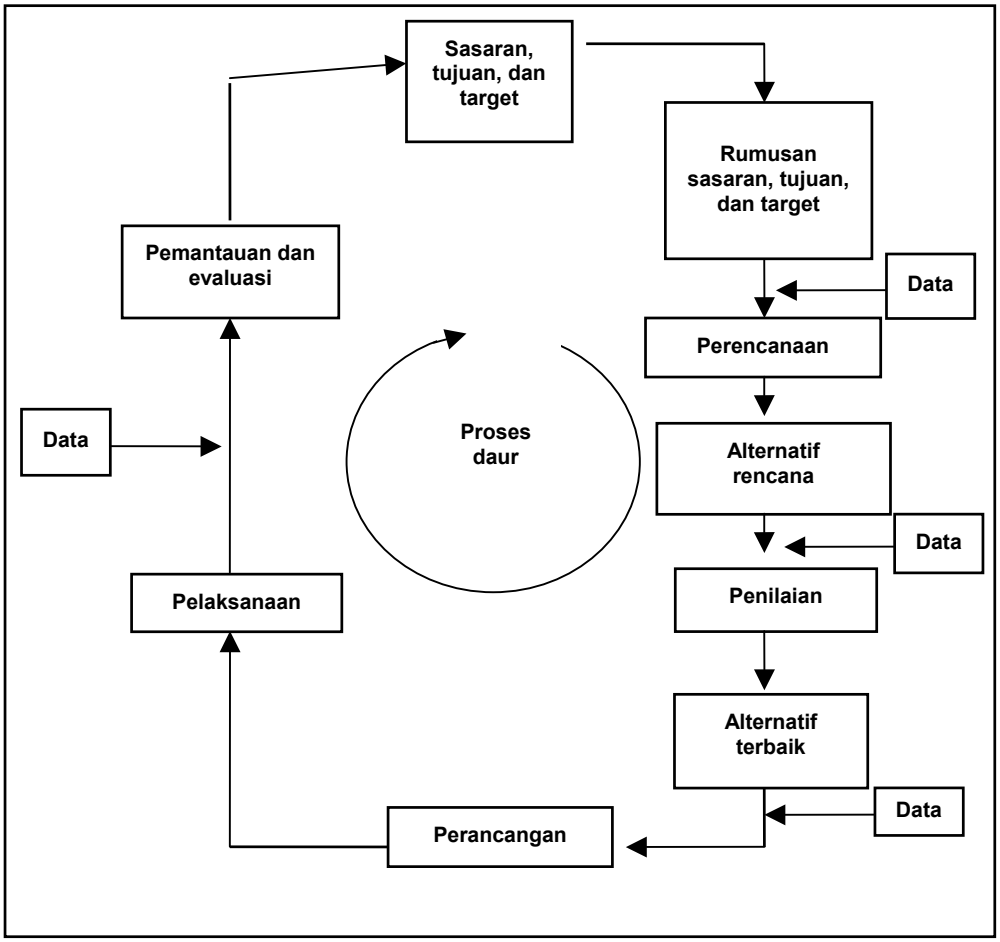
Pendekatan sistem akan dapat mengaitkan permasalahan yang ada, misalnya apakah permasalahan tersebut disebabkan karena terlalu banyaknya lalulintas di daerah tersebut? Jika memang demikian, pertanyaan berikutnya adalah mengapa lalulintas tersebut terlalu banyak? Jawabannya mungkin karena terlalu banyak kantor yang sangat berdekatan letaknya, atau mungkin juga karena ruang gerak yang sangat sempit bagi pergerakan lalulintas. Pemecahannya dapat berupa manajemen lalulintas secara lokal, pembangunan jalan baru, peningkatan pelayanan angkutan umum, atau perencanaan tata guna lahan yang baru. Pendekatan sistem mencoba menghasilkan pemecahan yang 'terbaik' dari beberapa alternatif pemecahan yang ada, tentunya dengan batasan tertentu (waktu dan biaya).

2.2.1 Pengertian sistem

Sistem adalah gabungan beberapa komponen atau objek yang saling berkaitan. Dalam setiap organisasi sistem, perubahan pada satu komponen dapat menyebabkan perubahan pada komponen lainnya. Dalam sistem mekanis, komponen berhubungan secara 'mekanis', misalnya komponen dalam mesin mobil. Dalam sistem 'tidak-mekanis', misalnya dalam interaksi sistem tata guna lahan dengan sistem jaringan transportasi, komponen yang ada tidak dapat berhubungan secara mekanis, akan tetapi perubahan pada salah satu komponen (sistem 'kegiatan') dapat menyebabkan perubahan pada komponen lainnya (sistem 'jaringan' dan sistem 'pergerakan'). Pada dasarnya, prinsip sistem 'mekanis' sama saja dengan sistem 'tidak-mekanis'.

Gambar 2.1 memperlihatkan beberapa komponen penting yang saling berhubungan dalam perencanaan transportasi, yang biasanya dikenal dengan **proses perencanaan**. Tampak bahwa proses perencanaan sebenarnya merupakan proses berdaur dan tidak pernah berhenti. Perubahan dalam suatu komponen pasti mengakibatkan perubahan pada komponen lainnya. Tahap awal proses perencanaan adalah perumusan atau kristalisasi sasaran, tujuan, dan target, termasuk mengidentifikasi permasalahan dan kendala yang ada.

Proses selanjutnya adalah mengumpulkan data untuk melihat kondisi yang ada dan hal ini sangat diperlukan untuk mengembangkan metode kuantitatif yang akan dipilih yang tentu harus sesuai dengan sistem yang ada. Proses peramalan sangat dibutuhkan untuk melihat perkiraan situasi pada masa mendatang dan merumuskan beberapa alternatif pemecahan masalah, termasuk standar perencanaan yang diteruskan dengan proses pemilihan alternatif terbaik. Untuk itu diperlukan suatu metode atau teknik penilaian yang cocok dalam proses pemilihan alternatif terbaik tersebut.

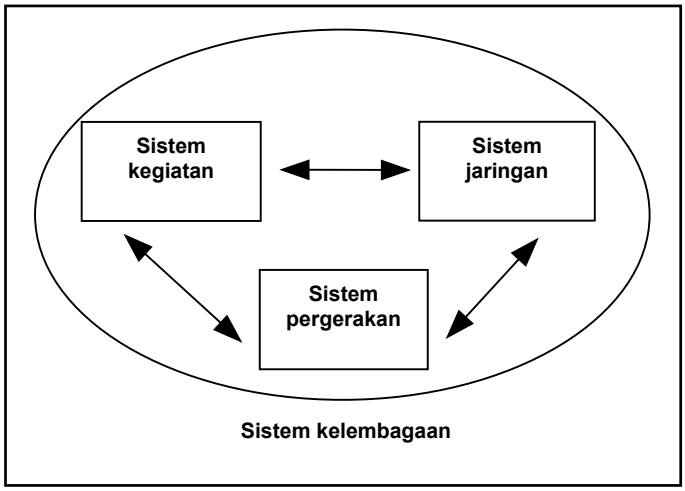


Gambar 2.1 Proses perencanaan
Sumber: Tamin (1988a)

Setelah alternatif terbaik didapatkan, dilakukan proses perancangan yang diteruskan dengan proses pelaksanaan. Setelah proses pelaksanaan, perlu dilakukan proses pengawasan dan evaluasi untuk melihat apakah tujuan perencanaan yang telah dirumuskan pada tahap awal telah tercapai. Jika tidak, mungkin perlu diubah rumusan tujuan dan sasaran yang ada yang secara otomatis pasti mempengaruhi proses perencanaan berikutnya. Proses daur tersebut terus berlangsung dan tidak pernah berhenti.

2.2.2 Sistem transportasi makro

Untuk lebih memahami dan mendapatkan alternatif pemecahan masalah yang terbaik, perlu dilakukan pendekatan secara sistem – sistem transportasi dijelaskan dalam bentuk sistem transportasi makro yang terdiri dari beberapa sistem transportasi mikro. Sistem transportasi secara menyeluruh (makro) dapat dipecahkan menjadi beberapa sistem yang lebih kecil (mikro) yang masing-masing saling terkait dan saling mempengaruhi seperti terlihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2
Sistem transportasi makro
Sumber: Tamin (1992b, 1993a, 1994b, 1995hjk)

Sistem transportasi mikro tersebut terdiri dari:

a sistem kegiatan

b sistem jaringan prasarana transportasi

c sistem pergerakan lalulintas

d sistem kelembagaan

Seperti kita ketahui, pergerakan lalulintas timbul karena adanya proses pemenuhan kebutuhan. Kita perlu bergerak karena kebutuhan kita tidak bisa dipenuhi di tempat kita berada. Setiap tata guna lahan atau **sistem kegiatan** (sistem mikro yang pertama) mempunyai jenis kegiatan tertentu yang akan **membangkitkan** pergerakan dan akan **menarik** pergerakan dalam proses pemenuhan kebutuhan.

Sistem tersebut merupakan sistem pola kegiatan tata guna lahan yang terdiri dari sistem pola kegiatan sosial, ekonomi, kebudayaan, dan lain-lain. Kegiatan yang timbul dalam sistem ini membutuhkan pergerakan sebagai alat pemenuhan kebutuhan yang perlu dilakukan setiap hari yang tidak dapat dipenuhi oleh tata guna lahan tersebut. Besarnya pergerakan sangat berkaitan erat dengan jenis dan intensitas kegiatan yang dilakukan.

Pergerakan yang berupa pergerakan manusia dan/atau barang tersebut jelas membutuhkan moda transportasi (sarana) dan media (prasarana) tempat moda transportasi tersebut bergerak. Prasarana transportasi yang diperlukan merupakan sistem mikro yang kedua yang biasa dikenal dengan **sistem jaringan** yang meliputi sistem jaringan jalan raya, kereta api, terminal bus dan kereta api, bandara, dan pelabuhan laut.

Interaksi antara sistem kegiatan dan sistem jaringan ini menghasilkan pergerakan manusia dan/atau barang dalam bentuk pergerakan kendaraan dan/atau orang (pejalan kaki). Suatu sistem mikro yang ketiga atau **sistem pergerakan** yang aman, cepat, nyaman, murah, handal, dan sesuai dengan lingkungannya dapat tercipta jika pergerakan tersebut diatur oleh sistem rekayasa dan manajemen lalulintas yang

baik. Permasalahan kemacetan yang sering terjadi di kota besar di Indonesia biasanya timbul karena kebutuhan akan transportasi lebih besar daripada prasarana transportasi yang tersedia, atau prasarana tersebut tidak dapat berfungsi sebagaimana mestinya.

Sistem kegiatan, sistem jaringan, dan sistem pergerakan akan saling mempengaruhi seperti terlihat pada gambar 2.2. Perubahan pada sistem kegiatan jelas akan mempengaruhi sistem jaringan melalui perubahan pada tingkat pelayanan pada sistem pergerakan. Begitu juga perubahan pada sistem jaringan akan dapat mempengaruhi sistem kegiatan melalui peningkatan mobilitas dan aksesibilitas dari sistem pergerakan tersebut.

Selain itu, sistem pergerakan memegang peranan penting dalam menampung pergerakan agar tercipta pergerakan yang lancar yang akhirnya juga pasti mempengaruhi kembali sistem kegiatan dan sistem jaringan yang ada dalam bentuk aksesibilitas dan mobilitas. Ketiga sistem mikro ini saling berinteraksi dalam sistem transportasi makro.

Sesuai dengan GBHN 1993, dalam usaha untuk menjamin terwujudnya sistem pergerakan yang aman, nyaman, lancar, murah, handal, dan sesuai dengan lingkungannya, maka dalam sistem transportasi makro terdapat sistem mikro tambahan lainnya yang disebut **sistem kelembagaan** yang meliputi individu, kelompok, lembaga, dan instansi pemerintah serta swasta yang terlibat secara langsung maupun tidak langsung dalam setiap sistem mikro tersebut. Di Indonesia, sistem kelembagaan yang berkaitan dengan masalah transportasi secara umum adalah sebagai berikut.

- **Sistem kegiatan**

  Bappenas, Bappeda Tingkat I dan II, Bangda, Pemda

- **Sistem jaringan**

  Departemen Perhubungan (Darat, Laut, Udara), Bina Marga

- **Sistem pergerakan**

  DLLAJ, Organda, Polantas, masyarakat

Bappenas, Bappeda, Bangda, dan Pemda memegang peranan yang sangat penting dalam menentukan sistem kegiatan melalui kebijakan baik yang berskala wilayah, regional, maupun sektoral. Kebijakan sistem jaringan secara umum ditentukan oleh Departemen Perhubungan baik darat, laut, maupun udara serta Departemen PU melalui Direktorat Jenderal Bina Marga. Sistem pergerakan ditentukan oleh DLLAJ, Organda, Polantas dan masyarakat sebagai pemakai jalan.

Kebijakan yang diambil tentunya dapat dilaksanakan dengan baik melalui peraturan yang secara tidak langsung juga memerlukan sistem penegakan hukum yang baik pula. Jadi, secara umum dapat dikatakan bahwa **pemerintah**, **swasta**, dan **masyarakat** berperan dalam mengatasi masalah sistem transportasi ini, terutama masalah kemacetan.

2.2.3 Sistem tata guna lahan–transportasi

Sistem transportasi perkotaan terdiri dari berbagai aktivitas seperti bekerja, sekolah, olahraga, belanja, dan bertamu yang berlangsung di atas sebidang tanah (kantor, pabrik, pertokoan, rumah, dan lain-lain). Potongan lahan ini biasa disebut tata guna lahan. Untuk memenuhi kebutuhannya, manusia melakukan perjalanan di antara tata guna lahan tersebut dengan menggunakan sistem jaringan transportasi (misalnya berjalan kaki atau naik bus). Hal ini menimbulkan pergerakan arus manusia, kendaraan, dan barang.

Pergerakan arus manusia, kendaraan, dan barang mengakibatkan berbagai macam interaksi. Terdapat interaksi antara pekerja dan tempat mereka bekerja, antara ibu rumah tangga dan pasar, antara pelajar dan sekolah, dan antara pabrik dan lokasi bahan mentah serta pasar. Beberapa interaksi dapat juga dilakukan dengan telepon atau surat (sangat menarik untuk diketahui bagaimana sistem telekomunikasi yang lebih murah dan lebih canggih dapat mempengaruhi kebutuhan lalulintas di masa mendatang). Akan tetapi, hampir semua interaksi memerlukan perjalanan, dan oleh sebab itu menghasilkan pergerakan arus lalulintas.

Sasaran umum perencanaan transportasi adalah membuat interaksi tersebut menjadi semudah dan seefisien mungkin. Cara perencanaan transportasi untuk mencapai sasaran umum itu antara lain dengan menetapkan kebijakan tentang hal berikut ini.

a **Sistem kegiatan** Rencana tata guna lahan yang baik (lokasi toko, sekolah, perumahan, pekerjaan, dan lain-lain yang benar) dapat mengurangi kebutuhan akan perjalanan yang panjang sehingga membuat interaksi menjadi lebih mudah. Perencanaan tata guna lahan biasanya memerlukan waktu cukup lama dan tergantung pada badan pengelola yang berwewenang untuk melaksanakan rencana tata guna lahan tersebut.

b **Sistem jaringan** Hal yang dapat dilakukan misalnya meningkatkan kapasitas pelayanan prasarana yang ada: melebarkan jalan, menambah jaringan jalan baru, dan lain-lain.

c **Sistem pergerakan** Hal yang dapat dilakukan antara lain mengatur teknik dan manajemen lalulintas (jangka pendek), fasilitas angkutan umum yang lebih baik (jangka pendek dan menengah), atau pembangunan jalan (jangka panjang).

Para pembaca yang berminat dan ingin mengetahui lebih lanjut mengenai alternatif pemecahan masalah transportasi di daerah perkotaan disarankan membaca bab 9.

Sebaran geografis antara tata guna lahan (sistem kegiatan) serta kapasitas dan lokasi dari fasilitas transportasi (sistem jaringan) digabungkan untuk mendapatkan arus dan pola pergerakan lalulintas di daerah perkotaan (sistem pergerakan). Besarnya arus dan pola pergerakan lalulintas sebuah kota dapat memberikan umpan-balik untuk menetapkan lokasi tata guna lahan yang tentu membutuhkan prasarana baru pula.

2.3 Analisis interaksi sistem kegiatan dengan sistem jaringan

Tujuan utama dilakukannya analisis interaksi sistem ini oleh para perencana transportasi adalah sebagai berikut:

a memahami cara kerja sistem tersebut,

b menggunakan hubungan analisis antara komponen sistem untuk meramalkan dampak lalulintas beberapa tata guna lahan atau kebijakan transportasi yang berbeda.

Hubungan dasar antara sistem kegiatan, sistem jaringan, dan sistem pergerakan dapat disatukan dalam beberapa urutan tahapan, yang biasanya dilakukan secara berurutan sebagai berikut.

a **Aksesibilitas dan mobilitas** Ukuran potensial atau kesempatan untuk melakukan perjalanan. Tahapan ini bersifat lebih abstrak jika dibandingkan dengan empat tahapan berikut, digunakan untuk mengalokasikan masalah yang terdapat dalam sistem transportasi dan mengevaluasi pemecahan alternatif.

b **Pembangkit lalulintas** Bagaimana perjalanan dapat bangkit dari suatu tata guna lahan atau dapat tertarik ke suatu tata guna lahan.

c **Sebaran penduduk** Bagaimana perjalanan tersebut disebarkan secara geografis di dalam daerah perkotaan (daerah kajian).

d **Pemilihan moda transportasi** Menentukan faktor yang mempengaruhi pemilihan moda transportasi untuk tujuan perjalanan tertentu.

e **Pemilihan rute** Menentukan faktor yang mempengaruhi pemilihan rute dari setiap zona asal dan ke setiap zona tujuan.

Perlu diketahui bahwa terdapat hubungan antara waktu tempuh, kapasitas, dan arus lalulintas – waktu tempuh sangat dipengaruhi oleh kapasitas rute yang ada dan jumlah arus lalulintas yang menggunakan rute tersebut.

Semua tindakan yang dilakukan pada setiap tahapan akan mempengaruhi tahapan lainnya dalam sistem tersebut. Pihak yang terlibat dalam sistem tersebut dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Profesi dan peubah yang dipengaruhi

Profesi	Peubah yang dipengaruhi
Perencana kota	Tata guna lahan
Pengelola angkutan umum	Transportasi (melayani bus dan kereta api)
Ahli lalulintas	Transportasi (manajemen lalulintas)
Ahli jalan raya	Transportasi (perbaikan jalan dan pembuatan jalan baru)

Sumber: Black (1981)

Perencana kota mengatur lokasi aktivitas suatu tata guna lahan agar dapat pula mengatur aksesibilitas kota tersebut. Hal ini pasti berdampak pada bangkitan dan tarikan lalulintas serta sebaran pergerakannya. Pengelola angkutan umum harus

memperhatikan kemampuannya untuk bisa mengatur pemilihan moda dengan mengatur operasi bus atau kereta api yang lebih cepat dan mempunyai frekuensi lebih tinggi.

Ahli lalulintas mencoba meningkatkan kecepatan lalulintas ini dan membuat perjalanan lebih aman dengan menyediakan beberapa sarana seperti marka, rambu, dan pengaturan persimpangan. Perubahan sistem transportasi ini akan berdampak baik pada tata guna lahan (dengan mengubah aksesibilitas dan mobilitas) serta arus lalulintas.

Ahli jalan raya selalu dicap sebagai orang yang 'berbahaya' dalam sistem transportasi, apalagi jika dia tidak waspada terhadap dampak pembangunan dalam bagian sistem tersebut. Ahli jalan raya biasanya mempunyai uang untuk membangun jalan. Oleh karena itu, dia berada pada posisi yang bisa membuat dampak besar dalam sistem tersebut. Jalan baru akan menghasilkan perubahan besar terhadap sebaran pergerakan, pemilihan moda dan rute, serta tata guna lahan (aksesibilitas). Ahli jalan raya harus waspada pada pengaruh jalan terhadap seluruh bagian sistem transportasi, termasuk seluruh sistem perkotaan di masa mendatang.

2.4 Aksesibilitas dan mobilitas

2.4.1 Apakah aksesibilitas dan mobilitas itu?

Aksesibilitas adalah konsep yang menggabungkan sistem pengaturan tata guna lahan secara geografis dengan sistem jaringan transportasi yang menghubungkannya. Aksesibilitas adalah suatu ukuran kenyamanan atau kemudahan mengenai cara lokasi tata guna lahan berinteraksi satu sama lain dan 'mudah' atau 'susah'nya lokasi tersebut dicapai melalui sistem jaringan transportasi (**Black, 1981**).

Pernyataan 'mudah' atau 'susah' merupakan hal yang sangat 'subjektif' dan 'kualitatif'. Mudah bagi seseorang belum tentu mudah bagi orang lain, begitu juga dengan pernyataan susah. Oleh karena itu, diperlukan kinerja kuantitatif (terukur) yang dapat menyatakan aksesibilitas atau kemudahan. Sedangkan mobilitas adalah suatu ukuran kemampuan seseorang untuk bergerak yang biasanya dinyatakan dari kemampuannya membayar biaya transportasi.

Ada yang menyatakan bahwa aksesibilitas dapat dinyatakan dengan jarak. Jika suatu tempat berdekatan dengan tempat lainnya, dikatakan aksesibilitas antara kedua tempat tersebut tinggi. Sebaliknya, jika kedua tempat itu sangat berjauhan, aksesibilitas antara keduanya rendah. Jadi, tata guna lahan yang berbeda pasti mempunyai aksesibilitas yang berbeda pula karena aktivitas tata guna lahan tersebut tersebar dalam ruang secara tidak merata (heterogen).

Akan tetapi, peruntukan lahan tertentu seperti bandara, lokasinya tidak bisa sembarangan dan biasanya terletak jauh di luar kota (karena ada batasan dari segi keamanan, pengembangan wilayah, dan lain-lain). Dikatakan aksesibilitas ke bandara tersebut pasti akan selalu rendah karena letaknya yang jauh di luar kota. Namun, meskipun letaknya jauh, aksesibilitas ke bandara dapat ditingkatkan dengan

menyediakan sistem jaringan transportasi yang dapat dilalui dengan kecepatan tinggi sehingga waktu tempuhnya menjadi pendek.

Oleh sebab itu, penggunaan 'jarak' sebagai ukuran aksesibilitas mulai diragukan orang dan mulai dirasakan bahwa penggunaan 'waktu tempuh' merupakan kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan 'jarak' dalam menyatakan aksesibilitas. Dapat disimpulkan bahwa suatu tempat yang berjarak jauh belum tentu dapat dikatakan mempunyai aksesibilitas rendah atau suatu tempat yang berjarak dekat mempunyai aksesibilitas tinggi karena terdapat faktor lain dalam menentukan aksesibilitas yaitu waktu tempuh.

Beberapa jenis tata guna lahan mungkin tersebar secara meluas (perumahan) dan jenis lainnya mungkin berkelompok (pusat pertokoan). Beberapa jenis tata guna lahan mungkin ada di satu atau dua lokasi saja dalam suatu kota seperti rumah sakit, dan bandara. Dari sisi jaringan transportasi, kualitas pelayanan transportasi pasti juga berbeda-beda; sistem jaringan transportasi di suatu daerah mungkin lebih baik dibandingkan dengan daerah lainnya baik dari segi kuantitas (kapasitas) maupun kualitas (frekuensi dan pelayanan). Contohnya, pelayanan angkutan umum biasanya lebih baik di pusat perkotaan dan pada beberapa jalan utama transportasi dibandingkan dengan di daerah pinggiran kota.

Skema sederhana yang memperlihatkan kaitan antara berbagai hal yang diterangkan mengenai aksesibilitas dapat dilihat pada tabel 2.2 (**Black, 1981**).

Tabel 2.2 Klasifikasi tingkat aksesibilitas

Jarak	**Jauh**	Aksesibilitas rendah	Aksesibilitas menengah
	Dekat	Aksesibilitas menengah	Aksesibilitas tinggi
Kondisi prasarana		**Sangat jelek**	**Sangat baik**

Sumber: Black (1981)

Apabila tata guna lahan saling berdekatan dan hubungan transportasi antar tata guna lahan tersebut mempunyai kondisi baik, maka aksesibilitas tinggi. Sebaliknya, jika aktivitas tersebut saling terpisah jauh dan hubungan transportasinya jelek, maka aksesibilitas rendah. Beberapa kombinasi di antaranya mempunyai aksesibilitas menengah.

2.4.2 Hubungan transportasi

Tabel 2.2 menggunakan faktor 'hubungan transportasi' yang dapat diartikan dalam beberapa hal. Suatu tempat dikatakan 'aksesibel' jika sangat dekat dengan tempat lainnya, dan 'tidak aksesibel' jika berjauhan. Ini adalah konsep yang paling sederhana; hubungan transportasi (aksesibilitas) dinyatakan dalam bentuk 'jarak' (km).

Seperti telah dijelaskan, jarak merupakan peubah yang tidak begitu cocok dan diragukan. Jika sistem transportasi antara kedua buah tempat diperbaiki (disediakan jalan baru atau pelayanan bus baru), maka hubungan transportasi dapat dikatakan akan lebih baik karena waktu tempuhnya akan lebih singkat. Hal ini sudah jelas berkaitan dengan kecepatan sistem jaringan transportasi tersebut. Oleh karena itu,

‘waktu tempuh’ menjadi ukuran yang lebih baik dan sering digunakan untuk aksesibilitas.

Selanjutnya, misalkan terdapat pelayanan bus yang baik antara dua tempat dalam suatu daerah perkotaan. Akan tetapi, bagi orang miskin yang tidak mampu membeli karcis, aksesibilitas antara kedua lokasi tersebut tetap rendah. Jadi, ‘biaya perjalanan’ (Rp) menjadi ukuran yang lebih baik untuk aksesibilitas dibandingkan dengan jarak dan waktu tempuh. Mobil pribadi hanya akan dapat memperbaiki aksesibilitas dalam hal waktu bagi orang yang mampu membeli atau menggunakan mobil.

Dengan alasan di atas, moda dan jumlah transportasi yang tersedia dalam suatu kota merupakan hal yang penting untuk menerangkan aksesibilitas. Beberapa moda transportasi lebih cepat (waktu tempuh berkurang) dibandingkan dengan moda lain, dan mungkin juga ada yang lebih mahal.

Sudah cukup umum dalam beberapa kasus, terutama di negara Barat, untuk menggabungkan waktu dan biaya sebagai ukuran untuk hubungan transportasi, yang biasa disebut **biaya gabungan**. Biaya ini dinyatakan dalam bentuk nilai uang (Rp) yang terdiri dari jumlah biaya perjalanan (tiket, parkir, bensin, dan biaya operasi kendaraan lainnya) dan nilai waktu perjalanan. Sudah tentu, diperlukan cara tersendiri untuk menyatakan waktu dalam bentuk uang, dan beberapa penelitian telah dikembangkan untuk tujuan ini.

Secara umum diakui bahwa sangat sulit menentukan hal ini, khususnya di negara dunia ketiga. Beberapa penulis (seperti **Atkins, 1984**) berpendapat bahwa biaya gabungan adalah ukuran yang tidak cocok digunakan dalam beberapa hal karena tidak memperlihatkan perbedaan kepentingan antara waktu dan biaya secara terpisah. Ini mungkin berlaku dalam mengukur aksesibilitas; waktu biasanya merupakan ukuran yang terbaik, yang diatur berdasarkan setiap moda.

Akhirnya, hubungan transportasi dapat dinyatakan sebagai ukuran untuk memperlihatkan mudah atau sukarnya suatu tempat dicapai, dinyatakan dalam bentuk hambatan perjalanan. Semuanya selanjutnya dinyatakan dalam bentuk jarak, waktu, atau biaya.

Untuk meningkatkan aksesibilitas tata guna lahan yang akan terhubungkan oleh sistem jaringan transportasi, dilakukanlah investasi pembangunan sistem jaringan transportasi. Tetapi, meskipun tata guna lahan itu sudah mempunyai aksesibilitas yang tinggi (atau mudah dicapai) karena terhubungkan oleh sistem jaringan transportasi yang baik, belum tentu dapat menjamin mobilitas yang tinggi pula. Tidak akan ada artinya membangun sistem jaringan transportasi jika tidak dapat dinikmati karena orang tidak mampu membayar biaya transportasinya (tidak mempunyai mobilitas) sehingga investasi yang dibenamkan menjadi tidak akan ada artinya (mubazir).

Kemampuan seseorang membayar biaya transportasi sangat bervariasi, khususnya di Indonesia. Karena itu, dalam pengambilan kebijakan, pengembangan sistem jaringan transportasi harus diarahkan bukan saja pada peningkatan aksesibilitasnya tetapi harus pula dapat menjamin setiap orang mampu membayar biaya transportasinya dengan menyediakan banyak alternatif sistem jaringan transportasi.

2.4.3 Aksesibilitas berdasarkan tujuan dan kelompok sosial

Kelompok populasi yang berbeda, atau orang yang sama pada saat yang berbeda, akan tertarik pada aksesibilitas yang berbeda-beda. Keluarga, pada waktu yang berbeda-beda, tertarik akan aksesibilitas ke tempat pekerjaan, pendidikan, belanja, pelayanan kesehatan, dan fasilitas rekreasi. Pedagang akan lebih tertarik pada aksesibilitas untuk pelanggan, sedangkan industri lebih tertarik pada aksesibilitas untuk tenaga kerja dan bahan mentah.

Beberapa pertanyaan mengenai aksesibilitas untuk suatu daerah perkotaan dapat dilihat berikut ini (**Black**, **1977**), dengan contoh khusus untuk suatu daerah permukiman:

- berapa jarak ke tempat kerja, sekolah, dan lain-lain; dan bagaimana kondisi fasilitas sistem jaringan transportasinya (jalan, angkutan umum)?
- bagaimana keragaman aksesibilitas tersebut dilihat dari ciri sosio-ekonomi dari daerah yang berbeda-beda?
- apakah aksesibilitas yang baik akan mengurangi jumlah perjalanan ke beberapa lokasi aktivitas?
- bagaimana keragaman aksesibilitas dalam kelompok yang berbeda, misalnya orang tua dan anak muda yang bergantung pada ketersediaan angkutan umum?
- apakah ada kelompok lain yang mempunyai aksesibilitas rendah karena mereka tidak mempunyai sepeda motor? Dalam hal ini, konsep aksesibilitas dapat digunakan untuk menganalisis struktur suatu perkotaan dalam hal lokasi aktivitas yang mempunyai hubungan dengan lokasi perumahan. Evaluasi seperti ini telah dilakukan sesuai dengan permintaan pemerintah DKI-Jakarta (**Gakenheimer**, **1982**).
- bagaimana mengenai keseragaman daerah? (pertanyaan ini tidak begitu penting untuk daerah perkotaan).
- bagaimana kesejahteraan sosial, terutama untuk daerah perkotaan, yang memegang peranan yang sangat penting? **Gakenheimer** (**1982**) mengatakan bahwa hanya sedikit informasi yang didapat tentang aksesibilitas angkutan umum, terutama di luar DKI-Jakarta, terutama yang berkaitan dengan pentingnya orang berpendapatan rendah mendapatkan aksesibilitas yang cukup untuk mencapai tempat bekerja, fasilitas kesehatan, serta sarana sosial lainnya.
- bagaimana lokasi industri dan produktifitas daerah perkotaan? Aksesibilitas penting artinya bagi lokasi industri pada skala daerah dan nasional, tapi kurang begitu penting (dari sudut efisiensi dan produktivitas) dalam daerah perkotaan. Secara aksiomatis, kenyataannya sangat sederhana; produktivitas suatu daerah perkotaan dan pengembangan ekonominya dapat diperbaiki dengan tersedianya fasilitas transportasi yang baik (aksesibilitas yang baik) di dalam kota. Aksesibilitas yang baik lebih penting untuk kesejahteraan sosial dibandingkan dengan pengembangan ekonomi.

2.4.4 Aksesibilitas dalam model perkotaan

Setiap orang menginginkan aksesibilitas yang baik dan ini digunakan dalam beberapa model penentuan lokasi tata guna lahan di daerah perkotaan. Model yang terakhir dan banyak dikenal adalah model ***Lowry*** (**Lowry**, **1964**). Model ini mengasumsikan bahwa lokasi industri utama di daerah perkotaan harus ditentukan terlebih dahulu. Setelah itu, jumlah keluarga dapat diperkirakan dan lokasinya ditentukan berdasarkan aksesibilitas lokasi industri tersebut.

Jumlah sektor pelayanan kemudian dapat diperkirakan dari jumlah keluarga dan model tersebut, yang selanjutnya ditentukan lokasinya berdasarkan aksesibilitasnya terhadap lokasi perumahan. Dengan kata lain, dengan menentukan lokasi industri (lapangan kerja), lokasi lainnya (perumahan dan fasilitas pelayanan lainnya) dapat ditentukan oleh model dengan kriteria dasar aksesibilitas.

2.4.5 Pengukuran aksesibilitas di daerah perkotaan

Ukuran untuk menentukan besarnya hambatan pergerakan yang dapat digunakan untuk mengukur aksesibilitas telah didiskusikan. **Black and Conroy** (**1977**) membuat ringkasan tentang cara mengukur aksesibilitas di dalam daerah perkotaan. Yang paling mudah adalah mengasumsikan bahwa daerah perkotaan dipecah menjadi **N** zona, dan semua aktivitas terjadi di pusat zona.

Aktivitas diberi notasi ***A***. Aksesibilitas ***K*** untuk suatu zona adalah ukuran intensitas di lokasi tata guna lahan (misalnya jumlah lapangan kerja) pada setiap zona di dalam kota tersebut dan kemudahan untuk mencapai zona tersebut melalui sistem jaringan transportasi.

2.4.5.1 Ukuran grafis aksesibilitas Dapat dibuat sebaran frekuensi yang memperlihatkan jumlah kesempatan yang tersedia dalam jarak, waktu, dan biaya tertentu dari zona ***i***. Hal ini menunjukkan aksesibilitas zona ***i*** untuk aktivitas tertentu (misalnya pekerjaan). Sebaran ini dapat dibuat untuk setiap moda yang berbeda. Selain jumlah kesempatan, proporsi kesempatan yang ada dari kota tersebut dapat juga digunakan. Juga, selain sebaran frekuensi, sebaran frekuensi kumulatif (*ogive*) dapat juga digunakan.

2.4.5.2 Ukuran fisik aksesibilitas Yang paling terkenal adalah ukuran dari **Hansen** (**1959**). Dalam artikelnya *How Accessibility Shapes Land Use*, Hansen mengembangkan ukuran fisik mengenai aksesibilitas:

$$K_i = \sum_{d=1}^{N} \frac{A_d}{t_{id}} \tag{2.1}$$

K_i = aksesibilitas zona ***i*** ke zona lainnya (***d***)

A_d = ukuran aktivitas pada setiap zona ***d*** (misalnya jumlah lapangan kerja)

t_{id} = ukuran waktu atau biaya dari zona asal ***i*** ke zona tujuan ***d***

Banyak ukuran fisik untuk aksesibilitas lainnya ditentukan berdasarkan rumus di atas. Beberapa variasi, seperti oleh **Black and Conroy** (**1977**), mencoba menggabungkan ukuran grafis dengan ukuran fisik aksesibilitas.

2.4.5.3 Aksesibilitas perumahan sebagai fungsi tersedianya fasilitas transportasi Ukuran fisik aksesibilitas menerangkan struktur perkotaan secara spasial tanpa melihat adanya perbedaan yang disebabkan oleh keragaman moda transportasi yang tersedia, misalnya mobil dan angkutan umum. Mobil mempunyai aksesibilitas yang lebih baik daripada angkutan umum atau berjalan kaki. Banyak orang di daerah permukiman mempunyai akses yang baik dengan mobil atau sepeda motor dan banyak yang juga tergantung pada angkutan umum atau jalan. Jadi, aksesibilitas zona asal ***i*** dipengaruhi oleh proporsi orang yang menggunakan moda tertentu, dan harga ini dijumlahkan untuk semua moda transportasi yang ada untuk mendapatkan aksesibilitas zona. Prosedur ini dijelaskan secara lengkap oleh **Black and Conroy** (**1977**).

2.4.6 Aksesibilitas dan perilaku perjalanan

Aksesibilitas adalah ukuran untuk menghitung potensial perjalanan dibandingkan dengan jumlah perjalanan. Ukuran ini dapat digunakan untuk menghitung jumlah perjalanan yang sebenarnya berhubungan dengan potensial tersebut. Salah satu cara sederhana adalah dengan memperlihatkan secara grafis proporsi penghuni yang mencapai tujuannya dibandingkan dengan jumlah kumulatif aktivitas. Zona tujuan ***d*** diurut berdasarkan jarak, waktu, atau biaya yang semakin menjauh yang dipilih berdasarkan zona ***i***.

Hal ini dapat ditafsir untuk menunjukkan jumlah kesempatan yang sebenarnya didapat. Teknik ini dijelaskan secara rinci oleh **Black and Conroy** (**1977**). Hubungan antara aksesibilitas dan jumlah perjalanan sebenarnya membentuk dasar model *gravity* yang dapat digunakan untuk meramalkan arus lalulintas antarzona di dalam daerah perkotaan.

2.4.7 Contoh penggunaan aksesibilitas

Telah diterangkan bahwa aksesibilitas di daerah perkotaan digunakan sebagai ukuran struktur spasial suatu kota dan selanjutnya digunakan untuk mengevaluasi struktur tersebut dalam bentuk sosial. Beberapa contoh yang diberikan akan menjelaskan ini. Hasil kerja di Inggris (**Dallal**, **1980**) bertujuan untuk mengukur aksesibilitas angkutan umum di kota London. Tujuan utama penelitian ini adalah:

- untuk menunjukkan variasi aksesibilitas keluarga akan kebutuhan angkutan umum;
- untuk mengidentifikasi daerah yang perlu diperbaiki pelayanan angkutan umumnya;
- untuk menguji dampak perubahan pelayanan angkutan umum terhadap aksesibilitas. Apakah perubahan tersebut berhasil memperbaiki aksesibilitas?

Indeks aksesibilitas untuk angkutan umum didapatkan dengan mengkombinasikan jarak dari rumah ke tempat pemberhentian bus atau stasiun kereta api bawah tanah

terdekat, termasuk perkiraan waktu menunggu bus dan kereta api (yang tergantung dari frekuensi pelayanan). Perhatikan bahwa indeks aksesibilitas hanya memperhatikan waktu sebenarnya dari rumah sampai pada waktu menaiki bus atau kereta api, bukan sampai pada tujuan akhir.

Beberapa hasil diperlihatkan pada tabel 2.3–2.4 yang menunjukkan bahwa keluarga dengan aksesibilitas rendah terhadap angkutan umum biasanya berpendapatan rendah dan akan tetap berjalan kaki, bukan menggunakan bus atau kereta api bawah tanah.

Tabel 2.3 Hubungan antara aksesibilitas pendapatan keluarga dan persentase keluarga

Pendapatan per orang per tahun (1977) (£)	Keluarga dengan aksesibilitas rendah (%)	Keluarga dengan aksesibilitas tinggi (%)	Total keluarga (%)
0 – 499	6,9	2,9	5,1
500 – 999	33,6	22,1	28,9
1.000 – 1.499	30,5	25,0	25,8
1.500 – 1.999	10,7	16,2	12,1
2.000+	18,3	33,8	23,0
Total	**100,0**	**100,0**	**100,0**

Sumber: Dallal (1980)

Tabel 2.4 Pemilihan moda berdasarkan tujuan perjalanan (bekerja/belajar) dan persentase keluarga

Moda	Keluarga dengan aksesibilitas rendah (%)	Keluarga dengan aksesibilitas tinggi (%)	Total keluarga (%)
Mobil (penumpang)	4,6	2,4	4,0
Mobil (pengemudi)	14,3	15,2	14,7
Bus	38,5	48,2	43,7
Kereta api	2,9	0,6	1,5
Sepeda motor	1,6	1,8	1,3
Sepeda	2,0	3,7	2,5
Jalan kaki	36,2	28,0	32,3
Total	**100,0**	**100,0**	**100,0**

Sumber: Dallal (1980)

Black (**1979**) menekankan bahwa terdapat ketidaksamaan antara berbagai kota di Asia dari segi struktur fisik perkotaan, terutama perbedaan yang jelas antara daerah yang direncanakan dengan baik dan beberapa daerah kumuh. Sistem jaringan transportasi juga berbeda antara berbagai kota tersebut dan antara berbagai daerah di kota yang sama. **Black** (**1979**) juga mempertimbangkan cara menganalisis aksesibilitas untuk mempertimbangkan ciri sistem jaringan transportasi yang

berbeda di dalam dan antara berbagai kota (lihat tabel 2.5 mengenai aksesibilitas ke sekolah di DKI-Jakarta pada tahun 1979).

Tabel 2.5 menunjukkan waktu tempuh dan persentase pelajar yang berjalan kaki ke sekolah terdekat di enam daerah. Terlihat adanya keragaman yang berbeda, dengan rata-rata waktu tempuh sekitar 4 menit dari Cakung dan Tomang serta 20 menit dari Selong. Terdapat perubahan aksesibilitas untuk semua daerah jika angkutan umum digunakan.

Tabel 2.5 Persentase orang berjalan kaki dan waktu tempuhnya (aksesibilitas ke sekolah)

Daerah kajian	5 menit	10 menit	15 menit	20 menit	25 menit
Cakung	58	74	92	100	–
Tomang	55	66	84	100	–
Sunter	0	80	100	–	–
Gunung Sahari Utara	0	60	87	100	–
Menteng	17	42	65	92	100
Selong	0	0	38	60	100

Sumber: Black (1979)

Contohnya, di Gunung Sahari Utama, rata-rata waktu tempuh adalah berjalan kaki (13 menit), dengan becak dapat dikurangi menjadi 7 menit, dan dengan bemo menjadi 6 menit. Terdapat perbedaan yang besar dalam hal aksesibilitas ke sekolah di berbagai daerah antara orang yang mampu dan tidak mampu menggunakan angkutan umum. Di kota Bandung, **Marler** (**1985**) menunjukkan beberapa masalah aksesibilitas di beberapa kampung. Ternyata akses akan angkutan umum hanya mungkin untuk beberapa keluarga saja, dan pemilik sepeda motor mempunyai aksesibilitas tinggi. Hal ini karena sepeda motor lebih cepat dibandingkan dengan angkutan umum atau berjalan kaki. Selain itu, sepeda motor merupakan satu-satunya moda transportasi yang bisa langsung masuk sampai ke depan pintu rumah melalui jalan-jalan kampung yang sempit.

2.4.8 Ringkasan

Aksesibilitas adalah alat untuk mengukur potensial dalam melakukan perjalanan, selain juga menghitung jumlah perjalanan itu sendiri. Ukuran ini menggabungkan sebaran geografis tata guna lahan dengan kualitas sistem jaringan transportasi yang menghubungkannya. Dengan demikian, aksesibilitas dapat digunakan untuk menyatakan kemudahan suatu tempat untuk dicapai, sedangkan mobilitas untuk menyatakan kemudahan seseorang bergerak, yang dinyatakan dari kemampuannya membayar biaya transportasi.

Konsep aksesibilitas ini dapat juga digunakan untuk mendefinisikan suatu daerah di dalam suatu wilayah perkotaan atau suatu kelompok manusia yang mempunyai masalah aksesibilitas atau mobilitas terhadap aktivitas tertentu. Dalam hal ini, analisis aksesibilitas dapat digunakan untuk mengidentifikasi masalah yang perlu dipecahkan dan mengevaluasi rencana dan kebijakan pemecahan masalah selanjutnya.

Investasi yang dibenamkan untuk pembangunan sistem jaringan transportasi pada dasarnya bertujuan meningkatkan aksesibilitas dari tata guna lahan yang terhubungkan oleh jaringan jalan tersebut. Tetapi, aksesibilitas yang dihasilkan menjadi tidak ada artinya (mubazir) jika seseorang tidak mampu membayar biaya transportasinya. Baginya, investasi yang dibenamkan dalam pembangunan sistem jaringan tersebut menjadi tidak ada artinya sama sekali.

2.5 Konsep perencanaan transportasi

Terdapat beberapa konsep perencanaan transportasi yang telah berkembang sampai dengan saat ini – yang paling populer adalah '**Model Perencanaan Transportasi Empat Tahap**'. Model perencanaan ini merupakan gabungan dari beberapa seri submodel yang masing-masing harus dilakukan secara terpisah dan berurutan. Submodel tersebut adalah:

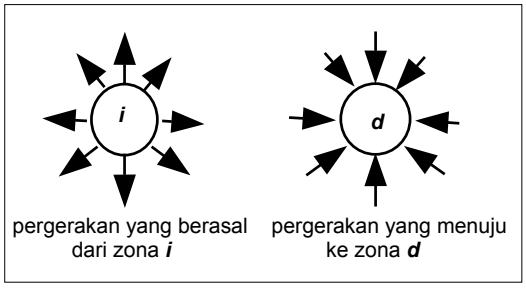
- aksesibilitas
- bangkitan dan tarikan pergerakan
- sebaran pergerakan
- pemilihan moda
- pemilihan rute
- arus lalulintas dinamis

2.5.1 Bangkitan dan tarikan pergerakan

2.5.1.1 Umum Bangkitan pergerakan adalah tahapan pemodelan yang memperkirakan jumlah pergerakan yang berasal dari suatu zona atau tata guna lahan dan jumlah pergerakan yang tertarik ke suatu tata guna lahan atau zona. Pergerakan lalulintas merupakan fungsi tata guna lahan yang menghasilkan pergerakan lalulintas. Bangkitan lalulintas ini mencakup:

- lalulintas yang meninggalkan suatu lokasi
- lalulintas yang menuju atau tiba ke suatu lokasi.

Bangkitan dan tarikan pergerakan terlihat secara diagram pada gambar 2.3 (**Wells**, **1975**).



Gambar 2.3
Bangkitan dan tarikan pergerakan

Hasil keluaran dari perhitungan bangkitan dan tarikan lalulintas berupa jumlah kendaraan, orang, atau angkutan barang per satuan waktu, misalnya kendaraan/jam. Kita dapat dengan mudah menghitung jumlah orang atau kendaraan yang masuk atau keluar dari suatu luas tanah tertentu dalam satu hari (atau satu jam) untuk mendapatkan bangkitan dan tarikan pergerakan. Bangkitan dan tarikan lalulintas tersebut tergantung pada dua aspek tata guna lahan:

- jenis tata guna lahan dan
- jumlah aktivitas (dan intensitas) pada tata guna lahan tersebut.

2.5.1.2 Jenis tata guna lahan Jenis tata guna lahan yang berbeda (permukiman, pendidikan, dan komersial) mempunyai ciri bangkitan lalulintas yang berbeda:

- jumlah arus lalulintas;
- jenis lalulintas (pejalan kaki, truk, mobil);
- lalulintas pada waktu tertentu (kantor menghasilkan arus lalulintas pada pagi dan sore hari, sedangkan pertokoan menghasilkan arus lalulintas di sepanjang hari).

Jumlah dan jenis lalulintas yang dihasilkan oleh setiap tata guna lahan merupakan hasil dari fungsi parameter sosial dan ekonomi; seperti contoh di Amerika Serikat (**Black**, **1978**):

- 1 ha perumahan menghasilkan 60–70 pergerakan kendaraan per minggu;
- 1 ha perkantoran menghasilkan 700 pergerakan kendaraan per hari; dan
- 1 ha tempat parkir umum menghasilkan 12 pergerakan kendaraan per hari.

Beberapa contoh lain (juga di Amerika Serikat) diberikan dalam tabel 2.6.

Tabel 2.6 Bangkitan dan tarikan pergerakan dari beberapa aktivitas tata guna lahan

Deskripsi aktivitas tata guna lahan	Rata-rata jumlah pergerakan kendaraan per 100 m^2	Jumlah kajian
Pasar swalayan	136	3
Pertokoan lokal*	85	21
Pusat pertokoan**	38	38
Restoran siap santap	595	6
Restoran	60	3
Gedung perkantoran	13	22
Rumah sakit	18	12
Perpustakaan	45	2
Daerah industri	5	98

*4.645–9.290 (m^2) **46.452–92.903 (m^2)
Sumber: Black (1978)

2.5.1.3 Intensitas aktivitas tata guna lahan Bangkitan pergerakan bukan saja beragam dalam jenis tata guna lahan, tetapi juga tingkat aktivitasnya. Semakin tinggi tingkat penggunaan sebidang tanah, semakin tinggi pergerakan arus lalulintas yang dihasilkannya. Salah satu ukuran intensitas aktivitas sebidang tanah adalah kepadatannya. Tabel 2.7 memperlihatkan bangkitan lalulintas dari suatu daerah permukiman yang mempunyai tingkat kepadatan berbeda di Inggris (**Black, 1978**).

Tabel 2.7 Bangkitan lalulintas, jenis perumahan dan kepadatannya

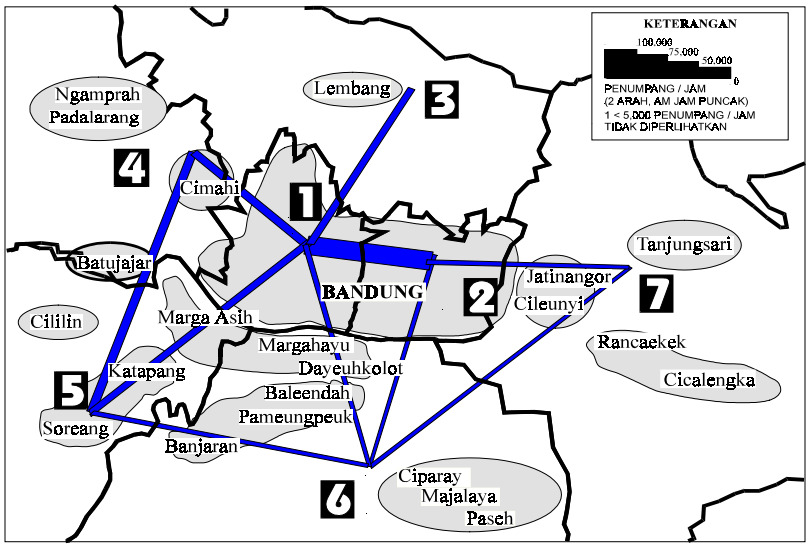
Jenis perumahan	Kepadatan permukiman (keluarga/ha)	Pergerakan per hari	Bangkitan pergerakan per ha
Permukiman di luar kota	15	10	150
Permukiman di batas kota	45	7	315
Unit rumah	80	5	400
Flat tinggi	100	5	500

Sumber: Black (1978)

Walaupun arus lalulintas terbesar yang dibangkitkan berasal dari daerah permukiman di luar kota, bangkitan lalulintasnya terkecil karena intensitas aktivitasnya (dihitung dari tingkat kepadatan permukiman) paling rendah. Karena bangkitan lalulintas berkaitan dengan jenis dan intensitas perumahan, hubungan antara bangkitan lalulintas dan kepadatan permukiman menjadi tidak linear.

2.5.2 Sebaran pergerakan

2.5.2.1 Umum Tahap ini merupakan tahap ketiga dari lima tahap yang menghubungkan interaksi antara tata guna lahan, jaringan tranportasi, dan arus lalulintas. Pola spasial arus lalulintas adalah fungsi dari tata guna lahan dan sistem jaringan transportasi.



Gambar 2.4 Pola pergerakan kendaraan di kota Bandung
Sumber: Tamin (1994d, 1995acde)

Gambar 2.4 memperlihatkan pola spasial pergerakan kendaraan di kota Bandung (**Tamin**, **1995c**). Ketebalan garis menunjukkan jumlah arus kendaraan dan panjang garis menunjukkan jarak antarzona yang dihubungkan. Gambar 2.4 ini dikenal dengan gambar garis keinginan karena menunjukkan arah pergerakan arus lalulintas, tetapi tidak menunjukkan rute pergerakan yang sebenarnya digunakan.

Pola sebaran arus lalulintas antara zona asal ***i*** ke zona tujuan ***d*** adalah hasil dari dua hal yang terjadi secara bersamaan, yaitu lokasi dan intensitas tata guna lahan yang akan menghasilkan arus lalulintas, dan pemisahan ruang, interaksi antara dua buah tata guna lahan yang akan menghasilkan pergerakan manusia dan/atau barang. Contohnya, pergerakan dari rumah (permukiman) ke tempat bekerja (kantor, industri) yang terjadi setiap hari.

2.5.2.2 Pemisahan ruang Jarak antara dua buah tata guna lahan merupakan batas pergerakan. Jarak yang jauh atau biaya yang besar akan membuat pergerakan antara dua buah tata guna lahan menjadi lebih sulit (aksesibilitas rendah). Oleh karena itu, pergerakan arus lalulintas cenderung meningkat jika jarak antara kedua zonanya semakin dekat. Hal ini juga menunjukkan bahwa orang lebih menyukai perjalanan pendek daripada perjalanan panjang. Pemisahan ruang tidak hanya ditentukan oleh jarak, tetapi oleh beberapa ukuran lain, misalnya hambatan perjalanan yang diukur dengan waktu dan biaya yang diperlukan.

2.5.2.3 Intensitas tata guna lahan Makin tinggi tingkat aktivitas suatu tata guna lahan, makin tinggi pula tingkat kemampuannya dalam menarik lalulintas. Contohnya, pasar swalayan menarik arus pergerakan lalulintas lebih banyak dibandingkan dengan rumah sakit untuk luas lahan yang sama (lihat tabel 2.6) karena aktivitas di pasar swalayan lebih tinggi per satuan luas lahan dibandingkan dengan di rumah sakit.

2.5.2.4 Pemisahan ruang dan intensitas tata guna lahan Daya tarik suatu tata guna lahan akan berkurang dengan meningkatnya jarak (dampak pemisahan ruang). Tata guna lahan cenderung menarik pergerakan lalulintas dari tempat yang lebih dekat dibandingkan dengan dari tempat yang lebih jauh. Pergerakan lalulintas yang dihasilkan juga akan lebih banyak yang berjarak pendek daripada yang berjarak jauh. Interaksi antardaerah sebagai fungsi dari intensitas setiap daerah dan jarak antara kedua daerah tersebut dapat dilihat pada tabel 2.8.

Tabel 2.8 Interaksi antardaerah

Jarak	**Jauh**	Interaksi dapat diabaikan	Interaksi rendah	Interaksi menengah
	Dekat	Interaksi rendah	Interaksi menengah	Interaksi sangat tinggi
Intensitas tata guna lahan antara dua zona		**Kecil–Kecil**	**Kecil–Besar**	**Besar–Besar**

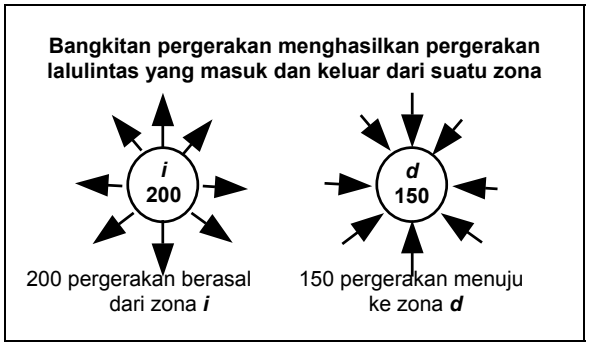
Sumber: Black (1981)

Jaringan transportasi dapat menyediakan sarana untuk memecahkan masalah jarak tersebut (misalnya perbaikan sistem jaringan transportasi akan mengurangi waktu tempuh dan biaya sehingga membuat seakan-akan jarak antara kedua tata guna lahan atau aktivitas tersebut menjadi semakin dekat).

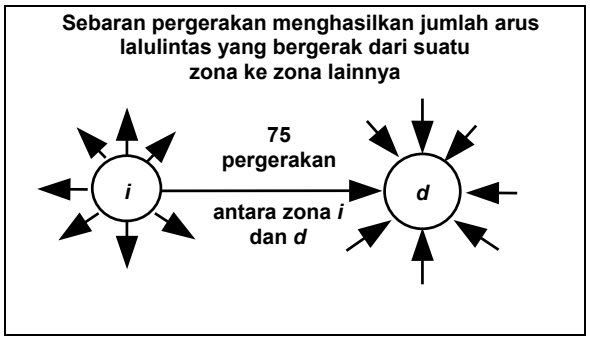
Sistem transportasi dapat mengurangi hambatan pergerakan dalam ruang, tetapi tidak mengurangi jarak. Jarak hanya bisa diatasi dengan memperbaiki sistem jaringan transportasi. Oleh karena itu, jumlah pergerakan lalulintas antara dua buah tata guna lahan tergantung dari intensitas kedua tata guna lahan dan pemisahan ruang (jarak, waktu, dan biaya) antara kedua zonanya. Sehingga, arus lalulintas antara dua buah tata guna lahan mempunyai korelasi positif dengan intensitas tata guna lahan dan korelasi negatif dengan jarak.

2.5.3 Bangkitan dan sebaran pergerakan

Telah dijelaskan bahwa jenis dan intensitas tata guna lahan berpengaruh pada jumlah bangkitan lalulintas sehingga jelaslah bahwa bangkitan pergerakan sangat berkaitan dengan sebaran pergerakan. Bangkitan pergerakan memperlihatkan banyaknya lalulintas yang dibangkitkan oleh setiap tata guna lahan, sedangkan sebaran pergerakan menunjukkan ke mana dan dari mana lalulintas tersebut. Ilustrasinya terlihat pada gambar 2.5–2.6 (**Wells**, **1975**).



Gambar 2.5
Bangkitan pergerakan
Sumber: Wells (1975)



Gambar 2.6
Sebaran pergerakan antar dua buah zona
Sumber: Wells (1975)

2.5.4 Pemilihan moda transportasi dan rute

2.5.4.1 Pemilihan moda transportasi Jika interaksi terjadi antara dua tata guna lahan di suatu kota, seseorang akan memutuskan bagaimana interaksi tersebut harus dilakukan. Dalam kebanyakan kasus, pilihan pertama adalah dengan menggunakan

telepon (atau pos) karena hal ini akan dapat menghindari terjadinya perjalanan. Akan tetapi, sering interaksi mengharuskan terjadinya perjalanan. Dalam kasus ini, keputusan harus ditentukan dalam hal pemilihan moda. Secara sederhana moda berkaitan dengan jenis transportasi yang digunakan. Pilihan pertama biasanya berjalan kaki atau menggunakan kendaraan. Jika menggunakan kendaraan, pilihannya adalah kendaraan pribadi (sepeda, sepeda motor, mobil) atau angkutan umum (bus, becak dan lain-lain). Jika angkutan umum yang digunakan, jenisnya bermacam-macam – oplet, kereta api, becak, dan lain-lain.

Dalam beberapa kasus, mungkin terdapat sedikit pilihan atau tidak ada pilihan sama sekali. Orang miskin mungkin tidak mampu membeli sepeda atau membayar biaya transportasi sehingga mereka biasanya berjalan kaki. Sementara itu, keluarga berpenghasilan kecil yang tidak mempunyai mobil atau sepeda motor biasanya menggunakan angkutan umum. Selanjutnya, seandainya keluarga tersebut mempunyai sepeda, jika harus berpergian jauh tentu menggunakan angkutan umum.

Orang yang hanya mempunyai satu pilihan moda saja disebut dengan *captive* terhadap moda tersebut. Jika terdapat lebih dari satu moda, moda yang dipilih biasanya yang mempunyai rute terpendek, tercepat, atau termurah, atau kombinasi dari ketiganya. Faktor lain yang mempengaruhi adalah ketidaknyamanan dan keselamatan. Hal seperti ini harus dipertimbangkan dalam pemilihan moda.

2.5.4.2 Pemilihan rute Semua yang telah diterangkan dalam pemilihan moda juga dapat digunakan untuk pemilihan rute. Untuk angkutan umum, rute ditentukan berdasarkan moda transportasi (bus dan kereta api mempunyai rute yang tetap). Dalam kasus ini, pemilihan moda dan rute dilakukan bersama-sama. Untuk kendaraan pribadi, diasumsikan bahwa orang akan memilih moda transportasinya dulu, baru rutenya.

Seperti pemilihan moda, pemilihan rute tergantung pada alternatif terpendek, tercepat, dan termurah, dan juga diasumsikan bahwa pemakai jalan mempunyai informasi yang cukup (misalnya tentang kemacetan jalan) sehingga mereka dapat menentukan rute yang terbaik.

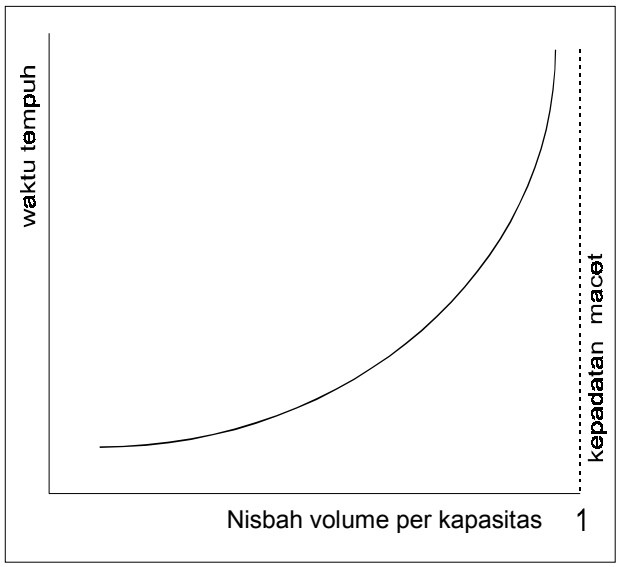
2.5.5 Arus lalulintas dinamis (arus pada jaringan jalan)

Arus lalulintas berinteraksi dengan sistem jaringan transportasi. Jika arus lalulintas meningkat pada ruas jalan tertentu, waktu tempuh pasti bertambah (karena kecepatan menurun). Arus maksimum yang dapat melewati suatu ruas jalan biasa disebut kapasitas ruas jalan tersebut. Arus maksimum yang dapat melewati suatu titik (biasanya pada persimpangan dengan lampu lalulintas biasa disebut arus jenuh.

Kapasitas suatu jalan dapat didefinisikan dengan beberapa cara. Salah satunya (*Highway Capacity Manual* [**HRB**, **1965**]) adalah:

> *'... the maximum number of vehicles that can pass in a given period of time…'*
>
> ('... jumlah kendaraan maksimum yang dapat bergerak dalam periode waktu tertentu …')

Kapasitas ruas jalan perkotaan biasanya dinyatakan dengan kendaraan (atau dalam Satuan Mobil Penumpang/SMP) per jam. Hubungan antara arus dengan waktu tempuh (atau kecepatan) tidaklah linear. Penambahan kendaraan tertentu pada saat arus rendah akan menyebabkan penambahan waktu tempuh yang kecil jika dibandingkan dengan penambahan kendaraan pada saat arus tinggi. Hal ini menyebabkan fungsi arus mempunyai bentuk umum seperti gambar 2.7 (**Black**, **1981**).



Gambar 2.7
Hubungan antara nilai nisbah volume per kapasitas dengan waktu tempuh

Terlihat bahwa kurva mempunyai asimtot pada saat arus mencapai kapasitas (atau nilai Nisbah Volume per Kapasitas/**NVK** mendekati satu). Secara sederhana, kapasitas tak akan pernah tercapai dan waktu tempuh akan meningkat pesat pada saat arus lalulintas mendekati kapasitas. Secara realita, arus tidak akan beroperasi dengan kondisi sesederhana ini.

Oleh sebab itu, modifikasi terhadap teori dasar harus dilakukan. Jika arus lalulintas mendekati kapasitas, kemacetan mulai terjadi. Kemacetan semakin meningkat apabila arus begitu besarnya sehingga kendaraan sangat berdekatan satu sama lain. Kemacetan total terjadi apabila kendaraan harus berhenti atau bergerak sangat lambat.

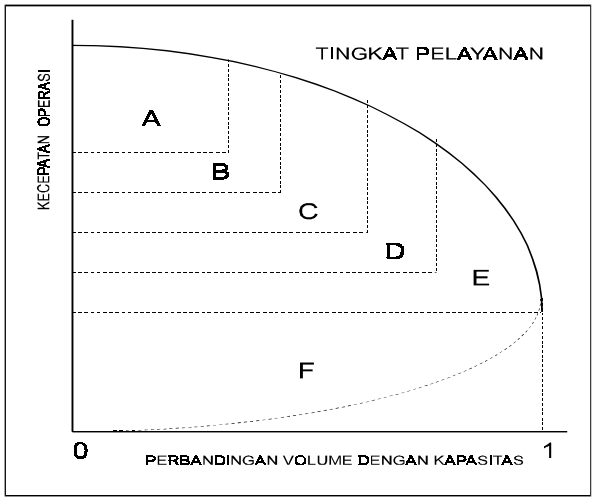
2.5.6 Tingkat pelayanan

Terdapat dua buah definisi tentang tingkat pelayanan suatu ruas jalan yang perlu dipahami.

2.5.6.1 Tingkat pelayanan (tergantung-arus) Hal ini berkaitan dengan kecepatan operasi atau fasilitas jalan, yang tergantung pada perbandingan antara arus terhadap kapasitas. Oleh karena itu, tingkat pelayanan pada suatu jalan tergantung pada arus lalulintas. Definisi ini digunakan oleh *Highway Capacity Manual*, diilustrasikan dengan gambar 2.8 yang mempunyai enam buah tingkat pelayanan, yaitu:

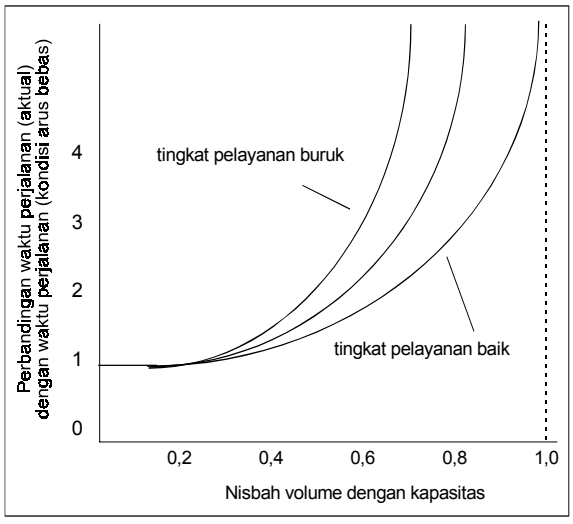
- Tingkat pelayanan A – arus bebas
- Tingkat pelayanan B – arus stabil (untuk merancang jalan antarkota)
- Tingkat pelayanan C – arus stabil (untuk merancang jalan perkotaan)
- Tingkat pelayanan D – arus mulai tidak stabil
- **Tingkat pelayanan E – arus tidak stabil (tersendat-sendat)**
- Tingkat pelayanan F – arus terhambat (berhenti, antrian, macet)

Konsep Amerika sudah sangat umum digunakan untuk menyatakan tingkat pelayanan.



Gambar 2.8
Tingkat pelayanan

2.5.6.2 Tingkat pelayanan (tergantung-fasilitas) Hal ini sangat tergantung pada jenis fasilitas, bukan arusnya. Jalan bebas hambatan mempunyai tingkat pelayanan yang tinggi, sedangkan jalan yang sempit mempunyai tingkat pelayanan yang rendah. Hal ini diilustrasikan pada gambar 2.9 (**Black**, **1981**).



Gambar 2.9
Hubungan antara nisbah waktu perjalanan (kondisi aktual/arus bebas) dengan nisbah volume/kapasitas
Catatan: sumbu ***y*** menunjukkan nisbah antara waktu tempuh dengan waktu pada kondisi arus bebas, sedangkan sumbu ***x*** menyatakan nisbah antara arus dengan kapasitas.

Konsep ini dikembangkan oleh **Blunden** (**1971**), **Wardrop** (**1952**), dan **Davidson** (**1966**). **Blunden** (**1971**) menunjukkan bahwa hasil eksperimen menghasilkan karakteristik tertentu sebagai berikut:

- Pada saat arus mendekati nol (**0**), titik potong pada sumbu ***y*** terlihat dengan jelas (T_0).
- Kurva mempunyai asimtot pada saat arus mendekati kapasitas.
- Kurva meningkat secara monoton.

2.5.7 Hubungan arus lalulintas dengan waktu tempuh

Besarnya waktu tempuh pada suatu ruas jalan sangat tergantung dari besarnya arus dan kapasitas ruas jalan tersebut. Hubungan antara arus dengan waktu tempuh dapat dinyatakan sebagai suatu fungsi dimana jika arus bertambah maka waktu tempuh akan juga bertambah. Menurut **Davidson (1966)**, hal ini sebenarnya merupakan konsep dasar dalam teori antrian yang menyatakan bahwa tundaan yang terjadi pada tingkat kedatangan dan tingkat pelayanan yang tersebar secara acak dapat dinyatakan sebagai persamaan (2.2) berikut.

$$W_Q = \frac{\rho^2}{[\lambda(1-\rho)]} \tag{2.2}$$

W_Q = tundaan per kendaraan

λ = tingkat kedatangan

ρ = λ/μ

μ = tingkat pelayanan

Berdasarkan teori antrian stokastik untuk satu tempat pelayanan dengan sebaran pelayanan acak, besarnya waktu tunggu yang dialami oleh setiap kendaraan dengan sebaran kedatangan acak dapat dinyatakan dengan persamaan (2.3) berikut.

$$E_w = \frac{\rho}{[\mu(1-\rho)]} \tag{2.3}$$

Karena $\mu=\lambda/\rho$ maka sebenarnya persamaan (2.3) adalah sama dengan persamaan (2.2).

Konsep antrian dalam waktu pelayanan merujuk pada waktu minimum yang dibutuhkan kendaraan untuk melalui suatu ruas jalan sesuai dengan tingkat pelayanan jalan yang ada. Waktu pelayanan adalah waktu tempuh yang dibutuhkan ketika tidak ada kendaraan lain pada jalan tersebut (kondisi arus bebas). Sehingga, tundaan antrian dapat dipertimbangkan sebagai pertambahan waktu tempuh akibat adanya kendaraan lain yang dapat dinyatakan sebagai berikut.

waktu tempuh = waktu pelayanan + tundaan (2.4)

Nilai nisbah tundaan antrian dengan waktu pelayanan dapat diturunkan dengan urutan persamaan (2.5)–(2.6) sebagai berikut:

$$\frac{W_Q}{1/\mu} = \frac{\rho^2 \mu}{[\lambda(1-\rho)]} \tag{2.5}$$

$$\frac{W_Q}{1/\mu} = \frac{\rho}{[(1-\rho)]} \tag{2.6}$$

Jika waktu pelayanan adalah waktu tempuh pada kondisi arus bebas (T_0) maka persamaan (2.6) dapat dinyatakan dengan bentuk lain seperti persamaan (2.7)–(2.8) berikut.

$$\frac{W_Q}{T_0} = \frac{\rho}{[(1-\rho)]} \tag{2.7}$$

$$W_Q = T_0 \cdot \frac{\rho}{[(1-\rho)]} \tag{2.8}$$

Tundaan yang terjadi disebabkan oleh satu rangkaian antrian sehingga variasi pada waktu tempuh tergantung pada tundaan antrian. Oleh karena itu, persamaan (2.8) harus dimodifikasi dengan memasukkan suatu faktor '**a**' (indeks tingkat pelayanan) yang besarnya tergantung dari karakteristik ruas jalan dan tundaan akibat adanya kendaraan lain pada ruas jalan tersebut sehingga dihasilkan persamaan (2.9) berikut.

$$W_Q = T_0 .a. \frac{\rho}{[(1-\rho)]} \tag{2.9}$$

Selanjutnya, dengan memasukkan persamaan (2.9) ke persamaan (2.4), maka dihasilkan urutan persamaan (2.10)–(2.13) berikut ini.

$$T_Q = T_0 + W_Q \tag{2.10}$$

$$T_Q = T_0 + T_0 .a. \frac{\rho}{[(1-\rho)]} \tag{2.11}$$

$$T_Q = T_0 . \left[1 + a. \frac{\rho}{(1-\rho)} \right] \tag{2.12}$$

$$T_Q = T_0 \left[\frac{1-(1-a)\rho}{1-\rho} \right] \tag{2.13}$$

Dengan mengasumsikan $\rho = Q/C$ maka persamaan (2.13) dapat ditulis kembali sebagai persamaan (2.14) berikut yang biasa disebut persamaan **Davidson**. Secara matematis, ciri tersebut dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$T_Q = T_0 \left[\frac{1-(1-a)\frac{Q}{C}}{1-\frac{Q}{C}} \right] \tag{2.14}$$

dengan: T_Q = waktu tempuh pada saat arus = Q

T_0 = waktu tempuh pada saat arus = 0

Q = arus lalulintas

C = kapasitas

a = indeks tingkat pelayanan/ITP (fungsi faktor yang menyebabkan keragaman dalam arus, seperti parkir dan penyeberang jalan)

2.5.8 Penentuan indeks tingkat pelayanan (ITP)

Nilai '**a**' (indeks tingkat pelayanan) untuk suatu ruas jalan dapat dihitung dengan beberapa pendekatan berikut ini.

2.5.8.1 Pendekatan linear Persamaan (2.14) dapat disederhanakan dengan urutan penyederhanaan seperti tertulis pada persamaan (2.15)–(2.17).

$$\frac{T_Q}{T_0} = 1 + \frac{a\left(\frac{Q}{C}\right)}{1-\left(\frac{Q}{C}\right)} \tag{2.15}$$

$$\frac{T_Q}{T_0} = 1 + a\frac{Q}{C-Q} \tag{2.16}$$

$$T_Q = T_0 + aT_0\frac{Q}{(C-Q)} \tag{2.17}$$

Dengan melakukan transformasi linear, persamaan (2.17) dapat disederhanakan dan ditulis kembali sebagai persamaan linear $Y_i = A + BX_i$ dengan mengasumsikan $T_Q^i = Y_i$ dan $\frac{Q_i}{(C-Q_i)} = X_i$. Dengan mengetahui beberapa set data T_Q^i dan Q_i yang bisa didapat dari survei waktu tempuh dan volume lalulintas, maka dengan menggunakan analisis regresi-linear (lihat persamaan 2.18 dan 2.19), parameter **A** dan **B** dapat dihitung dan dihasilkan beberapa nilai berikut: $A = T_0$ dan $B = aT_0$ sehingga nilai indeks tingkat pelayanan (ITP) adalah **a=B/A.**

$$B = \frac{N\sum_i (X_i Y_i) - \sum_i X_i \cdot \sum_i Y_i}{N\sum_i (X_i)^2 - \left(\sum_i X_i\right)^2} \tag{2.18}$$

$$A = \overline{Y} - B\overline{X} \tag{2.19}$$

$\overline{Y}$ dan $\overline{X}$ adalah nilai rata-rata Y_i dan X_i.

2.5.8.2 Pendekatan tidak-linear Persamaan (2.14) dapat disederhanakan dan ditulis kembali sebagai persamaan (2.20).

$$\frac{T_Q}{T_0} = 1 + \frac{a\left(\frac{Q}{C}\right)}{1 - \left(\frac{Q}{C}\right)} \tag{2.20}$$

Dengan mengasumsikan $\frac{T_Q^i}{T_0} = Y_i$ dan $\frac{Q_i}{C} = X_i$ maka persamaan (2.20) dapat ditulis kembali sebagai persamaan (2.21) yang merupakan persamaan tidak-linear.

$$Y_i = 1 + \left(\frac{aX_i}{1 - X_i}\right) \tag{2.21}$$

Dengan mengetahui beberapa set data T_Q^i dan Q_i yang bisa didapat dari survei waktu tempuh dan volume lalulintas, akan didapat beberapa set pasangan data Y_i dan X_i.

Nilai '**a**' dapat ditentukan dengan menggunakan metode penaksiran kuadrat-terkecil yang mencoba meminimumkan jumlah perbedaan kuadrat antara nilai Y_i hasil penaksiran dan hasil pengamatan seperti pada persamaan (2.22) berikut.

$$\textbf{meminimumkan} \qquad S = \sum_i \left[\left(\hat{Y}_i - Y_i \right)^2 \right] \tag{2.22}$$

Dengan memasukkan persamaan (2.21) ke persamaan (2.22), fungsi objektif (2.22) berubah menjadi persamaan (2.23) dengan parameter tidak diketahui adalah '**a**'.

$$\textbf{meminimumkan} \qquad S = \sum_i \left[\hat{Y}_i - \left(1 + \frac{aX_i}{1 - X_i} \right) \right]^2 \tag{2.23}$$

Persamaan (2.23) dapat disederhanakan dengan urutan penyederhanaan seperti tertulis pada persamaan (2.24)–(2.26).

$$\textbf{meminimumkan} \qquad S = \sum_i \left[\hat{Y}_i^2 - 2Y_i \left(1 + \frac{aX_i}{1 - X_i} \right) + \left(1 + \frac{aX_i}{1 - X_i} \right)^2 \right] \tag{2.24}$$

$$\textbf{meminimumkan} \qquad S = \sum_i \left[\hat{Y}_i^2 - 2Y_i - 2Y_i \left(\frac{aX_i}{1 - X_i} \right) + 1 + 2\left(\frac{aX_i}{1 - X_i} \right) + \left(\frac{aX_i}{1 - X_i} \right)^2 \right] \tag{2.25}$$

$$\textbf{meminimumkan} \qquad S = \sum_i \left[\hat{Y}_i^2 - 2Y_i - 2\left(\frac{aX_i}{1 - X_i} \right)(1 - Y_i) + 1 + \left(\frac{aX_i}{1 - X_i} \right)^2 \right] \tag{2.26}$$

Untuk mendapatkan nilai '**a**' yang meminimumkan persamaan (2.26), persamaan (2.27) berikut dibutuhkan:

$$\frac{\partial \mathbf{S}}{\partial \mathbf{a}} = \mathbf{0} \tag{2.27}$$

Persamaan (2.27) dapat ditulis kembali dalam bentuk lain dengan urutan seperti pada persamaan (2.28)–(2.30).

$$\frac{\partial \mathbf{S}}{\partial \mathbf{a}} = \sum_i \left[\left(\frac{2X_i}{1-X_i} \right) (1-Y_i) + 2 \left(\frac{\mathbf{a}X_i}{1-X_i} \right) \left(\frac{X_i}{1-X_i} \right) \right] = \mathbf{0} \tag{2.28}$$

$$\frac{\partial \mathbf{S}}{\partial \mathbf{a}} = \sum_i \left[\left(\frac{2X_i}{1-X_i} \right) (1-Y_i) + 2\mathbf{a} \left(\frac{X_i}{1-X_i} \right)^2 \right] = \mathbf{0} \tag{2.29}$$

$$\frac{\partial \mathbf{S}}{\partial \mathbf{a}} = \sum_i \left[\left(\frac{2X_i}{1-X_i} \right) \left(1-Y_i + \frac{\mathbf{a}X_i}{1-X_i} \right) \right] = \mathbf{0} \tag{2.30}$$

Persamaan (2.30) dapat disederhanakan menjadi persamaan (2.31) tanpa mengubah sedikitpun permasalahan pada persamaan (2.30).

$$\frac{\partial \mathbf{S}}{\partial \mathbf{a}} = \sum_i \left[1-Y_i + \frac{\mathbf{a}X_i}{1-X_i} \right] = \mathbf{0} \tag{2.31}$$

Untuk mendapatkan nilai '**a**', persamaan (2.31) dapat disederhanakan dengan urutan penyederhanaan seperti tertulis pada persamaan (2.32)–(2.33).

$$\sum_i \left[\frac{\mathbf{a}X_i}{1-X_i} \right] = \sum_i (Y_i - 1) \tag{2.32}$$

$$\mathbf{a} = \sum_i \left[\frac{(Y_i - 1)(1-X_i)}{X_i} \right] \tag{2.33}$$

Dengan menggunakan nilai $Y_i = \frac{T_Q^i}{T_0}$ dan $X_i = \frac{Q_i}{\mathbf{C}}$ maka nilai '**a**' bisa didapat dengan menggunakan persamaan (2.34) berikut.

$$\mathbf{a} = \sum_i \left[\frac{\left(\frac{T_Q^i}{T_0} - 1 \right) \left(1 - \frac{Q_i}{\mathbf{C}} \right)}{\frac{Q_i}{\mathbf{C}}} \right] \tag{2.34}$$

2.5.8.3 Pendekatan rata-rata Persamaan (2.14) dapat disederhanakan dengan urutan penyederhanaan seperti tertulis pada persamaan (2.35)–(2.37).

$$T_Q = \frac{T_0}{1-\left(\frac{Q}{C}\right)} - \frac{T_0(1-a)\left(\frac{Q}{C}\right)}{1-\left(\frac{Q}{C}\right)} \tag{2.35}$$

$$T_Q = \frac{T_0 C}{(C-Q)} - \frac{T_0(1-a)Q}{(C-Q)} \tag{2.36}$$

$$T_Q(C-Q) = T_0[C-(1-a)Q] \tag{2.37}$$

Jadi, nilai indeks tingkat pelayanan (**a**) bisa didapatkan dari persamaan (2.38) berikut.

$$a = \frac{(C-Q)(T_Q - T_0)}{T_0 Q} \tag{2.38}$$

Untuk setiap pasangan data T_Q dan Q yang didapatkan dari hasil survei waktu tempuh dan volume arus lalulintas akan dihasilkan satu nilai **a**. Jadi, nilai indeks tingkat pelayanan (**a**) merupakan nilai rata-rata dari beberapa nilai **a**.

Blunden (**1971**) menghasilkan tabel 2.9 untuk beberapa jenis jalan. Pada tabel 2.9 terlihat bahwa Blunden menggunakan istilah arus jenuh. Waktu (T_0) didefinisikan sebagai waktu yang diperlukan untuk melewati suatu ruas jalan jika terdapat tidak ada hambatan pada ruas jalan tersebut (atau kecepatan arus bebas). Hubungan antara waktu tempuh pada suatu ruas jalan tergantung dari arus lalulintas, kapasitas, waktu tempuh pada kondisi arus jenuh dan indeks tingkat pelayanan (**a**).

Tabel 2.9 Parameter untuk beberapa jenis jalan

Kondisi	T_Q (menit/mil)	a	Arus jenuh (kendaraan/hari)
Jalan bebas hambatan	0,8 – 1,0	0 – 0,2	2.000 / lajur
Jalan perkotaan (banyak lajur)	1,5 – 2,0	0,4 – 0,6	1.800 / lajur
Jalan kolektor dan pengumpan	2,0 – 3,0	1,0 – 1,5	1.800 / total lebar

Dalam banyak kajian transportasi, beberapa pendekatan sederhana digunakan; hubungan kecepatan dan arus didapat untuk beberapa jenis jalan dan diterapkan untuk setiap jalan.

2.5.9 Penentuan nilai T_0

Nilai T_0 (waktu tempuh pada kondisi arus bebas) untuk suatu ruas jalan dapat dihitung dengan membagi panjang ruas jalan tersebut dengan kecepatan arus

bebasnya (**FV**). Menurut **IHCM (1997)**, kecepatan arus bebas dapat dihitung dengan persamaan (2.39) berikut ini.

$$\mathbf{FV = (FV_0 + FV_W) x\ FFV_{SF}\ x\ FFV_{CS}} \quad \text{(km/jam)} \qquad (2.39)$$

FV : kecepatan arus bebas untuk kendaraan ringan (km/jam)

$\mathbf{FV_0}$: kecepatan arus bebas dasar untuk kendaraan ringan (km/jam)

$\mathbf{FV_W}$: faktor koreksi kecepatan arus bebas akibat lebar jalan

$\mathbf{FFV_{SF}}$: faktor koreksi kecepatan arus bebas akibat kondisi gangguan samping

$\mathbf{FFV_{CS}}$: faktor koreksi kecepatan arus bebas akibat ukuran kota (jumlah penduduk)

Kecepatan arus bebas dasar $\mathbf{FV_0}$ ditentukan berdasarkan tipe jalan dan jenis kendaraan seperti terlihat pada tabel 2.10.

Tabel 2.10 Kecepatan arus bebas dasar ($\mathbf{FV_0}$)

Tipe jalan	Kecepatan arus bebas dasar (FV_0)			
	Kendaraan ringan	Kendaraan berat	Sepeda motor	Semua jenis kendaraan (rata-rata)
Jalan 6 lajur berpembatas median (6/2D) atau jalan 3 lajur satu arah (3/1)	61	52	48	57
Jalan 4 lajur berpembatas median (4/2D) atau jalan 2 lajur satu arah (2/1)	57	50	47	55
Jalan 4 lajur tanpa pembatas median (4/2UD)	53	46	43	51
Jalan 2 lajur tanpa pembatas median (2/2UD)	44	40	40	42

Sumber: IHCM (1997)

Secara umum kendaraan ringan memiliki kecepatan arus bebas dasar lebih tinggi daripada kendaraan berat dan sepeda motor. Jalan berpembatas median memiliki kecepatan arus bebas dasar lebih tinggi daripada jalan tanpa pembatas median.

Untuk jalan berlajur lebih dari 8, kecepatan arus bebas dasarnya sama dengan jalan berlajur 6. Faktor koreksi kecepatan arus bebas akibat lebar jalan ($\mathbf{FV_W}$) ditentukan berdasarkan tipe jalan dan lebar jalan efektif ($\mathbf{W_e}$) (lihat tabel 2.11).

Tabel 2.11 Faktor koreksi kapasitas arus bebas akibat lebar jalan (FV_W)

Tipe jalan	Lebar jalan efektif (W_e) (meter)	FV_W
4 lajur berpembatas median atau jalan satu arah	**Per lajur**	
	3,00	–4
	3,25	–2
	3,50	0
	3,75	2
	4,00	4
4 lajur tanpa pembatas median	**Per lajur**	
	3,00	–4
	3,25	–2
	3,50	0
	3,75	2
	4,00	4
2 lajur tanpa pembatas median	**dua arah**	
	5	–9,5
	6	–3
	7	0
	8	3
	9	4
	10	6
	11	7

Sumber: IHCM (1997)

Faktor koreksi kecepatan arus bebas akibat hambatan samping ditentukan berdasarkan tipe jalan, tingkat gangguan samping, lebar bahu jalan efektif (W_S) atau jarak kereb ke penghalang (lihat tabel 2.12 untuk jalan yang mempunyai bahu jalan dan tabel 2.13 untuk jalan yang mempunyai kereb).

Tabel 2.12 Faktor koreksi kecepatan arus bebas akibat gangguan samping FV_{SF} untuk jalan yang mempunyai bahu jalan

Tipe jalan	Kelas gangguan samping	Faktor koreksi akibat gangguan samping dan lebar bahu jalan efektif (W_S)			
		Lebar bahu jalan efektif (m)			
		≤ 0,5	1,0	1,5	≥ 2,0
4-lajur 2-arah berpembatas median (4/2D)	**Sangat rendah**	1,02	1,03	1,03	1,04
	Rendah	0,98	1,00	1,02	1,03
	Sedang	0,94	0,97	1,00	1,02
	Tinggi	0,89	0,93	0,96	0,99
	Sangat tinggi	0,84	0,88	0,92	0,96
4-lajur 2-arah tanpa pembatas median (4/2UD)	**Sangat rendah**	1,02	1,03	1,03	1,04
	Rendah	0,98	1,00	1,02	1,03
	Sedang	0,93	0,96	0,99	1,02
	Tinggi	0,87	0,91	0,94	0,98
	Sangat tinggi	0,80	0,86	0,90	0,95
2-lajur 2-arah tanpa pembatas median (2/2UD) atau jalan satu arah	**Sangat rendah**	1,00	1,01	1,01	1,01
	Rendah	0,96	0,98	0,99	1,00
	Sedang	0,90	0,93	0,96	0,99
	Tinggi	0,82	0,86	0,90	0,95
	Sangat tinggi	0,73	0,79	0,85	0,91

Sumber: IHCM (1997)

Faktor koreksi kecepatan arus bebas akibat gangguan samping ($\mathbf{FV_{SF}}$) untuk ruas jalan yang mempunyai kereb didasarkan pada jarak antara kereb dengan gangguan pada sisi jalan ($\mathbf{W_K}$) serta tingkat gangguan samping (lihat tabel 2.13).

Tabel 2.13 Faktor koreksi kecepatan arus bebas akibat gangguan samping $\mathbf{FV_{SF}}$ untuk jalan yang mempunyai kereb

Tipe jalan	Kelas gangguan samping	Faktor koreksi akibat gangguan samping dan jarak kereb–gangguan (W_K)			
		Jarak kereb–gangguan (m)			
		≤ 0,5	1,0	1.5	≥ 2.0
4-lajur 2-arah berpembatas median (4/2 D)	Sangat rendah	0,95	0,97	0,99	1,01
	Rendah	0,94	0,96	0,98	1,00
	Sedang	0,91	0,93	0,95	0,98
	Tinggi	0,86	0,89	0,92	0,95
	Sangat tinggi	0,81	0,85	0,88	0,92
4-lajur 2-arah tanpa pembatas median (4/2 UD)	Sangat rendah	0,95	0,97	0,99	1,01
	Rendah	0,93	0,95	0,97	1,00
	Sedang	0,90	0,92	0,95	0,97
	Tinggi	0,84	0,87	0,90	0,93
	Sangat tinggi	0,77	0,81	0,85	0,90
2-lajur 2-arah tanpa pembatas median (2/2UD) atau jalan satu arah	Sangat rendah	0,93	0,95	0,97	0,99
	Rendah	0,90	0,92	0,95	0,97
	Sedang	0,86	0,88	0,91	0,94
	Tinggi	0,78	0,81	0,84	0,88
	Sangat tinggi	0,68	0,72	0,77	0,82

Sumber: IHCM (1997)

Faktor koreksi kecepatan arus bebas untuk jalan 6 lajur dapat dihitung dengan menggunakan faktor koreksi kecepatan arus bebas untuk jalan 4 lajur dengan menggunakan persamaan (2.40) sebagai berikut:

$$\mathbf{FFV_{6,SF} = 1 - 0{,}8 \times \left(1 - FFV_{4,SF}\right)} \qquad (2.40)$$

$\mathbf{FFV_{6,SF}}$: faktor koreksi kecepatan arus bebas untuk jalan 6 lajur

$\mathbf{FFV_{4,SF}}$: faktor koreksi kecepatan arus bebas untuk jalan 4 lajur

Faktor koreksi kecepatan arus bebas akibat ukuran kota ($\mathbf{FFV_{CS}}$) dapat dilihat pada tabel 2.14 dimana faktor koreksi tersebut merupakan fungsi dari jumlah penduduk kota.

Tabel 2.14 Faktor koreksi kecepatan arus bebas akibat ukuran kota ($\mathbf{FFV_{CS}}$) untuk jalan perkotaan

Ukuran kota (juta penduduk)	Faktor koreksi untuk ukuran kota	Ukuran kota (juta penduduk)	Faktor koreksi untuk ukuran kota
< 0,1	0,90	**1,0–1,3**	1,00
0,1–0,5	0,93	**> 1,3**	1,03
0,5–1,0	0,95		

Sumber: IHCM (1997)

Kecepatan arus bebas yang didapat dari persamaan (2.38) hanya berlaku untuk kendaraan ringan. Untuk jenis kendaraan lain (misalnya kendaraan berat), kecepatan arus bebas dapat dihitung dengan prosedur berikut.

- Hitung total nilai faktor koreksi kecepatan arus bebas untuk kendaraan ringan dengan persamaan (2.41) berikut.

$$\mathbf{FFV = FV_0 - FV} \quad \text{(km/jam)} \tag{2.41}$$

$\mathbf{FFV}$: total nilai faktor koreksi kecepatan arus bebas (km/jam)

$\mathbf{FV_0}$: kecepatan arus bebas dasar untuk kendaraan ringan (km/jam)

$\mathbf{FV}$: kecepatan arus bebas untuk kendaraan ringan (km/jam)

- Hitung kecepatan arus bebas untuk jenis kendaraan berat dengan persamaan (2.42) berikut.

$$\mathbf{FV_{HV} = FV_{HV,0} - FFV \; x \; FV_{HV,0}/FV_0} \quad \text{(km/jam)} \tag{2.42}$$

$\mathbf{FV_{HV}}$: kecepatan arus bebas untuk kendaraan berat (km/jam)

$\mathbf{FV_{HV,0}}$: kecepatan arus bebas dasar untuk kendaraan berat (km/jam)

2.5.10 Ringkasan konsep dasar

Sistem adalah seperangkat objek yang berhubungan satu sama lain. Sistem tata guna lahan dan transportasi mempunyai tiga komponen utama, yaitu tata guna lahan, sistem prasarana transportasi, dan lalulintas. Hubungan antara ketiga komponen utama ini terlihat dalam 6 konsep analitis, yaitu:

- aksesibilitas;
- bangkitan pergerakan;
- sebaran pergerakan;

- pemilihan moda;
- pemilihan rute;
- arus lalulintas pada jaringan jalan (arus lalulintas dinamis).

Tabel 2.15 memperlihatkan hubungan antarkomponen yang saling tergantung pada setiap konsep analitis tersebut.

Tabel 2.15 Konsep analitis dan komponen yang saling tergantung

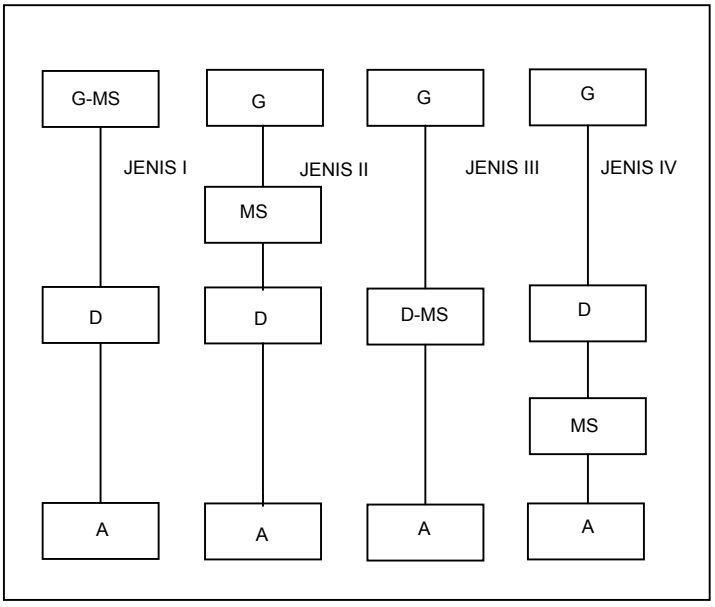
Konsep analitis	Tergantung dari komponen
1 Aksesibilitas	tata guna lahan & sistem prasarana transportasi
2 Bangkitan pergerakan	tata guna lahan & sistem prasarana transportasi
3 Sebaran pergerakan	tata guna lahan & sistem prasarana transportasi
4 Pemilihan moda	sistem prasarana transportasi & arus lalulintas
5 Pemilihan rute	sistem prasarana transportasi & arus lalulintas
6 Arus pada jaringan transportasi	sistem prasarana transportasi & arus lalulintas

Aksesibilitas (konsep **1**) kadang-kadang bukan merupakan bagian integral dari keseluruhan sistem, akan tetapi konsep ini dapat juga digunakan sebagai proses utama dalam kajian transportasi. Konsep ini digunakan untuk mengidentifikasi masalah dan menolong mengevaluasi alternatif perencanaan transportasi yang diusulkan.

Arus lalulintas pada jaringan jalan (konsep **6**) adalah konsep yang termasuk pada beberapa tahapan yang berbeda. Konsep **2** sampai dengan konsep **5** (bangkitan pergerakan, sebaran pergerakan, pemilihan moda dan rute) merupakan bagian utama model tersebut, yang harus dilakukan secara berurutan.

Urutan tersebut beragam, yang penggunaannya sangat tergantung pada kondisi di lapangan, ketersediaan data (kuantitas dan kualitas), waktu perencanaan, dan lain-lain. Beberapa alternatif urutan pemodelan dapat dilihat pada gambar 2.10 (**Black**, **1981**) dengan **G** = Bangkitan pergerakan, **D** = Sebaran pergerakan, **MS** = Pemilihan moda dan **A** = Pemilihan rute.

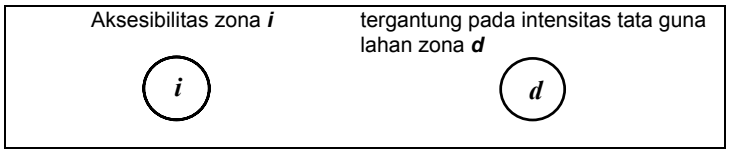
Jika dilihat, ternyata keempat alternatif ini berbeda-beda, tergantung pada letak tahapan pemilihan moda. Penggunaan dari setiap alternatif sangat tergantung pada data yang tersedia, tujuan kajian, waktu kajian, dan lain-lain. Urutan yang paling sering digunakan adalah jenis **iv**, akan tetapi beberapa tahun belakangan ini sering digunakan jenis **iii**.



Gambar 2.10
Empat variasi urutan konsep utama
Sumber: (Black, 1981)

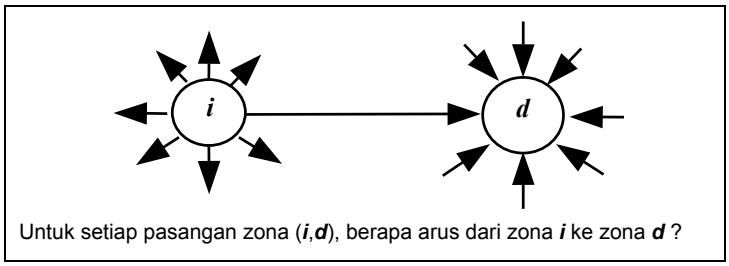
Konsep tersebut bisa diilustrasikan seperti terlihat pada gambar 2.11, tergantung pada urutannya (**Wells**, **1975**).

1 Aksesibilitas

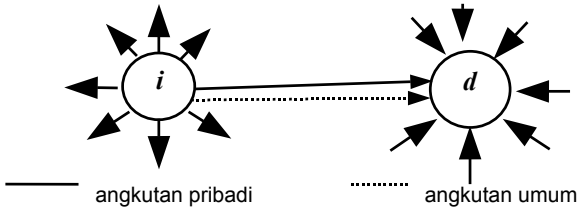


2 Bangkitan pergerakan

3 Sebaran pergerakan



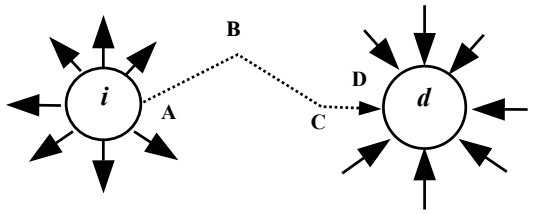
4 Pemilihan moda



Dari jumlah lalulintas dari ***i*** ke ***d***, berapa yang menggunakan kendaraan pribadi dan berapa yang menggunakan angkutan umum?

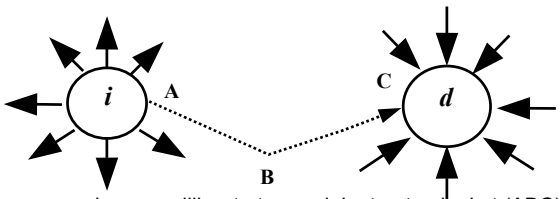
5 Pemilihan rute

a. Kendaraan pribadi



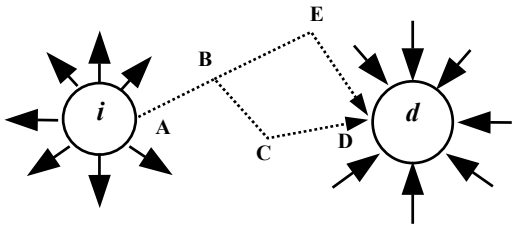
Kendaraan pribadi akan mengikuti rute tersingkat ABCD

b. Angkutan umum



Angkutan umum akan memilih rute terpendek atau tersingkat (ABC).

6 Arus lalulintas pada jaringan Jalan

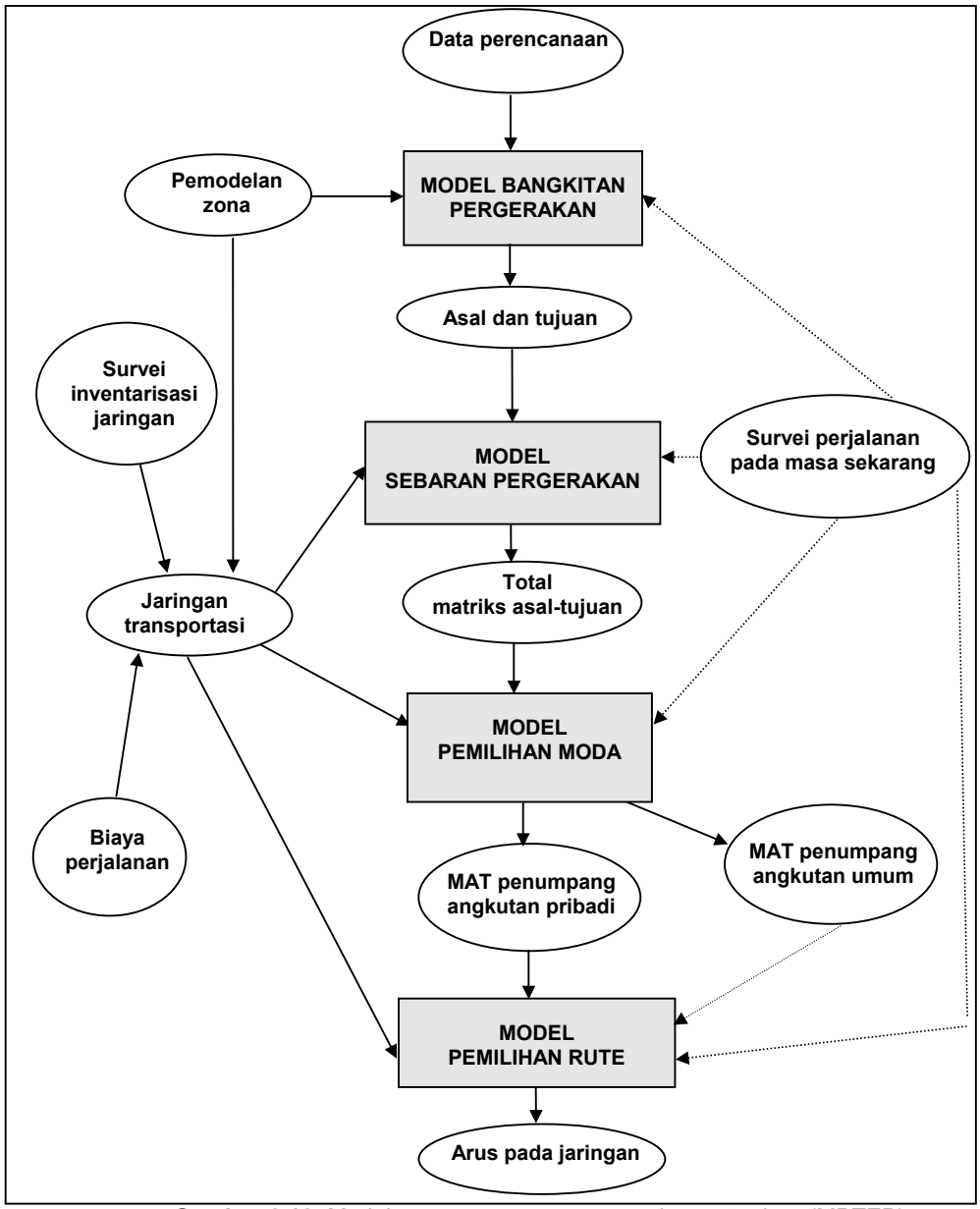


Jika arus lalulintas berubah, rute tercepat untuk mobil dari zona ***i*** ke zona ***d*** akan berubah juga. Rute tercepat akan berubah dari ABCD menjadi ABED. Hal yang sama berlaku juga untuk angkutan umum.

Gambar 2.11
Ringkasan urutan konsep perencanaan transportasi

Sejauh ini, konsep tersebut baru dijelaskan di atas kertas. Tahapan berikutnya dalam usaha untuk memahami cara kerja sistem adalah menjelaskannya dengan cara kuantitatif, yaitu dengan menggunakan model matematis.

Gambar 2.12 memperlihatkan garis besar semua proses yang terdapat dalam konsep perencanaan transportasi. Karena model ini merupakan proses pemodelan yang berurutan sering disebut **Model Perencanaan Transportasi Empat Tahap (MPTEP)**. Jenis pemodelan seperti ini sangat kompleks, membutuhkan banyak data dan waktu yang lama dalam proses pengembangan dan pengkalibrasiannya. Akan tetapi, model ini dapat disederhanakan agar dapat memenuhi kebutuhan perencanaan transportasi di daerah yang mempunyai keterbatasan waktu dan biaya.



Gambar 2.12 Model perencanaan transportasi empat tahap (MPTEP)
(Sumber: IHT and DTp, 1987)

2.6 Perhitungan kapasitas ruas jalan dan persimpangan

2.6.1 Perhitungan kapasitas ruas jalan

Jaringan jalan ada yang memakai pembatas median dan ada pula yang tidak, sehingga dalam perhitungan kapasitas, keduanya dibedakan. Untuk ruas jalan berpembatas median, kapasitas dihitung terpisah untuk setiap arah, sedangkan untuk ruas jalan tanpa pembatas median, kapasitas dihitung untuk kedua arah. Persamaan umum untuk menghitung kapasitas suatu ruas jalan menurut metode *Indonesian Highway Capacity Manual* (**IHCM, 1997**) untuk daerah perkotaan adalah sebagai berikut.

$$\mathbf{C = C_0 x FC_W x FC_{SP} x FC_{SF} x FC_{CS}} \quad \text{(smp/jam)} \qquad (2.43)$$

$\mathbf{C}$: kapasitas (smp/jam)

$\mathbf{C_0}$: kapasitas dasar (smp/jam)

$\mathbf{FC_W}$: faktor koreksi kapasitas untuk lebar jalan

$\mathbf{FC_{SP}}$: faktor koreksi kapasitas akibat pembagian arah (tidak berlaku untuk jalan satu arah)

$\mathbf{FC_{SF}}$: faktor koreksi kapasitas akibat gangguan samping

$\mathbf{FC_{CS}}$: faktor koreksi kapasitas akibat ukuran kota (jumlah penduduk)

2.6.1.1 Kapasitas dasar $\mathbf{C_0}$ Kapasitas dasar $\mathbf{C_0}$ ditentukan berdasarkan tipe jalan sesuai dengan nilai yang tertera pada tabel 2.16.

Tabel 2.16 Kapasitas dasar ($\mathbf{C_0}$)

Tipe jalan	Kapasitas dasar (smp/jam)	Keterangan
Jalan 4 lajur berpembatas median atau jalan satu arah	1.650	per lajur
Jalan 4 lajur tanpa pembatas median	1.500	per lajur
Jalan 2 lajur tanpa pembatas median	2.900	total dua arah

Sumber: IHCM (1997)

Kapasitas dasar untuk jalan yang lebih dari 4 lajur dapat diperkirakan dengan menggunakan kapasitas per lajur pada tabel 2.16 meskipun mempunyai lebar jalan yang tidak baku.

2.6.1.2 Faktor koreksi kapasitas akibat pembagian arah ($\mathbf{FC_{SP}}$) Faktor koreksi $\mathbf{FC_{SP}}$ ini dapat dilihat pada tabel 2.17. Penentuan faktor koreksi untuk pembagian arah didasarkan pada kondisi arus lalulintas dari kedua arah atau untuk jalan tanpa pembatas median. Untuk jalan satu arah dan/atau jalan dengan pembatas median, faktor koreksi kapasitas akibat pembagian arah adalah **1,0**.

Tabel 2.17 Faktor koreksi kapasitas akibat pembagian arah FC_{SP}

Pembagian arah (%–%)		50–50	55–45	60–40	65–35	70–30
FC_{sp}	2-lajur 2-arah tanpa pembatas median (2/2 UD)	1,00	0,97	0,94	0,91	0,88
	4-lajur 2-arah tanpa pembatas median (4/2 UD)	1,00	0,985	0,97	0,955	0,94

Sumber: IHCM (1997)

2.6.1.3 Faktor koreksi kapasitas akibat lebar jalan (FC_W) Faktor koreksi FC_{SP} ditentukan berdasarkan lebar jalan efektif yang dapat dilihat pada tabel 2.18.

Tabel 2.18 Faktor koreksi kapasitas akibat lebar jalan (FC_W)

Tipe jalan	Lebar jalan efektif (m)	FC_W
4 lajur berpembatas median atau jalan satu arah	per lajur	
	3,00	0,92
	3,25	0,96
	3,50	1,00
	3,75	1,04
	4,00	1,08
4 lajur tanpa pembatas median	per lajur	
	3,00	0,91
	3,25	0,95
	3,50	1,00
	3,75	1,05
	4,00	1,09
2 lajur tanpa pembatas median	dua arah	
	5	0,56
	6	0,87
	7	1,00
	8	1,14
	9	1,25
	10	1,29
	11	1,34

Sumber: IHCM (1997)

Faktor koreksi kapasitas untuk jalan yang mempunyai lebih dari 4 lajur dapat diperkirakan dengan menggunakan faktor koreksi kapasitas untuk kelompok jalan 4 lajur.

2.6.1.4 Faktor koreksi kapasitas akibat gangguan samping (FC_{SF}) Faktor koreksi untuk ruas jalan yang mempunyai bahu jalan didasarkan pada lebar bahu jalan efektif (W_S) dan tingkat gangguan samping yang penentuan klasifikasinya dapat

dilihat pada tabel 2.19. Faktor koreksi kapasitas akibat gangguan samping ($\mathbf{FC_{SF}}$) untuk jalan yang mempunyai bahu jalan dapat dilihat pada tabel 2.20.

Tabel 2.19 Klasifikasi gangguan samping

Kelas gangguan samping	Jumlah gangguan per 200 meter per jam (dua arah)	Kondisi tipikal
Sangat rendah	< 100	Permukiman
Rendah	100–299	Permukiman, beberapa transportasi umum
Sedang	300–499	Daerah industri dengan beberapa toko di pinggir jalan
Tinggi	500–899	Daerah komersial, aktivitas pinggir jalan tinggi
Sangat tinggi	> 900	Daerah komersial dengan aktivitas perbelanjaan pinggir jalan

Sumber: IHCM (1997)

Tabel 2.20 Faktor koreksi kapasitas akibat gangguan samping $\mathbf{FC_{SF}}$ untuk jalan yang mempunyai bahu jalan

Tipe jalan	Kelas gangguan samping	Faktor koreksi akibat gangguan samping dan lebar bahu jalan			
		Lebar bahu jalan efektif			
		≤ 0,5	1,0	1,5	≥ 2,0
4-lajur 2-arah berpembatas median (4/2 D)	**Sangat rendah**	0,96	0,98	1,01	1,03
	Rendah	0,94	0,97	1,00	1,02
	Sedang	0,92	0,95	0,98	1,00
	Tinggi	0,88	0,92	0,95	0,98
	Sangat tinggi	0,84	0,88	0,92	0,96
4-lajur 2-arah tanpa pembatas median (4/2 UD)	**Sangat rendah**	0,96	0,99	1,01	1,03
	Rendah	0,94	0,97	1,00	1,02
	Sedang	0,92	0,95	0,98	1,00
	Tinggi	0,87	0,91	0,94	0,98
	Sangat tinggi	0,80	0,86	0,90	0,95
2-lajur 2-arah tanpa pembatas median (2/2UD) atau jalan satu arah	**Sangat rendah**	0,94	0,96	0,99	1,01
	Rendah	0,92	0,94	0,97	1,00
	Sedang	0,89	0,92	0,95	0,98
	Tinggi	0,82	0,86	0,90	0,95
	Sangat tinggi	0,73	0,79	0,85	0,91

Sumber: IHCM (1997)

Faktor koreksi kapasitas untuk gangguan samping untuk ruas jalan yang mempunyai kereb dapat dilihat pada tabel 2.21 yang didasarkan pada jarak antara kereb dan gangguan pada sisi jalan ($\mathbf{W_K}$) dan tingkat gangguan samping.

Tabel 2.21 Faktor koreksi kapasitas akibat gangguan samping FC_{SF} untuk jalan yang mempunyai kereb

Tipe jalan	Kelas gangguan samping	Faktor koreksi akibat gangguan samping dan jarak gangguan pada kereb			
		Jarak: kereb–gangguan			
		≤ 0,5	1,0	1,5	≥ 2,0
4-lajur 2-arah berpembatas median (4/2 D)	Sangat rendah	0,95	0,97	0,99	1,01
	Rendah	0,94	0,96	0,98	1,00
	Sedang	0,91	0,93	0,95	0,98
	Tinggi	0,86	0,89	0,92	0,95
	Sangat tinggi	0,81	0,85	0,88	0,92
4-lajur 2-arah tanpa pembatas median (4/2 UD)	Sangat rendah	0,95	0,97	0,99	1,01
	Rendah	0,93	0,95	0,97	1,00
	Sedang	0,90	0,92	0,95	0,97
	Tinggi	0,84	0,87	0,90	0,93
	Sangat tinggi	0,77	0,81	0,85	0,90
2-lajur 2-arah tanpa pembatas median (2/2UD) atau jalan satu arah	Sangat rendah	0,93	0,95	0,97	0,99
	Rendah	0,90	0,92	0,95	0,97
	Sedang	0,86	0,88	0,91	0,94
	Tinggi	0,78	0,81	0,84	0,88
	Sangat tinggi	0,68	0,72	0,77	0,82

Sumber: IHCM (1997)

Faktor koreksi kapasitas untuk jalan 6 lajur dapat diperkirakan dengan menggunakan faktor koreksi kapasitas untuk jalan 4 lajur dengan menggunakan persamaan (2.44) sebagai berikut:

$$FC_{6,SF} = 1 - 0{,}8 \times \left(1 - FC_{4,SF}\right) \tag{2.44}$$

$FC_{6,SF}$: faktor koreksi kapasitas untuk jalan 6 lajur

$FC_{4,SF}$: faktor koreksi kapasitas untuk jalan 4 lajur

2.6.1.5 Faktor koreksi kapasitas akibat ukuran kota (FC_{CS}) Faktor koreksi FC_{CS} dapat dilihat pada tabel 2.22 dan faktor koreksi tersebut merupakan fungsi dari jumlah penduduk kota.

Tabel 2.22 Faktor koreksi kapasitas akibat ukuran kota (FC_{CS})

Ukuran kota (juta penduduk)	Faktor koreksi untuk ukuran kota
< 0,1	0,86
0,1 – 0,5	0,90
0,5 – 1,0	0,94
1,0 – 1,3	1,00
> 1,3	1,03

Sumber: IHCM (1997)

Untuk perhitungan kapasitas ruas jalan untuk jalan antar-kota dan jalan bebas hambatan, bentuk persamaan yang digunakan persis sama dengan persamaan (2.21), tetapi mempunyai faktor koreksi kapasitas yang berbeda. Penjelasan lebih rinci dapat dilihat dalam **IHCM (1997)**. Berikut diberikan contoh perhitungan kapasitas ruas jalan di kota Bandung (lihat tabel 2.23–2.24).

Lokasi ruas : Jalan Ir. H. Juanda (persimpangan pertigaan Jalan Ganesha – Jalan Siliwangi, Bandung)

Tipe jalan : 4 lajur 2 arah dengan pembatas median (4/2D)

Lebar jalan : 6,20 meter (arah ke utara), 3,1 meter per lajur

5,80 meter (arah ke selatan), 2,9 meter per lajur

Lebar median : 0,8 meter

Gangguan samping : rendah

Jarak kereb–gangguan samping : 1,0 meter

Data tata guna lahan : daerah permukiman yang dilalui oleh angkutan umum

Data jumlah penduduk : 2 juta orang

Tabel 2.23 Perhitungan kapasitas ruas pergerakan ke arah utara

No	Parameter	Kondisi	Nilai
1	**Kapasitas dasar (smp/jam)**	4/2 D	3.300
2	**Faktor koreksi lebar jalan**	3,1 m	0,92
3	**Faktor koreksi gangguan samping**	Gangguan samping rendah dan jarak ke kereb 1 meter	0,96
4	**Faktor koreksi pembagian arah**	Jalan satu-arah	1,00
5	**Faktor koreksi ukuran kota**	2 juta penduduk	1,00
Kapasitas aktual (smp/jam)			**2.915**

Sumber: Hasil analisis

Tabel 2.24 Perhitungan kapasitas ruas pergerakan ke arah selatan

No	Parameter	Kondisi	Nilai
1	**Kapasitas dasar (smp/jam)**	4/2 D	3.300
2	**Faktor koreksi lebar jalan**	2,9 m	0,92
3	**Faktor koreksi gangguan samping**	Gangguan samping rendah dan jarak ke kereb 1 meter	0,96
4	**Faktor koreksi pembagian arah**	Jalan satu arah	1,00
5	**Faktor koreksi ukuran kota**	2 juta penduduk	1,00
Kapasitas aktual (smp/jam)			**2.915**

Sumber: Hasil analisis

2.6.2 Pengaruh parkir pada kapasitas ruas jalan

Seperti telah dijelaskan pada subbab sebelumnya, gangguan samping akan sangat mempengaruhi kapasitas ruas jalan. Salah satu bentuk gangguan samping yang paling banyak dijumpai di daerah perkotaan adalah kegiatan perparkiran yang menggunakan badan jalan.

Berikut ini akan disampaikan hasil penelitian mengenai pengaruh kegiatan perparkiran di badan jalan terhadap penurunan kapasitas ruas jalan. Penelitian dilakukan oleh Lembaga Penelitian ITB, bekerja sama dengan KBK-Rekayasa Transportasi, Jurusan Teknik Sipil, ITB pada tahun 1998 (**LP-ITB, 1998**). Sampel yang digunakan adalah beberapa ruas jalan di DKI-Jakarta dengan lebar jalan dan jumlah lajur yang berbeda-beda.

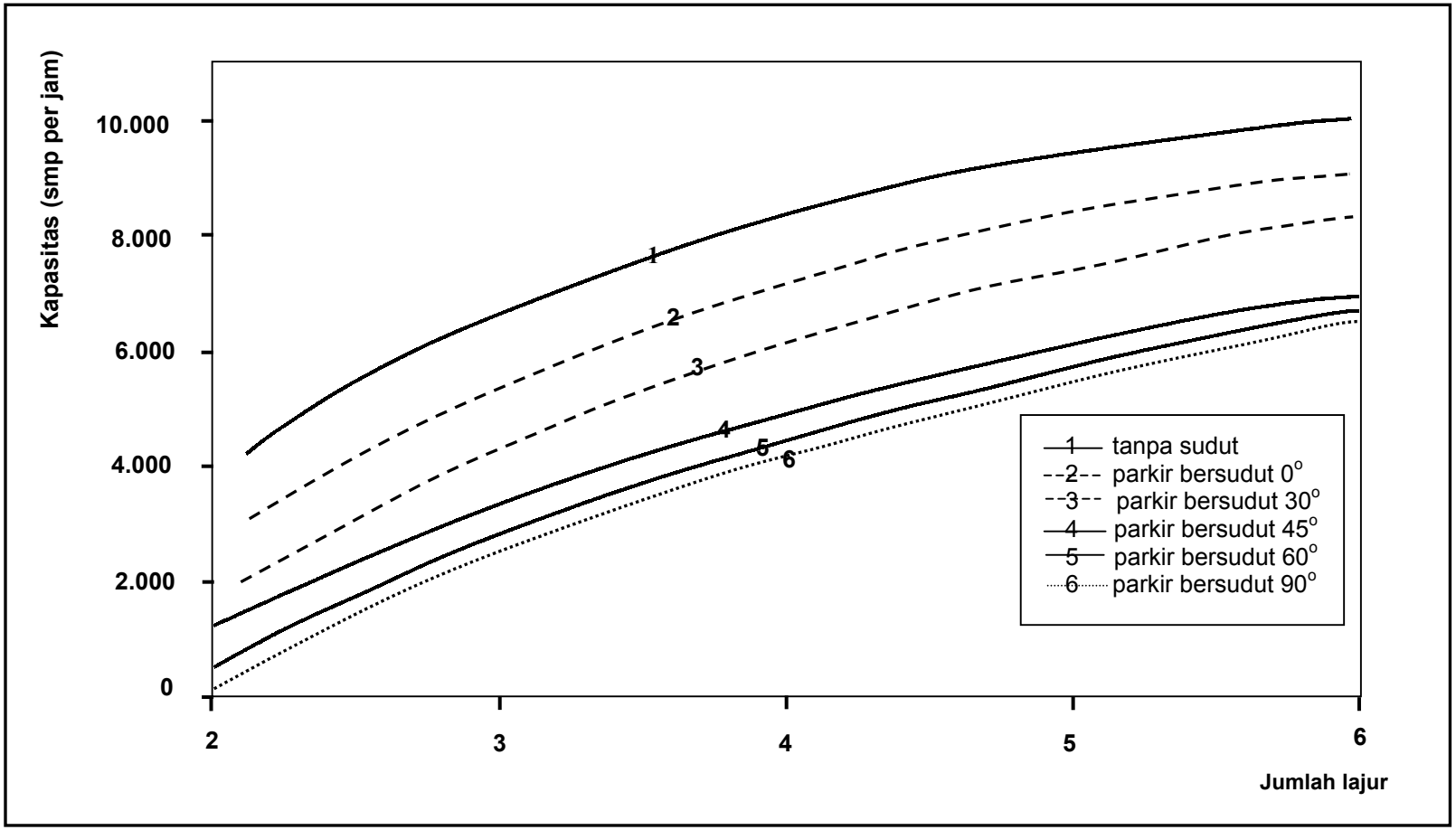
Lebar jalan yang tersita oleh kegiatan perparkiran (termasuk lebar manuver) tentu mengurangi kemampuan jalan tersebut dalam menampung arus kendaraan yang lewat, atau dengan perkataan lain, kapasitas jalan tersebut akan berkurang (penurunan kapasitas jalan bukan saja disebabkan oleh pengurangan lebar jalan tetapi juga oleh proses kegiatan kendaraan masuk dan keluar petak parkir). Semakin besar sudut parkir kendaraan, semakin besar pula pengurangan kapasitas jalannya.

Dari hasil penelitian tersebut terlihat bahwa pada sudut parkir 90°, lebar jalan yang tersita untuk parkir kira-kira hampir dua kali lebar jalan yang tersita untuk parkir dengan sudut parkir 0° (paralel). Pengurangan kapasitas akibat adanya parkir ini akan terasa nyata pada ruas jalan dengan jumlah lajur kecil. Bahkan pada jalan yang mempunyai 2 lajur, dengan lebar lajur 3,5 meter, tidak semua posisi parkir bisa diterapkan. Tetapi, pada jalan dengan jumlah lajur besar (lebih dari 6 lajur), pemakaian ruang jalan untuk parkir tidak akan terlalu mempengaruhi kapasitas jalan secara nyata.

Kondisi ini secara jelas dapat terlihat pada grafik hubungan jumlah lajur (2, 3, 4, 5, dan 6 lajur) dengan kapasitas ruas jalan pada beberapa posisi parkir berikut ini (gambar 2.13). Pada gambar tersebut tampak bahwa untuk posisi dengan parkir paralel (sudut parkir 0°) terjadi pengurangan kapasitas yang cukup besar. Begitu juga antara sudut parkir 0° dengan sudut parkir 30°. Untuk sudut parkir lainnya, pengurangan kapasitasnya tidak terlalu besar.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa: (1) kegiatan perparkiran sangat mengurangi kapasitas ruas jalan dan (2) penurunan kapasitas yang nyata terjadi pada sudut parkir 30°. Perubahan kapasitas pada sudut parkir yang lebih besar dari 30° tidak sebesar perubahan kapasitas pada sudut parkir 30°.

Jadi, kapasitas sisa untuk sudut parkir di atas 30° dapat dikatakan tidak terlalu berbeda dibandingkan dengan kapasitas pada sudut parkir 30°. Dengan kata lain, pengaruh operasi parkir dengan sudut parkir lebih besar dari 30° terhadap kapasitas jalan dapat dianggap mirip dengan pengaruh operasi parkir dengan sudut parkir 30°. Karena itu, direkomendasikan untuk mengambil sudut parkir yang sama dengan atau lebih besar dari 30°, terutama untuk jalan dengan jumlah lajur lebih dari tiga (atau sudut parkir optimal adalah 30°).



Gambar 2.13 Hubungan kapasitas-jumlah lajur dengan sudut parkir berbeda-beda
Sumber: LP-ITB (1998)

2.6.3 Perhitungan kapasitas persimpangan

Kapasitas sistem jaringan jalan perkotaan tidak saja dipengaruhi oleh kapasitas ruas jalannya tetapi juga oleh kapasitas setiap persimpangannya (baik yang diatur oleh lampu lalulintas maupun tidak). Bagaimana pun baiknya kinerja ruas jalan dari suatu sistem jaringan jalan, jika kinerja persimpangannya sangat rendah maka kinerja seluruh sistem jaringan jalan tersebut akan menjadi rendah pula. Berikut ini dijelaskan perhitungan kapasitas persimpangan berlampu lalulintas dan persimpangan yang tidak berlampu lalulintas.

2.6.3.1 Persimpangan tidak berlampu lalulintas Berdasarkan **IHCM (1997),** perhitungan kapasitas persimpangan tidak berlampu lalulintas ditentukan dengan persamaan (2.45) berikut.

$$\mathbf{C = C_0 x F_W x F_M x F_{CS} x F_{RSU} x F_{LT} x F_{RT} x F_{MI}} \quad \text{(smp/jam)} \qquad (2.45)$$

C : kapasitas (smp/jam)

$\mathbf{C_0}$: kapasitas dasar (smp/jam)

$\mathbf{F_W}$: faktor koreksi kapasitas untuk lebar lengan persimpangan

$\mathbf{F_M}$: faktor koreksi kapasitas jika ada pembatas median pada lengan persimpangan

$\mathbf{F_{CS}}$: faktor koreksi kapasitas akibat ukuran kota (jumlah penduduk)

$\mathbf{F_{RSU}}$: faktor koreksi kapasitas akibat adanya tipe lingkungan jalan, gangguan samping, dan kendaraan tidak bermotor

$\mathbf{F_{LT}}$: faktor koreksi kapasitas akibat adanya pergerakan belok kiri

$\mathbf{F_{RT}}$: faktor koreksi kapasitas akibat adanya pergerakan belok kanan

$\mathbf{F_{MI}}$: faktor koreksi kapasitas akibat adanya arus lalulintas pada jalan minor

Besar setiap faktor koreksi kapasitas sangat tergantung pada tipe persimpangan, yang ditentukan oleh beberapa hal: jumlah lengan, jumlah lajur pada jalan utama, dan jumlah lajur pada jalan minor. Penjelasan lebih rinci mengenai nilai setiap faktor koreksi kapasitas bisa didapatkan dalam **IHCM (1997)**.

2.6.3.2 Persimpangan berlampu lalulintas Kapasitas lengan persimpangan berlampu lalulintas dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu nilai arus jenuh, waktu hijau efektif, dan waktu siklus seperti yang dinyatakan dalam persamaan (2.46) berikut.

$$\mathbf{C = S.g/c} \quad \text{(smp/jam)} \qquad (2.46)$$

C : kapasitas (smp/jam) **S** : arus jenuh (smp/jam)

g : waktu hijau efektif **c** : waktu siklus

Adapun nilai arus jenuh suatu persimpangan berlampu lalulintas dapat dihitung dengan persamaan (2.47) berikut.

$$S = S_0 x F_{CS} x F_{SF} x F_G x F_P x F_{LT} x F_{RT} \quad \text{(smp/waktu hijau efektif)} \quad (2.47)$$

S : arus jenuh (smp/waktu hijau efektif)

S_0 : arus jenuh dasar (smp/waktu hijau efektif)

F_{CS} : faktor koreksi arus jenuh akibat ukuran kota (jumlah penduduk)

F_{SF} : faktor koreksi arus jenuh akibat adanya gangguan samping yang meliputi faktor tipe lingkungan jalan dan kendaraan tidak bermotor

F_G : faktor koreksi arus jenuh akibat kelandaian jalan

F_P : faktor koreksi arus jenuh akibat adanya kegiatan perparkiran dekat lengan persimpangan

F_{LT} : faktor koreksi kapasitas akibat adanya pergerakan belok kiri

F_{RT} : faktor koreksi kapasitas akibat adanya pergerakan belok kanan

Besar setiap faktor koreksi arus jenuh sangat tergantung pada tipe persimpangan. Penjelasan lebih rinci mengenai nilai setiap faktor koreksi arus jenuh bisa ditemukan dalam **IHCM (1997)**.

2.7 Contoh sederhana model interaksi

2.7.1 Pendahuluan

Berikut ini diterangkan cara membuat model sistem. Kita akan membuat model yang mengaitkan sistem tata guna lahan (kegiatan), sistem prasarana transportasi (jaringan), dan sistem pergerakan lalulintas (pergerakan). Model akan dibuat secara sangat sederhana dengan melibatkan hanya dua zona saja. Tujuan pembentukan model adalah:

a untuk memahami cara kerja sistem transportasi yang merupakan tujuan utama pembentukan model;

b untuk meramalkan perubahan arus lalulintas bila dilakukan perubahan pada sistem tata guna lahan dan/atau sistem prasarana transportasi. (Catatan: terdapat beberapa model yang dapat meramalkan perubahan sistem tata guna lahan yang disebabkan oleh perubahan sistem prasarana transportasi, misalnya model *Lowry*, tetapi biasanya para perencana transportasi lebih tertarik pada masalah perubahan arus lalulintas sebagai akibat perubahan sistem tata guna lahan dan/atau sistem prasarana transportasi).

Dalam model transportasi ini, tiga peubah terukur utama yang akan digunakan adalah: (a) sistem tata guna lahan, misalnya jumlah penduduk, lapangan kerja, pendapatan, dan karakteristik pemilikan kendaraan; (b) sistem prasarana transportasi, misalnya waktu tempuh dan biaya perjalanan; dan (c) sistem

pergerakan lalulintas, misalnya jumlah penumpang dan kendaraan. Secara umum, arus lalulintas merupakan peubah tetap, yang didapatkan sebagai hasil interaksi sistem tata guna lahan dan sistem prasarana transportasi. Permasalahan utama sekarang adalah bagaimana menerangkan sistem tata guna lahan (misalnya geografis daerah perkotaan) dan sistem jaringan transportasi secara terukur.

Lalulintas adalah peubah tidak bebas, kecuali pada saat perhitungan waktu tempuh lalulintas menjadi peubah bebas. Tata guna lahan adalah peubah bebas karena intensitasnya bervariasi untuk setiap lahan yang berbeda dan juga berubah sebagai fungsi waktu. Sistem prasarana transportasi adalah peubah bebas karena kualitas dan kuantitasnya bervariasi secara geografis dan juga berubah sebagai fungsi waktu, misalnya, adanya pembangunan jalan baru dan peningkatan pelayanan angkutan umum.

Setiap peubah diidentifikasikan dengan notasi sebagai berikut: $\boldsymbol{L}$ = sistem tata guna lahan, $\boldsymbol{Q}$ = sistem arus lalulintas, dan $\boldsymbol{T}$ = kinerja sistem prasarana transportasi. Beberapa notasi lainnya yang dibutuhkan adalah:

$\boldsymbol{L_A}$ = tata guna lahan di zona **A**

$\boldsymbol{P_A}$ = bangkitan pergerakan dari zona **A**

$\boldsymbol{A_B}$ = tarikan pergerakan ke zona **B**

$\boldsymbol{Q_{AB(1)}}$ = arus lalulintas dari zona **A** ke zona **B** yang menggunakan rute **1**

$\boldsymbol{T_{Q_{AB(1)}}}$ = waktu tempuh lalulintas dari zona **A** ke zona **B** yang menggunakan rute **1** pada kondisi arus = $\boldsymbol{Q}$

$\boldsymbol{T_0}$ = waktu tempuh pada kondisi arus bebas = **0**

C = kapasitas

$\boldsymbol{a}$ = indeks tingkat pelayanan

Tahapan yang harus dilakukan dalam penerapan konsep interaksi sistem tata guna lahan–sistem arus lalulintas–sistem prasarana transportasi adalah sebagai berikut.

2.7.1.1 Bangkitan pergerakan Bangkitan pergerakan adalah fungsi tata guna lahan. Jumlah bangkitan pergerakan yang dihasilkan oleh suatu zona berbanding lurus dengan tipe dan intensitas tata guna lahan di zona tersebut:

$$\boldsymbol{P_A = f(L_A)} \tag{2.48}$$

Hal yang sama juga berlaku bagi tarikan pergerakan:

$$\boldsymbol{A_B = f(L_B)} \tag{2.49}$$

2.7.1.2 Sebaran pergerakan Besarnya pergerakan dari zona **A** ke zona **B** merupakan fungsi dari tipe dan intensitas tata guna lahan di zona **A** dan zona **B**

(P_A dan A_B) dan besarnya faktor kemudahan pencapaian (aksesibilitas) zona tujuan (**B**) dari zona asal **A** ($T_{Q_{AB}}$) yang dapat dinyatakan dalam persamaan (2.50):

$$Q_{AB} = \frac{P_A . A_B}{T_{Q_{AB}}} .k \qquad (2.50)$$

k = konstanta penyeimbang sebaran pergerakan

2.7.1.3 Pemilihan moda transportasi dan rute Pemilihan moda transportasi antara zona **A** ke zona **B** didasarkan pada perbandingan antara berbagai karakteristik operasional moda transportasi yang tersedia (misalnya waktu tempuh, tarif, waktu tunggu, dan lain-lain). Begitu juga halnya rute – pemilihan rute didasarkan pada perbandingan karakteristik operasional setiap alternatif rute untuk setiap moda transportasi yang tersedia.

Besarnya pergerakan yang menggunakan rute tertentu akan menentukan besarnya waktu tempuh antarzona pada rute tersebut (lihat gambar 2.7 dan 2.9). Secara konsep, jika terdapat beberapa alternatif rute, kondisi keseimbangan seperti yang dinyatakan oleh **Wardrop** (**1952**) berasumsi bahwa arus lalulintas akan mengatur dirinya sendiri sehingga besarnya waktu tempuh untuk semua alternatif rute yang tersedia adalah sama.

Dengan kata lain, pada kondisi keseimbangan tidak ada seorang pun yang mampu memilih rute yang lebih baik karena semua alternatif rute yang tersedia mempunyai waktu tempuh yang sama dan minimal. Jika terdapat dua alternatif rute (**1** dan **2**) antara zona **A** dan **B**, maka kondisi keseimbangan tercapai jika:

$$T_{Q_{AB(1)}} = T_{Q_{AB(2)}} \qquad (2.51)$$

2.7.2 Contoh penerapan sederhana

Berikut ini dikemukakan contoh perhitungan sederhana untuk memperlihatkan bagaimana sistem tata guna lahan–sistem pergerakan lalulintas–sistem prasarana transportasi saling berinteraksi dalam satu sistem kesatuan.

Misalkan terdapat dua buah zona (zona **A** dan zona **B**) – zona **A** adalah zona permukiman dan zona **B** adalah zona lapangan kerja. Populasi zona **A** adalah 35.000 orang, sedangkan jumlah lapangan kerja yang tersedia sebanyak 12.000. Persentase usia kerja di zona **A** = 90% (hanya 90% dari total populasi yang bekerja). Zona **A** dan zona **B** dihubungkan oleh dua buah rute (rute **1** dan **2**) yang karakteristiknya adalah sebagai berikut:

Rute	Panjang (km)	T_o (menit)	Indeks tingkat pelayanan (a)	Kapasitas (kendaraan/jam)
1	17	25	0,4	3.000
2	20	40	1,0	2.000

Sebaran pergerakan dianggap mengikuti hukum *gravity* sebagai berikut:

$$Q_{AB} = \frac{P_A . A_B}{T_{Q_{AB}}} .0{,}001 \qquad (2.52)$$

Sementara itu, hubungan antara waktu tempuh dengan volume arus lalulintas diasumsikan mengikuti rumus Davidson (persamaan 2.14).

Pertanyaan:

1 Jika hanya rute 1 yang beroperasi, berapa arus lalulintas yang bergerak dari zona A ke zona B?

2 Jika hanya rute 2 yang beroperasi, berapa arus lalulintas yang bergerak dari zona A ke zona B?

3a Jika rute 1 dan rute 2 bersama-sama beroperasi, berapa arus lalulintas yang bergerak dari zona A ke zona B pada setiap rute?

b Terangkan rute mana yang lebih tinggi kemampuannya dalam mengalirkan arus lalulintas?

4a Andaikanlah dibangun lagi rute 3 dengan karakteristik sebagai berikut:

Rute	Panjang (km)	T_o (menit)	Indeks tingkat pelayanan (a)	Kapasitas (kendaraan/jam)
3	14	20	0,25	4.000

Jika rute 1, rute 2, dan rute 3 sama-sama beroperasi, berapa arus lalulintas yang bergerak dari zona A ke zona B pada setiap rute?

b Andaikanlah rute 3 sudah ada, berikan komentar apakah perlu membangun rute 1 dan/atau rute 2?

5 Andaikanlah terdapat perubahan sistem tata guna lahan dalam bentuk peningkatan jumlah populasi menjadi 40.000 (dengan persentase usia kerja tetap 90%) dan lapangan kerja meningkat menjadi 20.000. Terangkan dampak pengaruh peningkatan kebutuhan pergerakan ini dengan kinerja sistem prasarana transportasi yang ada?

Jawaban:

Perhitungan dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu cara analitis dan grafis.

2.7.2.1 Cara analitis Hal pertama yang harus dilakukan adalah membuat persamaan kebutuhan transportasi dengan menggunakan persamaan (2.52). Dengan memasukkan data populasi, persentase usia kerja, dan lapangan kerja, persamaan kebutuhan transportasi (2.53)–(2.54) bisa didapat sebagai berikut:

$$Q_{AB} = \frac{31.500 \text{x} 12.000}{T_{AB}} \text{x} 0{,}001 \qquad (2.53)$$

$$Q_{AB} = \frac{378.000}{T_{AB}} \tag{2.54}$$

Persamaan prasarana transportasi (2.55)–(2.57) untuk setiap rute didapatkan dengan menggunakan persamaan (2.14).

$$T_{Q_{AB(1)}} = 25.\frac{3.000 - 0{,}6.Q_{AB(1)}}{3.000 - Q_{AB(1)}} \quad \text{untuk rute 1} \tag{2.55}$$

$$T_{Q_{AB(2)}} = 40.\frac{2.000}{2.000 - Q_{AB(2)}} \quad \text{untuk rute 2} \tag{2.56}$$

$$T_{Q_{AB(3)}} = 20.\frac{4.000 - 0{,}75.Q_{AB(3)}}{4.000 - Q_{AB(3)}} \quad \text{untuk rute 3} \tag{2.57}$$

- **Bila hanya rute 1 yang beroperasi** Dengan memasukkan persamaan (2.55) ke persamaan (2.54), didapat persamaan (2.58):

$$15Q_{AB}^2 - 453.000Q_{AB} + 1.134.000.000 = 0 \tag{2.58}$$

  Dengan menyelesaikan persamaan kuadrat (2.58), didapat jumlah pergerakan lalulintas yang akan menggunakan rute 1, yaitu sebesar **2.755** kendaraan/jam dengan waktu tempuh **137,23** menit.

- **Bila hanya rute 2 yang beroperasi** Dengan memasukkan persamaan (2.56) ke persamaan (2.54), didapat persamaan (2.59):

$$756.000.000 - 378.000Q_{AB} = 80.000Q_{AB} \tag{2.59}$$

  Dengan menyelesaikan persamaan (2.59), didapat jumlah pergerakan lalulintas yang akan menggunakan rute 2, yaitu sebesar **1.651** kendaraan/jam dengan waktu tempuh **229** menit.

- **Bila hanya rute 3 yang beroperasi** Dengan memasukkan persamaan (2.57) ke persamaan (2.54), didapat persamaan (2.60):

$$15Q_{AB}^2 - 458.000Q_{AB} + 1.512.000.000 = 0 \tag{2.60}$$

  Dengan menyelesaikan persamaan (2.60), didapat jumlah pergerakan lalulintas yang akan menggunakan rute 3, yaitu sebesar **3.766** kendaraan/jam dengan waktu tempuh **100,38** menit.

- **Bila rute 1 dan rute 2 sama-sama beroperasi (1+2)** Jika kedua rute tersebut sama-sama beroperasi, dibutuhkan 2 syarat batas yang harus dipenuhi:

  Syarat batas (1): $Q_{AB} = Q_{AB(1)} + Q_{AB(2)}$ (2.61)

  Syarat batas (2): $T_{Q_{AB(1)}} = T_{Q_{AB(2)}}$ kondisi keseimbangan Wardrop (2.62)

Dengan syarat batas (2) seperti yang dinyatakan dalam persamaan (2.62), bisa didapatkan persamaan (2.63) berikut.

$$\mathbf{50.000}Q_{\mathbf{AB(1)}} + \mathbf{75}Q_{\mathbf{AB(1)}}Q_{\mathbf{AB(2)}} - \mathbf{75.000}Q_{\mathbf{AB(2)}} = \mathbf{90.000.000} \qquad (2.63)$$

Dengan memasukkan syarat batas (1), yaitu persamaan (2.61) ke persamaan (2.54), persamaan (2.54) dapat ditulis kembali menjadi persamaan (2.64).

$$T_{Q_{\mathbf{AB}}} = \frac{\mathbf{378.000}}{Q_{\mathbf{AB(1)}} + Q_{\mathbf{AB(2)}}} \qquad (2.64)$$

Dengan memasukkan persamaan (2.64) ke dalam persamaan (2.56) untuk rute 2, dihasilkan persamaan (2.65) berikut.

$$Q_{\mathbf{AB(1)}} = \mathbf{9.450} - \mathbf{5,725}Q_{\mathbf{AB(2)}} \qquad (2.65)$$

Dengan memasukkan persamaan (2.65) ke persamaan (2.63), diperoleh persamaan (2.66) berikut.

$$\mathbf{85,875}Q^2_{\mathbf{AB(2)}} + \mathbf{219.500}Q_{\mathbf{AB(2)}} - \mathbf{382.500.000} = \mathbf{0} \qquad (2.66)$$

Dengan menyelesaikan persamaan kuadrat (2.66), didapat jumlah pergerakan lalulintas yang menggunakan rute 1, yaitu sebesar **1.189** kendaraan/jam dan rute 2 sebesar **2.641** kendaraan/jam sehingga total pergerakan antara zona **A** dan zona **B** adalah **3.830** kendaraan/jam dengan waktu tempuh **99,675** menit.

- **Bila rute 1, rute 2, dan rute 3 sama-sama beroperasi (1+2+3)** Jika ketiga rute sama-sama beroperasi, dibutuhkan 2 syarat batas yang harus dipenuhi:

Syarat batas (1): $Q = Q_{\mathbf{AB(1)}} + Q_{\mathbf{AB(2)}} + Q_{\mathbf{AB(3)}}$ dan (2.67)

Syarat batas (2): $T_{Q_{\mathbf{AB}}} = T_{Q_{\mathbf{AB(1)}}} = T_{Q_{\mathbf{AB(2)}}} = T_{Q_{\mathbf{AB(3)}}}$ (2.68)

Dari syarat $T_{Q_{\mathbf{AB(1)}}} = T_{Q_{\mathbf{AB(2)}}}$ diperoleh:

$$\mathbf{50.000}Q_{\mathbf{AB(1)}} + \mathbf{15}Q_{\mathbf{AB(1)}}Q_{\mathbf{AB(2)}} - \mathbf{75.000}Q_{\mathbf{AB(2)}} = \mathbf{90.000.000} \qquad (2.69)$$

Dari syarat $T_{Q_{\mathbf{AB(2)}}} = T_{Q_{\mathbf{AB(3)}}}$ diperoleh:

$$\mathbf{4.000}Q_{\mathbf{AB(2)}} - \mathbf{0,75}Q_{\mathbf{AB(2)}}Q_{\mathbf{AB(3)}} - \mathbf{2.500}Q_{\mathbf{AB(3)}} = \mathbf{8.000.000} \qquad (2.70)$$

Dari syarat $T_{Q_{\mathbf{AB}}} = T_{Q_{\mathbf{AB(3)}}}$ diperoleh:

$$Q_{\mathbf{AB(3)}} = \mathbf{9.450} - \mathbf{5,725}Q_{\mathbf{AB(2)}} - Q_{\mathbf{AB(1)}} \qquad (2.71)$$

Dengan memasukkan persamaan (2.71) ke persamaan (2.70), diperoleh persamaan (2.72) berikut:

$$\mathbf{4,29375}Q^2_{\mathbf{AB(2)}} + \mathbf{0,75}Q_{\mathbf{AB(1)}}Q_{\mathbf{AB(2)}} + \mathbf{2.500}Q_{\mathbf{AB(1)}} + \mathbf{11.225}Q_{\mathbf{AB(2)}} = \mathbf{15.625.000} \qquad (2.72)$$

Dari persamaan (2.69) dan (2.72) diperoleh:

$$85{,}875Q_{AB(2)}^2 + 299.500Q_{AB(2)} - 222.500.000 = 0 \qquad (2.73)$$

Dengan menyelesaikan persamaan (2.73), didapat jumlah pergerakan lalulintas yang akan menggunakan rute 2, yaitu sebesar **629** kendaraan/jam.

Dengan memasukkan nilai $Q_{AB(2)} = 629$ ke persamaan (2.70), diperoleh $Q_{AB(3)} = 3.539$ kendaraan/jam. Dengan memasukkan nilai $Q_{AB(2)} = 629$ dan $Q_{AB(3)} = 3.539$ ke persamaan (2.71), diperoleh nilai $Q_{AB(1)} = 2.308$ kendaraan/jam sehingga total jumlah kendaraan untuk semua rute $Q_{AB} = 6.476$ kendaraan/jam dengan waktu tempuh T_{AB} = **58,37** menit.

Seluruh hasil perhitungan nilai arus dan waktu tempuhnya untuk setiap rute direkapitulasi dalam tabel 2.25.

Tabel 2.25 Rekapitulasi besar arus pada setiap rute dan waktu tempuhnya

Arus dan waktu tempuh / Rute	$Q_{AB(1)}$ (kend. per jam)	$Q_{AB(2)}$ (kend. per jam)	$Q_{AB(3)}$ (kend. per jam)	Q_{AB} (kend. per jam)	T_{AB} (menit)	Titik keseimbangan (lihat gambar 2.14)
1*	2.755	0	0	2.755	137,23	**B**
2*	0	1.651	0	1.651	229,00	**A**
3*	0	0	3.766	3.766	100,38	**C**
1+2*	2.642	1.189	0	3.831	99,675	**D**
1+2+3*	2.308	629	3.539	6.476	58,37	**E**

1* hanya rute 1 yang beroperasi
2* hanya rute 2 yang beroperasi
3* hanya rute 3 yang beroperasi
1+2* rute 1 dan 2 sama-sama beroperasi
1+2+3* rute 1,2, dan 3 sama-sama beroperasi
Sumber: Hasil analisis

- **Bila terjadi perubahan parameter sistem tata guna lahan** Bila terjadi perubahan jumlah populasi dari 35.000 menjadi 40.000 dan jumlah lapangan kerja dari 12.000 menjadi 20.000 dengan persentase usia kerja yang tidak berubah (tetap 90%), maka persamaan kebutuhan transportasi akan berubah menjadi persamaan (2.74) berikut.

$$Q_{AB} = \frac{720.000}{T_{AB}} \qquad (2.74)$$

Proses yang sama dilakukan dengan persamaan sistem prasarana transportasi (2.55)–(2.57) tetap tidak berubah. Hasil perhitungan besar arus lalulintas dan waktu tempuh untuk setiap kondisi direkapitulasi dalam tabel 2.26. Terlihat bahwa perubahan jumlah populasi dan lapangan kerja sangat berpengaruh pada besar arus lalulintas yang akan melalui setiap alternatif rute dan juga pada waktu tempuhnya. Hal ini membuktikan adanya interaksi antara sistem tata guna lahan dengan sistem pergerakan lalulintas sebagai satu sistem kesatuan.

Misalnya, jika hanya rute 1 saja yang beroperasi, pergerakan meningkat dari **2.755** menjadi **2.873** kendaraan/jam. Begitu juga, terjadi peningkatan waktu tempuh yang cukup tajam dari **137,23** menjadi **250,64** menit. Hal ini terjadi karena besarnya arus lalulintas sudah mendekati kapasitas rute 1 (**3.000** kendaraan/jam).

Tabel 2.26 Rekapitulasi besar arus pada setiap rute dan waktu tempuhnya dengan adanya perubahan parameter sistem tata guna lahan

Arus dan waktu tempuh / Rute	$Q_{AB(1)}$ (kend. per jam)	$Q_{AB(2)}$ (kend. per jam)	$Q_{AB(3)}$ (kend. per jam)	Q_{AB} (kend. per jam)	T_{AB} (menit)	Titik keseimbangan (lihat gambar 2.14)
1*	2.873	0	0	2.873	250,64	**B'**
2*	0	1.800	0	1.800	400,00	**A'**
3*	0	0	3.883	3.883	185,44	**C'**
1+2*	2.802	1.520	0	4.322	166,59	**D'**
1+2+3*	2.627	1.162	3.752	7.541	95,48	**E'**

1* hanya rute 1 yang beroperasi
2* hanya rute 2 yang beroperasi
3* hanya rute 3 yang beroperasi
1+2* rute 1 dan 2 sama-sama beroperasi
1+2+3* rute 1,2, dan 3 sama-sama beroperasi
Sumber: Hasil analisis

Begitu juga halnya jika hanya rute 2 saja yang beroperasi – terlihat peningkatan arus lalulintas dari **1.561** menjadi **1.800** kendaraan/jam dan peningkatan waktu tempuh yang sangat tajam dari **229** menjadi **400** menit. Hal ini terjadi karena besarnya arus lalulintas sudah mendekati kapasitas rute 2 (**2.000** kendaraan/jam). Hal yang sama terjadi pada rute lainnya seperti terlihat pada gambar 2.14.

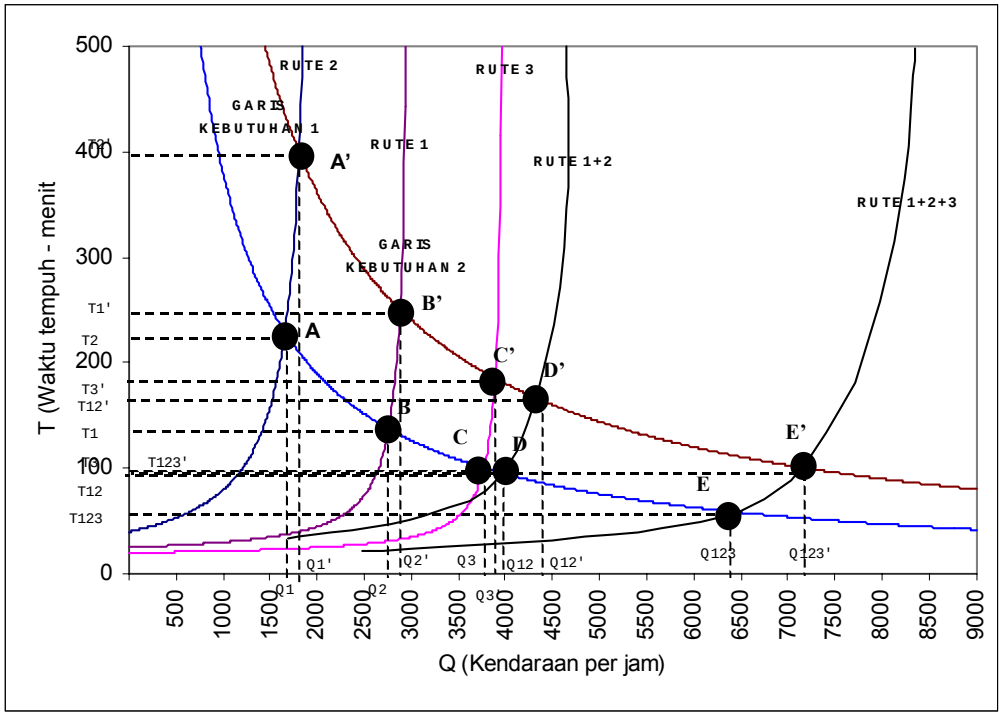
Perilaku yang sama akan terjadi jika terjadi perubahan dalam parameter sistem prasarana transportasinya, misalnya adanya pelapisan ulang atau perkerasan baru yang menyebabkan terdapat perubahan nilai indeks tingkat pelayanan (**a**) atau adanya peningkatan kapasitas jalan dalam bentuk pelebaran jalan (**C**). Perubahan nilai '**a**' dan/atau '**C**' ini menyebabkan perubahan besar arus lalulintas yang akan menggunakan setiap alternatif rute dan juga waktu tempuhnya. Hal ini membuktikan adanya interaksi antara sistem prasarana transportasi dengan sistem pergerakan lalulintas.

Dengan demikian, secara keseluruhan dapat disimpulkan bahwa perubahan dalam sistem tata guna lahan dan sistem prasarana transportasi akan mempengaruhi besarnya arus lalulintas yang akan menggunakan setiap alternatif rute, termasuk waktu tempuhnya.

2.7.2.2 Cara grafis Dengan cara grafis, grafik hubungan antara Q_{AB} dan $T_{Q_{AB}}$ dibuat untuk persamaan kebutuhan transportasi (2.31) dan persamaan prasarana transportasi (2.32–2.34) seperti terlihat pada gambar 2.14. Hubungan antara Q_{AB} dan $T_{Q_{AB}}$ terlihat pada tabel 2.27.

Tabel 2.27 Hubungan antara Q_{AB} dan $T_{Q_{AB}}$

Q_{AB} (kend/jam)	$T_{Q_{AB}}$ (menit)	$T_{Q_{AB(1)}}$ (menit)	$T_{Q_{AB(2)}}$ (menit)	$T_{Q_{AB(3)}}$ (menit)	Q_{AB} (kend/jam)	$T_{Q_{AB}}$ (menit)	$T_{Q_{AB(1)}}$ (menit)	$T_{Q_{AB(2)}}$ (menit)	$T_{Q_{AB(3)}}$ (menit)
0		25,00	40,00	20,00	5.000	75,60			
500	756,00	27,00	53,33	20,71	5.500	68,73			
1.000	378,00	30,00	80,00	21,67	6.000	63,00			
1.500	252,00	35,00	160,00	23,00	6.500	58,15			
2.000	189,00	45,00	~	25,00	7.000	54,00			
2.500	151,20	75,00		28,33	7.500	50,40			
3.000	126,00	~		35,00	8.000	47,25			
3.500	108,00			55,00	8.500	44,47			
4.000	94,50			~	9.000	42,00			
4.500	84,00								



Gambar 2.14 Hubungan antara Q_{AB} dan $T_{Q_{AB}}$ (persamaan kebutuhan transportasi dan persamaan prasarana transportasi setiap rute)

Dengan menggunakan cara grafis dapat dengan mudah dilihat dan dianalisis adanya interaksi antara sistem tata guna lahan–sistem pergerakan lalulintas–sistem prasarana transportasi. Contohnya, perubahan parameter dalam sistem prasarana

transportasi rute 1 (misal adanya pelapisan ulang yang menyebabkan perubahan nilai indeks tingkat pelayanan).

Dengan cara grafis, kita cukup menghitung persamaannya dan mengubah grafik rute 1 tanpa harus melakukan perhitungan aljabar yang rumit; analisis pengaruh segera dapat dilakukan secara visual. Begitu juga halnya dengan perubahan parameter sistem tata guna lahan; kita cukup mengubah persamaan barunya dan menggeser garis kebutuhan transportasi sesuai dengan persamaannya dan langsung analisis pengaruh dapat dilakukan secara visual dengan mudah.

Akan tetapi, kelemahan cara grafis ini adalah nilai arus lalulintas dan waktu tempuh menjadi tidak seakurat cara analitis karena dihasilkan secara grafis dan dibaca secara visual. Semakin tinggi tingkat akurasi grafik, semakin tinggi pula tingkat akurasi nilai arus lalulintas dan waktu tempuh yang dihasilkan.

Beberapa kesimpulan bisa didapatkan dengan menganalisis informasi yang tersaji pada tabel 2.25–2.26 dan gambar 2.14.

a Jika rute 1 dan rute 2 dioperasikan sendiri-sendiri, terlihat bahwa kemampuan rute 1 dalam menyalurkan arus lalulintas lebih baik dibandingkan dengan rute 2. Buktinya, arus lalulintas yang menggunakan rute 1 lebih besar dibandingkan dengan rute 2, dengan waktu tempuh yang juga lebih pendek (60% dari waktu tempuh rute 2).

   Dengan cara grafis (lihat gambar 2.14), titik **B** menunjukkan besarnya arus lalulintas dan waktu tempuh yang terjadi jika rute 1 saja yang beroperasi – titik **A** jika rute 2 saja yang beroperasi, dan titik **C** jika rute 3 saja yang beroperasi. Hal ini dengan mudah dapat dilihat pada gambar 2.14. Terlihat bahwa rute 3 mempunyai kemampuan terbaik dalam menyalurkan arus lalulintas, diikuti oleh rute 1, dan baru rute 2.

b Apabila rute 2 dioperasikan bersama-sama dengan rute 1 (1+2), ternyata rute 2 memberikan kontribusi yang kecil terhadap peningkatan total arus kendaraan dari **2.755** menjadi **3.831** kendaraan/jam, sedangkan waktu tempuh hanya sedikit menurun dari **137,23** menjadi **100,38** menit. Kesimpulan ini mendukung kesimpulan butir (a) yang menyatakan bahwa kinerja rute 2 jauh lebih rendah dibandingkan dengan rute 1.

   Dengan cara grafis, titik **D** adalah titik keseimbangan yang menunjukkan besarnya arus lalulintas yang menggunakan rute 1 dan 2 serta waktu tempuhnya jika rute 1 dan 2 bersama-sama beroperasi. Secara mudah juga dapat dilihat pada gambar 2.14 bahwa kontribusi rute 2 dalam menyalurkan arus lalulintas lebih kecil dibandingkan dengan rute 1. Dengan cara grafis dapat dengan mudah dikaji apa yang terjadi jika rute 2 harus ditutup karena suatu alasan teknis. Yang terjadi adalah perubahan titik keseimbangan dari titik **D** menjadi titik **B**.

c Bandingkanlah jika hanya rute 3 yang beroperasi dengan jika rute 1 dan 2 sama-sama beroperasi (1+2). Tampak bahwa besar pergerakan dengan hanya

rute 3 saja yang beroperasi hanya sedikit lebih kecil (**3.766** kendaraan/jam) dibandingkan dengan rute 1+2 (**3.831** kendaraan/jam). Begitu juga dengan waktu tempuhnya; waktu dengan hanya rute 3 saja yang beroperasi (**100,38** menit) hanya sedikit lebih besar dibandingkan dengan waktu rute 1+2 (**99,675** menit). Dengan cara grafis, hal tersebut juga dapat dengan mudah dilihat – titik **C** dan titik **D** letaknya sangat berdekatan, yang menyatakan bahwa besarnya arus lalulintas yang terjadi serta waktu tempuhnya kira-kira sama.

Hal ini sangat penting dalam kebijakan pengambilan keputusan untuk memilih rute mana yang harus dibangun. Dalam hal ini, kebijakan untuk membangun rute 3 saja merupakan kebijakan yang sangat tepat karena kinerja rute 3 kira-kira sama dengan kinerja jika rute 1 dan 2 dioperasikan bersama-sama. Sudah barang tentu membangun rute 3 saja akan jauh lebih murah dibandingkan dengan membangun rute 1 dan rute 2 sehingga akan sangat mubazir jika rute 1 dan 2 yang dibangun.

d Jika rute 1, rute 2, dan rute 3 sama-sama beroperasi (1+2+3), dapat terlihat bahwa peranan rute 2 sangat kecil dalam menyalurkan arus lalulintas. Jadi, dapat disimpulkan bahwa kombinasi yang paling baik adalah membangun rute 1 dan rute 3 atau cukup hanya rute 3 saja. Dengan cara grafis, titik **E** adalah titik keseimbangan yang dapat menunjukkan besarnya arus lalulintas yang bergerak pada setiap rute dan waktu tempuhnya jika rute 1, 2, dan 3 bersama-sama beroperasi. Terlihat dengan sangat mudah bahwa volume arus lalulintas yang menggunakan rute 2 ternyata sangat kecil dibandingkan dengan rute 1 dan rute 3.

e Perubahan dalam parameter kebutuhan transportasi dapat dengan mudah dilihat secara grafis. Perubahan tersebut terlihat dari adanya pergeseran garis kebutuhan 1 menjadi garis kebutuhan 2. Dengan adanya pergeseran tersebut dapat dengan mudah dilihat bahwa titik **A** bergeser menjadi titik **A'** dan terlihat peningkatan volume arus lalulintas yang sangat tajam jika hanya rute 1 saja yang beroperasi. Pergeseran garis kebutuhan akan transportasi tersebut menghasilkan titik-titik keseimbangan baru (**A'**, **B'**, **C'**, **D'**, dan **E'**); perubahan titik keseimbangan tersebut memperlihatkan adanya interaksi antara sistem tata guna lahan dengan sistem prasarana transportasi.

Begitu juga jika terjadi perubahan dalam sistem prasarana transportasi, misalnya dilakukan pelebaran jalan pada suatu rute sehingga kapasitas rute tersebut berubah, sementara sistem tata guna lahan tidak berubah. Hal ini akan menciptakan titik keseimbangan baru yang sekali lagi membuktikan adanya interaksi antara sistem prasarana transportasi dengan sistem pergerakan.

Selanjutnya, tabel 2.28 memperlihatkan rekapitulasi perubahan besarnya arus dan waktu tempuh untuk 3 kondisi yang dapat terjadi dan dibandingkan dengan kondisi eksisting (rute 1 dan 2 sama-sama beroperasi). Ketiga kondisi tersebut adalah:

1 Rute 2 ditutup

2 Kondisi eksisting tetapi terjadi perubahan tata guna lahan

3 Kondisi 2 tetapi rute 3 sudah beroperasi

Tabel 2.28 Rekapitulasi besar arus pada setiap rute dan waktu tempuhnya untuk 3 kondisi

Kondisi	Arus lalulintas pada setiap rute (kendaraan/jam)				Waktu tempuh (menit)	Titik pada gambar 2.14
	$Q_{AB(1)}$	$Q_{AB(2)}$	$Q_{AB(3)}$	$Q_{AB(T)}$		
1 Rute 2 ditutup	2.755	0	0	2.755	137,23	**B**
2 Perubahan tata guna lahan	2.802	1.520	0	4.322	166,59	**D'**
3 Kondisi 2 dan rute 3 beroperasi	2.627	1.162	3.752	7.541	95,48	**E'**
4. Kondisi eksisting	**2.642**	**1.189**	**0**	**3.831**	**99,675**	**D**

Sumber: Hasil analisis

Terlihat dengan jelas pada kondisi **1** bahwa dengan ditutupnya rute 2, besarnya pergerakan dari zona **A** ke zona **B** berkurang cukup besar dari **3.831** menjadi **2.755** kendaraan/jam dengan peningkatan waktu tempuh yang cukup tajam dari **99,675** menjadi **137,23** menit. Terlihat bahwa rute 2 berperan cukup besar dalam mengalirkan arus lalulintas. Hal ini disebabkan karena kapasitas rute 1 hanya sebesar 3.000 kendaraan/jam. Sehingga, jika hanya rute 1 yang beroperasi, arus yang terjadi pasti berada di bawah 3.000 kendaraan/jam. Selain itu, contoh ini juga membuktikan terdapatnya interaksi antara sistem prasarana transportasi dengan sistem pergerakan (perubahan pada sistem prasarana transportasi menyebabkan perubahan pada sistem pergerakan).

Pada kondisi **2**, terjadi perubahan parameter tata guna lahan yaitu berupa peningkatan populasi dan jumlah lapangan kerja. Terlihat bahwa kondisi ini menyebabkan terdapatnya perubahan besar arus total dari **3.831** menjadi **4.322** kendaraan/jam dengan peningkatan waktu tempuh yang sangat tajam dari **99,675** menjadi **166,59** menit. Peningkatan waktu tempuh yang cukup tinggi ini terjadi karena besarnya arus pada rute 1 dan 2 sudah hampir mencapai kapasitasnya. Contoh ini membuktikan terdapatnya interaksi antara sistem tata guna lahan dengan sistem pergerakan (perubahan pada sistem tata guna lahan menyebabkan perubahan pada sistem pergerakan).

Pada kondisi **3**, rute 3 beroperasi bersama-sama dengan rute 1 dan 2. Terlihat bahwa pada kondisi 3 ini, terjadi peningkatan besar arus total yang sangat tajam dari **4.322** menjadi **7.541** kendaraan/jam dengan penurunan waktu tempuh yang juga sangat tajam dari **166,59** menjadi **95,48** menit. Terlihat bahwa besarnya arus yang melalui rute 3 hampir sama dengan besarnya total arus pada rute 1 dan 2. Hal ini menunjukkan peran rute 3 yang sangat besar dalam sistem prasarana transportasi yang ada. Contoh ini sekali lagi membuktikan terdapatnya interaksi antara sistem prasarana transportasi dengan sistem pergerakan (perubahan pada sistem prasarana transportasi menyebabkan perubahan pada sistem pergerakan).

3 Konsep pemodelan

3.1 Pemodelan sistem

Pada bab 2 telah dijelaskan kaitan antara sistem tata guna lahan (kegiatan), sistem prasarana transportasi (jaringan), dan sistem arus lalulintas (pergerakan) dengan panjang lebar (kualitatif). Selain itu, pendekatan kuantitatif juga dibutuhkan untuk mendapatkan penjelasan atau gambaran yang lebih jelas serta terukur mengenai kaitan tersebut. Dalam pendekatan secara 'sistem', cara tersebut dikenal dengan **pemodelan sistem**. Model adalah alat bantu atau media yang dapat digunakan untuk mencerminkan dan menyederhanakan suatu realita (dunia sebenarnya) secara terukur; beberapa di antaranya adalah:

- model fisik (model arsitek, model teknik, wayang golek, dan lain-lain);
- model peta dan diagram;
- model statistik dan matematik (fungsi atau persamaan) yang dapat menerangkan secara terukur beberapa aspek fisik, sosial ekonomi, atau model transportasi.

Semua model merupakan penyederhanaan realita untuk mendapatkan tujuan tertentu, yaitu penjelasan dan pengertian yang lebih mendalam serta untuk kepentingan peramalan. Ilmu arsitektur mengenal **model maket** (bentuk fisik rencana pengembangan wilayah, kota, kawasan, dan lain-lainnya sebagai cerminan realita dalam skala yang lebih kecil).

Kegunaan model maket tersebut adalah untuk dapat memperlihatkan dan menjelaskan perkembangan wilayah tersebut jika konsep pengembangan dilakukan. Dengan demikian, kita dapat mengetahui apa saja yang perlu dilengkapi oleh para perencana atau pengembang dengan hanya melihat dan mempelajari model maket tersebut. Beberapa simulasi skenario dapat dilakukan pada model sehingga dapat dipilih rencana pengembangan yang optimum yang sesuai dengan tujuan awal pembangunan. Dengan kata lain, realita yang ada disederhanakan dan dicerminkan dengan menggunakan model maket.

Ilmu teknik sipil juga mengenal model maket ini, misalnya rencana pembangunan suatu bendungan besar yang dipelajari dulu karakteristiknya di laboratorium dengan membuat bendungan yang sama dengan skala yang jauh lebih kecil. Dengan model tersebut bisa didapatkan gambaran yang lebih jelas dan rinci serta terukur mengenai perilaku bendungan jika dibangun dengan skala sebenarnya. Beberapa uji atau simulasi berbagai kondisi kritis dapat dilakukan sehingga dapat dihasilkan rencana yang paling efisien, aman, atau memenuhi kriteria lain yang disyaratkan. Hal ini dibutuhkan untuk mencegah hal yang tidak diinginkan jika bendungan langsung dibangun. Tambahan lain, di negara Belanda yang terkenal dengan bendungan besar dan kecil, kita bahkan dapat menemukan model maket bendungan dengan skala 1:1.

Di bidang pariwisata, penggunaan **model miniatur** (bagian dari model fisik) sangat populer dan sangat sering kita dijumpai di beberapa tempat penjualan miniatur objek pariwisata (misalnya miniatur candi Borobudur). Miniatur tersebut sebenarnya merupakan model (replika) candi borobudur dalam skala lebih kecil dan berbentuk 3-dimensi. Dengan demikian, seseorang di kota Banda Aceh tidak perlu mengeluarkan biaya besar untuk jauh-jauh pergi ke Yogyakarta untuk melihat candi tersebut (realita), tetapi dapat membayangkannya dengan hanya mengamati model miniatur tersebut.

Model peta dan diagram menggunakan media garis (lurus dan lengkung), warna, notasi, dan lain-lainnya untuk menggambarkan realita. Misalnya, dalam model kontur ketinggian, dengan hanya menggunakan garis lengkung, kita dapat membayangkan realita dengan hanya melihat model kontur ketinggian itu. Informasi lain yang tidak diperlukan tidak ditampilkan (misalnya tata guna lahan, lokasi jembatan, jalan, jenis tanah, kondisi geologi). Beberapa perencanaan tahap berikutnya dapat dilakukan tanpa perlu melihat lapangan atau lokasi sebenarnya, cukup dengan hanya melihat model kontur itu.

Peta topografi dapat memperlihatkan informasi kemiringan tanah, ketinggian, lokasi sungai dan jembatan, gunung, batas administrasi pemerintahan, dan lain-lain. Peta tata guna lahan dapat memperlihatkan jenis peruntukan lahan suatu wilayah, misalnya daerah industri, permukiman, hutan lindung, perkantoran, dan fasilitas sosial. Akan tetapi, informasi tentang hal lain yang tidak dibutuhkan tidak diperlihatkan dalam model topografi tersebut. Jadi, model itu merupakan penyederhanaan dan cerminan realita.

Selain itu, dengan hanya menggunakan media informasi garis dan angka dalam suatu **peta kontur**, seseorang (ahli geodesi) dapat langsung membayangkan perkiraan situasi dan kondisi lapangan sebenarnya (realita) tanpa harus pergi ke lapangan; cukup dengan hanya melihat peta kontur tersebut. Foto, sketsa atau peta dapat dikategorikan sebagai model 2-dimensi (sudah barang tentu berskala lebih kecil) karena dapat merepresentasikan realita dengan cara yang lebih sederhana.

Beberapa model dapat mencerminkan realita secara tepat. Secara umum dapat dikatakan bahwa semakin mirip suatu model dengan realitanya, semakin sulit membuat model tersebut (wayang golek lebih mirip dengan manusia dibandingkan dengan wayang kulit, sehingga lebih sulit melaksanakan pertunjukan wayang golek). Model canggih belum tentu merupakan model yang baik – kadang-kadang model sederhana dapat menghasilkan keluaran yang jauh lebih baik dan sesuai untuk tujuan tertentu dengan situasi dan kondisi tertentu pula.

3.2 Model sistem kegiatan dan sistem jaringan

Model ini dapat digunakan untuk mencerminkan hubungan antara sistem tata guna lahan (kegiatan) dengan sistem prasarana transportasi (jaringan) dengan menggunakan beberapa seri fungsi atau persamaan (model matematik). Model tersebut dapat menerangkan cara kerja sistem dan hubungan keterkaitan antarsistem

secara terukur. Menurut **Black (1981)**, salah satu alasan penggunaan model matematik untuk mencerminkan sistem tersebut adalah karena matematik:

> *'… is more precise language among others. The precision required to translate words into symbols can often reveal inadequacies in the verbal description …'*
>
> ('... adalah bahasa yang jauh lebih tepat dibandingkan dengan bahasa verbal. Ketepatan yang didapat dari penggantian kata dengan simbol sering menghasilkan penjelasan yang jauh lebih baik daripada penjelasan dengan bahasa verbal ...')

Dalam model ini, hubungan antara sistem tata guna lahan (kegiatan), sistem prasarana transportasi (jaringan), dan sistem arus lalulintas (pergerakan) dinyatakan secara matematis. Seperti yang telah diterangkan pada bab 2, enam konsep yang dapat digunakan adalah aksesibilitas, bangkitan dan tarikan pergerakan, sebaran pergerakan, pemilihan moda, pemilihan rute, serta ciri dinamis arus lalulintas dalam sistem jaringan jalan. **Wilson (1974)** menyusun beberapa pertanyaan yang wajib dijawab oleh para perencana transportasi sebelum merancang model matematik:

a Apa tujuan akhir yang ingin dicapai sehingga model tersebut perlu dirancang?

b Peubah apa saja yang terpengaruhi yang harus dipertimbangkan?

c Peubah apa saja yang bisa diatur oleh para perencana transportasi?

d Teori apa saja yang dapat diterapkan dalam merancang pemodelan tersebut?

e Sejauh manakah tingkat pengelompokan model tersebut?

f Bagaimana peran waktu dalam model tersebut?

g Teknik apa saja yang dapat dipakai?

h Data apa saja yang tersedia?

i Bagaimana cara model tersebut dikalibrasi dan diabsahkan?

Untuk kasus pemodelan sistem tata guna lahan (kegiatan)–sistem prasarana transportasi (jaringan)–sistem arus lalulintas (pergerakan), jawaban pertanyaan di atas dapat ditulis sebagai berikut ini.

a Tujuan pemodelan adalah untuk membantu mengerti cara kerja sistem, dan meramalkan perubahan pada sistem pergerakan arus lalulintas sebagai akibat perubahan pada sistem tata guna lahan dan sistem prasarana transportasi.

b Peubah utama yang digunakan adalah tata guna lahan, sistem prasarana transportasi, dan arus lalulintas.

c Para perencana dapat mengawasi langsung lokasi tata guna lahan dan fasilitas prasarana transportasi dengan melaksanakan kebijakan yang tertera dalam Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW), baik dalam skala nasional, propinsi, kabupaten, ataupun kotamadya serta kebijakan yang tertera dalam Sistranas (Sistem Transportasi Nasional) atau sistem jaringan transportasi lainnya dalam skala yang lebih kecil (propinsi, kabupaten, atau kotamadya).

d Teori yang digunakan adalah: aksesibilitas, bangkitan dan tarikan pergerakan, sebaran pergerakan, pemilihan moda, pemilihan rute, dan ciri arus lalulintas dinamis. Setiap teori (konsep) merupakan submodel.

e Tingkat pengelompokan model memerlukan dua faktor yang harus diperhatikan:

- Berapa luaskah zona tersebut?
- Haruskah arus lalulintas diambil secara gabungan ataukah perlu dipisahkan berdasarkan tujuan, waktu, atau arah perjalanan?

f Waktu mempunyai dua arti dalam pemodelan. **Model dinamis** menganggap 'waktu' harus dipertimbangkan sebagai suatu peubah dalam fungsi matematisnya; sedangkan **model statis** tidak memasukkan 'waktu' sebagai peubah, tetapi dapat digunakan untuk meramalkan sesuatu sebagai fungsi waktu tertentu.

Model statis jauh lebih sederhana dibandingkan dengan model dinamis; biasanya model sistem transportasi dapat digolongkan dalam kelompok model statis untuk rentang waktu yang pendek (misalnya 1 minggu atau 1 bulan). Model sistem transportasi biasanya digunakan untuk meramalkan apa yang akan terjadi pada waktu tertentu di masa mendatang (tahun rencana). Penentuan tahun rencana juga tergantung pada jenis kajian.

g Teknik yang dapat digunakan dalam pemodelan sistem transportasi ini telah berkembang dengan sangat baik seperti ilmu matematika, statistika dan penelitian operasional, termasuk juga pemrograman.

h Data sangat diperlukan dalam pemodelan sistem transportasi, dan harus mempunyai kuantitas dan kualitas yang baik. Survei (baik primer maupun sekunder) sangat diperlukan. Semakin kompleks suatu model dan semakin kecil luas suatu zona, semakin banyak jumlah data yang diperlukan dan semakin kompleks cara penanganannya.

i **Proses kalibrasi** adalah proses menaksir nilai parameter suatu model dengan berbagai teknik yang sudah ada: analisis numerik, aljabar linear, optimasi, dan lain-lain. Setelah dikalibrasi, diharapkan model tersebut dapat menghasilkan keluaran yang sama dengan data lapangan (realita). Proses kalibrasi dilakukan dengan menggunakan bantuan algoritma komputer dan beberapa kinerja statistik untuk menentukan tingkat ketepatannya. Setelah itu, model dapat digunakan untuk kepentingan peramalan pada masa mendatang.

Sudah kita ketahui, suatu model yang cocok untuk daerah tertentu belum tentu cocok untuk daerah lain. Beberapa peubah bebas model tersebut mungkin tidak sesuai untuk daerah lain dan untuk itu perlu dikurangi (dibuang) dan perlu ditambahkan beberapa peubah bebas baru yang lebih sesuai dengan daerah tersebut. Proses ini dikenal dengan **proses modifikasi**.

Selain itu, model yang sama akan mempunyai nilai parameter yang berbeda jika digunakan pada daerah yang berbeda. Hal ini dapat diterima secara logika karena situasi, kondisi, dan jenis peruntukan lahan serta perilaku pelaku

pergerakan pasti berbeda pada daerah yang berbeda-beda. Proses untuk mendapatkan parameter untuk suatu daerah tertentu dikenal dengan **proses pengabsahan**.

Tahapan berikutnya adalah cara membuat model sistem. Kita akan membuat model yang mengaitkan sistem tata guna lahan (kegiatan), sistem prasarana transportasi (jaringan), dan sistem arus lalulintas (pergerakan). Dalam model ini, tiga peubah utama yang digunakan adalah sistem tata guna lahan, sistem prasarana transportasi, dan arus lalulintas.

Secara umum, arus lalulintas merupakan peubah tetap, yang didapatkan sebagai hasil interaksi sistem tata guna lahan dan sistem prasarana transportasi. Permasalahan utama sekarang adalah bagaimana menerangkan sistem tata guna lahan (misalnya geografis daerah perkotaan) dan sistem jaringan transportasi secara terukur. Untuk itu, beberapa definisi perlu dijelaskan dalam proses pemodelan sistem yang akan dijelaskan dalam subbab berikut ini.

3.3 Penggunaan model sistem kegiatan–sistem jaringan

Contoh yang ada dalam (**Black, 1981**) membantu kita memperlihatkan cara kerja sistem tersebut – efek perubahan pada salah satu peubah akan menyebabkan perubahan pada peubah lainnya. Contoh memperlihatkan juga bahwa terdapat kemungkinan untuk mendapatkan model realita lainnya dalam meramalkan konsekuensi suatu kebijakan transportasi terhadap kondisi yang telah ada.

Salah satu unsur dalam pendekatan secara sistem adalah meramalkan apa yang akan terjadi pada arus lalulintas jika kota tersebut terus berkembang tanpa perubahan pada sistem prasarana transportasinya. Hal ini dikenal dengan sistem *do-nothing*. Kebijakan sistem tata guna lahan dan sistem prasarana transportasi dapat dilakukan dengan menggunakan sistem *do-something*, yaitu melakukan beberapa perubahan pada sistem jaringan. Hasilnya kemudian dibandingkan dengan hasil sistem *do-nothing*. Cara yang sering digunakan dalam merancang model transportasi adalah sebagai berikut:

a Model dikalibrasi dengan menggunakan data pada saat sekarang (tahun dasar), untuk mendapatkan parameter (koefisien) yang cocok untuk kota atau daerah tersebut (proses pengabsahan).

b Meramalkan tata guna lahan pada tahun rencana dengan anggapan tidak ada perubahan pada sistem jaringan transportasi. Hasilnya adalah arus lalulintas pada sistem jaringan transportasi dengan sistem *do-nothing* yang dapat memperlihatkan permasalahan transportasi yang timbul pada masa mendatang jika tidak dilakukan perubahan pada sistem jaringan tersebut. Dengan mempelajari ini, dapat ditentukan beberapa konsep perencanaan transportasi yang dibutuhkan.

c Tahap (**b**) diulang kembali, tetapi dengan perubahan pada sistem prasarana transportasi, kadang-kadang dengan beberapa alternatif peramalan tata guna lahan.

d Hasil beberapa perencanaan transportasi yang berbeda-beda tersebut (misalnya arus lalulintas, waktu tempuh, nisbah volume per kapasitas) dapat diperbandingkan dengan sistem *do-nothing* sehingga perencanaan yang terbaik dapat ditentukan.

Dengan kata lain, tujuan pendekatan secara sistem dengan menggunakan model adalah untuk meramalkan apa yang akan terjadi pada suatu daerah kajian pada masa mendatang, yang kemudian digunakan untuk mengevaluasi beberapa alternatif perencanaan transportasi dan memilih alternatif terbaik.

3.4 Pencerminan sistem kegiatan dan sistem jaringan

Hal penting yang perlu diperhatikan oleh para pemodel transportasi adalah menentukan tingkat resolusi yang digunakan dalam suatu daerah kajian. Permasalahan ini mempunyai banyak dimensi yang meliputi tujuan kajian yang akan dicapai, jenis peubah perilaku yang akan digunakan, dimensi waktu, dan lain-lainnya. Subbab ini akan lebih menekankan cara mendefinisikan daerah kajian, sistem zona (kegiatan), dan sistem jaringan.

Kita dapat melihat permasalahan ini dari dua sisi dan tampaknya pemilihan akan sangat tergantung dari kompromi antara dua tujuan yang saling berkaitan, yaitu ketepatan dan biaya. Secara prinsip, ketepatan atau akurasi yang semakin tinggi hanya bisa didapat dengan model yang menggunakan definisi sistem zona yang mempunyai resolusi tinggi (misalnya jumlah zona yang banyak dengan luas yang kecil atau memperhatikan perilaku setiap pergerakan dengan basis individu) yang notabene membutuhkan data yang sangat banyak sehingga biayanya menjadi sangat tinggi. Dalam hal ini dapat disimpulkan ketepatan/akurasi akan mempunyai konsekuensi dengan biaya. Kita perlu betul-betul mengetahui maksud dan tujuan suatu pemodelan sehingga bisa direncanakan tingkat ketepatan pemodelan yang sesuai dengan maksud tujuannya.

Penggunaan data yang banyak yang dikumpulkan dengan sampel 100% akan menghasilkan deskripsi sistem zona dan jaringan yang mempunyai ketepatan tinggi. Akan tetapi, permasalahan tentang adanya ketidakstabilan perilaku sebagai fungsi waktu akan melemahkan visi ketepatan ini, karena dalam peramalan, dengan tingkat resolusi yang sama, adanya perubahan pada tingkat individu jelas akan mempengaruhi kebutuhan akan pergerakan.

3.4.1 Daerah kajian

Sistem kota diatur dengan cara yang sangat kompleks – jalan, bangunan, dan aktivitas saling berhubungan. Untuk itu dibutuhkan suatu cara untuk menyederhanakan hubungan tersebut dengan menekankan pada yang hal yang penting saja; penyederhanaan ini harus dapat menghubungkan unsur dunia nyata secara masuk akal.

Hal pertama yang harus ditentukan dalam mendefinisikan sistem zona (kegiatan) dan sistem jaringan adalah cara membedakan daerah kajian dengan daerah atau

wilayah lain di luar daerah kajian. Beberapa arahan untuk hal tersebut adalah sebagai berikut ini.

- Dalam menentukan daerah kajian seharusnya sudah dipertimbangkan sasaran pelaksanaan kajian, permasalahan transportasi yang akan dimodel dan tipe pergerakan yang akan dikaji, misalnya pergerakan berjarak pendek atau panjang, angkutan barang atau penumpang, dan lain-lain.
- Untuk kajian yang sifatnya sangat strategis, daerah kajian harus didefinisikan sehingga mayoritas pergerakan mempunyai zona asal dan zona tujuan di dalam daerah kajian tersebut. Ini mungkin saja tidak dapat dilakukan; misalnya, sewaktu menganalisis permasalahan transportasi pada wilayah perkotaan yang kecil perlu diperhatikan pengaruh lalulintas menerus.
- Permasalahan yang sama timbul dalam kajian manajemen lalulintas di suatu wilayah terbatas karena mungkin kebanyakan pergerakan mempunyai zona asal dan tujuan yang, atau kedua-duanya, berada di luar batas daerah kajian.
- Daerah kajian sebaiknya sedikit lebih luas daripada daerah yang akan diamati sehingga kemungkinan adanya perubahan zona tujuan atau pemilihan rute yang lain dapat teramati.

Wilayah di luar daerah kajian sering dibagi menjadi beberapa **zona eksternal** yang digunakan untuk mencerminkan dunia lainnya. Daerah kajian sendiri dibagi menjadi beberapa **zona internal** yang jumlahnya sangat tergantung dari tingkat ketepatan yang diinginkan. Contohnya, suatu analisis kebijakan manajemen lalulintas membutuhkan zona yang kecil yang dapat mencerminkan daerah kecil pembangkit atau penarik pergerakan, misalnya lahan parkir. Sebaliknya kajian strategis dapat dilakukan pada zona yang lebih luas. Contohnya, kajian strategis untuk kota London (populasi 7,2 juta) telah dilakukan dengan menggunakan sistem zona yang berjumlah 1.000 zona (lihat tabel 3.1).

Aktivitas tata guna lahan (dan zona asal) atau sistem kegiatan diasumsikan berlokasi pada titik tertentu dalam zona yang disebut **pusat zona**. Dua dimensi yang perlu diperhatikan adalah **jumlah** zona dan **ukuran** atau **luas** zona. Keduanya jelas saling terkait. Semakin banyak jumlah zona, semakin kecil luas daerah yang dapat diliput oleh zona tersebut.

Dalam prakteknya, tingkat resolusi sistem zona sangat tergantung dari maksud dan tujuan kajian, batasan kondisi waktu, serta biaya kajian. Penggunaan sistem zona yang berbeda-beda untuk suatu daerah kajian menimbulkan kesulitan pada saat menggunakan data hasil kajian terdahulu dan sewaktu membuat perbandingan dari hal yang diakibatkannya. Ini semua disebabkan oleh adanya perbedaan tingkat resolusi sistem zona yang digunakan.

Unsur dasar dalam penyederhanaan ini adalah zona dan pusat zonanya yang diasumsikan menjadi tempat konsentrasi semua ciri pergerakan dari zona tersebut. Model sistem perkotaan adalah model ruang. Oleh karena itu, harus dicari cara yang tepat untuk menjelaskan ciri ruang secara numerik. Daerah kajian dibagi menjadi zona yang lebih kecil di mana ciri daerah perkotaan harus dinyatakan secara numerik untuk setiap zona (misalnya ukuran tata guna lahan).

Beberapa contoh jumlah zona yang digunakan oleh beberapa kajian ditabelkan pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Tipikal jumlah zona untuk beberapa kajian

Lokasi	Populasi (juta)	Jumlah zona	Keterangan
London (1972)	7,2	2.252	Resolusi tinggi
		1.000	Zona GLTS (Resolusi normal)
		230	Distrik GLTS
		52	*Traffic boroughs*
Montreal (1980)	2,0	1.260	Resolusi tinggi
Ottawa (1978)	0,5	120	Resolusi normal
Santiago (1986)	4,5	260	Zona (Kajian strategis)
Washington (1973)	2,5	1.075	Resolusi normal
		134	Tingkat distrik
West Yorkshire (1977)	1,4	1.500	Resolusi tinggi
		463	Resolusi rendah
DKI-Jakarta (1995)	7,5	106	Resolusi normal
Kotamadya Bandung (1995)	2,4	58	Resolusi normal
Kotamadya Semarang (1995)	1,3	33	Resolusi normal
Kotamadya Solo (1995)	0,5	19	Resolusi normal
Kotamadya Palu (1995)	0,17	22	Resolusi normal
Pulau Jawa (1995)	115	79	Resolusi normal
Propinsi Jawa Timur (1995)	34	30	Resolusi normal
Nganjuk (1996)	0,95	23	Resolusi normal
Sumatera Utara (1996)	10,2	11	Resolusi rendah
Propinsi Jawa Barat (1996)	35,4	25	Resolusi normal
Kotamadya Bandung (1998)	2,3	100	Resolusi tinggi
Kabupaten Bandung (1998)	4,2	40	Resolusi normal

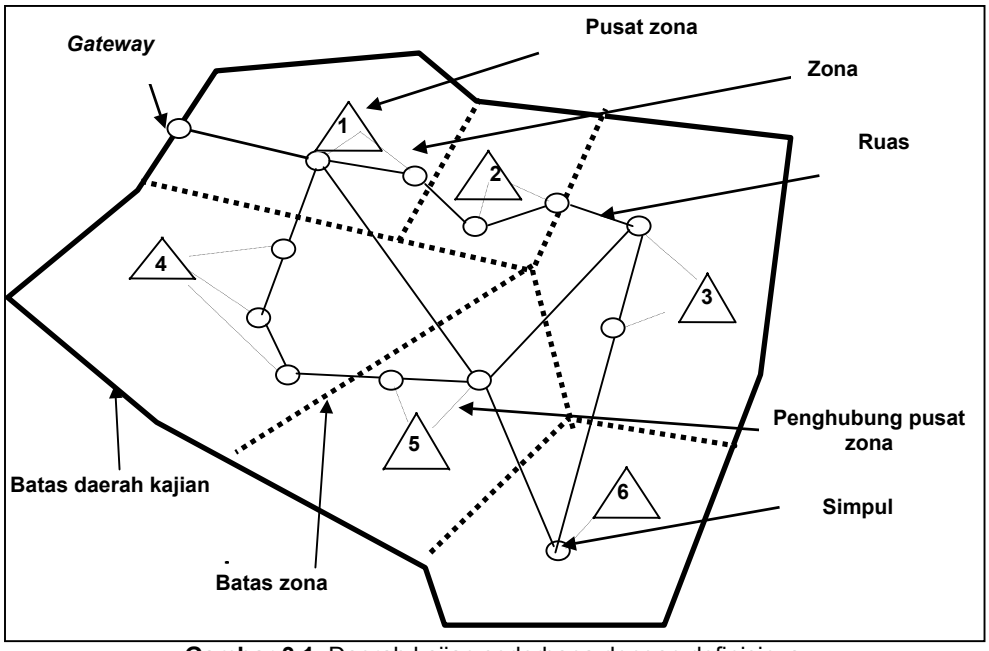
Catatan: GLTS = *Greater London Transportation Study*

Daerah yang akan dikaji harus ditentukan terlebih dahulu. Biasanya daerah tersebut mencakup wilayah suatu kota, akan tetapi harus dapat mencakup ruang atau daerah yang cukup untuk pengembangan kota di masa mendatang pada tahun rencana. Biasanya survei kendaraan yang melalui garis kordon (batas daerah kajian) perlu dilakukan agar batas dapat ditentukan sehingga tidak memotong jalan yang sama lebih dari dua kali (untuk menghindari perhitungan ganda kendaraan yang sama). Batas tersebut bisa juga berupa batas alami seperti sungai, dan rel kereta api.

Sistem jaringan transportasi dicerminkan dalam bentuk **ruas** dan **simpul**, yang semuanya dihubungkan ke pusat zona. Hambatan pada setiap ruas jalan dinyatakan dengan jarak, waktu tempuh, atau biaya gabungan. Nilai tersebut kemudian dijumlahkan untuk mendapatkan total hambatan untuk setiap zona asal dan tujuan. Semua ini dapat dinyatakan dalam bentuk matriks.

Sistem jaringan transportasi juga dapat ditetapkan sebagai urutan ruas jalan dan simpul. Ruas jalan bisa berupa potongan jalan raya atau kereta api, dan lain-lain; sedangkan simpul bisa berupa persimpangan, stasiun, dan lain-lain. Setiap ruas, simpul dan zona diberi nomor. Nomor ini (pasangan nomor) digunakan untuk mengidentifikasi data yang berkaitan dengan ruas dan zona. Dengan cara ini, ciri sistem tata guna lahan dan sistem prasarana transportasi dapat dinyatakan secara geografis atau ruang.

Gambar 3.1 melukiskan sistem jaringan jalan suatu daerah kajian yang terdiri dari jalan satu arah, masing-masing mencerminkan satu ruas jalan atau pergerakan membelok di persimpangan, dan berakhir pada titik ujung masing-masing yang disebut **simpul**.



Gambar 3.1 Daerah kajian sederhana dengan definisinya

Penghubung pusat zona adalah jenis ruas jalan yang bersifat abstrak (khayal) yang menghubungkan setiap pusat zona dengan sistem jaringan jalan. Setiap simpul dan pusat zona dinyatakan dengan angka dan setiap ruas dan penghubung pusat zona dapat diidentifikasikan dengan angka simpul pada ujungnya masing-masing. Jadi, dapat disimpulkan bahwa suatu jaringan jalan terdiri dari beberapa set jalan, ruas jalan satu arah, dan simpul.

3.4.2 Zona

Daerah kajian adalah suatu daerah geografis yang di dalamnya terletak semua zona asal dan zona tujuan yang diperhitungkan dalam model kebutuhan akan transportasi. Kriteria terpenting daerah kajian adalah bahwa daerah itu berisikan zona internal dan ruas jalan yang secara nyata dipengaruhi oleh pergerakan lalulintas. Daerah kajian untuk suatu kajian transportasi dibatasi oleh batas daerah kajian di

sekelilingnya (garis kordon) – semua informasi transportasi yang bergerak di dalamnya harus diketahui.

Dengan kata lain, daerah atau zona yang berada di luar batas daerah kajian (zona eksternal) dianggap kurang atau sedikit berpengaruh terhadap pergerakan arus lalulintas di dalam daerah kajian, sedangkan daerah atau zona yang berada di dalam daerah kajian (zona internal) berpengaruh sangat besar terhadap sistem pergerakan lalulintas di dalam daerah kajian.

Di dalam batasnya, daerah kajian dibagi menjadi **N** subdaerah yang disebut **zona**, yang masing-masing diwakili oleh **pusat zona**. Zona dapat juga dianggap sebagai satu kesatuan atau keseragaman tata guna lahan. Pusat zona dianggap sebagai tempat atau lokasi awal pergerakan lalulintas dari zona tersebut dan akhir pergerakan lalulintas yang menuju ke zona tersebut. Jika sistem jaringan jalan ditumpangkan (*superimpose*) ke atas daerah kajian, akan terlihat gabungan antara sistem kegiatan yang diwakili oleh zona beserta pusatnya dengan sistem jaringan jalan yang diwakili oleh simpul dan ruas jalan.

Secara umum, batas administrasi sering digunakan sebagai batas zona sehingga memudahkan pengumpulan data. Cek silang dan perbandingan statistik antara beberapa kajian dapat dilakukan jika batas zona yang digunakan sama. Beberapa kriteria utama yang perlu dipertimbangkan dalam menetapkan sistem zona di dalam suatu daerah kajian disarankan oleh **IHT and DTp (1987)**, meliputi hal berikut ini:

- Ukuran zona sebaiknya dirancang sedemikian rupa sehingga galat pengelompokan (lihat subbab 3.5.6) yang timbul akibat asumsi pemusatan seluruh aktivitas pada suatu pusat zona menjadi tidak terlalu besar. Sebaiknya direncanakan suatu sistem zona dengan banyak zona kecil karena nantinya zona tersebut akan bisa digabungkan dengan berbagai cara, tergantung pada tujuan kajian yang akan dilaksanakan;
- batas zona sebaiknya harus sesuai dengan batas sensus, batas administrasi daerah, batas alami, atau batas zona yang digunakan oleh kajian terdahulu yang sudah dipandang sebagai kriteria utama;
- ukuran zona harus disesuaikan dengan kepadatan jaringan yang akan dimodel, biasanya ukuran zona semakin membesar jika semakin jauh dari pusat kota;
- ukuran zona harus lebih besar dari yang seharusnya untuk memungkinkan arus lalulintas dibebankan ke atas jaringan jalan dengan ketepatan seperti yang disyaratkan;
- batas zona harus dibuat sedemikian rupa sehingga sesuai dengan jenis pola pengembangan untuk setiap zona, misalnya permukiman, industri, dan perkantoran. Tipe tata guna lahan setiap zona sebaiknya homogen untuk menghindari tingginya jumlah pergerakan intrazona dan untuk mengurangi tingkat kerumitan model;
- batas zona harus sesuai dengan batas daerah yang digunakan dalam pengumpulan data;

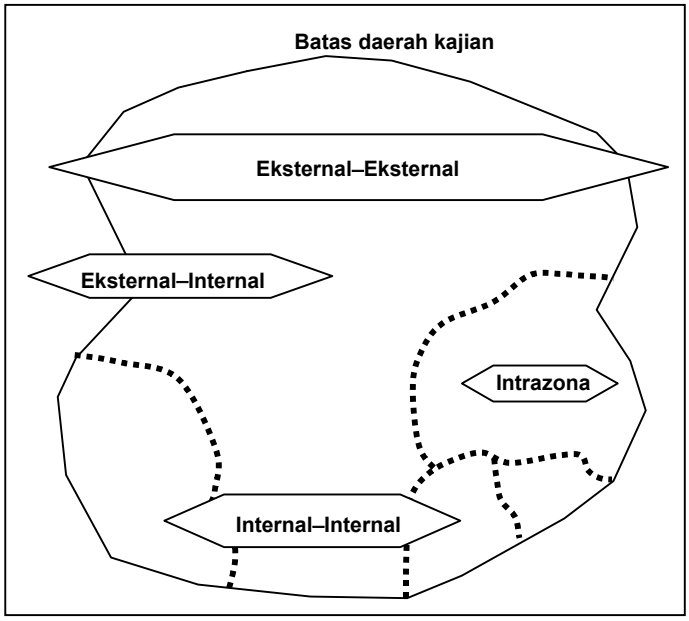
- ukuran zona ditentukan pula oleh tingkat kemacetan; ukuran zona pada daerah macet sebaiknya lebih kecil dibandingkan dengan daerah tidak macet.

Pergerakan yang melintasi batas daerah kajian harus mempunyai pusat zona eksternal (atau tujuan) yang mewakili daerah lain di luar daerah kajian, atau ke zona yang mencerminkan pintu inlet atau outlet (*gateways*) di tempat pergerakan tersebut melintasi batas daerah kajian. Keuntungan penggunaan zona eksternal tersebut adalah jika suatu jaringan eksternal digunakan, dimungkinkan teridentifikasinya pergerakan berjarak jauh yang melintasi daerah kajian dan ini tentu membebani sistem jaringan di dalam daerah kajian. Kemungkinan terdapatnya lalulintas menerus yang menggunakan jaringan di dalam daerah kajian dapat diminimalkan dengan memilih daerah kajian secara hati-hati, meskipun tidak dapat dihilangkan secara total.

Penetapan daerah kajian dan batas zona sering membutuhkan kompromi persyaratan yang saling bertolak belakang. Di satu pihak ada keinginan untuk memperbaiki ketepatan model dengan memperbesar ukuran daerah kajian dan kompleksitasnya. Di pihak lain ada pertimbangan praktis untuk tetap menekan biaya serendah mungkin serta memenuhi skala waktu dan ketepatan yang disyaratkan.

Kadang-kadang menguntungkan jika dibuat sistem zona yang berhierarki, seperti *London Transportation Studies* (lihat tabel 3.1), dengan subzona dikelompokkan menjadi zona. Selanjutnya, zona tersebut dikelompokkan kembali menjadi distrik, seterusnya menjadi *traffic boroughs*, dan akhirnya menjadi sektor. Sistem zona seperti ini memungkinkan dilakukannya analisis berbagai tingkat kepentingan.

Sehubungan dengan adanya definisi zona internal dan zona eksternal sebagai zona asal dan zona tujuan, maka pergerakan arus lalulintas dapat dikelompokkan menjadi 4 tipe pergerakan sebagaimana tampak pada gambar 3.2.



Gambar 3.2
Tipe pergerakan arus lalulintas

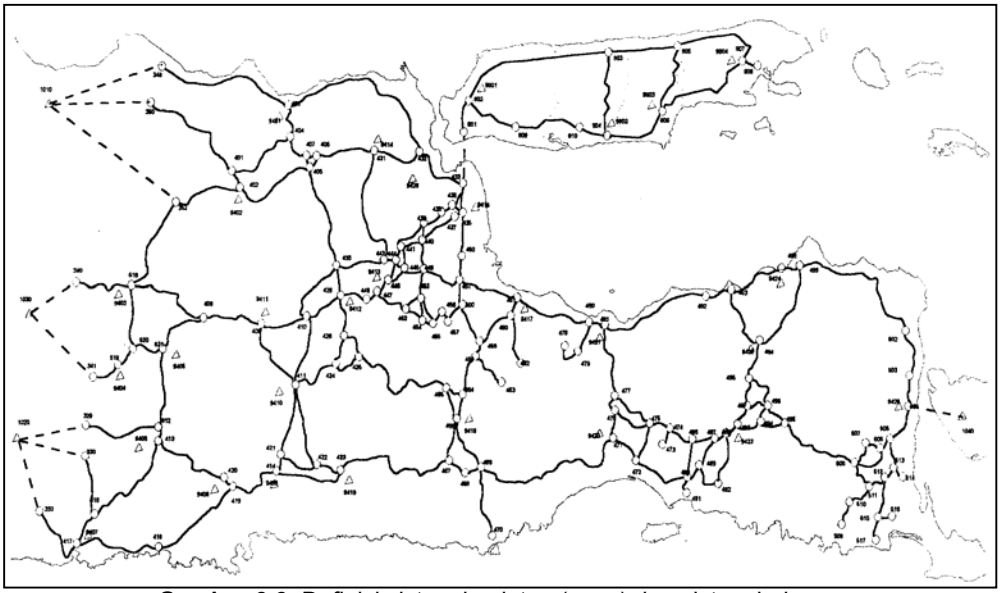
- **pergerakan eksternal–eksternal** Pergerakan ini mempunyai zona asal dan zona tujuan yang berada di luar daerah kajian (zona eksternal). Akan tetapi, dalam proses pencapaian zona tujuannya, pergerakan ini akan menggunakan sistem jaringan yang berada di dalam daerah kajian. Tipe pergerakan ini sangat penting untuk diketahui karena sebenarnya pelaku pergerakan ini tidak mempunyai tujuan atau kepentingan sama sekali ke zona internal tetapi terpaksa harus menggunakan sistem jaringan dalam daerah kajian dalam proses pencapaian zona tujuannya (mungkin karena tidak ada alternatif rute lainnya). Konsekuensinya, pergerakan ini akan menjadi beban tambahan bagi sistem jaringan dalam daerah kajian tersebut, yang biasanya untuk daerah perkotaan terbatasnya kapasitas jaringan menjadi permasalahan utama. Mengalihkan pergerakan ini melalui jalan lingkar adalah salah satu cara untuk mengatasinya.
- **pergerakan internal–eksternal atau sebaliknya** Pergerakan ini mempunyai salah satu zona (asal atau tujuan) yang berada di luar daerah kajian (zona eksternal). Biasanya jumlah pergerakan tipe ini tidak terlalu besar dibandingkan dengan tipe pergerakan lainnya.
- **pergerakan internal–internal** Pergerakan ini mempunyai zona asal dan tujuan yang berada di dalam daerah kajian (zona internal). Tipe pergerakan inilah yang paling diutamakan dalam proses perencanaan transportasi. Tujuan utama dari berbagai perencanaan transportasi adalah untuk meramalkan pergerakan tipe ini dan sekaligus menentukan kebijakan yang perlu diambil dalam menanganinya.
- **pergerakan intrazona** Pergerakan ini mempunyai zona asal dan tujuan yang berada di dalam satu zona internal tertentu. Karena definisi pusat zona adalah tempat dimulai atau diakhirinya pergerakan dari dan ke zona tersebut, dapat dipastikan bahwa pergerakan intrazona tidak akan pernah terbebankan ke sistem jaringan (karena pergerakan dimulai dan diakhiri pada titik/lokasi yang sama). Dengan menggunakan definisi pusat zona, dapat dikatakan bahwa volume lalulintas pada suatu ruas jalan merupakan penjumlahan dari volume lalulintas dari seluruh tipe pergerakan kecuali pergerakan intrazona. Dapat disimpulkan bahwa semakin luas suatu zona, semakin tinggi volume pergerakan arus lalulintas intrazonanya. Pergerakan intrazona memegang peranan cukup penting karena permasalahan transportasi di daerah perkotaan banyak yang disebabkan oleh pergerakan intrazona yang selalu luput terbaca dalam peramalan volume pada ruas jalan.

3.4.3 Ruas jalan

Jaringan transportasi dapat dicerminkan dalam beberapa tingkat pengelompokan yang berbeda dalam suatu pemodelan. Secara praktis, yang harus dilakukan adalah membuat model jaringan sebagai **grafik terarah** (sistem simpul dengan ruas jalan yang menghubungkannya) seperti terlihat pada gambar 3.1 dan 3.3. Simpul dapat mencerminkan persimpangan atau kota, sedangkan ruas jalan mencerminkan ruas jalan antara persimpangan atau ruas jalan antarkota. Ruas jalan dinyatakan dengan dua buah nomor simpul di ujung-ujungnya. Beberapa ciri ruas jalan perlu diketahui,

seperti panjang, kecepatan, jumlah lajur, tipe gangguan samping, kapasitas, dan hubungan Kecepatan–Arus di ruas jalan tersebut. Ruas jalan selalu mempunyai dua arah. Ruas jalan dua arah selalu dinyatakan dengan dua ruas jalan satu arah.

Gambar 3.3 memperlihatkan definisi sistem kegiatan (zona) dan sistem jaringan transportasi jalan raya untuk propinsi Jawa Timur.



Gambar 3.3 Definisi sistem kegiatan (zona) dan sistem jaringan transportasi jalan di propinsi Jawa Timur
Sumber: Tamin *et al* (1997), Tamin dan Frazila (1997)

Permasalahan yang dihadapi adalah ketersambungan (konektivitas) pada setiap titik simpul dianggap tidak mempunyai biaya apapun (dianggap nol). Dalam prakteknya, beberapa pergerakan membelok pada suatu persimpangan merupakan salah satu komponen terbesar dalam tundaan dibandingkan dengan pergerakan di ruas jalan. Oleh sebab itu, agar kita dapat mencerminkan sistem jaringan secara lebih rasional, beberapa biaya tambahan perlu ditambahkan pada kasus pergerakan di persimpangan. Hal ini dapat dilakukan secara manual dengan membuat ruas *dummy* (khayal) beserta biayanya yang dapat mencerminkan pergerakan membelok di persimpangan. Beberapa paket program yang ada sekarang sudah mampu melakukan hal ini.

Tingkat resolusi sistem jaringan perlu ditingkatkan jika akan digunakan untuk kajian yang lebih rinci. Dalam kasus ini, perlu ada ruas jalan tambahan yang digunakan pada persimpangan yang kompleks yang dapat mencerminkan kinerja dari, misalnya *reserved lane* dan *give-way lane*. Kadang-kadang sistem jaringan yang ada merupakan bagian dari jaringan yang lebih luas sehingga diperlukan titik inlet dan outlet pada batas daerah kajian yang menghubungkan sistem jaringan tersebut dengan sistem yang lebih luas (zona eksternal).

Kunci utama dalam merencanakan sistem jaringan adalah penentuan tingkat hierarki jalan yang akan dianalisis (arteri, kolektor, atau lokal). Hal ini sangat tergantung dari jenis dan tujuan kajian. Jika lebih banyak jalan yang ditetapkan maka cerminan

kenyataan (realita) akan semakin baik. Tetapi, hal ini harus dibayar dengan biaya tambahan berupa pengumpulan data dan waktu. Keterbatasan dana dan waktulah yang menyebabkan pemodel transportasi terpaksa harus membatasi tingkat resolusi sesuai dengan tujuan kajian yang diharapkan.

Selain itu, tidak ada gunanya kita menetapkan ruas jalan dengan resolusi tinggi, tetapi dengan asumsi yang sangat sederhana mengenai tundaan di titik persimpangan. Atau, tidak ada gunanya membuat sistem jaringan dengan resolusi tinggi, akan tetapi sistem zonanya (kegiatan) mempunyai resolusi rendah.

Jansen and Bovy (1982) menyelidiki pengaruh resolusi definisi sistem jaringan dengan tingkat ketepatan dalam pembebanan arus lalulintas pada ruas jalan tersebut. Kesimpulannya, galat terbesar didapatkan pada sistem dengan tingkat hierarki jalan yang paling rendah. Oleh karena itu, kita perlu memasukkan pada sistem jaringan sekurang-kurangnya jalan yang mempunyai hierarki satu tingkat lebih rendah dari yang ingin dianalisis; misalnya dalam menganalisis sistem jalan arteri, kita harus membuat sistem jaringan jalan yang terdiri dari jalan arteri dan kolektor.

Dalam kasus jaringan angkutan umum, suatu tingkat hierarki sistem jaringan disyaratkan. Pemodel transportasi harus menspesifikasi struktur jaringan sesuai dengan pelayanan yang tersedia. Hal ini lalu dikodefikasi dalam bentuk urutan simpul yang dilalui oleh pelayanan tersebut (bus, kereta api), biasanya setiap simpul mencerminkan tempat pemberhentian bus atau stasiun kereta api.

Persimpangan tanpa tempat pemberhentian bus bisa saja dihilangkan dalam sistem jaringan yang akan dibuat. Ruas yang perlu ditambahkan lagi adalah ruas pejalan kaki yang mencerminkan bagian perjalanan yang dilakukan dengan berjalan kaki, termasuk ruas yang digunakan untuk memodel biaya tambahan yang terkait dengan biaya transfer dari satu sistem pelayanan ke sistem pelayanan lain (misalnya dari bus ke kereta api).

Setiap ruas jalan yang dikodefikasi harus dilengkapi dengan beberapa atribut ruas yang menyatakan perilaku, ciri, dan kemampuan ruas jalan dalam mengalirkan arus lalulintas. Beberapa atribut tersebut adalah panjang ruas, kecepatan ruas (kecepatan arus bebas atau kecepatan sesaat), dan kapasitas ruas yang dinyatakan dalam bentuk Satuan Mobil Penumpang (SMP) per jam.

Selain itu, informasi hubungan Biaya–Arus untuk setiap ruas jalan harus diketahui, dan faktor yang mempengaruhi hubungan tersebut adalah:

- tipe jalan (tol, jalan utama, atau jalan lokal);
- lebar jalan atau jumlah lajur atau kedua-duanya;
- informasi mengenai lajur khusus bus atau larangan pergerakan suatu jenis kendaraan pada ruas jalan tertentu;
- larangan pergerakan membelok, biasanya terjadi di persimpangan;
- jenis persimpangan, geometrik, termasuk infomasi pengaturan lampu lalulintasnya (kalau ada);
- kapasitas antrian.

Beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa atribut ruas jalan yang penting bagi pengendara adalah tarif tol, tersedianya rambu yang baik, dan pemakaian bahan bakar (lihat **Outram and Thomson, 1978** dan **Wootton *et al*, 1981**). Atribut kategori jalan (tol, jalan arteri, atau pun kolektor), pemandangan yang baik, lampu lalulintas, dan kapasitas merupakan atribut yang mempengaruhi pemilihan rute.

3.4.4 Konsep biaya gabungan

Penelitian di Belanda menunjukkan bahwa 70% ruas jalan yang dipilih pengendara memiliki jarak dan waktu sebagai atribut utama. Dalam proses pemilihan rute diasumsikan bahwa setiap pengendara akan memilih rute yang meminimumkan kombinasi linear antara jarak dan waktu, yang biasa dikenal dengan **biaya gabungan**.

Konsep biaya gabungan menggabungkan ketiga komponen utama dalam proses pemilihan rute (jarak, biaya, dan waktu) menjadi satu nilai tertentu yang mempunyai unit satuan biaya atau unit satuan waktu. Biaya gabungan untuk pergerakan angkutan umum dapat dinyatakan dengan persamaan (3.1) berikut.

$$G_{cu} = \phi D + \nu T_a + \nu T_w + \nu T_v + \delta \qquad (3.1)$$

G_{cu} = biaya gabungan untuk pergerakan angkutan umum (dalam satuan rupiah)

D = jarak pergerakan (dalam satuan jarak)

T_a = waktu berjalan kaki dari dan ke angkutan umum (dalam satuan waktu)

T_w = waktu menunggu angkutan umum (dalam satuan waktu)

T_v = waktu selama berada dalam angkutan umum (dalam satuan waktu)

ϕ = tarif per satuan jarak (dalam satuan rupiah)

ν = nilai waktu per satuan waktu (dalam satuan rupiah)

δ = biaya tambahan atau biaya komponen lainnya yang tidak terukur (dalam satuan rupiah)

Sementara itu, biaya gabungan untuk pergerakan angkutan pribadi dapat dinyatakan dengan persamaan (3.2).

$$G_{cp} = \psi D + \nu T_v + C \qquad (3.2)$$

G_{cp} = biaya gabungan untuk pergerakan angkutan pribadi (dalam satuan rupiah)

ψ = biaya operasi kendaraan per satuan jarak (dalam satuan rupiah)

C = biaya parkir (atau tol)

Pada umumnya, nilai waktu berjalan kaki dan nilai waktu menunggu mempunyai nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan nilai waktu selama berada dalam angkutan umum (biasanya dua kalinya).

Dua komponen utama yang sangat dibutuhkan dalam menghitung biaya gabungan adalah Biaya Operasi Kendaraan (BOK) dan Nilai Waktu. Berikut ini dijelaskan kedua komponen tersebut.

3.4.4.1 Biaya operasi kendaraan (BOK) Perhitungan komponen BOK berikut ini dikembangkan oleh LAPI-ITB (1997) bekerja sama dengan KBK Rekayasa Transportasi, Jurusan Teknik Sipil, ITB melalui proyek kajian 'Perhitungan Besar Keuntungan Biaya Operasi Kendaraan' yang didanai oleh PT Jasa Marga, sedangkan komponen bunga modal dikembangkan oleh Bina Marga melalui proyek *Road User Costs Model* (1991).

Komponen BOK pada model ini terdiri dari biaya konsumsi bahan bakar, biaya konsumsi minyak pelumas, biaya pemakaian ban, biaya pemeliharaan, biaya penyusutan, bunga modal, dan biaya asuransi. Meskipun masih banyak komponen lain yang perlu diperhitungkan, komponen tersebut tidak terlalu dominan. Rumus komponen BOK yang digunakan pada model tersebut ditampilkan berikut ini.

- **Konsumsi bahan bakar (KBB)**

$$\mathbf{KBB = KBB\ dasar\ x\ (1 \pm (k_k + k_l + k_r))} \quad (3.3)$$

KBB dasar kendaraan golongan I = $\mathbf{0{,}0284\ V^2 - 3{,}0644\ V + 141{,}68}$

KBB dasar kendaraan golongan IIA = **2,26533 x(KBB dasar golongan I)**

KBB dasar kendaraan golongan IIB = **2,90805 x(KBB dasar golongan I)**

k_k = faktor koreksi akibat kelandaian

k_l = faktor koreksi akibat kondisi arus lalulintas

k_r = faktor koreksi akibat kekasaran jalan

V = kecepatan kendaraan (km/jam)

Tabel 3.2 Faktor koreksi konsumsi bahan bakar dasar kendaraan (k_k)

Faktor koreksi akibat kelandaian negatif (k_k)	**g<–5%**	–0,337
	–5%≤ g < 0%	–0,158
Faktor koreksi akibat kelandaian positif (k_k)	**0% ≤ g < 5%**	0,400
	g ≥ 5%	0,820
Faktor koreksi akibat kondisi arus lalulintas (k_l)	**0 ≤ NVK < 0,6**	0,050
	0,6 ≤ NVK < 0,8	0,185
	NVK ≥ 0,8	0,253
Faktor koreksi akibat kekasaran jalan (k_r)	**< 3 m/km**	0,035
	≥ 3 m/km	0,085

g = kelandaian
NVK = nisbah volume per kapasitas
Sumber: LAPI-ITB (1997)

- **Konsumsi minyak pelumas** Besarnya konsumsi dasar minyak pelumas (liter/km) sangat tergantung pada kecepatan kendaraan dan jenis kendaraan. Konsumsi dasar ini kemudian dikoreksi lagi menurut tingkat kekasaran jalan.

Tabel 3.3 Konsumsi dasar minyak pelumas (liter/km)

Kecepatan (km/jam)	Jenis kendaraan		
	Golongan I	Golongan IIA	Golongan IIB
10–20	0,0032	0,0060	0,0049
20–30	0,0030	0,0057	0,0046
30–40	0,0028	0,0055	0,0044
40–50	0,0027	0,0054	0,0043
50–60	0,0027	0,0054	0,0043
60–70	0,0029	0,0055	0,0044
70–80	0,0031	0,0057	0,0046
80–90	0,0033	0,0060	0,0049
90–100	0,0035	0,0064	0,0053
100–110	0,0038	0,0070	0,0059

Sumber: LAPI-ITB (1997)

Tabel 3.4 Faktor koreksi konsumsi minyak pelumas terhadap kondisi kekasaran permukaan

Nilai kekasaran	Faktor koreksi
< 3 m/km	1,00
> 3 m/km	1,50

Sumber: LAPI-ITB (1997)

- **Biaya pemakaian ban** Besarnya biaya pemakaian ban sangat tergantung pada kecepatan kendaraan dan jenis kendaraan.

Kendaraan golongan I : $\boldsymbol{Y = 0{,}0008848\ V - 0{,}0045333}$

Kendaraan golongan IIA : $\boldsymbol{Y = 0{,}0012356\ V - 0{,}0064667}$

Kendaraan golongan IIB : $\boldsymbol{Y = 0{,}0015553\ V - 0{,}0059333}$

$\boldsymbol{Y}$ = pemakaian ban per 1.000 km

- **Biaya pemeliharaan** Komponen biaya pemeliharaan yang paling dominan adalah biaya suku cadang dan upah montir.

a **Suku cadang**

Golongan I : $\boldsymbol{Y = 0{,}0000064\ V + 0{,}0005567}$

Golongan IIA : $\boldsymbol{Y = 0{,}0000332\ V + 0{,}0020891}$

Golongan IIB : $\boldsymbol{Y = 0{,}0000191\ V + 0{,}0015400}$

Y = biaya pemeliharaan suku cadang 5per 1.000 km

b **Montir**

Golongan I : $\boldsymbol{Y = 0{,}00362\ V + 0{,}36267}$

Golongan IIA : $Y = 0{,}02311\ V + 1{,}97733$

Golongan IIB : $Y = 0{,}01511\ V + 1{,}21200$

Y = jam kerja montir per 1.000 km

- **Biaya penyusutan** Biaya penyusutan hanya berlaku untuk perhitungan BOK pada jalan tol dan jalan arteri, besarnya berbanding terbalik dengan kecepatan kendaraan.

  Golongan I : $Y = 1/(2{,}5\ V + 125)$

  Golongan IIA : $Y = 1/(9{,}0\ V + 450)$

  Golongan IIB : $Y = 1/(6{,}0\ V + 300)$

  Y = biaya penyusutan per 1.000 km (sama dengan 1/2 nilai penyusutan kendaraan)

- **Bunga modal** Menurut *Road User Costs Model* (1991), besarnya biaya bunga modal per kendaraan per 1.000 km ditentukan oleh persamaan (3.4) berikut.

  Bunga modal = 0,22% x (harga kendaraan baru) (3.4)

- **Biaya asuransi** Besarnya biaya asuransi berbanding terbalik dengan kecepatan. Semakin tinggi kecepatan kendaraan, semakin kecil biaya asuransi.

  Golongan I : $Y = 38/(500\ V)$

  Golongan IIA : $Y = 6/(2571{,}42857\ V)$

  Golongan IIB : $Y = 61/(1714{,}28571\ V)$

  Y = biaya asuransi per 1.000 km

3.4.4.2 Nilai waktu Sampai saat ini, belum didapatkan besaran nilai waktu yang berlaku untuk Indonesia. Tabel 3.5 menampilkan besaran nilai waktu beberapa kajian yang pernah dilakukan.

Tabel 3.5 Nilai waktu setiap golongan kendaraan

Rujukan	Nilai waktu (Rp/jam/kendaraan)		
	Golongan I	Golongan IIA	Golongan IIB
PT Jasa Marga (1990–1996)	12.28	18.534	13.768
Padalarang–Cileunyi (1996)	3.385–5.425	3.827–38.344	5.716
Semarang (1996)	3.411–6.221	14.541	1.506
IHCM (1995)	3.281	18.212	4.971
PCI (1979)	1.341	3.827	3.152
JIUTR Northern Extension (PCI, 1989)	7.06	14.670	3.659
Surabaya–Mojokerto (JICA, 1991)	8.880	7.960	7.980

Sumber: LAPI-ITB (1997)

Beberapa modifikasi dilakukan dengan 'memilih' nilai waktu yang terbesar antara nilai waktu dasar yang dikoreksi menurut lokasi dengan nilai waktu minimum seperti terlihat pada persamaan (3.5).

Nilai waktu = maksimum {(k x nilai waktu dasar), nilai waktu minimum} (3.5)

k adalah nilai faktor koreksi pada tabel 3.7 dengan asumsi bahwa nilai waktu dasar tersebut hanya berlaku untuk daerah DKI-Jakarta dan sekitarnya. Untuk daerah lainnya harus dilakukan koreksi sesuai dengan PDRB per kapitanya; DKI-Jakarta dan sekitarnya dianggap mempunyai faktor koreksi **1,0**.

Tabel 3.7 merangkum beberapa faktor koreksi nilai waktu menurut daerah, sedangkan tabel 3.6 merangkum nilai waktu minimum yang digunakan.

Tabel 3.6 Nilai waktu minimum (Rupiah/jam/kendaraan)

No	Kabupaten/Kodya	Jasa Marga			JIUTR		
		Gol I	Gol II A	Gol II B	Gol I	Gol II A	Gol II B
1	DKI-Jakarta	8.200	12.369	9.188	8.200	17.022	4.246
2	selain DKI-Jakarta	6.000	9.051	6.723	6.000	12.455	3.107

Sumber: LAPI-ITB (1997)

Tabel 3.7 PDRB atas dasar harga konstan tahun 1995

No	Lokasi	PDRB (juta rupiah)	Jumlah penduduk	PDRB per kapita (juta rupiah)	Nilai koreksi
1	DKI-Jakarta	60.638.217	9.113.000	6,65	1,00
2	Jawa Barat	60.940.114	39.207.000	1,55	0,23
3	Kodya Bandung	6.097.380	2.356.120	2,59	0,39
4	Jawa Tengah	39.125.323	29.653.000	1,32	0,20
5	Kodya Semarang	4.682.002	1.346.352	3,48	0,52
6	Jawa Timur	57.047.812	33.844.000	1,69	0,25
7	Kodya Surabaya	13.231.986	2.694.554	4,91	0,74
8	Sumatera Utara	21.802.508	11.115.000	1,96	0,29
9	Kodya Medan	5.478.924	1.800.000	3,04	0,46

Sumber: LAPI-ITB (1997)

Dengan demikian, nilai waktu yang berlaku untuk DKI-Jakarta adalah sebesar Rp 12.287 per kendaraan per jam, sedangkan nilai waktu untuk daerah lainnya dapat dihitung dengan mengalikan faktor koreksi dengan nilai waktu yang berlaku untuk DKI-Jakarta.

3.5 Galat dalam pemodelan dan peramalan

Prosedur statistik biasanya digunakan dalam pemodelan kebutuhan akan transportasi dengan mengasumsikan bahwa bukan saja fungsi spesifikasi dalam pemodelan tersebut yang dianggap benar, tetapi juga data yang digunakan untuk

menaksir parameter model dianggap tidak mempunyai galat apa pun. Dalam prakteknya, kondisi seperti ini tidak mungkin terjadi.

Pertama, bagaimanapun baiknya model yang kita buat, keluarannya hanya akan bisa mendekati realita; tidak akan pernah persis sama dengan realita. Kedua, data yang digunakan tidak pernah luput dari galat yang bisa terjadi pada setiap tahapan proses pengumpulannya yang akan diterangkan secara rinci pada subbab berikut. Selain itu, keluarannya juga selalu mengandung galat karena ketidaktepatan dalam menentukan nilai yang diasumsikan sebagai peubah pada waktu tahun dasar.

Tujuan akhir suatu pemodelan adalah peramalan; hal penting yang harus diperhatikan oleh para perencana transportasi adalah mencari kombinasi yang baik antara kompleksitas model dengan ketepatan data yang akan menghasilkan keluaran peramalan yang nantinya diharapkan sesuai dengan kenyataan. Untuk mencapai hal ini, sangatlah penting membahas beberapa jenis galat, yaitu:

- jenis galat yang dapat menyebabkan suatu model yang sudah baik menghasilkan keluaran peramalan yang tidak akurat; misalnya galat dalam menentukan peubah, galat ketika proses transfer dan pengelompokan;
- jenis galat yang dapat menyebabkan suatu model menjadi tidak benar; misalnya galat yang diakibatkan oleh proses pengambilan sampel, proses spesifikasi model, dan pengukuran.

Pada subbab berikut ini diberikan penjelasan tentang jenis galat, termasuk dampaknya. Kemudian, dijelaskan pula cara memilih, tingkat kompleksitas model atau ketepatan data yang dikumpulkan agar dihasilkan keluaran yang akurat.

Sangatlah mustahil kalau kita berharap mendapatkan keluaran dengan ketepatan tinggi dari model yang kita yakini selalu mengandung galat serta data yang juga mempunyai jenis galatnya sendiri. Jenis galat berikut ini akan terjadi pada saat kita melakukan proses pembentukan, pengkalibrasian, dan peramalan model.

3.5.1 Galat pengukuran

Galat ini terjadi karena ketidaktepatan dalam proses menentukan data pada tahun dasar, seperti galat pada saat mencatat hasil wawancara, galat karena salah menafsirkan jawaban responden, galat akibat penggunaan alat yang tidak sesuai dengan prosedur manualnya, galat dalam proses kodefikasi jaringan, digitasi, dan lain-lain.

Jenis galat ini cenderung lebih tinggi di negara berkembang karena rendahnya kualitas sumber daya manusia. Akan tetapi, hal tersebut dapat dikurangi dengan meningkatkan usaha untuk mendapatkan data dengan ketepatan yang lebih tinggi (misalnya dengan menggunakan komputer atau menambah sumber daya manusia untuk mengontrol kualitas data, tetapi kedua hal ini membutuhkan biaya cukup besar). Di negara berkembang memang kita selalu dihadapkan pada keterbatasan waktu dan biaya. Beberapa hal yang dapat dilakukan untuk mengurangi galat pengukuran adalah:

- meningkatkan kualitas sumber daya manusia pencacah;

- mengadakan pelatihan singkat bagi tenaga pencacah mengenai survei yang akan dilakukan;
- menyusun kuesioner yang baik, termasuk penjelasan singkat mengenai cara mengumpulkan data, mengajukan pertanyaan, menafsirkan dan mencatat jawaban;
- selalu melakukan kalibrasi ulang secara periodik bagi alat ukur yang akan digunakan;
- selalu menggunakan alat ukur yang sesuai dengan manual atau buku petunjuk penggunaannya.

3.5.2 Galat sampel

Jenis galat ini timbul karena model harus dikalibrasi dengan seperangkat data (terukur). Galat sampel berbanding terbalik dengan akar jumlah pengamatan yang dibutuhkan (untuk mengurangi galat menjadi separuhnya dibutuhkan ukuran sampel 4 kali lebih banyak); untuk mengurangi jenis galat ini pasti dibutuhkan biaya yang cukup besar. Sebaiknya kita harus dapat mengumpulkan seluruh data yang ada (100% sampel). Tetapi, karena berbagai faktor, khususnya keterbatasan biaya dan praktek di lapangan, kita terpaksa hanya mengumpulkan sebagian data saja (sampel).

Apa arti besar sampel 20%? Artinya, kita hanya mengumpulkan data sebanyak 20% dari jumlah data yang ada. Setelah informasi perilaku sampel sebanyak 20% populasi kita dapatkan, dianggap 80% populasi lainnya mempunyai perilaku yang sama dengan perilaku 20% populasi (hal ini tentu tidak benar). Hal ini lebih diperparah lagi karena informasi yang kita dapatkan dari sampel 20% populasi tersebut belum tentu benar karena mungkin masih mengandung beberapa jenis galat yang akan diterangkan berikut ini. **Daganzo (1980)** mempelajari cara menentukan ukuran sampel yang sesuai dengan tingkat ketepatan yang diinginkan.

3.5.3 Galat perhitungan

Jenis galat ini timbul karena model biasanya dikalibrasi dengan proses pengulangan; solusi akhir yang benar tidak akan pernah didapatkan karena alasan biaya komputasi (untuk itu jumlah pengulangan terpaksa harus dibatasi). Jenis galat ini lebih kecil dari jenis galat lain, kecuali pada kasus seperti prosedur pembebanan arus lalulintas di jaringan yang macet atau pada penentuan titik keseimbangan antara kebutuhan dan sediaan dari suatu sistem yang sangat besar dan kompleks (lihat **Estraus, 1989**).

Akan tetapi, dengan perkembangan teknologi komputer belakangan ini yang sangat pesat (komputer berkecepatan sangat tinggi dengan kapasitas memori sangat besar bisa didapat dengan biaya terjangkau), galat perhitungan bisa ditekan serendah mungkin.

3.5.4 Galat spesifikasi

Jenis galat ini timbul karena fenomena hal yang akan kita modelkan tidak diketahui dan dimengerti dengan baik atau karena permasalahan tersebut terpaksa harus

disederhanakan karena alasan tertentu. Jenis galat ini dapat dipecahkan menjadi beberapa jenis galat lainnya yaitu:

- penggunaan peubah bebas yang tidak relevan atau yang tidak mempunyai korelasi dengan keluaran (peubah tidak bebas) yang diharapkan. Jenis galat ini mungkin tidak menjadi permasalahan pada model linear, tetapi akan menjadi masalah jika kita menggunakan model tidak-linear **(**lihat **Tardiff, 1979)**;
- galat karena tidak memasukkan peubah bebas yang relevan. Kasus inilah yang paling sering terjadi. Hal ini sangat perlu diperhatikan pada saat awal kita membentuk model – kita harus mengerti dahulu peubah bebas apa saja yang paling dominan serta mempunyai korelasi yang tinggi dengan keluaran model (peubah tidak bebas). Dalam hal ini, uji korelasi selalu harus dilakukan antara peubah bebas dengan peubah tidak bebas. Sebenarnya, model tersebut mengandung satu komponen konstanta yang dapat mengakomodasikan atau menampung semua jenis galat yang ada.
- penggunaan model yang kurang tepat, misalnya model linear untuk menerangkan sesuatu pada suatu kondisi yang seharusnya dijelaskan dengan model tidak-linear. Kupasan yang sangat baik yang menerangkan jenis galat ini dapat dilihat pada **William and Ortuzar (1982a)**.

Jenis galat ini sebenarnya dapat dikurangi dengan meningkatkan kompleksitas model tersebut; akan tetapi, total biaya yang dibutuhkan akan menjadi sangat sulit ditentukan karena proses ini menyangkut proses kalibrasi dan seterusnya dan mungkin saja menimbulkan jenis galat lain yang sangat mahal penanganannya dan mustahil dihilangkan.

3.5.5 Galat transfer

Jenis galat ini timbul jika suatu model yang telah dikembangkan pada daerah atau lokasi tertentu akan diterapkan pada tempat lain yang jelas berbeda permasalahannya serta situasi dan kondisinya, walaupun beberapa pembenahan telah dilakukan dalam proses transfer tersebut. Dalam kasus transfer dalam ruang, galat dapat dikurangi dengan melakukan kalibrasi kembali model tersebut dengan menggunakan data (bisa sebagian atau seluruhnya) dari daerah yang baru. Akan tetapi, dalam kasus transfer sementara (misalnya untuk peramalan) yang tidak mungkin kita kalibrasi dengan data pada masa mendatang, maka galat ini terpaksa harus kita terima saja, yang nantinya akan ditampung dalam bentuk konstanta.

3.5.6 Galat pengelompokan

Jenis galat ini timbul pada saat kita ingin memodel bukan saja pada tingkat agregat tetapi juga pada tingkat yang lebih rendah untuk dapat mengerti perilaku setiap individu dibandingkan dengan perilaku kelompok individu. Jenis galat ini dapat dipecahkan menjadi beberapa jenis galat lain berikut ini.

3.5.6.1 Pengelompokan data Dalam beberapa kajian, data yang digunakan untuk menjelaskan perilaku setiap individu sering digabungkan menjadi data kelompok individu. Contohnya, dalam model jaringan selalu terjadi

pengelompokan, baik pada rute, waktu pemberangkatan, dan zona. Ini berarti nilai yang kita gunakan sebagai peubah bebas merupakan nilai rata-rata perilaku beberapa individu, sedangkan yang kita harapkan adalah perilaku setiap individu, bukan kelompok individu. Setiap model yang menggunakan data agregat tidak akan pernah luput dari jenis galat ini (lihat **Daly and Ortuzar, 1990**). Jenis galat ini dapat dikurangi dengan menambah data, misalnya membuat zona, rute, kategori sosio-ekonomi yang lebih banyak, yang membutuhkan biaya dan waktu tambahan.

3.5.6.2 Pengelompokan alternatif Sekali lagi, karena pertimbangan praktis, tidak dimungkinkan mendapatkan data yang lengkap dari setiap pengguna. Hal ini membuat para perencana menarik asumsi dengan menentukan alternatif data yang paling dominan, paling mudah didapat, atau yang biaya pengumpulannya yang paling rendah.

3.5.6.3 Pengelompokan model Hal ini sering membuat permasalahan bagi para perencana. Data agregat seperti arus pada suatu ruas jalan adalah keluaran yang umum dalam perencanaan transportasi. Akan tetapi, model untuk mendapatkannya selalu mengandung galat pengelompokan yang tidak mungkin dihilangkan begitu saja.

3.6 Kompleksitas model atau ketepatan data

Sekarang, mari kita pertimbangkan cara mengoptimasikan pengembalian investasi dengan meningkatkan ketepatan data, menetapkan dana, dan kompleksitas model, untuk mendapatkan keluaran yang mempunyai ketepatannya tinggi. Pertama, kita harus memahami bahwa galat pada peubah masukan akan mempengaruhi ketepatan model yang kita gunakan.

Pertimbangkan suatu peubah yang kita amati $\boldsymbol{x}$ dengan galatnya $\boldsymbol{e_x}$ (misalnya simpangan baku). Galat keluaran yang dihasilkan dari propagasi galat masukan suatu fungsi seperti:

$$z = f(x_1, x_2, \ldots, x_N)$$

bisa didapatkan dengan menggunakan persamaan:

$$e_z^2 = \sum_i \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 e_{xi}^2 + \sum_i \sum_{j \neq i} \frac{\partial f \partial f}{\partial x_i \partial x_j} e_{xi} e_{xj} r_{ij} \qquad (3.6)$$

r_{ij} adalah koefisien korelasi antara x_i dan x_j; persamaan ini cocok dipakai untuk fungsi linear. **Alonso (1968)** menggunakannya untuk mendapatkan beberapa cara sederhana yang harus diikuti selama proses pembentukan model untuk menghindari galat keluaran yang besar.

Contohnya, untuk menghindari kesulitan, komponen yang kedua dari persamaan (3.6) dihilangkan. Jika kita hitung turunan e_z terhadap e_{xi}, akan kita dapatkan:

$$\frac{\partial e_z}{\partial e_{xi}} = \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 \frac{e_{xi}}{e_z} \qquad (3.7)$$

Dengan menggunakan tingkat perbaikan marginal ini dan taksiran biaya marginal untuk mendapatkan ketepatan yang lebih baik, secara prinsip dimungkinkan dihasilkan anggaran perbaikan optimum. Secara praktis, permasalahan ini tidak mudah diatasi karena selalu akan berakhir pada prosedur pengulangan yang sangat kompleks. Akan tetapi, persamaan (3.7) pada dasarnya melakukan dua aturan logika yaitu:

- mengutamakan pada usaha perbaikan peubah yang mempunyai galat besar;
- mengutamakan usaha perbaikan pada peubah yang relevan, misalnya peubah yang mempunyai nilai $\frac{\partial f}{\partial x_i}$ cukup besar karena peubah tersebut akan mempunyai efek paling besar terhadap peubah tidak bebas.

Contoh 3.1 Pertimbangkan model $z=xy+w$, dan beberapa ukuran mengenai peubah bebas:

$$x = 100\pm10;\ y = 50\pm5\ ;\ w = 200\pm50$$

Asumsikan juga biaya marginal perbaikan setiap pengukuran:

untuk memperbaiki x (menjadi $\mathbf{100\pm9}$) = **5,00**

untuk memperbaiki y (menjadi $5\mathbf{0\pm4}$) = **6,00**

untuk memperbaiki z (menjadi $2\mathbf{00\pm49}$) = **0,02**

Dengan menggunakan persamaan (3.1), didapat:

$$e_z^2 = \mathrm{y}^2 e_x^2 + x^2 e_y^2 + e_w^2 = 502.500$$

sehingga nilai e_z=**708,87**; nilai e_z yang baru dalam kasus perbaikan x, y, atau w didapat sebesar **674,54**; **642,26** dan **708,08**. Dari persamaan (3.2) didapat:

$$\frac{\partial e_z}{\partial e_x} = 10y^2/708{,}87 = 35{,}2;\ \frac{\partial e_z}{\partial e_y} = 70{,}5;\ \frac{\partial e_z}{\partial e_w} = 0{,}0705$$

Tiga nilai ini adalah tingkat perbaikan marginal untuk setiap peubah. Untuk menghitung biaya perbaikan marginal (e_z), kita harus membagi biaya marginal perbaikan setiap peubah dengan tingkat marginal perbaikan. Jadi, bisa didapat biaya marginal perbaikan (e_z) yang dihasilkan dari berapa perbaikan peubah:

untuk x = **5/35,2 = 0,142**

untuk y = **6/70,5 = 0,085**

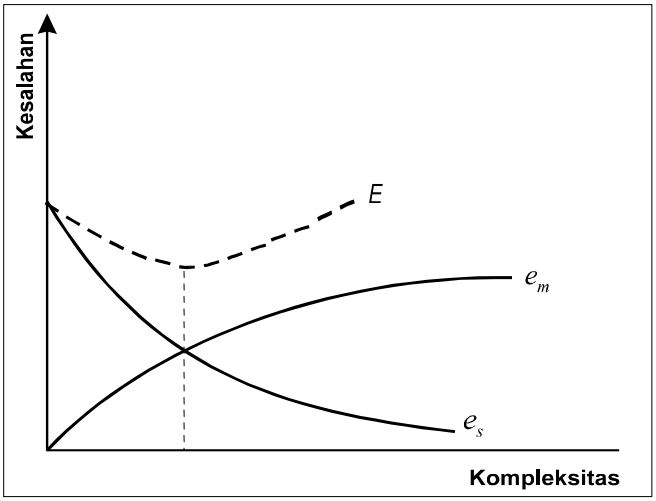
untuk z = **0,02/0,0705 = 0,284**

Oleh karena itu, dapat ditentukan bahwa perbaikan ketepatan pengukuran y terjadi jika pengurangan marginal e_z sekurang-kurangnya sebesar **0,085**.

Definisikan kompleksitas sebagai penambahan jumlah peubah suatu model dan/atau peningkatan jumlah operasi aljabar peubah tersebut. Sudah tentu bahwa dalam usaha mengurangi galat spesifikasi (e_s), kompleksitas model harus ditingkatkan.

Akan tetapi, sudah jelas juga bahwa kalau terdapat lebih banyak peubah yang harus dihitung, maka galat pengukuran (e_m) akan meningkat pula.

Jika galat model secara total didefinisikan sebagai $\mathbf{E}=\sqrt{(e_s^2+e_m^2)}$, dapat dengan mudah dilihat bahwa nilai minimum **E** tidak selalu harus terletak pada titik optimum kompleksitas. Gambar 3.4 memperlihatkan bahwa jika galat pengukuran meningkat, nilai optimum hanya dapat dicapai pada tingkat kompleksitas yang rendah.



Gambar 3.4

Variasi galat sesuai dengan tingkat kompleksitas model Sumber: Ortuzar and Willumsen (1994)

Contoh 3.2 Pertimbangkan kasus pemilihan model antara model pertama yang telah diketahui akan menghasilkan total galat sebesar 30% pada masa mendatang dengan model kedua yang mempunyai spesifikasi yang sangat tepat ($e_s = 0$) dengan persamaan sebagai berikut:

$$z = x_1x_2x_3x_4x_5$$

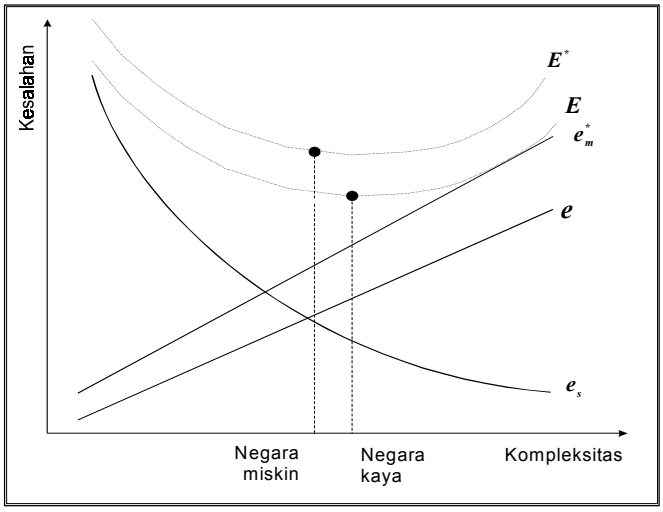
x_i adalah peubah bebas yang diukur dengan 10% galat ($e_m = 0{,}1x_i$). Untuk memutuskan model mana yang lebih baik, digunakan persamaan (3.1):

$$e_z^2 = 0{,}01[\, x_1^2\,(x_2x_3x_4x_5)^2 + [\, x_2^2\,(x_1x_3x_4x_5)^2] + \ldots + [\, x_5^2\,(x_1x_2x_3x_4)^2]$$

$$e_z^2 = 0{,}05[\, x_1x_2x_3x_4x_5]^2 = 0{,}05\, z^2$$

Didapat $e_z = 0{,}22z$ atau 22% galat, sehingga kita sebaiknya memilih model kedua. Sangat menarik diketahui di sini bahwa galat pengukuran yang lebih besar akan menghasilkan keluaran yang berbeda. Pembaca dapat mengecek kembali – jika kita asumsikan bahwa peubah x_i dapat diukur dengan galat sebesar 20%, maka total galat pada model yang kedua tersebut menjadi 44,5% sehingga kita sekarang memilih model pertama.

Gambar 3.5 menjelaskan bahwa jika kualitas data sangat rendah, lebih baik meramalkannya dengan model yang lebih sederhana. Akan tetapi, untuk dapat belajar dan mengerti fenomena ini, model yang lebih rinci tentu saja diperlukan. Tambahan lain, kebanyakan model akan digunakan dalam peramalan jika nilai peubah perencanaan x_i tidak diamati, tetapi diramalkan.



Gambar 3.5
Pengaruh galat pengukuran
Sumber: Ortuzar and Willumsen (1994)

Kita mengetahui bahwa beberapa peubah perencanaan lebih mudah diramalkan dibandingkan dengan yang lain. Oleh karena itu, dalam memilih model untuk tujuan peramalan, harus dipilih model yang mempunyai peubah perencanaan yang dapat diramalkan dengan tingkat kepercayaan tinggi.

3.7 Pengumpulan data

3.7.1 Pertimbangan praktis

Batasan praktis sangat berpengaruh pada penentuan jenis survei yang cocok untuk kondisi tertentu. Merancang survei bukanlah hal yang mudah, tetapi membutuhkan kemampuan dan pengalaman tertentu. Beberapa batasan praktis yang sering dijumpai dalam beberapa kajian transportasi adalah sebagaimana yang dijelaskan berikut ini.

a **waktu pelaksanaan kajian** Faktor ini merupakan hal terpenting karena dapat memberikan perkiraan berapa lama waktu atau usaha yang sebaiknya diberikan untuk proses pengumpulan data;

b **horizon kajian** Terdapat dua tipe situasi yang patut dipertimbangkan, yaitu:

- tahun rencana sangat dekat, misalnya dalam suatu kajian taktis sehingga tersedia cukup banyak waktu untuk melaksanakan kajian. Pada akhirnya diperlukan alat bantu analisis tertentu, misalnya yang membutuhkan jenis data tertentu;
- suatu kajian strategis yang horizon kajiannya (tahun rencana) bisa mencapai 20 tahunan di masa mendatang. Walaupun secara prinsip dimungkinkan penggunaan alat bantu analisis jenis apa pun, galat dalam peramalan hanya dapat diketahui dalam waktu 20 tahun mendatang. Dengan demikian, diperlukan proses pemantauan dan evaluasi untuk melihat apakah sasaran kajian tersebut tercapai.

c **batas daerah kajian** Batas daerah kajian harus sedikit lebih luas dari batas wilayah yang diperkirakan akan terpengaruh (atau berkembang) pada masa 20 tahun mendatang.

d **sumber daya kajian** Beberapa hal berikut sangat perlu diketahui sebelum kita memulai suatu pengkajian, misalnya jumlah tenaga ahli yang tersedia, tingkat keahliannya, dan tingkat kemampuan fasilitas komputer yang tersedia.

3.7.2 Jenis survei

Pada umumnya survei yang akan dilakukan bertujuan untuk mendapatkan informasi mengenai sistem prasarana transportasi dan sistem tata guna lahan. Untuk lebih lengkap, pembaca disarankan membaca modul pelatihan 'Metode Survei Lalulintas dan Transportasi' yang disusun oleh LPM-ITB bekerja sama dengan KBK Rekayasa Transportasi, Jurusan Teknik Sipil, ITB (**LPM-ITB, 1997e**).

3.7.2.1 Sistem prasarana transportasi Survei seharusnya direncanakan untuk dapat mengetahui seluruh informasi fasilitas sistem prasarana transportasi yang dimiliki serta informasi kinerjanya dalam berbagai kondisi arus lalulintas. Kebutuhan akan data juga sangat ditentukan oleh sasaran dan tujuan kajian.

a **Inventarisasi prasarana jalan** Rincian data inventarisasi yang harus di-kumpulkan untuk jalan perkotaan meliputi:

1 **desain geometrik**, meliputi:

- potongan melintang yang terperinci, termasuk lebar jalan dan daerah milik jalan, jumlah dan lebar lajur, jalur lambat, median, bahu jalan yang diperkeras, fasilitas pejalan kaki, kereb, dan lain-lain;
- persimpangan, meliputi geometrik dan radius membelok;
- alinyemen horizontal, meliputi panjang ruas, bagian jalan yang lurus dan lengkung, jari-jari tikungan dan superelevasi;
- alinyemen vertikal meliputi bagian jalan yang mendatar, kelandaian naik dan turun.

2 **pengendalian lalulintas**, meliputi:

- rambu lalulintas dan marka jalan, meliputi lokasi, jenis dan ukuran;
- lampu lalulintas dan lampu penerangan, meliputi lokasi dan jenis;
- persimpangan, meliputi dimensi, radius membelok, lokasi dan jenis pengendalian, dan lampu penerangan;
- parkir dan akses, meliputi lokasi setiap akses, parkir di badan jalan dan bukan di badan jalan, dan cara pengendalian parkir.

3 **tata guna lahan**, meliputi informasi jenis bangunan, penghalang terhadap jarak pandangan bebas serta objek yang menghalangi kelancaran lalulintas

dan pejalan kaki seperti warung, pedagang kaki lima, pot bunga, dan lain-lain.

4 **fasilitas jalan lainnya**, meliputi drainase, saluran air limbah, kabel, dan lain-lain.

Untuk keperluan perencanaan dan pemodelan transportasi, hanya sebagian saja dari keseluruhan data inventarisasi jalan yang dibutuhkan.

b **Inventarisasi kinerja angkutan umum**, meliputi rute bus, jumlah armada, tarif, frekuensi, lokasi terminal dan halte, jenis kendaraan (termasuk kapasitasnya), dan survei naik–turun penumpang dalam bentuk profil pembebanan dalam satu rute.

c **Inventarisasi fasilitas dan kebutuhan parkir**, meliputi survei inventarisasi ruang parkir dan survei kebutuhan parkir.

1 Survei inventarisasi ruang parkir, meliputi lokasi dan kapasitas tampung parkir, waktu pengendalian, tempat larangan dan pembatasan parkir, tarif parkir (tetap atau progresif), marka jalan, dimensi celukan dan sudut kemiringan parkir, dan rambu jalan.

2 Survei kebutuhan parkir, meliputi tujuan parkir, volume parkir, durasi parkir, akumulasi parkir, laju pergantian parkir, indeks parkir, dan jarak berjalan kaki.

d **Inventarisasi waktu tempuh**, meliputi informasi waktu tempuh (dapat dilakukan dengan survei metode pengamat bergerak dan survei pengamat statis), waktu berhenti, waktu bergerak, dan kecepatan bergerak.

3.7.2.2 Sistem tata guna lahan Survei yang dilakukan bertujuan untuk mendapatkan informasi tata guna lahan, meliputi jenis dan intensitasnya serta karakteristik pergerakan. Contoh data tata guna lahan adalah populasi, tenaga kerja, produksi berbagai sektor, misalnya pertanian, industri, pertambangan, perikanan, dan kehutanan, biasanya tersedia dengan baik dan lengkap untuk setiap propinsi di Biro Pusat Statistik. Badan Perencanaan Pembangunan Daerah (Bappeda) di tingkat I maupun II secara rutin mengumpulkan data yang berkaitan dengan tata guna lahan setiap tahunnya dan didokumentasikan secara baik dan lengkap serta dipublikasikan secara rutin, misalnya Propinsi Jawa Barat Dalam Angka.

Karakteristik pergerakan bisa didapat melalui survei wawancara rumah tangga, survei wawancara di tepi jalan, survei angkutan barang, dan survei angkutan umum. Dalam survei wawancara rumah tangga, beberapa informasi rumah tangga berikut sangat dibutuhkan, yaitu anggota keluarga, usia dan jenis kelamin, pekerjaan, pendapatan, pemilikan kendaraan, dan intensitas pergerakan yang dilakukan setiap harinya oleh seluruh anggota keluarga.

Tambahan lain, dalam survei wawancara rumah tangga juga bisa ditanyakan karakteristik pergerakan, misalnya jenis tata guna lahan zona asal dan zona tujuan, waktu berangkat dan tiba, tujuan pergerakan, dan moda transportasi yang

digunakan. Pengambilan sampel 100% sangatlah tidak mungkin karena membutuhkan biaya yang sangat besar, tenaga kerja yang sangat banyak, dan waktu proses yang sangat lama. **Bruton (1985)** menyarankan beberapa nilai sampel yang telah direkomendasikan untuk digunakan selama hampir 20 tahun (lihat tabel 3.8).

Tabel 3.8 Rekomendasi ukuran sampel survei wawancara rumah tangga

Populasi	Ukuran sampel (rumah tangga)	
	Rekomendasi	Minimum
di bawah 50.000	1:5	1:10
50.000–150.000	1:8	1:20
150.000–300.000	1:10	1:35
300.000–500.000	1:15	1:50
500.000–1.000.000	1:20	1:70
di atas 1.000.000	1:25	1:100

Sumber: Bruton (1985)

Pada survei angkutan barang, beberapa informasi berikut sangat dibutuhkan agar dapat menghasilkan gambaran karakteristik angkutan barang, misalnya jenis kendaraan yang digunakan, jenis dan volume barang yang diangkut, zona asal dan tujuan, karakteristik perusahaan (jika ada), informasi penggunaan transportasi multi moda, dan lain-lain. Survei angkutan umum bertujuan untuk mendapatkan informasi jumlah naik−turunnya penumpang untuk setiap rute, profil pembebanan untuk setiap rute, zona asal dan zona tujuan pergerakan, tujuan pergerakan, moda transportasi dari zona asal ke angkutan umum, serta moda transportasi dari angkutan umum ke zona tujuan.

Survei wawancara di tepi jalan juga menanyakan informasi yang sama dengan survei lainnya, yaitu jenis kendaraan, tingkat isian penumpang, zona asal dan tujuan, serta tujuan pergerakan. Salah satu kelemahan survei ini adalah terganggunya arus lalulintas karena kendaraan harus berhenti untuk diwawancarai. Kelemahan berikutnya adalah bahwa untuk suatu ruas jalan yang cukup tinggi arus lalulintasnya, pengambilan sampel 100% hampir tidak mungkin dapat dilaksanakan. Tabel 3.9 memperlihatkan ukuran sampel yang direkomendasikan untuk survei wawancara ditepi jalan.

Tabel 3.9 Rekomendasi ukuran sampel survei wawancara di tepi jalan

Arus lalulintas (kendaraan/jam)	Ukuran sampel
900 atau lebih	1:10
700–899	1:8
500–699	1:6
300–499	1:4
200–299	1:3
1–199	1:2

Sumber: Ortuzar and Willumsen (1994)

4 Model bangkitan pergerakan

Seperti telah diterangkan pada bab sebelumnya, tahapan bangkitan pergerakan bertujuan mendapatkan jumlah pergerakan yang dibangkitkan oleh setiap zona asal (O_i) dan jumlah pergerakan yang tertarik ke setiap zona tujuan (D_d) yang ada di dalam daerah kajian. Selain itu, permasalahan juga dapat dilihat dari sisi lain sebagai permasalahan dalam pemilihan frekuensi pergerakan, seperti berapa besar pergerakan dengan tujuan berbelanja yang dilakukan oleh seseorang selama satu minggu? Hal ini biasanya ditangani oleh model pemilihan diskret seperti yang akan dijelaskan pada bab 6. Dalam bab itu permasalahan dinyatakan dengan cara lain, misalnya berapa besar peluang seseorang melakukan **0**, **1**, **2+** (dua atau lebih) pergerakan dengan tujuan tertentu selama satu minggu.

Dalam bab ini kita mempertimbangkan pendekatan pertama (misalnya meramalkan total pergerakan O_i dan D_d dari data atribut sosio-ekonomi rumah tangga), yang paling sering digunakan dalam berbagai kajian sampai dengan akhir tahun 1980-an. Pembaca yang berminat pada pendekatan model pemilihan diskret dapat membaca **Ben Akiva and Lerman (1985)** serta bab 6 buku ini.

Kita akan mulai dengan mendefinisikan beberapa konsep dasar yang digunakan dan kemudian mempelajari beberapa faktor yang mempengaruhi bangkitan dan tarikan pergerakan. Kemudian, akan diulas beberapa pendekatan utama dalam tahap pemodelan ini, dimulai dari teknik yang paling sederhana (metode faktor pertumbuhan). Sebelum menggunakan pendekatan yang lebih kompleks, akan diperkenalkan sedikit cara melakukan pemodelan analisis regresi-linear.

Kemudian, akan dipertimbangkan model bangkitan dan tarikan pergerakan berbasis zona dan berbasis rumah tangga. Kita akan mempertimbangkan untuk pertama kalinya permasalahan pengelompokan yang mempunyai solusi *trivial* yang disebabkan oleh bentuk linear model tersebut. Kemudian, akan diteruskan dengan metode analisis kategori silang – kita akan mempelajari tidak hanya spesifikasi analisis kategori-orang, tetapi juga pendekatannya. Bab ini diakhiri dengan penjelasan tentang prosedur peramalan peubah yang digunakan untuk memodel bangkitan pergerakan pada masa mendatang.

4.1 Pendahuluan

Tujuan dasar tahap bangkitan pergerakan adalah menghasilkan model hubungan yang mengaitkan parameter tata guna lahan dengan jumlah pergerakan yang menuju ke suatu zona atau jumlah pergerakan yang meninggalkan suatu zona. Zona asal dan tujuan pergerakan biasanya juga menggunakan istilah ***trip end***.

Model ini sangat dibutuhkan apabila efek tata guna lahan dan pemilikan pergerakan terhadap besarnya bangkitan dan tarikan pergerakan berubah sebagai fungsi waktu. Tahapan bangkitan pergerakan ini meramalkan jumlah pergerakan yang akan

dilakukan oleh seseorang pada setiap zona asal dengan menggunakan data rinci mengenai tingkat bangkitan pergerakan, atribut sosio-ekonomi, serta tata guna lahan.

Tahapan ini bertujuan mempelajari dan meramalkan besarnya tingkat bangkitan pergerakan dengan mempelajari beberapa variasi hubungan antara ciri pergerakan dengan lingkungan tata guna lahan. Beberapa kajian transportasi berhasil mengidentifikasi korelasi antara besarnya pergerakan dengan berbagai peubah, dan setiap peubah tersebut juga saling berkorelasi.

Tahapan ini biasanya menggunakan data berbasis zona untuk memodel besarnya pergerakan yang terjadi (baik bangkitan maupun tarikan), misalnya tata guna lahan, pemilikan kendaraan, populasi, jumlah pekerja, kepadatan penduduk, pendapatan, dan juga moda transportasi yang digunakan. Khusus mengenai angkutan barang, bangkitan dan tarikan pergerakan diramalkan dengan menggunakan atribut sektor industri dan sektor lain yang terkait.

Seperti telah dijelaskan, bangkitan atau tarikan pergerakan biasanya dianalisis berdasarkan zona. Data tata guna lahan (peubah ***X***), data bangkitan pergerakan (**P**) dan data tarikan pergerakan (**A**) yang didapatkan dari hasil survei terlihat pada tabel 4.1 (**Black, 1978**).

Tabel 4.1 Informasi tentang model bangkitan pergerakan

Nomor zona	Data tata guna lahan					Data hasil survei		Data hasil pemodelan	
	X_1	X_2	X_3	…	X_M	P	A	P	A
1	.	.	.	.	.	.	.	*	*
2	.	.	.	.	.	.	.	*	*
3	.	.	.	.	.	.	.	*	*
4	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
i	.	.	.	.	.	.	.	*	*
.	.	.	.	.	.	.	.	*	*
N	.	.	.	.	.	.	.	*	*

Perkiraan besarnya tingkat bangkitan pergerakan, baik untuk bangkitan (**P**) maupun tarikan (**A**) bisa dilakukan dengan pemodelan yang menggunakan data yang terdapat pada tabel 4.1. Sebelum membicarakan permasalahan pemodelan, perlu ada penjelasan mengenai beberapa definisi dasar yang selalu digunakan dalam tahap pemodelan bangkitan pergerakan.

4.1.1 Definisi dasar

Untuk dapat mempermudah pembaca mengikuti subbab berikutnya, pada subbab ini diberikan beberapa definisi dasar mengenai model bangkitan pergerakan.

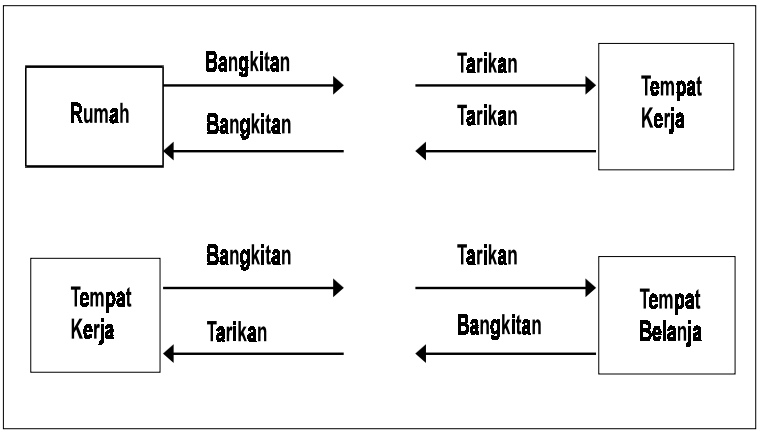
a **Perjalanan** Pergerakan satu arah dari zona asal ke zona tujuan, termasuk pergerakan berjalan kaki. Berhenti secara kebetulan (misalnya berhenti di perjalanan untuk membeli rokok) tidak dianggap sebagai tujuan perjalanan, meskipun perubahan rute terpaksa dilakukan. Meskipun pergerakan sering diartikan dengan pergerakan pulang dan pergi, dalam ilmu transportasi biasanya analisis keduanya harus dipisahkan. Hal yang dikaji di sini tidak saja mengenai pergerakan berkendaraan, tetapi juga kadang-kadang pergerakan berjalan kaki.

b **Pergerakan berbasis rumah** Pergerakan yang salah satu atau kedua zona (asal dan/atau tujuan) pergerakan tersebut adalah rumah.

c **Pergerakan berbasis bukan rumah** Pergerakan yang baik asal maupun tujuan pergerakan adalah bukan rumah.

d **Bangkitan pergerakan** Digunakan untuk suatu pergerakan berbasis rumah yang mempunyai tempat asal dan/atau tujuan adalah rumah atau pergerakan yang dibangkitkan oleh pergerakan berbasis bukan rumah (lihat gambar 4.1).

e **Tarikan pergerakan** Digunakan untuk suatu pergerakan berbasis rumah yang mempunyai tempat asal dan/atau tujuan bukan rumah atau pergerakan yang tertarik oleh pergerakan berbasis bukan rumah (lihat gambar 4.1).



Gambar 4.1 Bangkitan dan tarikan pergerakan

f **Tahapan bangkitan pergerakan** Sering digunakan untuk menetapkan besarnya bangkitan pergerakan yang dihasilkan oleh rumah tangga (baik untuk pergerakan berbasis rumah maupun berbasis bukan rumah) pada selang waktu tertentu (per jam atau per hari).

Sepanjang tahun 1980-an, beberapa definisi lain seperti *tour* dan *trip chain* sering dipakai dalam perencanaan dan pemodelan transportasi. Hal ini sangat mendukung teori yang menyatakan bahwa kebutuhan akan pergerakan sebenarnya adalah kebutuhan turunan (sesuatu yang sangat tergantung dari adanya keterkaitan dengan kegiatan lainnya). Akan tetapi, definisi tersebut hanya sering digunakan pada model pemilihan diskret; lihat **Daly *et al* (1983)**.

Bangkitan pergerakan harus dianalisis secara terpisah dengan tarikan pergerakan. Jadi, tujuan akhir perencanaan tahapan bangkitan pergerakan adalah menaksir

setepat mungkin bangkitan dan tarikan pergerakan pada masa sekarang, yang akan digunakan untuk meramalkan pergerakan pada masa mendatang.

4.1.2 Klasifikasi pergerakan

4.1.2.1 Berdasarkan tujuan pergerakan Pada prakteknya, sering dijumpai bahwa model bangkitan pergerakan yang lebih baik bisa didapatkan dengan memodel secara terpisah pergerakan yang mempunyai tujuan berbeda. Dalam kasus pergerakan berbasis rumah, lima kategori tujuan pergerakan yang sering digunakan adalah:

- pergerakan ke tempat kerja
- pergerakan ke sekolah atau universitas (pergerakan dengan tujuan pendidikan)
- pergerakan ke tempat belanja
- pergerakan untuk kepentingan sosial dan rekreasi, dan
- lain-lain

Dua tujuan pergerakan pertama (bekerja dan pendidikan) disebut tujuan pergerakan utama yang merupakan keharusan untuk dilakukan oleh setiap orang setiap hari, sedangkan tujuan pergerakan lain sifatnya hanya pilihan dan tidak rutin dilakukan. Pergerakan berbasis bukan rumah tidak selalu harus dipisahkan karena jumlahnya kecil, hanya sekitar 15–20% dari total pergerakan yang terjadi.

4.1.2.2 Berdasarkan waktu Pergerakan biasanya dikelompokkan menjadi pergerakan pada jam sibuk dan pada jam tidak sibuk. Proporsi pergerakan yang dilakukan oleh setiap tujuan pergerakan sangat berfluktuasi atau bervariasi sepanjang hari. Tabel 4.2 memperlihatkan data kota Santiago (*Chile*) yang dihasilkan dari survei Asal–Tujuan pada tahun 1977 (**DICTUC, 1978**); pergerakan pada selang jam sibuk pagi hari (biasanya saling bertolak belakang dengan pergerakan pada selang jam sibuk sore hari) terjadi antara jam 7.00 sampai dengan jam 9.00 pagi dan jam tidak sibuk berkisar antara jam 10.00 sampai dengan jam 12.00 siang.

Beberapa komentar timbul berkaitan dengan tabel 4.2. Pertama, kebanyakan pergerakan pada jam sibuk pagi merupakan pergerakan utama yang harus dilakukan setiap hari (untuk bekerja dan pendidikan), yang tidak terjadi pada jam tidak sibuk. Kedua, pergerakan untuk tujuan birokrasi terjadi baik pada jam sibuk dan tidak sibuk (ini merupakan ciri khas pergerakan di negara berkembang). Ketiga, terdapat galat dalam proses pengkodefikasian, yang terlihat dari besarnya pergerakan yang menuju ke rumah (**41,65%**) pada jam tidak sibuk yang mungkin disebabkan karena di dalamnya termasuk juga pergerakan dengan tujuan lain. Jadi, data ini harus dikodefikasi kembali untuk mendapatkan informasi yang benar.

Jenis permasalahan seperti ini sering terjadi sebelum konsep bangkitan dan tarikan pergerakan menggantikan konsep Asal dan Tujuan yang tidak secara eksplisit menggambarkan kemampuan aktivitas pergerakan berbasis rumah dan berbasis bukan rumah.

Tabel 4.2 Contoh klasifikasi tujuan pergerakan

Tujuan pergerakan	Jam sibuk pagi hari		Jam tidak sibuk	
	Jumlah	%	Jumlah	%
Bekerja	465.683	52,12	39.787	12,68
Pendidikan	313.275	35,06	15.567	4,96
Belanja	13.738	1,54	35.611	11,35
Sosial	7.064	0,79	16.938	5,40
Kesehatan	14.354	1,60	8.596	2,74
Birokrasi	34.735	3,89	57.592	18,35
Ikut dengan orang	18.702	2,09	676	2,14
Lain–lain	1.736	0,19	2.262	0,73
Kembali ke rumah	24.392	2,72	130.689	41,65

Sumber: Ortuzar and Willumsen (1994)

4.1.2.3 Berdasarkan jenis orang Hal ini merupakan salah satu jenis pengelompokan yang penting karena perilaku pergerakan individu sangat dipengaruhi oleh atribut sosio-ekonomi. Atribut yang dimaksud adalah:

- tingkat pendapatan: biasanya terdapat tiga tingkat pendapatan di Indonesia: tinggi, menengah, dan rendah;
- tingkat pemilikan kendaraan: biasanya terdapat empat tingkat: **0**, **1**, **2,** atau **lebih dari dua** (**2+**) kendaraan per rumah tangga;
- ukuran dan struktur rumah tangga.

Hal penting yang harus diamati adalah bahwa jumlah tingkat dapat meningkat pesat dan ini berimplikasi cukup besar bagi kebutuhan akan data, kalibrasi model, dan penggunaannya.

4.1.3 Faktor yang mempengaruhi

Dalam pemodelan bangkitan pergerakan, hal yang perlu diperhatikan bukan saja pergerakan manusia, tetapi juga pergerakan barang.

a **Bangkitan pergerakan untuk manusia** Faktor berikut dipertimbangkan pada beberapa kajian yang telah dilakukan:

- pendapatan
- pemilikan kendaraan
- struktur rumah tangga
- ukuran rumah tangga
- nilai lahan
- kepadatan daerah permukiman
- aksesibilitas

Empat faktor pertama (pendapatan, pemilikan kendaraan, struktur, dan ukuran rumah tangga) telah digunakan pada beberapa kajian bangkitan pergerakan, sedangkan nilai lahan dan kepadatan daerah permukiman hanya sering dipakai untuk kajian mengenai zona.

b **Tarikan pergerakan untuk manusia** Faktor yang paling sering digunakan adalah luas lantai untuk kegiatan industri, komersial, perkantoran, pertokoan, dan pelayanan lainnya. Faktor lain yang dapat digunakan adalah lapangan kerja. Akhir-akhir ini beberapa kajian mulai berusaha memasukkan ukuran aksesibilitas.

c **Bangkitan dan tarikan pergerakan untuk barang** Pergerakan ini hanya merupakan bagian kecil dari seluruh pergerakan (**20%**) yang biasanya terjadi di negara industri. Peubah penting yang mempengaruhi adalah jumlah lapangan kerja, jumlah tempat pemasaran, luas atap industri tersebut, dan total seluruh daerah yang ada.

4.1.4 Model faktor pertumbuhan

Sejak tahun 1950-an, beberapa teknik telah diusulkan untuk memodel bangkitan pergerakan. Kebanyakan metode tersebut meramalkan total pergerakan yang dihasilkan (atau tertarik) oleh rumah tangga atau zona sebagai fungsi dari hubungan linear yang didefinisikan dari data yang ada. Sebelum membandingkan hasil yang didapat, sangatlah penting mengerti beberapa aspek berikut ini:

- jenis pergerakan yang akan dipertimbangkan (contoh: apakah hanya pergerakan berkendaraan atau pergerakan berjalan kaki saja);
- usia minimum yang dapat digunakan dalam proses analisis.

Berikut ini dikemukakan teknik yang mungkin bisa diterapkan untuk meramalkan jumlah perjalanan pada masa mendatang yang dilakukan oleh salah satu dari empat kategori yang telah diterangkan sebelumnya. Persamaan dasarnya adalah:

$$T_i = F_i . t_i \tag{4.1}$$

T_i dan t_i adalah pergerakan pada masa mendatang dan pada masa sekarang, dan F_i adalah faktor pertumbuhan. Kesulitan metode ini adalah cara mendapatkan nilai F_i. Biasanya, faktor ini terkait dengan peubah seperti populasi (P), pendapatan (I), dan pemilikan kendaraan (C) yang terkait dalam fungsi seperti:

$$F_i = \frac{f\left(P_i^d, I_i^d, C_i^d\right)}{f\left(P_i^c, I_i^c, C_i^c\right)} \tag{4.2}$$

f bisa merupakan fungsi perkalian tanpa parameter, sedangkan tikatas d dan c menandakan tahun sekarang (d) dan tahun rencana (c).

Contoh 4.1 Pertimbangkan suatu zona dengan 250 rumah tangga bermobil dan 250 rumah tangga tanpa mobil. Asumsikan kita mengetahui rata-rata tingkat bangkitan pergerakan untuk setiap kelompok:

rumah tangga bermobil menghasilkan : 6,0 pergerakan/hari

rumah tangga tanpa mobil menghasilkan : 2,5 pergerakan/hari

Dengan mudah kita mendapatkan jumlah pergerakan dari zona tersebut, yaitu:

$$t_i = 250 \text{ x } 2{,}5 + 250 \text{ x } 6{,}0 = 2.125 \text{ pergerakan/hari}$$

Asumsikan bahwa pada masa mendatang semua rumah tangga akan mempunyai satu mobil. Oleh karena itu, dengan berasumsi bahwa pendapatan dan populasi tetap, kita dapat menaksir faktor pertumbuhan perkalian yang sederhana seperti:

$$F_i = C_i^d \,/\, C_i^c = 1/0{,}5 = 2$$

Dengan menggunakan persamaan (4.1) kita dapat menghitung jumlah pergerakan pada masa mendatang:

$$T_i = 2 \text{ x } 2.125 = 4.250 \text{ pergerakan/hari}$$

Akan tetapi, metode ini sangat kasar. Jika kita menggunakan informasi rata-rata tingkat bangkitan pergerakan dan berasumsi bahwa tingkat pergerakan tersebut tetap konstan, kita mendapatkan jumlah pergerakan pada masa mendatang sebesar:

$$T_i = 500 \text{ x } 6 = 3.000$$

Ini berarti metode faktor pertumbuhan mempunyai taksiran yang lebih tinggi dari yang sebelumnya sebesar **42%**. Hal ini harus dilihat secara serius karena bangkitan pergerakan adalah tahap pertama dalam proses pemodelan; galat di sini akan dibawa terus selama proses pemodelan. Oleh karena itu, metode faktor pertumbuhan hanya dapat digunakan meramalkan pergerakan eksternal yang masuk ke suatu daerah pada masa mendatang. Ini karena jumlahnya yang tidak terlalu besar pada saat awal (sehingga galatnya pun kecil) dan juga karena tidak ada cara lain yang sederhana untuk meramalkannya.

Pada subbab berikut ini kita akan mendiskusikan model yang lebih baik yang secara prinsip dapat digunakan untuk memodel bangkitan dan tarikan pergerakan orang dan/atau barang.

4.2 Analisis regresi

Subbab berikut ini memberikan penjelasan singkat mengenai analisis regresi-linear. Pembaca yang sudah memahaminya dapat langsung beralih ke subbab 4.2.2.

4.2.1 Model analisis regresi-linear

4.2.1.1 Pendahuluan Analisis regresi-linear adalah metode statistik yang dapat digunakan untuk mempelajari hubungan antarsifat permasalahan yang sedang diselidiki. Model analisis regresi-linear dapat memodelkan hubungan antara dua peubah atau lebih. Pada model ini terdapat peubah tidak bebas (y) yang mempunyai hubungan fungsional dengan satu atau lebih peubah bebas (x_i). Dalam kasus yang paling sederhana, hubungan secara umum dapat dinyatakan dalam persamaan (4.3) berikut.

$$Y = \mathbf{A} + \mathbf{B}X \tag{4.3}$$

Y = peubah tidak bebas

X = peubah bebas

A = intersep atau konstanta regresi

B = koefisien regresi

Jika persamaan (4.3) akan digunakan untuk memperkirakan bangkitan pergerakan berbasis zona, semua peubah diidentifikasikan dengan tikalas ***i***; jika persamaan (4.3) akan digunakan untuk tarikan pergerakan berbasis zona, diidentifikasikan dengan tikalas ***d***.

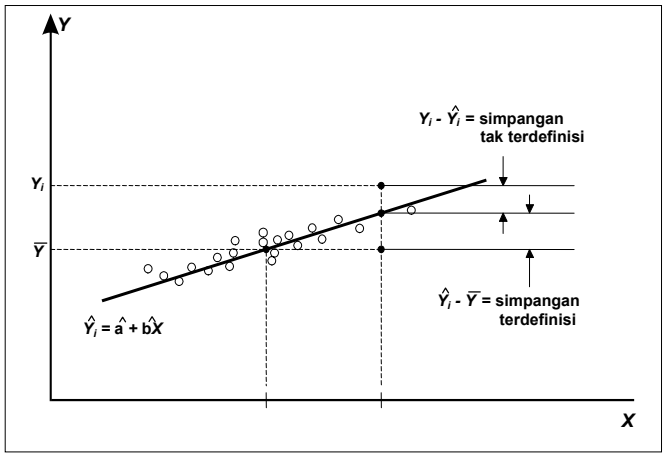
Parameter **A** dan **B** dapat diperkirakan dengan menggunakan metode kuadrat terkecil yang meminimumkan total kuadratis residual antara hasil model dengan hasil pengamatan. Nilai parameter **A** dan **B** bisa didapatkan dari persamaan (4.4) dan (4.5) berikut.

$$\mathbf{B} = \frac{\mathbf{N}\sum_i (X_i Y_i) - \sum_i (X_i).\sum_i (Y_i)}{\mathbf{N}\sum_i (X_i^2) - \left(\sum_i (X_i)\right)^2} \tag{4.4}$$

$$\mathbf{A} = \overline{Y} - \mathbf{B}\overline{X} \tag{4.5}$$

$\overline{Y}$ dan $\overline{X}$ adalah nilai rata-rata dari Y_i dan X_i.

4.2.1.2 Koefisien determinasi (R^2) Gambar 4.2 memperlihatkan garis regresi dan beberapa data yang digunakan untuk mendapatkannya. Jika tidak terdapat nilai x, ramalan terbaik Y_i adalah $\overline{Y}_i$. Akan tetapi, gambar memperlihatkan bahwa untuk x_i, galat metode tersebut akan tinggi: $(Y_i - \overline{Y}_i)$. Jika x_i diketahui, ternyata ramalan terbaik Y_i menjadi $\hat{Y}_i$ dan hal ini memperkecil galat menjadi $(Y_i - \hat{Y}_i)$.



Gambar 4.2
Beberapa jenis simpangan

Dari gambar 4.2, kita dapatkan:

$$\underset{\text{simpangan total}}{(Y_i - \bar{Y}_i)} = \underset{\text{simpangan terdefinisi}}{(\hat{Y}_i - \bar{Y}_i)} + \underset{\text{simpangan tidak terdefinisi}}{(Y_i - \hat{Y}_i)} \quad (4.6)$$

Jika kita kuadratkan total simpangan tersebut dan menjumlahkan semua nilai ***i***, didapat:

$$\underset{\text{simpangan total}}{\sum_i (Y_i - \bar{Y}_i)^2} = \underset{\text{simpangan terdefinisi}}{\sum_i (\hat{Y}_i - \bar{Y}_i)^2} + \underset{\text{simpangan tidak terdefinisi}}{\sum_i (Y_i - \hat{Y}_i)^2} \quad (4.7)$$

Karena, $(\hat{Y}_i - \bar{Y}_i) = \hat{\mathbf{b}}\, x_i$, mudah dilihat bahwa variasi terdefinisi merupakan fungsi koefisien regresi $\hat{\mathbf{b}}$. Proses penggabungan total variasi disebut analisis variansi. Koefisien determinasi didefinisikan sebagai nisbah antara variasi terdefinisi dengan variasi total:

$$\mathbf{R}^2 = \frac{\sum_i (\hat{Y}_i - \bar{Y}_i)^2}{\sum_i (Y_i - \bar{Y}_i)^2} \quad (4.8)$$

Koefisien ini mempunyai batas limit sama dengan satu (*perfect explanation*) dan nol (*no explanation*); nilai antara kedua batas limit ini ditafsirkan sebagai persentase total variasi yang dijelaskan oleh analisis regresi-linear.

4.2.1.3 Regresi-linear-berganda Konsep ini merupakan pengembangan lanjut dari uraian di atas, khususnya pada kasus yang mempunyai lebih banyak peubah bebas dan parameter $\hat{\mathbf{b}}$. Hal ini sangat diperlukan dalam realita yang menunjukkan bahwa beberapa peubah tata guna lahan secara simultan ternyata mempengaruhi bangkitan pergerakan. Persamaan (4.9) memperlihatkan bentuk umum metode analisis regresi-linear-berganda.

$$Y = \mathbf{A} + \mathbf{B}_1 X_1 + \mathbf{B}_2 X_2 + ... + \mathbf{B}_Z X_Z \quad (4.9)$$

Y = peubah tidak bebas

$X_1 \ldots X_Z$ = peubah bebas

$\mathbf{A}$ = konstanta regresi

$\mathbf{B}_1 \ldots \mathbf{B}_Z$ = koefisien regresi

Analisis regresi-linear-berganda adalah suatu metode statistik. Untuk menggunakannya, terdapat beberapa asumsi yang perlu diperhatikan:

- nilai peubah, khususnya peubah bebas, mempunyai nilai tertentu atau merupakan nilai yang didapat dari hasil survei tanpa kesalahan berarti;
- peubah tidak bebas (***Y***) harus mempunyai hubungan korelasi linear dengan peubah bebas (***X***). Jika hubungan tersebut tidak linear, transformasi linear harus dilakukan, meskipun batasan ini akan mempunyai implikasi lain dalam analisis residual;

- efek peubah bebas pada peubah tidak bebas merupakan penjumlahan, dan harus tidak ada korelasi yang kuat antara sesama peubah bebas;
- variansi peubah tidak bebas terhadap garis regresi harus sama untuk semua nilai peubah bebas;
- nilai peubah tidak bebas harus tersebar normal atau minimal mendekati normal;
- nilai peubah bebas sebaiknya merupakan besaran yang relatif mudah diproyeksikan.

Solusinya tetap sama, tetapi lebih kompleks sehingga beberapa hal baru harus dipertimbangkan sebagai berikut.

1 **Multikolinear** Hal ini terjadi karena adanya hubungan linear antar-peubah; pada kasus ini, beberapa persamaan yang mengandung $\hat{\mathbf{b}}$ tidak saling bebas dan tidak dapat dipecahkan secara unik.

2 **Jumlah parameter 'b' yang dibutuhkan** Untuk memutuskan hal ini, beberapa faktor harus dipertimbangkan:

- Apakah ada alasan teori yang kuat sehingga harus melibatkan peubah itu atau apakah peubah itu penting untuk proses uji dengan model tersebut?
- Apakah peubah itu signifikan dan apakah tanda koefisien parameter yang didapat sesuai dengan teori atau intuisi?

Jika diragukan, terapkan salah satu cara, yaitu menghilangkan peubah itu dan melakukan proses regresi lagi untuk melihat efek dibuangnya peubah itu terhadap peubah lainnya yang masih digunakan oleh model tersebut. Jika ternyata tidak terlalu terpengaruh, peubah itu dibuang saja sehingga kita mendapatkan model yang lebih sederhana dan dapat ditaksir secara lebih tepat.

Beberapa paket program telah menyediakan prosedur otomatis untuk menangani masalah ini (pendekatan langkah-demi-langkah atau *stepwise*); akan tetapi, pendekatan ini masih mempunyai beberapa permasalahan yang akan diterangkan nanti.

3 **Koefisien determinasi** Bentuknya sama dengan persamaan (4.8). Akan tetapi, pada kasus ini, tambahan peubah $\hat{\mathbf{b}}$ biasanya meningkatkan nilai $\mathbf{R^2}$; untuk mengatasinya digunakan nilai $\mathbf{R^2}$ yang telah dikoreksi:

$$\overline{\mathbf{R}}^2 = [\mathbf{R}^2 - \mathbf{K}/(\mathbf{N}-\mathbf{1})][(\mathbf{N}-\mathbf{1})/(\mathbf{N}-\mathbf{K}-\mathbf{1})] \qquad (4.10)$$

N adalah ukuran sampel dan **K** adalah jumlah peubah $\hat{\mathbf{b}}$.

4 **Koefisien korelasi** Koefisien korelasi ini digunakan untuk menentukan korelasi antara peubah tidak bebas dengan peubah bebas atau antara sesama peubah bebas. Koefisien korelasi ini dapat dihitung dengan berbagai cara yang salah satunya adalah persamaan (4.11) berikut.

$$\mathbf{r} = \frac{\mathbf{N}\sum_i (X_i Y_i) - \sum_i (X_i)\sum_i (Y_i)}{\sqrt{\left[\mathbf{N}\sum_i (X_i^2) - \left(\sum_i (X_i)\right)^2\right]\left[\mathbf{N}\sum_i (Y_i^2) - \left(\sum_i (Y_i)\right)^2\right]}} \qquad (4.11)$$

Nilai **r = 1** berarti bahwa korelasi antara peubah ***y*** dan ***x*** adalah positif (meningkatnya nilai ***x*** akan mengakibatkan meningkatnya nilai ***y***). Sebaliknya, jika nilai **r = –1**, berarti korelasi antara peubah ***y*** dan ***x*** adalah negatif (meningkatnya nilai ***x*** akan mengakibatkan menurunnya nilai ***y***). Nilai **r = 0** menyatakan tidak ada korelasi antarpeubah.

5 **Uji t-test** Uji t-test dapat digunakan untuk dua tujuan: untuk menguji signifikansi nilai koefisien korelasi (**r**) dan untuk menguji signifikansi nilai koefisien regresi. Setiap peubah yang mempunyai koefisien regresi yang tidak signifikan secara statistik harus dibuang dari model.

Dalam pemodelan bangkitan pergerakan, metode analisis regresi-linear-berganda telah digunakan; baik dengan data zona (agregat) dan data rumah tangga ataupun individu (tidak agregat).

4.2.2 Model regresi berbasis zona

Pada kasus ini, dilakukan usaha untuk mendapatkan hubungan linear antara jumlah pergerakan yang dibangkitkan atau tertarik oleh zona dan ciri sosio-ekonomi rata-rata dari rumah tangga pada setiap zona. Beberapa pertimbangan yang perlu diperhatikan adalah yang berikut ini.

4.2.2.1 Model berbasis zona Model jenis ini hanya dapat menjelaskan variasi perilaku pergerakan antara zona. Jadi, model hanya akan berhasil baik jika variasi antarzona cukup mencerminkan alasan utama terjadinya variasi pergerakan. Agar hal ini tercapai, sebaiknya zona tidak hanya mempunyai komposisi sosio-ekonomi yang seragam, tetapi juga mencerminkan beberapa kondisi. Permasalahan utama adalah variasi data pergerakan individu yang berada pada tingkat antarzona.

4.2.2.2 Peranan intersep Seseorang pasti beranggapan bahwa garis regresi yang didapatkan harus selalu melalui titik (**0,0**) atau intersep = **0**. Akan tetapi, kita selalu mendapatkan nilai intersep yang besar. Jika hal ini terjadi, persamaan tersebut harus ditolak. Jika intersep tidak jauh berbeda dari **0**, sebaiknya proses regresi dilakukan kembali, tetapi dengan memaksa intersep = **0**.

Intersep yang besar juga dapat diartikan bahwa masih dibutuhkan peubah lain yang harus diperhitungkan dalam model tersebut karena masih ada pergerakan yang cukup besar (intersep besar) yang tidak dapat dimodel oleh peubah yang ada sehingga dapat disimpulkan bahwa model yang ada belum terlalu mencerminkan realita.

4.2.2.3 Zona kosong Sangat mungkin ditemukan bahwa untuk beberapa zona tertentu tidak terdapat data atau informasi mengenai satu atau beberapa peubah tertentu. Zona seperti ini harus dikeluarkan dari analisis; walaupun jika tetap diperhitungkan tidak akan terlalu mempengaruhi penaksiran koefisien (karena persamaan sebenarnya harus selalu melalui titik (**0,0**)). Penambahan jumlah zona yang tidak dapat memberikan data yang berguna serta tepat hanya akan menghasilkan statistik yang ketepatannya rendah.

4.2.2.4 Total zona vs rata-rata zona Dalam merumuskan model, analis harus memilih antara peubah total atau peubah agregat. Misalnya, jumlah pergerakan per zona atau jumlah mobil per zona (peubah total) dengan pergerakan per keluarga per zona atau jumlah kendaraan per rumah tangga per zona (peubah agregat). Untuk kasus peubah agregat, model regresi yang digunakan adalah:

$$Y_i = \theta_0 + \theta_1 X_{1i} + \theta_2 X_{2i} + ... + \theta_K X_{Ki} + E_1$$

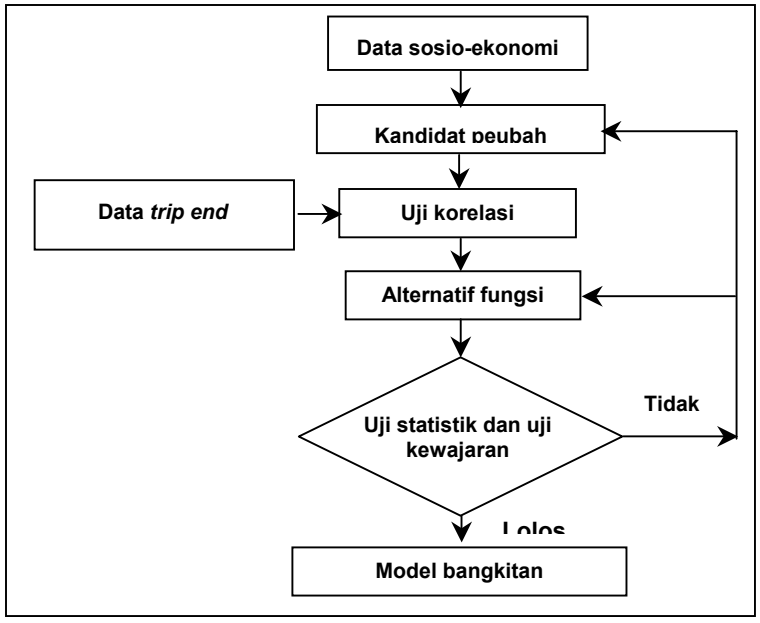
sedangkan untuk kasus peubah total yang digunakan adalah:

$$y_i = \theta_0 + \theta_1 x_{1i} + \theta_2 x_{2i} + ... + \theta_K x_{Ki} + e_1$$

dengan $y_i = Y_i/H_i$; $x_i = X_i/H_i$; $e_i = E_i/H_i$ dan H_i adalah jumlah rumah tangga di zona i.

Kedua persamaan sebenarnya identik; artinya persamaan tersebut akan mencari sesuatu yang dapat menjelaskan variasi perilaku pergerakan antarzona. Parameter untuk kedua persamaan itu juga identik. Perbedaan dasar yang utama adalah distribusi galat yang dibuatnya.

Secara umum proses pemodelan bangkitan pergerakan dengan menggunakan metode analisis regresi-linear dapat dilihat pada gambar 4.3.



Gambar 4.3
Proses kalibrasi dan pengabsahan model analisis-regresi

4.2.3 Contoh pemodelan

4.2.3.1 Bangkitan pergerakan Asumsikan bahwa bangkitan dan tarikan pergerakan dapat dinyatakan sebagai fungsi dari beberapa atribut sosio-ekonomi yang berbasis zona (X_1, X_2,…, X_N):

$$P = f(X_1, X_2, ..., X_N)$$

dan

$$A = f(X_1, X_2, ..., X_N)$$

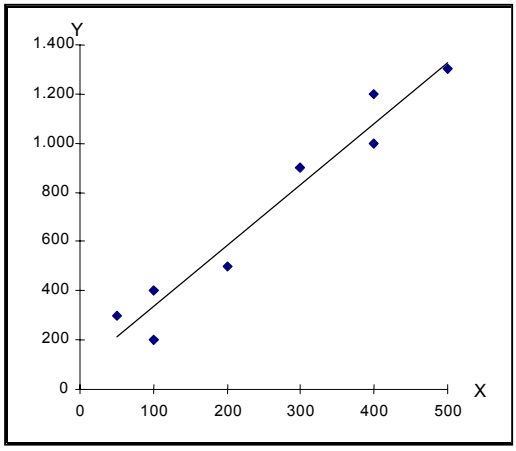
Tabel 4.3 Bangkitan pergerakan dan total pemilikan kendaraan per zona

Nomor zona	Bangkitan pergerakan per hari	Total pemilikan kendaraan
1	5.500	200
2	300	50
3	1.300	500
4	200	100
5	400	100
6	1.200	400
7	900	300
8	1.000	400

Sumber: (Black, 1981)

Metode analisis regresi-linear akan digunakan untuk menghasilkan hubungan dalam bentuk numerik dan untuk melihat bagaimana dua (regresi-sederhana) atau lebih (regresi-berganda) peubah saling berkait. Berikut ini diperlihatkan contoh dua peubah regresi (X_1 dan X_2 adalah peubah tata guna lahan). Data yang digunakan (untuk 8 zona) tercantum pada tabel 4.3 (**Black, 1981**).

Data pada tabel 4.3 dirajah dengan menggunakan kertas grafik (**Black, 1981**) sehingga menghasilkan gambar 4.4. Terlihat bahwa bangkitan pergerakan merupakan peubah tidak bebas (sumbu ***Y***). Grafik menunjukkan hubungan linear positif antara bangkitan pergerakan dengan pemilikan kendaraan dengan hubungan $Y = A+BX$ dengan **A** adalah intersep dan **B** adalah kemiringan.



Gambar 4.4
Grafik bangkitan pergerakan dan pemilikan kendaraan
Sumber: Black (1981)

Metode kuadrat-terkecil kemudian digunakan dalam proses regresi ini, karena garis linear tersebut harus mempunyai nilai total jumlah kuadrat residual (atau simpangan) yang paling minimum antara hasil pemodelan dengan hasil pengamatan. Dengan persyaratan ini, data menghasilkan garis:

$$\boldsymbol{Y = 89{,}9 + 2{,}48\ X}$$

Beberapa komentar dapat diberikan untuk persamaan di atas, yaitu:

- ***Y*** (bangkitan pergerakan) berhubungan secara linear dengan ***X*** (pemilikan kendaraan);
- Perubahan **1** satuan dari nilai ***X*** akan menyebabkan perubahan pada nilai ***Y*** sebesar **2,48** satuan;
- Persamaan ini mempunyai nilai intersep yang cukup tinggi yang dapat mengisyaratkan terdapatnya tingkat galat yang cukup tinggi yang mungkin disebabkan oleh beberapa faktor berikut:
  1. mungkin ***Y*** tidak berhubungan secara linear dengan ***X***; bisa saja secara tidak-linear;
  2. mungkin terdapat peubah ***X*** lain yang juga mempengaruhi besarnya pergerakan, misalnya populasi (galat spesifikasi). Akan tampak bahwa meskipun nilai $\boldsymbol{x = 0}$, masih terdapat bangkitan pergerakan sebesar **89,9**. Jelas ini menandakan peubah sosio-ekonomi lain yang ikut mempengaruhi besarnya bangkitan pergerakan;
  3. terdapat galat dalam pengumpulan data (galat pengukuran).

4.2.3.2 Tarikan pergerakan (untuk pergerakan berbasis rumah) Faktor apa saja yang mempengaruhi pergerakan berbasis rumah ke zona tertentu dalam suatu daerah kajian? Peubah yang cocok dapat diselidiki dengan analisis regresi-linear, tetapi persamaan yang dihasilkan biasanya lebih tidak sesuai dibandingkan dengan persamaan bangkitan pergerakan.

Beberapa kajian yang pernah dilakukan memperlihatkan bahwa peubah tata guna lahan untuk tarikan pergerakan adalah lapangan pekerjaan, luas daerah, luas perkantoran, dan luas tempat berjualan. Peubah yang diperlukan dari beberapa kajian yang pernah dilakukan di Amerika tercantum pada tabel 4.4 (**Black, 1981**).

4.2.4 Tahapan uji statistik dalam model analisis-regresi berbasis zona

Dalam melakukan analisis bangkitan pergerakan dengan menggunakan model analisis-regresi berbasis zona, terdapat empat tahap uji statistik yang mutlak harus dilakukan agar model bangkitan pergerakan yang dihasilkan dinyatakan absah. Ke-4 uji statistik tersebut akan diterangkan satu per satu sebagai berikut.

4.2.4.1 Uji kecukupan data Uji statistik ini harus dilakukan untuk menentukan jumlah data minimum yang harus tersedia, baik untuk peubah bebas maupun peubah tidak bebas. Semakin tinggi tingkat akurasi yang diinginkan, semakin banyak data

yang dibutuhkan. Jumlah data minimum dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (4.12) berikut.

$$\mathbf{N = \frac{CV^2 Z_\alpha^2}{E^2}} \tag{4.12}$$

CV = koefisien variasi

E = tingkat akurasi

$\mathbf{Z_\alpha}$ = nilai variansi untuk tingkat kepercayaan α yang diinginkan

Contoh 4.2 Tentukanlah berapa jumlah data minimum yang dibutuhkan untuk tingkat akurasi (**E**) 5% dengan tingkat kepercayaan (α) 95%. Untuk α=95%, maka nilai $\mathbf{Z_\alpha}$ adalah **1,645**. Dengan mengasumsikan nilai **CV=1,0** didapatkan:

$$\mathbf{N= 1{,}0(1{,}645)^2/(0{,}05)^2= 1.084}$$

Jadi, dibutuhkan jumlah data minimum sebanyak **1.100** buah untuk tingkat akurasi **5%** dengan tingkat kepercayaan **95%**.

4.2.4.2 Uji korelasi Uji statistik ini harus dilakukan untuk memenuhi persyaratan model matematis: sesama peubah bebas tidak boleh saling berkorelasi, sedangkan antara peubah tidak bebas dengan peubah bebas harus ada korelasi yang kuat (baik positif maupun negatif).

Persamaan (4.11) merupakan persamaan uji korelasi yang mempunyai nilai **r** (**$-1 \le r \le +1$**). Nilai **r** yang mendekati **–1** mempunyai arti bahwa kedua peubah tersebut saling berkorelasi negatif (peningkatan nilai salah satu peubah akan menyebabkan penurunan nilai peubah lainnya). Sebaliknya, jika nilai **r** yang mendekati **+1** mempunyai arti bahwa kedua peubah tersebut saling berkorelasi positif (peningkatan nilai salah satu peubah akan menyebabkan peningkatan nilai peubah lainnya). Jika nilai **r** mendekati **0,** tidak terdapat korelasi antara kedua peubah tersebut.

4.2.4.3 Uji linearitas Uji statistik ini perlu dilakukan untuk memastikan apakah model bangkitan pergerakan dapat didekati dengan model analisis-regresi-linear atau model analisis-regresi-tidak-linear.

4.2.4.4 Uji kesesuaian Uji statistik ini harus dilakukan untuk menentukan model bangkitan pergerakan yang terbaik. Terdapat beberapa model yang dapat digunakan yaitu model analisis-regresi, model kemiripan-maksimum, dan model entropi-maksimum. Pada umumnya, uji ini didasarkan atas kedekatan atau kesesuaian hasil model dengan hasil observasi.

Salah satu uji kesesuaian yang paling mudah dan sering digunakan adalah model analisis-regresi; model terbaik adalah model yang mempunyai total kuadratis residual antara hasil model dengan hasil observasi yang paling minimum.

meminimumkan $$\mathbf{S = \sum_i \left(Y_i - \hat{Y}_i\right)^2} \tag{4.13}$$

4.2.5 Proses model analisis-regresi berbasis zona

Dalam melakukan analisis bangkitan pergerakan dengan menggunakan model analisis-regresi berbasis zona, terdapat tiga metode analisis yang dapat digunakan.

4.2.5.1 Metode analisis langkah-demi-langkah tipe 1 Metode ini secara berta-hap mengurangi jumlah peubah bebas sehingga didapatkan model terbaik yang hanya terdiri dari beberapa peubah bebas.

Tahap 1: Tentukan parameter sosio-ekonomi yang akan digunakan sebagai peubah bebas. Pertama, pilihlah parameter (peubah bebas) yang berdasarkan logika saja sudah mempunyai keterkaitan (korelasi) dengan peubah tidak bebas. Kemudian, lakukan uji korelasi untuk mengabsahkan keterkaitannya dengan peubah tidak bebas (bangkitan atau tarikan pergerakan). Dua persyaratan statistik utama yang harus dipenuhi dalam memilih peubah bebas adalah:

- peubah bebas harus mempunyai korelasi tinggi dengan peubah tidak bebas;
- sesama peubah bebas tidak boleh saling berkorelasi. Jika terdapat dua peubah bebas yang saling berkorelasi, pilihlah salah satu yang mempunyai korelasi lebih tinggi terhadap peubah tidak bebasnya.

Tahap 2: Lakukan analisis regresi-linear-berganda dengan semua peubah bebas terpilih untuk mendapatkan nilai koefisien determinasi serta nilai konstanta dan koefisien regresinya.

Tahap 3: Tentukan parameter yang mempunyai korelasi terkecil terhadap peubah tidak bebasnya dan hilangkan parameter tersebut. Lakukan kembali analisis regresi-linear-berganda dan dapatkan kembali nilai koefisien determinasi serta nilai konstanta dan koefisien regresinya.

Tahap 4: Lakukan kembali tahap (**3**) satu demi satu sampai hanya tertinggal satu parameter saja.

Tahap 5: Kaji nilai koefisien determinasi serta nilai konstanta dan koefisien regresi setiap tahap untuk menentukan model terbaik dengan kriteria berikut:

- semakin banyak peubah bebas yang digunakan, semakin baik model tersebut;
- tanda koefisien regresi (+/–) sesuai dengan yang diharapkan;
- nilai konstanta regresi kecil (semakin mendekati nol, semakin baik);
- nilai koefisien determinasi ($\mathbf{R^2}$) besar (semakin mendekati satu, semakin baik);

4.2.5.2 Metode analisis langkah-demi-langkah tipe 2 Metode ini pada prin-sipnya mirip dengan metode tipe 1; perbedaannya hanya pada tahap (**3**), yaitu:

Tahap 3: Tentukan parameter yang mempunyai koefisien regresi yang terkecil dan hilangkan parameter tersebut. Lalukan kembali analisis regresi-linear-berganda dan dapatkan kembali nilai koefisien determinasi serta nilai konstanta dan koefisien regresinya.

4.2.5.3 Metode coba-coba Sesuai dengan namanya, metode ini melakukan proses coba-coba dalam menentukan parameter yang dipilih. Secara lengkap, tahapan metode adalah sebagai berikut.

Tahap 1: Sama dengan tahap (**1**) metode 1.

Tahap 2:Tentukan beberapa model dengan menggunakan beberapa kombinasi peubah bebas secara coba-coba berdasarkan uji korelasi yang dihasilkan pada **tahap 1**. Kemudian, lakukan analisis regresi-linear-berganda untuk kombinasi model tersebut untuk mendapatkan nilai koefisien determinasi serta nilai konstanta dan koefisien regresinya.

Tahap 3: Kaji nilai koefisien determinasi serta nilai konstanta dan koefisien regresi setiap model untuk menentukan model terbaik dengan kriteria yang sama dengan tahap **(5)** pada metode langkah-demi-langkah tipe 1.

4.2.5.4 Penerapan di Propinsi Jawa Barat Ketiga metode analisis tersebut di atas diterapkan untuk memperkirakan bangkitan pergerakan di propinsi Jawa Barat dengan 25 kabupaten/kotamadya sebagai unit zona. Data bangkitan pergerakan didapatkan dari informasi matriks asal–tujuan pada tahun 1995, sedangkan beberapa parameter sosio-ekonomi yang dipakai sebagai peubah bebas didapatkan dari Biro Pusat Statistik (Jawa Barat Dalam Angka Tahun 1995); lihat tabel 4.4.

Tabel 4.4 Jumlah bangkitan dan peubah pergerakan per kabupaten di Propinsi Jawa Barat

No	Kabupaten	Bangkitan pergerakan	Jumlah penduduk	Jumlah rumah sakit	Panjang jalan diaspal (km)	Jumlah perusahaan perdagangan	Jumlah kamar hotel berbintang	PDRB (juta rupiah)
		Y_1	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6
1	Padeglang	12.035.567	926.316	1	470	5.706	582	1.053.924
2	Lebak	7.647.167	963.307	3	387	2.418	–	971.543
3	Bogor	39.564.090	3.592.646	10	1.581	10.421	1.036	6.464.158
4	Sukabumi	18.150.017	1.930.097	3	813	4.282	385	2.111.595
5	Cianjur	13.658.862	1.766.413	2	765	5.204	1.322	1.992.958
6	Bandung	85.239.366	3.471.886	10	2.406	12.324	316	7.514.143
7	Garut	13.539.514	1.767.732	2	713	6.217	40	2.253.897
8	Tasikmalaya	20.590.334	1.892.301	2	822	11.364	87	2.096.317
9	Ciamis	16.650.852	1.485.334	2	1.240	10.705	60	2.067.602
10	Kuningan	8.338.062	929.320	3	508	5.717	70	896.980
11	Cirebon	19.682.714	1.757.629	5	555	8.285	166	1.777.528
12	Majalengka	9.973.952	1.091.130	2	746	7.727	–	1.043.769
13	Sumedang	7.504.292	871.440	1	574	5.044	–	1.090.687
14	Indramayu	14.707.679	1.537.392	2	507	7.928	–	4.964.716
15	Subang	9.677.077	1.211.990	3	563	10.747	120	1.667.729
16	Purwakarta	6.769.081	616.852	2	483	3.171	131	980.760
17	Karawang	11.163.886	1.565.355	3	577	6.499	174	2.798.437
18	Bekasi	17.463.903	2.383.771	7	709	13.796	449	6.509.838
19	Tangerang	13.578.144	1.882.352	5	945	18.610	197	4.040.121
20	Serang	19.972.140	1.618.534	3	708	8.751	601	5.419.289
21	Kodya Bogor	20.753.695	665.731	5	260	6.504	115	1.045.309
22	Kodya Sukabumi	2.941.253	229.748	3	142	2.080	28	512.680
23	Kodya Bandung	57.742.897	1.822.913	23	844	41.038	2.917	6.349.876
24	Kodya Cirebon	7.952.916	255.677	8	146	5.103	503	854.718
25	Kodya Tangerang	7.430.548	1.049.265	6	205	–	203	6.014.924

Sumber: Jawa Barat Dalam Angka tahun 1995

Parameter sosio-ekonomi yang dipilih adalah jumlah penduduk, rumah sakit, perusahaan perdagangan, kamar hotel berbintang, panjang jalan diaspal, dan PDRB, yang dapat dilihat pada tabel 4.4.

Tahap 1 dari setiap metode analisis yang ada mensyaratkan dilakukannya uji korelasi antara sesama peubah bebas dan antara peubah bebas dengan peubah tidak bebas. Hal ini dilakukan sesuai dengan persyaratan statistik yang harus dipenuhi, yaitu sesama peubah bebas tidak boleh mempunyai korelasi, sedangkan antara peubah bebas dengan peubah tidak bebas harus mempunyai korelasi. Tabel 4.5 berikut menampilkan hasil uji korelasi yang disyaratkan.

Tabel 4.5 Matriks korelasi antara peubah bebas dan peubah tidak bebas

No	Peubah		Y_1	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6
1	Jumlah bangkitan (O_i)	Y_1	1,00	–	–	–	–	–	–
2	Jumlah penduduk	X_1	0,73	1,00	–	–	–	–	–
3	Jumlah rumah Sakit	X_2	0,69	0,37	1,00	–	–	–	–
4	Panjang jalan diaspal (km)	X_3	0,81	0,86	0,31	1,00	–	–	–
5	Jumlah perusahaan perdagangan	X_4	0,59	0,38	0,80	0,35	1,00	–	–
6	Jumlah kamar hotel berbintang	X_5	0,50	0,29	0,80	0,19	0,75	1,00	–
7	PDRB (dalam juta rupiah)	X_6	0,68	0,75	0,60	0,57	0,49	0,43	1,00

Dapat dilihat pada tabel 4.5 bahwa peubah bebas X_2 dan X_4 mempunyai koefisien korelasi = **0,8**. Ini dapat dianggap bahwa peubah bebas X_2 mempunyai korelasi cukup tinggi dengan peubah bebas X_4. Jadi, berdasarkan persyaratan yang ada, hanya salah satu saja di antara kedua peubah bebas tersebut yang boleh digunakan dalam model nantinya. Tentu yang dapat dipakai adalah peubah bebas yang mempunyai korelasi tinggi terhadap peubah tidak bebasnya. Dalam hal ini, peubah bebas X_2 yang terpilih karena mempunyai nilai koefisien korelasi yang lebih tinggi terhadap peubah tidak bebas Y_1 dibandingkan dengan peubah bebas X_4.

Dengan berdasarkan hasil uji korelasi pada tabel 4.5 dapat dilakukan proses tahap demi tahap sesuai dengan prosedur. Hasil pemodelan bangkitan pergerakan dengan model analisis langkah-demi-langkah tipe 1 dapat dilihat pada tabel 4.6. Berdasarkan kriteria yang telah ditentukan, model terpilih untuk tipe 1 ini adalah model yang dihasilkan pada tahap ke-5. Beberapa alasan yang menyebabkan model tahap ke-5 yang dipilih adalah sebagai berikut:

- meskipun nilai $\mathbf{R^2}$ **(=0,665)** yang dihasilkan bukan yang tertinggi, tanda koefisien regresi peubah bebasnya sesuai dengan yang diharapkan (nilai positif). Tahap ke-4 tidak dipilih meskipun mempunyai nilai $\mathbf{R^2}$ **(=0,882)** karena peubah bebas jumlah penduduk mempunyai nilai negatif **(–1,97**). Tanda koefisien regresinya bertolak belakang dengan yang diharapkan. Seharusnya, semakin besar jumlah penduduk suatu zona, semakin besar pula bangkitan pergerakannya; bukan malah sebaliknya.
- nilai konstanta regresi (intersep) termasuk kecil jika dibandingkan dengan hasil tahap lainnya.

Tabel 4.6 Hasil pemodelan bangkitan pergerakan dengan model analisis langkah-demi-langkah tipe 1 di Propinsi Jawa Barat

No	Peubah	Tanda yang diharapkan	Parameter model	Tahap					
				1	2	3	4	5	6
1	Intersep	+/–	c	–6.727.467	–6.688.372	–6.960.794	–7.208.255	**–4.170.726**	–3.082.046
2	Jumlah penduduk	+	X_1	–2,92	–2,97	–3,15	–1,97	**2,43**	–
3	Jumlah rumah sakit	+	X_2	2.183.350	2.165.015	1.859.396	1.955.864	–	–
4	Panjang jalan diaspal (km)	+	X_3	28.546	28.621	28.292	27.695	**26.962**	30.545
5	Jumlah perusahaan perdagangan	+	X_4	–218	–223	–	–	–	–
6	Jumlah kamar hotel berbintang	+	X_5	–213	–	–	–	–	–
7	PDRB (juta rupiah)	+	X_6	0,44	0,45	0,53	–	–	–
			R^2	0,886	0,886	0,883	0,882	**0,665**	0,662
			F-Stat	23,417	29,656	37,779	52,196	**21,856**	45,029

Tabel 4.7 memperlihatkan hasil pemodelan bangkitan pergerakan dengan menggunakan model analisis langkah-demi-langkah tipe 2. Berdasarkan kriteria yang ada, model yang terbaik adalah model tahap ke-5. Peubah bebas yang menentukan bangkitan pergerakan adalah jumlah rumah sakit dan panjang jalan yang diaspal. Hasil ini kurang begitu diterima secara logika karena parameter jumlah penduduk yang seharusnya lebih menentukan bangkitan pergerakan malah tidak termasuk dalam peubah bebas terpilih.

Tabel 4.7 Hasil pemodelan bangkitan pergerakan dengan metode analisis langkah-demi-langkah tipe 2 di Propinsi Jawa Barat

No	Peubah	Tanda yang diharapkan	Parameter model	Tahap					
				1	2	3	4	5	6
1	Intersep		c	–6.727.467	–6.959.532	–7.750.005	–8.116.695	**–7.983.920**	5.947.975
2	Jumlah penduduk	+	X_1	–2,92	–1,91	–	–	–	–
3	Jumlah rumah sakit	+	X_2	2.183.350	2.298.466	2284361	2.099.465	**1.914.231**	2.707.143
4	Panjang jalan diaspal (km)	+	X_3	28.546	27.993	25.254	24.779	**24.914**	–
5	Jumlah perusahaan perdagangan	+	X_4	–218	–223	–214	–	–	–
6	Jumlah kamar hotel berbintang	+	X_5	–213	–475	–809	–1.662	–	–
7	PDRB (juta rupiah)	+	X_6	0,44	–	–	–	–	–
			R^2	0,894	0,886	0,884	0,881	**0,880**	0,481
			F-Stat	23,417	29,396	37,966	51,750	**80,427**	21,277

Penyebabnya adalah karena pada tipe 2 ini penentuan peubah bebas terpilih tergantung pada nilai koefisien regresinya. Peubah bebas jumlah penduduk dihilangkan karena pada tahap ke-2 mempunyai nilai koefisien regresi terkecil. Penyebab hal ini adalah karena nilai peubah bebas jumlah penduduk berskala jutaan, yang tentu sangat berbeda dengan nilai peubah bebas yang lain, misalnya jumlah rumah sakit yang hanya berskala satuan. Jadi dapat disimpulkan, bahwa model analisis langkah-demi-langkah tipe 2 hanya bisa digunakan jika satuan nilai setiap peubah bebas kira-kira sama.

Tabel 4.8 memperlihatkan hasil pemodelan bangkitan pergerakan dengan menggunakan model analisis coba-coba. Dengan model ini kita dapat membuat banyak kombinasi model – beberapa di antaranya dapat dilihat pada tabel 4.8. Berdasarkan kriteria yang ada, model yang terbaik dari 6 kombinasi yang ada adalah model kombinasi 2. Alasannya adalah:

- terdapat lima peubah bebas yang terlibat; tiga di antaranya mempunyai nilai koefisien regresi positif, sedangkan koefisien regresi yang mempunyai tanda negatif nilainya cukup kecil.
- nilai **R^2 (=0,749)** cukup tinggi dibandingkan dengan model kombinasi lain;
    - nilai konstanta regresi (intersep) tidak begitu banyak berbeda dengan model kombinasi lain.

Tabel 4.8 Hasil pemodelan bangkitan pergerakan dengan metode analisis coba-coba di Propinsi Jawa Barat

No	Peubah	Tanda yang diharapkan	Parameter Model	Kombinasi					
				1	2	3	4	5	6
1	Intersep		C	–6.727.467	**–9.083.243**	–6.688.372	–8.277.712	–9.081.142	–8.402.539
2	Jumlah penduduk	(+)	X_1	–2,92	**13,28**	–2,97	13,14	13,28	12,96
3	Jumlah rumah sakit	(+)	X_2	2.183.350	**2.611.123**	2.165.015	2.189.583	2.612.354	2.039.309
4	Panjang jalan diaspal (km)	(+)	X_3	28.546	–	28.621	–	–	–
5	Jumlah perusahaan perdagangan	(+)	X_4	–218	**1,28**	–223	–109	–	–
6	Jumlah kamar hotel berbintang	(+)	X_5	–213	**–4.913**	–	–	–4.909	–
7	PDRB (juta rupiah)	(+)	X_6	0,44	**–0,85**	0,45	–0,69	–0,85	–0,65
			R^2	0,886	**0,749**	0,886	0,740	0,749	0,739
			F-Stat	23,417	**11,357**	29,656	14,232	14,943	19,843

4.2.6 Kajian empiris yang menggunakan model analisis-regresi

4.2.6.1 Kajian lalulintas di kota Detroit Pada tahun 1954, *Urban Traffic: A Function of Land Use* ditulis oleh **Mitchell and Rapkin**. Sejak itu, banyak

penelitian dan kajian empiris yang dilakukan untuk mempelajari bangkitan pergerakan untuk semua jenis tata guna lahan dan untuk semua jenis pergerakan.

Tabel 4.9 Peubah tarikan pergerakan hasil kajian di Amerika Serikat

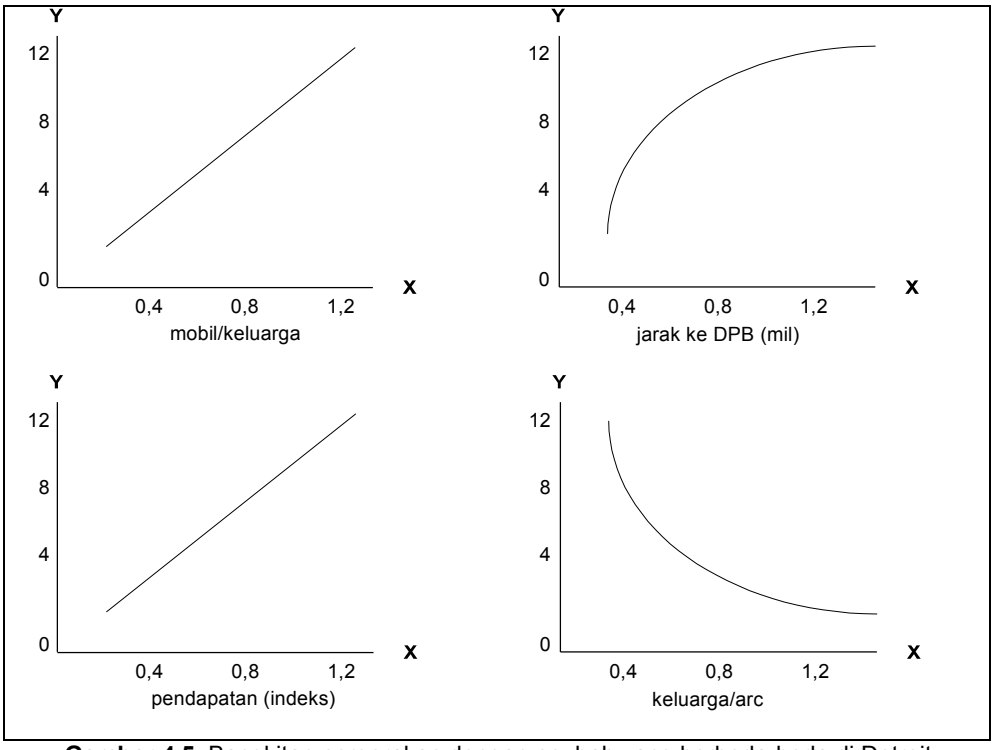
Kajian	Tujuan bekerja	Tujuan berbelanja	Tujuan pergerakan sosial dan rekreasi
Washingston D.C.	E	S_R	S_R, DU
New Orleans	NRD, DU, S_R	NRD, DU, C	DU, P, C
Kansas City	E, A_C, I, DRD	S_R, DRD	P_S, S_R
Ft. Worth	E	E_C	–
Charleston	E, E_V	E_R, S_C, S_P	–
Nashville	E, E_W, E_B	A_C, D	P, I
Chattanooga	E	A_C	P, I
Waterbury	E	E_R	–
Erie	E	E_R	P, E_R, E_O
Greensboro	E	E_R	–
Forgo	E, E_R	P, E_R, E_O	–

Pekerjaan:
E = total lapangan kerja
E_V = lapangan kerja khusus
E_B = lapangan kerja buruh
E_R = lapangan kerja toko eceran
E_W = lapangan kerja kantor
E_O = lapangan kerja lainnya
Tempat toko eceran:
S_R = toko eceran
S_P = toko swalayan
S_C = toko sandang
Daerah:
A_C = luas daerah komersial
Ciri rumah tangga:
P = populasi
DU = jumlah unit perumahan
DRD = unit perumahan per kepadatan permukiman
I = pendapatan
P_S = orang (5 tahun)
NRD = orang per luas daerah
C = jumlah kendaraan

Sumber: Black (1981)

Kita akan mengilustrasikan pemodelan besarnya bangkitan pergerakan untuk daerah permukiman. Kajian terdahulu menggunakan empat peubah bebas untuk menghitung bangkitan pergerakan (80–90% dari pergerakan di negara Barat adalah berbasis rumah), yaitu pemilikan kendaraan, kepadatan permukiman, jarak ke daerah pusat kota, dan pendapatan. Hubungan antara setiap peubah bebas (sosio-ekonomi dan/atau tata guna lahan) terhadap bangkitan pergerakan tersebut dapat diilustrasikan dalam gambar 4.5.

Ternyata, peubah bebas jumlah mobil per rumah tangga, pendapatan, dan jarak dari pusat kota berkorelasi positif terhadap bangkitan pergerakan. Artinya, peningkatan pada salah satu peubah bebas akan meningkatkan bangkitan pergerakan. Sebaliknya, peubah bebas kepadatan rumah tangga (jumlah rumah tangga per satuan luas zona) berkorelasi negatif; artinya semakin padat daerah tersebut, semakin rendah bangkitan pergerakannya.



Gambar 4.5 Bangkitan pergerakan dengan peubah yang berbeda-beda di Detroit

Akan tetapi, jika metode analisis-linear-berganda ini digunakan di kota Washington dengan peubah bebas sosio-ekonomi dan tata guna lahan yang sama dengan kota Detroit, akan dihasilkan model yang berbeda:

$$Y = 4{,}33 + 3{,}89X_1 - 0{,}128X_2 - 0{,}005X_3 - 0{,}012X_4$$

Y = jumlah pergerakan per rumah tangga per zona

X_1 = rata-rata jumlah mobil per rumah tangga di zona i

X_2 = jarak zona i dari pusat kota Washington dalam mil

X_3 = orang per satuan luas di zona i

X_4 = rata-rata pendapatan rumah tangga (ribuan dolar) di zona i

Dapat ditafsirkan bahwa setiap unit tambahan rata-rata jumlah kendaraan per rumah tangga, akan meningkatkan bangkitan pergerakan sebesar **3,89** pergerakan per hari, dan begitu seterusnya untuk peubah bebas lain. Sangat menarik untuk dikaji bahwa tanda pada koefisien regresi pada persamaan di atas mempunyai tanda yang berbeda dengan yang diperkirakan dari gambar 4.9 untuk kota Detroit, khususnya untuk peubah jarak zona ke pusat kota dan pendapatan rumah tangga.

Ini membuktikan bahwa meskipun peubah bebas sosio-ekonomi dan tata guna lahannya sama, perilaku bangkitan pergerakan di kedua kota itu berbeda karena memang kota Detroit dan Washington memiliki ciri yang berbeda, meskipun berada di negara yang sama. Bisa dibayangkan apabila kita menggunakan persamaan kota Washington untuk kota Bandung atau DKI-Jakarta.

Hal ini tentunya akan menghasilkan taksiran bangkitan pergerakan yang sangat berbeda dari kenyataannya karena memang ciri kedua kota tersebut pasti sangat berbeda (Washington berada di negara maju sedangkan DKI-Jakarta di negara sedang berkembang).

4.2.6.2 Kajian pengembangan jaringan jalan di Pulau Jawa **Tamin (1997a)** mengkaji tahapan perhitungan bangkitan dan tarikan pergerakan yang merupakan fungsi dari beberapa peubah bebas berupa parameter sosio-ekonomi dan tata guna lahan. Pulau Jawa dibaginya menjadi beberapa zona yang berbasis kabupaten sebagai unit terkecil.

Terdapat tiga jenis bangkitan dan tarikan pergerakan yang diinginkan yaitu untuk penumpang, barang, dan kendaraan. Beberapa peubah bebas berupa parameter sosio-ekonomi dan tata guna lahan telah digunakan antara lain populasi, PDRB, PDRB per kapita, luas industri, produksi pertanian, perkebunan, dan perikanan. Uji korelasi antara sesama peubah bebas dan antara peubah bebas dengan peubah tidak bebas harus dilakukan sebagai persyaratan statistik utama dalam proses pemodelan bangkitan dan tarikan pergerakan. Setelah melalui proses langkah-demi-langkah (lihat subbab 4.2.4) didapat hasil pemodelan bangkitan/tarikan pergerakan pada tabel 4.10–4.12.

Tabel 4.10 Korelasi bangkitan dan tarikan dengan peubahnya untuk zona Jawa Barat dan DKI-Jakarta

Peubah tak bebas	Persamaan regresi	R^2
Tarikan penumpang	D_d pnp = 12,324 X_1 – 9.591.866,4606	**0,7846**
Tarikan kendaraan	D_d kend = 0,008 X_1 – 6.805,6904	**0,9214**
Tarikan barang	D_d kom = 2,285 X_1 + 74,7153 X_2 – 1.830.874,8960	**0,9050**
Bangkitan penumpang	O_i pnp = 12,386 X_1 – 9.658.075,9873	**0,8121**
Bangkitan kendaraan	O_i kend = 0,009 X_1 – 1.953.498,4519	**0,9513**
Bangkitan barang	O_i kom = 2,358 X_1 + 244,4363 X_2 – 2.014.293,0930	**0,9141**

X_1 = Jumlah penduduk X_2 = PDRB per kapita (ribuan rupiah)

Tabel 4.11 Korelasi bangkitan dan tarikan dengan peubahnya untuk zona Jawa Tengah dan DI-Yogyakarta

Peubah tak bebas	Persamaan regresi	R^2
Tarikan penumpang	D_d pnp = 17,7255 X_1 + 4.788,709 X_2 – 11.403.673,06	**0,5779**
Tarikan kendaraan	D_d kend = 0,0069 X_1 + 2,2308 X_2 – 4.927,6265	**0,4300**
Tarikan barang	D_d kom = 2,3566 X_1 + 969,0871 X_2 – 1.569.031,53	**0,6026**
Bangkitan penumpang	O_i pnp = 18,5003 X_1 + 4.953,382 X_2 – 12.071.898,62	**0,5764**
Bangkitan kendaraan	O_i kend = 0,0053 X_1 + 2,1705 X_2 – 3.442,4869	**0,4871**
Bangkitan barang	O_i kom = 2,3930 X_1 + 973,0038 X_2 – 1.594.616,475	**0,6012**

X_1 = Jumlah penduduk X_2 = PDRB per kapita (ribuan rupiah)

Tabel 4.12 Korelasi bangkitan dan tarikan dengan peubahnya untuk zona Jawa Timur

Peubah tak bebas	Persamaan regresi	R^2
Tarikan penumpang	D_d pnp = 13,5417 X_1 + 21.018,3 X_2 – 18.740.401,1	**0,6121**
Tarikan kendaraan	D_d kend = 0,0115 X_1 + 18,7714 X_2 – 17.562,4125	**0,5851**
Tarikan barang	D_d kom = 3,9548 X_1 + 780,87 X_2 – 6.238.614,26	**0,6348**
Bangkitan penumpang	O_i pnp = 13,6368 X_1 + 21,100,9 X_2 – 18.820.746,5	**0,6137**
Bangkitan kendaraan	O_i kend = 0,0110 X_1 + 18,4785 X_2 – 16.967,8814	**0,5569**
Bangkitan barang	O_i kom = 4,0526 X_1 + 7.902,21 X_2 – 6.368.438,37	**0,6343**

X_1 = Jumlah penduduk X_2 = PDRB per kapita (ribuan rupiah)

Dari ketiga tabel tersebut terlihat bahwa parameter jumlah penduduk dan PDRB per kapita merupakan peubah bebas yang dominan dalam menghasilkan bangkitan dan tarikan pergerakan. Terlihat bahwa setiap propinsi mempunyai model bangkitan dan tarikan yang berbeda-beda, menandakan perilaku dan ciri masing-masing.

4.2.6.3 Kajian standarisasi bangkitan dan tarikan lalulintas di zona Bandung Raya **LPM-ITB (1998a)** melakukan kajian standarisasi bangkitan dan tarikan di zona Bandung raya. Model bangkitan dan tarikan di sini mengambil bentuk persamaan matematis yang diturunkan melalui analisis regresi berdasarkan data dari hasil survei lapangan (survei primer dan sekunder). Bentuk persamaan regresi yang akan dikembangkan sebagai model dalam kajian ini dibagi menjadi dua kelompok utama berikut ini.

- **persamaan regresi peubah tunggal** (hanya memiliki satu peubah bebas). Bentuk umum persamaan regresi peubah tunggal dapat berupa:

  $\boldsymbol{Y = A + BX}$ (linear)

  $\boldsymbol{Y = A + B \log_e (X)}$ (linear-logaritmik)

  $\boldsymbol{Y = A(X)^B}$ (linear-pangkat)

  $\boldsymbol{Y = Ae^{[BX]}}$ (linear-eksponensial)

- **persamaan regresi-berganda** (memiliki lebih dari satu peubah bebas). Bentuk umumnya adalah sebagai berikut:

  $\boldsymbol{Y = A + B_1 X_1 + B_2 X_2 + ... + B_N X_N}$

  $\boldsymbol{Y}$ = peubah tidak bebas (bangkitan atau tarikan)

  $\boldsymbol{X_1, X_2, X_N}$ = peubah bebas (karakteristik tata guna lahan)

  $\mathbf{A, B_1, B_2, B_N}$ = konstanta dan koefisien regresi

Selain model analisis regresi, untuk penggunaan model yang lebih praktis dapat juga digunakan model *trip rate* (tingkat bangkitan pergerakan rata-rata per satuan peubah bebas). Hal yang perlu diperhatikan adalah berapa jauh besaran yang dihasilkan dengan menggunakan nilai rata-rata tersebut menyimpang dari kurva model yang dihasilkan.

Data yang digunakan untuk pengembangan model bangkitan dan tarikan lalulintas dikumpulkan dari kawasan yang sesuai dengan kawasan tinjauan, yaitu perkantoran, pendidikan, dan perumahan. Agar dapat mewakili seluruh kawasan tinjauan di zona Bandung Raya, dipilih lokasi berdasarkan patokan karakteristik dan lokasi.

Lokasi perkantoran dipilih dari kantor pemerintah, swasta, dan kantor pelayanan masyarakat. Sementara itu, lokasi sekolah dipilih antara sekolah dasar, sekolah menengah pertama, sekolah mengengah umum, dan perguruan tinggi. Perumahan, di antaranya perumahan BTN, perumnas dan hunian mewah. Semua lokasi dipilih tersebar di zona Bandung Raya.

Agar diperoleh model yang optimum, perlu dipilih peubah bebas (dari karakteristiknya) yang paling signifikan (paling tinggi korelasi statistiknya dengan bangkitan dan tarikan pergerakan). Untuk kawasan perkantoran, peubah bebas yang paling signifikan adalah jumlah pegawai, sedangkan karakteristik lainnya seperti luas tanah dan bangunan, meskipun tidak sesignifikan jumlah pegawai, juga memiliki korelasi yang tidak terlalu kecil.

Untuk kawasan pendidikan, luas tanah dan bangunan memiliki korelasi yang sangat rendah dengan bangkitan dan tarikan pergerakan; sebaliknya, peubah tidak bebas yang dapat menggambarkan bangkitan dan tarikan kawasan pendidikan adalah jumlah kelas, jumlah murid, jumlah guru, dan jumlah karyawan (non-guru).

Untuk perumahan, peubah rumah tangga yang paling signifikan adalah jumlah penghuni, jumlah pemilikan kendaraan, dan luas bangunan atau tipe rumah. Model akhir diperoleh melalui proses kalibrasi dan dipilih yang optimum dari hasil uji statistik. Hasil akhir model untuk setiap kawasan melibatkan peubah bebas yang paling signifikan. Hasil akhir model bangkitan dan tarikan pergerakan untuk zona Bandung Raya dapat dilihat pada tabel 4.13 dan pada gambar 4.6–4.7.

4.2.7 Model regresi berbasis rumah tangga

Keragaman dalam suatu zona (intrazona) mungkin bisa dikurangi dengan memperkecil luas zona, apalagi jika zona tersebut homogen. Akan tetapi, zona yang lebih kecil juga akan mempunyai keragaman yang cukup besar dan mempunyai dua konsekuensi:

- model menjadi lebih mahal dalam hal pengumpulan data, kalibrasi, dan operasi;
- galat sampel menjadi lebih tinggi.

Karena itu, sangatlah masuk akal jika kita merumuskan model yang tidak berdasarkan batas zona. Pada awal tahun 1970-an, unit analisis yang paling cocok adalah rumah tangga (bukan individu). Pada penerapan pemodelan berbasis rumah tangga, data setiap rumah dipakai sebagai masukan data vektor sehingga semua fluktuasi mengenai ciri rumah tangga dan perilakunya dapat semuanya dipertimbangkan dalam model tersebut. Proses kalibrasi menggunakan metode langkah-demi-langkah, menguji setiap peubah secara bergantian sampai didapatkan model terbaik.

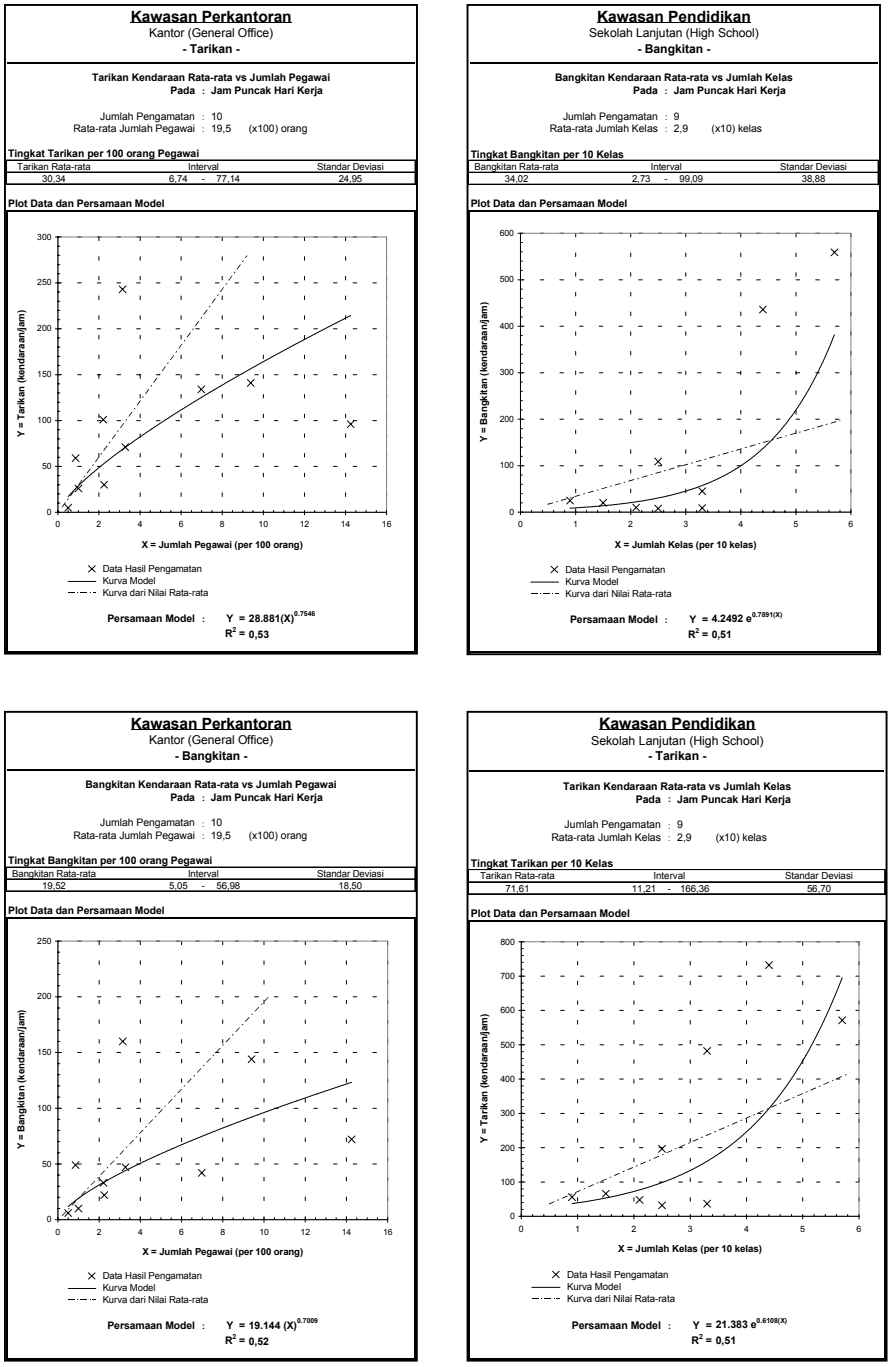
Tabel 4.13 Model bangkitan dan tarikan di zona Bandung Raya

Kawasan/tata guna lahan	Bangkitan		Tarikan	
	Persamaan model	Koefisien determinasi (R^2)	Persamaan model	Koefisien determinasi (R^2)
Perkantoran (kendaraan/jam)	$Y = 2{,}123\ (X_1) + 4{,}785\ (X_2) + 12{,}776$	0,48	$Y = 1{,}639\ (X_1) + 8{,}437\ (X_2) + 33{,}897$	0,41
	$Y = 19{,}144\ (X_3)^{0{,}7009}$	0,52	$Y = 28{,}881\ (X_3)^{0{,}7546}$	0,53
Sekolah dasar (kendaraan/jam)	$Y = 477{,}455\ (X_4) + 1{,}0621$	0,99	$Y = 47{,}69\ (X_4) + 10{,}21$	0,98
	$Y = 154{,}62\ \log_e (X_5) - 152{,}14$	0,85	$Y = 154{,}28\ \log_e (X_5) - 141{,}42$	0,83
Sekolah lanjutan (kendaraa/jam)	$Y = 4{,}2492\ e^{0{,}7891\ (X_6)}$	0,51	$Y = 21{,}383\ e^{0{,}6108\ (X_6)}$	0,51
	$Y = 5{,}2243\ e^{0{,}98\ (X_7)}$	0,65	$Y = 28{,}487\ e^{0{,}7332\ (X_7)}$	0,60
Perguruan tinggi (kendaraan/jam)	$Y = 172{,}82\ \log_e (X_8) - 307{,}61$	0,98	$Y = 164{,}53\ \log_e (X_8) - 165{,}58$	0,96
	$Y = 2{,}3427\ (X_9) + 260{,}42$	0,93	$Y = 2{,}3383\ (X_9) + 367{,}72$	1,00
Perumahan (orang/jam)	$Y = 0{,}2109\ (X_{10}) + 3{,}0284$	0,67	$Y = 0{,}4359\ (X_{10}) + 1{,}1223$	0,69
	$Y = 2{,}0974\ \log_e (X_{11}) + 0{,}327$	0,95	$Y = 1{,}1413\ \log_e (X_{11}) + 0{,}2104$	0,90
	$Y = 1{,}2892\ (X_{12})^{0{,}2552}$	0,41		
Perumahan (kendaraan/jam)	$Y = 0{,}3912\ (X_{11}) - 0{,}0406$	0,94	$Y = 0{,}2178\ (X_{11}) + 0{,}0127$	0,91
	$Y = 1{,}2954\ e^{0{,}2053\ (X10)}$	0,70	$Y = 0{,}2915\ (X_{10}) + 0{,}6896$	0,85

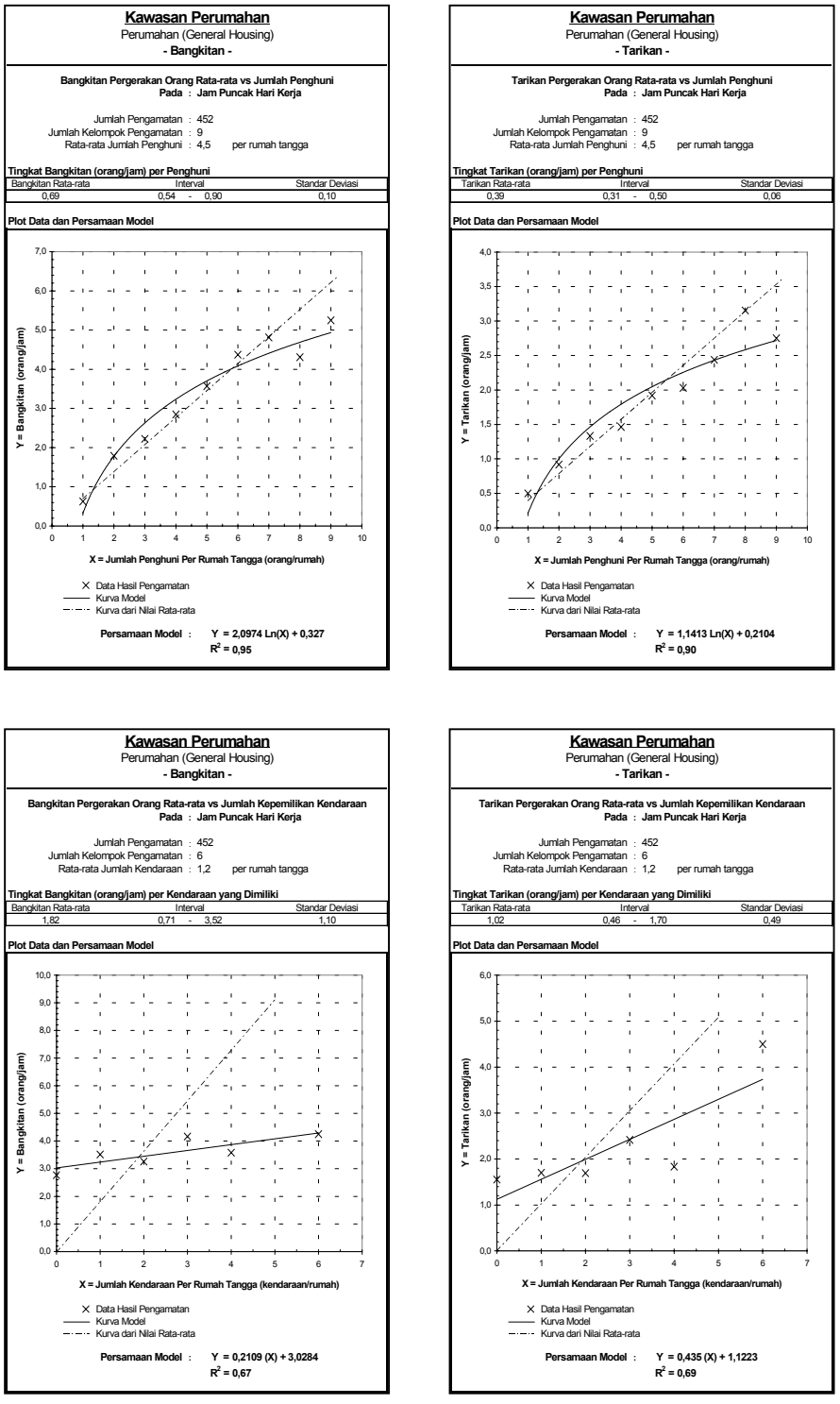
Keterangan:

X_1 : luas tanah kantor (per 1000 m^2)
X_2 : luas bangunan kantor (per 1000 m^2)
X_3 : jumlah pegawai kantor (per 100 orang)
X_4 : luas lantai sekolah dasar (per 100 m^2)
X_5 : jumlah bangku sekolah dasar (per 100 bangku)
X_6 : jumlah kelas sekolah lanjutan (per 10 kelas)
X_7 : jumlah karyawan sekolah lanjutan (per 10 orang)
X_8 : luas bangunan perguruan tinggi (per 1000 m^2)
X_9 : jumlah karyawan perguruan tinggi (per 10 orang)
X_{10} : jumlah kepemilikan kendaraan total (mobil dan motor)
X_{11} : jumlah penghuni (orang)
X_{12} : luas bangunan/tipe rumah (m^2)

Sumber: LPM-ITB (1998a)



Gambar 4.6 Model bangkitan dan tarikan zona Bandung Raya untuk kawasan perkantoran dan pendidikan
Sumber: LPM-ITB (1998a)



Gambar 4.7 Model bangkitan dan tarikan zona Bandung Raya untuk kawasan perumahan
Sumber: LPM-ITB (1998a)

Kita harus waspada dengan paket program yang menyediakan proses langkah-demi-langkah secara otomatis karena proses tersebut dapat saja mengambil tindakan yang bertolak belakang dengan tujuan.

Contoh 4.3 Pertimbangkan peubah pergerakan per rumah tangga (***Y***), jumlah pekerja (X_1), dan jumlah mobil (X_2). Tabel 4.14 memperlihatkan hasil langkah secara berurutan dari proses taksiran langkah-demi-langkah. Baris terakhir pada tabel tersebut adalah nilai **nisbah-*t*** (persamaan 4.9). Dengan asumsi ukuran sampel cukup besar, jumlah derajat kebebasan (***n*–2**) juga merupakan angka yang besar sehingga nilai ***t*** dapat diperbandingkan dengan nilai kritis **1,645** untuk tingkat kepercayaan **95%**.

Tabel 4.14 Contoh proses langkah-demi-langkah

Tahap	Persamaan	R^2
1	$Y = 2{,}36\ X_1$	**0,203**
2	$Y = 1{,}80\ X_1 + 1{,}31\ X_2$	**0,325**
3	$Y = 0{,}91 + 1{,}44\ X_1 + 1{,}07\ X_2$ **(3,7) (8,2) (4,2)**	**0,384**

Model ketiga adalah persamaan yang baik, meskipun mempunyai nilai $\mathbf{R^2}$ yang kecil. Nilai intersep sebesar **0,91** tidaklah terlalu besar (jika dibandingkan dengan faktor **1,44** dari jumlah pekerja) serta peubahnya tidak sama dengan nol ($\mathbf{H_0}$ akan ditolak pada semua kasus).

Sebagai petunjuk untuk melihat berapa baik model ini bisa didapat, dengan membandingkan pergerakan hasil pemodelan dengan hasil pengamatan untuk beberapa kelompok data (lihat tabel 4.15). Cara ini jauh lebih baik daripada membandingkan jumlah karena dalam hal ini galat lain akan saling menutupi sehingga bias tidak terdeteksi. Dapat dilihat bahwa kebanyakan sel mempunyai galat di bawah 30%.

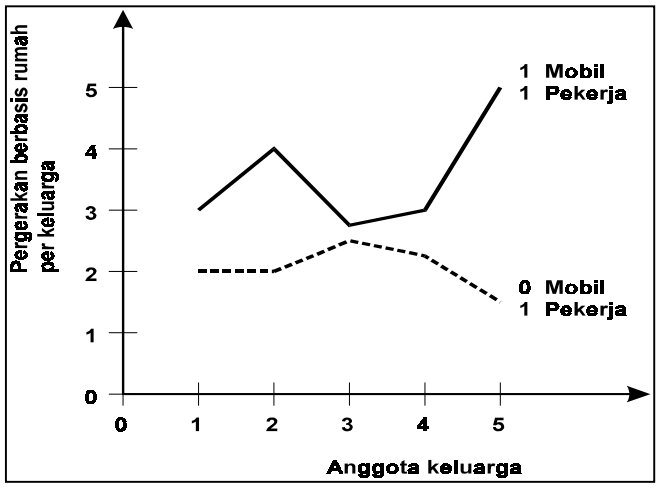
Tabel 4.15 Perbandingan pergerakan per rumah tangga (hasil pengamatan per hasil pemodelan)

Jumlah mobil	Jumlah yang bekerja dalam satu rumah tangga			
	0	**1**	**2**	**3 atau lebih**
0	0,9/0,9	2,1/2,4	3,4/3,8	5,3/5,6
1	3,2/2,0	3,5/3,4	3,7/4,9	8,5/6,7
2 atau lebih	_	4,1/4,6	4,7/6,0	8,5/7,8

4.2.8 Masalah ketidaklinearan

Telah kita lihat bahwa model regresi-linear mengasumsikan bahwa setiap peubah bebas mempunyai pengaruh yang bersifat linear terhadap peubah tidak bebas. Tidaklah mudah mendeteksi kasus ketidaklinearan karena sebenarnya hubungan linear bisa berubah menjadi tidak-linear jika terdapat peubah tambahan lain dalam model. Contoh pada gambar 4.8 memperlihatkan data setiap rumah tangga yang distratifikasikan sesuai dengan pemilikan kendaraan dan jumlah pekerja. Terlihat bahwa perilaku pergerakan bersifat tidak-linear terhadap ukuran rumah tangga.

Penting diketahui bahwa terdapat kelas peubah yang mempunyai sifat kualitatif yang mempunyai perilaku tidak-linear (misalnya usia, kelamin, pekerjaan). Secara umum, terdapat dua metode yang dapat digunakan dalam menggabungkan peubah-peubah tidak-linear dalam suatu model, sebagaimana yang dijelaskan berikut ini.



Gambar 4.8
Contoh ketidaklinearan

1 Transformasikan peubah tersebut sehingga menjadi linear (misalnya dengan fungsi logaritma atau pemangkatan). Akan tetapi, memilih jenis transformasi yang cocok tidaklah mudah karena kalau salah, permasalahan akan menjadi lebih rumit.

2 Gunakan peubah fiktif. Pada kasus ini, peubah bebas yang dikaji dibagi menjadi beberapa interval diskret dan setiap interval tersebut dianalisis terpisah di dalam model. Dalam bentuk ini, tidak perlu diasumsikan peubah tersebut linear karena setiap bagian dipertimbangkan secara terpisah dalam perilakunya. Contohnya, jika pemilikan kendaraan yang dipermasalahkan, interval yang cocok adalah **0**, **1**, dan $\mathbf{2}^{+}$ (dua atau lebih) kendaraan per rumah tangga. Karena setiap sampel rumah tangga hanya akan tergolong dalam satu interval saja, maka nilai peubah fiktifnya adalah **1** untuk interval tersebut dan **0** untuk interval lainnya. Dengan mudah dapat dilihat bahwa hanya dibutuhkan (**N–1**) peubah fiktif dalam **N** interval.

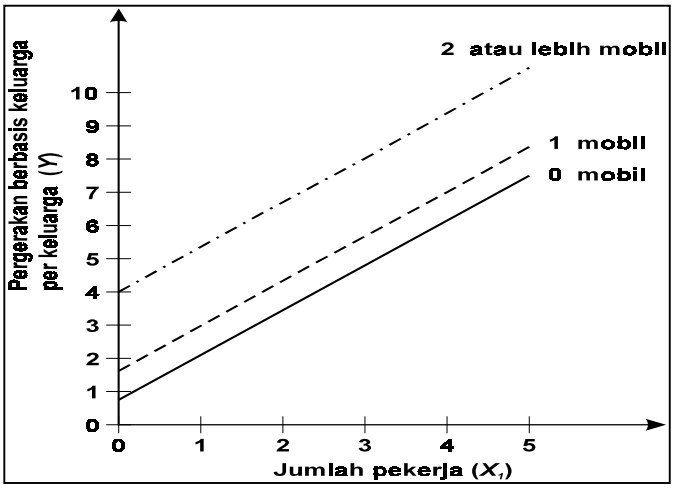
Contoh 4.4 Pertimbangkan model pada contoh 4.3 dan asumsikan bahwa peubah X_2 digantikan dengan beberapa peubah fiktif berikut ini:

- Z_1, yang mempunyai nilai **1** untuk rumah tangga dengan satu kendaraan dan nilai **0** untuk kondisi lainnya;
- Z_2, yang mempunyai nilai **1** untuk rumah tangga dengan dua atau lebih kendaraan dan nilai **0** untuk kondisi lainnya.

Dengan mudah dapat dilihat bahwa untuk rumah tangga yang tidak mempunyai kendaraan, nilai Z_1 dan Z_2 adalah **0**. Model tahap ke 3 pada tabel 4.3 sekarang menjadi:

$$\underset{}{Y} = \underset{}{0{,}84} + \underset{(3{,}6)}{1{,}41}X_1 + \underset{(8{,}1)}{0{,}75}Z_1 + \underset{(3{,}2)}{3{,}14}Z_2 \qquad \underset{(3{,}5)}{R^2 = 0{,}387}$$

Meskipun nilai $\mathbf{R^2}$-nya tidak lebih baik, model ini lebih baik dibandingkan dengan model sebelumnya karena efek tidak-linear X_2 (atau Z_1 dan Z_2) sangat dominan sehingga tidak bisa diabaikan begitu saja. Perhatikan, jika koefisien peubah fiktif (misalnya 1 dan 2), dan jika sampel tidak mempunyai rumah tangga yang memiliki dua atau lebih kendaraan, efeknya akan menjadi linear, seperti tergambar pada gambar 4.9.



Gambar 4.9
Model regresi dengan peubah fiktif

Jika kita perhatikan gambar 4.9, ada pertanyaan yang timbul: tidakkah lebih baik jika ditaksir dengan regresi yang berbeda untuk setiap data yang ada pada setiap kelompok sehingga kita bisa mendapatkan garis yang kemiringannya berbeda-beda (koefisien X_1)?

Jawabannya pada umumnya adalah 'tidak', tergantung dari apakah kita mempunyai data yang cukup untuk setiap kelompok. Buktinya, model dengan peubah fiktif menggunakan semua data yang ada, sedangkan dengan regresi terpisah hanya menggunakan sebagian data yang ada dan ini jelas tidak menguntungkan. Hal yang menarik adalah penggunaan peubah fiktif akan mengurangi masalah multikolinear pada data (lihat **Douglas and Lewis, 1971**).

4.2.9 Mendapatkan nilai zona keseluruhan

Untuk model berbasis zona, nilai zona keseluruhan mudah didapat karena model tersebut ditaksir dengan menggunakan data berbasis zona. Akan tetapi, pada model berbasis data rumah tangga dibutuhkan tahap pengelompokan. Karena model tersebut linear, masalah pengelompokan dapat dipecahkan dengan menggunakan nilai rata-rata setiap zona untuk setiap peubah yang ada pada model tersebut dan kemudian mengalikannya dengan jumlah rumah tangga yang ada di setiap zona. Akan tetapi, untuk model tidak-linear, permasalahan pengelompokan ini dapat menjadi sangat rumit. Jadi, untuk model ketiga dari tabel 4.3, akan kita dapatkan:

$$T_i = H_i\,(0{,}91 + 1{,}44\,X_{1i} + 1{,}07X_{2i})$$

dengan T_i adalah jumlah pergerakan yang berbasis rumah di dalam zona tersebut, H_i adalah jumlah rumah tangga di zona tersebut, dan X_{ji} adalah rata-rata nilai X_j dari zona tersebut.

Sebaliknya, jika digunakan peubah fiktif, perlu juga diketahui jumlah rumah tangga untuk setiap kelas di zona tersebut; contohnya, pada model contoh 4.3 kita mensyaratkan:

$$T_i = H_i\,(0{,}84 + 1{,}41\,X_{1i}) + 0{,}75H_{1i} + 3{,}14\,H_{2i}$$

dengan H_{ji} adalah jumlah rumah tangga yang mempunyai kelas j di dalam zona i.

Dalam kasus ini kita lihat ada keuntungan lain dalam penggunaan peubah fiktif. Untuk mengelompokkan model-model tersebut, dibutuhkan taksiran jumlah rata-rata pekerja di dalam setiap rumah tangga untuk setiap kelompok rumah tangga yang mempunyai kendaraan di setiap zona, yang perhitungannya tampak menjadi sangat rumit.

4.2.10 Mencocokkan hasil bangkitan pergerakan dengan tarikan pergerakan

Model bangkitan dan tarikan pergerakan dibentuk secara terpisah. Pembaca pasti mengetahui bahwa model tidak akan selalu dapat menghasilkan jumlah pergerakan yang dibangkitkan (dari setiap zona asal O_i) yang selalu sama dengan jumlah pergerakan yang tertarik (ke setiap zona tujuan D_d).

Pada kenyataannya, jumlah keduanya harus sama untuk setiap tujuan pergerakan. Ini dapat diwujudkan dengan menggunakan tarikan pergerakan untuk setiap zona sebagai ukuran relatif daya tarik. Dengan kata lain, dapat digunakan untuk memberi bobot ke setiap zona tergantung dengan relatif daya tariknya. Dengan cara ini, total tarikan dapat dibuat sama dengan total bangkitan, untuk setiap tujuan pergerakan. Untuk itu, suatu syarat batas berupa persamaan berikut diperlukan:

$$\sum_i O_i = \sum_d D_d \qquad (4.12)$$

Syarat batas ini harus dipenuhi karena sangat dibutuhkan pada tahap berikutnya, yaitu sebaran pergerakan. Tidaklah mungkin kita mempunyai Matriks Asal–Tujuan (MAT) yang mempunyai nilai **T** yang berbeda-beda apabila kita jumlahkan semua baris (O_i) dengan menjumlahkan semua kolom (D_d) (lihat bab 5).

Solusinya bersifat pragmatik, yang mencoba melihat kecenderungan hasil kajian yang menyatakan bahwa biasanya model bangkitan pergerakan jauh lebih baik dibandingkan dengan model tarikan pergerakan. Misalnya model bangkitan pergerakan menggunakan model yang didasarkan pada data rumah tangga atau individu dengan peubah yang baik, sedangkan model tarikan pergerakan didasarkan hanya pada data agregat berbasis zona.

Karena itu, secara praktis dapat kita lihat bahwa jumlah pergerakan yang dihasilkan dengan menjumlahkan semua zona asal (O_i) merupakan nilai yang benar untuk **T**. Oleh karena itu, semua D_d harus dikalikan dengan faktor modifikasi seperti terlihat pada persamaan (4.13) yang akan menjamin penjumlahan semua D_d pasti akan selalu sama dengan **T**.

$$f = \mathrm{T} / \sum_{d} D_d \qquad (4.13)$$

4.3 Analisis klasifikasi silang atau analisis kategori

4.3.1 Model klasik

4.3.1.1 Pendahuluan Metode analisis kategori dikembangkan pertama sekali pada *The Puget Sound Transportation Study* pada tahun 1964. Model ini telah diperbaiki dan sering digunakan untuk mendapatkan bangkitan pergerakan untuk daerah permukiman, juga untuk penerapan lainnya.

Sampai dengan akhir tahun 1960-an, hampir semua kajian perencanaan transportasi di Amerika Serikat mengembangkan persamaan bangkitan pergerakan dengan menggunakan analisis regresi linear, khususnya dalam pemodelan bangkitan pergerakan untuk orang. Model regresi diusulkan oleh *Federal Highway Administration* (FHA) sebagai model standar dalam menganalisis bangkitan pergerakan.

Di akhir tahun 1960-an, metode alternatif lain didapatkan dan sangat cepat berkembang menjadi model yang populer di Inggris. Metode tersebut disebut metode **analisis kategori** di Inggris (**Wootton and Pick, 1967**) atau metode **klasifikasi silang** di Amerika Serikat. Pada saat yang sama, pengembangan model regresi linear juga berkembang dengan pesat, dimulai dari analisis pada tingkat zona dan dilanjutkan pada tingkat individu atau rumah tangga (lihat subbab 4.2).

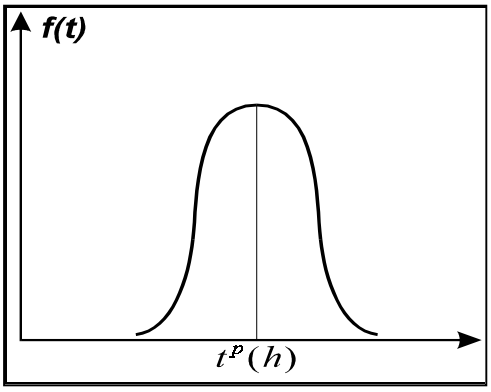
Metode analisis kategori ini didasarkan pada adanya keterkaitan antara terjadinya pergerakan dengan atribut rumah tangga. Asumsi dasarnya adalah tingkat bangkitan pergerakan dapat dikatakan stabil dalam waktu untuk setiap stratifikasi rumah tangga tertentu. Metode ini menemukan secara empiris bahwa besarnya tingkat bangkitan pergerakan sangat banyak membutuhkan data (misalnya jumlah rumah tangga untuk setiap kelas). Walaupun pada awalnya metode ini dirancang agar dapat menggunakan data sensus di Inggris, permasalahan serius timbul pada saat harus meramalkan jumlah rumah tangga untuk setiap strata pada masa mendatang.

4.3.1.2 Definisi peubah dan spesifikasi model Misalkan $t^p(h)$ adalah rata-rata jumlah pergerakan dengan tujuan p (pada periode waktu tertentu), yang dilakukan oleh setiap anggota rumah tangga dari jenis h. Jenis rumah tangga ditentukan berdasarkan stratifikasi. Contohnya, klasifikasi silang yang didasarkan pada m ukuran rumah tangga dengan n pemilikan kendaraan akan menghasilkan mn rumah tangga berjenis h.

Metode baku untuk menghitung tingkat pertumbuhan untuk setiap sel didapatkan dengan mengalokasikan rumah tangga ke setiap kelompok sel dan menjumlahkannya satu per satu sehingga menghasilkan jumlah pergerakan $T^p(h)$, untuk setiap tujuan pergerakan. Jadi, tingkat pertumbuhan $t^p(h)$ didapatkan dengan membagi $T^p(h)$ dengan jumlah rumah tangga $H(h)$. Dalam bentuk matematis dapat dinyatakan sebagai:

$$t^p(h) = T^p(h)/H(h) \quad (4.14)$$

Permasalahan utama dalam penggunaan metode ini terletak pada cara menentukan kategori agar sebaran frekuensi dari simpangan baku dapat diminimumkan (lihat gambar 4.10).



Gambar 4.10
Sebaran tingkat pergerakan untuk setiap rumah tangga

Metode ini pada dasarnya memiliki beberapa keuntungan, yaitu:

1 pengelompokan klasifikasi silang tidak tergantung pada sistem zona di daerah kajian;

2 tidak ada asumsi awal yang harus diambil mengenai bentuk hubungan;

3 hubungan tersebut berbeda-beda untuk setiap kelompok (misalnya efek perubahan ukuran rumah tangga bagi yang mempunyai satu kendaraan dengan yang mempunyai dua kendaraan akan berbeda).

Akan tetapi, metode klasifikasi silang ini juga mempunyai kelemahan, yaitu:

1 tidak memperbolehkan ekstrapolasi;

2 tidak adanya uji statistik yang dapat mendukungnya sehingga yang menjadi patokan adalah besarnya simpangan antara hasil taksiran dengan hasil pengamatan. Semakin kecil simpangan tersebut, semakin baik;

3 data yang dibutuhkan sangat banyak agar nilai masing-masing tidak terlalu bervariasi secara tidak logis karena adanya perbedaan jumlah rumah tangga. Contohnya, pada kajian *Monmouthshire Land Use–Transportation* (lihat **Douglas and Lewis, 1971**), sebaran dari 108 kategori (**6** tingkat pendapatan, **3** tingkat dan **6** ukuran rumah tangga) hanya membutuhkan sampel sebanyak 4.000 rumah tangga (lihat tabel 4.16).

Tabel 4.16 Sebaran frekuensi rumah tangga

Jumlah kategori	21	69	9	7	2
Jumlah rumah tangga yang disurvei	0	1–49	50–99	100–199	200+

Sekurang-kurangnya 50 pengamatan dibutuhkan untuk setiap sel agar hasilnya dapat dipertanggungjawabkan. Kriteria ini hanya akan dipenuhi oleh 18 kategori dari 108 kategori yang ada yang mempunyai jumlah sampel sebanyak

4.000 rumah tangga. Jadi, diperlukan lagi data tambahan lain agar dapat dihasilkan sebaran frekuensi yang lebih merata – biayanya menjadi lebih mahal.

4 tidak ada cara yang efektif dalam memilih peubah tersebut. Proses minimasi simpangan baku seperti yang terlihat pada gambar 4.11 hanya dapat dilakukan dengan cara coba-coba yang sudah jelas sangat sulit dipraktekan.

4.3.1.3 Penerapan model pada tingkat agregat Tetapkan n adalah jenis orang (dengan atau tanpa kendaraan), $a_i(h)$ adalah jumlah rumah tangga dengan jenis h di zona i dan $H_n(h)$ adalah rumah tangga dengan jenis h yang berisikan orang berjenis n. Dengan ini, kita dapat menuliskan besarnya bangkitan pergerakan dengan tujuan p yang dilakukan oleh orang berjenis n di zona i (O_i^{np}) sebagai berikut:

$$O_i^{np} = \sum_{h \in H_n(h)} a_i(h) t^p(h) \qquad (4.15)$$

Untuk melihat cara kerja model, dapat diperbandingkan nilai hasil pemodelan dengan nilai hasil pengamatan sampel. Galat yang terjadi adalah karena penggunaan rata-rata nilai $t^p(h)$. Diperkirakan stratifikasi yang baik dapat meminimumkan simpangan baku seperti pada gambar 4.10 dan juga menghasilkan galat yang lebih kecil.

Terdapat beberapa cara menentukan kategori rumah tangga. Untuk pertama kalinya di Inggris, **Wootton and Pick (1971)** menyarankan **108** kategori yang dihasilkan dari **6** tingkat pendapatan, **3** tingkat pemilikan kendaraan, dan **6** tingkat struktur rumah tangga seperti pada tabel 4.17.

Tabel 4.17 Contoh pengelompokan struktur rumah tangga

Kelompok	Jumlah yang bekerja	Orang dewasa lainnya
1	0	1
2	0	2 atau lebih
3	1	1 atau kurang
4	1	2 atau lebih
5	2 atau lebih	1 atau kurang
6	2 atau lebih	2 atau lebih

Permasalahannya adalah bagaimana meramalkan jumlah rumah tangga pada masa mendatang untuk setiap kategori. Metode yang umum digunakan (lihat **Wilson, 1977**) adalah: pertama, menetapkan dan mencocokkan sebaran peluang untuk pendapatan (I), pemilikan kendaraan (C), dan struktur rumah tangga (S) dengan data hasil kalibrasi; kedua: menggunakan hasil tersebut untuk membuat sebaran peluang gabungan untuk rumah tangga jenis $h = (I,C,S)$.

Jadi, jika sebaran peluang gabungan dinyatakan dengan $\phi(h) = \phi(I,C,S)$, maka jumlah rumah tangga di zona i yang tergolong dalam kelompok h, atau $a_i(h)$, dapat dinyatakan secara sederhana dengan:

$$a_i(h) = H_i\phi(h) \tag{4.16}$$

H_i adalah jumlah rumah tangga di zona i. Model taksiran rumah tangga dapat diuji secara parsial dengan menggunakan data pada tahun dasar. Jumlah pergerakan yang dihasilkan oleh persamaan (4.16), tetapi dengan nilai simulasi $a_i(h)$, kemudian dapat dicek dengan hasil pengamatan. Dengan demikian, kelemahan metode ini bertambah satu lagi sebagai berikut.

5 Jika disyaratkan untuk menambah jumlah stratifikasi, dibutuhkan penambahan jumlah sampel yang sangat banyak. Sebagai contoh, jika satu peubah lain ditambahkan dan kemudian dipecahkan menjadi **3** tingkat, jumlah kategori akan meningkat dari **108** menjadi **324**.

4.3.1.4 Tahapan perhitungan Konsep dasarnya sederhana, dan peubah yang biasa digunakan dalam analisis kategori adalah ukuran rumah tangga (jumlah orang), pemilikan kendaraan, dan pendapatan rumah tangga.

Kategori ditetapkan menjadi tiga dan kemudian rata-rata tingkat bangkitan pergerakan (dari data empiris) dibebankan untuk setiap kategori. Data untuk mengilustrasikan bagaimana keragaman tingkat bangkitan pergerakan di antara ketiga peubah tersebut diperlihatkan pada tabel 4.18 (**Marler, 1985**). Hal ini menunjukkan pentingnya peubah tersebut dalam menghitung bangkitan pergerakan.

Tabel 4.18 Tingkat bangkitan pergerakan kerja per rumah tangga

Kategori	Rendah	Menengah	Tinggi
Total pendapatan rumah tangga *	1,16	1,34	1,63
Kendaraan per rumah tangga **	1,27	1,38	2,63
Ukuran rumah tangga ***	1,23	1,24	1,63

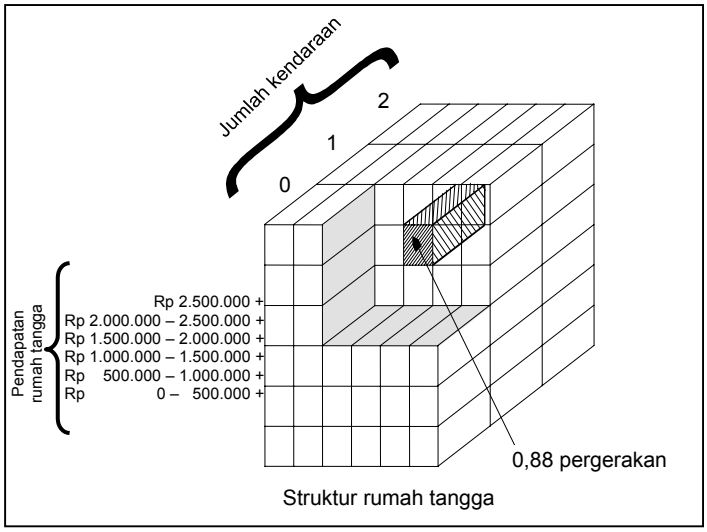
Keterangan: * rendah : sampai dengan Rp 75,000/bulan
menengah : Rp 76.000–150,000/bulan
tinggi : lebih besar dari Rp.150,000/bulan
** rendah : tidak mempunyai kendaraan bermotor
menengah : 1 kendaraan
tinggi : lebih dari 2
*** rendah : 1–3 orang
menengah : 4–6 orang
tinggi : lebih dari 6 orang.

Sumber: Marler (1985)

Tahap 1 Tiga buah peubah harus distratifikasi. Beberapa kajian di Inggris menggunakan **6** kategori pendapatan, **6** kategori ukuran rumah tangga, dan **3** kategori pemilikan kendaraan. Perlu diperhatikan bahwa penggunaan kategori pendapatan dan pemilikan kendaraan dalam analisis kategori sering dikritik karena keduanya saling berkorelasi. Disarankan agar **108** kategori tersebut dikurangi sehingga kebutuhan akan data dan biaya juga berkurang. Kategori tersebut

digunakan untuk kajian di *West Midlands Transport*, Inggris (**Wootton and Pick, 1967**).

Untuk kasus pada tabel 4.18, terdapat **27** kategori yang menggabungkan pemilikan kendaraan, pendapatan, dan ukuran rumah tangga. Perhatikan bahwa jumlah peubah dan cara stratifikasinya beragam, tergantung dari data yang tersedia dan tujuan kajian. Konsep ini diilustrasikan dengan gambar 4.11.



Gambar 4.11

Struktur kategori dalam metode analisis kategori

Tahap 2 Setiap rumah tangga yang didapat dari survei wawancara di rumah harus dicocokkan untuk setiap kategori, tergantung dari data rumah tangga tersebut (pemilikan kendaraan, ukuran rumah tangga, dan pendapatan).

Tahap 3 Rata-rata tingkat bangkitan pergerakan dihitung untuk setiap kategori dengan menggunakan data dari rumah tangga. Hal ini bisa didapat dengan jalan membagi jumlah pergerakan yang dihasilkan untuk setiap kategori dengan jumlah rumah tangga yang ada dalam kategori tersebut.

Tahap 4 Sejauh ini, rata-rata bangkitan pergerakan dilakukan untuk setiap kategori, tetapi sudah cukup untuk digunakan dalam menaksir bangkitan pergerakan per zona. Ini dilakukan dengan mengalikan jumlah rumah tangga pada zona tersebut untuk setiap kategori, dan hasilnya dijumlahkan untuk semua **27** kategori yang akhirnya akan menghasilkan total bangkitan pergerakan untuk zona tersebut. Dengan kata lain:

$$\hat{P}_i = \sum_{c=1}^{27} T_c H_c(i)$$

$\hat{P}_i$ = perkiraan jumlah pergerakan yang dihasilkan oleh zona i;

T_c = rata-rata bangkitan pergerakan per rumah tangga dalam kategori c;

$H_c(i)$ = jumlah rumah tangga dengan kategori c yang berlokasi di zona i

4.3.1.5 Contoh sederhana Pada contoh ini (**Black, 1981**) diasumsikan tiga peubah yang diperkirakan mempengaruhi besarnya pergerakan:

- 3 kategori pemilikan kendaraan (0, 1, 2+);
- 3 kategori pendapatan (rendah [0–100.000 rupiah/bulan]; menengah [100.000–200.000 rupiah/bulan]; tinggi [lebih dari 200.000 rupiah/bulan])
- 2 kategori ukuran rumah tangga (1–3 orang; 4+ orang)

Secara keseluruhan ketiga peubah dengan stratifikasinya menghasilkan **3** x **3** x **2** = **18** kategori. Masalahnya sekarang adalah bagaimana mendapatkan total bangkitan pergerakan. Data untuk analisis kategori diberikan pada tabel 4.19, sedangkan jumlah rumah tangga dengan kategorinya masing-masing diberikan pada tabel 4.20.

Tabel 4.19 Analisis kategori tingkat pergerakan untuk 18 kategori

Tingkat pemilikan kendaraan	Tingkat pendapatan		
	Rendah	Menengah	Tinggi
Tidak ada kendaraan (0)	3,4[a]	3,7[a]	3,8[a]
	4,9[b]	5,0[b]	5,1[b]
Satu kendaraan (1)	5,2[a]	7,3[a]	8,0[a]
	6,9[b]	8,3[b]	10,2[b]
Dua atau lebih kendaraan (2+)	5,8[a]	8,1[a]	10,0[a]
	7,2[b]	1,8[b]	12,9[b]

Catatan:
a Tingkat bangkitan pergerakan untuk setiap rumah tangga dengan 1–3 orang
b Tingkat bangkitan pergerakan untuk setiap rumah tangga dengan 4 atau lebih orang

Tabel 4.20 Kategori rumah tangga dengan 3 peubah

Jumlah rumah tangga	Pemilikan kendaraan	Pendapatan	Ukuran rumah tangga
50	0	rendah	1–3
20	0	menengah	1–3
10	0	rendah	4+
50	1	rendah	1–3
50	1	rendah	4+
100	1	menengah	4+
40	2+	tinggi	1–3
100	2+	menengah	4+
150	2+	tinggi	4+

Dengan menggunakan data tabel 4.13 dan 4.14, perkiraan total bangkitan pergerakan untuk zona tersebut adalah: (50x3,4) + (20x3,7) + (10x4,9) + (50x5,2) + (50x6,9) + (100x8,3) + (40x10,0) + (100x11,8) + (150x12,9) = **5.243** pergerakan.

4.3.1.6 Komentar tentang pendekatan analisis kategori Analisis kategori mempunyai lebih sedikit batasan dibandingkan dengan analisis regresi; misalnya, analisis kategori tidak mengasumsikan adanya hubungan linear. Kerugiannya secara teknik adalah data yang diperlukan sangat banyak untuk setiap kategori, dan rata-rata bangkitan pergerakan untuk setiap kategori secara statistik harus dapat diterima. Masalah lain adalah tidak terdapatnya uji statistik untuk menguji keabsahan model. Prosedur dapat disederhanakan dengan menggunakan 2 peubah saja. Contohnya, pemilikan kendaraan atau pendapatan dapat dihilangkan karena kedua peubah itu sebenarnya mungkin berkorelasi.

4.3.2 Perbaikan model dasar

4.3.2.1 Analisis klasifikasi ganda (*Multiple Classification Analysis/MCA*) MCA adalah metode yang dapat digunakan untuk menguji pengelompokkan hasil klasifikasi silang menjadi prosedur statistik yang baik untuk memilih peubah dan klasifikasi. Metode ini dapat mengatasi kelemahan yang ada pada metode terdahulu. Para pembaca yang tertarik untuk membahasnya secara lebih rinci dapat membaca **Stopher and McDonald (1983)**. Rangkumannya diberikan berikut ini.

Pertimbangkan model yang mempunyai satu peubah tidak bebas yang menerus dan dua peubah bebas yang diskret, misalnya ukuran rumah tangga dan pemilikan kendaraan. Nilai rata-rata total bisa didapat untuk peubah tidak bebas dari sampel rumah tangga. Juga, rata-rata kelompok bisa ditaksir untuk setiap baris dan kolom dari matriks klasifikasi silang yang dapat dianggap sebagai simpangan dari rata-rata total. Dengan melihat tanda simpangan (+ atau –), nilai sel dapat ditaksir dengan menambahkan simpangan baris dan kolom pada rata-rata total sesuai dengan selnya. Dalam hal ini, beberapa permasalahan yang timbul akibat terbatasnya data dapat dipecahkan.

Contoh 4.5 Tabel 4.21 memperlihatkan data yang dikumpulkan dalam suatu daerah kajian yang dikelompokkan menjadi **3** tingkat pemilikan kendaraan dan **4** tingkat ukuran rumah tangga.

Tabel 4.21 Jumlah rumah tangga per sel dan rata-rata tingkat pergerakan

Ukuran rumah tangga	0 mobil	1 mobil	2+ mobil	Total	Rata-rata tingkat pergerakan
1 orang	28	21	0	49	**0,47**
2 atau 3 orang	150	201	93	444	**1,28**
4 orang	61	90	75	226	**1,86**
5 orang	37	142	90	269	**1,90**
Total	276	454	258	988	
Rata-rata tingkat pergerakan	**0,73**	**1,53**	**2,44**		**1,54**

Tabel 4.21 juga memperlihatkan jumlah rumah tangga pada setiap sel (kategori) dan rata-rata jumlah pergerakan yang dihitung untuk setiap baris, sel, dan juga rata-rata totalnya. Terlihat bahwa nilainya berkisar dari **0** (sangat sulit mendapatkan rumah tangga yang terdiri dari 1 orang dan mempunyai mobil lebih dari 2) sampai dengan **269**. Walaupun, klasifikasi silang hanya dilakukan dengan hanya dua peubah saja, sudah terdapat sekitar 4 sel yang mempunyai nilai dibawah 50 pengamatan yang disyaratkan sebagai jumlah minimum pengamatan untuk mendapatkan rata-rata dan variansi yang bisa dipertanggungjawabkan.

Kemudian, kita menggunakan rata-rata nilai baris dan kolom untuk menaksir rata-rata tingkat bangkitan pergerakan dari setiap sel, termasuk sel yang tidak mempunyai pengamatan pada sampel ini. Kita dapat menghitung simpangan (dari rata-rata total) untuk yang tidak memilik kendaraan (**0** mobil) sebesar **0,73–1,54 = –0,81**; untuk **1** mobil sebesar **1,53–1,54 = –0,01**; dan untuk **2+** kendaraan sebesar **2,44–1,54 = 0,90**. Juga dapat dihitung simpangan untuk setiap tingkat ukuran rumah tangga, yaitu sebesar: **–51,07**; **–0,26**; **0,32** dan **0,36**.

Jika peubah tidak mempunyai korelasi dengan semua nilai tersebut, kita menghitung semua tingkat bangkitan pergerakan; misalnya: tingkat bangkitan pergerakan untuk rumah tangga (1 orang) dan mempunyai 1 mobil adalah **1,54–1,07–0,01 = 0,46** pergerakan. Untuk rumah tangga (1 orang) dan tidak mempunyai mobil, tingkat pergerakannya adalah **1,54–1,06–0,82 = –0,34** (nilai negatif). Nilai negatif tidak mempunyai arti apa-apa sehingga tingkat pergerakannya dapat dibuat menjadi nol. Tabel 4.22 memperlihatkan semua tingkat pergerakan beserta simpangannya.

Tabel 4.22 Tingkat pergerakan yang dihasilkan oleh MCA

Ukuran rumah tangga	Tingkat pemilikan kendaraan			
	0 mobil	1 mobil	2+ mobil	Simpangan
1 orang	0,00	0,46	1,37	**–1.07**
2 atau 3 orang	0,46	1,27	2,18	**–0,26**
4 orang	1,05	1,85	2,76	**0,32**
5 orang	1,09	1,89	2,80	**0,36**
Simpangan	**–0,81**	**–0,01**	**0,90**	

Selain keuntungan statistik, perlu diperhatikan bahwa nilai sel tidak lagi didasarkan pada hanya ukuran sampel data saja, tetapi juga pada rata-rata total yang didapatkan dari semua set data, dan dua atau lebih rata-rata kelas yang didapatkan dari semua data untuk setiap kelas yang relevan dengan nilai selnya.

4.3.2.2 Analisis regresi untuk tingkat rumah tangga Gabungan antara analisis klasifikasi silang dengan analisis regresi dapat merupakan pendekatan yang terbaik untuk kasus tertentu. Contohnya, pada suatu daerah yang mempunyai sebaran pendapatan yang tidak seragam perlu dikaji adanya perbedaan pengaruh kebijakan pada kelompok pendapatan yang berbeda. Oleh karena itu, dirasakan perlu memodel kebutuhan akan transportasi untuk setiap kelompok pendapatan secara terpisah.

4.3.3 Pendekatan kategori-orang

4.3.3.1 Pendahuluan Pendekatan kategori-orang merupakan salah satu alternatif yang menarik untuk model berbasis rumah tangga, yang diusulkan pertama kali oleh **Supernak (1979)**. Metode ini mempunyai beberapa keuntungan:

1 model bangkitan pergerakan berbasis individu cocok dengan komponen lainnya dalam sistem pemodelan kebutuhan transportasi klasik yang berbasiskan individu, bukan rumah tangga;

2 memungkinkan proses klasifikasi silang yang menggunakan semua peubah penting yang menghasilkan jumlah kelas yang sesuai sehingga dapat diramalkan dengan mudah;

3 ukuran sampel yang dibutuhkan untuk model berbasis individu jauh lebih kecil daripada untuk model berbasis rumah tangga;

4 perubahan status demografi dapat dengan mudah diperkirakan pada model berbasis individu, misalnya peubah umur sangat sulit ditentukan pada model berbasis rumah tangga;

5 model berbasis individu lebih mudah diramalkan dibandingkan dengan model berbasis rumah tangga karena membutuhkan informasi rumah tangga serta ukuran rumah tangga – keduanya tidak digunakan pada model berbasis individu.

Batasan utamanya adalah model berbasis individu berkaitan dengan alasan pemilihan model berbasis rumah tangga, bukan dengan yang berbasis zona. Hal ini akan sulit jika diperlukan melihat adanya efek interaksi antarrumah tangga, keuangan dalam model berbasis individu.

4.3.3.2 Definisi peubah dan spesifikasi model Tentukan t_j adalah tingkat bangkitan pergerakan, yaitu jumlah pergerakan yang dilakukan selama periode waktu tertentu oleh rata-rata jumlah orang berkategori j; t_{jp} adalah tingkat bangkitan pergerakan dengan tujuan p. T_i adalah total pergerakan yang dilakukan oleh penduduk di zona i (semua kategori). N_i adalah jumlah penduduk di zona i dan α_{ji} adalah persentase penduduk di zona i yang mempunyai kategori j. Oleh karena itu, hubungan dasar yang terjadi adalah:

$$T_i = N_i \sum_j \alpha_{ji} t_{jp} \tag{4.17}$$

Seperti dengan model lain, pergerakan dibagi menjadi pergerakan berbasis rumah dan berbasis bukan rumah, serta juga dapat dibagi berdasarkan tujuan (p) yang digunakan untuk kedua jenis pergerakan tersebut.

4.4 Peramalan peubah dalam analisis bangkitan pergerakan

Pemilihan peubah yang dapat digunakan untuk meramalkan tingkat pergerakan (rumah tangga) menjadi permasalahan bagi perencana transportasi. Peubah ini antara lain jumlah dan ukuran rumah tangga, struktur rumah tangga, pemilikan

kendaraan, dan pendapatan. Misalnya, ukuran dan struktur rumah tangga pada masa sekarang sangat berbeda dengan pada masa 10–20 tahun yang lalu. Misalnya, pada masa lalu keluarga dengan jumlah anak lebih dari 6 sangat sering dijumpai. Akan tetapi, pada masa sekarang rata-rata jumlah anak per keluarga hanya dua orang.

Contoh lain, pada masa 10–20 tahun lalu, pendapatan keluarga sebesar Rp 75.000–150.000 per bulan sudah merupakan gaji yang cukup tinggi. Akan tetapi, jumlah tersebut pada masa sekarang atau mendatang merupakan nilai yang dapat dikategorikan mempunyai pendapatan menengah ke bawah. Hal tersebut di atas merupakan kendala bagi perencanaan untuk masa yang cukup panjang (20 tahun mendatang). Akan tetapi, pada tahun 1980-an, mulai terdapat kajian yang meneliti cara memperkaya model bangkitan atau tarikan dengan teori dan metode yang berasal dari informasi perilaku.

Hipotesis utamanya adalah atribut sosial; setiap individu berpengaruh besar terhadap timbulnya pergerakan yang tentu saja berbeda-beda perilakunya. Contohnya, rumah tangga dengan anak yang belum sekolah jelas lebih rendah mobilitasnya daripada rumah tangga dengan anak yang sudah besar.

Bangkitan pergerakan ini dapat diramalkan untuk masa mendatang dengan menggunakan model yang dikalibrasi pada tahun dasar dan menggunakannya untuk tahun rencana. Dalam hal ini, masukan data yang harus dimasukkan ke dalam model adalah data taksiran dari pemilikan kendaraan, pendapatan, dan ukuran rumah tangga untuk setiap zona.

Komentar untuk proses peramalan berlaku baik untuk model analisis kategori maupun analisis regresi. Jika analisis kategori dan regresi digunakan untuk meramalkan bangkitan lalulintas untuk 15 atau 20 tahun mendatang, perlu diperhatikan bahwa semua peubah mungkin akan mempunyai nilai yang lebih besar dibandingkan dengan perkiraan pada waktu tahun dasar. Contohnya, beberapa rumah tangga akan mempunyai kendaraan lebih dari perkiraan (lihat tabel 4.23).

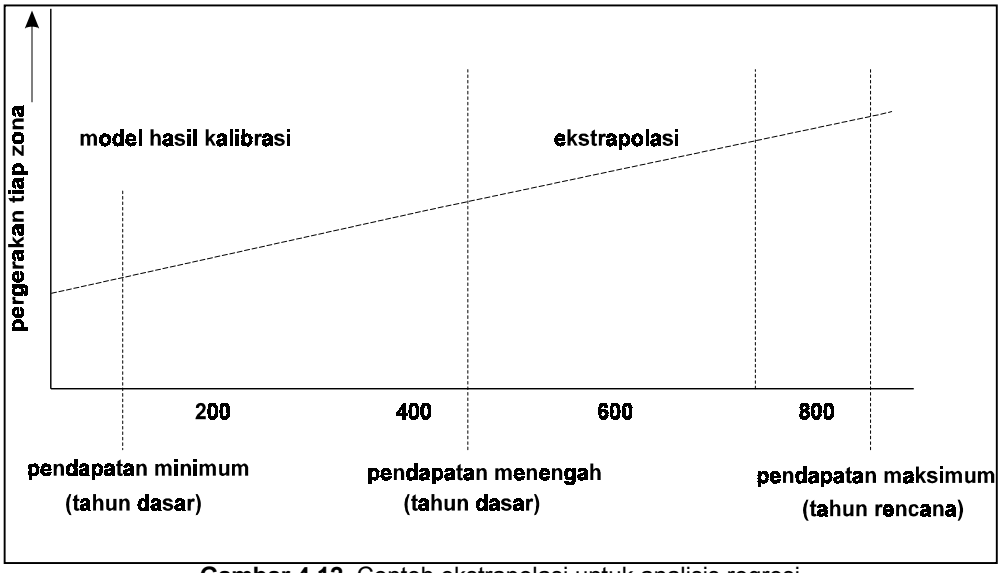
Tabel 4.23 Contoh ekstrapolasi untuk analisis kategori

Kategori pemilikan kendaraan	Jumlah rumah tangga dalam kategori	
	Tahun dasar	Tahun rencana
0 mobil	200	50
1 mobil	280	150
2+ mobil	20*	300**
Total	**500**	**500**

* contoh sangat sedikit ** mungkin memiliki 3, 4, dan 5+ kendaraan

Dalam analisis kategori, hal ini berarti rumah tangga tersebut akan masuk ke kategori yang lebih tinggi. Hal ini menyebabkan data menjadi terlalu sederhana sehingga kategori pada saat tahun dasar tidak cocok lagi untuk saat tahun rencana yang akhirnya mungkin menghasilkan perkiraan yang tidak cocok. Dengan analisis regresi, hal yang sama terjadi, karena mungkin diperlukan ekstrapolasi data yang

didapat pada saat tahun dasar. Kelemahan tersebut dapat ditunjukkan dengan contoh pada gambar 4.12.



Gambar 4.12 Contoh ekstrapolasi untuk analisis regresi

Dengan kata lain, diperlukan kategori lain untuk tahun rencana, tetapi karena belum ada pada saat tahun dasar, kategori tersebut tidak bisa dikalibrasi dengan data sebenarnya. Masalah ini menunjukkan beberapa kelemahan model seperti itu (dikalibrasi pada saat tahun dasar) apabila digunakan untuk peramalan.

5 Model sebaran pergerakan

Pemodelan bangkitan pergerakan telah diterangkan pada bab 4 secara rinci. Di situ diperkirakan besarnya pergerakan yang dihasilkan dari zona asal dan yang tertarik ke zona tujuan. Besarnya **bangkitan** dan **tarikan** pergerakan merupakan informasi yang sangat berharga yang dapat digunakan untuk memperkirakan besarnya pergerakan antarzona. Akan tetapi, informasi tersebut tidaklah cukup. Diperlukan informasi lain berupa pemodelan pola pergerakan antarzona yang sudah pasti sangat dipengaruhi oleh tingkat aksesibilitas sistem jaringan antarzona dan tingkat bangkitan dan tarikan setiap zona.

Berbagai macam metode yang pernah dikembangkan akan dijelaskan, dimulai dari metode sangat sederhana yang hanya cocok untuk jangka pendek sampai dengan metode yang dapat menampung pengaruh perubahan aksesibilitas terhadap sebaran pergerakan yang mungkin terjadi pada perencanaan jangka panjang.

Bab ini dimulai dengan penjelasan proses terjadinya pergerakan (subbab 5.1) dan pentingnya informasi mengenai matriks pergerakan dan beberapa kegunaannya (subbab 5.2). Selanjutnya, disampaikan penjelasan umum mengenai pengelompokan metode yang telah dikembangkan dan subbab yang menerangkan definisi dan notasi yang digunakan dalam penjelasan atau pun penurunan rumus (subbab 5.3).

Subbab berikutnya (subbab 5.4) menjelaskan metode **Konvensional** yang terdiri dari **metode Langsung** dan **metode Tidak Langsung**. Penjelasan singkat mengenai metode Langsung diberikan berikut keuntungan dan kerugiannya, diteruskan dengan penjelasan mengenai metode Tidak Langsung. Penjelasan tentang **metode Tidak Konvensional** diterangkan secara terpisah pada bab 9.

Metode Tidak Langsung ini dijelaskan dalam dua bagian; bagian pertama (subbab 5.5) menjelaskan **metode Analogi**, yaitu metode yang hanya mempertimbangkan faktor pertumbuhan tanpa memperhitungkan adanya perubahan aksesibilitas sistem jaringan transportasi. Metode ini hanya cocok untuk perencanaan jangka pendek atau perencanaan tanpa adanya perubahan aksesibilitas yang nyata dalam sistem jaringannya. Beberapa keuntungan dan kerugian metode Analogi juga diterangkan dalam subbab ini.

Bagian kedua (subbab 5.6) menjelaskan **metode Sintetis** yang mempertimbangkan adanya perubahan aksesibilitas, selain juga faktor pertumbuhan. Berbagai macam model diberikan yaitu model ***gravity*** (GR) (subbab 5.7), model ***intervening-opportunity*** (IO) (subbab 5.8), dan model ***gravity-opportunity*** (GO) (subbab 5.9) berikut penurunan setiap model secara teori, contoh penggunaannya, proses kalibrasi model, serta kelebihan dan kekurangannya. Bab ini diakhiri dengan penjelasan tentang ketelitian matriks yang dihasilkan oleh metode Konvensional (subbab 5.10).

5.1 Pendahuluan

Pergerakan adalah aktivitas yang kita lakukan sehari-hari. Kita bergerak setiap hari untuk berbagai macam alasan dan tujuan seperti belajar, olahraga, belanja, hiburan, dan rekreasi. Jarak perjalanan juga sangat beragam, dari perjalanan yang sangat panjang (misalnya perjalanan antarbenua) sampai ke perjalanan yang sangat pendek (misalnya perjalanan ke toko di seberang jalan). Mudah dipahami bahwa jika terdapat kebutuhan akan pergerakan yang besar, tentu dibutuhkan pula sistem jaringan transportasi yang cukup untuk dapat menampung kebutuhan akan pergerakan tersebut. Dengan kata lain, kapasitas jaringan transportasi harus dapat menampung pergerakan.

Kebutuhan akan pergerakan selalu menimbulkan permasalahan, khususnya pada saat orang ingin bergerak untuk tujuan yang sama di dalam daerah tertentu dan pada saat yang bersamaan pula. Kemacetan, keterlambatan, polusi suara dan udara adalah beberapa permasalahan yang timbul akibat adanya pergerakan. Salah satu usaha untuk dapat mengatasinya adalah dengan memahami pola pergerakan yang akan terjadi, misalnya dari mana dan hendak ke mana, besarnya, dan kapan terjadinya. Oleh karena itu, agar kebijakan investasi transportasi dapat berhasil dengan baik, sangatlah penting dipahami pola pergerakan yang terjadi pada saat sekarang dan juga pada masa mendatang pada saat kebijakan tersebut diberlakukan.

5.2 Kegunaan matriks pergerakan

Pola pergerakan dalam sistem transportasi sering dijelaskan dalam bentuk arus pergerakan (kendaraan, penumpang, dan barang) yang bergerak dari zona asal ke zona tujuan di dalam daerah tertentu dan selama periode waktu tertentu. **Matriks Pergerakan** atau **Matriks Asal–Tujuan (MAT)** sering digunakan oleh perencana transportasi untuk menggambarkan pola pergerakan tersebut.

MAT adalah matriks berdimensi dua yang berisi informasi mengenai besarnya pergerakan antarlokasi (zona) di dalam daerah tertentu. **Baris** menyatakan zona asal dan **kolom** menyatakan zona tujuan, sehingga **sel matriks**-nya menyatakan besarnya arus dari zona asal ke zona tujuan. Dalam hal ini, notasi $\boldsymbol{T_{id}}$ menyatakan besarnya arus pergerakan (kendaraan, penumpang, atau barang) yang bergerak dari zona asal ***i*** ke zona tujuan ***d*** selama selang waktu tertentu.

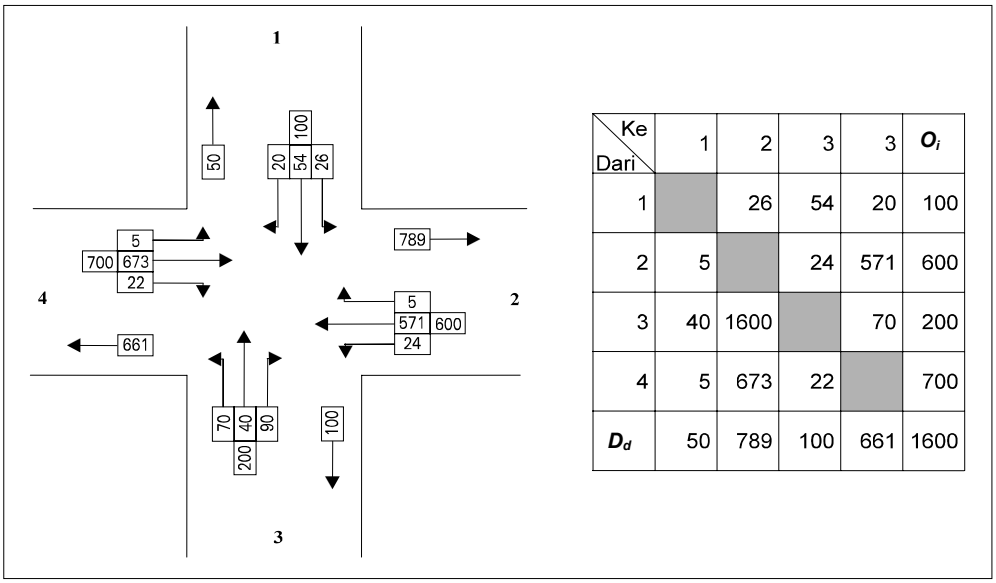
Pola pergerakan dapat dihasilkan jika suatu MAT dibebankan ke suatu sistem jaringan transportasi. Dengan mempelajari pola pergerakan yang terjadi, seseorang dapat mengidentifikasi permasalahan yang timbul sehingga beberapa solusi segera dapat dihasilkan. MAT dapat memberikan indikasi rinci mengenai kebutuhan akan pergerakan sehingga MAT memegang peran yang sangat penting dalam berbagai kajian perencanaan dan manajemen transportasi.

Jumlah zona dan nilai setiap sel matriks adalah dua unsur penting dalam MAT karena jumlah zona menunjukkan banyaknya sel MAT yang harus didapatkan dan berisi informasi yang sangat dibutuhkan untuk perencanaan transportasi. Setiap sel

membutuhkan informasi jarak, waktu, biaya, atau kombinasi ketiga informasi tersebut yang digunakan sebagai ukuran aksesibilitas (kemudahan).

Ketelitian MAT meningkat dengan menambah jumlah zona, tetapi MAT cenderung berisi oleh sel yang tidak mempunyai pergerakan ($T_{id} = 0$). Permasalahan yang sama timbul jika kita berbicara mengenai pergerakan antarzona dengan selang waktu pendek (misalnya 15 menit).

MAT dapat pula menggambarkan pola pergerakan dari suatu sistem atau daerah kajian dengan ukuran yang sangat beragam, seperti pola pergerakan kendaraan di suatu persimpangan atau pola pergerakan di dalam suatu perkotaan maupun di dalam suatu negara. Gambar 5.1 memperlihatkan persimpangan jalan, lengkap dengan arus pergerakan kendaraan dari setiap lengan persimpangannya dan MAT-nya. Di sini, lengan persimpangan dianggap sebagai asal dan tujuan pergerakan. Terlihat bahwa MAT dapat digunakan untuk menggambarkan pola pergerakan di persimpangan.



Dari \ Ke	1	2	3	3	O_i
1		26	54	20	100
2	5		24	571	600
3	40	1600		70	200
4	5	673	22		700
D_d	50	789	100	661	1600

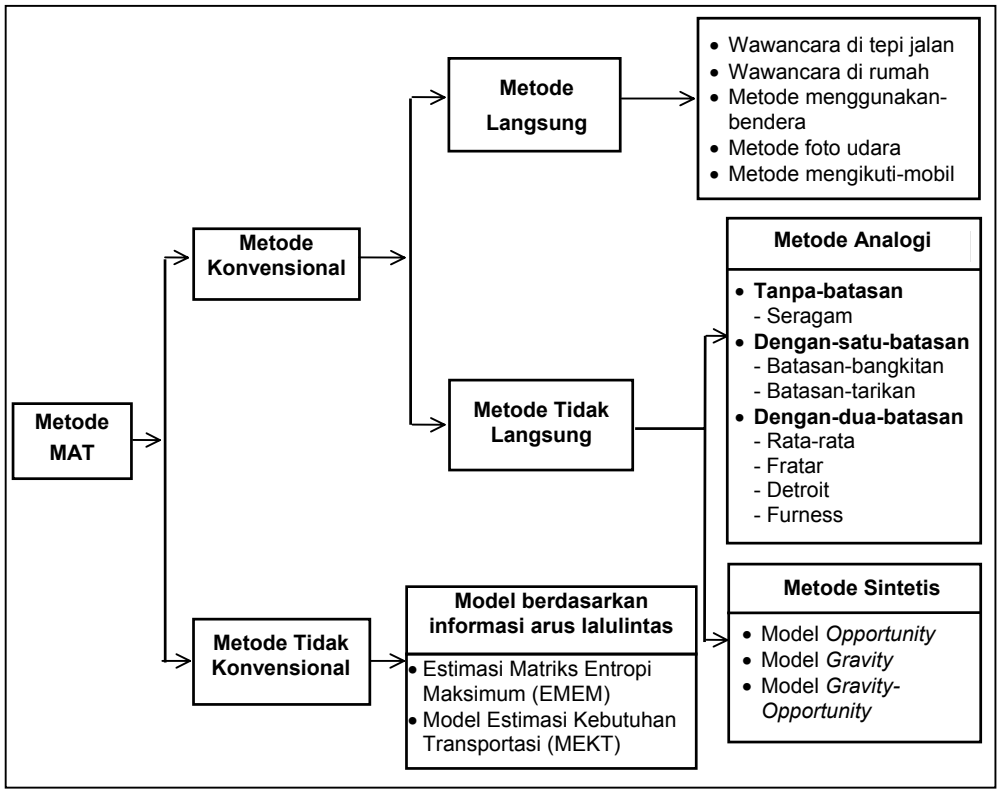
Gambar 5.1 Persimpangan dengan Matriks Asal–Tujuan (MAT)
Sumber: Tamin (1985, 1986, 1988a)

Berbagai usaha dilakukan untuk mendapatkan MAT dan terdapat beberapa metode yang dapat digunakan. Hadirnya beberapa metode yang tidak begitu mahal pelaksanaannya dirasakan sangat berguna karena MAT sangat sering dipakai dalam berbagai kajian transportasi. Contohnya, MAT dapat digunakan untuk (**Willumsen, 1978ab**):

- pemodelan kebutuhan akan transportasi untuk daerah pedalaman atau antarkota;
- pemodelan kebutuhan akan transportasi untuk daerah perkotaan;
- pemodelan dan perancangan manajemen lalulintas baik di daerah perkotaan maupun antarkota;

- pemodelan kebutuhan akan transportasi di daerah yang ketersediaan datanya tidak begitu mendukung baik dari sisi kuantitas maupun kualitas (misalnya di negara sedang berkembang);
- perbaikan data MAT pada masa lalu dan pemeriksaan MAT yang dihasilkan oleh metode lainnya; dan
- pemodelan kebutuhan akan transportasi antarkota untuk angkutan barang multi-moda.

Metode untuk mendapatkan MAT dapat dikelompokkan menjadi dua bagian utama, yaitu **metode Konvensional** dan **metode Tidak Konvensional** (**Tamin, 1985;1986; 1988abc**). Kedua metode tersebut dijelaskan lebih rinci pada subbab 5.4–5.10. Untuk lebih jelasnya, pengelompokan digambarkan berupa diagram seperti terlihat pada gambar 5.2.



Gambar 5.2 Metode untuk mendapatkan Matriks Asal–Tujuan (MAT)
Sumber: Tamin (1985,1986,1988abc)

5.3 Definisi dan notasi

Seperti telah dijelaskan pada subbab sebelumnya, MAT dapat digunakan untuk menggambarkan pola pergerakan di dalam daerah kajian. MAT adalah matriks berdimensi dua yang setiap baris dan kolomnya menggambarkan zona asal dan tujuan di dalam daerah kajian (termasuk juga zona di luar daerah kajian), seperti

terlihat pada tabel 5.1, sehingga setiap sel matriks berisi informasi pergerakan antarzona. Sel dari setiap baris ***i*** berisi informasi mengenai pergerakan yang berasal dari zona ***i*** tersebut ke setiap zona tujuan ***d***. Sel pada diagonal berisi informasi mengenai pergerakan intrazona (***i*** = ***d***). Oleh karena itu:

T_{id} = pergerakan dari zona asal ***i*** ke zona tujuan ***d***

O_i = jumlah pergerakan yang berasal dari zona asal ***i***

D_d = jumlah pergerakan yang menuju ke zona tujuan ***d***

$\{T_{id}\}$ atau **T** = total matriks

Tabel 5.1 Bentuk umum dari Matriks Asal–Tujuan (MAT)

Zona	1	2	3	...	N	O_i
1	T_{11}	T_{12}	T_{13}	...	T_{1N}	O_1
2	T_{21}	T_{22}	T_{23}	...	T_{2N}	O_2
3	T_{31}	T_{32}	T_{33}	...	T_{3N}	O_3
.	.	.	.	...	.	.
.	.	.	.	...	.	.
.	.	.	.	...	.	.
N	T_{N1}	T_{N2}	T_{N3}	...	T_{NN}	O_N
D_d	D_1	D_2	D_3	...	D_N	T

$$O_i = \sum_d T_{id}$$

$$D_d = \sum_i T_{id}$$

$$\mathbf{T} = \sum_i O_i = \sum_d D_d = \sum_i \sum_d T_{id}$$

Sumber: Tamin (1985,1986,1988abc)

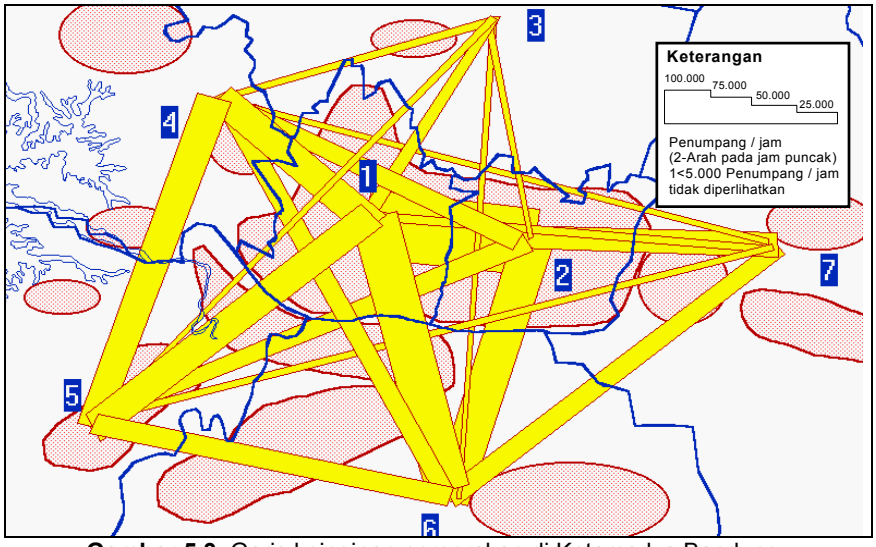
Beberapa kondisi harus dipenuhi, seperti total sel matriks untuk setiap baris (***i***) harus sama dengan jumlah pergerakan yang berasal dari zona asal ***i*** tersebut (O_i). Sebaliknya, total sel matriks untuk setiap kolom (***d***) harus sama dengan jumlah pergerakan yang menuju ke zona tujuan ***d*** (D_d). Kedua batasan ini ditunjukkan pada persamaan (5.1) berikut:

$$\sum_d T_{id} = O_i \text{ dan } \sum_i T_{id} = D_d \qquad (5.1)$$

Batasan (5.1) dapat juga dinyatakan dengan cara lain. Total pergerakan yang dibangkitkan dari suatu zona ***i*** harus sama dengan total pergerakan yang berasal dari zona ***i*** tersebut yang menuju ke setiap zona tujuan ***d***. Sebaliknya, total pergerakan yang tertarik ke suatu zona ***d*** harus sama dengan total pergerakan yang menuju ke zona ***d*** tersebut yang berasal dari setiap zona asal ***i***.

Jika MAT yang dihasilkan memenuhi kedua batasan (5.1), model tersebut dikenal sebagai model dengan-dua-batasan; jika hanya salah satu dipenuhi, model disebut model dengan-satu-batasan (model dengan-batasan-bangkitan atau model dengan-batasan-tarikan); jika tidak ada yang dipenuhi, model disebut model tanpa-batasan.

Selain menggunakan bentuk matriks, pola pergerakan dapat juga dinyatakan dengan bentuk lain secara grafis seperti terlihat pada gambar 5.3 yang biasa disebut **Garis Keinginan**. Nama ini diberikan karena pola pergerakan selain mempunyai dimensi jumlah pergerakan, juga mempunyai dimensi spasial (ruang) yang lebih mudah digambarkan secara grafis.



Gambar 5.3 Garis keinginan pergerakan di Kotamadya Bandung
Sumber: Tamin (1995ce)

Keuntungan bentuk matriks adalah dapat diketahuinya secara tepat arus pergerakan antarzona yang terjadi, tetapi tidak diketahui gambaran arah atau orientasi pergerakan tersebut. Hal ini dapat diatasi dengan bantuan garis keinginan yang menunjukkan gambaran pergerakan yang terjadi, meskipun ada juga kelemahannya berupa tidak tepatnya informasi arus pergerakan (besar arus pergerakan hanya dinyatakan dengan tebal garis keinginan).

Selanjutnya, kita gunakan huruf kecil t_{id}, o_i dan d_d sebagai notasi untuk nilai hasil pengamatan kajian terdahulu atau masa sekarang, sedangkan huruf besar untuk hasil pemodelan atau masa mendatang. Matriks dapat juga dinyatakan dalam berbagai macam kategori, seperti MAT bagi pergerakan dengan moda transportasi (***k***) dan/atau pergerakan orang jenis (***n***). Jadi,

T_{id}^{kn} = jumlah pergerakan dari zona asal ***i*** ke zona tujuan ***d*** dengan moda transportasi ***k*** dan penumpang jenis ***n***

O_i^{kn} = jumlah pergerakan yang berasal dari zona asal ***i*** dengan moda transportasi ***k*** dan penumpang jenis ***n***

D_d^{kn} = jumlah pergerakan yang menuju ke zona tujuan ***d*** dengan moda transportasi ***k*** dan penumpang jenis ***n***

Dalam beberapa kasus, penting juga diketahui beberapa notasi berikut:

p_{id}^{k} = proporsi pergerakan dari zona asal ***i*** ke zona tujuan ***d*** yang menggunakan moda transportasi ***k***

c_{id}^{k} = biaya pergerakan dari zona asal ***i*** ke zona tujuan ***d*** dengan menggunakan moda transportasi ***k***

Elemen biaya pergerakan dapat dinyatakan dalam satuan jarak, waktu, atau uang. Sering juga digunakan ukuran yang menggabungkan semua atribut yang ada yang biasa dikenal dengan **Biaya Gabungan**. Biaya gabungan pada dasarnya merupakan fungsi linear atribut yang ada dengan pembobotan pada beberapa atribut sesuai dengan tingkat kepentingan dan persepsi pengguna jalan, seperti pada persamaan (5.2).

$$C_{id} = a_1 t_{id}^{v} + a_2 t_{id}^{\omega} + a_3 t_{id}^{\tau} + a_4 t_{nid} + a_5 F_{id} + a_6 \phi_i + \delta \qquad (5.2)$$

t_{id}^{v} = waktu tempuh selama berada di kendaraan antara ***i*** dan ***d***;

t_{id}^{ω} = waktu berjalan kaki dari dan ke halte bus;

t_{id}^{τ} = waktu menunggu di halte bus;

t_{nid} = waktu transit di terminal untuk bertukar moda transportasi (multimoda);

F_{id} = tarif yang dikenakan untuk bergerak dari ***i*** ke ***d***;

ϕ_i = tarif transit di terminal;

δ = parameter yang mewakili atribut lainnya yang belum diperhitungkan; biasanya atribut yang sukar dikuantifikasi seperti kenyamanan dan keamanan;

$a_{1...6}$ = bobot setiap atribut yang mempunyai satuan yang digunakan untuk mengkonversikan satuan atribut yang ada ke satuan tertentu, misal uang.

Biaya gabungan dapat dinyatakan dalam satuan uang dan waktu, yang cukup mudah dikonversikan. Jika biaya gabungan dinyatakan dalam satuan uang, maka a_1 ditafsirkan sebagai **nilai waktu** (lebih tepatnya, nilai waktu selama berada di kendaraan). Jadi, a_2, a_3, dan a_4 adalah nilai waktu untuk menunggu, waktu berjalan kaki, dan waktu berpindah moda. Biasanya ketiga nilai ini lebih besar daripada nilai waktu selama berada di kendaraan. Hal ini cukup masuk akal karena manusia biasanya malas menunggu, apalagi berjalan kaki.

Jika biaya gabungan dinyatakan dalam satuan uang, maka nilai a_5 dan a_6 dibuat menjadi **1**. Sebaliknya, jika biaya gabungan dinyatakan dalam satuan waktu, nilai a_1 yang menjadi **1**, nilai $a_{2...4}$ mungkin bernilai **2** atau **3**, dan $a_{5...6}$ merupakan faktor konversi uang menjadi waktu. Biaya gabungan suatu perjalanan, seperti yang dinyatakan pada persamaan (5.2), merupakan kompromi antara penilaian objektif dan subjektif pengguna.

Nilai waktu sangat tergantung pada persepsinya mengenai pentingnya waktu tersebut, misalnya kenyamanan dan keamanan merupakan sesuatu yang sangat sulit dikuantifikasi sehingga sangat tergantung pada penilaian subjektif pengguna jalan.

5.4 Metode konvensional

Banyak penanganan permasalahan transportasi yang memerlukan identifikasi pola pergerakan yang dapat dinyatakan dalam bentuk MAT. Oleh sebab itu, tidaklah heran jika sampai saat ini telah berkembang beberapa metode untuk mendapatkan MAT. Berikut ini dijelaskan secara singkat beberapa metode konvensional yang lebih ditekankan pada masing-masing kelebihan dan kekurangannya.

Metode konvensional dapat dikelompokkan menjadi dua bagian utama, (**Tamin, 1988abc**) yaitu **metode Langsung** dan **metode Tidak Langsung**. Keduanya dijelaskan secara rinci, tetapi yang akan lebih ditekankan hanya beberapa metode yang secara khusus dikembangkan untuk mendapatkan MAT. Selanjutnya, tingkat ketelitian setiap metode diberikan pada subbab 5.10.

5.4.1 Metode langsung

Pendekatan ini sudah digunakan sejak lama sehingga dapat diidentifikasi beberapa permasalahan yang timbul yang berkaitan dengan penggunaannya. Pendekatan ini sangat tergantung dari hasil pengumpulan data dan survei lapangan. Proses wawancara dapat mengganggu pengguna jalan dan menimbulkan tundaan lalulintas. Kendala waktu dan biaya juga membatasi jumlah wawancara sehingga galat timbul jika jumlah sampel tidak bisa mencapai 100%.

Selain itu, pemilihan metode survei pengumpulan data juga sangat tergantung dari ketersediaan surveyor. Dengan demikian, galat teknis dan galat yang timbul akibat faktor manusia sering terjadi, misalnya galat mencatat dan menafsirkan. Oleh sebab itu, permasalahan utama pendekatan ini adalah dibutuhkannya sumber daya manusia yang besar, misalnya pewawancara untuk pengumpulan data yang selanjutnya digunakan untuk proses kodifikasi, penyortiran, dan akhirnya untuk proses analisis. Beberapa teknik yang tersedia sampai saat ini diterangkan sebagai berikut (**Willumsen**, **1978a**;**1981ab**;**1982**).

5.4.1.1 Wawancara di tepi jalan Survei ini biasanya dilakukan pada lokasi inlet dan outlet dari daerah kajian yang mempunyai batas wilayah tertentu. Untuk kasus transportasi barang antarkota, survei ini sangat berguna. Data dikumpulkan dengan mewawancarai pengendara di jalan. Wawancara meliputi pertanyaan mengenai zona asal dan tujuan pergerakan, jenis barang yang diangkut, beban muatan, dan lain-lain. Survei lainnya kadang-kadang menanyakan hal yang bersangkutan dengan jenis kendaraan, misalnya jenis kendaraan dan kapasitas angkutnya.

Lokasi wawancara harus diatur agar semua lalulintas antarzona bisa didapatkan. Ini membutuhkan pendefinisian yang baik tentang sistem zona dan jaringan di daerah kajian. Lalulintas yang masuk dan keluar dari daerah kajian juga harus disurvei. Jumlah wawancara pada setiap lokasi ditentukan berdasarkan jumlah sampel yang diambil. Untuk mendapatkan gambaran mengenai besarnya sampel, survei pendahuluan perlu dilakukan untuk mendapatkan informasi lalulintas dan komposisinya.

Sesuai dengan ukuran sampel dan periode survei, faktor koreksi harus digunakan terhadap data hasil survei untuk mendapatkan MAT secara total. Persentase sampel sebesar 20% sering digunakan, tetapi ini sangat tergantung dari arus lalulintas dan ketersediaan tenaga kerja. Wawancara seperti ini dirasakan mahal jika ditinjau dari sisi tenaga kerja, adanya tundaan, dan gangguan arus lalulintas, serta membutuhkan waktu proses yang lama.

5.4.1.2 Wawancara di rumah Survei wawancara di tepi jalan sangat efektif jika digunakan untuk mendapatkan informasi arus lalulintas menerus, tetapi tidak efektif untuk mendapatkan informasi lalulintas yang terjadi dan bergerak hanya di dalam daerah kajian (internal). Pergerakan internal susah dideteksi; semakin besar suatu kota, semakin besar pula persentase lalulintas internalnya. Oleh sebab itu, metode survei yang paling cocok untuk mendapatkan informasi lalulintas internal adalah dengan wawancara di rumah.

Wawancara di rumah adalah jenis survei asal–tujuan yang terbaik untuk daerah perkotaan dan merupakan bagian yang terpenting dalam kebanyakan kajian transportasi. Ukuran sampel merupakan hal yang paling menentukan dan biasanya jumlah responden yang dibutuhkan minimal 1.000 rumah. Untuk kota kecil, jumlah sampel yang lebih besar dari 5% populasi masih dapat dipertimbangkan karena alasan biaya.

Tidak seperti wawancara di tepi jalan, tujuan wawancara di rumah tidak hanya untuk mendapatkan informasi MAT, tetapi juga untuk mendapatkan beberapa data statistik lain seperti pemilikan kendaraan, jumlah anggota keluarga, dan mungkin juga penghasilan. Survei wawancara di rumah yang banyak berkaitan dengan pergerakan internal dapat mengatasi kekurangan survei wawancara di tepi jalan.

Untuk survei jenis ini sangat disarankan adanya pemberitahuan awal bagi responden. Pemberitahuan melalui surat dan telepon disarankan, apalagi bila kuesioner harus diisi oleh kepala keluarga. Usaha tambahan harus dilakukan agar tingkat pengembalian kuesioner bisa di atas 90%. Walaupun informasi yang didapat lebih banyak jika dibandingkan dengan survei wawancara di tepi jalan, survei jenis ini masih dianggap mahal dan membutuhkan waktu proses yang lama.

5.4.1.3 Metode menggunakan bendera Metode ini membutuhkan beberapa pengamat yang mengambil posisi pada beberapa lokasi inlet dan outlet daerah kajian. Beberapa jenis tanda pengenal digunakan untuk mengidentifikasi kendaraan, misalnya stiker. Biasanya stiker tersebut bernomor dan berwarna yang ditempelkan pada kendaraan di setiap lokasi masuk dan kemudian kendaraan tersebut dicatat pada beberapa lokasi tertentu dan pada lokasi keluar. Nomor pelat mobil sering juga digunakan untuk menggantikan stiker dan mempunyai keuntungan, yaitu tidak mengganggu perjalanan.

Untuk daerah kajian yang kecil, hal lain yang dapat dilakukan adalah meminta pengendara, pada saat masuk, menyalakan lampunya dalam selang waktu tertentu. Pengamat pada beberapa lokasi mencatat jumlah kendaraan yang lampunya menyala dalam selang waktu itu. Proses ini dilakukan secara berulang pada

beberapa lokasi masuk dalam beberapa hari. Metode ini hanya dapat dilakukan pada siang hari dan hanya baik untuk daerah kajian yang kecil saja.

5.4.1.4 Metode foto udara Metode ini menggunakan beberapa foto udara di daerah kajian yang diambil dari helikopter yang terbang pada koordinat dan ketinggian tertentu. Proses pengumpulan data cukup cepat dan tidak mahal jika dibandingkan dengan metode alternatif lainnya, tetapi proses selanjutnya membutuhkan dana cukup besar. Metode ini membutuhkan informasi mengenai setiap foto yang berurutan pengambilannya untuk menentukan pergerakan setiap kendaraan dengan bantuan alat digitasi.

Keuntungan metode ini adalah terjaminnya kontrol kualitas foto udara dan foto dapat digunakan untuk kebutuhan lain. Akan tetapi, tentu ada batasan mengenai ukuran daerah kajian yang bisa diambil. Metode ini semakin baik jika proses identifikasi kendaraan dapat dilakukan secara otomatis. Secara teori, 100% sampel bisa didapat dengan menggunakan metode ini, tetapi secara praktis, persentase sampel yang didapat hampir sama dengan jika kita menggunakan survei wawancara di jalan.

5.4.1.5 Metode mengikuti-mobil Metode ini membutuhkan adanya pengamat yang bertugas mengikuti pergerakan kendaraan (biasanya dengan menggunakan kendaraan lain) di dalam daerah kajian dengan cara mencatat pergerakan kendaraan pada beberapa lokasi tertentu dalam suatu jaringan jalan. Metode ini lebih murah dibandingkan dengan metode lainnya, tetapi membutuhkan manajemen yang baik dalam proses pengumpulan dan analisis data.

Dapat disimpulkan bahwa pendekatan metode langsung pada umumnya mahal, terutama dalam hal kebutuhan akan sumber daya manusia, waktu proses yang lama, serta hasil akhirnya hanya berlaku untuk selang waktu yang pendek saja. Tambahan lain, metode survei di tepi jalan membutuhkan koordinasi yang baik dengan pengguna jalan dan tentu hal ini menyebabkan gangguan dan tundaan bagi pengguna jalan tersebut. Survei nomor pelat mobil lebih menarik karena tidak mengganggu arus lalulintas, tetapi membutuhkan banyak pengamat dan waktu proses yang cukup lama serta sangat sensitif terhadap galat pencatatan.

Semua metode pada umumnya menghasilkan persentase sampel lebih kecil dari 100% sehingga hasil akhirnya hanya merupakan perkiraan dari MAT yang diinginkan. Untuk survei foto udara, meskipun persentase sampel 100% bisa dicapai, pertanyaan berikutnya adalah seberapa tinggi ketepatan MAT yang dihasilkan dengan MAT yang sebenarnya terjadi dalam daerah kajian tersebut. Oleh sebab itu, semua kekurangan itu menyebabkan semakin banyaknya kendala dan semakin jarangnya penggunaan pendekatan metode langsung ini.

5.4.2 Metode tidak langsung

Pemodelan adalah penyederhanaan realita. Penyederhanaan tersebut dilakukan dengan menggunakan suatu sistem dalam bentuk unsur atau faktor yang dapat dipertimbangkan mempunyai kaitan dengan situasi yang hendak digambarkan. Memperkirakan kebutuhan akan pergerakan merupakan bagian terpenting dalam

proses perencanaan transportasi karena kebutuhan akan pergerakan baik pada masa sekarang maupun pada masa mendatang berpengaruh besar pada kebijakan transportasi dan kebutuhan akan sistem jaringan.

Model yang baik harus bisa menggambarkan semua faktor yang mewakili perilaku manusia. Akan tetapi, kemampuan pemodelan yang dibatasi waktu dan biaya menyebabkan tidak bisa dihasilkannya model yang lengkap. Meskipun mungkin didapat model yang lengkap, pastilah merupakan model yang sangat kompleks dan mahal untuk digunakan. Jadi, secara praktis, dibutuhkan berbagai macam jenis model untuk berbagai tujuan sehingga dapat dipilih model yang paling cocok untuk tujuan tertentu atau untuk pemecahan masalah tertentu.

Sebaran pergerakan merupakan salah satu tahapan dalam Model Perencanaan Transportasi Empat Tahap. Pada tahapan ini, jumlah pergerakan yang dibangkitkan dari suatu zona asal atau yang tertarik ke suatu zona tujuan akan disebarkan pada setiap zona asal dan zona tujuan yang ada. Hasil tahapan ini berbentuk MAT yang diinginkan.

Beberapa prosedur matematis telah dikembangkan sampai saat kini yang secara umum dapat dikelompokkan menjadi dua bagian utama (**Davinroy *et al***, **1963** dan **Bruton**, **1981**), tergantung dari jenis data yang digunakan dan cara kita menggunakannya:

1 **Metode analogi –** dalam hal ini suatu nilai tingkat pertumbuhan digunakan pada pergerakan pada saat sekarang untuk mendapatkan pergerakan pada masa mendatang.

2 **Metode sintetis –** dalam hal ini harus dilakukan usaha untuk memodel hubungan atau kaitan yang terjadi antarpola pergerakan. Setelah pemodelan hubungan atau kaitan tersebut didapat, kemudian diproyeksikan untuk mendapatkan pola pergerakan pada masa mendatang.

5.5 Metode analogi

Beberapa metode telah dikembangkan oleh para peneliti, dan setiap metode berasumsi bahwa pola pergerakan pada saat sekarang dapat diproyeksikan ke masa mendatang dengan menggunakan tingkat pertumbuhan zona yang berbeda-beda. Semua metode mempunyai persamaan umum seperti berikut:

$$T_{id} = t_{id} \,.\mathbf{E} \tag{5.3}$$

T_{id} = pergerakan pada masa mendatang dari zona asal ***i*** ke zona tujuan ***d***

t_{id} = pergerakan pada masa sekarang dari zona asal ***i*** ke zona tujuan ***d***

E = tingkat pertumbuhan

Tergantung pada metode yang digunakan, tingkat pertumbuhan (**E**) dapat berupa satu faktor saja atau kombinasi dari berbagai faktor, yang bisa didapat dari proyeksi tata guna lahan atau bangkitan lalulintas. Faktor tersebut dapat dihitung untuk semua daerah kajian atau untuk zona tertentu saja yang kemudian digunakan untuk mendapatkan MAT.

Metode analogi dapat dikelompokkan menjadi tiga kelompok utama, yaitu metode tanpa-batasan, metode dengan-satu-batasan, dan metode dengan-dua-batasan (lihat gambar 5.2). Urutan pengembangannya secara kronologis adalah metode seragam, metode batasan-bangkitan, metode batasan-tarikan, metode rata-rata, metode Fratar, metode Detroit, dan metode Furness.

5.5.1 Metode tanpa-batasan

Metode tanpa-batasan atau metode seragam adalah metode tertua dan paling sederhana. Dalam metode ini diasumsikan bahwa untuk keseluruhan daerah kajian hanya ada satu nilai tingkat pertumbuhan yang digunakan untuk mengalikan semua pergerakan pada saat sekarang untuk mendapatkan pergerakan pada masa mendatang. Metode ini tidak menjamin bahwa total pergerakan yang dibangkitkan dari setiap zona asal dan total pergerakan yang tertarik ke setiap zona tujuan akan sama dengan total bangkitan dan tarikan yang diharapkan pada masa mendatang. Secara matematis dapat dijelaskan sebagai berikut:

$$T_{id} = t_{id} . \mathbf{E} \tag{5.4}$$

$$\mathbf{E} = \frac{\mathbf{T}}{\mathbf{t}} \tag{5.5}$$

T = total pergerakan pada masa mendatang di dalam daerah kajian

t = total pergerakan pada masa sekarang di dalam daerah kajian

Sebagai ilustrasi, berikut ini diberikan contoh perhitungan metode seragam dengan menggunakan MAT (4 x 4) seperti terlihat pada tabel 5.2.

Tabel 5.2 MAT pada masa sekarang dan tingkat pertumbuhan setiap zona

Zona	1	2	3	4	o_i	O_i	E_i
1	10	60	80	50	**200**	**300**	**1,50**
2	80	20	100	50	**250**	**250**	**1,00**
3	20	130	10	50	**210**	**420**	**2,00**
4	100	80	60	20	**260**	**650**	**2,50**
d_d	**210**	**290**	**250**	**170**	**920**		
D_d	**420**	**435**	**250**	**515**		**1.620**	
E_d	**2,00**	**1,50**	**1,00**	**3,03**			**1,76**

Dapat dilihat pada tabel 5.2 bahwa total pergerakan lalulintas di dalam daerah kajian meningkat sebesar 76% pada masa mendatang (dari **920** menjadi **1.620** pergerakan). Dengan metode seragam, secara sangat sederhana semua sel MAT (t_{id}) dikalikan dengan faktor **1,76** untuk mendapatkan MAT pada masa mendatang, seperti terlihat pada tabel 5.3.

Asumsi dasar yang digunakan pada metode ini adalah tingkat pertumbuhan global di seluruh daerah kajian berpengaruh sama pada pertumbuhan lalulintasnya secara merata atau seragam untuk setiap zona. Asumsi ini sering tidak dapat digunakan karena pada kenyataannya tingkat pertumbuhan setiap zona yang berbeda biasanya

menghasilkan tingkat pertumbuhan lalulintas yang berbeda pula. Ini menyebabkan galat yang besar untuk kota yang tingkat pertumbuhan tata guna lahannya tidak merata (seperti kenyataannya di kota besar di negara sedang berkembang).

Tabel 5.3 MAT pada masa mendatang dengan **E=1,76**

Zona	1	2	3	4	o_i	O_i
1	18	106	141	88	**353**	**300**
2	141	35	176	88	**440**	**250**
3	35	229	18	88	**370**	**420**
4	176	141	106	35	**458**	**650**
d_d	**370**	**511**	**441**	**299**	**1.620**	
D_d	**420**	**435**	**250**	**515**		**1.620**

Terlihat pada tabel 5.3 bahwa metode seragam tidak dapat menjamin dipenuhinya batasan bangkitan dan tarikan. Contohnya, untuk zona yang tingkat pertumbuhannya lebih rendah dari tingkat pertumbuhan global, penggunaan tingkat pertumbuhan global akan menghasilkan perkiraan lalulintas masa mendatang yang lebih tinggi dari yang diharapkan.

Sebaliknya, untuk zona yang tingkat pertumbuhannya lebih tinggi, akan menghasilkan perkiraan lalulintas masa mendatang yang lebih rendah dari yang diharapkan. Karena itulah metode ini hanya dapat digunakan untuk daerah kajian yang tingkat pertumbuhannya merata di seluruh wilayahnya. Jadi, metode ini dipastikan tidak bisa digunakan di Indonesia karena pertumbuhan daerahnya belum merata.

5.5.2 Metode dengan-satu-batasan

Terdapat dua jenis metode, yaitu metode dengan-batasan-bangkitan dan metode dengan-batasan-tarikan.

5.5.2.1 Metode dengan-batasan-bangkitan Metode ini digunakan jika informasi yang tersedia adalah perkiraan bangkitan pergerakan pada masa mendatang, sedangkan perkiraan tarikan pergerakan tidak tersedia atau dapat juga tersedia tetapi dengan tingkat akurasi yang rendah. Secara matematis metode ini dapat dinyatakan dengan persamaan (5.6) berikut.

$$T_{id} = t_{id} . E_i \tag{5.6}$$

Dengan menggunakan persamaan (5.6), pergerakan masa mendatang dapat dihitung dan terlihat pada tabel 5.4.

Terlihat bahwa metode dengan-batasan-bangkitan menjamin total bangkitan pergerakan setiap zona pada masa mendatang sama dengan yang diharapkan (terlihat dari nilai $E_i = 1$ untuk seluruh zona); begitu juga total pergerakan pada masa mendatang untuk seluruh daerah kajian sama dengan yang diharapkan.

Tabel 5.4 MAT pada masa mendatang dengan metode dengan-batasan-bangkitan

Zona	1	2	3	4	o_i	O_i	E_i
1	15	90	120	75	300	300	1,00
2	80	20	100	50	250	250	1,00
3	40	260	20	100	420	420	1,00
4	250	200	150	50	650	650	1,00
d_d	385	570	390	275	1.620		
D_d	420	435	250	515		1.620	
E_d	1,09	0,76	0,64	1,87			1,00

5.5.2.2 Metode dengan-batasan-tarikan Metode ini digunakan jika informasi yang tersedia adalah perkiraan tarikan pergerakan pada masa mendatang, sedangkan perkiraan bangkitan pergerakan tidak tersedia atau dapat juga tersedia tetapi akurasinya rendah. Secara matematis metode ini dapat dinyatakan dengan persamaan (5.7) berikut.

$$T_{id} = t_{id} . E_d \tag{5.7}$$

Dengan menggunakan persamaan (5.7), pergerakan masa mendatang dapat dihitung dan terlihat pada tabel 5.5.

Tabel 5.5 MAT pada masa mendatang dengan metode dengan-batasan-tarikan

Zona	1	2	3	4	o_i	O_i	E_i
1	20	90	80	151	341	300	0,88
2	160	30	100	151	441	250	0,57
3	40	195	10	151	396	420	1,06
4	200	120	60	62	442	650	1,47
d_d	420	435	250	515	1.620		
D_d	420	435	250	515		1.620	
E_d	1,00	1,00	1,00	1,00			1,00

Terlihat bahwa metode dengan-batasan-tarikan menjamin total tarikan pergerakan setiap zona pada masa mendatang sama dengan yang diharapkan (terlihat dari nilai $E_d = 1$ untuk seluruh zona); begitu juga total pergerakan pada masa mendatang untuk seluruh daerah kajian sama dengan yang diharapkan.

5.5.3 Metode dengan-dua-batasan

Terdapat empat buah metode yang telah dikembangkan sampai saat ini yang pada umumnya mencoba mengatasi kekurangan yang ada pada metode sebelumnya, yaitu permasalahan batasan bangkitan dan tarikan pergerakan. Keempat metode berikut ini menjamin besarnya bangkitan dan tarikan pergerakan pada masa mendatang sama dengan yang diharapkan.

5.5.3.1 Metode rata-rata Metode rata-rata adalah usaha pertama untuk mengatasi adanya tingkat pertumbuhan daerah yang berbeda-beda. Metode ini menggunakan tingkat pertumbuhan yang berbeda untuk setiap zona yang dapat dihasilkan dari peramalan tata guna lahan dan bangkitan lalulintas. Secara matematis, hal ini dapat dijelaskan sebagai berikut:

$$T_{id} = t_{id} \cdot \frac{E_i + E_d}{2} \tag{5.8}$$

$$E_i = \frac{T_i}{t_i} \quad \text{dan} \quad E_d = \frac{T_d}{t_d} \tag{5.9}$$

E_i, E_d = tingkat pertumbuhan zona ***i*** dan ***d***

T_i, T_d = total pergerakan masa mendatang yang berasal dari zona asal ***i*** atau yang menuju ke zona tujuan ***d***

t_i, t_d = total pergerakan masa sekarang yang berasal dari zona asal ***i*** atau yang menuju ke zona tujuan ***d***

Metode ini dijelaskan dengan menggunakan contoh MAT (4 x 4), termasuk informasi tingkat pertumbuhan setiap zona seperti terlihat pada tabel 5.2. Secara umum, total pergerakan masa mendatang yang dihasilkan tidak sama dengan total pergerakan yang didapat dari hasil analisis bangkitan lalulintas. Akan tetapi, yang diharapkan adalah:

$$T_i = T_{i(G)} \tag{5.10}$$

T_i = total pergerakan masa mendatang dengan zona asal ***i***

$T_{i(G)}$ = total pergerakan masa mendatang (dari analisis bangkitan lalulintas) dengan zona asal ***i***

Jadi, proses pengulangan harus dilakukan untuk meminimumkan besarnya perbedaan tersebut dengan mengatur nilai E_i dan E_d sampai $T_i = T_{i(G)}$ sehingga:

$$E_i^1 = \frac{T_{i(G)}}{T_i} \quad \text{dan} \quad E_d^1 = \frac{T_{d(G)}}{T_d} \tag{5.11}$$

Untuk pengulangan pertama digunakan persamaan (5.12) sehingga dihasilkan MAT baru seperti terlihat pada tabel 5.6:

$$T_{id}^1 = t_{id} \cdot \frac{E_i^1 + E_d^1}{2} \tag{5.12}$$

Tabel 5.6 MAT pada masa mendatang dengan metode rata-rata (hasil pengulangan ke-**1**)

Zona	1	2	3	4	o_i	O_i	E_I
1	17,5	90,0	100,0	113,2	**320,7**	**300**	**0,935**
2	120,0	25,0	100,0	100,7	**345,7**	**250**	**0,723**
3	40,0	227,5	15,0	125,7	**408,2**	**420**	**1,029**
4	225,0	160,0	105,0	55,3	**545,3**	**650**	**1,192**
d_d	**402,5**	**502,5**	**320,0**	**394,9**	**1.619,9**		
D_d	**420**	**435**	**250**	**515**		**1.620**	
E_d	**1,043**	**0,866**	**0,781**	**1,304**			**1,001**

Proses pengulangan terus dilakukan sampai $T_i = T_{i(G)}$ dan $T_d = T_{d(G)}$. Hal tersebut tercapai pada pengulangan ke-**12** yang menghasilkan MAT akhir (setelah pembulatan) seperti terlihat pada tabel 5.7.

Tabel 5.7 MAT pada masa mendatang dengan metode rata-rata (hasil pengulangan ke-**12**)

Zona	1	2	3	4	o_I	O_i	E_i
1	16	66	74	144	300	300	1,000
2	85	14	54	98	250	250	1,000
3	41	189	13	178	420	420	1,000
4	279	166	110	95	650	650	1,000
d_d	421	435	250	515	1.620		
D_d	420	435	250	515		1.620	
E_d	0,999	1,000	1,000	1,000			1,000

Terdapat beberapa kelemahan pada metode rata-rata ini karena besarnya perbedaan tidak tersebar secara acak, tetapi tergantung pada nilai tingkat pertumbuhan. Contohnya, zona yang tingkat pertumbuhannya lebih rendah dari tingkat pertumbuhan global akan menghasilkan nilai yang lebih besar dari perkiraan.

Akan tetapi, hal yang sebaliknya terjadi pada zona yang tingkat pertumbuhannya lebih tinggi dari tingkat pertumbuhan global. Besarnya perbedaan tersebut akan semakin berkurang sejalan dengan proses pengulangan, tetapi jika jumlah pengulangan yang dibutuhkan sangat banyak, tingkat ketepatan pun semakin berkurang. Oleh sebab itu, metode ini sekarang sudah jarang digunakan.

5.5.3.2 Metode Fratar **Fratar (1954)** mengembangkan metode yang mencoba mengatasi kekurangan metode seragam dan metode rata-rata. Asumsi dasar metode ini adalah:

a sebaran pergerakan dari zona asal pada masa mendatang sebanding dengan sebaran pergerakan pada masa sekarang;

b sebaran pergerakan pada masa mendatang dimodifikasi dengan nilai tingkat pertumbuhan zona tujuan pergerakan tersebut.

Modifikasi ini mempertimbangkan adanya pengaruh lokasi tempat tujuan yang berbanding terbalik dari rata-rata daya tarik tempat tujuan. Secara umum, metode ini memperhatikan:

- perkiraan jumlah pergerakan yang dihasilkan dari atau tertarik ke suatu zona (hal ini didapatkan dari tahapan bangkitan pergerakan);
- proses sebaran pergerakan masa mendatang dari setiap zona yang berbanding lurus dengan pergerakan pada masa sekarang dimodifikasi dengan tingkat pertumbuhan zona tujuan pergerakan. Ini menghasilkan dua nilai untuk setiap pergerakan (***i–d*** dan ***d–i***); seterusnya rata-rata dari nilai ini dipakai sebagai pendekatan pertama bagi pergerakan yang terjadi.

- untuk setiap zona, jumlah hasil pendekatan pertama dibagi dengan total pergerakan yang diperkirakan (dihasilkan dari tahapan bangkitan pergerakan), untuk mendapatkan nilai tingkat pertumbuhan yang baru yang selanjutnya digunakan sebagai pendekatan kedua.
- pergerakan yang dihasilkan pada pendekatan pertama yang kemudian disebarkan, dan ini sebanding dengan pergerakan pada masa sekarang dan nilai tingkat pertumbuhan yang baru (hasil pendekatan pertama). Kedua nilai ini kemudian dirata-ratakan dan proses diulangi sampai tercapai kesesuaian antara pergerakan yang dihitung dengan yang diinginkan.

Secara matematis, metode Fratar dapat dinyatakan sebagai:

$$T_{id} = t_{id} . E_i . E_d . \frac{(L_i + L_d)}{2} \tag{5.13}$$

$$L_i = \frac{\sum_{k \neq i}^{N} t_{ik}}{\sum_{k \neq i}^{N} E_k . t_k} \quad \text{dan} \quad L_d = \frac{\sum_{k \neq d}^{N} t_{dk}}{\sum_{k \neq d}^{N} E_k . t_k} \tag{5.14}$$

Proses pengulangan cukup rumit dan membutuhkan proses perhitungan yang cukup panjang. **Davinroy *et al* (1963)** menyimpulkan bahwa metode seragam, rata-rata, dan Fratar mempunyai ketepatan yang kira-kira sama. Metode Fratar membutuhkan jumlah pengulangan yang lebih sedikit dibandingkan dengan dua metode lainnya, tetapi perhitungannya yang cukup rumit pada akhirnya secara keseluruhan tidak menguntungkan proses perhitungan dan menyebabkan metode Fratar ini menjadi tidak populer digunakan.

Perlu diketahui pada saat itu pengembangan penelitian diarahkan selain dari usaha peningkatan akurasi tetapi juga pada usaha menghasilkan proses perhitungan yang efisien (jumlah pengulangan yang sekecil mungkin dan proses perhitungan yang sesederhana mungkin).

5.5.3.3 Metode Detroit Metode ini dikembangkan bersamaan dengan pelaksanaan pekerjaan *Detroit Metropolitan Area Traffic Study* dalam usaha mengatasi kekurangan metode sebelumnya dan sekaligus mengurangi waktu operasi komputer.

Prosesnya mirip dengan metode rata-rata dan Fratar, tetapi mempunyai asumsi bahwa: walaupun jumlah pergerakan dari zona ***i*** meningkat sesuai dengan tingkat pertumbuhan E_i, pergerakan ini harus juga disebarkan ke zona ***d*** sebanding dengan E_d dibagi dengan tingkat pertumbuhan global (**E**) yang secara umum dapat dinyatakan sebagai:

$$T_{id} = t_{id} . \frac{E_i . E_d}{E} \tag{5.15}$$

Dengan menggunakan data awal MAT yang sama seperti tabel 5.2, maka dengan metode Detroit dihasilkan MAT pada pengulangan ke-**1** seperti pada tabel 5.8.

Tabel 5.8 MAT pada masa mendatang dengan metode Detroit (hasil pengulangan ke-**1**)

Zona	1	2	3	4	o_I	O_i	E_I
1	17,0	76,7	68,1	129,0	**290,8**	**300**	**1,031**
2	90,9	17,0	56,8	86,0	**250,7**	**250**	**0,997**
3	45,4	221,5	11,4	172,0	**450,3**	**420**	**0,933**
4	284,0	170,4	85,2	86,0	**625,5**	**650**	**1,039**
d_d	**437,3**	**485,6**	**221,5**	**473,1**	**1.617,2**		
D_d	**420**	**435**	**250**	**515**		**1.620**	
E_d	**0,960**	**0,896**	**1,129**	**1,089**			**1,002**

Seperti halnya dengan metode rata-rata dan Fratar, proses diulangi sampai dicapai tingkat kesesuaian yang diinginkan (T_i=$T_{i(G)}$). Hal tersebut tercapai pada pengulangan ke-**8**, sehingga dihasilkan MAT akhir (setelah pembulatan) seperti terlihat pada tabel 5.9. Tingkat pertumbuhan yang digunakan lebih sederhana dibandingkan dengan metode Fratar. Waktu komputasi menjadi lebih singkat karena jumlah pengulangan yang lebih sedikit.

Tabel 5.9 MAT pada masa mendatang dengan metode Detroit (hasil pengulangan ke-**8**)

Zona	1	2	3	4	o_i	O_i	E_i
1	16	68	75	141	**300**	**300**	**1,000**
2	82	15	61	92	**250**	**250**	**1,000**
3	40	189	12	180	**421**	**420**	**0,999**
4	283	164	101	102	**650**	**650**	**1,000**
d_d	**421**	**436**	**249**	**515**	**1.620**		
D_d	**420**	**435**	**250**	**515**		**1.620**	
E_d	**0,999**	**0,999**	**1,001**	**1,000**			**1,000**

5.5.3.4 Metode Furness **Furness (1965)** mengembangkan metode yang pada saat sekarang sangat sering digunakan dalam perencanaan transportasi. Metodenya sangat sederhana dan mudah digunakan. Pada metode ini, sebaran pergerakan pada masa mendatang didapatkan dengan mengalikan sebaran pergerakan pada saat sekarang dengan tingkat pertumbuhan zona asal atau zona tujuan yang dilakukan secara bergantian. Secara matematis, metode Furness dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$T_{id} = t_{id} \,.E_i \tag{5.16}$$

Pada metode ini, pergerakan awal (masa sekarang) pertama kali dikalikan dengan tingkat pertumbuhan zona asal. Hasilnya kemudian dikalikan dengan tingkat pertumbuhan zona tujuan dan zona asal secara bergantian (modifikasi harus dilakukan setelah setiap perkalian) sampai total sel MAT untuk setiap arah (baris atau kolom) kira-kira sama dengan total sel MAT yang diinginkan.

Dengan menggunakan data awal MAT yang sama seperti tabel 5.2, maka dengan metode Furness dihasilkan MAT pada pengulangan ke-**1** yang didapat dengan

mengalikan sel MAT pada saat sekarang dengan tingkat pertumbuhan zona asal (E_i) seperti terlihat pada tabel 5.10.

Tabel 5.10 MAT pada masa mendatang dengan metode Furness (hasil pengulangan ke-**1**)

Zona	1	2	3	4	o_i	O_i	E_i
1	15,0	90,0	120,0	75,0	**300,0**	**300**	**1,000**
2	80,0	20,0	100,0	50,0	**250,0**	**250**	**1,000**
3	40,0	260,0	20,0	100,0	**420,0**	**420**	**1,000**
4	250,0	200,0	150,0	50,0	**650,0**	**650**	**1,000**
d_d	**385,0**	**570,0**	**390,0**	**275,0**	**1.620,0**		
D_d	**420**	**435**	**250**	**515**		**1.620**	
E_d	**1,091**	**0,763**	**0,641**	**1,873**			**1,000**

Selanjutnya, pada pengulangan ke-**2**, sel MAT yang dihasilkan pada pengulangan ke-**1** dikalikan dengan tingkat pertumbuhan zona tujuan (E_d) untuk menghasilkan MAT pengulangan ke-**2**, seperti terlihat pada tabel 5.11.

Tabel 5.11 MAT pada masa mendatang dengan metode Furness (hasil pengulangan ke-**2**)

Zona	1	2	3	4	o_i	O_i	E_i
1	16,4	68,7	76,9	140,5	**302,4**	**300**	**0,992**
2	87,3	15,3	64,1	93,6	**260,3**	**250**	**0,961**
3	43,6	198,4	12,8	187,3	**442,2**	**420**	**0,950**
4	272,7	152,6	96,2	93,6	**615,1**	**650**	**1,057**
d_d	**420,0**	**435,0**	**250,0**	**515,0**	**1.620,0**		
D_d	**420**	**435**	**250**	**515**		**1.620**	
E_d	**1,000**	**1,000**	**1,000**	**1,000**			**1,000**

Hal tersebut dilakukan terus menerus secara bergantian sehingga total sel MAT yang dihasilkan (baris ataupun kolom) sesuai dengan total sel MAT yang diinginkan. Tabel 5.12 adalah MAT yang dihasilkan metode Furness (setelah pembulatan) setelah pengulangan ke-**6**.

Tabel 5.12 MAT pada masa mendatang dengan metode Furness (hasil pengulangan ke-**6**)

Zona	1	2	3	4	O_i	O_i	E_i
1	16	68	75	141	**300**	**300**	**1,000**
2	82	15	61	92	**250**	**250**	**1,000**
3	40	188	12	180	**421**	**420**	**0,999**
4	282	164	102	102	**649**	**650**	**1,001**
d_d	**420**	**435**	**250**	**515**	**1.620**		
D_d	**420**	**435**	**250**	**515**		**1.620**	
E_d	**1,000**	**1,000**	**1,000**	**1,000**			**1,000**

Evans (1970) menunjukkan bahwa metode Furness selalu mempunyai satu solusi akhir dan terbukti lebih efisien dibandingkan dengan metode analogi lainnya. Solusi akhir pasti selalu sama, tidak tergantung dari mana pengulangan dimulai (baris atau kolom). Beberapa peneliti berusaha mempercepat proses pengulangan metode Furness (lihat **Robillard and Stewart, 1974**; **Mekky, 1983; Maher, 1983b**).

Penurunan teori metode Furness dapat dihasilkan dengan meminimumkan **statistik informasi yang diharapkan** (**Morphet, 1975**) atau memaksimumkan **ukuran entropi** (**Evans, 1970**). Dibuktikan bahwa metode Furness menghasilkan sebaran pergerakan yang memaksimumkan entropi dan meminimumkan informasi yang diharapkan, tergantung pada batasan asal tujuan. **Lamond and Stewart** (**1981**) memperlihatkan bahwa proses keseimbangan metode Furness sebenarnya merupakan kasus khusus yang dapat dihasilkan oleh metode keseimbangan Bregman. Penjelasan rinci mengenai hal tersebut dapat dilihat pada **Bregman** (**1967**).

5.5.4 Keuntungan dan kerugian

Beberapa keuntungan metode analogi adalah sebagai berikut:

- mudah dimengerti dan digunakan, hanya membutuhkan data pergerakan antarzona (MAT) pada masa sekarang dan perkiraan tingkat pertumbuhan zona pada masa mendatang yang sederhana;
- proses pengulangannya sederhana;
- data aksesibilitas (waktu, jarak, dan biaya) antarzona tidak diperlukan;
- penggunaannya fleksibel, misalnya untuk moda transportasi lain, untuk tujuan perjalanan yang berbeda, untuk selang waktu yang berbeda, dan juga dapat digunakan untuk arah pergerakan yang berbeda;
- sudah sering diabsahkan dan menghasilkan tingkat ketepatan yang cukup tinggi jika digunakan pada daerah yang pola pengembangan wilayahnya stabil.

Akan tetapi, selain keuntungan, terdapat juga beberapa permasalahan yang sering timbul dalam pemakaiannya. Di antaranya adalah yng berikut ini.

- Metode ini membutuhkan masukan data lengkap dari seluruh pergerakan antarzona pada saat sekarang (t_{id}); informasi ini tentu sangat mahal.
- Dibutuhkan jumlah zona yang selalu tetap; dengan kata lain, tidak boleh ditambah dengan zona baru sehingga agak susah digunakan karena biasanya pada masa mendatang selalu ada pertambahan zona baru. Oleh karena itu, untuk mengantisipasi perubahan jumlah zona tersebut, diperlukan 'manipulasi' dengan menganggap pada masa sekarang jumlah zona yang digunakan adalah jumlah zona pada masa mendatang dengan pergerakan yang cukup kecil. Realitanya, pergerakan tersebut memang belum ada pada masa sekarang.
- Kelemahan yang paling utama adalah jika ditemukan bahwa antara dua buah zona pada saat sekarang belum terjadi pergerakan ($t_{id} = 0$) atau mungkin karena ada galat survei atau hal lainnya. Dalam hal ini, tidak akan pernah didapatkan

ramalan pergerakan tersebut pada masa mendatang. Untuk itu, sekali lagi, diperlukan 'manipulasi' data dengan menganggap telah terjadi pergerakan dengan volume yang sangat kecil, misalnya ($t_{id} = 1$) untuk menghindari adanya batasan kelemahan matematis tersebut.

- Pergerakan intrazona (***i=d***) tidak diperhitungkan pada metode ini sehingga meningkatkan galat dan membutuhkan jumlah pengulangan yang semakin banyak yang selanjutnya memungkinkan terciptanya galat yang semakin besar.
- Kelemahan lain, jika pada masa sekarang terdapat sel matriks yang tidak didapatkan informasi pergerakannya (datanya tidak ada), maka sel matriks tersebut tidak akan pernah bisa didapatkan pergerakan masa mendatangnya. Karena itu, metode ini tidak dapat digunakan untuk melengkapi sel matriks yang kosong dengan menambahkannya dari matriks parsial.
- Metode ini sangat tergantung pada tingkat akurasi informasi pergerakan antarzona pada masa sekarang. Setiap galat yang ada pada masa sekarang akan terus membesar setiap kali dilakukan proses pengulangan. Selain itu, karena adanya kemungkinan galat statistik yang cukup tinggi, penggunaan tingkat pertumbuhan untuk pergerakan yang rendah pada masa sekarang akan menghasilkan perkiraan yang tidak realistis pada masa mendatang. Tingkat pertumbuhan setiap zona didapat dengan proses pendekatan yang kasar sehingga metode analogi ini sangat tergantung pada ketepatannya.
- Asumsi mengenai 'tidak ada perubahan pada aksesibilitas' juga dikritik orang. Dengan kata lain, sebaran pergerakan hanya tergantung pada pola perjalanan pada saat sekarang dan perkiraan tingkat pertumbuhannya. Oleh karena itu, metode ini tidak bisa digunakan untuk daerah yang pada masa mendatang mengalami perubahan aksesibilitas yang nyata pada sistem jaringan transportasinya, misalnya pelebaran jalan, pembangunan jalan baru, dan pembangunan jalan bebas hambatan.

  Jadi, model ini tidak cocok untuk peramalan untuk waktu yang cukup panjang. Untuk itu diperlukan metode yang juga memperhitungkan adanya perubahan aksesibilitas, selain perubahan tingkat pertumbuhan setiap zona (metode sintetis yang diterangkan pada subbab 5.6–5.9).
- Untuk selang waktu yang pendek dan di daerah yang stabil pengembangan wilayahnya, metode ini dapat digunakan dengan baik. Sebaliknya, metode ini tidak dapat digunakan pada daerah yang pesat pengembangan wilayahnya dan tajam peningkatan aksesibilitas sistem jaringan transportasinya. Karena batasan di atas, metode analogi sangat jarang digunakan dalam kajian transportasi di masa sekarang.

Model sintetis lebih sering digunakan, yang pada dasarnya berusaha menggambarkan hubungan antara tata guna lahan dan transportasi dalam pemodelan. Model ini berusaha memperhitungkan alasan orang melakukan perjalanan, dan secara rinci dijelaskan berikut ini.

5.6 Metode sintetis

Beberapa kelemahan utama metode analogi telah mendorong orang untuk mengembangkan metode alternatif lain, yang sering dikenal dengan **metode sintetis**. Metode didasarkan pada asumsi: (***i***) sebelum pergerakan pada masa mendatang diramalkan, terlebih dahulu harus dipahami alasan terjadinya pergerakan pada masa sekarang; (***ii***) alasan tersebut kemudian dimodelkan dengan menggunakan analogi hukum alam yang sering terjadi.

Prinsip yang menggarisbawahi metode ini adalah pergerakan dari zona asal ke zona tujuan berbanding lurus dengan besarnya bangkitan lalulintas di zona asal dan juga tarikan lalulintas di zona tujuan serta berbanding terbalik dengan jarak (kemudahan) antara kedua zona tersebut. Menggunakan model semacam ini secara tidak langsung sudah membatasi pemodelan pola pergerakan dan ini tentu menyebabkan informasi yang dibutuhkan semakin sedikit serta survei semakin berkurang.

Disarankan juga pemakaian parameter dari model yang 'dipinjam' dari kajian di daerah lain yang cirinya hampir sama. Kritik terhadap pendekatan ini adalah bahwa tidak pernah ada dua tempat yang cirinya persis sama. Jadi, peminjaman parameter dari suatu model sangat jarang dilakukan, kecuali untuk perkiraan kasar saja. Metode sintetis juga dapat digunakan untuk mengisi sel MAT yang tidak dapat dihasilkan oleh metode langsung.

Model yang berskala regional dan perkotaan mempunyai dua hal utama yang perlu diperhatikan. Pertama, pengembangan model merupakan akar semua aktivitas ilmiah; pemodelan berskala regional dan perkotaan merupakan bagian dari usaha untuk mendapatkan pengertian yang bersifat ilmiah mengenai hal tersebut. Kedua, jika permasalahan timbul, beberapa hal yang berkaitan dengan usaha pemecahan masalah akan menjadi lebih penting. Hal ini membutuhkan teknik pemodelan berskala regional dan perkotaan yang perlu diperhatikan untuk mengatasi permasalahan yang bersifat baik praktis maupun teori.

Kebanyakan model berskala regional dan perkotaan dibentuk dari fakta yang menyatakan bahwa arus barang dan energi dibutuhkan untuk menghasilkan model matematis yang dapat digunakan untuk mempelajari perkembangan tata guna lahan. Contohnya, jumlah bahan organik yang mengalir di permukaan tanah bergantung pada jumlah daun yang gugur dan tingkat pembusukan serta translokasinya. Dalam hal ini, model menggunakan pergerakan sebagai peubah tidak bebas yang digunakan untuk meramalkan nilai peubah bebas yang menggambarkan aspek struktural dari kondisi fisik lahan.

Dalam kaitannya dengan hal tersebut, jika arus barang dan orang yang bergerak pada suatu tata guna lahan hendak dipelajari, harus dilakukan pemodelan hubungan antara arus dan penyebabnya. Arus pergerakan (interaksi spasial) dapat dipelajari dengan membuat model yang mengaitkan besar dan arah arus (peubah tidak bebas) dengan peubah bebas sebagai ukuran struktur tata guna lahan.

Contohnya, pola pergerakan (untuk pergi bekerja) dalam kota dapat dimodel dengan menggunakan beberapa peubah seperti sebaran lokasi pekerja, lokasi lapangan pekerjaan, dan biaya perjalanan. Hal yang sama, arus pergerakan untuk berbelanja

dapat diperkirakan dengan mempelajari tingkat kemampuan daya beli dan luas pusat perbelanjaan.

Berbagai bentuk model disarankan untuk memperkirakan kebutuhan transportasi; mulai dari **model agregat** yang sangat sederhana sampai dengan pendekatan **model tidak-agregat** yang rumit. Meskipun, model tidak-agregat menjamin hasil yang lebih tepat (lihat **Daly, 1982**; **Gunn and Bates, 1982**; **Daly *et al***, **1983**), model agregat lebih sering digunakan untuk peramalan.

Carey *et al* (**1981**) dan **Carey and Revelli** (**1986**) menggunakan model kebutuhan langsung yang menerangkan bahwa parameter model dikalibrasi dengan menggunakan data arus lalulintas. Akan tetapi, pada buku ini, kita hanya membicarakan pada model agregat karena jenis model seperti ini berpotensi baik dan menguntungkan.

Model untuk perencanaan transportasi biasanya diturunkan dari prinsip dasar fisika, seperti hukum *gravity* dan prinsip entropi. Pemikiran bahwa interaksi antara dua tata guna lahan dapat diartikan sama dengan gaya tarik atau tolak pada model *gravity* yang pertama kali diperkenalkan pada tahun 1850. Akan tetapi, model *gravity* untuk transportasi perkotaan pertama kali digunakan satu abad kemudian, yaitu pada tahun 1955 (**Casey**, **1955**). Beberapa bentuk model sintetis diterangkan secara lebih rinci dalam subbab berikut ini.

5.7 Model *gravity* (GR)

5.7.1 Analogi

Metode sintetis (interaksi spasial) yang paling terkenal dan sering digunakan adalah model *gravity* (GR) karena sangat sederhana sehingga mudah dimengerti dan digunakan. Model ini menggunakan konsep *gravity* yang diperkenalkan oleh Newton pada tahun 1686 yang dikembangkan dari analogi hukum gravitasi.

Metode ini berasumsi bahwa ciri bangkitan dan tarikan pergerakan berkaitan dengan beberapa parameter zona asal, misalnya populasi dan nilai sel MAT yang berkaitan juga dengan aksesibilitas (kemudahan) sebagai fungsi jarak, waktu, atau pun biaya. Newton menyatakan bahwa (F_{id}) gaya tarik atau tolak antara dua kutub massa berbanding lurus dengan massanya, m_i dan m_d, dan berbanding terbalik kuadratis dengan jarak antara kedua massa tersebut, d_{id}^2 , yang dapat dinyatakan dengan:

$$F_{id} = \mathbf{G}\frac{m_i m_d}{d_{id}^2} \qquad \text{dengan } \mathbf{G} \text{ adalah konstanta gravitasi} \qquad (5.17)$$

Dalam ilmu geografi, **gaya** dapat dianggap sebagai pergerakan antara dua daerah; sedangkan **massa** dapat digantikan dengan peubah seperti populasi atau bangkitan dan tarikan pergerakan; serta jarak, waktu, atau biaya sebagai ukuran aksesibilitas (kemudahan). Jadi, untuk keperluan transportasi, model GR dinyatakan sebagai:

$$T_{id} = \mathbf{k}\frac{O_i O_d}{d_{id}^2} \qquad \text{dengan } \mathbf{k} \text{ adalah konstanta} \qquad (5.18)$$

Model ini mempunyai beberapa hal yang perlu diperhatikan. Dikatakan bahwa pergerakan antara zona asal ***i*** dan zona tujuan ***d*** berbanding lurus dengan O_i dan D_d dan berbanding terbalik kuadratis terhadap jarak antara kedua zona tersebut. Jadi, dalam bentuk matematis, model GR dapat dinyatakan sebagai:

$$T_{id} \approx O_i . D_d . f(C_{id}) \tag{5.19}$$

Walaupun kelihatan realistis, bila diteliti lebih mendalam, persamaan (5.18) menghasilkan kenyataan yang membingungkan dan merupakan kesalahan fatal jika digunakan dalam aspek transportasi.

Jika salah satu nilai O_i dan salah satu nilai D_d menjadi dua kali, pergerakan antara kedua zona meningkat empat kali sesuai dengan persamaan (5.18); sebenarnya pergerakan diperkirakan meningkat hanya dua kali. Untuk menjawab hal ini, persamaan yang membatasi T_{id} diperlukan, dan batasan tersebut tidak dapat dipenuhi oleh persamaan (5.18).

$$\sum_d T_{id} = O_i \text{ dan } \sum_i T_{id} = D_d \tag{5.20}$$

O_i dan D_d menyatakan jumlah pergerakan yang berasal dari zona ***i*** dan yang berakhir di zona ***d.*** Oleh karena itu, penjumlahan sel MAT menurut 'baris' menghasilkan total pergerakan yang berasal dari setiap zona, sedangkan penjumlahan menurut 'kolom' menghasilkan total pergerakan yang menuju ke setiap zona. Pengembangan persamaan (5.19), dengan batasan persamaan (5.20), menghasilkan persamaan (5.21) berikut:

$$T_{id} = O_i . D_d . A_i . B_d . f(C_{id}) \tag{5.21}$$

Kedua persamaan pembatas (5.20) dipenuhi jika digunakan konstanta A_i dan B_d, yang terkait dengan setiap zona bangkitan dan tarikan. Konstanta itu disebut **faktor penyeimbang**.

$$A_i = \frac{1}{\sum_d (B_d D_d f_{id})} \text{ dan } B_d = \frac{1}{\sum_i (A_i O_i f_{id})} \tag{5.22}$$

Selain itu, **Dacey and Norcliffe** (**1977**) mengembangkan model **sebaran pergerakan dengan-dua-batasan** dengan batasan yang tidak terlalu mengikat seperti yang ditunjukkan dalam persamaan (5.23):

$$0 \le \sum_d T_{id} \le N_i \quad \text{dan} \quad 0 \le \sum_i T_{id} \le M_d \tag{5.23}$$

$$\sum_i \sum_d T_{id} = \mathrm{T} \tag{5.24}$$

N_i dan M_d adalah total pergerakan maksimum dan **T** adalah total pergerakan yang dilakukan dalam sistem tersebut. Sejauh ini, tidak ada bukti yang mendukung bahwa jarak memegang peranan yang sama dalam sektor transportasi [persamaan (5.18)] seperti yang berlaku dalam hukum fisika *Newton*. Jadi, perlu digunakan bentuk umum jarak, waktu, dan biaya yang biasa disebut fungsi hambatan atau hambatan transportasi.

Persamaan A_i dan B_d didapatkan secara berulang-ulang dan dapat dengan mudah dicek bahwa T_{id} pada persamaan (5.19) sudah memenuhi batasan persamaan (5.20). Kita dapat menghitung nilai B_d untuk setiap d dengan menggunakan persamaan (5.20), yang nilainya kemudian digunakan lagi untuk menghitung kembali nilai A_i. Proses ini diulangi sampai nilai A_i dan B_d menghasilkan nilai tertentu (konvergen).

Prosedur penyeimbang yang dilakukan mirip dengan metode Furness yang sudah dibuktikan oleh **Evans** (**1970**) akan selalu menghasilkan nilai A_i dan B_d dari setiap nilai awal apa pun. **Lamond and Stewart** (**1981**) membuktikan bahwa metode Furness bisa didapat sebagai kasus khusus dari metode penyeimbang Bregman.

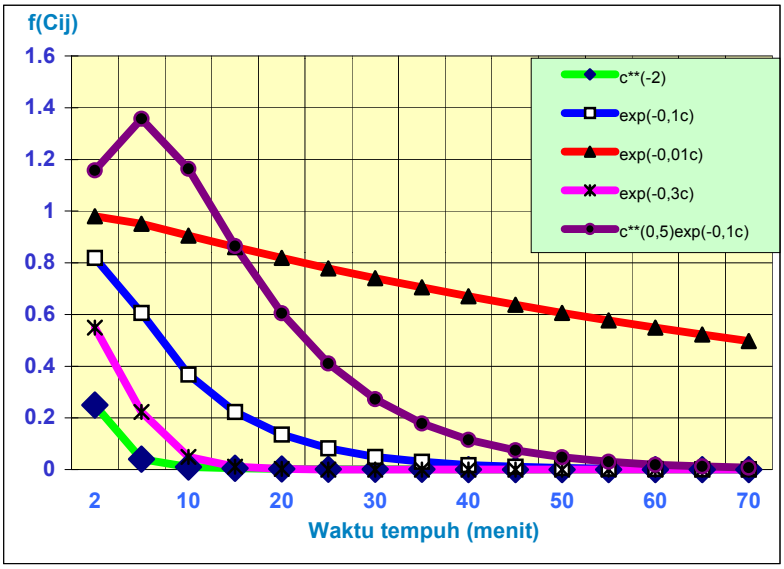
Selanjutnya, **Robillard and Stewart** (**1974**) dan **Erlander** (**1978**) membuktikan bahwa prosedur penyeimbang yang digunakan oleh metode Furness untuk mendapatkan nilai A_i dan B_d pada kenyataannya merupakan versi sederhana dari metode Newton.

5.7.2 Fungsi hambatan

Hal yang terpenting untuk diketahui adalah f_{id} harus dianggap sebagai ukuran aksesibilitas (kemudahan) antara zona i dengan zona d. **Hyman** (**1969**) menyarankan tiga jenis fungsi hambatan yang dapat digunakan dalam model GR:

- $f(C_{id}) = C_{id}^{-\alpha}$ (fungsi pangkat) (5.25)
- $f(C_{id}) = e^{-\beta C_{id}}$ (fungsi eksponensial-negatif) (5.26)
- $f(C_{id}) = C_{id}^{\alpha} . e^{-\beta C_{id}}$ (fungsi Tanner) (5.27)

Bentuk umum ketiga fungsi hambatan ini untuk nilai parameter yang berbeda-beda dapat dilihat pada gambar 5.4.



Gambar 5.4 Bentuk umum fungsi hambatan
Sumber: Ortuzar and Willumsen (1994)

N_i dan M_d adalah total pergerakan maksimum dan **T** adalah total pergerakan yang dilakukan dalam sistem tersebut. Sejauh ini, tidak ada bukti yang mendukung bahwa jarak memegang peranan yang sama dalam sektor transportasi [persamaan (5.18)] seperti yang berlaku dalam hukum fisika *Newton*. Jadi, perlu digunakan bentuk umum jarak, waktu, dan biaya yang biasa disebut fungsi hambatan atau hambatan transportasi.

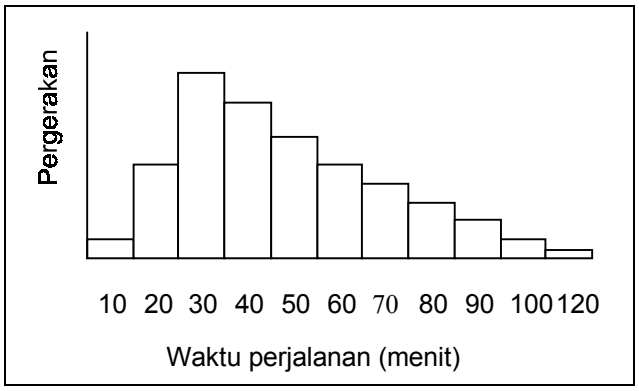
Nilai hambatan transportasi biasanya diasumsikan sebagai rute terpendek, tercepat, atau termurah, dari zona asal ke zona tujuan. Dari zona asal ke zona tujuan dalam suatu sistem terdapat beberapa kemungkinan rute. Rute yang memungkinkan dari zona ***i*** disebut **pohon**.

Komputer dibutuhkan untuk membentuk pohon dari zona ***i*** karena terdapat banyaknya kombinasi ruas yang menghasilkan kemungkinan rute yang sangat banyak. Rute terpendek (dalam hal biaya, jarak, dan waktu) dari zona ***i*** ke zona lainnya disebut **uraian pohon**. Rute tersebut adalah rute yang digunakan untuk menghitung hambatan transportasi.

Hal yang perlu mendapat perhatian adalah hambatan transportasi intrazona. Perkiraan yang salah menyebabkan perkiraan pergerakan intrazona yang sangat kasar, yang selanjutnya mempengaruhi perhitungan. Secara praktis, harus terdapat banyak asumsi untuk bisa mendapatkan jawaban yang benar. Hal yang paling mungkin adalah dengan menghitung pergerakan intrazona secara terpisah dan kemudian menghilangkan pergerakan tersebut dari pemodelan utama.

5.7.3 Sebaran panjang pergerakan

Di samping mengkalibrasi parameter model kebutuhan akan transportasi, seringkali diperlukan juga informasi sebaran perjalanan yang didasarkan pada panjang (atau biaya) perjalanan, yang biasa dikenal dengan **sebaran panjang pergerakan**. Khusus untuk perjalanan dalam daerah perkotaan, dan lebih khusus lagi dalam hal perjalanan dengan kendaraan bermotor, sebaran ini mempunyai bentuk umum seperti yang diperlihatkan pada gambar 5.5. Terlihat bahwa terdapat hanya sedikit perjalanan jarak pendek, yang diikuti dengan sejumlah besar jarak menengah.



Gambar 5.5
Bentuk tipikal sebaran panjang pergerakan di daerah perkotaan

Dengan semakin meningkatnya jarak atau biaya, jumlah perjalanan kembali menurun. Dengan mengacu pada gambar 5.4, fungsi eksponensial dan pangkat cukup baik untuk menggambarkan bagian kanan kurva sebaran, tetapi tidak untuk

bagian kirinya. Kedua bagian ini dapat diwakili secara baik dengan fungsi Tanner. Sebaran panjang pergerakan sebaiknya diketahui untuk dapat memperkirakan jenis fungsi hambatan yang paling cocok untuk digunakan.

5.7.4 Jenis model *gravity*

Seperti telah dijelaskan terdapat 4 jenis model GR yaitu **tanpa-batasan (UCGR)**, **dengan-batasan-bangkitan (PCGR)**, **dengan-batasan-tarikan (ACGR)**, dan **dengan-batasan-bangkitan-tarikan (PACGR)**. Model PCGR dan ACGR sering disebut **model dengan-satu-batasan (SCGR)**, sedangkan model PACGR disebut **model dengan-dua-batasan (DCGR)**.

Semua batasan ini tertuang dalam persamaan (5.21)–(5.22) yang merupakan persamaan model GR yang sering digunakan. Penjelasan di atas menunjukkan bahwa model tersebut dapat diturunkan secara heuristik dengan mengikuti analogi hukum gravitasi Newton. Persamaan (5.21)–(5.22) dikenal sebagai model DCGR. Versi lain yang dikenal dengan model SCGR juga dapat dihasilkan. Dengan menetapkan nilai $\boldsymbol{B_d = 1}$ untuk semua $\boldsymbol{d}$ untuk menghilangkan batasan bangkitan pergerakan ($\boldsymbol{O_i}$), maka model PCGR bisa dihasilkan.

Selanjutnya, dengan menetapkan nilai $\boldsymbol{A_i = 1}$ untuk semua $\boldsymbol{i}$ untuk menghilangkan batasan tarikan pergerakan ($\boldsymbol{D_d}$), maka bentuk model lain akan dihasilkan yang biasa disebut dengan model ACGR. Terakhir, dengan mengabaikan batasan bangkitan dan tarikan, dihasilkan model UCGR.

5.7.4.1 Model UCGR Model ini sedikitnya mempunyai satu batasan, yaitu total pergerakan yang dihasilkan harus sama dengan total pergerakan yang diperkirakan dari tahap bangkitan pergerakan. Model ini bersifat tanpa-batasan, dalam arti bahwa model tidak diharuskan menghasilkan total yang sama dengan total pergerakan dari dan ke setiap zona yang diperkirakan oleh tahap bangkitan pergerakan. Model tersebut dapat dituliskan sebagai:

$$\boldsymbol{T_{id} = O_i \,.\, D_d \,.\, A_i \,.\, B_d \,.\, f(C_{id})} \qquad (5.28)$$

$\boldsymbol{A_i = 1}$ untuk seluruh $\boldsymbol{i}$ dan $\boldsymbol{B_d = 1}$ untuk seluruh $\boldsymbol{d}$.

Sebagai ilustrasi, berikut ini diberikan contoh perhitungan model UCGR. Pertimbangkan daerah kajian dengan 4 zona. Dari hasil tahap bangkitan pergerakan diperkirakan terjadi bangkitan dan tarikan dari setiap zona seperti terlihat pada tabel 5.13.

Tabel 5.13 Bangkitan dan tarikan pergerakan pada setiap zona

Zona	1	2	3	4	O_i
1					**200**
2					**300**
3					**350**
4					**150**
D_d	**300**	**200**	**150**	**350**	**1.000**

Selain itu, terdapat juga informasi mengenai aksesibilitas antarzona yang dapat berupa jarak, waktu tempuh, dan biaya perjalanan antarzona seperti yang terlihat pada tabel 5.14.

Tabel 5.14 Matriks biaya (C_{id})

Zona	1	2	3	4
1	5	20	35	50
2	15	10	50	25
3	55	25	10	30
4	25	15	45	5

Dengan menganggap fungsi hambatan mengikuti fungsi eksponensial-negatif, didapat matriks $\exp(-\beta C_{id})$ seperti terlihat pada tabel 5.15 dengan menganggap nilai $\beta = 0.095$.

Tabel 5.15 Matriks $\exp(-\beta C_{id})$

Zona	1	2	3	4
1	0,621145	0,148858	0,035674	0,008549
2	0,239651	0,385821	0,008549	0,092462
3	0,005310	0,092462	0,385821	0,057433
4	0,092462	0,239651	0,013764	0,621145

Dengan menggunakan persamaan (5.28), perkalian berikut dilakukan untuk setiap sel matriks untuk mendapatkan matriks akhir seperti terlihat pada tabel 5.16.

$$T_{11} = A_1.O_1.B_1.D_1.\exp(-\beta C_{11})$$

$$T_{12} = A_1.O_1.B_2.D_2.\exp(-\beta C_{12})$$

....

$$T_{44} = A_4.O_4.B_4.D_4.\exp(-\beta C_{44})$$

Tabel 5.16 MAT akhir hasil model UCGR

Zona	1	2	3	4	o_i	O_i	E_i	A_i
1	209	33	6	3	**252**	**200**	**0,794**	**1,000**
2	121	130	2	54	**307**	**300**	**0,976**	**1,000**
3	3	36	114	39	**192**	**350**	**1,818**	**1,000**
4	23	40	2	183	**248**	**150**	**0,604**	**1,000**
d_d	**356**	**240**	**124**	**280**	**1.000**			
D_d	**300**	**200**	**150**	**350**		**1.000**		
E_d	**0,842**	**0,834**	**1,215**	**1,249**				
B_d	**1,000**	**1,000**	**1,000**	**1,000**				

Secara ringkas, untuk model UCGR, jumlah bangkitan dan tarikan yang dihasilkan tidak harus sama dengan perkiraan hasil bangkitan pergerakan. Akan tetapi, persyaratan yang diperlukan adalah total pergerakan yang dihasilkan model (**t**)

harus sama dengan total pergerakan yang didapat dari hasil bangkitan pergerakan (**T**). Terlihat bahwa total pergerakan yang berasal setiap zona asal dan total pergerakan yang tertarik ke setiap zona tujuan tidak sama dengan total pergerakan (bangkitan dan tarikan) yang diperkirakan oleh tahap bangkitan pergerakan.

5.7.4.2 Model PCGR Dalam model ini, total pergerakan global hasil bangkitan pergerakan harus sama dengan total pergerakan yang dihasilkan dengan pemodelan; begitu juga, bangkitan pergerakan yang dihasilkan model harus sama dengan hasil bangkitan pergerakan yang diinginkan. Akan tetapi, tarikan pergerakan tidak perlu sama. Untuk jenis ini, model yang digunakan persis sama dengan persamaan (5.28), tetapi dengan syarat batas yang berbeda, yaitu:

$$B_d = 1 \text{ untuk seluruh } d \text{ dan } A_i = \frac{1}{\sum_d (B_d D_d f_{id})} \text{ untuk seluruh } i$$

Dalam model UCGR, nilai $A_i = 1$ untuk seluruh i dan nilai $B_d = 1$ untuk seluruh d. Akan tetapi, pada model PCGR, konstanta A_i dihitung sesuai dengan persamaan (5.22) untuk setiap zona tujuan i. Konstanta ini memberikan batasan bahwa total 'baris' dari matriks harus sama dengan total 'baris' dari matriks hasil tahap bangkitan pergerakan.

$$A_1=1/[B_1.D_1.\exp(-\beta C_{11})+B_2.D_2.\exp(-\beta C_{12})+B_3.D_3.\exp(-\beta C_{13})+B_4.O_4.\exp(-\beta C_{14})]$$

$$A_2=1/[B_1.D_1.\exp(-\beta C_{21})+B_2.D_2.\exp(-\beta C_{22})+B_3.D_3.\exp(-\beta C_{23})+B_4.D_4.\exp(-\beta C_{24})]$$

.....

$$A_4=1/[B_1.D_1.\exp(-\beta C_{41})+B_2.D_2.\exp(-\beta C_{42})+B_3.D_3.\exp(-\beta C_{43})+B_4.D_4.\exp(-\beta C_{44})]$$

Setelah menghitung nilai A_i untuk setiap i, setiap sel matriks dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (5.28) sehingga menghasilkan matriks akhir seperti pada tabel 5.17.

Tabel 5.17 MAT akhir hasil model PCGR

Zona	1	2	3	4	o_i	O_i	E_i	A_i
1	166	27	5	3	**200**	**200**	**1,000**	**0,00446**
2	118	127	2	53	**300**	**300**	**1,000**	**0,00547**
3	6	66	207	72	**350**	**350**	**1,000**	**0,01020**
4	14	23	1	110	**150**	**150**	**1,000**	**0,00339**
d_d	**304**	**244**	**214**	**238**	**1.000**			
D_d	**300**	**200**	**150**	**350**		**1.000**		
E_d	**0,987**	**0,821**	**0,699**	**1,470**				
B_d	**1,000**	**1,000**	**1,000**	**1,000**				

Terlihat bahwa persyaratan awal dipenuhi, yaitu total pergerakan yang dihasilkan model (**t**) harus sama dengan total pergerakan yang didapat dari hasil bangkitan pergerakan (**T**). Selain itu, terlihat juga bahwa total pergerakan yang berasal dari

setiap zona asal harus selalu sama dengan total pergerakan (yang dibangkitkan) yang diperkirakan oleh tahap bangkitan pergerakan.

5.7.4.3 Model ACGR Dalam hal ini, total pergerakan secara global harus sama dan juga tarikan pergerakan yang didapat dengan pemodelan harus sama dengan hasil tarikan pergerakan yang diinginkan. Sebaliknya, bangkitan pergerakan yang didapat dengan pemodelan tidak harus sama. Untuk jenis ini, model yang digunakan persis sama dengan persamaan (5.28), tetapi dengan syarat batas yang berbeda, yaitu:

$$A_i = 1 \text{ untuk seluruh } i \text{ dan } B_d = \frac{1}{\sum_i (A_i O_i f_{id})} \text{ untuk seluruh } d$$

Pada model ACGR, konstanta B_d dihitung sesuai dengan persamaan (5.22) untuk setiap zona tujuan d. Konstanta ini memberikan batasan bahwa total 'kolom' dari matriks harus sama dengan total 'kolom' dari matriks hasil tahap bangkitan pergerakan. Dengan kata lain, total pergerakan hasil pemodelan yang menuju ke suatu zona harus sama dengan total pergerakan hasil bangkitan pergerakan ke zona tersebut.

$$B_1=1/[A_1.O_1.\exp(-\beta C_{11})+A_2.O_2.\exp(-\beta C_{21})+A_3.O_3.\exp(-\beta C_{31})+A_4.O_4.\exp(-\beta C_{41})]$$

$$B_2=1/[A_1.O_1.\exp(-\beta C_{12})+A_2.O_2.\exp(-\beta C_{22})+A_3.O_3.\exp(-\beta C_{32})+A_4.O_4.\exp(-\beta C_{42})]$$

.....

$$B_4=1/[A_1.O_1.\exp(-\beta C_{14})+A_2.O_2.\exp(-\beta C_{24})+A_3.O_3.\exp(-\beta C_{34})+A_4.O_4.\exp(-\beta C_{44})]$$

Setelah menghitung nilai B_d untuk setiap d, setiap sel matriks dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (5.28) sehingga menghasilkan matriks akhir seperti pada tabel 5.18.

Tabel 5.18 MAT akhir hasil model ACGR

Zona	1	2	3	4	o_i	O_i	E_i	A_i
1	176	28	7	4	215	200	0,929	1,000
2	102	108	3	68	281	300	1,069	1,000
3	3	30	138	49	220	350	1,590	1,000
4	20	34	2	228	284	150	0,528	1,000
d_d	300	200	150	350	1.000			
D_d	300	200	150	350		1.000		
E_d	1,000	1,000	1,000	1,000				
B_d	0,00472	0,00468	0,00681	0,00701				

Terlihat bahwa selain persyaratan awal dipenuhi, yaitu total pergerakan yang dihasilkan model (**t**) harus sama dengan total pergerakan yang didapat dari hasil bangkitan pergerakan (**T**), terlihat juga total pergerakan yang menuju ke setiap zona asal selalu sama dengan total pergerakan (yang tertarik) yang dihasilkan oleh tahap bangkitan pergerakan.

5.7.4.4 Model DCGR Dalam hal ini, bangkitan dan tarikan pergerakan harus selalu sama dengan yang dihasilkan oleh tahap bangkitan pergerakan. Model yang digunakan persis sama dengan persamaan (5.28), tetapi dengan syarat batas:

$$B_d = \frac{1}{\sum_i (A_i O_i f_{id})} \text{ untuk semua } d \text{ dan } A_i = \frac{1}{\sum_d (B_d D_d f_{id})} \text{ untuk semua } i$$

Kedua faktor penyeimbang (A_i dan B_d) menjamin bahwa total 'baris' dan 'kolom' dari matriks hasil pemodelan harus sama dengan total 'baris' dan 'kolom' dari matriks hasil bangkitan pergerakan. Seperti yang telah diterangkan, proses pengulangan nilai A_i dan B_d dilakukan secara bergantian. Hasil akhir akan selalu sama, dari manapun pengulangan dimulai ('baris' atau 'kolom'). Dalam ilustrasi ini, pengulangan dimulai dengan menganggap nilai awal $B_1 = B_2 = B_3 = B_4 = 1$. Hasil akhir juga tidak tergantung pada nilai awal. Nilai awal dapat berupa nilai berapa saja asal lebih besar nol. Hal ini hanya akan berpengaruh pada jumlah pengulangan untuk mencapai konvergensi. Semakin besar perbedaan antara nilai awal dengan nilai akhir, semakin banyak jumlah pengulangan yang dibutuhkan untuk mencapai konvergensi. Tabel 5.19 memperlihatkan nilai A_i dan B_d pada setiap pengulangan.

Tabel 5.19 Nilai A_i dan B_d yang didapat pada setiap pengulangan

Pengu-langan	A_1	A_2	A_3	A_4	B_1	B_2	B_3	B_4	Pengu-langan
1	0,00446	0,00547	0,01020	0,00339	1,000	1,000	1,000	1,000	0
3	0,00462	0,00547	0,01152	0,00258	0,98725	0,82103	0,69935	1,47032	2
5	0,00467	0,00542	0,01186	0,00243	0,97645	0,80892	0,62177	1,58355	4
7	0,00468	0,00540	0,01194	0,00240	0,97532	0,80843	0,60477	1,60505	6
9	0,00467	0,00539	0,01196	0,00240	0,97599	0,80849	0,60088	1,60844	8
11	selesai	Selesai	Selesai	selesai	0,97663	0,80853	0,59983	1,60876	10

Terlihat bahwa pada pengulangan ke-**10**, nilai A_i untuk setiap i dan nilai B_d untuk setiap d tidak lagi mengalami perubahan (atau telah mencapai konvergensi). Setelah tercapai konvergensi dengan mendapatkan nilai A_i dan B_d untuk setiap i dan d, maka setiap sel matriks dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (5.28) sehingga menghasilkan matriks akhir seperti yang terlihat pada tabel 5.20.

Tabel 5.20 MAT akhir hasil model DCGR (setelah pengulangan ke-**10**)

Zona	1	2	3	4	o_i	O_i	E_i	A_i
1	170	22	3	4	200	200	1,000	0,00467
2	114	101	1	84	300	300	1,000	0,00539
3	7	63	145	135	350	350	1,000	0,01196
4	10	14	0	126	150	150	1,000	0,00240
d_d	**300**	**200**	**150**	**350**	**1.000**			
D_d	**300**	**200**	**150**	**350**		**1.000**		
E_d	**1,000**	**1,000**	**1,000**	**1,000**				
B_d	**0,97663**	**0,80853**	**0,59983**	**1,60876**				

Jumlah pengulangan sangat tergantung pada nilai awal faktor penyeimbang. Semakin dekat nilai awal tersebut ke nilai akhir faktor penyeimbang, semakin sedikit jumlah pengulangan yang dibutuhkan.

5.7.5 Saat penggunaan model *gravity*

Biasanya, jika informasi survei baik dan tersedia, model jenis DCGR sangat baik untuk digunakan. Kadang-kadang biaya komputer juga menentukan pemilihan jenis model. Akan tetapi, dengan kemajuan teknologi komputer yang pesat, terutama dalam hal kecepatan proses, biaya tidak lagi menjadi hambatan. Harus diperhatikan bahwa (**Jones, 1977**):

- model UCGR tidak mempertimbangkan 'saingan' dari zona lain selain zona ***i***;
- model SCGR memungkinkan pemakai jalan memilih alternatif zona tujuan, tetapi tidak memperhitungkan permintaan pemakai jalan lain di zona asal;
- model DCGR mempertimbangkan kelemahan kedua jenis model tersebut di atas.

Secara umum, sebaiknya model DCGR yang digunakan pada kasus yang ramalan bangkitan dan tarikan pergerakannya cukup baik di masa mendatang. Jika ramalan bangkitan dan tarikan pergerakannya berbeda, tidak ada alasan menggunakan model yang harus mendapatkan total 'baris' dan 'kolom' yang sama sehingga dapat dipilih model yang lebih sederhana yang mungkin lebih baik dan lebih murah.

Untuk tujuan perjalanan seperti dari rumah ke tempat kerja dan dari rumah ke sekolah, dapat dipastikan bahwa taksiran bangkitan dan tarikan pergerakan akan lebih tepat dibandingkan dengan tujuan perjalanan lain, misalnya dari rumah ke tempat belanja. Contoh alasan yang sangat sederhana adalah: jika terdapat 1.000 lapangan pekerjaan dalam suatu zona, dapat dikatakan akan terdapat 1.000 pergerakan yang tertarik ke zona tersebut, dari mana pun mereka berasal.

Dengan kata lain, jika lapangan pekerjaan pada suatu zona tertentu dapat diperkirakan dengan baik, maka pergerakan (bekerja) ke daerah tersebut akan dapat diramalkan juga dengan baik. Akan tetapi, jika terdapat 10.000 m^2 tempat perbelanjaan dalam suatu zona, tidaklah mudah untuk memastikan berapa perjalanan yang akan menuju ke zona tersebut.

Hal itu dapat berubah dengan dilakukannya perubahan sistem transportasi, yang jelas akan mengubah aksesibilitas dari zona tersebut dan mengubah hubungan antara luas lantai dengan tarikan pergerakan. Dengan kata lain, walaupun luas lantai dapat diramalkan dengan tepat, tidak mudah meramalkan tarikan pergerakan secara tepat.

Secara umum, bangkitan pergerakan berbasis rumah lebih dapat diyakini kebenarannya dibandingkan dengan tarikan pergerakan. Oleh karena itu, dalam kebanyakan kajian, pergerakan berbasis rumah biasanya menggunakan model PCGR atau model DCGR. Model DCGR sering digunakan untuk memodel pergerakan berbasis rumah; baik untuk tujuan bekerja maupun pendidikan. Akan tetapi, untuk jenis pergerakan ini, persamaan model ACGR biasanya lebih tepat karena berdasarkan pada peubah yang mudah dihitung (misalnya populasi).

Model PCGR dapat digunakan untuk pergerakan berbasis rumah dengan berbagai tujuan pergerakan, sedangkan model ACGR lebih mudah dispesifikasi dan dikalibrasi, misalnya tujuan belanja dan bisnis. Untuk pergerakan berbasis bukan rumah, baik model PCGR maupun ACGR tidak biasanya dapat diramalkan secara pasti sehingga model UCGR (atau model faktor pertumbuhan) yang biasanya digunakan.

Alasan lain penggunaan model UCGR atau SCGR adalah karena data yang tidak cukup, atau ketepatan hasil tidak begitu dipermasalahkan untuk kajian perencanaan jangka panjang, misalnya untuk kota yang tumbuh dan berubah dengan cepat. Dapat disimpulkan bahwa kajian transportasi mungkin menggunakan model GR dengan jenis yang berbeda-beda untuk tujuan pergerakan yang berbeda-beda. Pergerakan untuk tujuan tertentu itu kemudian dijumlahkan dan menghasilkan total pergerakan untuk semua tujuan pergerakan. Dalam beberapa daerah kajian yang biasanya berkembang dengan cepat, misalnya kota di Indonesia, tidaklah begitu penting mengetahui jenis model GR yang perlu digunakan, karena ketepatan data tidak begitu baik.

Ada hal penting yang perlu dicatat di sini (**Tamin, 1988abc**): jika model GR berjenis DCGR mempunyai fungsi hambatan eksponensial-negatif; maka untuk nilai $\beta = 0$, model GR tersebut akan berperilaku persis sama dengan metode Furness. Ini karena, jika nilai $\beta = 0$, berapapun nilai C_{id} yang digunakan, maka nilai $\exp(-\beta C_{id})$ akan selalu sama dengan satu [$\exp(-\beta C_{id}) = 1$].

Jadi, dapat disimpulkan bahwa metode Furness (metode analogi) merupakan keluarga dari metode sintetis, dengan kata lain, metode analogi merupakan kasus khusus dari metode sintetis, yaitu jika nilai $\beta = 0$.

5.7.6 Kalibrasi model *gravity*

Jika C_{id}, O_i, dan D_d diketahui, parameter model GR yang tidak diketahui hanyalah parameter α dan β jika dipertimbangkan fungsi eksponensial, pangkat dan Tanner. Jika kita asumsikan hanya menggunakan parameter β (fungsi eksponensial dan pangkat), maka setelah nilai β diketahui, persamaan (5.22) dapat digunakan untuk mengetahui nilai A_i and B_d. Proses penaksiran nilai parameter β biasa dikenal dengan proses kalibrasi model.

Banyak peneliti berpendapat bahwa parameter β dapat menggambarkan biaya rata-rata perjalanan di daerah kajian tersebut; semakin besar nilai β, semakin kecil nilai biaya rata-rata perjalanan. **Evans** (**1971**) membuktikan bahwa intuisi para peneliti tersebut benar karena nilai biaya rata-rata perjalanan menurun dengan membesarnya nilai paramater β.

Batasan persamaan (5.22) pada dasarnya merupakan batas atas dan batas bawah dari biaya rata-rata perjalanan di daerah tersebut. Ditunjukkan bahwa jika nilai β meningkat tidak terhingga, biaya rata-rata perjalanan akan mendekati nilai minimum (batas bawah) yang sesuai dengan persamaan (5.22). Hal sebaliknya, jika nilai β menurun tidak terhingga, biaya rata-rata perjalanan akan mendekati batas atas (maksimum) yang sesuai dengan batasan tersebut.

Permasalahan yang timbul dalam proses kalibrasi parameter model GR mendorong para peneliti untuk mengkajinya dengan lebih mendalam. Belakangan ini cukup banyak penelitian yang dilakukan untuk mempelajari teori yang terkait dengan proses kalibrasi model transportasi perkotaan secara umum dan model GR secara khusus.
Ini karena masalah utama yang dihadapi adalah ketepatan parameter. Karena prosedur dalam proses kalibrasi menggunakan jasa komputer sebagai alat utama, maka sangat dibutuhkan proses kalibrasi yang cepat, sederhana, dan tepat yang tidak memerlukan memori komputer yang besar, tetapi proses pengumpulan datanya murah. Berikut ini diterangkan beberapa metode yang dapat digunakan untuk mengkalibrasi parameter model GR.

5.7.6.1 Metode sederhana Pendekatan yang sangat sederhana 'meminjam' nilai β, kemudian menghitung model GR dan mendapatkan **sebaran panjang perjalanan hasil pemodelan**. Kemudian, sebaran ini dibandingkan dengan **sebaran panjang perjalanan hasil pengamatan**. Jika masih terdapat perbedaan antara kedua sebaran tersebut, nilai β baru harus digunakan dan proses diulangi lagi sampai perbedaan kedua sebaran itu sangat kecil.

Akan tetapi, pendekatan ini sangat tidak praktis karena menghitung model GR jenis DCGR membutuhkan waktu yang cukup lama dan tidak diketahui cara memilih nilai β yang baru jika nilai β yang lama tidak memenuhi syarat. Beberapa teknik kalibrasi telah dikembangkan dan digunakan pada beberapa paket program.

5.7.6.2 Metode Hyman Beberapa teknik yang baik diperbandingkan oleh **Williams** (**1975**) yang menyimpulkan bahwa teknik yang dikembangkan oleh **Hyman** (**1969**) adalah teknik yang paling efisien dan paling mudah digunakan. Hyman mengusulkan metode yang didasarkan pada pendekatan **Bayes** dalam penurunan kriteria pengkalibrasian.

Ia berkesimpulan bahwa nilai faktor penyeimbang harus dipilih sehingga total 'baris' dan 'kolom' dari sel MAT sama dengan proporsi hasil pengamatan pada setiap 'baris' dan 'kolom'. Juga, parameter β harus dipilih sehingga biaya rata-rata perjalanan yang didapat dari pengamatan sama dengan yang dihasilkan dalam proses pemodelan. Berikut ini diterangkan secara singkat metode Hyman tersebut.

Anggap telah tersedia matriks $\boldsymbol{T_{id}(\beta)}$ sebagai fungsi dari $\boldsymbol{(\beta)}$. Total matriks ini menghasilkan $\sum_i \sum_d T_{id}(\beta) = \mathrm{T}(\beta)$. Metode ini didasarkan pada persyaratan β berikut:

$$c(\beta) = \sum_i \sum_d [T_{id}(\beta) c_{id}] / \mathrm{T}(\beta) = c^* = \sum_i \sum_d (N_{id} C_{id}) / \sum_i \sum_d N_{id} \qquad (5.29)$$

$\boldsymbol{c^*}$ adalah biaya rata-rata dari sebaran panjang pergerakan hasil pengamatan dan $\boldsymbol{N_{id}}$ adalah jumlah pergerakan dari setiap pasangan zona. Metode ini dapat dijelaskan seperti berikut.

1 Mulailah pengulangan pertama dengan menyatakan $\boldsymbol{m = 0}$ dan menentukan nilai awal $\boldsymbol{\beta_0 = 1/c^*}$.

2 Buat $m = m+1$; dengan menggunakan nilai β_{m-1}, hitung matriks dengan menggunakan model GR. Dapatkan biaya rata-rata c_m dan bandingkan nilai tersebut dengan c^*; jika perbedaan cukup kecil, proses dihentikan dan nyatakan β_{m-1} sebagai nilai β terbaik; jika tidak, teruskan ke tahap **3**.

3 Jika $m = 1$, hitung nilai β baru dengan persamaan berikut:

$$\beta_1 = c_1 \beta / c^*$$

atau jika $m \geq 1$, dapatkan nilai β baru dengan persamaan:

$$\beta_{m+1} = \frac{(c^* - c_{m-1})\beta_{m-1} - (c^* - c_m)\beta_m}{c_m - c_{m-1}}$$

Perhitungan tahap **3** dilakukan untuk menjamin dipenuhinya persamaan (5.29).

4 Ulangi tahap **2** dan **3** seperti disyaratkan, sampai konvergensi tercapai.

Selain itu, **Hyman** (**1969**) menyimpulkan bahwa nilai β bisa juga didapat secara empiris dengan persamaan berikut:

$$\beta = \frac{k}{\overline{C}_{id}} \tag{5.30}$$

dengan: $k = 2 \sim 3$

$\overline{C}_{id}$ = rata-rata nilai C_{id}

5.7.6.3 Metode analisis regresi-linear Metode analisis-regresi-linear dapat digunakan untuk mengkalibrasi parameter model *gravity* yang merupakan suatu fungsi tidak-linear. Secara umum, proses transformasi linear dibutuhkan untuk mengubah fungsi tidak-linear menjadi fungsi linear. Selanjutnya, metode analisis-regresi akan digunakan untuk mengkalibrasi parameter model yang tidak diketahui.

a **Fungsi hambatan eksponensial-negatif** Pertimbangkan suatu model *gravity* yang mempunyai fungsi hambatan eksponensial-negatif seperti terlihat pada persamaan (5.31).

$$T_{id} = A_i . B_d . O_i . D_d . \exp(-\beta C_{id}) \tag{5.31}$$

Persamaan (5.31) dapat disederhanakan dengan urutan penyederhanaan seperti pada persamaan (5.32)–(5.35).

$$\exp(-\beta C_{id}) = \frac{T_{id}}{A_i . B_d . O_i . D_d} \tag{5.32}$$

$$\log_e(\exp(-\beta C_{id})) = \log_e\left[\frac{T_{id}}{A_i . B_d . O_i . D_d}\right] \tag{5.33}$$

$$-\beta C_{id} = \log_e T_{id} - \log_e(A_i . B_d . O_i . D_d) \tag{5.34}$$

$$\log_e T_{id} = \log_e(A_i . B_d . O_i . D_d) - \beta C_{id} \tag{5.35}$$

Dengan melakukan transformasi linear, persamaan (5.35) dapat disederhanakan dan ditulis kembali sebagai persamaan linear $\boldsymbol{Y = A + BX}$ dengan mengasumsikan $\boldsymbol{\log_e T_{id} = Y}$ dan $\boldsymbol{C_{id} = X}$. Dengan mengetahui informasi $[\boldsymbol{T_{id}}]$ dan $[\boldsymbol{C_{id}}]$, maka dengan menggunakan analisis regresi-linear (lihat persamaan 2.6 dan 2.7), parameter **A** dan **B** dapat dihitung dan dihasilkan beberapa nilai sebagai berikut: $\mathbf{B = -\beta}$ dan $\mathbf{A = \log_e}\left(\boldsymbol{A_i . B_d . O_i . D_d}\right)$. Nilai $\boldsymbol{A_i}$ dan $\boldsymbol{B_d}$ ditentukan sesuai dengan jenis batasan model *gravity* yang diinginkan (UCGR, SCGR, atau DCGR).

b **Fungsi hambatan pangkat** Dalam hal ini, model *gravity* yang mempunyai fungsi hambatan pangkat dapat dinyatakan sebagai persamaan (5.36).

$$\boldsymbol{T_{id} = A_i . B_d . O_i . D_d . C_{id}^{-\beta}} \tag{5.36}$$

Sama dengan model *gravity* berfungsi hambatan eksponensial-negatif, persamaan (5.36) dapat disederhanakan dengan urutan penyederhanaan seperti tertulis pada persamaan (5.37)–(5.40).

$$\boldsymbol{C_{id}^{-\beta} = \frac{T_{id}}{A_i . B_d . O_i . D_d}} \tag{5.37}$$

$$\mathbf{\log_e} \boldsymbol{C_{id}^{-\beta}} \mathbf{= \log_e}\left[\boldsymbol{\frac{T_{id}}{A_i . B_d . O_i . D_d}}\right] \tag{5.38}$$

$$\mathbf{-\beta \log_e} \boldsymbol{C_{id}} \mathbf{= \log_e} \boldsymbol{T_{id}} \mathbf{- \log_e}\left(\boldsymbol{A_i . B_d . O_i . D_d}\right) \tag{5.39}$$

$$\mathbf{\log_e} \boldsymbol{T_{id}} \mathbf{= \log_e}\left(\boldsymbol{A_i . B_d . O_i . D_d}\right) \mathbf{- \beta \log_e} \boldsymbol{C_{id}} \tag{5.40}$$

Dengan melakukan transformasi linear, persamaan (5.40) dapat disederhanakan dan ditulis kembali sebagai persamaan linear $\boldsymbol{Y = A + BX}$ dengan mengasumsikan $\mathbf{\log_e} \boldsymbol{T_{id} = Y}$ dan $\mathbf{\log_e} \boldsymbol{C_{id} = X}$. Dengan mengetahui informasi $[\boldsymbol{T_{id}}]$ dan $[\boldsymbol{C_{id}}]$, maka dengan menggunakan analisis regresi-linear (lihat persamaan 2.6 dan 2.7), parameter **A** dan **B** dapat dihitung dan dihasilkan beberapa nilai sebagai berikut: $\mathbf{B = -\beta}$ dan $\mathbf{A = \log_e}\left(\boldsymbol{A_i . B_d . O_i . D_d}\right)$. Nilai $\boldsymbol{A_i}$ dan $\boldsymbol{B_d}$ ditentukan sesuai dengan jenis batasan model *gravity* yang digunakan (UCGR, SCGR, atau DCGR).

c **Fungsi hambatan Tanner** Dalam hal ini, model *gravity* berfungsi hambatan Tanner dapat dinyatakan sebagai persamaan (5.41).

$$\boldsymbol{T_{id} = A_i . B_d . O_i . D_d . C_{id}^{-\beta}} \mathbf{. \exp}\left(\mathbf{-\beta} \boldsymbol{C_{id}}\right) \tag{5.41}$$

Persamaan (5.41) dapat disederhanakan dengan urutan penyederhanaan seperti tertulis pada persamaan (5.42)–(5.46).

$$\boldsymbol{T_{id} = A_i . B_d . O_i . D_d . C_{id}^{-\beta}} \mathbf{. \exp}\left(\mathbf{-\beta} \boldsymbol{C_{id}}\right) \tag{5.42}$$

$$C_{id}^{-\beta}.\exp(-\beta C_{id}) = \frac{T_{id}}{A_i.B_d.O_i.D_d} \tag{5.43}$$

$$\log_e\left(C_{id}^{-\beta}.\exp(-\beta C_{id})\right) = \log_e\left[\frac{T_{id}}{A_i.B_d.O_i.D_d}\right] \tag{5.44}$$

$$-\beta \log_e C_{id} - \beta C_{id} = \log_e T_{id} - \log_e\left(A_i.B_d.O_i.D_d\right) \tag{5.45}$$

$$\log_e T_{id} = \log_e\left(A_i.B_d.O_i.D_d\right) - \beta\left(\log_e C_{id} + C_{id}\right) \tag{5.46}$$

Dengan melakukan transformasi linear, persamaan (5.46) dapat disederhanakan dan ditulis kembali sebagai persamaan linear $\mathbf{Y = A + BX}$ dengan mengasumsikan $\log_e T_{id} = Y$ dan $\log_e C_{id} + C_{id} = X$. Dengan mengetahui informasi $[T_{id}]$ dan $[C_{id}]$, maka dengan menggunakan analisis regresi-linear (lihat persamaan 2.6 dan 2.7), parameter **A** dan **B** dapat dihitung dan dihasilkan beberapa nilai sebagai berikut: $\mathbf{B} = -\beta$ dan $\mathbf{A} = \log_e\left(A_i.B_d.O_i.D_d\right)$. Nilai A_i dan B_d ditentukan sesuai dengan jenis batasan model *gravity* yang digunakan (UCGR, SCGR, atau DCGR).

5.7.6.4 Metode penaksiran kuadrat-terkecil (KT) **Tamin** (**1985,1988ab**) menerangkan metode kalibrasi parameter model GR dengan dasar pemikiran menggunakan pendekatan kuadrat-terkecil sehingga simpangan atau selisih antara sebaran pergerakan yang dihitung dari pemodelan (T_{id}) dengan yang didapat dari hasil pengamatan $(\hat{T}_{id})$ memberikan harga yang minimum.

Ide utama metode penaksiran ini adalah mengkalibrasi parameter yang tidak diketahui dengan meminimumkan kuadrat dari selisih antara hasil pemodelan dengan data pengamatan. Ide seperti ini telah dikenal luas di kalangan ahli statistik, dan banyak digunakan untuk mengkalibrasi parameter yang tidak diketahui. Dari persamaan (5.25)–(5.27) dapat dilihat bahwa parameter yang dikalibrasi (α dan β) tidak berhubungan linear dengan jumlah perjalanan (T_{id}), sehingga secara lebih spesifik metode yang digunakan ini dapat disebut dengan metode **Kuadrat-Terkecil-Tidak-Linear** (KTTL).

Tamin (**1985ab,1986**) menggunakan metode seperti ini untuk menaksir MAT dari data arus lalulintas untuk angkutan barang di Bio-Bio (Chile), dengan hasil yang sangat memuaskan. **Tamin** (**1988a**) juga melakukan hal yang sama untuk kasus pergerakan kendaraan di daerah perkotaan di kota Ripon (Inggris) dan **Tamin and Willumsen** (**1988a**) dan **Tamin and Soegondo** (**1989**) untuk kasus perjalanan angkutan barang antarkota di pulau Bali.

Dengan melakukan sedikit modifikasi, metode KTTL ini selanjutnya dapat dibagi lagi menjadi dua kelompok, yaitu metode **Kuadrat-Terkecil-Tidak-Linear** (KTTL) dan metode **Kuadrat-Terkecil-Tidak-Linear-Berbobot** (KTTLB).

Bila digunakan metode KTTLB, bobot yang digunakan adalah kebalikan dari jumlah data perjalanan yang diamati. Secara matematis, metode penaksiran KTTL ini dapat dituliskan sebagai berikut:

meminimumkan
$$\mathbf{S} = \sum_i \sum_d \left[\frac{1}{\dot{\mathbf{T}}} \left(T_{id} - \hat{T}_{id} \right)^2 \right] \tag{5.47}$$

$\dot{\mathbf{T}} = \mathbf{1}$ untuk KTTL dan $\dot{\mathbf{T}} = \hat{T}_{id}$ untuk KTTLB

Mendapatkan nilai parameter yang tidak diketahui (β jika fungsi hambatannya adalah fungsi eksponensial atau fungsi pangkat, atau α dan β jika fungsi Tanner) dapat dilakukan dengan membuat turunan pertama **S** terhadap parameter tersebut sama dengan nol. Jika fungsi hambatan yang digunakan adalah fungsi Tanner, nilai parameternya bisa didapat dari:

$$\frac{\partial \mathbf{S}}{\partial \alpha} = f_\alpha = \sum_i \sum_d \left[\frac{1}{\dot{\mathbf{T}}} \left\{ 2 \left(T_{id} - \hat{T}_{id} \right) \frac{\partial T_{id}}{\partial \alpha} \right\} \right] = \mathbf{0}$$

$$\frac{\partial \mathbf{S}}{\partial \beta} = f_\beta = \sum_i \sum_d \left[\frac{1}{\dot{\mathbf{T}}} \left\{ 2 \left(T_{id} - \hat{T}_{id} \right) \frac{\partial T_{id}}{\partial \beta} \right\} \right] = \mathbf{0} \tag{5.48}$$

Persamaan (5.48) adalah sistem persamaan simultan dengan dua parameter yang tidak diketahui. Metode Newton–Raphson yang dikombinasikan dengan teknik eliminasi matriks sederhana bisa digunakan untuk menyelesaikan persamaan tersebut.

5.7.6.5 Metode penaksiran kemiripan-maksimum (KM) **Tamin** (**1988ab**) juga menerangkan penggunaan pendekatan kemiripan-maksimum dalam mengkalibrasi parameter model GR. Metode penaksiran kemiripan-maksimum ini adalah salah satu metode yang banyak digunakan oleh para ahli statistik untuk menentukan parameter fungsi. Pembaca yang ingin mendapat penjelasan lebih rinci mengenai metode penaksiran kemiripan-maksimum disarankan membaca **Edwards** (**1972**).

Dari sekumpulan data x_1, x_2, ..., x_N yang merupakan anggota peubah acak x dengan fungsi kepadatan peluang $f(x,\theta)$ dengan θ adalah parameternya, bisa diajukan pertanyaan:

> berapakah nilai θ yang paling mungkin yang dapat menghasilkan sekumpulan data x_1, x_2, ..., x_N ini? Dengan kata lain, dari semua nilai θ yang mungkin, berapakah nilai θ yang memaksimumkan kemiripan untuk mendapatkan sekumpulan data tadi?

Kemungkinan untuk mendapatkan nilai data x_i tertentu dapat diasumsikan berbanding lurus dengan nilai fungsi kepadatan peluang pada nilai x_i tersebut. Dengan teori fungsi kepadatan peluang gabungan, kemungkinan untuk mendapatkan data x_1,x_2, ... , x_N adalah:

$$\mathbf{L}(x_1,\ldots,x_N;\theta) = f(x_1;\theta).f(x_2;\theta)\ldots f(x_N;\theta) = \prod_{i=1}^{N} f(x_i;\theta) \qquad (5.49)$$

yang disebut fungsi kemiripan dari data x_1, x_2, ..., x_N. Karena fungsi **L** berbentuk perkalian, menjadi lebih mudah jika menyatakannya dalam bentuk logaritmanya:

$$\log_e \mathbf{L}(x_1,\ldots,x_N;\theta) = \sum_{i=1}^{N} \log_e f(x_i;\theta) \qquad (5.50)$$

Secara formal, persyaratan untuk mendapatkan nilai penaksiran dengan kemiripan maksimum adalah:

> nilai penaksiran dengan kemiripan maksimum (penaksir kemiripan-maksimum) dari θ adalah nilai θ yang memaksimumkan fungsi kemiripan $\mathbf{L}(x_1,\ldots,x_N;\theta)$

Sebagaimana pada metode penaksiran KTTL sebelumnya, nilai parameter θ dapat dicari dengan membuat turunan dari $\mathbf{L}(x_1,\ldots,x_N;\theta)$ sama dengan nol. Jadi,

$$\frac{\partial \mathbf{L}(x_1,\ldots,x_N;\theta)}{\partial\theta} = 0 \qquad \text{atau} \qquad (5.51)$$

$$\frac{\partial \log_e \mathbf{L}(x_1,\ldots,x_N;\theta)}{\partial\theta} = 0 \qquad (5.52)$$

Dijelaskan juga dalam **Tamin** (**1988ab**) bahwa telah dikembangkan dua versi metode penaksiran kemiripan-maksimum yang akan diterangkan secara rinci berikut ini.

a **Metode penaksiran kemiripan-maksimum jenis I (KM 1)** Dalam penerapan dengan jumlah frekuensi data yang cukup banyak seperti pada data sebaran pergerakan antarzona dalam satu wilayah kajian, dapat diduga bahwa jumlah kelas data lebih besar daripada dua. Oleh karena itu, untuk jenis data ini, sebaran yang cocok adalah sebaran multinomial, bukan sebaran binomial.

Anggaplah jumlah perjalanan antarzona mengikuti sebaran multinomial, terdapat **S** kelas data, dan peluang data berada pada kelas ke-***i*** adalah p_i. Peluang untuk mendapatkan a_1 dari sejumlah **N** sampel berada pada kelas ke-**1**; a_2 sampel berada pada kelas ke-**2**, dan secara umum sebanyak a_i sampel berada pada kelas ke-***i***. Penurunan sebaran multinomial dapat dinyatakan sebagai:

$$\frac{\mathbf{N!}}{a_1!a_2!a_3!\ldots a_S!} p_1^{a_1}.p_2^{a_2}.p_3^{a_3}\ldots p_S^{a_S} \qquad (5.53)$$

Nilai p_i dapat dinyatakan sebagai fungsi satu atau lebih parameter yang dapat dilambangkan dengan θ sehingga fungsi kemiripan dari θ untuk sejumlah sampel tertentu yang mengikuti sebaran multinomial dapat ditulis sebagai:

$$\mathbf{L}(\theta) = \mathbf{k}.[p_1(\theta)]^{a_1}.[p_2(\theta)]^{a_2}\ldots[p_S(\theta)]^{a_S} \qquad (5.54)$$

Nilai $\frac{\mathbf{N!}}{a_1!a_2!a_3!...a_S!}$ dinyatakan sebagai konstanta **k**. Perlu diperhatikan bahwa berdasarkan penurunan peluang suatu kejadian yang mengikuti sebaran multinominal, maka bagian sebelah kanan persamaan (5.54) sudah merupakan fungsi kepadatan peluang gabungan.

Selanjutnya, dimisalkan p_{id} adalah peluang untuk mendapatkan data tertentu dari sebaran perjalanan antarzona yang berasal dari zona ***i*** dan bergerak menuju ke zona ***d***. Dalam hal ini, peluang p_{id} ini dinyatakan sebagai:

$$p_{id} = \frac{T_{id}}{\hat{\mathbf{T}}} \qquad \text{dimana:} \qquad (5.55)$$

$$\hat{\mathbf{T}} = \sum_i \sum_d \hat{T}_{id} \qquad (5.56)$$

Sekarang dimisalkan peluang untuk mendapatkan data jumlah perjalanan yang berasal dari zona ***i*** dan menuju ke zona ***d*** dari survei mengikuti sebaran multinominal. Maka, berdasarkan definisinya, fungsi kemiripan untuk mendapatkan sebesar $\hat{T}_{id}$ pada setiap pasangan zona ***i*** dan zona ***d*** adalah [dari persamaan (5.53)]:

$$\mathbf{L} = \mathbf{c} \prod_i \prod_d p_{id}^{\hat{T}_{id}} \qquad (5.57)$$

Akhirnya, sesuai dengan ide dasar metode penaksiran kemiripan-maksimum, metode ini akan mencari nilai parameter θ yang memaksimumkan fungsi kemiripan yang dinyatakan oleh persamaan (5.56) sehingga menghasilkan sebaran T_{id} yang paling sesuai dengan data pengamatan ($\hat{T}_{id}$). Jadi, fungsi tujuan dari metode ini adalah:

$$\textbf{memaksimumkan} \qquad \mathbf{L} = \mathbf{c} \prod_i \prod_d p_{id}^{\hat{T}_{id}} \qquad (5.58)$$

Dengan mensubsitusikan persamaan (5.55) ke persamaan (5.58) dan mengambil fungsi logaritma naturalnya, sekarang fungsi tujuan metode penaksiran ini dapat dituliskan sebagai:

$$\textbf{memaksimumkan} \qquad \mathbf{L}_1 = \sum_i \sum_d \left(\hat{T}_{id} \log_e T_{id} \right) - \hat{\mathbf{T}} \log_e \hat{\mathbf{T}} + \log_e \mathbf{c} \qquad (5.59)$$

Selanjutnya, dengan menghilangkan besaran konstanta dari persamaan (5.59), fungsi tujuan metode penaksiran ini sekarang menjadi:

$$\textbf{memaksimumkan} \qquad \mathbf{L}_2 = \sum_i \sum_d \left(\hat{T}_{id} \log_e T_{id} \right) \qquad (5.60)$$

Berdasarkan penerapan matematik, tujuan yang dinyatakan dalam persamaan (5.60) dapat dicapai apabila turunan pertama terhadap parameternya sama dengan nol. Oleh karena itu, untuk memaksimumkan nilai $\mathbf{L_2}$ diperlukan dua set persamaan, yaitu:

$$\frac{\partial L_2}{\partial \alpha} = f_\alpha = \sum_i \sum_d \left[\left(\frac{\hat{T}_{id}}{T_{id}} \right) \frac{\partial T_{id}}{\partial \alpha} \right] = 0 \qquad (5.61)$$

$$\frac{\partial L_2}{\partial \beta} = f_\beta = \sum_i \sum_d \left[\left(\frac{\hat{T}_{id}}{T_{id}} \right) \frac{\partial T_{id}}{\partial \beta} \right] = 0$$

Persamaan (5.61) adalah sistem persamaan simultan dengan parameter yang tidak diketahui berupa α dan β. Penyelesaian dengan metode Newton–Raphson dan teknik eliminasi matriks sederhana kembali dapat digunakan.

b **Metode penaksiran kemiripan-maksimum jenis II (KM2)** Untuk metode penaksiran kemiripan-maksimum jenis kedua ini dimisalkan data jumlah perjalanan yang berasal dari zona ***i*** dan menuju ke zona ***d*** ($\hat{T}_{id}$) adalah sampel acak yang mengikuti sebaran poisson dengan nilai rataan yang belum diketahui adalah $\tau_{id} T_{id}$. Koefisien τ_{id} mewakili faktor proporsi sampel untuk setiap pasangan asal–tujuan – dengan kata lain, bagian dari populasi yang diamati.

Jadi $[\hat{T}_{id}]$ adalah pengamatan sejumlah peubah acak yang tersebar mengikuti sebaran poisson dengan rataan masing-masing $\tau_{id} T_{id}$. Asumsi tentang MAT hasil pengamatan $[\hat{T}_{id}]$ berdasarkan pada banyak keadaan praktis yang ditemui sehari-hari. Sebagian besar teknik survei MAT yang ada sekarang didasarkan pada perhitungan individu dan kemudian menghasilkan MAT hasil pengamatan dengan nilai berupa bilangan bulat (yang biasanya sangat kecil). Kebanyakan survei pergerakan untuk bekerja termasuk dalam kategori ini. Matrik $[\hat{T}_{id}]$ yang tersebar poisson juga didapatkan dalam pengamatan beberapa kejadian yang saling bebas dalam suatu periode waktu yang terbatas.

Penggunaan parameter τ_{id} memungkinkan penerapan faktor proporsi sampel yang berbeda-beda untuk setiap pasangan asal–tujuan. Oleh karena itu, dalam model ini juga dimungkinkan penggunaan beberapa teknik pengambilan sampel yang berbeda. Bentuk yang paling sederhana dan yang paling banyak digunakan adalah pengambilan sampel secara acak dengan menggunakan satu nilai tunggal τ yang diterapkan pada semua pasangan asal–tujuan, yang dapat disebut dengan pengambilan sampel seragam.

Dengan hipotesis bahwa untuk setiap pasangan asal–tujuan, nilai $\hat{T}_{id}$ didapatkan dari pengamatan suatu kejadian yang mengikuti proses poisson dengan rataan $\tau_{id} T_{id}$, maka peluang gabungan untuk mendapatkan matriks $[\hat{T}_{id}]$ adalah:

$$\text{Prob}\left[\hat{T}_{id}\right] = \prod_i \prod_d \frac{(\tau_{id} T_{id})^{\hat{T}_{id}} . e^{-\tau_{id} T_{id}}}{\hat{T}_{id}!} \qquad (5.62)$$

Selanjutnya, dengan menerapkan teknik metode penaksiran kemiripan-maksimum yang telah dijelaskan, maka fungsi kemiripan dari metode penaksiran adalah:

$$L_3 = \prod_i \prod_d \frac{(\tau_{id} T_{id})^{\hat{T}_{id}} . e^{-\tau_{id} T_{id}}}{\hat{T}_{id}!} \quad (5.63)$$

Jika persamaan (5.63) diganti dengan nilai logaritma naturalnya, maka fungsi tujuan metode penaksiran kemiripan-maksimum jenis II ini adalah:

$$\textbf{memaksimumkan} \quad L_4 = \sum_i \sum_d \left(\hat{T}_{id} \log_e (\tau_{id} T_{id}) - \tau_{id} T_{id} - \log_e \hat{T}_{id}! \right) \quad (5.64)$$

Dengan mengembangkan lebih lanjut persamaan di atas dan menghilangkan bagian konstanta, didapat:

$$\textbf{memaksimumkan} \quad L_5 = \sum_i \sum_d \left(\hat{T}_{id} \log_e T_{id} - \tau_{id} T_{id} \right) \quad (5.65)$$

Dalam kasus sampel seragam, atau dengan kata lain $\tau_{id} = \tau$ dapat dilihat bahwa bagian kedua dari fungsi tujuan persamaan (5.65) mempunyai nilai yang konstan sehingga dapat dihilangkan. Akhirnya, fungsi tujuan metode penaksiran kemiripan-maksimum ini dapat dituliskan sebagai:

$$\textbf{memaksimumkan} \quad L_6 = \sum_i \sum_d \left(\hat{T}_{id} \log_e T_{id} \right) \quad (5.66)$$

Terlihat bahwa hasil yang didapat dari persamaan (5.66) sama dengan yang didapat dari persamaan (5.60). Hal ini sesuai dengan pernyataan **Spiess** (**1987**) bahwa untuk nilai persentase sampel yang sangat kecil (τ<<), sebaran multinominal dapat didekati dengan sebaran poisson. Karena kedua metode penaksiran kemiripan-maksimum ini memberikan hasil yang sama, untuk selanjutnya kedua metode penaksiran ini dinyatakan dalam satu metode saja, yaitu metode penaksiran kemiripan-maksimum (KM).

Gunawan (**1995**) menggunakan metode kuadrat-terkecil (KTTL dan KTTLB) dan kemiripan-maksimum (KM) untuk mengkalibrasi model GR dengan menggunakan data MAT kota Bandung pada tahun 1993. Saat itu wilayah kota Bandung dibagi menjadi 97 zona. Kedua metode tersebut digunakan untuk mengkalibrasi parameter model GR. Parameter model GR yang didapat kemudian digunakan untuk menghitung kembali MAT hasil pemodelan yang seterusnya MAT tersebut diperbandingkan dengan MAT yang ada.

Kesimpulan yang didapat dari kajian tersebut adalah: metode kuadrat-terkecil (KTTL dan KTTLB) dan kemiripan-maksimum (KM) berhasil mengkalibrasi parameter model GR dengan sangat memuaskan. Metode KTTL mempunyai ketepatan tertinggi dibandingkan dengan dua metode lainnya untuk pengkalibrasian model GR dengan fungsi hambatannya, yaitu fungsi eksponensial-negatif dan fungsi Tanner. Bagi fungsi pemangkatan, metode yang terbaik adalah metode kemiripan-maksimum (KM).

5.7.6.6 Metode penaksiran inferensi-bayes (IB) **Armijaya dan Wisaksono (1996)** dan **Tamin (1998c)** telah mengembangkan metode penaksiran **Inferensi-Bayes** (**IB**) dengan dasar pemikiran mengkalibrasi parameter sehingga simpangan

atau selisih antara sebaran pergerakan yang dihitung dari model (T_{id}) dengan yang didapat dari data pengamatan ($\hat{T}_{id}$) memberikan harga yang minimum.

a **Dasar pendekatan** Metode IB menggunakan suatu peluang subjektif untuk mengukur tingkat kepercayaan suatu keadaan. Dengan pendekatan ini, pertimbangan subjektif yang berdasarkan intuisi, pengalaman, ataupun informasi tidak langsung secara sistematis digabungkan dengan data hasil pengamatan untuk mendapatkan taksiran yang seimbang tentang keadaan sebenarnya (sebaran posterior).

Pendekatan ini mengasumsikan parameter model sebagai peubah acak. Dengan demikian, harus ditetapkan suatu fungsi sebaran yang menggambarkan tingkat kepercayaan parameter yang tidak diketahui; misalkan ditetapkan $f(\theta)$ sebagai fungsi sebaran peluang parameter atau sebaran awal θ.

Jika diketahui suatu himpunan data pengamatan $x_1,x_2,...,x_N$ yang mewakili sampel acak suatu populasi **X** dengan fungsi sebaran $f(x)$, dengan mengasumsikan bahwa parameter sebaran adalah θ, maka peluang akan diamatinya suatu himpunan data hasil pengamatan ini adalah sebagai berikut:

$$f(x_1,x_2,...,x_N|\theta) = f(x_1|\theta).f(x_2|\theta) \ldots f(x_N|\theta) = \prod_{i=1}^{N} f(x_i \mid \theta) \qquad (5.67)$$

Menurut teorema Bayes, 'sebaran θ yang baru' menjadi:

$$f(\theta \mid x_1, x_2, ..., x_N) = \frac{\left[\prod_{i=1}^{N} f(x_i \mid \theta)\right] f(\theta)}{\int_{-\infty}^{\infty} \left[\prod_{i=1}^{N} f(x_i \mid \theta)\right] f(\theta) \partial\theta} \quad \text{atau}$$

$$\mathbf{IB}(\theta) = f(\theta \mid x_1, x_2, ..., x_N) = \mathbf{k} \,.\, \mathbf{L}(\theta).f(\theta) \qquad (5.68)$$

dengan konstanta normalisasi '**k**' adalah:

$$\mathbf{k} = \left[\int_{-\infty}^{\infty} \left[\prod_{i=1}^{N} f(x_i \mid \theta)\right] f(\theta) \partial\theta\right]^{-1} \qquad (5.69)$$

sedangkan fungsi kemiripan $\mathbf{L}(\theta)$ merupakan produk dari fungsi kerapatan X yang dihitung pada $x_1,x_2,...,x_N$, atau sama dengan persamaan (5.67).

Dapat dilihat bahwa teorema Bayes telah digunakan untuk mengubah atau memperbaiki sebaran awal (prior) ke sebaran baru (posterior). Sebaran yang baru merefleksikan tingkat kepercayaan tentang θ yang memberikan keterangan sampelnya.

Karena fungsi IB berbentuk perkalian, maka menjadi lebih mudah jika dinyatakan dalam bentuk logaritma:

$$\log_e \mathbf{IB}(\theta) = \sum_{i=1}^{N} \log_e f(\theta \mid x_1, x_2, ..., x_N) \qquad (5.70)$$

Untuk mendapatkan nilai taksiran dengan kemiripan maksimum dari θ, dicari nilai θ yang memaksimumkan fungsi sebaran gabungan posterior. Nilai taksiran parameter ini dapat diperoleh dengan membuat turunan $\mathbf{IB}(\theta)$ sama dengan nol. Jadi, dalam hal ini:

$$\frac{\partial \mathbf{IB}(\theta)}{\partial \theta} = \mathbf{0} \tag{5.71}$$

atau $$\frac{\partial \log_e \mathbf{IB}(\theta)}{\partial \theta} = \mathbf{0} \tag{5.72}$$

b **Penerapan metode IB** Berdasarkan pembahasan sebelumnya, metode pendekatan ini menggabungkan secara sistematis pertimbangan subjektif (prior) dengan data pengamatan (fungsi kemiripan) untuk mendapatkan taksiran baru (posterior). Untuk fungsi kemiripannya, diasumsikan bahwa data jumlah pergerakan yang berasal dari zona ***i*** dan menuju ke zona ***d*** ($\hat{T}_{id}$) adalah sampel acak yang mengikuti sebaran Poisson dengan nilai rata-rata yang belum diketahui sebesar $\tau_{id} T_{id}$. Koefisien τ_{id} mewakili faktor sampel untuk setiap pasangan asal–tujuan atau satu bagian kecil dari populasi yang diamati.

Jadi [$\hat{T}_{id}$] adalah pengamatan sejumlah peubah acak yang tersebar secara Poisson dengan rata-rata $\tau_{id} T_{id}$. Asumsi MAT hasil pengamatan [$\hat{T}_{id}$] didasarkan pada keadaan praktis yang ditemui sehari-hari. Sebagian besar teknik survei MAT yang ada sekarang didasarkan pada penghitungan individu yang kemudian menghasilkan MAT hasil pengamatan dengan nilai berupa bilangan bulat. Matriks [$\hat{T}_{id}$] yang tersebar secara Poisson juga didapatkan dalam pengamatan kejadian yang saling tidak bergantungan dalam selang waktu tertentu.

Penggunaan parameter τ_{id} memungkinkan penerapan faktor sampel yang berbeda-beda untuk setiap pasangan asal–tujuan. Karena itu, dalam model ini juga dimungkinkan penggunaan beberapa teknik pengambilan sampel yang berbeda. Bentuk yang paling sederhana dan paling banyak digunakan adalah pengambilan sampel secara acak sederhana dengan menggunakan satu nilai tunggal τ yang diterapkan untuk semua pasangan asal–tujuan atau sampel seragam.

Dengan hipotesis bahwa untuk setiap pasangan asal–tujuan, nilai $\hat{T}_{id}$ didapatkan dari pengamatan suatu kejadian yang mengikuti sebaran Poisson dengan rata-rata $\tau_{id} T_{id}$, maka peluang gabungan untuk mendapatkan matriks [$\hat{T}_{id}$] yang merupakan fungsi kemiripan adalah:

$$\mathbf{L}\left[\hat{T}_{id}\right] = \mathbf{Prob}\left[\hat{T}_{id}\right] = \prod_i \prod_d \frac{(\tau_{id} T_{id})^{\hat{T}_{id}} . e^{-\tau_{id} T_{id}}}{\hat{T}_{id}!} \tag{5.73}$$

Konstanta normalisasinya menjadi:

$$\mathbf{k} = \left[\int_{-\infty}^{\infty} \prod_i \prod_d \frac{(\tau_{id} T_{id})^{\hat{T}_{id}} . e^{-\tau_{id} T_{id}}}{\hat{T}_{id}!} . f(\tau_{id} T_{id}) . \mathbf{d}(\tau_{id} T_{id}) \right]^{-1} \quad (5.74)$$

Karena persamaan (5.74) berupa konstanta, untuk selanjutnya hanya ditulis dengan '**k**' saja. Bagian sebaran awal (prior) atau sebaran peluang parameter dinyatakan dengan $f(\tau_{id} T_{id})$ yang akan dibahas berikut ini.

c **Probabilitas gabungan posterior tanpa informasi awal** Informasi awal yang dimaksud di sini adalah suatu fungsi sebaran parameter untuk menggambarkan tingkat kepercayaan parameter yang tidak diketahui. Jika tidak ada informasi awal parameter tersebut, diasumsikan suatu sebaran awal seragam, yaitu:

$$f(\tau_{id} T_{id}) = \mathbf{1,0} \quad (5.75)$$

Dengan fungsi kemiripan sama dengan persamaan (5.73) dan '**k**' sebagai konstanta normalisasi, maka menurut persamaan (5.68) 'sebaran $\tau_{id} T_{id}$ yang baru' adalah:

$$\mathbf{IB}(\tau_{\mathrm{id}} T_{id}) = \mathbf{k} . \prod_i \prod_d \frac{(\tau_{\mathrm{id}} T_{id})^{\hat{T}_{id}} . e^{-\tau_{id} T_{id}}}{\hat{T}_{id}!} . \mathbf{1} \quad (5.76)$$

Sesuai dengan ide dasar metode penaksiran inferensi-bayes, metode ini mencari nilai parameter yang memaksimumkan fungsi peluang gabungan posterior yang dinyatakan oleh persamaan (5.76), sehingga dihasilkan sebaran T_{id} yang paling sesuai dengan MAT hasil pengamatan ($\hat{T}_{id}$). Kemudian, dengan mengambil bentuk logaritma naturalnya, fungsi tujuan metode ini menjadi sebagai berikut ini.

memaksimumkan $\mathbf{IB}(\tau_{id} T_{id}) =$

$$\sum_i \sum_d \left(\log_e \mathbf{k} + \hat{T}_{id} \log_e (\tau_{id} T_{id}) - \tau_{id} T_{id} - \log_e \hat{T}_{id} \right) \quad (5.77)$$

Dengan mengembangkan lebih lanjut persamaan di atas dan menghilangkan bagian konstanta, didapat:

memaksimumkan $\quad \mathbf{IB}(\tau_{id} T_{id}) = \sum_i \sum_d \left(\hat{T}_{id} \log_e T_{id} - \tau_{id} T_{id} \right) \quad (5.78)$

Untuk nilai persentase sampel yang sangat kecil ($\tau << 1$), dapat dilihat bahwa nilai suku kedua dari fungsi tujuan persamaan (5.62) sangat kecil sehingga dapat diabaikan. Akhirnya, fungsi tujuan metode penaksiran IB tanpa informasi awal dapat dituliskan sebagai:

memaksimumkan $\quad \mathbf{IB}(\tau_{id} T_{id}) = \sum_i \sum_d \left(\hat{T}_{id} \log_e T_{id} \right) \quad (5.79)$

Terlihat bahwa fungsi tujuan yang diperoleh dari metode penaksiran IB tanpa informasi awal memberikan hasil yang sama dengan metode penaksiran kemiripan-maksimum (lihat subbab 5.7.6.5).

d **Peluang gabungan posterior dengan informasi awal** Dengan adanya informasi awal parameter, terlebih dulu harus diasumsikan suatu sebaran awal yang menggambarkan tingkat kepercayaan mengenai parameter tersebut. Misalkan data prior merupakan data jumlah perjalanan dari zona ***i*** menuju ke zona ***d*** pada suatu wilayah kajian yang mengikuti sebaran Poisson dengan jumlah perjalanan rata-rata yang sudah diketahui dinyatakan dengan $\overline{T}_{id}$, sehingga diperoleh sebaran prior sebagai berikut:

$$f\left(\tau_{id} T_{id}\right) = \frac{\left(\overline{T}_{id}\right)^{\tau_{id} T_{id}} . e^{-\overline{T}_{id}}}{\left(\tau_{id} T_{id}\right)!} \tag{5.80}$$

Dengan fungsi kecenderungan sama dengan persamaan (5.73) dan '**k**' sebagai konstanta normalisasi serta sebaran awal sama dengan persamaan (5.80), maka menurut persamaan (5.68) 'sebaran $\tau_{id} T_{id}$ yang baru' adalah:

$$\mathbf{IB}\left(\tau_{id} T_{id}\right) = \mathbf{k} . \prod_i \prod_d \left[\frac{\left(\tau_{id} T_{id}\right)^{\hat{T}_{id}} . e^{-\tau_{id} T_{id}}}{\hat{T}_{id}!} . \frac{\left(\overline{T}_{id}\right)^{\tau_{id} T_{id}} . e^{\overline{T}_{id}}}{\left(\tau_{id} T_{id}\right)!} \right] \tag{5.81}$$

Selanjutnya, dengan menerapkan metode IB dan mengambil bentuk logaritma naturalnya, fungsi tujuan metode ini menjadi:

memaksimumkan $\mathbf{IB}(\tau_{id} T_{id}) =$

$$\begin{aligned} \log_e \mathbf{k} + \sum_i \sum_d & \hat{T}_{id} \log_e \left(\tau_{id} T_{id}\right) - \tau_{id} T_{id} - \log_e \hat{T}_{id}! \\ & + \tau_{id} T_{id} \log_e \overline{T}_{id} - \overline{T}_{id} - \log_e \left(\tau_{id} T_{id}\right)! \end{aligned} \tag{5.82}$$

Dengan mengembangkan lebih lanjut persamaan di atas dan menghilangkan bagian konstanta, diperoleh fungsi tujuan metode penaksiran IB dengan informasi awal, yaitu:

$$\textbf{memaksimumkan} \quad \mathbf{IB}\left(\tau_{id} T_{id}\right) = \sum_i \sum_d \hat{T}_{id} \log_e T_{id} - \log_e \left(\tau_{id} T_{id}\right)! \tag{5.83}$$

Karena data perjalanan hasil penaksiran (T_{id}) merupakan hasil perhitungan model *gravity*, dapat diduga bahwa bentuk faktorial pada persamaan (5.83) merupakan suatu bilangan nyata. Selanjutnya, dilakukan pendekatan dengan fungsi Gamma, sehingga bentuk faktorial pada persamaan tersebut menjadi:

$$\left(\tau_{id} T_{id}\right)! = \Gamma\left(\tau_{id} T_{id} + 1\right) \tag{5.84}$$

Untuk nilai $\tau_{id} T_{id}$ yang positif besar, fungsi Gamma pada persamaan (5.84) dapat didekati dengan rumus *Stirling* menjadi:

$$\Gamma\left(\tau_{id} T_{id} + 1\right) \approx \sqrt{2\pi\left(\tau_{id} T_{id}\right)} . \left(\frac{\tau_{id} T_{id}}{e}\right)^{\tau_{id} T_{id}} \quad (5.85)$$

Kemudian, dengan mengambil bentuk logaritma naturalnya, persamaan (5.85) menjadi:

$$\log_e \Gamma\left(\tau_{id} T_{id} + 1\right) \approx \log_e \sqrt{2\pi . \left(\tau_{id} T_{id}\right)} + \tau_{id} . T_{id} \log_e \left(\tau_{id} T_{id}\right) - \tau_{id} T_{id} \quad (5.86)$$

Dengan menghilangkan bagian konstanta dan untuk nilai persentase sampel yang sangat kecil (τ<<1), persamaan (5.86) dapat disederhanakan menjadi:

$$\log_e \Gamma\left(\tau_{id} T_{id} + 1\right) \approx 0{,}5 \log_e T_{id} \quad (5.87)$$

Akhirnya, diperoleh fungsi tujuan metode penaksiran IB dengan informasi awal:

$$\textbf{memaksimumkan} \quad P(\tau_{id} T_{id}) = \sum_i \sum_d \left(\hat{T}_{id} \log_e T_{id} - 0{,}5 \log_e T_{id}\right) \quad (5.88)$$

e **Penggunaan data MAT parsial** Pada bagian ini dicoba membentuk suatu kerangka kerja untuk menaksir MAT dengan menggunakan data MAT parsial. MAT parsial adalah MAT hasil pengamatan yang datanya tidak lengkap atau suatu MAT hasil pengamatan yang satu atau lebih sel matriksnya tidak mempunyai data.

Ketidaklengkapan data ini bisa disebabkan oleh berbagai hal, misalnya survei yang dilakukan memang direncanakan seperti demikian mengingat keterbatasan waktu dan biaya yang tersedia. Penaksiran MAT seperti ini akan digunakan untuk melakukan uji kepekaan terhadap model penaksiran yang dikembangkan. Dalam penerapan penaksiran dengan menggunakan data MAT parsial, sel matriks yang tidak ada datanya akan mempunyai nilai **0** (nol).

f **Metode penaksiran IB untuk MAT parsial** Menaksir MAT dari suatu matrik pengamatan parsial dapat dilakukan dengan memodifikasi fungsi tujuan **IB** ($\tau_{id} T_{id}$). Fungsi tujuan yang dimodifikasi tersebut adalah:

$$\textbf{memaksimumkan} \quad \textbf{IB}\left(\tau_{id} T_{id}\right) = \sum_{i,d} \sum_{\varepsilon \mathbf{R}} \left(\hat{T}_{id} \log_e T_{id} - 0{,}5 \log_e T_{id}\right) \quad (5.89)$$

Persamaan (5.89) berlaku hanya untuk satu subkelompok i dan d yang diketahui datanya dan terlihat bahwa persamaan (5.89) akan sama dengan persamaan (5.78) untuk suatu data yang lengkap. Untuk memaksimumkan persamaan (5.89), turunan pertama **IB** ($\tau_{id} T_{id}$) terhadap parameter α dan β harus sama dengan nol, atau menjadi:

$$\frac{\partial \mathrm{IB}(\tau_{id} T_{id})}{\partial \alpha} = f_{\alpha} = \sum_{i,d} \sum_{\varepsilon \mathrm{R}} \left[\left(\frac{\hat{T}_{id}}{T_{id}} \cdot \frac{\partial T_{id}}{\partial \alpha} \right) - \left(\frac{0{,}5}{T_{id}} \cdot \frac{\partial T_{id}}{\partial \alpha} \right) \right] = 0$$
$$\frac{\partial \mathrm{IB}(\tau_{id} T_{id})}{\partial \beta} = f_{\beta} = \sum_{i,d} \sum_{\varepsilon \mathrm{R}} \left[\left(\frac{\hat{T}_{id}}{T_{id}} \cdot \frac{\partial T_{id}}{\partial \beta} \right) - \left(\frac{0{,}5}{T_{id}} \cdot \frac{\partial T_{id}}{\partial \beta} \right) \right] = 0 \qquad (5.90)$$

Persamaan (5.90) adalah sistem persamaan simultan dengan dua parameter α dan β yang tidak diketahui. Metode NewtonRaphson yang dikombinasikan dengan teknik eliminasi matriks sederhana digunakan untuk menyelesaikan persamaan tersebut.

5.7.6.7 Metode penaksiran entropi-maksimum (EM) **Tamin (1997e)** telah mengembangkan penggunaan pendekatan entropi-maksimum untuk mengkalibrasi parameter model *gravity*. Pertimbangkan suatu sistem yang terdiri dari sejumlah besar elemen. Penjelasan sangat rinci mengenai sistem tersebut membutuhkan spesifikasi yang lengkap mengenai status pada tingkat 'mikro'. Tetapi, untuk tujuan praktis, kita lebih baik bekerja pada tingkat yang lebih tinggi (agregat) atau pada tingkat dengan spesifikasi status pada tingkat 'meso'.

Pada contoh model sebaran pergerakan, status meso menjelaskan jumlah pergerakan antarzona. Secara umum, terdapat sejumlah besar kombinasi status mikro yang berbeda yang menghasilkan status meso yang sama, misalnya Amir dan Badu dapat saling bertukar zona tujuan yang akan menghasilkan status mikro yang berbeda tetapi dengan status meso yang tidak berubah. Seterusnya, terdapat pula status pengelompokan yang lebih tinggi, yaitu status pada tingkat makro; misalnya, total pergerakan pada suatu ruas jalan tertentu atau total bangkitan dan tarikan pergerakan suatu zona.

Untuk mendapatkan ukuran yang layak tentang suatu aktivitas pergerakan sering lebih mudah dilakukan pada tingkat pengelompokan yang lebih tinggi (status makro). Kenyataannya, hampir seluruh informasi tentang suatu sistem lebih akurat pada tingkat makro. Begitu juga, perkiraan mengenai masa mendatang biasanya mempunyai batasan pada tingkat status makro karena ketidakpastian dalam peramalan tersebut juga berada pada tingkat makro. Misalnya, lebih mudah meramalkan populasi suatu zona daripada jumlah keluarga suatu zona untuk kategori tertentu.

Secara teoritis, metode entropi-maksimum ini adalah untuk mendapatkan informasi seluruh status mikro yang akan terjadi dengan peluang yang sama serta konsisten dengan informasi status makronya. Hal ini sebenarnya mengasumsikan bahwa kita mengabaikan status mikro dan mesonya. Salah satu cara untuk memaksa agar tetap konsisten dengan informasi status mesonya adalah dengan cara mengekspresikannya dalam bentuk batasan suatu persamaan matematis. Karena kita lebih mementingkan deskripsi status meso suatu sistem, kita akan mengidentifikasi status meso yang paling memungkinkan sesuai dengan batasan status makronya.

Wilson (1970) memperlihatkan bahwa jumlah status mikro $W\{T_{id}\}$ yang terkait dengan status meso T_{id} adalah sebagai berikut.

$$W[T_{id}] = \frac{\mathbf{T!}}{\prod_i \prod_d T_{id}!} \tag{5.91}$$

Asumsi dasar pendekatan ini adalah peluang sebaran $[T_{id}]$ yang terjadi sebanding dengan jumlah status yang ada dalam sistem tersebut yang mendukung terbentuknya sebaran $[T_{id}]$. Jadi, jika $W[T_{id}]$ adalah jumlah cara yang dianut setiap individu untuk mengatur dirinya sehingga dihasilkan sebaran $[T_{id}]$, maka peluang $[T_{id}]$ yang terjadi sebanding dengan $W[T_{id}]$.

Karena diasumsikan bahwa seluruh status mikro berpeluang sama, maka status meso yang paling memungkinkan adalah status yang dapat dihasilkan dengan sebanyak mungkin cara. Karena itu, yang dibutuhkan adalah suatu teknik yang dapat mengidentifikasi nilai $[T_{id}]$ yang memaksimumkan $W[T_{id}]$ yang dinyatakan dengan persamaan (5.91). Untuk lebih mudahnya, kita akan memaksimumkan fungsi monoton $\log_e W$ karena keduanya mempunyai nilai maksimum yang sama. Karena itu,

$$\log_e W = \log_e \frac{\mathbf{T!}}{\prod_i \prod_d T_{id}!} = \log_e \mathbf{T!} - \sum_i \sum_d \log_e T_{id}! \tag{5.92}$$

Dengan menggunakan pendekatan *Stirling* $\log_e X! \approx X\log_e X - X$, persamaan (5.92) dapat disederhanakan menjadi:

$$\log_e W = \log_e \mathbf{T!} - \sum_i \sum_d \left(T_{id} \log_e T_{id} - T_{id}\right) \tag{5.93}$$

Karena merupakan konstanta, $\log_e T_{id}!$ dapat dihilangkan dari proses optimasi. Dengan menghilangkan faktor $\log_e T_{id}!$, persamaan (5.93) berubah menjadi persamaan (5.94) yang biasa disebut **fungsi entropi**.

$$\log_e W' = -\sum_i \sum_d \left(T_{id} \log_e T_{id} - T_{id}\right) \tag{5.94}$$

Dengan memaksimumkan persamaan (5.94) dengan batasan yang ditentukan dari pengetahuan status makro, dihasilkan model yang dapat memperkirakan status meso yang paling mungkin (dalam kasus ini berupa matriks sebaran pergerakan **[T]**). Kunci utamanya adalah bagaimana mengidentifikasi deskripsi status mikro, meso, dan makro yang cocok beserta batasan makro yang harus dipenuhi oleh solusi permasalahan optimasi tersebut.

Dalam beberapa kasus, terdapat beberapa informasi tambahan dalam bentuk informasi awal status meso, misalnya data matriks hasil observasi. Untuk itu, fungsi tujuan berubah menjadi:

$$\log_e W'' = -\sum_i \sum_d \left(T_{id} \log_e (T_{id} / \hat{T}_{id}) - T_{id} + \hat{T}_{id}\right) \tag{5.95}$$

Persamaan (5.95) merupakan fungsi tujuan yang cukup menarik karena jika seluruh nilai $T_{id} = \hat{T}_{id}$ maka $\log_e W''$ akan bernilai nol dan selalu akan bernilai negatif jika terdapat perbedaan di antaranya. Semakin besar perbedaannya, semakin kecil pula

nilai $\log_e W''$. Karena itu, $\log_e W''$ merupakan fungsi tujuan yang baik untuk melihat besarnya perbedaan antara T_{id} dengan $\hat{T}_{id}$.

Ide utama metode penaksiran entropi-maksimum adalah mengkalibrasi parameter model yang tidak diketahui dengan memperkecil perbedaan antara hasil pemodelan dengan data pengamatan. Secara matematis, fungsi tujuan metode penaksiran entropi-maksimum (EM) dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\textbf{memaksimumkan} \qquad \mathbf{E}_1 = \log_e W'' = -\sum_i \sum_d \left(T_{id} \log_e (T_{id} / \hat{T}_{id}) - T_{id} + \hat{T}_{id} \right) \quad (5.96)$$

Untuk memaksimumkan persamaan (5.96), disyaratkan bahwa turunan pertama $\mathbf{E}_1$ terhadap parameternya harus sama dengan nol:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \mathbf{E}_1}{\partial \alpha} &= f_\alpha = -\sum_i \sum_d \left[\left(\frac{\partial T_{id}}{\partial \alpha} \right) \left(\log_e \frac{T_{id}}{\hat{T}_{id}} \right) \right] = 0 \\ \frac{\partial \mathbf{E}_1}{\partial \beta} &= f_\beta = -\sum_i \sum_d \left[\left(\frac{\partial T_{id}}{\partial \beta} \right) \left(\log_e \frac{T_{id}}{\hat{T}_{id}} \right) \right] = 0 \end{aligned} \quad (5.97)$$

Persamaan (5.97) adalah sistem persamaan simultan dengan dua parameter α dan β yang tidak diketahui. Metode Newton–Raphson yang dikombinasikan dengan teknik eliminasi matriks sederhana bisa digunakan untuk menyelesaikan persamaan tersebut.

5.7.6.8 Metode lain Hasil yang sama juga didapat oleh **Evans** (**1971**) dan **Hathaway** (**1973**) yang menggunakan pendekatan kemiripan-maksimum. **Kirby** (**1974**) meneliti masalah ini sebagai bagian khusus dari pendekatan model yang lebih umum. Metode Hyman menggunakan cara interpolasi linear dalam proses pendekatan terhadap nilai parameter β.

Williams (**1975**) mempelajari keuntungan dan kerugian berbagai macam teknik pengkalibrasian model DCGR. Kesimpulannya, metode yang sangat efisien adalah model modifikasi Hyman dengan cara interpolasi kuadratis sebagai pengganti cara interpolasi linear. Secara umum, metode Hyman lebih baik dari metode yang diusulkan **Evans** (**1971**) dan **Hathaway** (**1973**); ketepatan kedua metode tersebut beragam, tergantung pada situasi, sedangkan metode Hyman dapat digunakan untuk setiap tingkat ketepatan yang diinginkan, tergantung pada ketepatan parameter β.

Pembaca yang berminat dapat melihat beberapa hasil penelitian lain, seperti **minimasi ekivalen** oleh **Evans** (**1973**), prosedur **Furness tiga dimensi** oleh **Evans and Kirby** (**1974**), pendekatan penaksir kuadrat-terkecil oleh **Wansbeek** (**1977**), dan pendekatan *simplified-odds-ratio* oleh **Gray and Sen** (**1983**).

Selain itu, **Wong** (**1980**) juga mengusulkan pendekatan alternatif lainnya dengan menggunakan pendekatan **pemrograman geometrik**. Semua metode ini secara umum mempunyai asumsi yang sama bahwa pangkalan data yang tersedia mempunyai data sampel MAT dan paling tidak data sebaran jarak perjalanan serta data O_i dan D_d.

5.7.6.9 Penggunaan data MAT parsial Pada bagian ini dicoba dibentuk kerangka kerja dalam menaksir MAT dengan menggunakan data MAT parsial. Yang dimaksud dengan MAT parsial adalah suatu MAT pengamatan yang datanya tidak lengkap. Atau dengan kata lain, MAT pengamatan yang satu atau lebih sel matriksnya tidak ada datanya. Ketidaklengkapan data ini bisa disebabkan oleh berbagai hal, antara lain karena survei yang dilakukan memang direncanakan seperti demikian mengingat keterbatasan waktu dan biaya yang tersedia.

Dalam penerapan dengan menggunakan data MAT parsial, sel matriks yang tidak ada datanya ini akan dinyatakan mempunyai data **0** (nol). Walaupun suatu sel matriks yang diamati dan kebetulan tidak ada datanya juga dilambangkan dengan nilai nol, di dalam perhitungan, kedua jenis data ini harus berbeda, seperti yang dijelaskan berikut ini.

a **Metode penaksiran KTTL untuk MAT parsial** Dalam buku ini, menaksir MAT dari suatu matriks pengamatan parsial dilakukan dengan memodifikasi fungsi tujuan **S** dan $\mathbf{S_1}$ dari metode KTTL dan KTTLB. Fungsi tujuan yang telah dimodifikasi tersebut adalah:

meminimumkan
$$\mathbf{S} = \sum_{i,d} \sum_{\varepsilon \mathbf{R}} \left[\frac{\mathbf{1}}{\dot{\mathbf{T}}} \left(T_{id} - \hat{T}_{id} \right)^2 \right] \tag{5.98}$$

$\dot{\mathbf{T}} = \mathbf{1}$ untuk KTTL dan $\dot{\mathbf{T}} = \hat{T}_{id}$ untuk KTTLB

Dapat dilihat bahwa persamaan (5.98) sama dengan persamaan (5.47) yang digunakan dalam metode penaksiran KTTL untuk data yang lengkap, kecuali bahwa sekarang perhitungan dilakukan terhadap subkelompok ***i*** dan ***d*** yang diketahui datanya. Untuk meminimumkan persamaan (5.98), turunan pertama **S** terhadap parameternya harus sama dengan nol:

$$\frac{\partial \mathbf{S}}{\partial \alpha} = f_\alpha = \sum_{i,d} \sum_{\varepsilon \mathbf{R}} \left[\frac{\mathbf{1}}{\dot{\mathbf{T}}} \left\{ 2 \left(T_{id} - \hat{T}_{id} \right) \frac{\partial T_{id}}{\partial \alpha} \right\} \right] = \mathbf{0} \tag{5.99}$$

$$\frac{\partial \mathbf{S}}{\partial \beta} = f_\beta = \sum_{i,d} \sum_{\varepsilon \mathbf{R}} \left[\frac{\mathbf{1}}{\dot{\mathbf{T}}} \left\{ 2 \left(T_{id} - \hat{T}_{id} \right) \frac{\partial T_{id}}{\partial \beta} \right\} \right] = \mathbf{0}$$

Persamaan (5.99) adalah sistem persamaan simultan dengan dua parameter α dan β yang tidak diketahui. Metode Newton–Raphson yang dikombinasikan dengan teknik eliminasi matriks sederhana bisa digunakan untuk menyelesaikan persamaan tersebut.

b **Metode penaksiran KM untuk MAT parsial** Pada penerapan metode penaksiran KM untuk data berupa MAT parsial, modifikasi seperti pada metode penaksiran KTTL di atas juga dapat dilakukan. Sekarang, fungsi tujuan yang telah dimodifikasi tersebut adalah:

memaksimumkan
$$\mathbf{L}_7 = \sum_{i,d} \sum_{\varepsilon \mathbf{R}} \left(\hat{T}_{id} \log_e T_{id} \right) \tag{5.100}$$

Untuk mencapai tujuan seperti yang dinyatakan pada persamaan (5.100), haruslah:

$$\frac{\partial \mathbf{L}_7}{\partial \alpha} = f_\alpha = \sum_{i,d} \sum_{\varepsilon \mathrm{R}} \left[\left(\frac{\hat{T}_{id}}{T_{id}} \right) \frac{\partial T_{id}}{\partial \alpha} \right] = \mathbf{0}$$

$$\frac{\partial \mathbf{L}_7}{\partial \beta} = f_\beta = \sum_{i,d} \sum_{\varepsilon \mathrm{R}} \left[\left(\frac{\hat{T}_{id}}{T_{id}} \right) \frac{\partial T_{id}}{\partial \beta} \right] = \mathbf{0} \tag{5.101}$$

Persamaan (5.101) adalah sistem persamaan simultan dengan parameter yang tidak diketahui berupa α dan β. Sekali lagi, penyelesaian dengan metode Newton–Raphson dan teknik eliminasi matriks sederhana kembali dapat digunakan.

5.7.6.10 Metode kalibrasi Newton–Raphson Sebagaimana telah disebutkan, parameter yang belum diketahui dari persamaan (5.28) harus dikalibrasi. Kalibrasi ini dilakukan dengan proses pengulangan sampai nilai parameter mencapai batas konvergensinya. Dalam buku ini, metode kalibrasi yang digunakan adalah metode Newton–Raphson. Metode ini didasarkan pada pendekatan nilai $f(x)$ dengan menggunakan deret Taylor (lihat **Tamin** (**1988d**); **Tamin and Willumsen** (**1988b**), dan **Batty** (**1976**)).

Nilai $f(x)$ didekati dengan menggunakan garis singgung $f(x)$ pada nilai x_i. Titik potong garis singgung ini dengan sumbu x digunakan sebagai pendekatan selanjutnya. Secara ringkas, metode tersebut dijelaskan sebagai berikut ini. Misalnya diketahui dua buah persamaan f dan g yang masing-masing adalah fungsi dari dua peubah bebas x dan y:

$$f(x,y) = 0 \text{ dan } g(x,y) = 0 \tag{5.102}$$

Jika x_0 dan y_0 adalah nilai untuk pendekatan solusi (x_0+$\mathbf{h}$) dan (y_0+$\mathbf{k}$), maka:

$$f(x_0+\mathbf{h}, y_0+\mathbf{k}) = \mathbf{0}$$

$$g(x_0+\mathbf{h}, y_0+\mathbf{k}) = \mathbf{0} \tag{5.103}$$

Pendekatan deret *Taylor* sampai tingkat pertama untuk kedua persamaan simultan ini menghasilkan:

$$f(x_0+\mathbf{h}, y_0+\mathbf{k}) = f(x_0,y_0) + \frac{\partial f}{\partial x}.\mathbf{h} + \frac{\partial f}{\partial y}.\mathbf{k}$$

$$g(x_0+\mathbf{h}, y_0+\mathbf{k}) = g(x_0,y_0) + \frac{\partial g}{\partial x}.\mathbf{h} + \frac{\partial g}{\partial y}.\mathbf{k} \tag{5.104}$$

Dengan memasukkan persamaan (5.103) ke dalam persamaan (5.104), didapat:

$$f(x_0,y_0) + \mathbf{h} \cdot \frac{\partial f}{\partial x} + \mathbf{k} \cdot \frac{\partial f}{\partial y} = \mathbf{0}$$

$$g(x_0,y_0) + \mathbf{h}. \frac{\partial g}{\partial x} + \mathbf{k}. \frac{\partial g}{\partial y} = \mathbf{0} \tag{5.105}$$

Nilai $f(x_0,y_0)$ dan $g(x_0,y_0)$ dapat dihitung. Begitu juga nilai $\frac{\partial f}{\partial x}$, $\frac{\partial f}{\partial y}$, $\frac{\partial g}{\partial x}$, dan $\frac{\partial g}{\partial y}$. Empat nilai yang terakhir masing-masing berarti turunan pertama dari f (atau g) terhadap x atau y pada nilai x_0 dan y_0. Yang belum diketahui hanyalah nilai **h** dan **k**. Dalam bentuk matriks, persamaan (5.105) dapat dituliskan sebagai:

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} & \frac{\partial f}{\partial y} \\ \frac{\partial g}{\partial x} & \frac{\partial g}{\partial y} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \mathbf{h} \\ \mathbf{k} \end{Bmatrix} = -\begin{bmatrix} f(x_0, y_0) \\ g(x_0, y_0) \end{bmatrix} \tag{5.106}$$

Persamaan (5.105) atau persamaan (5.106) adalah dua persamaan linear simultan dengan dua buah bilangan **h** dan **k** yang belum diketahui. Keduanya dapat dihitung dengan metode eliminasi Gauss–Jordan. Selanjutnya, nilai **h** dan nilai **k** ini digunakan untuk mendapatkan nilai pendekatan berikutnya:

$$x_1 = x_0 + \mathbf{h} \quad \text{dan} \quad y_1 = y_0 + \mathbf{k} \tag{5.107}$$

Perhitungan dengan persamaan (5.106) dan persamaan (5.107) diulangi sampai nilai x dan y konvergen. Konvergensi dapat dilihat dari nilai **h** dan **k** yang semakin mengecil. Perhitungan dihentikan bila nilai **h** dan **k** sudah mencapai harga yang diinginkan. Jadi, batas nilai **h** dan **k** yang dipilih sekaligus juga menunjukkan tingkat ketelitian perhitungan.

5.7.6.11 Program komputer dan prosedur kalibrasi Perkembangan ilmu dan teknologi di bidang elektronika dan informasi telah mengakibatkan kemampuan komputer pribadi meningkat pesat. Hal ini membuat penggunaan komputer untuk berbagai keperluan teknik, termasuk teknik transportasi dan teknik lalulintas, menjadi sangat menarik. Perhitungan model perencanaan transportasi sangat memerlukan bantuan komputer karena biasanya berhubungan dengan data dalam jumlah yang besar sehingga tidak mungkin dilakukan secara manual.

Salah satu paket program perencanaan transportasi yang banyak digunakan di Inggris adalah paket program **MOTORS**. Program ini dirancang oleh para ahli profesional di bidang perencanaan transportasi dan mikrokomputer (**Steer, Davies, and Gleave** (**1984**) dan **Willumsen** (**1984c**,**1986a**)); dan merupakan paket program yang dapat berinteraksi secara mudah dan interaktif dengan pengguna. Paket program ini dapat menangani wilayah kajian yang meliputi lebih dari 600 zona dan 10.000 ruas, tergantung pada kapasitas dan kemampuan komputer yang digunakan.

5.7.7 Penurunan model *gravity* dengan pendekatan entropi-maksimum

Setelah penurunan heuristik model GR dengan analogi hukum gravitasi Newton disampaikan, sekarang ditunjukkan pula bahwa model tersebut dapat diturunkan dengan analogi fisika yang berbeda yang dikenal dengan entropi-maksimum (lihat contoh **Wilson** (**1967**,**1970**,**1974**) dan **Wilson and Bennett** (**1985**). Dalam bidang mekanika statistika dikenal konsep tentang metode **penyusunan mikro** tentang sistem tertentu seperti molekul gas.

Kunci pendekatannya adalah pendefinisian satu set peubah yang membentuk suatu 'sistem' dan melihat batasan yang mengaturnya. Satu set $\boldsymbol{T_{id}}$, atau $\mathbf{[}\boldsymbol{T_{id}}\mathbf{]}$ mewakili sebaran pergerakan. Dibutuhkan pendefinisian **status** sistem yang mewakili individu dalam bentuk mikro. Jadi, jika suatu sistem dibentuk dari berbagai individu, status sistem tersebut (contohnya, perjalanan untuk bekerja) adalah cara individu memutuskan perjalanannya secara konsisten. Hal yang penting untuk digarisbawahi di sini adalah bahwa tujuan utamanya sebaran pergerakan dalam tingkat 'meso', bukan status yang ada dalam sistem.

Asumsi dasar pendekatan ini adalah peluang sebaran $\mathbf{[}\boldsymbol{T_{id}}\mathbf{]}$ yang terjadi sebanding dengan jumlah status yang ada dalam sistem tersebut yang mendukung terbentuknya sebaran $\mathbf{[}\boldsymbol{T_{id}}\mathbf{]}$. Jadi, jika $\mathbf{w[}\boldsymbol{T_{id}}\mathbf{]}$ adalah jumlah cara yang dianut setiap individu untuk mengatur dirinya sehingga dihasilkan sebaran $\mathbf{[}\boldsymbol{T_{id}}\mathbf{]}$, maka peluang $\mathbf{[}\boldsymbol{T_{id}}\mathbf{]}$ yang terjadi sebanding dengan $\mathbf{w(}\boldsymbol{T_{id}}\mathbf{)}$.

Dalam hal ini dirasakan perlu diperkenalkan batasan $\mathbf{[}\boldsymbol{T_{id}}\mathbf{]}$ lain sebagai tambahan batasan (5.22). Batasan tersebut berupa batas total biaya yang dilakukan oleh semua pergerakan di dalam daerah tersebut (**C**).

$$\sum_i \sum_d \boldsymbol{T_{id}} . \boldsymbol{C_{id}} = \mathbf{C} \tag{5.108}$$

Jadi, berdasarkan asumsi dasar, sebaran yang paling memungkinkan adalah matriks $\mathbf{[}\boldsymbol{T_{id}}\mathbf{]}$ yang memaksimumkan entropi berikut ini:

$$\mathbf{w}\left[\boldsymbol{T_{id}}\right] = \frac{\mathbf{T!}}{\prod_i \prod_d \boldsymbol{T_{id}}\mathbf{!}} \tag{5.109}$$

yang tergantung pada batasan (5.22) dan (5.108). Dengan melihat $\mathbf{w[}\boldsymbol{T_{id}}\mathbf{]}$ adalah jumlah status yang mendukung terjadinya sebaran $\mathbf{[}\boldsymbol{T_{id}}\mathbf{]}$**,** maka total jumlah status yang mungkin adalah:

$$\mathbf{W} = \sum_{\boldsymbol{T_{id}}} \mathbf{w}\left[\boldsymbol{T_{id}}\right] \tag{5.110}$$

yang memenuhi batasan persamaan (5.22) dan (5.108). Akan tetapi, nilai maksimum $\mathbf{w[}\boldsymbol{T_{id}}\mathbf{]}$ mendominasi nilai penjumlahan sehingga $\mathbf{[}\boldsymbol{T_{id}}\mathbf{]}$, yang mengarah ke nilai maksimum, menjadi sebaran yang paling memungkinkan. Untuk mendapatkan nilai $\boldsymbol{T_{id}}$ yang memaksimumkan $\mathbf{w[}\boldsymbol{T_{id}}\mathbf{]}$ seperti dalam persamaan (5.109) dan yang mempunyai batasan persamaan (5.22) dan (5.108), persamaan Lagrange (**£**) harus dimaksimumkan:

$$\mathbf{£} = \log_e \mathbf{W} + \sum_i \boldsymbol{\Theta}_i^{(1)} (\boldsymbol{O_i} - \sum_d \boldsymbol{T_{id}}) + \sum_d \boldsymbol{\Theta}_d^{(2)} (\boldsymbol{D_d} - \sum_i \boldsymbol{T_{id}}) + \phi(\mathbf{C} - \sum_i \sum_d \boldsymbol{T_{id}} . \boldsymbol{C_{id}}) \tag{5.111}$$

dengan $\Theta_i^{(1)}, \Theta_i^{(2)}$ dan ϕ adalah **pengali Lagrange**. Perhatikan bahwa dirasakan lebih mudah memaksimumkan $\log_e \mathbf{W}$ sehingga memungkinkan digunakannya pendekatan ***Stirling***:

$$\mathbf{Log}_e\mathbf{N!} \approx \mathbf{N}\log_e\mathbf{N} - \mathbf{N} \tag{5.112}$$

untuk menghitung fungsi faktorial. Nilai T_{id} yang memaksimumkan **£** dan yang menghasilkan sebaran $[T_{id}]$ yang paling memungkinkan didapat sebagai hasil solusi dari:

$$\frac{\partial \pounds}{\partial T_{id}} = 0 \tag{5.113}$$

beserta batasan persamaan (5.22) dan (5.108). Dengan menggunakan pendekatan Stirling (5.112) maka persamaan (5.113) dapat ditulis sebagai:

$$\frac{\partial \pounds}{\partial T_{id}} = -\log_e T_{id} - \Theta_i^{(1)} - \Theta_d^{(2)} - \phi . C_{id} \tag{5.114}$$

yang selanjutnya menghasilkan:

$$T_{id} = \exp\left(-\Theta_i^{(1)} - \Theta_d^{(2)} - \phi . C_{id}\right) \tag{5.115}$$

Persamaan (5.114) disubstitusikan ke dalam persamaan (5.22) untuk mendapatkan $\Theta_i^{(1)}$ dan $\Theta_i^{(2)}$:

$$\exp\left(-\Theta_i^{(1)}\right) = O_i \cdot \left[\sum_d \exp\left(-\Theta_d^{(2)} - \phi . C_{id}\right)\right]^{-1} \tag{5.116}$$

$$\exp\left(-\Theta_d^{(2)}\right) = D_d \cdot \left[\sum_i \exp\left(-\Theta_i^{(1)} - \phi . C_{id}\right)\right]^{-1} \tag{5.117}$$

Untuk mendapatkan hasil akhir dalam bentuk yang lebih dikenal, nyatakan:

$$A_i = \frac{\exp\left(-\Theta_i^{(1)}\right)}{O_i} \; ; \; B_d = \frac{\exp\left(-\Theta_d^{(2)}\right)}{D_d} \tag{5.118}$$

$$T_{id} = O_i \, . \, D_d \, . \, A_i \, . \, B_d \, . \, f_{id} \tag{5.119}$$

dan dengan menggunakan persamaan (5.116)–(5.117) dapat dinyatakan bahwa:

$$A_i = \left[\sum_d \left(B_d . D_d . f_{id}\right)\right]^{-1} \quad ; \quad B_d = \left[\sum_i \left(A_i . O_i . f_{id}\right)\right]^{-1} \tag{5.120}$$

Jadi, sebaran pergerakan yang paling memungkinkan adalah sama dengan model GR seperti dengan persamaan (5.21)–(5.22); penurunan rumus secara statistik ini merupakan dasar teori baru untuk model GR. Dapat dilihat bahwa **C** sebagai batasan biaya (5.108) pada dasarnya tidak perlu diketahui karena secara praktis persamaan ini tidak menghitung ϕ. Parameter ini bisa didapat dengan metode perhitungan biasa. Akan tetapi, jika **C** diketahui, persamaan (5.108) dapat dipecahkan secara numerik untuk mendapatkan ϕ.

Teori statistik ini menyebutkan bahwa jika total pergerakan bangkitan dan tarikan untuk setiap zona untuk suatu kategori pergerakan orang yang homogen serta biaya perjalanan antarzona diketahui, termasuk total biaya perjalanan yang dilakukan untuk seluruh daerah kajian tersebut, maka akan terdapat sebaran pergerakan antarzona yang paling memungkinkan, dan sebaran pergerakan tersebut sama dengan yang dihasilkan oleh model GR.

Sebagai tambahan, model GR juga bisa diturunkan dengan menggunakan metode nilai rata-rata (*Darwin–Fohler*). Penurunan model GR dengan menggunakan metode nilai rata-rata ini dibahas dalam **Maclean** (**1976**) dan **Wilson** (**1970**,**1974**). Permasalahan ini ditekankan karena dimungkinkannya penggunaan analogi metode 'Mekanika–Statistik *Darwin–Fohler*' untuk menghitung nilai rata-rata $\boldsymbol{T_{id}}$, selain cara yang telah dikembangkan sebelumnya, yaitu cara peluang yang paling memungkinkan.

Ditekankan juga bahwa dalam menghasilkan metode **GR**, metode ini tidak tergantung pada pendekatan seperti yang dilakukan dalam metode entropi-maksimum. Akan tetapi, secara praktis metode entropi-maksimum tetap sering digunakan dalam penurunan berbagai macam pemodelan pada umumnya dan pemodelan transportasi pada khususnya.

5.7.8 Beberapa perilaku model *gravity*

Terlihat pada subbab sebelumnya bahwa pendekatan entropi-maksimum dapat digunakan untuk menurunkan model *gravity*. Hampir seluruh keluarga model sebaran pergerakan dapat diturunkan dengan merumuskan permasalahan yang ada dalam kerangka pemrograman matematis, misalnya memaksimumkan fungsi entropi dengan batasan linear dapat menjelaskan bagaimana suatu sistem transportasi berperilaku. Pemakaian formulasi pemrograman matematis ini mempunyai beberapa keuntungan:

- Tersedianya cara yang baik untuk menjelaskan perilaku matematis dari model yang dihasilkan. Contohnya, dengan mudah dapat terlihat apakah fungsi matematis tersebut cekung atau cembung; atau dapat juga terlihat dengan mudah, dengan adanya beberapa batasan tertentu, apakah persamaan tersebut masih mempunyai ruang solusi yang memungkinkan; atau apakah permasalahan optimasi tersebut akan mempunyai solusi tertentu;
- Penggunaan kerangka pemrograman matematis juga dapat digunakan sebagai alat bantu untuk menentukan metode penyelesaian yang terbaik serta analisis efisiensi dari beberapa algoritma yang tersedia.
- Kerangka teori yang digunakan untuk menghasilkan model dapat juga memberikan interpretasi dan penjelasan tambahan tentang solusi yang dihasilkannya. Seperti kita ketahui, model *gravity* dapat diturunkan dari suatu analogi fisika atau dari adanya pertimbangan memaksimumkan entropi. Hal yang terakhir ini sangat berkaitan dengan teori informasi, teori ukuran galat, atau teori kemiripan-maksimum yang ada dalam ilmu statistik. Ketiganya menghasilkan bentuk matematis model *gravity* yang sama. Walaupun bentuk fungsionalnya sama, setiap kerangka teori akan memberikan interpretasi yang

berbeda pada permasalahan dan juga pada solusi yang dihasilkan – setiap interprestasi mungkin cocok untuk suatu kondisi, situasi, atau alasan tertentu.

- Kenyataan bahwa model *gravity* dapat diturunkan dengan berbagai cara bukan berarti bahwa model tersebut adalah yang terbaik. Cocok tidaknya suatu model tergantung pada cocok tidaknya asumsi yang disyaratkan dalam proses penurunan dan interpretasinya. Tidak ada satu model pun yang pasti benar; model hanya mencoba mendekati realita dengan berbagai proses penyederhanaan, asumsi, pendekatan, pengabaian, dan lain-lain yang diambil sesuai dengan maksud dan tujuan permasalahan, kajian yang akan diuji, analisis yang akan dilakukan, informasi yang ada, batasan biaya, serta waktu dan sumber daya yang tersedia.

5.8 Model *intervening-opportunity* (IO)

Sampai saat ini, model GR sangat umum dan sering digunakan sebagai model penyebaran pergerakan. Model ini mempunyai beberapa keuntungan secara teori dan praktis. Selain itu, telah tersedia pula beberapa paket program yang dapat digunakan untuk mengkalibrasinya. Model ini dapat dikembangkan untuk menampung lebih dari satu jenis pergerakan dan juga dapat digunakan untuk pemodelan pergerakan barang. Akan tetapi, model GR tidak dapat digunakan untuk setiap kondisi. Untuk itu, dijelaskan pendekatan lain, meskipun jarang digunakan, yang merupakan alternatif model GR, yaitu model *intervening-opportunity* (IO).

Ide dasar yang menggarisbawahi model ini adalah bahwa setiap pergerakan pada dasarnya tidak selalu berkaitan dengan jarak antara asal dan tujuan, tetapi tergantung pada tingkat kepuasan atau kesempatan yang dapat diterima atau dihasilkan oleh tempat tujuan pergerakan tersebut. Pendekatan ini pertama kali diperkenalkan oleh **Stoufer** (**1940**) yang mencoba menerapkan ide tersebut pada pemodelan proses migrasi dan perpindahan lokasi pelayanan dan perumahan. **Schneider** (**1959**) mengembangkan teori tersebut seperti yang kita lihat sekarang.

Misal ada zona asal $\boldsymbol{i}$ dan urutkan semua zona tujuan yang ada sesuai dengan urutan yang semakin jauh dari zona $\boldsymbol{i}$. Kemudian, tinjau satu pasangan asal–tujuan ($\boldsymbol{i}$,$\boldsymbol{d}$) dengan $\boldsymbol{d}$ adalah zona tujuan ke-$\boldsymbol{m}$ sesuai dengan urutan jarak dari $\boldsymbol{i}$. Jadi, zona urutan ke-($\boldsymbol{m}$**–1**) secara matematis lebih dekat (lebih mudah dicapai) dari zona $\boldsymbol{i}$.

Pengguna jalan mempertimbangkan semua zona tujuan dan memilih satu yang paling memenuhi kebutuhannya sehingga dapat dinyatakan bahwa kesempatan-antara mempengaruhi pemilihan zona tujuan. Jika α adalah peluang pengguna jalan terpenuhi kebutuhannya oleh satu kesempatan, maka peluang orang tersebut tertarik ke suatu zona yang mempunyai **D** kesempatan adalah sebesar α**D**.

Misalkan terdapat peluang sebesar q_i^m seorang pengguna jalan tidak terpenuhi kebutuhannya oleh kesempatan yang disediakan oleh zona ke-$\boldsymbol{m}$ dari zona $\boldsymbol{i}$. Ini berarti sama dengan total peluang tidak terpenuhinya kebutuhan oleh zona pertama, kedua, dan seterusnya sampai zona ke-$\boldsymbol{m}$ seperti terlihat pada persamaan (5.121):

$$q_i^m = q_i^{m-1}(1-\alpha D_i^m) \tag{5.121}$$

Oleh karena itu, dengan menghilangkan tikalas ***i*** untuk penyederhanaan, didapat:

$$\frac{q_i^m - q_i^{m-1}}{q_i^m} = -\alpha D^m \tag{5.122}$$

Sekarang, jika x_m dinyatakan sebagai kumulasi tarikan dari kesempatan-antara di zona ke-***m***:

$$x_m = \sum_m D^m \tag{5.123}$$

Maka, persamaan (5.121) dapat dinyatakan sebagai:

$$\frac{q^m - q^{m-1}}{q^m} = -\alpha\left[x_{m-1} - x_m\right] \tag{5.124}$$

Limit persamaan (5.124), dengan peningkatan sangat kecil, dapat dinyatakan dengan:

$$\frac{\mathrm{d}q^m(x)}{q^m(x)} = -\alpha \mathrm{d}x \tag{5.125}$$

Dengan mengintegralkan persamaan (5.125), didapat:

$$\log_e q^m(x) = -\alpha x + \text{konstanta}$$

atau $$q^m(x) = A_i \cdot \exp(-\alpha x) \tag{5.126}$$

A_i adalah parameter hasil proses kalibrasi. Hubungan ini menyatakan bahwa besarnya peluang setiap pergerakan yang tidak terpenuhi kebutuhannya oleh zona ke-***m*** dari ***i*** dinyatakan sebagai fungsi eksponensial-negatif dari total akumulasi kesempatan-antara pada jarak tersebut dari zona asal ***i***. Pergerakan T_{id}^m dari zona asal ***i*** ke zona tujuan ***d*** (yang sebenarnya adalah zona ke-***m*** dari ***i***) berbanding lurus dengan peluang tidak terpenuhinya kebutuhan tersebut sampai ke zona ke-(***m***–**1**) dikurangi dengan peluang tidak terpenuhinya kebutuhan sampai ke zona ke-***m***:

$$T_{id}^m = O_i\left[q_i(x_{m-1}) - q_i(x_m)\right]$$

$$T_{id}^m = O_i A_i\left[\exp(-\alpha x_{m-1}) - \exp(-\alpha x_m)\right] \tag{5.127}$$

Jelaskan konstanta A_i harus sama dengan:

$$A_i = \frac{1}{\left[1 - \exp(-\alpha x_m)\right]} \tag{5.128}$$

agar batasan ujung perjalanan terpenuhi. Jadi, model tersebut secara utuh dapat dituliskan sebagai:

$$T_{id}^m = O_i \frac{\left[\exp(-\alpha x_{m-1}) - \exp(-\alpha x_m)\right]}{\left[1 - \exp(-\alpha x_m)\right]} \tag{5.129}$$

Wilson *et al* (**1977**,**1981**) memperlihatkan bahwa persamaan (5.121) juga dapat diturunkan dengan pendekatan entropi-maksimum. Model IO sangat menarik untuk dipelajari karena dikembangkan dari prinsip dasar penurunan yang berbeda dengan menggunakan jarak sebagai peubah ordinal, sedangkan model GR menggunakan jarak sebagai peubah kardinal menerus.

Secara eksplisit, model ini mempertimbangkan kesempatan yang tersedia untuk memenuhi kebutuhan setiap pergerakan pada setiap zona tujuan yang semakin jauh dari zona asal. Akan tetapi, secara praktis, model ini tidak sering digunakan karena:

- dasar teori tidak begitu dikenal dan lebih sulit dimengerti oleh praktisi; ide bahwa matriks dengan zona tujuan yang harus diurut sesuai dengan jarak yang semakin jauh dari zona asal (sel ke-***n*** dari zona asal ***i*** bukanlah tujuan ***n***, tetapi tujuan ke-***n*** dari zona asal ***i***) lebih sulit digunakan secara praktis;
- keuntungan praktis dan teori jika dibandingkan dengan model lainnya tidak begitu nyata;
- terbatasnya paket program yang dapat mengkalibrasi model ini.

Subbab 5.9 menerangkan model yang lebih umum yang menggabungkan model GR dengan model IO. Model ini dikenal dengan model *gravity-opportunity* (GO) yang dikembangkan oleh **Wills** pada tahun 1986 (**Wills, 1986**).

5.9 Model *gravity-opportunity* (GO)

5.9.1 Latar belakang

Ruiter (**1967**) dan **Wilson** (**1967**,**1970**,**1981**) menjelaskan bahwa **Stouffer** mengembangkan untuk pertama kalinya model IO pada tahun 1940.

Stouffer mengembangkannya dalam bentuk yang sangat sederhana, dengan asumsi bahwa jumlah pergerakan dari zona asal ke zona tujuan berbanding lurus dengan jumlah kesempatan pada zona tujuan, dan berbanding terbalik dengan jumlah kesempatan-antara.

Dalam model ini, hambatan antarzona tidak terlihat secara eksplisit; tetapi, setiap zona tujuan dari zona asal ***i*** akan diurut sesuai dengan jarak yang semakin menjauh dari zona ***i***. Suatu notasi dibutuhkan untuk menjelaskan hal ini. Nyatakan $d_j^{(i)}$ adalah zona tujuan ke-***j*** dalam urutan jarak dari zona asal ***i*** dengan $d_j^{(i)}$ kemudian disederhanakan menjadi d_j.

Asumsi yang mendasari model ini adalah bahwa setiap pergerakan akan mempertimbangkan setiap kesempatan yang ada secara berurutan dan mempunyai peluang tertentu yang kebutuhannya terpenuhi. Untuk mengetahui beroperasinya asumsi dasar tersebut, pertimbangkan situasi yang zona tujuannya diurut sesuai dengan jarak dari suatu zona asal. Misalkan U_{id}^{i} adalah peluang setiap pergerakan yang akan mempertimbangkan zona tujuan yang lebih jauh dari zona ke-***j*** dari zona

i dan terdapat peluang sebesar **L** untuk setiap kesempatan untuk memuaskan setiap pergerakan. Maka, untuk orde yang pertama dalam **L**:

$$U_{id}^{i} = 1 - \mathbf{L} \,.\, D_d^1 \tag{5.130}$$

D_d^1 adalah jumlah kesempatan yang tersedia di zona d^1, yang lebih dekat ke zona i. Jadi, dengan mengalikan peluang secara berurutan, diperoleh:

$$\begin{aligned} U_{id}^{2} &= U_{id}^{1} \,.(1 - \mathbf{L} \,.\, D_d^2) \\ U_{id}^{3} &= U_{id}^{2} \,.(1 - \mathbf{L} \,.\, D_d^3) \end{aligned} \tag{5.131}$$

dan seterusnya. Dalam bentuk umum:

$$U_{id}^{j} = U_{id}^{j-1} .(1 - \mathbf{L} \,.\, D_d^j) \tag{5.132}$$

Jika A_d^j adalah jumlah kesempatan sampai dengan dan termasuk zona d^j, maka:

$$D_d^j = A_d^j - A_d^{j-1} \tag{5.133}$$

dan persamaan (5.129) dapat ditulis sebagai:

$$\frac{(U_{id}^{j} - U_{id}^{j-1})}{U_{id}^{j-1}} = -\mathbf{L} \,.(A_d^j - A_d^{j-1}) \tag{5.134}$$

Persamaan ini dapat ditulis, dengan asumsi variasi menerus, sebagai:

$$\frac{\delta U}{U} = -\mathbf{L} \,.\delta A \qquad \text{yang akan menghasilkan} \tag{5.135}$$

$$U_{id}^{j} = k_i \,.\, \exp(-\mathbf{L} \,.\, A_d^j) \qquad k_i \text{ adalah konstanta} \tag{5.136}$$

Anggaplah

$$T_{id}^{j} = O_i \,.\, (U_{id}^{j} - U_{id}^{j-1}) \tag{5.137}$$

dengan T_{id}^{j} adalah jumlah pergerakan dari zona i ke zona ke-j, dari total O_i pergerakan yang berasal dari zona i. Memasukkan persamaan (5.136) ke persamaan (5.137) menghasilkan:

$$T_{id}^{j} = k_i \,.O_i \,.[\exp(-\mathbf{L} \,.\, A_d^j) - \exp(-\mathbf{L} \,.\, A_d^{j-1})] \tag{5.138}$$

yaitu bentuk model IO. Untuk mendapatkan pembahasan yang lebih mendalam, pembaca disarankan membaca tulisan **Ruiter** (**1967**) yang menjelaskan penggunaan pertama model tersebut pada proyek *CATS* (*Chicago Area Transportation Study*) pada tahun 1950-an.

Salah satu kekurangan model ini jika digunakan untuk peramalan sebaran pergerakan adalah parameter dasar yang digunakan beragam sebagai fungsi waktu. Parameter tersebut berupa peluang pengguna jalan untuk mengakhiri pergerakannya pada zona tujuan secara acak untuk memenuhi tujuan pergerakannya, sedangkan

zona tujuan tersebut dipertimbangkan secara terpisah dan tidak tergantung pada zona tujuan lain yang ada.

Parameter tersebut mencerminkan kepentingan pengguna jalan dan kemampuan suatu zona tujuan dalam memenuhi kebutuhannya. **Salenius** (**1972**) mengembangkan suatu model dengan asumsi bahwa terdapat jumlah ujung perjalanan tertentu di setiap zona dan setiap ujung perjalanan hanya dapat digunakan oleh satu pergerakan saja.

Definisi parameter peluang dasar sedikit dimodifikasi dengan menambahkan kondisi bahwa zona tujuan yang dipertimbangkan oleh setiap pengguna jalan sebagai tujuan akhir pergerakan harus digunakan jika hal tersebut dipertimbangkan.

Model yang serupa juga diusulkan oleh **Ashtakala** (**1987**); analisis regresi digunakan untuk mendapatkan parameter yang dioptimasikan dengan mengatur nilai pangkat parameternya. Bentuk fungsional model tersebut mempunyai kegunaan umum. Model khusus bisa didapat dari model umum tersebut dengan menggunakan peubah tidak bebas yang cocok dan sesuai dengan data yang tersedia. Oleh karena itu, model sebaran pergerakan itu dinamakan model *Generalised Power*.

Pertimbangkan zona asal tertentu dan beberapa kemungkinan zona tujuan dalam suatu permukaan berdimensi dua, yang memungkinkan setiap kemungkinan terjadi antara zona tujuan tersebut, yang terurut sesuai dengan jarak dari zona asal. Tentukan salah satu zona tujuan dan lakukan perubahan pada salah satu atributnya.

Perubahan tersebut akan menyebabkan efek yang berbeda dan lebih kecil pada pergerakan dari suatu zona asal ke zona tujuan yang mempunyai jarak yang lebih dekat, jika dibandingkan dengan zona tujuan yang mempunyai jarak yang lebih jauh. Adanya perbedaan ini disebabkan oleh adanya efek kesempatan-antara pada zona tujuan, dan ini merupakan fenomena intuitif logis, yang pada model GR tidak dipertimbangkan.

Salah satu kesulitan yang menghambat pengembangan model IO adalah persyaratan penggantian hambatan pergerakan (jarak, waktu, dan biaya) dengan sesuatu yang didasarkan hanya pada karakteristik zona tujuan yang saling mempengaruhi. Selanjutnya, permasalahan notasi juga menghambat penggunaan model ini karena hal tersebut mensyaratkan zona tujuan yang harus diurut sesuai dengan jarak yang semakin menjauh. Di satu sisi, model GR kurang memperhatikan efek *intervening*, sementara di sisi lain, model IO tidak mempertimbangkan efek hambatan. Sangat logis jika model yang ideal adalah model yang mempertimbangkan kedua efek tersebut.

Wills (**1978**,**1986**) mengembangkan model *gravity–opportunity* (GO). Bentuk dasar model GR dan IO bisa didapat sebagai kasus khusus. Jadi, pertanyaan mengenai pemilihan antara pendekatan model GR atau IO diputuskan secara empirik dan statistik dengan menggunakan batasan pada parameter yang mengontrol bentuk fungsi mekanisme penyebaran pergerakan.

5.9.2 Definisi

5.9.2.1 MAT terurut Beri penomoran pada zona asal dan tujuan dengan cara yang biasa, seperti $i = 1, 2, ..., I$ sebagai zona asal dan $d = 1, 2, ..., J$ sebagai zona tujuan, dan anggap T_{id} adalah pergerakan dari zona asal i ke zona tujuan d. Definisikan transformasi δ^i_{jd} untuk setiap zona asal i seperti:

$$\delta^i_{jd} = \begin{cases} 1 & \text{jika zona tujuan } d \text{ berada pada posisi ke-}j \text{ dalam urutan jarak yang semakin jauh dari } i \\ 0 & \text{jika tidak} \end{cases} \quad (5.139)$$

Kemudian, MAT terurut bisa didapat dengan menggunakan transformasi:

$$Z_{ij} = \sum_d \left(\delta^i_{jd} . T_{id} \right) \quad (5.140)$$

Jadi, Z_{ij} adalah pergerakan dari zona asal i ke zona tujuan ke-j yang diurut sesuai dengan jarak dari zona i. Perhatikan bahwa j selalu didefinisikan sebagai fungsi dari i, sehingga lebih tepat jika disebut sebagai $j(i)$. Akan tetapi, untuk menyederhanakan notasi, i dihilangkan. Jika transformasi δ^i_{jd} menghasilkan MAT terurut, sebaliknya δ^{i-1}_{jd} digunakan untuk menghasilkan MAT sebenarnya dengan cara:

$$T_{id} = \sum_d \left(\delta^{i-1}_{jd} . Z_{id} \right) \quad (5.141)$$

Perlu dicatat bahwa bagian transformasi hanya berlaku bagi peubah yang berkaitan dengan MAT, matriks biaya, faktor proporsional, dan faktor penyeimbang saja.

5.9.2.2 Normalisasi Untuk mendapatkan konsistensi yang logis, seperti total pergerakan ke zona tujuan dari setiap zona asal i harus sama dengan total pergerakan dari zona asal tersebut dan total pergerakan yang berasal dari zona tertentu ke setiap zona tujuan j harus sama dengan total pergerakan yang menuju ke zona tersebut, maka dua persamaan berikut ini dibutuhkan:

$$O_i = \sum_j Z_{ij} \quad (5.142)$$

$$D^i_j = \sum_d \left(\delta^i_{jd} . D_d \right); \quad D_d = \sum_i \left[\sum_j \left(\delta^{i-1}_{jd} . Z_{ij} \right) \right] \quad (5.143)$$

Untuk memenuhi persamaan batas (5.142)–(5.143), persamaan berikut ini diperlukan:

- Z_{ij} seperti yang didefinisikan pada persamaan (5.140)
- $T_{id} = O_i . D_d . A_i . B_d . f_{id}$ (5.144)

- $$A_i = \left[\sum_d \left(B_d . D_d . f_{id}\right)\right]^{-1} \; ; B_d = \left[\sum_i \left(A_i . O_i . f_{id}\right)\right]^{-1} \qquad (5.145)$$

Bentuk normalisasi yang lain digunakan untuk versi dengan-satu-batasan dengan menetapkan $B_d = 1$ untuk setiap d, yang dikenal dengan **versi dengan-batasan-bangkitan**. Hal yang sama, tetapi jenisnya lain adalah dengan menetapkan $A_i = 1$ untuk setiap i, yang dikenal dengan **versi dengan-batasan-tarikan**. Kedua jenis model ini sangat berguna apabila salah satu informasi ujung perjalanan tidak tersedia. **Versi tanpa-batasan** dapat dihitung tanpa perlu melakukan normalisasi dengan menetapkan $A_i = B_d = 1$ untuk setiap i dan d.

5.9.2.3 Transformasi Untuk mendapatkan skala peubah yang menerus untuk menghasilkan keluarga model dalam bentuk fungsi yang spesifik, maka transformasi *Box–Cox* dibutuhkan. Dasar teori transformasi ini bisa dilihat pada **Box and Cox** (**1964**) dan pustaka lain. Transformasi Box–Cox untuk suatu peubah y bisa didefinisikan sebagai:

$$y^{(\varepsilon)} = \begin{cases} \dfrac{(y^{\varepsilon} - 1)}{\varepsilon} & \varepsilon \neq 0 \\ \log_e y & \varepsilon = 0 \end{cases} \qquad (5.146)$$

Invers transformasi Box–Cox adalah:

$$y^{1/\varepsilon} = \begin{cases} (y\varepsilon + 1)^{1/\varepsilon} & \varepsilon \neq 0 \\ \exp y & \varepsilon = 0 \end{cases} \qquad (5.147)$$

Transformasi ini bisa dikombinasikan menjadi fungsi baru yang dikenal sebagai kombinasi cembung dalam μ,

$$y^{(\varepsilon,\mu)} = \mu . y^{(\varepsilon)} + (1 - \mu) . y^{(1/\varepsilon)} \qquad \text{dengan } 0 \le \mu \le 1 \qquad (5.148)$$

5.9.3 Spesifikasi fungsi kesempatan

Tahapan utama dalam mengintegrasikan kedua model tersebut adalah mendapatkan spesifikasi fungsi kesempatan yang mempunyai peubah atribut-tujuan seperti populasi, pendapatan atau ukuran kesempatan lainnya, dan biaya atau peubah hambatan yang mengaitkan asal dan tujuan. Fungsi kesempatan U_{ip} mengaitkan i dengan tujuan ke-p dari zona i dan didefinisikan sebagai:

$$U_{ip} = \exp\left((1 - \varepsilon).\alpha.D_p.^{i(\Omega)} - \beta.C_{ip}^{(\Phi)}\right) \qquad (5.149)$$

U_{ip} didefinisikan sebagai vektor kombinasi antara faktor hambatan dan kesempatan. Nilai $(1–\varepsilon)$ menjamin bahwa, jika $\varepsilon = 1$, dihasilkan model GR sedangkan efek kesempatan-antara dihilangkan. Faktor hambatan memberi bobot kesempatan-antara dengan memperhitungkan lokasi antara asal dan tujuan, yang biasanya semakin dekat suatu zona tujuan ke zona asal, semakin besar pula pengaruhnya pada

pergerakan antara ***i*** dan ***j***. Ini menghasilkan konsep umum yang mencerminkan adanya sebaran spasial aktivitas ekonomi yang menghasilkan uji statistik tentang pengaruh lokasi terhadap kesempatan-antara.

Tabel 5.21 memperlihatkan beberapa spesifikasi fungsi kesempatan yang tergantung pada nilai parameter Ω and Φ.

Tabel 5.21 Spesifikasi fungsi kesempatan

Ω	Φ	Kesempatan-antara	Hambatan	U_{ip}
Ω	Φ	$\exp\left[(1-\varepsilon).\alpha.D_p^{i(\Omega)}\right]$	$\exp\left(-\beta.C_{ip}^{(\Phi)}\right)$	$\exp\left[(1-\varepsilon).\alpha.D_p^{i(\Omega)}-\beta.C_{ip}^{(\Phi)}\right]$
1	1	$\exp\left[(1-\varepsilon).\alpha.D_p^{i}\right]$	$\exp\left(-\beta.C_{ip}\right)$	$\exp\left[(1-\varepsilon).\alpha.D_p^{i}-\beta.C_{ip}\right]$
0	0	$D_{pi}^{\alpha(1-\varepsilon)}$	$C_{ip}^{-\beta}$	$D_{pi}^{\alpha(1-\varepsilon)}.C_{ip}^{-\beta}$
1	0	$\exp\left[(1-\varepsilon).\alpha.D_p^{i}\right]$	$C_{ip}^{-\beta}$	$\exp\left[(1-\varepsilon).\alpha.D_p^{i}-\beta.\log_e C_{ip}\right]$
0	1	$D_{pi}^{\alpha(1-\varepsilon)}$	$\exp\left(-\beta.C_{ip}\right)$	$\exp\left[(1-\varepsilon).\alpha.\log_e D_p^{i}-\beta.C_{ip}\right]$

Sumber: Wills (1986)

5.9.4 Struktur faktor proporsi

Fungsi kesempatan digabung ke dalam bentuk faktor proporsi yang umum F_{ij} yang didefinisikan sebagai perbedaan dalam fungsi kesempatan-kumulatif dari zona ***i*** ke zona ke-***j*** dengan dari zona ***i*** ke zona ke-$(j-1)$, yang dapat didefinisikan sebagai:

$$F_{ij} = X_{ij} - X_{ij-1} \tag{5.150}$$

Bentuk kesempatan-kumulatif yang paling umum menyatakan bahwa X_{ij} dan X_{ij-1} adalah:

$$X_{ij} = \left(\sum_p^j U_{ip}\right)^{(\varepsilon,\mu)} \quad \text{dan} \quad X_{ij-1} = \left(\sum_p^{j-1} U_{ip}\right)^{(\varepsilon,\mu)} \tag{5.151}$$

Transformasi (ε,μ) didefinisikan sebagai persamaan (5.146)–(5.148). Memasukkan persamaan (5.151) ke persamaan (5.150) menghasilkan bentuk faktor proporsi yang umum seperti:

$$F_{ij} = \left(\sum_p^j U_{ip}\right)^{(\varepsilon,\mu)} - \left(\sum_p^{j-1} U_{ip}\right)^{(\varepsilon,\mu)} \tag{5.152}$$

Faktor proporsi umum tergantung pada kombinasi cembung dari transformasi Box–Cox (langsung dan invers). Bentuk persamaan (5.152) menghasilkan dua cabang kasus khusus, yaitu model *opportunity* jenis **langsung** (DO) dengan nilai $\mu = 1$, dan model *opportunity* jenis **inversi** (IO) dengan nilai $\mu = 0$. Model DO sangat

jelas karena terdiri dari kasus khusus dan penting, yaitu model *opportunity* jenis **logaritma** (LO) dengan $\varepsilon = 0$, yaitu:

$$F_{ij} = \log_e\left(\sum_P^j U_{ip}\right) - \log_e\left(\sum_P^{j-1} U_{ip}\right) \tag{5.153}$$

Model IO cukup penting karena di dalamnya terdapat model *opportunity* jenis **eksponensial** (EO) dengan nilai $\varepsilon = 0$, yaitu:

$$F_{ij} = \exp\left(\sum_P^j U_{ip}\right) - \exp\left(\sum_P^{j-1} U_{ip}\right) \tag{5.154}$$

Kita dapat juga mempertimbangkan gabungan antara model LO dan EO, tanpa harus menggunakan model GO, dengan cara mengambil kombinasi cembung antara persamaan (5.153) dan (5.154) dengan pengkombinasian yang tergantung pada nilai μ. Bentuk campuran ini, disebut model *opportunity* jenis **gabungan** (BO) model, adalah:

$$F_{ij} = \mu\left[\log_e\left(\sum_p^j U_{ip}\right) - \log_e\left(\sum_p^{j-1} U_{ip}\right)\right] + (1-\mu)\left[\exp\left(\sum_p^j U_{ip}\right) - \exp\left(\sum_p^{j-1} U_{ip}\right)\right] \tag{5.155}$$

Akhirnya, dapat dilihat bahwa jika $\varepsilon = 1$, untuk $0 \le \mu \le 1$, dihasilkan model GR:

$$F_{ij} = \left(\sum_P^j U_{ip}\right) - \left(\sum_P^{j-1} U_{ip}\right) = U_{ij} \tag{5.156}$$

Hal ini menunjukkan bahwa model GR dapat dihasilkan sebagai kasus khusus model GO.

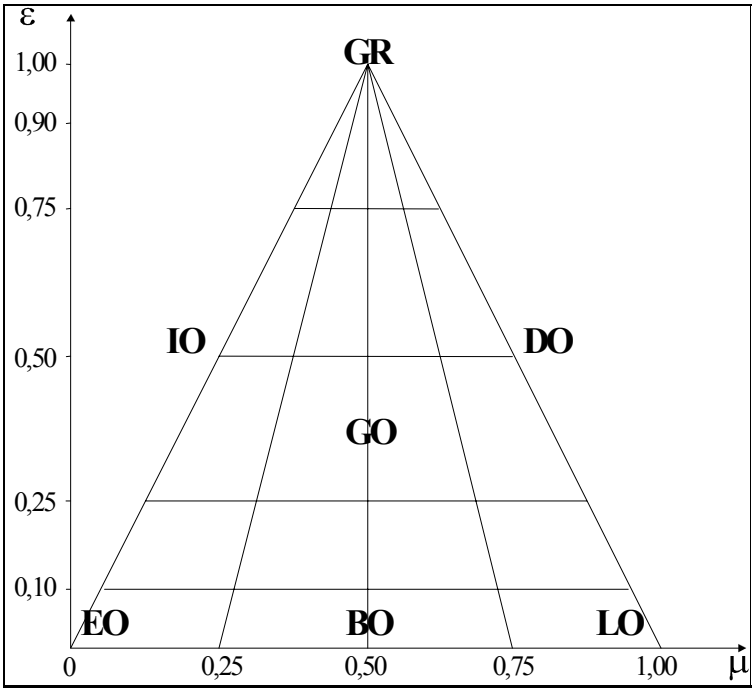
Seperti telah dijelaskan sebelumnya, nilai parameter berbeda yang mengatur transformasi akan menghasilkan keluarga model yang sangat berbeda, seperti model EO, model LO, dan model GR. Semua model ini dapat diperlihatkan dalam daerah segitiga dengan kontur fungsi kemungkinan, permukaan respon, dan interval kepercayaan dapat dirajah.

Tiga unsur dasar yang diterangkan di atas, yaitu prosedur normalisasi, fungsi kesempatan dan faktor proporsi menghasilkan model sebaran pergerakan yang sangat luas pemakaiannya yang dikenal dengan model GO. Beberapa kasus khusus model GO tersebut dan nilai parameter yang mengaturnya dirangkumkan dalam tabel 5.22 dan hubungan secara struktural diperlihatkan secara diagram dalam gambar 5.6.

Tabel 5.22 Spesifikasi faktor proporsi

Bentuk	μ	ε	Kesempatan-kumulatif (X_{ij})	Faktor Proporsi (F_{ij})
GO	$0 \le \mu \le 1$	$0 \le \varepsilon \le 1$	$\left(\sum_{p}^{j} U_{ip}\right)^{(\varepsilon,\mu)}$	$\left(\sum_{p}^{j} U_{ip}\right)^{(\varepsilon,\mu)} - \left(\sum_{p}^{j-p} U_{ip}\right)^{(\varepsilon,\mu)}$
LO	1	0	$\log_e\left(\sum_{p}^{j} U_{ip}\right)$	$\log_e\left(\sum_{p}^{j} U_{ip}\right) - \log_e\left(\sum_{p}^{j-p} U_{ip}\right)$
DO	1	$0 \le \varepsilon \le 1$	$\left(\sum_{p}^{j} U_{ip}\right)^{(\varepsilon)}$	$\left(\sum_{p}^{j} U_{ip}\right)^{(\varepsilon)} - \left(\sum_{p}^{j-p} U_{ip}\right)^{(\varepsilon)}$
GR	$0 \le \mu \le 1$	1	$\left(\sum_{p}^{j} U_{ip}\right)$	U_{ip}
IO	0	$0 \le \varepsilon \le 1$	$\left(\sum_{p}^{j} U_{ip}\right)^{(1/\varepsilon)}$	$\left(\sum_{p}^{j} U_{ip}\right)^{(1/\varepsilon)} - \left(\sum_{p}^{j-p} U_{ip}\right)^{(1/\varepsilon)}$
EO	0	0	$\exp\left(\sum_{p}^{j} U_{ip}\right)$	$\exp\left(\sum_{p}^{j} U_{ip}\right) - \exp\left(\sum_{p}^{j-p} U_{ip}\right)$
BO	$0 \le \mu \le 1$	0	$\mu\log_e\left(\sum_{p}^{j} U_{ip}\right) + (1-\mu)\exp\left(\sum_{p}^{j} U_{ip}\right)$	$\mu\left[\log_e\left(\sum_{p}^{j} U_{ip}\right) - \log_e\left(\sum_{p}^{j-p} U_{ip}\right)\right] + (1-\mu)\left[\exp\left(\sum_{p}^{j} U_{ip}\right) - \exp\left(\sum_{p}^{j-p} U_{ip}\right)\right]$

Sumber: Wills (1986)



Gambar 5.6
Diagram struktural faktor proporsi dan kasus khususnya
Sumber: Wills (1986)

5.9.5 Aksioma IIA dan model GO

Bagian ini membuktikan bahwa model GO tidak berkaitan dengan aksioma ***Independence-From-Irrelevant-Alternatives*** (**IIA**) yang dalam hal ini *irrelevant-alternatives*-nya adalah zona tujuan. Satu-satunya model yang mempunyai aksioma IIA adalah model GR yang tidak tergantung pada jenis normalisasi yang digunakan.

Misalkan zona tujuan diurut sesuai dengan jarak yang semakin jauh dari zona ***i*** sehingga:

$$f < g < h < j \tag{5.157}$$

f adalah zona tujuan ke-***f*** dari zona ***i***, sehingga:

$$C_{if} < C_{ig} < C_{ih} < C_{ij} \tag{5.158}$$

C_{if} adalah biaya atau jarak dari ***i*** ke ***f***. Kemudian, dalam konteks sebaran pergerakan, dapat dikatakan bahwa suatu model mengikuti aksioma IIA jika perubahan pada atribut zona tujuan ***g*** tidak menyebabkan perubahan pada pergerakan yang tertarik ke zona tujuan ***f*** dan ***h***. Dengan kata lain:

$$\frac{T_{if}}{T_{ih}} = \frac{T^*_{if}}{T^*_{ih}} \tag{5.159}$$

T_{if} dan T_{ih} adalah pergerakan sebelum adanya perubahan pada U_{ig}, serta T^*_{if} dan T^*_{ih} adalah pergerakan jika U_{ig} telah berubah menjadi U^*_{ig}. Dengan menggunakan urutan biaya atau jarak yang sudah ada, ***g*** sebenarnya merupakan kesempatan-antara bagi ***h***, tetapi bukan bagi ***f***.

Perubahan pada ***g*** hanya berpengaruh pada kumulatif kesempatan di ***h*** dan zona tujuan lainnya yang lebih jauh. Jika pada ***h*** terjadi perubahan, hal ini tidak akan mempengaruhi nisbah antara ***f*** dan ***g*** untuk semua jenis model GO. Model GR hanya terdiri dari nisbah kesempatan fungsi ***f*** dan ***h***, yang tidak tergantung pada ***g***. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa model GR merupakan satu-satunya model GO yang mengabaikan aksioma IIA, tidak tergantung pada jenis normalisasi yang digunakan.

5.9.6 Model GO yang diusulkan

Jika diasumsikan terdapat **K** tujuan pergerakan atau jenis barang yang bergerak di antara beberapa zona di dalam daerah kajian, maka model GO yang diusulkan adalah:

$$T_{id} = \sum_k \left(b_k . O_i^k . D_d^k . A_i^k . B_d^k . f_{id}^k \right) \tag{5.160}$$

A_i^k dan B_d^k didefinisikan dengan persamaan (5.20)

$$f_{id}^k = \sum_j \left(\delta_{jd}^{i-1} . F_{ij}^k \right) \tag{5.161}$$

$$F_{ij}^k = \left(\sum_p^j U_{ip}^k \right)^{(\varepsilon,\mu)} - \left(\sum_p^{j-1} U_{ip}^k \right)^{(\varepsilon,\mu)} \tag{5.162}$$

$$U_{ip}^k = \exp\left((1-\varepsilon).\alpha_k . D_{pk}^{i(\Omega)} - \beta_k . C_{ip}^{(\Phi)} \right) \tag{5.163}$$

$$D_{jk}^i = \sum_d \left(\delta_{jd}^i - D_d^k \right) \tag{5.164}$$

Parameter (Ω,Φ) dipilih terlebih dahulu, di luar proses kalibrasi (lihat tabel 5.21).

Transformasi (ε,μ) dinyatakan dengan persamaan (5.146)–(5.148) (lihat juga tabel 5.22).

5.10 Beberapa permasalahan praktis

Kita telah mendiskusikan beberapa model yang berkaitan dengan perhitungan bangkitan dan tarikan pergerakan setiap zona serta pergerakan antarzonanya. Dalam pelaksanaannya, beberapa permasalahan praktis perlu diperhatikan karena sangat mempengaruhi akurasi penggunaan model tersebut. Hal ini dapat berasal dari batasan yang ada dalam kerangka pemodelan atau dari ketidakmampuan kita dalam membuat model yang seharusnya memiliki deskripsi rinci dari realita yang akan dimodel. **Tamin (1988a)** dan **Ortuzar and Willumsen (1994)** mendiskusikan beberapa permasalahan praktis yang perlu diperhatikan.

5.10.1 Penanganan zona eskternal

Dalam penentuan batas daerah kajian telah disarankan agar batas tersebut ditentukan sedemikian rupa sehingga daerah di dalam batas (zona internal)

mempunyai kontribusi besar terhadap terjadinya pergerakan, sedangkan daerah di luar batas tersebut (zona eksternal) mempunyai kontribusi kecil. Akan tetapi, tetap tidak bisa dihindari adanya pergerakan dari zona eksternal ke internal dan sebaliknya atau mungkin saja pergerakan zona eksternal ke eksternal yang dalam proses pergerakannya menggunakan jaringan jalan di dalam daerah kajian (pergerakan ini sering disebut lalulintas menerus). Masalah lalulintas menerus merupakan masalah yang sangat serius yang perlu diperhatikan pembina daerah perkotaan. Usaha penanganan lalulintas menerus ini sangat banyak membutuhkan biaya, misalnya pembangunan jalan lingkar.

Hal yang paling sering dipertanyakan yang berkaitan dengan zona eksternal adalah cara menghitung biaya gabungan sistem jaringan dari pusat zona eksternal ke pusat zona internal dalam daerah kajian (hal ini sangat sulit ditentukan karena zona eksternal didefinisikan mewakili seluruh daerah di luar batas daerah kajian).

Secara praktek yang harus dilakukan untuk kasus seperti ini adalah: pemodelan pergerakan yang ada kaitannya dengan zona eksternal harus dipisahkan dengan pemodelan antarzona internal atau intrazonal. Pertama, hal ini dapat dilakukan dengan melakukan wawancara di tepi jalan pada titik inlet dan outlet dari dan ke daerah kajian untuk mendapatkan informasi pergerakan yang berkaitan dengan zona eksternal. Kedua, seluruh pergerakan yang berkaitan dengan zona eksternal harus dihilangkan dari matriks total sehingga dihasilkan matriks baru yang hanya berisikan informasi pergerakan antarzona internal saja.

Ketiga, pemodelan untuk kedua jenis pergerakan tersebut lalu dilakukan secara terpisah. Peramalan matriks pergerakan yang berkaitan dengan zona eksternal untuk masa mendatang dapat dilakukan dengan metode faktor pertumbuhan, misalnya metode Furness, sedangkan pergerakan yang berkaitan dengan zona internal dapat menggunakan beberapa model sintetis yang telah diterangkan, misalnya model *gravity*. Keempat, hasil peramalan kedua jenis pergerakan tersebut kemudian dapat digabung untuk menghasilkan matriks total pergerakan masa mendatang yang dibutuhkan untuk berbagai keperluan perencanaan transportasi.

5.10.2 Pergerakan intrazona internal

Permasalahan yang sama juga berlaku untuk pergerakan intrazona internal. Permasalahan timbul karena definisi pusat zona, yang menyebabkan pergerakan intrazona internal tidak akan pernah terbebankan ke sistem jaringan, sehingga pergerakan jenis ini selalu diabaikan dalam pemodelan transportasi. Penyebabnya, karena pusat zona didefinisikan sebagai lokasi pergerakan dari zona awal dan lokasi pergerakan ke zona akhir. Jadi, pergerakan intrazona internal merupakan pergerakan yang (berdasarkan definisi) berasal dan berakhir pada lokasi yang sama. Hal inilah yang menyebabkan bahwa dalam pemodelan transportasi, pergerakan jenis ini tidak akan pernah terbebankan ke sistem jaringan dan menyebabkan galat pemodelan yang cukup besar.

Akan tetapi, dalam realitanya, pergerakan jenis inilah yang paling banyak menyebabkan permasalahan transportasi, khususnya di daerah perkotaan. Dengan kata lain, permasalahan transportasi yang terjadi bukan disebabkan oleh pergerakan antarzona internal, tetapi oleh pergerakan intrazonal internal yang membebani

sistem jaringan jalan (dalam pemodelan transportasi, pergerakan jenis ini diabaikan karena definisi pusat zona).

Semakin besar luas suatu zona, semakin besar pula persentase volume pergerakan intrazona internal yang sudah barang tentu akan semakin besar peluang kemacetan yang dapat ditimbulkannya. Cara penanganan masalah pergerakan jenis ini adalah dengan mengubahnya menjadi pergerakan antarzona internal. Salah satu cara adalah membagi zona tersebut menjadi beberapa subzona yang lebih kecil, sehingga pergerakan intrazona internal menjadi pergerakan antarzona internal.

5.10.3 Tujuan pergerakan

Pergerakan dengan tujuan dan/atau jenis orang yang berbeda-beda biasanya menggunakan model yang berbeda-beda pula. Misalnya, pergerakan menuju tempat kerja biasanya menggunakan model *gravity* dengan-dua-batasan, sedangkan pergerakan dengan tujuan lain (misalnya belanja atau rekreasi) menggunakan model *gravity* dengan-satu-batasan. Hal ini disebabkan sangat sukarnya memperkirakan besarnya tarikan pergerakan secara akurat untuk daerah perbelanjaan atau rekreasi. Kadang-kadang beberapa tujuan pergerakan cukup sensitif terhadap perubahan biaya sehingga membutuhkan penggunaaan fungsi hambatan yang berbeda pula.

Beberapa model sebaran pergerakan yang telah diterangkan mempunyai perilaku yang berbeda. Model faktor pertumbuhan mengasumsikan sebaran pergerakan hanya tergantung pada besarnya bangkitan dan tarikan setiap zona dan tidak tergantung pada aksesibilitas antarzonanya. Sebaliknya, model sintetis mengasumsikan bahwa aksesibilitas antarzona dapat juga mempengaruhi sebaran pergerakan selain besarnya bangkitan dan tarikan.

Dalam model sintetis pun terdapat beberapa perilaku. Contohnya, model *gravity* lebih mengutamakan peranan aksesibilitas antarzona dalam proses penyebaran pergerakan, sedangkan model *opportunity* lebih menekankan pada sejauh mana zona tujuan tersebut dapat memenuhi kebutuhan seseorang tanpa memperhatikan berapa pun biaya yang harus dikeluarkannya (seperti kita ketahui, tujuan kita bergerak adalah untuk memenuhi kebutuhan). Pergerakan belanja dan rekreasi lebih baik menggunakan model *opportunity* daripada model *gravity* karena tujuan pergerakan jenis ini lebih mementingkan kemampuan zona tujuan dalam memenuhi kebutuhan tanpa melihat berapa besar biaya yang harus dikeluarkan untuk mencapai zona tersebut. Model *gravity-opportunity* mencoba menggabungkan kedua perilaku utama ini. Model ini cocok untuk daerah perkotaan karena pada kenyataannya beberapa tujuan pergerakan yang terjadi dapat dipenuhi oleh kedua perilaku ini.

5.10.4 Matriks yang mempunyai banyak sel kosong

Kebanyakan matriks asal–tujuan mempunyai banyak sel kosong (sel matriks yang tidak mempunyai informasi pergerakan atau mempunyai nilai pergerakan nol). Misalnya, suatu daerah kajian mencakup 600 zona (360.000 sel) dengan 3.600.000 pergerakan; ini berarti setiap sel berisi rata-rata 10 pergerakan. Dapat dipastikan pergerakan tersebut tidak akan merata untuk seluruh sel; pasti ada daerah yang tinggi tingkat pergerakannya, misalnya dari daerah perumahan ke daerah perkantoran. Hal ini akan menyebabkan banyak sel matriks yang kosong. Selain itu,

adanya proses pengambilan sampel (misalnya 20%) akan menambah peluang bertambahnya sel kosong tersebut. Adanya sel kosong mengakibatkan sel tersebut tidak akan pernah didapatkan nilai peramalan masa mendatangnya.

Dalam kasus seperti ini, yang dapat dilakukan adalah (1) mencoba menggabungkan beberapa zona yang ada sehingga menjadi zona baru yang bukan merupakan sel kosong. Dengan cara tersebut jumlah sel kosong akan menjadi berkurang; (2) memasukkan nilai yang sangat kecil (misalnya nilai 1) ke setiap sel kosong yang ada.

5.10.5 Bangkitan–tarikan dan asal–tujuan

Beberapa model sintetis yang telah dikembangkan mengasumsikan bahwa setiap pergerakan yang terjadi selalu mempunyai asal dan tujuan. Model tersebut pada dasarnya menghubungkan zona bangkitan dengan zona tarikan. Untuk pergerakan berbasis-rumah, zona bangkitannya adalah rumah, misalnya pergerakan pergi menuju tempat kerja (atau pendidikan, tempat belanja); sedangkan zona tarikannya adalah kantor, sekolah, atau toko. Untuk pergerakan pulang, terjadi hal yang sebaliknya; zona bangkitan adalah kantor, sekolah, atau toko, sedangkan zona tarikan adalah rumah.

Dalam perencanaan dan pemodelan transportasi dikenal MAT yang mempunyai skala waktu yang berbeda-beda sesuai dengan kebutuhan, misalnya MAT 24-jam, MAT 6-jam, MAT jam sibuk pagi, dan lain-lain. Untuk MAT 24-jam, kedua pergerakan yang telah diterangkan sebelumnya tidak akan menimbulkan masalah karena keduanya dilakukan sekali untuk setiap arah dan terjadi dalam satu hari itu meskipun pada waktu yang berbeda. Akan tetapi, untuk MAT dengan skala waktu pendek, beberapa pergerakan dilakukan dengan arah dari zona bangkitan ke tarikan sedangkan yang lain mungkin bergerak dengan arah yang berbeda, atau pergerakan tersebut belum dilaksanakan karena waktunya berbeda.

Terdapat beberapa pendekatan yang dapat dilakukan untuk mengatasi permasalahan ini. Pendekatan pertama adalah menghasilkan MAT untuk tujuan pergerakan tertentu, misalnya untuk tujuan bekerja, kemudian mengasumsikan bahwa pergerakan tersebut hanya bergerak untuk satu arah saja, misalnya pergerakan dari zona bangkitan ke tarikan pada jam sibuk pagi. Beberapa data survei kemudian harus dikumpulkan untuk menampung beberapa hal, misalnya kebijakan jam kerja yang fleksibel, kebijakan kerja shift, atau adanya pergerakan dengan tujuan pergerakan lain yang dilakukan pada pagi hari. Pendekatan kedua adalah melaksanakan survei untuk bertujuan mengetahui secara langsung berapa persentase MAT untuk setiap arah pergerakan, misalnya MAT jam sibuk pagi dapat terdiri dari 65% pergerakan bangkitan–tarikan dan 35% pergerakan tarikan–bangkitan untuk setiap tujuan pergerakan.

5.10.6 Faktor ‘K’

Model *gravity* dapat digunakan untuk memperkirakan sebaran pergerakan jika sebaran tersebut dipengaruhi oleh faktor bangkitan dan tarikan setiap zona serta aksesibilitas antarzona. Akan tetapi, dalam beberapa kasus, terdapat beberapa

pasangan zona asal–tujuan yang besar pergerakannya tidak dipengaruhi oleh faktor tersebut. Sebagai contoh adalah pergerakan antara zona industri dengan zona perumahan yang khusus dibangun oleh industri tersebut untuk karyawannya. Dalam kasus ini, sudah barang tentu besar pergerakan tidak dapat diperkirakan dengan model *gravity*. Untuk menangani kasus seperti ini, dirasakan perlu memperkenalkan parameter K_{id} sebagai tambahan dalam model *gravity* seperti tertera pada persamaan (5.165).

$$T_{id} = K_{id} . A_i . O_i . B_d . D_d . \exp(-\beta C_{id}) \qquad (5.165)$$

Beberapa kajian yang telah dilakukan menyimpulkan bahwa penggunaan faktor K_{id} dapat meningkatkan akurasi MAT yang dihasilkan.

5.11 Ketelitian MAT yang dihasilkan oleh metode konvensional

Usaha untuk mendapatkan MAT tidaklah sederhana dan mudah. Usaha tersebut beragam dari metode konvensional yang membutuhkan waktu lama dan biaya yang sangat mahal sampai ke metode yang baru, yaitu yang menggunakan data arus lalulintas yang sangat mudah didapat (untuk lebih jelasnya, pembaca disarankan membaca bab 8). Apabila peramalan lalulintas diperlukan untuk pengambilan keputusan, sangat penting diketahui kualitas peramalan tersebut. Suatu kebijakan dapat terlihat lebih baik dari yang lain, tetapi ketidakpastian yang berkaitan dengan peramalan bisa menjadikan hal yang sebaliknya terjadi.

Apa pun metodologi yang digunakan, harus diketahui bahwa MAT yang dihasilkan tidak pernah luput dari galat. Ketepatan MAT yang dihasilkan sangat berkaitan dengan galat yang ada dalam proses penaksirannya, baik metode konvensional maupun metode tidak konvensional. **Willumsen** (**1978ab**,**1981b**) menjelaskan bahwa ketepatan MAT yang dihasilkan dengan pendekatan metode langsung dan tidak langsung tergantung pada beberapa sumber galat seperti berikut ini.

a **Keragaman harian/musiman dan galat perluasan data survei** Jenis galat ini terjadi jika suatu faktor dibutuhkan untuk mengkonversi data asli lapangan untuk menghasilkan MAT pada selang waktu tertentu (misalnya: data survei 16 jam-an hendak diubah menjadi 24 jam-an). Kasus ini dapat juga berupa perubahan yang dilakukan dari survei dengan selang waktu tertentu untuk mendapatkan MAT dengan selang waktu yang lebih panjang. Jenis galat ini disebabkan oleh adanya pengaruh keragaman harian/musiman pada MAT.

b **Galat dalam pengumpulan data** Jenis galat ini terjadi selama proses survei yang sebagian besar akibat galat manusia, seperti: galat mengidentifikasi kendaraan, menghitung arus, kuesioner yang tidak lengkap, atau galat dalam penulisan informasi. Jenis galat ini biasanya secara praktis tidak dapat dihindarkan. Kontrol kualitas yang baik dapat mengurangi jenis galat ini, tetapi tidak bisa menghilangkannya sama sekali.

c **Galat dalam pengolahan data** Jenis galat ini terjadi dalam proses pemindahan data mentah dan biasanya terjadi karena galat manusia. Sumber utama kesalahan adalah kekeliruan memberi kode, galat pengetikan, perhitungan

ganda, data yang hilang atau tidak terbaca, galat mengedit dan membuat file, galat membuat tabel atau galat membuat program. Sekali lagi, kontrol kualitas yang baik dapat menolong mengurangi jenis galat ini.

d **Galat pengambilan sampel** Model arus lalulintas pada dasarnya membutuhkan proses pengambilan data yang karena satu dan lain hal merupakan bagian atau cerminan populasi yang ada. Begitu faktor sampel diketahui, tingkat kepercayaan bisa segera dihitung. Jenis galat ini terjadi karena, kecuali pada kasus yang sangat sederhana, survei tidak dapat mencakup seluruh pergerakan yang terjadi selama selang waktu survei.

Hal ini karena lokasi wawancara di jalan atau metode survei menggunakan bendera yang tidak memungkinkan terambilnya seluruh data yang ada. Dalam kasus ini, tingkat pengambilan yang lebih kecil dari 100% dibutuhkan karena pertimbangan praktis. Dimungkinkan adanya penurunan faktor sampel dengan mengambil data yang lebih banyak.

Akan tetapi, di atas batas tertentu, hal ini tidak menguntungkan karena tingkat ketidakpastian hanya akan berkurang secara nyata dengan pengambilan sampel yang sangat banyak dan juga karena galat yang terjadi akibat faktor lain akan menjadi lebih penting. Satu-satunya galat yang mempunyai standar pemecahan teori adalah galat yang disebabkan oleh faktor konversi atau galat faktor sampel.

Sebagai tambahan informasi, ketepatan MAT yang dihasilkan dengan pendekatan metode tidak langsung tergantung pada beberapa sumber galat sebagai berikut:

e **Galat kalibrasi** Beberapa data yang dibutuhkan seperti panjang jalan dapat diukur secara tepat. Akan tetapi, data lain seperti lapangan kerja hanya dapat berupa perkiraan saja. Jenis galat terjadi jika ketidaktepatan data yang dibutuhkan dalam proses kalibrasi menghasilkan nilai parameter yang salah. Hal ini bisa juga disebabkan oleh penggunaan proses kalibrasi yang tidak cocok atau tidak tepat.

f **Galat spesifikasi** Model peramalan banyak didasarkan pada penyederhanaan cerminan perilaku manusia yang pada dasarnya sangat kompleks. Jadi, mungkin terjadi ketidakcocokan dalam proses penyederhanaan tersebut. Jenis galat ini terjadi jika hasil model yang digunakan tidak sesuai dengan kenyataannya. Tidaklah mungkin dihasilkan model yang secara tepat dapat mencerminkan realita karena setiap pendekatan dalam proses penyederhanaan suatu model juga tidak luput dari faktor galat.

Galat dalam persamaan (fungsi) atau adanya pengabaian dari berbagai peubah penting dapat menghasilkan tingkat galat tertentu. Cara yang terbaik untuk menghasilkan model yang baik adalah dengan mempelajari besarnya perbedaan seperti antara hasil pemodelan dengan realita. Perbedaan tersebut harus tersebar normal dan tidak ada penyimpangan yang cukup besar. Model tersebut juga harus mempunyai dasar teori yang mendukung.

6 Model pemilihan moda

6.1 Pendahuluan

Pemodelan sebaran pergerakan diterangkan pada bab 5 secara rinci. Di situ diperkirakan besarnya pergerakan dari setiap zona asal ke setiap zona tujuan. Besarnya pergerakan tersebut ditentukan oleh besarnya bangkitan setiap zona asal dan tarikan setiap zona tujuan serta tingkat aksesibilitas sistem jaringan antarzona yang biasanya dinyatakan dengan jarak, waktu, atau biaya (biaya gabungan). Akan tetapi, besarnya pergerakan yang menggunakan moda transportasi tertentu belum dapat teridentifikasi pada tahapan sebaran pergerakan. Untuk itu, dalam tahapan pemilihan moda ini akan diidentifikasi besarnya pergerakan antarzona yang menggunakan setiap moda transportasi tertentu. Dalam bab ini kita mendiskusikan pemilihan moda sebagai masalah agregat. Sangatlah menarik bahwa pendekatan yang sama dapat juga digunakan untuk menurunkan model sebaran pergerakan.

Bab ini dimulai dengan penjelasan tentang faktor yang dapat mempengaruhi pemilihan moda (subbab 6.2). Subbab berikutnya menjelaskan beberapa model pemilihan moda yang telah dikembangkan, yaitu model pemilihan moda ujung-perjalanan (subbab 6.3) dan model pemilihan moda pertukaran-perjalanan (subbab 6.4). Subbab 6.5 menjelaskan keterkaitan model pemilihan moda dengan tahapan model perencanaan transportasi lainnya. Subbab 6.6 menjelaskan secara rinci beberapa model sintetis meliputi model **kombinasi sebaran pergerakan–pemilihan moda**, model **pemilihan multimoda**, model **logit-biner**, dan model **pemilihan moda berhierarki**.

Setelah itu, kita mengkaji model penaksiran bangkitan, sebaran dan pemilihan moda secara simultan, yang biasa disebut model **kebutuhan-langsung** (subbab 6.7). Model jenis ini dihasilkan pertama sekali pada tahun 1960-an, kemudian terlupakan selama tahun 1970-an, dan mulai mendapat perhatian kembali sampai akhir tahun 1980-an. Salah satunya adalah model simultan yang dikembangkan oleh Laboratorium Rekayasa Lalulintas, Jurusan Teknik Sipil, ITB pada tahun 1997 untuk memodel kebutuhan akan pergerakan angkutan barang di pulau Jawa.

Pemilihan moda mungkin merupakan model terpenting dalam perencanaan transportasi. Hal ini disebabkan karena peran kunci dari angkutan umum dalam berbagai kebijakan transportasi. Tidak seorang pun dapat menyangkal bahwa moda angkutan umum menggunakan ruang jalan jauh lebih efisien daripada moda angkutan pribadi. Selain itu, kereta api bawah tanah dan beberapa moda transportasi kereta api lainnya tidak memerlukan ruang jalan raya untuk bergerak sehingga tidak ikut memacetkan lalulintas jalan.

Seterusnya, jika ada pengendara yang berganti ke moda transportasi angkutan umum, maka angkutan pribadi mendapatkan keuntungan dari perbaikan tingkat pelayanan akibat pergantian moda tersebut. Sangatlah tidak mungkin menampung

semua kendaraan pribadi di suatu kota karena dibutuhkan ruang jalan yang sangat luas, termasuk tempat parkir. Oleh karena itu, masalah pemilihan moda dapat dikatakan sebagai tahap terpenting dalam berbagai perencanaan dan kebijakan transportasi. Hal ini menyangkut efisiensi pergerakan di daerah perkotaan, ruang yang harus disediakan kota untuk dijadikan prasarana transportasi, dan banyaknya pilihan moda transportasi yang dapat dipilih penduduk.

Masalah yang sama juga terjadi untuk pergerakan antarkota karena moda transportasi kereta api lebih efisien dalam memindahkan manusia dan barang dibandingkan dengan moda transportasi jalan raya. Akan tetapi, moda transportasi jalan raya mempunyai beberapa kelebihan, yaitu mobilitasnya tinggi dan dapat bergerak kapan saja. Oleh karena itu, model tersebut sangat diperlukan untuk memodel pergerakan yang peka terhadap atribut pergerakan yang mempengaruhi pemilihan moda. Akan kita lihat bagaimana hal ini bisa didapatkan dengan pendekatan agregat.

Dalam subbab 6.8 secara lebih menyeluruh disampaikan pendahuluan tentang metode pemodelan pemilihan diskret (misalnya apabila setiap individu memilih dari satu set alternatif yang tersedia). Kita mulai dengan beberapa pertimbangan umum dan kemudian diteruskan dengan penjelasan kerangka teori secara umum yaitu teori utilitas acak. Hal ini memerlukan penjelasan tentang terminologi dasar. Diterangkan pula dalam subbab 6.9 model pemilihan diskret yang populer digunakan; model **logit-multinomial** (LM) yang merupakan kelompok model yang dapat digunakan oleh para praktisi sebagai alat bantu pemodelan yang sangat baik. Pada subbab 6.10 akan diberikan contoh aplikasi model logit-biner dalam memodel pemilihan moda antara kereta api dengan jalan raya.

6.2 Faktor yang mempengaruhi pemilihan moda

Model pemilihan moda bertujuan untuk mengetahui proporsi orang yang akan menggunakan setiap moda. Proses ini dilakukan dengan maksud untuk mengkalibrasi model pemilihan moda pada tahun dasar dengan mengetahui peubah bebas (atribut) yang mempengaruhi pemilihan moda tersebut. Setelah dilakukan proses kalibrasi, model dapat digunakan untuk meramalkan pemilihan moda dengan menggunakan nilai peubah bebas (atribut) untuk masa mendatang.

Pemilihan moda sangat sulit dimodel, walaupun hanya dua buah moda yang akan digunakan (umum atau pribadi). Ini disebabkan karena banyak faktor yang sulit dikuantifikasi misal kenyamanan, keamanan, keandalan, atau ketersediaan mobil pada saat diperlukan. Dengan lebih dari dua moda (misalnya bus, oplet, sepeda motor, kereta api), proses pemodelan menjadi semakin sulit. Untuk angkutan barang, pemilihan biasanya antara kereta api atau truk.

Pemilihan moda juga mempertimbangkan pergerakan yang menggunakan lebih dari satu moda dalam perjalanan (multimoda). Jenis pergerakan inilah yang sangat umum dijumpai di Indonesia karena geografi Indonesia yang terdiri dari banyak pulau sehingga persentase pergerakan multimoda cukup tinggi. Jadi, dapat dikatakan bahwa pemodelan pemilihan moda merupakan bagian yang terlemah dan tersulit dimodelkan dari keempat tahapan model perencanaan transportasi. Faktor

yang dapat mempengaruhi pemilihan moda ini dapat dikelompokkan menjadi tiga, sebagaimana dijelaskan berikut ini.

1 **Ciri pengguna jalan** Beberapa faktor berikut ini diyakini akan sangat mempengaruhi pemilihan moda:

- ketersediaan atau pemilikan kendaraan pribadi; semakin tinggi pemilikan kendaraan pribadi akan semakin kecil pula ketergantungan pada angkutan umum;
- pemilikan Surat Izin Mengemudi (SIM);
- struktur rumah tangga (pasangan muda, keluarga dengan anak, pensiun, bujangan, dan lain-lain);
- pendapatan; semakin tinggi pendapatan akan semakin besar peluang menggunakan kendaraan pribadi;
- faktor lain misalnya keharusan menggunakan mobil ke tempat bekerja dan keperluan mengantar anak sekolah.

2 **Ciri pergerakan** Pemilihan moda juga akan sangat dipengaruhi oleh:

- **tujuan pergerakan** Contohnya, pergerakan ke tempat kerja di negara maju biasanya lebih mudah dengan memakai angkutan umum karena ketepatan waktu dan tingkat pelayanannya sangat baik dan ongkosnya relatif lebih murah dibandingkan dengan angkutan pribadi (mobil). Akan tetapi, hal yang sebaliknya terjadi di negara sedang berkembang; orang masih tetap menggunakan mobil pribadi ke tempat kerja, meskipun lebih mahal, karena ketepatan waktu, kenyamanan, dan lain-lainnya tidak dapat dipenuhi oleh angkutan umum.
- **waktu terjadinya pergerakan** Kalau kita ingin bergerak pada tengah malam, kita pasti membutuhkan kendaraan pribadi karena pada saat itu angkutan umum tidak atau jarang beroperasi.
- **jarak perjalanan** Semakin jauh perjalanan, kita semakin cenderung memilih angkutan umum dibandingkan dengan angkutan pribadi. Contohnya, untuk bepergian dari Jakarta ke Surabaya; meskipun mempunyai mobil pribadi, kita cenderung menggunakan angkutan umum (pesawat, kereta api, atau bus) karena jaraknya yang sangat jauh.

3 **Ciri fasilitas moda transportasi** Hal ini dapat dikelompokkan menjadi dua kategori. Pertama, faktor kuantitatif seperti:

- waktu perjalanan; waktu menunggu di tempat pemberhentian bus, waktu berjalan kaki ke tempat pemberhentian bus, waktu selama bergerak, dan lain-lain;
- biaya transportasi (tarif, biaya bahan bakar, dan lain-lain);
- ketersediaan ruang dan tarif parkir.

Faktor kedua bersifat kualitatif yang cukup sukar menghitungnya, meliputi kenyamanan dan keamanan, keandalan dan keteraturan, dan lain-lain.

4 **Ciri kota atau zona** Beberapa ciri yang dapat mempengaruhi pemilihan moda adalah jarak dari pusat kota dan kepadatan penduduk.

Model pemilihan moda yang baik harus mempertimbangkan semua faktor tersebut. Mudah dilihat bagaimana konsep biaya gabungan dapat juga digunakan untuk menyatakan beberapa faktor kuantitatif.

Dari semua model pemilihan moda, pemilihan peubah bebas yang digunakan sangat tergantung pada: (a) orang yang memilih model tersebut, (b) tujuan pergerakan, dan (c) jenis model yang digunakan. Model pemilihan moda dapat dianggap sebagai model agregat jika menggunakan informasi yang berbasis zona serta dapat dianggap sebagai model tidak agregat jika memakai data berbasis rumah tangga dan/atau data individu (lihat subbab 6.8).

6.3 Model pemilihan moda ujung-perjalanan

Penggunaan model pemilihan moda akan menghasilkan besarnya pergerakan setiap moda. Pada waktu lalu, khususnya di Amerika Serikat, ciri pribadi dianggap sebagai hal terpenting dalam pemilihan moda sehingga penggunaan model pemilihan moda dilakukan segera setelah tahapan bangkitan pergerakan. Dalam hal ini, ciri pribadi yang berbeda-beda digunakan untuk memperkirakan pemilihan moda; contohnya, kelompok yang berbeda dalam model analisis kategori. Karena pada tahap ini tidak terdapat indikasi tujuan pergerakan mereka, ciri pergerakan dan moda diabaikan dalam model ini.

Hal tersebut sesuai dengan arah perencanaan umum; jika pendapatan meningkat, banyak orang menggunakan mobil pribadi. Salah satu tujuan perencanaan transportasi adalah memperkirakan pertumbuhan kebutuhan akan pergerakan mobil pribadi sehingga investasi di bidang jalan raya dapat direncanakan dengan lebih baik. Model pemilihan moda jenis seperti ini hanya berkaitan dengan beberapa hal seperti pendapatan, kepadatan permukiman, dan pemilikan kendaraan. Dalam beberapa kasus, ketersediaan angkutan umum dipertimbangkan dalam bentuk indeks aksesibilitas.

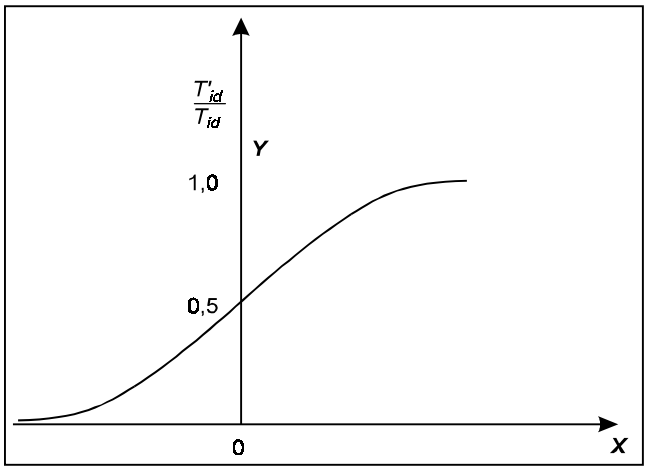
Dalam jangka pendek, model ini dapat sangat tepat, khususnya jika angkutan umum tersedia di seluruh daerah kajian yang tingkat kemacetannya rendah. Akan tetapi, model ini sangat tidak peka terhadap keputusan kebijakan – pengambil keputusan tidak dapat berbuat banyak dalam mempengaruhi pemilihan moda. Memperbaiki fasilitas angkutan umum, membatasi ruang parkir, dan membangun jalan tol tidak berpengaruh pada jenis model pemilihan moda seperti ini.

6.4 Model pemilihan moda pertukaran-perjalanan

Bentuk model pemilihan moda di negara Eropa didominasi oleh model sebaran pergerakan sehingga model pemilihan moda harus digunakan setelah dilakukannya

tahapan pemodelan sebaran pergerakan. Model jenis ini mempunyai keuntungan karena mempertimbangkan ciri pergerakan dan ketersediaan moda. Akan tetapi, akan lebih sulit mempertimbangkan ciri pengguna jalan karena pergerakan tersebut telah diagregasikan dalam bentuk matriks asal–tujuan.

Model yang pertama dikembangkan hanya mempertimbangkan satu atau dua ciri pergerakan, biasanya waktu tempuh perjalanan. Dapat dilihat bahwa kurva S dirasakan paling cocok untuk mencerminkan perilaku pergerakan ini secara lebih baik. Gambar 6.1 memperlihatkan proporsi pergerakan yang akan menggunakan moda $\mathbf{1}\,(T^{1}_{id} / T_{id})$ sebagai fungsi dari selisih waktu atau selisih biaya perjalanan antara moda **1** dengan moda lainnya.



Gambar 6.1
Kurva pemilihan moda

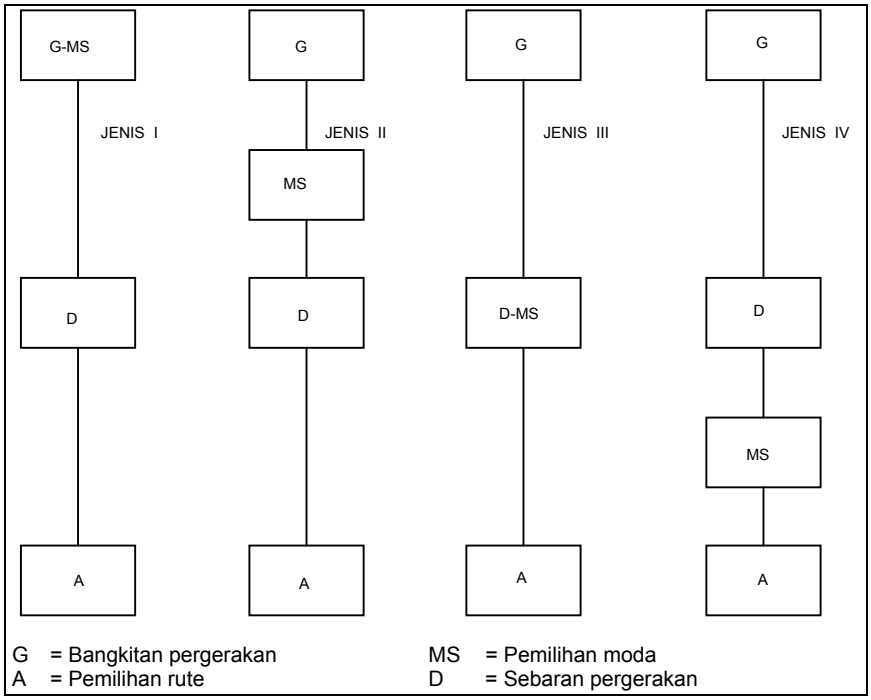
Kurva itu adalah kurva empiris yang didapatkan langsung dari data dan dapat digunakan untuk menghitung proporsi pengguna jalan yang akan berpindah menggunakan moda transportasi lain yang lebih cepat – dinamakan **kurva diversi**. Salah satu kendala model tersebut adalah hanya bisa digunakan untuk matriks pergerakan yang sudah mempunyai alternatif moda yang akan digunakan.

Model ini mempunyai dasar teori yang lemah sehingga kemampuan peramalannya diragukan. Model ini juga mengabaikan beberapa peubah kepekaan kebijakan misalnya tarif dan biaya parkir. Juga, karena bersifat agregat, model ini tidak dapat digunakan untuk memodel secara tepat batasan dan ciri moda yang tersedia bagi setiap individu atau rumah tangga.

6.5 Model pemilihan moda dan kaitannya dengan model lain

Analisis pemilihan moda dapat dilakukan pada tahap yang berbeda-beda dalam proses perencanaan dan pemodelan transportasi. Hal ini diilustrasikan dalam gambar 6.2. Pendekatan model pemilihan moda sangat bervariasi, tergantung pada tujuan perencanaan transportasi. Salah satu pendekatan mengatakan bahwa proses pemilihan moda dilakukan pada tahapan menghitung bangkitan pergerakan; di sini pergerakan angkutan umum langsung dipisahkan dengan angkutan pribadi. Kemudian, setiap moda dianalisis secara terpisah selama tahapan proses pemodelan.

Pendekatan ini mengasumsikan bahwa peubah sosio-ekonomi sangat mempengaruhi proses pemilihan moda.



Gambar 6.2 Alternatif posisi untuk analisis pemilihan moda

Pendekatan kedua mempertimbangkan proses pemilihan moda yang terjadi sebelum proses pemilihan rute dilakukan. Dalam hal ini, setiap moda dianggap bersaing dalam merebut pangsa penumpang sehingga atribut penentu dari jenis pergerakan menjadi faktor utama yang mempengaruhi pemilihan moda. Pendekatan ketiga mempertimbangkan bahwa tahapan bangkitan pergerakan dan pemilihan rute ikut menentukan dalam pemilihan moda. Ini berarti pemilihan moda dapat diletakkan di mana saja antara tahapan bangkitan pergerakan dan pemilihan rute seperti terlihat pada gambar 6.2.

6.5.1 Model jenis I

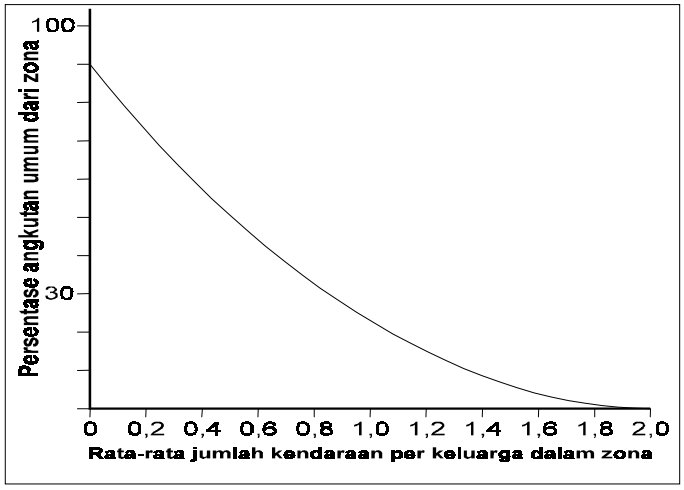
Dalam model jenis I, pergerakan yang menggunakan angkutan umum dan pribadi dihitung secara terpisah dengan model bangkitan pergerakan, biasanya dengan menggunakan model analisis regresi atau kategori. Peubah dan parameter yang digunakan berbeda untuk (a) bangkitan dan tarikan, dan (b) untuk setiap moda transportasi.

6.5.2 Model jenis II

Model jenis II sering digunakan oleh banyak kajian belakangan ini untuk perencanaan angkutan jalan raya, bukan untuk angkutan umum. Oleh karena itu, hal yang terbaik yang harus dilakukan adalah mengabaikan pergerakan angkutan umum dalam pemodelan sehingga proses sebaran pergerakan langsung terkonsentrasi

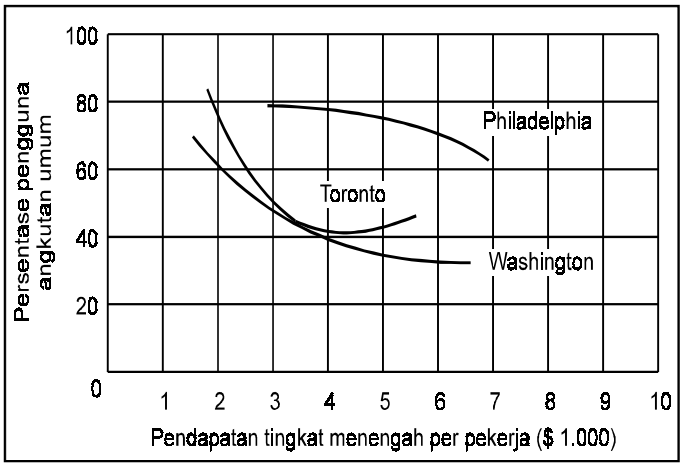
dalam pergerakan angkutan pribadi. Komentar ini dapat juga ditujukan untuk model jenis I. Teknik utama yang digunakan pada model jenis II adalah penggunaan dengan kurva diversi (lihat subbab 6.4).

Contohnya, persentase pergerakan yang menggunakan angkutan pribadi sebagai fungsi dari peubah pemilikan kendaraan. Contoh pemakaian pemilikan kendaraan terlihat pada gambar 6.3 (**Hutchinson, 1974**).



Gambar 6.3
Rata-rata jumlah mobil
Sumber: Hutchinson (1974)

Contoh berikutnya (lihat gambar 6.4) adalah pangsa pergerakan untuk tujuan ke tempat kerja pada jam sibuk sebagai fungsi dari pendapatan (**Bruton, 1975**):



Gambar 6.4
Kurva diversi pada jam sibuk (tujuan bekerja)
Sumber: Bruton (1975)

6.5.3 Model jenis III

Model jenis III mengkombinasikan model pemilihan moda dengan model *gravity*; di sini proses sebaran pergerakan dan pemilihan moda dilakukan secara bersamaan. **Black (1981)** menjelaskannya sebagai berikut:

$$\hat{Q}_{id}(1) / \sum_{m=1}^{2} \hat{Q}_{id}(m) = \frac{1}{1 + \exp\left(-b\{t_{id}(2) - t_{id}(1)\}\right)} \qquad (6.1)$$

$\hat{Q}_{id}(1)$ = pergerakan dari ***i*** ke ***d*** dengan moda **1**

$\hat{Q}_{id}(m)$ = pergerakan dari ***i*** ke ***d*** dengan moda ***m***

$t_{id}(1)$ = hambatan pergerakan dari ***i*** ke ***d*** dengan moda **1**

$t_{id}(2)$ = hambatan pergerakan dari ***i*** ke ***d*** dengan moda **2**

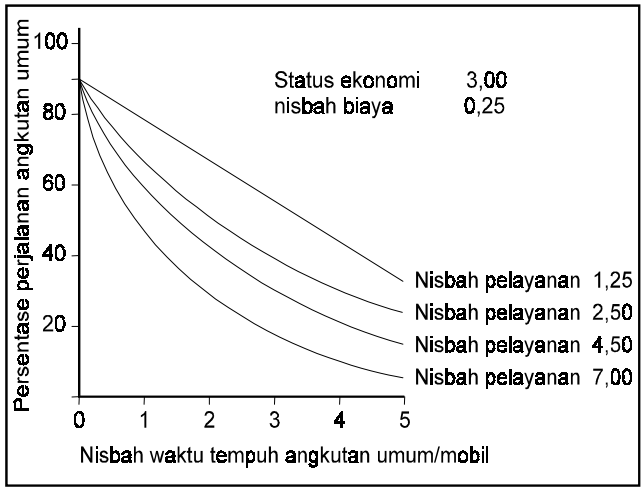
b = parameter model *gravity*

Model ini dapat dibandingkan dengan model *gravity* yang menggunakan fungsi hambatan eksponensial. Catatan: persamaan sebaran pergerakan–pemilihan moda mengasumsikan hanya dua buah moda (umum dan pribadi) dan memakai 'selisih' antara hambatan dibandingkan dengan 'nisbah'-nya.

6.5.4 Model jenis IV

Model jenis IV sangat sering digunakan (walaupun model jenis III lebih populer di negara Barat). Model tersebut menggunakan kurva diversi, persamaan regresi atau variasi model III. Model ini selalu menggunakan nisbah atau selisih hambatan antara dua moda yang bersaing. **Bruton (1975)** mendiskusikan hal ini secara lebih mendalam (lihat gambar 6.5).

Apa yang dimaksud dengan pemilihan didasarkan atas selisih atau nisbah dari hambatan kedua moda? Suatu moda bergerak dua kali lebih cepat dibandingkan dengan moda lainnya, atau suatu moda tiba lebih cepat 10 menit dibandingkan dengan moda lainnya. Kedua pendekatan ini akan digunakan sebagai faktor penentu dalam proses pemilihan moda. **Black (1981)** memberikan contoh kurva diversi model yang digunakan oleh *Traffic Research Corporation of Canada* (Lembaga Penelitian Lalulintas Kanada) pada tahun 1960-an (lihat gambar 6.1).



Gambar 6.5
Nisbah waktu tempuh angkutan umum/mobil
Sumber: Bruton (1975)

Kurva ini berdasarkan nisbah waktu tempuh antara angkutan umum dengan angkutan pribadi (mobil). Kurva ini berlaku untuk orang dengan ekonomi menengah ke bawah (status ekonomi 3) dengan nisbah antara biaya angkutan umum dengan biaya angkutan pribadi (bahan bakar, oli, dan parkir) sekitar **0,25**.

Nisbah tingkat pelayanan adalah nisbah antara waktu (berjalan, menunggu, dan pindah) untuk angkutan umum dibandingkan dengan (berjalan dan parkir) untuk angkutan pribadi. Pendekatan ini menghilangkan perlunya perkiraan biaya untuk berjalan, menunggu, dan waktu transfer (waktu akses) karena dalam model ini faktor tersebut dilakukan secara empiris. Kurva ini menggunakan 4 peubah: waktu, biaya, pendapatan, dan waktu akses.

Contoh lain model jenis IV adalah penggunaan nisbah hambatan antara dua buah moda dengan formulasi logit. Dalam hal ini, hambatan ini bisa berupa biaya gabungan; suatu pembobotan harus diberikan untuk waktu akses (penjelasan lebih rinci mengenai model ini dapat dilihat pada subbab 6.8). Model tersebut adalah:

$$\mathbf{MS}_t = \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{1} + \left(\frac{\boldsymbol{I}_t}{\boldsymbol{I}_a} \right)^{\mathbf{b}}} \tag{6.2}$$

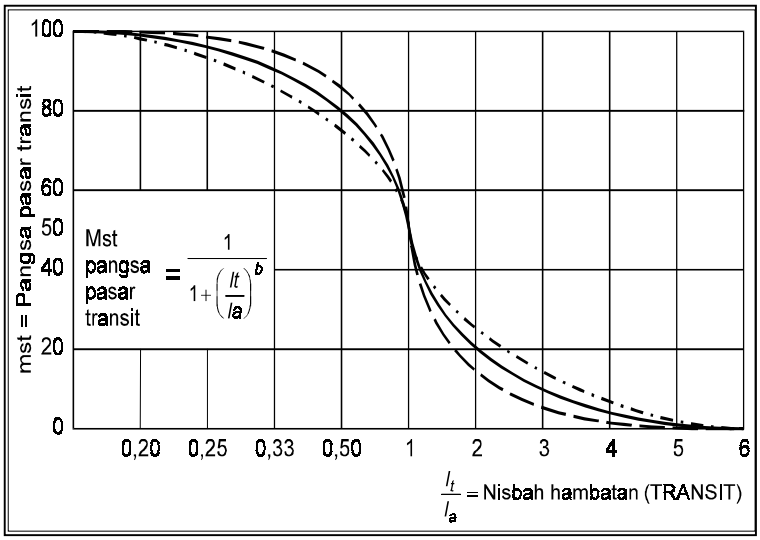
$\mathbf{MS}_t$ = persentase yang menggunakan angkutan umum

$\boldsymbol{I}_t$ = hambatan transportasi ***i*** ke ***d*** dengan angkutan umum

$\boldsymbol{I}_a$ = hambatan transportasi ***i*** ke ***d*** dengan mobil

b = faktor yang dikalibrasi dari data survei

Hubungan tersebut dapat terlihat pada gambar 6.6 (**Sosslau *et al*, 1978**). Model ini menjamin jika nisbah hambatan transportasi antara angkutan umum dengan angkutan pribadi sama dengan 1 maka peluang memilih masing-masing moda menjadi sama (50%:50%). Hal ini secara realita mungkin jarang terjadi karena ada faktor lainnya yang dapat mempengaruhi pemilihan moda. Misal, meskipun waktu tempuh kereta api dan mobil sama untuk suatu perjalanan tertentu tetapi seseorang akan memilih moda tertentu karena ada faktor lainnya yang menyebabkan orang tersebut akan memilih moda tersebut misalnya tingkat kenyamanan.



Gambar 6.6
Pangsa pergerakan moda sebagai fungsi nisbah hambatan

6.5.5 Beberapa komentar tentang model pemilihan moda

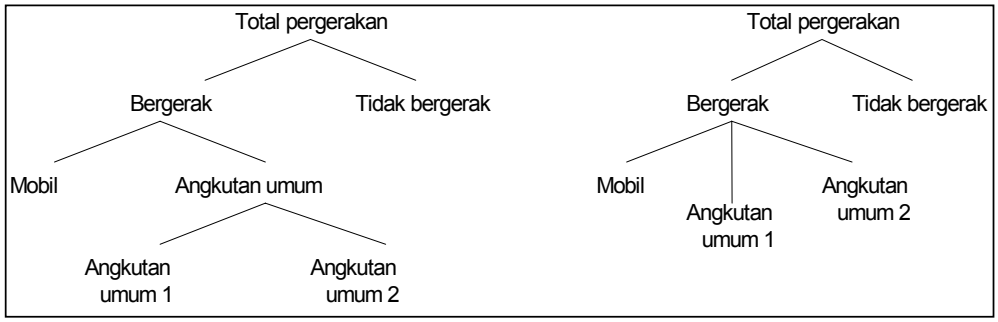
6.5.5.1 Biaya Dalam pemodelan pemilihan moda, sangat penting dibedakan antara **biaya perkiraan** dengan **biaya aktual**. Biaya perkiraan adalah biaya yang dipikirkan oleh pemakai jalan dan dasar pengambilan keputusan, sedangkan biaya aktual adalah biaya sebenarnya yang dikeluarkan setelah proses pemilihan moda dilakukan.

6.5.5.2 Angkutan umum *captive* Dalam pemodelan pemilihan moda, tahap berikutnya adalah mengidentifikasi pemakai angkutan umum *captive*. Orang seperti ini didefinisikan sebagai orang yang berangkat dari rumah dan tidak mempunyai atau menggunakan mobil (tidak ada pilihan lain kecuali angkutan umum). Diasumsikan bahwa orang tersebut pasti akan menggunakan angkutan umum sehingga jumlahnya dapat diperkirakan secara terpisah dari proses pemodelan dan dibebankan langsung ke sistem prasarana angkutan umum.

Sisanya, mungkin mempunyai minimal satu kendaraan, mempunyai pilihan antara angkutan umum dan pribadi. Model pemilihan moda hanya diaplikasikan untuk orang ini saja. Realitanya tentu tidak sesederhana itu. Sebagai contoh, orang yang tidak mempunyai kendaraan pribadi mungkin menumpang kendaraan pribadi milik temannya. Mungkin juga, orang yang mempunyai mobil menggunakan angkutan umum karena mobilnya tidak tersedia pada saat dia memerlukan. Masalah seperti ini menunjukkan nilai potensial pendekatan tidak-agregat dalam perencanaan transportasi.

6.5.5.3 Lebih dari dua moda Beberapa prosedur pemilihan moda memodel pergerakan dengan hanya dua buah moda transportasi: angkutan umum dan angkutan pribadi. Di beberapa negara Barat terdapat pilihan lebih dari dua moda; misalnya, London mempunyai kereta api bawah tanah, kereta api, bus, dan mobil).

Di Indonesia terdapat beberapa jenis moda kendaraan bermotor (termasuk ojeg) ditambah becak dan berjalan kaki. Pejalan kaki termasuk penting di Indonesia. **Jones (1977)** menekankan dua pendekatan umum tentang analisis sistem dengan dua buah moda, seperti terlihat pada gambar 6.7.

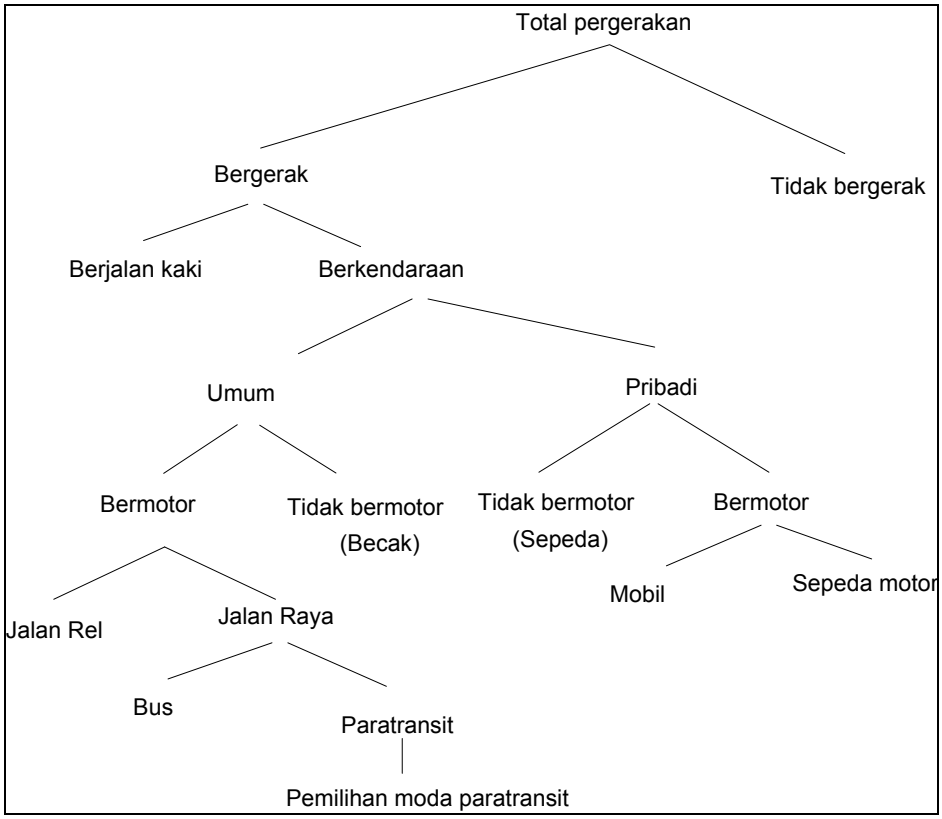


Gambar 6.7 Proses pemilihan dua moda (angkutan umum dan mobil)

Gambar kiri mengasumsikan pemakai jalan mempunyai pilihan antara bergerak dan tidak bergerak. Jika diputuskan untuk membuat pergerakan, pertanyaannya adalah

dengan angkutan umum atau pribadi? Jika angkutan umum yang dipilih, pertanyaan selanjutnya apakah bus atau kereta api.

Gambar sebelah kanan mengasumsikan bahwa begitu keputusan menggunakan kendaraan diambil, pemakai jalan langsung memilih moda yang tersedia (mobil, bus, atau kereta api). Model pemilihan moda yang berbeda tergantung pada jenis keputusan yang diambil. Gambar sebelah kiri lebih sederhana dan mungkin lebih cocok untuk kondisi di Indonesia. Akan tetapi, khusus untuk Indonesia, pendekatan yang lebih cocok adalah seperti yang diperlihatkan pada gambar 6.8**.**



Gambar 6.8 Proses pemilihan moda untuk Indonesia

Gambar 6.8 mengilustrasikan betapa rumitnya memodelkan seluruh moda transportasi yang ada dalam suatu sistem di Indonesia. Hal mana mendukung pendapat selama ini yang menyatakan bahwa tahap pemilihan moda merupakan tahap tersulit dalam perencanaan transportasi. Masalah lain yang perlu diperhatikan dalam hal angkutan pribadi adalah pengendara dan penumpang. Keduanya mempunyai atribut yang berbeda yang sangat berpengaruh dalam proses pemilihan moda.

Di Indonesia, kendaraan pribadi bisa juga berupa sepeda motor. Salah satu usaha adalah dengan memperlakukan mobil dan sepeda motor secara terpisah. Hal ini disebabkan karena sepeda motor mempunyai nilai SMP yang jauh lebih kecil dibandingkan dengan mobil dan ini sangat mempengaruhi kapasitas jalan yang diperlukan.

Pohon keputusan dipilih sebagai dasar model pemilihan moda yang mempengaruhi perkiraan yang dibuat oleh model. Pendekatan pohon keputusan dengan memakai **pemilihan biner** memberikan perkiraan penggunaan angkutan pribadi yang lebih tinggi daripada pendekatan **pemilihan simultan**.

6.6 Model sintetis

6.6.1 Model kombinasi sebaran pergerakan–pemilihan moda

Pendekatan entropi-maksimum dapat digunakan untuk mendapatkan model kombinasi sebaran pergerakan dan pemilihan moda secara simultan. Untuk itu harus dibentuk pendekatan masalah entropi-maksimum dalam bentuk dua buah moda seperti berikut:

memaksimumkan $$\log W\left\{T_{id}^{k}\right\} = -\sum_{i}\sum_{d}\sum_{k}\left(T_{id}^{k}\log_{e} T_{id}^{k} - T_{id}^{k}\right) \tag{6.3}$$

dengan batasan: $$\sum_{d}\sum_{k} T_{id}^{k} - O_{i} = 0 \tag{6.4}$$

$$\sum_{i}\sum_{k} T_{id}^{k} - D_{d} = 0 \tag{6.5}$$

$$\sum_{i}\sum_{d}\sum_{k} T_{id}^{k} C_{id}^{k} - \mathrm{C} = 0 \tag{6.6}$$

Dengan mudah dapat dilihat bahwa permasalahan tersebut mempunyai solusi:

$$T_{id}^{k} = A_{i} O_{i} B_{d} D_{d} \exp\left(-\beta C_{id}^{k}\right) \tag{6.7}$$

$$P_{id}^{1} = \frac{T_{id}^{1}}{T_{id}} = \frac{\exp(-\beta C_{id}^{1})}{\exp\left(-\beta C_{id}^{1}\right) + \exp\left(-\beta C_{id}^{2}\right)} \tag{6.8}$$

P_{id}^{1} adalah proporsi pergerakan dari zona asal i ke zona tujuan d dengan menggunakan moda **1**. Bentuk fungsi seperti persamaan (6.8) dikenal dengan bentuk **logit** yang akan didiskusikan lebih rinci pada subbab 6.8. Beberapa perilaku model tersebut adalah:

- menghasilkan kurva berbentuk S, mirip dengan kurva diversi empiris pada gambar 6.1;
- jika $C_1 = C_2$, maka $P_1 = P_2 = \mathbf{0,5}$;
- jika $C_2 >> C_1$, maka P_1 menjadi **1,0**;
- dapat dikembangkan untuk berbagai moda dengan:

$$P_{id}^{1} = \frac{\exp(-\beta C_{id}^{k})}{\sum_{k}\exp\left(-\beta C_{id}^{k}\right)} \tag{6.9}$$

Sudah jelas, rumus β berperan ganda – sebagai parameter yang mengontrol dispersi pemilihan moda, dan pemilihan zona tujuan dari beberapa zona yang mempunyai jarak yang berbeda-beda dari zona asal.

Oleh karena itu, model yang lebih praktis yang mengkombinasikan sebaran pergerakan dengan pemilihan moda telah digunakan dalam beberapa kajian dengan bentuk:

$$T_{id}^{kn} = A_i^n O_i^n B_d^n D_d^n \exp(-\beta_n K_{id}^n) \frac{\exp(-\lambda_k C_{id}^k)}{\sum_m \exp(-\lambda_m C_{id}^m)} \qquad (6.10)$$

K_{id}^n adalah biaya pergerakan gabungan dari zona asal i ke zona tujuan d yang diperkirakan oleh individu berjenis n. Secara prinsip, biaya gabungan bisa didapat dengan beberapa cara; contohnya, dari nilai minimal dari kedua biaya tersebut, atau rata-ratanya:

$$\mathbf{K} = \sum_k P_k C_k \quad (i, d, n \text{ dihilangkan untuk penyederhanaan})$$

Akan tetapi, penting diketahui bahwa hampir semua persamaan yang digunakan oleh beberapa kajian sampai dengan akhir tahun 1970-an pada dasarnya tidak sesuai.

Contoh 6.1 Pertimbangkan bentuk rata-rata di atas dan pelajari apa yang terjadi jika moda transportasi baru ($C_2 > C_1$) ditambahkan pada sistem yang telah ada. Pada tahap awal, kita mempunyai:

$$\mathbf{K} = \sum_k P_k C_k = C_1$$

dan pada tahap akhir (setelah ada moda 2):

$$\mathbf{K}^* = P_1 C_1 + P_2 C_2$$

Akan tetapi, dengan menganggap $P_1 + P_2 = 1$, maka:

$$\mathbf{K}^* = (1 - P_2) C_1 + P_2 C_2 = C_1 + P_2 (C_2 - C_1)$$
$$\mathbf{K}^* = \mathbf{K} + P_2 (C_2 - C_1)$$

Sekarang, karena nilai P_2 dan $(C_2 - C_1)$ lebih besar dari nol, dapat disimpulkan bahwa $\mathbf{K}^* > \mathbf{K}$ yang tidak masuk akal karena adanya pilihan baru, meskipun lebih mahal, tidak akan meningkatkan biaya gabungan; paling-paling hanya akan mempunyai nilai yang sama.

William (1977) menunjukkan bahwa satu-satunya spesifikasi yang benar yaitu yang konsisten dengan teori yang mendasari perilaku pemilihan, adalah:

$$K_{id}^n = \frac{-1}{\lambda_n} \log_e \sum_k \exp(-\lambda_k C_{id}^k) \qquad (6.11)$$

dan batasan berikut ini harus dipenuhi:

$$\beta_n \leq \lambda_n \tag{6.12}$$

Kita akan kembali ke masalah ini pada subbab 6.8. Ukuran biaya gabungan [persamaan (6.11)] mempunyai perilaku sebagai berikut:

- $\mathbf{K} \leq \min_k \{C_k\}$
- $\lim_{\lambda \to \infty} \mathbf{K} = \min_k \{C_k\}$
- $\dfrac{\mathrm{d}\mathbf{K}}{\mathrm{d}C_k} = P_k$

Persamaan (6.10)–(6.12) mewakili suatu kondisi praktis dalam pemodelan agregat kombinasi sebaran pergerakan dan pemilihan moda, khususnya di daerah perkotaan. Walaupun banyak model berjenis sama yang telah digunakan secara praktis, model tersebut telah mulai digantikan dengan model tidak-agregat yang lebih baik menanggapi unsur kunci dalam pemilihan moda dan efisien dalam pengumpulan data (hal ini dibahas pada subbab 6.8).

6.6.2 Model pemilihan multimoda

Masalah multimoda merupakan hal penting yang harus sangat diperhatikan di Indonesia di masa mendatang karena Indonesia merupakan negara kepulauan. Waktu dan proses pertukaran moda di terminal merupakan faktor paling kritis yang perlu mendapat perhatian dan penanganan dalam pengembangan kebijakan transportasi multimoda.

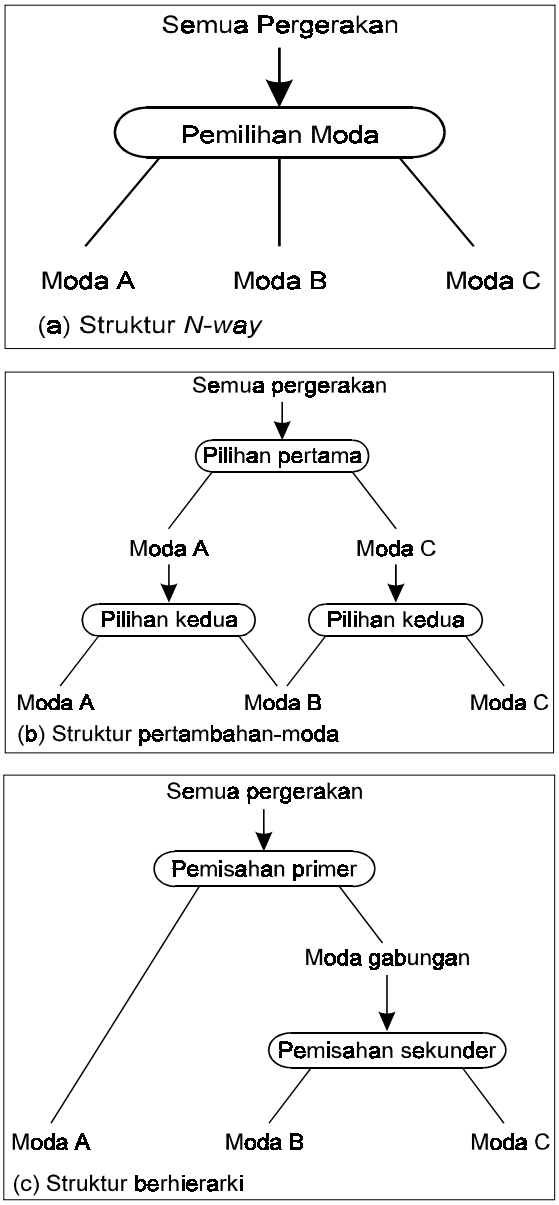
Survei Asal–Tujuan Nasional yang dilakukan pada tahun 1996 menunjukkan persentase pergerakan regional multimoda cukup tinggi baik untuk angkutan penumpang maupun angkutan barang. Hal ini berarti pentingnya pengetahuan pemodelan pergerakan multimoda untuk masa mendatang di Indonesia.

Gambar 6.9 memperlihatkan struktur model pemilihan moda yang lebih dari dua (multimoda). Struktur N-*way* yang sangat populer dalam pemodelan tidak-agregat, seperti yang akan kita lihat pada subbab 6.8, adalah struktur yang paling sederhana. Tetapi, karena diasumsikan bahwa semua alternatif mempunyai bobot yang sama, maka muncul masalah – beberapa pilihan mirip dengan pilihan lain, seperti ditunjukkan oleh **Mayberry (1983)** dengan contoh bus biru–bus merah.

Contoh 6.2 Pertimbangkan suatu kota yang 50% pergerakannya memilih mobil (**C**) dan 50% memilih bus (**B**). Dengan persamaan (6.7) yang menggunakan struktur N-*way* dihasilkan $C_C = C_B$. Sekarang asumsikan seorang manajer perusahaan bus mengubah warna bus menjadi 50% warna merah (BM) dan 50% warna biru (BB) dan mempertahankan tingkat pelayanan yang sama dengan sebelumnya. Ini berarti $C_{BM} = C_{BB}$, sedangkan biaya moda mobil tidak berubah, tetap sama dengan C_C. Sangat menarik karena sekarang persamaan (6.7) menghasilkan:

$$P_C = \frac{\exp(-\beta C_C)}{\exp(-\beta C_C) + \exp(-\beta C_{RB}) + \exp(-\beta C_{BB})} = 0{,}33$$

Seseorang memperkirakan P_C tetap bernilai **0,5** sedangkan bus mempunyai proporsi yang sama dengan sisa yang ada (masing-masing **0,25**). Contoh ini memperlihatkan kelemahan struktur N-*way* dalam mencerminkan pilihan yang berkorelasi satu sama lain. Kita akan kembali lagi pada masalah ini pada subbab 6.8.



Gambar 6.9 Struktur multimoda: (a) Struktur N-*way*, (b) Struktur pertambahan-moda, (c) Struktur berhierarki

Struktur moda tambahan, seperti terlihat pada gambar 6.9b, banyak digunakan orang pada akhir tahun 1960-an dan pada awal 1970-an. Akan tetapi, ternyata hasilnya berbeda-beda tergantung pada moda yang diambil sebagai moda tambahan (**Langdon, 1976**). Juga, uji dengan simulasi *Monte Carlo* memperlihatkan bahwa struktur moda tambahan yang mempunyai kinerja terbaik pada saat sekarang belum

tentu menjamin mempunyai unjuk kerja terbaik pada masa mendatang jika terdapat perubahan kebijakan (**Ortuzar, 1980a**).

Kemungkinan ketiga, seperti terlihat pada gambar 6.9c, adalah model struktur berhierarki. Dalam hal ini, pilihan yang mempunyai unsur umum yang kira-kira sama digabung dalam proses pemilihan utama (misalnya angkutan umum). Setelah terpisah, mereka dipecah kembali pada proses pemilihan sekunder.

Contoh 6.3 Model struktur berhierarki pada **contoh 6.2** mempunyai hasil sebagai berikut:

$$P_C = \frac{1}{1 + \exp\{-\lambda_1 (C_B - C_C)\}}$$

$$P_B = 1 - P_C$$

$$P_{RB} = \frac{1}{1 + \exp\{-\lambda_2 (C_{BB} - C_{RB})\}}$$

$$P_{BB} = 1 - P_{RB}$$

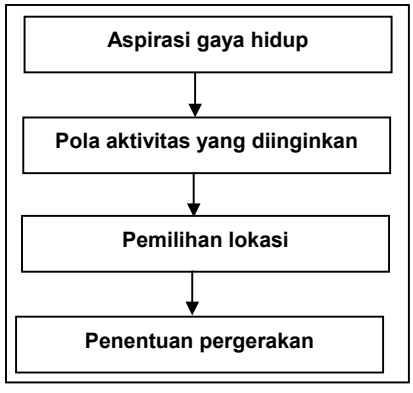
dengan

$$C_B = \frac{-1}{\lambda_2} \log[\exp(-\lambda_2 C_{RB}) + \exp(-\lambda_2 C_{BB})$$

P_C adalah peluang memilih mobil, $(1-P_C)P_{RB}$ adalah peluang memilih bus merah, dan $(1-P_C)P_{BB}$ adalah peluang memilih bus biru; λ adalah parameter pemilihan primer dan sekunder. Dengan mudah dapat dilihat, jika $C_B = C_C$, model ini secara tepat memberi peluang sebesar **0,5** untuk mobil dan **0,25** untuk masing-masing bus merah dan bus biru.

6.6.3 Model logit-biner

Pada dasarnya perilaku agregat individu dalam memilih jasa transportasi sepenuhnya merupakan hasil keputusan setiap individu. Pelaku perjalanan dihadapkan pada berbagai alternatif baik berupa alternatif tujuan perjalanan, moda angkutan, maupun rute perjalanan. Sehubungan dengan proses pemilihan perjalanan ini, dalam diri individu pelaku perjalanan terdapat hierarki pemilihan, seperti terlihat pada gambar 6.10.



Gambar 6.10
Hierarki keputusan perjalanan individu
Sumber: Manheim (1979)

Hierarki pemilihan tertinggi adalah aspirasi gaya hidup yang tercermin pada pola kegiatan yang diinginkan. Selanjutnya untuk melakukan aktivitas tertentu, setiap individu harus berada pada tempat tertentu dan pada suatu waktu tertentu. Selanjutnya, hal ini akan mengarahkan individu untuk berada pada lokasi tertentu. Pada tingkat terendah, keputusan diambil berkenaan dengan dimana, kapan, dan bagaimana perjalanan akan dilakukan.

Menurut **Manheim (1979)**, tahapan proses yang dilakukan seseorang dalam menentukan perjalanannya adalah:

- formulasi preferensi konsumen secara eksplisit;
- identifikasi semua alternatif yang mungkin terjadi;
- karakteristik semua alternatif berdasarkan atribut;
- penggunaan informasi preferensi untuk memilih alternatif.

Sedangkan untuk suatu pilihan dapat dipandang sebagai hasil dari proses pengambilan keputusan yang melibatkan tahap berikut ini:

- pendefinisian masalah pilihan
- penentuan alternatif
- evaluasi atribut alternatif
- pengambilan keputusan
- implementasi keputusan yang diambil

Model logit-biner dibangun atas dasar asumsi $\varepsilon_n = \varepsilon_{jn} - \varepsilon_{in}$ akan bersifat bebas dan tersebar secara identik (IID) menurut fungsi sebaran logistik Gumbel seperti pada persamaan (6.13).

$$F(\varepsilon_n) = \frac{1}{\left(1 + e^{-\mu\varepsilon_n}\right)}; \quad \mu > 0 \quad ; \quad -\infty < \varepsilon_n < \infty \tag{6.13}$$

Pada kasus dua alternatif moda, peluang terpilihnya moda ***i*** dapat didekati dengan persamaan (6.14) berikut.

$$P_n(i) = \frac{\exp\{-\beta(V_{in})\}}{\left[\exp\{-\beta(V_{in})\} + \exp\{-\beta(V_{jn})\}\right]} \tag{6.14}$$

Dengan mengasumsikan V_{in} dan V_{jn} linear dalam parameternya, maka persamaan (6.14) dapat ditulis kembali dalam bentuk persamaan (6.15) berikut.

$$P_n(i) = \frac{1}{1 + e^{-Z}} \tag{6.15}$$

$$Z = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \ldots + \beta_K X_K$$

6.6.3.1 Metode penaksiran kemiripan-maksimum (KM) Untuk memecahkan persamaan (6.15), berikut ini akan diterangkan penggunaan metode penaksiran

kemiripan-maksimum. Misalkan data X memiliki fungsi sebaran peluang $f(\chi,\theta)$. Ketergantungan pada θ untuk χ yang diberikan dinamakan fungsi kemiripan. Prinsip metode penaksiran KM adalah bahwa keadaan dimana parameter θ meminimumkan nilai fungsi kemiripan yang dapat dianggap sebagai keadaan terbaik. Dengan kata lain, keadaan dimana sampel yang diamati paling mungkin muncul.

Apabila sampel diambil secara acak, bebas, dan memiliki sebaran pengamatan X_1, X_2, …, X_N yang identik, maka fungsi kemiripan dapat dituliskan sebagai fungsi parameternya, seperti terlihat pada persamaan (6.16).

$$L(\theta) = f(X_1|\theta).f(X_2|\theta)...f(X_N|\theta) \tag{6.16}$$

Persamaan (6.16) kemudian dipecahkan untuk mencari parameter yang memaksimumkan fungsi kemiripan. Fungsi kemiripan adalah fungsi perkalian, maka semakin besar jumlahnya semakin besar pula nilai logaritmanya. Dengan menggunakan fungsi logaritma natural, maka fungsi perkalian dapat diubah menjadi fungsi penjumlahan.

$$L_1 = \log_e L(\theta) = \sum_i^N \log_e f(X_1|\theta) \tag{6.17}$$

Dengan asumsi sampel berjumlah **N** diambil secara acak dari populasi, maka fungsi kemiripan sampel adalah perkalian dari seluruh hasil pengamatan.

$$L(\beta_1,\beta_2,...,\beta_K) = \prod_{n=1}^N P_n(i)^{Y_{in}}.P_n(j)^{Y_{jn}} \tag{6.18}$$

$P_n(i)$ = $f(\beta_1, \beta_2, \ldots, \beta_K)$

Y_{in} = peubah indikator bila responden ke-n memilih alternatif moda i

K = jumlah parameter

N = jumlah responden

Dengan menggunakan transformasi logaritma natural, maka fungsi kemiripan (6.18) dapat diubah menjadi:

$$\log_e L(\beta_1,\beta_2,...,\beta_K) = \sum_{n=1}^N [Y_{in}.\log_e P_n(i) + Y_{jn}.\log_e P_n(j)] \tag{6.19}$$

Untuk kasus linear, maka $Y_{in} = 1 - Y_{jn}$ dan $P_n(j) = 1 - P_n(i)$ sehingga:

$$L_1 = \log_e L(\beta_1,\beta_2,...,\beta_K) = \sum_{n=1}^N [Y_{in}.\log_e P_n(i) + (1-Y_{in}).\log_e (1-P_n(i))] \tag{6.20}$$

Untuk dapat memecahkan persamaan (6.20), maka diperlukan turunan pertama persamaan (6.21) sama dengan nol.

$$\frac{\partial L_1}{\partial \beta_k} = 0 \tag{6.21}$$

Untuk kasus model logit-biner, maka:

$$P_n(i) = \frac{1}{1 + e^{-\beta X_{in}}} \qquad \text{dan} \qquad P_n(j) = \frac{e^{-\beta X_{in}}}{1 + e^{-\beta X_{in}}}$$

Untuk memudahkan manipulasi matematisnya, maka perlu didefinisikan hal berikut ini, yaitu $X_n = X_{in} - X_{jn}$. Jadi, untuk setiap elemen k didefinisikan hal sebagai berikut, $X_{nk} = X_{ink} - X_{jnk}$ untuk $k = 1, 2, \ldots, K$. Dengan demikian, persamaan (6.21) dapat ditulis kembali dan disederhanakan dengan urutan penyederhanaan sebagai persamaan (6.22)–(6.24), untuk $k = 1, 2, \ldots, K$.

$$\frac{\partial L_1}{\partial \beta_k} = \sum_{n=1}^{N} \left[Y_{in} . P_n(j) . X_{nk} + Y_{jn} . P_n(i) . X_{nk} \right] = 0 \tag{6.22}$$

$$\frac{\partial L_1}{\partial \beta_k} = \sum_{n=1}^{N} \left[Y_{in} . (1 - P_n(i)) - (1 - Y_{in}) . P_n(i) \right] . X_{nk} = 0 \tag{6.23}$$

$$\frac{\partial L_1}{\partial \beta_k} = \sum_{n=1}^{N} \left[Y_{in} - P_n(i) \right] . X_{nk} = 0 \tag{6.24}$$

Persamaan (6.24) adalah sistem K persamaan simultan dengan K buah parameter β_k yang tidak diketahui yang dapat diselesaikan dengan metode Newton–Raphson. Pembaca yang ingin mempelajari secara lebih rinci mengenai metode Newton–Raphson disarankan membaca subbab 8.15.3.

6.6.3.2 Metode penaksiran regresi-linear Model logit-biner digunakan untuk memodel pemilihan moda yang terdiri dari dua alternatif moda saja. Terdapat dua jenis model yang sering digunakan, yaitu model selisih dan model nisbah yang dapat diselesaikan dengan menggunakan metode penasiran regresi-linear. Parameter kuantitatif yang sering digunakan sebagai penentu utama dalam pemilihan moda adalah biaya perjalanan atau waktu tempuh. Pemilihan antara model logit-biner-selisih dan model logit-biner-nisbah dalam pemilihan moda sangat ditentukan oleh persepsi seseorang membandingkan biaya perjalanan atau waktu tempuh dalam memilih moda yang akan digunakannya.

Berikut ini akan diberikan contoh kejadian yang dapat menjelaskan perbedaan kedua model logit-biner tersebut. Terdapat dua kejadian pergerakan yang dilayani oleh dua jenis moda; satu berjarak jauh dan satu berjarak dekat. Waktu tempuh kedua pergerakan tersebut dapat dilihat pada tabel 6.1.

Tabel 6.1 Waktu tempuh kejadian dua pergerakan

	Waktu tempuh pergerakan jarak dekat (menit)	Waktu tempuh pergerakan jarak jauh (menit)
Moda A	60	660
Moda B	40	640
Selisih (A–B)	**20**	**20**
Nisbah (A–B)	**1,5**	**1,03**

Terlihat pada tabel 6.1 bahwa pada kedua kejadian pergerakan tersebut ternyata moda **A** bergerak **20** menit lebih lama daripada moda **B** (baik pergerakan jarak dekat maupun jarak jauh). Akan tetapi, pada pergerakan jarak dekat, moda **A** bergerak **1,5** kali lebih lama daripada moda **B**, sedangkan pada pergerakan jarak jauh, moda bergerak **A** hanya **1,03** kali lebih lama daripada moda **B**.

Dari kejadian ini terlihat bahwa model logit-biner-selisih tidak dapat menunjukkan perbedaan adanya perbedaan karakteristik dari kedua kejadian pergerakan ini (pada kedua kejadian pergerakan, moda A bergerak 20 menit lebih lama daripada moda B). Padahal, pada kenyataannya, pada pergerakan berjarak dekat persentase orang memilih moda B pasti akan lebih besar daripada moda A, sedangkan pada pergerakan berjarak jauh, persentase orang memilih moda A akan kira-kira sama dengan moda B. Inilah kelemahan model logit-biner-selisih dan sekaligus merupakan kelebihan model logit-biner-nisbah.

Jadi, dalam pemodelan pemilihan data dapat disimpulkan bahwa jika data waktu tempuh antar pasangan zona sangat bervariasi, maka lebih baik digunakan model logit-biner-nisbah, sedangkan jika waktu tempuh tidak begitu bervariasi, dapat digunakan model logit-biner-selisih.

6.6.3.3 Model logit-biner-selisih Asumsikan bahwa C_{id}^{1} dan C_{id}^{2} merupakan bagi-an yang diketahui dari biaya gabungan setiap moda dan pasangan asal–tujuan. Jika kita juga mempunyai informasi mengenai proporsi pemilihan setiap moda untuk setiap pasangan (***i,d***), P_{idk}^{*}, kita dapat menghitung nilai α dan β dengan menggunakan analisis regresi-linear sebagai berikut. Setelah indikator (***i,d***) dihilangkan, untuk alasan penyederhanaan, proporsi P_1 setiap pasangan (***i,d***) untuk moda **1** adalah:

$$P_1 = \frac{1}{1+\exp(\alpha+\beta(C_2 - C_1))} \tag{6.25}$$

Dengan mengasumsikan $\Delta C = C_2 - C_1$ dan melakukan beberapa penyederhanaan (persamaan 6.26–6.28), persamaan (6.25) dapat ditulis kembali menjadi persamaan (6.29).

$$P_1\left(1+\exp(\alpha+\beta\Delta C)\right) = 1 \tag{6.26}$$

$$P_1 + P_1\exp(\alpha+\beta\Delta C) = 1 \tag{6.27}$$

$$P_1\exp(\alpha+\beta\Delta C) = 1 - P_1 \tag{6.28}$$

$$\frac{1-P_1}{P_1} = \exp(\alpha+\beta\Delta C) \tag{6.29}$$

Persamaan (6.29) selanjutnya dapat ditulis kembali dalam bentuk logaritma natural seperti pada persamaan (6.30).

$$\log_e\left(\frac{1-P_1}{P_1}\right) = \alpha+\beta\Delta C \tag{6.30}$$

Kita mempunyai data P_1, C_1, dan C_2 sehingga parameter yang tidak diketahui adalah nilai α dan β. Nilai ini dapat dikalibrasi dengan analisis regresi-linear dengan sisi kiri persamaan (6.30) berperan sebagai peubah tidak bebas dan $\Delta C = C_2 - C_1$ sebagai peubah bebas sehingga β adalah kemiringan garis regresi dan α adalah intersepnya.

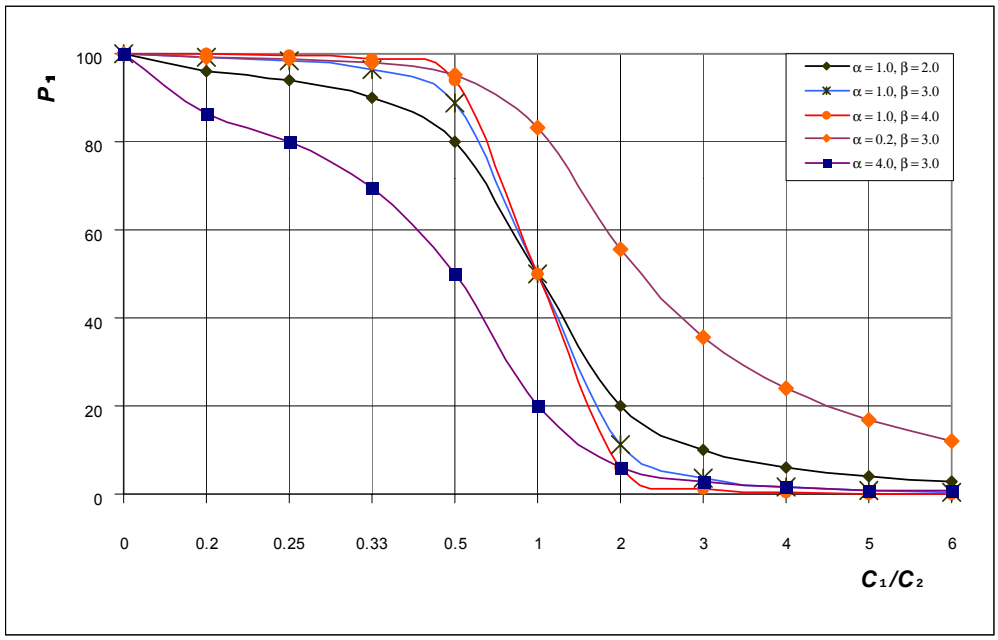
Dengan asumsi $Y_i = \log_e \left(\frac{1 - P_1^i}{P_1^i} \right)$ dan $X_i = \Delta C^i$, persamaan tidak-linear (6.30) dapat ditulis kembali dalam bentuk persamaan linear (6.31).

$$Y_i = A + BX_i \tag{6.31}$$

Dengan menggunakan analisis regresi-linear, bisa didapatkan nilai **A** dan **B** sehingga nilai α dan β bisa didapat sebagai berikut: $\alpha = A$ dan $\beta = B$. Untuk lebih jelas, pembaca dapat mengacu pada persamaan (4.3)–(4.5).

6.6.3.4 Model logit-biner-nisbah Dengan model ini, proporsi P_1 untuk moda 1 dinyatakan dengan persamaan (6.32) berikut (lihat gambar 6.11).

$$P_1 = \frac{1}{1 + a\left(\frac{C_1}{C_2}\right)^{\beta}} \tag{6.32}$$



Gambar 6.11 Model logit-biner-nisbah untuk beberapa nilai α dan β

Terlihat bahwa nilai α**=1** selalu menjamin nilai P_1**=0,5** jika nilai C_1/C_2 **=1**. Pada kenyataannya, hal ini tidak selalu harus terjadi karena ada faktor lain yang juga ikut mempengaruhi pemilihan moda.

Dengan melakukan beberapa penyederhanaan (persamaan 6.33–6.35), persamaan (6.32) dapat ditulis kembali menjadi persamaan (6.36).

$$P_1\left[1+\alpha\left(\frac{C_1}{C_2}\right)^{\beta}\right]=1 \tag{6.33}$$

$$P_1+P_1\alpha\left(\frac{C_1}{C_2}\right)^{\beta}=1 \tag{6.34}$$

$$P_1\alpha\left(\frac{C_1}{C_2}\right)^{\beta}=1-P_1 \tag{6.35}$$

$$\frac{1-P_1}{P_1}=\alpha\left(\frac{C_1}{C_2}\right)^{\beta} \tag{6.36}$$

Persamaan (6.36) selanjutnya dapat ditulis kembali dalam bentuk logaritma seperti pada persamaan (6.37).

$$\log\left(\frac{1-P_1}{P_1}\right)=\log\alpha+\beta\log\frac{C_1}{C_2} \tag{6.37}$$

Kita mempunyai data P_1, C_1, dan C_2 sehingga parameter yang tidak diketahui adalah nilai α dan β. Nilai ini dapat dikalibrasi dengan analisis regresi-linear dengan sisi kiri persamaan (6.37) berperan sebagai peubah tidak bebas dan $\log(C_1/C_2)$ sebagai peubah bebas sehingga β adalah kemiringan garis regresi dan $\log \alpha$ adalah intersepnya.

Dengan asumsi $Y_i=\log\left(\frac{1-P_1^i}{P_1^i}\right)$ dan $X_i=\log\left(\frac{C_1^i}{C_2^i}\right)$, persamaan tidak-linear (6.37) dapat ditulis kembali dalam bentuk persamaan linear (6.31). Dengan menggunakan analisis regresi-linear, bisa didapatkan nilai **A** dan **B** sehingga nilai α dan β bisa didapat sebagai berikut: $\alpha=10^{A}$ dan $\beta=B$. Untuk lebih jelas, pembaca dapat mengacu pada persamaan (4.3)–(4.5).

Pada subbab 6.10 akan diperlihatkan contoh penggunaan model logit-biner-selisih dan model logit-biner-nisbah dalam memodel pemilihan moda antara kereta api dengan mobil.

6.6.4 Kalibrasi model pemilihan moda berhierarki

Hal ini biasanya dilakukan dengan pendekatan heuristik, dimulai dari pemilihan submoda (sekunder) dan diteruskan dengan pemilihan primer. Dengan pendekatan umum ini terdapat beberapa kemungkinan prosedur kalibrasi. Terlihat bahwa (lihat **Domencich and McFadden, 1975**) metode penaksiran kemiripan-maksimum menguntungkan untuk perkiraan kuadrat-terkecil, baik untuk masalah praktis dan teori, terutama untuk data yang sangat besar.

Hartley and Ortuzar (1980) membandingkan beberapa prosedur dan menemukan bahwa metode penaksiran kemiripan-maksimum tidak saja menghasilkan kalibrasi terbaik, tetapi juga paling efisien dari sisi waktu komputer.

Pertimbangkan masalah pemilihan moda antara bus, mobil, dan kereta api. Asumsikan bahwa bus dan kereta api diperkirakan mempunyai korelasi karena keduanya moda angkutan umum. Proses kalibrasinya adalah sebagai berikut. Pertama, lakukan proses sekunder pemodelan pemilihan moda (antara bus dan kereta api); nilai yang didapat selanjutnya digunakan untuk menghitung biaya gabungan angkutan umum yang dibutuhkan untuk proses primer (seperti pada contoh 6.3).

Untuk pasangan zona yang memungkinkan adanya pemilihan moda, pergerakan dipisahkan menjadi kelompok yang didasarkan pada perbedaan biaya. Pergerakan tanpa proses pemilihan moda diabaikan dalam kalibrasi. Di antara kelompok tersebut pasti terdapat kelompok yang tidak mempunyai pergerakan, dan kelompok tersebut digabungkan menjadi kelompok yang lebih besar sampai setiap kelompok mempunyai pergerakan. Akhirnya, pembobotan biaya dapat dihitung untuk setiap kelompok.

Jika **N** adalah jumlah kelompok yang ada, n_k adalah jumlah pergerakan hasil pengamatan untuk setiap selang perbedaan biaya k, r_k adalah jumlah pergerakan moda pertama hasil pengamatan dalam selang tersebut, dan $P_k = 1/[1 + \exp(-Y_k)]$ adalah peluang memilih moda pertama dalam selang k, serta **a** dan **b** adalah parameter yang harus ditaksir, maka logaritma dari fungsi kemiripan dapat ditulis sebagai:

$$\mathbf{L} = \text{konstanta} + \sum_k \left[(n_k - r_k) \log(1 - P_k) + r_k \log P_k \right] \tag{6.38}$$

Prosedur maksimasi menggunakan turunan pertama dan kedua dari persamaan (6.38) terhadap parameter yang ada berupa:

$$\frac{\partial \mathbf{L}}{\partial \mathbf{a}} = \sum_k (r_k - n_k P_k) x_k$$

$$\frac{\partial \mathbf{L}}{\partial \mathbf{b}} = \sum_k (r_k - n_k P_k)$$

$$\frac{\partial^2 \mathbf{L}}{\partial \mathbf{a}^2} = -\sum_k n_k P_k (1 - P_k) x_k^2$$

$$\frac{\partial^2 \mathbf{L}}{\partial \mathbf{b}^2} = -\sum_k n_k P_k (1 - P_k)$$

$$\frac{\partial^2 \mathbf{L}}{\partial \mathbf{a} \partial \mathbf{b}} = -\sum_k n_k P_k (1 - P_k) x_k$$

Dengan mengetahui nilai turunan tersebut, algoritma analisis numerik akan menemukan titik maksimum dengan mudah. Proses pencarian titik maksimum membutuhkan nilai awal yang baik bagi setiap parameter dengan indikasi seberapa

jauh nilai tersebut dari nilai optimumnya. Efisiensi proses kalibrasi sangat tergantung pada ketepatan nilai awal tersebut. Salah satu cara menentukan nilai awal adalah nilai pada kondisi peluang untuk setiap moda, yaitu bernilai **0,5**.

6.7 Model kebutuhan-langsung

6.7.1 Pendahuluan

Metodologi pemodelan yang berurutan mensyaratkan adanya penaksiran submodel dengan baik. Salah satu pendekatan adalah dengan mengembangkan model yang menggabungkan model bangkitan pergerakan, sebaran pergerakan, dan pemilihan moda. Hal ini sangat menarik karena dapat menghindari proses yang harus berurutan. Contohnya, model *gravity* selalu mempunyai masalah dalam total nilai O_i dan D_d yang tidak cocok dan masalah yang dihasilkan oleh pergerakan intrazonal. Model kebutuhan-langsung, karena ketiga submodelnya tersebut diestimasi secara simultan, akan tidak mempunyai masalah tersebut.

Model kebutuhan-langsung terdiri dari dua jenis: **langsung** dan **langsung-kuasi**. Jenis langsung mempunyai satu persamaan yang mengaitkan antara kebutuhan akan pergerakan langsung dengan moda, atribut pergerakan, dan individu. Jenis langsung-kuasi menggunakan bentuk pemisah antara pemilihan moda dan total kebutuhan akan pergerakan. Model kebutuhan-langsung sangat erat kaitannya dengan model umum ekonometrik dan peneliti telah banyak meneliti hal ini.

6.7.2 Model abstrak dan model kebutuhan-langsung

Bentuk pertama model ini mempunyai fungsi perkalian. Model ASRC (**Kraft, 1968**) menaksir kebutuhan sebagai fungsi perkalian dari peubah aktivitas dan sosio-ekonomi untuk setiap pasangan zona dan atribut tingkat pelayanan dari setiap moda transportasi yang melayaninya:

$$T_{idk} = \phi_k (P_i P_d)^{\theta_{k1}} (I_i I_d)^{\theta_{k2}} \prod_m \left((t_{id}^m)^{\alpha_{km}^1} (c_{id}^m)^{\alpha_{km}^2} \right) \tag{6.39}$$

P adalah populasi, I adalah pendapatan, dan c adalah waktu atau biaya tempuh dari zona i ke zona d dengan moda k, serta θ, α, dan ϕ adalah parameter model. Bentuk yang kompleks itu dapat ditulis kembali dalam bentuk sederhana yang menggunakan beberapa peubah gabungan berikut ini (**Manheim, 1979**):

$$L_{idm} = (t_{id}^m)^{\alpha_{km}^1} (c_{id}^m)^{\alpha_{km}^2}$$
$$Y_{ik} = P_i^{\theta_{k1}} I_i^{\theta_{k2}}$$
$$Z_{dk} = P_d^{\theta_{k1}} I_d^{\theta_{k2}}$$

Dengan perubahan ini persamaan (6.39) menjadi:

$$T_{idk} = \phi_k Y_{ik} Z_{dk} \prod_m L_{idm} \tag{6.40}$$

dan transformasi ini memudahkan memperkirakan parameter model. Sebagai contoh, ϕ_k adalah parameter skala yang tergantung pada tujuan pergerakan. θ_{k1} dan

θ_{k2} adalah elastisitas kebutuhan terhadap populasi dan pendapatan. Kita perkirakan kedua peubah ini mempunyai tanda positif (+). α^1_{km} dan α^2_{km} adalah elastisitas kebutuhan terhadap waktu dan biaya perjalanan; dalam hal ini elastisitas langsung ($k = m$) harus bertanda negatif, sedangkan elastisitas silang harus bertanda positif.

Model ini sangat menarik secara prinsip karena dapat mengolah proses bangkitan, sebaran pergerakan, dan pemilihan moda secara simultan termasuk atribut moda yang saling bersaing, tingkat pelayanan yang bervariasi, dan peubah aktivitas lainnya. Masalah utama adalah sangat banyaknya parameter yang diperlukan. **Domencich *et al* (1968)** menawarkan bentuk lain yang terdiri dari fungsi linear dan eksponensial, selain fungsi perkalian.

Bentuk lain diusulkan untuk pemakaian pada *North East Corridor Study* di Amerika Serikat yang dikenal dengan model *McLynn* (lihat **Manheim 1979**) mempunyai bentuk seperti:

$$T_{idk} = \phi_k (P_i P_d)^{\theta_1} (I_i I_d)^{\theta_2} \frac{(t^k_{id})^{\alpha^1_k} (C^k_{id})^{\alpha^2_k}}{\sum_m \left[(t^m_{id})^{\alpha^1_m} (C^m_{id})^{\alpha^2_m} \right]} \left\{ \sum_m \left[(t^m_{id})^{\alpha^1_m} (C^m_{id})^{\alpha^2_m} \right] \right\}^{\psi} \quad (6.41)$$

Untuk memahami fungsi tersebut, pertimbangkan penyederhanaan berikut ini: misalkan hanya terdapat dua moda (**1** dan **2**) dan $\psi = 0$. Hilangkan tikalas i dan d dan definisikan beberapa peubah gabungan berikut ini:

$$Y_{id} = Y = (P_i P_d)^{\theta_1} (I_i I_d)^{\theta_2}$$
$$L_k = \phi_k (t^k)^{\alpha^1_k} (C^k)^{\alpha^2_k}$$

Jadi, kita dapat menuliskan persamaan untuk moda 1 dan 2 sebagai berikut:

$$T_1 = YL_1 / (L_1 + L_2) \text{ dan } T_2 = YL_2 / (L_1 + L_2)$$

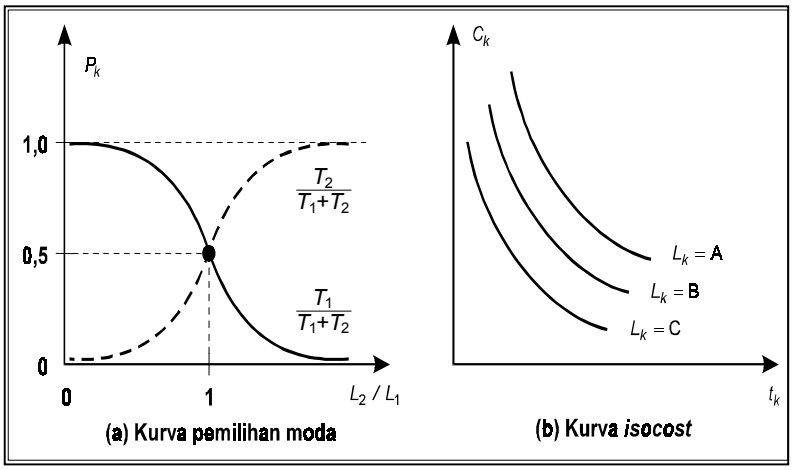
Sekarang, jumlah pergerakan $T = T_1 + T_2 = Y$ sehingga pangsa bagi setiap moda adalah:

$$P_1 = T_1 / T = L_1 / (L_1 + L_2) = 1 / (1 + L_2 / L_1)$$
$$P_2 = 1 - P_1 = 1 / (1 + L_1 / L_2)$$

dan dapat digambarkan sebagai gambar 6.12.

Gambar 6.12a memperlihatkan keragaman proporsi setiap moda dengan nisbah antara tingkat pelayanannya, yang berarti bahwa jika kita tingkatkan tarif moda **2** tanpa mengurangi pangsa penumpangnya, kita harus melakukan sesuatu agar tingkat pelayanan L_2 tetap konstan. Gambar 6.12b memperlihatkan bahwa agar hal tersebut terjadi, kita harus mengubah t_2 (tentu tanpa melakukan apa-apa dengan moda **1**).

Kembali pada masalah bentuk umum (6.41), dengan mudah terlihat bahwa parameternya secara umum mempunyai makna yang sama, tetapi jumlahnya jauh sedikit jika dibandingkan dengan model SARC. Hanya terdapat satu parameter (ψ), yang dipakai untuk mewakili total potensi pergerakan dari setiap moda. Dalam hal ini, bentuk sebelumnya dalam model tersebut mengontrol proses pemilihan moda di antara moda yang ada.



Gambar 6.12 Model McLynn: (a) Kurva pemilihan moda dan (b) Kurva *isocost*

Pada beberapa kasus khusus, model ini mungkin tidak mempunyai dasar teori yang kuat. Jika $\psi = 0$, bagian akhir akan hilang. Jika $\psi = 1$, bagian akhir dan bagian pembagi pada (6.41) hilang sehingga persamaan tersebut menjadi:

$$T_{idk} = \phi_k (P_i P_d)^{\theta_1} (I_i I_d)^{\theta_2} (t_{id}^k)^{\theta_k^1} (C_{id}^k)^{\alpha_k^2}$$

yang secara efektif menyatakan apa yang terjadi jika suatu moda tidak mempengaruhi moda lain. Nyatanya, hanya jika $0<\psi<1$ sajalan model tersebut berfungsi baik (contoh: nilai kalibrasi ψ terbaik pada kajian tersebut adalah **0,77** (**Mclynn and Woronka, 1969**).

Contoh 6.4 Pertimbangkan fungsi:

$$T_{12} = 10.000 t_{12}^{\alpha} c_{12}^{\beta} q_{12}^{\mu}$$

dengan waktu t dalam jam, tarif c dalam dolar dan pelayanan q dalam pergerakan per hari. Nilai parameter yang dihasilkan adalah $\alpha = -2$, $\beta = -1$ dan $\mu = 0,8$ (perhatikan bahwa tandanya sesuai dengan intuisi). Operator ingin meningkatkan tarif sebesar **20%**; perubahan apa yang harus dilakukan pada tingkat pelayanan agar pangsa penumpang tetap?

Definisikan $L_{12} = \mathbf{L} = t^{-2} c^{-1} q^{0,8}$. Kita ketahui bahwa jika **L** tetap konstan, volume T_{12} tidak akan berubah. Kita juga tahu bahwa elastisitas $E(\mathbf{L},x)$ dari tingkat pelayanan terhadap setiap atribut x (waktu, biaya, dan frekuensi) adalah **–2**, **–1** dan **0,8**. Sekarang, jika hanya c yang berubah, kita dapatkan $\mathbf{L} = \mathbf{k}/c$ dengan **k** konstan sehingga peningkatan c sebesar 20% berarti tingkat pelayanan baru $\mathbf{L'} = \mathbf{k}/1,2c$ atau $\mathbf{L/L'} = 0,833$ yang berarti penurunan **L** sebesar **16,67%**.

Dalam hal ini, operator harus mengatur perubahan pada waktu tempuh, frekuensi pelayanan, atau keduanya. Sekarang, dari definisi elastisitas, kita dapatkan:

$$\Delta L^{(c)} \approx E(\mathbf{L},c)\mathbf{L}\Delta c / c \approx -\mathbf{L}\Delta c / c$$
$$\Delta L^{(t)} \approx E(\mathbf{L},t)\mathbf{L}\Delta t / t \approx -2\mathbf{L}\Delta t / t$$
$$\Delta L^{(q)} \approx E(\mathbf{L},q)\mathbf{L}\Delta q / q \approx 0.8\mathbf{L}\Delta q / q$$

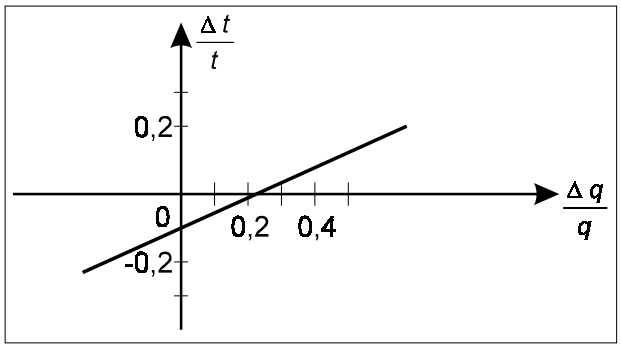
Jadi, jika kita inginkan $\Delta L^{(c)}$ sama dengan $-\Delta L^{(q)}$, kita membutuhkan:

$$\Delta L^{(c)} = -(\Delta L^{(q)} + \Delta L^{(t)})$$

yaitu

$$2\Delta t/t = 0{,}8\Delta q/q - 0{,}20$$

Ini adalah persamaan garis lurus dari solusi yang ada seperti terlihat pada gambar 6.13.



Gambar 6.13
Solusi dari contoh 6.4

Salah satu kajian seperti ini (**Quandt and Baumol, 1966**) mengusulkan penambahan moda fiktif yang bentuk fungsinya dapat ditulis:

$$T_{idm} = \phi_0 \prod_k (A_{ik} A_{dk})^{\phi_k} \prod_h C_{idh}^{\alpha_h} \prod_h (C_{idm} / C_{idhb})^{\beta_h} \qquad (6.42)$$

dengan ϕ, α, dan β adalah parameter yang hendak dikalibrasi; indeks h digunakan untuk mengindikasikan atribut biaya (misalnya waktu tempuh, tarif, atau jarak antarkendaraan). A_{ik} adalah atribut setiap zona i (misalnya populasi atau pendapatan); C_{idhm} adalah nilai atribut biaya h untuk moda m antara zona i dan d, serta C_{idhb} adalah atribut h terbaik antara dua zona tersebut (misalnya tingkat termurah).

6.7.3 Model simultan

Model simultan adalah salah satu alternatif pendekatan dari pemodelan 4-tahap yang harus dilakukan secara berurutan. Tidak seperti pendekatan berurutan, pada model simultan keempat submodel tersebut digabungkan menjadi satu model. Model simultan secara tidak langsung menampilkan keseimbangan antara tujuan perjalanan, moda, serta rute yang tersedia dalam jaringan transportasi. Model simultan menghasilkan perkiraan jumlah perjalanan antarpasangan zona asal–tujuan yang menggunakan moda tertentu dan melalui rute tertentu.

Pada dasarnya model simultan secara eksplisit memasukkan tiga submodel yaitu model bangkitan pergerakan, model sebaran pergerakan, dan model pemilihan moda. Model tersebut memperhitungkan jumlah perjalanan antarpasangan zona menurut moda-moda yang ada, tetapi tidak memberikan indikasi mengenai rute yang dipilih. Pendekatan ini secara implisit berasumsi bahwa pada setiap pasangan zona asal–tujuan hanya tersedia satu rute untuk setiap moda.

Asumsi ini cukup realistis untuk diterapkan untuk transportasi antarkota karena antara kota-kota yang letaknya relatif berjauhan jarang tersedia lebih dari satu rute untuk setiap moda yang beroperasi. Model ini telah diterapkan di Indonesia, baik untuk penumpang (**Sjafruddin, 1992**) maupun untuk barang (**Sjafruddin *et al*, 1998**).

Model simultan pada dasarnya merupakan pengembangan dari model *gravity*, dengan memasukkan model sebaran moda dalam persamaannya, yang secara umum dirumuskan sebagai berikut:

$$T_{idm} = \mathbf{k} \,.\, f(.) \,.\, g(.) \,.\, h(.) \qquad (6.43)$$

T_{idm} adalah jumlah perjalanan antara zona ***i*** dan ***d*** yang menggunakan moda ***m***, **k** suatu konstanta, ***f*(.)** adalah fungsi karakteristik sosio-ekonomi, ***g*(.)** adalah fungsi hambatan perjalanan, dan ***h*(.)** adalah fungsi sebaran moda.

Ditinjau dari perlakuan terhadap moda, model di atas bisa dikembangkan secara 'moda-abstrak' atau 'moda-spesifik'. Yang dimaksud dengan pengertian model 'moda-abstrak' di sini adalah moda transportasi yang dianalisis dinilai melalui atribut pelayanannya, seperti waktu tempuh, ongkos, dan sebagainya, dan tidak dinilai melalui 'nama' moda. Jadi, kalibrasi model tersebut hanya menghasilkan satu set parameter yang berlaku untuk semua moda yang ditinjau. Di lain pihak, model 'moda-spesifik' menghasilkan satu set parameter untuk setiap moda.

Sjafruddin *et al* (1998) melaporkan hasil penelitian Hibah Bersaing V yang telah dilakukan di Laboratorium Rekayasa Lalulintas, Jurusan Teknik Sipil, ITB. Model simultan telah digunakan untuk memodel kebutuhan akan pergerakan angkutan barang regional di Pulau Jawa. Beberapa kesimpulannya dikemukakan berikut ini.

- Faktor sosio-ekonomi yang teridentifikasi cukup signifikan sebagai peubah bebas pembangkit dan penarik pergerakan barang adalah populasi, PDRB, indeks kontribusi sektor industri, serta jumlah surplus (produksi transportasi barang) dan jumlah defisit (tarikan transportasi barang). Sementara itu, atribut pelayanan transportasi yang signifikan adalah waktu perjalanan rata-rata dan ongkos. Peubah tersebut tidak selalu muncul secara bersamaan dalam satu persamaan, namun bisa muncul dalam beberapa variasi model.
- Peubah waktu pergerakan dan biaya angkut barang hampir selalu memberikan hasil yang berlawanan dengan tanda aljabar yang dihasilkan, khususnya untuk moda transportasi udara dan laut. Hal ini memang dapat terjadi, mungkin (1) karena peubah tersebut merupakan fungsi jarak yang berkorelasi negatif terhadap kebutuhan akan transportasi; (2) karena lingkup kajian adalah pulau Jawa sehingga klasifikasi pergerakan tergolong pergerakan jarak pendek dan jarak menengah. Hal ini mengakibatkan moda transportasi udara dan laut menjadi kurang elastis terhadap permintaan.

  Kemungkinan lain adalah (3) tarif angkutan barang belum rasional, misalnya kurang sehatnya pemberlakuan tarif, adanya tarif negosiasi, adanya tarif karena fungsi sosial seperti kereta api untuk komoditas tertentu (pasir dan batubara), dan pelaksanaan pemberlakuan tarif yang tidak sesuai dengan ketentuan yang

menimbulkan kompetisi yang tidak sehat, sehingga mempengaruhi pola sebaran dan pola kebutuhan akan transportasi barang.

- Kalibrasi angkutan jalan memberikan beberapa hasil yang cukup signifikan dan memenuhi kriteria yang masuk akal, namun hasil kalibrasi angkutan bukan-jalan masih dianggap belum cukup signifikan dan beberapa model masih menunjukkan tanda aljabar parameter tertentu yang tidak sesuai dengan yang diharapkan.
- Penerapan model untuk memperkirakan kebutuhan akan transportasi barang pada masa mendatang perlu memperhatikan keterbatasan yang merupakan konsekuensi dari asumsi dasar yang digunakan dalam pengembangan model, struktur model, dan ketersediaan data yang bisa digunakan untuk kalibrasi model.
- Kalibrasi model telah dilakukan dan hasilnya perlu dikembangkan lebih lanjut, terutama jika bisa diperoleh data yang lebih lengkap dan lebih sesuai dalam menggambarkan karakteristik transportasi barang.
- Hasil kalibrasi model yang terbaik adalah:

1 **Moda Jalan**

a untuk pergerakan dari dan ke DKI-Jakarta dan Surabaya (kota besar):

$$T_{id} = 10^{2,45} . (P_i.P_d)^{0,95} . (M_i.M_d)^{0,42} . (H_{id})^{-1,62}$$

b untuk pergerakan dari dan ke Cirebon dan Malang (kota menengah):

$$T_{id} = 10^{1,14} . (P_i.P_d)^{1,51} . (I_i.I_d)^{0,85} . (H_{id})^{-2,18}$$

c untuk pergerakan dari dan ke DKI-Jakarta, Surabaya, Cirebon dan Malang (gabungan kota besar dan kota menengah):

$$T_{id} = 10^{2,03} . (P_i.P_d)^{1,33} . (I_i.I_d)^{0,32} . (M_i'.M_d')^{0,20} . (H_{id})^{-1,85}$$

2 **Moda udara**

$$T_{id} = 10^{-9,75} . (N_i)^{0,80} . (N_d)^{0,83} . (S_i)^{0,14} . (D_d)^{0,56} . (C_{id})^{0,94}$$

3 **Moda laut**

$$T_{id} = 10^{-11,05} . (P_iP_d)^{0,18} . (S_iD_d)^{1,21} . (C_{id})^{-0,41}$$

4 **Moda abstrak**

$$T_{id} = 10^{0.682} . (P_i)^{1.201} . (P_d)^{1.089} . (C_{id})^{-2.420} . (C_{id}')^{0.299}$$

T_i, T_d = Volume pergerakan barang dari zona ***i*** ke zona ***d*** (ton/tahun)

P_i, P_d = Jumlah penduduk (dalam ribuan jiwa)

N_i, N_d = PDRB (dalam miliar rupiah)

I_i, I_d = PDRB per kapita (dalam ribuan rupiah)

M_i, M_d = PDRB sektor industri (dalam miliar rupiah)

M_i', M_d' = Indeks industri (nisbah PDRB industri/PRDB total) (%)

S_i, D_d = Surplus/bangkitan pergerakan dari zona ***i***, dan defisit/tarikan pergerakan dari zona ***d*** (ton/tahun)

H_{id} = Waktu pergerakan barang (menit)

C_{id} = Biaya pergerakan barang (rupiah/ton)

6.8 Model pemilihan diskret

6.8.1 Pertimbangan umum

Secara umum, model pemilihan diskret dinyatakan sebagai:

> *the probability of individuals choosing a given option is a function of their socioeconomic characteristics and the relative attractiveness of the option*
>
> (peluang setiap individu memilih suatu pilihan merupakan fungsi ciri sosio-ekonomi dan daya tarik pilihan tersebut)

Untuk menyatakan daya tarik suatu alternatif, digunakan konsep utilitas (didefinisikan sebagai sesuatu yang dimaksimumkan oleh setiap individu). Alternatif tidak menghasilkan utilitas, tetapi didapatkan dari karakteristiknya (**Lancaster, 1966**) dan dari setiap individu. Sebagai contoh: utilitas biasanya didefinisikan sebagai kombinasi linear dari beberapa peubah berikut:

$$V_{car} = 0{,}25 - 1{,}2IVT - 2{,}5ACC - 0{,}31C/I + 1{,}1NCAR \qquad (6.44)$$

Setiap peubah menyatakan atribut setiap pilihan moda atau setiap individu. Pengaruh yang menggambarkan kontribusi yang dihasilkan oleh suatu alternatif dinyatakan dalam bentuk koefisien; misalnya perubahan satu unit waktu tunggu (***ACC***) dalam persamaan (6.44) mempunyai pengaruh yang besarnya kira-kira dua kali dibandingkan dengan perubahan satu unit waktu selama perjalanan (***IVT***) dan tujuh kali lebih besar perubahan satu unit biaya/pendapatan (***C/I***).

Peubah tersebut juga dapat mewakili karakteristik individu; misalnya, individu dari rumah tangga yang mempunyai banyak kendaraan berkemungkinan lebih besar memilih mobil pribadi daripada individu dari keluarga yang hanya mempunyai satu mobil. Konstanta sebesar **0,25** dalam persamaan (6.44) biasanya diartikan sebagai yang mewakili pengaruh dari karakteristik pilihan ataupun individu yang tidak dipertimbangkan dalam fungsi utilitasnya. Contohnya, unsur kenyamanan dan keamanan yang sangat sulit diukur secara kuantitatif.

Jadi, pada saat kita memperkirakan akan diambil suatu alternatif, nilai utilitasnya harus sangat berbeda dengan alternatif pilihan lain yang dinyatakan dalam bentuk peluang yang bernilai antara **0** dan **1**. Untuk itu, digunakan bentuk transformasi matematis yang mengikuti pola grafik berbentuk **S**, seperti:

$$\text{Logit } P_1 = \frac{\exp(V_1)}{\exp(V_1 + \exp(V_2)}$$

$$\text{Probit} P_1 = \int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{V_2 - V_1 + x_1} \frac{\exp\left\{-\frac{1}{2(1-\rho^2)}\left[\left(\frac{x_1}{\sigma_1}\right)^2 - \frac{2\rho x_1 x_2}{\sigma_1\sigma_2} + \left(\frac{x_2}{\sigma_2}\right)^2\right]\right\}}{2\pi\sigma_1\sigma_2\sqrt{(1-\rho^2)}}\delta x_2 \delta x_1$$

Matriks kovarian dari sebaran normal yang berkaitan dengan persamaan terakhir mempunyai bentuk:

$$\sum\begin{pmatrix} \sigma_1^2 & \rho\sigma_1\sigma_2 \\ \rho\sigma_1\sigma_2 & \sigma_2^2 \end{pmatrix}$$

Model pemilihan diskret secara umum tidak dapat dikalibrasi dengan analisis regresi atau sejenisnya karena peubah tidak bebas (P_i) merupakan peluang yang tidak diamati (bernilai antara **0** dan **1**), sedangkan pengamatannya berupa pilihan setiap individu (bernilai **0** atau **1**). Satu-satunya pengecualian pada model ini adalah jika terdapat kelompok individu yang homogen atau jika perilaku setiap individu diamati pada beberapa kejadian karena frekuensi pilah juga merupakan peubah yang bernilai antara **0** dan **1**. Beberapa perilaku penting model ini disimpulkan oleh **Spear (1977)**:

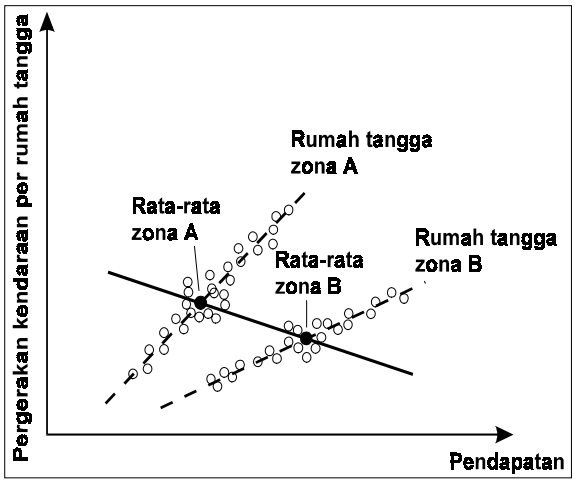
1 Model disagregat (**DM**) didasari teori perilaku individu dan tidak mengandung analogi fisik dalam bentuk apa pun. Jadi, karena ada usaha untuk menjelaskan perilaku individu tersebut, maka ada keuntungannya dibandingkan dengan metode konvensional lain, yaitu model DM lebih stabil dalam ruang dan waktu.

2 Model DM ditaksir dengan menggunakan data individu dan mempunyai banyak implikasi:

- Model DM menjadi lebih efisien dibandingkan dengan metoda konvensional dalam hal penggunaan informasi; dibutuhkan data pengamatan yang lebih sedikit untuk setiap pilihan individu. Dalam model agregat, satu pengamatan dapat merupakan rata-rata dari puluhan atau pun ratusan pengamatan individu.
- Karena data individu yang digunakan, maka semua informasi dapat digunakan.
- Secara prinsip, model DM dapat diterapkan pada setiap tingkat pengelompokan; tetapi, meskipun hal ini terlihat benar, proses pengelompokan tidaklah semudah itu.
- Model DM lebih sedikit mengandung bias karena terdapatnya korelasi antarunit pengelompokan. Masalah serius pada saat mengelompokkan

informasi adalah perilaku individu mungkin tersembunyi dalam bentuk ciri zona yang tidak dapat teridentifikasi, yang disebut **korelasi ekologi**.

Contoh pada gambar 6.14 memperlihatkan bahwa jika suatu model bangkitan pergerakan menggunakan data berbasis zona, akan didapatkan bahwa jumlah pergerakan menurun sesuai dengan pendapatan; hal sebaliknya ditemukan bila digunakan data berbasis individu. Fenomena ini terjadi misalnya jika ciri tata guna tanah di zona B mendukung dihasilkannya pergerakan berjalan kaki.



Gambar 6.14
Contoh pengaruh ekologi

3 Model DM adalah model peluang. Karena model dapat menghasilkan peluang setiap alternatif, tetapi tidak dapat mengidentifikasi mana yang terpilih, perlu digunakan konsep dasar peluang:

- Jumlah orang yang diperkirakan menggunakan pilihan moda tertentu merupakan penjumlahan setiap peluang individu yang memilih alternatif tersebut:

$$N_i = \sum_n P_{in}$$

- Suatu set keputusan harus dimodel secara terpisah dengan mempertimbangkan bahwa setiap keputusan adalah pilihan yang berkondisi tertentu sehingga peluang yang dihasilkan dapat dikalikan untuk mendapatkan peluang untuk set tersebut:

$$P(f,d,m,r) = P(f)P(d/f)P(m/d)P(r/m,d,f)$$

dengan f = frekuensi, d = tujuan; m = moda dan r = rute

4 Peubah yang digunakan dalam model tersebut mempunyai koefisien. Secara prinsip, fungsi utilitas memperbolehkan adanya perubahan spesifikasi peubah, yang berbeda dengan kasus biaya gabungan pada model konvensional yang sangat terbatas dan mempunyai beberapa parameter yang tetap. Hal ini mempunyai beberapa implikasi seperti:

- Model DM memungkinkan penggunaan peubah kebijakan yang dipertimbangkan secara lebih fleksibel.
- Koefisien peubah mempunyai arti utilitas marginal (dapat mencerminkan kepentingan setiap atribut).

Dalam subbab berikut ini dijelaskan secara rinci beberapa aspek menarik dari model pemilihan diskret (misalnya dasar teori, struktur, spesifikasi, bentuk fungsinya, estimasi, dan pengelompokan. Pembaca yang berminat dapat membaca dua buku yang sangat baik, yaitu: **Ben Akiva and Lerman (1985)** dan **Hensher and Johnson (1981)**.

6.8.2 Kerangka teori

Dasar teori, kerangka, atau paradigma dalam menghasilkan model pemilihan diskret adalah teori utilitas acak. **Domencich and McFadden (1975)** dan **Williams (1977)** mengemukakan hal berikut.

1 Individu yang berada dalam suatu populasi ($\boldsymbol{Q}$) yang homogen akan bertindak secara rasional dan memiliki informasi yang tepat sehingga biasanya dapat menentukan pilihan yang dapat memaksimumkan utilitas individunya masing-masing sesuai dengan batasan hukum, sosial, fisik, waktu, dan uang.

2 Terdapat suatu set $\mathbf{A} = \{\boldsymbol{A}_1, \ldots, \boldsymbol{A}_j, \ldots, \boldsymbol{A}_N\}$ alternatif yang tersedia dan suatu set vektor atribut individu $\mathbf{X}$ dan alternatifnya. Setiap individu $\boldsymbol{q}$ akan mempunyai atribut $\boldsymbol{x} \in \boldsymbol{X}$ dan set pilihan $\boldsymbol{A}(\boldsymbol{q}) \in \mathbf{A}$.

3 Setiap pilihan $\boldsymbol{A}_j \in \mathbf{A}$ mempunyai utilitas $\boldsymbol{U}_{jq}$ untuk setiap individu $\boldsymbol{q}$. Pemodel yang juga merupakan pengamat sistem tersebut tidak mempunyai informasi yang lengkap tentang semua unsur yang dipertimbangkan oleh setiap individu yang menentukan pilihan sehingga pemodel mengasumsikan bahwa $\boldsymbol{U}_{jq}$ dapat dinyatakan dalam dua komponen, yaitu:

- $\boldsymbol{V}_{jg}$ yang terukur sebagai fungsi dari atribut terukur $\boldsymbol{x}$; dan
- bagian acak $\boldsymbol{\varepsilon}_{jg}$ yang mencerminkan hal tertentu dari setiap individu, termasuk kesalahan yang dilakukan oleh pemodel. Jadi, pemodel dapat menuliskan:

$$\boldsymbol{U}_{jg} = \boldsymbol{V}_{jg} + \boldsymbol{\varepsilon}_{jq} \tag{6.45}$$

yang dapat menjelaskan dua hal yang tidak rasional. Contohnya, dua individu dengan atribut yang sama dan mempunyai set pilihan yang sama mungkin memilih pilihan yang berbeda, dan beberapa individu tidak selalu memilih alternatif yang terbaik.

Agar persamaan (6.45) benar, dibutuhkan populasi yang homogen. Secara prinsip, semua individu mempunyai set alternatif yang sama dan mempunyai batasan yang sama sehingga untuk mendapatkan kondisi ini harus dilakukan segmentasi pasar.

Kita menentukan V, tetapi tetap mengandung tikalas q karena merupakan fungsi atribut x dan hal ini bervariasi untuk setiap individu. Jadi, dapat diasumsikan bahwa residu $\boldsymbol{\varepsilon}$ adalah peubah acak dengan rata-rata $\mathbf{0}$ dan sebaran peluang tertentu.

$$V_{jq} = \sum_k \theta_{kj} x_{jkq} \tag{6.46}$$

Parameter $\boldsymbol{\theta}$ diasumsikan konstan untuk semua individu, tetapi bervariasi dalam alternatif. Terdapat dua hal yang perlu diperhatikan: pertama, individu memberi bobot pada semua unsur yang ada (tanpa mengacaknya) dan memilih pilihan terbaik menurutnya; kedua, pemodel yang hanya mengamati sebagian unsur yang ada membutuhkan residu $\boldsymbol{\varepsilon}$ yang mewakili perilaku yang tidak rasional.

4 Individu q memilih alternatif yang memaksimumkan utilitas; individu memilih A_j jika dan hanya jika:

$$U_{jq} \geq U_{iq}, \forall A_i \in A(q) \tag{6.47}$$

dengan

$$V_{jq} - V_{iq} \geq \varepsilon_{iq} - \varepsilon_{jq}$$

Karena para analis mengabaikan nilai (ε_{iq}–ε_{jq}), tidaklah mungkin dapat ditetapkan jika persamaan (6.47) harus dipenuhi. Jadi, peluang memilih A_j adalah:

$$P_{jq} = \mathbf{Prob}\{\varepsilon_{iq} \leq \varepsilon_{jq} + (V_{jq} - V_{iq}), \forall A_i \in A(q)\} \tag{6.48}$$

dan karena sebaran residu $\boldsymbol{\varepsilon}$ tidak diketahui, tidaklah mungkin mendapatkan persamaan analitis dari model tersebut. Yang kita ketahui residu merupakan peubah acak yang mempunyai sebaran tertentu yang bisa dinyatakan sebagai $f(\boldsymbol{\varepsilon}) = f(\varepsilon_1, \ldots, \varepsilon_N)$. Perhatikan $f(\mathbf{U})$ yang merupakan sebaran $\mathbf{U}$, adalah sama dengan rata-rata yang berbeda. Jadi, persamaan (6.48) dapat ditulis kembali sebagai:

$$P_{jq} = \int_{R_N} f(\boldsymbol{\varepsilon}) d\boldsymbol{\varepsilon} \tag{6.49}$$

dengan:

$$R_N = \begin{cases} \varepsilon_{iq} \leq \varepsilon_{jq} + (V_{jq} - V_{iq}), \forall A_i \in A(q) \\ V_{jq} + \varepsilon_{jq} \geq 0 \end{cases}$$

dan bentuk model yang berbeda akan dihasilkan, tergantung pada sebaran residu $\boldsymbol{\varepsilon}$. Bentuk model utilitas acak yang penting dihasilkan dengan menggunakan fungsi utilitas yang mempunyai residu yang **terdistribusi bebas dan identik** (IID). Dalam kasus ini, $f(\boldsymbol{\varepsilon})$ ditulis dalam bentuk:

$$f(\varepsilon_1, \ldots, \varepsilon_N) = \prod_n g(\varepsilon_n)$$

$g(\varepsilon_n)$ adalah sebaran utilitas sesuai dengan pilihan A_n sehingga bentuk umum persamaan (6.49) dapat disederhanakan menjadi:

$$P_j = \int_{-\infty}^{\infty} g(\varepsilon_j)\mathrm{d}(\varepsilon_j) \prod_{i \neq j} \int_{-\infty}^{V_j - V_i + \varepsilon_j} g(\varepsilon_i)\mathrm{d}\varepsilon_i \tag{6.50}$$

Kita memperluas rentang integral menjadi tidak terhingga (∞) agar dapat dipecahkan. Persamaan (6.50) dapat juga ditulis sebagai:

$$P_j = \int_{-\infty}^{\infty} g(\varepsilon_j)\mathrm{d}\varepsilon_j \prod_{i \neq j} G(\varepsilon_j + V_j - V_i) \tag{6.51}$$

dengan $G(x) = \int_{-\infty}^{x} g(x)\mathrm{d}x$

Menarik untuk diketahui bahwa telah diusahakan mencari bentuk yang sesuai bagi g yang membuat persamaan (6.51) dapat dipecahkan. Persyaratan residu yang tersebar bebas dan identik mempunyai arti agar alternatif yang ada saling tidak bergantung. Pilihan multimoda, misalnya kombinasi mobil-kereta api, biasanya tidak cocok dengan kondisi tersebut.

6.9 Model logit-multinomial (LM)

Model ini adalah model pemilihan diskret yang paling mudah dan sering digunakan. Model ini bisa didapat dengan mengasumsikan bahwa residu acak pada persamaan (6.49) disebarkan dengan residu *Gumbel* yang tersebar bebas dan identik (***Independent-and-Identically-Distributed*/IID**), sehingga:

$$P_{iq} = \frac{\exp(\beta V_{iq})}{\sum_{A_j \in A(q)} \exp(\beta V_{jq})} \tag{6.52}$$

Fungsi utilitas biasanya mempunyai bentuk parameter linear (6.3) dan parameter β (dalam praktek nilainya selalu ditentukan sama dengan satu karena parameter tersebut tidak dapat ditaksir secara terpisah dari θ') yang ada kaitannya dengan simpangan baku Gumbel, yaitu:

$$\beta^2 = \pi^2 / 6\sigma^2 \tag{6.53}$$

Model LM harus memenuhi aksioma ***independence-of-irrelevant-alternatives*** (**IIA**) yang dapat ditulis sebagai:

> *where any two alternatives have a non-zero probability of being chosen, the ratio of one probability over the other is unaffected by the presence or absence of any additional alternative in the choice set*
>
> (jika dua alternatif berpeluang untuk dipilih, nisbah satu peluang terhadap peluang lain tidak terpengaruh oleh adanya alternatif lain dalam satu set pilihan)

Seperti terlihat, dalam model LM, nisbah

$$\frac{P_j}{P_i} = \exp\{\beta(V_j - V_i)\}$$

adalah konstanta yang tidak tergantung pada pilihan lainnya. Hal ini dapat dipertimbangkan sebagai keuntungan model karena dapat mengontrol masalah baru dengan cukup baik; akan tetapi, perilaku ini dianggap sebagai kekurangan membuat model menjadi tidak baik dengan adanya alternatif yang saling berkorelasi.

Jika terlalu banyak alternatif, misalnya kasus pilihan tujuan, terlihat bahwa (**McFadden, 1978**) parameter tanpa bias didapatkan jika model ditaksir dengan sampel acak dari set pilihan yang tersedia untuk setiap individu (misal tujuh pilihan tujuan per individu). Model tanpa perilaku ini mensyaratkan waktu proses komputer yang sangat lama untuk jumlah pilihan lebih dari 50 (walaupun proses estimasinya tidak begitu kompleks).

Jika model tersebut ditaksir dengan informasi subdaerah atau dengan data dari sampel yang berbias, tampak bahwa (**Cosslett, 1981**) jika semua individu mempunyai semua alternatif yang tersedia dan jika model mempunyai konstanta yang lengkap, suatu model tidak bias dapat dihasilkan dengan cara mengoreksi konstanta berikut:

$$K_i' = K_i - \log(q_i / Q_i) \tag{6.54}$$

q_i adalah pangsa pasar alternatif A_i dalam sampel dan Q_i adalah pangsa pasarnya dalam populasi. Perlu dihasilkan persamaan sederhana untuk model elastisitas-langsung dan elastisitas-silang. Contohnya, dengan elastisitas-langsung, yaitu berupa persentase perubahan dalam peluang memilih A_i jika terjadi perubahan marginal untuk suatu atribut tertentu X_{ikq} yang secara sederhana ditulis sebagai berikut:

$$E_{P_{iq},X_{ikq}} = \theta_{ik} X_{ikq} (1 - P_{iq}) \tag{6.55}$$

Model elastisitas-silang secara sederhana dapat ditulis sebagai:

$$E_{P_{iq},X_{jkq}} = -\theta_{jk} X_{jkq} P_{jq} \tag{6.56}$$

yaitu perubahan persentase dalam peluang memilih A_i jika terjadi perubahan marginal dalam nilai atribut ke-k dari alternatif A_i untuk setiap individu q. Perhatikan, karena nilai ini tidak tergantung pada alternatif A_i, elastisitas silang dari setiap pilihan A_i terhadap atribut X_{jkq} dari alternatif A_j adalah sama. Hasil aneh yang didapatkan bisa juga disebabkan oleh perilaku IIA atau lebih tepatnya jika dikatakan bahwa perlu IID fungsi utilitas dalam model bangkitan pergerakan.

6.10 Contoh penggunaan model logit-biner

Berikut ini diberikan contoh penggunaan model logit-biner dalam memodel pemilihan moda antara jalan raya (bus) dengan jalan baja (kereta api). Penjelasan rinci mengenai model logit-biner-selisih dan model logit-biner-nisbah terdapat pada subbab 6.6.3.

Suatu survei pemilihan moda dilakukan pada beberapa koridor dengan berbagai zona asal dan tujuan yang dilayani oleh dua buah moda transportasi (bus dan kereta api). Terdapat 4 zona asal (**A**, **B**, **C**, **D**) dan 3 zona tujuan (**U**,**V**,**W**), sehingga

terdapat 12 pasangan antarzona. Beberapa data yang dikumpulkan dalam survei koridor tersebut adalah:

X_1 = waktu tempuh selama berada di kendaraan (dalam satuan menit)

X_2 = waktu menunggu (dalam satuan menit)

X_3 = biaya operasi kendaraan (dalam satuan uang)

X_4 = biaya terminal (dalam satuan uang)

Nilai waktu X_1 = 2 satuan uang/menit

Nilai waktu X_2 = 4 satuan uang/menit

Catatan: nilai waktu menunggu diasumsikan dua kali nilai waktu selama berada di kendaraan. Hal ini cukup masuk akal karena memang manusia pada umumnya tidak suka menunggu. Tabel 6.2 memperlihatkan data hasil survei koridor, data persentase pemilihan moda, dan biaya operasi.

Tabel 6.2 Informasi operasi moda jalan raya dan jalan baja dan persentase pemilihan moda

Kota asal	Kota tujuan	Jalan raya (bus)				Jalan baja (kereta api)			(%) dengan moda jalan raya	(%) dengan moda jalan baja	C_{JR}	C_{JB}
		X_1	X_2	X_3	X_4	X_1	X_2	X_3				
A	U	25	3	30	10	20	10	19	82	18	102	99
B	U	21	3	25	10	18	8	18	80	20	89	86
C	U	19	3	21	10	15	10	8	84	16	81	78
D	U	16	3	18	10	15	15	7	95	5	72	97
A	V	25	5	40	20	25	10	27	75	25	130	117
B	V	20	5	25	20	20	8	20	80	20	105	92
C	V	15	5	15	20	10	8	10	55	45	85	62
D	V	13	5	15	20	15	12	10	89	11	81	88
A	W	29	4	42	15	25	10	30	75	25	131	120
B	W	19	4	23	15	15	9	25	80	20	92	91
C	W	16	4	20	15	12	10	10	70	30	83	74
D	W	11	4	15	15	10	10	5	85	15	68	65

Keterangan: $C_{JR} = (2.\ X_1) + (4.\ X_2) + X_3 + X_4$ = biaya jalan raya
$C_{JB} = (2.\ X_1) + (4.\ X_2) + X_3$ = biaya jalan baja

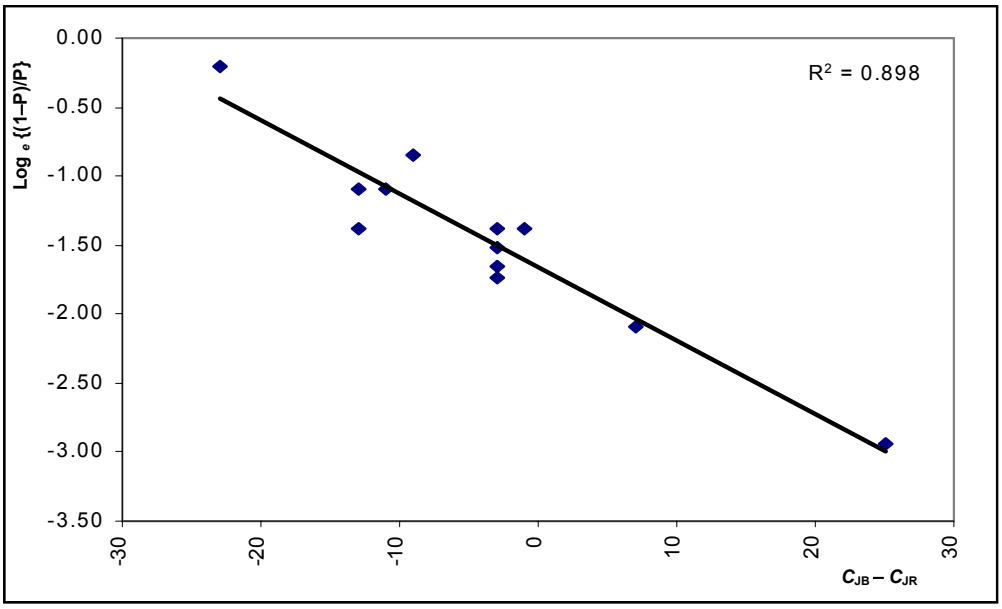
6.10.1 Model logit-biner-selisih

Dengan menggunakan persamaan (6.30) dan mengasumsikan $Y_i = \log_e\left(\frac{1 - P_1^i}{P_1^i}\right)$ serta $X_i = \Delta C^i = C_{JB}^i - C_{JR}^i$, persamaan tidak-linear (6.30) dapat ditulis kembali dalam bentuk persamaan linear $Y_i = \mathbf{A} + \mathbf{B}X_i$, seperti terlihat pada gambar 6.15.

Dengan menggunakan analisis regresi-linear (lihat persamaan (4.3)–(4.5)), bisa didapatkan nilai **A** dan **B**; sehingga nilai α dan β bisa didapat sebagai berikut: $\alpha = \mathbf{A}$ dan $\beta = \mathbf{B}$. Tabel 6.3 memperlihatkan perhitungan analisis regresi-linear untuk model logit-biner-selisih.

Tabel 6.3 Perhitungan metode analisis regresi-linear untuk model logit-biner-selisih

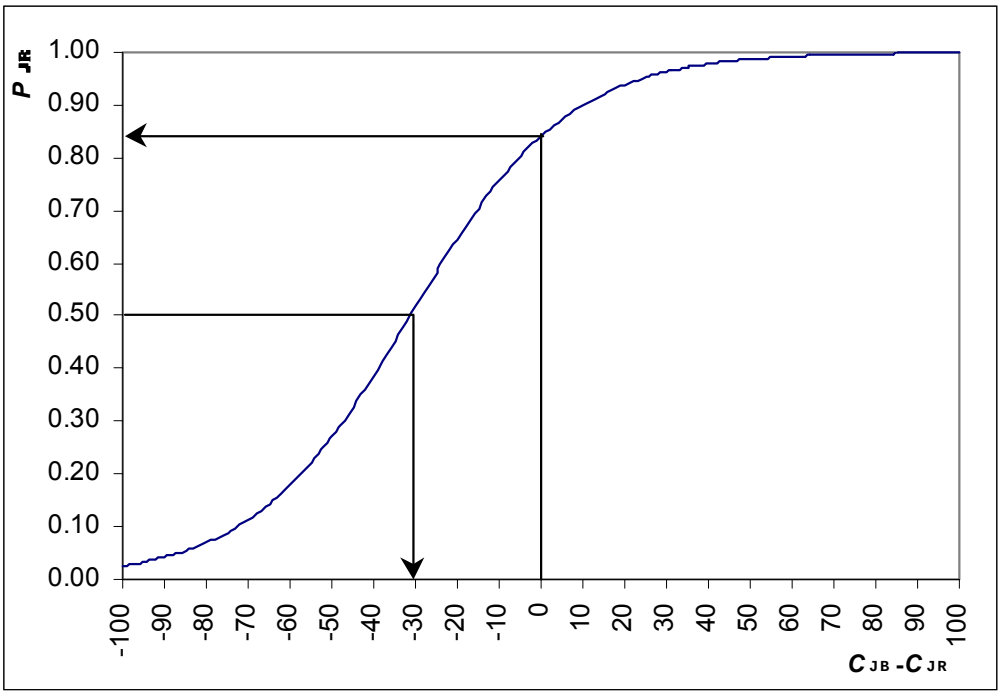
C_{JR}	C_{JB}	$C_{JB}-C_{JR}$ (X_i)	$\text{Log}_e\{(1-P)/P\}$ (Y_i)	X_iY_i	X_i^2	exp(A+BX_i)	P=1/(1+exp(A+BX_i))
102	99	–3	–1,5163	4,5490	9	0,2214	0,8187
89	86	–3	–1,3863	4,1589	9	0,2214	0,8187
81	78	–3	–1,6582	4,9747	9	0,2214	0,8187
72	97	25	–2,9444	–73,6110	625	0,0499	0,9525
130	117	–13	–1,0986	14,2820	169	0,3769	0,7262
105	92	–13	–1,3863	18,0218	169	0,3769	0,7262
85	62	–23	–0,2007	4,6154	529	0,6417	0,6091
81	88	7	–2,0907	–14,6352	49	0,1300	0,8849
131	120	–11	–1,0986	12,0847	121	0,3389	0,7469
92	91	–1	–1,3863	1,3863	1	0,1990	0,8340
83	74	–9	–0,8473	7,6257	81	0,3047	0,7665
68	65	–3	–1,7346	5,2038	9	0,2214	0,8187
Σ		**–50**	**–17,3484**	**–11,3438**	**1780**		
B=(N.ΣX_iY_i – (ΣX_i. ΣY_i))/(N.ΣX_i^2–(ΣX_i)^2)						**β**	**–0,0532**
A=(rata-rata *Y*) – B (rata-rata *X*)						**α**	**–1,6674**



Gambar 6.15 Analisis regresi-linear model logit-biner-selisih

Dengan mendapatkan nilai α dan β, persamaan model logit-biner-selisih dapat dinyatakan dalam persamaan (6.57) dan grafiknya dapat dilihat pada gambar 6.16.

$$P_{JR} = \frac{1}{1+\exp\left(-1{,}6674-0{,}0532(C_{JB}-C_{JR})\right)} \qquad (6.57)$$



Gambar 6.16 Model logit-biner-selisih

Terlihat pada gambar 6.16 bahwa 84% orang memilih jalan raya (bus), meskipun biaya jalan raya sama dengan biaya jalan baja. Hal ini membuktikan bahwa bus lebih diminati daripada kereta api. Jika biaya jalan baja lebih mahal sebanyak 20 satuan uang daripada biaya jalan raya, persentase orang menggunakan jalan raya adalah sebesar 94%.

Jika biaya jalan raya lebih mahal sebesar 31 satuan uang dibandingkan biaya jalan baja, jumlah pengguna jalan raya hanya 50%. Gambar 6.16 dapat digunakan oleh para pengambil kebijakan operasi bus dan kereta api untuk menentukan kebijakan yang harus diambil untuk merebut pangsa pasar pesaingnya.

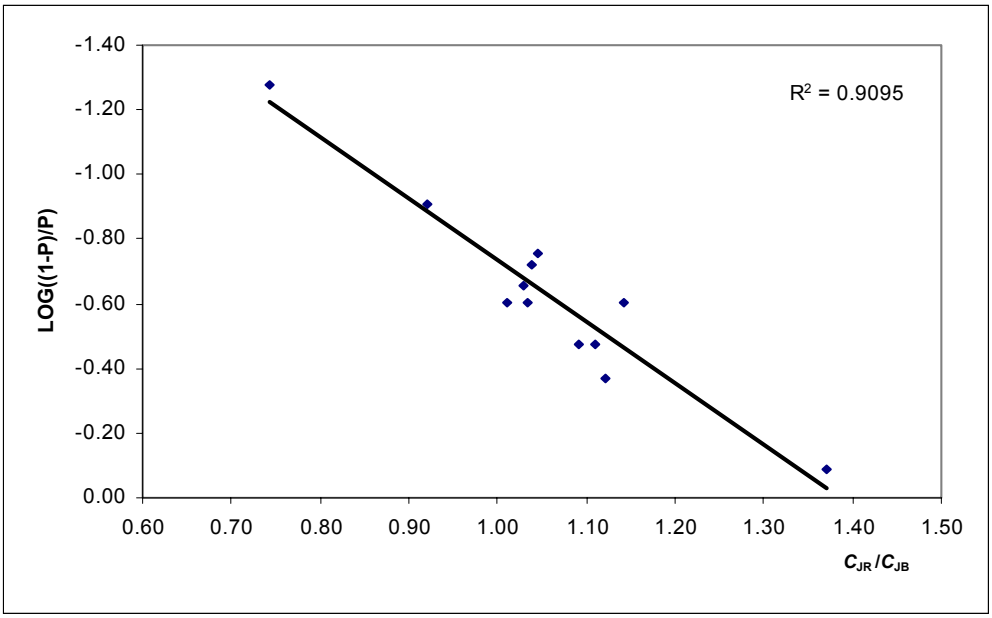
6.10.2 Model logit-biner-nisbah

Dengan menggunakan persamaan (6.37) dan mengasumsikan $Y = \log\left(\frac{1-P_1}{P_1}\right)$ serta $X = \log\left(\frac{C_1}{C_2}\right)$, persamaan tidak-linear (6.37) dapat ditulis kembali dalam bentuk persamaan linear $Y = \mathbf{A} + \mathbf{B}X$ seperti terlihat pada gambar 6.17.

Dengan menggunakan analisis regresi-linear (lihat persamaan (4.3)–(4.5)), bisa didapatkan nilai **A** dan **B**; sehingga nilai α dan β bisa didapat sebagai berikut: $\alpha = 10^{\mathbf{A}}$ dan β = **B**. Tabel 6.4 memperlihatkan perhitungan metoda analisis regresi-linear untuk model logit-biner-nisbah.

Tabel 6.4 Perhitungan metode analisis regresi-linear untuk model logit-biner-nisbah

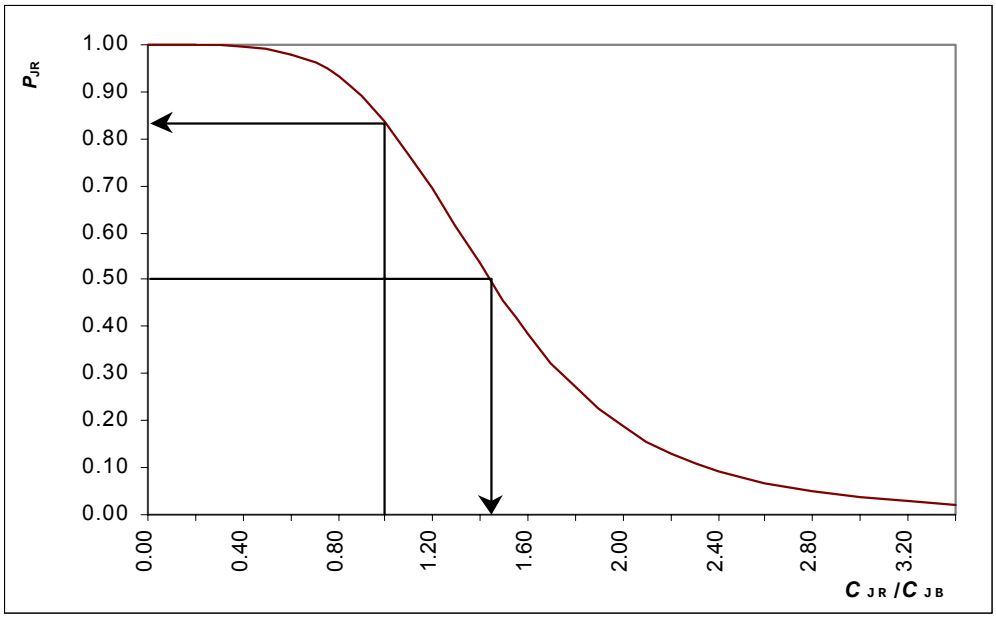
C_{JR}	C_{JB}	C_{JR}/C_{JB} (W_i)	Log(W) (X_i)	log{(1–P)/P} (Y_i)	X_iY_i	X_i^2	W_i^B	P=1/(1+(AW_i^B))
102	99	1,0303	0,0130	–0,6585	–0,0085	0,0002	1,1432	0,8192
89	86	1,0349	0,0149	–0,6021	–0,0090	0,0002	1,1661	0,8162
81	78	1,0385	0,0164	–0,7202	–0,0118	0,0003	1,1843	0,8139
72	97	0,7423	–0,1294	–1,2788	0,1655	0,0168	0,2629	0,9517
130	117	1,1111	0,0458	–0,4771	–0,0218	0,0021	1,6035	0,7636
105	92	1,1413	0,0574	–0,6021	–0,0346	0,0033	1,8083	0,7412
85	62	1,3710	0,1370	–0,0872	–0,0119	0,0188	4,1128	0,5574
81	88	0,9205	–0,0360	–0,9080	0,0327	0,0013	0,6897	0,8825
131	120	1,0917	0,0381	–0,4771	–0,0182	0,0015	1,4815	0,7776
92	91	1,0110	0,0047	–0,6021	–0,0029	0,0000	1,0502	0,8314
83	74	1,1216	0,0498	–0,3680	–0,0183	0,0025	1,6727	0,7559
68	65	1,0462	0,0196	–0,7533	–0,0148	0,0004	1,2241	0,8088
Σ			**0,2313**	**–7,5343**	**0,0464**	**0,0472**		
B=(N.ΣX_iY_i – (ΣX_i. ΣY_i))/(N.ΣX_i^2–(ΣX_i)^2)							**β**	**4,4819**
Log A=(rata-rata Y) – B.(rata-rata X)								**–0,7142**
							α	**0,1931**



Gambar 6.17 Analisis regresi-linear model logit-biner-nisbah

Dengan mendapatkan nilai α dan β, persamaan model logit-biner-nisbah dapat dinyatakan dalam persamaan (6.58).

$$P_{JR} = \frac{1}{1 + 0{,}1931.\left(\frac{C_{JR}}{C_{JB}}\right)^{4{,}4819}} \qquad (6.58)$$



Gambar 6.18 Model logit-biner-nisbah

Terlihat pada gambar 6.18 bahwa 84% orang memilih jalan raya (bus), meskipun biaya jalan raya sama dengan biaya jalan baja (hal yang sama juga dihasilkan model logit-biner-selisih). Hal ini membuktikan bahwa bus lebih diminati daripada kereta api. Jika biaya jalan raya lebih mahal 1,44 kali biaya jalan baja, pengguna jalan raya hanya 50%. Sekali lagi, gambar 6.18 dapat digunakan oleh para pengambil kebijakan operator bus dan kereta api untuk menentukan kebijakan yang harus diambil untuk merebut pangsa pasar pesaingnya.

6.10.3 Analisis uji kepekaan

Berikut ini dilakukan analisis beberapa uji kepekaan yang dapat dilakukan dalam bentuk perubahan kebijakan manajemen angkutan jalan raya maupun jalan baja, atau dapat juga berupa perubahan kebijakan global pemerintah di sektor transportasi, misalnya harga bahan bakar minyak (BBM). Beberapa kasus diuji kepekaannya dalam kaitannya terhadap pangsa pasar penumpang kedua jenis moda transportasi tersebut.

a **Kasus 1** Terjadi peningkatan harga BBM sebanyak 50% yang secara langsung berpengaruh pada nilai X_3 (1,5 kali dari kondisi awal).

b **Kasus 2** Terjadi penurunan waktu tempuh menjadi 40% dari kondisi awal. Peningkatan pelayanan jalan raya secara tidak langsung akan mempengaruhi X_1 (waktu tempuh kendaraan) menjadi 60% dari kondisi awal (khusus untuk kendaraan di jalan raya).

c **Kasus 3** Terjadi peningkatan pelayanan kereta api sehingga waktu tempuh dan waktu menunggu berkurang menjadi 60% dari kondisi awal. Hal ini akan mengakibatkan waktu tempuh (X_1) dan waktu menunggu (X_2) jalan baja menurun sebesar 40% dari kondisi awal.

d **Kasus 4** Biaya terminal untuk jalan raya (X_4) dihilangkan.

Tabel 6.5–6.6 memperlihatkan hasil uji kepekaaan setiap kasus dengan menggunakan model logit-biner-selisih dan model logit-biner-nisbah.

Tabel 6.5 Uji kepekaan setiap kasus dengan model logit-biner-selisih

Kota		Yang ada sekarang		Kasus 1		Kasus 2		Kasus 3		Kasus 4	
Asal	Tujuan	JR (%)	JB (%)	JR (%)	JB (%)	JR (%)	JB (%)	JR (%)	JB (%)	JR (%)	JB (%)
A	U	82	18	77	23	93	7	45	55	88	12
B	U	80	20	79	21	92	8	52	48	88	12
C	U	84	16	76	24	91	9	50	50	88	12
D	U	95	5	94	6	98	2	75	25	97	3
A	V	75	25	65	35	88	12	28	72	88	12
B	V	80	20	70	30	86	14	36	64	88	12
C	V	55	45	58	42	75	25	34	66	82	18
D	V	89	11	87	13	93	7	59	41	96	4
A	W	75	25	68	32	91	9	30	70	87	13
B	W	80	20	84	16	92	8	55	45	92	8
C	W	70	30	72	28	87	13	46	54	88	12
D	W	85	15	78	22	88	12	56	44	91	9

Tabel 6.6 Uji kepekaan setiap kasus dengan model logit-biner-nisbah

Kota		Yang ada sekarang		Kasus 1		Kasus 2		Kasus 3		Kasus 4	
Asal	Tujuan	JR (%)	JB (%)	JR (%)	JB (%)	JR (%)	JB (%)	JR (%)	JB (%)	JR (%)	JB (%)
A	U	82	18	79	21	92	8	44	56	88	12
B	U	80	20	79	21	92	8	45	55	88	12
C	U	84	16	76	24	92	8	37	63	89	11
D	U	95	5	93	7	98	2	71	29	97	3
A	V	75	25	74	26	87	13	38	62	87	13
B	V	80	20	73	27	86	14	35	65	88	12
C	V	55	45	55	45	71	29	17	83	81	19
D	V	89	11	87	13	93	7	51	49	96	4
A	W	75	25	75	25	89	11	41	59	86	14
B	W	80	20	84	16	92	8	52	48	92	8
C	W	70	30	71	29	87	13	32	68	88	12
D	W	85	15	76	24	89	11	35	65	93	7

Terlihat dari tabel 6.5–6.6 bahwa model logit-biner-selisih dan model logit-biner-nisbah tidak memperlihatkan perbedaan hasil yang signifikan; hasilnya cenderung

sama. Terlihat juga bahwa setiap kasus sangat mempengaruhi besarnya persentase pemilihan moda. Pada kasus 1, peningkatan harga BBM ternyata tidak mempengaruhi pangsa pasar secara umum dan masih menguntungkan operator jalan raya. Akan tetapi, pada kasus 2, pengurangan waktu tempuh ternyata menyebabkan pangsa pasar beralih ke jalan raya secara signifikan. Peningkatan ini terjadi untuk seluruh pasangan antarzona yang ditinjau.

Pada kasus 3, peningkatan pelayanan kereta api (berkurangnya waktu tempuh dan waktu menunggu) berpengaruh cukup banyak terhadap peningkatan pangsa pasar kereta api, meskipun persentasenya tidak begitu banyak berbeda dengan pengguna jalan raya; malah pada beberapa pasangan antarzona, pangsa pasar jalan raya masih lebih besar daripada jalan baja. Pada kasus 4, penghilangan biaya terminal ternyata sangat menguntungkan bagi jalan raya; terlihat dari semakin meningkatnya pangsa pasar jalan raya untuk seluruh pasangan antarzona.

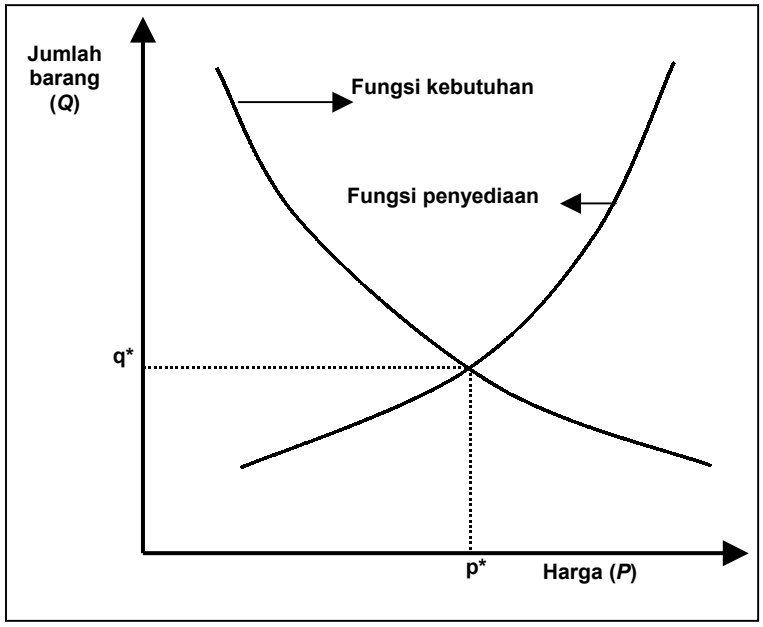
7 Model pemilihan rute

7.1 Konsep dasar

7.1.1 Pendahuluan

Beberapa bab terdahulu menerangkan secara rinci beberapa model utama dalam perencanaan transportasi, meliputi model bangkitan dan tarikan, model sebaran pergerakan, dan model pemilihan moda yang sangat sering digunakan untuk mencerminkan kebutuhan akan transportasi di dalam suatu daerah kajian. Bab 7 ini akan menjelaskan proses pemilihan rute dari setiap pergerakan yang terjadi dalam proses pencapaian zona tujuannya. Akan dijelaskan pula bagian sisi penyediaan dari pemodelan transportasi serta kondisi keseimbangan antara kebutuhan dan penyediaan transportasi. Sisi penyediaan suatu sistem transportasi telah dijelaskan pada bab 3 yang menerangkan pendefinisian sistem zona dan sistem jaringan. Sistem jaringan, yang untuk kasus angkutan umum dapat berupa frekuensi dan kapasitas, merupakan unsur utama sisi penyediaan dalam transportasi.

Dalam pemikiran secara ekonomi yang sederhana, proses pertukaran barang dan jasa dapat terjadi sebagai akibat dari kombinasi antara kebutuhan dan penyediaan. Titik keseimbangan kombinasi ini menjelaskan harga barang yang diperjualbelikan serta jumlahnya di pasar. Titik keseimbangan ($\mathbf{p}^*$,$\mathbf{q}^*$) didapat jika biaya marginal produksi dan penjualan barang sama dengan keuntungan marginal yang didapat dari hasil penjualan tersebut. Hal ini dapat diterangkan dengan gambar 7.1.



Gambar 7.1 Keseimbangan antara kebutuhan dan penyediaan

Teori ekonomi menyangkal bahwa kondisi keseimbangan ini secara praktis tidak pernah tercapai karena sistem harga dan tingkat produksi tidak selalu dapat langsung berubah sesuai dengan perubahan daya beli, selera, teknologi, dan teknik produksi. Tetapi, konsep keseimbangan sangatlah berharga dalam usaha memahami permasalahan kegiatan ekonomi dan peramalannya pada masa mendatang.

Oleh sebab itu, sangatlah penting mempelajari penggunaannya dalam konteks sektor transportasi. Sisi penyediaannya, yaitu berupa sistem jaringan transportasi $\boldsymbol{S(L,C)}$, dapat dinyatakan dalam bentuk ruas jalan $\boldsymbol{L}$ (termasuk simpulnya) serta biaya transportasi $\boldsymbol{C}$. Biaya tersebut merupakan fungsi dari sejumlah atribut yang terkait pada ruas jalan seperti jarak, kecepatan arus bebas, kapasitas, dan hubungan kecepatan–arus.

Sisi kebutuhan akan transportasi terdiri dari indikator sejumlah pergerakan (bisa dalam bentuk MAT) moda transportasi tertentu yang dilakukan untuk tingkat pelayanan tertentu. Kebutuhan akan transportasi merupakan kebutuhan turunan akibat adanya proses usaha pemenuhan kebutuhan. Salah satu unsur utama yang menyatakan tingkat pelayanan adalah waktu tempuh, biaya perjalanan (tarif dan bahan bakar), dan juga hal lain seperti kenyamanan dan keamanan penumpang.

Jika terjadi penurunan tingkat pelayanan pada sistem jaringan jalan, dapat dipastikan akan terjadi penurunan akan permintaan pergerakan atau mungkin juga terjadi perubahan pada tujuan akhir, moda transportasi, serta waktu terjadinya permintaan akan pergerakan tersebut. Hubungan kecepatan–arus merupakan hal yang penting karena mengaitkan sistem jaringan transportasi dengan tingkat pelayanan yang harus dimilikinya.

Sistem jaringan transportasi angkutan umum juga dapat didefinisikan dalam bentuk yang sama dengan sistem jaringan transportasi angkutan pribadi. Tetapi, terdapat beberapa spesifikasi khusus untuk menyatakan kondisi operasi dan pelayanan berupa rute, kapasitas, frekuensi atau secara ideal ditambah dengan kualitas, kehandalan, dan keteraturan.

Pada sistem transportasi dapat dilihat bahwa kondisi keseimbangan dapat terjadi pada beberapa tingkat. Yang paling sederhana adalah keseimbangan pada sistem jaringan jalan; setiap pelaku perjalanan mencoba mencari rute terbaik masing-masing yang meminimumkan biaya perjalanannya (misalnya waktu). Hasilnya, mereka mencoba mencari beberapa rute alternatif yang akhirnya berakhir pada suatu pola rute yang stabil (kondisi keseimbangan) setelah beberapa kali mencoba-coba.

Proses pengalokasian pergerakan tersebut menghasilkan suatu pola rute yang arus pergerakannya dapat dikatakan berada dalam keadaan keseimbangan jika setiap pelaku perjalanan tidak dapat lagi mencari rute yang lebih baik untuk mencapai zona tujuannya karena mereka telah bergerak pada rute terbaik yang tersedia. Kondisi ini dikenal dengan kondisi **keseimbangan jaringan jalan**.

Fenomena lain terjadi pada sistem jaringan transportasi angkutan umum; penumpang berusaha mencari rute yang meminimumkan biaya perjalanan yang terdiri dari biaya kemacetan, waktu tunggu dan berjalan kaki, serta waktu berada di atas kendaraan (angkutan umum). Tetapi, hal tertentu dapat terjadi. Jika kemacetan

pada ruas jalan yang diakibatkan oleh angkutan pribadi meningkat, bus yang beroperasi pada ruas jalan yang sama akan meningkat pula waktu perjalanannya.

Hal ini mempengaruhi pengguna jasa angkutan umum (dan juga sopir bus) untuk mengalihkan rute dalam usaha menghindari tundaan tersebut. Ini berinteraksi dengan pengemudi kendaraan pribadi yang juga mempunyai pemikiran yang sama sehingga menghasilkan volume pergerakan yang berbeda pada beberapa ruas jalan dan terciptalah kondisi keseimbangan yang baru. Kondisi ini dikenal dengan kondisi **keseimbangan jaringan multimoda** akan didiskusikan secara rinci pada subbab 7.6–7.8.

Pada tingkat yang lebih tinggi lagi, pola pergerakan yang dihasilkan juga dapat mempengaruhi pemilihan moda, zona tujuan, dan waktu terjadinya pergerakan. Setiap peralihan kebutuhan ini mengakibatkan terjadinya kondisi keseimbangan yang baru. Dalam konteks pemodelan, hal ini dapat berupa pola pergerakan baru yang akan mempengaruhi tingkat pelayanan bagi setiap rute dan moda transportasi yang mungkin tidak konsisten lagi dengan kondisi keseimbangan pada saat awal (dengan menganggap permintaan akan pergerakan tetap).

Ini menyebabkan perlunya menaksir kembali MAT – tingkat pelayanan yang baru digunakan untuk mendapatkan pola pergerakan (MAT) yang baru. Proses ini perlu dilakukan berulang-ulang dengan cara yang sistematik sampai dihasilkan MAT (berikut waktu, zona tujuan, dan jenis modanya) dengan nilai biaya perjalanan yang konsisten dengan arus yang terjadi pada semua sistem jaringan. Kondisi ini dikenal dengan kondisi **keseimbangan sistem** yang berbeda dengan kondisi **keseimbangan jaringan**.

Bab 7 disusun sebagai berikut. Mula-mula akan dijelaskan permasalahan pembebanan MAT pada suatu sistem jaringan jalan. Dalam hal ini, pada subbab 7.1.3 akan dipertimbangkan beberapa ciri khas hubungan kecepatan–arus atau biaya–arus yang sangat dibutuhkan dalam proses pemilihan rute. Permasalahan pembebanan dipecahkan menjadi permasalahan pemodelan pemilihan rute dan permasalahan pembebanan MAT yang ada pada rute terpilih. Kondisi yang berbeda-beda membutuhkan metode pembebanan yang berbeda-beda pula.

Beberapa alasan utama yang melatarbelakangi proses pemilihan rute serta faktor penentu utama yang menjadi dasar pengembangan model pemilihan rute akan diberikan pada subbab 7.2. Subbab 7.3 akan menjelaskan model ***all-or-nothing***; dalam model ini dianggap bahwa setiap pengendara mempunyai persepsi rute terbaik yang sama. Dengan asumsi ini dapat dipastikan bahwa setiap pengendara akan selalu memilih rute yang sama. Selanjutnya, subbab 7.4 akan menjelaskan model **stokastik** yang mencoba mempertimbangkan perbedaan persepsi pengemudi terhadap rute terbaiknya.

Model *all-or-nothing* dan model stokastik menganggap bahwa proses pemilihan rute tidak dipengaruhi oleh efek kemacetan. Jadi, model pembebanan yang lebih menarik untuk dipelajari selanjutnya adalah model yang mencoba mengikutsertakan secara konsisten efek kemacetan dalam proses pemilihan rute. Terlihat dua alasan utama yang mengatur lokasi pergerakan: adanya perbedaan persepsi

antarpengendara tentang biaya perjalanan, dan adanya efek kemacetan terhadap proses pemilihan rute.

Kita akan menggunakan prinsip keseimbangan Wardrop sebagai kerangka kerja umum dalam pembahasan itu. **Prinsip I Wardrop** menyatakan bahwa dalam kondisi macet, pengendara akan memilih suatu rute sampai tercapai kondisi yang tidak memungkinkan seorang pun dapat mengurangi biaya perjalanannya dengan menggunakan rute lain. Jika semua pengendara mempunyai persepsi yang sama tentang biaya, akan dihasilkan kondisi keseimbangan; artinya, semua rute yang digunakan antara dua titik tertentu akan mempunyai biaya perjalanan yang sama dan minimum, sedangkan rute yang tidak digunakan akan mempunyai biaya perjalanan yang sama atau lebih mahal. Teknik pembebanan lalulintas pada kondisi macet yang diterangkan pada subbab 7.5–7.8 mencoba mendekati kondisi keseimbangan ini.

Subbab 7.5 menjelaskan beberapa metode pembebanan yang dapat digunakan yang telah mengikutsertakan efek kemacetan dalam proses pemilihan rute melalui konsep **batasan-kapasitas**. Beberapa metode yang dijelaskan meliputi metode **pembebanan-bertahap**, **pembebanan-berulang**, **pembebanan-kuantal**, dan lain-lain.

Dalam subbab 7.6.1 akan diterangkan permasalahan pembebanan keseimbangan dalam bentuk kerangka kerja **pemrograman-matematika** yang lebih komprehensif. Bagian ini dikhususkan untuk membahas permasalahan tundaan pada suatu ruas jalan yang hanya tergantung pada besarnya arus. Subbab 7.6.2 akan membahas beberapa metode solusi pemecahan masalah keseimbangan. Terlihat bahwa metode heuristik sering gagal mencapai kondisi keseimbangan; karena itu, masalah ini harus mendapat perhatian serius dari para peneliti. Subbab 7.6.3–7.6.4 menerangkan juga pengembangan lebih lanjut yang diarahkan kepada konsep **Keseimbangan-Sosial** (**KS**) serta **Keseimbangan-Pengguna-Stokastik** (**KPS**).

Subbab 7.7 memperluas permasalahan pembebanan keseimbangan – sering dijumpai dalam proses pembebanan, tundaan yang selalu dipertimbangkan adalah tundaan pada ruas jalan yang hanya tergantung dari besarnya arus lalulintas yang melaluinya. Akan tetapi, tundaan di persimpangan juga merupakan masalah penting yang harus diperhatikan. Selain itu, subbab ini juga akan menerangkan pengaruh tingkat resolusi sistem jaringan terhadap permasalahan pembebanan. Fenomena-fenomena yang disebutkan di atas sering dijumpai di daerah perkotaan.

Subbab 7.8 memperluas penggunaan kondisi keseimbangan dalam melakukan pemodelan pemilihan moda dan sebaran pergerakan. Tujuan utamanya adalah untuk meyakinkan apakah waktu tempuh (yang merupakan bagian dari biaya) yang digunakan untuk menjalankan model konsisten dengan waktu tempuh yang dihasilkan selama proses pembebanan. Dalam beberapa kasus tertentu, kadang-kadang rute alternatif yang tersedia jumlahnya tidak terlalu banyak, misalnya terdapat hanya dua alternatif rute. Dalam hal ini model pemilihan rute yang sering digunakan adalah **model kurva diversi** yang akan dijelaskan secara rinci pada subbab 7.9.

Bab 7.10 menjelaskan permasalahan yang sering timbul di daerah perkotaan, yaitu permasalahan akibat adanya **pembebanan-berlebih**. Tingkat pertumbuhan lalulintas yang tinggi akan mengakibatkan kemacetan pada sistem jaringan jalan di daerah perkotaan. Tetapi, pertumbuhan tersebut akan dihalangi oleh terbatasnya penyediaan kapasitas pada jaringan jalan. Tanggapan pengguna jalan terhadap batasan tersebut akan menurunkan beban perjalanan pada jaringan jalan yang bersangkutan.

Asumsi matriks permintaan perjalanan tetap (tidak-elastis) yang selama ini sering digunakan cenderung mengabaikan pengaruh tanggapan pengguna jalan tersebut sehingga memberikan risiko kesalahan dalam peramalan. Terdapat dua metode yang sering digunakan dalam hal ini, yaitu **metode pembebanan dengan matriks permintaan pergerakan elastis** dan **metode pemangkasan matriks**.

7.1.2 Definisi dan notasi

Beberapa notasi tambahan dibutuhkan untuk menerangkan model pemilihan rute dan model pembebanan yang ada, yaitu:

T_{idr} = jumlah pergerakan antara zona asal i ke zona tujuan d yang menggunakan rute r,

V_l = arus pada ruas jalan l,

V_l^n = arus pada ruas jalan l pada pengulangan ke-n

$C(V_l)$ = hubungan biaya–arus pada ruas jalan l,

$c(V_l)$ = biaya sebenarnya untuk tingkat arus tertentu (V_l), biaya dengan $V_l = 0$ disebut biaya pada kondisi arus bebas,

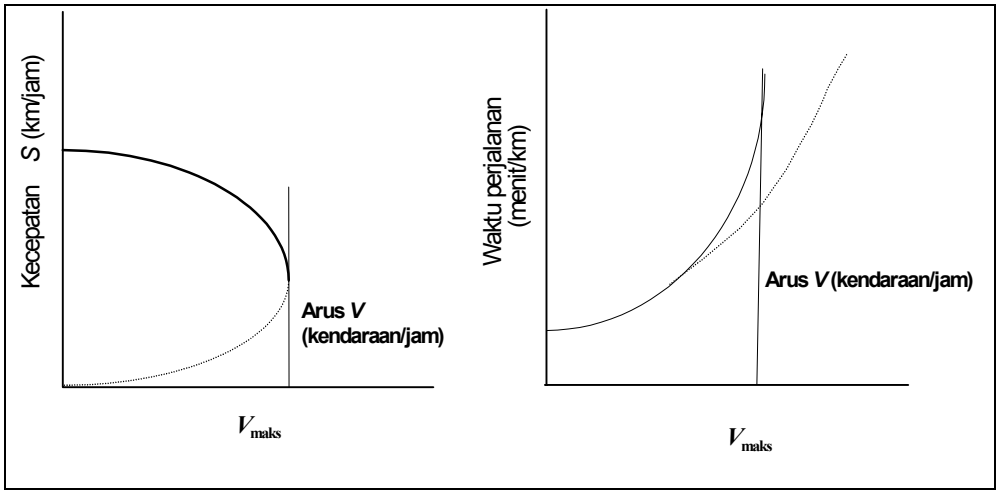
c_{idr} = biaya perjalanan dari zona asal i ke zona tujuan d yang menggunakan rute r,

$\delta_{idr}^l =$
- 1 jika ruas jalan l merupakan bagian dari rute r dari zona asal i ke zona tujuan d
- 0 jika tidak

Tikatas n digunakan untuk menerangkan pengulangan tertentu pada proses pengulangan yang sedang dilakukan. Tikatas * digunakan untuk menyatakan nilai optimum; misalnya, C_{id}^* adalah biaya perjalanan minimum dari zona asal i ke zona tujuan d.

7.1.3 Kurva kecepatan–arus dan biaya–arus

Dalam rekayasa lalulintas dikenal hubungan yang sangat sering digunakan, yaitu pengaruh arus pada kecepatan kendaraan bergerak pada ruas jalan tertentu. Konsep ini pada awalnya dikembangkan untuk ruas yang panjang pada jalan bebas hambatan atau terowongan. Hubungan kecepatan–arus sering digambarkan seperti gambar 7.2.



Gambar 7.2 Hubungan tipikal kecepatan–arus dan biaya–arus
Sumber: Ortuzar and Willumsen (1994)

Jika arus lalulintas meningkat, kecepatan cenderung menurun secara perlahan. Jika arus mendekati kapasitas, penurunan kecepatan semakin besar. Arus maksimum didapat pada saat kapasitas tercapai. Apabila kondisi tersebut terus dipaksakan untuk mendapatkan arus yang melebihi kapasitas, maka akan terjadi kondisi yang tidak stabil dan malah tercipta arus yang lebih kecil dengan kecepatan yang lebih rendah.

Untuk alasan praktis, dalam teknik pembebanan rute, jenis hubungan ini dilakukan dalam bentuk hubungan 'waktu tempuh per unit jarak dengan arus lalulintas', atau secara umum sebagai hubungan biaya–arus yang juga dapat dilihat pada gambar 7.2. Model pembebanan rute yang mempertimbangkan kemacetan memerlukan beberapa persamaan (fungsi) yang cocok untuk menghubungkan atribut suatu ruas jalan seperti kapasitas dan kecepatan arus bebas serta arus lalulintasnya dengan kecepatan atau biaya yang dihasilkannya. Hal ini dapat dinyatakan dalam bentuk umum:

$$C_l = C_l(\{V\}) \tag{7.1}$$

Biaya pada suatu ruas jalan merupakan fungsi dari semua pergerakan V pada jaringan jalan tersebut (bukan hanya disebabkan oleh arus di ruas jalan itu saja). Rumus umum ini cocok untuk daerah perkotaan yang memiliki interaksi yang erat antara arus di ruas jalan yang lain dengan tundaan. Tetapi, hal ini dapat disederhanakan jika kita mempertimbangkan ruas jalan yang panjang; hampir semua waktu perjalanan digunakan pada ruas jalan tersebut. Dalam hal ini, persamaan yang digunakan harus terpisah, yang dapat ditulis sebagai:

$$C_l = C_l(V_l) \tag{7.2}$$

Biaya pada ruas jalan tersebut hanya tergantung pada arus dan ciri ruas itu saja. Asumsi ini dapat menyederhanakan proses penaksiran, pengembangan fungsi, serta penggunaan metode pembebanan rute yang cocok. Tetapi, perlu dicatat, bahwa hal ini menjadi tidak realistis jika digunakan untuk daerah perkotaan yang lebih padat dan lebih macet.

Beberapa bentuk fungsi yang umum telah diusulkan sesuai dengan persamaan umum (7.2). Tetapi, hanya beberapa fungsi saja, khususnya yang mempunyai perilaku matematis yang baik, yang digunakan. Perilaku matematis yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan teknik pembebanan rute adalah:

- waktu tempuh yang harus cukup realistis.
- persamaan harus selalu meningkat dan monoton; arus yang meningkat tidak boleh mengurangi waktu tempuh; ini syarat mutlak.
- persamaan harus kontinu dan dapat didiferensialkan.
- persamaan harus dapat digunakan untuk kondisi nilai tidak terhingga, misalnya fungsi tidak boleh menghasilkan waktu tempuh yang tidak terhingga jika arus berada pada kapasitas atau melebihi kapasitas. Kondisi ini dapat terjadi pada saat proses pengulangan, yaitu terdapat ruas yang pembebanan arusnya melebihi kapasitas sehingga menghasilkan waktu tempuh yang tidak terhingga yang mengakibatkan kondisi yang menghasilkan besar arus tidak terhingga dalam program komputer (kondisi yang tentu tidak dapat ditangani oleh bahasa komputer mana pun).

  Selain itu, kondisi **pembebanan-berlebih** yang terjadi pada selang waktu yang sangat pendek, seperti yang sering terjadi di lapangan, malah tidak akan mengakibatkan kemacetan. Kondisi ini dinyatakan dengan garis putus-putus pada gambar 7.2, yaitu gambar hubungan biaya–arus.
- untuk alasan praktis, harus digunakan hubungan biaya–arus karena ternyata lebih mudah. Parameter rekayasa sangat dibutuhkan, seperti kecepatan arus bebas, kapasitas, dan jumlah persimpangan per kilometer.

Kita menganggap bahwa dalam hubungan biaya–arus, biaya akan meningkat sesuai dengan arus lalulintasnya, kecuali pada tingkat arus yang sangat rendah yang biayanya dapat dianggap konstan. Total biaya operasi pada suatu ruas jalan dapat dinyatakan dengan $C_l = C_l(V_l)$. Dalam hal ini, perlu dipertimbangkan konsep biaya marginal, yaitu kontribusi pada total biaya yang disebabkan oleh penambahan marginal satu kendaraan pada arus lalulintas:

$$C_{ml} = \frac{\partial[V_l . C_l . (V_l)]}{\partial V_l} = C_l(V_l) + V_l \frac{\partial C_l(V_l)}{\partial V_l} \qquad (7.3)$$

Bagian kanan persamaan (7.3) mempunyai dua komponen. Komponen pertama adalah biaya rata-rata pada ruas jalan, dan komponen kedua adalah kontribusi tundaan pada arus lalulintas yang lain yang disebabkan oleh kendaraan marginal. Hal ini merupakan dampak eksternal yang terkait dengan biaya tambahan yang dirasakan oleh pengguna lainnya pada ruas jalan tersebut yang disebabkan oleh tambahan satu kendaraan baru. Karena kurva biaya–arus merupakan fungsi meningkat, kontribusi tersebut pasti selalu positif. Biaya rata-rata dan marginal hanya mempunyai nilai yang sama pada bagian datar dari kurva biaya–arus.

Beberapa penulis menyarankan beberapa bentuk fungsi hubungan biaya–arus. Hal ini biasanya tergantung pada asumsi apakah kita akan memodel kondisi tunak atau

model lain. **Branston** (**1976**) menuliskan ulasan yang sangat baik mengenai masalah praktis yang sering terjadi jika kita berusaha mengkalibrasi fungsi biaya–arus. Ia mengemukakan:

- terdapat beberapa permasalahan mengenai waktu selang pengamatan pada daerah kemacetan tertentu serta lokasi persimpangan berikutnya yang akan mengakibatkan kemacetan; lokasi yang tepat pada daerah pengukuran arus dan tundaan sangat menentukan kualitas keluaran.
- asumsi bahwa tundaan hanya tergantung pada arus lalulintas pada ruas jalan tersebut tidaklah begitu realistis untuk daerah perkotaan yang mempunyai jaringan yang cukup padat dan hal ini akan sangat menentukan dalam proses penaksiran fungsi biaya–arus.

Branston (**1976**) juga mengulas beberapa kurva biaya–arus yang diusulkan oleh berapa penulis berikut.

1 **Smock** (**1962**) mengemukakan rumus berikut untuk kajian di Detroit:

$$t = t_0 \exp\left(\frac{V}{Q_S}\right) \tag{7.4}$$

t adalah waktu tempuh per satuan jarak, t_0 adalah waktu tempuh per satuan jarak pada kondisi arus bebas, dan Q_s adalah kapasitas ruas pada kondisi tunak.

2 **Overgaard** (**1967**) menuliskan persamaan (7.4) dalam bentuk lain, yaitu:

$$t = t_0 \alpha^{\beta\left(\frac{V}{Q_p}\right)} \tag{7.5}$$

Q_p adalah kapasitas praktis dari ruas jalan, sedangkan α dan β adalah parameter yang harus dikalibrasi.

3 Dinas Jalan umum (**1964**) di Amerika Serikat menyarankan fungsi yang sangat umum, yaitu:

$$t = t_0\left[1 + \alpha\left(\frac{V}{Q_p}\right)^{\beta}\right] \tag{7.6}$$

4 Departemen Transportasi di Inggris menghasilkan beberapa kurva biaya–arus untuk beberapa jenis ruas jalan di daerah perkotaan, pinggiran kota, dan antarkota. Beberapa di antaranya mempunyai bentuk umum yang mempertimbangkan hubungan kurva biaya–arus yang pertama, yaitu:

$$S(V)=\begin{cases}\mathbf{S_0} & V<\mathbf{F_1}\\ \mathbf{S_0}-\dfrac{\mathbf{S_0}-\mathbf{S_1}}{\mathbf{F_2}-\mathbf{F_1}}(V-\mathbf{F_1}) & \mathbf{F_1}\le V\le \mathbf{F_2}\\ \mathbf{S_1}/(1+(\mathbf{S_1}/8\mathbf{d})(V/\mathbf{F_2}-1)) & V>\mathbf{F_2}\end{cases} \qquad (7.7)$$

$\mathbf{S_o}$ = kecepatan arus bebas,

$\mathbf{S_1}$ = kecepatan pada arus kapasitas $\mathbf{F_2}$,

$\mathbf{F_1}$ = arus maksimum pada kondisi arus bebas masih bertahan, dan

$\mathbf{d}$ = jarak atau panjang ruas

Jadi, hubungan waktu–arus menjadi:

$$T(V)=\begin{cases}\mathbf{d}/\mathbf{S_0} & V<\mathbf{F_1}\\ \mathbf{d}/S(V)=\dfrac{\mathbf{d}}{\mathbf{S_0}+\mathbf{SS_{01}}\mathbf{F_1}-\mathbf{SS_{01}}V} & \mathbf{F_1}\le V\le \mathbf{F_2}\\ \mathbf{d}/\mathbf{S_1}+(V/\mathbf{F_2}-1)/8 & V>\mathbf{F_2}\end{cases} \qquad (7.8)$$

dengan $\mathbf{SS_{01}}$ dinyatakan sebagai:

$$\mathbf{SS_{01}}=\frac{\mathbf{S_0}-\mathbf{S_1}}{\mathbf{F_1}-\mathbf{F_2}} \qquad (7.9)$$

Beberapa nilai tipikal untuk koefisien (**Department of Transport, 1985**) diberikan pada tabel 7.1 berikut:

Tabel 7.1 Koefisien kurva kecepatan–arus di Inggris

Jenis	S_0 km/jam	S_1 km/jam	F_1 smp/jam/lajur	F_2 smp/jam/lajur
dua lajur dua arah, luar kota	63	55	400	1.400
empat lajur dua arah, luar kota	79	70	1.600	2.400
dua lajur dua arah, pinggiran kota	45	25	500	1.000

Sumber: Department of Transport (1985)

Dalam beberapa kasus, beberapa pengecualian juga dapat diasumsikan, misalnya kecepatan tetap $\mathbf{F_2}$ untuk $V > \mathbf{F_2}$. Semua kurva di atas menghasilkan informasi mengenai waktu tempuh pada ruas jalan tersebut. Tetapi, perlu diketahui bahwa semua pengguna jalan ingin meminimumkan kombinasi beberapa atribut ruas jalan seperti waktu dan jarak.

Cara praktis yang sering digunakan adalah konsep biaya gabungan, yang biasa dikenal dengan fungsi kombinasi antara waktu dan jarak dengan pembobotan yang berbeda-beda:

$$C_a=\alpha(\textbf{waktu tempuh})_a+\beta(\textbf{panjang ruas})_a \qquad (7.10)$$

Biaya ini dapat dihitung dalam satuan waktu atau biaya. Juga dimungkinkan untuk memperhitungkan biaya tambahan lainnya, misalnya biaya tol pada suatu ruas jalan. Untuk lebih jelasnya mengenai konsep biaya gabungan, pembaca sangat disarankan untuk membaca subbab 3.4.4.

Proses kalibrasi hubungan biaya–arus membutuhkan waktu yang lama dan mensyaratkan data yang berkualitas tinggi, misalnya pengamatan waktu tempuh pada suatu ruas jalan pada tingkat arus yang berbeda-beda. Karena alasan ini, banyak negara mengembangkan fungsi yang cocok dengan kondisi masing-masing (lihat juga subbab 7.5–7.6 mengenai batasan pada fungsi biaya–arus untuk daerah perkotaan).

5 **Suh *et al* (1990)** menghasilkan pendekatan untuk menaksir kurva biaya–arus dari data arus lalulintas dengan menggunakan metode optimasi **dua-tingkat**, yang pada dasarnya mencoba mendapatkan parameter kurva biaya–arus dengan meminimumkan perbedaan antara data arus lalulintas hasil pemodelan dan hasil pengamatan.

Dilaporkan bahwa hasil akhirnya sangat dipengaruhi oleh galat yang disebabkan oleh proses pembebanan, pendefinisian sistem jaringan, MAT, serta asumsi persepsi setiap pengendara dalam menentukan rute terbaiknya. Kurva biaya–arus yang ditaksir dengan optimasi dua-tingkat menggabungkan semua galat sehingga sulit digunakan pada penerapan atau tujuan yang lain.

6 **IHCM (*Indonesian Highway Capacity Manual*) (1994)** melakukan beberapa kajian mengenai hubungan antara kecepatan–arus pada beberapa ruas jalan antarkota di Indonesia (4 lajur dan 2 lajur). Hubungan matematis yang cukup baik telah dihasilkan oleh kajian ini:

$$V = \mathbf{FV} \times \left[1 - \left(\frac{D}{\mathbf{D_J}} \right)^{(\mathbf{L-1})} \right]^{1/(\mathbf{1-M})} \tag{7.11}$$

$$\frac{\mathbf{D_0}}{\mathbf{D_J}} = \left[\frac{(\mathbf{1-M})}{(\mathbf{L-M})} \right]^{1/(\mathbf{L-1})} \tag{7.12}$$

FV = kecepatan arus bebas

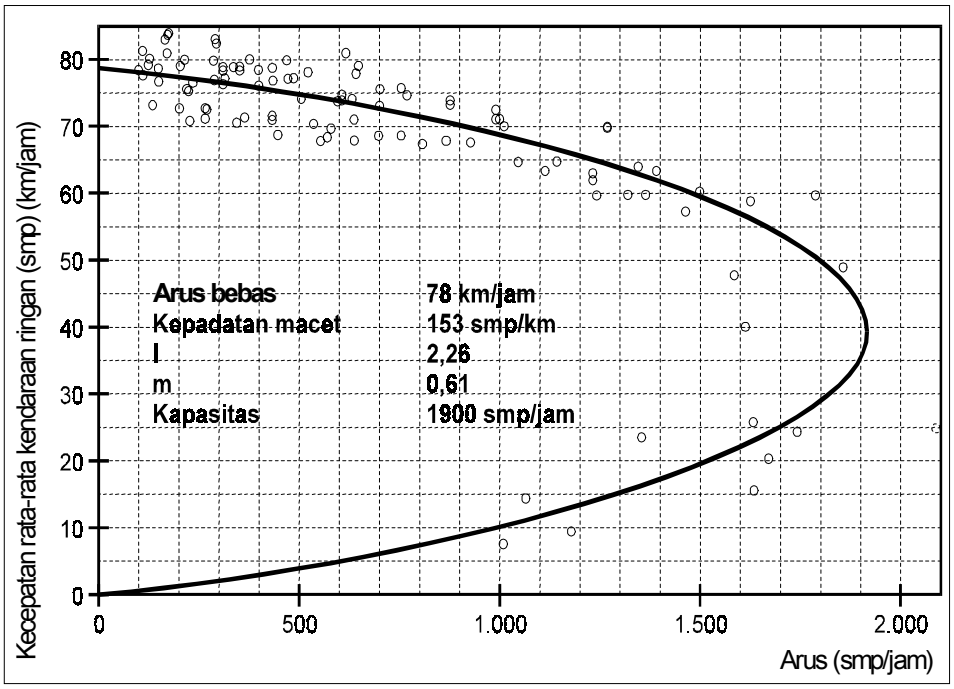
D = kepadatan (smp/km) (dihitung sebagai ***Q*/*V***)

$\mathbf{D_J}$ = kepadatan pada kondisi macet total

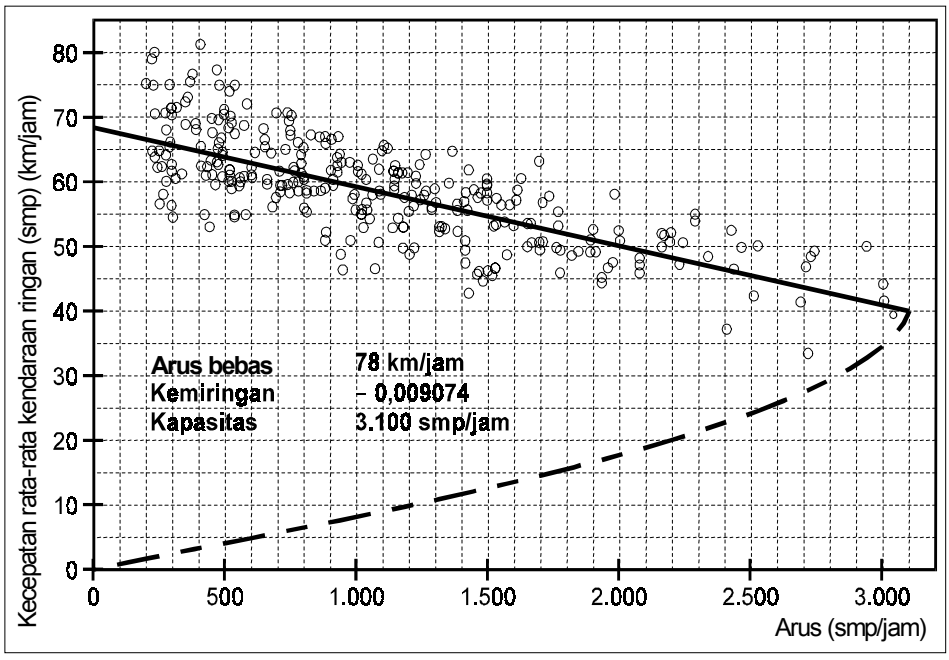
$\mathbf{D_o}$ = kepadatan pada saat kapasitas jalan tercapai

L, **M** = konstanta

Beberapa hasil kami tampilkan di sini mengenai hubungan kecepatan–arus untuk jalan antarkota di Indonesia seperti terlihat pada gambar 7.3–7.4.



Gambar 7.3 Hubungan kecepatan–arus untuk jalan 4 lajur (dengan pemisah)
Sumber: IHCM (1994)



Gambar 7.4 Hubungan kecepatan–arus untuk jalan 2 lajur (tanpa pemisah)
Sumber: IHCM (1994)

7.2 Metode pemilihan rute

7.2.1 Pendahuluan

Dewasa ini jaringan jalan di kota besar di Indonesia menghadapi permasalahan transportasi yang sangat kritis seperti kemacetan lalulintas yang disebabkan oleh tingginya tingkat urbanisasi, pertumbuhan ekonomi dan pemilikan kendaraan, serta berbaurnya peranan fungsi jalan arteri, kolektor, dan lokal sehingga jaringan jalan tidak dapat berfungsi secara efisien.

Ketidaklancaran arus lalulintas ini menimbulkan biaya tambahan, tundaan, kemacetan, dan bertambahnya polusi udara dan suara. Pemerintah telah banyak melakukan usaha penanggulangan, di antaranya membangun jalan bebas hambatan, jalan tol, dan jalan lingkar. Setiap pemakai jalan diharuskan memilih rute yang tepat dalam perjalanan ke tempat tujuannya sehingga waktu tempuhnya minimum dan biayanya termurah.

Pada tahap pembebanan rute, beberapa prinsip digunakan untuk membebankan MAT pada jaringan jalan yang akhirnya menghasilkan informasi arus lalulintas pada setiap ruas jalan. Tetapi, hal ini bukanlah satu-satunya informasi. Terdapat beberapa informasi tambahan lainnya yang bisa dihasilkan sebagaimana diuraikan berikut ini.

1 **Primer**

- ukuran kinerja jaringan seperti arus dan keuntungan pelayanan bus;
- taksiran biaya (waktu) perjalanan antarzona untuk tingkat kebutuhan pergerakan tertentu;
- informasi mengenai arus lalulintas dan ruas jalan yang macet.

2 **Sekunder**

- taksiran rute yang digunakan oleh antar-pasangan-zona;
- analisis pasangan zona yang menggunakan ruas jalan tertentu;
- pola pergerakan pada persimpangan.

Secara umum diharapkan bahwa informasi primer bisa didapatkan secara lebih tepat dibandingkan dengan informasi sekunder. Informasi utama yang dibutuhkan oleh model pembebanan rute adalah:

- MAT yang menyatakan kebutuhan akan pergerakan. Data ini biasanya berupa MAT pada jam sibuk pada suatu daerah kemacetan dan mungkin beberapa MAT pada jam sibuk lainnya dan pada jam tidak sibuk. MAT 24 jam-an dibutuhkan untuk jaringan yang tidak macet. Konversi MAT 24 jam-an menjadi MAT per jam kadang-kadang tidak cocok, khususnya dalam hal kemacetan karena MAT 24 jam-an biasanya simetris, sedangkan MAT per jam sibuk hampir dipastikan tidak simetris. MAT biasanya tersedia dalam satuan penumpang sehingga harus dikonversikan ke dalam satuan kendaraan karena hubungan kecepatan–arus biasanya dinyatakan dalam satuan kendaraan.

- ciri jaringan yang berupa ruas serta perilakunya, termasuk kurva kecepatan–arus.
- prinsip atau pola pemilihan rute yang sesuai atau relevan dengan permasalahan.

7.2.2 Proses pemilihan rute

Arus lalulintas pada suatu ruas jalan dalam suatu jaringan dapat diperkirakan sebagai hasil proses pengkombinasian informasi MAT, deskripsi sistem jaringan, dan pemodelan pemilihan rute. Prosedur pemilihan rute bertujuan memodel perilaku pelaku pergerakan dalam memilih rute yang menurut mereka merupakan rute terbaiknya. Dengan kata lain, dalam proses pemilihan rute, pergerakan antara dua zona (yang didapat dari tahap sebaran pergerakan) untuk moda tertentu (yang didapat dari tahap pemilihan moda) dibebankan ke rute tertentu yang terdiri dari ruas jaringan jalan tertentu (atau angkutan umum). Jadi, dalam pemodelan pemilihan rute ini dapat diidentikasi rute yang akan digunakan oleh setiap pengendara sehingga akhirnya didapat jumlah pergerakan pada setiap ruas jalan.

Tujuan tahapan ini adalah mengalokasikan setiap pergerakan antarzona kepada berbagai rute yang paling sering digunakan oleh seseorang yang bergerak dari zona asal ke zona tujuan. Keluaran tahapan ini adalah informasi arus lalulintas pada setiap ruas jalan, termasuk biaya perjalanan antarzonanya.

Dengan mengasumsikan bahwa setiap pengendara memilih rute yang meminimumkan biaya perjalanannya (rute tercepat jika dia lebih mementingkan waktu dibandingkan dengan jarak atau biaya), maka adanya penggunaan ruas yang lain mungkin disebabkan oleh perbedaan persepsi pribadi tentang biaya atau mungkin juga disebabkan oleh keinginan menghindari kemacetan.

Hal utama dalam proses pembebanan rute adalah memperkirakan asumsi pengguna jalan mengenai pilihannya yang terbaik. Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi pemilihan rute pada saat kita melakukan perjalanan. Beberapa di antaranya adalah waktu tempuh, jarak, biaya (bahan bakar dan lainnya), kemacetan dan antrian, jenis manuver yang dibutuhkan, jenis jalan raya (jalan tol, arteri), pemandangan, kelengkapan rambu dan marka jalan, serta kebiasaan. Sangatlah sukar menghasilkan persamaan biaya gabungan yang menggabungkan semua faktor tersebut. Selain itu, tidaklah praktis memodel semua faktor sehingga harus digunakan beberapa asumsi atau pendekatan.

Salah satu pendekatan yang paling sering digunakan adalah mempertimbangkan dua faktor utama dalam pemilihan rute, yaitu biaya pergerakan dan nilai waktu – biaya pergerakan dianggap proporsional dengan jarak tempuh. Dalam beberapa model pemilihan rute dimungkinkan penggunaan bobot yang berbeda bagi faktor waktu tempuh dan faktor jarak tempuh untuk menggambarkan persepsi pengendara dalam kedua faktor tersebut. Terdapat bukti kuat yang menunjukkan bahwa waktu tempuh mempunyai bobot lebih dominan daripada jarak tempuh bagi pergerakan di dalam kota.

Outram and Thomson (1978) membandingkan hasil persepsi dengan temuan di lapangan. Ternyata proporsi pengendara yang persepsinya sesuai dengan temuan di

lapangan sangatlah rendah. Disimpulkan bahwa kombinasi antara jarak dan waktu tempuh dapat dijadikan faktor yang paling dapat menggambarkan persepsi pemilihan rute. Tetapi, kombinasi tersebut hanya dapat mewakili sekitar 60%–80% proses pemilihan rute. Terdapat faktor lain yang mempengaruhi pemilihan rute, misalnya perbedaan persepsi, informasi rute yang salah, atau galat lain.

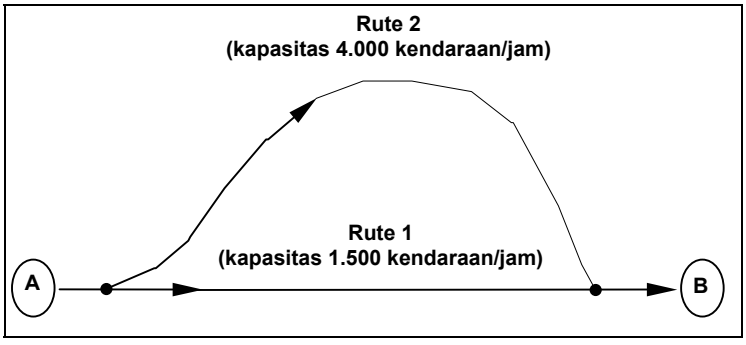
Model pemilihan rute dapat diklasifikasikan berdasarkan beberapa faktor pertimbangan yang didasari pengamatan bahwa tidak setiap pengendara dari zona asal yang menuju ke zona tujuan akan memilih rute yang persis sama, khususnya di daerah perkotaan. Hal ini disebabkan oleh adanya:

- perbedaan persepsi pribadi tentang apa yang diartikan dengan biaya perjalanan karena adanya perbedaan kepentingan atau informasi yang tidak jelas dan tidak tepat mengenai kondisi lalulintas pada saat itu; dan
- peningkatan biaya karena adanya kemacetan pada suatu ruas jalan yang menyebabkan kinerja beberapa rute lain menjadi lebih tinggi sehingga meningkatkan peluang untuk memilih rute tersebut.

Jadi, tujuan penggunaan model adalah untuk mendapatkan setepat mungkin arus yang didapat pada saat survei dilakukan untuk setiap ruas jalan dalam jaringan jalan tersebut. Analisis pemilihan rute tersebut terdiri dari beberapa bagian utama, yaitu:

- alasan pemakai jalan memilih suatu rute dibandingkan dengan rute lainnya;
- pengembangan model yang menggabungkan sistem transportasi dengan alasan pemakai jalan memilih rute tertentu;
- kemungkinan pengendara berbeda persepsinya mengenai ‘rute yang terbaik’. Beberapa pengendara mungkin mengasumsikannya sebagai rute dengan jarak tempuh terpendek, rute dengan waktu tempuh tersingkat, atau mungkin juga kombinasi keduanya;
- kemacetan dan ciri fisik ruas jalan membatasi jumlah arus lalulintas di jalan tersebut.

Contoh 7.1 Pertimbangkan sepasang zona asal–tujuan **A** dan **B** yang mempunyai dua buah rute alternatif. Rute **1** berjarak pendek dan berkapasitas rendah (1.500 kendaraan/jam) serta rute **2** mempunyai jarak yang lebih panjang, tetapi berkapasitas lebih tinggi (4.000 kendaraan/jam), seperti terlihat pada gambar 7.5.



Gambar 7.5
Pasangan zona asal–tujuan yang mempunyai dua rute alternatif

Asumsikan pada jam sibuk pagi terdapat 4.500 kendaraan bergerak dari zona A ke B dan setiap pengendara akan memilih rute terpendek (rute 1). Sangatlah kecil kemungkinan bahwa semua kendaraan akan dapat melakukan hal tersebut karena rute 1 pasti akan sangat macet, meskipun kapasitasnya belum tercapai. Beberapa kendaraan mulai akan memilih pilihan kedua yang mempunyai jarak lebih jauh untuk menghindari kemacetan dan tundaan. Suatu saat akan terjadi kondisi stabil (keseimbangan), yaitu tidak dimungkinkan lagi seseorang memilih rute lain yang lebih baik karena kedua rute mempunyai biaya yang sama dan minimum. Kondisi ini dikenal dengan kondisi keseimbangan yang ditemukan oleh **Wardrop** (**1952**), yang dijelaskan secara lebih rinci dalam subbab 7.6–7.8.

Akhirnya, tidak semua (4.500) kendaraan memilih rute 1; sebagian akan memilih rute 2 dengan alasan pemandangannya lebih menarik atau karena jaminan tidak akan terjadi kemacetan, meskipun jaraknya lebih jauh. Perbedaan dalam tujuan dan persepsi menghasilkan proses penyebaran kendaraan pada setiap rute yang dalam hal ini disebut proses **stokastik** dalam proses pemilihan rute.

Beberapa jenis model tertentu akan lebih sesuai dalam mewakili hal tersebut. Beberapa model pemilihan rute sudah dikembangkan dan tabel 7.2 memperlihatkan klasifikasi model tersebut sesuai dengan asumsi yang melatarbelakanginya. Rincian dan ciri setiap model dijelaskan.

Tabel 7.2 Klasifikasi model pemilihan rute

Kriteria		Efek stokastik dipertimbangkan?	
		Tidak	Ya
Efek batasan kapasitas dipertimbangkan?	Tidak	*All-or-nothing*	Stokastik murni (Dial, Burrell)
	Ya	Keseimbangan Wardrop	Keseimbangan-pengguna-stokastik (KPS)

Sumber: Ortuzar and Willumsen (1994)

Selain pengelompokan di atas, dikenal pengelompokan lain seperti yang diusulkan oleh (**Robillard, 1975**), yaitu metode **proporsional** dan metode **tidak-proporsional**. Suatu metode termasuk dalam kelompok proporsional jika:

- total arus pada suatu ruas jalan (hasil pembebanan) adalah penjumlahan dari semua arus jika setiap pasangan zona dibebankan secara terpisah, dan
- semua unsur MAT dikalikan dengan faktor tertentu, dan semua arus (hasil pembebanan) pada setiap ruas jalan berubah sesuai dengan faktor yang sama. Sebagai contoh, jika setiap sel MAT dikalikan dua, maka arus hasil pembebananpun akan meningkat dua kali lipat.

Proses pemilihan rute lainnya yang tidak mengikuti atau cocok dengan kedua kondisi tersebut dikelompokkan sebagai metode tidak-proporsional. Jadi, metode *all-or-nothing* dan metode stokastik dikelompokkan dalam metode proporsional, sedangkan metode batasan-kapasitas dan metode keseimbangan adalah metode tidak-proporsional.

Beberapa ciri daerah kajian dapat digunakan untuk mengidentifikasi model pemilihan rute yang terbaik, yaitu cara pengendara mengantisipasi biaya perjalanan, tingkat kemacetan, dan informasi mengenai tersedianya jalan alternatif beserta biaya perjalanannya. Setiap model mempunyai tahapan yang harus dilakukan secara berurutan. Fungsi dasarnya adalah:

- mengidentifikasi beberapa set rute yang akan diperkirakan menarik bagi pengendara; rute ini disimpan dalam struktur data yang sering disebut **pohon**; oleh sebab itu, tahapan ini disebut tahap **pembentukan pohon**.
- membebankan MAT ke jaringan jalan dengan proporsi yang sesuai yang menghasilkan volume pergerakan pada setiap ruas di jaringan jalan.
- mencari konvergensi; beberapa teknik mengikuti pola pengulangan dari pendekatan menuju ke solusi. Sebagai contoh, dalam proses keseimbangan Wardrop, proses konvergensi harus selalu diamati untuk menentukan saat penghentian proses pengulangan.

Seperti pemilihan moda, pemilihan rute dipengaruhi oleh alternatif terpendek, tercepat, dan termurah, dan juga diasumsikan bahwa pemakai jalan mempunyai informasi yang cukup (tentang kemacetan jalan) sehingga mereka dapat menentukan rute yang terbaik.

Untuk angkutan umum, rute telah ditentukan berdasarkan moda transportasi (bus dan kereta api mempunyai rute yang tetap). Dalam kasus ini, pemilihan moda dan rute dilakukan bersama-sama. Untuk kendaraan pribadi, diasumsikan bahwa orang memilih moda dulu, baru rutenya.

Biaya perjalanan dapat dinyatakan dalam bentuk biaya, waktu tempuh, jarak, atau biaya gabungan. Dapat diasumsikan bahwa biaya perjalanan sepanjang rute tertentu dari zona asal ***i*** ke zona tujuan ***d*** merupakan penjumlahan biaya dari setiap ruas jalan yang ada dalam rute tersebut. Jadi, dengan mengidentifikasi semua biaya pada setiap ruas, suatu model akan dapat menggunakan algoritma pembentukan pohon untuk menentukan rute terbaik bagi setiap pasangan antarzona. Tetapi, setiap orang mempunyai persepsi yang berbeda mengenai biaya perjalanan sehingga sulit menyatukan perbedaan persepsi ini ke dalam satu model pemilihan rute yang sederhana dan efisien.

Perbedaan persepsi inilah yang menghasilkan pola pemilihan rute yang dikenal dengan **pemilihan rute stokastik**. Efek stokastik timbul karena adanya perbedaan persepsi setiap pengendara tentang biaya perjalanan, sedangkan efek batasan-kapasitas timbul karena biaya perjalanan (dalam hal ini komponen waktu tempuh) tergantung pada arus lalulintas.

Dengan kata lain, kedua efek tersebut terjadi bersama-sama, khususnya di daerah perkotaan, sehingga model pemilihan rute yang terbaik harus mengikutsertakan kedua efek tersebut. Efek stokastik merupakan faktor yang dominan pada tingkat arus lalulintas yang rendah, sedangkan efek batasan-kapasitas dominan pada tingkat arus lalulintas yang tinggi.

Jika diasumsikan bahwa semua pengendara mempunyai persepsi yang sama mengenai biaya, maka pada kondisi tidak macet, akan selalu ada satu rute terbaik (hanya satu) bagi setiap zona asal dan tujuan. Tetapi, pada kondisi macet, biaya perjalanan pada suatu ruas jalan tidak hanya tergantung pada ciri ruas, tetapi juga pada jumlah kendaraan yang menggunakan ruas jalan tersebut.

7.2.3 Pembentukan pohon

Pembentukan pohon adalah tahapan penting dalam setiap model pemilihan rute karena dua alasan utama. Pertama, hal ini sangat sering dilakukan dalam algoritma pemecahannya, minimal sekali per pengulangan. Kedua, algoritma pembentukan pohon yang baik dapat menghemat waktu dan biaya komputer. Algoritma yang baik bukan hanya efisien, tetapi harus ditulis dalam bentuk program komputer, tergantung pada bahasa komputer yang digunakan. **Van Vliet (1978)** membahas dengan sangat baik algoritma yang paling sering digunakan.

Secara umum terdapat dua algoritma dasar yang sering digunakan untuk mencari rute tercepat (atau termurah) dalam suatu jaringan jalan. Kedua algoritma itu adalah **Moore (1957)** dan **Dijkstra (1959)**. Keduanya diterangkan dengan menggunakan notasi berorientasi simpul: jarak (biaya) ruas antara dua titik **A** dan **B** dalam suatu jaringan dinotasikan dengan $d_{A,B}$. Rute didefinisikan dalam bentuk urutan simpul yang saling berhubungan, **A–C–D–H** dan seterusnya, sedangkan jarak rute adalah penjumlahan setiap ruas yang ada dalam rute tersebut.

Anggap d_A adalah jarak minimum antara zona asal dari pohon **S** ke simpul **A**; P_A adalah **simpul-sebelum A** sehingga ruas (P_A,**A**) adalah bagian dari rute terpendek dari **S** ke **A**. Prosedur untuk menghasilkan rute tercepat dari **S** ke setiap simpul yang lain dijelaskan sebagai berikut.

7.2.3.1 Inisialisasi Tetapkan semua $d_A = \infty$ (dengan jumlah simpul yang disesuaikan dengan kapasitas kemampuan memori komputer) kecuali d_S yang harus sama dengan nol. Tetapkan juga **tabel-tidak-berujung-akhir** L yang nantinya akan berisi data simpul yang sudah dicapai oleh algoritma, tetapi belum semuanya dianalisis apakah simpul tersebut merupakan simpul-sebelum bagi simpul seterusnya. Inisialkan semua masukan L_i dalam L ke nol dan semua P_A ke suatu nilai tertentu yang ditentukan.

7.2.3.2 Prosedur Mulailah dengan simpul asal **S** sebagai simpul awal = **A**;

1 Periksa setiap ruas (**A,B**) dari simpul awal **A** secara bergantian jika $d_A + d_{A,B} < d_B$, kemudian tetapkan $d_B = d_A + d_{A,B}$ dan $P_B = A$ dan tambah **B** ke L;

2 Pindahkan **A** dari L jika tabel-tidak-berujung-akhir telah kosong, lalu **stop**.

3 Jika tabel belum kosong, pilih simpul lainnya dari tabel-tidak-berujung-akhir dan kembali ke tahap **1** dengan simpul asal berikutnya.

Terdapat tiga komentar yang harus diberikan. Pertama, secara umum rute tidak diperbolehkan menggunakan pusat zona; karena itu, dalam tahap **1**, **B** tidak boleh digabungkan ke dalam L jika **B** adalah pusat zona. Kedua, perbedaan utama antara

algoritma Moore dan Dijkstra berada pada prosedur pemilihan simpul dari ***L***. Moore memilih urutan pertama, yang merupakan input data yang pertama dalam ***L***; Dijkstra memilih simpul yang terdekat dengan asal, misalnya simpul L_i sehingga d_{Li} minimum.

Hal ini membutuhkan beberapa perhitungan tambahan (termasuk penyortiran simpul), tetapi menjamin bahwa setiap ruas hanya diperiksa sekali saja. Algoritma Dijkstra lebih baik dari Moore, terutama untuk penggunaan pada jaringan yang luas; karena itu, lebih sulit membuat programnya. Akhirnya, pohon biasanya disimpan di komputer dalam bentuk set simpul-sebelum yang berurutan dengan **A** merupakan simpul-sebelum dari **B** jika ruas (**A,B**) membentuk bagian dari pohon; atau suatu set ruas-sebelum dengan definisi yang serupa.

Van Vliet (1977) berhasil mengidentifikasi algoritma yang sangat baik untuk digunakan pada jaringan yang luas, disebut algoritma **D'Esopo** yang telah diuji oleh **Pape (1974)**. D'Esopo menggunakan dua buah tabel-tidak-berujung-akhir sehingga simpul **B** dapat dimasukkan pada salah satu simpul ujung, tergantung pada 'status'-nya. Jika **B** belum dicapai oleh pohon, harus dimasukkan pada dasar ***L***; jika sudah ada dalam tabel, data tersebut tidak boleh dimasukkan; tetapi, jika sudah dimasukkan ke dalam ***L***, periksa dan pindahkan dari tabel, kemudian masukkan paling atas.

Suatu deret sederhana dapat digunakan untuk menyimpan status dengan tiga nilai potensial (**+1**, **0**, atau **–1**), tergantung pada status simpul yang ditinjau. Seperti diterangkan oleh **Van Vliet (1977)**, algoritma D'Esopo dapat mengurangi waktu proses komputer sebanyak 50%, relatif terhadap algoritma Moore. Selain itu, unjuk kerjanya sangat mirip dan biasanya lebih baik dibandingkan dengan algoritma Dijkstra. Algoritma D'Esopo mempunyai nilai tambah yang besar dibandingkan dengan kedua algoritma yang dijelaskan sebelumnya.

Pohon mempunyai dua kegunaan tambahan penting dalam perencanaan dan pemodelan transportasi, yang sering digunakan untuk menjelaskan biaya. Sebagai contoh, total waktu tempuh antara dua zona bisa didapat dengan mengikuti urutan ruas dalam pohon dan menjumlahkan waktu tempuhnya. Operasi ini sering disebut proses **penguraian pohon**. Pohon diperlukan, jika waktu tempuh dapat diuraikan dalam bentuk atribut lainnya, misalnya biaya gabungan, jarak, dan jumlah simpul.

Pohon dapat juga digunakan untuk menghasilkan informasi pada saat pasangan Asal–Tujuan sudah pasti memilih rute tertentu. Fasilitas ini, sering disebut **analisis ruas terpilih**, memungkinkan mengenali pengendara yang terpengaruh oleh perubahan jaringan. Selain itu, dapat juga digunakan untuk mengidentifikasi titik masuk dan keluar ke suatu daerah kajian yang kecil dan pohon yang menggabungkan zona awal ke zona eksternal dari kawasan baru.

7.2.4 Alasan pemilihan rute

Model harus mewakili ciri sistem transportasi dan salah satu hipotesis tentang pemilihan rute pemakai jalan. Terdapat tiga hipotesis yang dapat digunakan yang menghasilkan jenis model yang berbeda-beda.

7.2.4.1 Pembebanan *all-or-nothing* Pemakai jalan secara rasional memilih rute terpendek yang meminimumkan hambatan transportasi (jarak, waktu, dan biaya). Semua lalulintas antara zona asal dan tujuan menggunakan rute yang sama dengan anggapan bahwa pemakai jalan mengetahui rute yang tercepat tersebut. Dengan kata lain, pemakai jalan mengetahui rute terpendek yang meminimumkan waktu tempuh dan semuanya menggunakan rute tersebut, tidak ada yang menggunakan rute lain.

7.2.4.2 Pembebanan banyak-ruas Diasumsikan pemakai jalan tidak mengetahui informasi yang tepat mengenai rute tercepat. Pengendara memilih rute yang dipikirnya adalah rute tercepat, tetapi persepsi yang berbeda untuk setiap pemakai jalan mengakibatkan bermacam-macam rute akan dipilih antara dua zona tertentu. Diasumsikan bahwa pemakai jalan belum mendapatkan informasi tentang alternatif rute yang layak. Dia memilih rute yang dianggapnya terbaik (jarak tempuh pendek, waktu tempuh singkat, dan biaya minimum).

7.2.4.3 Pembebanan berpeluang Pemakai jalan menggunakan beberapa faktor rute dalam pemilihan rutenya dengan meminimumkan hambatan transportasi. Contohnya, faktor yang tidak dapat dikuantifikasi seperti rute yang aman dan rute yang panoramanya indah. Dalam hal ini, pengendara memperhatikan faktor lain selain jarak, waktu tempuh, dan biaya yang minimum, misalnya rute yang telah dikenal atau yang dianggap aman.

7.2.5 Faktor penentu utama

7.2.5.1 Waktu tempuh Waktu tempuh adalah waktu total perjalanan yang diperlukan, termasuk berhenti dan tundaan, dari suatu tempat ke tempat lain melalui rute tertentu. Waktu tempuh dapat diamati dengan dua cara. Pertama dengan metode Pengamat Bergerak, yaitu pengamat mengemudikan kendaraan survei di dalam arus lalulintas dan mencatat waktu tempuhnya.

7.2.5.2 Nilai waktu Nilai waktu adalah sejumlah uang yang disediakan seseorang untuk dikeluarkan (atau dihemat) untuk menghemat satu unit waktu perjalanan. Nilai waktu biasanya sebanding dengan pendapatan per kapita, merupakan perbandingan yang tetap dengan tingkat pendapatan. Ini didasari asumsi bahwa waktu perjalanan tetap konstan sepanjang waktu, relatif terhadap pengeluaran konsumen. Ini merupakan asumsi yang agak berani karena sedikit atau tidak adanya data empiris yang menyokongnya.

7.2.5.3 Biaya perjalanan Biaya perjalanan dapat dinyatakan dalam bentuk uang, waktu tempuh, jarak, atau kombinasi ketiganya yang biasa disebut biaya gabungan. Dalam hal ini diasumsikan bahwa total biaya perjalanan sepanjang rute tertentu adalah jumlah dari biaya setiap ruas jalan yang dilalui.

Jadi, dengan mengetahui semua biaya dari setiap ruas jalan, dapat ditentukan (dengan algoritma tertentu) rute terbaik yang dapat dilalui pada jaringan jalan tersebut. Tetapi, persepsi setiap pengendara terhadap biaya perjalanan jelas berbeda-

beda sehingga sukar menjabarkan perbedaan ini ke dalam bentuk model pemilihan rute yang sederhana.

Efek batasan-kapasitas dan stokastik dapat juga dianalisis dalam bentuk biaya perjalanan. Kita dapat mengasumsikan bahwa setiap pemakai jalan memilih rute yang meminimumkan biaya perjalanannya dan ini sangat beragam. Jadi, diperlukan usaha untuk mendapatkan rata-rata biaya perjalanan yang sesuai untuk semua pengendara. Metode yang paling sering digunakan adalah dengan mendefinisikan biaya sebagai kombinasi linear antara jarak dan waktu:

$$\textbf{Biaya} = a_1 \textbf{ x waktu} + a_2 \textbf{ x jarak} + a_3 \qquad (7.13)$$

a_1 = nilai waktu (Rp/jam)

a_2 = biaya operasi kendaraan (Rp/km)

a_3 = biaya tambahan lain (harga karcis tol)

7.2.5.4 Biaya operasi kendaraan Biaya operasi kendaraan merupakan biaya yang penting. Perbaikan atau peningkatan mutu prasarana dan sarana transportasi kebanyakan bertujuan mengurangi biaya ini. Biaya operasi kendaraan antara lain meliputi penggunaan bahan bakar, pelumas, biaya penggantian (misalnya ban), biaya perawatan kendaraan, dan upah atau gaji supir.

Biaya asuransi tidak termasuk biaya operasi kendaraan karena dihitung sebagai biaya kecelakaan. Empat faktor biaya pertama yang disebutkan diatas biasanya merupakan fungsi kecepatan. Pada kecepatan rendah, bila kecepatan ditambah, biaya ini akan turun sampai mencapai minimum (pada kecepatan rendah relatif) dan kemudian naik terus menerus setelah melewati batas kecepatan rendah relatif tersebut. Jadi, perbaikan sistem transportasi dengan menambah kecepatan rata-rata dapat meningkatkan biaya operasi. Kasus pengurangan kecepatan yang disebabkan oleh kemacetan lalulintas merupakan pengecualian.

Pada kasus ini, kecepatan rendah menunjukkan biaya operasi yang tinggi karena bertambahnya pengereman, percepatan, dan keausan kendaraan. Jika arus lancar, kecepatan dapat meningkat, mengakibatkan biaya operasi meningkat di satu sisi, tetapi di sisi lain menghindari biaya operasi tambahan seperti yang disebabkan pada kasus kemacetan lalulintas.

Bahan bakar merupakan komponen penting dari biaya operasi kendaraan. Untuk beberapa kelas kendaraan, bahan bakar merupakan lebih dari 50% biaya yang dikeluarkan per unit keluaran. Biaya pelumas biasanya kecil (kurang dari 3% dari total biaya operasi kendaraan) dan agak sukar dianalisis. Seperti halnya bahan bakar dan oli, ban kendaraan dikonsumsi secara terus menerus sejalan dengan bergeraknya kendaraan.

Biaya ban ini adalah biaya untuk membeli ban baru atau biaya vulkanisir jika ban masih dalam kondisi layak (masih berada dalam umur layan). Umur layan ban antara lain dipengaruhi oleh beban yang dibawa, posisi pada kendaraan, kecepatan kendaraan, sifat pengemudi, dan kondisi jalan.

Biaya perawatan dipengaruhi oleh ciri jalan, terutama kondisi permukaan jalan. Dengan bertambahnya usia kendaraan, efisiensi mesin berkurang dan dibutuhkan pemeriksaan dengan teliti dan menyeluruh yang membutuhkan biaya yang tidak murah. Hal tersebut akan menambah biaya operasi yang dikeluarkan.

Para pembaca yang ingin mengetahui tentang biaya operasi kendaraan secara lebih rinci disarankan membaca subbab 3.4.4.

7.3 Model *all-or-nothing*

7.3.1 Umum

Metode ini mengasumsikan bahwa proporsi pengendara dalam memilih rute yang diinginkan hanya tergantung pada asumsi pribadi, ciri fisik setiap ruas jalan yang akan dilaluinya, dan tidak tergantung pada tingkat kemacetan. Contoh yang paling umum dari jenis ini adalah model *all-or-nothing*.

Model ini merupakan model pemilihan rute yang paling sederhana, yang mengasumsikan bahwa semua pengendara berusaha meminimumkan biaya perjalanannya yang tergantung pada karakteristik jaringan jalan dan asumsi pengendara. Jika semua pengendara memperkirakan biaya ini dengan cara yang sama, pastilah mereka memilih rute yang sama. Biaya ini dianggap tetap dan tidak dipengaruhi oleh efek kemacetan.

Metode ini menganggap bahwa semua perjalanan dari zona asal ***i*** ke zona tujuan ***d*** akan mengikuti rute tercepat. Dalam kasus tertentu, asumsi ini dianggap cukup realistis, misalnya untuk daerah pinggiran kota yang jaringan jalannya tidak begitu rapat dan yang tingkat kemacetannya tidak begitu berarti. Tetapi, asumsi ini menjadi tidak realistis jika digunakan untuk daerah perkotaan yang sering mengalami kemacetan.

Meskipun demikian, model *all-or-nothing* masih merupakan model yang paling sederhana dan efisien sehingga sangat sering digunakan. Dengan mengetahui rute terbaik antarzona yang setiap pergerakannya dibebankan ke jaringan jalan melalui rute terbaik tersebut, maka total arus untuk setiap ruas jalan bisa dihitung.

Model ini merupakan model tercepat dan termudah dan sangat berguna untuk jaringan jalan yang tidak begitu rapat yang hanya mempunyai beberapa rute alternatif saja. Selain itu, penggunaan metode *all-or-nothing* menyediakan informasi yang berharga bagi para perencana transportasi untuk menentukan arah pembangunan jaringan jalan baru.

Jika model *all-or-nothing* diterapkan pada jaringan seperti pada gambar 7.5, dapat dipastikan bahwa rute **1** akan dilalui oleh **4.500** kendaraan. Hal ini disebabkan karena model ini mengabaikan efek kemacetan sehingga setiap pengendara akan mempunyai persepsi yang sama terhadap rute terbaiknya, yaitu rute 1.

Pada kenyataannya, hal ini tidak mungkin terjadi karena kapasitas rute 1 hanya 1.500 kendaraan per jam; jadi, jika arus telah melebihi kapasitasnya, terjadilah kemacetan yang menyebabkan rute 2 menjadi lebih menarik dan mulai digunakan

oleh kendaraan lainnya. Hal ini merupakan kelemahan model *all-or-nothing* sehingga hanya dapat digunakan pada kondisi jaringan jalan yang tidak macet.

Menentukan rute terpendek dengan cara manual tidaklah mudah, apalagi untuk jaringan yang luas dengan kepadatan moda yang tinggi. Hal ini merupakan tantangan bagi para peneliti untuk memecahkannya. Algoritma dari pembebanan tersebut adalah prosedur pembebanan dari MAT [**T**] pada rute terbaik yang menghasilkan arus $V_{A,B}$ pada ruas antara simpul **A** dan **B**.

7.3.2 Algoritma

Semua algoritma dimulai dengan tahap inisialisasi. Pada tahap ini semua $V_{A,B} = 0$ dan kemudian digunakan salah satu pendekatan, yaitu pendekatan **pasangan-demi-pasangan** atau pendekatan **sekaligus**.

7.3.2.1 Pendekatan pasangan-demi-pasangan Pendekatan ini adalah pendekatan yang paling sederhana yang belum tentu paling efisien. Kita mulai dari zona asal dan menggunakan zona tujuan secara berurutan. Pertama, tetapkan semua $V_{A,B} = 0$. Kemudian, untuk setiap pasangan (***i,d***):

1 set **B** menjadi zona tujuan ***d***

2 jika (**A,B**) merupakan ruas-sebelum dari **B**, tambahkan $V_{A,B}$ sebesar T_{id}, atau buat $V_{A,B} = V_{A,B} + T_{id}$

3 set **B** menjadi **A**

4 jika **A** = ***i***, **stop** (lakukan proses selanjutnya untuk pasangan (***i,d***) berikutnya, atau **jika tidak**, kembali ke tahap **2**.

7.3.2.2 Pendekatan sekaligus Metode ini sering dikenal sebagai metode *Cascade* karena proses pembebanan arus dilakukan dari simpul ke setiap ruas yang sesuai dengan rute terbaiknya dari suatu zona asal ***i***. Tetapkan V_A sebagai besar arus kumulatif pada simpul **A**, lalu

1 set semua $V_A = 0$, kecuali untuk simpul tujuan ***d*** dengan $V_d = T_{id}$

2 set **B** sama dengan simpul terjauh dari ***i***

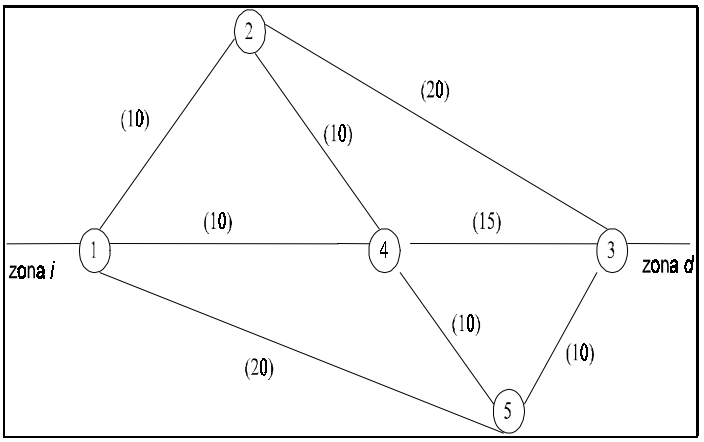
3 tingkatkan nilai V_A sebesar V_B dengan **A** adalah simpul-sebelum dari **B** (atau dengan kata lain, set $V_A = V_A + V_B$;

4 tingkatkan nilai $V_{A,B}$ sebesar V_B (atau dengan kata lain, set $V_{A,B} = V_{A,B} + V_B$);

5 set **B** sama dengan simpul yang paling jauh berikutnya; jika **B** = ***i***, simpul asal telah tercapai; mulai lagi dengan proses simpul asal berikutnya, **jika tidak**, teruskan ke tahap **3**.

Dalam hal ini, V_B menunjukkan total pergerakan dari ***i*** yang melalui simpul **B** dan simpul selanjutnya dari ***i***. Dengan memilih simpul dalam bentuk tersusun sesuai dengan jarak, setiap simpul diproses sekali saja. Algoritma ini membutuhkan pohon untuk disimpan dalam bentuk urutan simpul-sebelum berdasarkan jarak dari simpul asal.

Gambar 7.6 (**Black, 1982**) mengilustrasikan metode pembebanan *all-or-nothing* (angka pada setiap ruas adalah waktu tempuh dalam menit untuk ruas tersebut). Mudah dilihat bahwa rute tercepat dari zona ***i*** ke zona ***d*** adalah **1–4–3**. Rute tercepat dari zona ***i*** ke setiap zona lainnya dalam daerah kajian dapat ditentukan, dan kumpulan rute itu disebut pohon dari zona ***i***.



Gambar 7.6
Jaringan sederhana dan waktu tempuh ruas
Sumber: Black (1982)

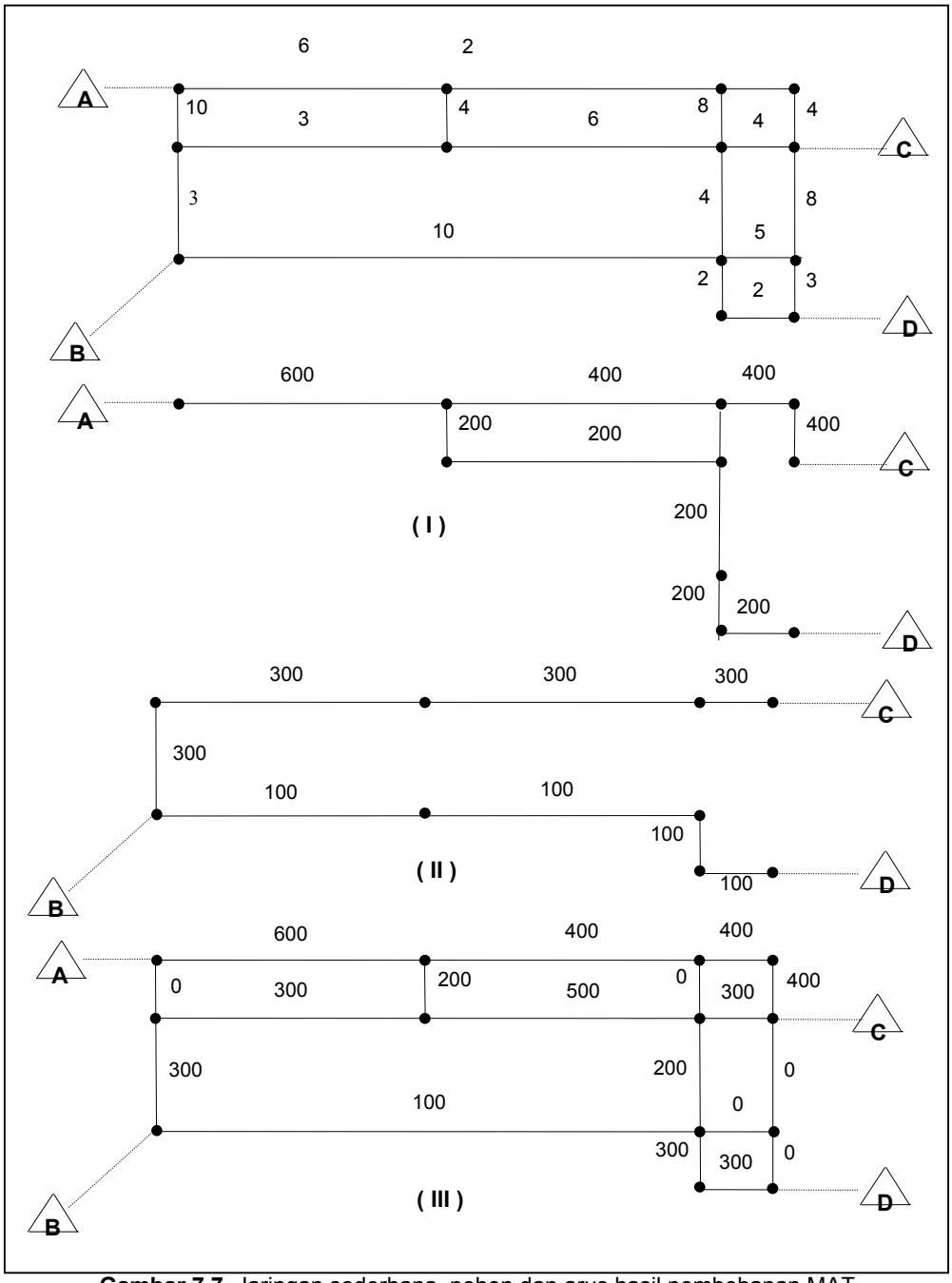
Rute terpendek hanya mungkin didapatkan dengan cara manual untuk jaringan yang sederhana, bukan untuk jaringan jalan yang luas. Ini merupakan permasalahan yang tidak terpecahkan selama beberapa tahun dalam perencanaan transportasi dan teknik lalulintas. Banyak orang mencoba mencari metode atau algoritma untuk memecahkan masalah ini.

Metode *all-or-nothing* kurang disukai oleh para perencana; biasanya digunakan untuk memperlihatkan garis keinginan, misalnya rute yang dipilih pengendara jika tidak ada kemacetan. Juga, dapat digunakan sebagai dasar dalam melakukan model pemilihan rute yang lain, misalnya metode pembebanan keseimbangan dan stokastik.

Pada akhir tahun 1950-an dan awal tahun 1960-an beberapa solusi akhirnya didapat. Metode yang paling terkenal adalah **Moore** (**1957**) yang telah menekuni masalah ini untuk beberapa tahun. Tetapi, walaupun Moore adalah orang pertama yang memecahkan masalah ini, dia bukanlah orang pertama yang memecahkannya secara tuntas. Solusi yang lebih lengkap didapatkan oleh **Whiting and Hillier** (**1958**) serta **Ford and Fulkerson** (**1958**).

Metode Whiting dan Hillier yang disebut dalam **Blunden** (**1971**) adalah cara yang paling ekonomis dengan menggunakan komputer, sedangkan metode Ford dan Fulkerson disebut sebagai metode terbaik. Hillier menggunakan metoda jaringan-dawai yang ditemukan oleh **Minty** (**1957**) yang ditranslasikan menjadi algoritma matematis. **Hutchinson** (**1974**) mendiskusikan beberapa pendekatan prosedur pemilihan rute.

Contoh 7.2 Pertimbangkan jaringan sederhana pada gambar 7.7, termasuk data MAT-nya: **A–C = 400**, **A–D = 200**, **B–C = 300** dan **B–D = 100**. Bagian (**I**) memperlihatkan biaya perjalanan (waktu) untuk setiap ruas jalan; bagian (**II**) memperlihatkan pohon biaya yang sesuai dengan biaya ditambah kontribusi total arus setelah dilakukan pembebanan; yang hasilnya dapat terlihat pada bagian (**III**).



Gambar 7.7 Jaringan sederhana, pohon dan arus hasil pembebanan MAT
Sumber: Ortuzar and Willumsen (1994)

7.4 Model stokastik

Banyak ahli transportasi berpendapat bahwa model pemilihan rute sangat berguna jika dapat mencerminkan perilaku setiap pemakai jalan sehingga kualitas keputusan para ahli dapat diperbaiki dan biaya dapat berkurang. Pada suatu sistem jalan raya, khususnya pada saat volume arus lalulintas mendekati kapasitas, banyak terdapat rute alternatif lain yang bervariasi, tergantung pada jarak. Model yang lebih realistis yang disebut model **banyak-rute** menyebarkan arus yang ada ke rute tersebut dengan memperhatikan kecenderungan setiap pengendara dalam memilih rute.

Pengendara diasumsikan akan mengambil rute tercepat, tetapi tidak yakin mana rute tercepat itu. Cerminan waktu tempuh untuk setiap rute yang dianggap pengendara sebagai rute tercepat dihasilkan dengan seleksi secara acak sebaran yang mempunyai rata-rata waktu tempuh sebenarnya dari rute tersebut. Hanya satu rute yang akan digunakan antara setiap pasangan zona ***i*** dan ***d***; penjumlahan arus lalulintas antara zona ***i*** dan ***d*** menghasilkan tingkat keacakan pembebanan tersebut.

Sebuah contoh dalam **Black** (**1981**) mengilustrasikan prinsip yang melatarbelakangi metode ini. Model ini masih mengabaikan hubungan antara arus dengan biaya, tetapi telah memperhitungkan variasi antara persepsi perseorangan terhadap waktu tempuh. Model stokastik ini berbeda dengan model *all-or-nothing* karena dalam model ini pemakai jalan disebarkan kepada beberapa pemilihan rute.

Beberapa model yang termasuk dalam model stokastik adalah model **Burrell** (**1968**), model **Sakarovitch** (**1968**), dan model **Dial** (**1971**). Ketiganya masih mengabaikan efek kemacetan, tetapi lebih realistis jika dibandingkan dengan model *all-or-nothing* karena memberikan sebaran yang lebih baik yang memungkinkan perbedaan persepsi antara pengendara dapat diperhitungkan.

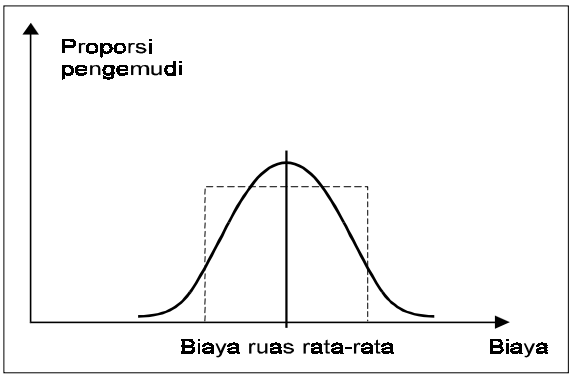
7.4.1 Model Burrell

Burrell (**1968**) mengusulkan suatu model untuk kasus banyak-rute; mungkin merupakan model yang paling sering digunakan di Inggris. Pada model ini diasumsikan bahwa biaya perjalanan untuk setiap ruas jalan dalam jaringan disebar sekitar nilai rata-rata biaya perjalanan. Beberapa asumsi yang mendasari pengembangan metode ini adalah sebagai berikut.

- Untuk setiap ruas jalan, kita harus dapat membedakan biaya objektif sebagaimana dipersepsikan oleh pengamat dan biaya subjektif seperti yang diinginkan oleh pengendara. Selanjutnya, diasumsikan terdapat sebaran biaya persepsi untuk setiap ruas dengan biaya objektif sebagai rataan, seperti terlihat pada gambar 7.8. Model tersebut mendefinisikan nilai rataan biaya tersebut disertai bentuk sebaran biaya untuk setiap ruas jalan di sekitar nilai rataan tersebut.

  Biaya perjalanan untuk setiap ruas jalan kemudian dapat dihasilkan dengan mengambil sampel acak dari sebaran biaya itu. Bilangan acak, misalnya dengan sebaran merata digunakan untuk mendapatkan biaya untuk setiap ruas secara berulang-ulang. Model tersebut kemudian menemukan dan

membebankan rute tercepat yang meminimumkan biaya perjalanan. Oleh karena itu, dapat dihasilkan **N** set rute untuk setiap set biaya rata-rata.



Gambar 7.8
Sebaran biaya
persepsi pada suatu ruas jalan

- Sebaran biaya persepsi diasumsikan tidak saling berkorelasi.
- Pengendara diasumsikan memilih rute yang meminimumkan biaya menurut persepsinya, yang bisa didapat sebagai penjumlahan biaya setiap ruasnya.

Penjelasan umum tentang algoritma yang digunakan akan diterangkan berikut ini. Tentukan sebaran (termasuk parameter dispersi σ) untuk biaya persepsi setiap ruas jalan. Pisahkan populasi yang akan bergerak untuk setiap pasangan asal–tujuan menjadi **N** segmen; setiap segmen diasumsikan mempunyai biaya persepsi yang sama.

1 buat $\boldsymbol{n = 0}$;

2 buat $\boldsymbol{n = n + 1}$;

3 untuk setiap pasangan asal–tujuan (***i–d***):

- hitung biaya persepsi untuk setiap ruas jalan dengan mengambil sampel dari sebaran biaya persepsi dengan menggunakan bilangan acak;
- buat rute dengan biaya persepsi minimum dari ***i*** ke ***d*** dan bebankan $\boldsymbol{T_{id}/N}$ ke rute tersebut yang akhirnya menghasilkan besar arus pada setiap ruas jalan.

4 Jika $\boldsymbol{n = N}$, **stop**; **jika tidak**, kerjakan tahap (**2**).

Banyak hal yang dapat dilakukan untuk mengurangi waktu komputasi, misalnya:

- bentuk suatu set baru biaya secara acak per simpul asal, bukan untuk setiap pasangan ***i–d***;
- gunakan **N** sama dengan **3** atau **5** dan bentuk satu set biaya secara acak untuk setiap matriks, bukan untuk setiap pasangan ***i–d*** atau simpul asal;
- gunakan nilai **N** yang kecil (misalnya **1**).

Selanjutnya, MAT dibagi menjadi **N** bagian, dan setiap bagian dibebankan mengikuti setiap rute yang dijelaskan sebelumnya. Ini dilakukan sebanyak **N** kali sampai seluruh MAT telah dibebankan ke jaringan. Cara ini ternyata merupakan

metode yang lebih baik dalam mendapatkan rute yang realistis antar-pasangan-zona. Prosedur dapat digunakan pada kondisi tidak macet atau juga pada kondisi macet.

Pendekatan seperti ini memerlukan simulasi untuk mengurangi jumlah rute terbaik lainnya. Jika kita membutuhkan jumlah rute yang banyak, nilai **N** dan/atau parameter dispersi (σ) dari sebaran biaya perlu diperbesar. Pendekatan Burrell mempunyai keuntungan dalam menghasilkan rute yang murah, bukan rute yang mahal: jika suatu rute mahal, rute tersebut cenderung tidak akan murah sebagai hasil variasi stokastik biaya.

Walaupun penggunaan sebaran seragam sangat efisien dalam hal waktu komputer, tetapi tidak begitu realistis. Fungsi yang lebih baik, tetapi membutuhkan waktu yang lebih lama dalam hal waktu komputasi, adalah sebaran normal dengan variansi yang proporsional dengan rata-rata biaya objektif.

Dalam metode Monte Carlo, hasil akhir tergantung pada bilangan acak yang digunakan dalam simulasi. Memperbesar nilai **N** akan memperkecil masalah. Tetapi, terdapat beberapa kesukaran yang ditemui dalam pendekatan ini.

- Biaya persepsi tidak saling tergantung karena setiap pengendara mempunyai persepsi yang berbeda. Asumsi biaya persepsi yang saling tidak tergantung menghasilkan perpindahan antara rute sejajar yang dihubungkan dengan jalan samping.
- Tidak ada hal yang pasti mengenai efek kemacetan.

Sebagai kompensasi, metode ini sering menghasilkan penyebaran pergerakan yang pantas, biasanya mudah diprogram, dan tidak memerlukan penaksiran hubungan Arus–Kecepatan.

7.4.2 Model Sakarovitch

Pendekatan yang berbeda dalam menentukan banyak-rute antar-pasangan-zona dikembangkan oleh **Sakarovitch** (**1968**). Beliau mengembangkan algoritma dalam menentukan rute terbaik yang lebih dari satu rute (katakan terdapat **N** rute terbaik) dalam setiap pasangan zona di dalam suatu daerah kajian. MAT kemudian dibagi menjadi **N** bagian dengan proporsi terbesar dibebankan ke rute tercepat dan seterusnya, sampai proporsi yang terkecil dibebankan pada rute yang terpanjang. Prosedur ini diulangi sebanyak **N** kali sampai akhirnya semua MAT dibebankan pada jaringan.

7.4.3 Model stokastik-proporsional

Dial (**1971**) mengusulkan model banyak-rute yang berdasarkan peluang; pergerakan pada setiap titik simpul disebarkan ke semua ruas yang mungkin dalam bentuk peluang yang lebih diarahkan pada rute termurah. Model Dial menghasilkan iklim yang baik bagi para peneliti dan praktisi perencanaan transportasi karena algoritma yang dikembangkan Dial mempunyai keuntungan dibandingkan dengan model *all-or-nothing* karena mengalokasikan pergerakan pada beberapa alternatif rute sedemikian rupa, tergantung pada panjang (biaya) rute.

Kondisi ini digunakan jika setiap alternatif rute dari zona ***i*** ke zona ***d*** dialokasikan kepada peluang yang akan digunakan oleh pengendara antara dua zona. Bila digabung, peluang setiap alternatif rute akan menjadi satu. Metode pembebanan Dial didasarkan pada kenyataan bahwa rute yang lebih panjang mempunyai peluang lebih kecil dibandingkan dengan rute yang lebih pendek. Rute yang lebih pendek mempunyai kemungkinan lebih besar untuk digunakan. Kemungkinan pemilihan rute ***r*** diperlihatkan dengan model berikut ini:

$$\mathbf{prob}(r) = \frac{\exp(-1.t_r)}{\sum_{r=1}^{N} \exp(-a.t_r)} \tag{7.14}$$

prob(***r***) = peluang memilih rute ***r***

t_r = waktu tempuh pada rute ***r***

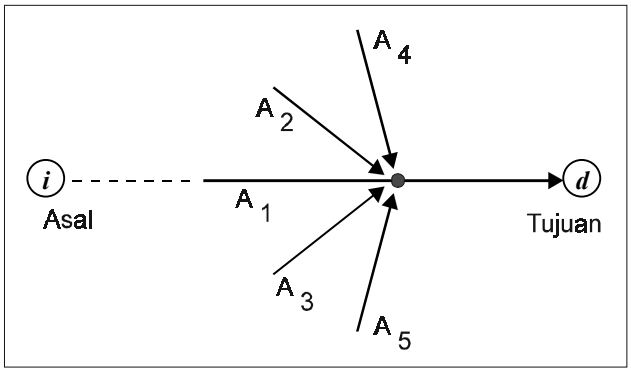
N = jumlah rute alternatif

a = parameter yang akan dikalibrasi

Jika **a = 0**, semua rute alternatif akan mempunyai peluang yang sama untuk dipilih. Jika nilai **a** makin besar, rute yang lebih pendek akan mulai dipilih. Tetapi, jika nilai **a** sangat besar, hanya rute tercepat saja yang terpilih (misalnya: nilai **a** yang besar akan menghasilkan solusi yang mirip dengan solusi hasil pembebanan *all-or-nothing*).

Secara eksplisit, semua metode ini berdasarkan pada algoritma pembebanan yang membagi pergerakan yang tiba pada suatu simpul ke simpul lainnya yang memungkinkan. Pada kasus pembebanan *all-or-nothing*, semua pergerakan hanya menggunakan satu simpul saja. Sering implementasi metode ini memutarbalikkan masalah; proses pembagian pergerakan pada suatu simpul sebenarnya didasari dari mana pergerakan tersebut datang, bukan ke mana pergerakan tersebut akan pergi.

Pertimbangkan simpul **B** pada gambar 7.9; terdapat beberapa titik masuk yang mungkin yang dinyatakan dengan $\mathbf{A_1}$, $\mathbf{A_2}$, $\mathbf{A_3}$, $\mathbf{A_4}$, dan $\mathbf{A_5}$ untuk pergerakan dari ***i*** ke ***d***.



Gambar 7.9
Simpul B dan ruas jalan masuk

Faktor fungsi pembagi (f_i) didefinisikan sebagai:

$$
\begin{aligned}
f_i &= 0 \qquad \text{jika} \quad d_{A_i} \geq d_B \\
0 \leq f_i &\leq 1 \qquad \text{jika} \quad d_{A_i} < d_{B_i}
\end{aligned}
\tag{7.15}
$$

$d_{\mathbf{A}_i}$ menyatakan biaya minimum dari simpul asal i ke simpul $\mathbf{A}_i$. Kondisi pertama mensyaratkan bahwa f_i sama dengan nol jika simpul $\mathbf{A}_i$ berada pada posisi lebih jauh dari asal dibandingkan dengan posisi **B**. Pergerakan $T_{\mathbf{B}}$ yang melalui simpul **B** dibagi melalui persamaan:

$$
F(\mathbf{A}_i, \mathbf{B}) = \frac{T_{\mathbf{B}} f_i}{\sum_i f_i} \tag{7.16}
$$

Prosedur pembebanan sekarang ekivalen dengan metode Cascade (*all-or-nothing*). Implementasi ide tersebut berbeda karena adanya faktor fungsi pembagi f_i. Metode satu-rute yang diusulkan oleh **Dial (1971)** mensyaratkan:

$$
f_i = \exp(-\Omega \delta \mathbf{d}_i) \tag{7.17}
$$

$\delta \mathbf{d}_i$ adalah biaya tambahan akibat perbedaan selama perjalanan dari simpul asal ke simpul **B** via simpul $\mathbf{A}_i$ dibandingkan dengan via rute biaya minimum. Dalam hal ini, jika A_i berada di antara rute biaya minimum, δd_i sama dengan nol dan $f_i = 1$. Simpul lainnya yang terletak pada rute yang lebih mahal mempunyai nilai $\delta d_i > 0$ dan nilai $f_i < 1$. Dalam kasus ini, rute yang lebih pendek lebih menguntungkan dibandingkan dengan rute yang lebih mahal.

Dial menjelaskan algoritma dua-kali-lewat yang secara efektif menggunakan formulasi logit dalam membagi pergerakan dari i ke d di antara rute yang memungkinkan:

$$
T_{idr} = \frac{T_{id} \exp(-\Omega C_{idr})}{\sum_r \exp(-\Omega C_{idr})} \tag{7.18}
$$

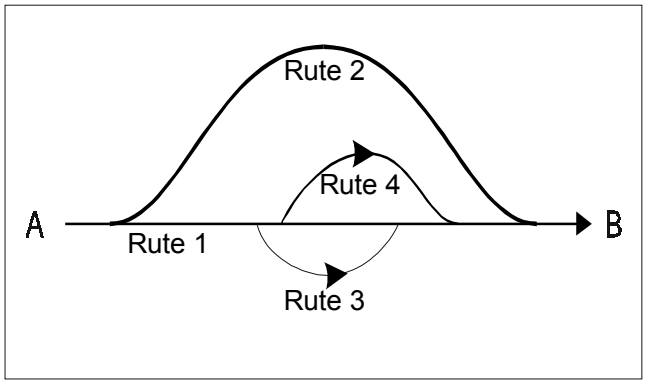
Parameter Ω dapat digunakan untuk mengontrol penyebaran pergerakan di antara rute yang ada. Algoritma yang digunakan meliputi prosedur **lewat-maju** dan **lewat-mundur**.

1 **Lewat-maju** Pada prosedur ini, tetapkan setiap simpul **A** dalam urutan yang semakin membesar dari $d_{\mathbf{A}}$ dan tetapkan bobot untuk setiap ruas keluar (**A,B**) sehingga $w_{(\mathbf{A},\mathbf{B})} = W_{\mathbf{A}} \exp(-\Omega \delta d_{(\mathbf{A},\mathbf{B})})$ jika $d_{\mathbf{A}} < d_{\mathbf{B}}$ atau nol; **jika tidak**, $W_{\mathbf{A}}$ adalah bobot akumulatif pada simpul **A** yang secara definisi adalah: $W_{\mathbf{A}} = \sum_{\mathbf{A}} w_{(\mathbf{A}',\mathbf{A})}$ dan $W_{\mathbf{I}} = 1$ (**A'** adalah pendahulu **A**).

2 **Lewat-mundur** Prosedur ini identik dengan algoritma lewat-sekali, tetapi dengan menggunakan bobot $w_{(\mathbf{A},\mathbf{B})}$ untuk mengerjakan proses pemisahan pergerakan, bukan menggunakan faktor fungsi pembagi f_i.

Contoh 7.3 Pertimbangkan masalah sebuah kota yang dilayani oleh empat buah rute seperti terlihat pada gambar 7.10. Asumsikan terdapat **4.000** kendaraan yang bergerak dari **A** ke **B** dan semua rute kira-kira mempunyai biaya yang sama.

Dalam kasus ini, algoritma Dial membagi 4.000 kendaraan tersebut sebagai berikut: 1.000 kendaraan melalui rute 2 dan 1.000 kendaraan menggunakan tiga rute lainnya (rute 1, 3, dan 4). Banyak pengendara menganggap masalah ini satu dengan dua buah alternatif saja yaitu: jalan rute 2 atau rute 1. Algoritma Dial mendapat kesulitan pada saat mempertimbangkan setiap rute yang memungkinkan, meskipun permutasi dan kombinasi dari ruas yang ada mungkin berbeda dengan persentase yang kecil. Dalam hal ini, Dial mengabaikan korelasi antarrute yang sama.



Gambar 7.10
Kota yang dilayani oleh jalan pintas dan jalan tembus

Secara praktis, Dial cenderung mengalokasikan pergerakan lebih pada jaringan jalan yang berkepadatan tinggi dan ruas jalan yang berjarak pendek, bukan pada jaringan jalan yang berkepadatan rendah dan ruas jalan yang berjarak jauh. Hal lain, strategi kodifikasi jaringan juga mempengaruhi alokasi pergerakan. Prosedur ini membutuhkan proses komputasi yang lebih rumit dibandingkan dengan metode *all-or-nothing*. Beberapa spesifikasi dibutuhkan dalam model ini, yaitu:

- model harus mempunyai peluang yang lebih besar dari nol bagi semua ruas jalan yang pantas dan peluang sama dengan nol bagi ruas jalan yang tidak sesuai.
- semua rute yang mungkin, yang mempunyai panjang yang sama, mempunyai peluang yang sama.
- jika terdapat dua atau lebih rute yang mungkin, yang mempunyai panjang yang berbeda-beda, maka rute yang lebih pendek mempunyai peluang yang lebih besar.
- pengguna dapat menentukan peluang pengalihan rute.

Penggunaan kata ‘peluang’ dalam model Dial dikecam oleh **Florian and Fox** (**1976**) yang cenderung menggunakan kata ‘proporsi’, misalnya: proporsi pergerakan yang menggunakan ruas tertentu. Selain itu, telah dibuktikan juga bahwa anomali dalam pemilihan rute yang dihasilkan oleh algoritma Dial berkaitan dengan aksioma *Independence-from-Irrelevant-Alternatives* (IIA).

Hal yang sangat menarik dari model Dial adalah pasangan zona; jika rute bertambah panjang, rute tersebut akan menjadi kurang diminati serta pengguna model mempunyai fasilitas untuk mengkalibrasi algoritma sesuai dengan keperluannya. **Robillard** (**1974b**) mengembangkan suatu prosedur dengan menggunakan prinsip kemiripan-maksimum untuk mengkalibrasi parameter model Dial dengan menggunakan data arus lalulintas.

Tetapi, prosedur yang diusulkan mempunyai beberapa kerugian. Pertama, algoritma harus diterapkan untuk setiap pengulangan dalam prosedur pencarian yang dibutuhkan untuk memecahkan persamaan kemiripan-maksimum-tidak-linear. Hal ini menyebabkan biaya operasi sangat mahal untuk jaringan berskala medium. Kedua, data harus banyak, seperti dibutuhkannya data arus lalulintas untuk setiap ruas jalan.

Fisk (**1977**) berkesimpulan bahwa mungkin dapat dihasilkan parameter model Dial dengan menggunakan metode penaksiran kemiripan-maksimum tanpa proses yang berulang-ulang seperti yang telah dilakukan oleh **Robillard** (**1974b**). Juga, algoritma yang diusulkan oleh Fisk tersebut mengurangi kebutuhan akan data dan waktu komputasi.

Salah satu penyederhanaan yang dilakukan oleh hampir semua model pemilihan rute yang digunakan dalam perencanaan transportasi adalah adanya asumsi arus lalulintas kondisi tunak, yaitu arus lalulintas selalu konstan sepanjang waktu. Biasanya input arus yang konstan tersebut adalah arus pada jam sibuk atau rata-rata jam sibuk. **Robillard** (**1974a**) mengusulkan modifikasi model Dial yang memperhitungkan aspek dinamis dari pola arus lalulintas. Algoritma dari model modifikasi ini menggunakan secara berulang-ulang algoritma pada kondisi tunak serta prosedur transformasi Fourier.

Semua model pemilihan rute yang telah dijelaskan dalam subbab 7.3 masih mengabaikan efek kemacetan. Tetapi, model ini jauh lebih realistis jika dibandingkan dengan model *all-or-nothing* karena dapat menyebarkan pergerakan pada sistem jaringan dan memperhitungkan perbedaan persepsi antarpengendara.

7.4.4 Model perilaku-kebutuhan-akan-transportasi

Awal perkembangan metode perilaku-kebutuhan-akan-transportasi timbul dari dalil perilaku yang sederhana. Pertama, dalil ini menyatakan bahwa seseorang memilih rute dari beberapa rute alternatif berdasarkan perbandingan tingkat pelayanan yang diberikan sistem transportasi dan sistem aktivitas yang tergantung pada sifat seseorang. Kedua, dalil tersebut menyatakan bahwa keputusan yang diambil seseorang dapat dimodelkan dengan menggunakan peluang pemilihan, dan peluang ini harus sesuai dengan teori dasar peluang seperti yang ditunjukkan pada persamaan berikut.

$$\mathbf{0} < p^i_k < \mathbf{1} \qquad \text{untuk semua } \boldsymbol{i} \text{ dan } \boldsymbol{k} \tag{7.19}$$

$$p^i_k = \mathbf{1} \qquad \text{untuk semua } \boldsymbol{i} \tag{7.20}$$

p^i_k = peluang orang $\boldsymbol{i}$ memilih alternatif $\boldsymbol{k}$

n_i = semua set alternatif yang tersedia untuk rute $\boldsymbol{i}$

Keputusan yang diambil manusia merupakan peluang alamiah, tetapi pengambilan keputusan ini didasari oleh pertimbangan manfaat. Manfaat setiap alternatif memberikan dasar untuk memperkirakan peluang pemilihan setiap alternatif. Dalam pendekatan psikologi untuk teori perilaku perjalanan, diasumsikan alternatif ***j*** mempunyai kegunaan U_{ij}, yang merupakan fungsi dari sifat alternatif X_j, dan sifat perorangan S_i, seperti yang ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$U_{ij} = U(X_j, S_i) \tag{7.21}$$

Semakin tinggi manfaat suatu rute dibandingkan dengan rute lain, semakin tinggi pula peluang orang yang memilih rute tersebut. Karena peluang pemilihan rute berbanding lurus dengan manfaatnya, maka perbandingan peluang sebagai perbandingan manfaat dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\frac{P_a^i}{P_b^i} = \frac{U(X_a, S_i)}{U(X_b, S_i)} \tag{7.22}$$

dengan: P^i_a dan P^i_b = peluang orang ***i*** memilih alternatif ***a*** dan ***b***

Tanpa kehilangan sifat-sifatnya, bentuk fungsi dapat diasumsikan sebagai bentuk eksponensial, seperti yang diperlihatkan pada persamaan berikut:

$$U(X_j, S_i) = \exp\{V(X_j, S_i)\} \tag{7.23}$$

Tetapi, persamaan dapat juga dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$\frac{P_a^i}{P_b^i} = \frac{\exp\{V(X_a, S_i)\}}{\exp\{V(X_b, S_i)\}} \tag{7.24}$$

Jika hanya terdapat dua alternatif dalam kumpulan alternatif yang ada, berdasarkan teori peluang, maka peluang orang ***i*** memilih alternatif ***a*** dan ***b*** berturut-turut adalah sebagai berikut:

$$P_a^i = \frac{\exp\{V(X_a, S_i)\}}{\exp\{V(X_a, S_i)\} + \exp\{V(X_b, S_i)\}} \tag{7.25a}$$

$$P_b^i = \frac{\exp\{V(X_b, S_i)\}}{\exp\{V(X_a, S_i)\} + \exp\{V(X_b, S_i)\}} \tag{7.25b}$$

atau:

$$P_a^i = \frac{\exp\{V(X_a - X_b, S_i)\}}{1 + \exp\{V(X_a - X_b, S_i)\}} \tag{7.26a}$$

$$P_b^i = \frac{1}{1 + \exp\{V(X_a - X_b, S_i)\}} \tag{7.26b}$$

Persamaan di atas disebut sebagai model logit-biner standar. **HSU (1983)** memakai persamaan ini dengan mengasumsikan fungsi manfaat sebagai berikut:

$$F(X_a - X_b, S_i) = F(X) \tag{7.27}$$

dan memilih $\mathbf{F}(\boldsymbol{X})$ sebagai:

$$\mathbf{F}(\boldsymbol{X}) = \boldsymbol{Q}_0 + \boldsymbol{Q}_1\boldsymbol{X}_1 + \boldsymbol{Q}_2\boldsymbol{X}_2 + \boldsymbol{Q}_3\boldsymbol{X}_3 + \ldots + \boldsymbol{Q}_K\boldsymbol{X}_K \quad (7.28)$$

$\boldsymbol{Q}_i$ = koefisien yang diperkirakan (diperoleh melalui analisis regresi-linear)

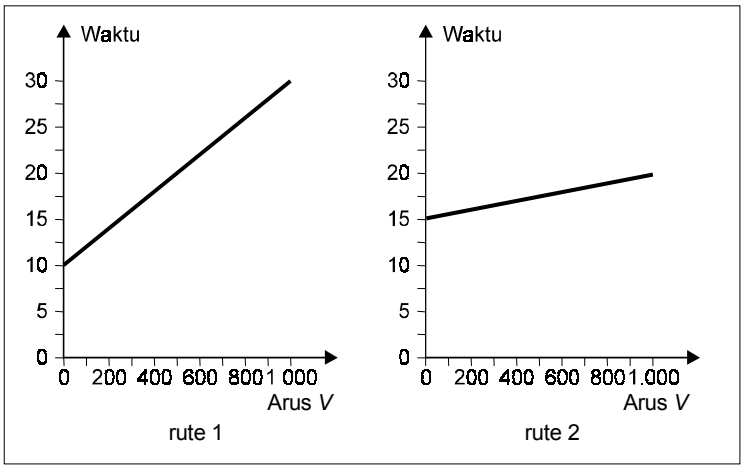
$\boldsymbol{X}_i$ = peubah keterangan yang dihitung dari kombinasi peubah rute dan pengendara

7.5 Model batasan-kapasitas

Model pemilihan rute yang diterangkan pada subbab 7.3–7.4 hanya tergantung pada asumsi pengendara dan ciri jaringan, bukan pada arus lalulintas. Dalam kondisi macet, biaya yang diperlukan setiap ruas jalan tergantung pada arusnya melalui hubungan matematis antara rata-rata biaya dengan arus lalulintas. Model yang paling sesuai untuk suatu kasus akan sangat tergantung pada ciri daerah kajian.

Tingkat kemacetan, rute alternatif dengan biayanya, dan ide pengendara sangat membantu menentukan model pemilihan rute yang terbaik untuk kasus tertentu. Beberapa model telah dikembangkan oleh para peneliti yang biasa dikenal dengan model batasan-kapasitas yang dijelaskan berikut ini (lihat juga **Van Vliet, 1976**; **Van Vliet and Dow, 1979**).

Contoh 7.4 Pertimbangkan kembali suatu pasangan antarzona dengan dua buah rute alternatif seperti yang telah didiskusikan pada subbab 7.2.2 (gambar 7.5). Asumsikan bahwa batasan kapasitas mutlak untuk setiap rute diganti dengan dua hubungan waktu–arus seperti terlihat pada gambar 7.11.



Gambar 7.11 Hubungan waktu–arus untuk gambar 7.4

Arus pada kedua rute akan berada pada kondisi keseimbangan jika biaya tiap-tiap rute kira-kira sama. Pada kasus ini, secara sederhana dapat dituliskan persamaan waktu–arus dan cara menghitungnya untuk mendapatkan solusi pada kondisi keseimbangan:

$$\boldsymbol{C}_2 = \mathbf{15} + \mathbf{0{,}005}\ \boldsymbol{V}_2 \quad (7.29a)$$

$$\boldsymbol{C}_1 = \mathbf{10} + \mathbf{0{,}02}\ \boldsymbol{V}_1 \quad (7.29b)$$

$\mathbf{C_2}$ dan $\mathbf{C_1}$ adalah biaya perjalanan melalui rute 2 dan via rute 1 dengan V_2 dan V_1 adalah besar arusnya. Secara sederhana dapat dihasilkan solusi kondisi keseimbangan sebagai fungsi dari $V_2 + V_1 = V_T$:

$$\mathbf{15 + 0{,}005}\ V_2 = \mathbf{10 + 0{,}02}\ (V_T - V_2)$$

Dihasilkan:

$$V_2 = \mathbf{0{,}8}V_T - \mathbf{200} \tag{7.30}$$

Persamaan (7.30) hanya berlaku untuk bilangan positif (untuk nilai V_T yang lebih besar atau sama dengan **200/0,8 = 250**). Untuk $V_T < 250$, $C_1 < C_2$, $V_2 = 0$ dan $V_1 = V_T$ (semua pergerakan memilih jalan tembus). Tetapi pada situasi $V_T > 250$, kedua rute sudah mulai digunakan. Contohnya, untuk V_T = **2.000**, kondisi keseimbangan tercapai pada nilai V_2 = **1.400** dan V_1 = **600,** sedangkan biaya untuk setiap rute adalah **22** menit.

Hal yang sama juga berlaku pada arus pergerakan dalam suatu jaringan jalan yang biaya perjalanannya untuk setiap rute antara dua titik adalah sama pada kondisi keseimbangan. Permasalahan ini tentu sulit dipecahkan dengan aljabar linear; untuk itu dibutuhkan suatu metode solusi algoritma yang cocok.

Beberapa teknik telah diusulkan untuk mendapatkan solusi yang cocok untuk kondisi keseimbangan Wardrop; beberapa di antaranya merupakan pendekatan heuristik sederhana, dan ada juga yang berupa suatu kerangka pemrograman matematik. Untuk membandingkan algoritma-algoritma tersebut, beberapa unjuk kerja yang dapat digunakan adalah sebagai berikut:

- apakah solusinya stabil (tidak berubah-ubah)?
- apakah solusinya akan selalu konvergen dengan solusi kondisi keseimbangan Wardrop?
- apakah algoritma tersebut efisien dalam hal waktu komputasi?

Indikator δ (lihat persamaan 7.31) sering digunakan untuk mengukur konvergensi suatu solusi dibandingkan dengan solusi pada kondisi keseimbangan Wardrop.

$$\delta = \frac{\sum_i \sum_d \sum_r T_{id}^r \left(C_{id}^r - C_{id}^*\right)}{\sum_i \sum_d T_{id} C_{id}^*} \tag{7.31}$$

$C_{id}^r - C_{id}^*$ adalah kelebihan biaya perjalanan pada suatu rute, relatif terhadap biaya perjalanan minimum pada pasangan (***i***,***d***). Biaya ini dihitung setelah setiap pengulangan dilakukan dan total arus dihasilkan untuk setiap ruas jalan. Karena itu, nilai δ adalah suatu ukuran total kelebihan biaya perjalanan dibandingkan dengan biaya rute optimal. Semakin kecil nilai δ, kondisinya semakin mendekati kondisi keseimbangan Wardrop.

Teori mengenai arus lalulintas dinamis menerangkan bahwa waktu tempuh akan beragam pada suatu rute, tergantung pada arus lalulintas yang menggunakannya. Jadi, jelaslah bahwa waktu tempuh yang digunakan dalam beberapa model akan berubah sesuai dengan arus lalulintas, dan waktu tersebut tidak tetap seperti pada

saat tidak-ada-arus. Model pembebanan yang memperhitungkan faktor ini disebut model batasan-kapasitas.

Model ini mempunyai batasan kapasitas; terdapat hubungan antara biaya dan arus lalulintas melalui hubungan matematis. Beberapa metode heuristik masih menggunakan ide bahwa semua pergerakan dibebankan pada rute tertentu saja (*all-or-nothing*), tetapi mulai memperhitungkan fakta yang menyatakan kaitan antara arus pergerakan dan kecepatan serta biaya transportasi. Beberapa model dijelaskan secara singkat berikut ini.

7.5.1 Metode *all-or-nothing*-berulang

Pada pengulangan ke-**1**, MAT dibebankan ke jaringan jalan dengan menggunakan model *all-or-nothing*. Biaya setiap ruas jalan kemudian dihitung kembali sesuai dengan hubungan matematis antara Biaya−Arus, dan pada pengulangan berikutnya MAT dibebankan kembali ke jaringan jalan sesuai dengan biaya yang baru. Hal ini dilakukan berulang kali sampai perubahan biaya di setiap ruas jalan menjadi sangat kecil. Sangat mudah dipahami bahwa secara umum solusinya beroksilasi dan sering tidak bisa konvergen.

Pada contoh 7.4, untuk V_T**>250**, arus akan beroksilasi antara semua yang menggunakan jalan tembus pada satu pengulangan dan semua yang melalui jalan pintas pada pengulangan berikutnya. Fenomena ini akan berulang pada jaringan yang lebih luas, yang dalam beberapa kasus, solusinya sangat sulit didapatkan.

Sebagai salah satu usaha untuk membatasi oksilasi tersebut, diusulkan penggunaan kecepatan rata-rata antara dua atau lebih pembebanan *all-or-nothing* untuk digunakan pada proses berikutnya. Cara ini sering dikenal dengan **perubahan-kecepatan-secara-perlahan** yang berlawanan dengan cara **perubahan-kecepatan-secara-cepat** (metode sebelumnya). Tetapi, cara ini hanya mengindikasikan perbaikan kelemahan kedua metode ini, yang masih membebankan pergerakan pada jaringan jalan hanya pada satu rute saja; sudah tentu ini tidak sesuai dengan model keseimbangan Wardrop.

Pada contoh 7.4, dengan mudah dapat dilihat bahwa metode perubahan-kecepatan-secara-perlahan masih membebankan semua pergerakan pada satu rute pada pengulangan **1** dan rute lainnya pada pengulangan berikutnya. Kedua metode tersebut menghasilkan solusi yang tidak stabil dan tidak konvergen; penggunaan metode perubahan-kecepatan-secara-perlahan hanya akan mengabaikan efek ini, khususnya untuk jaringan yang luas. Dalam bentuk algoritma, kedua metode tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut:

1 Pilih suatu set inisial biaya, biasanya waktu tempuh dalam kondisi arus bebas; set $n = 0$;

2 Bentuk suatu set pohon biaya minimum dan bebankan MAT (*all-or-nothing*) untuk mendapatkan suatu set biaya yang baru; tingkatkan nilai n sebesar **1** (set $n = n+1$);

3 (a) **Perubahan-kecepatan-secara-cepat**: hitung kembali biaya ruas sesuai dengan arus yang baru;

(b) **Perubahan-kecepatan-secara-perlahan**: hitung biaya ruas dengan nilai sebesar rata-rata biaya yang dihasilkan oleh pengulangan sebelumnya dengan biaya yang dihitung oleh tahap (**a**);

4 Jika arus atau biaya tidak berubah secara sangat nyata pada dua pengulangan yang berurutan, maka **stop**; **jika tidak**, teruskan ke tahap **(2)**.

Seperti telah disarankan di atas, algoritma ini mungkin tidak akan pernah berhenti pada tahap (**4**), kecuali ditentukan batas jumlah pengulangan maksimum.

7.5.2 Metode pembebanan-bertahap

Ini adalah metode pendekatan yang sangat menarik dan realistis. Dalam kasus ini, prinsip utama model ini adalah membagi MAT total menjadi beberapa bagian MAT (misalnya 10%) dengan menggunakan suatu set faktor proporsional $\boldsymbol{p_n = 0{,}1}$ dengan $\sum_n \boldsymbol{p_n = 1}$. Setiap bagian dari MAT tersebut dibebankan ke jaringan jalan, secara bertahap, masing-masing dihitung dengan menggunakan biaya yang dihasilkan oleh arus yang dihasilkan sebelumnya.

Jadi, dalam setiap pembebanan, biaya dihitung kembali berdasarkan hubungan matematis Biaya−Arus. Proses ini diulang kembali sampai semua MAT dibebankan. Ketepatan model ini tergantung pada ukuran proporsi MAT yang dibebankan. Nilai tipikal untuk $\boldsymbol{p_n}$ adalah **0,1.** Algoritma yang digunakan dapat ditulis sebagai berikut:

1 Pilih suatu set biaya ruas, biasanya waktu tempuh dalam kondisi arus bebas. Inisialisasikan semua arus $\boldsymbol{V_a = 0}$; pilih suatu set fraksi $\boldsymbol{p_n}$ dari MAT **T** sehingga $\sum_n \boldsymbol{p_n = 1}$; buat $\boldsymbol{n = 0}$;

2 Bentuk suatu set pohon biaya minimum (satu untuk setiap simpul asal) dengan menggunakan biaya yang ada; buat $\boldsymbol{n = n+1}$;

3 Bebankan $\boldsymbol{T_n = p_n.T}$ dengan menggunakan pembebanan *all-or-nothing* pada setiap pohon tersebut untuk mendapatkan nilai arus $\boldsymbol{F_l}$; akumulasikan arus-arus tersebut untuk setiap ruas jalan:

$$\boldsymbol{V_l^n = V_l^{n-1} + F_l} \tag{7.32}$$

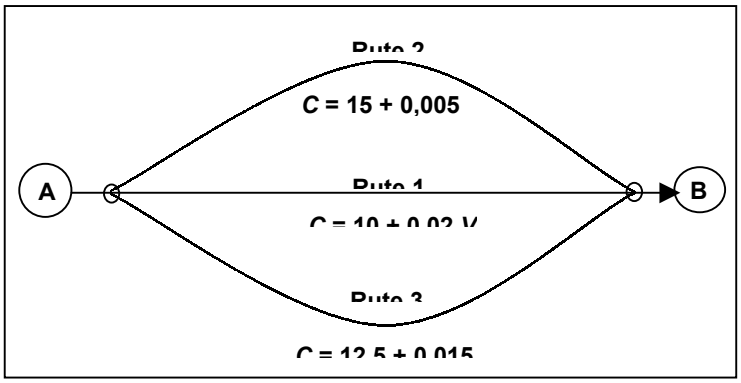
4 Hitung suatu set biaya ruas yang baru berdasarkan arus sebesar $\boldsymbol{V_l^n}$; jika bagian MAT belum selesai dibebankan, kerjakan tahap (**2**); jika sudah, **stop**.

Algoritma ini tidak selalu harus sesuai dengan solusi pada kondisi keseimbangan meskipun jumlah fraksi $\boldsymbol{p}$ sangat besar dan ukuran $\boldsymbol{p_n T}$ sangat kecil. Pembebanan dengan jenis seperti ini mempunyai batasan: jika arus sudah dibebankan pada suatu ruas, maka arus tersebut tidak bisa dipindahkan atau dibebankan ke tempat lain. Oleh karena itu, jika seseorang pada pengulangan pertama membebankan arus cukup besar yang tidak sesuai dengan hasil kondisi keseimbangan, maka algoritma tersebut tidak akan pernah konvergen ke solusi yang benar. Tetapi, metode pembebanan-bertahap mempunyai dua keuntungan:

- sangat mudah diprogram;

- hasilnya bisa digunakan untuk melihat evolusi terjadinya kemacetan pada jam sibuk.

Contoh 7.5 Pertimbangkan kembali sepasang zona asal–tujuan dengan tiga buah rute alternatif yang mempunyai hubungan biaya–arus yang berbeda-beda seperti terlihat pada gambar 7.12. Terdapat pergerakan sebesar **2.000** kendaraan yang akan bergerak dari zona asal **A** ke zona tujuan **B**. Berikut ini diberikan beberapa contoh pembebanan-bertahap dengan berbagai kombinasi fraksi pembebanan.



Gambar 7.12 Pasangan zona asal–tujuan yang mempunyai tiga rute alternatif

Terdapat 5 contoh kasus yang akan dibahas, yaitu:

- Kasus 1: fraksi pembebanan seragam sebesar 25%
- Kasus 2: fraksi pembebanan seragam sebesar 10%
- Kasus 3: fraksi pembebanan seragam sebesar 5%
- Kasus 4: fraksi pembebanan tidak seragam: 40%, 30%, 20%, dan 10%.
- Kasus 5: fraksi pembebanan tidak seragam: 10%, 20%, 30%, dan 40%.

Kasus 1 Kita bagi pergerakan (2.000 kendaraan) menjadi empat bagian fraksi seragam dengan persentase sebesar **25%**, yaitu sebesar **500** pergerakan. Pada setiap pentahapan, kita hitung biaya perjalanan yang baru sesuai dengan persamaan biaya–arus pada gambar 7.12. Hasilnya disajikan pada tabel 7.3 berikut.

Tabel 7.3 Arus dan biaya setiap rute dengan metode pembebanan-bertahap (fraksi seragam 25%)

Pembebanan ke-	*F*	Rute 1		Rute 2		Rute 3	
		Arus	Biaya	Arus	Biaya	Arus	Biaya
0	**0**	0	**10**	0	15	0	12,5
1	**500**	500	20	0	15	0	**12,5**
2	**500**	500	20	0	**15**	500	20
3	**500**	500	20	500	**17,5**	500	20
4	**500**	500	**20**	1.000	**20**	500	**20**
Total	**2.000**						

Pada pembebanan ke-**0** (***F*=0**) terlihat bahwa rute **1** mempunyai biaya terkecil sebesar **10** sehingga menjadi rute terbaik bagi pembebanan berikutnya. Pada pembebanan ke-**1**, arus sebesar **500** akan dibebankan ke rute **1** sehingga biayanya berubah menjadi **20**, sedangkan biaya rute lainnya tidak berubah.

Setelah pembebanan ke-**1**, terlihat bahwa rute **3** mempunyai biaya terkecil sebesar **12,5** dan menjadi rute terbaik bagi pembebanan ke-**2**. Setelah pembebanan ke-**2**, terlihat bahwa rute **2** mempunyai biaya terkecil sebesar **15** dan menjadi rute terbaik bagi pembebanan ke-**3**. Setelah pembebanan ke-**3**, terlihat bahwa rute **2** masih mempunyai biaya terkecil sebesar **17,5** dan menjadi rute terbaik bagi pembebanan ke-**4**. Akhirnya, setelah pembebanan terakhir (ke-**4**), dihasilkan besar arus dan biaya setiap rute. Terlihat bahwa biaya setiap rute adalah sama, yaitu sebesar **20**.

Terlihat bahwa algoritma mencapai konvergen dengan solusi kondisi keseimbangan Wardrop. Nilai indikator δ untuk solusi yang dihasilkan adalah:

$$\delta = [500(20 - 20) + 1.000(20 - 20) + 500(20 - 20)]/(2.000 \times 20) = 0$$

Jika dibandingkan dengan model *all-or-nothing* yang seluruh pergerakannya (**2.000**) akan menggunakan rute **1**, sedangkan rute **2** dan **3** tidak digunakan sama sekali, dapat disimpulkan bahwa metode pembebanan-bertahap ini lebih sesuai dengan kenyataan di lapangan. Terlihat pula bahwa jika digunakan metode pembebanan-bertahap dengan fraksi seragam 50%, hasilnya masih lebih baik dibandingkan dengan model *all-or-nothing*, meskipun belum konvergen dengan kondisi keseimbangan Wardrop.

Kasus 2 Kita bagi pergerakan (2.000 kendaraan) menjadi sepuluh bagian fraksi seragam dengan persentase sebesar **10%**, yaitu sebesar **200** pergerakan. Pada setiap pentahapan, kita hitung biaya perjalanan yang baru sesuai dengan persamaan biaya–arus pada gambar 7.12. Hasilnya disajikan pada tabel 7.4 berikut.

Tabel 7.4 Arus dan biaya setiap rute dengan metode pembebanan-bertahap (fraksi seragam 10%)

Pembebanan ke-	*F*	Rute 1		Rute 2		Rute 3	
		Arus	Biaya	Arus	Biaya	Arus	Biaya
0	**0**	0	**10**	0	15	0	12,5
1	**200**	200	14	0	15	0	**12,5**
2	**200**	200	**14**	0	15	200	15,5
3	**200**	400	18	0	**15**	200	15,5
4	**200**	400	18	200	16	200	**15,5**
5	**500**	400	18	200	**16**	400	18,5
6	**500**	400	18	400	**17**	400	18,5
7	**500**	400	**18**	600	**18**	400	18,5
8	**500**	500	20	700	**18,5**	400	**18,5**
9	**500**	500	20	800	**19**	500	20
10	**500**	500	**20**	1.000	**20**	500	**20**
Total	**2.000**						

Terlihat bahwa algoritma mencapai konvergen dengan solusi kondisi keseimbangan Wardrop setelah seluruh pergerakan dibebankan. Nilai indikator δ untuk solusi yang dihasilkan adalah:

$$\delta = [500(20 - 20) + 1.000(20 - 20) + 500(20 - 20)]/(2.000 \times 20) = 0$$

Kasus 3 Kita bagi pergerakan (2.000 kendaraan) menjadi dua puluh bagian fraksi seragam dengan persentase sebesar **5%**, yaitu sebesar **100** pergerakan. Pada setiap pentahapan, kita hitung biaya perjalanan yang baru sesuai dengan persamaan biaya–arus pada gambar 7.12. Hasilnya disajikan pada tabel 7.5 berikut.

Terlihat bahwa setelah seluruh pergerakan dibebankan, algoritma tidak mencapai konvergen dengan solusi kondisi keseimbangan Wardrop. Hal ini karena arus pada rute **1** sedikit berada di atas perkiraan dan metode ini tidak dapat menguranginya. Nilai indikator δ untuk solusi yang dihasilkan adalah:

$$\delta = [550(21 - 19{,}75) + 950(19{,}75 - 19{,}75) + 500(20 - 19{,}75)]/(2.000 \times 19{,}75) = 0{,}0206$$

Tabel 7.5 Arus dan biaya setiap rute dengan metode pembebanan-bertahap (fraksi seragam 5%)

Pembebanan ke-	*F*	Rute 1		Rute 2		Rute 3	
		Arus	Biaya	Arus	Biaya	Arus	Biaya
0	**0**	0	**10**	0	15	0	12,5
1	**100**	100	**12**	0	15	0	12,5
2	**100**	200	14	0	15	0	**12,5**
3	**100**	200	**14**	0	15	100	**14**
4	**100**	250	15	0	15	150	**14,75**
5	**100**	250	**15**	0	**15**	250	16,25
6	**100**	300	16	50	**15,25**	250	16,25
7	**100**	300	16	150	**15,75**	250	16,25
8	**100**	300	16	250	16,25	250	16,25
9	**100**	400	18	250	**16,25**	250	**16,25**
10	**100**	400	18	300	**16,5**	300	17
11	**100**	400	18	400	**17**	300	**17**
12	**100**	400	18	450	**17,25**	350	17,75
13	**100**	400	18	550	**17,75**	350	**17,75**
14	**100**	400	**18**	600	**18**	400	18,5
15	**100**	450	19	650	**18,25**	400	18,5
16	**100**	450	19	750	18,75	400	**18,5**
17	**100**	450	19	750	**18,75**	500	20
18	**100**	450	**19**	850	19,25	500	20
19	**100**	550	21	850	**19,25**	500	20
20	**100**	550	21	950	**19,75**	500	20
Total	**2.000**						

Kasus 4 Kita bagi pergerakan (2.000 kendaraan) menjadi empat bagian fraksi tidak seragam dengan persentase (**0,4**; **0,3**; **0,2**; **0,1**), yaitu sebesar **800**, **600**, **400**, dan **200** pergerakan. Hasilnya disajikan pada tabel 7.6 berikut.

Tabel 7.6 Arus dan biaya setiap rute dengan metode pembebanan-bertahap (fraksi tidak seragam 40%, 30%, 20%, dan 10%)

Pembebanan ke-	*F*	Rute 1		Rute 2		Rute 3	
		Arus	Biaya	Arus	Biaya	Arus	Biaya
0	**0**	0	**10**	0	15	0	12,5
1	**800**	800	26	0	15	0	**12,5**
2	**600**	800	26	0	**15**	600	21,5
3	**400**	800	26	400	**17**	600	21,5
4	**200**	800	26	600	**18**	600	21,5
Total	**2.000**						

Terlihat bahwa setelah seluruh pergerakan dibebankan, algoritma tidak mencapai konvergen dengan solusi kondisi keseimbangan Wardrop. Hal ini karena sekali arus (**800**) yang terlalu besar dibebankan ke rute 1, metode ini tidak dapat menguranginya. Karena itu, arus dan biaya yang melalui rute **1** berada di atas perkiraan. Nilai indikator δ untuk solusi yang dihasilkan adalah:

$$\delta = [800(26 - 18) + 600(18 - 18) + 600(21{,}5 - 18)]/(2.000 \times 18) = 0{,}2361$$

Kasus 5 Kita bagi pergerakan (2.000 kendaraan) menjadi empat bagian fraksi tidak seragam dengan persentase (**0,1**; **0,2**; **0,3**; **0,4**), yaitu sebesar 200, 400, 600, dan 800 pergerakan. Hasilnya disajikan pada tabel 7.7 berikut.

Tabel 7.7 Arus dan biaya setiap rute dengan metode pembebanan-bertahap (fraksi tidak seragam 10%, 20%, 30%, dan 40%)

Pembebanan ke-	*F*	Rute 1		Rute 2		Rute 3	
		Arus	Biaya	Arus	Biaya	Arus	Biaya
0	**0**	0	**10**	0	15	0	12,5
1	**200**	200	14	0	15	0	**12,5**
2	**400**	200	14	0	**15**	400	18,5
3	**600**	200	**14**	600	18	400	18,5
4	**800**	1.000	30	600	**18**	400	21,5
Total	**2.000**						

Terlihat bahwa setelah seluruh pergerakan dibebankan, algoritma tidak mencapai konvergen dengan solusi kondisi keseimbangan Wardrop. Hal ini disebabkan karena pada pengulangan ke-**4**, arus sebesar **800** yang terlalu besar dibebankan ke rute **1** dan setelah itu metode ini tidak dapat menguranginya. Karena itu, arus dan biaya yang melalui rute **1** berada di atas perkiraan. Nilai indikator δ untuk solusi yang dihasilkan adalah:

$$\delta = [1.000(30 - 18) + 600(18 - 18) + 400(21{,}5 - 18)]/(2.000 \times 18) = 0{,}3722$$

Dengan mengkaji hasil contoh kasus 1–5, pembaca dapat memverifikasi bahwa penggunaan fraksi pentahapan yang semakin kecil secara umum akan menghasilkan solusi yang semakin mendekati solusi kondisi keseimbangan Wardrop. Akan tetapi, hal ini pun tidak selalu benar (lihat contoh kasus 3). Meskipun fraksi pentahapan

yang digunakan sebesar 5%, hasil akhirnya belum mencapai kondisi keseimbangan; sementara itu dengan fraksi pentahapan sebesar 25% dan 10%, ternyata keduanya dapat menghasilkan solusi kondisi keseimbangan.

Salah satu kelemahan yang ditemukan pada metode pembebanan-bertahap adalah bahwa jika salah satu ruas terlanjur mendapat beban yang terlalu besar akibat pembebanan model *all-or-nothing*, maka metode pembebanan-bertahap akan sulit mengurangi besarnya arus tersebut seperti terlihat pada contoh kasus 1–5. Permasalahan ini dapat ditanggulangi dengan menggunakan metode pembebanan-kuantal yang akan diterangkan pada subbab 7.5.5.

7.5.3 Metode pembebanan stokastik dengan batasan-kapasitas

Contoh dari jenis model ini diusulkan oleh **Florian** (**1974**). Beliau mengembangkan lanjutan algoritma Dial dengan memperhitungkan efek arus lalulintas terhadap biaya melalui hubungan biaya–arus.

7.5.4 Metode pembebanan-berulang

Algoritma berulang ini dikembangkan untuk mengatasi masalah pengalokasian arus lalulintas yang terlalu tinggi ke ruas jalan yang berkapasitas rendah. Dalam algoritma berulang ini, arus pada suatu ruas dihitung sebagai kombinasi linear antara arus yang dihasilkan oleh pengulangan terakhir dan arus yang dihasilkan dari hasil pembebanan *all-or-nothing* pada pengulangan sekarang.

Jadi, prinsip model ini adalah membebani semua MAT ke jaringan jalan secara berulang; setelah setiap pembebanan, arus lalulintas dihitung kembali sebagai kombinasi linear antara arus yang didapat pada pengulangan ke-$\boldsymbol{n}$ dan ke-($\boldsymbol{n-1}$). Algoritma metode ini adalah sebagai berikut:

1 Pilih satu set data biaya, biasanya digunakan data waktu tempuh pada kondisi arus bebas. Inisialisasi semua arus $V_l^{(n)} = \mathbf{0}$; set $\boldsymbol{n} = \mathbf{0}$;

2 Bentuk satu set pohon dari biaya minimum; set $\boldsymbol{n} = \boldsymbol{n}+\mathbf{1}$;

3 Bebankan semua MAT **T** dengan menggunakan *all-or-nothing* untuk menghasilkan arus $\boldsymbol{F_l}$;

4 Hitung arus pada saat sekarang:

$$V_l^{(n)} = (\mathbf{1}-\phi).V_l^{(n-1)} + \phi.F_l \qquad (7.33)$$

ϕ : parameter dengan nilai $\mathbf{0-1}$.

$V_l^{(n)}$: arus lalulintas yang dihasilkan oleh pengulangan ke-$\boldsymbol{n}$.

$\boldsymbol{F_l}$: arus lalulintas yang dihasilkan oleh model *all-or-nothing* dengan biaya perjalanan yang dihasilkan oleh pengulangan ke-($\boldsymbol{n-1}$).

$V_l^{(n-1)}$: arus lalulintas yang dihasilkan oleh pengulangan ke-($\boldsymbol{n-1}$).

5 Hitung satu set baru biaya berdasarkan arus $V_l^{(n)}$. Jika arus tersebut tidak berubah secara nyata pada dua pengulangan yang berurutan, **stop**; **jika tidak**, teruskan ke tahap (**2**).

Indikator δ dapat digunakan untuk menentukan kapan stop atau tidak. Cara lain adalah dengan menetapkan jumlah pengulangan maksimum; δ harus dihitung untuk menentukan apakah solusinya mendekati solusi kondisi keseimbangan. Biaya perjalanan dihitung kembali setelah setiap kombinasi arus $V_l^{(n)}$ dibebankan. Proses ini dilakukan berulang-ulang sampai batas konvergensi tercapai.

Terdapat beberapa cara memilih ϕ untuk setiap pengulangan. Yang paling populer adalah yang diusulkan oleh **Smock** (**1962**) yang menyarankan nilai ϕ harus sama dengan kebalikan dari nilai jumlah pengulangan ($\phi = 1/n$). Pembaca mungkin dapat memverifikasi bahwa pembobotan yang seimbang diberikan pada setiap arus F_l; oleh karena itu, metode ini dikenal dengan metode **rata-rata-berurutan**.

Tampak bahwa dengan membuat nilai $\phi = 1/n$ dihasilkan solusi yang konvergen dengan solusi kondisi keseimbangan, meskipun metodenya tidak begitu efisien. Pada subbab 7.6 dapat dilihat bahwa algoritma Frank–Wolfe dapat menghitung nilai optimal ϕ untuk menjamin dan mempercepat konvergensi.

Contoh 7.6 Pertimbangkan permasalahan pada contoh 7.5 dan penggunaan nilai $\phi = 1/n$. Tabel 7.8–7.9 menjelaskan tahap-tahap dalam algoritma metode rata-rata berurutan yang masing-masing menggunakan nilai $\phi = 0{,}5$ dan nilai $\phi = 1/n$.

Tabel 7.8 Arus dan biaya setiap rute dengan metode pembebanan-berulang (ϕ=**0,5**)

Pembebanan ke-		ϕ	Rute 1		Rute 2		Rute 3	
			Arus	Biaya	Arus	Biaya	Arus	Biaya
1	V_0		0	**10**	0	15	0	12,5
	F	0,5	2.000		0		0	
2	V_0		1.000	30	0	15	0	**12,5**
	F	0,5	0		0		2.000	
3	V_0		500	20	0	**15**	1.000	27,5
	F	0,5	0		2.000		0	
4	V_0		250	**15**	1.000	20	500	20
	F	0,5	2.000		0		0	
5	V_0		1.125	32,5	500	17,5	250	**16,25**
	F	0,5	0		0		2.000	
6	V_0		562,5	21,25	250	**16,25**	1.125	29,38
	F	0,5	0		2.000		0	
7	V_0		281,25	**15,63**	1.125	20,63	562,5	20,94
	F	0,5	2.000		0		0	
8	V_0		1.140,6	32,81	562,5	17,81	281,25	**16,72**
	F	0,5	0		0		2.000	
9	V_0		570,31	21,41	281,25	**16,41**	1.140,6	29,61
	F	0,5	0		2.000		0	
10	V_0		285,16	**15,7**	1.140,6	20,7	570,3	21,05
	F	0,5	2.000		0		0	
	V_0		1.142,6	32,85	570,31	17,85	285,16	**16,78**

Terlihat bahwa setelah pengulangan ke-**10**, kondisi keseimbangan Wardrop belum juga tercapai. Para pembaca dapat pula memperhatikan bahwa hasil algoritma ini sudah mendekati solusi kondisi keseimbangan pada pengulangan ke-**3**, **6**, dan **9**. Hal ini disebabkan karena kakunya penentuan nilai ϕ. Berikut ini diberikan contoh penggunaan nilai $\phi = 1/n$ seperti yang disarankan oleh **Smock (1962)**.

Tabel 7.9 Arus dan biaya setiap rute dengan metode pembebanan-berulang (ϕ=1/*n*)

Pembebanan ke-		ϕ	Rute 1		Rute 2		Rute 3	
			Arus	Biaya	Arus	Biaya	Arus	Biaya
1	V_0		0	**10**	0	15	0	12,5
	F	1	2.000		0		0	
2	V_0		1.000	30	0	15	0	**12,5**
	F	0,5	0		0		2.000	
3	V_0		1.000	30	0	**15**	1.000	27,5
	F	0,33			2.000		0	
4	V_0		666,67	23,33	666,67	**18,33**	666,67	22,5
	F	0,25	0		2.000		0	
	V_0		500	**20**	1.000	**20**	500	**20**

Tampak dibutuhkan beberapa pengulangan untuk menghasilkan solusi yang benar. Sudah tentu, nilai δ pada pengulangan ke-**4** adalah nol.

Untuk jaringan yang lebih realistik dapat diperkirakan bahwa jumlah pengulangan yang dibutuhkan akan sangat besar. Hal lain yang dapat dipelajari adalah bahwa menetapkan jumlah pengulangan maksimum bukanlah pendekatan yang baik jika dilihat dari sisi evaluasi. Ruas dan total biaya dapat sangat beragam pada setiap pengulangan.

7.5.5 Metode pembebanan-kuantal

Tahapan dalam metode pembebanan matriks permintaan pergerakan yang telah diterangkan sebelumnya secara umum adalah menetapkan biaya arus, menghitung biaya minimum setiap rute untuk seluruh pergerakan dari setiap zona asal ***i*** ke setiap zona tujuan ***d***; sementara itu, setiap perubahan biaya di ruas jalan hanya dilakukan pada saat akhir proses. Sebaliknya, metode pembebanan-kuantal memungkinkan perubahan biaya setiap ruas dilakukan selama prosedur pembebanan dilakukan dengan algoritma sebagai berikut:

1 Hitung biaya setiap ruas pada saat kondisi arus bebas dan inisialisasi semua arus $F_l = 0$;

2 Hitung satu set pohon dari biaya minimum untuk setiap rute dan bebani T_{id} pada rute tersebut, dan hitung kembali nilai arus F_l;

3 Apabila seluruh asal perjalanan telah dibebani, **stop**; **jika tidak,** hitung biaya ruas berdasarkan $C_l(F_l)$ dan kembali ke tahap (**2**).

Keuntungan metode pembebanan-kuantal ini adalah bahwa bila suatu ruas jalan tertentu dibebani terlalu berlebihan pada saat awal pembebanan, biayanya akan

bertambah sehingga pada pengulangan berikutnya ruas tersebut akan menerima lalulintas lebih sedikit. Pendekatan ini memungkinkan metode ini menghasilkan penyebaran pergerakan secara lebih baik. Karena itu, pada prosedur pembebanan keseimbangan, metode pembebanan-kuantal cenderung menghasilkan nilai awal yang lebih baik dibandingkan dengan model *all-or-nothing*.

Keuntungan lain pendekatan ini adalah bahwa metode ini cenderung mencegah terjadinya rute yang 'tidak masuk akal' yang dihasilkan oleh model *all-or-nothing*. Rute yang tidak masuk akal ini terjadi bila ruas-ruas tertentu mendapat beban arus lalulintas terlalu besar yang melebihi kapasitasnya pada saat awal pembebanan sehingga menghasilkan biaya yang sangat tinggi. Kondisi ini akan mengakibatkan rute tersebut menjadi rute yang tidak pernah dipertimbangkan lagi oleh para pengendara dalam menentukan rute terbaiknya.

7.5.6 Metode pembebanan-banyak-rute

Pengendara diasumsikan mengambil rute tercepat, tetapi tidak yakin mana rute tercepat itu. Cerminan waktu tempuh untuk setiap rute yang dianggap oleh pengendara sebagai rute tercepat dihasilkan dengan pemilihan secara acak dari suatu sebaran yang mempunyai rata-rata waktu tempuh sebenarnya dari rute tersebut. Hanya satu rute saja yang akan digunakan antara setiap zona ***i*** dan ***d***; penjumlahan arus lalulintas antara zona ***i*** dan ***d*** menghasilkan tingkat keacakan dari pembebanan tersebut.

7.5.7 Metode pembebanan-berpeluang

Ini digunakan jika setiap alternatif rute dari zona ***i*** ke zona ***d*** dialokasikan kepada peluang yang akan digunakan oleh pengendara antara dua zona. Bila peluang setiap alternatif rute digabung, hasilnya menjadi satu. Metode pembebanan Dial (**1971**) didasari kenyataan bahwa rute panjang mempunyai peluang lebih kecil daripada rute pendek. Rute pendek mempunyai kemungkinan lebih besar untuk digunakan.

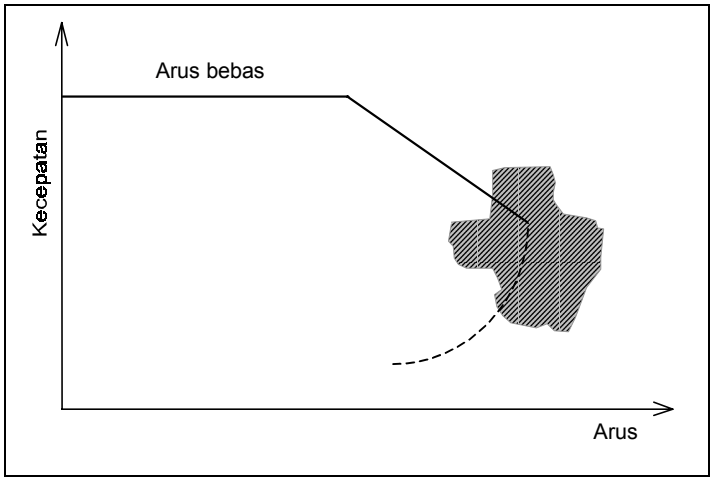
Dalam menggunakan batasan-kapasitas dengan metode *all-or-nothing*, rute terpendek akan berubah jika arus lalulintas berubah pada jaringan jalan tersebut. Dengan pembebanan banyak-rute, waktu tempuh sebenarnya berubah dengan berubahnya arus lalulintas dan karena itu waktu tempuh yang dipilih secara acak juga akan berubah. Dengan pembebanan-berpeluang, peluang untuk memilih rute tertentu akan berubah jika arus lalulintas pada rute tersebut (dan rute-rute lainnya) juga berubah.

Untuk menggunakan batasan-kapasitas diperlukan hubungan antara waktu tempuh dan arus lalulintas, yang dapat dikalibrasi untuk daerah kajian tertentu. Salah satu masalah dan batasan-kapasitas adalah mengetahui kapan proses interaksi tersebut selesai. **Davidson** (**1966**) menerangkan hubungan arus–waktu tempuh yang sangat berguna dari segi teori, meskipun hubungan-hubungan lainnya yang lebih sederhana juga sering digunakan.

Apa sajakah yang diperlukan oleh suatu model untuk mengalokasikan lalulintas pada beberapa alternatif rute sehingga semua waktu tempuh akan sama untuk setiap rute (prinsip I Wardrop). Ini memerlukan waktu proses yang sangat lama untuk

jaringan yang luas, meskipun menggunakan komputer canggih sekalipun. Dengan batasan-kapasitas, semua pergerakan dibebankan ke jaringan jalan sekaligus, sebelum proses pengulangan dimulai, atau pergerakan tersebut dibebankan sedikit demi sedikit (pembebanan-bertahap) dengan jumlah yang semakin besar untuk setiap pengulangan.

Teknik pembebanan batasan-kapasitas tergantung pada hubungan antara arus lalulintas dan kecepatan; kendaraan bergerak pada kondisi arus lalulintas (hubungan antara arus dan kecepatan). Secara umum, hubungan tersebut dinyatakan dalam gambar 7.13.



Gambar 7.13
Grafik hubungan antara arus lalulintas dan kecepatan

7.6 Model keseimbangan

Jika seseorang mengabaikan efek stokastik dan menganggap batasan-kapasitas sebagai salah satu mekanisme proses penyebaran pergerakan dalam suatu jaringan, dia harus mempertimbangkan beberapa set model. Sebagai contoh: model batasan-kapasitas harus menggunakan fungsi yang mengaitkan pergerakan dengan waktu tempuh. Model ini menggunakan prinsip keseimbangan Wardrop (**1952**).

Asumsi dasar pemodelan keseimbangan adalah, pada kondisi tidak macet, setiap pengendara akan berusaha meminimumkan biaya perjalanannya dengan beralih menggunakan rute alternatif. Bagi pengendara tersebut, biaya dari semua alternatif rute yang ada diasumsikan diketahui secara implisit dalam pemodelan. Jika tidak satu pun pengendara dapat memperkecil biaya tersebut, maka sistem dikatakan telah mencapai kondisi keseimbangan. Prinsip ini dapat didefinisikan sebagai berikut:

> *Under equilibrium conditions, traffic arranges itself in congested networks in such a way that no individual trip maker or driver can reduce his route costs by switching routes*
>
> (Dalam kondisi keseimbangan, lalulintas akan mengatur dirinya sendiri dalam jaringan yang macet sehingga tidak ada satu pun pengendara dapat mengurangi biaya perjalanannya dengan mengubah rute)

Jika semua pengendara mempunyai asumsi yang sama terhadap biaya (tidak ada efek stokastik), maka:

> *Under equilibrium conditions, traffic arranges itself in congested networks such that all used routes between an O–D pair have equal and minimum costs while all unused have greater or equal costs*
>
> (Pada kondisi keseimbangan, lalulintas akan mengatur dirinya sendiri dalam jaringan yang macet sehingga semua rute yang digunakan antarpasangan asal–tujuan mempunyai biaya yang sama dan minimum, sedangkan semua rute yang tidak digunakan mempunyai biaya sama atau lebih mahal)

Dapat disimpulkan bahwa sistem tersebut mencapai kondisi keseimbangan menurut pandangan pengguna. Oleh karena itu, kondisi ini disebut kondisi **keseimbangan-pengguna**. Model keseimbangan ini dianggap sebagai salah satu model pemilihan rute yang terbaik untuk kondisi macet.

Berikut ini akan bagian ini diulas lebih dalam metode yang dirancang khusus untuk mendapatkan pemecahan pembebanan arus lalulintas yang memenuhi prinsip I Wardrop. Dalam pembahasan ini digunakan kombinasi antara argumen analitik dan intuitif. Akan tetapi, kita tidak akan membahas lebih jauh teknik pembebanan keseimbangan. Pembaca yang tertarik mendalami aspek teori pembebanan keseimbangan ini disarankan membaca buku (**Sheffi, 1985**).

7.6.1 Pendekatan pemrograman-matematika

Pertimbangkan beberapa perilaku kondisi keseimbangan Wardrop, khususnya tentang semua rute yang digunakan (untuk pasangan Asal–Tujuan tertentu) yang mempunyai biaya perjalanan yang sama dan minimum; serta rute yang tidak digunakan yang mempunyai biaya perjalanan yang lebih mahal (minimal sama). Hal ini dapat ditulis sebagai berikut:

$$c_{idr} \begin{cases} = c^*_{id} & T^*_{idr} > 0 \\ \geq c^*_{id} & T^*_{idr} = 0 \end{cases}$$

$\{T^*_{idr}\}$ adalah set rute yang memenuhi prinsip I Wardrop dan semua biaya perjalanan dihitung setelah T_{idr} dibebankan. Dalam kasus ini, arus lalulintas dihasilkan oleh:

$$V_l = \sum_i \sum_d \sum_r T_{idr} \delta^l_{idr} \tag{7.34}$$

dan biaya sepanjang rute dapat dihitung sebagai:

$$C_{idr} = \sum_l \delta^l_{idr} c_l(V^*_l) \tag{7.35}$$

Walaupun Wardrop telah mengeluarkan prinsip keseimbangannya pada tahun 1952, baru 4 tahun kemudian ada tanggapan dari **Beckman *et al*** (**1956**) yang mengusulkan kerangka kerja yang berbasis pemrograman-matematika. Setelah itu,

masih dibutuhkan beberapa tahun lagi untuk dapat mengembangkan dan menguji algoritma yang cocok untuk penggunaan praktis.

Beckman *et al* (1956) menggunakan pendekatan pemrograman-matematika dan menyebutkan bahwa mendapatkan biaya perjalanan dan volume lalulintas yang sesuai dengan **Prinsip Keseimbangan I** dari Wardrop adalah ekivalen dengan permasalahan matematis yang meminimumkan suatu fungsi tujuan dengan batasan perilaku arus lalulintas. Permasalahan tersebut dapat ditulis:

$$\textbf{meminimumkan} \quad Z\{T_{idr}\} = \sum_{l} \int_{0}^{V_l} C_l(V).\mathrm{d}V \tag{7.36}$$

dengan batasan:

$$T_{id} = \sum_{r} T_{idr} \text{ dan } T_{idr} > 0 \tag{7.37}$$

$$V_l = \sum_{i} \sum_{d} \left(T_{id} . \delta_{idr}^{l} \right)$$

$$\delta_{idr}^{l} = \begin{cases} \textbf{1} \text{ jika ruas } \boldsymbol{l} \text{ digunakan oleh rute } \boldsymbol{r} \text{ antara } \boldsymbol{i} \text{ dan } \boldsymbol{d} \\ \textbf{0} \text{ jika sebaliknya} \end{cases}$$

T_{idr} = pergerakan dari zona ***i*** ke zona ***d*** yang menggunakan rute ***r***.

δ_{idr}^{l} = proporsi pergerakan dari zona ***i*** ke zona ***d*** yang menggunakan rute ***r*** dan ruas jalan ***l***

$C_l(V)$= hubungan matematis antara arus lalulintas dan biaya.

Fungsi tujuan di atas berkaitan dengan total luas daerah yang berada di bawah kurva hubungan biaya–arus untuk semua ruas jalan dalam jaringan tersebut. Mengapa fungsi tujuan yang perlu diminimumkan agar didapat keseimbangan Wardrop adalah salah satu hal utama yang akan kita bicarakan. Meskipun begitu, mula-mula kita harus mempertimbangkan perilaku umum pemrograman-matematika tersebut.

Batasan (7.37) telah diperkenalkan untuk meyakinkan bahwa kita akan bekerja pada ruang solusi yang diinginkan; misalnya nilai arus T_{idr} yang harus selalu positif. Peranan batasan kedua (besarnya pergerakan positif) memang penting, tetapi tidak begitu perlu pada saat sekarang ini.

Van Vliet (1979) menunjukkan bahwa fungsi tujuan **Z** selalu cembung jika fungsi biaya $C_l(V)$ meningkat dengan meningkatnya arus. **Nguyen (1974)** mengusulkan suatu algoritma yang efisien untuk memecahkan permasalahan matematis tidak-linear. **Van Vliet and Dow (1979)** juga mengusulkan algoritma yang didasari model pembebanan-berulang dengan nilai ***t*** ditentukan untuk meminimumkan fungsi tujuan **Z** untuk setiap pengulangan.

Sejak tahun 1980, penelitian secara aktif sudah dilakukan untuk memperbaiki model pemilihan rute khususnya dalam pengembangan model keseimbangan (sebagai

contoh lihat **Fisk** (**1980**); **Sheffi and Powell** (**1981**)). Pembaca yang berminat disarankan membaca buku **Sheffi** (**1985**) atau beberapa tulisan mengenai topik ini seperti **Fernandez and Friesz** (**1983**) dan **Florian and Spiess** (**1982**).

Dapat diperlihatkan bahwa fungsi tujuan **Z** adalah cembung karena turunan pertama dan keduanya mempunyai nilai positif:

$$\frac{\partial \mathbf{Z}}{\partial T_{idr}} = \frac{\partial}{\partial T_{idr}}\left[\sum_l \int_0^{V_l} C_l(V).\mathrm{d}V\right]$$

$$= \sum_l \left[\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}V_l}\left(\int_0^{V_l} C_l(V).\mathrm{d}V\right)\frac{\partial V_l}{\partial T_{idr}}\right]$$

Tetapi, dari persamaan (7.34)

$$\frac{\partial V_l}{T_{idr}} = \delta^l_{idr}$$

Sekarang, karena V_l hanya tergantung pada T_{idr} jika rutenya menggunakan ruas tersebut, maka:

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}V_l}\left[\sum_l \int_0^{V_l} C_l(V).\mathrm{d}V\right] = C_l(V_l)$$

Oleh karena itu,

$$\frac{\partial \mathbf{Z}}{\partial T_{idr}} = \sum_l \left[C_l(V_l)\delta^l_{idr}\right] = C_{idr} \tag{7.38}$$

dan turunan kedua dari **Z** terhadap arus lalulintas:

$$\frac{\partial^2 \mathbf{Z}}{\partial T^2_{idr}} = \frac{\partial}{\partial T_{idr}}\left[\sum_l C_l(V_l)\delta^l_{idr}\right]$$

$$= \sum_l \left[\frac{\mathrm{d}C_l(V_l)}{\mathrm{d}V_l}\frac{\partial V_l}{\partial T_{idr}}\delta^l_{idr}\right] \tag{7.39}$$

$$= \sum_l \left[\frac{\mathrm{d}C_l(V_l)}{\mathrm{d}V_l}\delta^l_{idr}\ \delta^l_{idr}\right]$$

Persamaan ini akan sama atau lebih besar dari nol jika turunan hubungan biaya–arus juga positif atau nol. Ini merupakan persyaratan umum yang menjamin proses konvergensi untuk mendapatkan solusi yang unik dari kondisi keseimbangan Wardrop. Artinya, di dalam kurva biaya–arus tidak boleh ada bagian yang menyebabkan biaya berkurang bila arus meningkat.

Karena permasalahan yang dinyatakan oleh persamaan (7.36)–(7.37) adalah permasalahan optimasi yang mempunyai batasan, maka solusinya bisa didapat dengan menggunakan metode Lagrange. Metode Lagrange ditulis sebagai:

$$\mathbf{L}(\{T_{idr}, \phi_{id}\}) = Z(\{T_{idr}\}) + \sum_i \sum_d \phi_{id}\left[T_{id} - T_{idr}\right] \tag{7.40}$$

dengan ϕ_{id} adalah pengali Lagrange yang berkaitan dengan batasan (7.37).

Dengan membuat turunan pertama dari persamaan (7.40) terhadap ϕ_{id}; kita tentu akan mendapatkan batasan tersebut. Dengan membuat turunan terhadap T_{idr} dan menyamakannya dengan nol (untuk optimasi), dihasilkan persamaan:

$$\frac{\partial \mathbf{L}}{\partial T_{idr}} = \frac{\partial \mathbf{Z}}{\partial T_{idr}} - \phi_{id} = C_{idr} - \phi_{id}$$

Di sini kita mempunyai dua kemungkinan mengenai nilai T^*_{idr} pada kondisi optimum. Jika $T^*_{idr} = 0$, maka $\frac{\partial \mathbf{L}}{\partial T_{idr}} \geq 0$ karena fungsi tersebut adalah cembung. Jika $T^*_{idr} \geq 0$, maka: $\frac{\partial \mathbf{L}}{\partial T_{idr}} = 0$.

Hal ini dapat ditranslasikan menjadi kondisi berikut pada kondisi optimum:

$$\phi^*_{id} \leq c_{idr} \text{ untuk semua } \boldsymbol{idr} \text{ dengan } T^*_{idr} = 0$$
$$\phi^*_{id} = c_{idr} \text{ untuk semua } \boldsymbol{idr} \text{ dengan } T^*_{idr} > 0$$

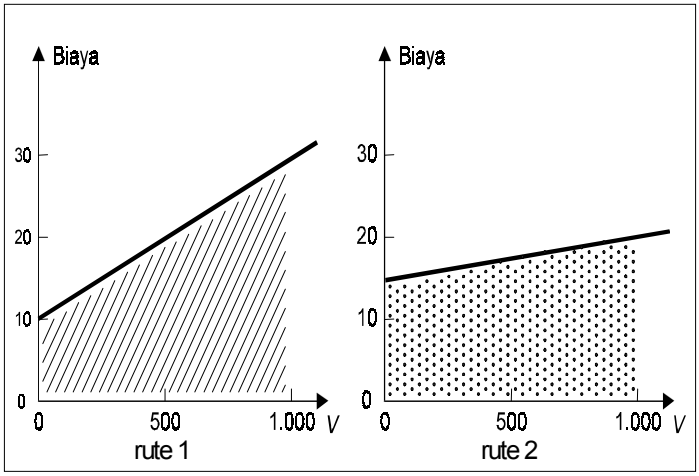
Dengan kata lain, ϕ^*_{id} harus sama dengan biaya perjalanan sepanjang rute dengan nilai T_{idr} positif dan harus kurang dari (atau sama dengan) biaya sepanjang rute lainnya (misalnya $T_{idr} = 0$). Oleh karena itu, ϕ^*_{id} harus sama dengan biaya minimum perjalanan pergerakan dari i ke d; $\phi^*_{id} = c^*_{id}$. Dalam hal ini, satu set T^*_{idr} yang meminimumkan persamaan (7.39) mempunyai perilaku berikut:

$$c_{idr} \geq \text{untuk semua } T^*_{idr} = 0$$
$$c_{idr} = \text{untuk semua } T^*_{idr} > 0$$

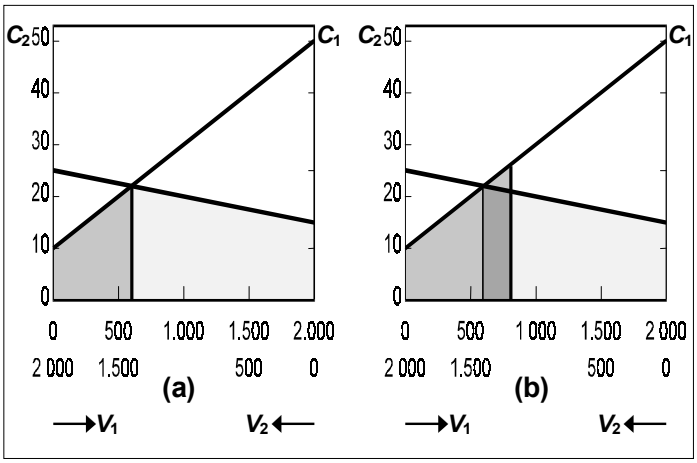
Oleh karena itu, solusinya menghasilkan kondisi yang sesuai dengan prinsip keseimbangan I Wardrop.

Contoh 7.7 Pertimbangkan lagi kasus suatu pasangan antarzona dengan dua buah rute alternatif pada contoh 7.4. Gambar 7.14 memperlihatkan hubungan biaya–arus. Daerah yang diarsir adalah fungsi tujuan yang kita ingin minimumkan. Sudah tentu, salah satu cara untuk meminimumkan luas daerah tersebut adalah dengan menjamin tidak ada arus $V_1 = V_2 = 0$, tetapi solusi ini tidak begitu menentukan.

Yang kita inginkan adalah solusi yang sesuai untuk total pergerakan (**2.000** kendaraan), dan hal ini dapat ditunjukkan pada gambar 7.15; kedua fungsi biaya–arus disajikan dalam bentuk yang saling berlawanan pada sumbu x dan dipisahkan oleh total pergerakan yang harus dibagi antara kedua ruas jalan tersebut. Dengan mudah dapat dilihat pada gambar 7.15a bahwa jumlah daerah yang berada di bawah kurva biaya–arus akan minimum pada kondisi $C_1 = C_2$; setiap keberangkatan dari titik ini akan menambahkan luas daerah arsiran baru seperti terlihat pada gambar 7.15b.



Gambar 7.14
Dua hubungan biaya–arus jalan pintas dan jalan tembus
Sumber: Ortuzar and Willumsen (1994)



Gambar 7.15
Keseimbangan pada suatu jaringan yang sederhana
Sumber: Ortuzar and Willumsen (1994)

Terlihat bahwa solusi keseimbangan menghasilkan arus sebesar **600** kendaraan yang akan melalui rute **1** dan **1.400** kendaraan yang menggunakan rute **2**. Tidak ada salahnya mengamati bahwa biaya setiap rute adalah **22** menit dan total penggunaan jalan adalah **44.000** kendaraan-menit.

Dalam kasus pembebanan keseimbangan, kita mengabaikan beberapa isu penting; contohnya, masalah solusi yang unik; tampak hanya biaya setiap ruas jalan c_l^*, biaya perjalanan antarzona c_{id}^* dan arus pada ruas V_l^* yang unik pada kondisi optimum. Akan tetapi, besar arus pada rute T_{idr}^* secara umum tidak selalu unik. Ini berarti masih terdapat beberapa kombinasi rute dan arus pergerakan lain yang akan menghasilkan arus dan biaya yang sama. Karena semua ruas yang digunakan (untuk setiap pasangan Asal–Tujuan) mempunyai biaya yang sama serta minimum, maka total biaya antarzonanya pun akan sama.

Hal ini dapat dengan mudah dilihat jika terdapat beberapa zona eksternal dari zona asal yang menghasilkan pergerakan ke persimpangan **A** dan keluar ke zona tujuan yang berbeda dengan persimpangan **B**; lihat gambar 7.5. Sebenarnya pergerakan ini

dapat disebarkan dengan berbagai macam komposisi antara rute 1 dan rute 2 dan tetap menghasilkan kondisi keseimbangan (arus dan biayanya tetap sama).

7.6.2 Algoritma Frank–Wolfe

Kita telah membahas permasalahan program matematik dan memperlihatkan relevansinya dalam pemecahan permasalahan pembebanan lalulintas pada kondisi keseimbangan. Program matematik bersifat tidak-linear dan dapat dipecahkan dengan berbagai macam metode. Walaupun untuk mengerti teori konsep pembebanan keseimbangan ini dibutuhkan dasar matematik yang cukup kuat, penerapan aktual prinsip ini dan algoritma solusinya tidak terlalu diinginkan.

7.6.2.1 Algoritma Algoritma yang sangat umum digunakan adalah algoritma Frank–Wolfe. Algoritma dapat dilihat sebagai usaha perbaikan dari metode pengulangan baku yang telah didiskusikan pada subbab 7.5.4.

1 Pilih satu set inisial biaya ruas; yang biasa digunakan adalah waktu tempuh pada kondisi arus bebas $C_l(\mathbf{0})$. Inisialisasikan semua arus $V_l^0 = \mathbf{0}$; kemudian set $n = \mathbf{0}$;

2 Bentuk suatu pohon biaya minimum; kemudian set $n = n + \mathbf{1}$;

3 Bebankan semua matriks **T** dengan pembebanan *all-or-nothing*, untuk mendapatkan suatu set arus F_l;

4 Hitung arus pada saat sekarang dengan persamaan:

$$V_l^n = (1 - \phi)V_l^{n-1} + \phi F_l$$

5 Hitung satu set baru biaya ruas berdasarkan besar arus V_l^n; jika arus (atau biaya ruas) tidak terlalu banyak perubahannya dalam dua pengulangan yang berurutan, **stop**; **jika tidak,** teruskan ke tahap (**2**).

Perbaikan yang utama jika dibandingkan dengan metode pengulangan terletak pada tahap (**4**); di sini ϕ dihitung dengan menggunakan rumusan program matematik. Ini sudah cukup untuk menjamin proses konvergensi ke solusi kondisi keseimbangan Wardrop.

Algoritma Frank–Wolfe dapat dicerminkan sebagai proses pendekatan **menurun** terhadap masalah minimasi fungsi tujuan tertentu. Permasalahan ini mirip dengan usaha mencari titik dasar terendah dalam lembah yang mempunyai banyak dasar. Suatu set tahapan dalam kasus perumpamaan lembah tersebut adalah:

1 Pilih daerah yang mempunyai mempunyai kemiringan yang paling curam dari titik tertentu;

2 Lakukan perjalanan ke arah tersebut dan berhenti di tempat kita harus mendaki lagi;

3 Di titik tersebut lakukan kembali usaha untuk mencari kemiringan yang paling curam dan teruskan dengan tahap (**2**), sampai kita menemukan titik yang

padanya tidak lagi ditemukan kemiringan (artinya, kita sudah berada di titik dasar lembah yang paling dalam).

Hal ini persis dengan yang dilakukan oleh algoritma Frank–Wolfe, terlepas dari ruang yang mungkin mempunyai banyak matra. Pada setiap tahap dalam pengulangan, didapatkan solusi yang mungkin (suatu titik di dalam lembah) dan algoritma seterusnya menggunakan metode pembebanan *all-or-nothing* untuk mencari arah yang mempunyai kemiringan ke bawah.

Penggunaan metode pembebanan *all-or-nothing* dapat dilihat sebagai pendekatan lokal dalam usaha meminimumkan fungsi tujuan **Z**. Dengan mengetahui solusi yang paling memungkinkan yang dihasilkan oleh arus $\{T_{idr}\}$, Frank–Wolfe mencari arah berikutnya yang memungkinkan $\{W_{idr}\}$ dengan menggunakan pendekatan linear terhadap **Z** (dalam hal ini digunakan deret Taylor):

$$\begin{aligned} Z'(\{W_{idr}\}) &= Z(\{T_{idr}\}) + \sum_i \sum_d \sum_r \left[\frac{\partial Z}{\partial T_{idr}} (W_{idr} - T_{idr}) \right] \\ &= Z(\{T_{idr}\}) + \sum_i \sum_d \sum_r (C_{idr} W_{idr}) - \sum_i \sum_d \sum_r (C_{idr} T_{idr}) \end{aligned} \tag{7.41}$$

Di sini, hal yang belum ditentukan oleh solusi yang mungkin $\{T_{idr}\}$ adalah $C_{idr}W_{idr}$. Jadi, jika kita meminimumkan pendekatan lokal **Z**, kita harus memilih rute W_{idr} sehingga faktor perkalian C_{idr} dapat diminimumkan. Cara untuk melakukan hal ini adalah dengan memilih rute yang pada saat sekarang mempunyai biaya lokal minimum (misalnya biaya yang dihasilkan oleh pembebanan *all-or-nothing*).

Dalam bentuk yang umum, algoritma Frank–Wolfe akan konvergen dengan cepat setelah beberapa pengulangan dan kemudian melambat begitu mendekati titik optimum. Ini permasalahan yang paling terkenal sehingga beberapa perbaikan telah disarankan untuk mempercepat proses konvergensi; contohnya tulisan **Arezki** (**1986**).

Model pemilihan rute ini merupakan model yang terbaik sampai saat ini, yang sangat cocok untuk daerah perkotaan yang diperkirakan efek kemacetannya cukup berarti. Kekurangan model ini adalah waktu proses komputer yang cukup lama dibandingkan dengan model *all-or-nothing*.

Beberapa teknik telah diusulkan sebagai pendekatan kondisi keseimbangan Wardrop, antara lain pendekatan heuristik sederhana. Salah satu yang terbaik adalah penggunaan kerangka kerja pemrograman matematika. Untuk membandingkan berbagai algoritma tersebut, beberapa hal penting berikut perlu diperhatikan.

- Apakah solusinya tetap?
- Apakah hasilnya konvergen ke solusi yang sesuai dengan kondisi keseimbangan Wardrop?
- Apakah efisien waktu komputasinya?

7.6.2.2 Kriteria konvergensi Terdapat tiga tipe dasar kriteria konvergensi pada prosedur pembebanan batasan kapasitas, yaitu:

a dengan melihat perbedaan antara arus atau biaya ruas pada setiap pengulangan yang berturutan. Dengan perbedaan ini dapat dilihat apakah proses pengulangan selanjutnya akan menghasilkan perubahan yang berarti bagi arus atau biaya tersebut. Jika tidak, konvergensi dianggap sudah tercapai;

b dengan mengukur perbedaan antara asumsi hubungan biaya–arus pada saat awal pembebanan dengan hubungan biaya–arus pada saat akhir pembebanan;

c melihat potensi perbaikan yang dihasilkan apabila dilakukan proses pengulangan berikutnya.

Berdasarkan tiga tipe dasar tersebut, beberapa penulis mengusulkan kriteria konvergensi pada pembebanan keseimbangan seperti yang diuraikan berikut ini.

a **Van Vliet (1976)** mengusulkan suatu indikator δ yang sering digunakan untuk melihat seberapa dekat solusi terhadap kondisi keseimbangan:

$$\delta = \frac{\sum_i \sum_d \sum_r T_{idr} \left(C_{idr} - C^*_{id} \right)}{\sum_i \sum_d T_{id} . C^*_{id}} \tag{7.42}$$

dengan $C_{idr} - C^*_{idr}$ adalah selisih biaya pada rute tertentu dan biaya minimum untuk pasangan (***i,d***). Biaya ini dihitung setelah pengulangan selesai dan total pergerakan didapatkan untuk setiap ruas jalan. Karena itu, δ adalah nilai yang dihasilkan oleh selisih antara biaya rute optimal dan biaya rute tidak-optimal.

b **Evans (1976)** menunjukkan bahwa pada pengulangan ke-***n***, batas bawah fungsi tujuan $\mathbf{Z}^*$ dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\mathbf{Z}^{*(n)} = \mathbf{Z}^{(n)} - \sum_l \left(c_l \left(V_l^{(n)} \right) \left(V_l^{(n)} - F_l^{(n+1)} \right) \right) \tag{7.43}$$

$\mathbf{Z}^{*(n)}$ tidak perlu bertambah pada setiap pengulangan. Karena itu, taksiran terbaik dari nilai ini adalah $\mathbf{Z}^*_{maks}$ yaitu nilai maksimum $\mathbf{Z}^{*(n)}$ sampai pengulangan terakhir. Ukuran ketidakpastian fungsi tujuan ini adalah:

$$\boldsymbol{\varepsilon}^{(n)} = \mathbf{Z}^{(n)} - \mathbf{Z}^*_{maks} \tag{7.44}$$

c **Van Vliet (1985)** mengusulkan suatu ukuran efektivitas dari pengulangan ke-***n***, yaitu seberapa besar pengurangan $\mathbf{Z}$ relatif terhadap $\boldsymbol{\varepsilon}$ dengan rumus sebagai berikut:

$$F^{(n)} = \frac{\mathbf{Z}^{(n)} - \mathbf{Z}^{(n-1)}}{\boldsymbol{\varepsilon}^{(n)}} \tag{7.45}$$

7.6.3 Pembebanan keseimbangan-sosial (KS)

Wardrop (1952) mengusulkan alternatif lain yang menjelaskan pembebanan pergerakan pada suatu jaringan; sering disebut **Prinsip Keseimbangan II**. Prinsip ini mencerminkan kondisi sebagai berikut.

> *Under social equilibrium conditions, traffic should arranged in congested networks in such a way that the average (or total) travel costs is minimised*
>
> (Pada kondisi keseimbangan sosial, lalulintas akan berupaya mengatur dirinya dalam jaringan yang macet sehingga dicapai rata-rata (atau total) biaya perjalanan yang minimum)

Prinsip ini digunakan untuk memodel perilaku individu untuk meminimumkan biaya perjalanannya. Juga, digunakan oleh perencana transportasi untuk mengatur pergerakan agar biaya perjalanan menjadi minimum dan mencapai keseimbangan sosial yang optimum. Secara umum, arus pergerakan yang dihasilkan oleh kedua prinsip tersebut tidak selalu sama; seharusnya seseorang menganggap bahwa pergerakan akan mengatur dirinya sendiri sehingga memenuhi prinsip keseimbangan I.

Hampir semua yang telah didiskusikan cocok dengan prinsip I Wardrop atau **Keseimbangan-Pengguna** (**KP)**. Prinsip II Wardrop menyatakan bahwa pengendara harus diarahkan dalam memilih rute sedemikian rupa sehingga total (atau rata-rata) biaya dapat diminimumkan. Ini disebut solusi optimum sosial dan lebih menekankan pada cara **merancang** perilaku pengendara, bukan **memodel** perilaku mereka. Dengan mudah terlihat bahwa prinsip II Wardrop dapat dinyatakan dalam bentuk pemrograman-matematik berikut:

$$\textbf{meminimumkan} \qquad S\{T_{idr}\} = \sum_{l} [V_l c_l(V)] \tag{7.46}$$

dengan batasan persamaan (7.37).

Fungsi tujuan tersebut juga dapat dinyatakan dalam bentuk yang lain sebagai berikut:

$$\textbf{meminimumkan} \qquad S\{T_{idr}\} = \sum_{l} \left[\int_{0}^{V_l} [C_{ml}(V)\mathrm{d}V] \right] \tag{7.47}$$

C_{ml} adalah biaya marginal perjalanan sepanjang ruas jalan l.

Permasalahan ini dapat dipecahkan dengan melakukan adaptasi sederhana terhadap algoritma Frank–Wolfe berupa penggantian fungsi tujuan yang digunakan dalam menaksir parameter ϕ dalam tahap (**4**) dari persamaan (7.46) atau (7.47). Tampak bahwa solusi permasalahan ini membuat semua biaya marginal dari semua rute yang ada antara dua titik menjadi sama dan minimum.

Solusi terhadap dua permasalahan ini tidak selalu cocok; dengan kata lain, solusi keseimbangan-pengguna menghasilkan total biaya yang lebih besar daripada pemecahan keseimbangan-sosial. Perbedaannya terletak pada faktor eksternal akibat kemacetan. Pengendara hanya menggunakan persepsi biaya secara pribadi serta

mengabaikan biaya tundaan tambahan yang disebabkan oleh pengendara lainnya akibat semakin banyaknya kendaraan di suatu ruas jalan. Kita dapat menggunakan kebijakan **biaya penggunaan jalan** sebagai metode yang sesuai yang membuat pengendara menggunakan biaya marginal selain biaya rata-rata.

Contoh 7.8 Sekali lagi kita menggunakan permasalahan suatu pasangan antarzona yang mempunyai rute 1 dan rute 2 (lihat gambar 7.5). Hal yang perlu dilakukan adalah mencari pola arus pergerakan yang meminimumkan total biaya yang mencakup:

$E_2 = V_2\,(15 + 0{,}005V_2)$ bagi arus yang menggunakan rute 2

$E_1 = V_1\,(10 + 0{,}02V_1)$ bagi arus yang menggunakan rute 1

Jadi, biaya marginalnya adalah:

$$\partial E_2/\partial V_2 = 15 + 0{,}01\ V_2$$

$$\partial E_1/\partial V_1 = 10 + 0{,}04\ V_1$$

Dengan menghitung kedua persamaan di atas dan dengan mengetahui bahwa $V_1+V_2 = 2.000$, kita dapat memecahkannya dan mendapatkan kondisi keseimbangan-sosial.

	Rute 1	Rute 2	Total
Arus	500	1.500	2.000
Biaya marginal	30	30	
Biaya rata-rata	20	22,5	
Pengeluaran	10.000	33.750	43.750

Perhatikan bahwa total pengeluaran sekarang adalah **250** kendaraan-menit lebih rendah dari pemecahan keseimbangan-pengguna yang didapat dalam contoh 7.1. Jelaslah, kita tidak bisa memilih rute melalui rute 1.

Untuk bisa mendapatkan kondisi **optimum-sosial**, kita harus dapat meningkatkan biayanya sebesar 2,5 menit melalui rute 1, mungkin dengan menerapkan tarif tol yang setara. Cara seperti ini bisa mengakibatkan perpindahan dari konsumsi pribadi ke konsumsi sosial yang akhirnya dapat menghemat penggunaan sumber daya (waktu atau bahan bakar).

7.6.4 Pembebanan keseimbangan-pengguna-stokastik (KPS)

Kita telah mendiskusikan model pembebanan arus lalulintas stokastik murni dan **keseimbangan optimum-pengguna** murni. Dalam model pertama, penyebaran rute antara dua titik dihasilkan oleh perbedaan persepsi tentang biaya perjalanan, sedangkan pada model kedua disebabkan oleh efek batasan-kapasitas.

Kita mungkin memperkirakan bahwa di dalam realita, kedua jenis efek ini pasti berperan penting dalam tahapan pemilihan rute. Model yang mencoba menggabung kedua jenis efek ini disebut model **Keseimbangan Pengguna Stokastik** (KPS) yang mencari kondisi keseimbangan dengan cara:

> *Each user chooses the route with the minimum 'perceived' travel costs; in other words, under SUE no user has a route with lower 'perceived' costs and therefore all stay with their current routes*
>
> (Setiap pengguna jalan memilih rute yang meminimum-kan biaya persepsi perjalanan; dengan kata lain, di bawah kondisi KPS tidak ada satu pun pengguna jalan yang memiliki biaya persepsi perjalanan yang lebih rendah dan oleh karena itu semuanya akan tetap menggunakan rute yang sedang digunakan)

Berbeda dengan keseimbangan-pengguna Wardrop, pada model KPS setiap pengendara dianggap dapat mendefinisikan biaya perjalanan secara individu, tidak menggunakan hanya satu definisi biaya perjalanan untuk semua pengendara. Secara teori, model yang dapat menggabungkan perilaku **stokastik** dengan **keseimbangan** terlihat sangat menarik; namun masih sukar dioperasikan dan tidak praktis penggunaannya. Dari sisi kepraktisan, hal terpenting dari kesukaran tersebut terletak pada perilaku konvergensi algoritmanya. Untuk mempelajari permasalahan ini, definisi konvergen perlu dievaluasi; algoritma pembebanan dikatakan konvergen jika:

- kita dapat memulainya dengan menggunakan suatu set biaya $\boldsymbol{C_l}$, misalnya digunakan biaya arus bebas pada pengulangan ke-**1**, sedangkan biaya hasil perhitungan bisa didapat sebagai fungsi arus;
- matriks kemudian dibebankan dengan menggunakan cara tertentu, misalnya dengan model Dial, dan menghasilkan arus yang baru $\{\boldsymbol{V_l}\}$, dan kemudian bisa didapat:

$$\boldsymbol{C_l = C_l(V_l)}$$

Dengan kata lain, biaya akibat arus yang baru secara praktis sama dengan biaya yang digunakan untuk mencari rute terbaik dan membebankan lalulintas. Jika suatu algoritma tidak bisa konvergen, solusinya (arus dan biaya) tergantung pada saat proses pengulangan dihentikan. Contohnya, perencana berikutnya yang melakukan hal yang sama, tetapi dengan jumlah pengulangan yang berbeda, akan menemukan adanya perbedaan biaya; ini jelas bukan merupakan perilaku model yang diinginkan untuk digunakan dalam proyek transportasi.

Dapat ditunjukkan bahwa dalam kasus spesifik, dapat saja dirumuskan algoritma KPS agar bisa konvergen (**Sheffi, 1985**). Sebenarnya, algoritma praktis untuk melakukan pembebanan KPS hanyalah kelanjutan metode pembebanan-berulang yang telah diterangkan pada subbab 7.5.4. Algoritma tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut:

- Set biaya $\boldsymbol{C_l = C_l(0)}$, misalnya dengan menggunakan biaya perjalanan pada kondisi arus bebas, inisialisasi $\boldsymbol{V_l = 0}$ untuk semua $\boldsymbol{l}$, set $\boldsymbol{n = 0}$;
- Set $\boldsymbol{n = n+1}$; bentuk satu set pohon biaya perjalanan minimum dengan menggunakan data arus yang ada;

- Bebankan MAT ke jaringan jalan dengan menggunakan pohon yang ada dan salah satu metode stokastik, misalnya Burrell; dapatkan satu set data arus yang baru F_l;
- Hitung besarnya arus yang baru dengan persamaan:

$$C_l = (1-\phi)V_l^{n-1} + \phi F_l \qquad \text{dengan } \phi = 1/n$$

- Hitung satu set biaya perjalanan baru berdasarkan arus V_l^n; jika arus (atau biaya ruas) tidak mengalami banyak perbedaaan di antara dua pengulangan yang berurutan, **stop**; **jika tidak,** teruskan ke tahap (**2**).

Algoritma ini cenderung menghasilkan perubahan arus dan biaya yang kecil karena nilai ϕ menjadi sangat kecil karena nilai n yang besar. **Sheffi (1985)** memperlihatkan bahwa algoritma tersebut dapat konvergen ke solusi KPS dalam waktu yang cukup lama, misalnya sampai dengan 50 pengulangan. Proses konvergensi algoritma tersebut tidak monoton karena proses pencariannya hanya menggunakan rata-rata arah menurun. Kecepatan proses konvergensi sangat tergantung pada tingkat kemacetan jaringan dan parameter dispersi.

Proses konvergensi algoritma pembebanan-berulang untuk masalah KPS dirasakan agak lambat untuk jaringan yang macet. **Sheffi (1985)** juga memperlihatkan bahwa pada jaringan yang sangat macet, KP dapat memberikan pendekatan yang baik ke metode KPS dan lebih cepat konvergen. Oleh sebab itu, dapat disimpulkan bahwa metode KPS hanya menguntungkan pada masalah pembebanan yang tingkat kemacetannya rendah dan sedang.

7.7 Pembebanan keseimbangan lanjut

7.7.1 Batasan metode klasik

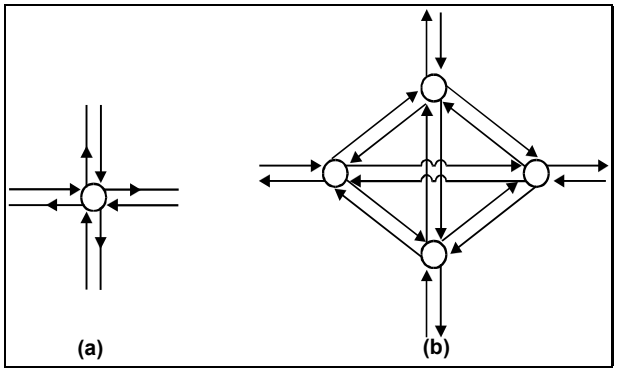
Dalam subbab sebelumnya telah diterangkan beberapa metode pembebanan klasik terpenting yang dapat digunakan untuk proses pembebanan lalulintas. Sebelum membicarakan metode lebih lanjut secara lebih rinci, kita ulas dulu kelemahan utama pendekatan tersebut. Permasalahan bisa berasal dari sumber yang berbeda-beda.

a **Batasan dalam pemodelan ruas-simpul dalam jaringan jalan** Hal ini meliputi fakta yang menyatakan bahwa tidak semua ruas jalan terdefinisi dalam kodifikasi jaringan. Ini menyebabkan adanya pengelompokan *trip end* yang menuju zona yang diwakili oleh suatu pusat zona; pergerakan pada persimpangan tidak bisa dianalisis dan pergerakan intrazonal tidak bisa dilacak.

Permasalahan utama pada jaringan yang tidak lengkap ini timbul pada daerah yang kemacetannya cukup tinggi; di sini beberapa pergerakan yang berjarak sedang dan jauh akan menggunakan jalan kecil atau jalan tikus. Rencana jalan baru mungkin dapat mengurangi kemacetan dan menarik kembali beberapa kendaraan dari jalan tikus tersebut.

Meskipun sudah dilakukan usaha yang baik dalam menghubungkan jaringan dengan pusat zona, efek akhir tetap tidak bisa dihilangkan. Ini menyebabkan perkiraan volume arus lalulintas yang diperhitungkan akan lebih besar daripada yang ada, khususnya di daerah sekitar pusat zona.

Terdapat beberapa cara untuk melengkapi suatu simpul yang sederhana sehingga dapat mencerminkan dengan baik persimpangan; dapat juga dengan menghilangkan beberapa ruas untuk menyatakan larangan pergerakan. Contoh persimpangan yang telah dilengkapi tampak pada gambar 7.16.



Gambar 7.16
(a) Cerminan suatu persimpangan sederhana dan
(b) Persimpangan yang telah dilengkapi
Sumber: Ortuzar and Willumsen (1994)

Setiap manuver pergerakan yang susah dapat digantikan dengan ruas yang tundaannya tinggi. Beberapa paket program yang lengkap menyediakan cara efisien yang secara otomatis dapat melengkapi kodifikasi persimpangan, termasuk pergerakannya. Ini bisa juga dilakukan secara manual sehingga dapat dipastikan bahwa pergerakan pada persimpangan tidak dapat terdefinisi dengan baik.

Pergerakan intrazonal juga merupakan sumber permasalahan; beberapa pergerakan bisa saja menggunakan suatu ruas jalan, tetapi pergerakan tersebut tidak terlihat di dalam pemodelannya. Sangatlah sulit menanggulangi permasalahan ini. Yang paling bisa dilakukan adalah membagi zona tersebut menjadi beberapa zona yang lebih kecil sehingga pergerakan yang tadinya merupakan pergerakan intrazonal di dalam suatu zona yang besar menjadi pergerakan antarzonal antara beberapa zona yang lebih kecil.

Seluruh permasalahan ini lebih sukar ditangani apabila luas zonanya cukup besar dan tidak lengkapnya kodifikasi sistem jaringan. Akibatnya, pencerminan jaringan yang resolusinya tinggi akan memberikan hasil yang lebih baik sejalan dengan bertambahnya waktu dan biaya untuk mendapatkannya.

b **Kesalahan dalam mendefinisikan biaya persepsi rata-rata** Tidak jelas bagaimana permasalahan ini berubah menjadi fungsi waktu, tujuan perjalanan, jarak perjalanan, pendapatan, dan lingkungan. Juga, jika kita ingin meramalkan komponen biaya, misalnya pemakaian bahan bakar, penyederhanaan asumsi dapat mengakibatkan galat tambahan.

c **Tidak semua pengendara mempunyai persepsi biaya yang sama** Usaha pengembangan metode stokastik adalah usaha untuk mengatasi fenomena yang dimaksud. Cara lain untuk mengatasinya adalah dengan membagi pengendara menjadi beberapa kelas yang masing-masing dilengkapi dengan biaya persepsinya.

d **Asumsi informasi lengkap tentang biaya jaringan** Walaupun hal ini sangat umum untuk semua model, tampak sangat optimistik. Penyebarluasan informasi jaringan ke setiap pengendara dapat mengungkapkan hal yang sebenarnya terjadi di lapangan. Pengendara hanya mempunyai informasi yang lengkap mengenai kondisi lalulintas pada rute yang biasa dia lalui. Sementara itu, informasi yang diketahuinya tentang bagian jaringan lain tergantung pada pengalamannya dan pelayanan informasi lalulintas.

Selain itu, terbukti banyak pengendara yang sangat dipengaruhi oleh rambu jalan dalam memilih rute dan biasanya sangatlah mahal melengkapi jalan dengan rambu lalulintas (**Wooton *et al*, 1981**). Metode yang ada mengabaikan efek ini.

Diperkirakan pada masa mendatang, sejalan dengan semakin baiknya teknologi penyampaian informasi lalulintas langsung pada pengendara, akan terjadi perubahan drastis dalam konsep pembebanan lalulintas (bisa saja modelnya lebih komprehensif dan tentu mahal dan sulit diterapkan).

e **Fluktuasi kebutuhan akan pergerakan** Fluktuasi dapat menghambat tercapainya kondisi keseimbangan. Dalam hal ini, prinsip keseimbangan Wardrop mencerminkan perilaku pengendara rata-rata jika semuanya dianggap berpikiran sama dan mempunyai informasi yang lengkap.

Arus kendaraan berfluktuasi dalam satu hari berdasarkan waktu. Ini dapat menyebabkan model yang dihitung untuk 24 jam menghasilkan arus yang tidak benar, termasuk juga waktu tempuh dan biayanya. Penggunaan periode puncak dan bukan-puncak untuk pemodelan dan pembebanan diperlukan untuk daerah perkotaan yang macet.

Kita mengetahui bahwa proses pembentukan kemacetan menghasilkan perubahan waktu tempuh yang sangat berbeda dalam selang waktu singkat. Juga, tundaan selama 10 menit pada saat pemberangkatan akan menyebabkan tundaan yang jauh lebih lama pada saat kedatangan di tempat tujuan yang disebabkan oleh kemacetan di jaringan jalan. Biaya pada setiap ruas berubah secara dinamis akibat lalulintas; beberapa pengendara mengetahui benar hal ini dan, oleh karena itu, merencanakan perjalanannya; sedangkan yang lain tidak mengetahuinya.

f **Galat masukan** Ketepatan model pembebanan tergantung juga pada ketepatan unsur lainnya dalam model transportasi, khususnya ketepatan MAT yang akan dibebankan**.** Kesalahan sewaktu pengkonversian dari penumpang menjadi kendaraan juga mengurangi ketepatan pembebanan lalulintas.

7.7.2 Metode interaksi persimpangan

Seperti telah didiskusikan, beberapa asumsi penyederhanaan yang dilakukan dalam model pembebanan lalulintas membuat model tersebut tidak begitu realistik untuk daerah perkotaan yang macet. Jika kita amati permasalahan pemilihan rute dan pembebanan secara lebih rinci, kita dapatkan model tundaan yang lebih baik serta pemecahan masalah yang lebih dinamis. Juga, ada baiknya kita pertimbangkan interaksi antara lampu lalulintas dan pemilihan rute.

a **Model tundaan yang lebih baik** Sejauh ini, kita menganggap lalulintas sebagai peubah kontinu yang beroperasi dalam kondisi tunak. Pada kenyataannya, lalulintas terbentuk dari kendaraan yang sifatnya diskret yang menyebabkan antrian di persimpangan dan di daerah penyempitan. Jika model pembebanan tertentu menghasilkan lalulintas yang lebih besar dari kapasitas suatu persimpangan, sudah pasti arus lalulintas yang dihasilkan akan lebih kecil dari perkiraan.

b **Pembentukan antrian yang dinamis dan efeknya pada pemilihan rute** Ini merupakan permasalahan yang sulit yang dicoba dipecahkan dengan model seperti **SATURN** (**Hall *et al*, 1980**) dengan memecah periode pengamatan menjadi selang yang lebih pendek, misal 10–15 menitan. Setiap selang waktu dianggap sebagai permasalahan pembebanan yang sifatnya berkondisi tunak. Hal ini dapat mengatasi beberapa penyebab kemacetan, tetapi masih menganggap bahwa semua kendaraan pada selang waktu yang sama mempunyai biaya yang sama pula.

Model lain membebankan kendaraan secara individu atau kelompok kecil dan membebankannya secara berurutan sepanjang selang waktu. Pendekatan ini digunakan oleh **CONTRAM** (**Leonard and Gower, 1982**) yang mencerminkan tundaan dengan lebih baik. SATURN tidak menganggap kendaraan secara individu, tetapi merupakan bagian dari *platoon* dengan selang waktu (1–5 detik). Dengan demikian, kedua model tersebut diklasifikasikan sebagai model **simulasi-mikro**.

c **Interaksi antara lampu lalulintas dan tundaan** Hal ini sangat sukar dikaji. Hampir semua kota besar di negara maju mempunyai sistem **ATCS** (*Area Traffic Control System*) yang lampu lalulintasnya diatur oleh komputer untuk mengurangi tundaan, dan dalam beberapa kasus, mencoba membentuk gelombang hijau (seseorang akan selalu mendapatkan lampu hijau setiap memasuki persimpangan yang ditemuinya). Sistem tersebut dirancang untuk mengatur pola pergerakan dan diharapkan 10%–20% penghematan waktu tempuh bisa dicapai jika dibandingkan dengan sistem yang tidak diatur.

Masalahnya, pola pergerakan lalulintas tidak saja tergantung pada rute terbaik yang digunakan, tetapi juga tergantung pada waktu lampu lalulintas pada setiap persimpangan. Tetapi, setiap model yang dikembangkan untuk mengkombinasikan pembebanan dengan lampu lalulintas selalu menemui

masalah; seperti contoh dalam **Allsop and Charlesworth** (**1977**) dan **Smith** (**1979, 1981**).

Salah satu solusinya adalah melakukan pembebanan arus lalulintas dengan waktu lampu lalulintas yang tetap; menghasilkan perkiraan arus pada masa mendatang dan kemudian menjalankan program **TRANSYT** (**Robertson, 1969**) untuk mengoptimumkan pengaturan waktu lampu lalulintas yang baru. Proses ini harus dilakukan berulang kali dengan pengaturan waktu lampu lalulintas yang baru, untuk mendapatkan arus yang baru, dengan harapan pengulangan akan konvergen pada pemecahan yang stabil.

Permasalahan ini sangat tergantung pada titik awal; misalnya, jika suatu koridor sudah sangat dibebani oleh lalulintas pada saat pengulangan pertama. TRANSYT menghasilkan pengaturan lampu yang dapat menurunkan tundaan sehingga merangsang pergerakan yang lebih besar pada pengulangan berikutnya.

7.7.3 Pengaruh tingkat resolusi sistem jaringan pada pembebanan lalulintas

7.7.3.1 Pendahuluan Sistem transportasi yang terdiri dari sistem zona dan sistem jaringan sangat kompleks. Secara umum, analisis sistem transportasi tersebut selalu membutuhkan proses penyederhanaan karena terbatasnya waktu dan biaya. Sistem transportasi yang telah disederhanakan tersebut disebut model jaringan. Beberapa model jaringan dapat dibuat dari suatu sistem transportasi tertentu tergantung dari tingkat kerincian atau tingkat resolusinya.

Dapat diasumsikan bahwa tingkat resolusi suatu model jaringan akan sangat mempengaruhi besarnya biaya dan waktu yang dibutuhkan dalam proses analisis. Tambahan lagi, diperkirakan bahwa tingkat resolusi akan mempunyai efek pada setiap keluaran yang dihasilkan. Dapat dikatakan bahwa semakin tinggi tingkat resolusi suatu model jaringan, maka akan semakin besar biaya dan waktu yang dibutuhkan dalam proses analisisnya, akan tetapi, semakin tinggi tingkat akurasi keluaran yang dihasilkannya.

Setiap peningkatan tingkat resolusi suatu model jaringan akan menghasilkan peningkatan akurasi dari keluaran yang dihasilkan dengan konsekuensi adanya tambahan biaya dan waktu. Oleh karena itu, perlu diketahui tingkat resolusi yang optimal dengan membandingkan tingkat keluaran yang diinginkan dengan besarnya biaya dan waktu yang dimiliki. Secara praktis, tingkat resolusi optimal tersebut sulit ditentukan karena penelitian yang berkaitan dengan masalah ini sangat jarang dilakukan khususnya di negara Indonesia.

Salah satu penelitian yang dilakukan oleh **Jansen and Bovy (1982)** di kota Eindhoven (Belanda) menemukan bahwa tingkat kerincian suatu sistem jaringan mempunyai pengaruh yang cukup nyata terhadap kualitas keluaran pembebanan arus lalulintas. Disimpulkan juga bahwa pada keadaan tertentu, terdapat suatu sistem jaringan optimal relatif terhadap upaya penambahan (data dan waktu). Melewati tingkat tersebut, sistem jaringan yang lebih rinci hanya akan menghasilkan perbaikan yang marjinal.

Tamin, Lubis, Dalimunthe dan Irawan (1999) mencoba mengkaji pengaruh tingkat resolusi sistem jaringan terhadap kinerja hasil pembebanan di Kotamadya/Kabupaten Bandung dengan menganalisis berbagai variasi sistem jaringan, mulai dari yang paling halus (resolusi tinggi) sampai dengan sistem jaringan dengan resolusi rendah. Proses perbandingan dilakukan pada besaran nilai volume arus lalulintas dan waktu tempuh yang dihasilkan.

Selanjutnya, dari hasil perbandingan tersebut, tingkat resolusi sistem jaringan optimal dapat ditentukan. Proses penyederhanaan model jaringan dilakukan dengan cara menurunkan tingkat resolusi sistem jaringan. Ruang lingkup kajian meliputi beberapa hal sebagai berikut:

a Penyusunan berbagai variasi sistem jaringan di wilayah Kotamadya/Kabupaten Bandung dengan kriteria untuk setiap tingkat resolusi adalah berdasarkan hierarki jalan.

b Pembebanan Matriks Asal–Tujuan (MAT) menggunakan model Keseimbangan-Wardrop dengan bantuan program komputer SATURN. Pembebanan dilakukan dengan beberapa variasi besarnya MAT, yaitu 25%, 50%, 75%, dan 100% MAT.

c Mengukur kinerja setiap tingkat resolusi yang disajikan dalam bentuk besar arus rata-rata dan kecepatan rata-rata pada setiap ruas yang ditinjau (ruas arteri pimer yang ada pada setiap tingkat resolusi).

d Mengukur tingkat akurasi setiap tingkat resolusi dan menentukan tingkat resolusi optimal.

7.7.3.2 Kebutuhan data Data yang digunakan dalam kajian ini diambil dari studi 'Sistem Transportasi Terpadu di Kotamadya Daerah Tingkat II Bandung' **(LP–ITB, 1998b)** dan studi 'Penyusunan Rencana Pengembangan Transportasi Kabupaten Bandung' **(LPM–ITB, 1998b)**. Batas wilayah studi meliputi Kotamadya Bandung dan Kabupaten Bandung. Hal ini didasarkan pada pertimbangan bahwa Kabupaten Bandung dengan 41 kecamatannya mempunyai interaksi kegiatan sosial ekonomi yang relatif tinggi dengan Kotamadya Bandung.

Jika dilihat dari sudut pandang geografis, Kabupaten Bandung terletak mengelilingi wilayah Kotamadya Bandung sehingga akan didapatkan suatu analisis sistem transportasi yang terpadu. Kabupaten Bandung terdiri atas 41 kecamatan dengan sistem zona yang berbasiskan pada kecamatan. Sedangkan, Kotamadya Bandung berbasiskan kelurahan dengan jumlah zona sebesar 139.

Untuk memperhitungkan pergerakan yang berasal dari luar wilayah kajian, maka dibuat zona eksternal yang terdiri dari kabupaten di sekitar Bandung Raya, yaitu: Kabupaten Sumedang, Garut, Cianjur, Subang, dan Purwakarta, yang semuanya membentuk 6 buah zona. Sehingga jumlah keseluruhan zona adalah 146 di mana 100 zona berada di wilayah Kotamadya Bandung, 40 zona di Kabupaten Bandung, dan 6 buah zona eksternal.

MAT yang digunakan diperoleh dari hasil survei lalulintas pada tahun 1998 yang dilakukan di wilayah Kotamadya Bandung dan Kabupaten Bandung. Perubahan

tingkat resolusi sistem jaringan hanya dilakukan pada wilayah Kotamadya Bandung dengan menganggap tetap sistem jaringan pada wilayah Kabupaten Bandung. Ruas pada setiap tingkat resolusi yang ditinjau juga berada pada wilayah studi Kotamadya Bandung.

7.7.3.3 Tingkat resolusi Secara teoritis, semakin mirip suatu model dengan realitanya, semakin baik pula tingkat akurasinya. Jadi ketepatan yang semakin tinggi hanya bisa diperoleh dengan model yang menggunakan definisi sistem zona yang mempunyai resolusi tinggi, demikian pula dengan resolusi sistem jaringannya. Namun keterbatasan sumber daya yang tersedia, menyebabkan model tersebut harus diagregasi sampai pada tingkat tertentu. Permasalahan ini mempunyai banyak dimensi yang meliputi tujuan studi yang akan dicapai, jenis peubah perilaku yang akan digunakan, dimensi waktu, dan lain-lain.

Memasukkan seluruh informasi jaringan yang ada ke dalam model tidaklah disarankan, tetapi resolusi jaringan tersebut haruslah cukup untuk mencerminkan kelayakan dari rute yang dilalui oleh sebagian besar pergerakan. Dalam hal ini tingkat hierarki jalan akan sangat menentukan yang juga tergantung pada jenis serta tujuan studi. Semakin banyak jalan yang ditetapkan, semakin baik pula pencerminan model tersebut terhadap realitanya. Tapi ini juga mempunyai konsekuensi berupa tambahan biaya pengumpulan data dan waktu. Kedua biaya inilah yang menyebabkan model tersebut harus dibatasi tingkat resolusinya sesuai dengan tujuan yang diharapkan.

Perubahan tingkat resolusi sistem jaringan didasarkan pada hierarki jalan secara bertahap yaitu: arteri primer, kolektor primer, arteri sekunder, kolektor sekunder, dan lokal. Lima tingkat resolusi sistem jaringan beserta karakteristik kuantitatifnya dijabarkan dengan urutan seperti terlihat pada tabel 7.10–7.11.

Terlihat pada tabel 7.10–7.11 bahwa jalan lokal yang mempunyai panjang sekitar 184,3 km (52,4%) menyumbang hampir sekitar 52% (nilai panjang x kapasitas) dalam kontribusinya mengalirkan arus lalulintas dalam sistem jaringan jalan di Kotamadya/Kabupaten Bandung. Sedangkan jalan arteri primer yang mempunyai panjang sekitar 104,4 km (29,7%) menyumbang hanya sekitar 17% (nilai panjang x kapasitas) dalam sistem jaringan jalan di Kotamadya/Kabupaten Bandung.

Tabel 7.10 Tingkat resolusi sistem jaringan

Tingkat resolusi	Arteri primer	Kolektor primer	Arteri sekunder	Kolektor sekunder	Lokal
1	√	√	√	√	√
2	√	√	√	√	x
3	√	√	√	x	x
4	√	√	x	x	x
5	√	X	x	x	x

Keterangan: √ = ada x = dihilangkan
Sumber: Tamin, Lubis, Dalimunthe dan Irawan (1999)

Tabel 7.11 Karakteristik setiap tingkat resolusi sistem jaringan

Tingkat resolusi	Jumlah simpul	Jumlah ruas	Jumlah ruas satu arah	Total panjang ruas (km)	PanjangxKapasitas	
					(smp.km/jam)	(%)
1	404	1205	136	351,6	2.434.275	100
2	203	468	47	167,3	1.170.100	48
3	130	309	23	157,7	856.700	35
4	106	223	20	133,9	617.600	25
5	59	113	9	104,4	417.700	17

Sumber: Tamin, Lubis, Dalimunthe dan Irawan (1999)

7.7.3.4 Prosedur analisis Kinerja setiap tingkat resolusi jaringan akan dianalisa melalui pembebanan MAT pada beberapa tingkat sistem jaringan yang telah dibentuk. Model pembebanan yang digunakan adalah model Keseimbangan-Wardrop dengan bantuan program komputer SATURN. Pembebanan dilakukan dengan beberapa variasi MAT, yaitu: 25%, 50%, 75%, dan 100% MAT.

Tujuannya adalah untuk melihat pengaruh besarnya pengaruh variasi pembebanan terhadap hasil pembebanan pada setiap tingkat resolusi. Ruas yang ditinjau adalah ruas arteri primer yang ada pada setiap tingkat resolusi. Volume arus lalulintas hasil pembebanan pada setiap tingkat resolusi kemudian dibandingkan dengan hasil pembebanan pada tingkat resolusi 1 untuk melihat tingkat penyimpangannya. Tingkat penyimpangan volume relatif terhadap tingkat resolusi 1 (sistem jaringan paling halus) adalah besarnya perbedaan volume arus lalulintas yang dinyatakan dalam persen (%).

Dalam hal ini, tingkat penyimpangan 0% diartikan bahwa hasilnya persis sama dengan tingkat yang dibandingkan; sedangkan penyimpangan 100% berarti besarnya penyimpangan mencapai dua kali lipat. Tingkat penyimpangan 200% memberikan hasil perbandingan 3 kali lipat, dan seterusnya. Tingkat akurasi diartikan sebagai kebalikan dari tingkat penyimpangan.

Penyimpangan 0% berarti akurasi sebesar 100% yang merupakan akurasi terbaik, penyimpangan 30% berarti akurasi sebesar 70%, dan penyimpangan 100% berarti akurasi 0%. Tingkat penyimpangan di atas 100% akan memberikan akurasi yang negatif, yang berarti bahwa hasil tersebut sangat tidak akurat, dengan perbandingan yang terlalu besar. Volume arus lalulintas dipakai sebagai parameter untuk melihat tingkat akurasi karena parameter lainnya yaitu kecepatan merupakan fungsi dari arus lalulintas.

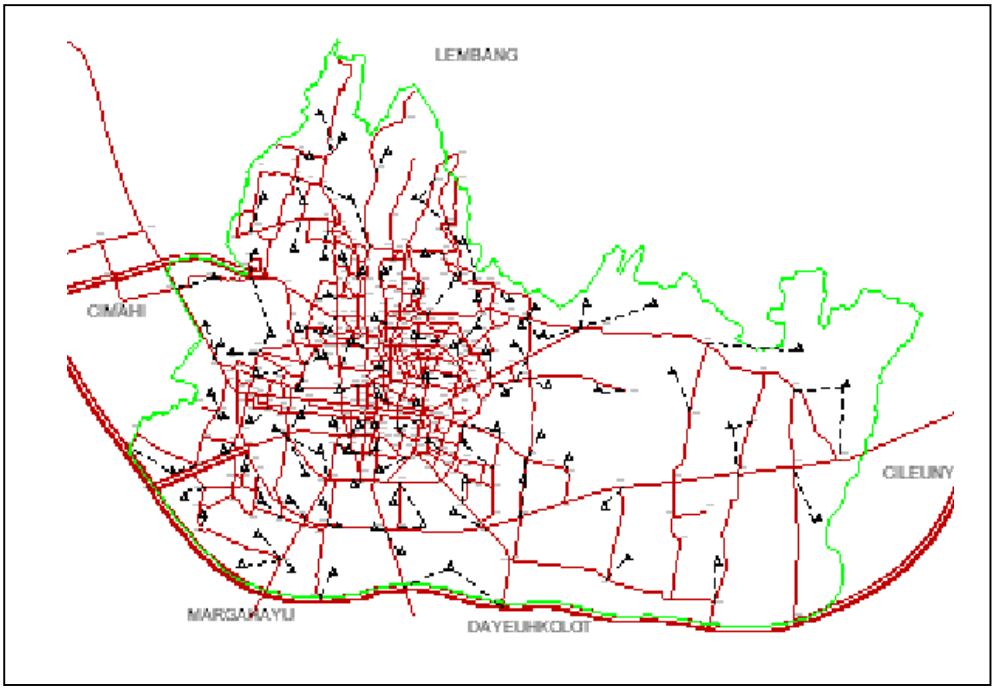
Hasil pembebanan pada setiap tingkat resolusi dibandingkan dengan tingkat resolusi 1 karena estimasi arus pada tingkat resolusi tersebut dianggap paling akurat. Hal ini disebabkan karena MAT yang dibebankan dibentuk berdasarkan informasi arus lalulintas pada jaringan tingkat 1. Kemudian untuk memperlihatkan pengaruh model pembebanan terhadap hasil pembebanan, dilakukan pembebanan metode *all-or-nothing* pada pembebanan 100% MAT, dan dibandingkan tingkat akurasinya dengan tingkat akurasi pada pembebanan Keseimbangan-Wardrop.

Sedangkan untuk mengetahui pengaruh dari ruas-ruas satu arah, dilakukan pembebanan Keseimbangan-Wardrop pada setiap tingkat resolusi jaringan yang semua ruas satu arahnya dibuat menjadi dua arah, serta diperiksa tingkat akurasinya. Setelah dibobotkan terhadap jarak ruas, hasil pemeriksaan disajikan dalam bentuk:

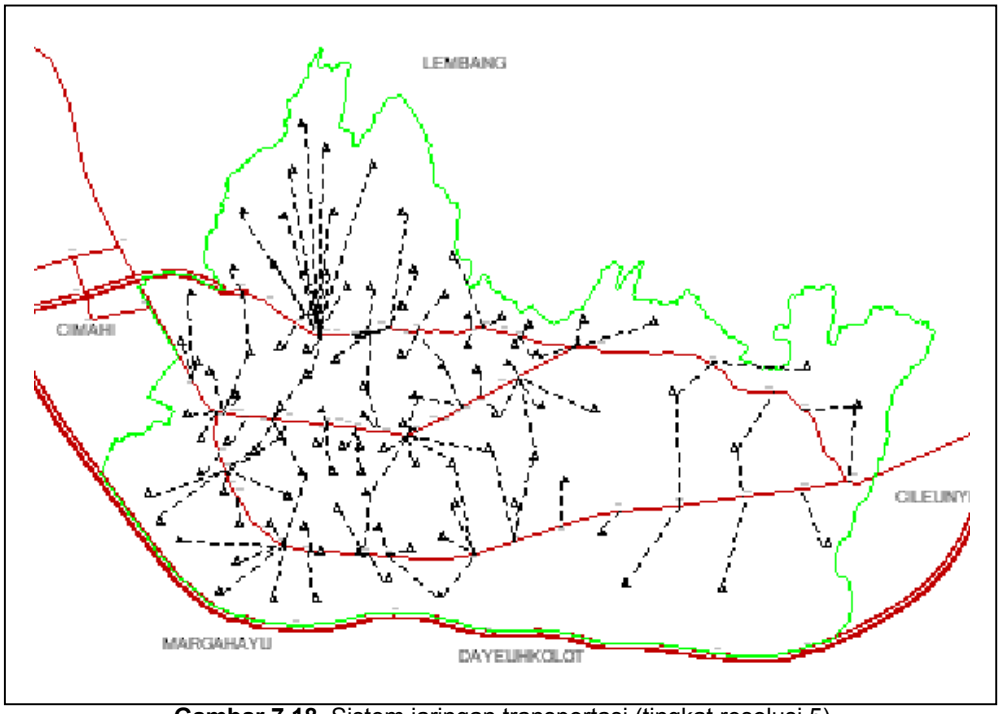
- Arus lalulintas rata-rata pada setiap tingkat resolusi jaringan.
- Kecepatan rata-rata pada setiap tingkat resolusi.
- Tingkat akurasi terhadap volume arus lalulintas pada setiap tingkat resolusi relatif terhadap; dimana dari hubungan tersebut dapat ditentukan suatu tingkat resolusi optimum.

7.7.3.5 Analisis jaringan Pola sistem jaringan jalan yang ada di Kotamadya Bandung adalah gabungan antara sistem grid dan radial. Di pusat kota khususnya di lokasi yang baru dibangun, terlihat sistem grid lebih dominan. Dengan hadirnya jalan lingkar Bandung, Soekarno–Hatta dan jalan tol Padaleunyi terlihat bahwa sistem radial mulai terbentuk. Pola jaringan jalan radial dan jalan lingkar membentuk sistem jaringan jalan primer yang melayani lalulintas antar kota.

Untuk keperluan pengujian, dilakukan perubahan resolusi pada sistem jaringan jalan tersebut berdasarkan tingkat hierarkinya, yaitu: arteri primer, kolektor primer, arteri sekunder, kolektor sekunder, dan lokal. Jadi terbentuk lima buah tingkat resolusi sistem jaringan jalan seperti telah diterangkan pada tabel 7.10–7.11. Gambar 7.17–7.18 memperlihatkan sistem jaringan jalan dengan tingkat resolusi 1 dan 5.



Gambar 7.17 Sistem jaringan transportasi (tingkat resolusi 1)
Sumber: Tamin, Lubis, Dalimunthe dan Irawan (1999)



Gambar 7.18 Sistem jaringan transportasi (tingkat resolusi 5)
Sumber: Tamin, Lubis, Dalimunthe dan Irawan (1999)

7.7.3.6 Hasil analisis Pembebanan MAT dengan menggunakan model Keseimbangan-Wardrop dilakukan pada setiap tingkat resolusi jaringan dengan beberapa variasi pembebanan MAT (25%, 50%, 75%, dan 100%). Untuk setiap pembebanan dihitung besarnya arus lalulintas rata-rata dan kecepatan rata-rata. Sumbu 'tingkat resolusi' didasarkan pada nilai karakteristik 'panjang x kapasitas' untuk setiap tingkat resolusi (lihat tabel 7.11) yang menunjukkan adanya proses penyederhanaan. Semakin ke kanan, tingkat resolusi semakin rendah.

a. Perbandingan arus lalulintas rata-rata Besar arus lalulintas rata-rata untuk setiap tingkat resolusi didapatkan dengan mengalikan besarnya arus lalulintas di setiap ruas tinjauan yang diperoleh dari hasil pembebanan dengan panjang ruasnya seperti terlihat pada persamaan (7.48) berikut.

$$\mathbf{Vol}_{\mathbf{rata\text{-}rata}} = \frac{\sum_{a}(Vol_a x L_a)}{\sum_{a} L_a} \qquad (7.48)$$

$\mathbf{Vol}_a$ = volume arus lalulintas pada ruas a (smp/jam)

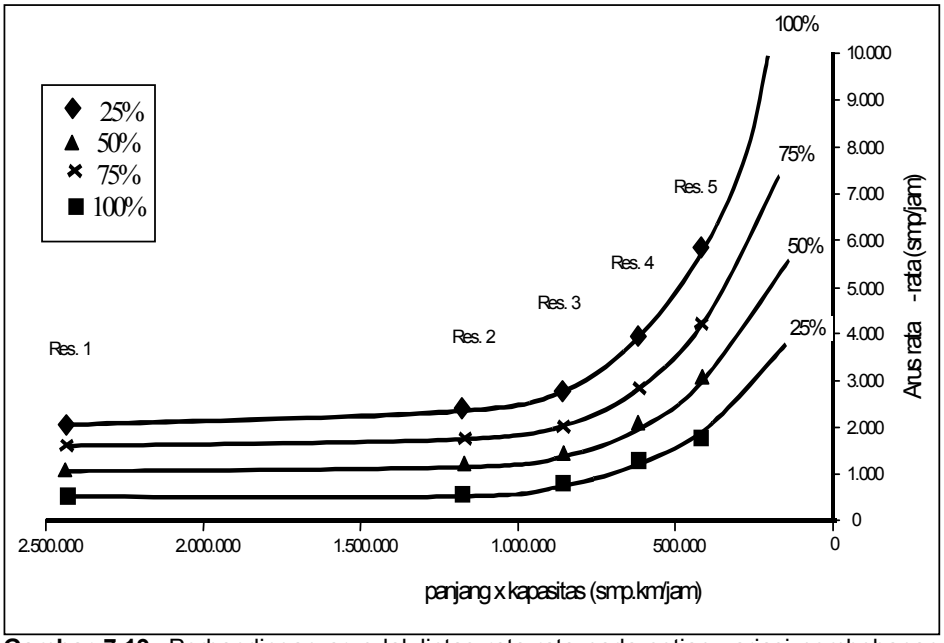
$\mathbf{L}_a$ = panjang ruas a (km)

Besarnya arus lalulintas rata-rata untuk setiap resolusi dan variasi pembebanan termasuk sensitifitasnya dapat dilihat pada tabel 7.12 dan gambar 7.19.

Tabel 7.12 Arus lalulintas rata-rata (smp/jam)

Tingkat pembebanan (%)	Tingkat resolusi					Sensitifitas(*) (10^{-3}/km)
	1	2	3	4	5	
25	534	662	770	1343	1760	2,26
50	1078	1373	1492	2252	3064	3,58
75	1613	1929	2012	3055	4424	5,49
100	2076	2423	2800	3935	5883	7,02

Catatan: Sensitifitas adalah gradien garis yang dibentuk oleh tingkat resolusi 3 dan 5
Sumber: Tamin, Lubis, Dalimunthe dan Irawan (1999)



Gambar 7.19 Perbandingan arus lalulintas rata-rata pada setiap variasi pembebanan dan tingkat resolusi
Sumber: Tamin, Lubis, Dalimunthe dan Irawan (1999)

Dari tabel 7.12 dan gambar 7.19 terlihat bahwa terjadi peningkatan nilai arus rata-rata seiring dengan semakin sederhananya sistem jaringan. Kenaikan arus rata-rata untuk setiap tingkat pembebanan mempunyai pola yang sama dan cenderung menajam setelah melewati tingkat resolusi 3. Hal ini menunjukkan bahwa besar arus rata-rata tidak begitu terpengaruh oleh adanya penyederhanaan sistem jaringan sampai dengan tingkat resolusi 3, sedangkan penyederhanaan lebih lanjut akan menyebabkan perubahan nilai arus rata-rata yang cukup signifikan.

Terlihat pula bahwa semakin besar MAT yang dibebankan maka arus rata-rata yang terjadi untuk setiap resolusi juga semakin besar. Besarnya tingkat sensitifitas (gradien perubahan arus rata-rata antara tingkat resolusi 3 dan 5) untuk setiap variasi pembebanan dapat dilihat pada tabel 7.12. Terlihat bahwa semakin besar pembebanannya, sensitifitas perubahan nilai arus rata-rata juga

semakin tinggi. Tabel 7.13 memperlihatkan besarnya peningkatan arus rata-rata pada setiap proses penyederhanaan.

Tabel 7.13 Peningkatan arus lalulintas rata-rata

Tingkat pembebanan (%)	Kenaikan arus (smp/jam)			
	1 – 2	2 – 3	3 – 4	4 – 5
25	1,24	1,16	1,75	1,31
50	1,27	1,09	1,51	1,36
75	1,20	1,04	1,52	1,45
100	1,17	1,16	1,41	1,50

Sumber: Tamin, Lubis, Dalimunthe dan Irawan (1999)

Terlihat bahwa pada setiap variasi pembebanan, peningkatan arus rata-rata terbesar selalu terjadi pada penyederhanaan dari resolusi 3 ke 4. Dari hasil analisis perbandingan nilai arus rata-rata yang dapat dilihat dari gambar 7.19 dan tabel 7.12–7.13, maka untuk sementara dapat disimpulkan bahwa tingkat resolusi optimal berada pada tingkat resolusi 3.

b. **Perbandingan kecepatan rata-rata** Besar kecepatan rata-rata untuk setiap tingkat resolusi didapatkan dengan mengalikan besarnya kecepatan pada setiap ruas tinjauan yang diperoleh dari hasil pembebanan dengan panjang ruasnya seperti terlihat pada persamaan (7.49) berikut.

$$\mathbf{v}_{\text{rata-rata}} = \frac{\sum_{a}(v_a x L_a)}{\sum_{a} L_a} \qquad (7.49)$$

$\mathbf{v}$ = kecepatan pada ruas a (smp/jam)

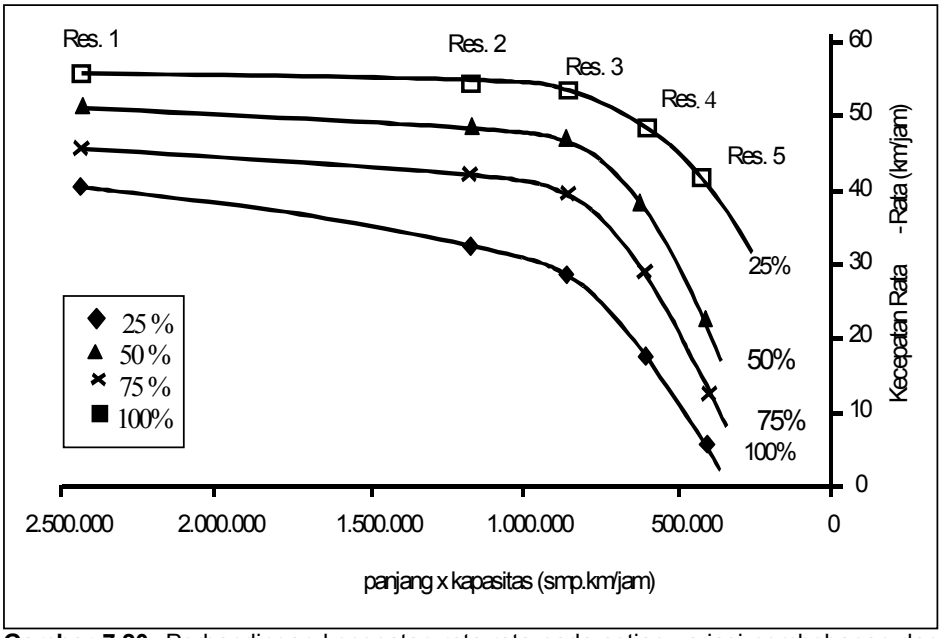
$\mathbf{L}_a$ = panjang ruas a (km)

Besarnya kecepatan rata-rata untuk setiap resolusi dan setiap variasi pembebanan termasuk sensitifitasnya dapat dilihat pada tabel 7.14 dan gambar 7.20.

Tabel 7.14 Kecepatan rata-rata (km/jam)

Tingkat pembebanan (%)	Tingkat resolusi					Sensitifitas(*) (10^{-5}/smp)
	1	2	3	4	5	
25	56	55	53	48	41	2,70
50	51	48	47	34	19	6,28
75	46	42	40	21	9	6,95
100	41	32	29	13	5	5,38

Catatan: Sensitifitas adalah gradien garis yang dibentuk antara resolusi 3 dan 5
Sumber: Tamin, Lubis, Dalimunthe dan Irawan (1999)



Gambar 7.20 Perbandingan kecepatan rata-rata pada setiap variasi pembebanan dan tingkat resolusi
Sumber: Tamin, Lubis, Dalimunthe dan Irawan (1999)

Dari gambar 7.20 dan tabel 7.14 terlihat bahwa terjadi penurunan nilai kecepatan rata-rata seiring dengan semakin sederhananya sistem jaringan. Penurunan kecepatan rata-rata untuk setiap tingkat pembebanan mempunyai pola yang sama dan cenderung menajam setelah melewati tingkat resolusi 3. Hal ini menunjukkan bahwa nilai kecepatan rata-rata tidak begitu terpengaruh oleh adanya penyederhanaan sistem jaringan sampai dengan tingkat resolusi 3, sedangkan penyederhanaan lebih lanjut akan menyebabkan perubahan nilai kecepatan rata-rata yang cukup signifikan.

Terlihat pula bahwa semakin besar MAT yang dibebankan maka nilai kecepatan rata-rata yang terjadi untuk setiap resolusi juga semakin rendah. Besarnya tingkat sensitifitas (gradien perubahan kecepatan rata-rata antara tingkat resolusi 3 dan 5) untuk setiap variasi pembebanan dapat dilihat pada tabel 7.14.

Terlihat bahwa semakin besar pembebanannya, sensitifitas perubahan nilai kecepatan rata-rata juga semakin tinggi, tetapi melewati batas tertentu (yaitu 75% MAT), sensifitas kembali menurun, karena nilai kecepatannya mendekati nol. Dari hasil analisis perbandingan nilai kecepatan rata-rata yang dapat dilihat dari gambar 7.20 dan tabel 7.14, maka untuk sementara dapat disimpulkan bahwa tingkat resolusi optimal berada pada tingkat resolusi 3.

c. Tingkat penyimpangan nilai arus rata-rata relatif terhadap tingkat resolusi 1 Besarnya tingkat penyimpangan nilai arus rata-rata relatif terhadap tingkat resolusi 1 dapat dirumuskan dalam persamaan (7.50) berikut:

$$\Delta = \frac{|X_i - X_1|}{X_1} x\ 100\% \qquad (7.50)$$

Δ = tingkat penyimpangan (%)

$\mathbf{X_i}$ =nilai arus rata-rata pada resolusi $\boldsymbol{i}$ (smp/jam)

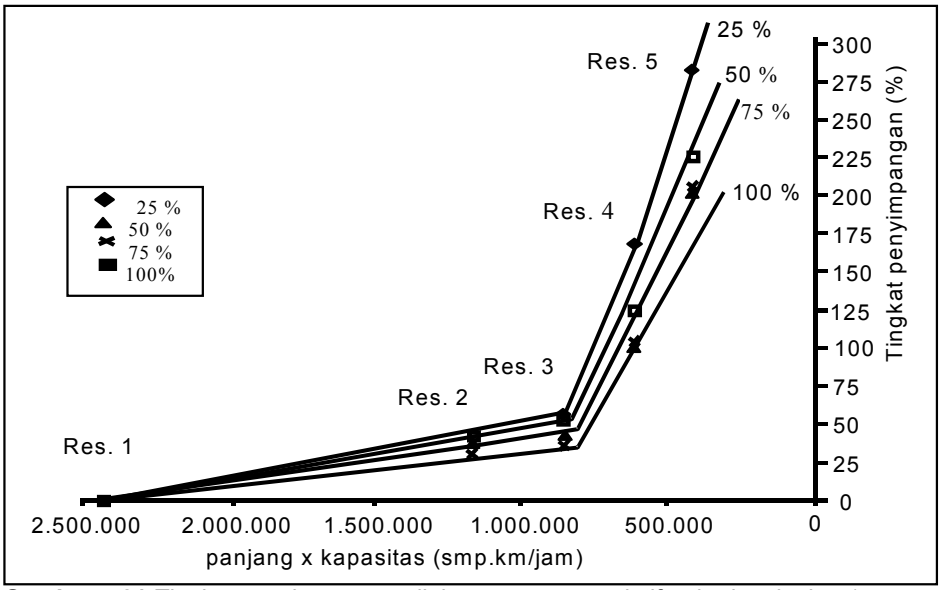
$\mathbf{X_1}$ =nilai arus rata-rata pada resolusi **1** (smp/jam)

Besar tingkat penyimpangan nilai arus rata-rata relatif terhadap tingkat resolusi 1 disajikan dalam tabel 7.15 dan gambar 7.21.

Tabel 7.15 Tingkat penyimpangan nilai arus rata (%)

Tingkat pembebanan (%)	Tingkat resolusi					Sensitifitas(*) (%/smp.km/jam)
	1	2	3	4	5	
25	0	37	57	169	283	282.66
50	0	42	52	125	226	225.91
75	0	37	43	103	203	203.29
100	0	30	37	104	206	206.02

Catatan: Sensitifitas adalah gradien garis yang dibentuk antara resolusi 3 dan 5
Sumber: Tamin, Lubis, Dalimunthe dan Irawan (1999)



Gambar 7.21 Tingkat penyimpangan nilai arus rata-rata relatif terhadap tingkat 1
Sumber: Tamin, Lubis, Dalimunthe dan Irawan (1999)

Dari gambar 7.21 dapat dilihat bahwa penyederhanaan sampai tingkat resolusi 3 masih memberikan tingkat penyimpangan yang tidak jauh berbeda dengan sebelumnya. Setelah melewati tingkat resolusi 3 terjadi peningkatan penyimpangan yang tajam; bahkan pada tingkat resolusi 5 memberikan penyimpangan yang melebihi 100%. Jadi bisa dikatakan bahwa optimasi sistem jaringan berada di sekitar tingkat resolusi 3 dengan penyimpangan sebesar 37%.

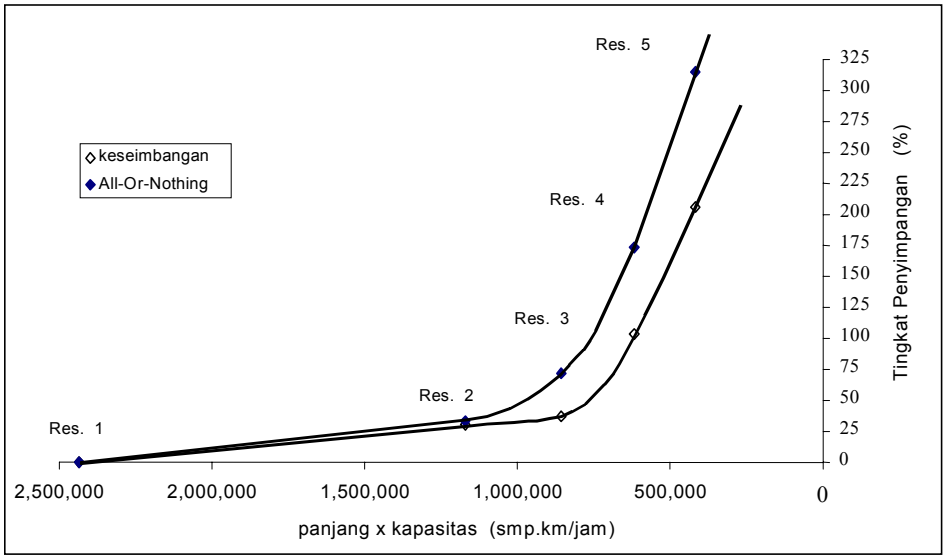
Sehingga, sesuai dengan hasil tersebut, tingkat resolusi jaringan yang masih memberikan akurasi optimal adalah pada tingkat resolusi 3 dengan tingkat akurasi sebesar 63%. Terlihat pula bahwa semakin rendahnya besar pembebanan menaikkan sensitifitas (sensitifitas pembebanan 25% MAT lebih besar daripada sensitifitas pembebanan 100% MAT). Hal ini terjadi karena adanya kondisi keseimbangan dan pengaruh batasan kapasitas pada jaringan.

Dengan melihat kinerja nilai arus rata-rata dan nilai kecepatan rata-rata beserta tingkat penyimpangannya (lihat gambar 7.19–7.21), dapat disimpulkan bahwa tingkat resolusi optimum untuk wilayah kotamadya/Kabupaten Bandung berada pada tingkat resolusi 3 yang meliputi jalan arteri primer, jalan kolektor primer, dan jalan arteri sekunder. Tabel 7.16 dan gambar 7.22 memperlihatkan tingkat penyimpangan nilai rata-rata relatif (terhadap tingkat resolusi 1) jika 100% MAT dibebankan dengan model *all-or-nothing* dan model Keseimbangan-Wardrop.

Tabel 7.16 Tingkat penyimpangan nilai arus rata-rata relatif (%) dengan model pembebanan Keseimbangan-Wardrop dan *All-or-Nothing*

Tingkat resolusi	Keseimbangan-Wardrop	All-or-Nothing
1	0	0
2	30	33
3	37	72
4	104	173
5	206	315
Sensitifitas (%/smp.km/jam)	**206,02**	**315,12**

Sumber: Tamin, Lubis, Dalimunthe dan Irawan (1999)



Gambar 7.22 Tingkat penyimpangan nilai arus rata-rata relatif (%) dengan model pembebanan Keseimbangan-Wardrop dan *All-or-Nothing*
Sumber: Tamin, Lubis, Dalimunthe dan Irawan (1999)

Tabel 7.16 dan gambar 7.22 memperlihatkan bahwa hasil pembebanan dengan model *all-or-nothing* memberikan sensitifitas yang lebih tinggi dan penyimpangan yang lebih besar dibandingkan dengan model Keseimbangan-Wardrop; dengan kata lain, memberikan tingkat akurasi yang lebih kecil. Hal ini disebabkan karena kondisi jaringan jalan yang padat.

Secara hipotesa, semakin rendah tingkat kepadatan jalan maka perbedaan hasil pembebanan antara model keseimbangan-Wardrop dengan model *all-or-nothing* semakin tidak terlihat. Sehingga, untuk wilayah Kotamadya/Kabupaten Bandung pada kondisi jaringan jalan padat (jam sibuk) dapat disimpulkan bahwa model pembebanan Keseimbangan-Wardrop memberikan hasil pembebanan yang lebih baik dibandingkan model *all-or-nothing*.

7.7.3.7 Kesimpulan Setelah melihat hasil pengujian yang telah dilakukan, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan:

a Penyederhanaan sistem jaringan mengakibatkan berkurangnya tingkat akurasi hasil pembebanan pada setiap ruas jalan. Hal ini disebabkan karena pergerakan pada ruas yang diagregasi beralih ke ruas yang masih ada, sehingga pada umumnya arus lalulintas dan waktu tempuh pergerakan pada setiap ruas jalan akan mengalami peningkatan.

b Semakin sederhana suatu sistem jaringan model, semakin rendah pula tingkat akurasinya. Namun, terdapat suatu tingkat resolusi optimum dari sistem jaringan tersebut. Untuk wilayah Kotamadya/Kabupaten Bandung, tingkat resolusi optimum berada pada tingkat resolusi 3 yang meliputi jalan arteri primer, kolektor primer, dan arteri sekunder. Melewati tingkat resolusi optimum, penyederhanaan lebih lanjut akan menghasilkan penurunan tingkat akurasi yang tajam.

c Dalam menyederhanakan sistem jaringan harus diperhatikan adanya ruas-ruas jalan satu-arah. Pergerakan pada daerah di sekitar ruas tersebut akan menghasilkan kesalahan estimasi yang cukup serius. Kesalahan ini bisa berarti pembebanan yang terlalu berlebihan, atau malah sebaliknya. Oleh karena itu, arah pergerakan pada setiap ruas perlu diperhatikan sebaik-baiknya, terutama jalan-jalan sekunder (atau lokal) di sekitar ruas satu-arah tersebut agar arus kendaraan mempunyai rute pergerakan yang normal sesuai kondisi kenyataannya.

d Pada setiap tingkat resolusi, dalam jaringan jalan yang padat, metode pembebanan Keseimbangan-Wardrop memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan metode *all-or-nothing*. Secara hipotesa, semakin rendah tingkat kepadatan jalan, perbedaan hasil pembebanan antara model Keseimbangan-Wardrop dengan model *all-or-nothing* semakin tidak terlihat.

e Kedudukan penghubung pusat zona juga harus diperhatikan lebih seksama. Asumsi peletakan penghubung pusat zona pada suatu simpul sebagai jalur keluar dari pusat zona akan mempengaruhi besarnya estimasi arus pada setiap ruas jalan.

f Dalam merencanakan sistem jaringan, kunci utama adalah penentuan tingkat hierarki jalan. Untuk itu, disarankan memasukkan pada sistem jaringan jalan sekurang-kurangnya dua tingkat hierarki jalan yang lebih rendah dari yang dianalisis. Misalnya, jika ingin menganalisis jalan arteri primer, maka perlu dibuat sistem jaringan jalan yang terdiri dari jalan arteri primer, kolektor primer, dan arteri sekunder.

g Untuk penelitian lebih lanjut tentang masalah ini, beberapa aspek lain yang mempengaruhi perlu dimasukkan dalam ruang lingkup kajian, misalnya: pengaruh tingkat resolusi sistem zona dan asumsi penempatan penghubung pusat zona. Diperkirakan semakin tinggi tingkat resolusi sistem zona (semakin banyak zona) maka semakin tinggi tingkat akurasi hasil pembebanannya.

7.8 Keseimbangan sistem transportasi

7.8.1 Pendahuluan

Jenis pembebanan keseimbangan yang telah kita diskusikan sejauh ini hanya mengatur satu moda saja di dalam jaringan. Prinsip I Wardrop memodelkan jenis perilaku ini dan algoritma yang sesuai yang memungkinkan identifikasi rute dan arus yang menghasilkan biaya yang konsisten semua pengendara. Seperti telah dijelaskan, prinsip yang sama berlaku untuk kemacetan atau permasalahan kapasitas dalam jaringan angkutan umum. Permasalahan menjadi lebih kompleks apabila kita mulai mempertimbangkan interaksi antara dua atau lebih moda. Hal yang perlu diperhatikan adalah:

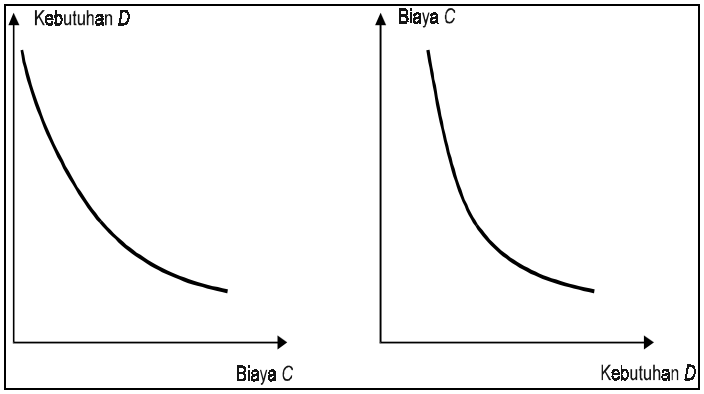
- kemacetan akibat mobil yang berpengaruh terhadap waktu tempuh bus pada rute tertentu, dan karena itu terjadi perubahan strategi pembebanan untuk pengguna angkutan umum; kemacetan akibat bus (dan sistem LRT) serta operasi pemberhentian bus berpengaruh pada kapasitas dan kecepatan mobil, termasuk pemilihan rutenya.
- interaksi yang disebabkan oleh penggunaan *park-and-ride* and *kiss-and-ride* antara bus dan kereta api. Keunggulan operasi multimoda ini sangat tergantung pada kemacetan, frekuensi pelayanan, dan tarif (moda transportasi dan parkir), dan semua ini biasanya saling mempengaruhi.

Dalam kasus pengguna multimoda, masalah menjadi lebih rumit karena mereka harus memutuskan untuk mengganti stasiun *park-and-ride*-nya akibat kemacetan pada jaringan jalan dan ini tentu mengubah tingkat kemacetan.

Pada semua kasus di atas, kita masih mengasumsikan MAT yang tetap untuk setiap moda. Tetapi, kita selanjutnya harus mengasumsikan MAT yang tidak tetap yang disebabkan oleh perubahan yang cepat pada jaringan jalan atau selang waktu yang panjang. Kita harus menganggap bahwa kebutuhan akan pergerakan bersifat elastis, khususnya yang menyangkut biaya perjalanan. Hal ini mengharuskan kita mempertimbangkan pengaruh kemacetan dan tundaan pada pemilihan moda dan tujuan perjalanan.

7.8.2 Kombinasi pemilihan moda dengan pembebanan

Cara yang cocok untuk mengatasi permasalahan ini adalah dengan menggabungkan beberapa model menjadi suatu kombinasi model, misalnya menggabungkan proses pembebanan bersamaan dengan proses pemilihan moda. Pertimbangkan suatu permasalahan dalam bentuk umum – suatu kurva kebutuhan akan pergerakan diinversi untuk mendapatkan biaya perjalanan sebagai fungsi jumlah pergerakan $C_{id} = g_{id}(T_{id})$, seperti terlihat pada gambar 7.23.



Gambar 7.23
Contoh kurva kebutuhan dan inversinya
Sumber: Ortuzar and Willumsen (1994)

Sudah barang tentu, biaya perjalanan antara ***i*** dan ***d*** tidak akan pernah nol. Oleh karena itu, dapat diasumsikan terdapat nilai minimum $C_{id}^{\min}$ pada kondisi yang kebutuhan akan pergerakan maksimumnya T_{id}^{maks}. Sangatlah menarik jika kita dapat membuat model yang mengkombinasikan pembebanan dan kebutuhan akan pergerakan. Pertama, pertimbangkan fungsi tujuan berikut ini:

$$\textbf{meminimumkan} \qquad \mathbf{Z} = \sum_l \left[\int_0^{V_l} c_l(V)\,\mathrm{d}V \right] - \sum_i \sum_d \left[\int_0^{T_{id}} g_{id}(t)\,\mathrm{d}t \right] \tag{7.51}$$

dengan batasan berikut:

$$T_{idr} \geq 0$$

$$T_{idr} = \sum_r T_{idr} \tag{7.52}$$

$$V_l = \sum_i \sum_d \sum_r T_{idr}\,\delta_{idr}^l \tag{7.53}$$

Turunan pertama $\mathbf{Z}$ terhadap T_{idr} adalah:

$$\frac{\partial \mathbf{Z}}{\partial T_{idr}} = C_{idr} - g_{id}$$

Kita sekarang dapat mempertimbangkan perilaku $\mathbf{Z}$ terhadap T_{idr} secara langsung:

$$\text{Jika} \quad T_{idr}^{*} = \mathbf{0} \qquad \text{maka} \quad \frac{\partial \mathbf{Z}}{\partial T_{idr}} \geq \mathbf{0} \quad \text{dan} \quad c_{idr} \geq g_{id} \tag{7.54a}$$

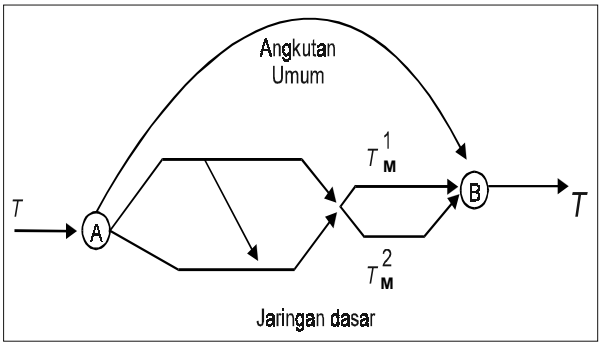
$$\text{Jika} \quad T^{*}_{idr} \geq 0 \qquad \text{maka} \quad \frac{\partial Z}{\partial T_{idr}} = 0 \quad \text{dan} \quad c_{idr} = g_{id} \tag{7.54b}$$

Oleh karena itu, jika rute tertentu digunakan, kemudian biaya rute tersebut harus memberikan nilai tertentu untuk kurva kebutuhan, kita harus mempunyai hal yang berikut:

$$g_{id}(T_{id}) = c^{*}_{id}$$

Fungsi kebutuhan inversi dapat berupa bentuk fungsi yang umum. Tetapi, dalam beberapa kasus, mungkin saja tidak bisa didapatkan fungsi analitis yang baik. Pertimbangkan sekarang permasalahan yang lebih sederhana yang mengkombinasikan hanya pemilihan moda dan proses pembebanan. Dalam kasus ini, kita dapat merumuskan permasalahan pembebanan dengan kebutuhan elastis sebagai pengembangan lebih lanjut dari proses pembebanan dengan kebutuhan tidak elastis.

Jika T_{id} sekarang adalah total pergerakan untuk semua moda (angkutan umum dan mobil pribadi) antara i dan d, maka $T^{\mathbf{M}}_{id}$ adalah pergerakan yang menggunakan mobil pribadi, sedangkan sisanya $T^{\mathbf{B}}_{id} = T_{id} - T^{\mathbf{M}}_{id}$ menggunakan moda angkutan umum. Kita dapat membuat ruas jalan baru dalam jaringan jalan yang akan digunakan oleh pergerakan yang tidak menggunakan mobil pribadi. Kita dapat menyederhanakan ruas jalan ini dan hanya mempunyai satu ruas gabungan antara setiap pasangan Asal–Tujuan yang dapat mencerminkan pergerakan. Hal ini diilustrasikan pada gambar 7.24.



Gambar 7.24
Contoh jaringan yang dilengkapi
Sumber: Ortuzar and Willumsen (1994)

Besarnya pergerakan yang menggunakan angkutan umum dapat juga ditulis dengan persamaan berikut:

$$T^{\mathbf{B}}_{id} = T_{id} - \sum_{r} T_{idr} \tag{7.55}$$

dan kita sekarang dapat menulis kembali permasalahan optimasi tersebut sebagai:

$$\textbf{meminimumkan} \qquad Z = \sum_{l}\left[\int_{0}^{V_l} c_l(V)\,\mathrm{d}V\right] - \sum_{i}\sum_{d}\left[\int_{0}^{T_{id}} g_{id}(t)\,\mathrm{d}t\right] + \sum_{i}\sum_{d}\left[\int_{T^{\mathbf{M}}_{id}}^{T_{id}} g_{id}(t)\,\mathrm{d}t\right]$$

dengan batasan yang sama.

Integral pertama adalah fungsi tujuan untuk permasalahan pembebanan keseimbangan yang konvensional. Yang kedua, dalam konteks ini, integral dilakukan antara dua batasan, yaitu **0** dan total pergerakan; oleh sebab itu, hal tersebut dapat diabaikan dalam proses optimasi.

Kita sekarang dapat membuat kurva biaya–arus fiktif untuk pergerakan mobil pribadi melalui pergantian titik asal, dengan mengganti selang $T_{id}^{\mathbf{M}}$ ke T_{id} menjadi **0** ke $T_{id}^{\mathbf{B}}$ sehingga:

$$g'_{id}(t) = g_{id}(T_{id} - t)$$

Akhirnya, fungsi tujuan sekarang dapat ditulis kembali sebagai:

$$\textbf{meminimumkan} \qquad \mathbf{Z} = \sum_{l}\left[\int_{0}^{V_l} c_l(V)\,\mathrm{d}V\right] - \sum_{i}\sum_{d}\left[\int_{0}^{T_{id}^{\mathbf{B}}} g'_{id}(t)\,\mathrm{d}t\right] \qquad (7.56)$$

Sekarang telah terbentuk fungsi tujuan gabungan yang kedua bagiannya dapat diinterpretasikan sebagai daerah yang berada di bawah kurva biaya–arus; dalam kasus kedua, berupa kurva biaya–arus fiktif.

Oleh karena itu, permasalahan sekarang sudah bisa dipecahkan dengan menggunakan algoritma pembebanan keseimbangan yang baku, misalnya algoritma Frank–Wolfe. Tetapi, kita tidak perlu membuat secara eksplisit jaringan yang dilengkapi; yang diperlukan hanya kurva biaya–arus yang membutuhkan hal berikut ini.

1 Siapkan kurva biaya–arus fiktif untuk setiap pasangan (***i***,***d***) yang diteruskan dengan model pemilihan moda, misalnya model logit-binomial;

2 Inisialisasikan $\boldsymbol{n} = \mathbf{0}$; bebankan semua T_{id} ke rute terbaik (biaya minimum) dan pergerakan yang dihasilkannya dinyatakan sebagai V_a pada ruas pada jaringan sebenarnya dan sebagai $T_{id}(\boldsymbol{n})$ pada ruas pada jaringan yang dilengkapi;

3 Buat $g'_{id}(\boldsymbol{n}) = g'_{id}[T_{id}(\boldsymbol{n})]$, misalnya kurva biaya–arus fiktif yang diimplikasikan dengan total pergerakan dikurangi jumlah pergerakan mobil pribadi dari ***i*** ke ***d***.

4 Definisikan matriks $W_{id}(\boldsymbol{n})$ yang dibebankan ke jaringan sebenarnya sehingga:

$$W_{id}(\boldsymbol{n}) = \begin{cases} T_{id} & \text{jika } g'_{id}(\boldsymbol{n}) \geq c^{*}_{id} \\ \mathbf{0} & \text{jika tidak} \end{cases}$$

5 Hitung rute terbaik yang baru (biaya minimum), bebankan $W_{id}(\boldsymbol{n})$ pada rute terbaik tersebut, dan dapatkan besar arus yang baru berupa $F_l(\boldsymbol{n})$ sebenarnya.

6 Gabungkan semua pergerakan ***i*** dan ***d*** (T_{id}) dan arus sebenarnya (V_l) tersebut dengan cara berikut:

$$T_{id}(n+1) = (1-\phi).\,T_{id}(n) + \phi.\,W_{id}(n)$$

$$V_l(n+1) = (1-\phi).\,V_l(n) + \phi.\,F_l(n)$$

ϕ dipilih agar dapat meminimumkan fungsi tujuan (7.56).

7 Buat $n = n+1$ dan kembali ke tahap (**2**) jika kriteria konvergensi belum dicapai.

Dalam tahap (**3**) dan (**4**), kita menghitung biaya ruas fiktif dan membandingkannya dengan biaya minimum pada jaringan sebenarnya. Kita kemudian membebankan T_{id} (total pergerakan) ke ruas yang dilengkapi jika $g'_{id} < C^*_{id}$; **jika tidak**, kita bebankan total pergerakan ke jaringan sebenarnya. Sekali lagi, menggunakan algoritma Frank–Wolfe dengan membebankannya menggunakan model pembebanan *all-or-nothing* ke jaringan yang dilengkapi. Implementasi algoritma ini membutuhkan hanya sedikit modifikasi dalam kodifikasi metode pembebanan keseimbangan Frank–Wolfe.

7.8.3 Moda, tujuan, dan metode pemilihan rute pada kondisi keseimbangan

7.8.3.1 Kombinasi sebaran dan pembebanan Model seperti ini dihasilkan dari pemrograman matematik berikut:

$$\textbf{meminimumkan} \qquad Z = \sum_l \left[\int_0^{V_l} c_l(V)\,dV \right] - \frac{1}{\beta} \sum_i \sum_d \left[T_{id}(\log T_{id} - 1) \right] \tag{7.57}$$

dengan batasan sebagai berikut:

$$T_{idr} \geq 0$$

$$\sum_d T_{id} - O_i = 0 \tag{7.58}$$

$$\sum_i T_{id} - D_d = 0 \tag{7.59}$$

Dapat terlihat pada persamaan (7.57) bahwa fungsi tersebut adalah fungsi cembung dan dengan menggunakan teknik Lagrange, solusi fungsi tersebut dapat dihasilkan:

$$T^*_{id} = a_i b_d \exp\,(-\beta c^*_{id})$$

Model pembebanan keseimbangan digunakan untuk mendapatkan taksiran c^*_{id}. Sekali lagi, dimungkinkan penggunaan algoritma Frank–Wolfe untuk memecahkan permasalahan ini. Tetapi, **Evans (1976)** berhasil menemukan algoritma yang lebih efisien yang mencakup solusi dari model *gravity* dan permasalahan pembebanan keseimbangan dengan kebutuhan tidak elastis.

7.8.3.2 Kombinasi sebaran, pembebanan, dan pemilihan moda Tahapan berikutnya adalah mengkombinasikan sebaran, pembebanan, dan pemilihan moda dalam hanya satu kerangka kerja optimasi yang dapat memecahkan tiga permasalahan sekaligus. Pendekatan ini telah dikerjakan oleh beberapa peneliti; salah satu di antaranya adalah **Florian and Nguyen (1978)**. Mereka mencoba meneruskan pengembangan model kombinasi sebaran dan pemilihan moda yang telah diterangkan pada bab 6 menjadi bentuk permasalahan baru sebagai berikut:

$$\textbf{meminimumkan}\quad Z = \tau \sum_i \sum_d \left(T_{id}^{\mathbf{M}} \log T_{id}^{\mathbf{M}} \right) + \sum_i \sum_d T_{id}^{\mathbf{B}} \left(\tau \log T_{id}^{\mathbf{B}} + u_{id}^{\mathbf{B}} \right) + \sum_l \int_0^{V_l} c_l(V)\, \mathrm{d}V \tag{7.60}$$

dengan batasan berikut:

$$\sum_d (T_{id}^{\mathbf{M}} + T_{id}^{\mathbf{B}}) = O_i \tag{7.61a}$$

$$\sum_i (T_{id}^{\mathbf{M}} + T_{id}^{\mathbf{B}}) = D_d \tag{7.61b}$$

$$\sum_r T_{idr}^{\mathbf{M}} = T_{id}^{\mathbf{M}} \tag{7.62}$$

$$V_l = \sum_i \sum_d \sum_r \delta_{idr}^{l} T_{id}^{\mathbf{M}} + V_l^{\mathbf{B}} \tag{7.63}$$

ditambah dengan satu batasan baru yang menjadikan nilai $T_{id}^{\mathbf{M}}$, $T_{id}^{\mathbf{B}}$, $T_{idr}^{\mathbf{M}}$ tidak boleh negatif; tikatas **M** and **B** menyatakan mobil pribadi dan angkutan umum.

- $u_{id}^{\mathbf{B}}$ adalah waktu tempuh dengan menggunakan angkutan umum, diasumsikan tidak tergantung pada volume arus lalulintas;
- $V_l^{\mathbf{B}}$ adalah kontribusi angkutan umum pada arus pada ruas jalan l: arus ini bisa mempunyai nilai nol untuk angkutan umum yang mempunyai lintasan terpisah.

Florian and Nguyen (1978) menunjukkan bahwa dengan asumsi yang biasa digunakan untuk $C_l(V_l)$, fungsi tujuan ini merupakan penjumlahan dari beberapa fungsi cembung dan permasalahan ini, secara umum, mempunyai satu pemecahan yang unik dalam bentuk:

$$T_{id}^{\mathbf{M}} = a_i b_d \exp(-\beta) \tag{7.64a}$$

$$T_{id}^{\mathbf{B}} = a_i b_d \exp(-\beta u c_{id}^{\mathbf{B}}) \tag{7.64b}$$

Pemilihan moda menjadi model logit-binomial dengan parameter β. Biaya $c_{id}^{*\mathbf{M}}$ adalah biaya pembebanan keseimbangan-pengguna mobil pribadi dari i ke d.

Para peneliti ini juga mengembangkan adaptasi algoritma Frank–Wolfe untuk memecahkan permasalahan ini. Terobosan baru yang paling utama adalah metode untuk mendapatkan **arah pencarian** dalam penggunaan pendekatan **pemrograman linear** yang disini ditranslasikan ke dalam algoritma *Hitchcock* untuk menanggulangi permasalahan transportasi.

Algoritma ini membutuhkan persyaratan komputasi yang ringan dibandingkan dengan ukuran permasalahan yang dihadapi. Semua algoritma tersebut bisa dirangkum sebagai berikut:

1 Dapatkan solusi inisial untuk $T_{id}^{\mathbf{M}}$, $T_{id}^{\mathbf{B}}$ dan $V_l^{\mathbf{M}}$;

2 Untuk setiap potongan l, hitung biaya $C_l = C_l(V_l)$;

3 Untuk setiap pasangan Asal–Tujuan, tentukan rute terbaik (Γ_{id}) dan tetapkan $c_{id}^{*\mathbf{M}}$ menjadi biaya perjalanan sepanjang rute tersebut;

4 Hitung:

$$C_{id}^{\mathbf{M}} = C_{id}^{*\mathbf{M}} + \tau + \tau \log T_{id}^{\mathbf{M}}$$
$$C_{id}^{\mathbf{B}} = C_{id}^{*\mathbf{B}} + \tau + \tau \log T_{id}^{\mathbf{B}}$$

5 Jika $c_{id}^{\mathbf{M}} > c_{id}^{\mathbf{B}}$ maka set $y_{id}^{\mathbf{M}} = 0$; **jika tidak**, tentukan $y_{id}^{\mathbf{B}} = 0$;

6 Selesaikan permasalahan Hitchcock untuk mendapatkan kebutuhan akan pergerakan yang baru $y^{\mathbf{M}}$ dan $y^{\mathbf{B}}$;

7 Inisialisasi $w_l = 0$ untuk semua potongan l; untuk semua (i,d) set $w_l = w_l + y_{id}^{\mathbf{M}}$ untuk l dalam rute Γ_{id};

8 Dapatkan selang optimal ϕ yang meminimumkan fungsi tujuan (atau suatu versi linear) dan digunakan untuk memperbaiki nilai:

$$T_{id}^{\mathbf{M}} = T_{id}^{\mathbf{M}} + \phi(y_{id}^{\mathbf{M}} - T_{id}^{\mathbf{M}})$$
$$T_{id}^{\mathbf{B}} = T_{id}^{\mathbf{B}} + \phi(y_{id}^{\mathbf{B}} - T_{id}^{\mathbf{B}})$$
$$V_l = V_l + \phi(W_l - V_l)$$

9 Jika tingkat konvergensi sudah tercapai, **stop**; **jika tidak**, teruskan ke tahap (**2**).

Dalam kasus ini, satu-satunya parameter yang digunakan untuk kalibrasi adalah τ. **Florian and Nguyen (1978)** menyarankan penggunaan rata-rata biaya perjalanan yang diberi bobot sebagai alat untuk mengkalibrasi parameter tersebut. Juga diterangkan bahwa dalam beberapa kasus akan menguntungkan jika digunakan dua parameter yang berbeda untuk kalibrasi, satu untuk angkutan umum dan satu lagi untuk mobil pribadi; algoritma yang digunakan untuk mendapatkannya persis sama.

7.8.3.3 Kombinasi bangkitan, sebaran, pembebanan, dan pemilihan moda

Safwat and Magnanti (1988) maju satu langkah dalam pengembangan suatu pemrograman matematikan yang disebut **STEM** (model keseimbangan transportasi simultan). Mereka memberikan bentuk fungsi yang mempunyai fleksibilitas jauh lebih baik dibandingkan dengan fungsi yang dihasilkan oleh pendekatan entropi-maksimum.

Tetapi, fungsi kebutuhan masih lebih umum dibandingkan dengan fungsi yang digunakan dalam model transportasi konvensional. Mereka menggunakan ukuran **nonutilitas perjalanan** yang fleksibel (U_{id}) yang didefinisikan sebagai berikut:

$$U_{id} = -\beta u_{id} + A_d \qquad (7.65)$$

β adalah parameter kalibrasi, u_{id} adalah persepsi biaya perjalanan dari i ke d, dan A_d adalah efek komposit dari beberapa peubah sosio-ekonomi yang mempengaruhi

bangkitan lalulintas. Contohnya adalah jumlah lapangan kerja dan daerah pertokoan.

Safwat and Magnanti (1988) menghubungkan permasalahan bangkitan pergerakan dengan ukuran sistematik tentang aksesibilitas yang dapat ditulis sebagai berikut:

$$S_i = \text{maksimum}\left\{0, \log\sum_d \exp\left(-\beta u_{id} + A_d\right)\right\} \tag{7.66}$$

Sebaran pergerakan juga diberikan berupa suatu model logit:

$$T_{id} = \frac{\exp\left(-\beta u_{id} + A_d\right)}{\sum_k \exp\left(-\beta u_{ik} + A_k\right)} G_i \tag{7.67}$$

Menurut mereka, bentuk ini bersifat lebih umum dibandingkan model konvensional *gravity* karena telah memasukkan peubah sosio-ekonomi dalam bentuk fungsi utilitas yang fleksibel. Jelaslah bahwa jika seseorang menganggap $A_d = \log D_d$, model tersebut akan menjadi model *gravity* jenis SCGR dengan fungsi hambatan berupa fungsi eksponensial.

Model *gravity* jenis DCGR dapat didekati dengan nilai β positif yang sangat kecil. Pemilihan moda transportasi dalam pemodelan ini analog dengan pemilihan rute. Setiap pengguna individu akan memilih moda yang lebih menarik. Model pemilihan rute dan moda kemudian disatukan dalam kerangka kerja pembebanan keseimbangan. Metode pemecahan yang diusulkan oleh **Safwat and Magnanti (1988)** ini sekali lagi merupakan adaptasi dari algoritma Frank–Wolfe. Pembaca yang ingin mengetahui lebih lanjut permasalahan ini disarankan membaca tulisan mereka.

Model STEM telah diterapkan pada beberapa kajian kecil di Mesir dan Texas. Hasil terapan menunjukkan bahwa persyaratan fasilitas komputer tambahan tidak terlalu banyak dibandingkan dengan model lain.

7.9 Model kurva diversi

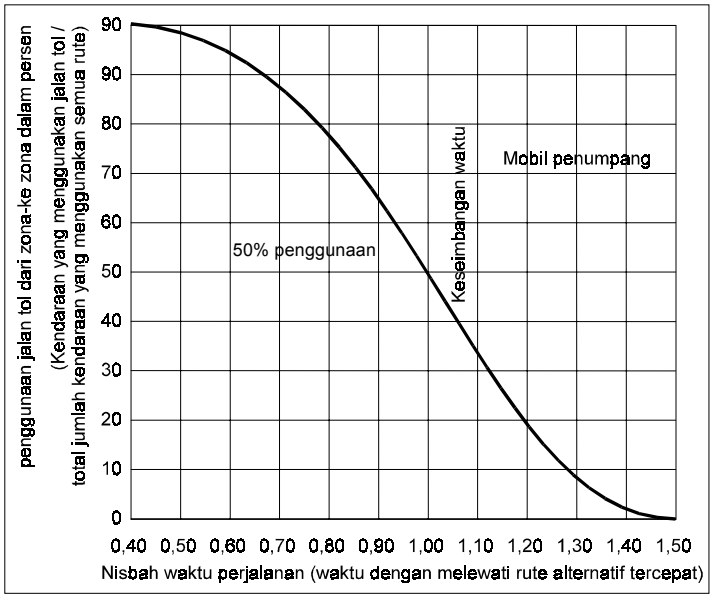
Model pemilihan rute biasanya memberikan gambaran ideal pemilihan rute dari beberapa rute yang saling bersaing. Jika di daerah yang sudah memiliki jaringan jalan dibuat jalan baru yang paralel dengan waktu tempuh dan/atau biaya perjalanan yang lebih rendah, maka pengendara cenderung menggunakan jalan baru tersebut. Hal ini hanya terjadi jika jalan baru itu mempunyai kualitas yang tinggi dan arus lalulintas yang melewatinya tidak melebihi kapasitasnya. Jika terjadi kasus seperti ini, sebaiknya digunakan **Kurva Diversi**.

Kurva diversi bisa didapat dengan melakukan kajian empiris pengukuran kuantitatif hambatan perjalanan. Kurva diversi memperlihatkan seberapa besar proporsi pengendara yang mungkin sekali pindah menggunakan rute atau jalan lain. Beberapa model kurva diversi telah dikembangkan dengan menggunakan beberapa ukuran hambatan perjalanan misalnya waktu tempuh yang dapat dihemat, jarak

yang dapat dihemat, nisbah waktu tempuh, nisbah jarak, nisbah biaya, nisbah waktu tempuh/jarak yang dihemat dan nisbah jarak/kecepatan (**Bruton, 1985**).

Kurva Diversi adalah kurva yang digunakan untuk memperkirakan arus lalulintas yang tertarik ke jalan baru atau jalan dengan fasilitas baru. Oleh karena itu, perlu dibandingkan biaya perjalanan dengan atau tanpa fasilitas transportasi yang baru. Keputusan seseorang untuk menggunakan fasilitas yang baru tersebut didasari perbandingan atau perbedaan biaya jika dia menggunakan atau tidak menggunakan fasilitas baru itu. Kurva diversi biasanya dibentuk berdasarkan waktu, jarak atau biaya, atau kombinasinya.

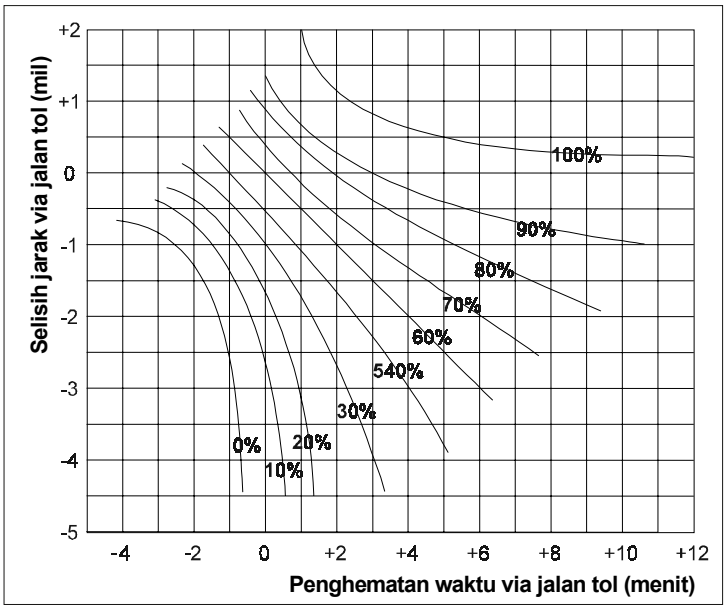
Bruton menyatakan tiga kurva diversi yang sering digunakan dewasa ini, yaitu kurva dengan nisbah waktu, waktu tempuh dan jarak yang dapat dihemat, dan nisbah kecepatan. Kurva nisbah waktu tempuh menyatakan perbandingan antara waktu tempuh yang menggunakan jalan tol dibandingkan dengan rute alternatif lainnya. Gambar 7.25 memperlihatkan contoh kurva diversi nisbah waktu tempuh.



Gambar 7.25
Kurva diversi nisbah waktu tempuh
Sumber: Bruton, (1985)

Kurva diversi waktu tempuh dan jarak yang dapat dihemat telah dikembangkan oleh Divisi Jalan Raya California seperti terlihat pada gambar 7.26. Kurva diversi yang dihasilkan berbentuk hiperbola. Asumsi dasar penurunan kurva tersebut adalah:

- faktor selain waktu dan jarak tidak dapat diukur secara eksplisit, apalagi diramalkan, sehingga diabaikan;
- makin besar waktu tempuh dan jarak yang dapat dihemat, makin tinggi proporsi penggunaan;
- jika penghematan waktu dan jarak kecil, hanya sedikit orang yang akan menggunakan jalan bebas hambatan, sedangkan yang lain tetap menggunakan rute alternatif.



Gambar 7.26
Kurva diversi penghematan waktu tempuh dan selisih jarak via jalan tol
Sumber: Bruton, (1985)

Di Indonesia, dalam kajian jalan tol, kurva diversi dibentuk berdasarkan perbandingan antara biaya tol dan waktu yang dihemat jika pengendara menggunakan jalan tol. Pengendara merasakan biaya perjalanan, tetapi karena mereka dapat mengukur kecepatan dan memperkirakan kecepatan perjalanan, maka kecepatan dapat digunakan untuk memperkirakan proporsi pengendara yang beralih ke jalan baru.

Pengalaman di Jepang menunjukkan bahwa kurva diversi untuk jalan tol terutama bergantung pada perbandingan biaya tol dan selisih waktu perjalanan antara jalan tol dan jalan alternatif. Semakin besar waktu perjalanan yang dihemat melalui fasilitas yang lebih baik, seperti jalan tol, makin meningkat pemakaian fasilitas tersebut. Kurva diversi untuk hubungan ini berdasarkan pengamatan aktual pada Meishin (Nagoya–Kobe) Expressway di Jepang. Kurva dibentuk dari persamaan:

$$\mathbf{P} = \frac{\mathbf{K}}{(\mathbf{1} + \mathbf{a}\boldsymbol{X}^{\mathbf{b}})} \tag{7.68}$$

dengan **P** adalah persentase dari kendaraan yang akan berpindah ke jalan tol bebas hambatan atau tol terhadap volume lalulintas total, dan ***X*** adalah biaya tol atau waktu yang dihemat. Koefisien **a**, **b**, dan **K** didapat dari analisis statistik. Untuk menerapkan model ini diperlukan data:

a perbedaan biaya tol antara rute bebas hambatan atau tol terbaik yang tersedia dan rute alternatif terbaik yang tersedia.

b perbedaan waktu perjalanan antara rute bebas hambatan atau tol terbaik yang tersedia dan rute alternatif terbaik yang tersedia.

Berdasarkan dua hal tersebut, persentase lalulintas yang akan berpindah ke jalan bebas hambatan atau tol dapat diperoleh dari kurva. Hasil perkalian persentase ini

dengan total volume lalulintas menunjukkan jumlah kendaraan yang berpindah ke jalan bebas hambatan atau tol.

7.9.1 Model JICA

Pada tahun 1990, dua buah model diversi telah dikembangkan oleh JICA pada proyek ruas jalan tol Cikampek–Cirebon untuk dapat memodel diversi lalulintas pada jalan tol tersebut.

7.9.1.1 Model I Model ini dikalibrasi dengan menggunakan peubah tidak bebas berupa selisih waktu tempuh jika menggunakan jalan tol dan jalan alternatif. Peubah lainnya yang juga dianalisis adalah tarif tol dan nilai waktu tempuh. Model tersebut disebut model **regresi-perkalian**:

$$\boldsymbol{P = a\,\Delta T^{b}} \tag{7.69}$$

$\boldsymbol{P}$ = tingkat diversi jalan tol (%)

$\boldsymbol{\Delta T}$ = $\mathbf{A - (T + TR/TV)}$

A = waktu tempuh jika menggunakan jalan alternatif (menit)

T = waktu tempuh jika menggunakan jalan tol (menit)

TR = tarif tol (rupiah/kendaraan)

TV = nilai waktu tempuh (rupiah/menit)

a, **b** = parameter yang harus ditaksir

Persamaan (7.69) dapat disederhanakan dengan melakukan transformasi linear yang menghasilkan persamaan (7.70).

$$\boldsymbol{\log P = \log a + b \log \Delta T} \tag{7.70}$$

Dengan mengasumsikan $\boldsymbol{Y = \log P}$ dan $\boldsymbol{X = \log \Delta T}$ maka persamaan (7.70) dapat dianggap persamaan linear. Selanjutnya, dengan mengetahui beberapa nilai $\boldsymbol{P}$ dan $\boldsymbol{\Delta T}$ yang bisa didapat dari survei lapangan, parameter **a** dan **b** dapat dikalibrasi dengan menggunakan analisis regresi-linear terhadap persamaan (7.70).

7.9.1.2 Model II Model ini memperhitungkan faktor yang didapat dari nilai tarif tol dibagi dengan perbedaan waktu tempuh. Dalam model ini, faktor pergeseran digunakan untuk mencerminkan peningkatan keinginan untuk membayar tol yang sejalan dengan peningkatan tingkat pendapatan. Model ini dikalibrasi dengan menggunakan contoh data yang sama dengan model I.

$$\boldsymbol{P = \frac{a}{\left(1 + b\left(\frac{T}{S}\right)^{C}\right)}} \tag{7.71}$$

$\boldsymbol{P}$ = tingkat diversi jalan tol (%)

$\boldsymbol{T}$ = nisbah tarif tol/selisih waktu tempuh (rupiah/menit)

$\boldsymbol{S}$ = faktor pergeseran (nisbah PDRB per kapita/pendapatan tahunan)

a, b, c = parameter yang harus dikalibrasi

Seperti halnya dengan model I, persamaan (7.71) dapat disederhanakan dengan menggunakan transformasi linear. Urutan penyederhanaannya adalah sebagai berikut.

$$\boldsymbol{P + \mathrm{b}P\left(\left(\frac{T}{S}\right)^{\mathrm{C}}\right) = \mathrm{a}} \tag{7.72}$$

$$\boldsymbol{\mathrm{b}\left(\left(\frac{T}{S}\right)^{\mathrm{C}}\right) = \frac{\mathrm{a} - P}{P}} \tag{7.73}$$

$$\boldsymbol{\log\left(\frac{\mathrm{a} - P}{P}\right) = \log \mathrm{b} + \mathrm{c} \log\left(\frac{T}{S}\right)} \tag{7.74}$$

Dengan mengasumsikan $\boldsymbol{Y = \log\left(\frac{\mathrm{a} - P}{P}\right)}$ dan $\boldsymbol{X = \log\left(\frac{T}{S}\right)}$ maka persamaan (7.74) dapat dianggap persamaan linear. Selanjutnya, dengan mengetahui beberapa nilai $\boldsymbol{P}$ dan $\boldsymbol{BPH}$ yang bisa didapat dari survei lapangan, parameter **a** dan **b** dapat dikalibrasi dengan menggunakan analisis regresi-linear terhadap persamaan (7.74).

7.9.2 Model logit-binomial dan regresi-pengali

Giriana (1990) mempelajari perilaku pengendara dalam memilih rute menuju bandara Soekarno–Hatta di Jakarta. Dua buah model pemilihan rute telah dikembangkan yang digunakan untuk memodel pemilihan rute yang dilakukan oleh penumpang yang akan bepergian dan tenaga kerja yang bekerja di bandara. Model yang digunakan adalah model logit-binomial dan model regresi-pengali. Peubah tidak bebas yang digunakan dalam model pertama adalah selisih biaya perjalanan dan selisih waktu tempuh, sedangkan model kedua menggunakan nisbah antara tarif tol/selisih waktu tempuh.

7.9.2.1 Model logit-binomial Bentuk dasar model ini terlihat pada persamaan (7.72). Dengan mengganti fungsi utilitas dengan biaya perjalanan yang dihemat ($\boldsymbol{BPH}$) dalam rupiah, maka model logit-binomial tersebut dapat dinyatakan dalam bentuk lain, yaitu:

$$\boldsymbol{P = \frac{\exp[\mathrm{a} + \mathrm{b}(BPH)]}{1 + \exp[\mathrm{a} + \mathrm{b}(BPH)]}} \tag{7.75}$$

$\boldsymbol{P}$ = tingkat diversi

$\boldsymbol{BPH}$ = biaya perjalanan yang dihemat dalam rupiah

a dan **b** = parameter yang harus dikalibrasi

Untuk mengubah bentuk perkalian dalam persamaan (7.75) menjadi bentuk penjumlahan, transformasi logaritma perlu dilakukan:

$$P\,[1 + \exp\,[a + b(BPH)]] = \exp\,[a + b(BPH)] \tag{7.76}$$

$$P + P\exp\,[a + b(BPH)] = \exp\,[a + b(BPH)] \tag{7.77}$$

$$P = \exp\,[a + b(BPH)] - P\exp\,[a + b(BPH)] \tag{7.78}$$

$$P = (1-P).[\exp\,[a + b(BPH)]] \tag{7.79}$$

$$\frac{P}{(1-P)} = \exp(a + b(BPH)) \tag{7.80}$$

Akhirnya

$$\log_e\left[\frac{P}{(1-P)}\right] = a + b(BPH) \tag{7.81}$$

Dengan mengasumsikan $Y = \log_e\left[\frac{P}{(1-P)}\right]$ dan $X = (BPH)$, persamaan (7.81) dapat dianggap sebagai persamaan linear. Selanjutnya, dengan mengetahui beberapa nilai P dan BPH yang bisa didapat dari survei lapangan, parameter **a** dan **b** dapat dikalibrasi dengan menggunakan analisis regresi-linear terhadap persamaan (7.81).

7.9.2.2 Model regresi-pengali Model ini menunjukkan hubungan antara tingkat diversi dan nisbah antara biaya perjalanan (*NBP*) menggunakan jalan tol dengan jalan alternatif. Formula model tersebut adalah:

$$P = \frac{1}{1 + a(NBP)^b} \tag{7.82}$$

P = tingkat diversi

NBP = nisbah biaya perjalanan

a dan **b** = parameter yang harus dikalibrasi

Persamaan (7.82) dapat dimodifikasi agar lebih mudah menghitungnya:

$$P.[1 + a(NBP)^b] = 1 \tag{7.83}$$

$$P + Pa(NBP)^b = 1 \tag{7.84}$$

$$Pa(NBP)^b = 1-P \tag{7.85}$$

$$\frac{(1-P)}{P} = a(NBP)^b \tag{7.86}$$

$$\log\left[\frac{(1-P)}{P}\right] = \log a + b\log(NBP) \tag{7.87}$$

Dengan mengasumsikan $Y = \log\left[\frac{P}{(1-P)}\right]$ dan $X = \log(NBP)$ maka persamaan (7.87) dapat dianggap sebagai persamaan linear. Selanjutnya, dengan mengetahui beberapa nilai P dan NBP yang bisa didapat dari survei lapangan, koefisien regresi

a dan **b** dapat dihitung dengan menggunakan analisis regresi-linear terhadap persamaan (7.87).

Para pembaca yang ingin mendapatkan penjelasan lebih rinci mengenai kedua model ini beserta penerapannya dapat membaca subbab 6.10 buku ini.

7.10 Masalah pembebanan-berlebih

Konsep pembebanan lalulintas baku yang telah dijelaskan sebelumnya memiliki asumsi dasar bahwa berapa pun besarnya matriks permintaan pergerakan (baik MAT eksisting maupun MAT hasil peramalan pada masa mendatang), semuanya akan ditampung oleh sistem jaringan jalan yang ada. Dengan perkataan lain, diasumsikan bahwa permintaan matriks pergerakan adalah tetap (tidak-elastis). Asumsi ini cukup tinggi risiko kesalahannya jika diterapkan pada sistem jaringan jalan yang macet karena akan terdapat serangkaian perilaku pengguna jalan yang diabaikan yang akan menimbulkan kesalahan dalam perkiraan jumlah arus lalulintas di masa mendatang.

Bila asumsi ini diterapkan pada daerah yang tingkat kepadatan arus lalulintasnya tinggi, kemungkinan besar akan timbul dua permasalahan. Pertama, kecepatan pada ruas jalan akibat adanya pembebanan lalulintas mungkin akan sangat berbeda dengan asumsi awal kecepatan yang digunakan. Hal ini akan menghasilkan pemodelan yang tidak konsisten. Kedua, arus lalulintas akibat pembebanan dapat jauh melebihi kapasitas ruas jalan yang bersangkutan (nilai **NVK>>1)**, apalagi bila dilakukan proses pembebanan lalulintas untuk tahun rencana yang cukup lama di masa mendatang (misalnya 20 tahun). Permasalahan ini sering disebut masalah **pembebanan-berlebih**.

Namun, dalam kenyataannya hal ini tidak mungkin terjadi. Kemungkinan besar, seseorang akan menunda atau malah akan mempercepat waktu keberangkatannya untuk menghindari kemacetan pada jam puncak. Jadi, permintaan matriks pergerakan tersebut tidak akan terbebankan seluruhnya pada selang waktu tertentu, tetapi sebagian akan terjadi sebelum dan sebagian lagi akan terjadi sesudah selang waktu tersebut. Kondisi ini menghasilkan suatu bentuk pembebanan tidak tetap (elastis). Salah satu cara untuk mengurangi kesalahan tersebut adalah dengan menerapkan konsep pembebanan-elastis yang secara teori pernah diperkenalkan oleh **Sheffi (1985)**.

Pembebanan elastis merupakan perluasan dari konsep keseimbangan **Wardrop (1952)** mengenai pembebanan lalulintas di jaringan jalan, dengan menambahkan gagasan alami mengenai elastistas perilaku permintaan perjalanan terhadap batasan kapasitas jaringan jalan yang menampungnya. Elastisitas perilaku pengguna jalan tersebut dicerminkan melalui suatu fungsi permintaan yang menyatakan berbagai perubahan perilaku (perubahan moda, waktu, tujuan, dan frekuensi perjalanan) akibat meningkatnya permintaan akan pergerakan. Fungsi ini juga mampu merepresentasikan fenomena lalulintas tambahan akibat adanya penambahan kapasitas jaringan jalan, misalnya dibangunnya jalan baru.

Berbagai metode telah dikembangkan untuk menampung permasalahan ini. **Lubis *et al* (1998)** melalui penelitian Riset Unggulan Terpadu telah mempelajari secara mendalam beberapa metode, yaitu metode pembebanan keseimbangan-elastis dan metode pemangkasan matriks pergerakan. Kedua metode tersebut akan dijelaskan secara singkat berikut ini.

7.10.1 Metode pembebanan keseimbangan-elastis

Metode pembebanan keseimbangan-elastis berbeda dengan pembebanan keseimbangan-tidak-elastis (tetap). Dalam pembebanan keseimbangan-tidak-elastis, matriks pergerakan yang akan dibebankan dianggap tetap, sedangkan pada pembebanan keseimbangan-elastis, matriks pergerakan tersebut tidak tetap (dapat berubah-ubah).

7.10.1.1 Prinsip dasar Prinsip dasar pembebanan-elastis didasarkan pada penjelasan yang dikemukakan oleh **Sheffi (1985)** bahwa untuk suatu permintaan pergerakan pada setiap pasangan asal–tujuan diasumsikan bahwa lalulintas akan mengatur dirinya sendiri dalam sistem jaringan mengikuti prinsip keseimbangan sehingga semua rute yang digunakan akan mempunyai biaya pergerakan yang sama dan biaya tersebut sama atau lebih kecil dibandingkan dengan setiap rute yang tidak digunakan.

Metode pembebanan keseimbangan-elastis mengasumsikan permintaan pergerakan antara zona asal ***i*** ke zona tujuan ***d*** sebagai fungsi biaya minimum pergerakan antara kedua zona tersebut, seperti dinyatakan pada persamaan (7.88) berikut.

$$T_{id} = f_{id}\left(C^{*}_{id}\right) \tag{7.88}$$

T_{id} adalah matriks permintaan pergerakan dari zona ***i*** ke zona ***d***, C^{*}_{id} adalah biaya minimum pergerakannya, sedangkan f_{id} adalah fungsi yang mengontrol perubahan permintaan pergerakan akibat adanya perubahan biaya pergerakan. Secara umum, rumus f_{id} untuk setiap pasangan asal–tujuan adalah sama, tetapi dapat mengandung parameter yang berbeda yang secara matematis dapat dinyatakan melalui persamaan (7.89) berikut.

$$T_{id} = f\left(\frac{C^{*}_{id}}{\theta_{id}}\right) \tag{7.89}$$

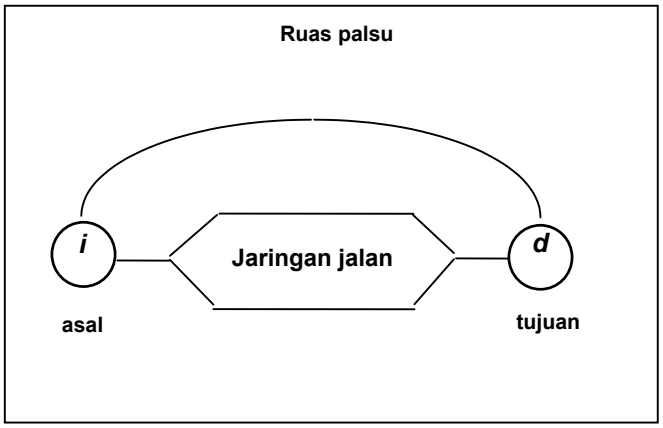
θ_{id} merupakan vektor parameter setiap pasangan ***i–d***, sedangkan f_{id} didefinisikan sebagai hubungan fungsi permintaan pergerakan. Jika biaya pergerakan antara suatu pasangan asal–tujuan meningkat karena bertambahnya kendaraan yang berada pada rute tertentu, maka permintaan pergerakan pada pasangan asal–tujuan yang bersangkutan akan mengalami penurunan sebagai cerminan dari elastisitas kurva permintaan.

7.10.1.2 Algoritma Algoritma yang dipakai untuk memecahkan masalah pembebanan keseimbangan-elastis sama dengan masalah pembebanan keseimbangan-tidak-elastis (lihat subbab 7.6) dengan beberapa perbedaan berikut ini.

1 terdapat suatu fungsi permintaan pergerakan yang dapat menggambarkan perubahan permintaan pergerakan sebagai tanggapan pengguna jalan terhadap adanya perubahan aksesibilitas pada sistem jaringan jalan akibat arus lalulintas pada sistem jaringan jalan tersebut;

2 terdapat suatu ruas jalan tambahan di luar jaringan (**ruas palsu**) yang akan membawa kelebihan arus tersebut keluar dari jaringan sebagai gambaran terhadap adanya perubahan keputusan yang dilakukan pengguna jalan.

Algoritma tersebut merupakan algoritma yang digunakan dalam paket program SATURN modul SATEASY yang diperkenalkan oleh **Van Vliet and Watling** (**1991**). Untuk lebih jelasnya, modifikasi terhadap algoritma baku dapat dilihat pada gambar 7.27 berikut.



Gambar 7.27
Pasangan antarzona dengan ruas palsu
Sumber: Sheffi (1985)

Kelebihan arus yang melewati ruas palsu tersebut didefinisikan sebagai $\boldsymbol{E}$ yang merupakan selisih antara jumlah pergerakan maksimum yang mungkin terjadi ($\boldsymbol{T}_{\mathbf{maks}}$) dengan jumlah pergerakan yang melalui jaringan jalan sesungguhnya ($\boldsymbol{T}$). Secara matematis, nilai $\boldsymbol{E}$ dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\boldsymbol{E} = \boldsymbol{T}_{\mathbf{maks}} - \boldsymbol{T} \tag{7.90}$$

Hubungan antara biaya pergerakan pada ruas palsu ($\boldsymbol{d}$) dengan besarnya arus pada ruas palsu tersebut ($\boldsymbol{E}$) secara umum didefinisikan sebagai:

$$\boldsymbol{d}(\boldsymbol{E}) = \boldsymbol{f}^{-1}(\boldsymbol{T}_{\mathbf{maks}} - \boldsymbol{E}) \tag{7.91}$$

$\boldsymbol{f}^{-1}$ merupakan inversi fungsi permintaan pergerakan.

Fungsi tujuan dalam algoritma ini dibentuk oleh suatu fungsi integral yang menyatakan total biaya pergerakan yang terjadi di dalam sistem dengan mengikutsertakan biaya pergerakan pada ruas palsu tersebut. Secara umum fungsi tujuan pada metode pembebanan keseimbangan-elastis dapat dinyatakan pada persamaan (7.92) berikut.

$$\textbf{meminimumkan} \qquad \mathbf{Z} = \sum_{l}\left[\int_{0}^{V_l} c_l(V)\,\mathrm{d}V\right] - \sum_{i}\sum_{d}\left[\int_{0}^{E_{id}} d_{id}(V)\,\mathrm{d}V\right] \tag{7.92}$$

dengan batasan:

$$T_{id}^{r} \geq 0 \tag{7.93}$$

$$E_{id} \geq 0 \tag{7.94}$$

$$T_{id} = \sum_{r} T_{id}^{r} \tag{7.95}$$

Z mewakili total pergerakan sebagai fungsi dari arus V di dalam sistem, sedangkan T_{id}^{r} mewakili seluruh pergerakan dari zona i ke zona d yang melalui rute r. E_{id} mewakili jumlah arus pada ruas palsu dengan biaya yang didefinisikan sebagai d_{id}, sedangkan V_l adalah arus yang melalui ruas jalan l dengan biaya ruas sebesar C_l.

Lubis *et al* (1998) menyarankan prosedur algoritma Frank–Wolfe yang telah dimodifikasi untuk digunakan dalam metode pembebanan keseimbangan-elastis sebagai berikut ini:

1 hitung biaya semua ruas jalan yang ada pada kondisi arus bebas dan set $n = 1$. Untuk setiap zona asal i:

   a bentuk pohon biaya minimum untuk setiap zona tujuan d dengan C_{id}^{FF} menyatakan biaya minimum pada kondisi arus bebas;

   b untuk setiap zona tujuan d, tentukan jumlah pergerakan maksimum yang mungkin terjadi untuk setiap pasangan zona i–d dengan memecahkan:

$$T_{id}^{maks} = f_{id}\left(C_{id}^{FF}\right) \tag{7.96}$$

   c tentukan jumlah pergerakan yang akan dibebankan ke dalam jaringan jalan: $T_{id}^{(1)}$;

   d bebankan $T_{id}^{(1)}$ ke jaringan jalan, akumulasikan jumlah arus untuk menentukan himpunan pertama dari arus ruas: $V_l^{(1)}$;

   e bebankan kelebihan arus $E_{id}^{(1)} = T_{id}^{maks} - T_{id}^{(1)}$ ke ruas palsu;

2 hitung biaya ruas jalan yang sesungguhnya dan biaya ruas palsu;

$$C_l^{(n)} = C_l\left(V_l^{(n)}\right)$$

$$d_{id}^{(n)} = g_{id}^{(n)}\left(T_{id}^{maks} - E_{id}^{(n)}\right)$$

3 untuk setiap zona asal i:

   a bentuk pohon biaya minimum ke setiap zona tujuan d dan tetapkan nilai tersebut sebagai $C_{id}^{(n)}$;

b hitung dan bebankan pergerakan untuk pengulangan ini, $T_{id}^{(n+1)}$ untuk menentukan besar arus setiap ruas: $W_l^{(n+1)}$.

c bebankan arus kelebihan $F_{id}^{(1)} = T_{id}^{\text{maks}} - T_{id}^{(n+1)}$ ke ruas palsu

4 kombinasikan solusi terdahulu dengan solusi pengulangan yang diperoleh dari tahap (**3**) dengan memasukkan solusi tersebut ke persamaan berikut.

$$V_l^{(n+1)} = (1-\phi)V_l^n + \phi W_l^{(n+1)}$$

$$E_{id}^{(n+1)} = (1-\phi)E_{id}^n + \phi F_{id}^{(n+1)}$$

ϕ dipilih dengan meminimumkan fungsi tujuan $\mathbf{Z(\phi)}$; $\mathbf{0 \le \phi \le 1}$.

5 cek konvergensi; bila telah tercapai, **stop**; **jika belum**, kembali ke tahap (**2**).

7.10.1.3 Kriteria konvergensi Konvergensi algoritma metode pembebanan keseimbangan-elastis dilakukan dengan cara yang persis sama dengan konvergensi algoritma Frank–Wolfe pada pembebanan-tidak-elastis; dengan catatan: harus selalu memasukkan ruas palsu ke dalam penilaian konvergensi yang dilakukan.

Beberapa rumus penilaian konvergensi yang dapat digunakan yang secara khusus menghubungkan konvergensi dengan ruas palsu seperti yang disarankan oleh **Lubis *et al* (1998)** adalah sebagai berikut:

1 **Fungsi Pemisah (G)**

$$\mathbf{G} = \left(\sum_l C_l(V_l)V_l + \sum_i \sum_d d_{id}(E_{id})E_{id} \right) - \sum_i \sum_d T_{id}^{maks} \min(C_{id}, d_{id}) \quad (7.97)$$

2 **Fungsi pemisah yang dinormalisasi (δ)**

$$\delta = \frac{\mathbf{G}}{\sum_i \sum_d \left(T_{id}^{maks} \min(C_{id}, d_{id}) \right)} \quad (7.98)$$

3 **Ketidakpastian dalam fungsi tujuan (ε)**

$$\varepsilon = \frac{(\mathbf{Z} - \mathbf{G})}{\mathbf{Z}} \quad (7.99)$$

Notasi ε menyatakan besarnya reduksi yang terjadi pada suatu pengulangan yang berhasil.

4 **Total arus pada jaringan dan pada ruas palsu**

$$\mathbf{T} = \sum_i \sum_d T_{id} \quad (7.100)$$

$$\mathbf{E} = \sum_i \sum_d E_{id} \tag{7.101}$$

Kondisi yang penting untuk tercapainya konvergensi adalah pada saat **T** dan **E** mencapai nilai yang stabil. Sebenarnya hal ini belum cukup apabila perubahan pada nilai setiap pasangan ***i–d*** dapat disamarkan oleh stabilitas nilai secara keseluruhan (total dari semua pasangan ***i–d***).

5 **Perubahan arus pada ruas palsu**

$$\frac{\sum_i \sum_d \left| E_{id}^{(n)} - d_{id}^{(n)} \right|}{\mathbf{E}} \tag{7.102}$$

6 **Perubahan biaya pada ruas palsu**

$$\frac{\sum_i \sum_d \left| d_{id}^{(n+1)} - d_{id}^{(n)} \right|}{\sum_i \sum_d d_{id}^{(n)}} \tag{7.103}$$

7 **Perbedaan biaya antara ruas asli dan ruas palsu**

$$\frac{\sum_i \sum_d \left| d_{id}^{(n)} - C_{id}^{(n)} \right|}{\sum_i \sum_d d_{id}^{(n)}} \tag{7.104}$$

Dalam penentuan konvergensi, besarnya parameter (5), (6), dan (7) harus sama dengan nol. Kriteria untuk **stop** dapat didasarkan pada ketiga ukuran tersebut, baik secara individual maupun kolektif.

7.10.1.4 Fungsi permintaan pergerakan dan fungsi biaya Dalam menyatakan perubahan tingkat kenaikan arus lalulintas pada jaringan jalan yang macet, maka kepekaan fungsi permintaan pergerakan, selain digambarkan melalui pembebanan kembali, juga diasumsikan dalam bentuk kepekaan permintaan tunggal yang ditandai oleh parameter kepekaan permintaan tunggal. Kepekaan fungsi permintaan ini berhubungan dengan:

1 parameter elastis spesifik pengguna jalan yang mengontrol kepekaan rata-rata permintaan terhadap biaya gabungan;

2 parameter spesifik pengguna jalan yang menentukan ketajaman fungsi permintaan;

3 matriks biaya untuk setiap pasangan zona asal–tujuan yang secara spesifik dihubungkan dengan pengguna jalan pada beberapa referensi yang digunakan;

4 matriks permintaan pergerakan untuk setiap pasangan asal–tujuan yang secara spesifik dihubungkan dengan pengguna jalan yang akan memberikan arus asal–tujuan yang akan naik jika biaya pergerakan pada ruas yang bersangkutan

berada pada tingkatan tertentu yang akan dihitung dengan menggunakan matriks biaya.

Lubis *et al* (1998) menyarankan empat fungsi permintaan pergerakan yang dapat digunakan dalam metode pembebanan keseimbangan-elastis, yaitu:

1 **Bentuk eksponensial tertutup**

$$T_{id} = \frac{2T_{id}^0}{1 + \exp\left(-\beta\left(C_{id} - C_{id}^0\right)\right)} \tag{7.105}$$

$$\mathbf{e} = \frac{-\beta . C_{id} . \exp\left(-\beta\left(C_{id} - C_{id}^0\right)\right)}{\left[1 + \exp\left(-\beta\left(C_{id} - C_{id}^0\right)\right)\right]} \tag{7.106}$$

2 **Bentuk pangkat**

$$T_{id} = T_{id}^0 . \left(\frac{C_{id}}{C_{id}^0}\right)^{\alpha} \tag{7.107}$$

$$\mathbf{e} = \alpha \tag{7.108}$$

3 **Bentuk eksponensial**

$$T_{id} = T_{id}^0 . \exp\left(-\beta\left(C_{id} - C_{id}^0\right)\right) \tag{7.109}$$

$$\mathbf{e} = -\beta C_{id} \tag{7.110}$$

4 **Bentuk eksponensial elastis**

$$T_{id} = T_{id}^0 . \exp\left(\alpha\left(\frac{C_{id}}{C_{id}^0} - 1\right)\right) \tag{7.111}$$

$$\mathbf{e} = \alpha . \frac{C_{id}}{C_{id}^0} \tag{7.112}$$

Dalam setiap kasus, T_{id}^0 dan C_{id}^0 menyatakan besarnya permintaan pergerakan beserta biaya pergerakannya pada tahun dasar, sedangkan T_{id} dan C_{id} adalah nilai pada tahun rencana. Nilai **e** menyatakan besarnya elastisitas setiap fungsi permintaan pergerakan di atas. Elastisitas dinyatakan oleh parameter β dengan nilai positif untuk fungsi logit dan eksponensial atau parameter α dengan nilai negatif untuk fungsi pangkat dan eksponensial elastis.

Seperti telah dikemukakan sebelumnya, bahwa fungsi biaya ruas palsu merupakan inversi dari fungsi permintaan pergerakan. **Lubis *et al* (1998)** menyarankan beberapa fungsi biaya untuk setiap fungsi permintaan sebagai berikut:

1 **bentuk eksponensial tertutup**

$$C_{id} = C_{id}^{0} + \frac{\left(\log_e \left(\frac{2T_{id}^{0}}{T_{id}} \right) - 1 \right)}{\beta} \tag{7.113}$$

2 **bentuk pangkat**

$$C_{id} = C_{id}^{0} \cdot \left(\frac{T_{id}}{T_{id}^{0}} \right)^{\frac{1}{\alpha}} \tag{7.114}$$

3 **bentuk eksponensial**

$$C_{id} = C_{id}^{0} + \frac{\left(\log_e \left(\frac{T_{id}^{0}}{T_{id}} \right) - 1 \right)}{\beta} \tag{7.115}$$

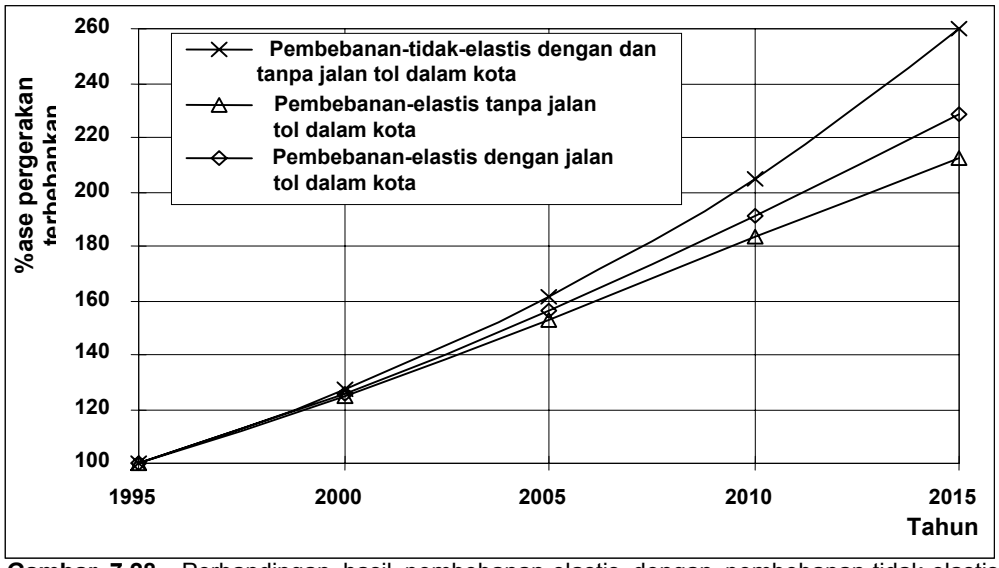
4 **bentuk eksponensial elastis**

$$C_{id} = C_{id}^{0} + \left(\frac{C_{id}^{0}}{\alpha} \right) \log_e \left(\frac{T_{id}^{0}}{T_{id}} \right) \tag{7.116}$$

7.10.1.5 Contoh penerapan **Isnaeni (1997)** menerapkan metode pembebanan-tidak-elastis pada sistem jaringan di Kotamadya Bandung, yang dibagi menjadi **58** zona internal dan **5** zona eksternal. Pembagian zona tersebut didasarkan pada batas wilayah administratif. Jaringan jalan yang ditinjau meliputi jalan arteri dan kolektor.

Selain data jaringan jalan yang ada sekarang, dibutuhkan rencana jaringan jalan pada masa mendatang untuk skenario pembebanan dengan adanya kebijakan pada jaringan jalan. Untuk keperluan skenario tersebut direkomendasikan pembangunan jaringan jalan tol di dalam kota Bandung yang pengembangan koridor jalan tolnya mengacu pada prinsip utama bahwa koridor tersebut membentuk suatu jaringan.

MAT dasar yang digunakan adalah MAT tahun 1995 dengan total permintaan akan pergerakan sebesar 67.172 pergerakan pada jam puncak pagi hari. Kemudian, jumlah tersebut dianggap sebagai 100% total permintaan akan pergerakan. Analisis dilakukan dengan asumsi pertumbuhan permintaan akan pergerakan sebesar 4,9% per tahun. Hasil perbandingan pembebanan-elastis dengan pembebanan-tidak-elastis sampai dengan tahun 2015 disajikan pada gambar 7.28.



Gambar 7.28 Perbandingan hasil pembebanan-elastis dengan pembebanan-tidak-elastis pada sistem jaringan jalan di Kotamadya Bandung
Sumber: Isnaeni (1997)

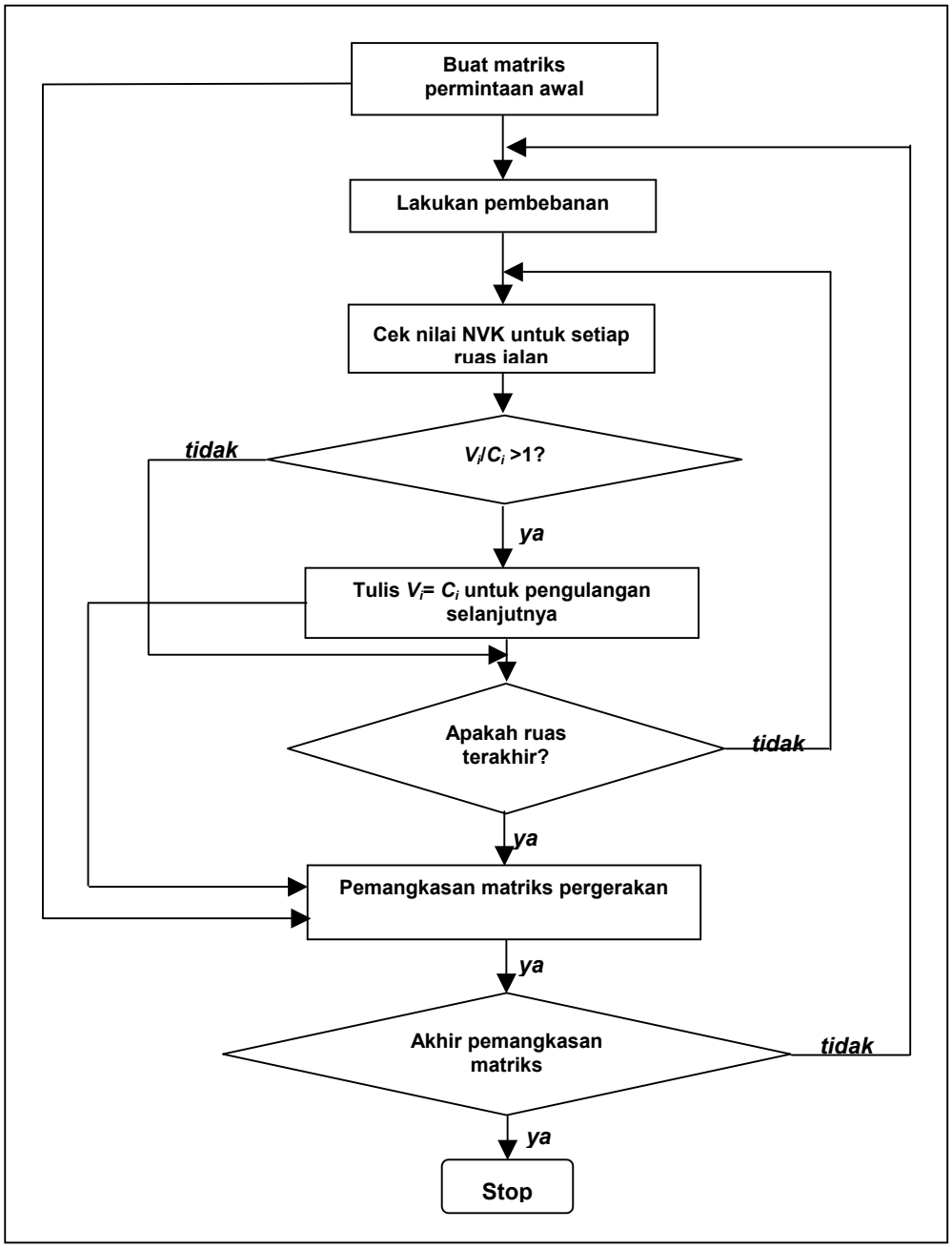
Gambar 7.28 memperlihatkan bahwa dengan asumsi pembebanan-elastis fenomena penurunan permintaan akan pergerakan, adanya pergerakan yang akan menggunakan moda transportasi lain atau adanya perubahan waktu pergerakan dapat diwakili oleh turunnya posisi kurva persentase pergerakan yang terbebankan untuk pembebanan-elastis (tanpa jalan tol dalam kota) terhadap kurva yang sama untuk pembebanan-tidak-elastis pada beberapa tahun rencana. Sebaliknya, fenomena lalulintas yang terbangkitkan oleh pembebanan-elastis divisualisasikan dengan baik melalui kenaikan kurva pembebanan-elastis (dengan jalan tol dalam kota) terhadap kurva pembebanan-elastisnya dengan skenario tanpa jalan tol.

7.10.2 Metode pemangkasan matriks pergerakan

Metode pemangkasan matriks pergerakan bertujuan untuk membatasi matriks pergerakan $\boldsymbol{T_{id}}$ sedemikian rupa sehingga arus lalulintas yang dihasilkan dari pembebanan tersebut mencerminkan kapasitas jaringan jalan. Asumsi dasar yang digunakan dalam metode ini adalah terdapatnya sejumlah orang yang akan menunda atau mempercepat jam keberangkatannya jika arus lalulintas pada ruas jaringan jalan tersebut melebihi kapasitasnya.

7.10.2.1 Prosedur pemangkasan Pendekatan pemangkasan matriks pergerakan ini menggunakan model **Estimasi-Matriks-Entropi-Maksimum** (**EMEM**) – target besar arus lalulintas diganti dengan kapasitas ruas jalan yang mengalami pembebanan-berlebih. Dengan pendekatan ini diharapkan hasil peramalan permintaan perjalanan menjadi lebih realistis.

Diagram alir yang menggambarkan prosedur metode pemangkasan matriks dapat dilihat pada gambar 7.29.



Gambar 7.29 Prosedur metode pemangkasan matriks pergerakan
Sumber: Mekky (1993) dan Syafi'i (1998)

Syafi'i (1998) menjelaskan secara singkat prosedur metode pemangkasan matriks pergerakan seperti diuraikan berikut ini.

1 bebankan matriks permintaan pergerakan awal pada sistem jaringan jalan;

2 identifikasi setiap ruas jalan yang mempunyai arus yang melebihi kapasitas ruasnya (**NVK > 1**);

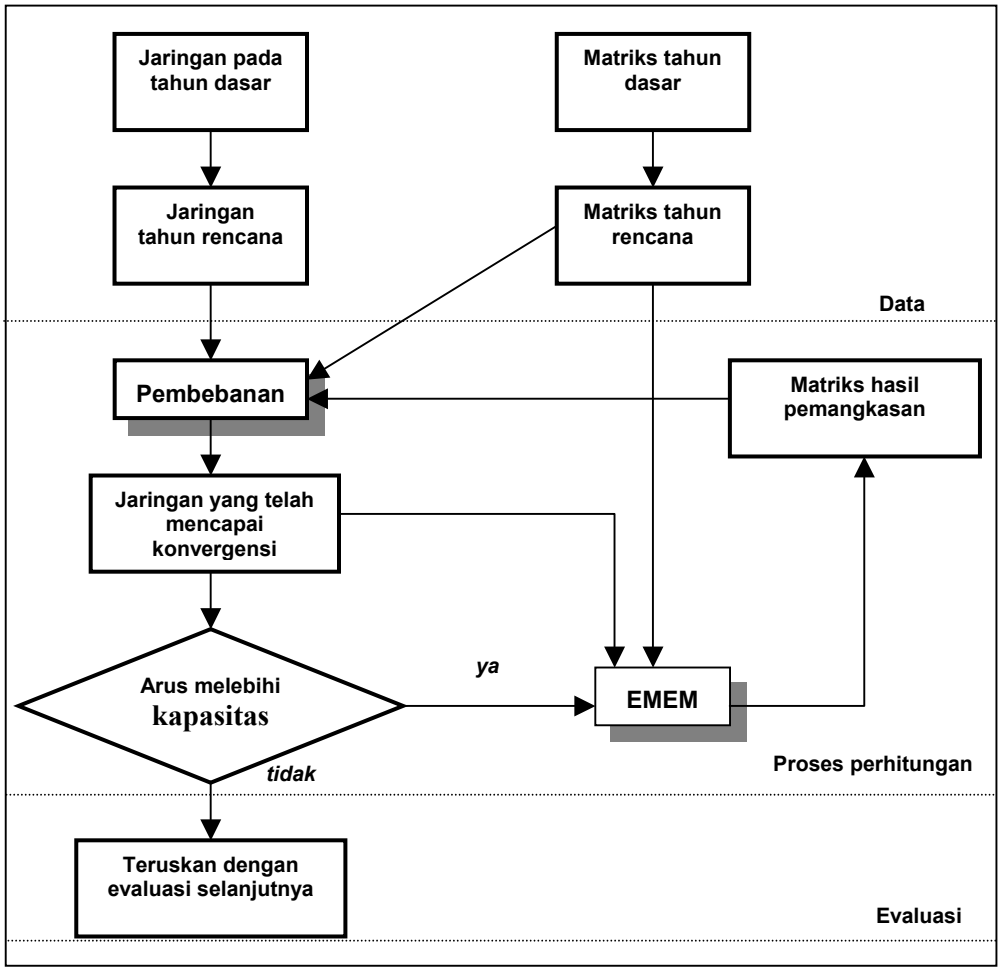
3 batasi lalulintas pada ruas jalan tersebut dengan menggunakan model EMEM sehingga sama dengan kapasitas ruas jalan yang bersangkutan;

4 modifikasi matriks permintaan pergerakan sesuai dengan tahap (**3**);

5 lakukan proses pembebanan dengan menggunakan matriks yang telah dimodifikasi;

6 ulangi tahap (**2**)–(**5**) sesuai dengan kebutuhan.

7.10.2.2 Struktur metode pemangkasan matriks Metode pemangkasan matriks pergerakan merupakan metode pendekatan pengulangan untuk mendapatkan matriks permintaan pergerakan sedemikian rupa sehingga jika matriks tersebut dibebani pada jaringan jalan akan menghasilkan arus yang merefleksikan kapasitas jaringan jalan yang bersangkutan. Pendekatan metode ini dilakukan dalam usaha memperbaiki model pendekatan matriks permintaan tetap (tidak-elastis). Gambar 7.30 menggambarkan bagaimana proses pengulangan dilakukan pada struktur metode pemangkasan matriks.



Gambar 7.30 Struktur metode pemangkasan matriks
Sumber: Syafi'i (1998)

Metode pembebanan dengan pendekatan permintaan pergerakan tetap (tidak-elastis) memiliki asumsi dasar bahwa jumlah total pergerakan dari zona asal ***i*** ke zona tujuan ***d*** per satu satuan waktu (T_{id}) akan seluruhnya tersalurkan pada seluruh ruas pada jaringan jalan, berapa besar pun nilai T_{id} tersebut. Dengan demikian, pendekatan metode pembebanan-tidak-elastis dianggap kurang realistis, khususnya jika diterapkan pada jaringan jalan perkotaan dengan tingkat kemacetan tinggi. Secara ringkas algoritma tersebut terbagi menjadi tiga bagian utama **(Syafi'i, 1998)**:

1 **Pangkalan data** Data yang harus dipersiapkan meliputi data jaringan jalan dan data matriks perjalanan.

2 **Proses perhitungan** Pada tahap ini dilakukan proses pembebanan dengan metode pembebanan-keseimbangan-pengguna dan pemangkasan matriks pergerakan dengan menggunakan model EMEM. Proses ini dilakukan secara berulang. dan dilakukan dengan menggunakan program SATURN (**Van Vliet, 1982**).

3 **Evaluasi** Dilakukan evaluasi kinerja jaringan jalan akibat pemangkasan matriks pergerakan dengan atau tanpa dilakukan perubahan terhadap jaringan jalan, evaluasi manfaat investasi dari aplikasi metode pemangkasan matriks dan membandingkan hasil di atas dengan metode pembebanan lainnya (keseimbangan-pengguna dan pembebanan-elastis).

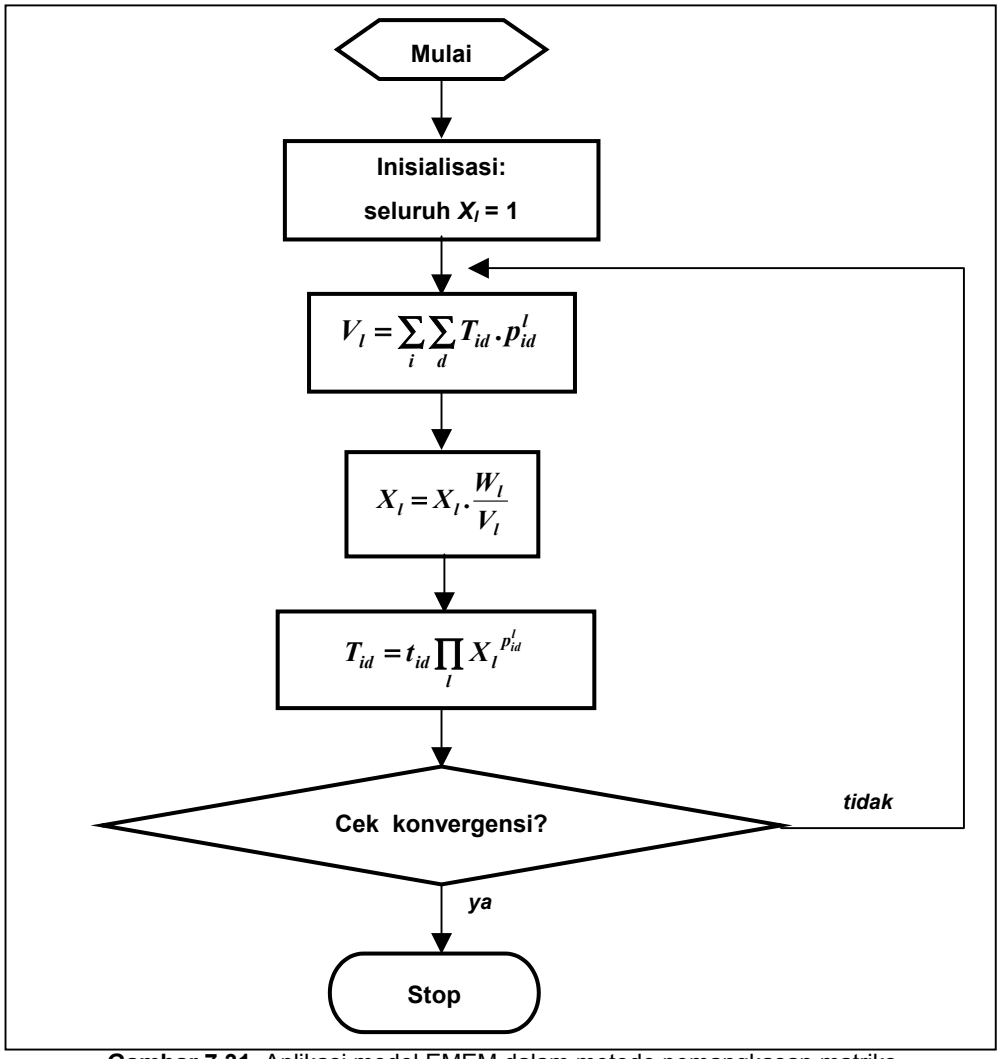
7.10.2.3 Prosedur pemangkasan matriks pergerakan Permasalahan dalam metode pemangkasan matriks adalah merumuskan masalah optimasi cembung yang fungsi tujuannya dinyatakan sebagai ukuran 'jarak' antara matriks permintaan awal dengan matriks permintaan hasil estimasi yang telah disesuaikan dengan batasan tertentu.

Batasan yang sering digunakan adalah meminimumkan perbedaan 'jarak' antara arus lalulintas yang diperoleh dari hasil pengamatan dengan arus lalulintas hasil pembebanan. Untuk menjembatani pendekatan ini, masalah memperbaharui matriks pergerakan dengan menggunakan data arus lalulintas dan membatasi jumlah arus lalulintas hasil pembebanan pada suatu ruas jalan tertentu merupakan masalah pokok. Karena itu, pendekatan metode pemangkasan matriks ini menggunakan model EMEM.

Model EMEM mengatur suatu matriks pergerakan sedemikian rupa sehingga arus lalulintas yang dibebankan pada ruas jalan tertentu akan mendekati target (data arus lalulintas hasil pengamatan). Secara ringkas dapat dikatakan bahwa model EMEM mengidentifikasi, untuk setiap ruas jalan tertentu, kemungkinan pergerakan setiap pasangan antarzona yang menggunakan ruas jalan tersebut, dan mengatur pergerakan untuk setiap pasangan antarzona sedemikian rupa sehingga arus pada ruas jalan akan mendekati target (data arus lalulintas hasil pengamatan).

Proses ini dilakukan secara berulang sampai memenuhi tingkat konvergensi tertentu. Dalam prosedur metode pemangkasan matriks, model EMEM akan digunakan pada ruas jalan yang pembebanannya berlebih, yang target volume lalulintasnya adalah kapasitas ruas jalan yang bersangkutan.

Dari penjelasan di atas dapat disimpulkan bahwa aplikasi model EMEM dalam metode pemangkasan matriks pergerakan adalah untuk menghasilkan suatu matriks pergerakan T_{id} sedemikian rupa sehingga arus lalulintas dari hasil pembebanan akan mendekati target volume (kapasitas ruas jalan). Diagram alir metode pemangkasan matriks dapat dilihat pada gambar 7.31 sebagai berikut.



Gambar 7.31 Aplikasi model EMEM dalam metode pemangkasan matriks
Sumber: Syafi'i (1998)

Berdasarkan pernyataan di atas dapat dibuat suatu algoritma dasar penyelesaian pemangkasan matriks sebagai berikut:

1 Tetapkan semua faktor penyeimbang, $X_l = 1$;

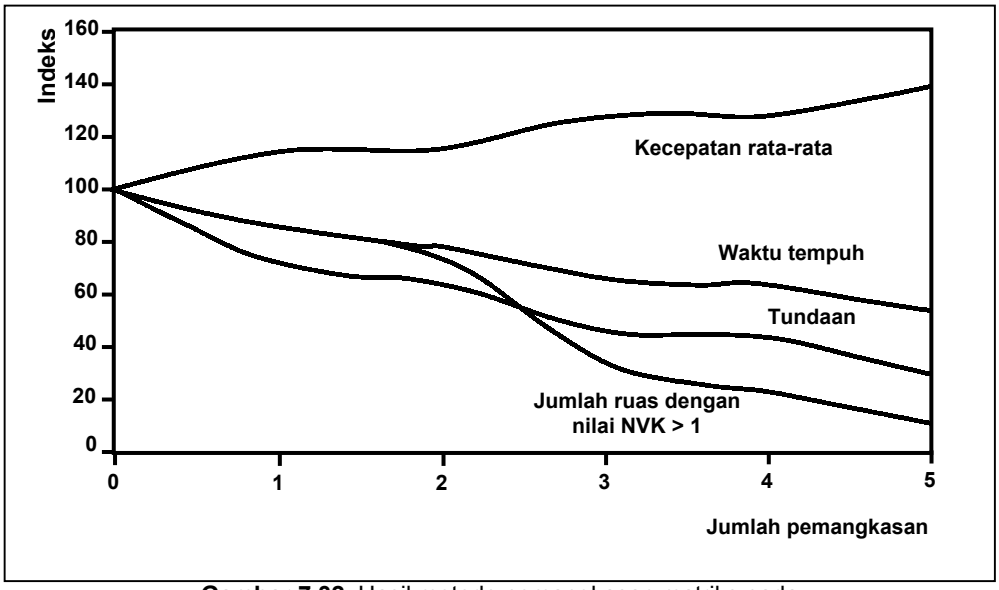
2 Untuk setiap ruas yang memiliki nilai **NVK>1**:

- hitung arus dari hasil model V_l;

- perbaharui nilai: $X_l = X_l \cdot \frac{W_l}{V_l}$, dengan W_l = target arus lalulintas (pada proses pemangkasan matriks perjalanan W_l adalah arus hasil pembebanan sebelumnya, tetapi jika melebihi kapasitas ruas yang bersangkutan, arus tersebut diganti dengan kapasitas ruas);
- hitung kembali semua T_{id};

3 Jika perubahan nilai X_l secara keseluruhan kurang dari nilai kritis yang ditentukan, **stop**; **jika tidak**, kembali ke tahap (**2**).

7.10.2.4 Contoh penerapan **Syafi'i (1998)** mencoba menerapkan metode pemangkasan matriks pada sistem jaringan di Kotamadya Bandung dengan sistem jaringan pada contoh metode pembebanan-elastis. Beberapa hasil yang didapatkan tampak pada gambar 7.32.



Gambar 7.32 Hasil metode pemangkasan matriks pada sistem jaringan jalan di Kotamadya Bandung
Sumber: Syafi'i, 1998

Terlihat bahwa dengan bertambahnya jumlah pemangkasan matriks, kecepatan rata-rata di dalam jaringan pun semakin meningkat. Begitu juga halnya dengan waktu tempuh, tundaan, serta jumlah ruas dengan nilai NVK>1. Sekali lagi, hal ini membuktikan bahwa penggunaan metode pemangkasan matriks ternyata menghasilkan kondisi arus lalulintas di dalam sistem jaringan yang lebih baik jika dibandingkan dengan metode pembebanan-tidak-elastis.

Hal ini membuktikan terjadinya penurunan permintaan akan pergerakan sebagai tanggapan para pengguna terhadap kemacetan (pembebanan-berlebih). Penurunan tersebut terjadi karena sebagian pergerakan bergerak lebih awal atau malah menunda pergerakannya.

8 Model transportasi berdasarkan data arus lalulintas

8.1 Pendahuluan

Kemacetan dan tundaan di daerah perkotaan merupakan masalah yang sangat kritis yang dihadapi banyak kota besar di negara sedang berkembang, misalnya Indonesia. Permasalahan ini disebabkan oleh beberapa faktor seperti urbanisasi, pertumbuhan penduduk yang pesat, laju pertumbuhan ekonomi, dan pertumbuhan lalulintas yang tinggi. Di Indonesia, masalah kemacetan ini timbul di beberapa kota besar seperti Jakarta, Surabaya, Medan, Bandung, dan akan diikuti oleh beberapa kota lainnya pada akhir tahun 2000.

Kemacetan, keterlambatan, polusi suara, polusi udara, dan pencemaran lingkungan merupakan sebagian permasalahan tersebut. Untuk mengatasinya perlu dilakukan beberapa tindakan seperti menambah jaringan jalan, menerapkan manajemen lalulintas, menetapkan kebijakan transportasi, termasuk angkutan umum. Untuk itu diperlukan informasi mengenai pola perjalanan atau pergerakan manusia dan/atau barang yang biasanya diwakili dengan ***Origin–Destination Matrix*** **(O–D Matrix)** atau **Matriks Asal–Tujuan (MAT)**.

Jika MAT ini dibebankan ke jaringan jalan, dihasilkan pola arus lalulintas. Dengan mempelajari pola tersebut, kita dapat mengidentifikasi permasalahan yang terjadi pada jaringan jalan dan selanjutnya beberapa solusi bisa diperoleh. Oleh karena itu, informasi tentang MAT berperan sangat penting dalam usaha menanggulangi masalah kemacetan di kota besar. Contohnya, agar suatu ‘kebijakan transportasi’ dapat dikatakan berhasil, perlu diketahui pola perjalanan sebelum dan sesudah kebijakan tersebut diterapkan.

Seperti telah dijelaskan sebelumnya pada bab 5, Matriks Asal–Tujuan (MAT) merupakan masukan utama yang paling sering digunakan dalam berbagai macam perencanaan dan manajemen sistem transportasi. Dapat dikatakan bahwa MAT ‘yang sebenarnya terjadi’ di lapangan tidak akan pernah bisa diketahui oleh siapa pun sehingga para peneliti mengembangkan berbagai macam metode beberapa tahun belakangan ini untuk dapat memperkirakan MAT tersebut. Metode penaksiran digolongkan menjadi dua kelompok.

Kelompok pertama disebut **metode konvensional**, yang secara langsung menaksir sampel MAT dari lapangan. Beberapa jenis survei yang tergolong dalam metode ini adalah survei wawancara di rumah dan di tepi jalan, metode menggunakan-bendera, foto udara, atau kombinasinya yang penggunaannya sangat tergantung pada permasalahan yang dihadapi dan sumber daya yang tersedia. Tetapi, metode konvensional ini cenderung membutuhkan biaya yang sangat mahal dan tenaga kerja yang sangat banyak, sangat mengganggu pergerakan arus lalulintas, dan yang

terpenting, hasil akhirnya hanya berlaku untuk selang waktu yang singkat (penjelasan mengenai metode ini didapat pada bab 6).

Kelompok yang kedua disebut **metode tidak konvensional**, yang hanya membutuhkan biaya sangat murah berupa informasi data arus lalulintas yang banyak tersedia dan mudah didapat. Metode penaksiran ini banyak mendapat perhatian para peneliti pada beberapa tahun belakangan ini karena keuntungannya secara ekonomi. Keuntungan tersebut bisa didapat karena metode ini hanya membutuhkan data arus lalulintas yang sangat murah dan mudah mendapatkannya jika dibandingkan dengan survei lain yang membutuhkan waktu yang sangat lama, tenaga kerja yang banyak, serta pekerjaan survei yang intensif yang tentu lebih mahal.

Selain itu, banyak instansi terkait yang mengumpulkan data secara rutin sehingga banyak tersedia dan mudah didapat. Ini memungkinkan perubahan atau tingkat pertumbuhan arus lalulintas dapat dengan mudah dideteksi dan dianalisis. Belakangan ini, teknik pengumpulan data secara otomatis juga berkembang sangat pesat dan baik, misalnya dengan menggunakan **proses citra** (**Hoose and Willumsen, 1987**) serta metode lain yang ketepatannya sangat tinggi. Semua hal ini menyebabkan teknik tersebut dapat juga digunakan untuk menganalisis fluktuasi lalulintas untuk setiap jam, hari, dan musim, termasuk informasi MAT-nya.

Semua alasan di atas menyebabkan data arus lalulintas sangat menguntungkan untuk dipakai. Metode tidak konvensional ini terasa sekali sangat diperlukan untuk negara sedang berkembang, terutama bagi kota yang membutuhkan pemecahan masalah transportasi yang bersifat cepat tanggap. Ini diperkuat dengan keterbatasan yang biasanya ada di negara sedang berkembang, yaitu dalam hal waktu dan biaya. Oleh sebab itu, sangatlah diperlukan metode tidak konvensional yang hanya memerlukan data yang dapat diperoleh dengan biaya murah dan waktu yang singkat.

Bab 8 ini disusun sebagai berikut. Pemikiran dasar dan beberapa penelitian yang telah dilakukan yang berkaitan dengan penggunaan data arus lalulintas dalam pemodelan kebutuhan akan transportasi akan diberikan secara singkat pada subbab 8.2–8.3. Pendekatan yang digunakan oleh beberapa penelitian terdahulu dapat dikelompokkan menjadi 3, yaitu pendekatan **penaksiran model kebutuhan-akan-transportasi**, pendekatan **penaksiran keseimbangan-jaringan**, dan pendekatan **penaksiran teori informasi**.

Beberapa keuntungan penggunaan data arus lalulintas dalam pemodelan kebutuhan akan transportasi akan diberikan pada subbab 8.5 dan diteruskan dengan subbab 8.6 yang membahas beberapa permasalahan yang ditimbulkannya. Subbab 8.7 menjelaskan konsep secara mendasar tentang pemodelan kebutuhan akan transportasi yang berdasarkan pada data arus lalulintas. Subbab 8.8 menjelaskan penerapan konsep tersebut lebih lanjut pada model **kombinasi SPPM (Sebaran Pergerakan–Pemilihan Moda)**.

Konsep dasar pengembangan beberapa metode penaksiran yang telah dikembangkan baik oleh peneliti terdahulu maupun oleh penulis akan diberikan secara rinci pada subbab 8.9. Metode penaksiran tersebut meliputi metode

penaksiran **kuadrat-terkecil (KT)** yang akan diberikan pada subbab 8.10, metode penaksiran **kemiripan-maksimum (KM)** pada subbab 8.11, metode penaksiran **inferensi-Bayes (IB)** pada subbab 8.12, dan metode penaksiran **entropi-maksimum (EM)** pada subbab 8.13. Subbab 8.14 menjelaskan peranan penggunaan data lainnya selain data arus lalulintas, misalnya data MAT parsial dalam pemodelan kebutuhan akan transportasi. Subbab 8.15 menjelaskan beberapa metode kalibrasi yang dibutuhkan dan subbab 8.16 menjelaskan program komputer dan prosedur kalibrasi yang telah dikembangkan.

Beberapa penerapan yang telah dilakukan oleh penulis yang berkaitan dengan penggunaan data arus lalulintas diberikan pada subbab 8.17. Subbab 8.18 menjelaskan perkembangan terakhir dewasa ini tentang terbukanya kemungkinan penggunaan data arus lalulintas yang bersifat waktu-nyata yang sudah tersedia di beberapa kota besar di Indonesia, misalnya data **ATCS (*Area Traffic Control System*)** di DKI-Jakarta dan Kotamadya Bandung untuk mendapatkan informasi MAT berwaktu-nyata untuk daerah perkotaan; sementara, subbab 8.19 menjelaskan pemanfaatan data arus lalulintas (IRMS) yang secara rutin dikumpulkan oleh Direktorat Jenderal Bina Marga untuk mendapatkan informasi MAT regional dan nasional.

8.2 Pemikiran dasar

Sangatlah berguna apabila dapat dibedakan antara MAT yang terjadi sekarang dan MAT yang diperkirakan akan terjadi pada masa mendatang di suatu daerah kajian. Dalam kasus pertama, MAT menjelaskan pola pergerakan pada masa sekarang atau masa yang baru lampau. Pada kasus yang kedua, beberapa data proyeksi sosio-ekonomi dan/atau tata guna tanah dibutuhkan untuk memperkirakan MAT pada masa mendatang; informasi tersebut kemudian digunakan untuk menaksir arus lalulintas pada masa mendatang.

Dasar pemikiran pendekatan ini adalah pengembangan metode penaksiran MAT yang bukan hanya digunakan untuk mendapatkan MAT pada masa sekarang (termasuk arus lalulintasnya), tetapi juga untuk meramalkan MAT (dan arus lalulintasnya) pada masa mendatang. Salah satu caranya adalah dengan memodelkan perilaku pengendara atau kebutuhan akan pergerakan yang terjadi di dalam suatu daerah kajian yang kemudian dikalibrasi dengan data arus lalulintas.

Jadi, dasar pemikirannya adalah menerapkan sistem model kebutuhan akan transportasi untuk memperkirakan jumlah pergerakan yang dilakukan oleh setiap tujuan pergerakan selama selang waktu tertentu. Yang perlu digarisbawahi adalah bahwa model kebutuhan akan transportasi tersebut selalu dinyatakan dengan fungsi berbagai peubah perencanaan seperti populasi dan/atau lapangan kerja serta beberapa parameter sosio-ekonomi lainnya.

Apa pun spesifikasi dan hipotesis yang menggarisbawahi model yang digunakan, tujuan utamanya tetap untuk menaksir parameter model tersebut dengan menggunakan informasi data arus lalulintas. Setelah parameter model dapat dikalibrasi, maka model dapat digunakan bukan saja untuk menaksir MAT pada masa sekarang, tetapi juga untuk meramalkan masa mendatang.

Tentu hal ini membutuhkan perhitungan nilai peubah perencanaan pada masa mendatang. Kelemahan utama pendekatan ini adalah dibutuhkannya informasi data perencanaan lain (yang berbasis zona), selain data arus lalulintas. Sebagai contoh, mungkin saja model tersebut membutuhkan informasi jumlah **ujung perjalanan** atau sekurang-kurangnya data populasi atau lapangan kerja. Tetapi, data tambahan ini masih lebih mudah dan lebih murah mendapatkannya dibandingkan dengan mengumpulkan data MAT yang lengkap.

8.3 Penelitian yang telah dilakukan

Nguyen (**1982**) mengulas dengan sangat baik kemutakhiran penelitian yang berkaitan dengan penaksiran MAT dengan menggunakan data arus lalulintas. Ulasan tersebut disampaikan dalam bentuk umum seperti berikut ini. Jika **P** menyatakan suatu set zona asal dan **Q** adalah zona tujuan, maka **I=PxQ** menyatakan suatu set pasangan zona asal dan tujuan. Banyak model yang berkaitan dengan penaksiran MAT [T_{id}] dari data arus lalulintas yang dapat dituliskan dalam bentuk berikut:

meminimumkan atau memaksimumkan $f(T,t)$ (8.1)

dengan batasan: $$\sum_i \sum_d T_{id} \cdot p_{id}^l = \hat{V}_l \quad \text{untuk} \quad l \in \mathbf{L} \tag{8.2}$$

$$T_{id} \geq 0 \tag{8.3}$$

Koefisien p_{id}^l menyatakan nilai proporsi pergerakan yang bergerak dari setiap zona asal i ke setiap zona tujuan d yang menggunakan ruas l dengan $\hat{V}_l$ menyatakan volume lalulintas pada ruas jalan tersebut.

Ulasan sebelumnya oleh **Willumsen** (**1978ab**,**1981a**) mengelompokkan prosedur penaksiran menjadi tiga kelompok utama, yaitu pendekatan **model *gravity***, **pembebanan keseimbangan**, dan **entropi-maksimum**. Dengan memperhitungkan penelitian yang baru sejak ulasan tersebut dilakukan, dirasakan lebih baik jika mengelompokkannya menjadi tiga kelompok baru (**Tamin**, **1988abcd**), yaitu pendekatan penaksiran model **kebutuhan-akan-transportasi**, pendekatan penaksiran **keseimbangan-jaringan**, dan pendekatan penaksiran **teori informasi** yang masing-masing dijelaskan pada subbab berikut ini.

8.3.1 Pendekatan penaksiran model kebutuhan-akan-transportasi

Pendekatan ini mengasumsikan bahwa perilaku pengendara atau kebutuhan akan pergerakan di dalam suatu daerah kajian dapat dinyatakan secara baik dengan model kebutuhan akan transportasi yang umum, misalnya model *gravity* (GR). Kelompok ini dapat juga dikelompokkan lagi, tergantung pada model yang digunakan, menjadi tiga subkelompok, yaitu model ***gravity* (GR)**, **kebutuhan-langsung**, dan ***gravity-opportunity* (GO)**. Setiap model dijelaskan lebih rinci pada bagian berikut ini.

8.3.1.1 Penaksiran model *gravity* Prosedur penaksiran model *gravity* meng-asumsikan bahwa pergerakan dari setiap zona asal i ke setiap zona tujuan d

berbanding lurus dengan kapasitas bangkitan dan tarikan dari zona tersebut dan berbanding terbalik dengan aksesibilitas antara keduanya. Dalam bentuk yang sederhana, pendekatan ini mengasumsikan bahwa perilaku pergerakan di dalam daerah kajian dapat dijelaskan dengan tiga faktor utama, yaitu faktor bangkitan, tarikan, dan aksesibilitas atau biaya perjalanan antara kedua zona.

Kebanyakan metode penaksiran yang dikembangkan dalam subkelompok ini tergantung pada tersedianya informasi lain yang memang sangat terbatas (selain data informasi arus lalulintas) untuk menaksir ketiga faktor tersebut. Dalam prosedurnya, T_{id} pada persamaan (8.2) dinyatakan dalam bentuk fungsi model kebutuhan akan transportasi beserta parameternya, misalnya eksponen β pada model *gravity*.

Model *gravity* dapat dinyatakan dalam beberapa tingkat permasalahan. Parameter model *gravity* tersebut kemudian ditaksir sehingga galat atau perbedaan antara arus lalulintas hasil pengamatan dan hasil penaksiran menjadi sekecil mungkin. Metode penaksiran untuk jenis ini juga diusulkan oleh **Low** (**1972**) yang menggunakan model *gravity* sederhana yang kemudian dikalibrasi dengan analisis kuadrat-terkecil-linear (lihat juga **OECD**, **1974**); **Robillard** (**1975**) dan **Högberg** (**1976**) menggunakan metode analisis kuadrat-terkecil-tidak-linear.

Metode penaksiran lain yang relevan diusulkan oleh **Holm *et al*** (**1976**) yang menggunakan analisis kemiripan-maksimum. Tetapi, masih sangat sedikit pengabsahan yang dilakukan untuk metode penaksiran tersebut sehingga terdapat beberapa peluang penelitian lanjutan yang dapat dilakukan untuk mempelajari bentuk model lain yang lebih fleksibel dan menyeluruh.

Terdapat beberapa jenis model *gravity*, baik linear maupun tidak-linear yang dikembangkan pada beberapa tahun belakangan ini oleh para peneliti. Perbedaaan utama di antara kedua model tersebut terletak pada peubah tidak bebas, fungsi hambatan, dan jenis teknik pemilihan rute yang digunakan. Karena penggunaan matematika yang lebih rumit, metode penaksiran kuadrat-terkecil-tidak-linear membutuhkan waktu komputer yang lebih lama dibandingkan dengan metode linear dalam pemecahan masalah dengan jumlah parameter yang sama.

8.3.1.2 Penaksiran model kebutuhan-langsung **Carey *et al*** (**1981**) menyarankan metode penaksiran MAT dengan menggunakan model kebutuhan-langsung dengan data yang tidak lengkap. Permasalahannya lebih ditekankan pada penggunaan model kebutuhan-langsung yang mempunyai hubungan linear antara parameternya. Penaksiran arus lalulintas didapatkan dari hasil pemecahan persamaan matematika dengan pendekatan pemrograman-kuadrat (model kuadrat-terkecil-linear-berbatas), dengan tujuan meminimumkan jumlah simpangan kuadratis dengan batasan yang didapatkan dari beberapa data pengamatan arus lalulintas.

Terdapat tiga kunci utama yang dibutuhkan dalam pengembangan model jenis ini. Pertama, diasumsikan bahwa volume perjalanan antarzona harus dimodelkan sebagai fungsi data sosio-ekonomi yang sesuai dengan setiap zona dan aksesibilitas antarzona; hubungan ini disebut model kebutuhan-langsung. Kedua, diasumsikan bahwa pergerakan antarzona harus konsisten dengan data pengamatan arus

lalulintas yang didapat. Terakhir, volume antarzona yang dihasilkan harus meminimumkan jumlah kuadratis simpangan dengan volume hasil pengamatan. Rumusan akhir model tersebut sangat tergantung pada jenis informasi yang tersedia pada setiap penggunaan. Informasi yang dibutuhkan untuk metode ini adalah:

(a) data aksesibilitas C_{id} antara zona asal i dan zona tujuan d;

(b) data ciri sosio-ekonomi dari setiap zona asal dan tujuan, yang dinyatakan dengan vektor x_i dan x_d;

(c) pengamatan data pergerakan antarzona q_{id}^0 ;

(d) pengamatan arus di beberapa ruas jalan V_k;

(e) pengamatan total pergerakan M_i yang berasal dari zona asal i dan total pergerakan A_d yang menuju zona tujuan d.

Informasi data aksesibilitas (**a**) dibutuhkan untuk setiap pasangan zona dan data ciri sosio-ekonomi (**b**) dibutuhkan untuk setiap zona, sedangkan pengamatan (**c**,**d**,**e**) tidak diperlukan untuk setiap zona. Model kebutuhan-langsung menggambarkan pergerakan, q_{id}, yang bergerak dari zona asal i ke zona tujuan d sebagai fungsi ciri sosio-ekonomi (x_i,x_d) kedua zona dan data aksesibilitas antarzona C_{id}.

$$q_{id} = \alpha_0 . x_i^{\alpha_1} . x_d^{\alpha_2} . C_{id}^{\alpha_3} \tag{8.4}$$

Secara matematis, permasalahan penaksiran tersebut dapat dinyatakan sebagai:

meminimumkan
$$Z = \sum_{(i,d)\notin S^0} [q_{id} - f(x_{id},\alpha)]^2 + \sum_{(i,d)\in S^0} [q_{id}^0 - f(x_{id},\alpha)]^2 \tag{8.5}$$

dengan batasan:
$$\sum_{d|(i,d)\notin S^0} q_{id} + \sum_{d|(i,d)\in S^0} q_{id}^0 = M_i \tag{8.6}$$

$$\sum_{i|(i,d)\notin S^0} q_{id} + \sum_{i|(i,d)\in S^0} q_{id}^0 = A_d \tag{8.7}$$

$$\sum_{(i,d)\notin C^u(k)} q_{id} + \sum_{(i,d)\in C^0(k)} q_{id}^0 = V_k \quad \text{untuk semua } k \tag{8.8}$$

S^0 = set dari semua pasangan (i,d) yang mempunyai data pengamatan arus antarzona, q_{id}^0.

q_{id} = volume antarzona dengan $(i,d) \notin S^0$.

$C(k)$ = suatu potongan, misalnya satu set rute (i,d). $C^0(k)$ adalah suatu potongan dari $C(k)$ dengan arus ruas pengamatan q_{id}^0. Juga, jika $C^U(k)$ merupakan potongan rute dari $C(k)$ yang tidak diamati arusnya, maka: $C(k) = C^U(k) \cup C^0(k)$ dan $C^U(k) \cap C^0(k) = 0$.

V_k = arus hasil pengamatan pada ruas jalan dalam potongan $C(k)$.

Tetapi, batasan utama metode ini adalah tidak tersedianya penjelasan rinci mengenai model kebutuhan-langsung, batasan komputasi dalam penyelesaian masalah pemrograman-kuadrat dengan batasan linear, serta perilaku statistiknya.

Carey and Revelli (**1986**) mengembangkan model tersebut ke arah pemecahan batasan yang bersifat pertidaksamaan dan menghasilkan perilaku statistik yang lebih baik. Penelitian juga diteruskan pada penggunaan model kebutuhan-langsung yang lebih umum yang mempunyai hubungan tidak-linear antara parameternya dan juga mempunyai batasan pertidaksamaan.

Hendrickson and McNeil (**1984ab**) dan **McNeil and Hendrickson** (**1985ab**) juga mengembangkan model yang lebih umum dibandingkan dengan model yang dikembangkan oleh **Carey *et al*** (**1981**). Rumusan pemrograman-kuadrat secara ekivalen dirumuskan kembali sebagai permasalahan penaksiran yang bersifat kuadrat-terkecil-umum-dengan-batasan (KTUDB), yang memungkinkan penggunaan peramalan dari ketidakpastian serta pemakaian semua informasi yang ada dalam bentuk batasan. Permasalahan KTUDB memungkinkan digunakannya pemakaian matriks variansi-kovariansi.

Metode ini dapat dihitung dengan menggunakan matriks manipulasi atau paket program pemrograman-kuadrat. Jika dibandingkan dengan metode yang tersedia, perumusan secara kuadratis ternyata lebih fleksibel karena setiap informasi dapat digunakan sebagai batasan, serta dimungkinkan didapatkannya penaksiran variansi matriks. Suatu pendekatan yang mirip, yang disebut penaksiran kuadrat-terkecil-umum (KTU) dikembangkan oleh **Cascetta** (**1984**).

8.3.1.3 Penaksiran model *gravity-opportunity* (GO) Kerangka kerja yang berbeda dalam pemodelan perilaku pergerakan dapat dibuat dengan menggunakan model *Intervening-Opportunity* (IO). Pertimbangkan suatu zona asal dan beberapa kemungkinan zona tujuan di dalam permukaan yang berdimensi dua; setiap kemungkinan yang terjadi antara zona tujuan tersebut diurut sesuai dengan jarak dari zona asal.

Tentukan salah satu zona tujuan dan ubahlah salah satu atributnya, misalnya jumlah pertokoan. Perubahan akan menimbulkan efek yang berbeda dan lebih kecil pada pergerakan dari zona asal ke zona tujuan yang jaraknya lebih dekat, dibandingkan dengan zona tujuan yang jaraknya lebih jauh. Perbedaan ini disebabkan oleh efek IO pada zona tujuan, dan ini merupakan fenomena intuitif yang logis yang pada model *gravity* sama sekali tidak dipertimbangkan. Salah satu kesulitan yang menghambat pengembangan model IO adalah persyaratan penggantian hambatan perjalanan (jarak, waktu, dan biaya) dengan sesuatu yang hanya didasari ciri beberapa zona tujuan yang saling mempengaruhi.

Selanjutnya, notasi juga menghambat penggunaan model ini karena mensyaratkan zona tujuan yang harus diurut sesuai dengan jarak yang semakin menjauh dari zona asal. Di satu sisi, model *gravity* kurang memperhatikan efek *intervening*, sedangkan di sisi lain model IO tidak mempertimbangkan efek hambatan. Sangatlah logis jika model yang ideal adalah model yang mempertimbangkan kedua efek tersebut.

Wills (**1978**,**1986**) mengembangkan model GO; bentuk dasar model GR dan IO bisa dihasilkan sebagai kasus khusus. Jadi, pemilihan antara pendekatan model GR atau IO diputuskan secara empirik dan statistik dengan menggunakan batasan pada parameter yang mengontrol bentuk fungsi mekanisme penyebaran pergerakan. Penggunaan nilai parameter yang berbeda akan menghasilkan keluarga model yang berbeda pula, misalnya model IO jenis eksponensial dan jenis logaritma serta model GR. Semua model ini dapat diperlihatkan dalam suatu daerah berbentuk segitiga; kontur fungsi kemungkinan, permukaan respon dan selang kepercayaan dapat dirajah.

Dikotomi notasi antara dua pendekatan ini dapat dipecahkan dengan menggunakan MAT 'berurut' dan proses 'normalisasi' yang mensyaratkan batasan 'baris' dan 'kolom' harus dipenuhi. Batasan ini merupakan bagian dari prosedur normalisasi dan, karena itu, bukan merupakan bagian dari model. Selanjutnya, versi dua-batasan, satu-batasan, dan tanpa-batasan dari model GO dapat diturunkan. Pembaca yang berminat mengetahui lebih jauh model GO disarankan membaca bab 5.

Fungsi tujuan yang biasa digunakan untuk pemodelan sebaran pergerakan adalah meminimumkan residual antara MAT hasil pemodelan dan MAT hasil pengamatan. **Wills** (**1978**) melakukan percobaan bagi model GO tersebut dengan menggunakan data arus lalulintas serta metode penaksiran kemiripan-maksimum; hasilnya jauh lebih baik daripada model *gravity* (lihat juga **Tamin**, **1988abcd**). Model tersebut dapat dinyatakan sebagai persamaan (8.9) dengan batasan persamaan (8.2)–(8.3):

$$\textbf{memaksimumkan} \qquad \mathbf{L} = -\frac{\mathbf{1}}{\mathbf{2}}\mathbf{A}.\log_e \sum_l \left(V_l - \hat{V}_l\right)^2 \tag{8.9}$$

8.3.2 Pendekatan penaksiran keseimbangan-jaringan

Sangat diperlukan metode yang mempertimbangkan efek kemacetan yang sering ditemukan di daerah perkotaan atau pada jaringan yang pembebanan lalulintasnya sudah mendekati kapasitas jaringan. Beberapa pendekatan telah dikembangkan, yang memperhitungkan efek kemacetan dalam pemilihan rute; di sini teknik pembebanan keseimbangan dianggap sebagai teknik yang paling cocok dari segi teori dan praktis.

Jenis pembebanan ini konsisten dengan prinsip keseimbangan Wardrop (**Wardrop**, **1952**) yang dapat dinyatakan dalam bentuk program matematis. Pengembangan lebih lanjut prinsip ini menghasilkan sistem analisis dan pengembangan algoritma yang efisien untuk mendapatkan solusi (lihat **Van Vliet and Dow**, **1979**).

Pada kondisi pembebanan keseimbangan, seluruh biaya perjalanan untuk semua rute antarzona adalah sama. **Nguyen** (**1977**) menggunakan kenyataan ini untuk mengembangkan dua program matematika yang solusi akhirnya menghasilkan MAT yang konsisten dengan arus pergerakan saat pengamatan. Tetapi, program tersebut membutuhkan data arus lalulintas untuk semua ruas jalan yang ada dalam jaringan dan ini sangat mahal dari sisi pengumpulan data. Program itu dapat dinyatakan berikut ini:

meminimumkan
$$\mathbf{F} = \sum_{l} \left[\int_{0}^{V_l} C_l(V).\mathrm{d}V \right] - \sum_{i} \sum_{d} \left[C_{id} . T_{id} \right] \tag{8.10}$$

tergantung pada batasan:
$$V_l = \sum_{r} \sum_{i} \sum_{d} T_{id}^{r} . \delta_{idr}^{l} \tag{8.11}$$

$$T_{id} = \sum_{r} T_{id}^{r} \quad \text{untuk semua nilai } \boldsymbol{i}, \boldsymbol{d} \tag{8.12}$$

$$T_{id}^{r} \geq 0 \qquad \text{untuk semua nilai } \boldsymbol{i}, \boldsymbol{d}, \boldsymbol{r} \tag{8.13}$$

$$\delta_{idr}^{l} = \begin{cases} \mathbf{1} & \text{jika ruas } \boldsymbol{l} \text{ digunakan oleh rute } \boldsymbol{r} \text{ antara zona asal } \boldsymbol{i} \text{ ke zona tujuan } \boldsymbol{d} \\ \mathbf{0} & \text{jika tidak} \end{cases} \tag{8.14}$$

Apabila biaya perjalanan antar-pasangan-zona dan hubungan antara biaya–arus untuk setiap ruas jalan diketahui, permasalahan optimasi yang bersifat tidak-linear dapat dihasilkan, yang meminimumkan fungsi tujuan (8.10). **Nguyen** (**1977**) menyarankan suatu algoritma untuk mendapatkan solusi dengan, dimulai dari suatu nilai awal MAT, memperkenalkan faktor koreksi tertentu sampai kriteria konvergen terpenuhi.

Ditekankan pula bahwa permasalahan akan mempunyai solusi yang unik pada tingkat arus lalulintas, bukan pada tingkat MAT. Konsekuensinya, solusi akhir merupakan MAT yang jika dibebankan kembali ke jaringan jalan pada kondisi keseimbangan akan menghasilkan arus yang sesuai dengan arus hasil pengamatan.

Kelemahan utama pendekatan ini adalah tidak terdapatnya solusi yang unik yang memungkinkan dihasilkannya lebih dari satu MAT yang apabila dibebankan kembali ke jaringan jalan menghasilkan arus lalulintas yang sama. Dengan kata lain, nilai awal MAT yang berbeda akan menghasilkan solusi MAT yang berbeda, meskipun jika dibebankan kembali ke jaringan jalan akan menghasilkan arus lalulintas yang sama. Juga, solusi tersebut sangat dipengaruhi oleh berubah-ubahnya arus lalulintas, dan metode penaksiran mulai berperan hanya jika kemacetan merupakan hal utama dalam proses pemilihan rute.

Beberapa modifikasi pendekatan **Nguyen** (**1977**,**1982**) dikembangkan oleh **Turnquist and Gur** (**1979**). Dipastikan selalu ada solusi optimal dari beberapa MAT yang berbeda yang jika dibebankan kembali ke jaringan jalan akan menghasilkan arus lalulintas yang sama. Perbaikan yang paling penting pada algoritma ini adalah perhitungannya cenderung konvergen pada solusi yang mirip dengan nilai awalnya. Ini memberikan motivasi untuk menentukan nilai awal yang baik (atau suatu MAT target) dengan atribut yang diinginkan. Algoritma ini kemudian memodifikasi MAT target tersebut yang nantinya menghasilkan arus lalulintas yang sesuai dengan arus lalulintas hasil pengamatan. Untuk mengurangi waktu komputer, algoritma **Nguyen** (**1977**,**1982**) juga dimodifikasi sehingga dicapai proses konvergen yang lebih cepat.

LeBlanc and Farhangian (**1982**) mengembangkan prosedur yang secara berurutan menerapkan teknik Frank–Wolfe pada masalah yang sama dengan masalah **Nguyen** (**1977**). Prosedur ini jauh lebih efisien daripada metode Frank–Wolfe yang biasa digunakan. Tampak bahwa prosedur pemilihan MAT yang menghasilkan arus lalulintas yang sama dengan arus hasil pengamatan, serta mirip dengan MAT target, dapat dipecahkan secara efisien dengan prosedur pengali Lagrange.

Penelitian **Fisk and Boyce** (**1983**) menunjukkan bahwa pada kondisi keseimbangan, model kombinasi sebaran pergerakan dan pemilihan rute dapat juga digunakan, dengan menggunakan data arus lalulintas, untuk menaksir MAT. Pendekatan ini sangat menarik, khususnya karena tidak adanya kepastian bahwa pendekatan entropi akan selalu menghasilkan solusi yang unik.

8.3.3 Pendekatan penaksiran teori informasi

Pada jenis metode penaksiran ini, informasi tambahan yang dibutuhkan untuk menaksir MAT didapatkan dengan menggunakan prinsip umum yang menyatakan peluang pengaturan tertentu berdasarkan hasil pengamatan kondisi MAT yang seharusnya dihasilkan. Prinsip ini biasanya menggunakan konsep **entropi**, **informasi** atau **kemungkinan** untuk mendefinisikan pola pergerakan yang paling mungkin dan pengetahuan mengenai MAT yang harus didapatkan, yang dirumuskan dalam bentuk batasan dalam program optimasi. Beberapa model telah dikembangkan yang dijelaskan secara rinci berikut ini.

8.3.3.1 Model estimasi-matriks-entropi-maksimum (EMEM) Metode penaksiran ini menggunakan konsep entropi-maksimum untuk menaksir MAT dengan menggunakan informasi data arus lalulintas. Konsep ini, yang teori dasarnya berasal dari hukum fisika, menyatakan bahwa dalam sistem tertutup, unsur yang ada cenderung mempunyai aturan yang mempunyai **ketidakteraturan** yang paling besar yang dapat dilakukan dengan berbagai macam cara, yang sesuai dengan sistem batasan yang tersedia.

Wilson (**1967**,**1970**,**1981**), **Wilson *et al*** (**1981**) dan **Wilson and Bennett** (**1985**) menggunakan teknik entropi-maksimum untuk membentuk model kebutuhan akan transportasi, khususnya dalam perencanaan perkotaan dan wilayah seperti untuk menurunkan keluarga model *gravity* (GR) dari pertimbangan pendekatan entropi-maksimum (penurunan dapat dilihat secara rinci pada bab 5).

Willumsen (**1978ab**;**1981ab**) menghasilkan model penaksiran MAT dari data arus lalulintas dengan menggunakan pendekatan entropi-maksimum. Model tersebut secara luas dikenal sebagai model **Estimasi-Matriks-Entropi-Maksimum (EMEM)**.

Pertimbangkan suatu sistem yang terdiri dari sejumlah besar elemen. Penjelasan sangat rinci mengenai sistem tersebut membutuhkan spesifikasi yang lengkap mengenai status pada tingkat ‘mikro’. Tetapi, untuk tujuan praktis, kita lebih baik bekerja pada tingkat yang lebih agregat atau pada tingkat dengan spesifikasi status tingkat ‘meso’.

Pada contoh model sebaran pergerakan, status meso menjelaskan jumlah pergerakan antarzona. Secara umum, terdapat sejumlah besar kombinasi status mikro yang berbeda yang menghasilkan status meso yang sama, misalnya Amir dan Badu dapat saling bertukar zona tujuan yang akan menghasilkan status mikro yang berbeda tetapi dengan status meso yang tidak berubah. Seterusnya, terdapat pula status pengelompokan yang lebih tinggi, yaitu status pada tingkat makro; misalnya, total pergerakan pada suatu ruas jalan tertentu atau total bangkitan dan tarikan pergerakan suatu zona.

Untuk mendapatkan ukuran yang layak tentang suatu aktivitas pergerakan, sering lebih mudah dilakukan pada tingkat pengelompokan yang lebih tinggi (status makro). Bahkan, hampir seluruh informasi tentang suatu sistem lebih akurat pada tingkat makro. Hal yang sama, perkiraan mengenai masa mendatang, biasanya mempunyai batasan pada tingkat status makro karena ketidakpastian yang terdapat dalam peramalan tersebut juga berada pada tingkat makro. Misalnya, lebih mudah meramalkan populasi suatu zona daripada jumlah keluarga suatu zona untuk kategori tertentu.

Dasar metode ini adalah mendapatkan informasi seluruh status mikro yang akan terjadi dengan peluang yang sama serta konsisten dengan informasi status makronya. Hal ini sebenarnya mengasumsikan bahwa kita mengabaikan status mikro dan mesonya.

Salah satu cara untuk memaksa agar tetap konsisten dengan informasi status mesonya adalah dengan cara mengekspresikannya dalam bentuk batasan suatu persamaan matematis. Karena kita lebih mementingkan deskripsi status meso suatu sistem, kita akan mengidentifikasi status meso yang paling memungkinkan, sesuai dengan batasan status makronya.

Sebelum kita mengulas masalah ini lebih jauh, sebaiknya dijelaskan dahulu penggunaan persamaan Lagrange dalam memecahkan permasalahan optimasi dengan berbagai persamaan batasan. Anggaplah diketahui:

$$y = f(x_1, x_2, ..., x_N) \tag{8.15}$$

Penurunan fungsi y terhadap salah satu peubah bisa dihitung dengan menganggap peubah lainnya selalu konstan pada saat penurunan tersebut. Hal ini dikenal dengan penurunan parsial dan ditulis sebagai $\partial y/\partial x_i$. Sebagai contoh, jika:

$$y = 2x_1 + x_2^3 x_3$$

maka

$$\frac{\partial y}{\partial x_1} = 2$$

$$\frac{\partial y}{\partial x_2} = 3x_2^2 x_3$$

$$\frac{\partial y}{\partial x_3} = x_2^3$$

Terlihat bahwa nilai maksimum dan minimum dari fungsi seperti pada persamaan (8.15) bisa didapatkan dengan menetapkan semua turunan parsialnya sama dengan nol:

$$\frac{\partial y}{\partial x_i} = \mathbf{0}, \qquad i = \mathbf{1}, \mathbf{2}, \ldots . \mathbf{N} \tag{8.16}$$

yang akan menghasilkan satu set persamaan simultan untuk dipecahkan. Kasus yang sangat menarik dalam hal ini adalah maksimum dan minimum. Anggaplah, kita ingin memaksimumkan persamaan (8.15) dengan batasan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} r_1(x_1, x_2, \ldots, x_N) &= b_1 \\ r_2(x_1, x_2, \ldots, x_N) &= b_2 \\ &\vdots \\ r_K(x_1, x_2, \ldots, x_N) &= b_K \end{aligned} \tag{8.17}$$

Hal ini dapat dilakukan dengan menentukan satu set pengali Lagrange ($\lambda_1, \lambda_2, \ldots, \lambda_K$) untuk setiap persamaan (8.17), dan memaksimumkan:

$$\mathbf{L} = f(x_1, x_2, \ldots, x_N) + \sum_k \lambda_k \left[r_k (x_1, \ldots, x_N) - b_k \right] \tag{8.18}$$

sebagai fungsi dari $x_1, x_2, \ldots, x_N$ dan $\lambda_1, \lambda_2, \ldots, \lambda_K$. Jadi, kita harus memecahkan:

$$\frac{\partial \mathbf{L}}{\partial x_i} = \mathbf{0}, \qquad i = \mathbf{1}, \mathbf{2}, \ldots . \mathbf{N} \tag{8.19}$$

dan

$$\frac{\partial \mathbf{L}}{\partial \lambda_k} = \mathbf{0}, \qquad k = \mathbf{1}, \mathbf{2}, \ldots . \mathbf{K} \tag{8.20}$$

Persamaan (8.20) sebenarnya adalah persamaan (8.17) dalam bentuk yang lain. Tersedianya cara dengan memperkenalkan satu set pengali Lagrange sebagai peubah tambahan memungkinkan didapatkannya nilai maksimum.

Kita kembali lagi ke permasalahan semula. **Wilson (1970)** memperlihatkan bahwa jumlah status mikro $W[T_{id}]$ yang terkait dengan status meso T_{id} adalah sebagai berikut.

$$W[T_{id}] = \frac{\mathbf{T}!}{\prod_i \prod_d T_{id}!} \tag{8.21}$$

Asumsi dasar pendekatan ini adalah peluang sebaran $[T_{id}]$ yang terjadi sebanding dengan jumlah status yang ada dalam sistem tersebut yang mendukung terbentuknya sebaran $[T_{id}]$. Jadi, jika $W[T_{id}]$ adalah jumlah cara yang dianut setiap individu untuk mengatur dirinya sehingga dihasilkan sebaran $[T_{id}]$, maka peluang $[T_{id}]$ yang terjadi sebanding dengan $W[T_{id}]$.

Karena diasumsikan bahwa semua status mikro berpeluang sama, maka status meso yang paling memungkinkan adalah status yang dapat dihasilkan dengan sebanyak mungkin cara. Karena itu, yang dibutuhkan adalah suatu teknik yang dapat

mengidentifikasi nilai $[T_{id}]$ yang memaksimumkan $W[T_{id}]$ yang dinyatakan dengan persamaan (8.21). Untuk lebih mudahnya, kita akan memaksimumkan fungsi monoton $\log_e W$ karena keduanya mempunyai nilai maksimum yang sama. Karena itu,

$$\log_e W = \log_e \left[\frac{\mathrm{T}!}{\prod_i \prod_d T_{id}!} \right] = \log_e \mathrm{T}! - \sum_i \sum_d \log_e T_{id}! \tag{8.22}$$

Dengan menggunakan pendekatan *Stirling* $\log_e X! \approx X \log_e X - X$, persamaan (8.22) dapat disederhanakan menjadi:

$$\log_e W = \log_e \mathrm{T}! - \sum_i \sum_d \left(T_{id} \log_e T_{id} - T_{id} \right) \tag{8.23}$$

Karena $\log_e T_{id}!$ merupakan suatu konstanta, nilai itu dapat dihilangkan dari proses optimasi. Dengan menghilangkan faktor $\log_e T_{id}!$ maka persamaan (8.23) berubah menjadi persamaan (8.24) yang biasa disebut fungsi entropi.

$$\mathrm{EM} = \log_e W' = - \sum_i \sum_d \left(T_{id} \log_e T_{id} - T_{id} \right) \tag{8.24}$$

Dengan memaksimumkan persamaan (8.24) dengan batasan yang ditentukan dari pengetahuan status makro, dihasilkan model yang dapat memperkirakan status meso yang paling mungkin (dalam kasus ini berupa matriks sebaran pergerakan **[T]**). Kunci utama dalam hal ini adalah bagaimana mengidentifikasi deskripsi status mikro, meso dan makro yang cocok beserta batasan makro yang harus dipenuhi oleh solusi dari permasalahan optimasi tersebut.

Dalam kasus ini batasan status makro yang digunakan adalah arus lalulintas pada setiap ruas jalan ($\hat{V}_l$). Model ini mencoba menaksir MAT yang paling mungkin sehingga arus lalulintas hasil pemodelan sama dengan arus lalulintas hasil observasi untuk setiap ruas jalan.

Penurunan model EMEM sama persis dengan penurunan model *gravity*, tetapi dengan mengganti batasan **ujung perjalanan** dan biaya dengan batasan yang berkaitan dengan arus lalulintas. Masalah penaksirannya dapat dinyatakan dengan:

memaksimumkan $$\mathrm{EM} = - \sum_i \sum_d \left(T_{id} \log_e T_{id} - T_{id} \right) \tag{8.25}$$

dengan batasan: $$\hat{V}_l - \sum_i \sum_d T_{id} \cdot p_{id}^l = 0 \tag{8.26}$$

dan $$T_{id} \geq 0 \tag{8.27}$$

Dengan menggunakan metode pengali Lagrange, masalah optimasi (8.25) dengan batasan persamaan (8.26)–(8.27) dapat ditulis kembali dalam bentuk persamaan tunggal (8.28).

memaksimumkan $$\mathrm{EM}_1 = - \sum_i \sum_d \left(T_{id} \cdot \log_e T_{id} - T_{id} \right) + \sum_l \left[\lambda_l (\hat{V}_l - \sum_i \sum_d T_{id} \cdot p_{id}^l) \right] \tag{8.28}$$

dengan λ_l = faktor pengali Lagrange

Untuk memaksimumkan persamaan (8.28) dibutuhkan persamaan (8.29) berikut.

$$\frac{\partial \mathbf{EM_1}}{\partial \mathbf{T}_{id}} = -\log_e T_{id} - \sum_l \lambda_l . p_{id}^l = 0 \tag{8.29}$$

$$\log_e T_{id} = -\sum_l \lambda_l . p_{id}^l \tag{8.30}$$

Jadi, solusi formal permasalahan ini bisa didapatkan dengan:

$$T_{id} = \prod_l X_l^{p_{id}^l} \tag{8.31}$$

dengan: $$X_l = e^{-\lambda_l} \tag{8.32}$$

dan λ_l adalah faktor pengali Lagrange bagi setiap data arus lalulintas pada setiap ruas l. Model ini dapat juga ditafsirkan sebagai masalah **multi-proporsional** yang dapat dipecahkan dengan bantuan algoritma sederhana seperti yang dijelaskan dalam **Van Zuylen and Willumsen** (**1980**). Diskusi rinci mengenai permasalahan multi-proporsional dan solusinya yang unik terdapat dalam **Murchland** (**1977**).

Data arus lalulintas biasanya tersedia untuk setiap set ruas jalan; volume ruas jalan mempunyai hubungan linear dengan volume ruas jalan lainnya dalam satu set ruas yang sama. Masalah ketidakkonsistenan dapat dipecahkan dengan mengubah pengamatan dengan menggunakan kriteria kemiripan-maksimum sehingga secara tidak langsung didapatkan informasi tambahan; lihat contohnya pada **Van Zuylen and Willumsen** (**1980**) dan **Van Zuylen and Branston** (**1982**). Perilaku model EMEM dijelaskan berikut ini.

- Model EMEM menghasilkan MAT yang paling mungkin, yang sesuai dengan informasi dalam arus lalulintas. Model ini tidak membutuhkan data arus lalulintas untuk **semua** ruas jalan yang ada di dalam jaringan, tetapi mencoba mengoptimalkan informasi yang tersedia pada ruas jalan tertentu saja. Semakin lengkap data arus lalulintas yang dimiliki, semakin baik ketepatan MAT yang dihasilkan.
- Sebagai batasan, solusi akhir selalu menghasilkan arus lalulintas yang sesuai dengan arus lalulintas hasil pengamatan. Kriteria konvergensi yang digunakan adalah perbandingan antara arus ruas yang dihasilkan dengan arus hasil pengamatan.

Dalam beberapa kasus, terdapat beberapa informasi tambahan dalam bentuk informasi awal status meso, misalnya data matriks hasil observasi. Untuk itu, fungsi tujuan (8.25) berubah menjadi persamaan (8.33) dengan batasan persamaan (8.26)–(8.27).

$$\textbf{memaksimumkan} \quad \mathbf{EM_2} = -\sum_i \sum_d \left(T_{id} \log \left(\frac{T_{id}}{\hat{T}_{id}} \right) - T_{id} + \hat{T}_{id} \right) \tag{8.33}$$

Persamaan (8.33) merupakan fungsi tujuan yang cukup menarik karena jika semua nilai $T_{id} = \hat{T}_{id}$ maka $\mathbf{EM_2}$ akan bernilai nol dan akan bernilai positif jika terdapat perbedaan di antaranya. Semakin besar perbedaannya, semakin besar pula nilai $\mathbf{EM_2}$. Jadi, jika informasi awal MAT tersedia, model EMEM bisa dikembangkan untuk dapat mempertimbangkan informasi awal MAT tersebut. Dalam kasus ini, model akan menaksir MAT yang mirip dengan informasi awal MAT dan sekaligus akan sesuai dengan arus lalulintas hasil pengamatan (jika dibebankan ke jaringan jalan).

Dengan menggunakan metode pengali Lagrange, masalah optimasi (8.33) dengan batasan persamaan (8.26)–(8.27) dapat ditulis kembali dalam bentuk persamaan tunggal (8.34).

$$\textbf{memaksimumkan } \mathbf{EM}_3 = -\sum_i \sum_d \left(T_{id} . \log_e \frac{T_{id}}{\hat{T}_{id}} \right) + \sum_l \lambda_l (\hat{V}_l - \sum_i \sum_d T_{id} . p_{id}^l) \quad (8.34)$$

dengan λ_l = faktor pengali Lagrange

Untuk memaksimumkan persamaan (8.34), dibutuhkan persamaan (8.35) berikut.

$$\frac{\partial \mathbf{EM}_3}{\partial \mathbf{T}_{id}} = -\log_e \frac{T_{id}}{\hat{T}_{id}} - \sum_l \lambda_l . p_{id}^l = 0 \quad (8.35)$$

$$\log_e \frac{T_{id}}{\hat{T}_{id}} = -\sum_l \lambda_l . p_{id}^l \quad (8.36)$$

Penyelesaiannya adalah:

$$T_{id} = \hat{T}_{id} \prod_l X_l^{p_{id}^l} \quad (8.37)$$

Penyelesaian ini sangat jarang diperoleh jika tidak terdapat satu pun informasi mengenai MAT pada daerah tersebut. Dalam beberapa kasus, informasi dapat berupa informasi dasar mengenai MAT; contohnya MAT pada masa lampau, MAT daerah yang lebih luas, MAT berskala kecil, atau mungkin hasil model kebutuhan akan transportasi yang sederhana. Informasi awal MAT ini sangat berharga, dan digunakan untuk menghasilkan MAT yang baru.

Willumsen (**1982**,**1986b**) menunjukkan bahwa ketepatan MAT yang dihasilkan oleh model EMEM sangat tergantung pada ketepatan informasi awal MAT. Jika tersedia informasi awal MAT, taksiran nilai **t** rata-rata dari informasi awal MAT untuk setiap pasangan zona bisa didapat dari:

$$\mathbf{t} = \frac{\sum_l^{\mathbf{L}} \left(\hat{V}_l \Big/ \sum_i \sum_d p_{id}^l \right)}{\mathbf{L}} \quad (8.38)$$

Akan muncul masalah jika umur informasi awal MAT [t_{id}] sudah cukup lama. Untuk mengatasinya dapat digunakan faktor pengali yang memperhitungkan perubahan arus lalulintas secara umum yang terjadi sebelum penggunaan model

EMEM. **Bell** (**1983ab**;**1984ab**;**1985**) mengembangkan versi EMEM lain yang dikenal sebagai model log-linear. Model baru ini mempunyai proses penaksiran yang terpisah dari setiap proses faktor pengali, yang dapat dituliskan sebagai:

$$T_{id} = \phi t_{id} \prod_l X_l^{p_{id}^l} \tag{8.39}$$

ϕ ditaksir dengan model yang baru tersebut dengan mengalikan setiap unsur informasi awal MAT dengan faktor tertentu agar dihasilkan arus lalulintas yang sesuai dengan yang diharapkan. Dengan data arus lalulintas, model ini dapat digunakan untuk menghasilkan, tidak hanya taksiran nilai MAT, tetapi juga nilai selang kepercayaannya. Selang kepercayaan yang tidak simetris dari MAT dihasilkan dari hasil penaksiran dengan nilai variansi dan kovariansi yang didapat dari hasil arus lalulintas.

Selain itu, model dasar EMEM biasanya dipecahkan dengan algoritma multi-proporsional yang cukup efisien dalam pemakaian memori komputer, tetapi belum begitu cepat. Suatu prosedur penyesuaian jenis Newton telah dikembangkan, baik untuk model EMEM dasar maupun EMEM yang baru. Prosedur ini mencapai konvergen lebih cepat dibandingkan dengan algoritma multi-proporsional, tetapi membutuhkan memori lebih banyak.

Kepekaan model EMEM terhadap pemilihan rute juga dilaporkan dalam **Van Vliet and Willumsen** (**1981**). Dilaporkan bahwa model EMEM tidak begitu peka terhadap pemilihan rute. Suatu set data dari kota Reading (Inggris) telah digunakan untuk menunjukkan bahwa penggunaan pemilihan rute yang telah diketahui hanya menghasilkan MAT yang hanya sedikit lebih baik daripada MAT yang didapatkan dengan teknik pembebanan *all-or-nothing*.

Tetapi, sejauh ini, model EMEM mempunyai asumsi bahwa dimungkinkan mendapatkan MAT dari informasi data arus lalulintas yang didapatkan secara terpisah dari proses penaksiran MAT. Asumsi ini dapat diterima apabila kemacetan belum berperan dalam pemilihan rute. Jika sebaliknya, model membutuhkan modifikasi.

Pengembangan model EMEM lebih lanjut yang telah mempertimbangkan kondisi keseimbangan pada jaringan yang sudah macet diteliti oleh **Willumsen** (**1982**). Lebih lanjut lagi, **Willumsen** (**1984b**) melaporkan bahwa model EMEM dapat juga dikembangkan untuk mempertimbangkan analisis kemacetan secara dinamis.

Permasalahan ini membutuhkan penggunaan MAT yang didapat pada waktu yang berturutan, misalnya 15–20 menitan. Di samping kelebihannya, model EMEM juga mempunyai banyak kelemahan yang sudah diduga oleh para praktisi. Beberapa kelemahan tersebut, dilaporkan dalam **Atkins** (**1987**), adalah yang berikut ini.

- Model EMEM tidak mempunyai fasilitas apa pun untuk memperkirakan MAT pada masa mendatang; model ini tidak dapat memperhitungkan pengembangan pada tata guna lahan atau perubahan pola sebaran pergerakan akibat adanya perubahan aksesibilitas.

- Ketepatan MAT yang dikalibrasi dari data arus lalulintas dengan menggunakan model EMEM sangat tergantung pada tersedianya informasi awal MAT. Karena itu, jika ketepatan data informasi awal MAT tidak begitu baik, hasil penaksiran MAT-nya pun tidak terlalu tepat.

8.3.3.2 Model informasi-minimum (IM) Ukuran entropi dapat juga digunakan sebagai ukuran informasi atau ukuran ketidakpastian. Dalam kasus ini, tujuan utama adalah menggunakan semua informasi yang tersedia dalam data arus lalulintas untuk mendapatkan MAT. **Van Zuylen** (**1978**) mengembangkan model penaksiran MAT yang paling memungkinkan dari data arus lalulintas dengan menggunakan pendekatan yang meminimumkan informasi.

Titik awal model ini adalah dimungkinkannya menghitung informasi yang terdapat dalam MAT [T_{id}]. Karena informasi yang tersedia dalam bentuk data arus lalulintas tidak cukup untuk menentukan MAT secara lengkap, dipilihlah MAT yang hanya menambah informasi sekecil mungkin terhadap informasi yang terkandung pada persamaan (8.2). Pendekatan ini diikuti dengan menggunakan ukuran informasi *Brillouin* yang akhirnya menghasilkan model yang didasari pendekatan informasi-minimum:

$$T_{id} = \hat{T}_{id} \cdot \prod_{l} X_l^{\frac{p_{id}^l}{q_{id}}} \tag{8.40}$$

X_l dapat dihitung dengan persamaan (8.2) dan q_{id} menyatakan peluang awal dari pengamatan pergerakan antarzona (***i,d***) pada ruas ***l***. Permasalahan ini juga mempunyai bentuk multi-proporsional. Perbedaan utama antara model pada persamaan (8.31) dan (8.40) dibahas dalam **Van Zuylen and Willumsen** (**1980**). Perbedaannya pada bagian tertentu saja, yaitu ($p_{id}^l / \sum_l p_{id}^l$) untuk model Van Zuylen dan (p_{id}^l) untuk model Willumsen yang hanya merupakan perbedaan pembobotan pengamatan pada ruas ***l***.

Pada makalah tersebut juga dijelaskan bahwa terdapat hubungan yang sangat erat antara pendekatan **entropi-maksimum (EM)** dan **informasi-minimum (IM)**. Secara umum dikatakan bahwa kejadian yang mempunyai ketidakteraturan maksimum sama dengan kejadian yang mempunyai informasi minimum. Juga dijelaskan bahwa model Van Zuylen juga dapat diturunkan dengan menggunakan pendekatan entropi-maksimum.

Van Zuylen (**1979**) menjelaskan penggunaan model tersebut untuk menghitung pergerakan kendaraan pada suatu persimpangan, yang juga dilakukan oleh **Hauer *et al*** (**1981**), tetapi menggunakan data dari penghitung lalulintas otomatis. **Hauer and Tom–Shin** (**1981**) menggunakannya untuk mendapatkan MAT, dan **Landau *et al*** (**1982**) menggunakannya untuk menghitung pergerakan kendaraan pada lokasi kordon.

Penelitian yang terakhir ini membuktikan bahwa mungkin saja didapatkan pergerakan asal–tujuan jika data arus lalulintas pada lokasi kordon dilengkapi

dengan data asal dan tujuan dari beberapa pergerakan yang melewati kordon tersebut.

8.3.3.3 Model Bayes Dua metode terdahulu mengenai penaksiran MAT dengan data arus lalulintas menggunakan prinsip entropi-maksimum dan informasi-minimum. Untuk mendapatkan solusi yang unik (solusi yang paling mirip), dibutuhkan beberapa informasi tambahan, misalnya dalam bentuk informasi awal MAT. Kemudian, kombinasi antara informasi awal MAT dan data pengamatan arus lalulintas menghasilkan perkiraan MAT berikutnya yang unik.

MAT hasil pengolahan merupakan gabungan informasi awal MAT dan data arus lalulintas. Tetapi, dalam gabungan tersebut, pembobotan yang kecil diberikan kepada informasi awal MAT. Dengan kata lain, MAT hasil penaksiran mirip dengan informasi awal MAT dan tergantung pada batasan lainnya. Selain itu, informasi awal MAT hanya menyediakan data tertentu, tidak terdapat ukuran tingkat kepercayaan data informasi awal MAT tersebut.

Masalah pengkombinasian nilai kepercayaan awal dengan data pengamatan yang menghasilkan nilai kepercayaan hasil pengolahan merupakan pendekatan baku dari teori inferensi statistik Bayes. Jika kita mempunyai tingkat kepercayaan 100% pada suatu nilai kepercayaan awal, tidak diperlukan pengamatan acak lainnya, karena bagaimanapun baik ketepatannya tidak akan merubah opini seseorang dan nilai kepercayaan hasil pengolahan akan persis sama dengan nilai kepercayaan awal.

Jika, sebaliknya, kita mempunyai tingkat kepercayaan yang rendah pada nilai kepercayaan awal, pengamatan akan berperan sangat penting dalam menentukan nilai kepercayaan hasil pengolahan. Dengan kata lain, nilai kepercayaan awal harus dimodifikasi dengan data pengamatan untuk menghasilkan nilai kepercayaan hasil pengolahan; semakin baik suatu nilai kepercayaan awal, semakin kecil pengaruh dari data pengamatan untuk mendapatkan nilai kepercayaan hasil pengolahan.

Maher (**1983c**) mengembangkan model penaksiran MAT dari data arus lalulintas dengan menggunakan pendekatan statistik Bayes. Model tersebut berdasarkan pada teori Bayes:

$$\mathbf{p}(\theta|y) = \frac{f(y|\theta).\mathbf{p}(\theta)}{\int f(y|\theta).\mathbf{p}(\theta).\mathbf{d}(\theta)} \tag{8.41}$$

p(θ) adalah **kepadatan peluang awal** dari parameter **θ**, ***f*(*y* | θ)** adalah kemungkinan dari pengamatan ***y***, dan **p(θ | *y*)** adalah **kepadatan peluang hasil pengolahan** dari parameter **θ**. Model ini memperbolehkan perbedaan tingkat kepercayaan pada bagian yang berbeda-beda dari informasi awal MAT. Maher menunjukkan bahwa, pada kondisi tingkat kepercayaan informasi awal MAT sangat rendah, hasil pendekatan statistik ini akan sama dengan hasil yang didapatkan dengan pendekatan informasi-minimum atau entropi-maksimum.

Maher (**1984**) melakukan uji coba model Bayes (B) ini untuk menaksir pergerakan kendaraan di persimpangan dan dibandingkan dengan hasil yang didapatkan dengan dua buah model sebelumnya – model informasi-minimum (IM) (**Van Zuylen**, **1978**) dan model kemiripan-maksimum (KM). Ditemukan bahwa model B dan KM

dapat menghasilkan perkiraan galat baku, sedangkan model MI tidak dapat. Secara umum dapat disimpulkan bahwa model Bayes merupakan model yang terbaik dalam menaksir pergerakan kendaraan pada persimpangan.

Model yang hampir mirip dengan model Maher, yang didasari teori Bayes, dikembangkan oleh **Geva** (**1984**). Pada model tersebut, permasalahan penaksiran MAT diterangkan dalam bentuk peluang. Pergerakan asal–tujuan dianggap sebagai parameter suatu sebaran. Pendekatan Bayes kemudian digunakan dan taksiran baru akan didapatkan jika informasi baru tersedia. Tiga sumber informasi mengenai pola perilaku pergerakan dipertimbangkan dalam proses penaksiran, yaitu informasi awal dalam bentuk MAT masa lampau, data arus lalulintas, dan informasi yang tersedia dalam bentuk data sampel MAT yang terbatas.

8.3.3.4 Model kemiripan-maksimum (KM) Pada persamaan (8.1), matriks $[t_{id}]$ berisi informasi mengenai informasi awal yang dimiliki oleh MAT $[T_{id}]$. Keterangan mengenai matriks awal $[t_{id}]$ tidak dijelaskan secara rinci dalam setiap metode yang telah diterangkan. Matriks awal $[t_{id}]$ dapat berupa suatu penaksiran awal, MAT pada masa lampau, perkiraan awal atau MAT sasaran. Pada model yang telah diterangkan sebelumnya, matriks $[t_{id}]$ tidak dibutuhkan dalam rumusan model; mungkin didapat perkiraan MAT, meskipun tidak terdapat matriks sasaran ($t_{id} = \mathbf{1}$ untuk semua $i \in \mathbf{I}$).

Tetapi, tanpa adanya matriks sasaran hasil model tersebut, tidak begitu meyakinkan. Telah diketahui bahwa ketepatan keluaran sangat peka terhadap informasi awal yang tersedia dalam MAT sasaran $[t_{id}]$. Oleh karena itu, **Spiess** (**1987**) mengusulkan model seperti yang telah diterangkan di atas; matriks sasaran bukan hanya pilihan, tetapi harus merupakan bagian yang terpenting dalam perumusan model tersebut. Dijelaskan bahwa permasalahan di atas dapat dipecahkan dengan memberikan informasi yang tepat dalam matriks awal $[t_{id}]$.

Spiess mempertimbangkan sebuah kasus. Pada kasus itu, matriks awal $[t_{id}]$ didapatkan dengan melakukan, untuk setiap pasangan zona, pengambilan sampel peubah acak yang tersebar sesuai dengan sebaran poisson dengan rata-rata yang tidak diketahui $\tau_{id} T_{id}$. Koefisien τ_{id} menjelaskan faktor sampel untuk setiap pasangan zona, misalnya persentase populasi yang sudah diamati. Jadi, $[t_{id}]$ merupakan pengamatan satu set peubah acak yang tersebar sesuai dengan sebaran poisson dengan rata-rata $\tau_{id} T_{id}$.

Diasumsikan bahwa matriks awal $[t_{id}]$ sesuai dengan kebanyakan situasi yang dijumpai di lapangan. Banyak teknik survei untuk mendapatkan data MAT didasari proses pencatatan sehingga menghasilkan MAT pengamatan dengan bilangan bulat (yang biasanya mempunyai nilai yang sangat kecil). Jika survei tersebut mengandung faktor sampel acak τ dari suatu populasi dengan pola lalulintas yang stabil, maka MAT hasil pengamatan $[t_{id}]$ akan mengikuti sebaran multinomial.

Jika faktor sampel sangat kecil ($\tau << 1$), tentulah sebaran multinomial bisa didekati dengan sebaran poisson. Banyak survei perjalanan bekerja tergolong kategori ini. Matriks yang tersebar menurut sebaran poisson bisa juga dihasilkan dengan

mengamati kejadian yang tidak saling mempengaruhi dalam rentang waktu tertentu. Pergerakan pada jam tidak sibuk termasuk kategori ini.

Model ini memungkinkan penggunaan faktor sampel τ_{id} yang berbeda-beda untuk setiap pasangan zona. Jadi, dimungkinkan, baik secara langsung maupun dengan pendekatan, dapat digunakan teknik pengambilan sampel yang berbeda-beda. Kasus yang paling sederhana dan paling sering terjadi adalah penggunaan nilai faktor sampel τ yang sama untuk setiap pasangan zona yang kadang-kadang disebut faktor sampel seragam.

Tujuan model Spiess adalah mendapatkan parameter [T_{id}] dalam proses poisson dengan menggunakan data MAT sampel [t_{id}] serta data pengamatan arus lalulintas. Jenis model penaksiran MAT ini berbeda dengan model penaksiran lain; di sini MAT ditaksir dari peubah tingkat pelayanan dan sosio-ekonomi. Karena volume arus lalulintas dikumpulkan setiap hari, data tersebut lebih mudah tersedia (dibandingkan dengan data MAT) dan karena itu dapat diasumsikan bahwa nilai rata-ratanya diketahui atau paling kurang bisa diperkirakan dengan tepat.

Dengan hipotesis bahwa setiap pasangan zona t_{id} didapatkan dengan menggunakan proses poisson dengan rata-rata $\tau_{id}T_{id}$, maka peluang MAT pengamatan [t_{id}] adalah:

$$\textbf{Peluang}\left[t_{id}\right] = \prod_i \prod_d \left[\frac{\left(\tau_{id}.T_{id}\right)^{t_{id}} .e^{-\tau_{id}.T_{id}}}{t_{id}!} \right] \tag{8.42}$$

Dengan menggunakan teknik penaksiran kemiripan-maksimum didapatkan MAT $[T_{id}^{*}]$ yang memenuhi batasan yang ada serta memaksimumkan peluang pengamatan [t_{id}] (8.42). Dengan mengganti bentuk peluang (8.42) menjadi bentuk logaritma, model kemiripan-maksimum dapat dirumuskan sebagai persamaan (8.43) dengan batasan persamaan (8.2)–(8.3):

$$\textbf{memaksimumkan} \quad \mathrm{P} = \sum_i \sum_d \left[t_{id}.\log_e\left(\tau_{id}.T_{id}\right) - \tau_{id}.T_{id} - \log_e t_{id}! \right] \tag{8.43}$$

Dengan mengubah dan mengabaikan faktor konstanta, masalah lain yang tergolong dalam keluarga persamaan (8.1) dapat dirumuskan sebagai persamaan (8.43) dengan batasan persamaan (8.2)–(8.3):

$$\textbf{memaksimumkan} \qquad \mathrm{P}_1 = \sum_i \sum_d \left(t_{id}.\log_e T_{id} - \tau_{id}.T_{id} \right) \tag{8.44}$$

Masalah penaksiran MAT yang sering terjadi di lapangan adalah data yang ukurannya sangat besar (misalnya ribuan ruas jalan atau ribuan pasangan zona). Solusi algoritma yang mensyaratkan akses untuk semua data pada saat yang sama sangat sulit dilakukan di lapangan. Jadi, solusi yang didasari metode penurunan-koordinat-siklus dikembangkan untuk memecahkan permasalahan ini.

Kasus yang sangat penting dalam permasalahan taksiran MAT (8.1) timbul jika batas marginal 'baris' dan 'kolom' dari suatu MAT diketahui. Anggap O_p merupakan total bangkitan (baris) dari setiap zona asal p dan D_q merupakan total tarikan (kolom) dari setiap zona tujuan q. Kemudian, dengan mengasumsikan bahwa MAT sampel hasil pengamatan $[t_{pq}]$ terdiri dari nilai integer yang tersebar

poisson serta nilai bangkitan dan tarikan diketahui, maka metode kemiripan-maksimum dapat digunakan untuk menaksirkan MAT $[T_{pq}]$. Dalam kasus ini, persamaan (8.44) dapat dituliskan kembali sebagai:

memaksimumkan $$P_2 = \sum_p \sum_q \left(t_{pq} . \log_e T_{pq} - \tau_{pq} . T_{pq} \right) \quad (8.45)$$

dengan batasan : $$\sum_q T_{pq} = O_p \quad (8.46)$$

$$\sum_p T_{pq} = D_q \quad (8.47)$$

$$T_{pq} \geq 0 \quad (8.48)$$

Dalam kasus sampel seragam, misalnya $\tau_{pq} = \tau$, tampak bahwa komponen pertama dalam fungsi tujuan (8.45) adalah konstanta dan karena itu dapat diabaikan. Akhirnya, permasalahan tersebut menjadi persamaan (8.49) dengan batasan persamaan (8.46)–(8.48):

memaksimumkan $$P_2 = \sum_p \sum_q t_{pq} \log_e T_{pq} \quad (8.49)$$

Penting dicatat bahwa, dalam penggunaan metode kemiripan-maksimum, dibutuhkan interpretasi yang tepat mengenai matriks sasaran $[t_{id}]$. Jika keberadaan $[t_{id}]$ dapat diabaikan dan dihasilkan model kemiripan-maksimum yang berbeda, tetapi dalam kasus pendekatan sebaran poisson, keberadaan MAT perlu diketahui.

8.3.3.5 Model MODCOST **Robertson** (**1984**) mengembangkan metode penaksiran MAT, dikenal sebagai **MODCOST** (***Modifying Origin and Destination COsts to Simulate Trips***), yang didasari simulasi pilihan yang dilakukan ribuan individu yang perbedaan persepsinya mengenai biaya ditentukan dalam prosedur acak. Metode ini mentaksir MAT dengan menggunakan data arus lalulintas untuk mengkalibrasi simulasi pilihan individu yang dianggap mempunyai asumsi meminimumkan biaya perjalanannya.

Asumsi perilaku ini sangat sederhana, tapi berguna karena dapat dihindarkan penggunaan prinsip abstrak tentang konsep *gravity* atau entropi-maksimum yang sering digunakan pada metode penaksiran MAT lainnya. Tetapi, MODCOST masih mempunyai kekurangan dalam bentuk dasar teori yang baku, tidak seperti metode lain yang sudah mempunyai dasar teori penurunannya. Tetapi, prosedur yang digunakan kelihatannya lebih efektif digunakan pada kasus jaringan, baik yang sebenarnya maupun hipotesis.

Dalam metode ini diasumsikan bahwa semua pergerakan terjadi antara satu hipotesis zona asal dan satu hipotesis zona tujuan. Pemilihan asal dan tujuan, termasuk pemilihan rute antara kedua zona tersebut, dicerminkan dalam bentuk jaringan yang terdiri dari ruas jalan. Ruas jalan jenis sebenarnya menyatakan ruas jalan sebenarnya, sedangkan ruas jalan jenis *hyper* menyatakan zona asal dan zona tujuan. Pada ruas jalan sebenarnya, biaya dinyatakan dalam bentuk waktu perjalanan, sedangkan pada ruas jalan jenis *hyper* biaya dinyatakan dalam banyak faktor yang berkaitan dengan perumahan dan lapangan kerja.

Dalam proses simulasi, perbedaan antarindividu dinyatakan dalam proses biaya yang acak dalam rentang yang telah ditentukan untuk setiap ruas jalan. Rute terbaik untuk setiap individu ditemukan dengan menggunakan algoritma 'biaya termurah' tanpa adanya perbedaan antara ruas sebenarnya ataupun jenis *hyper*.

Proses ini dilakukan secara berulang-ulang untuk setiap individu sampai didapatkan kondisi perilaku stabil. Proses simulasi ini telah diimplementasikan dalam bentuk paket program yang telah mempunyai prosedur untuk mengatur nilai rata-rata dari biaya *hyper* antara zona asal dan tujuan untuk mengurangi galat antara besarnya arus peramalan dengan arus hasil pengamatan.

8.4 Kesimpulan

Telah diulas semua teknik penaksiran MAT dengan menggunakan data arus lalulintas yang telah dikembangkan sampai saat ini, mencakup tiga kelompok utama. Ide utama penelitian ini adalah pengembangan teknik, dengan data arus lalulintas, yang dapat digunakan bukan saja untuk menaksir MAT yang terjadi sekarang tetapi juga untuk meramalkan MAT pada masa mendatang.

Salah satu cara adalah dengan melakukan pemodelan perilaku pergerakan atau kebutuhan akan pergerakan yang terjadi di dalam daerah kajian. Cara ini termasuk dalam golongan pendekatan penaksiran model kebutuhan akan transportasi. Untuk peramalan, pendekatan ini merupakan metode yang terbaik dan, karena itu, kita akan lebih mengutamakan metode ini, yang dijelaskan secara lebih rinci pada subbab berikut.

8.5 Keuntungan penggunaan data arus lalulintas

Telah diterangkan bahwa metode konvensional sangat membutuhkan survei intensif yang tentu sangat mahal dari sisi tenaga kerja dan waktu, mengganggu arus lalulintas, dan yang terpenting, hasil akhirnya tidak berlaku lama. Faktor penting lainnya adalah komplikasi yang timbul pada setiap tahapan proses pemodelan. Selain itu, dalam beberapa kasus, khususnya di kota kecil dan negara sedang berkembang, para perencana dihadapkan pada permasalahan kajian yang terbatas waktu dan biayanya, yang menyebabkan penggunaan model konvensional hampir tidak mungkin dilakukan. Penggunaan teknik yang tidak membutuhkan biaya besar untuk menaksir MAT dapat memecahkan masalah tersebut.

Karena para perencana transportasi tidak puas dengan metode konvensional, beberapa teknik penaksiran MAT yang didasari data arus lalulintas berkembang pesat belakangan ini, yang biasa dikenal dengan metode tidak konvensional. Tujuan penggunaan metode tidak konvensional adalah menghasilkan pendekatan yang lebih sederhana untuk menyelesaikan permasalahan serupa; dalam hal ini, model perencanaan transportasi empat tahap dilakukan dalam hanya satu proses saja. Agar ekonomis, persyaratan data untuk pendekatan baru ini harus dibatasi hanya data perencanaan yang sederhana saja, data arus lalulintas pada beberapa ruas jalan, atau data lain yang murah. Beberapa keuntungan penggunaan data arus lalulintas sebagai data utama dalam menaksir MAT didiskusikan berikut ini.

Model pertama yang dikembangkan dengan berdasarkan data arus lalulintas adalah model yang dikembangkan oleh **Low** (**1972**). Tujuan model ini adalah 'secara efektif menyatukan ke dalam satu proses semua hal yang biasa dilakukan dalam model perencanaan transportasi empat tahap, lengkap dengan galatnya masing-masing'. Salah satu keuntungannya adalah semua galat pemodelan diberikan pada keluaran akhir dalam bentuk arus lalulintas yang dapat dijelaskan secara statistik. Jadi, pemakai dapat mempunyai gambaran yang lebih jelas tentang model tersebut (sesuatu yang tidak pernah diketahuinya dari pendekatan biasa).

Dalam laporan yang dipublikasikan oleh **OECD** (**1974**), dua alasan utama dibutuhkannya penyederhanaan dalam proses pemodelan transportasi adalah:

1 **Biaya pengumpulan data dan analisis data** Model transportasi konvensional biasanya membutuhkan data yang sangat banyak. Data bisa didapat dengan melakukan survei asal–tujuan (wawancara di tepi jalan), survei tambahan lain (arus lalulintas serta komposisinya, survei kecepatan). Dalam kasus kajian angkutan barang, survei tersebut harus dikaitkan dengan kajian mengenai kawasan industri atau kajian sektoral untuk menaksir produksi kebutuhan dan penyediaan.

   Jumlah stasiun survei yang dibutuhkan untuk setiap survei asal–tujuan tergantung dari ciri jaringan, sistem zona, dan ukuran daerah kajian. Jumlah tersebut tergantung juga pada ciri lalulintas dan tujuan kajian. Biasanya, survei jenis ini mahal dan membutuhkan proses panjang untuk mendapatkannya; dalam beberapa kasus, jumlah stasiun survei yang dibutuhkan akan sangat banyak untuk mendapatkan MAT yang baik. Meskipun begitu, tidak disyaratkan semua stasiun melakukan surveinya secara serentak.

   Permasalahan lain yang berkaitan dengan survei wawancara di tepi jalan adalah masalah organisasi dan pengelolaan. Dibutuhkan polisi yang bertugas menghentikan kendaraan yang akan disurvei. Kerja sama yang baik dengan semua instansi terkait sangat diperlukan. Dalam kasus angkutan barang, data biaya dan tarif sangat sulit didapat karena biasanya perusahaan dan pengguna berusaha merahasiakan data tersebut.

2 **Kompleksitas dan biaya komputer** Model konvensional membutuhkan penggunaan komputer yang intensif karena jumlah dan tingkat kompleksitas perhitungan yang harus dilakukan. Pengembangan teknik perencanaan transportasi selama dua puluh tahun terakhir sangat terkait dengan perkembangan teknologi komputer (perangkat keras dan lunaknya). Sekarang ini penggunaan komputer bukan masalah lagi. Tetapi, penggunaan komputer membutuhkan kemampuan teknik khusus dan biaya yang cukup mahal.

   Laporan tersebut selanjutnya menyarankan dilakukannya lebih banyak penelitian untuk mengembangkan model yang lebih cepat dan membutuhkan data dan tenaga kerja yang lebih sedikit. Di negara sedang berkembang, tingkat kemajuan yang sangat cepat menyebabkan banyak data kualitasnya tidak baik dan mengandung banyak galat. Dalam kondisi ini, data yang bisa didapat

dengan murah, misalnya data arus lalulintas, diperkirakan lebih baik ketepatannya dibandingkan dengan data lain.

Berikut ini dikemukakan beberapa alasan utama mengapa data arus lalulintas sangat menarik digunakan sebagai data utama dalam proses penaksiran MAT:

1 **Murah** Jenis data seperti ini murah mendapatkannya karena hanya membutuhkan tenaga kerja sedikit serta dapat menggunakan penghitung lalulintas otomatis. Memperoleh data seperti ini tidak membutuhkan kuesioner atau polisi sehingga lebih mudah dari sisi organisasi dan pengelolaan. Selain itu, data seperti ini juga hanya membutuhkan analisis dan keluaran yang sederhana.

2 **Ketersediaan** Arus lalulintas biasanya sudah tersedia karena sering digunakan untuk kajian transportasi perkotaan atau antarkota. Data ini secara luas digunakan untuk tujuan yang berbeda-beda, misalnya untuk menganalisis kemacetan, memonitor tingkat fluktuasi arus lalulintas, menentukan faktor ekspansi untuk survei Asal–Tujuan dan juga untuk memutakhirkan MAT yang sudah ada. Selain itu, banyak instansi lokal dan badan perencanaan mengumpulkan data ini secara teratur sehingga biaya tambahan untuk menggunakan metode tidak konvensional menjadi sangat rendah.

3 **Tidak mengganggu** Data arus lalulintas bisa didapat tanpa mengganggu arus lalulintas sehingga kemacetan atau pun tundaan serta gangguan bagi pengguna jalan bisa dihindari. Selain itu, pengumpulan data secara otomatis sudah sangat berkembang; ketepatannya sangat menggembirakan serta tersedia beberapa paket program yang menyediakan proses yang efisien.

   Teknik otomatisasi terbaru sudah dikembangkan; misalnya **Hoose and Willumsen** (**1987**) mengembangkan paket program yang menggunakan teknik proses citra, yang mampu secara otomatis menghitung dan menentukan pergerakan kendaraan dari hasil rekaman video. Pengembangan teknik tersebut sangat berguna dalam pengumpulan data arus lalulintas, khususnya teknik yang tidak mengganggu pergerakan arus lalulintas.

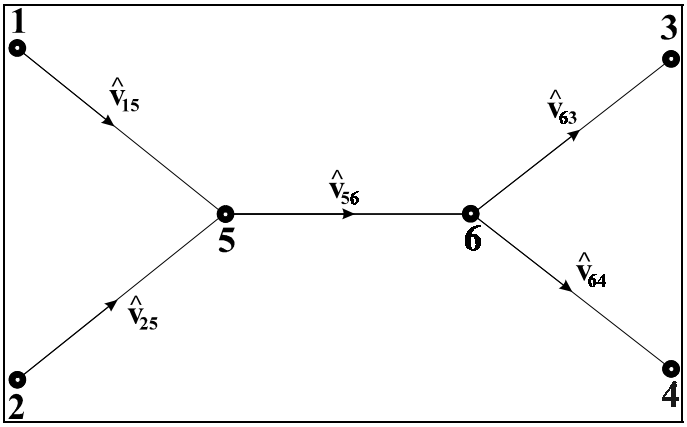
8.6 Permasalahan dalam penggunaan data arus lalulintas

Arus lalulintas sangat berguna sebagai data utama dalam proses penaksiran MAT, tetapi masih terdapat beberapa masalah yang terkait dengan penggunaannya. Permasalahan tersebut timbul karena arus lalulintas tidak pernah luput dari galat.

8.6.1 Masalah perhitungan arus lalulintas

Yang dibutuhkan untuk menghitung arus lalulintas adalah data perencanaan yang sederhana untuk setiap zona dan data arus lalulintas pada beberapa ruas jalan tertentu. Data arus lalulintas sebenarnya cerminan pergerakan arus antarzona dan rute yang dipilih. Jadi, volume arus lalulintas untuk ruas jalan tertentu menyediakan informasi mengenai semua pergerakan antarzona yang menggunakan ruas tersebut. Dua masalah penting diterangkan berikut ini.

8.6.1.1 Ketergantungan Gambar 8.1 memperlihatkan bahwa arus lalulintas pada ruas **5–6** adalah penjumlahan arus pada ruas **1–5** dan **2–5**. Karena itu, dengan mengetahui data arus pada ruas **1–5** dan **2–5**, tidak ada gunanya menghitung arus pada ruas **5–6** karena berdasarkan kondisi kontinuitas, $\hat{V}_{56} = \hat{V}_{15} + \hat{V}_{25}$. Secara prinsip dibutuhkan data arus lalulintas pada hanya 3 ruas saja untuk mendapatkan arus untuk semua ruas jalan pada gambar 8.1.



Gambar 8.1 Jaringan sederhana dengan arus lalulintasnya
Sumber: Tamin (1988abcd)

Karena itu, dari sisi ekonomi, perlu diperhatikan cara memilih ruas jalan yang cocok untuk mendapatkan data arus lalulintasnya. Menghilangkan data arus lalulintas pada ruas jalan yang saling terkait dapat mengurangi jumlah persamaan untuk menaksir MAT, tanpa harus kehilangan informasi sedikit pun. Karena itu, dari segi efisiensi biaya, perlu ditentukan ruas jalan yang tepat untuk menghitung arus lalulintasnya.

8.6.1.2 Ketidakkonsistenan Masalah ketidakkonsistenan dalam perhitungan arus lalulintas timbul jika kontinuitas arus tidak dipenuhi oleh data hasil pengamatan. Pada gambar 8.1, pengamatan bisa menghasilkan persamaan:

$$\hat{V}_{56} \neq \hat{V}_{15} + \hat{V}_{25} \tag{8.50}$$

atau

$$\hat{V}_{15} + \hat{V}_{25} \neq \hat{V}_{63} + \hat{V}_{64} \tag{8.51}$$

Permasalahan ketidakkonsistenan bisa timbul karena galat manusia atau mungkin juga karena perhitungan dilakukan pada saat yang tidak bersamaan. Akibatnya, tidak ada solusi MAT yang menghasilkan kembali arus lalulintas yang tidak konsisten. Salah satu cara untuk menghindari masalah ini adalah dengan memilih ruas jalan yang saling tidak berkaitan untuk dihitung arus lalulintasnya. Metode lainnya dengan melakukan perbaikan untuk mengatasi jenis galat seperti ini.

8.6.2 Masalah kurang-terspesifikasi

Pertimbangkan daerah kajian yang dibagi menjadi beberapa daerah yang disebut zona; setiap zona diwakili oleh pusat zona. Anggaplah terdapat **N** buah zona di dalam daerah kajian. Semua zona ini dihubungkan dengan jaringan jalan yang terdiri dari beberapa ruas jalan. Setiap ruas jalan dicirikan pada kedua ujungnya

dengan simpul. Jadi, jaringan jalan di dalam daerah kajian terdiri dari ruas jalan dan simpul (setiap pusat zona juga merupakan simpul). Selain itu, MAT untuk daerah kajian tersebut terdiri dari $\mathbf{N^2}$ sel, [$\mathbf{N^2-N}$] sel jika pergerakan intrazona diabaikan.

Tahap terpenting dari proses penaksiran model kebutuhan akan transportasi dari data arus lalulintas adalah identifikasi rute yang dilalui oleh setiap pergerakan dari setiap zona asal ***i*** ke setiap zona tujuan ***d***. Dengan kata lain, proporsi pergerakan antarzona asal ***i*** dan zona tujuan ***d*** harus diidentifikasi untuk setiap ruas jalan ***l*** yang dianalisis. Dalam kasus ini, peubah p_{id}^{l} digunakan untuk mendefinisikan proporsi pergerakan dari zona asal ***i*** ke zona tujuan ***d*** yang bergerak melalui ruas jalan ***l***. Jadi, dengan kata lain, arus pada setiap ruas jaringan jalan adalah produk dari:

- pergerakan dari zona asal ***i*** ke zona tujuan ***d*** atau kombinasi berbagai jenis pergerakan yang bergerak antarzona di dalam suatu daerah kajian (=T_{id}); dan
- proporsi pergerakan dari zona asal ***i*** ke zona tujuan ***d*** yang menggunakan ruas jalan ***l*** yang didefinisikan sebagai p_{id}^{l} ($\mathbf{0 \le p_{id}^{l} \le 1}$).

Total arus $\hat{V}_l$ pada ruas jalan tertentu merupakan penjumlahan setiap pergerakan antarzona di dalam daerah kajian yang menggunakan ruas jalan tersebut. Secara matematis, hal tersebut dapat dinyatakan sebagai:

$$V_l = \sum_i \sum_d T_{id} \cdot p_{id}^{l} \tag{8.52}$$

Jelaslah bahwa nilai p_{id}^{l} ditentukan oleh pemilihan rute yang dilakukan oleh setiap pengendara di dalam daerah kajian. Peubah p_{id}^{l} dapat diperkirakan dengan menggunakan teknik pembebanan rute yang sesuai. Beberapa teknik pembebanan rute tersedia mulai dari teknik sederhana *all-or-nothing* sampai ke teknik yang lebih kompleks, yaitu teknik pembebanan keseimbangan. Bagi pembaca yang berminat, beberapa teknik pembebanan rute telah dijelaskan secara terperinci pada bab 7.

Jika semua nilai p_{id}^{l} dan data arus lalulintas $\hat{V}_l$ diketahui, terdapat $\mathbf{N^2}$ jumlah T_{id} yang tidak diketahui yang harus dihitung dari satu set persamaan linear simultan (persamaan 8.52) yang jumlahnya tergantung pada jumlah data arus lalulintas yang tersedia. Terdapat beberapa masalah utama yang terkait dengan penggunaan model yang diusulkan, baik dari segi matematis maupun dari segi praktis.

- Dari segi matematis dibutuhkan sejumlah $\mathbf{N^2}$ data arus lalulintas yang tidak saling terkait untuk mendapatkan MAT $\mathbf{[}T_{id}\mathbf{]}$ dari satu set persamaan linear simultan (8.52). Jumlah persamaan yang tersedia tergantung pada jumlah ruas yang didapatkan data arus lalulintasnya.
- Secara praktis, hanya sebagian kecil ruas jalan saja yang bisa didapat data arusnya. Meskipun semua ruas jalan dapat dihitung, jumlahnya masih lebih sedikit dibandingkan dengan jumlah yang tidak diketahui sehingga tidak mungkin didapat solusi akhir. Secara umum dapat dikatakan bahwa terdapat lebih dari satu buah MAT yang jika dibebankan kembali ke jaringan jalan

dengan nilai p_{id}^{l} tertentu akan menghasilkan arus lalulintas yang sama dengan hasil pengamatan.

Pendekatan untuk mengatasi masalah kurang-terspesifikasi telah dikembangkan oleh beberapa peneliti. Salah satu cara mengatasinya adalah dengan membatasi solusi yang mungkin dengan melakukan asumsi mengenai perilaku pergerakan. Hal ini didiskusikan lebih rinci pada subbab berikut ini.

8.7 Model transportasi berdasarkan data arus lalulintas

8.7.1 Prinsip dasar

Pertimbangkan daerah kajian yang terdiri dari **N** zona. Setiap zona diwakili oleh satu pusat zona sehingga terdapat **N** jumlah bangkitan dan tarikan. Setiap zona ini kemudian dihubungkan ke jaringan jalan yang terdiri dari ruas jalan dan simpul dengan penghubung pusat zona. MAT dari daerah kajian ini terdiri dari $\mathbf{N^2}$ sel; terdapat [$\mathbf{N^2-N}$] sel jika perjalanan intrazona dapat diabaikan.

Penentuan rute jalan yang dilalui oleh setiap perjalanan dari setiap zona asal $\boldsymbol{i}$ ke setiap zona tujuan $\boldsymbol{d}$ merupakan tahapan terpenting dalam proses penaksiran MAT dengan data arus lalu lintas. Peubah p_{id}^{l} digunakan untuk mendefinisikan proporsi jumlah perjalanan dari zona asal $\boldsymbol{i}$ ke zona tujuan $\boldsymbol{d}$ yang menggunakan ruas jalan $\boldsymbol{l}$. Jadi, arus lalulintas pada setiap ruas jalan dalam suatu jaringan jalan merupakan hasil dari:

- jumlah perjalanan dari zona asal $\boldsymbol{i}$ ke zona tujuan $\boldsymbol{d}$ (T_{id}), dan
- proporsi jumlah perjalanan dari zona asal $\boldsymbol{i}$ ke zona tujuan $\boldsymbol{d}$ yang menggunakan ruas jalan $\boldsymbol{l}$ yang dapat didefinisikan sebagai p_{id}^{l} ($\mathbf{0} \le p_{id}^{l} \le \mathbf{1}$).

Arus lalulintas ($\hat{V}_l$) pada suatu ruas jalan $\boldsymbol{l}$ adalah jumlah perjalanan antarzona yang menggunakan ruas jalan tersebut. Secara matematis, arus lalulintas ini dapat dinyatakan sebagai persamaan (8.52). Peubah p_{id}^{l} dapat ditaksir dengan menggunakan beberapa metode pembebanan rute mulai dari metode *all-or-nothing* sampai dengan metode keseimbangan-dengan-batasan-kapasitas. Dengan mengetahui taksiran p_{id}^{l} dan satu set data arus lalulintas ($\hat{V}_l$), didapatkan $\mathbf{N^2}$ buah T_{id} yang harus ditaksir dari **L** persamaan linear simultan (persamaan 8.34) dengan jumlah data arus lalulintas.

Secara prinsip, $\mathbf{N^2}$ data arus lalulintas dibutuhkan untuk dapat menaksir matriks [T_{id}]; – [$\mathbf{N^2-N}$] jika perjalanan intrazona dapat diabaikan. Secara praktis, jumlah data arus lalulintas yang diperoleh jauh lebih sedikit dari jumlah T_{id} yang ditaksir sehingga tidak mungkin diperoleh solusi. Secara umum dapat dikatakan terdapat lebih dari satu MAT yang bisa menghasilkan data arus lalulintas tersebut.

Timbul pertanyaan mengenai cara membatasi jumlah solusi. Salah satu kemungkinannya adalah dengan memodel perilaku pemakai jalan di dalam daerah kajian. Sebelum melangkah lebih jauh, metode pembebanan rute yang dapat dipakai

untuk menaksir peubah p_{id}^{l} akan dijelaskan secara singkat berikut ini. Pembaca yang berminat mengetahui lebih lanjut metode atau teknik pembebanan rute disarankan membaca bab 7.

8.7.2 Beberapa metode pembebanan rute

Salah satu tujuan utama pembebanan rute adalah mengidentifikasi rute yang ditempuh pengendara dari zona asal ***i*** ke zona tujuan ***d*** dan juga jumlah perjalanan yang melalui setiap ruas jalan pada suatu jaringan jalan. **Robillard** (**1975**) mengklasifikasikan metode pembebanan rute menjadi dua kelompok utama, yaitu **metode proporsional** dan **metode tidak-proporsional**. Jika proporsi jumlah perjalanan yang melewati suatu ruas jalan tidak tergantung pada jumlah arus di ruas jalan tersebut, dapat digunakan metode proporsional.

Terdapat beberapa ciri daerah kajian yang dapat digunakan untuk membantu menentukan teknik pembebanan rute yang terbaik. Hal ini termasuk informasi cara pengendara mempertimbangkan biaya perjalanannya, tingkat kemacetan, dan rute alternatif lain, termasuk biaya perjalanannya. Dengan metode proporsional, diasumsikan proporsi pengendara yang memilih rute perjalanannya tergantung pada asumsi mereka dan ciri rutenya, serta tidak tergantung pada tingkat arus lalulintasnya.

Contoh yang umum adalah metode *all-or-nothing*; dalam hal ini diasumsikan semua pengendara berusaha memperkecil biaya perjalanannya dan mereka melakukannya dengan cara yang sama sehingga biaya perjalanan tidak tergantung pada jumlah arus lalulintas. Karena itu, pengendara dari satu zona ke zona lain selalu memakai rute yang sama.

Metode ini diperkirakan tidak begitu realistis untuk beberapa jaringan jalan di daerah perkotaan karena tidak mempertimbangkan keragaman dalam penentuan biaya dan efek kemacetan. Tetapi, metode ini merupakan metode tercepat dan termudah dan sangat berguna untuk jaringan jalan yang tidak begitu rapat yang hanya mempunyai beberapa rute alternatif saja. Nilai peubah p_{id}^{l} untuk metode ini adalah sebagai berikut:

$$p_{id}^{l} = \begin{cases} \mathbf{1} & \text{jika pergerakan dari zona asal } \boldsymbol{i} \text{ ke zona tujuan } \boldsymbol{d} \text{ menggunakan ruas } \boldsymbol{l} \\ \mathbf{0} & \text{jika sebaliknya atau } \boldsymbol{i} = \boldsymbol{d} \end{cases} \tag{8.53}$$

Dalam kondisi macet, biaya untuk melalui ruas jalan tertentu sangat tergantung pada jumlah arus lalulintas di ruas jalan tersebut dan hubungan matematis antara arus lalulintas dan kecepatan. Beberapa metode telah dikembangkan untuk mempertimbangkan efek tersebut yang biasa dikenal dengan **metode batasan-kapasitas**. Beberapa diantaranya adalah ***all-or-nothing*-berulang**, **pembebanan-berulang** dan **pembebanan-bertahap**. Metode yang paling sesuai untuk suatu kasus sangat tergantung pada ciri daerah kajian. Tingkat kemacetan, adanya rute alternatif dengan biayanya masing-masing, dan ide pengendara, sangat menolong menentukan metode pembebanan rute yang terbaik.

Masalah yang timbul dalam menaksir MAT dengan data arus lalu lintas menjadi lebih mudah dipecahkan jika metode proporsional dapat dipakai. Penggunaan metode tidak-proporsional memerlukan proses pengulangan; nilai asumsi peubah p_{id}^{l} yang digunakan untuk menaksir MAT selanjutnya digunakan kembali untuk memperbaiki nilai p_{id}^{l} tersebut. Hal ini didiskusikan lebih rinci oleh **Willumsen** (**1978ab**,**1981ab**) yang lebih mengutamakan penggunaan metode proporsional.

8.7.3 Konsep dasar

Dengan metode tidak-konvensional ini, perilaku pemakai jalan dianggap dapat diwakili dengan suatu model kebutuhan akan transportasi tertentu seperti model *gravity-opportunity* (GO). Arus lalulintas dinyatakan sebagai fungsi MAT yang dinyatakan sebagai fungsi suatu model kebutuhan akan transportasi dengan parameternya.

Pertimbangkan sekarang terdapat sejumlah **K** tujuan pergerakan atau komoditas yang bergerak antarzona di dalam daerah kajian. Anggap bahwa pergerakan antarzona di dalam daerah kajian tersebut dapat diwakili oleh suatu model kebutuhan akan transportasi, katakanlah model GO. Jadi, total pergerakan T_{id} dengan zona asal i dan zona tujuan d untuk semua tujuan pergerakan atau komoditas dapat dinyatakan sebagai:

$$T_{id} = \sum_{k} T_{id}^{k} \tag{8.54}$$

T_{id}^{k} adalah pergerakan dari setiap tujuan pergerakan atau komoditas k yang bergerak dari zona asal i ke zona tujuan d seperti yang didefinisikan dengan persamaan (8.55) berikut:

$$T_{id}^{k} = b_k . O_i^k . D_d^k . A_i^k . B_d^k . f_{id}^k \tag{8.55}$$

Dengan memasukkan persamaan (8.55) ke persamaan (8.52), persamaan dasar untuk model penaksiran kebutuhan akan transportasi dengan data arus lalulintas dan beberapa data perencanaan adalah:

$$V_l = \sum_{k} \sum_{i} \sum_{d} \left(b_k . O_i^k . D_d^k . A_i^k . B_d^k . f_{id}^k . p_{id}^l \right) \tag{8.56}$$

Persamaan dasar ini sangat sering digunakan dalam banyak pustaka baik untuk menaksir MAT maupun mengkalibrasi model kebutuhan akan transportasi dari data arus lalulintas; contohnya (**Chan, 1982**; **Pierro, 1983**; **Tamin, 1985;1986, 1988abcd**; **Tamin and Willumsen, 1988ab; Willumsen, 1978ab**;**1981ab**;**1984b**). Yang harus diketahui adalah data arus lalulintas ($\hat{V}_l$) tidak tersedia untuk setiap tujuan pergerakan k, tetapi tersedia untuk semua jenis pergerakan.

Dalam beberapa penelitian yang telah banyak dilakukan, peubah p_{id}^{l} diasumsikan mengikuti teknik pembebanan proporsional yang dapat ditaksir secara terpisah dari penaksiran MAT $[T_{id}]$ dengan ($0 \leq p_{id}^{l} \leq 1$). Diasumsikan bahwa model GO digunakan untuk mencerminkan perilaku pergerakan sehingga persamaan (8.38) merupakan sistem **L** persamaan linear simultan dengan **3K+2** parameter yang tidak

diketahui (b_k, α_k, β_k, ε dan μ), yang harus dikalibrasi (lihat penjelasan rinci pada subbab 8.10–8.11). Penting untuk diketahui bahwa parameter (Ω,Φ) sudah diketahui karena telah diberi nilai, lihat tabel (5.20).

Permasalahannya sekarang adalah bagaimana mengkalibrasi parameter model GO yang tidak diketahui agar model yang telah dikalibrasi menghasilkan arus lalulintas yang sekecil mungkin perbedaannya dengan arus hasil pengamatan. Hanya sedikit sekali penggunaan teknik ini sehingga terdapat kesempatan untuk mengembangkannya. **Tamin** (**1985**,**1988abcd**) mengembangkan 4 buah jenis metode penaksiran yang dijelaskan secara rinci dalam subbab (8.10–8.11).

8.8 Penaksiran model kombinasi SPPM dengan data arus penumpang

8.8.1 Prinsip dasar

Misalkan suatu daerah kajian dibagi atas **N** zona yang masing-masing diwakili oleh satu pusat zona. Semua zona ini kemudian dihubungkan ke jaringan jalan yang terdiri dari ruas jalan dan simpul. MAT dari satu daerah kajian terdiri dari $\mathbf{N^2}$ sel; jadi terdapat [$\mathbf{N^2-N}$] sel jika perjalanan intrazona dapat diabaikan. Penentuan rute jalan yang akan dilalui oleh setiap perjalanan dari setiap zona asal ***i*** ke setiap zona tujuan ***d*** merupakan tahapan terpenting dalam proses penaksiran MAT dengan data arus lalulintas.

Peubah p_{id}^{lm} digunakan untuk dapat mendefinisikan proporsi jumlah perjalanan (moda ***m***) dari zona asal ***i*** ke zona tujuan ***d*** yang menggunakan ruas jalan ***l***. Jadi, arus lalulintas di setiap ruas jalan dalam suatu jaringan jalan adalah hasil dari:

- jumlah perjalanan dari zona asal ***i*** ke zona tujuan ***d*** (T_{id}), dan
- proporsi jumlah perjalanan (moda ***m***) dari zona asal ***i*** ke zona tujuan ***d*** yang menggunakan ruas jalan ***l*** yang dapat didefinisikan sebagai p_{id}^{lm} ($\mathbf{0 \le p_{id}^{lm} \le 1}$).

Arus lalulintas $\hat{V}_l^m$ pada ruas jalan ***l*** adalah jumlah perjalanan antarzona (moda ***m***) yang menggunakan ruas jalan tersebut. Secara matematis, arus lalulintas ini dapat dinyatakan sebagai:

$$V_l^m = \sum_i \sum_d T_{id}^m \, p_{id}^{lm} \tag{8.57}$$

Peubah p_{id}^{lm} dapat ditaksir dengan menggunakan beberapa metode pembebanan rute mulai dari metode *all-or-nothing* sampai dengan metode keseimbangan-dengan-batasan-kapasitas. Dengan mengetahui penaksiran p_{id}^{lm} dan satu set data arus lalulintas ($\hat{V}_l^m$), terdapat $\mathbf{N^2}$ buah T_{id}^m yang harus ditaksir dari **L** persamaan linear simultan (persamaan 8.57) dengan **L** adalah jumlah data arus lalulintas.

Secara prinsip, $\mathbf{N^2}$ data arus lalulintas dibutuhkan untuk dapat menaksir matriks [T_{id}^m], dengan [$\mathbf{N^2-N}$] jika perjalanan intrazona dapat diabaikan. Secara praktis,

jumlah data arus lalulintas yang diperoleh jauh lebih sedikit dari jumlah T_{id}^{m} yang ditaksir sehingga tidak mungkin diperoleh solusi yang unik.

Secara umum dapat dikatakan bahwa terdapat lebih dari satu MAT yang bisa menghasilkan data arus lalulintas tersebut. Masalahnya, bagaimana membatasi jumlah solusi. Salah satu kemungkinannya adalah dengan memodel perilaku pengendara di dalam daerah kajian tersebut.

8.8.2 Model kombinasi sebaran pergerakan–pemilihan moda (SPPM)

Tamin (**1990d**,**1994e**,**1995b**) dan **Tamin *et al*** (**1992de**) mengembangkan model kombinasi **Sebaran Pergerakan–Pemilihan Moda (SPPM)**; parameter model tersebut dikalibrasi dengan data arus lalulintas atau penumpang dan beberapa data perencanaan sederhana.

Model kombinasi bertujuan menggabungkan tahapan sebaran pergerakan, pemilihan moda, dan pemilihan rute dalam satu proses, kemudian parameternya dikalibrasi dengan data arus lalulintas atau penumpang. Jadi, model ini mampu sekaligus menaksir MAT bagi moda transportasi yang berbeda, misalnya MAT penumpang angkutan pribadi dan MAT penumpang angkutan umum.

Dalam metode ini, perilaku pemakai jalan dianggap dapat dicerminkan dengan model transportasi tertentu seperti model *gravity* (GR) dan pemilihan modanya dicerminkan dengan model logit-multinomial (LM). Dalam hal ini, arus lalulintas atau penumpang dinyatakan sebagai fungsi MAT, dan MAT ini juga dapat dicerminkan sebagai fungsi model kombinasi SPPM dengan parameter tertentu.

Parameter ini kemudian dikalibrasi sehingga galat antara arus lalulintas atau penumpang yang didapat di lapangan dengan yang dihasilkan dalam proses penaksiran tersebut dapat diperkecil. Metode penaksiran yang telah dikembangkan sampai saat ini meliputi metode kuadrat-terkecil (KT) dan kemiripan-maksimum (KM) yang dijelaskan secara rinci pada subbab 8.10–8.11. Teknik ini baru sedikit sekali digunakan sehingga masih dapat dikembangkan lebih lanjut.

8.8.2.1 Model *gravity* sebagai model transportasi Model ini pada mulanya dikembangkan berdasarkan hukum gravitasi Newton; gaya gravitasi (F_{id}) antara **2** massa m_i dan m_d dengan jarak d_{id} dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$F_{id} = \mu . m_i . m_d / d_{id}^2, \qquad \mu \text{ konstanta} \tag{8.58}$$

Analog dengan persamaan di atas, model GR untuk sistem transportasi tertentu adalah:

$$T_{id} = \mathbf{k} . O_i . D_d / d_{id}^2, \qquad \mathbf{k} \text{ konstanta} \tag{8.59}$$

Jumlah perjalanan dari zona asal i ke zona tujuan d (T_{id}) berbanding lurus dengan setiap perjalanan yang berasal dari i (O_i) dan yang menuju ke d (D_d), dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antaranya. Tetapi, persamaan (8.59) mempunyai satu kelemahan. Jika nilai O_i dan D_d masing-masing menjadi dua kali lipat, perjalanan antara kedua zona tersebut akan menjadi empat kali lipat, padahal

seharusnya menjadi dua kali lipat saja. Oleh sebab itu, disarankan untuk membatasi model tersebut sehingga:

$$\sum_d T_{id} = O_i \quad \text{dan} \quad \sum_i T_{id} = D_d \tag{8.60}$$

Batasan ini dipenuhi jika diikutsertakan satu set peubah A_i dan B_d, yang sesuai dengan total bangkitan pergerakan dan total tarikan pergerakan. Peubah ini biasa disebut dengan faktor penyeimbang yang didapat sebagai bagian dari proses perhitungan untuk membatasi persamaan (8.60). Selanjutnya, tidak ada alasan untuk selalu menggunakan d_{id}. Yang lebih umum digunakan adalah fungsi biaya. Dengan asumsi terdapat **M** moda transportasi, modifikasi model GR (jenis dengan-dua-batasan) tersebut dapat dinyatakan sebagai:

$$T_{id} = \sum_m \left(O_i^m . D_d^m . A_i^m . B_d^m . f_{id}^m \right) \tag{8.61}$$

A_i^m dan B_d^m = faktor penyeimbang yang dapat dinyatakan dengan:

$$A_i^m = \left[\sum_d \left(B_d^m . D_d^m . f_{id}^m \right) \right]^{-1} \text{ dan } B_d^m = \left[\sum_i \left(A_i^m . O_i^m . f_{id}^m \right) \right]^{-1} \tag{8.62}$$

f_{id}^m = fungsi biaya memakai fungsi eksponensial-negatif: $\exp\left(-\beta . C_{id}^m\right)$ (8.63)

Persamaan (8.61) biasa disebut model *gravity* jenis dengan-dua-batasan (DCGR).

8.8.2.2 Model logit-multinomial (LM) sebagai model pemilihan moda Model pemilihan moda diperlukan jika proposal mengenai angkutan umum mulai dipertimbangkan, atau jika dirasakan ada dampak kebijakan parkir terhadap pemilihan moda transportasi. Tujuan tahap ini adalah untuk memodel pemilihan moda transportasi untuk setiap perjalanan, biasanya antara mobil dan moda transportasi lain.

Untuk angkutan barang, pemilihan tersebut biasanya terletak antara kereta api dan truk. Model pemilihan moda yang paling sederhana dan sering digunakan adalah model logit-multinomial (LM), yang dapat dinyatakan sebagai:

$$T_{id}^k = T_{id} \cdot \frac{\exp\left(-\beta . C_{id}^k\right)}{\sum_m \exp\left(-\beta . C_{id}^m\right)} \tag{8.64}$$

8.8.2.3 Persamaan dasar Dengan memasukkan persamaan (8.64) ke persamaan (8.57), persamaan dasar penaksiran model transportasi kombinasi SPPM dengan menggunakan data arus lalulintas atau penumpang adalah sebagai berikut:

$$V_l^k = \sum_i \sum_d \left[O_i^k . D_d^k . A_i^k . B_d^k . f_{id}^k . p_{id}^{lk} \frac{\exp\left(-\beta . C_{id}^k\right)}{\sum_m \exp\left(-\beta . C_{id}^m\right)} \right] \tag{8.65}$$

Persamaan (8.65) adalah sistem persamaan dengan **L** persamaan simultan yang mempunyai hanya satu parameter β saja yang tidak diketahui.

Masalahnya sekarang adalah bagaimana menaksir nilai parameter β tersebut sehingga model dapat menghasilkan data arus penumpang yang semirip mungkin dengan data lapangan. Beberapa metode penaksiran yang telah dikembangkan baik oleh penulis maupun oleh para peneliti lainnya akan diterangkan secara rinci berikut ini.

8.9 Metode penaksiran

Subbab 8.8 menjelaskan permasalahan penaksiran MAT dengan data arus lalulintas. Dijelaskan pula bahwa pengkalibrasian model merupakan unsur kunci pemecahan masalah. Model kebutuhan akan transportasi yang sesuai untuk digunakan telah didiskusikan (pembaca yang berminat disarankan membaca subbab 5.9). Terlihat bahwa hal utama adalah penggunaan data arus lalulintas dalam mengkalibrasi parameter model.

Tujuan utama kajian seperti ini adalah mencoba menghasilkan teknik yang baik untuk mengkalibrasi model dari data arus lalulintas; jumlah ruas jalan yang dibutuhkan sekurang-kurangnya sama dengan jumlah parameter model yang tidak diketahui. Jadi, jika perilaku pergerakan diasumsikan dapat diwakili dengan model kebutuhan akan transportasi misalnya model *gravity-opportunity* (GO) (lihat subbab 5.9), maka problem kalibrasi membutuhkan:

$$\mathbf{L \geq 3K+2} \tag{8.66}$$

K adalah jumlah tujuan pergerakan atau kelompok komoditas. Secara praktis, sangatlah kecil kemiripan mendapatkan informasi data arus lalulintas yang bebas dari kesalahan. Hampir selalu terdapat kesalahan pada data arus lalulintas, definisi sistem jaringan atau sistem zona, atau mungkin pada teknik pembebanan rute yang digunakan untuk menjelaskan rute yang dipilih pengendara. Oleh karena itu, dibutuhkan tambahan jumlah ruas jalan untuk menanggulangi jenis kesalahan seperti ini.

Tamin (**1988abcd**) mengembangkan dua kelompok utama metode penaksiran yang dapat digunakan untuk mengkalibrasi parameter model transportasi yang diusulkan dari data arus lalulintas, yaitu metode **penaksiran kuadrat-terkecil (KT)** dan metode **penaksiran kemiripan-maksimum (KM)**.

Ide utama dibalik kedua metode penaksiran itu adalah mencoba mengkalibrasi parameter yang tidak diketahui, yang meminimumkan perbedaan antara arus lalulintas hasil pemodelan dan hasil pengamatan. Hal ini bisa didapat dengan menggunakan ukuran kemiripan antara arus lalulintas hasil pemodelan dan hasil pengamatan, misalnya formula kuadrat-terkecil atau kemiripan-maksimum.

Subbab ini dimulai dengan menjelaskan latar belakang teori bagi setiap metode penaksiran, diteruskan dengan menjelaskan penurunan metode sesuai dengan masalah penaksiran model kebutuhan akan transportasi dari data arus lalulintas. Subbab 8.10 menjelaskan penurunan **metode penaksiran kuadrat-terkecil (KT)** yang dapat dikelompokkan menjadi dua subkelompok yaitu **kuadrat-terkecil-linear (KTL)** dan **kuadrat-terkecil-tidak-linear (KTTL)**. Dua subkelompok

metode penaksiran lainnya telah juga dikembangkan oleh **Tamin** (**1988abcd**), yaitu kemiripan-maksimum (KM1 dan KM2) yang dasar teori dan penurunannya secara rinci ada dalam subbab 8.11.

Tamin (1998c) telah mengembangkan metode penaksiran **Inferensi-Bayes (IB)** yang akan diterangkan secara rinci di mulai dari konsep awal sampai dengan penurunan rumus serta contoh penerapannya pada subbab 8.12. **Tamin** (**1998e**) juga telah mengembangkan metode penaksiran **Entropi-Maksimum (EM)** yang akan diterangkan secara rinci pada subbab 8.13.

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengkombinasikan dua sumber informasi yang berbeda, yaitu data MAT yang tidak lengkap dan data arus lalulintas; solusi yang diusulkan disajikan pada subbab 8.14. Persamaan simultan yang dihasilkan oleh setiap metode penaksiran yang diusulkan kemudian dipecahkan dengan metode Newton–Raphson dan teknik eliminasi matriks Gauss–Jordan. Rincian yang lebih lengkap mengenai **metode Newton–Raphson** terdapat pada subbab 8.15.3, sedangkan **teknik eliminasi matriks Gauss–Jordan** pada subbab 8.15.4.

8.10 Metode penaksiran kuadrat-terkecil (KT)

Ide utama dibalik metode penaksiran ini adalah mencoba mengkalibrasi parameter model transportasi yang tidak diketahui sehingga meminimumkan jumlah perbedaan kuadrat antara arus lalulintas hasil penaksiran dan hasil pengamatan. Ide ini sudah sering digunakan oleh banyak peneliti untuk menaksir parameter model transportasi dari data arus lalulintas; contohnya lihat **Low** (**1972**), **Robillard** (**1975**), **Högberg** (**1976**), **Carey *et al*** (**1981**), dan **Carey and Revelli** (**1986**).

Tetapi, seperti dinyatakan oleh **Tamin** (**1985**,**1988abcd**), fungsi tujuan model penaksiran ini lebih mengutamakan pengurangan perbedaan atau deviasi pada arus lalulintas bervolume tinggi, bukan arus lalulintas bervolume rendah. Untuk mempertimbangkan hal ini, kita dapat menggunakan jenis fungsi tujuan yang berbeda, yang dikenal dengan metode penaksiran kuadrat-terkecil-berbobot (KTB); setiap perbedaan diberi bobot dan jumlah kuadratnya diminimumkan untuk meningkatkan kepentingan arus lalulintas bervolume rendah.

Pada **Tamin** (**1985**,**1988abcd**), pembobotan dilakukan dengan memasukkan faktor pembagi yang sama dengan data arus lalulintas hasil pengamatan. Secara matematis, permasalahan kalibrasi metode penaksiran kuadrat-terkecil (KT dan KTB) dapat dinyatakan sebagai persamaan (8.67) dengan $\dot{\dot{V}}_l = \mathbf{1}$ untuk KT atau $\dot{\dot{V}}_l = \hat{V}_l$ untuk KTB:

$$\textbf{meminimumkan} \qquad \mathbf{S} = \sum_l \left[\frac{\left(\hat{V}_l - V_l\right)^2}{\dot{\dot{V}}_l} \right] \tag{8.67}$$

Metode penaksiran KT dan KTB dapat juga dikelompokkan menjadi dua subkelompok metode: metode penaksiran kuadrat-terkecil-linear (KTL) dan metode penaksiran kuadrat-terkecil-tidak-linear (KTTL).

Diperkirakan metode penaksiran KTTL membutuhkan waktu proses yang lebih lama dibandingkan dengan metode KTL untuk jumlah parameter yang sama. Ini disebabkan karena metode penaksiran KTTL mengandung aljabar yang lebih kompleks yang membutuhkan waktu proses yang lebih lama untuk memecahkannya dibandingkan dengan metode KTL.

Tetapi, metode penaksiran KTTL memungkinkan digunakannya model kebutuhan akan transportasi yang lebih realistis dalam mencerminkan perilaku pergerakan. Jadi, diperkirakan metode penaksiran KTTL memberikan hasil yang lebih baik daripada metode penaksiran KTL.

8.10.1 Metode penaksiran kuadrat-terkecil-linear (KTL)

Anggap kita menggunakan model *gravity* (GR) (lihat subbab 5.7) untuk mewakili perilaku pergerakan di dalam suatu daerah kajian. Agar model GR tersebut mempunyai hubungan linear dalam parameternya, beberapa asumsi harus diambil yaitu parameter β_k dari model GR untuk setiap tujuan perjalanan k telah diketahui nilainya.

Jadi, parameter yang tidak diketahui adalah b_k untuk setiap tujuan perjalanan k dan, karena itu, parameter model GR menjadi linear. Persamaan (8.52) dapat ditulis kembali sebagai persamaan (8.68) agar dapat digunakan dengan metode penaksiran ini.

$$V_l = \sum_k \left(b_k . X_{lk} \right) \tag{8.68}$$

dengan:

$$X_{lk} = \sum_i \sum_d \left(O_i^k . D_d^k . A_i^k . B_d^k . f_{id}^k . p_{id}^l \right) \tag{8.69}$$

Jadi, untuk **L** data arus lalulintas dan **K** tujuan pergerakan, persamaan (8.68) dan (8.69) dapat dinyatakan dalam bentuk matriks seperti persamaan (8.70), dengan syarat $\mathbf{L \geq K}$.

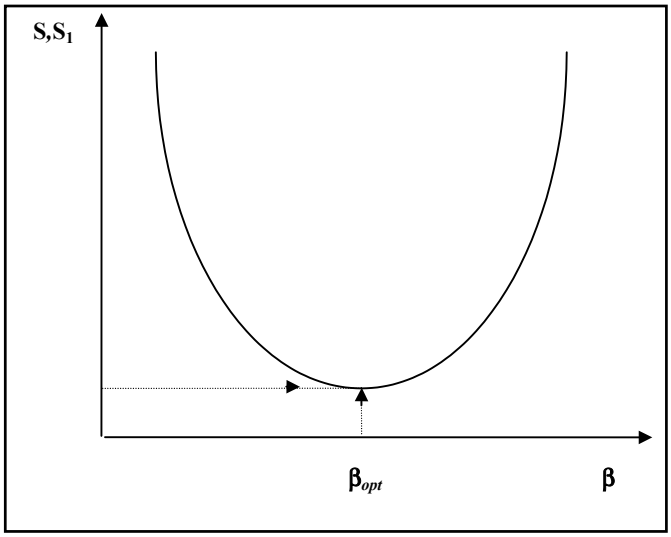
$$\begin{pmatrix} X_{11} & X_{12} & \cdots & X_{1K} \\ X_{21} & X_{22} & \cdots & X_{2K} \\ \cdot & \cdot & \cdots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdots & \cdot \\ X_{L1} & X_{L2} & \cdots & X_{LK} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ b_L \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \hat{V}_1 \\ \hat{V}_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \hat{V}_L \end{pmatrix} \tag{8.70}$$

Untuk mengkalibrasi satu set parameter yang tidak diketahui b_k yang meminimumkan fungsi tujuan (8.67), teknik penaksiran kuadrat-terkecil-linear-berganda bisa digunakan. Persamaan (8.71) berikut dibutuhkan untuk menghasilkan solusi, yaitu untuk $k = 1, \ldots, K$:

$$\frac{\partial S}{\partial b_k} = \sum_l \left[\frac{2\left(\sum_k b_k . X_{lk} - \hat{V}_l \right) . X_{lk}}{\dot{V}_l} \right] = 0 \tag{8.71}$$

Persamaan (8.71) adalah sistem persamaan dengan **L** persamaan linear simultan yang mempunyai **K** parameter b_k yang tidak diketahui yang dapat dipecahkan dengan menggunakan teknik eliminasi matriks Gauss–Jordan dengan syarat $\mathbf{L} \geq \mathbf{K}$. Pendekatan yang mirip telah juga digunakan oleh **Chan** (**1982**) dan **Pierro** (**1983**).

Setelah menghitung nilai b_k untuk beberapa nilai β, gambar (8.2) dapat dihasilkan. Terlihat bahwa nilai β_{opt} adalah nilai β yang menghasilkan nilai fungsi tujuan **S** atau $\mathbf{S_1}$ yang minimum, atau dengan kata lain, nilai β yang menghasilkan arus lalulintas hasil penaksiran yang paling mirip dengan hasil pengamatan. MAT hasil penaksiran dapat kembali dihitung dengan menggunakan nilai β_{opt} dan nilai b_k untuk setiap tujuan pergerakan k tergantung pada nilai β_{opt} ini.



Gambar 8.2
Nilai minimum fungsi tujuan **S** atau $\mathbf{S_1}$ dan nilai optimum parameter β
Sumber: Tamin (1988abcd)

Pendekatan ini tentu membutuhkan waktu proses yang lama, dan keberhasilan proses penaksiran β_{opt} dalam beberapa hal masih tergantung pada hasil kombinasi kerja keras dan keberuntungan. Pembaca yang berminat disarankan membaca subbab 8.14 mengenai metode atau teknik kalibrasi terbaik yang bisa digunakan dalam proses penaksiran tersebut.

8.10.2 Metode penaksiran kuadrat-terkecil-tidak-linear (KTTL)

Asumsikan perilaku pergerakan di dalam suatu daerah kajian dapat dinyatakan dengan model *gravity-opportunity* (GO); hanya dipertimbangkan **3K** parameter yang tidak diketahui, yaitu b_k, α_k dan β_k karena nilai parameter (ε,μ) bisa didapatkan secara terpisah dari proses kalibrasi utama. Dalam kasus ini, metode penaksiran KTL tidak lagi bisa digunakan untuk mendapatkan solusi yang unik karena persamaan (8.67) bukan lagi merupakan fungsi linear dalam parameternya.

Karena itu, metode penaksiran KTTL kemudian diusulkan untuk dipertimbangkan dalam menyelesaikan permasalahan tidak-linear tersebut. Dengan memasukkan persamaan (8.52) ke fungsi tujuan **S** atau $\mathbf{S_1}$ [persamaan (8.67)], tiga set persamaan (8.72) berikut dibutuhkan untuk dapat menaksir satu set parameter model GO (b_k, α_k, dan β_k) yang meminimumkan nilai fungsi tujuan **S** atau $\mathbf{S_1}$, untuk $k = \mathbf{1}, ..., \mathbf{K}$.

$$\frac{\partial S}{\partial b_k} = fb_k = \sum_l \left[\frac{2\left(\sum_i \sum_d T_{id} \cdot p_{id}^l - \hat{V}_l \right) \left(\sum_i \sum_d \frac{\partial T_{id}}{\partial b_k} \cdot p_{id}^l \right)}{\dot{\dot{V}}_l} \right] = 0$$

$$\frac{\partial S}{\partial \alpha_k} = f\alpha_k = \sum_l \left[\frac{2\left(\sum_i \sum_d T_{id} \cdot p_{id}^l - \hat{V}_l \right) \left(\sum_i \sum_d \frac{\partial T_{id}}{\partial \alpha_k} \cdot p_{id}^l \right)}{\dot{\dot{V}}_l} \right] = 0 \qquad (8.72)$$

$$\frac{\partial S}{\partial \beta_k} = f\beta_k = \sum_l \left[\frac{2\left(\sum_i \sum_d T_{id} \cdot p_{id}^l - \hat{V}_l \right) \left(\sum_i \sum_d \frac{\partial T_{id}}{\partial \beta_k} \cdot p_{id}^l \right)}{\dot{\dot{V}}_l} \right] = 0$$

Persamaan (8.72) adalah sistem **3K** persamaan simultan dengan **3K** parameter yang tidak diketahui, yaitu b_k, α_k, dan β_k yang harus ditaksir. Setelah itu, dapat diperoleh semua nilai parameter model GO, dengan syarat $\mathbf{L \geq 3K}$. Metode Newton–Raphson yang dikombinasikan dengan teknik eliminasi matriks Gauss–Jordan dapat digunakan untuk memecahkan persamaan (8.72).

8.11 Metode penaksiran kemiripan-maksimum (KM)

8.11.1 Pendahuluan

Sudah lama diketahui bahwa peluang untuk menghasilkan keluaran tertentu dalam suatu percobaan adalah ukuran rasional mengenai **kepercayaan**, yang dinyatakan sebelum melakukan percobaan, bahwa keluaran tertentu akan terjadi. Ini juga merupakan ukuran rasional mengenai kepercayaan yang dinyatakan sesudah percobaan, bagi seseorang yang tidak memperhatikan keluaran yang terjadi. Secara khusus, ini bukan merupakan ukuran rasional mengenai **kejutan** bahwa keluaran tertentu telah terjadi karena kejutan juga tergantung pada peluang dari keluaran lain yang mungkin telah terjadi.

Konsep klasik ‘peluang’ memungkinkan kita mengembangkan suatu kegiatan menjadi realisasi ketidakpastian; terlihat bahwa dari kejadian yang paling acak sekalipun, misalnya percobaan pelemparan uang logam atau dadu, tampak ada keteraturan tertentu. Semakin besar keteraturan atau pola urutan kejadian tersebut, semakin penting pula adanya penjelasan dalam bentuk hukum. Perlunya ukuran mengenai kepercayaan telah dikenal sejak pertengahan abad ke-18 yang telah mendorong Laplace mengembangkan teori mengenai **peluang-inversi**: peluang hipotesis tertentu dapat dikurangi dari besarnya frekuensi terjadinya kejadian.

Edwards (**1972**) menerangkan dalam bukunya bahwa kesalahan yang dilakukan oleh Laplace dan peneliti sebelumnya adalah menganggap hipotesis dapat dianggap

sebagai suatu keluaran percobaan. Yang terjadi sekarang, tulis Fisher dalam tahun 1925 adalah:

> .... konsep peluang matematis tidaklah cukup untuk menyatakan keyakinan atau ketidakyakinan dalam melakukan inferensi, dan kuantitas matematis yang cocok untuk menyatakan preferensi di antara populasi jawaban yang mungkin tidak pula mengabaikan hukum peluang. Untuk membedakannya dari peluang, maka digunakan 'kemiripan' untuk menyatakan kuantitas tersebut ...

Untuk melihat apakah **kemiripan** dapat menghasilkan dasar yang baik untuk digunakan dalam suatu hipotesis, dirasakan perlu mendefinisikannya dan mempelajari perilakunya secara rinci sebagai berikut.

8.11.2 Definisi

Anggaplah kita mempunyai suatu model peluang, suatu set hipotesis statistik, dan suatu set data yang membentuk dasar inferensi statistik. Misalkan $\mathbf{P}(\mathbf{R}|\mathbf{H})$ adalah peluang dihasilkannya **R** dengan hipotesis **H** serta tergantung pada model peluang yang digunakan. Peluang ini didefinisikan untuk setiap anggota keluaran yang mungkin terjadi bagi setiap hipotesis yang digunakan.

Peluang ini dapat dianggap sebagai fungsi dari **R** dan **H**, tetapi biasanya berupa fungsi dari **R** saja untuk **H** tertentu. Jadi, perilaku matematisnya sangat dikenal dan meliputi setiap hal yang mendasar mengenai peluang. Suatu aksioma dasar adalah jika $\mathbf{R_1}$ dan $\mathbf{R_2}$ adalah dua buah keluaran yang mungkin terjadi, maka:

$$\mathbf{P}(\mathbf{R_1} \text{ atau } \mathbf{R_2}|\mathbf{H}) = \mathbf{P}(\mathbf{R_1}|\mathbf{H}) + \mathbf{P}(\mathbf{R_2}|\mathbf{H}) \tag{8.73}$$

8.11.2.1 Kemiripan Kemiripan $\mathbf{L}(\mathbf{H}|\mathbf{R})$ suatu hipotesis **H** dengan data **R** serta model tertentu sebanding dengan peluang $\mathbf{P}(\mathbf{R}|\mathbf{H})$ dan konstanta ***c***. Dalam hal peluang, **R** adalah peubah dan **H** adalah konstanta, tetapi dalam hal kemiripan, **H** adalah peubah, sedangkan **R** adalah konstanta. Perbedaan ini sangat mendasar.

$$\mathbf{L}(\mathbf{H}|\mathbf{R}) = \mathbf{c}.\mathbf{P}(\mathbf{R}|\mathbf{H}) \tag{8.74}$$

Konstanta **c** memungkinkan kita menggunakan definisi kemiripan yang sama bagi setiap peubah diskret atau kontinu. Walaupun merupakan konstanta untuk setiap penerapan yang menggunakan hipotesis yang berbeda dengan data dan model peluang yang sama, tentu bukan merupakan konstanta yang selalu sama dalam penggunaan lain.

8.11.2.2 Nisbah kemiripan Nisbah kemiripan dari dua hipotesis pada beberapa data merupakan nisbah kemiripan dari setiap data tersebut. Sering juga hal ini dinyatakan dalam bentuk fraksi atau $\mathbf{L}(\mathbf{H_1},\mathbf{H_2}|\mathbf{R})$. Nisbah kemiripan dari dua hipotesis pada beberapa data yang tidak saling berhubungan bisa dikalikan bersama untuk membentuk nisbah kemiripan dari kombinasi data tersebut. Jadi, untuk dua data set $\mathbf{R_1}$ dan $\mathbf{R_2}$:

$$\mathbf{L}(\mathbf{H_1},\mathbf{H_2}|\mathbf{R_1}\ \&\ \mathbf{R_2}) = \mathbf{L}(\mathbf{H_1},\mathbf{H_2}|\mathbf{R_1}).\mathbf{L}(\mathbf{H_1},\mathbf{H_2}|\mathbf{R_2}) \tag{8.75}$$

8.11.2.3 Dukungan Kadang-kadang kemiripan lebih mudah diterangkan dalam bentuk logaritma kemiripan atau nisbah kemiripan yang secara prinsip mengubah bentuk perkalian menjadi bentuk penjumlahan. Bentuk logaritma-kemiripan didefinisikan sebagai bentuk logaritma dari nisbah kemiripan. Dengan menggunakan bentuk logaritma, konstanta perkalian menjadi konstanta penjumlahan.

8.11.3 Aksioma kemiripan

8.11.3.1 Hukum kemiripan

> Dalam kerangka model statistika, satu set data tertentu mendukung suatu hipotesis statistika dengan lebih baik daripada hipotesis lainnya jika kemiripan hipotesis pertama melebihi kemiripan hipotesis yang kedua.

Hukum ini menerangkan cara menafsirkan kemiripan. Meningkatnya nilai nisbah kemiripan menunjukkan meningkatnya dukungan bagi hipotesis pertama. Hukum ini sangat dibutuhkan agar kita dapat menafsirkan kemiripan dengan benar. Tetapi, kemiripan tidak bisa berdiri sendiri karena ada aspek lain yang mempengaruhi yang mungkin tidak tercakup oleh kemiripan.

8.11.3.2 Prinsip kemiripan

> Dalam kerangka model statistika, semua informasi yang dimiliki data yang berkaitan dengan kedua hipotesis terkandung dalam nisbah kemiripan dari kedua hipotesis terhadap data tersebut.

Prinsip ini menyatakan bahwa **fungsi kemiripan** mengandung semua informasi yang dibutuhkan. Tetapi, sangat penting digarisbawahi bahwa prinsip ini bukanlah alasan untuk membuang semua data yang ada setelah kemiripan didapatkan. Dalam suatu kerangka model, akan kita pelajari hipotesis baru atau bisa saja model baru. Karena prinsip ini menyatakan hanya nisbah kemiripan yang penting, maka konsistensi tafsirnya menjadi tidak begitu penting.

Jika pengalaman menyebutkan bahwa kemiripan menyediakan penafsiran yang tidak konsisten, maka prinsip kemiripanlah yang harus dipertanyakan. Tidak alasan logis untuk memisahkan hukum dan prinsip tersebut. Mungkin ada baiknya kalau keduanya digabung menjadi satu aksioma baru seperti:

8.11.3.3 Aksioma kemiripan

> Dalam kerangka model statistika, semua informasi yang dimiliki data yang berkaitan dengan kedua hipotesis terkandung dalam nisbah kemiripan dari kedua hipotesis terhadap data tersebut, dan nisbah kemiripan dapat ditafsirkan sebagai tingkat sejauh mana data mendukung satu hipotesis dibandingkan dengan hipotesis lain.

8.11.4 Tafsiran kemiripan

Perbedaan antara ‘peluang’ dan ‘kemiripan’ harus benar-benar dipahami, khususnya yang menyangkut peranan masing-masing dalam hal inferensi-induktif. **P(R | H)** adalah peluang atau kepadatan peluang keluaran **R** dengan hipotesis **H**. Jika dianggap sebagai fungsi **R,** dapat dinyatakan sebagai sebaran statistik, baik dalam bentuk diskret maupun kontinu. Dalam hal tersebut, jika kita jumlahkan atau integrasikan semua keluaran **R**, kita dapatkan suatu satuan, sebagai hasil salah satu aksioma peluang.

Dengan kata lain, kemiripan diperkirakan didasari data **R** tertentu, dan untuk beberapa hipotesis bisa dianggap sebagai fungsi hipotesis atau fungsi parameter. Tetapi, fungsi ini bukan sebaran statistik dan tidak tersirat sedikit pun dalam definisinya bahwa jika kita jumlahkan seluruh hipotesis yang mungkin atau kita integrasikan semua nilai peubah yang mungkin, maka hasilnya tidak mempunyai arti yang menentukan.

Seperti telah diterangkan, kata **dukungan** digunakan untuk menggantikan bentuk logaritma kemiripan dan nisbah kemiripan. Dukungan untuk hipotesis pertama dibandingkan dengan hipotesis lainnya berkisar antara nol sampai dengan suatu angka yang tidak terhingga (skala negatif menyatakan kasus dukungan yang lebih mendukung hipotesis lain dibandingkan dengan hipotesis yang ada).

Dengan menyatakan dukungan dengan huruf **D**, nilai **D = 2** menyatakan bahwa kemiripan pada hipotesis pertama adalah **7,4** kali kemiripan pada hipotesis lainnya, dan untuk **D = 3**, faktor tersebut sekitar **20**; pada **D = 5**, sekitar **150**. Sangatlah jelas, semakin besar nilai **D**, semakin besar pula kemiripan yang mendukung hipotesis tertentu dibandingkan dengan hipotesis lainnya.

Kadang-kadang terdapat sanggahan yang menyebutkan bahwa dukungan tidak mempunyai arti apa pun. Hal ini sangat beralasan karena pernyataan dukungan, meskipun didapatkan dari peluang, tidak berarti bahwa peluang hipotesis itu benar. Tetapi, terdapat tafsiran operasi sederhana tentang nisbah kemiripan antara dua hipotesis untuk data tertentu. Tentu saja, nisbah frekuensi dari dua hipotesis pada jangka waktu yang lama akan menghasilkan data hasil pengamatan.

8.11.5 Kemiripan sampel multinomial

Pada penerapan untuk data yang mempunyai frekuensi, misalnya data arus lalulintas untuk ruas jalan tertentu, sudah sangat pasti bahwa frekuensi kejadiannya lebih dari dua. Karena itu, untuk jenis pengamatan ini, sebaran yang sesuai adalah sebaran multinomial, bukan sebaran binomial.

Diasumsikan bahwa pengamatan mengikuti sebaran multinomial dan terdapat sejumlah **s** kelas pengamatan. Jika peluang suatu percobaan untuk masuk ke dalam kelas ke-***i*** adalah sebesar p_i, maka peluang untuk mendapatkan a_1 dari sampel **N** pada ruas ke-**1**, a_2 pada ruas ke-**2**, dan secara umum, a_i pada ruas ke-***i*,** dapat dinyatakan sebagai:

$$\frac{\mathbf{N!}}{a_1!.a_2!.a_3!...a_s!}.p_1^{a_1}.p_2^{a_2}...p_s^{a_s} \tag{8.76}$$

p_i dapat dinyatakan sebagai fungsi dari satu atau lebih parameter yang diberi lambang θ. Jadi, kemiripan θ dari sampel tertentu sebaran multinomial dapat dinyatakan sebagai:

$$\mathbf{L}(\theta) = \mathbf{k}.[p_1(\theta)]^{a_1}.[p_2(\theta)]^{a_2}...[p_s(\theta)]^{a_s} \tag{8.77}$$

Di sini komponen $\frac{\mathbf{N!}}{a_1!.a_2!.a_3!...a_s!}.p_1^{a_1}.p_2^{a_2}...p_s^{a_s}$ digantikan oleh konstanta **k**.

8.11.6 Kerangka metode penaksiran kemiripan-maksimum jenis I (KM1)

Pada bagian ini, rumus kemiripan-maksimum digunakan untuk menghasilkan metode penaksiran MAT dari data arus lalulintas. Anggaplah kita mempunyai hasil survei data arus lalulintas yang terdiri dari arus lalulintas sejumlah $\hat{V}_\mathbf{T}$ kendaraan yang tercatat dalam **L** ruas jalan. Jika $\hat{V}_l$ menyatakan arus lalulintas hasil pengamatan yang didapatkan pada setiap ruas jalan l, didapat:

$$\sum_l \hat{V}_l = \hat{V}_\mathbf{T} \tag{8.78}$$

Sekarang, asumsikan bahwa $\mathbf{p}_l$ adalah peluang untuk mendapatkan data arus lalulintas untuk setiap ruas l. Dalam **Tamin** (**1988abcd**), peluang p_l untuk setiap ruas jalan l dinyatakan sebagai:

$$p_l = \frac{V_l}{\hat{V}_\mathbf{T}} \tag{8.79}$$

Asumsikan bahwa peluang untuk mendapatkan arus lalulintas pengamatan untuk setiap ruas l tertentu pada suatu survei mengikuti pola sebaran multinomial. Karena itu, dengan mengikuti jenis sebaran seperti ini dan mengasumsikan bahwa terdapat **L** ruas yang diambil dan peluang untuk mendapatkan volume arus ruas ke-l adalah $\mathbf{p}_l$, maka peluang untuk mendapatkan $\hat{V}_1$ dari total jumlah $\hat{V}_\mathbf{T}$ di ruas pertama, $\hat{V}_2$ pada ruas kedua, dan secara umum, $\hat{V}_l$ pada ruas ke-l adalah:

$$\mathbf{P} = \frac{\hat{V}_\mathbf{T}}{\hat{V}_1!.\hat{V}_2!.\hat{V}_3!...\hat{V}_\mathbf{L}} \prod_l \mathbf{p}_l^{\hat{V}_l} \tag{8.80}$$

Dengan memasukkan persamaan (8.80) ke persamaan (8.74), maka fungsi kemiripan untuk metode penaksiran kemiripan-maksimum jenis I (KM1) dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan (8.81) dengan komponen $\frac{\hat{V}_\mathbf{T}}{\hat{V}_1!.\hat{V}_2!.\hat{V}_3!...\hat{V}_\mathbf{L}}$ dinyatakan sebagai konstanta **c**:

$$\mathbf{L} = \mathbf{c}.\prod_{l} \mathbf{p}_l^{\hat{V}_l} \tag{8.81}$$

Akhirnya, kerangka kerja metode penaksiran KM1 berupa pemilihan hipotesis **H** yang memaksimumkan persamaan (8.81) dengan batasan tertentu, yang nantinya menghasilkan sebaran V_l yang paling sesuai dengan data hasil survei ($\hat{V}_l$). Fungsi tujuan kerangka kerja ini adalah:

memaksimumkan $$\mathbf{L} = \mathbf{c}.\prod_{l} \mathbf{p}_l^{\hat{V}_l} \tag{8.82}$$

dengan batasan total arus: $$\sum_{l} V_l - \hat{V}_{\mathrm{T}} = \mathbf{0} \tag{8.83}$$

Tujuan persamaan (8.83) adalah membatasi agar total arus ruas jalan hasil penaksiran sama dengan total hasil pengamatan survei. Dengan mengubah persamaan (8.82) menjadi bentuk logaritma dan dengan menggunakan metode pengali Lagrange, persamaan (8.82) dan (8.83) dapat ditulis menjadi bentuk persamaan tunggal:

memaksimumkan $$\mathbf{L}_1 = \sum_{l} \hat{V}_l.\log_e \mathbf{p}_l + \log_e \mathbf{c} - \theta.\left(\sum_{l} V_l - \hat{V}_{\mathrm{T}}\right) \tag{8.84}$$

Dengan memasukkan persamaan (8.79) ke persamaan (8.84), maka persamaan (8.84) tersebut dapat ditulis sebagai persamaan (8.85) berikut.

memaksimumkan $$\mathbf{L}_1 = \sum_{l}\left[\hat{V}_l.\log_e\left(\frac{V_l}{\hat{V}_{\mathrm{T}}}\right)\right] + \log_e \mathbf{c} - \theta.\sum_{l} V_l + \theta.\hat{V}_{\mathrm{T}} \tag{8.85}$$

Dengan memasukkan persamaan (8.52) ke persamaan (8.85), akhirnya fungsi tujuan metode penaksiran KM1 dapat dinyatakan menjadi persamaan (8.86) dengan parameter yang tidak diketahui adalah b_k, α_k, β_k, dan θ (untuk $k = 1,...,K$):

$$\begin{aligned}\textbf{memaksimumkan}\quad \mathbf{L}_1 = &\sum_{l}\left[\hat{V}_l.\log_e\left(\sum_{i}\sum_{d} T_{id}.p_{id}^{l}\right) - \theta.\sum_{i}\sum_{d} T_{id}.p_{id}^{l}\right] \\ &+ \theta.\hat{V}_{\mathrm{T}} - \hat{V}_{\mathrm{T}}.\log_e \hat{V}_{\mathrm{T}} + \log_e \mathbf{c}\end{aligned} \tag{8.86}$$

Tujuan parameter tambahan θ pada persamaan (8.86) adalah untuk menjamin agar persamaan pembatas (8.83) selalu dipenuhi. Untuk mendapatkan nilai parameter model GO b_k, α_k, β_k, dan parameter tambahan θ yang memaksimumkan persamaan (8.86), empat set persamaan (8.87) berikut dibutuhkan, yaitu untuk $k = 1,...,K$.

$$\frac{\partial \mathbf{L}_1}{\partial b_k} = f b_k = \sum_l \left[\hat{V}_l \cdot \frac{\sum_i \sum_d \left(\frac{\partial T_{id}}{\partial b_k} \cdot p_{id}^l \right)}{\sum_i \sum_d \left(T_{id} \cdot p_{id}^l \right)} - \theta \cdot \sum_i \sum_d \left(\frac{\partial T_{id}}{\partial b_k} \cdot p_{id}^l \right) \right] = 0$$

$$\frac{\partial \mathbf{L}_1}{\partial \alpha_k} = f \alpha_k = \sum_l \left[\hat{V}_l \cdot \frac{\sum_i \sum_d \left(\frac{\partial T_{id}}{\partial \alpha_k} \cdot p_{id}^l \right)}{\sum_i \sum_d \left(T_{id} \cdot p_{id}^l \right)} - \theta \cdot \sum_i \sum_d \left(\frac{\partial T_{id}}{\partial \alpha_k} \cdot p_{id}^l \right) \right] = 0 \qquad (8.87)$$

$$\frac{\partial \mathbf{L}_1}{\partial \beta_k} = f \beta_k = \sum_l \left[\hat{V}_l \cdot \frac{\sum_i \sum_d \left(\frac{\partial T_{id}}{\partial \beta_k} \cdot p_{id}^l \right)}{\sum_i \sum_d \left(T_{id} \cdot p_{id}^l \right)} - \theta \cdot \sum_i \sum_d \left(\frac{\partial T_{id}}{\partial \beta_k} \cdot p_{id}^l \right) \right] = 0$$

$$\frac{\partial \mathbf{L}_1}{\partial \theta} = f\theta = -\theta \cdot \left[\sum_i \sum_d T_{id} \cdot p_{id}^l - \hat{V}_\mathrm{T} \right] = 0 \text{ untuk } \mathbf{k = 1,....,K}$$

Persamaan (8.87) sebenarnya sistem **3K+1** persamaan simultan dengan **3K+1** parameter tidak diketahui b_k, α_k, β_k, dan θ yang perlu ditaksir. Semua parameter model GO serta parameter tambahan θ dapat dipecahkan dengan syarat $\mathbf{L \geq 3K+1}$. Sekali lagi, metode Newton–Raphson yang dikombinasikan dengan teknik eliminasi matriks Gauss–Jordan digunakan untuk memecahkan persamaan (8.87).

8.11.7 Kerangka metode penaksiran kemiripan-maksimum jenis II (KM2)

Data arus lalulintas biasanya dikumpulkan setiap hari sehingga mudah didapatkan (jika dibandingkan dengan data asal–tujuan). Karena itu, dapat diasumsikan bahwa nilai rata-ratanya biasanya selalu dapat diketahui atau paling kurang dapat diperkirakan dengan baik.

Pertimbangkan suatu kasus yang data arus lalulintasnya untuk setiap ruas jalan didapat dengan mengambil sampel yang berpola sebaran acak poisson dengan rata-rata $\phi_l \hat{V}_l$ yang tidak diketahui. Konstanta positif ϕ_l untuk $l \in \mathbf{L}$ dipakai sebagai faktor sampel yang digunakan dalam pengamatan informasi lalulintas.

Metode penaksiran yang dikembangkan memungkinkan digunakannya faktor sampel ϕ_l untuk setiap ruas l tertentu. Oleh karena itu, memungkinkan kita, baik secara langsung maupun pendekatan, menggunakan teknik pengambilan sampel yang berbeda. Hal ini bisa berupa teknik pengumpulan data yang berbeda, faktor sampel yang berbeda, atau waktu survei yang berbeda. Kasus yang paling sederhana dan yang paling sering terjadi, dalam masalah pengamatan arus lalulintas adalah penggunaan nilai tunggal ϕ bagi setiap ruas l yang biasa disebut faktor sampel seragam.

Asumsikan arus lalulintas pengamatan $\hat{V}_l$ merupakan sampel acak dari sebaran poisson dengan rata-rata $\phi_l \hat{V}_l$ yang tidak diketahui. Oleh karena itu, dengan jenis hopitesis ini, peluang mendapatkan data V_l untuk setiap ruas l tertentu dapat dinyatakan sebagai:

$$\mathbf{P}(V_l) = \frac{(\phi_l V_l)^{\hat{V}_l} . \mathbf{e}^{-\theta_l . V_l}}{\hat{V}_l !} \qquad \text{untuk } l \in \mathbf{L} \tag{8.88}$$

Jadi, peluang mendapatkan sampel $[V_l]$ untuk semua ruas jalan yang diambil datanya ($l \in \mathbf{L}$) dapat dinyatakan sebagai:

$$\mathbf{P}[V_l] = \prod_l \left[\frac{(\phi_l V_l)^{\hat{V}_l} . \mathbf{e}^{-\phi_l . V_l}}{\hat{V}_l !} \right] \qquad \text{untuk } l \in \mathbf{L} \tag{8.89}$$

Dengan memasukkan persamaan (8.89) ke persamaan (8.74), fungsi kemiripan dari metode penaksiran KM2 dapat dinyatakan sebagai:

$$\mathbf{L}_2 = \mathbf{c}. \prod_l \left[\frac{(\phi_l V_l)^{\hat{V}_l} . \mathbf{e}^{-\phi_l . V_l}}{\hat{V}_l !} \right] \tag{8.90}$$

Dengan mengambil bentuk logaritma dari $\mathbf{L}_2$ dan menggunakan metode penaksiran kemiripan-maksimum KM1 seperti yang dijelaskan dalam subbab 8.11.6, dapat dirumuskan hal berikut ini:

$$\textbf{memaksimumkan} \qquad \mathbf{L}_3 = \sum_l \left(\hat{V}_l . \log_e . (\phi_l . V_l) - \phi_l . V_l - \log_e \hat{V}_l ! \right) \tag{8.91}$$

Persamaan (8.91) dapat ditulis kembali sebagai:

$$\textbf{memaksimumkan} \qquad \mathbf{L}_4 = \sum_l \left(\hat{V}_l . \log_e \phi_l + \hat{V}_l . \log_e V_l - \phi_l . V_l - \log_e \hat{V}_l ! \right) \tag{8.92}$$

Akhirnya, dengan mengabaikan komponen konstanta dalam persamaan (8.92), permasalahan kalibrasi menjadi:

$$\textbf{memaksimumkan} \qquad \mathbf{L}_5 = \sum_l \left(\hat{V}_l . \log_e V_l - \phi_l . V_l \right) \tag{8.93}$$

Dalam kasus pengamatan arus lalulintas, faktor sampel ϕ_l dapat diasumsikan mempunyai nilai tunggal yang biasa disebut faktor sampel seragam bagi setiap ruas jalan l ($l \in \mathbf{L}$). Asumsi yang terpenting dalam **Tamin** (**1988abcd**) adalah nilai ϕ_l untuk setiap ruas jalan l selalu sama dengan satu, yang berarti semua data arus lalulintas (untuk $l \in \mathbf{L}$) mempunyai faktor sampel sama dengan satu.

$$\phi_l = 1 \qquad \text{untuk } l \in \mathbf{L} \tag{8.94}$$

Dengan memasukkan persamaan (8.94) ke persamaan (8.93), maka persamaan (8.93) dapat dituliskan sebagai:

memaksimumkan $$\mathbf{L}_6 = \sum_l \left(\hat{V}_l \log_e V_l - V_l \right) \tag{8.95}$$

Dengan memasukkan persamaan (8.52) ke persamaan (8.95), akhirnya fungsi tujuan untuk metode penaksiran KM2 dapat dinyatakan sebagai persamaan (8.96) dengan parameter yang tidak diketahui b_k, α_k, dan β_k (untuk $k = 1,...,K$):

$$\textbf{memaksimumkan} \quad \mathbf{L}_7 = \sum_l \left[\hat{V}_l . \log_e \left(\sum_i \sum_d T_{id} . p_{id}^l \right) - \sum_i \sum_d T_{id} . p_{id}^l \right] \tag{8.96}$$

Untuk mendapatkan satu set parameter b_k, α_k, dan β_k dari model GO yang memaksimumkan persamaan (8.96), tiga set persamaan (8.97) berikut dibutuhkan, yaitu untuk $k = 1,...,K$.

$$\begin{aligned}
\frac{\partial \mathbf{L}_7}{\partial b_k} = f b_k &= \sum_l \left[\left\{ \sum_i \sum_d \left(\frac{\partial T_{id}}{\partial b_k} . p_{id}^l \right) \right\} . \left(\frac{\hat{V}_l}{\sum_i \sum_d \left(T_{id} . p_{id}^l \right)} - 1 \right) \right] = 0 \\
\frac{\partial \mathbf{L}_7}{\partial \alpha_k} = f \alpha_k &= \sum_l \left[\left\{ \sum_i \sum_d \left(\frac{\partial T_{id}}{\partial \alpha_k} . p_{id}^l \right) \right\} . \left(\frac{\hat{V}_l}{\sum_i \sum_d \left(T_{id} . p_{id}^l \right)} - 1 \right) \right] = 0 \\
\frac{\partial \mathbf{L}_7}{\partial \beta_k} = f \beta_k &= \sum_l \left[\left\{ \sum_i \sum_d \left(\frac{\partial T_{id}}{\partial \beta_k} . p_{id}^l \right) \right\} . \left(\frac{\hat{V}_l}{\sum_i \sum_d \left(T_{id} . p_{id}^l \right)} - 1 \right) \right] = 0
\end{aligned} \tag{8.97}$$

Persamaan (8.97) adalah sistem **3K** persamaan simultan dengan **3K** parameter yang tidak diketahui b_k, α_k, dan β_k untuk ditaksir dengan syarat $\mathbf{L} \geq \mathbf{3K}$. Metode Newton–Raphson dengan teknik eliminasi matriks Gauss–Jordan digunakan untuk memecahkan persamaan (8.97).

Kegunaan metode KM1 dan KM2 tampak setelah kita melakukan beberapa pengabsahan. Kita dapat menyimpulkan bahwa suatu pendekatan, katakan KM1, akan lebih baik jika asumsi yang mendasarinya lebih cocok untuk kondisi tersebut dibandingkan dengan pendekatan lain (KM2).

Harus diketahui bahwa sebaran statistik dari data arus lalulintas yang ada belum tentu secara praktis merupakan sebaran multinomial atau poisson dengan berbagai alasan. Dalam hal tertentu, kita mengasumsikan bahwa setiap pengamatan adalah saling tidak terkait dan tidak selalu benar bahwa persyaratan hubungan kesinambungan arus akan selalu terpenuhi.

8.12 Metode penaksiran inferensi-bayes (IB)

8.12.1 Dasar pendekatan

Tamin (1998c) mengembangkan metode penaksiran **inferensi-bayes** (IB) dengan dasar pemikiran mengkalibrasi parameter sedemikian rupa sehingga simpangan atau

selisih antara volume arus lalulintas yang dihitung dari model (V_l) dengan yang didapat dari data pengamatan ($\hat{V}_l$) memberikan harga yang minimum.

Metode penaksiran IB menggunakan konsep peluang subjektif untuk mengukur tingkat kepercayaan suatu keadaan. Dengan pendekatan ini, pertimbangan subjektif yang berdasarkan intuisi, pengalaman, ataupun informasi tidak langsung, secara sistematis digabungkan dengan data hasil pengamatan untuk mendapatkan penaksiran tentang keadaan sebenarnya (sebaran posterior). Pendekatan ini mengasumsikan parameter model sebagai peubah acak. Dengan demikian harus ditetapkan suatu fungsi sebaran yang menggambarkan tingkat kepercayaan parameter yang tidak diketahui. Para pembaca yang ingin mendapatkan penjelasan lebih rinci mengenai teori dasar metode IB dapat dilihat pada subbab 5.7.6.6 buku ini.

8.12.2 Penerapan metode IB

Metode pendekatan ini menggabungkan secara sistematis pertimbangan subjektif (prior) dengan data pengamatan (fungsi kemiripan) untuk mendapatkan penaksiran baru (posterior). Untuk fungsi kemiripannya, diasumsikan data volume arus lalulintas ($\hat{V}_l$) adalah sampel acak yang mengikuti sebaran Poisson dengan nilai rata-rata yang belum diketahui adalah $\tau_l V_l$. Koefisien τ_l mewakili faktor sampel untuk data arus lalulintas atau bagian kecil dari populasi data arus lalulintas yang diamati.

Jadi [$\hat{V}_l$] adalah pengamatan sejumlah peubah acak yang tersebar secara Poisson dengan rata-rata $\tau_l V_l$. Asumsi data arus lalulintas hasil pengamatan [$\hat{V}_l$] didasarkan pada keadaan praktis yang ditemui sehari-hari. Matriks [$\hat{V}_l$] yang tersebar secara Poisson juga didapatkan dalam pengamatan kejadian yang saling tidak bergantungan dalam suatu selang waktu tertentu.

Penggunaan parameter τ_l memungkinkan penerapan faktor sampel yang berbeda untuk setiap data arus lalulintas. Karena itu, dalam model ini juga dimungkinkan penggunaan beberapa teknik pengambilan sampel yang berbeda. Bentuk yang paling banyak digunakan adalah pengambilan sampel secara acak dengan menggunakan satu nilai tunggal τ yang diterapkan untuk semua data arus lalulintas (sampel seragam). Dengan hipotesis bahwa setiap data arus lalulintas, nilai $\hat{V}_l$ didapatkan dari pengamatan kejadian yang mengikuti sebaran Poisson dengan rata-rata $\tau_l V_l$, maka peluang gabungan untuk mendapatkan [$\hat{V}_l$] adalah:

$$\mathbf{L}\left[\hat{V}_l\right] = \mathbf{Prob}\left[\hat{V}_l\right] = \prod_l \frac{(\tau_l V_l)^{\hat{V}_l} . e^{-\tau_l V_l}}{\hat{V}_l!} \qquad (8.98)$$

Konstanta normalisasinya menjadi:

$$\mathbf{k} = \left[\int_{-\infty}^{\infty} \prod_{l} \left[\frac{(\tau_l V_l)^{\hat{V}_l} . e^{-\tau_l V_l}}{\hat{V}_l!} \right] . f(\tau_l V_l) . \mathbf{d}(\tau_l V_l) \right]^{-1} \quad (8.99)$$

Karena persamaan (8.99) suatu konstanta, untuk selanjutnya hanya ditulis dengan '**k**' saja. Bagian sebaran awal (prior) atau sebaran peluang parameter dinyatakan dengan $f(\tau_l V_l)$ yang akan dibahas berikut ini.

Informasi awal adalah suatu fungsi sebaran parameter untuk menggambarkan tingkat kepercayaan parameter yang tidak diketahui. Jika tidak ada informasi awal parameter tersebut, diasumsikan sebaran awal seragam, yaitu:

$$f(\tau_l V_l) = \mathbf{1,0} \quad (8.100)$$

Dengan fungsi kemiripan sama dengan persamaan (8.98) dan **k** sebagai konstanta normalisasi, maka 'sebaran $\tau_l V_l$ yang baru' adalah:

$$\mathbf{IB}(\tau_l V_l) = \mathbf{k} . \prod_{l} \left(\frac{(\tau_l V_l)^{\hat{V}_l} . e^{-\tau_l V_l}}{\hat{V}_l!} \right) \mathbf{1} \quad (8.101)$$

Sesuai dengan ide dasar metode inferensi-bayes (**IB**), metode ini akan mencari nilai parameter yang memaksimumkan fungsi peluang gabungan posterior yang dinyatakan oleh persamaan (8.101), sehingga menghasilkan sebaran V_l yang paling sesuai dengan MAT hasil pengamatan ($\hat{V}_l$). Dengan mengambil bentuk logaritma naturalnya, fungsi tujuan metode ini menjadi:

$$\textbf{memaksimumkan } \mathbf{IB}(\tau_l V_l) = \sum_{l} \left(\log_e \mathbf{k} + \hat{V}_l \log_e (\tau_l V_l) - \tau_l V_l - \log_e \hat{V}_l! \right) \quad (8.102)$$

Dengan mengembangkan lebih lanjut persamaan (8.102) dan menghilangkan bagian konstanta, akan didapat:

$$\textbf{memaksimumkan} \quad \mathbf{IB}(\tau_l V_l) = \sum_{l} \left(\hat{V}_l \log_e V_l - \tau_l V_l \right) \quad (8.103)$$

Untuk nilai persentase sampel yang sangat kecil, ($\tau << 1$), dapat dilihat bahwa nilai suku kedua dari fungsi tujuan persamaan (8.103) sangat kecil sehingga dapat diabaikan. Akhirnya, fungsi tujuan metode penaksiran IB dapat dituliskan sebagai:

$$\textbf{memaksimumkan} \quad \mathbf{IB}(\tau_l V_l) = \sum_{l} \left(\hat{V}_l \log_e V_l \right) \quad (8.104)$$

Dengan memasukkan persamaan (8.52) ke persamaan (8.104), akhirnya fungsi tujuan untuk metode penaksiran IB dapat dinyatakan sebagai persamaan (8.105) dengan parameter yang tidak diketahui b_k, α_k, dan β_k (untuk $k = \mathbf{1},...,\mathbf{K}$):

$$\textbf{memaksimumkan} \quad \mathbf{IB} = \sum_{l} \left[\hat{V}_l . \log_e \left(\sum_{i} \sum_{d} T_{id} . p_{id}^{l} \right) \right] \quad (8.105)$$

Untuk mendapatkan satu set parameter b_k, α_k, dan β_k dari model GO yang memaksimumkan persamaan (8.105), tiga set persamaan (8.106) berikut dibutuhkan:

$$\frac{\partial \mathbf{IB}}{\partial b_k} = fb_k = \sum_l \left[\left\{ \sum_i \sum_d \left(\frac{\partial T_{id}}{\partial b_k} \cdot p_{id}^l \right) \right\} \cdot \left(\frac{\hat{V}_l}{\sum_i \sum_d \left(T_{id} \cdot p_{id}^l \right)} \right) \right] = \mathbf{0}$$

$$\frac{\partial \mathbf{IB}}{\partial \alpha_k} = f\alpha_k = \sum_l \left[\left\{ \sum_i \sum_d \left(\frac{\partial T_{id}}{\partial \alpha_k} \cdot p_{id}^l \right) \right\} \cdot \left(\frac{\hat{V}_l}{\sum_i \sum_d \left(T_{id} \cdot p_{id}^l \right)} \right) \right] = \mathbf{0} \qquad (8.106)$$

$$\frac{\partial \mathbf{IB}}{\partial \beta_k} = f\beta_k = \sum_l \left[\left\{ \sum_i \sum_d \left(\frac{\partial T_{id}}{\partial \beta_k} \cdot p_{id}^l \right) \right\} \cdot \left(\frac{\hat{V}_l}{\sum_i \sum_d \left(T_{id} \cdot p_{id}^l \right)} \right) \right] = \mathbf{0}$$

Persamaan (8.106) adalah sistem **3K** persamaan simultan dengan **3K** parameter yang tidak diketahui b_k, α_k, dan β_k untuk ditaksir dengan syarat $\mathbf{L \geq 3K}$. Metode Newton–Raphson dengan teknik eliminasi matriks Gauss–Jordan digunakan untuk memecahkan persamaan (8.106).

8.13 Metode penaksiran entropi-maksimum (EM)

Tamin (1998e) telah mengembangkan penggunaan pendekatan entropi-maksimum untuk mengkalibrasi parameter model *gravity*. Pendekatan ini akan dikembangkan lebih jauh untuk dapat digunakan dalam mengkalibrasi parameter model kebutuhan akan transportasi dari data arus lalulintas. Pembaca yang ingin mengetahui secara rinci teori dasar metode penaksiran entropi-maksimum sangat disarankan untuk membaca subbab 5.7.6.7 buku ini. **Wilson (1970)** memperlihatkan bahwa jumlah status mikro $W\{V_l\}$ yang terkait dengan status meso V_l adalah sebagai berikut.

$$W[V_l] = \frac{V_T!}{\prod_l V_l!} \qquad (8.107)$$

Asumsi dasar pendekatan ini adalah peluang sebaran $[V_l]$ yang terjadi sebanding dengan jumlah status yang ada dalam sistem tersebut yang mendukung terbentuknya sebaran $[V_l]$. Jadi, jika $W[V_l]$ adalah jumlah cara yang dianut setiap individu untuk mengatur dirinya sehingga dihasilkan sebaran $[V_l]$, maka peluang $[V_l]$ yang terjadi sebanding dengan $W[V_l]$.

Karena diasumsikan bahwa seluruh status mikro berpeluang sama, maka status meso yang paling memungkinkan adalah status yang dapat dihasilkan dengan sebanyak mungkin cara. Karena itu, yang dibutuhkan adalah suatu teknik yang dapat mengidentifikasi nilai $[V_l]$ yang memaksimumkan $W[V_l]$ yang dinyatakan dengan persamaan (8.107). Untuk lebih mudahnya, kita akan memaksimumkan

fungsi monoton $\log_e W$ karena keduanya mempunyai nilai maksimum yang sama. Karena itu,

$$\log_e W = \log_e \frac{V_T!}{\prod_l V_l!} = \log_e V_T! - \sum_l \log_e V_l! \tag{8.108}$$

Dengan menggunakan pendekatan *Stirling* $\log_e X! \approx X\log_e X - X$, persamaan (8.108) dapat disederhanakan menjadi:

$$\log_e W = \log_e V_T! - \sum_l \left(V_l \log_e V_l - V_l\right) \tag{8.109}$$

Karena merupakan konstanta, $\log_e V_T!$ dapat dihilangkan dari proses optimasi. Dengan menghilangkan faktor $\log_e V_T!$, persamaan (8.109) berubah menjadi persamaan (8.110) yang biasa disebut **fungsi entropi**.

$$\log_e W' = -\sum_l \left(V_l \log_e V_l - V_l\right) \tag{8.110}$$

Dengan memaksimumkan persamaan (8.110) dengan batasan yang ditentukan dari pengetahuan status makro, dihasilkan model yang dapat memperkirakan status meso yang paling mungkin (dalam kasus ini berupa data arus lalulintas V_l). Kunci utamanya adalah bagaimana mengidentifikasi deskripsi status mikro, meso, dan makro yang cocok beserta batasan makro yang harus dipenuhi oleh solusi permasalahan optimasi tersebut. Dalam beberapa kasus, terdapat beberapa informasi tambahan dalam bentuk informasi awal status meso, misalnya data arus lalulintas hasil observasi ($\hat{V}_l$). Untuk itu, fungsi tujuan berubah menjadi:

$$\log_e W'' = -\sum_l \left(V_l \log_e \left(\frac{V_l}{\hat{V}_l} \right) - V_l + \hat{V}_l \right) \tag{8.111}$$

Persamaan (8.111) merupakan fungsi tujuan yang cukup menarik karena jika semua nilai $V_l = \hat{V}_l$ maka $\log_e W''$ akan bernilai nol dan selalu akan bernilai negatif jika terdapat perbedaan di antaranya. Semakin besar perbedaannya, semakin kecil pula nilai $\log_e W''$. Karena itu, $\log_e W''$ merupakan fungsi tujuan yang baik untuk melihat besarnya perbedaan antara V_l dengan $\hat{V}_l$. Ide utama metode penaksiran entropi-maksimum adalah mengkalibrasi parameter model yang tidak diketahui dengan memperkecil perbedaan antara hasil pemodelan dengan data pengamatan. Secara matematis, fungsi tujuan metode penaksiran entropi-maksimum (EM) dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\textbf{memaksimumkan} \qquad E_1 = \log_e W'' = -\sum_l \left(V_l \log_e \left(\frac{V_l}{\hat{V}_l} \right) - V_l + \hat{V}_l \right) \tag{8.112}$$

Dengan memasukkan persamaan (8.52) ke persamaan (8.112), akhirnya fungsi tujuan untuk metode penaksiran EM dapat dinyatakan sebagai persamaan (8.113) dengan parameter yang tidak diketahui b_k, α_k, dan β_k (untuk $k = 1,...,K$):

$$\textbf{maksimum} \quad \mathbf{E}_1 = -\sum_l \left(\sum_i \sum_d T_{id} \cdot p_{id}^l \cdot \log_e \left(\frac{\sum_i \sum_d T_{id} \cdot p_{id}^l}{\hat{V}_l} \right) - \left(\sum_i \sum_d T_{id} \cdot p_{id}^l \cdot \right) + \hat{V}_l \right) \tag{8.113}$$

Untuk mendapatkan satu set parameter b_k, α_k, dan β_k dari model GO yang memaksimumkan persamaan (8.113), tiga set persamaan (8.114) berikut dibutuhkan:

$$\begin{aligned}
\frac{\partial \mathbf{E}_1}{\partial b_k} = f b_k &= -\sum_l \left[\sum_i \sum_d \left(\frac{\partial T_{id}}{\partial b_k} \cdot p_{id}^l \right) \left(\log_e \frac{\sum_i \sum_d T_{id} \cdot p_{id}^l}{\hat{V}_l} \right) \right] = 0 \\
\frac{\partial \mathbf{E}_1}{\partial \alpha_k} = f \alpha_k &= -\sum_l \left[\sum_i \sum_d \left(\frac{\partial T_{id}}{\partial \alpha_k} \cdot p_{id}^l \right) \left(\log_e \frac{\sum_i \sum_d T_{id} \cdot p_{id}^l}{\hat{V}_l} \right) \right] = 0 \\
\frac{\partial \mathbf{E}_1}{\partial \beta_k} = f \beta_k &= -\sum_l \left[\sum_i \sum_d \left(\frac{\partial T_{id}}{\partial \beta_k} \cdot p_{id}^l \right) \left(\log_e \frac{\sum_i \sum_d T_{id} \cdot p_{id}^l}{\hat{V}_l} \right) \right] = 0
\end{aligned} \tag{8.114}$$

Persamaan (8.114) adalah sistem **3K** persamaan simultan dengan **3K** parameter yang tidak diketahui b_k, α_k, dan β_k untuk ditaksir dengan syarat $\mathbf{L} \geq \mathbf{3K}$. Metode Newton–Raphson dengan teknik eliminasi matriks Gauss–Jordan digunakan untuk memecahkan persamaan (8.114).

8.14 Penggunaan data MAT parsial

8.14.1 Pendahuluan

Data untuk perencanaan, analisis kebijakan, perancangan, pemantauan, serta pengoperasian fasilitas dan pelayanan transportasi tersedia dari beberapa sumber. Data tersebut didapatkan dari survei rumah tangga, survei pelaku perjalanan, survei arus lalulintas dan kendaraan, data statistik, sensus penduduk dan perumahan, lapangan pekerjaan, statistik tata guna tanah, dan lain-lain. Akan tetapi, permasalahan yang sering ditemui di negara sedang berkembang adalah tidak seluruh data tersebut dikumpulkan secara lengkap karena keterbatasan waktu dan biaya. Di satu sisi, hal tersebut dapat dikatakan suatu pemborosan, akan tetapi di lain sisi, data tersebut masih dapat dimanfaatkan secara optimal dengan cara mengkombinasikannya dengan data-data yang lengkap dari sumber yang lain.

Tujuan subbab ini adalah mengembangkan kerangka metode statistik untuk secara efisien mengkombinasikan data dari semua sumber tersebut. Problem statistik akibat penggabungan data dari sumber yang berbeda-beda itu disebabkan oleh dua alasan utama seperti yang diterangkan oleh Ben–Akiva (1987). Pertama, setiap sumber data mempunyai tingkat ketepatan data yang berbeda. Kedua, dapat diperkirakan.

Oleh karena itu, metode statistik yang mengkombinasikan data dari beberapa sumber diharapkan mengandung suatu model yang terdiri dari beberapa tingkat galat dan dapat mengelola beberapa tingkat kehandalan dari sumber data yang berbeda-beda tersebut. Contohnya, metode penaksiran kemiripan-maksimum dapat digunakan untuk turut memperhitungkan sebaran sampel dari data yang berbeda-beda.

Tamin (1988abcd) mengembangkan kerangka metode penaksiran yang menggabungkan dua sumber utama infomasi, yaitu data arus lalulintas dan MAT parsial yang bisa didapat dengan melakukan survei sederhana atau survei tidak lengkap. Survei MAT sederhana bisa didapat dengan melakukan wawancara di tepi jalan pada beberapa ruas jalan saja.

8.14.2 Solusi yang diusulkan

Dalam penelitian **Tamin** (**1988abcd**), fungsi tujuan **S** dan $\mathbf{S_1}$ dari metode penaksiran KTTL dan KTTLB dimodifikasi untuk mempertimbangkan penggunaan dua sumber informasi. Fungsi tujuan yang mempertimbangkan informasi tambahan dapat dinyatakan sebagai persamaan (8.115):

$$\mathbf{S} = \mathbf{TC}.\sum_l \left[\frac{\left(\hat{V}_l - V_l\right)^2}{\dot{\dot{V}}_l} \right] + \mathbf{TM}.\sum_i \sum_{d \in \mathbf{R}} \left[\frac{\left(\hat{T}_{id} - T_{id}\right)^2}{\dot{\dot{T}}_{id}} \right] \qquad (8.115)$$

$\dot{\dot{V}}_l$ = 1 untuk KTTL atau $\dot{\dot{V}}_l = \hat{V}_l$ untuk KTTLB

$\dot{\dot{T}}_{id} = \mathbf{1}$ untuk KTTL atau $\dot{\dot{T}}_{id} = \hat{T}_{id}$ untuk KTTLB

R = subset dari pasangan antarzona yang mempunyai informasi data pergerakan asal-tujuan

TC,TM = bobot yang digunakan untuk data arus lalulintas dan data parsial MAT

Dengan memasukkan persamaan (8.52) ke persamaan (8.115), tiga set persamaan (persamaan 8.116) untuk $k = \mathbf{1},\ldots,\mathbf{K}$ dibutuhkan untuk mendapatkan satu set parameter yang tidak diketahui b_k, α_k, dan β_k yang meminimumkan persamaan (8.115).

Persamaan (8.116) adalah sistem **3K** persamaan simultan dengan **3K** parameter yang tidak diketahui b_k, α_k, dan β_k yang perlu ditaksir. Kemudian, bisa didapatkan seluruh parameter dengan syarat $\mathbf{L} \geq \mathbf{3K}$. Selanjutnya, metode Newton–Raphson yang dikombinasikan dengan teknik eliminasi matriks Gauss–Jordan digunakan untuk menyelesaikan persamaan (8.116).

$$\frac{\partial S}{\partial b_k} = fb_k = TC\sum_l \left[2\left(\sum_i \sum_d T_{id} \cdot p_{id}^l - \hat{V}_l \right) \left(\frac{\sum_i \sum_d \left(\frac{\partial T_{id}}{\partial b_k} \cdot p_{id}^l \right)}{\dot{V}_l} \right) \right] + TM \sum_i \sum_{d \in R} \left[2\left(T_{id} - \hat{T}_{id} \right) \left(\frac{\left(\frac{\partial T_{id}}{\partial b_k} \right)}{\dot{T}_{id}} \right) \right] = 0$$

$$\frac{\partial S}{\partial \alpha_k} = f\alpha_k = TC\sum_l \left[2\left(\sum_i \sum_d T_{id} \cdot p_{id}^l - \hat{V}_l \right) \left(\frac{\sum_i \sum_d \left(\frac{\partial T_{id}}{\partial \alpha_k} \cdot p_{id}^l \right)}{\dot{V}_l} \right) \right] + TM \sum_i \sum_{d \in R} \left[2\left(T_{id} - \hat{T}_{id} \right) \left(\frac{\left(\frac{\partial T_{id}}{\partial \alpha_k} \right)}{\dot{T}_{id}} \right) \right] = 0$$

$$\frac{\partial S}{\partial \beta_k} = f\beta_k = TC\sum_l \left[2\left(\sum_i \sum_d T_{id} \cdot p_{id}^l - \hat{V}_l \right) \left(\frac{\sum_i \sum_d \left(\frac{\partial T_{id}}{\partial \beta_k} \cdot p_{id}^l \right)}{\dot{V}_l} \right) \right] + TM \sum_i \sum_{d \in R} \left[2\left(T_{id} - \hat{T}_{id} \right) \left(\frac{\left(\frac{\partial T_{id}}{\partial \beta_k} \right)}{\dot{T}_{id}} \right) \right] = 0$$

(8.116)

8.15 Pemecahan metode penaksiran

8.15.1 Pendahuluan

Selama sepuluh tahun pertama penelitian pemodelan untuk daerah perkotaan, kemajuan dalam pengembangan metode kalibrasi parameter model sangat lambat. Terdapat beberapa alasan yang menyebabkannya, tetapi yang terpenting adalah banyaknya model daerah perkotaan yang diusulkan telah dirumuskan dalam bentuk sistem persamaan tidak-linear, padahal pada saat itu pengetahuan mengenai teknik kalibrasi sistem persamaan tidak-linear masih belum cukup berkembang.

Karena proses kalibrasi adalah dasar paling utama dalam perancangan model, pembuat model harus mengerti dasar penurunan model, terutama struktur dan kepekaan setiap peubahnya. Selain itu, pengalaman yang didapatkan dalam penelitian dapat digunakan untuk mengevaluasi penyebab dan batasannya yang mungkin dapat menjadi bahan penelitian selanjutnya atau bahan yang harus diperhatikan oleh pengguna model tersebut. Biasanya, metode analitis dapat digunakan untuk mengkalibrasi model yang mempunyai hubungan linear dalam parameternya.

Bentuk model tidak-linear biasanya lebih sulit sehingga beberapa model terpaksa dijadikan linear dengan prosedur transformasi yang sering disebut *intrinsically linear*. Beberapa model tidak-linear lainnya yang tidak dapat ditransformasi disebut *intrinsically non-linear*.

8.15.2 Beberapa metode kalibrasi

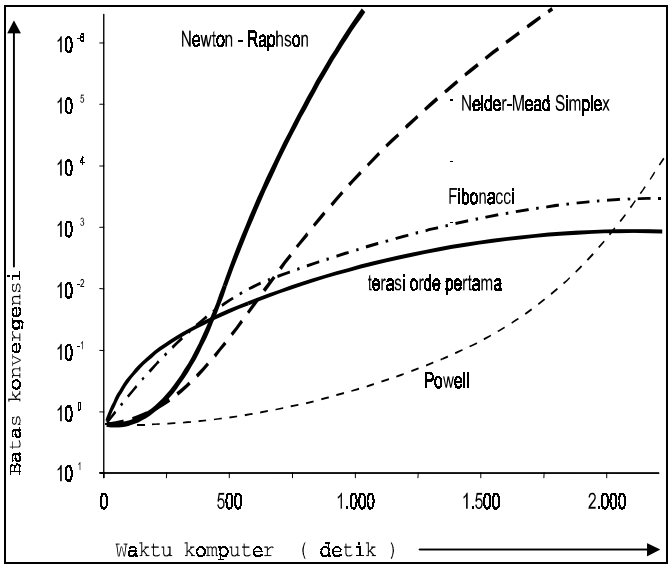
Seperti yang telah diterangkan sebelumnya, pemilihan metode kalibrasi yang tepat merupakan hal yang terpenting yang perlu diperhatikan dalam pengembangan suatu model. Perbandingan kinerja beberapa metode kalibrasi akan dijelaskan berikut ini.

8.15.2.1 Perbandingan beberapa metode kalibrasi **Batty** (**1976**) dalam bukunya melaporkan perbandingan antara lima buah metode kalibrasi kemiripan-maksimum, dilihat dari segi konvergensi yang dimulai dari nilai awal parameter yang sama, yaitu nol.

Metode kalibrasi yang diuji adalah metode iterasi-orde-pertama, Newton–Raphson, pencarian-langsung (Fibonacci), pencarian-berurutan (Simplex), dan pencarian-kuadratis (Powell). Untuk diskusi yang lebih rinci untuk setiap metode kalibrasi, pembaca yang berminat disarankan membaca **Batty** (**1976**) dan **Wilson and Kirkby** (**1980**).

Pada gambar 8.3, waktu dan batas konvergen dirajah, memperlihatkan bahwa tingkat konvergensi sangat beragam antara berbagai metode kalibrasi yang digunakan dan juga tingkat batas konvergen berbeda bagi setiap metode.

Contohnya, sampai dengan batas konvergen $\mathbf{10^{-1}}$ dan $\mathbf{10^{-2}}$, metode Newton–Raphson dan metode Fibonacci merupakan metode yang paling efisien; sedangkan jika di bawah $\mathbf{10^{-2}}$, metode Newton–Raphson yang paling efisien. Batas konvergen dikatakan dipenuhi jika besarnya perbedaan antara nilai parameter yang lama dengan yang baru lebih kecil dari yang telah ditetapkan, katakanlah $\mathbf{10^{-1}}$.



Gambar 8.3 Perbandingan grafis antara lima metode solusi
Sumber: Batty (1976)

8.15.2.2 Metode kalibrasi hibrid Dari perbandingan kinerja waktu proses komputer dari beberapa metode kalibrasi tidak dapat ditemukan metode kalibrasi yang terbaik; sehingga, dapat disimpulkan bahwa strategi yang terbaik hanya bisa

didapatkan dengan mengkombinasikan beberapa metode kalibrasi tertentu pada setiap proses pencarian yang berbeda.

Proses pencarian bisa dimulai dengan menggunakan metode iterasi-orde-pertama atau metode Fibonacci sampai dengan tingkat konvergen $\mathbf{10^{-1}}$ dicapai; kemudian, proses pencarian diganti dengan metode Newton–Raphson sampai pada batas $\mathbf{10^{-4}}$ dicapai, dan akhirnya pencarian diselesaikan dengan metode algoritma Powell atau metode Simplex. Beberapa strategi hibrid dapat digabungkan dari beberapa prosedur pencarian yang tersedia, dan strategi tersebut kemudian dapat diuji pada penelitian lebih lanjut.

Terdapat beberapa batasan pada setiap metode kalibrasi yang harus dipertimbangkan dalam merencanakan strategi hibrid. Proses metode iterasi-orde-pertama tidak efisien untuk nilai awal parameter yang rendah serta tidak terdapat jaminan bahwa metode Fibonacci akan konvergen. Metode Newton–Raphson dan metode algoritma Powell akan divergen jika dimulai dari nilai awal yang tidak tepat.

Tetapi, metode Simplex tidak mempunyai satu pun masalah yang disebutkan di atas sehingga metode kalibrasi ini dapat digunakan sebagai alternatif jika prosedur tersebut divergen atau konvergen dengan waktu yang sangat lambat. Sebagai kesimpulan, metode Newton–Raphson adalah metode sangat efisien, dengan syarat nilai awalnya cukup baik. Karena itu, tidaklah terlalu berlebihan jika metode ini sering digunakan untuk mengkalibrasi parameter model untuk daerah perkotaan.

Beberapa perbandingan juga dilakukan oleh **Batty** (**1976**) antara metode Newton–Raphson dengan metode Simplex. Metode Newton–Raphson terlihat enam kali lebih cepat jika dibandingkan dengan metode Simplex. Tetapi, metode Newton–Raphson hanya akan bisa dimulai dari nilai awal yang baik, sedangkan metode Simplex dapat dimulai dari nilai berapa saja.

Oleh karena itu, **Batty** (**1976**) menyarankan penggunaan strategi hibrid; pada awalnya digunakan metode Simplex, dan untuk solusi akhir digunakan metode Newton–Raphson.

Pendekatan yang mirip dengan metode Newton–Raphson dipilih oleh **Tamin (1988abcd)** untuk mengkalibrasi parameter model kebutuhan akan transportasi dengan data arus lalulintas. Metode Newton–Raphson tersebut dijelaskan secara lebih rinci berikut ini.

8.15.3 Metode Newton–Raphson

8.15.3.1 Kasus satu-tujuan-perjalanan Pertimbangkan kita mempunyai dua persamaan simultan yang masing-masing mempunyai dua parameter yang tidak diketahui μ dan τ.

$$\begin{aligned} f(\mu,\tau) &= 0 \\ g(\mu,\tau) &= 0 \end{aligned} \tag{8.117}$$

Metode Newton–Raphson kemudian digunakan untuk mendapatkan nilai μ dan τ dari persamaan (8.117). Asumsikan μ_0 dan τ_0 adalah pendekatan solusi dan anggaplah $\mu_0+\mathbf{h}$ dan $\tau_0+\mathbf{p}$ merupakan solusi sebenarnya sehingga:

$$\begin{aligned} f(\mu_0 + \mathbf{h}, \tau_0 + \mathbf{p}) &= 0 \\ g(\mu_0 + \mathbf{h}, \tau_0 + \mathbf{p}) &= 0 \end{aligned} \tag{8.118}$$

Ide utama yang mendasari metode Newton–Raphson adalah bahwa fungsi ***f*** dan ***g*** yang diminimumkan akan didekati secara lokal dengan fungsi kuadrat; fungsi kuadrat tersebut kemudian diminimumkan.

Jadi, pada nilai μ_0 and τ_0, kita dapat mendekati fungsi ***f*** dan ***g*** dengan menggunakan deret Taylor hanya sampai penurunan pertama. Dengan mengikuti teori deret Taylor dan menggunakan turunan pertamanya untuk **h** dan **p** (yaitu untuk $r = 1$), maka persamaan (8.118) dapat ditulis kembali sebagai:

$$f(\mu, \tau) = f(\mu_0, \tau_0) + \sum_r \left[\frac{\mathbf{h}}{\mathbf{r!}} \cdot \frac{\partial r}{\partial \mu} + \frac{\mathbf{p}}{\mathbf{r!}} \cdot \frac{\partial r}{\partial \tau} \right] \quad \text{deret } \textit{Taylor} \tag{8.119}$$

Untuk $r = 1$:

$$\begin{aligned} f(\mu_0, \tau_0) + \mathbf{h}.\frac{\partial f}{\partial \mu} + \mathbf{p}.\frac{\partial f}{\partial \tau} &= 0 \\ g(\mu_0, \tau_0) + \mathbf{h}.\frac{\partial g}{\partial \mu} + \mathbf{p}.\frac{\partial g}{\partial \tau} &= 0 \end{aligned} \tag{8.120}$$

Persamaan (8.120) adalah dua persamaan linear simultan dengan parameter **h** dan **p** yang tidak diketahui yang akan dipecahkan untuk mendapatkan nilai $\mathbf{h_0}$ dan $\mathbf{p_0}$ sehingga ($\mu_0+\mathbf{h_0}$) dan ($\tau_0+\mathbf{p_0}$) adalah solusi yang lebih baik. Proses tersebut diulangi sampai nilai $\mathbf{h_0}$ dan $\mathbf{p_0}$ sangat kecil; identifikasi sudah konvergen.

8.15.3.2 Kasus K-tujuan-perjalanan Metode ini dapat dikembangkan untuk memecahkan beberapa set parameter μ_k dan τ_k, untuk **K** tujuan pergerakan atau (jenis komoditas dalam pergerakan barang) yang bergerak di dalam daerah kajian, dari beberapa persamaan simultan yang dibentuk untuk tujuan tersebut ($\mathbf{1} \le k \le \mathbf{K}$).

Seperti pada kasus satu-tujuan-perjalanan ($k = 1$), solusi unik untuk μ_k dan τ_k bisa didapat dari **2K** persamaan simultan linear yang dinyatakan dengan persamaan (8.121).

$$
\begin{aligned}
&f_1 + h_1 \cdot \frac{\partial f_1}{\partial \mu_1} + \ldots + h_K \cdot \frac{\partial f_1}{\partial \mu_K} + p_1 \cdot \frac{\partial f_1}{\partial \tau_1} + \ldots + p_K \cdot \frac{\partial f_1}{\partial \tau_K} = 0 \\
&\vdots \quad \vdots \quad \cdots \qquad\qquad \vdots \quad \cdots \quad \vdots \quad \vdots \\
&f_K + h_1 \cdot \frac{\partial f_K}{\partial \mu_1} + \ldots + h_K \cdot \frac{\partial f_K}{\partial \mu_K} + p_1 \cdot \frac{\partial f_K}{\partial \tau_1} + \ldots + p_K \cdot \frac{\partial f_K}{\partial \tau_K} = 0 \\
&g_1 + h_1 \cdot \frac{\partial g_1}{\partial \mu_1} + \ldots + h_K \cdot \frac{\partial g_1}{\partial \mu_K} + p_1 \cdot \frac{\partial g_1}{\partial \tau_1} + \ldots + p_K \cdot \frac{\partial g_1}{\partial \tau_K} = 0 \\
&\vdots \quad \vdots \quad \cdots \qquad\qquad \vdots \quad \cdots \quad \vdots \quad \vdots \\
&g_K + h_1 \cdot \frac{\partial g_K}{\partial \mu_1} + \ldots + h_K \cdot \frac{\partial g_K}{\partial \mu_K} + p_1 \cdot \frac{\partial g_K}{\partial \tau_1} + \ldots + p_K \cdot \frac{\partial g_K}{\partial \tau_K} = 0
\end{aligned}
\qquad (8.121)
$$

Agar lebih mudah dipecahkan, persamaan (8.121) dituliskan dalam bentuk matriks:

$$
\begin{bmatrix}
f_1\mu_1 & \cdots & f_1\mu_K & f_1\tau_1 & \cdots & f_1\tau_K \\
\cdot & \cdots & \cdot & \cdot & \cdots & \cdot \\
\cdot & \cdots & \cdot & \cdot & \cdots & \cdot \\
f_K\mu_1 & \cdots & f_K\mu_1 & f_K\tau_1 & \cdots & f_K\tau_K \\
g_1\mu_1 & \cdots & g_K\mu_1 & g_1\tau_1 & \cdots & g_1\tau_1 \\
\cdot & \cdots & \cdot & \cdot & \cdots & \cdot \\
\cdot & \cdots & \cdot & \cdot & \cdots & \cdot \\
g_K\mu_1 & \cdots & g_K\mu_K & g_K\tau_1 & \cdots & g_K\tau_K
\end{bmatrix}
\cdot
\begin{bmatrix} h_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ h_K \\ p_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ p_K \end{bmatrix}
=
\begin{bmatrix} -f_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ -f_K \\ -g_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ -g_K \end{bmatrix}
\qquad (8.122)
$$

Semua fungsi dan turunan parsial pertama dari persamaan (8.122) dievaluasi pada (μ_0,τ_0) yang merupakan vektor dengan **K** komponen dengan $f_1\mu_K$ berarti turunan parsial dari f_1 untuk μ_K, $(\delta f_1/\delta\mu_K)$. Setelah menentukan nilai awal yang baik (μ_0,τ_0), semua fungsi dan turunan parsial pertama dari persamaan (8.122) dapat dihitung.

Teknik eliminasi matriks Gauss–Jordan kemudian digunakan untuk memecahkan persamaan (8.122) untuk mendapatkan $h_1, \ldots, h_K, p_1, \ldots, p_K$. Jadi, nilai yang baik untuk (μ_0,τ_0) adalah:

$$
\begin{aligned}
\mu_k^{I+1} &= \mu_k^I + h_k \\
\tau_k^{I+1} &= \tau_k^I + p_k
\end{aligned}
\qquad \text{untuk } k = 1, \ldots . K \quad (8.123)
$$

Proses ini diulangi terus sampai nilai h_k dan p_k cukup kecil, yang menyatakan kondisi konvergen. Permasalahan utama yang ditemui dalam penggunaan metode Newton–Raphson adalah bagaimana mendapatkan nilai awal yang baik bagi setiap parameter model yang tidak diketahui; dengan kata lain, metode akan gagal mencapai kondisi konvergen.

Untuk mendapatkan uraian yang lebih jelas tentang metode Newton–Raphson, pembaca disarankan membaca **Fröberg** (**1974**) dan **Luenberger** (**1984**).

8.15.4 Teknik eliminasi matriks Gauss–Jordan

Pertimbangkan sejumlah **N** persamaan linear simultan seperti di bawah ini:

$$\begin{aligned}
A_{11}X_1 + A_{12}X_2 + A_{13}X_3 + \ldots. &= A_{1,N+1} \\
A_{21}X_1 + A_{22}X_2 + A_{23}X_3 + \ldots. &= A_{2,N+1} \\
A_{31}X_1 + A_{32}X_2 + A_{33}X_3 + \ldots. &= A_{3,N+1} \\
\cdot \quad\quad \cdot \quad\quad \cdot \quad\quad \ldots. &\quad\quad \cdot \\
\cdot \quad\quad \cdot \quad\quad \cdot \quad\quad \ldots. &\quad\quad \cdot \\
\cdot \quad\quad \cdot \quad\quad \cdot \quad\quad \ldots. &\quad\quad \cdot \\
A_{N1}X_1 + A_{N2}X_2 + A_{N3}X_3 + \ldots. &= A_{N,N+1}
\end{aligned} \tag{8.124}$$

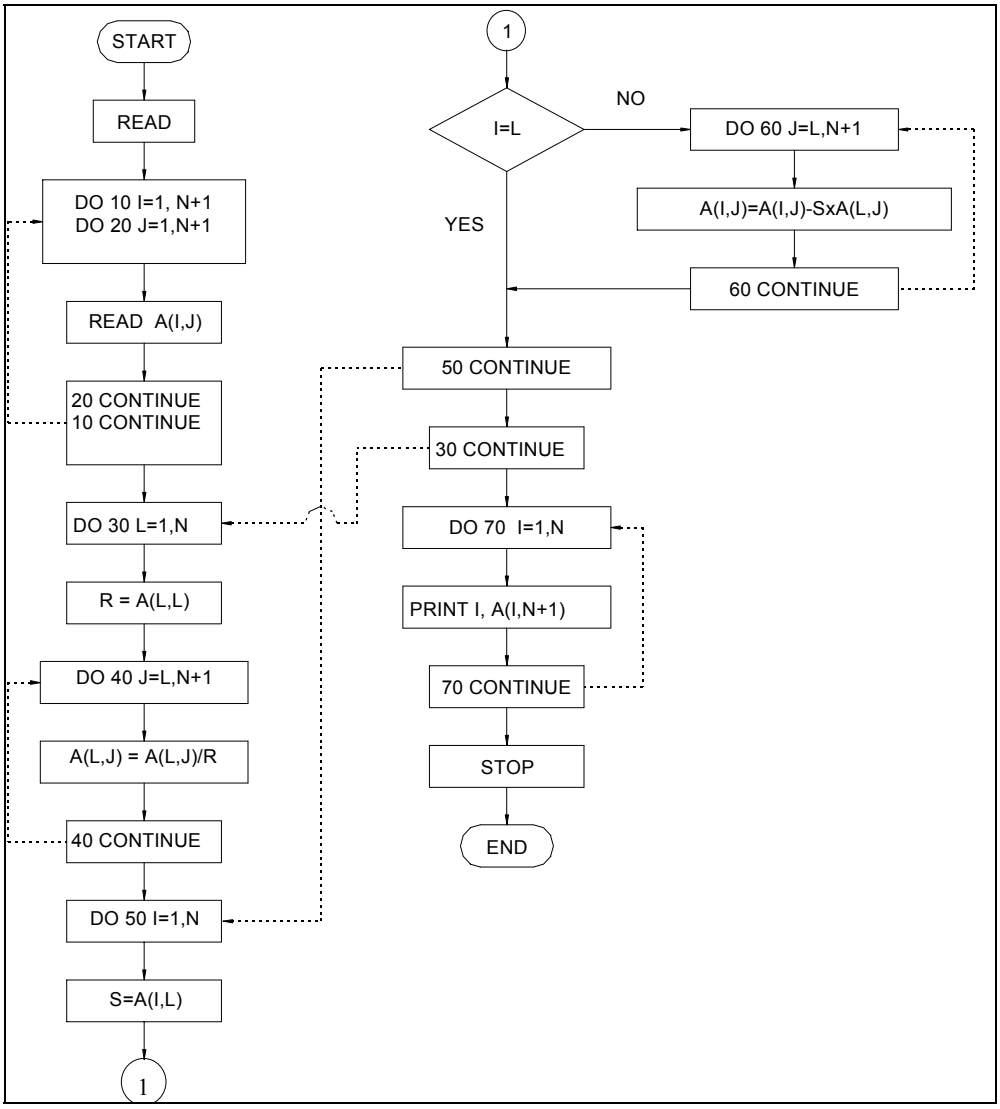
Tujuan utama sekarang adalah mendapatkan solusi dari **N** persamaan linear simultan. Persamaan (8.124) dapat ditulis kembali dalam bentuk matriks berikut:

$$\begin{bmatrix}
A_{11} & A_{12} & A_{13} & . & . & . & A_{1N} \\
A_{21} & A_{22} & A_{23} & . & . & . & A_{2N} \\
A_{31} & A_{32} & A_{33} & . & . & . & A_{3N} \\
. & . & . & . & . & . & . \\
. & . & . & . & . & . & . \\
. & . & . & . & . & . & . \\
A_{N1} & A_{N2} & A_{N3} & . & . & . & A_{NN}
\end{bmatrix}
\begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ . \\ . \\ . \\ X_N \end{bmatrix}
=
\begin{bmatrix} A_{1,N+1} \\ A_{2,N+1} \\ A_{3,N+1} \\ . \\ . \\ . \\ A_{N,N+1} \end{bmatrix} \tag{8.125}$$

Dengan menggunakan teknik eliminasi matriks Gauss–Jordan, persamaan (8.125) dapat dieliminasi dengan cara tertentu sehingga akhirnya didapat:

$$\begin{bmatrix}
1 & 0 & 0 & . & . & . & 0 \\
0 & 1 & 0 & . & . & . & 0 \\
0 & 0 & 1 & . & . & . & 0 \\
. & . & . & . & . & . & . \\
. & . & . & . & . & . & . \\
. & . & . & . & . & . & . \\
0 & 0 & 0 & . & . & . & 1
\end{bmatrix}
\begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ . \\ . \\ . \\ X_N \end{bmatrix}
=
\begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ B_3 \\ . \\ . \\ . \\ B_N \end{bmatrix} \tag{8.126}$$

Seterusnya, nilai dari B_1, B_2, B_3, . . . , B_N merupakan penyelesaian dari **N** persamaan linear simultan. Bagan alir dari teknik eliminasi matriks Gauss–Jordan dapat dilihat pada gambar 8.4.



Gambar 8.4 Bagan alir teknik eliminasi matriks Gauss–Jordan
Sumber: Tamin (1985,1988a)

8.16 Program komputer dan prosedur kalibrasi

8.16.1 Pendahuluan

Komputer portabel yang dapat juga disebut *mainframe* berskala kecil menyediakan kapasitas yang cukup, kecepatan dan kehandalan yang baik, dan biaya yang cukup murah. Karakteristik ini membuat komputer portabel sangat menarik dan menjadi alat yang sangat penting untuk menangani hampir semua permasalahan transportasi, rekayasa, maupun perencanaan transportasi, khususnya bagi negara sedang berkembang yang menghadapi kendala biaya dan waktu. Tabel 8.1 memperlihatkan beberapa perangkat lunak perencanaan transportasi yang tersedia di pasaran.

Tabel 8.1 Perangkat lunak perencanaan transportasi yang telah tersedia di pasaran

Paket program	Pemasok	Kapasitas	Sistem operasi	Keluaran
MicroTRIPS	*MVA Systematica*	300 zona 4.000 ruas	MS-DOS	Numerik
MOTORS	*Steer, Davies, and Gleave*	400 zona 6.000 ruas	MS-DOS	Numerik
SATURN	*University of Leeds*	500 zona 7.000 ruas	MS-DOS	Numerik dan grafis
MINITRAMP	*Wooton Jeffreys and Partners*	500 zona 5.000 ruas	MS-DOS	Numerik
TRANPLAN	*The Urban Analysis Group California*	3.000 zona 60.000 ruas	Windows	Numerik, grafis dan SIG
TRANSCAD	*Caliper Corporation*	3.000 zona 60.000 ruas	Windows	Numerik, grafis dan SIG
STAN	*INRO Consultant University de Montreal*	1.200 zona 24.000 ruas 100 skenario	Windows	Numerik, grafis dan SIG
STRADA	*JICA*	500 zona 10.000 ruas	Windows	Numerik dan grafis
EMME/2	*INRO Consultant University de Montreal*	2.800 zona 56.000 ruas	MS-DOS	Numerik, grafis dan SIG

Komputer portabel masing sering digunakan untuk menggantikan fungsi *mainframe*. Tetapi, komputer portabel telah menciptakan pasar baru dengan kebutuhannya sendiri, penggunaan yang praktis dan jenis perangkat lunaknya. **Willumsen** (**1984c**,**1986a**) menjelaskan beberapa karakteristik dari komputer portabel yang mendukung penciptaan pengembangan pasar baru tersebut.

a **Akses dan kontrol langsung** Komputer portabel tidak membutuhkan suatu ling-kungan khusus dan mudah diakses sehingga pengguna mempunyai kontrol penuh atas penggunaannya.

b **Penggunaan yang interaktif** Komputer portabel dapat digunakan untuk peng-gunaan interaktif, yang sangat jarang menggunakan proses *batch*. Fasilitas interaktif memungkinkan kita melakukan pengabsahan, modifikasi, simulasi, serta perbaikan kesalahan sehingga lebih meningkatkan efisiensi penggunaannya.

c **Grafik, warna dan suara** Generasi terakhir dari komputer portabel sudah mem-punyai fasilitas grafik yang mempunyai resolusi sangat tinggi dan suara yang baik serta kualitas warna yang sangat prima. Fasilitas sangat banyak dibutuhkan dalam penggunaannya di bidang perencanaan transportasi.

d **Perangkat lunak umum yang bisa digunakan untuk hal yang lain** Contoh tipikal adalah perangkat lunak untuk keperluan pengolah kata (WS, WP, Word), perangkat lunak untuk keperluan grafik (Lotus, Harvard, Symphony), serta perangkat lunak untuk keperluan pengelolaan pangkalan-data (Excell, DBase III, dan Lotus 123).

Dengan menggunakan paket program yang sesuai, perencana transportasi dapat dengan mudah dan cepat melakukan perhitungan matematika yang kompleks dan

berulang-ulang untuk pemodelan pergerakan; misalnya penggunaan model perencanaan transportasi empat tahap.

Willumsen (**1986a**) menerangkan bahwa terdapat sekurang-kurangnya tiga paket program perencanaan transportasi yang sangat banyak digunakan di Inggris, baik untuk komputer 8 bit maupun 16 bit, yaitu MicroTRIPS, MOTORS**,** dan MINITRAMP.

MicroTRIPS and MOTORS menggunakan kemampuan teknik interaktif secara intensif. Pengguna paket program tersebut dapat dengan mudah dan cepat memasukkan data dan melakukan pilihan untuk menjawab pertanyaan pada layar. Jenis pekerjaan seperti ini dapat meningkatkan produktivitas karena:

- semua data dapat diabsahkan pada saat dimasukkan; jika salah, pengguna diminta memasukkan kembali data tersebut;
- pemasukan data biasanya bebas (tidak memerlukan format) sehingga lebih cepat;
- program dapat lebih cepat prosesnya karena tidak membutuhkan memori untuk format data yang kompleks dan bertahap; dan
- proses ini mungkin lebih logis dan sejalan bagi jalan pikiran kita.

8.16.2 Paket program MOTORS

MOTORS adalah paket program perencanaan transportasi terpadu yang ditulis dalam bahasa komputer (Fortran-77) yang dirancang oleh para profesional perencana transportasi dan pakar komputer (**Steer, Davies and Gleave**, **1984**). Paket program ini menyediakan metode untuk menganalisis perencanaan transportasi dan menggunakan kemampuan fasilitas interaktif komputer portabel. Jika mungkin, model tersebut dirancang dengan menyederhanakan penerapan dalam permasalahan perencanaan transportasi. Jadi, memungkinkan model dikalibrasi secara cepat dan tepat dengan penggunaan data yang sangat terbatas.

8.16.2.1 Representasi jaringan Program penyusunan sistem jaringan dalam paket program MOTORS memungkinkan pembuatan semua jenis sistem jaringan moda transportasi. Untuk mengurangi persyaratan jaringan, terdapat hubungan yang sangat erat antara sistem jaringan jalan raya dan angkutan umum. Biasanya, kedua sistem jaringan ini menggunakan simpul dan ruas yang sama, kecuali beberapa ruas jalan yang hanya digunakan untuk sistem jaringan angkutan umum saja, misalnya pejalan kaki atau moda transportasi lain (selain jalan raya) seperti kereta api atau feri. Untuk kedua sistem jaringan tersebut, aksesibilitas antarzona dihitung dalam bentuk waktu perjalanan, jarak, atau kombinasi keduanya.

8.16.2.2 Simpul dan ruas Dalam paket program MOTORS, definisi simpul dari suatu pencerminan sistem jaringan bisa diklasifikasikan dalam tiga jenis, yaitu:

Pusat zona – yang mencerminkan titik awal dan titik akhir dari seluruh pergerakan yang berasal dari setiap zona.

Inlet/outlet – titik pada batas kordon; di sini pergerakan masuk dan keluar ke/dari daerah kajian dihubungkan dengan sistem jaringan transportasi dengan ruas jalan fiktif.

Simpul lain – berlokasi pada setiap ruas jalan yang saling berpotongan dan berada di dalam daerah kajian.

Semua simpul diberi nomor secara berurutan, dimulai dari pusat zona, diikuti dengan inlet/outlet, dan akhirnya simpul lain, jika ada. Disarankan untuk menambahkan pusat zona dan inlet/outlet yang akan ada pada masa mendatang pada sistem jaringan pada saat sekarang, untuk mengurangi pekerjaan menomori kembali pada saat membuat sistem jaringan pada masa mendatang. Ruas harus diberi kode secara berurutan: pertama-tama semua ruas jalan yang dimulai dengan simpul 1 diurut sesuai dengan simpul keduanya, dilanjutkan dengan semua ruas jalan yang dimulai dengan simpul 2, dan seterusnya.

8.16.2.3 Ruas jalan berbasis satu-arah Untuk jalan dua arah dalam sistem jaringan transportasi, ruas jalan satu arah harus tetap digunakan. Jadi, jalan dua arah dinyatakan dalam bentuk dua ruas jalan satu arah. Sering dijumpai dua ruas satu arah persis sama dan kedua ruas tersebut harus dikodifikasi dengan data yang persis sama. **Tamin** (**1985**) dan **Brennan** (**1986**) melaporkan beberapa perbaikan yang dilakukan untuk mengatasi kekurangan MOTORS versi sebelumnya, yaitu:

- memperbolehkan penggunaan setiap nomor dengan nomor simpul apa saja;
- memperbolehkan pengguna untuk menentukan jenis simpul, yaitu pusat zona, inlet/outlet, atau simpul, dengan menggunakan suatu karakter;
- memperbolehkan data dimasukkan tanpa berurutan;
- memperbolehkan pengguna untuk menentukan ruas satu arah atau dua arah dengan memakai suatu karakter.

8.16.3 Program komputer

Beberapa program dari paket program MOTORS digunakan dalam prosedur kalibrasi. Tujuannya adalah untuk mengecek persiapan pencerminan sistem zona dan jaringan, membentuk definisi sistem zona dan jaringan serta tempat untuk beberapa informasi sistem jaringan lain yang berguna, misalnya data aksesibilitas (biaya, jarak, kecepatan, dan kapasitas) dan data pohon biaya minimum. Tujuan setiap program adalah:

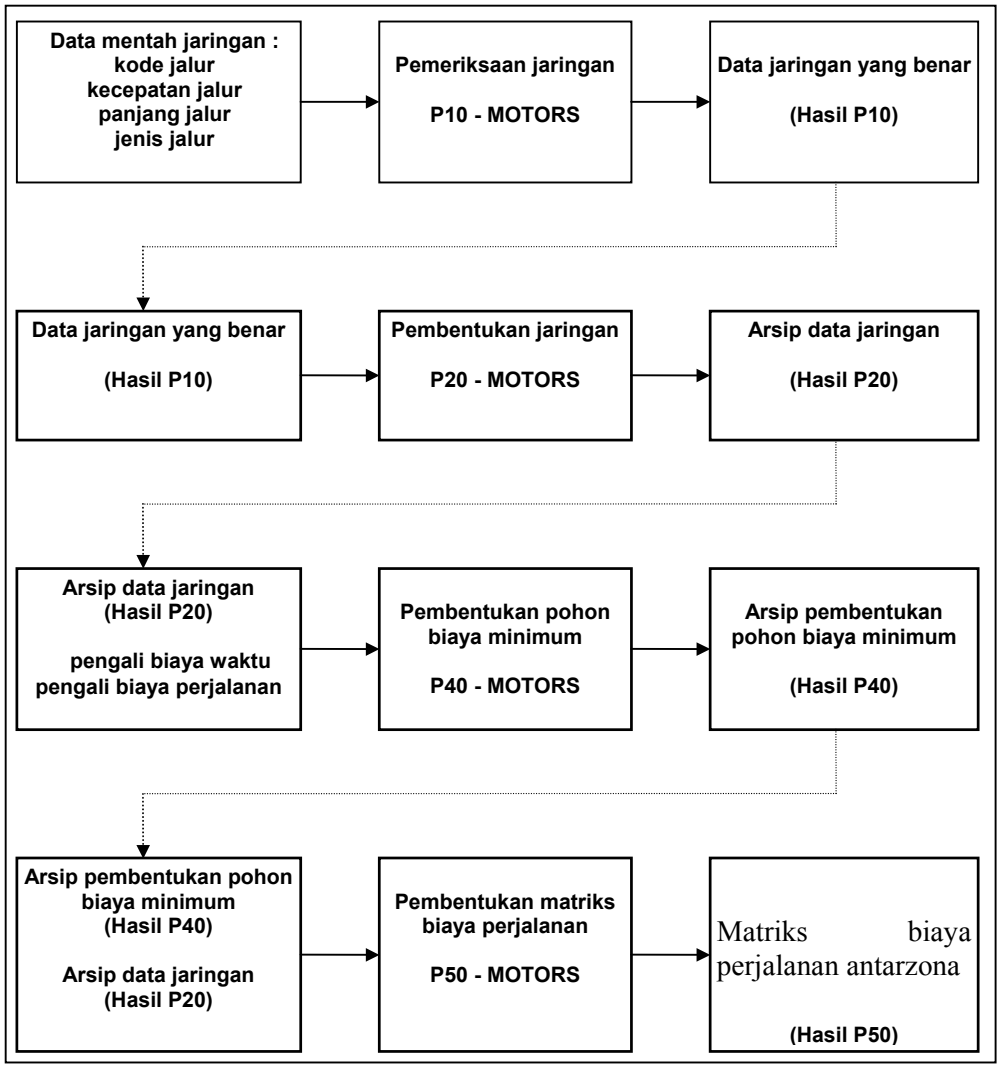
P10: mengecek data mentah sistem zona dan jaringan daerah kajian

P20: membangun atau membentuk data sistem zona dan jaringan daerah kajian

P40: menghasilkan pohon biaya minimum

P50: menghasilkan matriks aksesibilitas (jarak atau biaya).

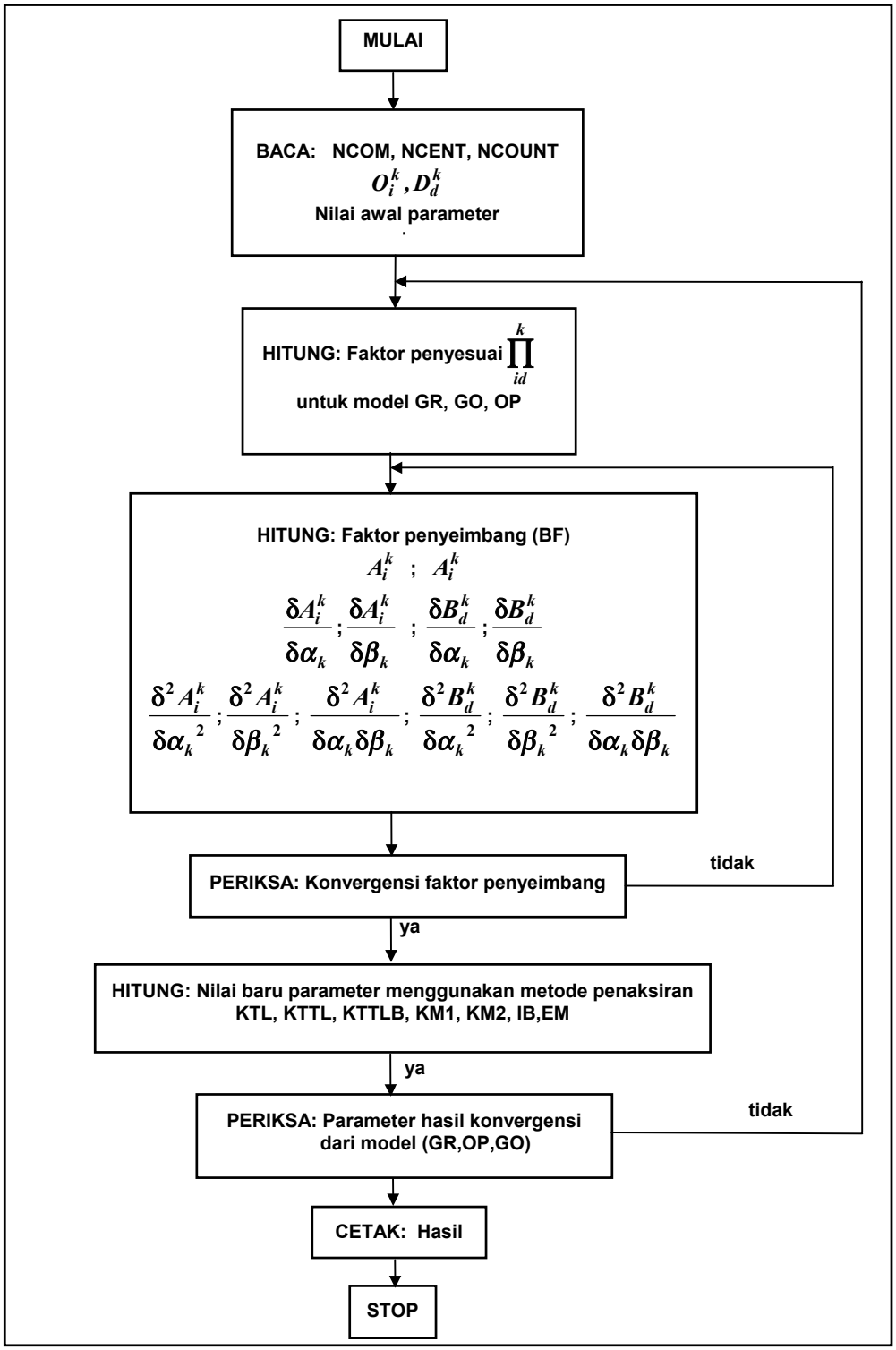
Gambar 8.5 memperlihatkan pentahapan penggunaan subprogram yang tersedia dalam paket program MOTORS.



Gambar 8.5 Prosedur yang digunakan untuk mendapatkan biaya perjalanan antarzona dengan menggunakan paket program MOTORS

Semua metode penaksiran kuadrat-terkecil dan kemiripan-maksimum yang diterangkan sebelumnya (subbab 8.10 dan 8.11) ditulis dalam beberapa program dalam bahasa Fortran-77, sehingga dapat berintegrasi penuh dengan paket program MOTORS yang sudah ada.

Pada tahun 1996, program tersebut sudah dapat menangani sampai dengan maksimum 30 tujuan pergerakan atau komoditas, 1.000 zona, dan 10.000 ruas jalan. Program tersebut ditulis agar dapat berinteraksi penuh dengan pengguna. Bagan alir prosedur kalibrasi untuk setiap metode penaksiran yang telah dikembangkan dapat dilihat pada gambar 8.6.



Gambar 8.6 Bagan alir prosedur kalibrasi
Sumber: Tamin (1988abc)

8.17 Indikator uji statistik untuk membandingkan MAT

8.17.1 Pendahuluan

Penaksiran MAT dari data arus lalulintas yang dihasilkan dengan menggunakan pendekatan penaksiran model kebutuhan akan transportasi akan menghasilkan arus lalulintas yang semirip mungkin dengan data arus lalulintas hasil pengamatan. Akan tetapi, hal yang terpenting di sini selain dari tingkat kemiripan dari arus lalulintas yang dihasilkannya, juga tingkat kemiripan dari MAT hasil penaksiran jika dibandingkan dengan MAT hasil pengamatan. Tingkat akurasi MAT hasil penaksiran sangatlah tergantung dari beberapa faktor seperti model kebutuhan akan transportasi yang digunakan, metoda penaksiran, teknik pembebanan lalulintas, data arus lalulintas, dan beberapa faktor lainnya.

Untuk itu, dibutuhkan cara yang dapat digunakan untuk dapat membandingkan MAT hasil penaksiran dengan MAT hasil pengamatan. Tingkat akurasi MAT yang dihasilkan dari data arus lalulintas dapat ditentukan dengan menggunakan beberapa indikator uji statistik. Beberapa kajian yang berkaitan dengan perilaku unjuk kerja beberapa indikator statistik untuk berbagai kondisi telah dilakukan oleh beberapa peneliti terdahulu, misalnya **Wilson (1976)**, **Sikdar and Hutchinson (1981)**, **Smith and Huthinson (1981)**, dan **Tamin (1988ab)**. Beberapa indikator uji statistik yang dapat digunakan untuk membandingkan MAT hasil penaksiran dengan MAT hasil pengamatan dibahas berikut ini.

8.17.2 *Root Mean Square Error* (RMSE) dan Standard Deviasi (SD)

Indikator uji statistik RMSE adalah suatu indikator kesalahan yang didasarkan pada total kuadratis dari simpangan antarpasangan nilai sel MAT yang dapat didefinisikan sebagai persamaan (8.127):

$$\mathbf{RMSE} = \sqrt{\sum_i \sum_d \left[\frac{\left(\hat{T}_{id} - T_{id}\right)^2}{\mathbf{N}.(\mathbf{N}-1)} \right]} \quad \textbf{untuk} \;\; i \neq d \tag{8.127}$$

Beberapa peneliti menggunakan standard deviasi dari simpangan dapat didefinisikan sebagai persamaan (8.128):

$$\mathbf{SD} = \sqrt{\sum_i \sum_d \left[\frac{\left(\hat{T}_{id} - T_{id}\right)^2}{\mathbf{N}.(\mathbf{N}-1)-1} \right]} \quad \textbf{untuk} \;\; i \neq d \tag{8.128}$$

Indikator RMSE dan SD tidak dapat digunakan untuk membandingkan MAT yang dihasilkan dari lokasi yang berbeda atau waktu yang berbeda karena nilainya sangat tergantung dari kondisi lokal seperti ukuran matriks N dan T. Dari persamaan (8.127) dan (8.128) terlihat bahwa semakin besar nilai N maka nilai RMSE akan kira-kira sama dengan nilai SD. Indikator %RMSE digunakan untuk membandingkan 2 buah MAT yang mempunyai jumlah sel yang berbeda.

$$\%\mathrm{RMSE} = \left(\frac{\mathrm{RMSE}}{\mathrm{T_1}} \right) \mathrm{x}\, 100\% \tag{8.129}$$

$$\mathrm{T_1} = \frac{1}{\mathrm{N(N-1)}} \sum_i \sum_d \hat{T}_{id} \tag{8.130}$$

Semakin besar nilai RMSE, %RMSE, dan SD maka semakin tidak akurat MAT hasil penaksiran dibandingkan MAT hasil pengamatan.

8.17.3 *Mean Absolute Error* (MAE)

MAE adalah bentuk ukuran simpangan yang paling sederhana yang dapat didefinisikan sebagai persamaan (8.131).

$$\mathrm{MAE} = \sum_i \sum_d \left| \frac{\left(\hat{T}_{id} - T_{id} \right)^2}{\mathrm{N}.\left(\mathrm{N}-1\right)} \right| \text{ untuk } i \neq d \tag{8.131}$$

Dari persamaan (8.131) terlihat bahwa nilai MAE kurang sensitif terhadap nilai mutlak kesalahan yang besar dibandingkan dengan RMSE. Semakin besar nilai MAE maka semakin tidak akurat MAT hasil penaksiran dibandingkan MAT hasil pengamatan.

8.17.4 Koefisien Determinasi (R^2)

Indikator statistik R^2 dapat didefinisikan sebagai persamaan (8.132):

$$\mathrm{R^2} = 1 - \frac{\sum_i \sum_d \left(\hat{T}_{id} - T_{id} \right)^2}{\sum_i \sum_d \left(\hat{T}_{id} - \mathrm{T_1} \right)^2} \text{ untuk } i \neq d \tag{8.132}$$

Indikator statistik R^2 ini merupakan suatu uji statistik yang paling sering digunakan. Indikator ini akan memberikan bobot sangat tinggi untuk kesalahan absolut besar. Oleh karena itu, nilai R^2 yang tinggi tidak dapat diperoleh dari matriks berjumlah sel besar dengan kesalahan kecil, akan tetapi sangat jelek pada nilai sel yang kecil.

Persamaan (8.132) juga memperlihatkan bahwa nilai R^2 dapat menjadi negatif jika terdapat simpangan besar antara MAT hasil penaksiran dan MAT hasil observasi. Nilai R^2=1 merupakan nilai tertinggi yang dapat dihasilkan jika dilakukan perbandingan antarMAT. Oleh karena itu, nilai R^2 yang mendekati 1 (satu) menunjukkan tingkat kemiripan yang tinggi antarMAT yang diperbandingkan.

8.17.5 *Normalised Mean Absolute Error* (NMAE)

Beberapa indikator uji statistik yang telah diuraikan di atas seperti RMSE, SD, %RMSE, MAE, dan R^2 tidak dapat digunakan untuk membandingkan MAT jika diterapkan pada daerah kajian yang berbeda karena nilai MAT sangat tergantung pada kondisi lokal seperti ukuran matriks dan lainnya. Untuk tujuan ini, disarankan

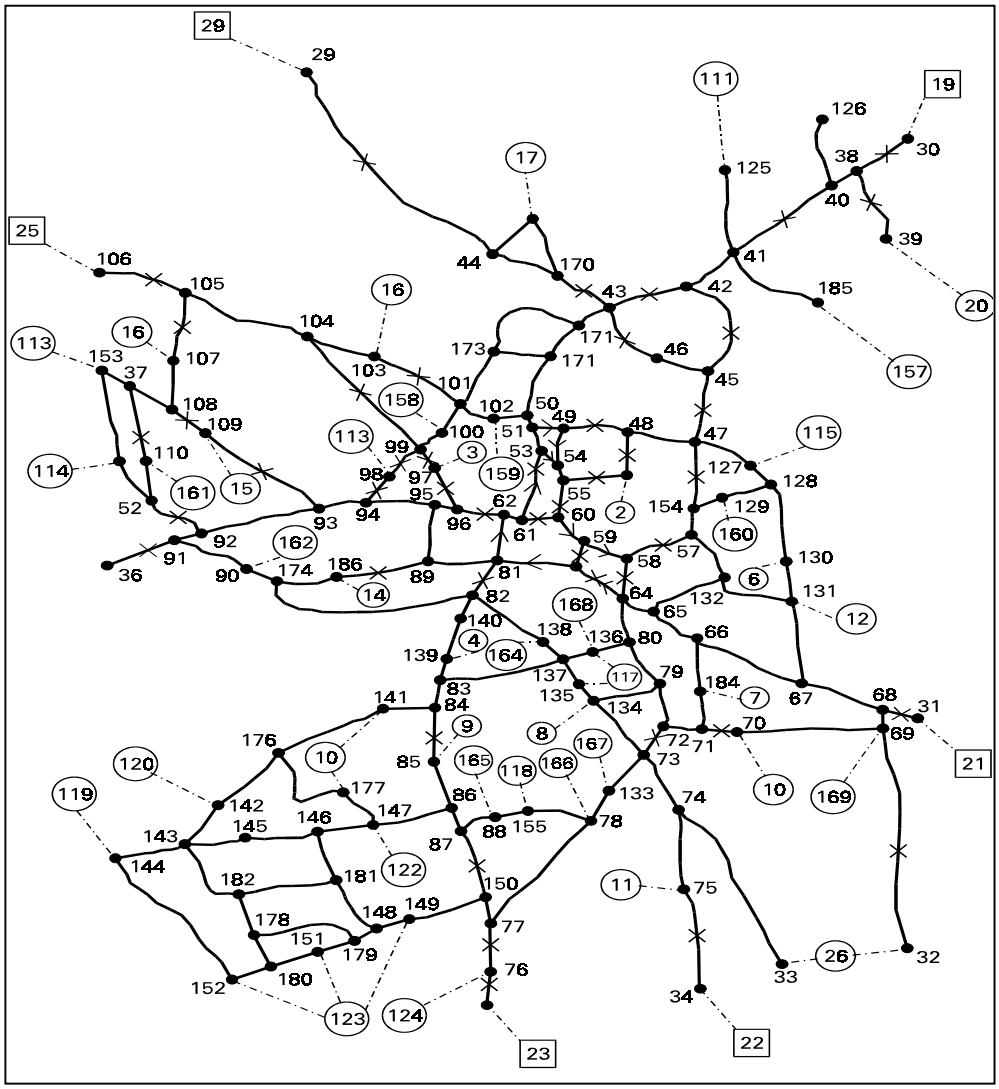
untuk menggunakan indikator uji statistik NMAE yang didefinisikan sebagai persamaan (8.133).

$$\mathbf{NMAE} = \left(\frac{\mathbf{MAE}}{\mathbf{T_1}} \right) \mathbf{x\,100} \tag{8.133}$$

8.18 Beberapa penerapan yang telah dilakukan

8.18.1 Pemodelan pergerakan kendaraan perkotaan di kota Ripon (Inggris)

Tamin (**1988abcd**) melaporkan beberapa penerapan model yang telah dikembangkan untuk memodelkan pergerakan kendaraan di daerah perkotaan di kota Ripon. Gambar 8.7 memperlihatkan deskripsi sistem jaringan jalan kota Ripon.



Gambar 8.7 Deskripsi sistem jaringan di kota Ripon (Inggris)
Sumber: Tamin (1988 abc)

Penelitian mendapat banyak fasilitas berupa tersedianya pangkalan-data untuk pergerakan kendaraan (**Steer, Davies and Gleave**, **1987**) yang dikumpulkan bersama oleh konsultan Steer, Davies and Gleave (SDG) Ltd. dan pemerintah daerah North Yorkshire County Council (NYCC). Pangkalan-data terdiri dari data MAT tahun 1985, deskripsi jaringan jalan tahun 1985 yang terdiri dari 26 zona, 83 simpul, dan 188 ruas satu arah, dan 63 data arus lalulintas.

Usaha paling utama yang dilakukan dalam penelitian ini berupa uji metode penaksiran yang dikembangkan dengan menggunakan data kota Ripon dengan beberapa keragaman uji keabsahan dan kepekaan. Strategi uji keabsahan dan kepekaan dijadikan fungsi faktor utama yang mempengaruhi ketepatan MAT yang dihasilkan. Strategi tersebut meliputi hal berikut.

- Pemilihan model kebutuhan akan transportasi yang digunakan untuk mencerminkan perilaku pergerakan di dalam daerah kajian.
- Metode penaksiran yang digunakan untuk mengkalibrasi parameter model dengan menggunakan data arus lalulintas.
- Teknik pembebanan rute yang digunakan untuk menentukan rute yang digunakan di dalam jaringan.
- Tingkat galat pada data arus lalulintas.
- Tingkat kedalaman definisi sistem zona dan jaringan.

Beberapa uji keabsahan dan kepekaan kemudian dirancang dari kelima faktor tersebut, meliputi hal berikut.

1 **Uji keabsahan**

   a Uji dengan metode sebaran pergerakan faktor pertumbuhan

   b Uji dengan informasi data MAT hasil pengamatan

   c Uji dengan informasi arus lalulintas hasil pembebanan

   d Uji dengan informasi arus lalulintas hasil pengamatan

   e Uji dengan informasi arus lalulintas hasil pembebanan serta data MAT parsial

2 **Uji kepekaan**

   a Uji dengan fungsi hambatan yang berbeda-beda

   b Uji dengan data arus lalulintas yang tidak lengkap

   c Uji dengan tingkat kedalaman definisi sistem zona dan jaringan yang berbeda-beda

   d Uji dengan teknik pembebanan rute batasan-kapasitas

Untuk mencari nilai tambah model transportasi yang baru, kita pasti tertarik pada ketepatan MAT yang dihasilkan oleh metode yang sudah tersedia dan membandingkannya dengan MAT yang dihasilkan oleh model baru tersebut. Oleh karena itu, uji pertama dilakukan dengan menggunakan metode faktor pertumbuhan

yang menghasilkan MAT terbaik, yaitu dengan menggunakan metode Furness dan Detroit. Hasil metode Furness ini digunakan sebagai alat pembanding pada uji berikutnya.

Uji kedua dilakukan dengan menggunakan informasi MAT hasil pengamatan untuk mengkalibrasi model yang digunakan. Faktor pertama yang mempengaruhi tingkat ketepatan MAT adalah pemilihan model kebutuhan akan transportasi yang tepat untuk mencerminkan perilaku pergerakan. Oleh karena itu, menarik untuk dipelajari pada tahap ini, jenis model transportasi yang paling baik mencerminkan perilaku pergerakan. Ditemukan beberapa hal berikut.

- Model GO merupakan model terbaik dibandingkan dengan model GR, OP, dan metode Furness.
- Nilai optimum bagi parameter transformasi Box–Cox (model GO) tersebut adalah $\varepsilon = 0{,}5$ and $\mu = 1{,}0$.
- Penggunaan model OP dan GO membutuhkan waktu proses komputer yang lama dibandingkan dengan model GR.
- Hasil yang didapat dengan menggunakan data MAT hasil pengamatan merupakan MAT terbaik dan karena itu digunakan seterusnya sebagai MAT pembanding.

Faktor kedua yang mempengaruhi ketepatan MAT adalah metode penaksiran yang digunakan dalam mengkalibrasi parameter model transportasi dengan data arus lalulintas. Karena itu, uji keabsahan dilakukan dengan menggunakan data arus lalulintas hasil pembebanan untuk melihat sejauh mana kemampuan metode penaksiran tersebut dalam mengkalibrasi parameter model dengan data arus lalulintas yang bebas galat. Ditemukan beberapa hal berikut:

- Penggunaan model GO menghasilkan kesesuaian yang terbaik dari sisi arus lalulintas dan MAT untuk setiap metode penaksiran, diikuti dengan model GR dan OP. Ini diperkirakan karena model GO lebih banyak mempunyai parameter dibandingkan dengan model GR dan OP.
- Dapat disimpulkan bahwa, dari sisi MAT, metode penaksiran KTTL merupakan metode yang terbaik untuk setiap model transportasi dibandingkan dengan metode lain (KTTLB, KM1 dan KM2).
- Terlihat bahwa model dan MAT yang dihasilkan mempunyai ketepatan yang sedikit kurang dibandingkan dengan MAT yang dihasilkan dengan menggunakan data survei MAT lengkap. Ini merupakan temuan yang sangat berharga jika dilihat dari sisi biaya pengumpulan data dan biaya penaksiran model transportasi.

Faktor lain yang turut mempengaruhi ketepatan MAT adalah data arus lalulintas dan teknik pembebanan rute yang digunakan untuk menentukan rute yang dipilih dalam jaringan karena data arus lalulintas tidak pernah luput dari galat. Beberapa uji keabsahan dilakukan dengan menggunakan dua jenis teknik pembebanan rute, yaitu *all-or-nothing* dan Burrel, masing-masing dengan dispersi ±10% dan ±30%. Ditemukan beberapa hal berikut.

- Penggunaan teknik stokastik Burrell, baik dengan dispersi ±10% atau ±30%, tidak memberikan kesesuaian yang lebih baik dilihat dari sisi arus lalulintas dibandingkan dengan teknik *all-or-nothing* untuk semua model dan semua metode penaksiran. Selain itu, waku proses komputer yang dibutuhkan untuk teknik Burrell, baik dengan dispersi ±10% atau ±30%, kira-kira tiga kali lebih lama dibandingkan dengan metode *all-or-nothing*. Karena itu, metode Burrell pasti digunakan untuk kasus Ripon (Inggris).
- Dari sisi MAT, model GO menghasilkan MAT untuk setiap metode penaksiran, diikuti dengan model GR dan OP. Tidak satu pun dari model OP yang menghasilkan MAT yang lebih baik dibandingkan dengan metode Furness. Tetapi, penggunaan model GO untuk setiap metode penaksiran hanya menghasilkan MAT sedikit lebih baik jika dibandingkan dengan model GR. Karena itu, kinerja model GR masih sangat baik karena waktu prosesnya yang cepat.
- Dari sisi MAT, penggunaan teknik pembebanan rute Burrell (10%) tidak menghasilkan perbaikan yang nyata jika dibandingkan dengan metode *all-or-nothing*. Selain itu, penggunaan teknik Burrell (30%) menghasilkan hal yang lebih jelek jika dibandingkan dengan MAT yang dihasilkan dengan teknik *all-or-nothing*.
- Penggunaan arus lalulintas hasil pengamatan dibandingkan dengan arus hasil pembebanan tidak begitu banyak memperbaiki ketepatan MAT yang dihasilkan. Hal ini agak sulit diterangkan. Dalam kasus ini, galat dalam arus lalulintas dan teknik pembebanan rute saling meniadakan sehingga mungkin memperkecil tingkat galat spesifikasi dalam pemodelan.
- Nilai parameter yang dihasilkan terlihat agak stabil untuk setiap metode penaksiran dan cukup mendekati nilai yang didapat dengan menggunakan data MAT. Hal ini sangat menguntungkan dan penting untuk peramalan karena penggunaan data arus lalulintas menghasilkan nilai parameter yang cukup stabil dan cukup dekat dengan nilai yang didapat dari penggunaan data MAT.

Beberapa uji juga dilakukan dengan menggunakan dua buah sumber informasi, yaitu data arus lalulintas dan MAT parsial yang didapat dengan melakukan survei MAT sederhana pada beberapa ruas jalan. Hasilnya tidak begitu menggembirakan karena perbaikannya kecil jika dibandingkan dengan hanya menggunakan data arus lalulintas saja. Ini karena setiap sumber informasi mempunyai tingkat ketepatan yang berbeda-beda dan juga mengandung beberapa galat.

Beberapa uji kepekaan juga dilakukan untuk melihat efek penggunaan fungsi hambatan yang berbeda-beda terhadap ketepatan MAT yang dihasilkan. Dua jenis fungsi hambatan dipelajari, yaitu fungsi eksponensial dan Tanner. Kedua fungsi ini diuji hanya untuk model GR saja. Ternyata penggunaan fungsi Tanner menghasilkan kesesuaian yang lebih baik dari sisi tingkat arus lalulintas jika dibandingkan dengan penggunaan fungsi eksponensial.

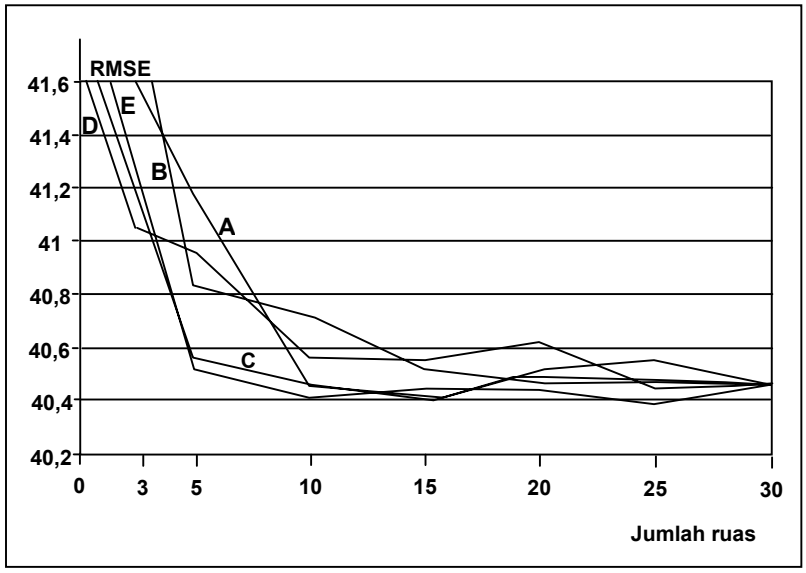
Hal ini diperkirakan karena fungsi Tanner mempunyai parameter yang lebih banyak dibandingkan dengan fungsi eksponensial; sebenarnya fungsi eksponensial bisa

didapatkan sebagai kasus khusus fungsi Tanner. Tetapi, ini bukan jaminan untuk selalu memberikan hasil yang lebih baik dilihat dari sisi MAT yang didapat.

Uji kepekaan yang menyeluruh telah juga dilakukan untuk mempelajari efek penggunaan jumlah data arus lalulintas terhadap ketepatan MAT. Uji ini dilakukan dengan menggunakan data kota Ripon dan beberapa data arus lalulintas (yang didapat dengan teknik pembebanan *all-or-nothing*) dari 5 sampai dengan 63 data arus lalulintas (5, 10, 20, 30, 40, 50, dan 63).

Ruas jalan tersebut dipilih dengan menggunakan justifikasi rekayasa dan secara acak. Lima set ruas dibuat; satu set menggunakan justifikasi rekayasa dan sisanya dibuat secara acak. Ditemukan dua hal berikut (lihat gambar 8.8).

- Dengan pemilihan berdasarkan pertimbangan rekayasa, penggunaan 5 ruas tidak menghasilkan taksiran MAT yang baik untuk setiap model transportasi. Tetapi, penggunaan lebih dari 10 ruas (5% dari total jumlah ruas) menghasilkan peningkatan ketepatan MAT yang sangat berarti untuk setiap model transportasi dan setiap metode penaksiran.
- Dengan pemilihan ruas secara acak terlihat bahwa penggunaan lebih dari 30 ruas jalan (16% dari total jumlah ruas) cukup untuk mengurangi adanya keragaman ketepatan MAT yang dihasilkan.



Gambar 8.8
Tingkat akurasi MAT sebagai fungsi jumlah ruas

Uji kepekaan yang menyeluruh dilakukan untuk mempelajari pengaruh penggunaan tingkat resolusi pendefinisian sistem zona dan jaringan terhadap ketepatan MAT yang dihasilkan. Terlihat bahwa peningkatan resolusi dari definisi sistem zona dan jaringan meningkatkan ketepatan dengan biaya tambahan tertentu. Karena itu, kita harus menentukan tingkat kedalaman yang dibutuhkan dengan membandingkannya dengan tingkat ketepatan yang diinginkan dan usaha yang dibutuhkan untuk menyelesaikan permasalahan yang hendak dipecahkan.

Tiga model jaringan kota Ripon disiapkan secara sistematis dengan mengatur tingkat kedalaman definisi sistem zona dan jaringan, yaitu 28 zona (rendah), 42

zona (menengah), dan 56 (tinggi). Terdapat 75 data ruas jalan yang lokasinya dipilih agar semua ruas jalan terdapat pada jaringan pada setiap tingkat. Data set buatan yang dipersiapkan untuk uji ini adalah sebagai berikut.

- Data MAT buatan dipersiapkan dengan menaksir model *gravity* dengan nilai parameter β tertentu pada sistem 56 zona. MAT kemudian dimampatkan menjadi sistem 28 zona dan MAT yang dihasilkan kemudian dinamakan MAT target untuk uji ini.
- MAT buatan (56 zona) kemudian dibebankan ke jaringan jalan pada sistem 56 zona sehingga didapatkan 75 data arus hasil pembebanan dengan menggunakan teknik (a) *all-or-nothing* atau (b) pembebanan kondisi keseimbangan.

Dua set uji kepekaan kemudian dilakukan; pertama dengan menggunakan 75 data arus hasil pembebanan dengan teknik *all-or-nothing* dan yang kedua dengan teknik pembebanan kondisi keseimbangan. Perlu dicatat bahwa perbandingan MAT dilakukan pada sistem 28 zona. Keluaran yang dihasilkan adalah sebagai berikut.

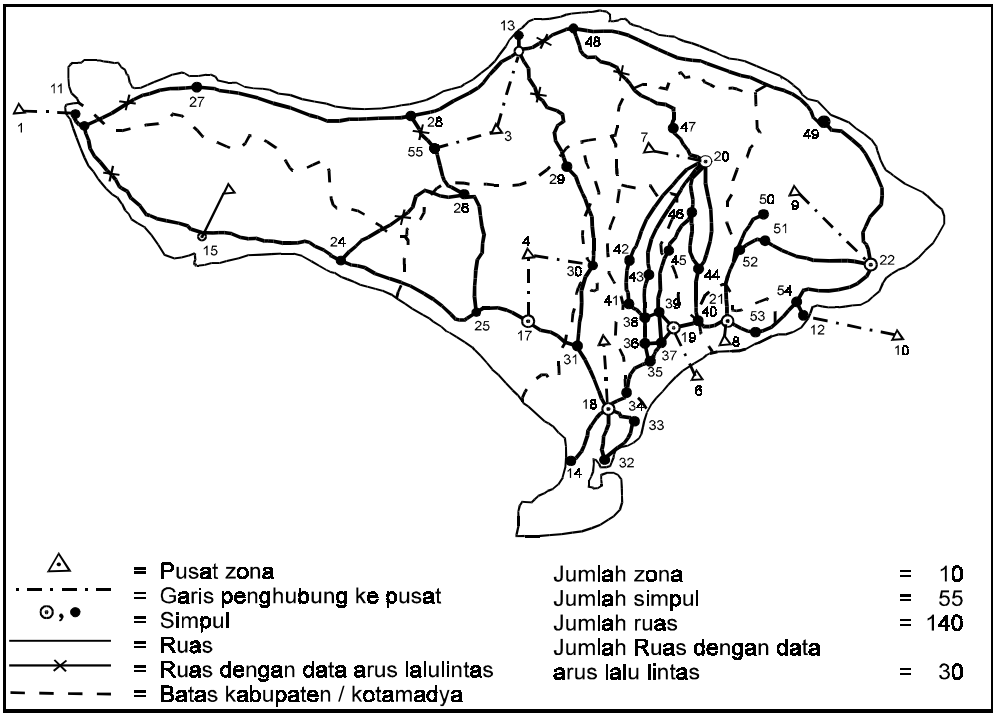
- Pada uji pertama, dengan menurunkan tingkat kedalaman sistem (dari 56 zona ke 42 zona), tingkat ketepatan juga menurun. Metode KTTL dan KTTLB terlihat tidak begitu peka dibandingkan dengan metode KM1 dan KM2. Dengan terus menurunkan tingkat kedalaman resolusi sistem zona (dari 42 zona ke 28 zona), metode KM1 dan KM2 terlihat lebih tidak peka terhadap perubahan tingkat resolusi dibandingkan dengan metode KTTL dan KTTLB.
- Untuk uji kedua, dihasilkan ketepatan yang lebih rendah untuk setiap tingkat kedalaman sistem zona dibandingkan dengan uji pertama.

8.18.2 Pemodelan pergerakan angkutan barang di pulau Bali

8.18.2.1 Beberapa uji kepekaan dan keabsahan **Kajian Tamin** (**1988abc**), **Tamin and Willumsen** (**1988ab**), dan **Tamin and Soegondo** (**1989**) menjelaskan beberapa uji kepekaan dan keabsahan dari metode penaksiran dengan menggunakan data angkutan barang di pulau Bali. Gambar 8.9 memperlihatkan deskripsi sistem jaringan jalan di pulau Bali.

Pangkalan-data Bali ini merupakan bagian dari survei regional O–D Nasional pada tahun 1982 yang dilakukan oleh Departemen Pekerjaan Umum dan Departemen Perhubungan. Dalam hal ini diasumsikan terdapat 5 jenis komoditas yang bergerak di dalam daerah kajian, yaitu minyak dan bahan bakar cair, produk pertanian, produk mineral dan kehutanan, barang kapital, dan barang perdagangan. Daerah kajian terdiri dari 10 zona (dua di antaranya zona eksternal), 55 simpul, dan 140 jalan satu arah. Beberapa uji yang serupa dengan uji di kota Ripon dilakukan, kecuali uji dengan data arus lalulintas hasil pengamatan karena tidak tersedia informasi data arus lalulintas.

Uji pertama dilakukan dengan menggunakan metode faktor pertumbuhan. Didapatkan bahwa metode Furness dan Detroit menghasilkan MAT terbaik. Uji kedua dilakukan dengan menggunakan informasi MAT hasil pengamatan. Perlu diperhatikan bahwa nilai optimum parameter Box–Cox yang didapat dari data kota Ripon digunakan untuk data pulau Bali.



Gambar 8.9 Deskripsi sistem jaringan jalan di pulau Bali (Indonesia)
Sumber: Tamin (1988 abc)

Peminjaman nilai optimum parameter Box–Cox kota Ripon untuk pulau Bali tidak sepenuhnya benar karena sangat tidak mungkin dua jenis pergerakan yang berbeda, yang bergerak dalam daerah kajian yang berbeda, akan serupa perilakunya. Hasil menunjukkan bahwa model GO merupakan model terbaik dibandingkan dengan model GR, OP, dan Furness. Tetapi, perbaikan tersebut hanya marginal dibandingkan dengan model GR karena penggunaan nilai optimum parameter transformasi Box–Cox yang sama.

Uji berikutnya menggunakan 30 data arus lalulintas hasil pembebanan (dengan teknik *all-or-nothing*). Uji pertama dilakukan dengan menggabungkan kelima komoditas tersebut menjadi satu komoditas gabungan. Uji kedua menggunakan lima komoditas. Hasilnya sebagai berikut.

- Untuk komoditas gabungan, penggunaan model GO menghasilkan kesesuaian yang terbaik dilihat dari arus lalulintasnya untuk setiap metode penaksiran, diikuti dengan model GR dan OP. Tetapi, hal yang sebaliknya terjadi jika dilihat dari MAT-nya. Terlihat bahwa semua metode penaksiran menghasilkan MAT yang sedikit lebih jelek dibandingkan dengan MAT yang didapatkan dari penggunaan data MAT.

  Hal ini mempunyai implikasi sangat penting dalam hal biaya pengumpulan data dan penaksiran model. Selain itu, nilai parameter yang didapat cukup stabil untuk setiap metode penaksiran dan mirip dengan nilai yang didapat dengan menggunakan data MAT. Temuan ini sangat menggembirakan dan penting untuk peramalan karena penggunaan data arus lalulintas menghasilkan

nilai parameter yang stabil dan mirip dengan nilai yang menggunakan data MAT.

- Untuk lima komoditas, setiap metode penaksiran menghasilkan arus lalulintas yang mempunyai kesesuaian yang lebih baik dalam arus lalulintas dan MAT-nya jika dibandingkan dengan hasil komoditas gabungan. Perbandingan antara MAT didasari kombinasi MAT untuk semua komoditas.

Uji kepekaan juga dilakukan untuk mempelajari pengaruh penggunaan jumlah data arus lalulintas yang beragam terhadap ketepatan MAT-nya. Tujuh set data arus lalulintas digunakan (3, 5, 10, 15, 20, 25, dan 30 ruas). Ditemukan bahwa penggunaan lebih dari 5 data arus lalulintas meningkatkan ketepatan secara nyata. Temuan ini mempunyai implikasi yang sangat baik dalam hal biaya pengumpulan data dan penaksiran model.

8.18.2.2 Kesimpulan Beberapa temuan penting yang diperoleh **Tamin** (**1988a**) disimpulkan dalam tabel 8.2 yang memperlihatkan peringkat kinerja setiap metode penaksiran yang tergantung pada kriteria tertentu. Tabel 8.2 dapat digunakan sebagai acuan arahan untuk menentukan metode penaksiran yang terbaik. Hanya hasil dari model GR dan GO yang disajikan karena model OP selalu menghasilkan keluaran yang tidak baik. Skala pemeringkatan digunakan untuk memperlihatkan kinerja metode penaksiran, sesuai dengan setiap kriteria. Skala **1** menunjukkan kinerja paling jelek, sedangkan **8** menunjukkan kinerja terbaik.

Tabel 8.2 Peringkat kinerja metode penaksiran sesuai dengan kriteria

Model dan metode penaksiran		Kriteria					
		A	B	C	D	E	F
GR	KTTL	4	8	8	5	4	6
	KTTLB	1	5	5	6	1	8
	KM1	3	6	7	8	3	5
	KM2	2	7	6	7	2	7
GO	KTTL	8	4	NA	NA	8	NA
	KTTLB	5	1	NA	NA	5	NA
	KM1	7	2	NA	NA	7	NA
	KM2	6	3	NA	NA	6	NA

Catatan: (8) —> Terbaik ... (1) —> Terjelek

A —> Ketepatan

B —> Waktu komputer

C —> Kepekaan terhadap galat dalam data arus lalulintas

D —> Kepekaan terhadap resolusi sistem zona dan jaringan

E —> Kepekaan terhadap jumlah data arus lalulintas

F —> Penerapan untuk angkutan barang (5 komoditas)

NA —> Tidak tersedia

Sumber: Tamin (1988a)

Dari tabel 8.2 dapat diambil dua kesimpulan akhir berikut ini.

- Dari sisi MAT terlihat bahwa model GO selalu menghasilkan MAT yang terbaik. Tetapi, hasil tersebut hanya secara marginal lebih baik dibandingkan dengan MAT yang didapat dengan model GR. Dengan mempertimbangkan hasil kriteria lainnya, dapat disimpulkan bahwa metode penaksiran terbaik adalah kombinasi model GR dengan metode penaksiran KTTL dan KM1.
- Dengan beberapa bukti yang ada terlihat bahwa ketepatan MAT yang dihasilkan hanya sedikit lebih jelek dibandingkan dengan MAT yang didapat dengan menggunakan data survei MAT. Temuan ini menyimpulkan bahwa pendekatan penaksiran model kebutuhan akan transportasi dengan data arus lalulintas memberikan hasil yang sangat menggembirakan dalam hal biaya pengumpulan data dan biaya penaksiran model. Selain itu, pendekatan ini menghasilkan nilai parameter yang sangat berguna bagi tujuan peramalan.

8.18.3 Uji kedalaman tingkat resolusi sistem zona dan sistem jaringan terhadap akurasi MAT

Pokok permasalahan yang akan dibahas dalam subbab ini adalah bahwa tingkat akurasi MAT yang dihasilkan dari data arus lalulintas sangat dipengaruhi oleh resolusi sistem zona dan sistem jaringan jalan di daerah kajian. **Patunrangi, Tamin, Sjafruddin (1999)** telah melakukan beberapa uji mengenai hal ini sebagai berikut:

- penentuan tata cara penomoran titik simpul, kodefikasi zona dan penghubung pusat zona sehingga memudahkan dalam mengidentifikasi sistem zona dan sistem jaringan di daerah kajian;
- analisis pengaruh perubahan sistem zona terhadap tingkat akurasi MAT yang dihasilkan dari data arus lalulintas di mana sistem jaringan dianggap tidak berubah.
- analisis pengaruh perubahan sistem jaringan terhadap tingkat akurasi MAT yang dihasilkan dari data arus lalulintas di mana sistem zona dianggap tidak berubah.
- analisis pengaruh akibat adanya perubahan sistem zona dan sistem jaringan terhadap tingkat akurasi MAT yang dihasilkan dari data arus lalulintas.

8.18.3.1 Penomoran titik simpul, kodefikasi zona dan penghubung pusat zona

Tata cara penomoran titik simpul, kodefikasi zona dan penghubung pusat zona perlu diseragamkan untuk memudahkan dalam melakukan analisis sistem zona dan sistem jaringan pada setiap skenario yang akan diterapkan. Untuk itu dibutuhkan suatu acuan atau arahan dalam penetapan penomoran titik simpul dan kodefikasi sistem yang meliputi sistem jaringan arteri, kolektor, dan lokal serta sistem zona kelurahan, kecamatan, dan wilayah.

a **Sistem penomoran dan kodefikasi** Penomoran titik simpul dan kodefikasi dirasakan sangat penting dilakukan secara terstruktur untuk menghindari kemungkinan terjadinya kesalahan pada saat pengolahan data baik sistem zona maupun sistem jaringan jalan. Adapun penomoran titik simpul dan kodefikasi yang dimaksud dijelaskan sebagai berikut:

- **penomoran titik simpul**, menggunakan tiga angka di mana angka pertama menunjukkan jenis pertemuan jaringan jalan yang membentuk simpul kemudian diikuti dua angka berikutnya yang merupakan urutan dari nomor simpul tersebut. Penomoran tersebut dapat dilihat pada tabel 8.3 berikut ini:

Tabel 8.3 Penomoran titik simpul

No	Pertemuan jaringan	Contoh penomoran	No	Pertemuan jaringan	Contoh penomoran
1	arteri x arteri	101, 102, 103, 104, …….dst	4	kolektor x kolektor	401, 402, 403, 404, ……dst
2	arteri x kolektor	201, 202, 203, 204, ……..dst	5	kolektor x lokal	601,602,...700, 701, ……dst
3	Arteri x lokal	301, 302, 303, 304, ……...dst	6	lokal x lokal	901, 902, 903, 904, ……dst

Sumber: Patunrangi, Tamin, Sjafruddin (1999)

Pada hal khusus sistem penomoran titik simpul tidak berlaku sesuai dengan contoh di atas, hal ini disebabkan karena kekonsistenan penomoran yang didasarkan pada urutan hierarki sistem jaringan jalan.

- **kodefikasi zona**, pembagian zona diurut berdasarkan kode pembagian wilayah, kecamatan, dan kelurahan dengan menggunakan angka awal 8 untuk Kotamadya Bandung dan angka awal 9 untuk Kabupaten Bandung. Sebagai contoh 8111, 8224, 8335 untuk Kotamadya Bandung dan 9111, 9261, 9331 untuk Kabupaten Bandung.

- **Kodefikasi penghubung pusat zona**, menggunakan angka pertama 1 yang diikuti dengan tiga angka berikutnya di mana angka tersebut menyatakan urutan dari pusat penghubung zona yang digunakan, seperti 1001, 1099, 1130, dan seterusnya.

b Prosedur penomoran titik simpul dan kodefikasi Prosedur penomoran dan kodefikasi tersebut telah disusun dalam bentuk tahapan sebagai berikut:

1 menyiapkan peta dasar yang memuat sistem jaringan jalan dan batas daerah menurut administrasi (wilayah, kecamatan, kelurahan) yang meliputi seluruh daerah kajian;

2 mengidentifikasi sistem jaringan jalan arteri dan melakukan penomoran terhadap pertemuan jalan tersebut sesuai dengan sistem yang telah ditetapkan sebelumnya;

3 ulangi langkah 2) di atas terhadap pertemuan sistem jaringan jalan lainnya dan lakukan penomoran terhadap pertemuan tersebut sesuai sistem yang telah ditetapkan. Lakukan untuk seluruh pertemuan ruas jalan yang ada;

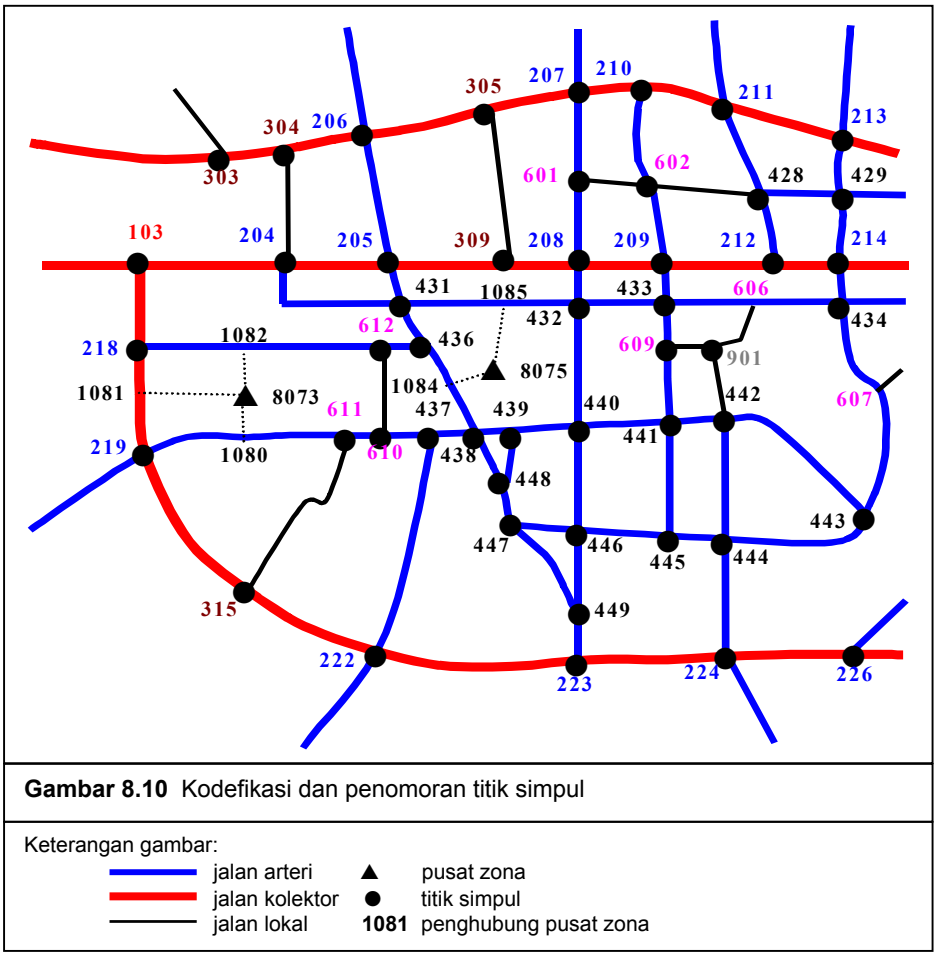
4 langkah selanjutnya adalah kodefikasi sistem zona dengan membagi daerah kajian dalam batas wilayah, kemudian setiap wilayah dibagi menjadi zona kecamatan, dan selanjutnya kecamatan dibagi lagi menjadi zona terkecil yaitu zona kelurahan;

5 tentukan kodefikasi dari setiap zona berdasarkan langkah 4) dengan mengikuti petunjuk pada penjelasan kodefikasi zona. Lakukan untuk semua zona yang ada dalam daerah kajian;

6 menetapkan kodefikasi penguhubung pusat zona yang menghubungkan pusat zona ke ruas jalan dengan mengikuti petunjuk di atas;

7 mengukur panjang setiap ruas jalan antara dua titik simpul yang berdekatan, hal ini dilakukan untuk semua ruas jalan yang ada dalam daerah kajian sehingga membentuk sistem jaringan yang tertutup.

Tata cara penomoran titik simpul, kodefikasi zona dan penghubung pusat zona dapat dilihat pada gambar 8.10.



Gambar 8.10 Kodefikasi dan penomoran titik simpul

Keterangan gambar:

	jalan arteri	▲	pusat zona
	jalan kolektor	●	titik simpul
	jalan lokal	**1081**	penghubung pusat zona

8.18.3.2 Pengolahan data Data arus lalulintas yang diperoleh dari survei lapangan (data primer) dan data sekunder dari instansi terkait diolah sesuai kebutuhan.

a Sistem zona Sistem pembagian zona didasarkan pada sistem tata guna tanah di mana satu satuan tata guna tanah didapat dengan membagi wilayah kajian menjadi bagian yang lebih kecil (zona) yang dianggap mempunyai

keseragaman tata guna tanah atau berada di bawah suatu administrasi pemerintahan tertentu seperti kelurahan, kecamatan, atau wilayah. Setiap zona akan diwakili oleh satu pusat zona. Daerah kajian dibagi menjadi 145 zona yang terdiri dari 139 zona internal dan 6 zona eksternal; 100 zona internal berada di wilayah Kotamadya Bandung dan 39 zona internal lainnya di Kabupaten Bandung.

Sistem pembagian zona di Kotamadya Bandung dilakukan berdasarkan basis kelurahan; akan tetapi untuk kelurahan yang memiliki jaringan jalan terbatas khususnya pada daerah pinggiran kota digabungkan dengan kelurahan terdekat sehingga jumlah kelurahan menjadi 100 zona. Untuk Kabupaten Bandung, sistem pembagian zona dilakukan berdasarkan kelurahan sebanyak 39 zona yang diutamakan di lokasi pengambilan data arus lalulintas; sedangkan untuk daerah yang agak jauh dari lokasi pengambilan data dilakukan penggabungan baik kelurahan maupun kecamatan. Dalam kajian ini, sistem zona dibagi seperti tabel 8.4 berikut. Untuk lebih rinci, resolusi sistem zona berdasarkan wilayah (Z_1) dan kelurahan (Z_4) dapat dilihat pada gambar 8.11–8.12.

Tabel 8.4 Sistem zona berdasarkan skenario

No	Sistem zona berdasarkan	Notasi
1	Kelurahan	Z_4
2	Gabungan antar kelurahan	Z_3
3	Kecamatan	Z_2
4	Wilayah	Z_1

Sumber: Patunrangi, Tamin, Sjafruddin (1999)

Penggabungan zona dilakukan secara bertahap berdasarkan hierarki pembagian zona (kelurahan, kecamatan, dan wilayah). Kriteria yang digunakan dalam proses penggabungan zona adalah:

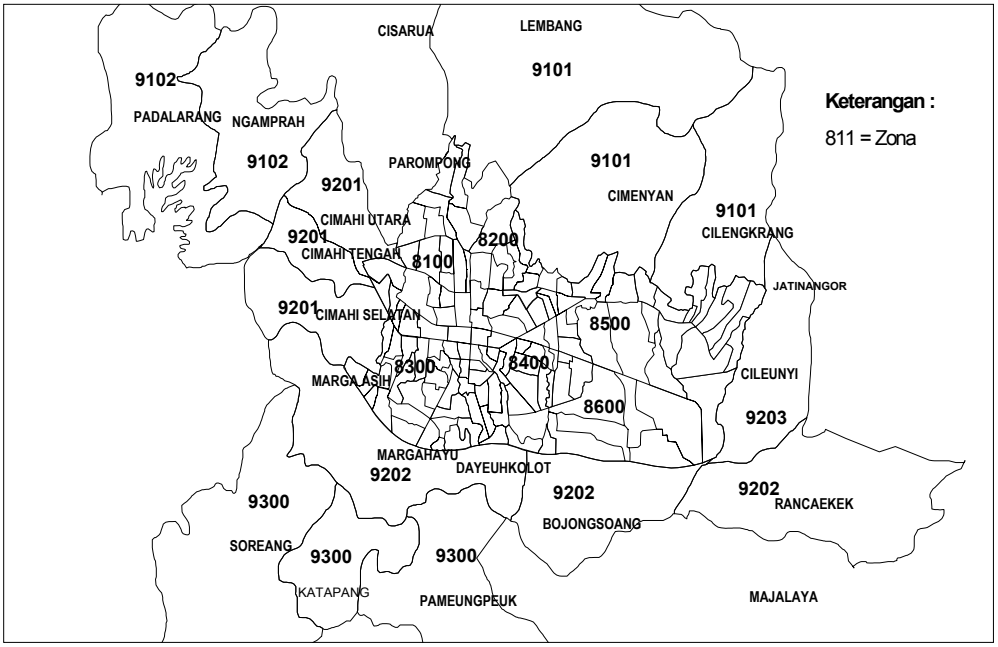
- keseragaman tata guna lahan
- jaringan jalan yang ada dalam suatu zona terbatas
- lokasi zona berdekatan

Hasil pengolahan data resolusi sistem zona yang digunakan pada daerah kajian ini dapat dilihat pada tabel 8.5 dan gambar 8.13.

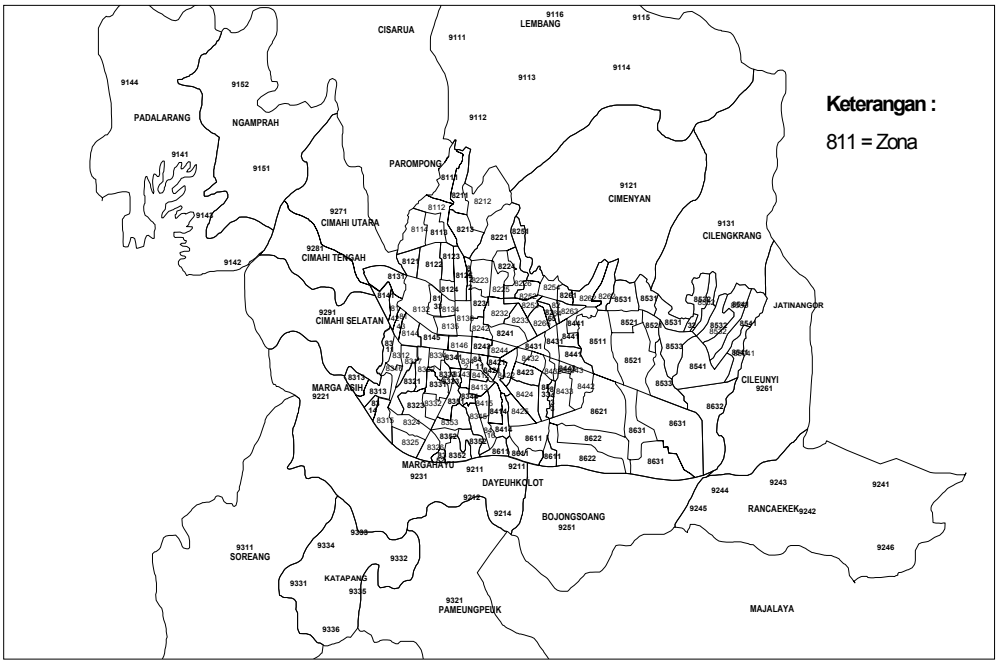
Tabel 8.5 Jumlah zona yang digunakan pada daerah kajian berdasarkan perubahan sistem zona.

No	Pembagian zona berdasarkan	Jumlah zona			Total
		Kotamadya Bandung	Kabupaten Bandung	Eksternal	
1	Kelurahan	100	39	6	145
2	Gabungan kelurahan	50	39	6	95
3	Kecamatan	26	17	6	49
4	Wilayah	6	6	6	18

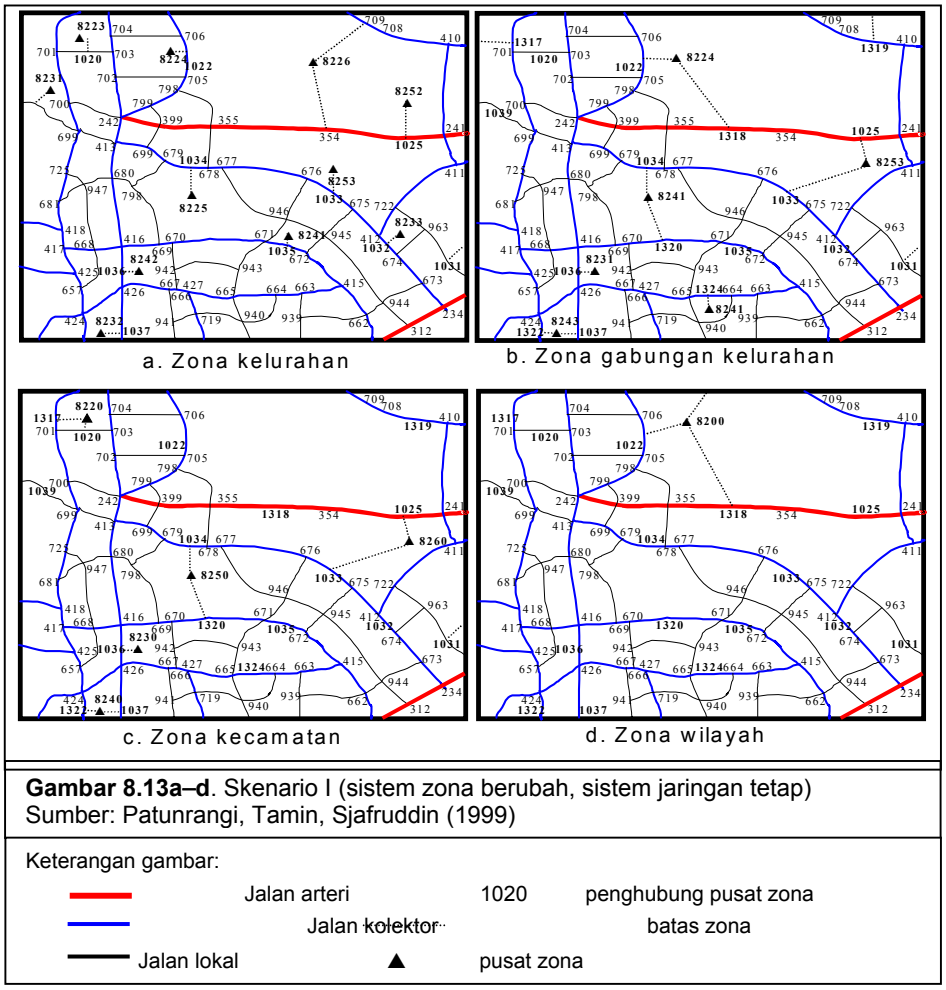
Sumber: Patunrangi, Tamin, Sjafruddin (1999)



Gambar 8.11 Resolusi sistem zona berdasarkan wilayah (Z_1)
Sumber: Patunrangi, Tamin, Sjafruddin (1999)



Gambar 8.12 Resolusi sistem zona berdasarkan kelurahan (Z_4)
Sumber: Patunrangi, Tamin, Sjafruddin (1999)



Gambar 8.13a–d. Skenario I (sistem zona berubah, sistem jaringan tetap)
Sumber: Patunrangi, Tamin, Sjafruddin (1999)

Keterangan gambar:

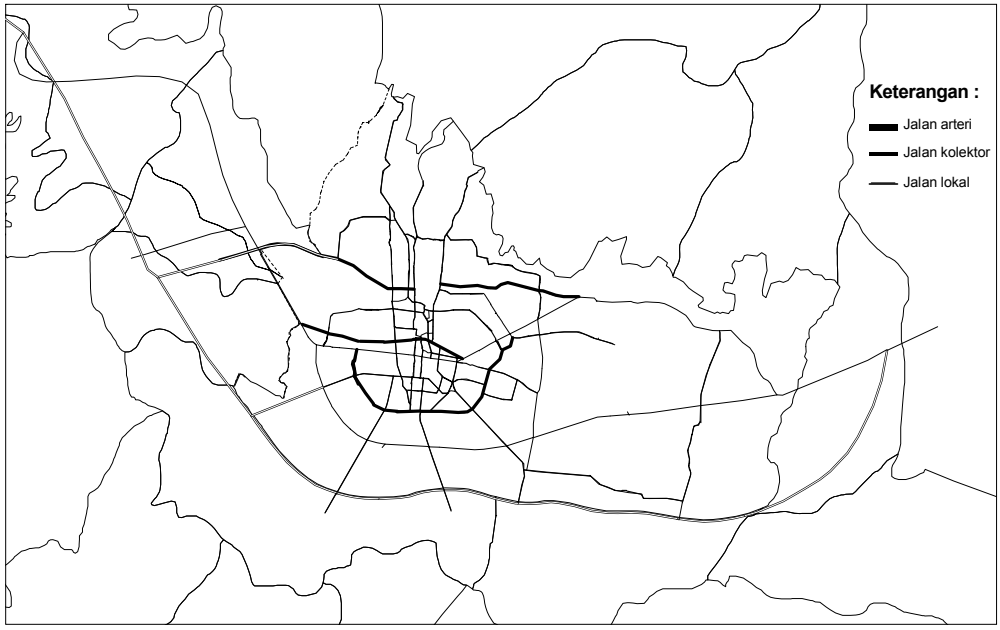
Jalan arteri		1020	penghubung pusat zona
Jalan ~~kolektor~~			batas zona
Jalan lokal		▲	pusat zona

b **Sistem jaringan** Jaringan jalan di Kotamadya Bandung dan sekitarnya merupakan prasana yang sangat menunjang dalam melakukan aktifitas sehari-hari. Sesuai dengan fungsinya, sistem jaringan jalan dibagi atas 3 kelompok yaitu jalan arteri, jalan kolektor, dan jalan lokal. Dalam kajian ini, sistem jaringan jalan dibagi berdasarkan skenario pada tabel 8.6 berikut. Untuk lebih rinci, resolusi sistem jaringan berdasarkan arteri + sebagian kolektor (J_1) dan arteri + kolektor + lokal (J_4) dapat dilihat pada gambar 8.14–8.15.

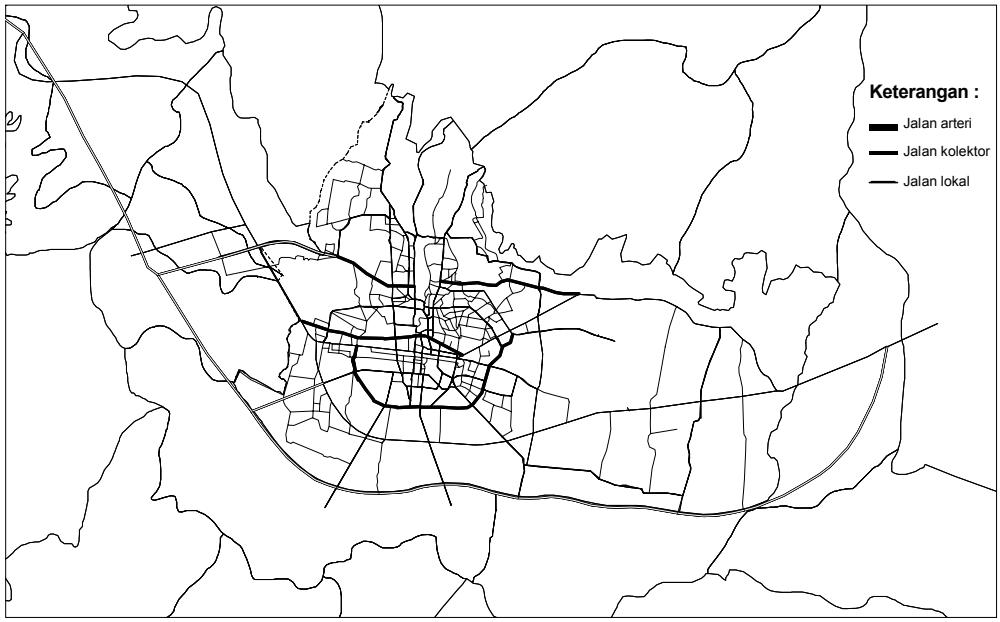
Tabel 8.6 Sistem pembagian jaringan berdasarkan skenario

No	Jaringan jalan berdasarkan	Notasi
1	Arteri + Kolektor + Lokal	J_4
2	Arteri + Kolektor + sebagian Lokal	J_3
3	Arteri + Kolektor	J_2
4	Arteri + sebagian Kolektor	J_1

Sumber: Patunrangi, Tamin, Sjafruddin (1999)



Gambar 8.14 Resolusi sistem jaringan berdasarkan arteri + sebagian kolektor (J_1)
Sumber: Patunrangi, Tamin, Sjafruddin (1999)



Gambar 8.15 Resolusi sistem jaringan berdasarkan arteri + kolektor + lokal (J_4)
Sumber: Patunrangi, Tamin, Sjafruddin (1999)

c **Gabungan sistem zona dan jaringan** Analisis dilakukan berdasarkan 3 (tiga) skenario yang dikembangkan dari berbagai sistem pembagian zona dan jaringan jalan seperti tabel 8.7 berikut.

Tabel 8.7a Skenario I (sistem zona tetap, sistem jaringan berubah)

No	Sistem jaringan berubah	Sistem zona tetap	Kombinasi
1	J_4	Z_4	$J_4 Z_4$
2	J_3	Z_4	$J_3 Z_4$
3	J_2	Z_4	$J_2 Z_4$
4	J_1	Z_4	$J_1 Z_4$

Tabel 8.7b Skenario II (sistem zona tetap, berubah, sistem jaringan tetap)

No	Sistem jaringan tetap	Sistem zona berubah	Kombinasi
1	J_4	Z_4	$J_4 Z_4$
2	J_4	Z_3	$J_4 Z_3$
3	J_4	Z_2	$J_4 Z_2$
4	J_4	Z_1	$J_4 Z_1$

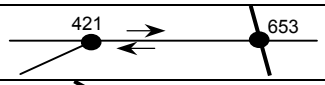
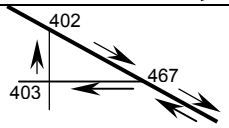
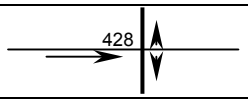
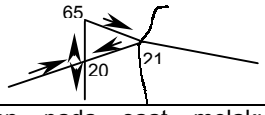
Tabel 8.7c Skenario III (sistem zona dan jaringan berubah)

No	Kombinasi	No	Kombinasi
1	$Z_1 \times J_1$	9	$Z_1 \times J_3$
2	$Z_2 \times J_1$	10	$Z_2 \times J_3$
3	$Z_3 \times J_1$	11	$Z_3 \times J_3$
4	$Z_4 \times J_1$	12	$Z_4 \times J_3$
5	$Z_1 \times J_2$	13	$Z_1 \times J_4$
6	$Z_2 \times J_2$	14	$Z_2 \times J_4$
7	$Z_3 \times J_2$	15	$Z_3 \times J_4$
8	$Z_4 \times J_2$	16	$Z_4 \times J_4$

Sumber: Patunrangi, Tamin, Sjafruddin (1999)

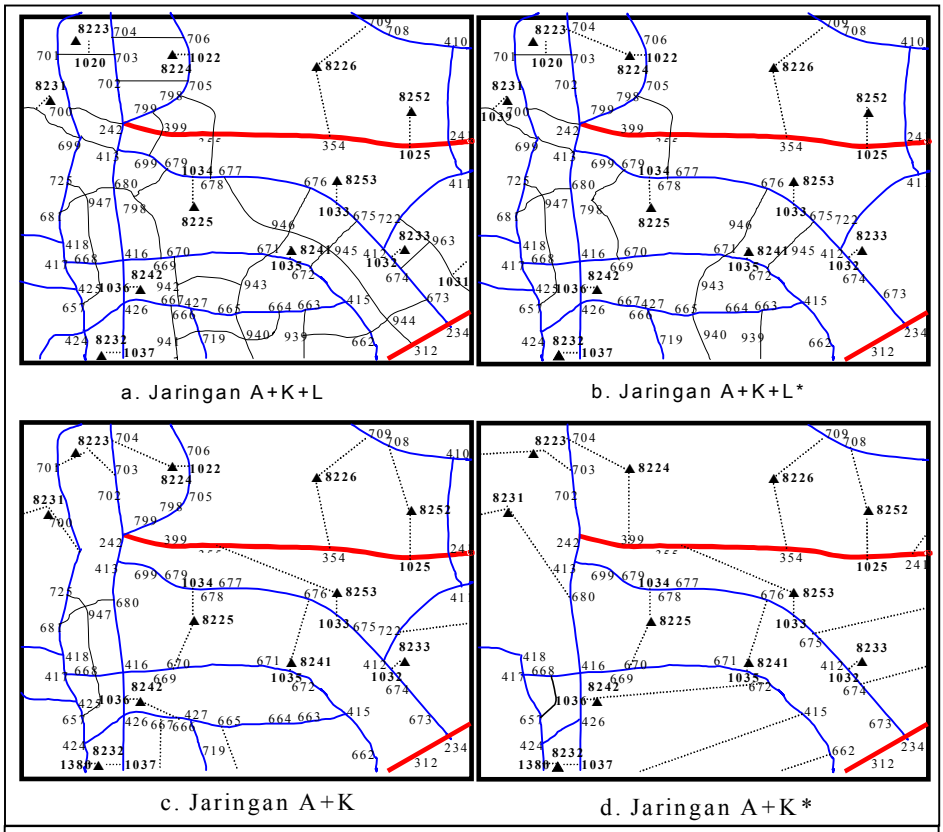
Pangkalan data untuk sistem zona dan jaringan terhalus (Z_4J_4) akan dijadikan sebagai acuan dalam melakukan perubahan sistem zona dan sistem jaringan berdasarkan skenario yang telah ditetapkan.

d **Resolusi sistem jaringan** Resolusi sistem jaringan yang digunakan pada skenario II dan III dilakukan terhadap sistem zona dan jaringan terhalus (Z_4J_4). Pelepasan jaringan dilakukan secara bertahap dengan memperhatikan hierarki jaringan jalan yaitu jalan arteri, kolektor, dan lokal. Dalam melakukan pelepasan jaringan, terdapat beberapa hal tertentu yang harus diperhatikan seperti yang terlihat pada gambar 8.16.

No	Alasan	Sketsa
1	Ruas tersebut merupakan lokasi tempat pengambilan data volume arus lalulintas	
2	Bertemunya arus searah dan dua arah pada suatu titik simpul	
3	Berpisahnya arus searah pada satu titik simpul yang berasal dari arus searah	
4	Bertemunya arus searah pada satu titik simpul dimana arus tersebut akan berpencar	

Gambar 8.16 Hal khusus yang harus diperhatikan pada saat melakukan penyederhanaan sistem jaringan. Sumber: Patunrangi, Tamin, Sjafruddin (1999)

Terlihat bahwa terdapat ruas jalan yang harus dipertahankan sampai keseluruhan perubahan dilakukan tetapi terdapat juga ruas jalan yang pada tahap pelepasan jaringan hierarki tertentu telah dapat dihilangkan. Persyaratan tersebut digunakan sebagai acuan dalam melakukan pelepasan jaringan pada daerah kajian. Resolusi sistem jaringan pada skenario II dapat dilihat pada gambar 8.17 berikut.



Gambar 8.17a–d Skenario II (sistem zona tetap, sistem jaringan berubah
Sumber: Patunrangi, Tamin, Sjafruddin (1999)

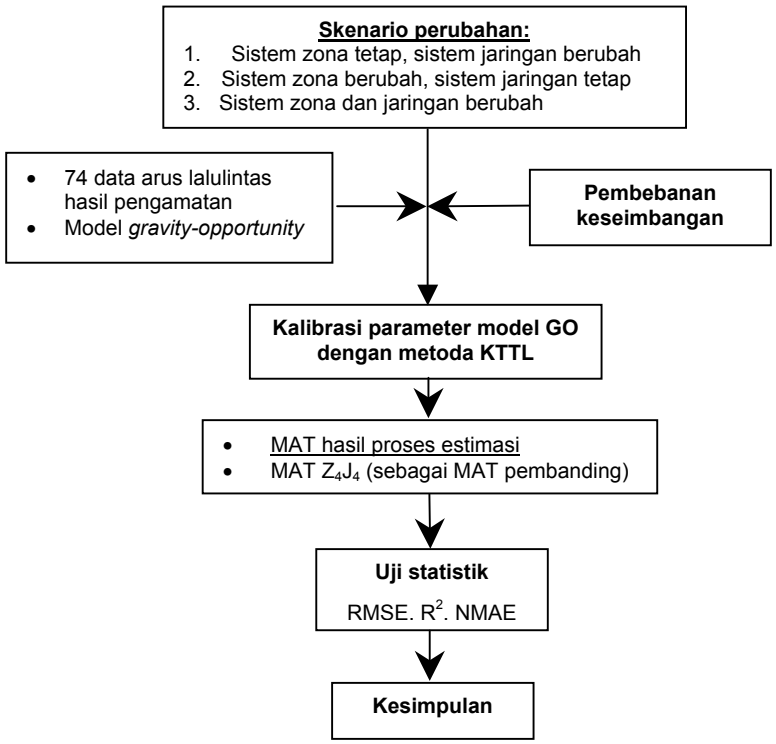
Keterangan gambar:
jalan arteri
jalan kolektor
1020 penghubung pusat zona
batas zona

8.18.3.3 Hasil analisis Analisis ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh yang ditimbulkan akibat adanya perubahan sistem zona dan jaringan di daerah kajian terhadap tingkat akurasi MAT yang dihasilkan dari data arus lalulintas. Dalam kajian ini, MAT akan dihasilkan dari informasi 74 buah data arus lalulintas hasil pengamatan dengan menggunakan pendekatan model kebutuhan akan transportasi. Analisis yang dilakukan dibagi dalam 3 tahap sebagai berikut:

- pengujian skenario I (sistem zona tetap, sistem jaringan berubah)
- pengujian skenario II (sistem zona berubah, sistem jaringan tetap)

- Pengujian skenario III (sistem zona dan jaringan berubah)

Bagan alir dari prosedur pengujian dapat dilihat seperti gambar 8.18.



Gambar 8.18 Diagram alir pengujian berdasarkan informasi data arus lalulintas
Sumber: Patunrangi, Tamin, Sjafruddin (1999)

a **Penerapan model dan kalibrasi parameter** Tahap awal yang dilakukan dalam penggunaan model *gravity-opportunity* (GO) adalah menentukan parameter ε dan μ. Parameter tersebut harus ditetapkan terlebih dahulu sebelum melakukan penaksiran terhadap parameter lainnya. Dengan menetapkan beberapa variasi kombinasi nilai ε=0–1,0 dan μ=0–1,0 dengan interval 0,1; setiap kombinasi akan menghasilkan nilai fungsi tujuan **S**.

Dari hasil uji yang dilakukan terhadap (ε, μ, dan **S**) maka nilai minimum S terjadi pada titik ε=1,0 dan μ=0. Nilai ε dan μ tersebut kemudian digunakan selanjutnya untuk menghitung nilai parameter lainnya yang belum diketahui (α dan β) dengan menggunakan metoda penaksiran Kuadrat-Terkecil-Tidak-Linear (KTTL). Nilai parameter yang didapat akan digunakan selanjutnya untuk menaksir MAT dengan menggunakan model GO.

Hasil nilai ε=1,0 dan μ=0 menunjukkan bahwa pada titik tersebut model GO akan menghasilkan MAT yang paling mendekati MAT hasil observasi. Selain itu, nilai tersebut menunjukkan bahwa pergerakan kendaraan pada daerah kajian memberikan bobot yang lebih besar pada komponen *opportunity* dibandingkan dengan komponen *gravity*.

Hal ini dapat dijelaskan sebagai berikut. Data yang digunakan adalah data hasil survei antara jam 7.00–8.00 pagi sehingga pergerakan pada saat itu sebagian besar adalah pergerakan untuk tujuan bekerja. Untuk pergerakan untuk tujuan bekerja di daerah perkotaan, efek *opportunity* diperkirakan lebih dominan dibandingkan dengan efek *gravity* (biaya).

Hal ini disebabkan karena semakin bergesernya daerah perumahan ke daerah pinggiran kota sedangkan lokasi pekerjaan tetap berada di pusat kota (terdapat kecenderungan semakin besarnya rata-rata jarak antara tempat tinggal dengan tempat bekerja). Dengan kata lain, seseorang dengan tujuan bekerja akan melakukan pergerakan ke tempat bekerja (efek *opportunity*) tanpa memperhatikan berapa besar biaya yang dibutuhkan ke tempat bekerja tersebut (efek *gravity*).

b **Pengujian skenario I (sistem zona tetap, sistem jaringan berubah)** Uji ini dilakukan untuk mengetahui berapa besar pengaruh yang ditimbulkan akibat adanya perubahan sistem jaringan terhadap tingkat akurasi MAT hasil penaksiran dari data arus lalulintas dengan menggunakan pendekatan model GO. Kuantifikasi yang digunakan untuk melihat perubahan sistem jaringan pada uji skenario I terlihat pada tabel 8.8. Uji ini dilakukan dengan menggunakan 3 indikator uji statistik RMSE, R^2, dan NMAE seperti terlihat pada tabel 8.9, sedangkan hasil uji dengan indikator RMSE dan NMAE dapat dilihat pada gambar 8.19.

Tabel 8.8 Kuantifikasi perubahan sistem jaringan skenario I

No	Kuantifikasi perubahan jaringan		
	Panjang x Kapasitas (smp.km/jam)	Panjang/Luas daerah (Km/Km^2)	PanjangxKapasitas/Luas daerah (smp.km/jam)/Km^2
1	2.137.948	1,718	4.922,726
2	1.974.517	1,574	4.546,419
3	1.778.676	1,479	4.095,486
4	1.704.089	1,453	3.923,745

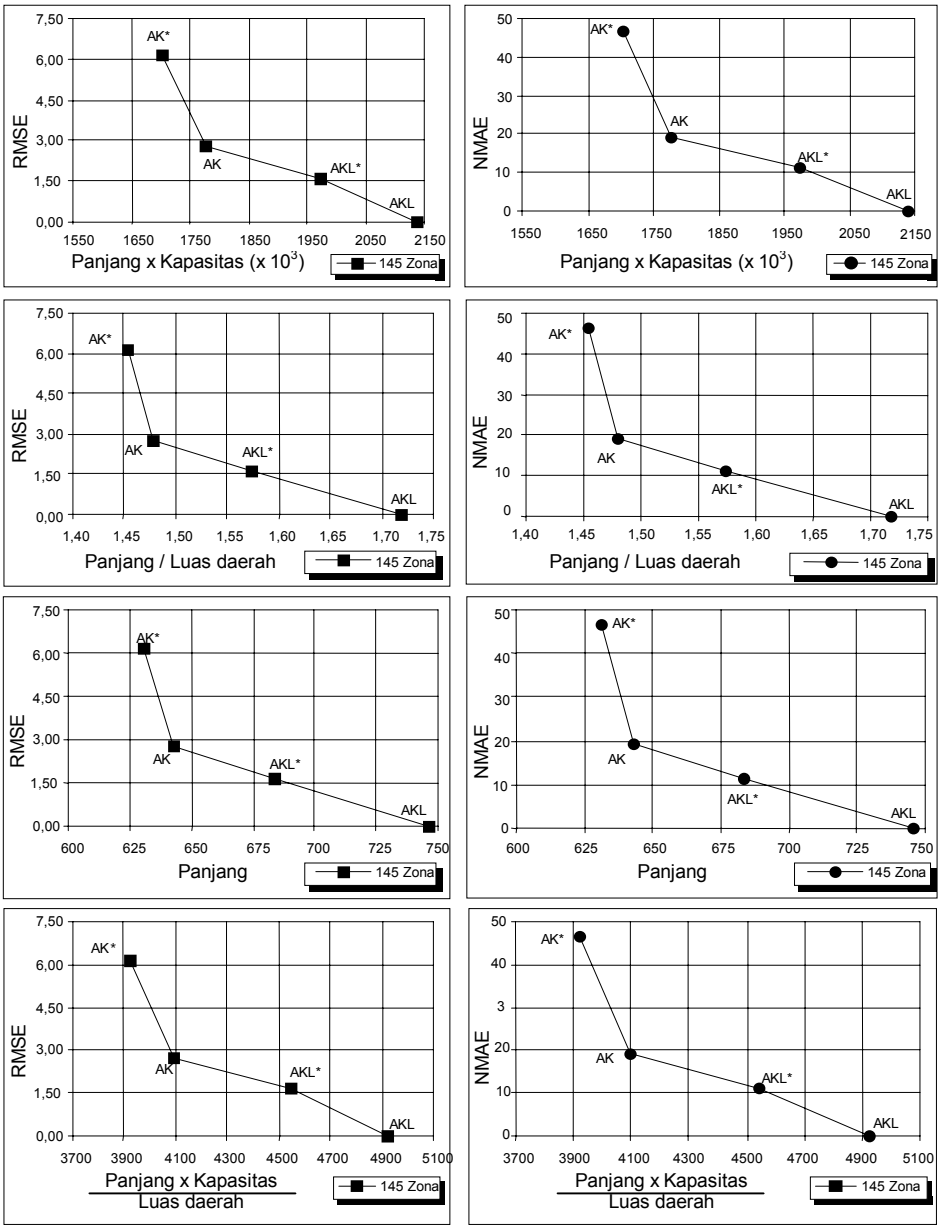
Sumber: Patunrangi, Tamin, Sjafruddin (1999)

Tabel 8.9 Indikator uji statistik RMSE dan NMAE perbandingan antara MAT terhalus ($J_4 Z_4$) terhadap MAT ($J_3 Z_4 – J_1 Z_4$) dengan menggunakan 74 data arus lalulintas

No	Jenis pengujian	MAT-1	MAT-2	MAT-3	MAT-4
1	RMSE	0,0000	4,1898	4,9451	5,1741
2	R^2	1,0000	0,9874	0,,9642	0,8208
3	NMAE	0,0000	49,2628	64,4671	71,6649

Sumber: Patunrangi, Tamin, Sjafruddin (1999)

Dari tabel 8.9 dan gambar 8.19 terlihat bahwa tingkat kesalahan antara MAT terhalus (Z_4J_4) dengan MAT ($Z_4J_4 – Z_4J_1$) dengan indikator uji statistik RMSE menunjukkan perbedaan yang cukup signifikan. Hal ini mengindikasikan bahwa dampak perubahan sistem jaringan cukup signifikan terhadap tingkat akurasi MAT hasil penaksiran.



Gambar 8.19 Uji statistik RMSE dan NMAE perbandingan antara MAT terhalus ($J_4\,Z_4$) terhadap MAT ($J_3\,Z_4$–$J_1\,Z_4$) akibat perubahan sistem jaringan
Sumber: Patunrangi, Tamin, Sjafruddin (1999)

Gambar 8.19 memperlihatkan bahwa perubahan sistem jaringan yang dilakukan pada skenario I memberikan MAT hasil penaksiran dengan tingkat kesalahan yang bervariasi seperti ditunjukkan oleh pertemuan titik-titik antara indikator uji statistik terhadap kuantifikasi dari perubahan sistem jaringan. Titik pertemuan antara RMSE terhadap kuantifikasi perubahan sistem jaringan mencapai titik optimum pada saat penggunaan jaringan AK. Hal ini ditunjukkan dengan adanya perbedaan hasil yang cukup besar dibandingkan dengan titik lainnya.

Penggunaan sistem jaringan AK merupakan pemodelan sistem jaringan optimum bagi daerah kajian yang dapat digunakan patokan bagi pelaksanaan pemodelan selanjutnya. Selain itu, perubahan sistem jaringan pada skenario I (AKL, AKL*, AK, AK*) seperti terlihat pada gambar 8.19 dengan jumlah zona tetap (145 buah) memperlihatkan tingkat kesalahan yang cukup besar terhadap MAT pembanding.

b **Pengujian skenario II (sistem zona berubah, sistem jaringan tetap)** Uji ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh perubahan sistem zona terhadap tingkat akurasi MAT hasil penaksiran dari data arus lalulintas dengan menggunakan pendekatan model GO. Kuantifikasi yang digunakan untuk melihat perubahan sistem zona pada uji skenario II terlihat pada tabel 8.10. Uji ini dilakukan dengan menggunakan 3 indikator uji statistik RMSE, R^2, dan NMAE seperti terlihat pada tabel 8.11, sedangkan hasil uji dengan indikator RMSE dan NMAE dapat dilihat pada gambar 8.20.

Tabel 8.10 Kuantifikasi yang digunakan untuk menggambarkan perubahan sistem zona skenario II (sistem zona berubah, sistem jaringan tetap)

No	Kuantifikasi perubahan sistem zona		
	Jumlah zona (buah)	Jumlah penghubung pusat zona (buah)	Jumlah zona x penghubung pusat zona
1	145	188	27.260
2	95	152	14.440
3	49	99	4.851
4	18	41	738

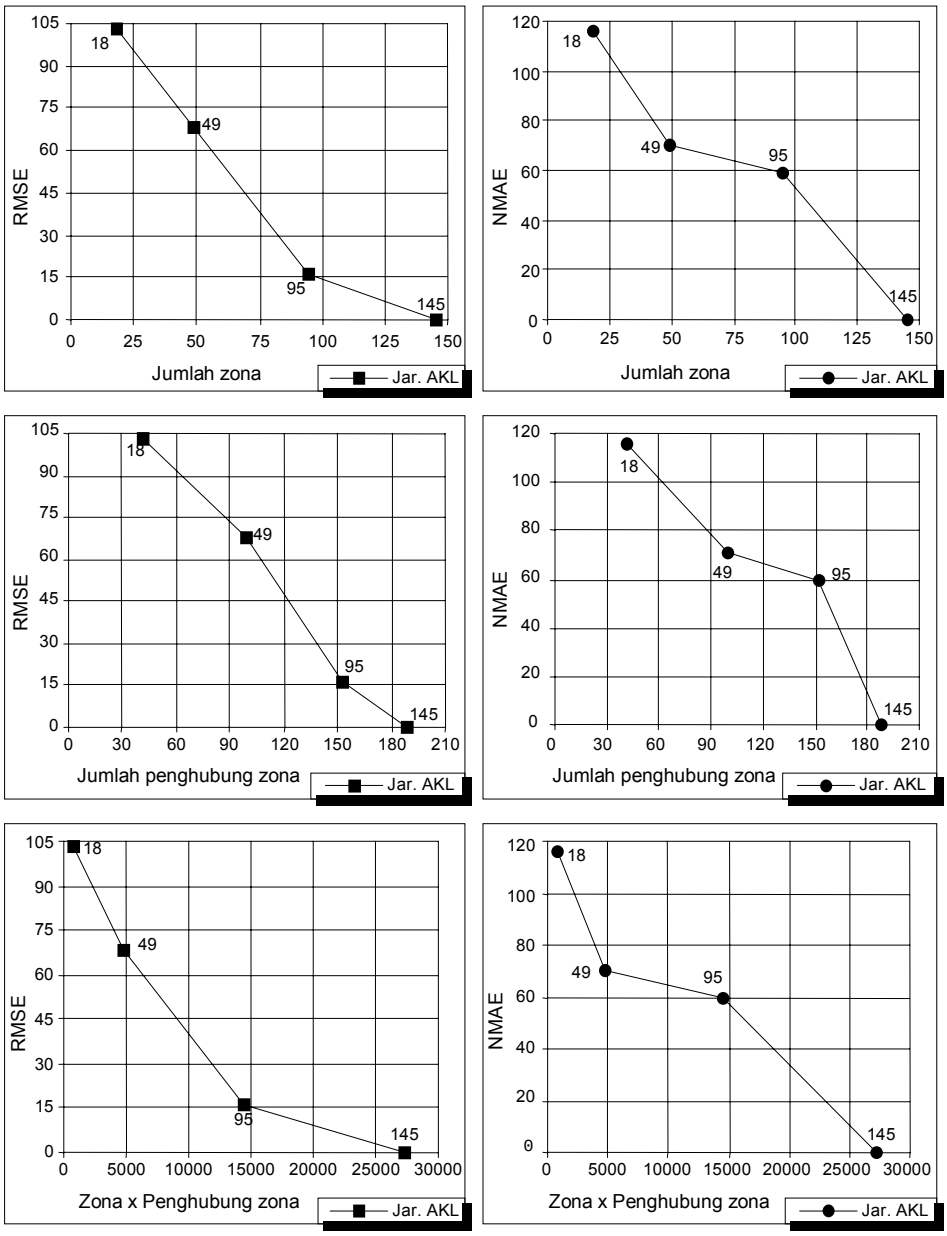
Sumber: Patunrangi, Tamin, Sjafruddin (1999)

Tabel 8.11 Indikator uji statistik RMSE dan NMAE perbandingan antara MAT terhalus ($J_4 Z_4$) terhadap MAT ($J_4 Z_3$ s/d $J_4 Z_1$) dengan menggunakan 74 data arus lalulintas

No	Jenis pengujian	MAT-1	MAT-2	MAT-3	MAT-4
1	RMSE	0,0000	16,0154	68,2895	102,9655
2	R^2	1,0000	0,5056	0,2805	0,0167
3	NMAE	0,0000	59,4445	70,6668	115,7805

Sumber: Patunrangi, Tamin, Sjafruddin (1999)

Dari tabel 8.11 dan gambar 8.20 terlihat bahwa perubahan jumlah zona, jumlah penghubung pusat zona, dan perkalian antara jumlah zona x penghubung pusat zona terhadap tingkat kesalahan dengan uji statistik RMSE meningkat seiring dengan berkurangnya kuantifikasi perubahan sistem zona yang dilakukan. Hasil uji ini menunjukkan bahwa nilai RMSE dan R^2 yang didapat dengan menggunakan model GO semakin besar bersamaan dengan berkurangnya jumlah zona yang digunakan pada daerah kajian. Hasil ini menggambarkan bahwa perubahan jumlah zona sangat berpengaruh terhadap tingkat akurasi MAT yang dihasilkan. Jika hal ini dibandingkan dengan hasil skenario I (sistem zona tetap, sistem jaringan berubah), lihat gambar 8.19, ternyata dapat disimpulkan bahwa perubahan sistem zona mempunyai dampak yang lebih besar terhadap akurasi MAT hasil penaksiran dibandingkan dengan perubahan sistem jaringan.



Gambar 8.20 Uji statistik RMSE dan NMAE perbandingan antara MAT terhalus ($J_4 Z_4$) terhadap MAT ($J_4 Z_3 - J_4 Z_1$) akibat perubahan sistem zona
Sumber: Patunrangi, Tamin, Sjafruddin (1999)

Hasil uji statistik RMSE pada tabel 8.11 yang diperlihatkan pada gambar 8.20 menunjukkan bahwa perubahan jumlah zona pada daerah kajian sangat berpengaruh besar terhadap tingkat akurasi MAT. Hal ini dapat dilihat dari tingkat kesalahan yang semakin meningkat seiring dengan berkurangnya jumlah zona yang digunakan pada daerah kajian. Tingkat kesalahan ini dimungkinkan karena pergerakan intrazona pada MAT pembanding semakin membesar dengan berkurangnya jumlah zona yang digunakan.

Gambar 8.20 memperlihatkan bahwa perubahan sistem zona yang dilakukan pada skenario II memberikan MAT hasil penaksiran dengan tingkat kesalahan yang bervariasi seperti ditunjukkan oleh pertemuan titik-titik antara indikator uji statistik terhadap kuantifikasi dari perubahan sistem zona. Titik pertemuan antara RMSE terhadap kuantifikasi perubahan sistem jaringan mencapai titik optimum pada saat perubahan dari sistem 95 zona ke 49 zona. Hal ini ditunjukkan dengan adanya perbedaan hasil yang cukup besar dibandingkan dengan titik lainnya. Penggunaan sistem 95 zona merupakan pemodelan sistem zona optimum bagi daerah kajian yang dapat digunakan patokan bagi pelaksanaan pemodelan selanjutnya.

c **Pengujian skenario III (sistem zona dan jaringan berubah)** Pengujian ini dilakukan untuk melihat pengaruh yang ditimbulkan akibat adanya perubahan sistem zona dan jaringan pada daerah kajian. Data kuantifikasi untuk menggambarkan pengaruh perubahan sistem zona dan jaringan terlihat pada tabel 8.12; sedangkan hasil uji statistik dapat dilihat pada tabel 8.13.

Tabel 8.12 Kuantifikasi yang digunakan untuk menggambarkan perubahan sistem zona dan sistem jaringan skenario III (sistem zona dan sistem jaringan berubah)

No	Perubahan sistem jaringan dan zona	Jumlah zona (buah)	(smp.km/jam)	Kuantifikasi perubahan sistem zona dan jaringan	
				Panjang x Kapasitas x Jumlah zona (smp.km/jam)	{(Panjang x Kapasitas)/ (Luas total)} xJumlah zona (smp.km/jam)/km^2
Jaringan A+K+L					
1	Kelurahan	145	2.137.948	310.002.388	713.795
	Gab.kelurahan	95	2.137.948	203.105.013	467.659
	Kecamatan	49	2.137.948	104.759.428	241.214
	Wilayah	18	2.137.948	38.483.055	88.609
Jaringan A+K+L*					
2	Kelurahan	145	1.974.517	286.304.936	659.231
	Gab.kelurahan	95	1.974.517	187.579.096	431.910
	Kecamatan	49	1.974.517	96.751.323	222.775
	Wilayah	18	1.974.517	35.541.302	81.836
Jaringan A+K					
3	Kelurahan	145	1.778.676	257.907.991	593.845
	Gab.kelurahan	95	1.778.676	168.974.201	389.071
	Kecamatan	49	1.778.676	87.155.114	200.679
	Wilayah	18	1.778.676	32.016.164	73.719
Jaringan A+K*					
4	Kelurahan	145	1.704.089	247.092.833	568.943
	Gab.kelurahan	95	1.704.089	161.888.408	372.756
	Kecamatan	49	1.704.089	83.500.337	192.263
	Wilayah	18	1.704.089	30.673.593	70.627

Sumber: Patunrangi, Tamin, Sjafruddin (1999)

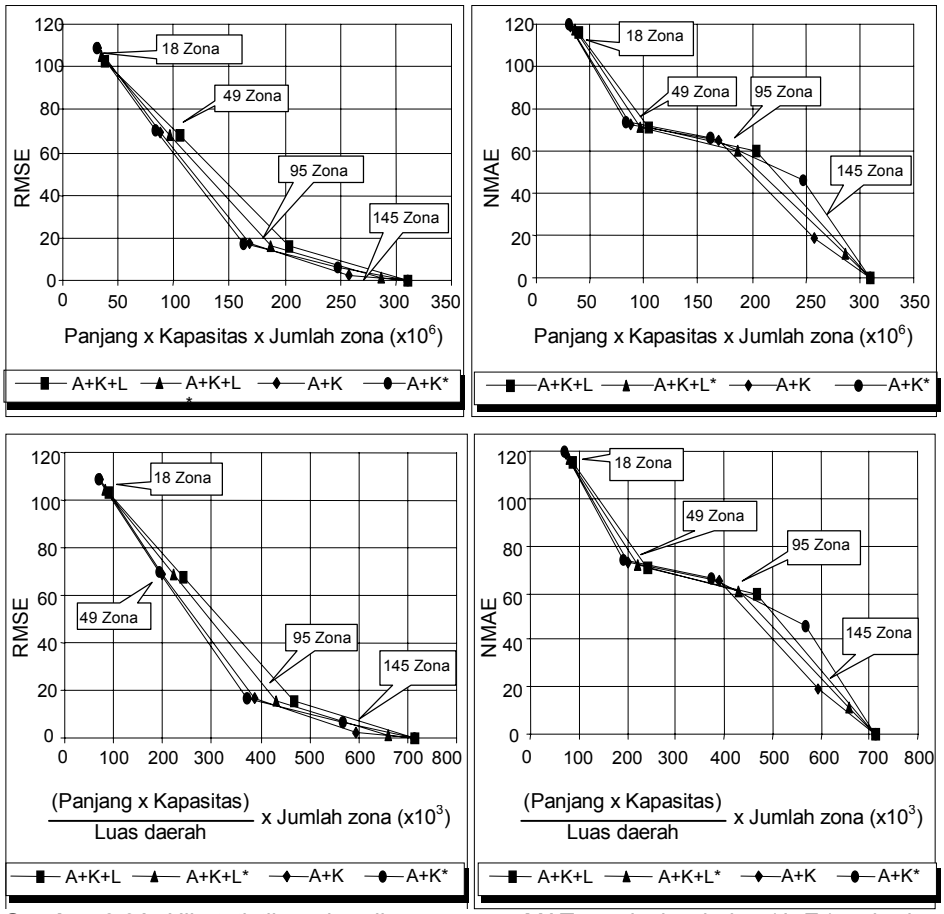
Tabel 8.13 Indikator uji statistik perbandingan antara MAT terhalus (J_4Z_4) terhadap MAT setelah perubahan sistem zona dan jaringan

No	Perubahan		Indikator pengujian		
	Jaringan	Zona	RMSE	R^2	NMAE
A+K+L					
1	**Kelurahan**	145	Sebagai Pembanding (Z_4J_4)		
	Gabungan kelurahan	95	16,0154	0,5056	59,4445
	Kecamatan	49	68,2895	0,2805	70,6668
	Wilayah	18	102,9655	0,0167	115,7805
A+K+L*					
2	**Kelurahan**	145	1,6296	0,9874	11,3285
	Gabungan kelurahan	95	16,0649	0,5026	60,2072
	Kecamatan	49	68,9097	0,2748	71,3542
	Wilayah	18	104,6629	0,0122	117,0648
A+K					
3	**Kelurahan**	145	2,7529	0,9642	19,1883
	Gabungan kelurahan	95	16,7717	0,4578	64,5732
	Kecamatan	49	69,0859	0,2635	72,5668
	Wilayah	18	108,7215	0,0059	119,2671
A+K*					
4	**Kelurahan**	145	6,1573	0,8208	46,5160
	Gabungan kelurahan	95	17,0046	0,4074	66,0428
	Kecamatan	49	69,9809	0,2445	73,9892
	Wilayah	18	109,7215	0,0041	119,9865

Sumber: Patunrangi, Tamin, Sjafruddin (1999)

Tabel 8.13 menunjukkan nilai uji statistik dengan melakukan perbandingan antara MAT terhalus (J_4Z_4) terhadap MAT hasil penaksiran (MAT 2−16) dari data arus lalulintas dengan menggunakan pendekatan model GO. Hasil uji dari skenario III (perubahan sistem zona dan jaringan) terlihat pada gambar 8.21.

Hipotesa awal tentang perubahan sistem zona dan jaringan pada skenario III adalah semakin sedikit jumlah zona yang diikuti dengan pengurangan jumlah jaringan akan menghasilkan MAT hasil penaksiran yang semakin tidak akurat. Tingkat kesalahan yang besar pada skenario III terjadi karena pergerakan intrazona cukup besar pada MAT pembanding. Hal ini terlihat pada tabel 8.13 dari indikator uji statistik RMSE, R^2, dan NMAE yang memperlihatkan tingkat kesalahan yang semakin besar seiring dengan pengurangan jumlah zona dan jaringan jalan pada daerah kajian. Hal ini juga dapat dibuktikan dari hasil yang diperlihatkan gambar 8.21. Terlihat bahwa pengurangan jumlah zona dan pengurangan aksesibilitas pergerakan akibat perubahan sistem jaringan akan mencapai titik optimum pada saat zona berjumlah 95 buah untuk setiap sistem jaringan yang digunakan.



Gambar 8.21 Uji statistik perbandingan antara MAT resolusi terhalus (J_4 Z_4) terhadap MAT (1–16) akibat perubahan sistem zona dan jaringan.
Sumber: Patunrangi, Tamin, Sjafruddin (1999)

Gambar 8.21 memperlihatkan bahwa perubahan sistem zona dan jaringan yang dilakukan pada skenario III memberikan MAT hasil penaksiran dengan tingkat kesalahan yang bervariasi seperti ditunjukkan oleh pertemuan titik-titik antara indikator uji statistik terhadap kuantifikasi dari perubahan sistem zona dan jaringan. Titik pertemuan antara RMSE terhadap kuantifikasi perubahan sistem zona dan jaringan mencapai titik optimum pada saat perubahan dari sistem 95 zona ke 49 zona.

Hal ini ditunjukkan dengan adanya perbedaan hasil yang cukup besar dibandingkan dengan titik lainnya. Sekali lagi dapat disimpulkan bahwa penggunaan sistem 95 zona merupakan pemodelan sistem zona optimum bagi daerah kajian yang dapat digunakan patokan bagi pelaksanaan pemodelan selanjutnya. Keuntungan utama dari temuan ini adalah adanya efisiensi dari sisi biaya dan waktu pengumpulan data serta efisiensi biaya dan waktu analisis dan pengolahan data. Hal penting lainnya yang dapat disimpulkan dari gambar 8.21 adalah dampak perubahan sistem zona mempunyai pengaruh yang lebih besar dibandingkan dari perubahan sistem jaringan terhadap akurasi MAT hasil penaksiran.

8.18.3.4 Kesimpulan Kajian yang dilakukan bertujuan untuk melihat dampak perubahan resolusi sistem zona dan jaringan terhadap akurasi MAT hasil penaksiran seperti dinyatakan dalam skenario (I–III) dengan menggunakan 74 buah data arus lalulintas di Kotamadya dan Kabupaten Bandung. Metoda penaksiran model transportasi menggunakan model *gravity-opportunity* (GO) sebagai usaha memodel perilaku pergerakan yang terjadi pada daerah kajian, sedangkan untuk mengkalibrasi parameter model digunakan metoda Kuadrat-Terkecil-Tidak-Linear (KTTL). Dari hasil uji skenario I–III dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

a Hasil uji statistik pada skenario I menunjukkan bahwa dampak perubahan sistem jaringan pada daerah kajian cukup signifikan terhadap tingkat akurasi MAT hasil penaksiran. Hal ini diperlihatkan pada gambar 8.19 di mana terdapat perubahan nilai uji statistik RMSE seiring dengan perubahan sistem jaringan.

b Hasil uji statistik RMSE terhadap skenario II seperti terlihat pada tabel 8.11 dan gambar 8.20 memperlihatkan adanya dampak perubahan sistem zona yang sangat signifikan terhadap tingkat akurasi MAT hasil penaksiran. Hal ini terlihat dari meningkatnya nilai uji statistik RMSE seiring dengan berkurangnya jumlah zona yang digunakan pada daerah kajian.

c Tingkat kesalahan yang besar pada saat melakukan perubahan sistem zona seperti pada tabel 8.11 dan gambar 8.20 menunjukkan bahwa perubahan sistem zona memberikan dampak yang jauh lebih besar terhadap tingkat akurasi MAT hasil penaksiran dibandingkan dengan perubahan sistem jaringan. Tingkat kesalahan ini disebabkan karena cukup besarnya pergerakan intrazona yang terbentuk pada saat perubahan jumlah zona.

d Hasil uji skenario III seperti terlihat pada gambar 8.21 menunjukkan bahwa dampak perubahan sistem zona dan jaringan terhadap tingkat akurasi MAT hasil penaksiran sangat signifikan. Hal ini diperlihatkan dari hasil uji yang dilakukan di mana semakin berkurang jumlah zona dan jaringan pada daerah kajian maka semain besar tingkat kesalahan yang terjadi. Tingkat kesalahan yang besar pada skenario III ini disebabkan karena besarnya pergerakan intrazona yang terjadi pada MAT pembanding.

e Hasil analisis dari ketiga skenario menghasilkan MAT optimum untuk setiap skenario adalah:

- Skenario I (perubahan sistem zona), MAT optimum terjadi pada sistem 95 zona atau zona gabungan kelurahan.
- Skenario II (perubahan sistem jaringan), MAT optimum terjadi pada sistem jaringan AK (arteri + kolektor).
- Skenario III (perubahan sistem zona dan jaringan), MAT optimum terjadi pada sistem 95 zona atau zona gabungan kelurahan dengan sistem jaringan AK (arteri + kolektor).

Hasil pengujian perubahan sistem zona dan jaringan optimum dapat digunakan sebagai dasar untuk melakukan pemodelan di daerah kajian karena kebutuhan informasi mengenai sistem zona maupun jaringan jauh semakin berkurang sehingga waktu pengolahan datapun menjadi lebih singkat.

Berdasarkan hasil kajian yang telah dilakukan, beberapa saran perlu dilakukan sebagai langkah pengembangan lanjut dalam upaya lebih meningkatkan kualitas kajian. Adapun saran tersebut adalah sebagai berikut:

- Semakin banyak jumlah data yang digunakan maka semakin akurat MAT yang akan dihasilkan untuk setiap skenario perubahan sistem zona dan jaringan. Ruas jalan yang akan disurvai data arus lalulintasnya adalah ruas jalan yang banyak digunakan oleh setiap pasangan zona asal-tujuan.
- Untuk kajian lanjut, pembagian sistem zona dapat dilakukan berdasarkan tata guna tanah seperti permukiman, industri, perdagangan, dan perkantoran sehingga pola pergerakan yang terjadi pada setiap zona dapat lebih diketahui sehingga sistem penanganan sistem jaringan jalan dapat lebih optimal.

8.18.4 Pemodelan kebutuhan akan angkutan umum di Jakarta

Jakarta sebagai ibukota Republik Indonesia pada tahun 1996 telah menghadapi permasalahan transportasi, khususnya kemacetan karena sistem angkutan umum yang tidak efisien. Terdapat dua jenis angkutan umum, yaitu bus PPD yang dikelola lembaga pemerintah dan beberapa jenis angkutan umum lain yang dikelola pihak swasta. Penelitian ini lebih menekankan analisis kebutuhan akan bus umum karena bus mempunyai rute lebih banyak dan melayani daerah yang lebih luas dibandingkan dengan angkutan umum lain (mikrobus, mikrolet).

Di samping itu, bus umum memberikan kontribusi lebih banyak terhadap pemecahan masalah kemacetan di kota Jakarta dibandingkan dengan angkutan umum lain, terutama dari segi kapasitas. Karena itu, dua buah moda dipertimbangkan dalam **Tamin** (**1995b**), yaitu moda angkutan pribadi dan moda angkutan bus umum.

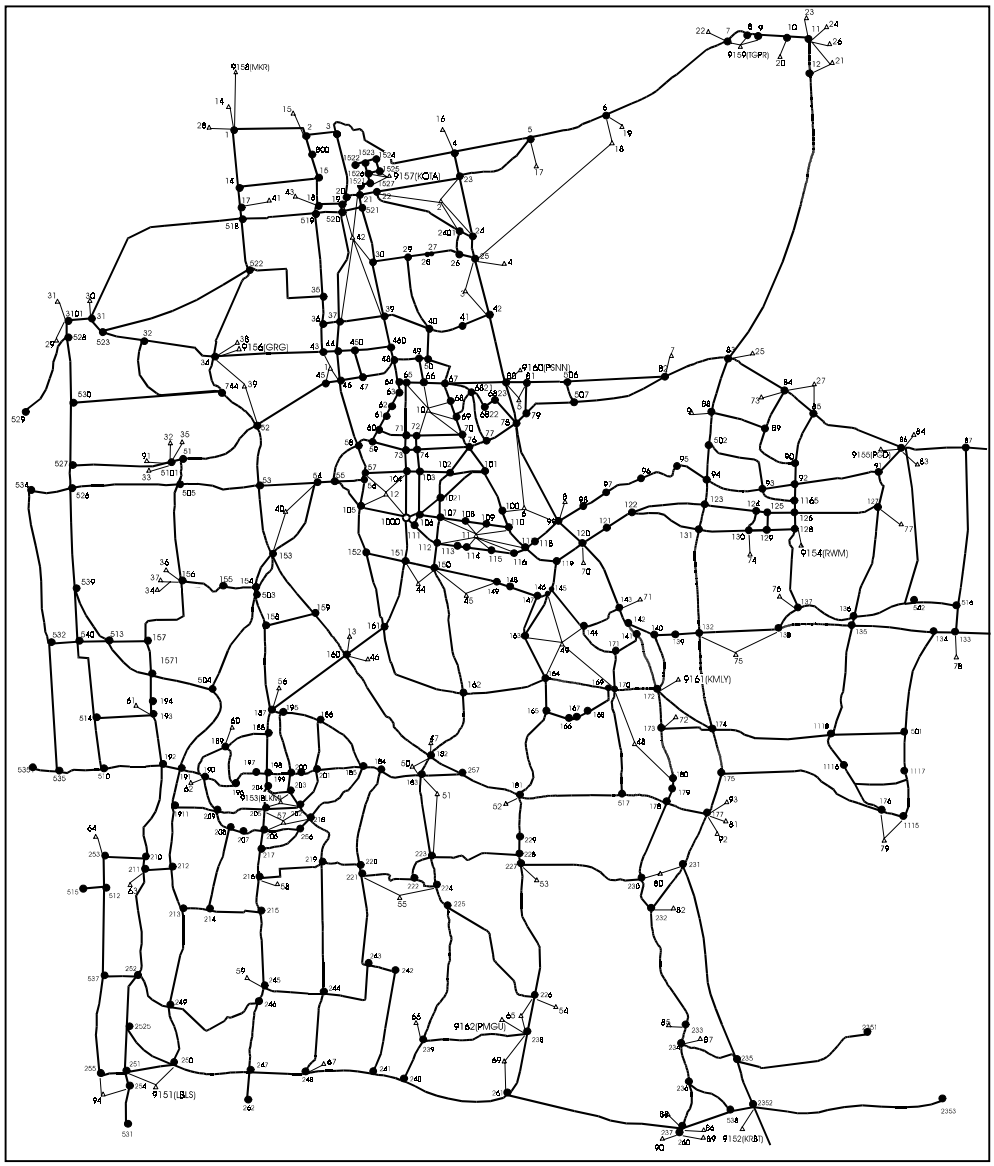
Pemerintah DKI-Jakarta dan beberapa departemen dan instansi terkait lainnya telah mulai melakukan langkah penanggulangan permasalahan transportasi ini. JUDP (*Jakarta Urban Development Project*) disertai beberapa instansi terkait lainnya, dalam hal ini DLLAJ, Bappeda dan Puslitbang Binamarga telah banyak melakukan survei dan kajian transportasi yang bertujuan mendapatkan data ataupun informasi penting untuk digunakan sebagai dasar perencanaan penelitian ini.

Beberapa data kota Jakarta yang digunakan dalam penelitian ini sebagian besar didapat dari hasil survei dan kajian tentang angkutan umum di kota Jakarta yang dilakukan oleh JUDP, Binamarga, DLLAJ, dan lain-lain pada tahun 1990. Data yang diperoleh adalah sebagai berikut.

- Deskripsi jaringan jalan yang meliputi jarak, kecepatan rencana, kapasitas jalan, kelas jalan, jalan satu atau dua arah.
- Data arus penumpang yang diperoleh dari beberapa ruas jalan dan rute angkutan umum di kota Jakarta.

- MAT baik untuk angkutan pribadi dan angkutan bus umum yang dikompilasi dari hasil survei wawancara di tepi jalan.

Dapat dilihat pada gambar 8.22, daerah kajian kota Jakarta dibagi menjadi 94 zona; 90 zona internal dan 4 zona eksternal. Jaringan jalannya terdiri dari 700 simpul dan 2.063 ruas jalan satu arah. Selain data jaringan jalan, juga diperoleh 332 data perhitungan arus penumpang ($\hat{V}_m^l$) yang dilakukan pada beberapa ruas jalan dan rute angkutan bus umum di kota Jakarta, dan informasi MAT [T_{id}^m] beserta (O_i^m dan D_d^m), baik untuk angkutan pribadi maupun angkutan umum.



Gambar 8.22 Deskripsi sistem jaringan jalan di DKI-Jakarta
Sumber: Tamin *et al* (1989), Tamin dan Antono (1992), Tamin (1990c), (1993b)

Tujuan penelitian adalah menaksir MAT pergerakan kendaraan di kota Jakarta tanpa mempertimbangkan adanya perbedaan jenis kendaraan (***m* = 1**). Satuan yang dipakai adalah sebagai berikut:

$\hat{V}_m^l$ = data arus penumpang yang dihitung pada ruas jalan tertentu untuk moda ***m*** (angkutan umum) dalam satuan orang per hari.

O_i^m , D_d^m = data bangkitan dan tarikan pergerakan untuk setiap moda ***m*** (pribadi dan angkutan umum) dalam orang per hari.

Beberapa kesimpulan yang dapat diambil berdasarkan hasil penelitian adalah sebagai berikut.

- Jumlah data arus penumpang yang diperlukan sekurang-kurangnya sama dengan jumlah parameter yang tidak diketahui. Pemakaian data yang lebih banyak dapat mempercepat proses penaksiran dan hasil MAT yang diperoleh dapat lebih tepat. Dari beberapa penelitian dan penerapan dapat disimpulkan bahwa jumlah data arus lalu lintas yang dibutuhkan adalah sekitar 25%–30% dari keseluruhan ruas jalan yang ada dalam jaringan jalan tersebut.
- Dalam proses penaksiran, permasalahan utama yang sering ditemukan adalah penggunaan metode Newton. Diperlukan nilai awal yang cukup baik dari parameter yang akan dikalibrasi untuk menjamin konvergensi prosedur penaksiran. Nilai awal yang baik dari suatu parameter adalah nilai yang berdekatan dengan nilai yang diinginkan. Oleh sebab itu, metode pendekatan perlu dikembangkan untuk mendapatkan nilai awal parameter yang baik.
- Model dapat digunakan untuk meramalkan dan mengevaluasi pengaruh perubahan harga karcis terhadap kebutuhan akan angkutan penumpang.
- Dengan mengetahui informasi penumpang yang menggunakan angkutan umum, bisa didapat MAT, baik untuk kendaraan pribadi maupun untuk angkutan umum.
- Penggunaan model transportasi yang lebih baik dapat menghasilkan MAT yang ketepatannya lebih tinggi. Tetapi, kerugiannya adalah waktu komputer yang lebih lama karena persoalan matematika yang lebih rumit.
- Teknik pembebanan rute *all-or-nothing* kurang realistis untuk digunakan dalam pemodelan pemilihan rute di kota Jakarta. Ini karena di beberapa ruas jalan, khususnya di persimpangan, kemacetan sangat sering dijumpai. Ini menunjukkan adanya hubungan erat antara kecepatan dan arus.
- Oleh sebab itu, teknik *all-or-nothing* yang mempunyai prinsip bahwa kecepatan pada suatu ruas jalan tidak dipengaruhi oleh besarnya arus lalu lintas yang melaluinya kurang realistis untuk digunakan. Teknik Burrell juga mempunyai prinsip yang sama dengan teknik *all-or-nothing*, tetapi lebih memudahkan pengendara memilih rute.
- Teknik pembebanan rute dengan batasan-kapasitas atau keseimbangan disarankan untuk dipakai untuk penelitian lebih lanjut. Ini karena di daerah

perkotaan besar, permasalahan kemacetan selalu ada sehingga teknik pembebanan rute seperti keseimbangan dipastikan dapat memodel pemilihan rute dengan lebih baik.

- Yang terpenting, penggunaan data arus lalu lintas dalam metode penaksiran model transportasi hanya menghasilkan MAT yang ketepatannya hanya sedikit lebih rendah jika dibandingkan dengan ketepatan MAT yang dihasilkan dengan menggunakan seluruh data survei MAT.
- Tingkat ketepatan MAT yang dihasilkan dengan metode penaksiran model transportasi tergantung pada beberapa faktor, yaitu:
  a model transportasi yang digunakan untuk mewakili perilaku pemakai jalan;
  b metode penaksiran yang digunakan untuk mengkalibrasi model SPPM dengan menggunakan data arus penumpang;
  c metode pembebanan rute yang digunakan untuk pemilihan rute;
  d galat perhitungan data arus penumpang;
  e tingkat pembagian zona dan definisi jaringan jalan. Informasi ini harus ditetapkan secara hati-hati pada tahap awal setiap perencanaan untuk mendapatkan tingkat ketepatan yang disyaratkan. Diperkirakan jaringan jalan dan sistem zona yang lebih rinci dapat menghasilkan MAT yang lebih tepat.

8.18.5 Pemodelan transportasi regional di propinsi Jawa Timur

8.18.5.1 Umum Masalah transportasi atau perhubungan merupakan masalah yang selalu dihadapi oleh negara yang telah maju dan juga oleh negara yang sedang berkembang seperti Indonesia, baik di bidang transportasi perkotaan maupun transportasi antarkota. Terciptanya suatu sistem transportasi atau perhubungan yang menjamin pergerakan manusia dan/atau barang secara lancar, aman, cepat, murah, dan nyaman merupakan tujuan pembangunan di sektor perhubungan (transportasi).

Di Indonesia yang berbentuk kepulauan dengan daerah yang sangat luas, sangat dirasakan kebutuhan akan sistem transportasi (perhubungan) yang efektif dalam arti murah, lancar, cepat, mudah teratur dan nyaman baik untuk pergerakan manusia dan/atau barang. Setiap tahap pembangunan sangat memerlukan sistem transportasi yang efisien sebagai salah satu prasyarat guna kelangsungan dan terjaminnya pelaksanaan pembangunan tersebut.

Salah satu komponen penting untuk menunjang pertumbuhan ekonomi adalah jaringan prasarana dasar; dalam hal ini prasarana sistem jaringan transportasi. Sejak Pembangunan Jangka Panjang I (PJP I) sampai sekarang, pembangunan prasarana jalan raya mendapat prioritas utama, karena jika prasarana itu memadai, kegiatan ekonomi akan dapat bertumbuh kembang sesuai dengan yang diharapkan. Sistem transportasi mana yang sesuai untuk diterapkan pada suatu daerah tergantung pada kondisi fisik/alami wilayah yang bersangkutan maupun kondisi sosial-ekonomi, sektor pembangunan yang ada, serta potensi lain yang dimiliki daerah tersebut.

Dalam merencanakan suatu sistem jaringan transportasi hendaknya dipertimbangkan faktor yang sangat mempengaruhi sistem, antara lain karakteristik permintaan, tata guna lahan, serta kondisi daerah. Faktor yang tidak kurang pentingnya adalah sistem jaringan transportasi pada umumnya, dan sistem jaringan jalan raya dan jalan kereta api pada khususnya, yang akan diterapkan itu harus mampu dikembangkan untuk memenuhi permintaan akan jasa transportasi pada masa mendatang.

Penerapan jaringan jalan raya yang tidak sesuai dengan tata guna lahan, karakteristik permintaan, kondisi daerah setempat, serta tidak direncanakan dengan baik sering menimbulkan masalah yang sulit ditanggulangi, terutama jika permintaan akan jasa transportasi sudah melampaui kapasitas sistem yang ada.

Adanya interaksi yang kuat antara tata guna lahan dengan sistem transportasi sudah banyak diketahui oleh para perencana transportasi. Tetapi, konsep ini sangat jarang digunakan dalam perencanaan sistem jaringan transportasi. Kinerja yang sering dipakai adalah 'trend' pertumbuhan arus lalulintas pada ruas jalan yang sebenarnya tidak atau kurang tepat digunakan sebagai patokan dalam menentukan kebijakan pengembangan sistem jaringan transportasi. Hal ini akan merupakan tindakan yang 'keliru' dalam menentukan kebijakan pengembangan sistem jaringan transportasi.

Pada dasarnya, konsep interaksi ini menggabungkan kebijakan pengembangan wilayah yang tertuang dalam Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) tingkat nasional, propinsi, kabupaten/kotamadya dengan sistem jaringan transportasi yang akan menampung pergerakan yang ditimbulkan oleh kegiatan tata guna lahan tersebut. Sebenarnya, tata guna lahan mempunyai hubungan kausal (timbal balik) dengan sistem jaringan transportasi (jalan raya, jalan rel, dan lainnya).

Suatu model kuantitatif telah dikembangkan, yang mengaitkan interaksi antara RTRW dengan sistem jaringan transportasi (khususnya jalan raya) sehingga kebijakan pengembangan sistem jaringan transportasi sesungguhnya telah mengantisipasi dan menampung perubahan akibat pengembangan wilayah. Model kuantitatif dapat digunakan untuk skala perencanaan yang berbeda, misalnya skala tata ruang dapat berupa skala nasional, regional/pulau, propinsi, kabupaten/kotamadya, dan kawasan, sedangkan sistem jaringan jalan dapat berupa jalan arteri, kolektor, lokal (baik primer maupun sekunder).

Tamin dan Frazila (1997) menjabarkan secara jelas konsep interaksi tersebut dalam bentuk suatu model kuantitatif dan memberikan hasil penerapan model pada rencana pengembangan sistem jaringan transportasi (jalan) dengan kasus di Propinsi Jawa Timur.

8.18.5.2 Pendekatan model Sistem transportasi antarkota terdiri atas berbagai aktivitas seperti industri, pariwisata, perdagangan, pertanian, pertambangan, dan lain-lain. Aktivitas ini berlangsung di atas sebidang tanah (industri, sawah, tambang, perkotaan, daerah pariwisata, dan lain-lain). Dalam memenuhi kebutuhannya, manusia melakukan pergerakan antara tata guna tanah tersebut dengan menggunakan sistem jaringan transportasi.

Hal ini akan menyebabkan timbulnya pergerakan arus manusia, kendaraan, dan barang. Pergerakan ini akan mengakibatkan berbagai macam interaksi, misalnya interaksi antarkota sebagai pasar dengan daerah industri, kota sebagai konsumen hasil pertanian dengan daerah pertanian, kota dengan daerah pariwisata, dan antara pabrik dengan lokasi bahan mentah dan pasar.

Beberapa interaksi dapat dilakukan dengan telekomunikasi seperti telepon, faksimil, atau surat (sangat menarik untuk diketahui bagaimana sistem telekomunikasi yang lebih murah dan lebih canggih akan dapat mempengaruhi kebutuhan akan pergerakan di masa mendatang). Tetapi, hampir semua interaksi yang terjadi memerlukan perjalanan, dan oleh sebab itu akan menghasilkan pergerakan arus lalulintas.

Sasaran umum dari perencanaan transportasi adalah membuat interaksi menjadi semudah dan seefisien mungkin. Sebaran geografis antara tata guna tanah (sistem kegiatan) serta kapasitas dan lokasi fasilitas transportasi (sistem jaringan) digabung bersama untuk mendapatkan volume dan pola lalulintas (sistem pergerakan). Volume dan pola lalulintas pada jaringan transportasi akan mempunyai efek timbal balik terhadap lokasi tata guna tanah yang baru dan perlunya peningkatan prasarana.

Dalam pendekatan model yang digunakan terdapat beberapa proses yang harus ditempuh:

- identifikasi sistem perwilayahan dan pusat pengumpul
- identifikasi dan proyeksi potensi daerah
- identifikasi kinerja sistem jaringan jalan yang ada
- identifikasi dan proyeksi pergerakan komoditi
- peramalan kebutuhan akan pergerakan

1 **Identifikasi sistem perwilayahan dan pusat pengumpul** Sistem perwilayahan adalah sistem kesatuan geografis daerah dengan segenap unsur yang terkait padanya. Segala unsur pembangunan yang terdapat dalam suatu daerah dapat dilihat dari karakteristik perkembangannya dalam konteks tata ruang.

Unsur pembentuk sistem perwilayahan ini dapat berupa indikator ruang seperti sistem perhubungan laut, udara, dan darat, serta indikator non-ruang seperti kegiatan pertanian, kehutanan, peternakan, perikanan, pertambangan, mineral, dan pariwisata. Dengan mengetahui sistem perwilayahan ini, upaya kita memprediksi apa yang akan terjadi di masa mendatang dapat dilakukan sedini mungkin. Sistem perwilayahan ini juga bermanfaat bagi perencanaan strategi yang harus ditetapkan untuk melaksanakan pembangunan di masa mendatang.

Pusat pengumpul adalah tempat sumber daya alam dan manusia berkumpul dalam satu kegiatan, yang mengakibatkan segala unsur yang ada dapat berinteraksi saling menguntungkan dan memanfaatkan prinsip ekonomi. Pusat pengumpul umumnya merupakan suatu kota. Kota ini selanjutnya diidentifikasikan atas kota besar, sedang, dan kecil. Karena itu, sangat sulit

mengidentifikasi kriteria ukuran kota, yang dapat dilakukan berdasarkan ukuran relatif untuk lingkup sistem perwilayahan tertentu.

Karena itu, dalam suatu sistem perwilayahan akan ditentukan hierarki pusat pengumpul berdasarkan Rencana Tata Ruang Wilayah Nasional (RTRWN), yaitu Pusat Kegiatan Nasional (PKN), Pusat Kegiatan Wilayah (PKW), dan Pusat Kegiatan Lokal (PKL).

2 **Identifikasi dan proyeksi potensi daerah** Potensi daerah pada dasarnya adalah kekayaan yang dikandung oleh suatu daerah dan dapat dimanfaatkan untuk kepentingan pembangunan daerah. Potensi daerah dapat berupa kekayaan sumber daya alam dan manusia yang dapat dikelompokkan sesuai dengan tujuannya seperti potensi sosial, ekonomi, politik, dan budaya.

Pengelompokan potensi daerah dibagi atas kegiatan sektoral yang secara rinci dapat dibagi atas potensi pertanian, peternakan, perikanan, kehutanan, perindustrian, pertambangan dan mineral, serta pariwisata. Namun, sangat sulit menentukan besaran produksi kegiatan sektoral karena setiap sektor mempunyai indikator besarannya masing-masing. Hal yang setidaknya diinginkan adalah peran setiap sektor kegiatan dalam pembangunan daerah sudah dapat ditunjukkan dari keberhasilan menunjukkan besaran setiap sektor.

3 **Identifikasi kinerja sistem jaringan jalan masa sekarang** Dalam perencanaan transportasi, khususnya jalan raya, dibutuhkan informasi mengenai kondisi prasarana transportasi yang ada agar dari perencanaan tersebut dapat dihasilkan sistem yang optimal (efektif dan efisien). Untuk mendapatkan gambaran yang baik mengenai kondisi prasarana transportasi tersebut, perlu dilakukan inventarisasi berupa pendataan terhadap karakteristik fisik, tingkat kemampuan pelayanan, dan lain-lain yang disajikan dalam ukuran kinerja tertentu.

4 **Identifikasi dan proyeksi pergerakan** Identifikasi pergerakan antardaerah berfungsi melihat bagaimana besar kecilnya tingkat ketergantungan antardaerah dalam suatu sistem perwilayahan. Tujuan melihat interaksi antardaerah ini adalah untuk mengetahui pola pergerakan barang dan orang antardaerah yang dipergunakan untuk memprediksi arus pergerakan di masa mendatang. Pola pergerakan dapat juga mengidentifikasikan besar kecilnya pola keterkaitan antara satu daerah dan daerah lainnya. Arus pergerakan yang timbul selalu dipergunakan sebagai indikator untuk menunjukkan bagaimana pola keterkaitan suatu daerah dengan daerah lain. Di samping itu, pola pergerakan ini juga menunjukkan adanya pola keterkaitan antara suatu kota dengan kota lainnya.

Dengan mengetahui pola pergerakan ini juga dapat diketahui pola pertumbuhan sistem kota. Pola pergerakan yang besar sering menjadi indikator baik tidaknya kegiatan yang terjadi pada titik yang dihubungkannya serta menunjukkan besar kecilnya pola pertumbuhan titik kota yang diwakilkannya. Upaya mengetahui pola interaksi antardaerah merupakan upaya mengetahui pola perhubungan

antara daerah dengan daerah lain. Besar kecilnya interaksi ditunjukkan oleh besar kecilnya pola perhubungan antardaerah.

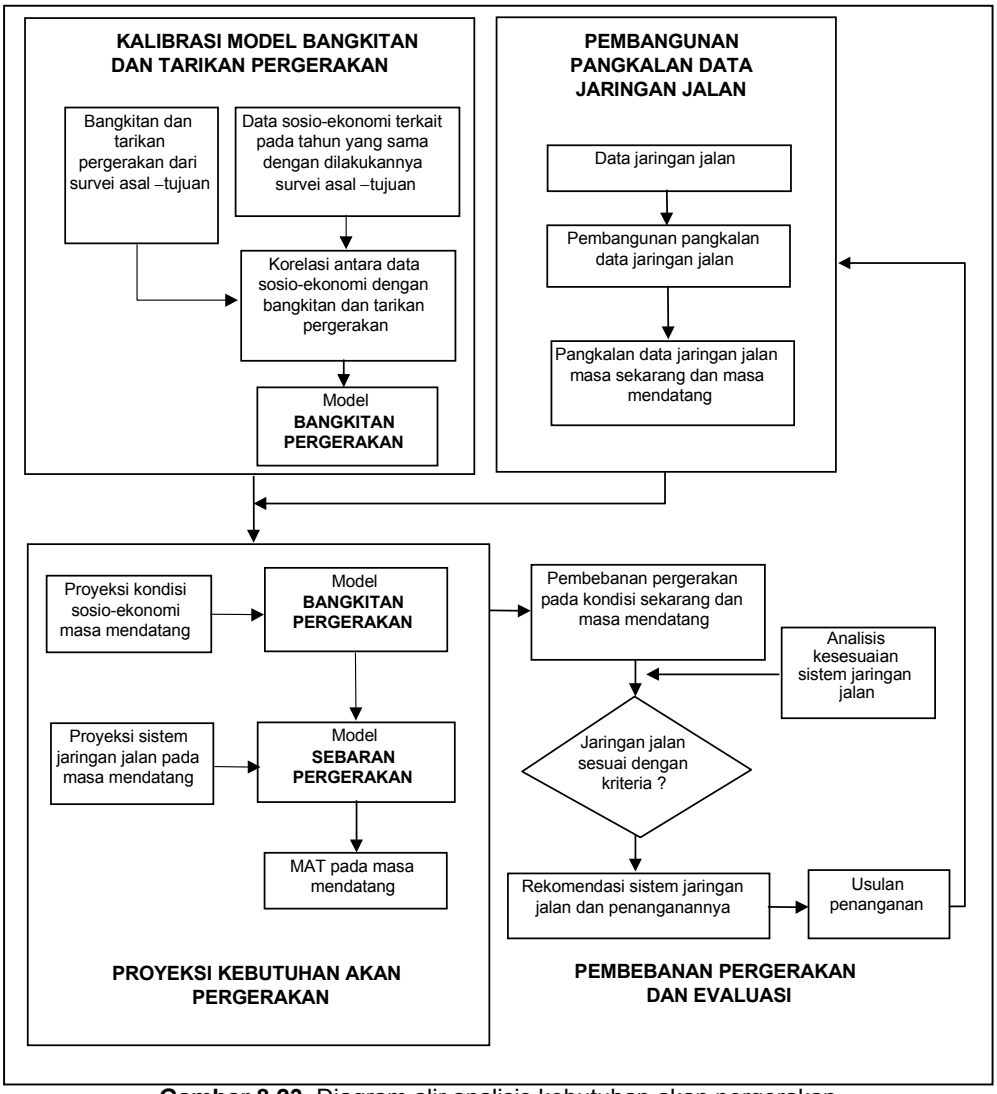
Di samping itu, mengetahui pola perhubungan bermanfaat dalam mewujudkan pemerataan pembangunan di suatu daerah. Pengetahuan pola perhubungan ini selanjutnya merekomendasikan pengembangan sistem transportasi berupa pembangunan, perbaikan, dan peningkatan peranan prasarana transportasi berupa pembangunan, perbaikan dan peningkatan prasarana dan sarana jaringan jalan. Pengembangan sistem transportasi melalui pembangunan jaringan jalan pada dasarnya sangat erat kaitannya dengan peningkatan pembangunan.

5 **Peramalan kebutuhan akan pergerakan** Suatu jaringan transportasi yang baik akan mampu mengantisipasi perkembangan. Dengan kata lain, jaringan transportasi harus direncanakan tidak hanya untuk kondisi saat ini, melainkan juga untuk kondisi sampai akhir masa perencanaannya. Dengan demikian, dapat dikatakan bahwa peramalan kondisi masa mendatang menjadi salah satu hal yang terpenting dalam perencanaan jaringan transportasi. Peramalan kebutuhan akan pergerakan ini pada dasarnya menganalisis seluruh data serta identifikasi yang telah dilakukan pada tahap sebelumnya.

8.18.5.3 Analisis kebutuhan akan pergerakan Analisis kebutuhan akan pergerakan sampai kepada kebutuhan akan jaringan jalan mengikuti diagram alir seperti pada gambar 8.23 yang sebenarnya merupakan penjabaran dari konsep perencanaan transportasi empat tahap.

Sebelum masuk ke dalam proses perencanaan transportasi, wilayah kajian perlu dinyatakan dalam satuan zona yang lebih kecil, yang merupakan penyederhanaan atau pemodelan wilayah kajian. Selanjutnya, semua data yang berkaitan dengan bangkitan dan tarikan pergerakan didasarkan pada sistem berbasis zona. Dalam proses pemodelan selanjutnya, sistem zona dan sistem jaringan transportasi dinyatakan dalam bentuk simbol sebagai berikut:

- **batas zona** berupa batas administratif, batas alam (misalnya laut, sungai, hutan) maupun tipe batas lainnya;
- pertemuan dua ruas jalan atau kota dinyatakan dengan **simpul**;
- **ruas jalan** dapat dinyatakan dengan dua buah simpul di ujungnya;
- **pusat zona** merupakan lokasi dimana diasumsikan bahwa seluruh pergerakan dari/ke zona tersebut bergerakan ke/dari titik tersebut;
- pelabuhan dan kota yang berada pada batas wilayah kajian dapat dijadikan titik **inlet** atau **outlet** dari/ke daerah kajian tersebut.



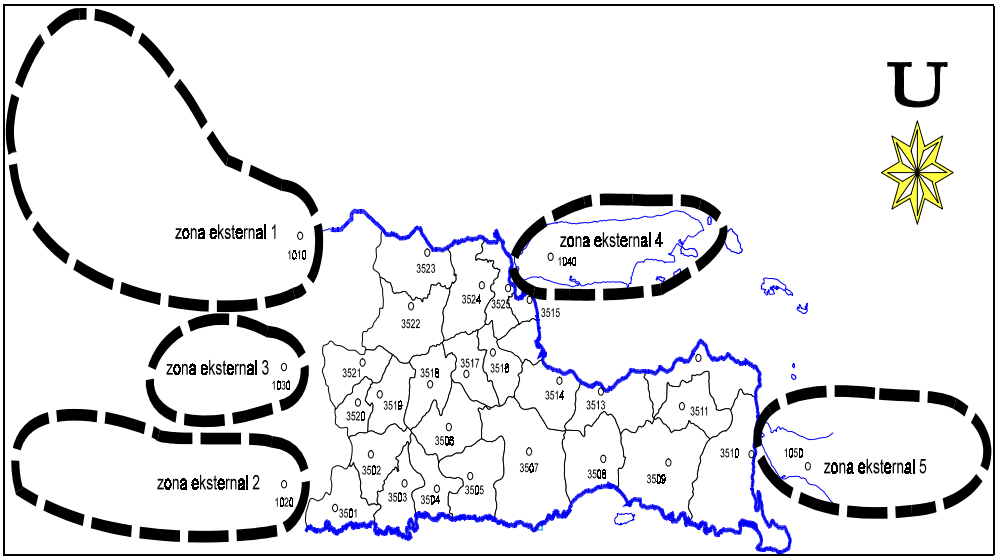
Gambar 8.23 Diagram alir analisis kebutuhan akan pergerakan
Sumber: Tamin dan Frazila (1997)

8.18.5.4 Penerapan di Propinsi Jawa Timur Dengan wilayah seluas 47.921 km^2 total dari 37 Daerah Tingkat II, yang terdiri dari 29 Daerah Tingkat II Kabupaten, dan 8 Daerah Tingkat II Kotamadya, Propinsi Jawa Timur merupakan propinsi yang cukup besar, berpenduduk cukup padat, dan mempunyai pertumbuhan ekonomi pada sektor yang dapat dikatakan mewakili (pertanian, industri, pertambangan, pariwisata dan jasa). Propinsi ini juga menjadi cukup dominan karena merupakan salah satu pintu menuju Indonesia Bagian Timur. Karena itu, mempunyai posisi yang penting dalam konteks nasional sebagai pendukung utama ibukota negara.

Untuk tinjauan Propinsi Jawa Timur, sistem zona didasarkan pada pembagian wilayah administrasi, sehingga pemodelan wilayah studinya adalah sebagai berikut:

- batas kabupaten/kodya dijadikan batas zona
- ruas jalan arteri/kolektor dijadikan ruas
- pertemuan ruas jalan arteri/kolektor (kebanyakan kota) dijadikan simpul
- ibukota kabupaten/kotamadya dijadikan pusat zona
- pelabuhan dan kota di perbatasan propinsi dijadikan *gateway*

Dilakukan juga penggabungan beberapa zona dasar (beberapa kabupaten dan kotamadya) dengan pertimbangan selain menyederhanakan pemodelan yang akan dilakukan, juga dapat dikatakan bahwa pergerakan dari/ke kabupaten seringkali melalui kotamadya bersangkutan. Sistem zona untuk pemodelan pergerakan di Propinsi Jawa Timur secara umum dapat dibagi dua seperti terlihat pada gambar 8.24.



Gambar 8.24 Sistem zona Propinsi Jawa Timur
Sumber: Tamin dan Frazila (1997)

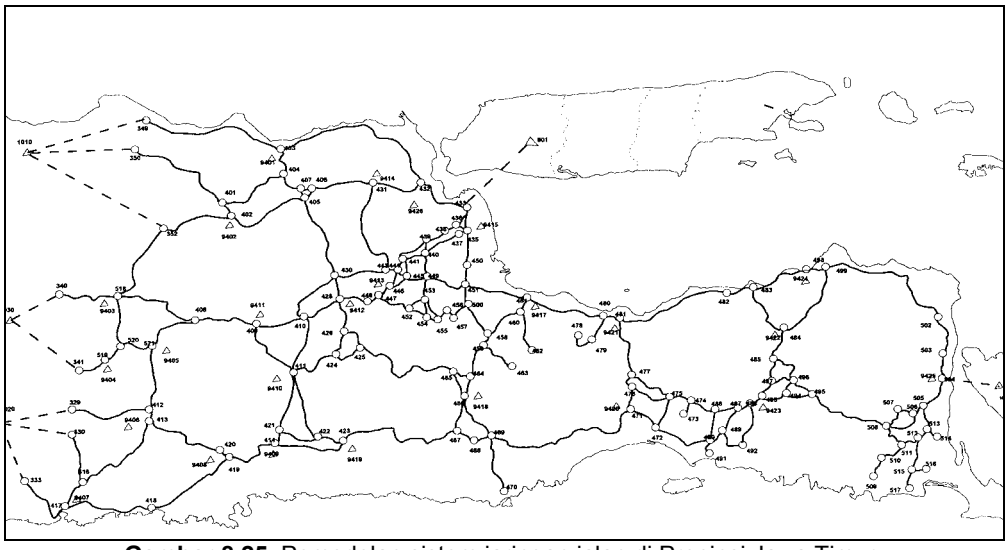
1 **Zona internal** (termasuk dalam wilayah kajian, dalam hal ini Propinsi Jawa Timur) dengan menggabungkan beberapa kabupaten/kotamadya, maka terdapat **25** zona internal.

2 **Zona eksternal** (di luar wilayah kajian) dengan mendasarkan pembagian zona eksternal kepada jalan masuk ke Propinsi Jawa Timur, maka dapat dibuat **5** zona eksternal, yaitu:

- **Zona eksternal 1** Zona ini meliputi Sumatera, DKI-Jakarta, Jawa Barat bagian utara dan Jawa Tengah bagian utara yang diasumsikan menggunakan jalan masuk ke Jawa Timur melalui jalan darat jalur utara Pulau Jawa.
- **Zona eksternal 2** Zona ini meliputi Jawa Barat bagian selatan, Jawa Tengah bagian selatan dan Yogyakarta yang diasumsikan menggunakan jalan masuk ke Jawa Timur melalui jalan darat jalur selatan Pulau Jawa.

- **Zona eksternal 3** Zona ini meliputi Jawa Tengah bagian tengah yang diasumsikan menggunakan jalan masuk ke Jawa Timur melalui jalan darat jalur tengah Pulau Jawa.
- **Zona eksternal 4** Zona ini meliputi Pulau Madura yang masuk ke Jawa Timur melalui Surabaya**.**
- **Zona eksternal 5** Zona ini meliputi Bali, Nusa Tenggara Barat, Nusa Tenggara Timur dan Timor Timur yang masuk ke Jawa Timur melalui Selat Bali (Banyuwangi).

Pemodelan sistem jaringan jalan untuk Propinsi Jawa Timur dapat dilihat pada gambar 8.25. Sistem tersebut terdiri dari **170** simpul dan **454** ruas.

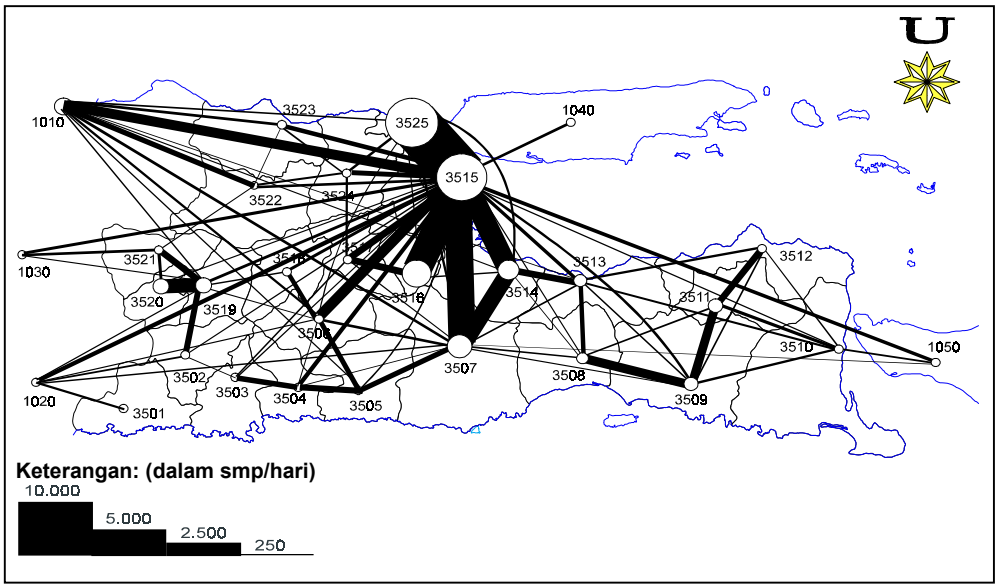


Gambar 8.25 Pemodelan sistem jaringan jalan di Propinsi Jawa Timur
Sumber: Tamin dan Frazila (1997)

Pemilihan model didasarkan pada 'sifat' pergerakan yang ditinjau, tingkat analisis, serta asumsi yang diambil. Untuk pergerakan antarkota dalam kajian ini, dapat dikatakan bahwa pola pergerakan antarkota lebih banyak dipengaruhi oleh daya tarik setiap zona dibandingkan dengan hambatan transportasinya, sehingga dapat diasumsikan bahwa pola pergerakan tidak banyak berubah.

Berdasarkan alasan tersebut, model sebaran pergerakan yang terpilih adalah model **Furness** dengan pola sebaran yang diturunkan dari hasil Survei Asal–Tujuan Nasional 1991 seperti terlihat pada gambar 8.26. Peramalan MAT untuk tahun rencana dapat dihasilkan dengan menggunakan data bangkitan dan tarikan tahun rencana.

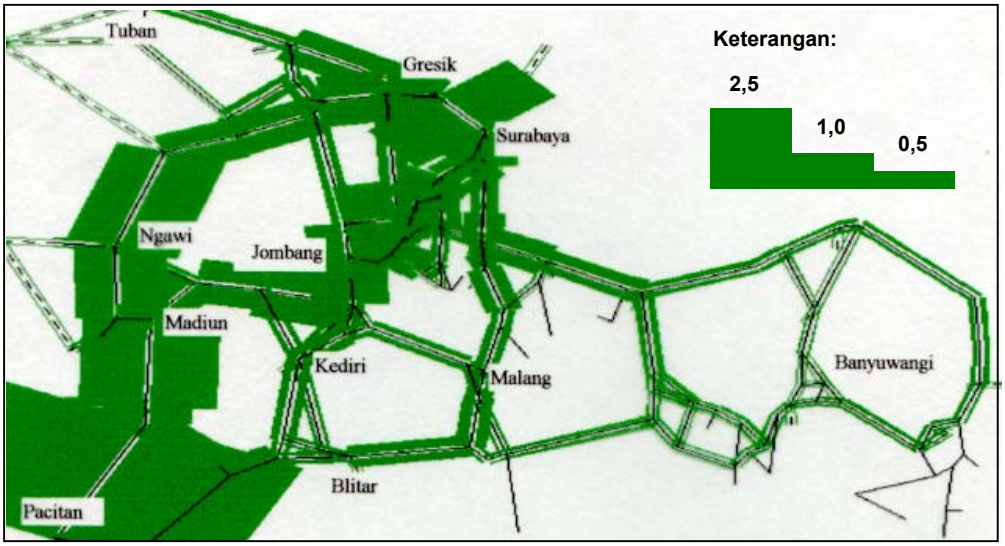
Terdapat banyak perangkat lunak yang dapat digunakan untuk melakukan proses pembebanan, misalnya: MOTORS, SATURN, TRANPLAN, TRANSCAD, dan EMME/2 (lihat tabel 8.1). Dalam penerapan ini, proses pembebanan menggunakan bantuan perangkat lunak MOTORS. Oleh karena itu, masukan berupa matriks pergerakan serta jaringan jalan harus dibentuk dalam format yang disyaratkan oleh program tersebut.



Gambar 8.26 Garis keinginan di Propinsi Jawa Timur (hasil survey asal–tujuan nasional tahun 1991) Sumber: Dephub dan DPU (1992)

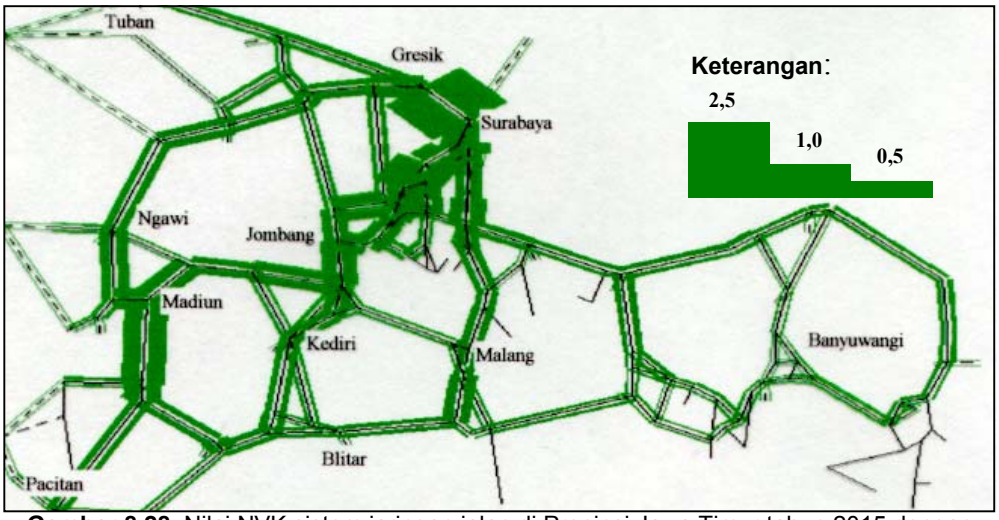
Pembebanan dilakukan untuk setiap tahun target dengan mendasarkan pada dua kondisi, yaitu:

1 **Kondisi tanpa tindakan penanganan** Sistem jaringan jalan tahun 1994 tidak berubah dengan pembebanan matriks tahun rencana. Hasil pembebanan kondisi ini adalah untuk melihat berapa jauh penurunan kinerja sistem jaringan jalan bila tidak dilakukan tindakan penanganan sebagai bahan pembanding dengan dilakukan tindakan penanganan. Hasil pembebanan tanpa penanganan untuk tahun 2015 berupa informasi nilai nisbah volume per kapasitas (NVK) setiap ruas jalan dapat dilihat pada gambar 8.27.



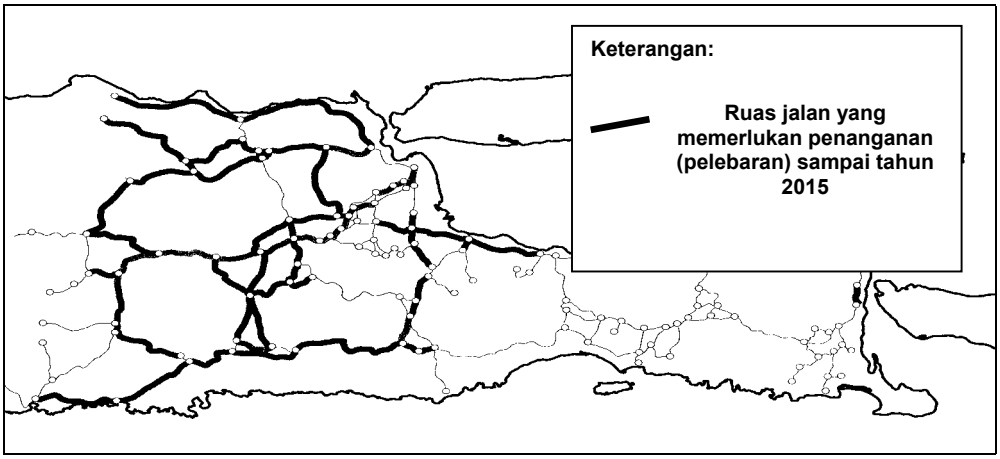
Gambar 8.27 Nilai NVK sistem jaringan jalan di Propinsi Jawa Timur tahun 2015 tanpa tindakan penanganan jaringan jalan (Sumber: Tamin dan Frazila, 1997)

2 **Kondisi dengan tindakan penanganan** Dengan melakukan penilaian kebutuhan penanganan dari hasil pembebanan tanpa tindakan penanganan, maka data sistem jaringan diperbaiki sesuai dengan kebutuhan penanganan yang ditentukan. Setelah itu, pembebanan dilakukan kembali berdasarkan data jaringan yang terbaru. Hal ini dilakukan berulang-ulang sampai dengan tahun 2015 kebutuhan NVK untuk setiap ruas jalan dengan tindakan penanganan (untuk tahun 2015) dapat dilihat pada gambar 8.28. Penanganan di sini dibatasi hanya berupa pelebaran jalan sampai lebar yang memungkinkan.



Gambar 8.28 Nilai NVK sistem jaringan jalan di Propinsi Jawa Timur tahun 2015 dengan penanganan jaringan jalan (Sumber: Tamin dan Frazila, 1997)

Dari hasil pembebanan tersebut diperoleh kinerja jaringan jalan, di antaranya nilai NVK, kepadatan, kecepatan tempuh rata-rata, total biaya perjalanan, dan lain-lain. Kinerja jaringan tersebut dapat dijadikan parameter untuk menilai berapa 'baik' jaringan yang ditinjau serta dampak yang akan terjadi terhadap rencana penanganan jaringan. Dengan demikian, dapat diperkirakan kebutuhan akan penanganan jaringan untuk Propinsi Jawa Timur sampai tahun 2015 (gambar 8.29).



Gambar 8.29 Kebutuhan penanganan sistem jaringan jalan di Propinsi Jawa Timur sampai tahun 2015 (Sumber: Tamin dan Frazila, 1997)

Beberapa hal dapat disimpulkan dari contoh penerapan di Propinsi Jawa Timur ini, yaitu:

1 Perencanaan transportasi yang mengikutsertakan potensi wilayah merupakan metode yang lebih cocok, terutama untuk perencanaan strategis yang harus mengevaluasi suatu rencana sistem jaringan jalan yang diperkirakan memiliki dampak luas terhadap perilaku pemilihan rute di dalam jaringan dan seringkali bersifat perencanaan jangka panjang. Apalagi bagi daerah yang belum atau kurang berkembang; metode yang didasarkan pada peningkatan lalulintas akan memberikan hasil yang kurang baik atau bahkan tidak mungkin dilakukan.

2 Dalam perencanaan transportasi yang bersifat strategis jangka panjang, biasanya tingkat kerincian sistem jaringan direpresentasikan sebagai sistem jaringan regional antarkota yang dapat meliputi ratusan maupun ribuan simpul dan ruas. Dalam tingkat perencanaan ini, perilaku lalulintas yang ditinjau hanyalah pada ruas-ruas utama saja.

8.18.6 Aplikasi lain

Beberapa penerapan dan penelitian intensif dilakukan sejak tahun 1988 yang bertujuan mempelajari kelemahan yang ada serta mencari pemecahannya. Beberapa penerapan dan penelitian tersebut dapat dilihat pada tabel 8.14.

Tabel 8.14 Beberapa aplikasi yang telah dilakukan

No	Penggunaan	Lokasi	Rujukan
1	Angkutan barang antarkota	Pulau Bali	**Tamin and Soegondo (1989)** **Tamin and Willumsen (1988ab)**
2	Pergerakan kendaraan perkotaan	Ripon	**Tamin (1988abcd); Tamin (1989a)**
3	Pergerakan kendaraan perkotaan	Bandung	**Tamin and Pertiwi (1989);** **Tamin (1989b); Tamin (1990bf);** **Tamin *et al* (1992)**
4	Pergerakan kendaraan perkotaan	Jakarta	**Tamin *et al* (1989); Tamin (1990c)** **Tamin and Antono (1992);** **Tamin (1993b)**
5	Pergerakan angkutan umum	Jakarta	**Tamin (1990d,1995b);** **Tamin *et al* (1992de)**
6	Pergerakan kendaraan antarkota	Pulau Jawa	**Tamin (1991c,1992d,1994c)**
7	Pergerakan kendaraan antarkota	Jawa Timur	**Tamin *et al* (1992a)**
8	Pergerakan angkutan umum	Bandung	**Tamin *et al* (1991a); Tamin (1994e)**
9	Kelayakan jalan tol dalam kota	Bandung	**Tamin (1996a)**
10	Pergerakan kendaraan antarkota	Sumatera Utara	**Tamin (1996b)**
11	Pengembangan sistem jaringan transportasi jalan	Jawa Timur	**Tamin dan Frazila (1997)**
12	Kajian pengembangan sistem transportasi perkotaan	Kotamadya dan Kabupaten Bandung	**Tamin (1998d)**

Beberapa penerapan lain untuk memodelkan pergerakan kendaraan di daerah perkotaan untuk beberapa kota besar dan kecil di Indonesia telah banyak dilakukan sejak tahun 1990 dalam bentuk pekerjaan proyek konsultansi, proyek kajian kelayakan, proyek evaluasi, dan proyek kebijakan transportasi. Kota yang dimaksud adalah Medan, Semarang, Jogyakarta, Solo, Surabaya, Palembang, Padang, Cirebon, Banjarmasin, Palu, Demak, Pasuruan, dan Nganjuk.

8.18.7 Saran untuk penelitian lanjutan

Tamin (**1988a**) menyimpulkan beberapa saran untuk penelitian lanjutan.

8.18.7.1 Nilai awal untuk metode Newton–Raphson Telah diterangkan bahwa kerugian utama dalam penggunaan metode Newton–Raphson adalah nilai awal parameter yang tidak diketahui. Metode penaksiran akan konvergen jika nilai awalnya cukup dekat dengan solusi akhir. Jika tidak, metode akan divergen.

Masalah ini bertambah rumit jika terdapat lebih dari satu parameter yang harus dikalibrasi, misalnya menaksir model GO dengan lebih dari satu tujuan pergerakan. Karena itu, dirasakan perlu pendekatan untuk mendapatkan nilai awal yang baik. Salah satu kemungkinannya adalah dengan mengkalibrasi parameter model dengan menggunakan metode penaksiran kuadrat-terkecil-linear (KTL) sejak awal. Hasilnya kemudian digunakan sebagai nilai awal untuk metode penaksiran yang telah dijelaskan.

8.18.7.2 Pengembangan dengan metode pembebanan-keseimbangan Salah satu kemungkinan yang paling menarik adalah penelitian lanjutan dalam pengembangan metode yang mempertimbangkan pembebanan keseimbangan dalam proses kalibrasinya. Suatu pendekatan heuristik dihasilkan dengan melakukan modifikasi pada algoritma pembebanan-berulang sebagai berikut:

$$V_l^{(n)} = t.V_l^{(a)} + (1-t).V_l^{(n-1)} \tag{8.134}$$

Pada metode pembebanan-berulang, sesuai dengan **Smock** (**1962**), t harus dibuat sama dengan ($1/n$), dengan n adalah jumlah pengulangan. Pada pembebanan keseimbangan, t harus dipilih sehingga meminimumkan nilai **Z** yang didefinisikan sebagai berikut:

$$\textbf{meminimumkan} \qquad \mathbf{Z} = \sum_l \left[\int_0^{V_l} C_l(V).\mathrm{d}V \right] \tag{8.135}$$

Persamaan (8.135) tergantung pada batasan:

$$V_l = \sum_r \sum_i \sum_d T_{idr} . \delta_{idr}^l \tag{8.136}$$

$$T_{id} = \sum_r T_{idr} \quad \text{untuk semua nilai } i, d \tag{8.137}$$

$$T_{idr} \geq 0 \quad \text{untuk semua nilai } i, d, r \tag{8.138}$$

$$\delta_{idr}^{l} = \begin{cases} \mathbf{1} \text{ jika ruas } \boldsymbol{l} \text{ digunakan oleh rute } \boldsymbol{r} \text{ antara zona } \boldsymbol{i} \text{ ke zona } \boldsymbol{d} \\ \mathbf{0} \text{ jika tidak} \end{cases} \quad (8.139)$$

Meminimumkan persamaan (8.135) dengan batasan persamaan (8.136–8.138) akan menghasilkan solusi keseimbangan Wardrop (contoh: **Van Vliet, 1979**).

Pendekatan yang lebih baik adalah dengan mengkombinasikan proses penaksiran model dengan teknik pembebanan keseimbangan menjadi satu program matematika tunggal, seperti yang disarankan oleh **Fisk and Boyce** (**1983**). Ini merupakan titik tolak yang cukup radikal dan akan banyak mempunyai permasalahan, baik secara praktis maupun teoritis, Tetapi, saran ini mempunyai tantangan yang cukup berat bagi penelitian lanjutan.

8.18.7.3 Memasukkan parameter ε dan μ dalam proses kalibrasi Telah dijelaskan bahwa nilai parameter Box–Cox (ε dan μ) dari model GO ditentukan secara terpisah di luar proses kalibrasi. Hal ini cukup merepotkan karena membutuhkan proses kalibrasi yang berulang-ulang sehingga waktu proses komputer semakin lama untuk mendapatkan nilai parameter yang diinginkan.

Karena itu, ide yang menarik adalah memasukkan parameter tersebut ke dalam proses kalibrasi. Beberapa modifikasi dalam proses kalibrasi utama dibutuhkan dengan mengasumsikan bahwa parameter tersebut tidak diketahui dan dikalibrasi dengan proses yang sama dengan proses kalibrasi parameter lainnya. Contohnya, meminimumkan persamaan (8.140) dengan parameter b_k, α_k, β_k, ε, μ yang tidak diketahui.

$$\text{meminimumkan} \qquad \mathbf{S} = \sum_{l} \left[\frac{\left(\hat{V}_l - \sum_i \sum_d T_{id} \cdot p_{id}^{l} \right)^2}{\ddot{V}_l} \right] \quad (8.140)$$

dengan: $\ddot{V}_l = \mathbf{1}$ untuk KTTL atau $\ddot{V}_l = \hat{V}_l$ untuk KTTLB

8.18.7.4 Penelitian lanjutan dengan model transportasi lain Telah dijelaskan bahwa tingkat ketepatan MAT tergantung pada pemilihan model transportasi yang digunakan untuk mencerminkan perilaku pergerakan di dalam daerah kajian. Dalam **Tamin** (**1988a**), pekerjaan ditekankan pada penggunaan model jenis *gravity*, misalnya model GR, OP, dan GO.

Terlihat bahwa perilaku pergerakan di daerah tertentu mempunyai karakteristik tertentu dan perilaku ini dapat dinyatakan dengan baik dengan model transportasi tertentu. Sebagai contoh, dalam **Tamin** (**1988a**) dinyatakan bahwa pergerakan kendaraan di kota Ripon lebih baik dinyatakan dengan model GO, bukan dengan model GR dan OP. Sementara itu, pergerakan barang antarkota di Bali lebih baik dinyatakan dengan model GR, bukan dengan model lain.

Karena itu, dirasakan perlu mengabsahkan metode penaksiran dengan bentuk model lain, misalnya model kebutuhan-langsung untuk mendapatkan alat untuk menyatakan perilaku pergerakan yang lebih baik. Tetapi, model yang lebih umum biasanya mempunyai jumlah parameter yang lebih banyak sehingga membutuhkan waktu komputer yang lebih lama dan mungkin membutuhkan informasi lebih banyak.

8.18.7.5 Simplifikasi algoritma untuk jaringan luas Salah satu kesulitan yang menghambat pengembangan model OP dan GO adalah permasalahan notasi yang mensyaratkan zona tujuan harus diurutkan sesuai dengan jarak yang semakin menjauh dari zona asal. Proses untuk mengkonversikan bagian **yang berurutan** menjadi **yang diamati** atau sebaliknya merupakan faktor batasan jika digunakan untuk jaringan yang luas (katakanlah untuk lebih dari 100 zona, 200 simpul, 400 ruas, dan 10 tujuan pergerakan).

Algoritma yang digunakan cukup efisien untuk jaringan kecil. Karena itu, sangatlah berguna menemukan algoritma yang baik yang dapat digunakan untuk jaringan luas yang dapat menghemat penggunaan memori komputer yang berlebihan dan tentu akan menghemat pula penggunaan waktu komputernya.

8.19 Pemanfaatan data arus lalulintas (ATCS) untuk mendapatkan informasi MAT di daerah perkotaan

8.19.1 Latar belakang

Hampir semua teknik dan metode pemecahan masalah transportasi (baik perkotaan maupun regional) membutuhkan informasi Matriks Asal–Tujuan (MAT) sebagai informasi dasar dan paling utama dalam merepresentasikan kebutuhan akan pergerakan. Metode konvensional membutuhkan survei yang sangat besar (misalnya wawancara di rumah dan di tepi jalan), biaya yang sangat mahal, waktu proses yang sangat lama, membutuhkan banyak tenaga kerja, serta sangat mengganggu pergerakan arus lalulintas.

Sebagai ilustrasi, untuk mendapatkan informasi MAT berskala nasional, selama PJP I Indonesia hanya dapat melakukannya sebanyak tiga kali saja (tahun 1982, 1992, dan 1995). Akibatnya, di Indonesia sangat sering digunakan informasi yang sudah kadaluwarsa. Dalam pemecahan masalah transportasi pada tahun 1997, misalnya, banyak konsultan yang masih menggunakan informasi MAT tahun 1992. Hal ini disebabkan karena informasi MAT terkini tidak tersedia; sebagai contoh: meskipun sudah dilakukan survei pada tahun 1995, informasi MAT tahun 1995 tersebut belum juga tersedia sampai sekarang (1998). Tambahan lagi, krisis moneter yang berkepanjangan yang melanda negara kita mengakibatkan metode ini tidak akan mungkin dilaksanakan dalam waktu 5–10 tahun mendatang.

Tantangan ini menuntut suatu jawaban, apalagi dengan tingginya tingkat pertumbuhan tata guna tanah, populasi, lapangan kerja, dan lain-lainnya, yang menyebabkan sangat dibutuhkannya informasi MAT yang bisa didapat dengan biaya yang murah dan waktu proses yang cepat. Teknik dan metode yang telah

berkembang beberapa tahun belakangan ini telah memungkinkan kita mendapatkan informasi MAT dengan hanya menggunakan data yang sangat mudah dan murah mendapatkannya, yaitu informasi arus lalulintas. Selain itu, pengumpulan data arus lalulintas pada saat sekarang sudah pula dapat dilakukan secara otomatis sehingga bisa didapatkan secara waktu-nyata dengan tingkat akurasi yang sangat tinggi.

Sistem Pengaturan Lampu Lalulintas Terkoordinasi (*Area Traffic Control System*/ATCS) yang telah dioperasikan pada beberapa kota di Indonesia (Jakarta, Bandung, dan Surabaya) telah memungkinkan kita mendapatkan informasi arus lalulintas secara otomatis dan waktu-nyata. DGLT (1996) menyebutkan bahwa ATCS sudah beroperasi di Kotamadya Bandung sejak tahun 1997. Fasilitas teknologi transfer informasi **internet** memungkinkan kita mendapatkan informasi tersebut langsung dari lapangan secara waktu-nyata dengan biaya yang sangat murah.

Pada dasarnya sasaran penerapan ATCS adalah untuk mencapai kinerja lalulintas yang optimal dengan meminimumkan tundaan di persimpangan dengan menciptakan pergerakan lalulintas yang relatif kontinu dengan menggunakan konsep **gelombang hijau** pada setiap persimpangan yang dikoordinasikan. Agar tercapai kondisi di atas maka pada setiap lengan persimpangan yang berada di bawah kordinasi ATCS dilengkapi dengan alat detektor lingkaran yang akan merekam data arus kendaraan yang melewati detektor tersebut. Data arus lalulintas tersebut digunakan sebagai data masukan bagi pengaturan sinyal lampu lalulintas secara interaktif.

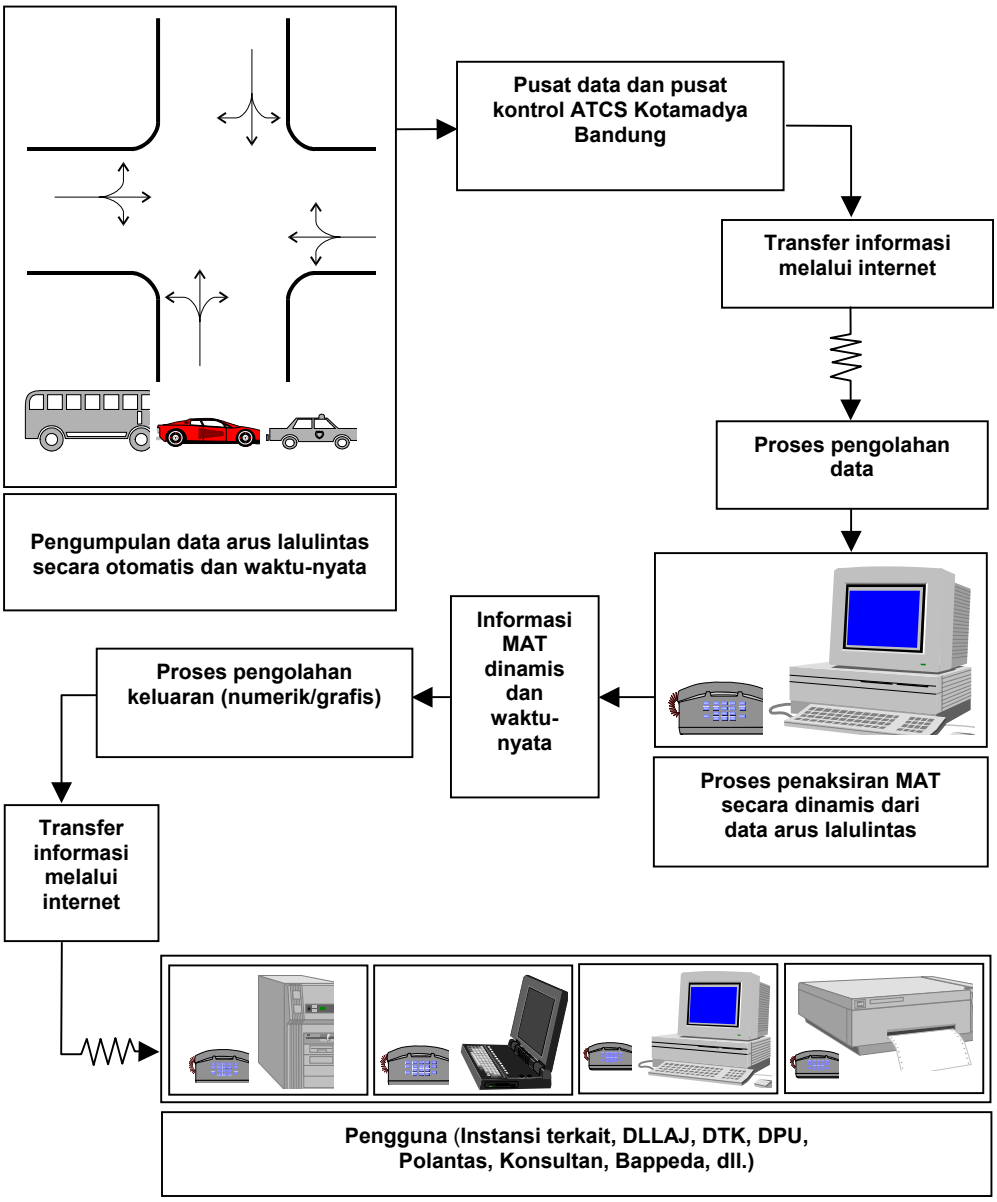
Data arus lalulintas yang terekam oleh detektor disimpan pada pangkalan data di pusat kontrol ATCS melalui sistem jaringan telekomunikasi. Data arus lalulintas di pusat kontrol diperbaharui secara periodik dan waktu-nyata serta dapat diakses dengan biaya sangat murah melalui fasilitas internet. Data inilah yang merupakan data masukan utama bagi pemodelan MAT secara dinamis. Sebagai ilustrasi, di kotamadya Bandung, terdapat sebanyak 117 persimpangan yang berada di bawah kordinasi ATCS yang dibagi menjadi 2 wilayah yaitu wilayah Utara meliputi 59 persimpangan dan wilayah Selatan meliputi 58 persimpangan.

Data arus lalulintas yang didapat dari ATCS adalah data arus lalulintas di lengan persimpangan sedangkan data yang dibutuhkan untuk proses penaksiran MAT adalah data pada ruas jalan. Untuk itu, dibutuhkan suatu **Faktor Konversi** yang dapat digunakan untuk mengkonversikan nilai arus persimpangan menjadi nilai arus ruas jalan.

8.19.2 Pengembangan sistem

Penelitian sebelumnya **(Tamin, 1988ab)** telah memungkinkan MAT didapat dengan hanya menggunakan informasi arus lalulintas yang notabene sangat mudah dan murah mendapatkannya. Pada saat itu, penelitian masih menggunakan data arus lalulintas **statis** yang didapat dari hasil survei primer di lapangan. Beberapa model beserta prosedur kalibrasinya telah dikembangkan, dan dari penelitian tersebut dihasilkan ketepatan MAT sangat tinggi (hanya berbeda sekitar 3–4% dari MAT konvensional); dan dengan waktu proses yang sangat singkat (butuh waktu hanya sekitar 2–3 menit setelah informasi arus lalulintas didapatkan), sehingga biaya bisa ditekan sampai dengan 4% biaya metode konvensional.

Secara umum, proses penaksiran Matriks Asal–Tujuan (MAT) secara dinamis dan waktu-nyata dapat dijelaskan dengan gambar 8.30.



Gambar 8.30 Proses penaksiran MAT dinamis dan waktu-nyata
Sumber: Tamin *et al* (1998ab)

Informasi arus lalulintas secara waktu-nyata dapat diakses langsung dari pusat kontrol proyek ATCS melalui fasilitas internet. Sebelum informasi tersebut digunakan dalam proses penaksiran MAT, beberapa proses harus dilakukan agar informasi arus lalulintas tersebut dapat digunakan, misalnya penetapan format, pembuatan pangkalan data sistem zona dan sistem jaringan dari daerah kajian, dan lain-lain.

Setelah proses tersebut dilalui, barulah informasi arus lalulintas dapat digunakan untuk menghasilkan MAT. Keluaran MAT waktu-nyata harus diolah sesuai dengan kebutuhan sehingga dapat bermanfaat bagi pengguna. Hasil pengolahan MAT tersebut beserta beberapa aplikasinya akan disajikan dalam situs-web yang akan dirancang khusus dalam penelitian ini sesuai dengan kebutuhan (baik dalam bentuk numerik maupun grafis).

Usulan pengembangan ini mempertimbangkan **fenomena dinamis** untuk mendapatkan MAT dengan data arus lalulintas (waktu-nyata) sehingga dimungkinkan didapatkannya informasi MAT secara waktu-nyata juga. Penelitian ini merupakan kelanjutan dari kajian doktoral yang telah dilakukan pengusul (yang pada saat itu masih menggunakan data arus lalulintas **statis**).

Penggunaan data arus lalulintas (waktu-nyata) untuk mendapatkan informasi MAT secara waktu-nyata dapat dikatakan merupakan **terobosan baru** dan **nilai tambah utama** berupa penghematan yang sangat berarti dari sisi waktu dan biaya, khususnya dalam penanganan permasalahan transportasi di Indonesia yang semakin parah dan berpola dinamis dan waktu-nyata juga. Dengan kata lain, kita bisa mendapatkan informasi MAT untuk kondisi 5 menit yang lalu dengan biaya yang sangat murah serta dengan tingkat akurasi yang sangat tinggi. Ketergantungan pada data MAT tahun 1992 ataupun 1995, yang sering dilakukan oleh para praktisi belakangan ini, akan segera dapat ditinggalkan.

Untuk mencapai tujuan utama pengembangan model dinamis, pengembangan diharapkan dapat dibagi menjadi beberapa tahap yang dijelaskan berikut ini.

a Pengembangan proses pengumpulan data arus lalulintas waktu-nyata, termasuk proses pengolahannya, sehingga siap untuk dipakai dalam proses penaksiran MAT dinamis. Proses tersebut meliputi penetapan format data, penyusunan pangkalan data, dan pengkodean sistem zona dan jaringan Kotamadya Bandung, dan hal-hal lainnya.

b Data arus lalulintas yang didapat dari ATCS adalah data arus di lengan persimpangan, sedangkan data yang dibutuhkan untuk proses penaksiran MAT adalah data pada ruas jalan. Jadi, harus dilakukan beberapa analisis statistik untuk seluruh arus lalulintas, baik di ruas jalan maupun di persimpangan yang ada di Kotamadya Bandung. Hal ini ditujukan untuk mendapatkan **Faktor Konversi** yang nantinya akan digunakan untuk mengkonversikan nilai arus persimpangan menjadi nilai arus ruas jalan.

c Pengembangan perangkat lunak dikaji dari sisi peningkatan akurasi MAT yang akan dihasilkan. Beberapa hal yang akan diteliti dalam usaha meningkatkan akurasi MAT yang dihasilkan tersebut adalah:

- pengembangan estimator kemiripan-maksimum, entropi-maksimum, dan inferensi-Bayes;
- pemilihan model transportasi yang cocok untuk Kotamadya Bandung;

- penentuan teknik pembebanan rute yang dapat mewakili kondisi lalulintas di Kotamadya Bandung;
- mempelajari evolusi MAT waktu-nyata dengan membandingkannya dengan MAT yang dihasilkan dari arus lalulintas statis;
- penentuan tingkat resolusi sistem zona dan sistem jaringan yang cocok untuk Kotamadya Bandung.

d Pengembangan proses pengolahan keluaran (tampilan) MAT beserta beberapa aplikasinya agar bersifat informatif (baik dalam bentuk numerik maupun grafis) sehingga dapat langsung dipakai oleh para pengguna sesuai dengan kebutuhannya. Keluaran MAT waktu-nyata tersebut akan disajikan dalam **situs-web** yang akan dirancang khusus dalam penelitian ini sehingga dapat langsung diakses dan digunakan oleh para pengguna.

e Persiapan seluruh kelengkapan sistem pemodelan, yang terdiri dari perangkat keras dan lunak dalam bentuk Manual Teknis dan Manual Pelaksanaan. Hasil pengembangan ini akan disebarluaskan dan dimasyarakatkan dalam bentuk seminar dan pelatihan.

Keluaran MAT waktu-nyata tersebut, termasuk beberapa aplikasinya, akan disajikan dalam situs-web yang dirancang khusus sesuai dengan kebutuhan (baik numerik maupun grafis) sehingga dapat langsung di akses dan digunakan oleh para pengguna (Bappeda, DLLAJ, Konsultan, Bina Marga, Departemen Perhubungan, Polantas, dan instansi terkait lainnya) melalui fasilitas internet. Beberapa aplikasi yang dapat dihasilkan dengan menggunakan informasi MAT waktu-nyata ini adalah:

- dihasilkannya informasi kinerja sistem jaringan jalan secara waktu-nyata, baik secara numerik maupun grafis, untuk seluruh Kotamadya Bandung, misalnya berupa besarnya arus setiap ruas jalan, besarnya nilai NVK (Nisbah Volume per Kapasitas), lokasi titik kemacetan, *route guidance*, dan banyak hal lainnya.
- analisis evolusi MAT waktu-nyata akibat fluktuasi arus lalulintas sehingga bisa didapatkan informasi evolusi arus setiap ruas jalan sehingga dapat diidentifikasi jenis penanganan jaringan yang paling tepat.
- analisis kinerja jaringan jalan akibat perubahan kebijakan sistem jaringan sebelum kebijakan tersebut diterapkan,
- analisis efek penerapan sistem ATCS terhadap sistem pergerakan arus lalulintas yang ada.

8.20 Pemanfaatan data arus lalulintas (IRMS) untuk mendapatkan informasi MAT regional

8.20.1 Latar belakang

Salah satu amanat GBHN 1993 di sektor transportasi adalah mewujudkan sistem pergerakan arus lalulintas (manusia dan barang) secara cepat, aman, nyaman,

murah, dan sesuai dengan lingkungan sehingga tercipta Sistem Transportasi Nasional (Sistranas) yang efisien. Tingkat pertumbuhan wilayah, populasi, pendapatan, jumlah kendaraan, dan lain-lain yang sangat pesat menyebabkan metode konvensional tidak cocok lagi digunakan di Indonesia. Hal itu disebabkan karena selain membutuhkan biaya yang sangat mahal dan waktu proses yang sangat lama (1–2 tahun), juga menyebabkan informasi MAT yang dihasilkannya tidak lagi mencerminkan keadaan atau kondisi yang sebenarnya.

Pada prakteknya, di Indonesia masih sangat sering digunakan informasi yang sudah kadaluwarsa, misalnya pemecahan masalah transportasi pada tahun 1999 masih menggunakan informasi MAT tahun 1995 karena tidak dimilikinya informasi MAT terkini. Selain itu, untuk peramalan MAT masa sekarang atau masa mendatang, banyak para perencana transportasi yang masih mengandalkan MAT tahun 1995 yang mana sudah barang tentu pola pergerakannya sudah sangat jauh berbeda.

Tantangan ini menuntut suatu jawaban, apalagi dengan tingginya tingkat pertumbuhan wilayah, populasi, dan lain-lainnya menyebabkan sangat dibutuhkannya informasi MAT yang bisa didapat dengan biaya murah dan waktu proses cepat. Hal inilah yang menyebabkan sangat dibutuhkannya metode baru yang dapat menampung seluruh permasalahan ini.

Tambahan lain, jika otonomi daerah sudah mulai diterapkan maka ketersediaan informasi MAT terkini dengan waktu pembaruan (*updating*) yang cukup sering serta didapatkan dengan biaya murah sangatlah dibutuhkan bukan hanya pada tingkat pusat (nasional) saja tetapi juga pada tingkat propinsi dan kabupaten. Krisis moneter yang berkepanjangan yang melanda negara kita menyebabkan metode konvensional tersebut tidak akan mungkin dilakukan dalam waktu 5–10 tahun mendatang.

Dengan melihat berbagai alasan diatas, maka kebutuhan metode baru untuk mendapatkan informasi MAT terkini dengan waktu proses pembaruan yang cepat serta bisa didapatkan dengan biaya sangat murah mutlak dibutuhkan untuk negara kita sebagai alternatif pengganti metode konvensional.

Direktorat Jenderal Bina Marga, Departemen PU, sejak tahun 1989 telah memiliki sistem informasi manajemen jaringan jalan terintegrasi (**IRMS**=***Integrated Road Management System***) untuk seluruh jalan nasional dan jalan propinsi di seluruh Indonesia yang meliputi jalan arteri primer, kolektor primer yang akan diteruskan sampai dengan jalan kabupaten. Salah satu informasi utama adalah data arus lalulintas terklasifikasi (berdasarkan jenis kendaraan) dimana sebagian besar sudah dilengkapi dengan *automatic traffic counter* sehingga memungkinkan kita mendapatkan informasi arus lalulintas berwaktu-nyata dengan biaya yang sangat murah. Informasi ini sangat mungkin dapat juga tersedia dalam sistem jaringan informasi PU (**PU–Net**) sehingga dapat diakses langsung melalui **internet**. Hal ini memungkinkan kita mendapatkan informasi arus lalulintas tersebut secara rutin dengan biaya yang sangat murah.

Dengan informasi tersebut diharapkan dapat dihasilkan sistem pemodelan yang dapat menghasilkan MAT secara rutin (misalnya setiap jam, hari, minggu, atau bulan, tergantung pada frekuensi pengambilan data arus lalulintas). Keluaran MAT tersebut termasuk beberapa aplikasinya akan disajikan dalam bentuk situs-web dalam sistem

PU–Net yang akan dirancang secara khusus sesuai dengan kebutuhan agar keluaran atau tampilannya informatif (baik numerik maupun grafis) dan dapat langsung diakses dan digunakan oleh para pengguna (misalnya Bappeda, DTK, Konsultan, Bina Marga, Departemen Perhubungan, Polantas, dan instansi terkait lainnya) melalui fasilitas internet. Seluruh proses tersebut dari tahap pengumpulan data sampai dengan tahap penayangan keluaran dikemas dalam **Sistem Informasi Transportasi (SIT)**.

Sekali lagi, pengembangan ini merupakan suatu **terobosan baru; nilai tambah utamanya** bagi Indonesia adalah **penghematan yang sangat berarti** dari sisi waktu dan biaya jika dibandingkan dengan metode konvensional (hanya 3 kali dalam kurun waktu 25 tahunan). Hasil penelitian ini memungkinkan didapatkannya informasi MAT secara rutin (misalnya tiap bulan) sehingga merupakan **nilai tambah utama** bagi ilmu pengetahuan di bidang transportasi secara umum dan bagi penanganan permasalahan transportasi regional di Indonesia secara khusus dalam usaha mewujudkan sistem transportasi nasional dan regional yang efisien.

8.20.2 Pengembangan sistem informasi transportasi (SIT)

8.20.2.1 Konfigurasi dasar Secara umum, konfigurasi dasar sistem dapat dijelaskan dengan gambar 8.31 sedangkan proses transfer data arus lalulintas dari ruas jalan sampai ke Pusat Pengolahan Data (PPD) dapat dijelaskan dengan gambar 8.32. Sistem ini dibangun dengan menggunakan suatu sistem jaringan informasi yang menghubungkan langsung informasi data arus lalulintas yang didapatkan di lapangan ke Pusat Pengolahan Data (PPD) secara otomatis dan berwaktu-nyata. Beberapa proses penting yang dilakukan dalam sistem adalah: proses transfer data; proses pengolahan data; dan proses pengolahan keluaran.

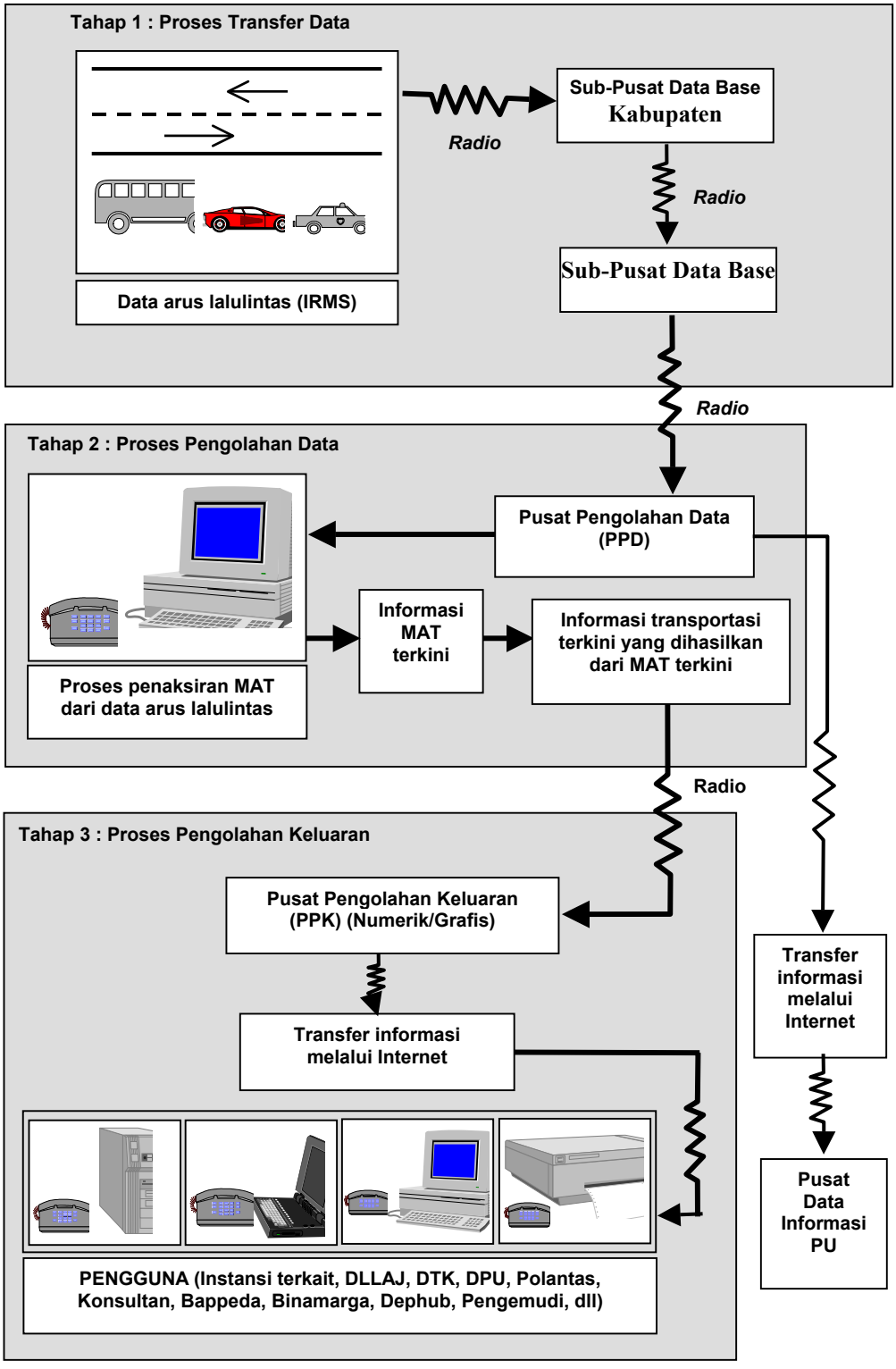
- **Proses transfer data (PTD)**: Data arus lalulintas di beberapa ruas jalan terpilih dikumpulkan secara otomatis menggunakan *automatic traffic counters*. Proses pengumpulan data ini sudah merupakan proses rutin dan terprogram dengan baik yang telah dilaksanakan oleh Direktorat Jenderal Bina Marga melalui program IRMS. Teknologinya juga sudah tersedia dengan biaya yang cukup murah. Data arus lalulintas (IRMS) yang berwaktu-nyata tersebut akan ditransfer secara bertahap (lihat gambar 8.32) sebagai berikut:

  1) dari lokasi pencatat di lapangan ke sub-pusat pangkalan data di tingkat kabupaten melalui media komunikasi radio amatir,

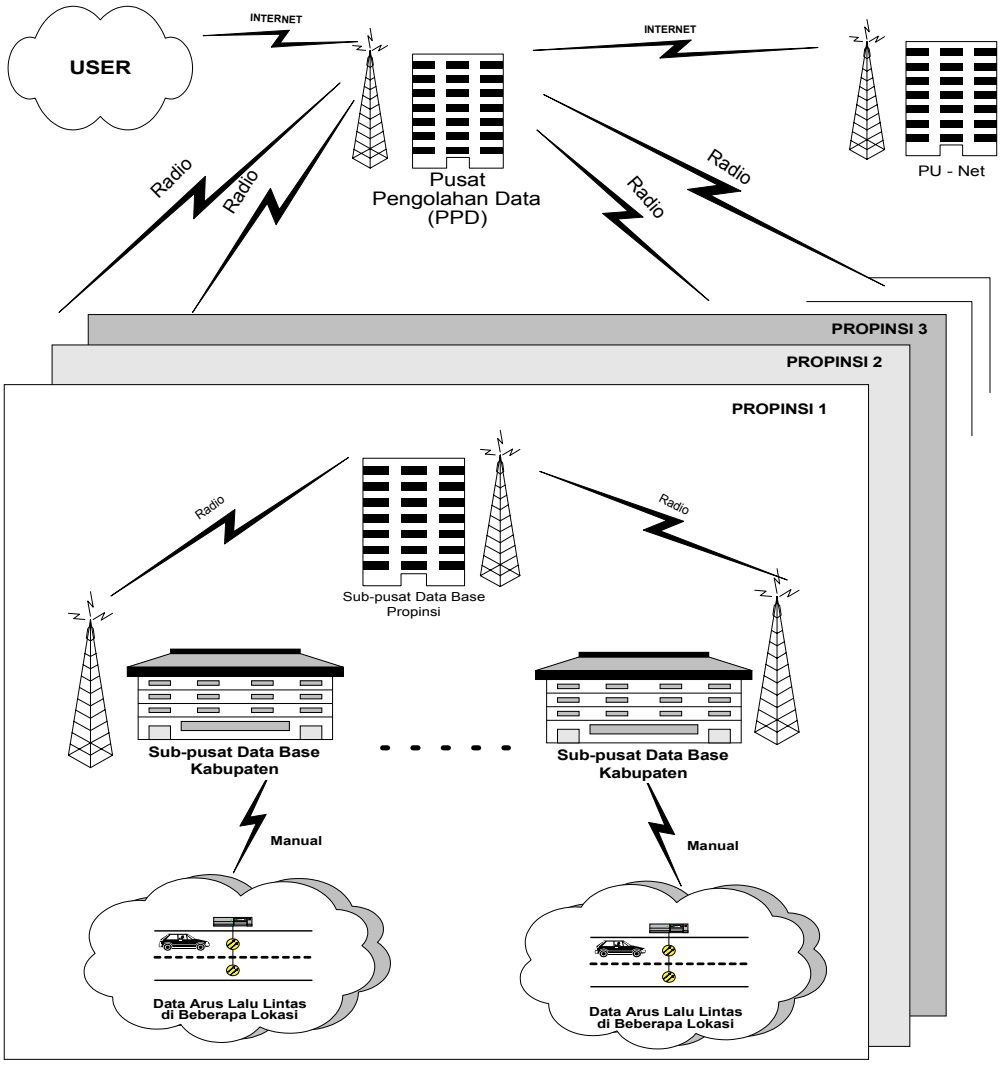
  2) selanjutnya dari sub-pusat pangkalan data kabupaten ke sub-pusat pangkalan data propinsi juga dengan media komunikasi radio amatir,

  3) dan akhirnya dari sub-pusat pangkalan data propinsi informasi tersebut dikirimkan ke Pusat Pengolahan Data (PPD) dengan menggunakan fasilitas internet.

Salah satu alasan penggunaan media komunikasi radio amatir dari lapangan sampai ke sub-pusat pangkalan data propinsi disebabkan karena fasilitas komputer dan internet yang diperkirakan belum tersedia di setiap kabupaten.



Gambar 8.31 Konfigurasi dasar 'Sistem Informasi Transportasi (SIT)'
Sumber: Tamin (2000)



Gambar 8.32 Proses transfer data arus lalulintas ke pusat kontrol
Sumber: Tamin (2000)

- **Proses pengolahan data (PPD)**: Sebelum informasi arus lalulintas berwaktu-nyata tersebut dapat digunakan dalam proses penaksiran MAT, beberapa kajian statistik dan proses pengolahan data harus dilakukan. Data arus lalulintas yang diperoleh dari IRMS dapat berupa hasil survei yang dilakukan secara periodik pada pos-pos sampling dari ruas jalan yang diamati atau berupa data arus lalulintas yang didapatkan dari *automatic traffic counter*.

  Oleh sebab itu, data tersebut perlu dikaji tingkat keakurasiannya secara statistik sebelum menjadi data masukan bagi penaksiran MAT. Faktor kesalahan yang mungkin timbul dari data arus lalulintas tersebut antara lain: akibat adanya fluktuasi dan kecenderungan pola arus lalulintas dalam suatu selang waktu tertentu misalnya: menitan, jaman, harian, mingguan, bulanan, atau satu musim

tertentu; adanya durasi dari survei yang dilakukan di setiap pos pengamatan misal: 1 x 24 jam, 7 x 24 jam, dan seterusnya.

Selanjutnya, faktor kesalahan tersebut perlu dikoreksi dengan analisa statistik yang mencakup tingkat kecukupan data, deviasi akibat kesalahan pada suatu tingkat kepercayaan tertentu. Sehingga, akan didapatkan suatu faktor koreksi bagi data arus lalulintas (IRMS) sehingga data yang terkoreksi tersebut dapat dijadikan data masukan bagi tahapan penaksiran MAT selanjutnya. Setelah melalui proses ini, data arus lalulintas yang telah dikoreksi tersebut baru dapat digunakan untuk mendapatkan informasi MAT secara rutin, misalnya: setiap menit, jam, hari atau bulan tergantung dari frekuensi pengambilan data arus lalulintas sesuai kebutuhan.

Dalam tahapan ini metode **non-konvensional** yang telah dikembangkan oleh beberapa peneliti (**Tamin, 1988** dan **Willumsen, 1981**) akan digunakan. Beberapa modifikasi dan pengembangan model akan dilakukan sehingga model tersebut dapat digunakan. Keluaran informasi MAT berwaktu-nyata tersebut harus diolah sedemikian rupa sesuai dengan kebutuhan sehingga dapat bermanfaat bagi para pengguna.

- **Proses pengolahan keluaran (PPK)**: Hasil keluaran MAT tersebut beserta beberapa pengembangan aplikasi operasionalnya akan disajikan dalam **Situs-Web** yang dirancang secara khusus sesuai dengan kebutuhan agar keluaran/tampilannya bersifat informatif (numerik dan grafis) serta langsung dapat diakses dan digunakan oleh para pengguna melalui fasilitas **internet,** misalnya: Bappeda, DLLAJ, DTK, Konsultan, Bina Marga, Departemen Perhubungan, Polantas, pengemudi dan instansi terkait lainnya.

Seluruh tahapan proses diatas dikemas dalam **Sistem Informasi Transportasi (SIT)** berupa perangkat keras dan perangkat lunaknya.

8.20.2.2 Sistem transfer data (STD) Jaringan komputer pada saat ini telah berkembang sangat pesat dan telah ditunjang oleh teknologi informasi yang juga berkembang sangat pesat. Pada intinya komunikasi dalam jaringan komputer adalah komunikasi antar dua komputer atau lebih yang terpisah oleh jarak yang relatif jauh. Dalam komunikasi ini tentunya memerlukan protokol dan media khusus untuk pengiriman data. Protokol dan media ini harus disesuaikan dengan kebutuhan para pengguna dimana suatu media transfer data tertentu mempunyai suatu protokol tertentu pula yang paling cocok.

Dalam sistem jaringan komputer terdapat beberapa media komunikasi yang cukup sering digunakan di Indonesia, beberapa di antaranya adalah: media kabel, sambungan telepon, dan frekuensi radio amatir. Salah satu media yang paling memungkinkan pada saat ini adalah media frekuensi radio amatir yang merupakan komunikasi radio dengan modulasi FM. Frekuensi yang bebas digunakan di Indonesia berkisar antara 140,00–149,99 MHz dimana frekuensi ini masih termasuk dalam ukuran VHF. Untuk penggunaan jalur frekuensi 140,00–149,99 MHz, diperlukan ijin Orari (**O**rganisasi **R**adio **A**mati**r** **I**ndonesia); sedangkan diluar jalur frekuensi tersebut diperlukan ijin khusus dari Departemen Perhubungan Indonesia.

Jarak komunikasi radio amatir ini sangat tergantung pada kekuatan pemancar dan posisi antena yang dipasang. Semakin kuat kekuatan pemancar maka semakin jauh jarak komunikasinya. Demikian pula bila semakin tinggi posisi antena (dalam artian tidak ada halangan di sekitar antena) maka semakin jauh pula jarak komunikasi radionya. Terdapat 5 (lima) permasalahan utama yang perlu segera dipecahkan adalah:

- menentukan lokasi dan jumlah ruas jalan yang akan dikumpulkan data arus lalulintasnya pada sistem jaringan jalan di dalam daerah studi;
- pengembangan struktur utama proses transfer data secara bertahap dari lapangan sampai ke Pusat Pengolahan Data (PPD). Proses ini merupakan hal terpenting karena merupakan permasalahan utama dalam proses transfer data.;
- pemilihan media transfer data yang tepat guna sesuai dengan kebutuhan;
- penetapan format dan penyusunan pangkalan data;
- serta sistim kodifikasi sistem zona dan sistem jaringan untuk daerah studi tertentu ;

8.20.2.3 Pusat pengolahan data (PPD) Seluruh informasi arus lalulintas dari lapangan akan dikirim secara bertahap dan akhirnya di terima seluruhnya oleh Pusat Pengolahan Data (PPD). Seluruh informasi arus lalulintas tersebut akan diolah dengan metode non-konvensional untuk mendapatkan Matriks-Asal-Tujuan (MAT). Beberapa modifikasi dan pengembangan model akan dilakukan sehingga model tersebut dapat digunakan. Keluaran informasi MAT berwaktu-nyata tersebut harus diolah sedemikian rupa sesuai dengan kebutuhan sehingga dapat bermanfaat bagi para pengguna.

Persaingan perkembangan teknologi di bidang komputer menyebabkan harga-harga komputer semakin murah. Teknologi komputer probadi juga semakin cepat, pentium 200 MHz mempunyai kinerja yang sepadan dengan minikomputer serta harganya juga semakin murah. Perioda perhitungan akan dirancang sesuai dengan kebutuhan operasional serta juga mempertimbangkan beban proses komputer. Waktu pembaruan dapat dilakukan secara waktu-nyata.

Hal ini sangat menggembirakan jika dilihat dari sisi pemecahan masalah transportasi dimana dengan metode konvensional informasi Matriks-Asal-Tujuan (MAT) didapatkan setiap 5 tahun sekali dengan biaya yang sangat mahal; sekarang dengan sistem informasi ini informasi MAT tersebut bisa didapat secara waktu-nyata dengan biaya sangat murah. Terdapat 4 (empat) masalah utama yang perlu dikaji lebih mendalam, yaitu:

- melakukan kajian statistik data arus lalulintas yang didapatkan dari IRMS dan pengembangan proses pengolahan data. Seperti diketahui, Bina Marga mempunyai program manajemen IRMS dimana salah satu modulnya adalah modul data arus lalulintas. Data arus lalulintas ini didapatkan dari hasil survei yang dilakukan secara periodik pada pos-pos yang dianggap mewakili kondisi arus lalulintas di ruas jalan tersebut. Selanjutnya, proses pengolahan data arus lalulintas dari IRMS akan meliputi: uji statistik terhadap tingkat akurasi data

dengan menganalisa kesalahan yang diperkirakan akibat adanya fluktuasi atau kecenderungan pola arus lalulintas dalam suatu periode tertentu dan durasi survey perhitungan arus lalulintas. Sehingga, didapatkan suatu faktor koreksi pada tingkat kepercayaan tertentu pada berbagai lokasi ruas jalan.

- perlunya pengkajian untuk mendapatkan model pemilihan rute yang paling sesuai untuk kondisi daerah studi tertentu. Dalam kasus ini, interaksi pemilihan rute dengan karakteristik sistem jaringan dinyatakan dalam bentuk hubungan 'Kecepatan-Arus' yang menyatakan bahwa terdapat hubungan antara arus dengan kecepatan. Semakin tinggi arus lalulintas pada suatu ruas jalan maka akan semakin lambat kecepatannya dan semakin lama waktu tempuhnya. Beberapa model yang dapat digunakan adalah: *all-or-nothing*, burrell, stokastik, pembebanan-berulang, pembebanan-bertahap, dan keseimbangan-Wardrop.
- perlunya kajian pengaruh adanya kesalahan pada data arus lalulintas terhadap tingkat akurasi MAT. Bagaimanapun baiknya teknologi pencatat data arus lalulintas pasti masih selalu mengandung kesalahan. Dalam kasus ini dibandingkan pengaruh adanya kesalahan pada pencatatan arus lalulintas terhadap hasil MAT dibandingkan dengan data arus lalulintas tanpa kesalahan. Hasil ini sangat penting bagi usaha pengembangan tingkat akurasi MAT yang dihasilkan.

8.20.2.4 Pusat pengolahan keluaran (PPK) Seluruh informasi transportasi baik yang bersifat informasi dasar maupun informasi operasional yang dapat dihasilkan dari informasi MAT terkini disebarluaskan kepada para pengguna melalui fasilitas **situs-web**. Situs-web merupakan salah satu aplikasi dari sarana komunikasi melalui fasilitas internet yang memanfaatkan sarana HTTP. Dalam sistem ini, situs-web dirancang secara khusus sesuai dengan kebutuhan pengguna dan ditampilkan secara informatif baik secara grafis maupun numeris serta langsung dapat diakses dan digunakan oleh para pengguna melalui fasilitas **internet,** misalnya: Bappeda, DLLAJ, DTK, Konsultan, Bina Marga, Departemen Perhubungan, Polantas, pengemudi dan instansi terkait lainnya. Beberapa masalah yang perlu mendapat pengkajian lanjut, yaitu:

- dampak pengaruh tingkat kedalaman resolusi pendefinisian sistem zona dan sistem jaringan terhadap akurasi MAT yang dihasilkan. Seperti diketahui bahwa sistem zona dan sistem jaringan dapat didefinisikan dalam berbagai tingkat kedalaman resolusi. Secara umum, semakin tinggi tingkat resolusi pendefinisian sistem tersebut akan semakin tinggi tingkat akurasi MAT yang dihasilkan. Akan tetapi, akurasi tersebut harus dibayar dengan semakin tingginya biaya yang dibutuhkan untuk mendapatkan data yang semakin banyak dan waktu yang lebih lama. Oleh sebab itu, sangatlah diperlukan arahan atau petunjuk mengenai tingkat kedalaman resolusi sistem zona dan jaringan yang optimal untuk suatu kondisi dan situasi tertentu dengan mempertimbangkan tingkat akurasi MAT dan besarnya biaya.
- perlunya pengembangan proses pengolahan keluaran (tampilan) dari MAT yang dihasilkan beserta beberapa aplikasinya sehingga informasi tersebut

informatif dan mudah dicerna bagi para pengguna yang disajikan dalam situs-web sebagai tempat penyajian keluaran informasi MAT beserta seluruh aplikasi lainnya.

8.20.2.5 Uji keabsahan Untuk mengetahui baik-buruknya suatu Sistem Informasi Transportasi (SIT) yang mengandalkan data arus lalulintas untuk menaksir MAT berwaktu-nyata dapat dilihat dari beberapa kriteria yaitu:

- tingkat keandalan dari sistem transfer informasi arus lalulintas berwaktu-nyata secara bertahap dari lapangan sampai dengan ke Pusat Pengolahan Data (PPD);
- akurasi MAT hasil penaksiran dibandingkan dengan MAT yang tersedia dari hasil metode konvensional (dalam hal ini akan diwakili oleh MAT tahun 1999).
- jika MAT hasil penaksiran tersebut dibebankan kembali ke sistem jaringan jalan yang ada maka seharusnyalah dihasilkan besar volume arus lalulintas yang sama (atau mendekati) arus lalulintas yang terjadi untuk setiap ruas jalan yang ada.
- tingkat keandalan dari Pusat Pengolahan Keluaran (PPK) agar informasi MAT berwaktu-nyata beserta seluruh program aplikasi operasionalnya mudah diakses oleh setiap pengguna melalui fasilitas internet.

Tamin (1988) dan **Tamin (1992)** menyimpulkan beberapa faktor yang sangat mempengaruhi akurasi dari MAT yang akan dihasilkan dari arus lalulintas, yaitu:

- model transportasi yang digunakan untuk mewakili perilaku pergerakan;
- jumlah data arus lalulintas, tingkat akurasi, lokasi, serta informasi tambahan lainnya;
- teknik kalibrasi dan penaksiran parameter model yang digunakan;
- metode pemilihan rute yang digunakan; dan
- tingkat kedalaman resolusi sistem zona dan jaringan transportasi yang digunakan.

Penaksiran MAT dengan menggunakan data arus lalulintas sampai saat ini telah dapat dilakukan oleh beberapa perangkat lunak yang terdapat di pasaran; salah satunya adalah MOTORS (**Tamin, 1988**).

8.20.3 Potensi penggunaan dalam pengembangan sistem jaringan jalan

Sistem Informasi Transportasi (SIT) ini mengandalkan data arus lalulintas untuk mendapatkan Matriks-Asal-Tujuan (MAT) berwaktu-nyata beserta beberapa program aplikasi operasionalnya. Sistem ini terdiri dari beberapa komponen yaitu: Sistem Transfer Data (STD), Pusat Pengolahan Data (PPD), dan Pusat Pengolahan Keluaran (PPK) yang terdiri dari perangkat lunak dan perangkat keras.

Informasi MAT ini sangat dibutuhkan oleh berbagai pihak, misalnya: instansi, departemen, konsultan, perencana, pengguna jalan, penentu kebijakan, lembaga baik kelompok maupun perorangan yang terkait dengan sektor transportasi.

Informasi mengenai kebutuhan pergerakan dalam bentuk MAT paling terkini bisa didapatkan dengan **biaya yang sangat murah** dan **waktu yang sangat cepat**.

Dengan kata lain, informasi MAT bisa didapatkan setiap menit, jam, hari, bulan tergantung frekuensi pengumpulan data arus lalulintas dengan biaya yang sangat murah serta dengan tingkat akurasi yang sangat tinggi sehingga permasalahan tingkat ketergantungan dengan informasi MAT tahun 1995 dapat kita hilangkan sama sekali. Selanjutnya, dengan mengetahui MAT berwaktu-nyata atau secara lebih periodik (misal: setiap menit, jam, hari, minggu, bulan), beberapa aplikasi dan perencanaan selanjutnya yang bersifat seketika, jangka pendek, menengah, dan panjang bisa dilakukan, seperti misalnya:

a pengaturan pergerakan arus lalulintas (*rerouting*) jika terjadi gangguan pada satu atau beberapa ruas jalan, misalnya: kecelakaan pada suatu ruas jalan yang mengakibatkan ruas jalan tersebut harus ditutup sementara;

b pengaturan pergerakan arus lalulintas pada saat lebaran, musim liburan, dan lain-lain;

c peramalan pergerakan arus masa mendatang untuk tujuan perencanaan transportasi berjangka pendek dan menengah;

d sistem informasi kinerja seluruh sistem jaringan jalan dalam daerah studi secara waktu-nyata baik secara numerik maupun grafis, misalnya: volume lalulintas, kepadatan jalan, kecepatan tempuh, dan lain-lain;

e efek dari adanya perubahan kebijakan dalam sistem jaringan jalan terhadap arus lalulintas (misalnya pembangunan jalan tol, pelebaran jalan, pelapisan ulang, dan lain-lain);

f analisis kinerja jaringan jalan akibat perubahan kebijakan sistem jaringan sebelum kebijakan tersebut diterapkan;

g masukan utama untuk berbagai kebijakan perencanaan sistem jaringan transportasi jalan khususnya kebijakan transportasi regional (kabupaten maupun propinsi);

h masukan utama untuk berbagai kebijakan perencanaan sistem jaringan transportasi regional, khususnya jaringan transportasi jalan; dan sangat banyak aplikasi lainnya yang dapat dilakukan dengan informasi MAT waktu-nyata ini.

i dan sangat banyak aplikasi lainnya yang menggunakan informasi MAT berwaktu-nyata ini.

Setelah model tersebut diujicoba dan divalidasi, sebagai pelengkap akhir akan dihasilkan Manual Teknis dan Manual Pelaksanaan yang akan ditindaklanjuti dengan kegiatan seminar dan pelatihan yang bertujuan menyebarkan dan memasyarakatkan hasil pengembangan model dinamis ini pada instansi terkait.

9 Masalah transportasi di negara sedang berkembang

9.1 Permasalahan transportasi perkotaan

Seperti di negara sedang berkembang lainnya, berbagai kota besar di Indonesia berada dalam tahap pertumbuhan urbanisasi yang tinggi akibat laju pertumbuhan ekonomi yang pesat sehingga kebutuhan penduduk untuk melakukan pergerakan pun menjadi semakin meningkat. Mobil sebagai kendaraan pribadi sangat menguntungkan, terutama dalam hal mobilitas pergerakannya. Jumlah penduduk yang tinggal di daerah perkotaan di Indonesia diperkirakan meningkat dari tahun ke tahun akibat tingginya tingkat urbanisasi ini.

Urbanisasi dan industrialisasi selalu terjadi secara bersamaan, terutama di negara yang beralih dari negara pertanian ke negara industri. Indonesia, pada tahun 1990-an, tergolong negara yang sedang bergerak menuju negara semi industri. Sebagai ilustrasi, pada tahun 1950, kota yang berpenduduk lebih dari 1 juta jiwa hanyalah Jakarta. Pada tahun 1970, kota Bandung dan Surabaya berpenduduk lebih dari 1 juta jiwa, dan pada tahun 1990 terdapat 8 kota di Indonesia yang berpenduduk lebih dari 1 juta jiwa, termasuk Medan, Semarang, Bogor, Ujung Pandang, dan Palembang.

Tabel 9.1 Sensus penduduk Indonesia yang tinggal di perkotaan

Tahun	%
1920	5,8 (2,88 Juta)
1980	17,0
1990	25,4 (46,48 Juta)
2025	59,5

Tabel 9.1 memperlihatkan jumlah penduduk di Indonesia yang tinggal di daerah perkotaan. Terlihat bahwa pada akhir tahun 2025 sekitar 60% orang akan tinggal di daerah perkotaan. Jika kita menganggap penduduk Indonesia pada tahun 2025 berjumlah 240 juta orang, akan ada 144 juta penduduk tinggal di daerah perkotaan.

Sebagai ilustrasi lain, Jakarta pada tahun 1990 mempunyai penduduk 8,2 juta jiwa (17% dari total penduduk perkotaan di Indonesia). Mari kita bandingkan dengan penduduk kota besar lain di dunia pada tahun yang sama: New York (8,7%), Los Angeles (6,4%), Paris (8,7%), Bangkok (56,8%), Buenos Aires (41,3%), dan Seoul (38,7%). Terlihat persentase jumlah penduduk kota besar di negara maju cukup kecil, sedangkan di negara sedang berkembang sangat tinggi.

Tantangan bagi pemerintah negara sedang berkembang, dalam hal ini instansi dan departemen terkait serta para perencana transportasi perkotaan, adalah masalah kemacetan lalulintas serta pelayanan angkutan umum perkotaan. Masalah kemacetan ini biasanya timbul pada kota yang penduduknya lebih dari 2 juta jiwa, yang sampai tahun 1996 telah dicapai oleh beberapa kota di Indonesia, seperti DKI-Jakarta, Surabaya, Medan, Bandung, dan Jogyakarta.

Pada akhir tahun 2000, diperkirakan kemacetan akan terjadi di beberapa kota lain seperti Semarang, Palembang, Ujung Pandang, Bogor, disusul kemudian oleh kota Malang dan Bandar Lampung. Sementara pada tahun 2020, hampir semua ibukota propinsi di Indonesia akan dihuni oleh sekitar 2 juta jiwa, yang berarti pada dasawarsa tersebut para pembina daerah perkotaan akan dihadapkan pada permasalahan baru yang memerlukan solusi yang baru pula, yaitu permasalahan transportasi perkotaan. Walaupun kota yang lebih kecil juga mempunyai masalah transportasi yang perlu pemecahan secara dini, pada umumnya masih dalam skala kecil dan tidak memerlukan biaya besar.

Sektor pertanian konvensional secara perlahan terlihat semakin kurang menarik, dan tidak lagi diminati, terutama oleh generasi muda. Di sisi lain, perkotaan menawarkan banyak kesempatan, baik di sektor formal maupun informal. Ditambah lagi dengan tidak meratanya pertumbuhan wilayah di daerah pedalaman dibandingkan dengan di daerah perkotaan. Hal ini menyebabkan tersedianya banyak lapangan kerja serta upah atau gaji yang tinggi di daerah perkotaan dibandingkan dengan di daerah pedalaman. Semua ini merupakan daya tarik yang sangat kuat bagi para pekerja di daerah pedalaman. Pepatah mengatakan ada **gula**, ada **semut**.

Namun, sebesar apa pun kota dengan segala kelengkapannya, pasti mempunyai batasan, yaitu daya tampung. Jika batas tersebut sudah terlampaui, akan terjadi dampak yang merugikan. Dalam konteks kota di Indonesia, fenomena kota bermasalah sudah mulai terlihat, yang diperkirakan akan terus berkembang menjadi persoalan yang semakin rumit, seiring dengan tingginya laju urbanisasi. Hal ini sulit dihindari karena daerah perkotaan sudah terlanjur dianggap sebagai penyedia berbagai macam lapangan pekerjaan.

Tingginya urbanisasi secara tidak langsung dapat dikatakan akibat tidak meratanya pertumbuhan wilayah di Indonesia; antara daerah pedalaman dengan daerah perkotaan. Semakin besarnya perbedaan antara tingkat pertumbuhan wilayah tersebut menyebabkan semakin tingginya tingkat urbanisasi, yang pada gilirannya akan menimbulkan beberapa permasalahan perkotaan, khususnya transportasi.

Orang yang melakukan urbanisasi dapat dikelompokkan menjadi tiga kelompok utama, yaitu a) orang yang mampu membeli tanah di dalam kota dan bekerja di dalam kota; b) orang yang bekerja di dalam kota, tetapi tinggal di pinggiran kota serta mampu membayar biaya transportasi; dan terakhir c) orang yang tidak mampu membeli tanah di dalam kota dan tidak mempunyai kemampuan untuk membayar biaya transportasi.

Orang yang termasuk pada kelompok pertama tidak akan menyebabkan permasalahan yang berarti dalam hal mobilitas dan aksesibilitas karena jarak antara tempat tinggal dengan tempat bekerja yang cukup dekat. Orang yang tergolong pada kelompok kedua, yang persentasenya tertinggi di antara ketiga kelompok tersebut, sangat potensial menimbulkan permasalahan transportasi. Permasalahan tersebut terjadi setiap hari, yaitu pada jam sibuk pagi dan sore hari. Pada jam sibuk pagi hari terjadi proses pergerakan dengan volume tinggi, bergerak ke pusat kota untuk bekerja. Pada sore hari terjadi hal yang sebaliknya karena semua orang kembali ke rumahnya masing-masing.

Permasalahan transportasi semakin bertambah sejalan dengan semakin bergesernya permukiman kelompok berpenghasilan menengah ke bawah ini jauh ke pinggir kota. Kecenderungan ini terus berlangsung sejalan dengan semakin pentingnya daerah perkotaan yang menyebabkan harga tanah semakin mahal.

Kelompok terakhir adalah kelompok yang tidak mampu membeli tanah di dalam kota serta tidak mampu pula membayar biaya transportasi sehingga terpaksa menempati ruang kosong di seputar kota secara ilegal. Implikasi yang timbul seterusnya adalah masalah permukiman kumuh yang bukan saja menyangkut masalah transportasi, tetapi sudah mengarah kepada masalah sosial, kesehatan, kejahatan, pendidikan, dan lain-lain.

Kondisi perekonomian Indonesia terus meningkat, tercermin dari peningkatan rata-rata PDRB sebesar 5,5% per tahun pada periode 1983−1988, dan bahkan 6,1% pada periode 1988−1989. Konsekuensi logisnya berupa meningkatnya permintaan akan pembangunan fisik prasarana, sarana, dan fasilitas pendukung, yang mengakibatkan meningkatnya permintaan akan lahan pembangunan baru di wilayah perkotaan guna menampung kebutuhan tersebut.

Tingkat pertumbuhan ekonomi yang cukup tinggi di wilayah perkotaan telah menarik arus urbanisasi yang tinggi sebab bagi banyak orang hal ini menjanjikan kesempatan kerja yang lebih luas. Hal ini menjadikan tingkat pertumbuhan penduduk dan pekerja yang tinggi di wilayah ini. Gejala serupa juga terjadi pada daerah penyangga di sekitar perkotaan tersebut.

Penggunaan kendaraan pribadi juga meningkatkan kesempatan seseorang untuk bekerja, memperoleh didikan, belanja, rekreasi, dan melakukan aktivitas sosial lainnya. Pada umumnya, peningkatan pemilikan kendaraan pribadi (mobil) merupakan cerminan hasil interaksi antara peningkatan taraf hidup dan kebutuhan mobilitas penduduk di daerah perkotaan; keuntungan penggunaan jalan digunakan untuk meningkatkan kemakmuran dan mobilitas penduduk.

Tetapi, penggunaan kendaraan pribadi juga dapat menimbulkan beberapa efek negatif yang tidak dapat dihindari. Peningkatan penggunaan kendaraan pribadi mengakibatkan peningkatan perusakan kualitas kehidupan, terutama di daerah pusat perkotaan, kemacetan, dan tundaan pada beberapa ruas jalan. Juga terjadi polusi lingkungan, baik suara maupun udara.

Sebagai contoh, pada tahun 1990, jumlah penduduk yang tercatat bermukim di wilayah Jakarta dan Botabek (Bogor, Tangerang, dan Bekasi) mencapai lebih dari 17 juta jiwa; 8,2 juta penduduk Jakarta dan 8,8 juta penduduk Botabek. Diperkirakan, jumlah penduduk Jabotabek mencapai sekitar 23,3 juta jiwa pada tahun 2000 dan sekitar 32,2 juta jiwa pada tahun 2015 atau hampir mencapai dua kali lipat jumlah penduduk saat ini.

Di Jakarta tercatat sekitar 84% kendaraan di jalan raya adalah kendaraan pribadi. Dari jumlah ini ternyata 45% hanya berisi satu orang saja sehingga penggunaan kendaraan pribadi sudah menjadi tidak efisien lagi. Efektivitas penggunaan ruang jalan yang memang sudah sangat terbatas akan menjadi sangat rendah jika digunakan untuk kendaraan pribadi dibandingkan dengan untuk kendaraan umum.

Tingkat pertumbuhan pergerakan yang sangat tinggi yang tidak mungkin dihambat, sementara sarana dan prasarana transportasi sangat terbatas, mengakibatkan aksesibilitas dan mobilitas menjadi terganggu. Sekarang ini program pembangunan jalan di daerah perkotaan membutuhkan biaya yang sangat besar.

Usaha pemerintah untuk memecahkan masalah transportasi perkotaan telah banyak dilakukan, baik dengan meningkatkan kapasitas jaringan jalan yang ada maupun dengan pembangunan jaringan jalan baru, ditambah dengan rekayasa dan manajemen lalulintas terutama pengaturan efisiensi transportasi angkutan umum dan penambahan armadanya. Tetapi, berapa pun besarnya biaya yang dikeluarkan, kemacetan dan tundaan tetap tidak bisa dihindari. Ini disebabkan karena kebutuhan akan transportasi terus berkembang pesat, sedangkan perkembangan penyediaan fasilitas transportasi sangat rendah sehingga tidak bisa mengikutinya.

Sebagai ilustrasi, pertumbuhan panjang dan luas jalan raya di Jakarta antara tahun 1988 sampai dengan 1993 hanya 4%–5% saja, sedangkan pertumbuhan kendaraan mencapai 9%–10%, hampir dua kali lipat pertumbuhan panjang dan luas jalan raya yang ada (**ARSDS**, **1985**). Akibat yang dirasakan adalah kemacetan lalulintas yang sering terjadi yang terlihat jelas dalam bentuk antrian panjang, tundaan, dan juga polusi, baik suara maupun udara. Masalah lalulintas tersebut jelas menimbulkan kerugian yang sangat besar pada pemakai jalan, terutama dalam hal pemborosan bahan bakar, pemborosan waktu (tundaan), dan juga rendahnya kenyamanan.

Dapat dibayangkan berapa banyak uang yang terbuang percuma karena kendaraan terperangkap dalam kemacetan dan berapa banyak uang yang dapat disimpan jika kemacetan dapat dihilangkan (dari segi biaya bahan bakar dan nilai waktu tundaan). Hal tersebut menyebabkan perlunya dipikirkan beberapa alternatif pemecahan masalah transportasi, terutama kemacetan di daerah perkotaan.

Untuk menanggulangi kemacetan lalulintas ini, pemerintah daerah melakukan berbagai langkah, baik berupa menyusun kebijakan, menyusun tindakan, maupun menggarap aspek hukum. Hasilnya berupa pembangunan dan pengembangan prasarana, optimasi penggunaan ruang jalan, serta penerapan peraturan dan hukum. Walaupun demikian, terlepas dari penilaian terhadap efisiensi dan efektivitas kebijakan serta langkah yang diambil, tampaknya kondisi kemacetan di wilayah perkotaan tidak menunjukkan perubahan yang berarti. Ini bukan saja karena memang kapasitas pelayanan yang kurang memadai, tapi juga karena pertumbuhan permintaan yang cukup tinggi dibandingkan dengan pertumbuhan penyediaan sarana dan prasarana transportasi yang dibutuhkan.

Faktor lain penyebab kemacetan di daerah perkotaan adalah meningkatnya kecenderungan para pemakai jasa transportasi untuk menggunakan kendaraan pribadi dibandingkan dengan kendaraan umum. Dari total pemakaian kendaraan bermotor di Jakarta, pangsa pemilihan moda untuk pemakaian kendaraan umum dan kendaraan pribadi adalah 49,1% untuk kendaraan umum dan 50,9% untuk kendaraan pribadi pada tahun 1990 (**JMTSS**, **1992**) (untuk lebih jelasnya lihat tabel 9.2).

Tabel 9.2 Karakteristik pergerakan di DKI-Jakarta

Jenis pergerakan	1990	2015	Tingkat pertumbuhan dalam 25 tahun (%)	Tingkat pertumbuhan tahunan (%)
Pergerakan per hari (bermotor)				
Di dalam Jakarta	7.845.088	17.826.200	+ 127,2	3,34
Jakarta ke/dari Botabek	1.854.844	5.820.122	+ 213,8	4,68
Total	9.599.932	23.646.322	+ 143,7	3,63
Populasi				
Jakarta	8.207.689	12.060.300	+ 46,9	1,55
Botabek	8.867.901	20.102.359	+ 126,5	3,32
Jabotabek	17.075.590	32.162.659	+ 88,3	2,56
Pangsa pemilihan moda	Umum/Pribadi	Umum/Pribadi		
Di dalam Jakarta	49,1/50,9	58,7/41,3		
Jakarta ke/dari Botabek	67,1/32,9	60,0/40,0		
Total	52,5/47,5	59,0/41,0		
Pergerakan/orang/hari (bermotor)	0,96	1,48	+ 54,2	1,72
Angkutan umum	0,47	0,87	+ 85,0	2,49
Angkutan pribadi	0,49	0,61	+ 24,5	0,88
Pergerakan angkutan umum/hari				
Di dalam Jakarta	3.851.938	10.463.979	+ 171,7	7,08
Jakarta ke/dari Botabek	1.244.600	3.492.073	+ 180,6	4,21
Total	5.096.538	13.956.052	+ 173,8	4,11
Pergerakan angkutan pribadi/hari				
Di dalam Jakarta	3.993.150	7.362.221	+ 84,4	2,48
Jakarta ke/dari Botabek	610.244	2.328.049	+ 281,5	5,50
Total	4.603.394	9.690.270	+ 110,5	3,02
Pergerakan angkutan pribadi/hari				
Pusat perkotaan	559.000	627.000	+ 12,2	0,46

Sumber: JMTSS (1992)

Jika dibandingkan dengan pangsa pemilihan moda pada tahun-tahun sebelumnya, yaitu 57% untuk kendaraan umum dan 43% untuk kendaraan pribadi pada tahun 1985 **(ARSDS**, **1985)** serta 61% untuk kendaraan umum dan 39% untuk kendaraan pribadi pada tahun 1972 **(JMATS**, **1972)**, terlihat penurunan pemakaian angkutan umum serta peningkatan pemakaian angkutan pribadi. Akibat lebih jauh dari kecenderungan ini adalah menurunnya efisiensi penggunaan sarana maupun prasarana jaringan jalan yang semakin mempersulit upaya penanggulangan kemacetan.

Selain membaiknya keadaan ekonomi yang menyebabkan tingkat kepemilikan kendaraan pribadi semakin tinggi, menurunnya peranan angkutan umum juga disebabkan oleh rendahnya tingkat pelayanan angkutan umum itu sendiri. Pada dasarnya, tingkat pelayanan yang rendah itu menyangkut sarana dan prasarana yang kurang memadai, waktu tempuh yang cukup lama, jumlah penumpang yang

melebihi kapasitas angkut, tingkat kenyamanan yang rendah, sistem jaringan yang kurang memadai, serta aksesibilitas yang sulit untuk beberapa daerah tertentu.

Jika sistem pelayanan angkutan umum ini tidak segera diperbaiki, pemakai jasa transportasi semakin tidak menyukai angkutan umum. Dengan demikian, peranan angkutan umum semakin bertambah kecil. Hal ini terlihat dari gambaran hasil survei 'Persepsi BPP Teknologi' di wilayah Jakarta pada tahun 1989, yang menunjukkan bahwa hanya 23,3% yang menyatakan bahwa pelayanan angkutan umum itu baik, 45,6% menyatakan biasa saja, 24,4% menyatakan buruk, dan 6,7% tidak mengetahui keadaan angkutan umum.

Dari data ini dapat disimpulkan bahwa menurunnya peranan angkutan umum dapat dilihat dari dua sisi yang saling berkaitan, yaitu sisi penyedia jasa dan sisi pemakai jasa. Penyediaan jasa angkutan umum yang belum memadai dapat menimbulkan semakin jeleknya citra mereka yang pada akhirnya menyebabkan semakin rendahnya tingkat pemakaian angkutan umum. Untuk memperbaiki keadaan ini, perlu segera dilakukan beberapa tindakan nyata dalam meningkatkan pelayanan angkutan umum, baik yang menyangkut kapasitas pelayanan, jaringannya, serta penggunaan modanya.

Untuk mengantisipasi kebutuhan akan angkutan umum di masa mendatang perlu dikembangkan jumlah armada, terutama bus besar, mengingat beberapa koridor utama sangat membutuhkan penambahan jumlah armada yang harus disesuaikan dengan pola permintaan. Selain itu, perlu diingat kondisi yang ada saat ini, yaitu terjadinya tumpang tindih antara pengoperasian bus besar, bus sedang, dan mikrolet. Oleh sebab itu, rute pelayanan setiap jenis bus harus pula disesuaikan dengan pola jaringan jalan, selain dengan pola permintaannya.

9.2 Permasalahan transportasi regional

9.2.1 Pentingnya sistem transportasi regional propinsi

Keberhasilan pembangunan akan meningkatkan pertumbuhan ekonomi yang berdampak nyata pada perubahan yang konstruktif dalam masyarakat di semua aspek kehidupan, serta menjadikan situasi dan kondisi lingkungannya mengalami perubahan yang fundamental ke arah peningkatan yang lebih baik dan lebih maju. Pelaksanaan pembangunan yang kini sedang berlangsung, baik secara regional maupun secara nasional, akan terus berlanjut sesuai dengan pola kebijaksanaan pemerintah atas dasar arahan Garis-Garis Besar Haluan Negara (GBHN).

Keberhasilan pembangunan juga akan meningkatkan pertumbuhan ekonomi sehingga mampu meningkatkan taraf hidup masyarakat luas sehingga memperkuat stabilitas nasional. Peningkatan pertumbuhan perekonomian akan meningkatkan peranan sektor transportasi dalam menunjang pencapaian sasaran pembangunan dan hasil-hasilnya; sebaliknya, fungsi sektor transportasi akan merangsang peningkatan pembangunan ekonomi, karena antara fungsi sektor transportasi dan pembangunan ekonomi mempunyai hubungan kausal (timbal balik).

Masalah transportasi atau perhubungan merupakan masalah yang selalu dihadapi oleh negara-negara yang telah maju dan juga oleh negara-negara yang sedang

berkembang seperti Indonesia, baik di bidang transportasi perkotaan maupun transportasi regional regional antarkota. Terciptanya sistem transportasi atau perhubungan yang menjamin pergerakan manusia dan/atau barang secara lancar, aman, cepat, murah, dan nyaman merupakan tujuan pembangunan dalam sektor perhubungan (transportasi).

Di negara Republik Indonesia yang berbentuk kepulauan dengan daerah yang sangat luas, sangat dirasakan kebutuhan akan sistem transportasi (perhubungan) yang efektif dalam arti murah, lancar, cepat, mudah, teratur, dan nyaman untuk pergerakan manusia dan/atau barang. Setiap tahap pembangunan sangat memerlukan sistem transportasi yang efisien sebagai salah satu prasyarat guna kelangsungan dan terjaminnya pelaksanaan pembangunan tersebut. Jadi, pembangunan sektor perhubungan harus direncanakan, dijabarkan, dan dilaksanakan secara terkoordinasi, terpadu, dan sesuai dengan perkembangan dan perubahan tuntutan di masa mendatang.

Salah satu komponen penting untuk menunjang pertumbuhan ekonomi adalah jaringan prasarana dasar, dalam hal ini prasarana sistem jaringan transportasi. Sejak Pembangunan Jangka Panjang (PJP) tahap I sampai sekarang, pembangunan prasarana jalan raya mendapat prioritas utama agar kegiatan ekonomi dapat bertumbuh kembang sesuai dengan yang diharapkan.

Prasarana sistem jaringan transportasi di sini diartikan sebagai alat untuk menghubungkan suatu daerah dengan daerah lain, baik melalui darat, laut, maupun udara. Hubungan darat dapat dicapai dengan membangun jalan raya atau jalan kereta api, sedangkan hubungan laut atau udara dengan membangun dermaga pelabuhan atau lapangan terbang.

Sistem perhubungan atau transportasi mana yang sesuai untuk diterapkan pada suatu daerah tergantung pada kondisi fisik/alami wilayah yang bersangkutan maupun kondisi sosial ekonomi, sektor pembangunan yang ada, serta berbagai potensi lainnya yang dimiliki oleh daerah itu. Dalam merencanakan sistem jaringan transportasi hendaknya dipertimbangkan faktor-faktor yang sangat mempengaruhi sistem, antara lain karakteristik permintaan, tata guna lahan, serta kondisi daerah.

Faktor yang tidak kurang pentingnya adalah bahwa sistem jaringan transportasi pada umumnya dan sistem jaringan jalan raya dan jalan kereta api pada khususnya yang akan diterapkan harus mampu dikembangkan untuk memenuhi permintaan akan jasa transportasi pada masa mendatang. Penerapan jaringan jalan raya yang tidak sesuai dengan tata guna lahan, karakteristik permintaan, kondisi daerah setempat, serta tidak melalui perencanaan yang baik, sering menimbulkan masalah yang sulit ditanggulangi, terutama jika permintaan akan jasa transportasi sudah melampaui kapasitas sistem yang ada.

9.2.2 Rencana tata ruang wilayah nasional (RTRWN)

Rencana tata ruang wilayah nasional (RTRWN) sebagai pedoman perumusan kebijakan pokok pemanfaatan ruang di wilayah nasional menjabarkan bahwa struktur dan pola ruang nasional harus mewujudkan keterpaduan, keterkaitan, dan keseimbangan perkembangan antarwilayah serta keserasian antarsektor seperti

kawasan pariwisata, pertanian, pangan, perkebunan, industri, pertambangan, serta pertahanan keamanan atau perbatasan. Tidak dapat disangkal bahwa peran dan fungsi prasarana sistem jaringan jalan sebagai salah satu bagian dari sistem jaringan transportasi sangat dibutuhkan. Selain itu, dibutuhkan pula perumusan sistem jaringan transportasi yang memperlihatkan keterkaitan antarmoda secara terpadu untuk pengembangan kota dan kawasan serta untuk meningkatkan keterkaitan wilayah pada skala nasional.

Dalam hal ini, RTRWN juga menjabarkan syarat pemanfaatan ruang nasional untuk pembangunan kegiatan transportasi dalam menunjang kegiatan sosial, ekonomi, dan pertahanan keamanan pada kawasan budi daya, kota atau permukiman dan kawasan tertentu yang diindikasikan pada struktur dan pola ruang nasional dalam rangka mewujudkan tujuan dan sasaran PJP tahap II. Perumusan kebijakan dan perencanaan sektor perhubungan atau transportasi yang ditempuh memerlukan keterpaduan dari semua sub-sektor, baik sub-sektor perhubungan darat, sungai, laut, maupun udara yang kesemuanya akan menciptakan sistem perhubungan atau transportasi yang bertumpu pada angkutan antarmoda yang saling mengisi dan melengkapi dalam melayani angkutan di Indonesia.

Diharapkan terwujud suatu sistem jaringan transportasi yang mengintegrasikan semua pusat kegiatan dalam konteks regional, yang tidak dapat dipisahkan dari sistem kota yang berada di sekitarnya, yang merupakan suatu kesatuan sistem kota yang berinteraksi satu sama lain. Dalam hal ini, peran dan fungsi sistem jaringan jalan raya lebih diutamakan karena mempunyai kelebihan dibandingkan dengan moda transportasi lainnya, terutama dalam hal mobilitas dan kepadatan jaringan sehingga aksesibilitas setiap tempat akan lebih mudah jika menggunakan moda transportasi jalan raya. Tetapi, sistem transportasi antarmoda terpadu sudah barang tentu merupakan jawaban yang paling tepat untuk Indonesia.

9.2.3 Rencana tata ruang wilayah propinsi (RTRWP)

Pembangunan daerah pada dasamya merupakan bagian integral dari pembangunan nasional; pembangunan daerah merupakan upaya pencapaian sasaran nasional di daerah, menyangkut masalah, potensi, aspirasi, dan prioritas masyarakat daerah. Sebaliknya, keseluruhan pembangunan di daerah merupakan satu kesatuan pembangunan nasional. Dengan demikian, keduanya harus dilaksanakan secara serasi serta diarahkan agar dapat berlangsung secara berdaya guna dan berhasil guna di semua tingkat administrasi daerah.

Jika kita mengambil kasus Propinsi Jawa Barat, maka pembangunan Propinsi Daerah Tingkat I Jawa Barat terutama ditekankan pada upaya meningkatkan daya guna dan hasil guna pembangunan sektoral sesuai dengan potensi dan prioritas daerah yang bersangkutan, meningkatkan daya guna sarana dan prasarana sosial ekonomi yang telah ada, serta meningkatkan kemampuan partisipasi daerah dalam pelaksanaan pembangunan. Dalam hal ini terlihat bahwa Pemda Tingkat I Jawa Barat mempunyai peranan sangat penting, terutama dalam rangka koordinasi kegiatan pembangunan yang dilakukan instansi vertikal, unsur pemerintah daerah, dunia usaha, dan masyarakat daerah. Dengan luas wilayah 44.355 km^2, mencakup 25 Daerah Tingkat II (20 Kabupaten dan 5 Kotamadya) dan 6 Wilayah

Administratif, Daerah Tingkat I Propinsi Jawa Barat merupakan propinsi yang berbatasan langsung dengan DKI-Jakarta. Karena itu, mempunyai posisi yang penting dalam konteks nasional sebagai pendukung utama ibukota negara.

Dalam kaitannya dengan sistem transportasi regional, perencanaan sistem transportasi diarahkan dalam rangka mendukung RTRWP. Karena itu, dalam mengkaji sistem transportasi regional, diperlukan analisa potensi wilayah, yang meliputi analisa potensi kawasan industri, pertanian dan perkebunan, kehutanan, perikanan, pertambangan, sumber daya mineral, pariwisata, dan perdagangan.

9.2.4 Sistem transportasi nasional (Sistranas)

Dinamika pembangunan bidang perhubungan pada PJP tahap II mengisyaratkan terwujudnya Sistem Transportasi Nasional (Sistranas) yang handal dan berkemampuan tinggi dan mendukung mobilitas barang, jasa, dan manusia secara berwawasan nasional. Globalisasi ekonomi perkembangan kawasan strategis semakin menuntut penyediaan jasa transportasi pada masa-masa mendatang. Tuntutan tersebut akan nampak keberhasilannya melalui kinerja efektivitas dan efisiensi berdasarkan parameter optimasi dan minimasi beban yang harus ditanggung masyarakat serta dapat mengantisipasi mekanika penataan sistem. Kinerja permintaan akan jasa transportasi domestik mengungkapkan bahwa jasa angkutan penumpang hingga akhir Pelita V mencapai sekitar 5–7% per tahun dan jasa angkutan barang sekitar 6–9% per tahun. Sementara itu, kinerja pertumbuhan ekonomi nasional melalui indikator (Produksi Nasional Kotor) pada kurun waktu yang sama, menunjukkan angka yang cukup tinggi, yaitu sekitar 5–9% per tahun.

Di samping itu, secara statistik, khususnya prasarana transportasi darat yang mempunyai unsur transportasi jalan raya, kereta api dan angkutan sungai serta danau penyeberangan menunjukkan bahwa panjang jalan di Indonesia menurut status jalan nasional, propinsi, kabupaten, kotamadya pada akhir Pelita V tahun 1993 mencapai panjang 244.164 km. Panjang jalan tersebut telah berfungsi secara meluas hampir di seluruh pelosok tanah air, termasuk wilayah pertumbuhan di pusat-pusat produksi dan di daerah yang menghubungkan pusat produksi dengan daerah pemasarannya.

Selama dasawarsa terakhir, pola pengembangan ruang nasional menunjukkan adanya pusat pertumbuhan baru yang membentuk konstalasi dan interkoneksi dengan pusat pertumbuhan yang telah ada dalam memacu pertumbuhan dan latar belakangnya. Hal ini terlihat hampir di semua wilayah Indonesia, terutama pada kawasan timur Sumatera, kawasan lintas utara dan selatan pulau Jawa, Bali, Nusa Tenggara Barat, Nusa Tenggara Timur, Timor Timur, Kalimatan, Sulawesi, Maluku, dan Irian Jaya.

Pusat pertumbuhan pada semua wilayah di atas membentuk mata rantai pengembangan kawasan andalan yang strategis, berorientasi keluar, serta terintegrasi pada pertumbuhan regional maupun nasional. Korelasi dan interaksi antarkawasan andalan akan semakin tinggi aksesnya apabila terdapat mediator. Mediator tersebut antara lain kemudahan hubungan melalui ketersediaan prasarana perhubungan atau transportasi yang bersistem. Program Pelita VI merupakan tahap

awal PJP tahap II, mengintroduksi pembangunan bidang perhubungan, yang salah satunya adalah pembinaan jalan, yang ditujukan untuk mendukung Sistem Transportasi Nasional (Sistranas). Sistranas itu sendiri terwujud ke dalam struktur kawasan, sarana, rute, dan prasarana.

9.2.5 Sistem transportasi regional propinsi

Pergerakan barang dan manusia dapat mencerminkan keterhubungan satu wilayah dengan wilayah lainnya. Keterhubungan ini sangat penting bagi perkembangan suatu daerah. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa hubungan wilayah, baik secara eksternal maupun internal, akan banyak mempengaruhi kehidupan wilayah itu sendiri dan wilayah lain di sekitamya.

Adanya satu pusat pertumbuhan dan spesialisasi kegiatan pada satu lokasi akan memacu tumbuhnya bangkitan pergerakan, sehingga pengembangan jaringan jalan sebagai sarana perhubungan ini sangat dibutuhkan bagi perkembangan suatu daerah. Tingkat aksesibilitas dapat diukur dari besar kecilnya aliran pergerakan penduduk antarwilayah, dan aksesibilitas merupakan ukuran kemudahan daya hubung antardaerah yang dinilai dari beberapa indikator. Kemudahan daya hubung suatu daerah ini juga dipengaruhi oleh keberadaan sistem transportasi yang ditunjang oleh kelengkapan prasarana dan sarana perhubungan lainnya yang menyeluruh baik secara regional maupun lokal.

Untuk mendukung pengembangan pariwisata di Jawa Barat, dukungan dari prasarana dan sarana transportasi juga diperlukan. Baiknya sistem transportasi yang untuk mencapai lokasi pariwisata, atau dengan kata lain baiknya aksesibilitas lokasi pariwisata, akan menjadi salah satu penambah daya tarik potensi wisata.

Bandara Soekarno–Hatta di Propinsi Jawa Barat belum menguntungkan peningkatan wisatawan ke Jawa Barat karena jalur transportasi yang ada langsung menuju DKI-Jakarta. Karenanya, dibutuhkan jalan tembus ke arah potensi objek dan daya tarik wisata di Propinsi Jawa Barat dengan meningkatkan kualitas bandara di Kotamadya Bandung untuk mewujudkan jalur penerbangan berskala internasional.

Tingginya mobilitas penduduk menyebabkan adanya persaingan antara sarana transportasi untuk kegiatan wisata dengan kegiatan ekonomi lainnya. Selanjutnya, hal ini akan menyebabkan:

- kepadatan lalulintas tinggi
- transportasi umum regional kurang terjamin
- fasilitas antarmoda kurang mendukung mobilitas wisatawan.

Sementara itu, dana pemerintah untuk mengembangkan jaringan jalan sering sangat terbatas, sehingga sering penanganan jaringan jalan dilakukan hanya pada ruas-ruas jalan yang padat, padahal jaringan jalan yang menghubungkan daerah wisata umumnya kurang padat. Karena itu, perlu dicarikan sumber dana lain, misalnya investor yang berminat mengembangkan lokasi wisata bersangkutan.

Selain masalah pendanaan, Jawa Barat bagian selatan juga memiliki kendala alam yang menjadi kendala pembangunan jaringan jalan, yaitu adanya pegunungan di

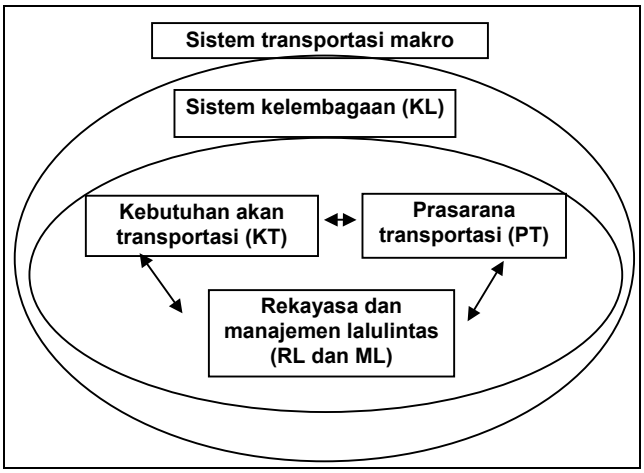
Jawa Barat bagian tengah, sehingga jalur pantai Pangandaran–Ujung Kulon harus ditembus dengan jalan yang berliku-liku dan dengan kemiringan lereng yang cukup tinggi dari daerah Jawa Barat bagian tengah dan utara.

9.3 Pendekatan sistem transportasi

9.3.1 Umum

Untuk mendapatkan pengertian yang lebih mendalam dan beberapa alternatif pemecahan masalah yang terbaik, transportasi dalam arti luas harus dikaji dalam bentuk kajian sistem yang terdiri dari beberapa komponen yang saling terkait. Sistem tersebut dikenal dengan sistem transportasi secara menyeluruh (makro) yang dapat dipecahkan menjadi beberapa sistem transportasi yang lebih kecil (mikro) yang masing-masing saling terkait dan saling mempengaruhi seperti terlihat pada gambar 9.1. Sistem transportasi mikro tersebut adalah:

- Sistem Kebutuhan akan Transportasi (KT)
- Sistem Prasarana Transportasi (PT)
- Sistem Rekayasa dan Manajemen Lalulintas (RL dan ML)
- Sistem Kelembagaan (KLG)



Gambar 9.1
Sistem transportasi makro
Sumber: Tamin (1991d,1992b, 1993a, 1994b,1995hjk)

Sistem Kebutuhan akan Transportasi (KT) merupakan sistem pola kegiatan tata guna lahan yang terdiri dari sistem pola kegiatan sosial, ekonomi, kebudayaan, dan lain-lain. Kegiatan dalam sistem ini membutuhkan pergerakan sebagai alat pemenuhan kebutuhan yang perlu dilakukan setiap hari. Pergerakan yang meliputi pergerakan manusia dan/atau barang itu jelas membutuhkan moda (sarana) transportasi dan media (prasarana) tempat moda transportasi tersebut bergerak.

Prasarana transportasi yang diperlukan itu merupakan sistem transportasi mikro yang kedua, yang meliputi sistem jaringan jalan raya dan kereta api, terminal bus dan stasiun kereta api, serta bandara dan pelabuhan laut. Peranan sistem jaringan transportasi sebagai prasarana perkotaan mempunyai dua tujuan utama:

- sebagai alat untuk mengarahkan pembangunan perkotaan;
- sebagai prasarana bagi pergerakan orang dan barang yang timbul akibat adanya kegiatan di daerah perkotaan tersebut.

Interaksi antara sistem Kebutuhan akan Transportasi dan sistem Prasarana Transportasi ini akan menghasilkan pergerakan manusia dan/atau barang dalam bentuk pergerakan kendaraan dan/atau orang (pejalan kaki). Sistem pergerakan yang aman, cepat, nyaman, murah, handal, dan sesuai dengan lingkungannya dapat tercipta jika sistem pergerakan tersebut diatur oleh sistem Rekayasa dan Manajemen Lalulintas yang baik.

Kemacetan yang sering terjadi di kota besar di Indonesia biasanya disebabkan oleh kebutuhan akan transportasi yang lebih besar dibandingkan dengan prasarana transportasi yang tersedia tidak dapat berfungsi sebagaimana mestinya. Sistem Kebutuhan akan Transportasi (KT), Prasarana Transportasi (PT), Rekayasa dan Manajemen Lalulintas (RL dan ML) saling mempengaruhi seperti terlihat pada gambar 9.1.

Perubahan sistem KT jelas mempengaruhi sistem PT melalui perubahan pada tingkat pelayanan pada sistem pergerakan. Begitu juga, perubahan sistem PT dapat mempengaruhi sistem KT melalui peningkatan mobilitas dan aksesibilitas sistem pergerakan. Selain itu, sistem RL dan ML berperanan penting dalam menampung sistem pergerakan agar tercipta sistem pergerakan yang aman, cepat, nyaman, murah, handal, dan sesuai dengan lingkungan, yang akhirnya juga pasti mempengaruhi sistem KT dan PT. Ketiga sistem transportasi mikro ini saling berinteraksi satu dengan yang lainnya yang terkait dalam suatu sistem transportasi makro.

Untuk menjamin terwujudnya suatu sistem pergerakan yang aman, nyaman, lancar, murah, dan sesuai dengan lingkungannya, terdapat satu sistem mikro lainnya yang perlu diperhatikan yaitu Sistem Kelembagaan (KL) yang terdiri beberapa individu, kelompok, lembaga, instansi pemerintah serta swasta yang terlibat dalam masing-masing sistem mikro tersebut. Di Indonesia sistem kelembagaan (instansi) yang berkaitan dengan masalah transportasi adalah:

- **Sistem Kegiatan**:

  BAPPENAS, BAPPEDA, BANGDA, PEMDA

- **Sistem Jaringan**:

  Departemen Perhubungan (Darat, Laut, Udara), Bina Marga

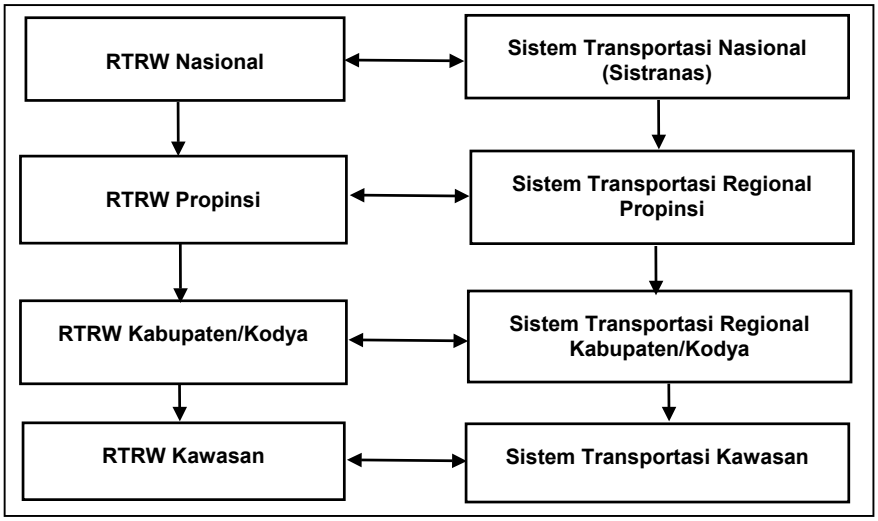
- **Sistem Pergerakan**:

  DLLAJ, Organda, Polantas, masyarakat

Bappenas, Bappeda, Bangda, dan Pemda berperanan sangat penting dalam menentukan sistem KT melalui kebijakan, baik wilayah, regional maupun sektoral. Kebijakan sistem PT secara umum ditentukan oleh Departemen Perhubungan, baik darat, laut, maupun udara serta Departemen PU melalui Direktorat Jenderal Bina

Marga. Sistem RL dan ML ditentukan oleh DLLAJ, Dephub, Polantas, masyarakat sebagai pemakai jalan dan lain-lain.

Kebijakan yang diambil tentunya dapat dilaksanakan dengan baik melalui penerapan peraturan yang secara tidak langsung juga memerlukan sistem penegakan hukum yang baik. Jadi, secara umum dapat disebutkan bahwa pemerintah, swasta dan masyarakat seluruhnya dapat berperan mengatasi masalah dalam sistem transportasi perkotaan ini, terutama dalam hal mengatasi kemacetan. Keterkaitan antara kebijaksanaan Sistem KT dengan Sistem PT pada berbagai tingkat dapat diperlihatkan pada gambar 9.2.



Gambar 9.2 Keterkaitan RTRW dan sistem prasarana tansportasi pada berbagai tingkat

RTRWN sebagai pedoman perumusan kebijaksanaan pokok pemanfaatan ruang di wilayah nasional menjabarkan bahwa struktur dan pola ruang nasional harus mewujudkan keterpaduan, keterkaitan dan keseimbangan perkembangan antarwilayah serta keserasian antarsektor seperti misalnya: kawasan pariwisata, pertanian pangan dan perkebunan, industri, pertambangan serta pertahanan keamanan atau perbatasan. Dasar hukum bagi pemerintah dalam membuat kebijakan dalam penataan ruang adalah UU nomor 24 tahun 1992 tentang penataan ruang.

RTRWN ini diharapkan menjadi payung dan acuan bagi setiap propinsi dalam mengembangkan tata ruang dalam skala yang lebih kecil yang dikenal dengan Rencana Tata Ruang Wilayah Propinsi (RTRWP). RTRWP menjadi acuan bagi rencana tata ruang yang lebih kecil yaitu skala kabupaten atau kotamadya (RTRWK), dimana selanjutnya RTRWK menjadi acuan bagi rencana tata ruang kawasan yang lebih kecil. Pembangunan daerah pada dasarnya merupakan bagian integral dari pembangunan nasional dimana pembangunan daerah merupakan upaya pencapaian sasaran nasional di daerah sesuai masalah, potensi, aspirasi, dan prioritas masyarakat daerah.

Kegiatan yang tercipta dari kebijakan penataan ruang yang tertuang dalam RTRWN sudah barang tentu akan menimbulkan adanya pergerakan regional secara nasional.

Dalam hal ini tidak dapat disangkal lagi bahwa peran dan fungsi Sistem Transportasi Nasional (Sistranas) sangatlah dibutuhkan untuk mengakomodir pergerakan yang dihasilkan oleh interaksi antarkegiatan tersebut.

Sesuai dengan kondisi geografis Indonesia, perumusan Sistranas sudah barang tentu harus memperlihatkan adanya keterkaitan antarmoda secara terpadu untuk meningkatkan keterkaitan wilayah pada skala nasional. Dasar hukum bagi pemerintah dalam pengambilan kebijakan strategi pengembangan sistem jaringan jalan adalah UU Nomor 13 tahun 1980 tentang jalan sedangkan bagi pengambilan kebijakan sistem pergerakan lalulintas diatur dalam UU Nomor 14 tahun 1992 tentang lalulintas angkutan jalan.

Sebaliknya keseluruhan pembangunan di daerah merupakan satu kesatuan pembangunan nasional, dengan demikian keduanya harus dilaksanakan secara serasi serta diarahkan agar dapat berlangsung secara berdaya guna dan berhasil guna di seluruh tingkat administrasi daerah. Dalam kaitan dengan sistem transportasi regional, perencanaan sistem transportasi regional tersebut harus diarahkan dalam usaha mendukung RTRWP dan tetap berada di bawah payung kebijakan pengembangan Sistranas. Oleh karena itu, dalam mengkaji sistem transportasi regional diperlukan analisis potensi wilayah, yang meliputi: kawasan industri, pertanian dan perkebunan, kehutanan, perikanan, pertambangan, sumber daya mineral, pariwisata, dan perdagangan yang tertuang dalam RTRWP.

Sistem transportasi regional propinsi diharapkan akan menjadi payung dan acuan bagi setiap kabupaten dan kotamadya dalam mengembangkan sistem transportasi regional dalam skala yang lebih kecil yaitu skala kabupaten/kotamadya dengan tetap mengacu pada kebijakan penataan tata ruang yang tercakup dalam RTRWK. Selanjutnya, sistem transportasi regional kabupaten/kotamadya tersebut menjadi acuan bagi sistem yang lebih kecil yaitu sistem transportasi kawasan yang juga diharuskan mengacu pada rencana tata ruang kawasan.

9.3.2 Keterkaitan tata ruang dengan transportasi

Kebijakan tata ruang sangat erat kaitannya dengan kebijakan transportasi. Ruang merupakan kegiatan yang ‘ditempatkan’ di atas lahan kota, sedangkan transportasi merupakan sistem jaringan yang secara fisik menghubungkan satu ruang kegiatan dengan ruang kegiatan lainnya. Antara ruang kegiatan dan transportasi terjadi hubungan yang disebut **siklus penggunaan ruang transportasi**.

Bila akses transportasi ke suatu ruang kegiatan (persil lahan) diperbaiki, ruang kegiatan tersebut akan menjadi lebih menarik, dan biasanya menjadi lebih berkembang. Dengan berkembangnya ruang kegiatan tersebut, meningkat pula kebutuhan akan transportasi. Peningkatan ini kemudian menyebabkan kelebihan beban pada transportasi, yang harus ditanggulangi, dan siklus akan terulang kembali bila aksesibilitas diperbaiki.

Seperti halnya penjelasan di atas, struktur kota yang tersebar memanjang dari pusat ke pinggiran atau acak secara meluas ke segala penjuru kota menyebabkan tidak memadainya perkembangan prasarana jalan dan angkutan umum untuk melayani masyarakat.

Persoalan menjadi semakin rumit karena selain disebabkan oleh hal yang telah diuraikan di atas, juga oleh terbatasnya lahan di pusat kegiatan perkotaan sehingga pelebaran dan penambahan ruas jalan baru sulit dilakukan. Sementara itu, pola perjalanan yang terjadi, yang sesuai dengan pola perkembangan, lokasi kegiatannya tetap terkonsentrasi pada kawasan yang sama.

9.4 Sistem integrasi transportasi antarmoda terpadu

9.4.1 Umum

Survei Asal–Tujuan Nasional yang dilakukan pada tahun 1995 memberikan indikasi tentang pola transportasi di Indonesia yang meliputi transportasi darat, sungai, laut, dan udara. Karena Indonesia negara kepulauan, tidak bisa dihindari perlunya pertukaran moda transportasi dalam suatu perjalanan, baik untuk penumpang maupun barang dari tempat asal menuju ke tempat tujuan. Biaya transportasi dari tempat asal ke tempat tujuan ini merupakan kombinasi dari biaya transportasi setiap moda ditambah dengan biaya transit dari suatu moda ke moda lainnya.

Khusus untuk pergerakan barang (industri), sistem transportasi antarmoda terpadu merupakan sistem yang bertujuan melayani perdagangan dengan memberikan atau menawarkan kemudahan dalam menangani proses pengiriman barang. Kemudahan tersebut diarahkan kepada pengirim dan penerima barang (eksportir dan importir), untuk tidak lagi dibebani oleh kompleksitas yang dihadapi dalam menangani sendiri seluruh atau sebagian dari proses pengiriman barang tersebut.

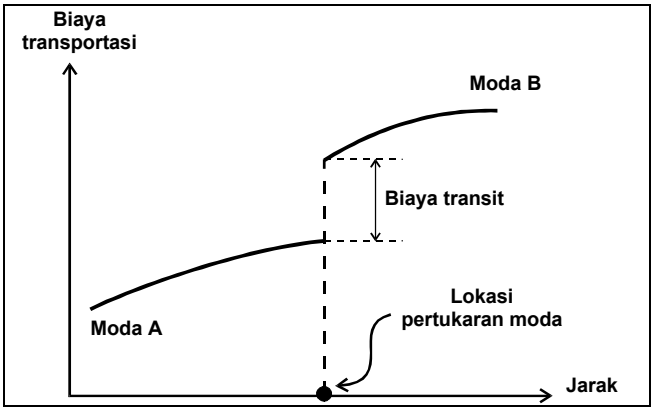
Hal ini akan lebih dirasakan bilamana pengiriman barang itu melibatkan lebih dari satu moda transportasi, sehingga dalam proses pelaksanaannya, barang akan melalui beberapa tahapan ‘penerimaan’ dan ‘penyerahan’, sejak penerimaan awal sampai pada penerimaan akhir (pembeli).

Selain itu, karena keterbatasan peran setiap prasarana transportasi dalam menjangkau suatu wilayah secara menyeluruh, maka sistem integrasi antarmoda diharapkan dapat menanggulangi keterbatasan tersebut. Hal yang penting dalam integrasi antarmoda meliputi kondisi dan bentuk jaringan prasarana transportasi, titik simpul (temu) antara berbagai moda berupa terminal atau dermaga, yaitu tempat pergantian antarmoda yang satu dengan moda lainnya sehingga kontinuitas pergerakan orang atau barang dapat berlangsung dengan lancar.

Di samping itu, faktor operasional juga sangat menentukan, khususnya bagi angkutan umum seperti ketersediaan moda dengan jadwal yang teratur dan terintegrasi antara satu moda dengan moda lainnya sehingga memudahkan pengguna jasa angkutan di samping tentunya pengaturan tarif yang terjangkau masyarakat luas.

9.4.2 Waktu tempuh dan biaya transit sebagai kendala utama

Waktu tempuh adalah salah satu faktor yang paling utama yang harus sangat diperhatikan dalam transportasi. Hal ini diilustrasikan pada gambar 9.3.



Gambar 9.3
Grafik biaya transportasi sebagai fungsi jarak
Sumber: Tamin (1998a)

Waktu tempuh juga merupakan daya tarik utama dalam pemilihan moda yang akan digunakan oleh suatu perjalanan (manusia ataupun barang). Jelas, bertambahnya waktu tempuh pada suatu moda akan menurunkan jumlah penggunaan moda tersebut dan dengan sendirinya pula akan menurunkan tingkat pendapatannya. Akibat yang lebih jauh lagi adalah akan berkurangnya kepercayaan masyarakat akan kemampuan moda tersebut sehingga jika terdapat alternatif moda lainnya yang lebih baik, masyarakat konsumen akan lebih senang beralih dan memilih moda lain tersebut.

Deregulasi pemerintah di sektor perhubungan laut melalui Inpres 4 tahun 1985 sangat mendukung sistem transportasi antarmoda terpadu. Deregulasi itu bertujuan menurunkan biaya transportasi yang saat itu dinilai kurang efisien dan sangat tinggi. Deregulasi mencakup penghapusan peranan Bea dan Cukai, penurunan tarif pelabuhan, dan penghapusan surat Fiskal untuk pelayaran dalam negeri. Untuk perjalanan yang memerlukan beberapa moda transportasi, faktor lainnya yang lebih menentukan (selain waktu tempuh) adalah biaya transit (biaya perpindahan barang atau penumpang).

Dapat dilihat dari gambar 9.3 bahwa untuk menekan biaya transportasi, baik untuk pergerakan penumpang maupun barang dalam sistem transportasi antarmoda yang terpadu, hal yang perlu diperhatikan adalah usaha penghematan biaya transit dari suatu moda ke moda lainnya. Untuk itu perlu dibangun fasilitas sarana dan prasarana di tempat perpindahan barang dan/atau penumpang agar dapat berlangsung dengan cepat, aman, murah, dan nyaman sehingga biaya transit dapat ditekan sekecil mungkin.

9.4.3 Tempat pertukaran moda

Seperti telah diterangkan, untuk menunjang pengembangan suatu wilayah, peranan sektor industri perlu ditingkatkan dan dikembangkan, di samping sektor pertanian dan pertambangan dan lain-lainnya yang telah berperan sekarang. Hal yang penting dalam pengembangan industri yang sangat berkaitan dengan sistem jaringan transportasi adalah lokasi industri. Seperti diketahui, lokasi industri ditentukan dan sangat tergantung dari lokasi daerah pemasaran, lokasi daerah bahan mentah dan sistem jaringan transportasi yang ada.

Lokasi industri yang optimal berada pada lokasi **pertukaran moda** untuk menghindari biaya transit. Tetapi, jika biaya transit tersebut dapat ditekan sekecil mungkin

(misalnya dengan menggunakan peti kemas), lokasi industri dapat dipindahkan ke lokasi bahan mentah untuk menghindari biaya terminal sehingga total biaya transportasi dapat ditekan. Rencana ini tentu harus ditunjang oleh sumber daya manusia yang cukup kuantitas dan kualitasnya (keterampilan tertentu).

Sumber daya manusia kadang-kadang masih merupakan kendala utama bagi pengembangan wilayah sehingga diperlukan usaha pemerintah untuk meningkatkan kecerdasan penduduk dengan melalui program pendidikan dan pelatihan secara intensif. Selain itu, tradisi atau kebiasaan setempat kadang-kadang kurang mendukung program pembangunan dan ini merupakan salah satu tambahan hambatan.

9.4.4 Peranan peti kemas dalam usaha menunjang perekonomian

Peti kemas mempunyai kemampuan gerak yang mampu mencapai dua titik lokasi (tanpa bongkar muat) dalam suatu perjalanan yang tidak mungkin dilakukan dengan satu moda transportasi saja. Dengan kata lain, pengiriman barang dengan peti kemas dari suatu tempat di Indonesia ke New York akan dapat dilakukan dengan hanya menggunakan satu peti kemas yang sama, meskipun peti kemas tersebut dalam proses perjalanannya tidak dapat lepas dari ketergantungannya pada moda-moda transportasi yang ada, baik darat, laut maupun udara. Peranan transportasi laut dalam pengiriman peti kemas merupakan mata rantai transportasi yang utama dan tidak diragukan lagi kepentingannya.

Hal ini memungkinkan pengguna jasa untuk memanfaatkannya guna melaksanakan pengiriman barang langsung dari pabrik ke tujuan akhir, tanpa dibebani oleh berbagai masalah dalam proses angkutannya. Secara singkat, kompleksitas yang dihadapi akan dapat diatasi dengan menyerahkan pengurusan serta penyelesaian pengiriman barang kepada satu badan yang harus mampu melaksanakannya sesuai dengan ketentuan dan persyaratan jual beli, dan mengambil alih tanggung jawab atas barang sejak diterima dan diserahkan kepada penerima.

Karena itu, sistem peti kemas dapat digunakan untuk mengurangi biaya transportasi, terutama jika sistem transportasi antarmoda terpadu digunakan. Secara umum, pengurangan total biaya transportasi bisa didapat dari yang berikut ini:

a **Pengurangan biaya pengepakan** Biaya dan waktu pengepakan tidak diperlukan lagi karena peti kemas telah langsung siap untuk dimuat dan dikirim. Yang perlu diperhitungkan adalah biaya menyewa peti kemas tersebut.

b **Pengurangan biaya atas kerusakan barang** Peti kemas terbuat dari bahan logam sehingga kerusakan barang dalam proses bongkar muat dapat ditekan sekecil mungkin.

c **Pengurangan kemungkinan barang hilang** Peti kemas dilengkapi dengan sistem kunci yang kuat sehingga kemungkinan kehilangan barang dapat dikatakan tidak ada.

d **Pengurangan biaya asuransi** Kerusakan barang dan kehilangan barang dapat ditekan sehingga biaya asuransi pun secara otomatis dapat ditekan.

e **Pengurangan biaya pemeriksaan** Biaya pemeriksaan dapat ditekan karena peti kemas bersifat seperti gudang yang dapat dipindah-pindah.

f **Pengurangan biaya transit dan transfer** Peti kemas terbuat dari bahan logam dan bersifat sebagai gudang yang dapat dipindah-pindah serta dapat langsung dimuat ke moda pengangkut (tidak memerlukan bongkar muat dan gudang), sehingga biaya transit dan transfer dapat ditekan. Tetapi, diperlukan investasi yang cukup besar untuk membeli peralatan bongkar-muat.

g **Pengurangan biaya servis pintu-ke-pintu** Pengiriman barang dapat dilakukan dengan hanya menggunakan satu peti kemas yang sama dari tempat asal sampai ke tempat tujuan dan dapat dilakukan dengan hanya satu dokumen saja sejak diterima sampai dengan diserahkannya barang tersebut kepada penerima.

Tetapi, di samping keuntungan di atas, peti kemas juga mempunyai kekurangan yang perlu diperhatikan, yaitu beratnya sendiri yang besar. Hal ini jelas akan menimbulkan permasalahan jika peti kemas tersebut diangkut melalui transportasi jalan raya. Pengangkutan peti kemas yang begitu berat melalui jaringan jalan raya jelas akan cepat mengurangi waktu pelayanan konstruksi jalan raya tersebut. Pengurangan waktu pelayanan ini beragam, yang sangat tergantung pada total beban gandar kendaraan yang digunakan.

Pengurangan waktu pelayanan mengharuskan konstruksi jalan raya secepatnya ditingkatkan kembali (pelapisan ulang) untuk memperpanjang usia pelayanannya. Program pemeliharaan jalan ini tentu membutuhkan biaya yang tidak sedikit. Karena itu, penggunaan transportasi jalan baja (kereta api) untuk mengangkut peti kemas merupakan jawaban yang sangat tepat. Selain beban gandar, beberapa perbandingan antara sistem jaringan jalan raya dengan jalan baja dapat dilihat pada tabel 9.3.

Tabel 9.3 Perbandingan antara angkutan jalan raya dengan angkutan jalan baja

No	Hal yang diperbandingkan	Jalan raya	Jalan baja
1	**Pelayanan**	pintu-ke-pintu, tidak membutuhkan pra- dan purna-angkutan; bermobilitas tinggi	membutuhkan angkutan awal dan angkutan lanjutan; bermobilitas rendah
2	**Macam lalulintas**	segala macam lalu lintas dari pejalan kaki sampai dengan truk	hanya diperbolehkan untuk kereta api
3	**Biaya angkut**	menguntungkan untuk jarak dekat karena menghemat waktu dan biaya dan tidak perlu ada angkutan pra- dan purna-stasiun	menguntungkan untuk jarak jauh karena biaya operasi relatif lebih murah
4	**Kecepatan**	kecepatan sangat ditentukan oleh volume lalulintas	kecepatan dapat lebih tinggi karena tidak ada hambatan
5	**Biaya pemeliharaan**	relatif lebih murah	membutuhkan pemeliharaan yang teliti; biaya relatif lebih tinggi
6	**Jenis barang yang diangkut**	tidak cocok untuk angkutan massal (besar)	cocok untuk angkutan massal dan berjarak jauh
7	**Pengusahaan angkutan**	pengusaha hanya menyediakan sarananya saja (bis, truk)	pengusaha harus menyediakan sarana, prasarana, dan pengaturan lalulintas
8	**Perpindahan dari satu jalur ke jalur lain**	sangat mudah dan leluasa	harus melalui konstruksi khusus (wesel) dan persilangan

Karena itu, dalam sistem transportasi antarmoda terpadu, peranan peti kemas sangat diperlukan karena dapat mengurangi biaya transportasi dan sekaligus mengurangi harga jual barang sehingga bisa lebih dapat bersaing (kompetitif) dengan produsen lainnya.

9.5 Kebijakan pengembangan sistem transportasi perkotaan

Sesuai dengan yang telah digariskan dalam Garis-Garis Besar Haluan Negara (GBHN) tahun 1993, beberapa pokok kebijakan pengembangan sistem transportasi perkotaan adalah sebagai berikut.

a Pembangunan transportasi perkotaan harus diarahkan pada terwujudnya sistem transportasi nasional secara terpadu, tertib, lancar, aman dan nyaman, serta efisien dalam menunjang dan sekaligus menggerakkan dinamika pembangunan, mendukung mobilitas manusia, barang, dan jasa, serta mendukung pembangunan wilayah.

b Sistem transportasi perkotaan harus ditata dan terus disempurnakan dengan didukung oleh peningkatan kualitas sumber daya manusia.

c Sistem transportasi perkotaan harus ditata dan terus disesuaikan dengan perkembangan ekonomi, tingkat kemajuan teknologi, kebijakan tata ruang, pelestarian fungsi lingkungan hidup, dan kebijakan energi nasional agar selalu dapat memenuhi kebutuhan akan pembangunan serta tuntutan masyarakat.

d Transportasi di wilayah perkotaan akan mengembangkan sistem angkutan massa yang tertib, lancar, aman, nyaman dan efisien agar menarik bagi pemakai jasa angkutan sehingga kemacetan dan gangguan lalulintas dapat dihindari dan kualitas hidup dapat dipertahankan.

e Transportasi penumpang dan barang di perkotaan harus dibina dan dikembangkan agar mampu berperan dalam meningkatkan kelancaran arus penumpang dan barang, selaras dengan dinamika pembangunan.

Melihat arahan GBHN 1993 di atas, kebijakan pengembangan sistem transportasi perkotaan sebaiknya diarahkan pada hal berikut ini.

a Menyediakan sistem transportasi perkotaan yang memadukan angkutan jalan, kereta api, angkutan udara, dan angkutan laut.

b Mengembangkan sistem angkutan umum perkotaan massa yang tertib, lancar, aman, nyaman, dan efisien, serta terjangkau oleh semua lapisan pemakai angkutan.

c Mengatasi kemacetan dan gangguan lalulintas serta mempertahankan kualitas lingkungan serta meningkatkan mobilitas dan kemudahan aksesibilitas di wilayah perkotaan.

d Meningkatkan sistem jaringan jalan antarkota agar angkutan dalam kota dapat berfungsi dengan baik dalam melayani aktivitas lokal dan daerah sekitarnya.

e Mengembangkan keterpaduan antarmoda dan intramoda sesuai dengan rencana tata ruang kota serta memanfaatkan ruang jalur koridor sistem angkutan massa sebagai pusat kegiatan baru.

f Memperluas kebebasan memilih angkutan yang digunakan, sesuai dengan jasa yang diberikan dan kemampuan masyarakat.

g Mendorong pemakaian angkutan umum dan mengurangi pemakaian angkutan pribadi.

h Memperkecil penambahan jaringan jalan baru yang memberikan dampak pertumbuhan kota ke arah yang tidak sesuai dengan kebijakan pengembangan wilayah.

i Memperkecil arah perjalanan ke tempat kerja dengan menyebarkan pembangunan industri, perdagangan, dan perumahan secara seimbang.

j Mengembangkan fasilitas angkutan laut dan udara untuk memenuhi permintaan yang semakin meningkat.

k Mengembangkan manajemen angkutan perkotaan untuk mencapai tingkat efisiensi dan kualitas pelayanan yang tinggi;

l Meningkatkan koordinasi perencanaan dan pelaksanaan angkutan perkotaan secara terpadu;

m Meningkatkan peran serta swasta dalam investasi dan pengelolaan sistem angkutan perkotaan;

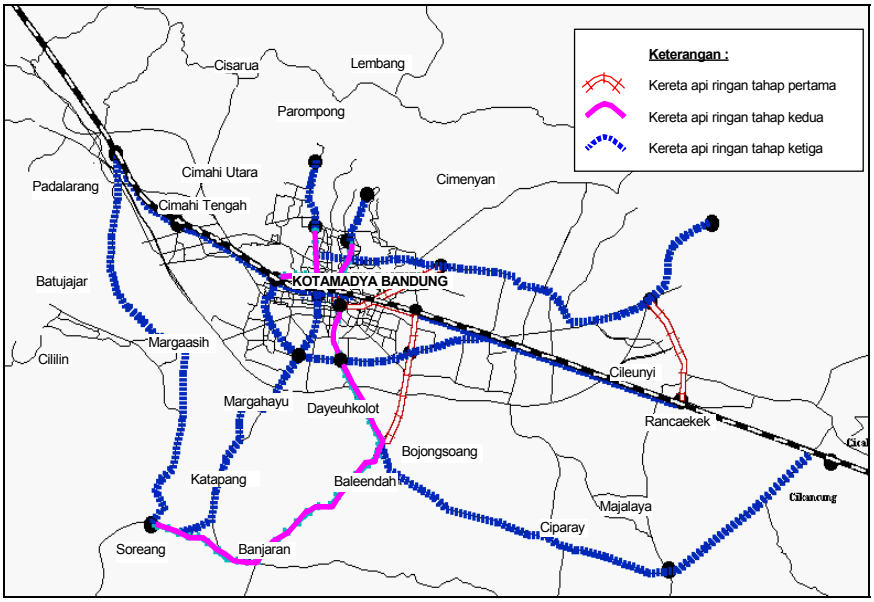
n Melakukan upaya penghematan dan penganekaragaman energi dalam angkutan perkotaan;

o Mengendalikan dampak lingkungan sebagai akibat angkutan perkotaan, terutama di kawasan pusat kota yang selalu dipadati kendaraan, serta mengupayakan agar pencemaran udara, kebisingan, dan getaran di kawasan permukiman sekecil mungkin.

p Menyediakan sistem angkutan perkotaan yang aman, mengurangi konflik antara pejalan kaki dan pengendara mobil.

Hal yang sama terjadi di Kotamadya Bandung; sistem jaringan prasarana transportasi digunakan untuk mengarahkan pembangunan perkotaan sejalan dengan semakin tergesernya wilayah permukiman ke daerah pinggiran kota, sedangkan tempat lapangan pekerjaan semakin banyak di pusat perkotaan. Kalau hal ini dibiarkan terus, akan terbentuk kota yang semakin membesar, yang pada suatu saat daya dukungnya pasti tidak berperan lagi (lihat gambar 9.4).

Jarak antara lapangan kerja dan permukiman tidak perlu selalu berdekatan; yang penting, jarak yang cukup jauh dapat dihubungkan dengan sistem transportasi yang berkapasitas besar dan berkecepatan tinggi. Untuk penduduk di daerah perkotaan, aksesibilitas tidak lagi dinyatakan dengan jarak; masalah waktu tempuh dan biaya transportasilah yang lebih berperanan penting.



Gambar 9.4 Rencana pengembangan sistem transportasi angkutan umum di Kotamadya Bandung
Sumber: BMARTS (1996)

Selain itu, usaha peningkatan pembangunan di sekitar wilayah permukiman (misalnya kota Banjar, Soreang dan Ciwidey) dilakukan dengan menyediakan kegiatan yang banyak menghasilkan lapangan kerja. Ini akan menyebabkan berpindahnya lapangan kerja dari pusat kota utama ke daerah pinggiran kota sehingga orang tidak perlu lagi masuk ke pusat kota untuk mencari pekerjaan, cukup di daerah sekitar tempat tinggalnya saja.

Untuk menjamin pertumbuhan ekonomi dan mengatasi kebutuhan akan angkutan perkotaan dibutuhkan fasilitas jaringan angkutan yang saling menghubungkan antara wilayah kota, permukiman, daerah komersial, dan rekreasi. Sasaran umum kebijakan pemerintah dalam lalulintas dan angkutan kota untuk menciptakan sistem angkutan di daerah perkotaan sehingga mobilitas orang dan barang dapat menunjang pertumbuhan ekonomi dan sistem angkutan umum itu dapat memenuhi kebutuhan, masyarakat akan pergaulan, perniagaan, dan rekreasi.

9.6 Aspek permasalahan

Laju pertumbuhan penduduk perkotaan dalam dasawarsa 1990-an adalah sekitar 4,3% per tahun akibat terpusatnya kegiatan perekonomian di daerah perkotaan. Seiring dengan itu, pertumbuhan sektor transportasi perkotaan mencapai sekitar 7,9% per tahun dan diperkirakan meningkat mendekati 10% per tahun untuk dasawarsa berikutnya.

Meningkatnya pertumbuhan sektor transportasi perkotaan ini menyebabkan permasalahan transportasi perkotaan menjadi bertambah kompleks sehingga keputusan penanganannya harus dapat dilakukan sesegera mungkin. Permasalahan transportasi perkotaan tersebut antara lain berupa penentuan jenis dan moda

angkutan umum, pola jaringan, izin trayek angkutan, kebijakan perparkiran, dan perambuan.

Akibat situasi yang demikian dan serta dilandasi oleh jiwa dan Undang-Undang Nomor 5 tahun 1974 tentang pokok pemerintahan di daerah, maka Pemerintah Pusat mengeluarkan Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 22 tahun 1990 mengenai pelimpahan sebagian tugas Departemen Perhubungan mengenai lalulintas angkutan jalan raya kepada Pemerintah Daerah.

Atas dasar PP Nomor 22 Tahun 1990 tersebut, Dinas Lalulintas Angkutan Jalan (DLLAJ) yang tadinya berada dalam naungan Departemen Perhubungan kemudian dilimpahkan kewenangannya kepada Pemerintah Daerah.

Dengan pelimpahan ini diharapkan sistem pengelolaan transportasi perkotaan akan menjadi lebih baik dan memberikan kontribusi bagi peningkatan Pendapatan Asli Daerah (PAD) sendiri. Di lain pihak, pelimpahan ini juga berarti bertambahnya beban tugas administrasi dan keuangan Pemerintah Daerah. Dari beberapa hasil kajian (**Tamin**, **1995k**) teridentifikasi secara umum bahwa kelemahan sistem pengelolaan transportasi perkotaan di beberapa kota disebabkan oleh beberapa hal berikut ini:

- belum terbentuknya Dinas Lalulintas Angkutan Jalan Tingkat II pada setiap kota di Indonesia;
- lemahnya mekanisme hubungan kerja atau koordinasi antarinstansi yang terkait dalam masalah transportasi perkotaan;
- tidak jelasnya wewenang dan tanggung jawab setiap instansi dalam penanganan masalah transportasi perkotaan;
- kurangnya sumber daya manusia, baik dari sisi kualitas maupun kuantitas;
- kurang lengkapnya peraturan pelaksanaan yang ada dan tidak tersedianya arahan mengenai bagaimana sebaiknya sistem pengelolaan transportasi perkotaan dilakukan dengan melihat tingkat kompleksitas permasalahan transportasi perkotaan yang ada, tipologi kota, dan lain-lain.

9.6.1 Kondisi sistem transportasi di perkotaan

Pada saat ini sebagian besar pemakai angkutan umum masih mengalami beberapa aspek negatif sistem angkutan umum jalan raya, yaitu:

- tidak adanya jadwal yang tetap;
- pola rute yang memaksa terjadinya transfer;
- kelebihan penumpang pada saat jam sibuk;
- cara mengemudikan kendaraan yang sembarangan dan membahayakan keselamatan;
- kondisi internal dan eksternal yang buruk.

Terdapat berbagai masalah lain yang menunjukkan bahwa sistem angkutan umum perkotaan belum menyediakan kondisi pelayanan yang memuaskan. Di antaranya adalah kondisi angkutan umum perkotaan yang tergambarkan dalam bentuk pola pengoperasian trayek pada jaringan jalan yang tidak dikategorikan menurut jenis kendaraannya dan pola operasinya. Secara keseluruhan trayek angkutan umum membentuk sistem angkutan umum perkotaan yang mempunyai pola pelayanan yang sesuai dengan jaringan jalan yang ada.

Kondisi sistem angkutan umum tersebut dapat dianalisis dari sisi penyediaannya (kapasitas, frekuensi, dan pola pelayanan) dan juga caranya dalam melayani permintaan (**Tamin**, **1993d**, **1994d**, **1995ai; Tamin *et al***, **1993b**). Secara umum permasalahan transportasi di perkotaan dipengaruhi oleh beberapa kondisi berikut (sebagai ilustrasi diambil permasalahan transportasi di Jakarta).

- **Sarana dan prasarana lalulintas masih terbatas**
  - Tidak seimbangnya persentase pertambahan jumlah kendaraan sebesar 11,47% per tahun dengan persentase pertambahan prasarana jaringan jalan yang hanya 4% per tahun;
  - Sarana pejalan kaki (trotoar) belum memadai dan masih sangat kurang;
  - Kapasitas persimpangan masih terbatas;
  - Sarana penyeberangan jalan belum memadai.

- **Manajemen lalulintas belum berfungsi secara optimal**
  - Kendaraan berpenumpang kurang dari 2 orang masih terlalu banyak;
  - Fungsi jalan belum terpisah secara nyata (fungsi jalan arteri masih bercampur dengan fungsi jalan lokal);
  - Jalan dan trotoar digunakan oleh pedagang kaki lima dan usaha lainnya seperti bengkel, dan parkir liar.
  - Lalulintas satu arah masih terbatas pada jalan tertentu;
  - Lajur Khusus Bus (LKB) baru diterapkan pada beberapa jalan untuk jam tertentu saja;
  - Penerapan Kawasan Pembatasan Lalulintas (KPL) masih terbatas pada jam tertentu saja;
  - Sistem kontrol lampu lalulintas sudah terlalu tua dan tidak memadai dalam kondisi lalulintas sekarang.

- **Pelayanan angkutan umum penumpang belum memadai**
  - Dari sekitar 2 juta kendaraan bermotor, tercatat jumlah angkutan pribadi 86%, angkutan umum 2,51%, dan sisanya sebesar 11,49% adalah angkutan barang. Selain itu, diketahui bahwa 57% perjalanan orang mempergunakan angkutan pribadi. Dengan demikian, proporsi angkutan penumpang menjadi tidak seimbang, yaitu 2,51% angkutan umum harus

melayani 57% perjalanan orang, sedangkan 86% angkutan pribadi hanya melayani 43% perjalanan orang;

- Tidak seimbangnya jumlah angkutan umum dengan jumlah perjalanan orang yang harus dilayani menyebabkan muatan angkutan umum melebihi kapasitasnya, terutama pada jam sibuk;
- Penataan angkutan umum belum mengacu kepada hierarki jalan;
- Belum tersedianya Sistem Angkutan Umum Massa (SAUM).

- **Disiplin pemakai jalan masih rendah**
  - Disiplin pengendara, penumpang, maupun pejalan kaki masih kurang;
  - Perubahan peraturan menyebabkan perlunya waktu untuk penyesuaian;
  - Pendidikan mengenai lalulintas belum masuk dalam pendidikan formal.

9.6.2 Kebutuhan akan transportasi di perkotaan

Kecenderungan perjalanan orang dengan angkutan pribadi di daerah perkotaan akan meningkat terus bila kondisi sistem transportasi tidak diperbaiki secara lebih mendasar. Berarti akan lebih banyak lagi kendaraan pribadi yang digunakan karena pelayanan angkutan umum seperti saat ini tidak dapat diharapkan lagi. Peningkatan kecenderungan perjalanan dengan angkutan pribadi adalah dampak fenomena pertumbuhan daerah perkotaan.

- Meningkatnya aktivitas ekonomi kurang terlayani oleh angkutan umum yang memadai;
- Semakin meningkatnya daya beli dan tingkat *privacy* yang tidak bisa dilayani oleh angkutan umum.
- Meningkatnya harga tanah di pusat kota mengakibatkan tersebarnya lokasi permukiman jauh dari pusat kota atau bahkan sampai ke luar kota yang tidak tercakup oleh jaringan layanan angkutan umum;
- Dibukanya jalan baru semakin merangsang penggunaan angkutan pribadi karena biasanya di jalan baru tersebut belum terdapat jaringan layanan angkutan umum pada saat itu;
- Tidak tersedianya angkutan lingkungan atau angkutan pengumpan yang menjembatani perjalanan sampai ke jalur utama layanan angkutan umum;
- Kurang terjaminnya kebutuhan akan rasa aman, kebutuhan akan tepat waktu, kebutuhan akan lama perjalanan yang diderita dalam pelayanan angkutan umum;

Selain itu, untuk Kotamadya Bandung, hal yang perlu diperhatikan adalah semakin bergesernya daerah perumahan dari pusat kota ke daerah pinggiran yang disebabkan karena harga lahan di daerah pusat kota yang semakin mahal. Rata-rata jarak perjalanan berubah dari 13 km pada tahun 1995 menjadi 16.2 km pada tahun 2030. Persentase pergerakan di atas 20 km berubah dari 23% pada tahun 1995 menjadi

31% pada tahun 2030. Sedangkan jarak antara 10–20 km berubah dari 17% pada tahun 1995 menjadi 25% pada tahun 2030.

9.6.3 Organisasi dan kelembagaan

Masalah kelembagaan menyangkut pula masalah kewenangan lembaga yang mengelola masalah transportasi perkotaan. Masalah kewenangan kelembagaan ini selanjutnya sangat terkait pada masalah yang ditimbulkannya sebagai akibat dari:

- terjadinya tumpang tindih kegiatan beberapa lembaga tertentu dalam menangani permasalahan transportasi perkotaan. Hal ini semakin menjadi rumit apabila tidak terdapat koordinasi yang baik antarlembaga terkait. Untuk itu sangat dirasakan perlu penjabaran hak, tanggung jawab, dan wewenang setiap lembaga dalam penanganan masalah transportasi perkotaan ini.
- terjadinya kekosongan dalam kelembagaan akibat tidak adanya badan yang bertanggung jawab terhadap permasalahan transportasi perkotaan. Hal ini jelas sangat berdampak negatif terhadap transportasi perkotaan.

9.6.4 Peraturan pelaksanaan

Setiap kota mempunyai jumlah peraturan pelaksanaan yang berbeda-beda, baik dalam bentuk Surat Keputusan Gubernur, atau Walikota, Peraturan Daerah, Instruksi Gubernur, dan lain-lain. Bila dikaji lebih jauh ternyata permasalahan pengelolaan transportasi perkotaan yang paling kompleks saat ini adalah yang berkaitan pada aspek pengelolaan pelaksanaan kegiatan. Hal ini berkaitan dengan perilaku pengguna yang memanfaatkan fasilitas yang disediakan pemerintah. Dikeluarkannya Surat Keterangan (SK) umumnya karena terjadi pelanggaran, penyalahgunaan, dan perusakan fasilitas tersebut.

Sementara itu dikeluarkan juga beberapa Instruksi Kepala Daerah (Gubernur) yang umumnya berkaitan dengan upaya memberikan pemahaman kepada masyarakat dalam bentuk anjuran, pengarahan, penjelasan, dan himbauan.

Bila dikaji lebih jauh dapat disimpulkan bahwa aspek pengelolaan harus didukung oleh sistem perundangan yang jelas kekuatan hukumnya. Bentuk perundangan yang mungkin diterapkan di tingkat daerah adalah Peraturan Daerah (Perda), Surat Keputusan, Instruksi, dan Pengumuman. Semua perangkat perundangan ini ditujukan untuk mengatur perilaku pengguna sarana transportasi. Pelanggar ketentuan biasanya dikenakan sangsi hukum oleh Pemerintah Daerah, sesuai dengan keputusan yang telah ditetapkan.

Dilihat dari aspek hukum, sebenarnya pelanggaran terhadap ketentuan Pemerintah Daerah yang belum diresmikan belum memiliki kekuatan hukum yang mutlak. Oleh sebab itu, pelanggar ketentuan Pemerintah Daerah baru ditegur dengan imbauan dan anjuran. Peraturan yang lebih rendah, seperti Instruksi Gubernur, atau bahkan Pengumuman Gubernur, tidak mempunyai kekuatan hukum sama sekali sehingga pelanggarnya tidak dapat ditindak di pengadilan.

Dalam prosesnya, suatu Keputusan Daerah mempunyai ketentuan hukum yang sah apabila telah diresmikan sesuai dengan ketentuan yang berlaku. Peraturan yang telah diresmikan dapat diartikan telah disetujui oleh masyarakat melalui wakilnya (DPRD). Oleh sebab itu, pelanggarnya dapat dikenai sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku. Mekanisme ini masih belum dimasyarakatkan dalam kehidupan perkotaan. Bahkan di kota metropolitan (DKI-Jakarta), mekanisme ini baru disadari oleh sebagian kelompok lapisan masyarakat tertentu yang mengerti masalah hukum.

Disadari bahwa proses pembentukan perda saat ini sangat rumit dan memerlukan waktu lama serta membutuhkan sumber daya manusia yang lebih besar. Namun, langkah tersebut harus ditempuh. Salah satu alternatif adalah mempelajari kemungkinan disederhanakannya proses pembentukan perda.

9.6.5 Undang-undang dan peraturan

Sistem perundangan merupakan pelengkap pembahasan permasalahan, meliputi identifikasi hierarki perundangan yang tertinggi hingga perundangan yang dijadikan landasan hukum bagi pengelolaan sistem transportasi di daerah. Sistem perundangan harus dibicarakan dengan membahas semua perundangan yang berkaitan dengan pengelolaan sistem transportasi perkotaan dari tingkat nasional hingga perundangan daerah. Urutan pokok bahasannya adalah:

- Undang-Undang
- Keputusan Presiden
- Instruksi Presiden
- Peraturan Pemerintah dan petunjuk pelaksanaannya
- Keputusan Menteri dan petunjuk pelaksanaannya
- Keputusan Dirjen dan petunjuk pelaksanaannya
- Peraturan Daerah Tingkat I dan petunjuk pelaksanaannya
- Surat Keputusan Gubernur Daerah Tingkat I dan petunjuk pelaksanaannya
- Instruksi Gubernur Daerah Tingkat I dan petunjuk pelaksanaannya
- Peraturan Daerah Kotamadya Daerah Tingkat II dan petunjuk pelaksanaannya
- Surat Keputusan Walikotamadya Daerah Tingkat II dan petunjuk pelaksana-annya

9.6.6 Analisis permasalahan

DKI-Jakarta merupakan ibukota negara dengan jumlah penduduk pada tahun 1996 hampir 8 juta jiwa dengan tingkat pertumbuhan rata-rata 4% per tahun. Semakin besar jumlah penduduk, pergerakanpun semakin tinggi sehingga dibutuhkan prasarana dan sarana yang memadai agar mobilitas kegiatan penduduk kota berlangsung efisien. Dengan lahan seluas hanya 650 km^2 ini, proses aktivitas ekonomi berjalan tanpa henti.

Perlu dicatat bahwa selama kurun 13 tahun sejak tahun 1972, 13% luas lahan telah berubah menjadi kawasan terbangun. Di samping itu, kelancaran lalulintas menurun seiring dengan laju pertumbuhan kendaraan yang tinggi, ±14% per tahun, sedangkan penyediaan fasilitas prasarana hanya sanggup tumbuh ±4% per tahun. Kesenjangan dalam penyediaan fasilitas prasarana jalan ditambah dengan terbatasnya fasilitas parkir di pusat kota juga menambah kerawanan lalulintas di pusat kota.

Dalam konteks pengembangannya, DKI-Jakarta dibagi menjadi beberapa Wilayah Pengembangan (WP) yang masing-masing mempunyai ciri tersendiri dalam mengembangkan potensinya. Dalam rangka pengembangan fisik kota, berdasarkan kondisi dan potensi wilayah pengembangan sampai dengan tahun 2005, pengembangan wilayah perkotaan dipusatkan pada wilayah pengembangan barat dan timur, sedangkan wilayah selatan dibatasi dan diawasi.

Untuk melaksanakan strategi pengembangan ditempuh beberapa kebijakan, yaitu program penyebaran pembangunan dengan menciptakan pusat kegiatan baru, khususnya di wilayah barat dan timur, untuk mengurangi intensitas di pusat kota di samping mewujudkan tujuan lain, yaitu peningkatan wilayah Botabek.

9.6.6.1 Aspek organisasi Sesuai dengan sifat kota metropolitan yang telah melekat pada Jakarta, kebutuhan daerah yang kompleks serta mendesak telah membentuknya menjadi kota yang sarat dengan organisasi untuk menjamin terlaksananya pemerintahan yang lancar. Boleh dikatakan semua bentuk organisasi yang menyangkut transportasi perkotaan telah ada.

Untuk hal yang lebih mendesak, seperti masalah kemacetan yang sering melanda kota besar, dibentuk tim atau kelompok kerja (pokja). Contohnya, untuk mengatur manajemen dan sirkulasi lalulintas seperti pengaturan jalan searah, dibentuk tim yang bersifat teknis, yaitu Tim Pengendali Lalulintas dan Angkutan yang sedang digalakkan di DKI-Jakarta.

Mengingat masalah kemacetan menyangkut banyak pihak, penyelesaiannya melibatkan banyak pihak, meliputi DLLAJ, DTK, BPP, Polda, Bappeda, DPU, dan juga dari Departemen Perhubungan Darat.

9.6.6.2 Peraturan pelaksanaan Untuk mengantisipasi pelaksanaan PP Nomor 22 Tahun 1990, Pemda DKI-Jakarta mempunyai peraturan pelaksanaan yang cukup banyak untuk melaksanakan pengelolaan aspek transportasi. Menurut tingkat keperluannya peraturan pelaksanaan dapat berupa Keputusan Menteri, Peraturan Daerah, Keputusan Gubernur, Instruksi Gubernur, dan Pengumuman Gubernur.

Selama kurun waktu 25 tahun sampai dengan tahun 1993, untuk berbagai hal yang menyangkut permasalahan transportasi perkotaan, DKI-Jakarta mempunyai 78 Surat Keputusan Gubernur, 9 Instruksi Gubernur, 3 Pengumuman Gubernur, dan 1 Peraturan Daerah mengenai retribusi daerah bidang ekonomi. Hampir semua peraturan itu menyangkut masalah manajemen transportasi perkotaan. SK Gubernur dikeluarkan umumnya untuk memecahkan permasalahan pelanggaran, penya-lahgunaan, dan perusakan sarana transportasi, sedangkan Instruksi Gubernur lebih mengarah kepada pembinaan masyarakat dalam bentuk anjuran dan imbauan.

9.6.6.3 Aspek transportasi Sesuai dengan yang telah digariskan dalam RUTR DKI-Jakarta, tujuan pengelolaan transportasi perkotaan akan disesuaikan. Selanjutnya, tujuan dan sasaran arah kebijakan pengembangan sektor transportasi perkotaan di dalam RUTR DKI-Jakarta 2005 ditetapkan sebagai berikut.

- Menyediakan sistem transportasi perkotaan terpadu yang memadukan berbagai moda transportasi;
- Meningkatkan dan memperluas sistem jaringan prasarana untuk mempertinggi mobilitas dan pelayanan bagi kemudahan masyarakat seluruh wilayah DKI-Jakarta dan Botabek;
- Meningkatkan pengaturan lalulintas untuk mengurangi kemacetan dan memperpendek waktu perjalanan;
- Mendorong dan merangsang masyarakat untuk menggunakan jasa angkutan umum dan mengurangi penggunaan kendaraan pribadi di lingkungan padat;

Strategi pengembangan sektor transportasi perkotaan yang dilaksanakan adalah sebagai berikut.

- Tingkat pertumbuhan jumlah kendaraan pada tahun 2005 berdasarkan hasil proyeksi masih belum bisa dilayani dengan percepatan pembangunan prasarana jalan. Jadi untuk tercapainya kelancaran lalulintas diperkirakan 35%–40% perjalanan dengan angkutan pribadi perlu dipindahkan ke angkutan umum, untuk selanjutnya dapat ditampung pada jaringan yang akan selesai pada tahun 2005.
- Kebutuhan akan angkutan umum, apabila hanya dipenuhi oleh angkutan bus, akan menimbulkan masalah dalam pengoperasian. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, perlu peningkatan sistem angkutan bus yang terpadu dengan sistem angkutan massa lain. Pada jalur padat perlu disediakan lajur khusus bus atau angkutan massa yang terpadu dengan moda angkutan lainnya.
- Dalam rangka memindahkan penggunaan angkutan pribadi ke angkutan umum, perlu peraturan yang menghambat penggunaan kendaraan pribadi. Tetapi hal ini harus diimbangi dengan peningkatan pelayanan angkutan umum; baik dari segi kualitas maupun kuantitasnya.
- Salah satu cara menerapkan pembatasan lalulintas adalah melalui kebijakan perparkiran, yaitu memberlakukan tarif parkir yang tinggi, terutama di DKI-Jakarta. Demikian pula, parkir di badan jalan secara bertahap baru dihilangkan, terutama di jalan yang padat volume lalulintasnya.
- Kereta api dijadikan angkutan alternatif dengan meningkatkan perannya untuk mengangkut 15% perjalanan orang dalam kota.
- Peningkatan angkutan umum barang dalam kota dilakukan dengan memadukan kebijakan lokasi pergudangan, industri terminal angkutan barang, dan pelabuhan serta fasilitas angkutan kereta api antarkota.

Banyak hal yang menyangkut transportasi perkotaan, khususnya di daerah metropolitan, yang pelaksanaannya membingungkan pengelola lalulintas daerah,

dalam hal ini DLLAJ. Contoh sederhana adalah kasus jembatan penyeberangan jalan yang melintas di jalan raya; masih ada tumpang tindih pengurusannya antara DLLAJ dan DTK yang masing-masing masih dalam satu pemerintah daerah.

Di samping itu, masih terdapat permasalahan lain yang menjadi kendala dalam mengembangkan sistem transportasi perkotaan di wilayah DKI-Jakarta, yaitu hal yang timbul di daerah transisi antara wilayah DKI-Jakarta dan wilayah Botabek. Mengingat hal ini menyangkut 2 atau lebih pemerintah daerah, masalah transportasi perkotaan harus dirundingkan bersama, khususnya yang menyangkut angkutan antarkota dan angkutan pinggiran kota beserta trayeknya. Untuk menghindari hal yang tidak diinginkan, diperlukan perancangan dan perencanaan yang baik.

9.6.6.4 Undang-undang dan peraturan Dari segi kelengkapan dan kesiapan organisasi dan instansi yang terlibat dalam pengelolaan aspek transportasi yang dilimpahkan dalam PP Nomor 22 Tahun 1990 kepada DLLAJ, organisasi di DKI-Jakarta dinilai paling lengkap dan paling siap. Mungkin karena masalah yang dihadapi DKI-Jakarta memang cukup kompleks dan sangat mendesak penyelesaiannya.

Untuk mengantisipasi pelaksanaan UU-LLAJ Nomor 14 tahun 1992 yang tentu berkaitan dengan pelimpahan PP Nomor 22 tahun 1990, banyak Keputusan Menteri yang telah dan akan dikeluarkan untuk membantu proses pelaksanaannya, terutama yang menyangkut pengaturan, penyelenggaraan, pelaksanaan, dan pembinaan. Adapun Keputusan Menteri untuk menunjang pelaksanaan UU-LLAJ Nomor 14 tahun 1992 tersebut adalah:

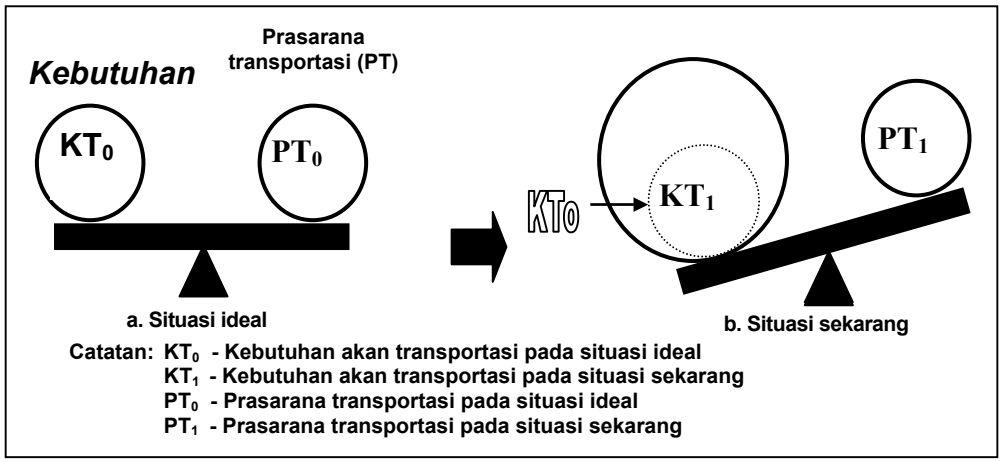
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 41 tahun 1993 tentang Angkutan Jalan.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 42 tahun 1993 tentang Pemeriksaan Kendaraan Bermotor di jalan.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 43 tahun 1993 tentang Prasarana dan Lalulintas Jalan.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 44 tahun 1993 tentang Kendaraan dan Pengemudi.

9.7 Alternatif pemecahan masalah

9.7.1 Umum

Kemacetan serius merupakan kejadian sehari-hari yang sering dijumpai di beberapa kota besar di Indonesia sebagai ciri khusus daerah perkotaan di negara sedang berkembang. Masalah ini sebenarnya dapat dipecahkan melalui peran serta pemerintah, swasta, dan masyarakat, dan merupakan tanggung jawab bersama. Untuk menanggulangi masalah ini secara tuntas, jelas diperlukan penanganan yang serius.

Seperti telah dijelaskan, permasalahan kemacetan disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain tingginya tingkat urbanisasi, pesatnya tingkat pertumbuhan jumlah kendaraan dan pemilikan kendaraan, dan sistem angkutan umum perkotaan yang tidak efisien. Tetapi, yang paling penting yang dapat disimpulkan sebagai penyebab permasalahan transportasi ini adalah tingkat pertumbuhan prasarana transportasi tidak bisa mengejar tingginya tingkat pertumbuhan kebutuhan akan transportasi. Hal ini dapat diterangkan dengan gambar 9.5 berikut.



Gambar 9.5 Situasi transportasi perkotaan pada masa sekarang
Sumber: Ohta (1998)

Gambar 9.5a memperlihatkan kondisi ideal dimana besarnya kebutuhan akan transportasi seimbang dengan kapasitas sistem prasarana transportasi yang tersedia. Kondisi ideal ini sangatlah tidak mungkin terjadi di Indonesia disebabkan karena tingkat pertumbuhan kebutuhan akan transportasi jauh lebih tinggi dibandingkan dengan pertumbuhan sistem prasarana transportasi (lihat gambar 9.5b).

Rendahnya tingkat pertumbuhan sistem prasarana transportasi di daerah perkotaan (contohnya DKI-Jakarta) terlihat dari rendahnya jumlah luas jalan yang ada dibandingkan dengan luas DKI-Jakarta. Salah satu faktor hambatan yang sangat dirasakan adalah keterbatasan dana dan waktu yang merupakan penyebab utama rendahnya tingkat pertumbuhan prasarana transportasi. Ini tentu disebabkan oleh adanya persyaratan pemerintah tentang penggunaan dana yang pada umumnya didapat dari bantuan luar negeri (OECF, ADB, World Bank, dan lain-lain) yang harus digunakan seefektif mungkin sehingga didapat keuntungan maksimal dari peminjaman dana tersebut.

Oleh karena itu, untuk meningkatkan prasarana transportasi, pemerintah banyak melakukan kajian transportasi dan juga beberapa tindakan lain bersama beberapa instansi dan departemen terkait. Usaha untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah:

a meredam atau memperkecil tingkat pertumbuhan kebutuhan akan transportasi;

b meningkatkan pertumbuhan prasarana transportasi itu sendiri, terutama penanganan masalah fasilitas prasarana yang tidak berfungsi sebagaimana mestinya;

c memperlancar sistem pergerakan melalui kebijakan rekayasa dan manajemen lalulintas yang baik.

Beberapa tindakan pemecahan masalah yang dapat (telah dan akan) dilakukan (sebagai ilustrasi diambil contoh DKI-Jakarta dan Kotamadya Bandung) dijelaskan berikut ini.

9.7.2 Kebutuhan akan transportasi

Untuk mengatasi tingginya tingkat urbanisasi ke daerah perkotaan dan menghindari pergerakan arus bolak-balik yang tinggi setiap hari, perlu dibangun kota satelit atau pun kota baru mandiri yang salah satu fungsinya mengurangi intensitas kegiatan di kota induk serta menahan arus urbanisasi, dan merupakan filter bagi kota induk. Untuk itu pasti diperlukan sistem jaringan transportasi antara kota utama dengan kota satelit tersebut. Dalam hal ini perlu dilakukan pelebaran jalan yang mengundang masalah pembebasan lahan.

Secara teori, kota Bekasi, Tangerang, dan Bogor dapat merupakan kota satelit bagi DKI-Jakarta sehingga orang yang bertempat tinggal di kota tersebut atau sekitarnya tidak perlu pergi jauh-jauh ke DKI-Jakarta untuk memenuhi kebutuhannya. Akan tetapi malah hal sebaliknyalah yang terjadi. Kota Bekasi, Tangerang, dan Bogor sekarang berubah peran menjadi tempat alternatif untuk permukiman bagi penduduk DKI-Jakarta sedangkan mereka masih tetap bekerja di DKI-Jakarta. Hal ini menyebabkan tingginya pergerakan arus lalulintas setiap harinya dari dan ke DKI-Jakarta dari kota-kota tersebut yang menyebabkan masalah transportasi yang sangat serius. Dalam kasus kotamadya Bandung, kota yang diperkirakan dapat dijadikan kota satelit mandiri bagi kotamadya Bandung adalah Soreang, Ciwidey, Banjaran, dan beberapa kota lain di sekitar Kotamadya Bandung.

Usaha lain adalah mengatur lokasi pusat kegiatan utama sebagai pusat bangkitan lalulintas sehingga pergerakan pemenuhan kebutuhan tersebut hanya terjadi pada luas wilayah tertentu saja. Pembangunan daerah sentra primer barat, utara, timur dan selatan pada beberapa daerah di dalam kota adalah salah satu wujud langsung usaha tersebut. Usaha lain dapat berupa rayonisasi sekolah dan pengaturan jam masuk kantor dan sekolah.

9.7.3 Prasarana transportasi

Beberapa tindakan yang telah dan akan dilakukan untuk meningkatkan luas jalan dan kapasitas prasarana transportasi akan dijelaskan berikut ini.

9.7.3.1 Pembangunan jalan baru Pembangunan jalan baru, baik jalan lokal, kolektor, maupun jalan arteri, sesuai dengan program Bina Marga.

- Jalan bebas hambatan (tol) di dalam kota
    * Jalan tol Grogol–Cawang
    * Jalan tol Cawang–Tanjung Priok
    * Jalan tol pelabuhan

- Jalan lingkar luar yaitu jalan yang melingkari DKI-Jakarta yang pada prinsipnya usaha mengalihkan pergerakan lalulintas menerus agar jangan memasuki DKI-Jakarta sehingga kemacetan yang timbul karena pembebanan yang terlalu banyak pada jalan arteri radial dapat dihindari. Jalan tol Grogol–Cawang–Priok juga merupakan jalan lingkar dalam bagi DKI-Jakarta. Terwujudnya jalan tol Cawang–Tanjung Priok merupakan salah satu peran serta pihak swasta dalam usaha turut memecahkan permasalahan transportasi di DKI-Jakarta.
- Jalan penghubung baru (arteri) yang menghubungkan 2 buah zona yang sangat tinggi tingkat lalulintasnya, seperti jalan arteri baru yang menghubungkan Rawamangun dengan Jatinegara dan Jalan KH Mas Mansyur dengan Kampung Melayu, jelas dapat memecahkan masalah kemacetan pada jalan radial menuju ke pusat kota seperti Jalan Saharjo, Rasuna Said, dan Salemba.

9.7.3.2 Peningkatan kapasitas prasarana Peningkatan kapasitas jaringan jalan arteri yang telah ada adalah dengan cara melebarkan jalan radial. Selain itu, juga dilakukan usaha untuk memperbaiki daerah sumber kemacetan yang banyak terdapat pada jaringan jalan di daerah perkotaan. Pembenahan sistem jaringan jalan dan sistem hierarki dan pembangunan jalan terobosan baru harus dilakukan sesegera mungkin untuk menghindari penyempitan, misalnya:

- pelebaran dan perbaikan geometrik persimpangan;
- pembuatan persimpangan tidak sebidang untuk mengurangi titik konflik bagi kendaraan yang menggunakan persimpangan tersebut;
- pembangunan jalan terobosan baru untuk melengkapi sistem jaringan jalan yang telah ada dan pembenahan sistem hierarki jalan. Hal ini terutama terlihat pada daerah perbatasan dengan daerah administrasi lain. Karena tidak ada koordinasi yang baik antara kedua pemerintah daerah, pembangunan sistem jaringan jalan tersebut, terutama pada daerah perbatasan, tidak sinkron sehingga menimbulkan penyempitan.
- pembuatan jembatan penyeberangan, baik untuk pejalan kaki maupun untuk kendaraan pada daerah tertentu untuk mengurangi kecelakaan sewaktu menyeberang dan juga untuk membuka isolasi akibat pembangunan jalan bebas hambatan yang memisahkan satu daerah menjadi dua daerah yang terisolasi.

Tetapi, sebelum kita mulai memecahkan masalah yang membutuhkan biaya yang sangat besar tersebut, pertanyaan yang perlu segera dijawab adalah seberapa jauh jaringan jalan yang ada sekarang ini berfungsi sesuai dengan kapasitas yang seharusnya.

Terdapat beberapa permasalahan pada sistem jaringan jalan di Kotamadya Bandung yang harus segera dipecahkan sebagaimana dikemukakan berikut ini.

- Kotamadya Bandung terletak di daerah yang berbukit-bukit, menyebabkan sistem jaringan yang dikembangkan belum dapat memenuhi hierarki dan fungsi jalan yang semestinya.

- Panjang jaringan jalan di Kotamadya Bandung masih sangat jauh di bawah kondisi ideal (perbandingan antara luas jaringan jalan dengan luas kota yang ideal adalah sekitar 20%–25%). Masih terdapat jaringan jalan yang terputus-putus yang mungkin disebabkan oleh kondisi geografis yang membutuhkan jembatan yang sangat mahal (jembatan Paspati).
- Gangguan samping sangat besar, disebabkan oleh *ribbon development* yang sangat mengurangi kapasitas jalan yang memang sudah sangat terbatas.
- Pengoperasian jalan dengan sistem arus lalulintas satu arah adalah cara yang sangat baik dan efektif serta murah untuk meningkatkan kapasitas jaringan jalan (secara teoritis kita meningkatkan kapasitas dua kalinya tanpa harus melebarkan jalan). Kelemahannya, terjadi peningkatan jarak dan waktu untuk bergerak dari suatu tempat ke tempat lainnya. Hal yang dirasakan sangat perlu untuk mengurangi dampak negatif tersebut adalah memberikan rambu penunjuk jalan yang baik dan lengkap untuk mengarahkan perjalanan ke tempat tujuan.
- Kegiatan parkir di badan jalan sangat mengurangi kapasitas jalan. Kerugian yang diderita pengguna jalan akibat kemacetan tidak sebanding dengan pemasukan yang diterima dari tempat parkir. Sebaiknya, sebelum memikirkan pelebaran jalan yang membutuhkan biaya sangat mahal, sebaiknya dipikirkan bagaimana dapat mengatur tempat parkir di badan jalan sehingga kapasitas jalan dapat dimanfaatkan seefisien mungkin.

  Sebagai ilustrasi, banyak ruas jalan yang beroperasi hanya sekitar 30–40% kemampuan kapasitasnya. Contohnya, di jalan tiga lajur satu arah, dua lajur difungsikan sebagai tempat parkir, sedangkan yang digunakan untuk kepentingan pergerakan hanya 1 lajur saja; jadi, jalan tersebut hanya beroperasi pada kira-kira 30–40% kapasitasnya.

  Gambaran tersebut memang tidak begitu sulit dijumpai di beberapa sudut Kotamadya Bandung. Contohnya adalah Jalan Otto Iskandardinata, tepat di depan Pasar Baru. Pada jalan yang seharusnya 5 lajur ini, hanya 1 lajur yang dapat digunakan untuk pergerakan lalulintas karena 4 lajur lainnya digunakan untuk parkir serta proses keluar-masuk parkir dan kegiatan sektor informal lainnya.

  Contoh lain adalah Jalan Banceuy dan Jalan Braga. Ruang jalan yang memang sudah sangat terbatas tersebut perlu dikembalikan fungsinya sebagaimana mestinya sehingga dapat beroperasi kembali pada kapasitas semula. Sangat dianjurkan agar pihak yang berwewenang (pihak DPU) mengembalikan dulu fungsi jalan raya tersebut pada kapasitas semula sebelum membangun infrastruktur baru yang jelas membutuhkan biaya yang sangat besar. Misalnya, parkir di badan jalan pada beberapa ruas jalan tidak dimungkinkan lagi dan harus segera dialihkan ke tempat yang bukan di badan jalan.

  Masalah parkir tampaknya menjadi persoalan bidang transportasi yang semakin rumit di Kotamadya Bandung. Pada satu pihak, parkir diusahakan dibatasi; tetapi di lain pihak, parkir digunakan sebagai salah satu sumber utama

pendapatan daerah. Yang perlu diperbandingkan adalah besarnya kerugian akibat kemacetan yang ditimbulkan oleh kegiatan perparkiran dengan besarnya pendapatan yang diterima dari kegiatan ini.

- Masalah pejalan kaki juga merupakan masalah utama; sering terlihat pengalihfungsian trotoar menjadi tempat kegiatan lain. Di samping itu, pejalan kaki dianggap lebih rendah dari pengguna jalan lainnya. Di Kotamadya Bandung, tidak sulit menemukan trotoar yang beralih fungsi sehingga pejalan kaki yang seharusnya berjalan pada trotoar terpaksa menggunakan badan jalan. Akibatnya, kapasitas jalan berkurang dan kadang-kadang faktor keselamatanpun terpaksa diabaikan.

9.7.4 Rekayasa dan manajemen lalulintas

Rekayasa menajemen lalulintas dapat dilakukan dengan berbagai cara yang diuraikan berikut ini.

9.7.4.1 Perbaikan sistem lampu lalulintas dan sistem jaringan jalan Rekayasa dan manajemen lalulintas dapat dilakukan dengan berbagai cara yang diuraikan berikut ini.

- Pemasangan dan perbaikan sistem lampu lalulintas secara terisolasi dimaksud untuk mengikuti fluktuasi lalulintas yang berbeda-beda dalam 1 jam, 1 hari, maupun 1 minggu. Selain itu, juga dilakukan secara terkoordinasi yaitu dengan mengatur seluruh lampu lalulintas secara terpusat. Pengaturan ini dapat mengurangi tundaan dan kemacetan. Sistem ini dikenal dengan ***Area Traffic Control System*** **(ATCS)**. Beberapa kota di Indonesia telah dilengkapi dengan sistem tersebut seperti DKI-Jakarta, Bandung, dan Surabaya.
- Perbaikan perencanaan sistem jaringan jalan yang ada, termasuk jaringan jalan KA, jalan raya, bus, dilaksanakan untuk menunjang Sistem Angkutan Umum Transportasi Perkotaan Terpadu (SAUTPT).
- Penerapan manajemen transportasi, antara lain kebijakan perparkiran, perbaikan fasilitas pejalan kaki, dan jalur khusus bus. Semua ini memerlukan beberapa pertimbangan, yang lebih diutamakan pada kemungkinan membatasi kebutuhan akan transportasi dengan beberapa metode yang dikenal dengan **pembatasan lalulintas**. Perlunya penerapan pembatasan lalulintas terhadap penggunaan kendaraan pribadi telah diterima oleh para pakar transportasi sebagai hal yang penting dalam menanggulangi masalah kemacetan di daerah perkotaan.

9.7.4.2 Kebijakan perparkiran Parkir didefinisikan tempat khusus bagi kendaraan untuk berhenti demi keselamatan. Ruang lain dapat digunakan untuk tempat parkir. Parkir mempunyai tujuan yang baik, akses yang mudah; jika seseorang tidak dapat memarkir kendaraannya, dia tidak bisa membuat perjalanan. Jika parkir terlalu jauh dari tujuan, orang akan beralih pergi ke tempat lain. Sehingga tujuan utama adalah agar lokasi parkir sedekat mungkin dengan tujuan perjalanan.

Jumlah tempat parkir, termasuk di badan jalan dan bukan di badan jalan belum cukup mengatasi kebutuhan, terutama pada pusat kota menengah dan besar. Ini merupakan permasalahan yang meningkat sangat cepat seiring dengan meningkatnya pemilikan kendaraan pribadi. Begitu seseorang membeli mobil, dia pasti menggunakannya, terutama karena mobilitas mobil yang lebih tinggi dibandingkan dengan menggunakan angkutan umum.

Tetapi, di pusat kota, mobil menggunakan tempat parkir sepanjang hari, tanpa mendatangkan untuk daerah itu; ruang tersebut dapat menghasilkan jika digunakan untuk toko dan kantor. Permasalahan utama kendaraan pribadi bukan saja menghasilkan kemacetan pada jalan arteri, tetapi juga pada tempat parkir. Permasalahan tersebut meningkat sangat pesat dan menambah permasalahan daerah perkotaan. Kebutuhan akan parkir dapat dikelompokkan menjadi persyaratan untuk kendaraan pribadi, angkutan umum, dan angkutan barang, yang masing-masing menggunakan ruang secara bersama-sama. Jika kebutuhan melebihi persediaan, diperlukan kebijakan parkir dengan prioritas untuk jenis tempat parkir tertentu. Permasalahannya adalah:

- apakah cukup tempat parkir yang ada?
- jika ruang parkir diperlukan, di mana tempatnya dan bagaimana pengaturannya?
- siapa yang tidak boleh parkir di tempat tersebut?

Kebijakan perparkiran dilakukan untuk meningkatkan kapasitas jalan yang sudah ada. Penggunaan badan jalan sebagai tempat parkir jelas memperkecil kapasitas jalan tersebut karena sebagian besar lebar jalan digunakan sebagai tempat parkir. Lebih jauh lagi, pengelolaan parkir yang tidak baik cenderung merupakan penyebab kemacetan karena antrian kendaraan yang menunggu tempat yang kosong justru menghambat pergerakan arus lalulintas.

Kebijakan parkir bukan di badan jalan seperti pembangunan bangunan tempat parkir atau membatasi tempat parkir jelas merupakan jawaban yang sangat tepat karena sejalan dengan usaha mengurangi penggunaan kendaraan pribadi dengan mengalihkan penumpang dari kendaraan pribadi ke angkutan umum. Pengalihan badan jalan yang pada mulanya digunakan sebagai tempat parkir menjadi lajur khusus bus juga merupakan jawaban yang sangat tepat. Kebijakan parkir juga menentukan metode pengontrolan dan pengaturannya. Pelaksanaan pengaturan parkir telah sering dilakukan sejak tahun 1960-an, yang biasanya meliputi:

- pembatasan tempat parkir di badan jalan;
- merencanakan fasilitas tempat parkir di luar daerah, seperti *park-and-ride*;
- pengaturan biaya parkir; dan
- denda yang tinggi terhadap pelanggar parkir.

9.7.4.3 Prioritas angkutan umum Angkutan umum menggunakan prasarana secara lebih efisien dibandingkan dengan kendaraan pribadi, terutama pada waktu sibuk. Terdapat dua buah jenis ukuran agar pelayanan angkutan umum lebih baik:

- perbaikan operasi pelayanan, frekuensi, kecepatan dan kenyamanan (misalnya pelayanan bus sekolah).
- perbaikan sarana penunjang jalan:
    * penentuan lokasi dan desain tempat pemberhentian dan terminal yang baik, terutama dengan adanya moda transportasi yang berbeda-beda seperti jalan raya dan jalan rel, atau antara transportasi perkotaan dan antarkota.
    * pemberian prioritas yang lebih tinggi pada angkutan umum. Teknik yang sering digunakan adalah jalur khusus bus, prioritas bus, lampu lalulintas, tempat berhenti taksi, dan lain-lain.

Tujuan pemberian prioritas bus adalah mengurangi waktu perjalanan, dan membuat bus lebih menarik untuk penumpang. Ukuran ini biasanya dimaksudkan untuk bus di kota besar karena akan membawa penumpang dalam jumlah besar sehingga pengurangan waktu tempuh yang kecil menyebabkan keuntungan yang besar. Sering juga diperbolehkan pelayanan taksi jika hal tersebut menguntungkan (misalnya keuntungan secara menyeluruh meningkat).

- **Jalur khusus bus** Jika suatu ruas jalan atau persimpangan mengalami kemacetan, angkutan umum dapat menggunakan satu jalur sendiri. Dengan demikian, bus tersebut bergerak lebih cepat karena kemacetan dipindahkan dari jalur tersebut. Kerugiannya, kendaraan umum dan pribadi yang mengalami kemacetan semakin dibatasi pergerakannya ke ruang yang lebih kecil sehingga meningkatkan kemacetan dan tundaan (akibatnya, angkutan umum lebih menarik).

  Terdapat keseimbangan antara keuntungan akibat meningkatnya kecepatan angkutan umum dan biaya akibat meningkatnya tundaan. Dengan alasan ini, jalur khusus bus digunakan hanya pada saat macet, yaitu pada saat keuntungan bisa didapat dengan meningkatnya kecepatan kendaraan umum (pada saat jam sibuk pagi dan sore hari).

- **Prioritas bus di persimpangan dengan lalulintas** Detektor biasanya diletakkan pada bus, yang memberikan sinyal elektronik dan diterima oleh penerima sinyal di persimpangan tersebut, yang melanjutkannya ke kontrol lampu lalulintas, yang selanjutnya memberikan fase hijau atau memperpanjang waktu hijau. Hal ini mengurangi tundaan kendaraan di persimpangan.

  Sistem yang sama juga digunakan oleh polisi, pemadam kebakaran, dan kendaraan, ambulans. Karena sistem tersebut mengganggu waktu siklus yang telah ada, hal yang perlu diperhatikan adalah apakah kemacetan tidak meningkat pesat untuk jenis kendaraan lain.

- **Kemudahan pejalan kaki** Untuk merangsang masyarakat menggunakan angkutan umum, hal utama yang perlu diperhatikan adalah pejalan kaki. Perjalanan dengan angkutan umum selalu diawali dan diakhiri dengan berjalan kaki. Jadi, jika fasilitas pejalan kaki tidak disediakan dengan baik, masyarakat tidak akan pernah menggunakan angkutan umum. Hal yang perlu diperhatikan adalah masalah fasilitas, kenyamanan, dan keselamatan. Perlu selalu diingat **'Pejalan kaki bukan warga negara kelas dua'**.

9.7.5 Permasalahan

Segala bentuk dan jenis perencanaan yang sedang dan akan dilakukan tentu berdampak terhadap penataan tata ruang perkotaan, terutama terhadap prasarana perkotaan, baik berupa dampak negatif maupun positif. Jadi, perlu dibuat perencanaan dan sistem koordinasi interaktif yang baik dengan mengikutsertakan berbagai pihak, terutama pihak instansi dan departemen terkait. Beberapa departemen dan instansi yang terkait adalah Perusahaan Air Minum (PAM), DLLAJ, Bina Marga, Perusahaan Listrik Negara (PLN), Dinas Persampahan, Dinas Pertamanan, Departemen Perhubungan, dan Departemen Pekerjaan Umum.

Beberapa hambatan utama dalam usaha meningkatkan prasarana transportasi dan juga berkaitan dengan atau berdampak pada penataan tata ruang perkotaan, terutama prasarana perkotaan, diuraikan berikut ini.

a Pembuatan jalan baru, baik jalan tol ataupun jalan lingkar, menghadapi masalah yang sangat rumit dalam hal pembebasan lahan yang biayanya merupakan bagian yang cukup besar dari total keseluruhan nilai proyek. Hal ini jelas karena harga tanah di daerah perkotaan sudah sangat tinggi, terutama di daerah tengah kota. Jadi, dalam perencanaan pembangunan jalan baru, salah satu hal yang harus dipikirkan adalah cara mencari dana untuk membiayai proyek mahal tersebut. Dalam hal ini, peran pihak investor (baik pemerintah maupun swasta) sangat diharapkan.

   Hal lain lagi yang perlu diperhatikan adalah segi perencanaan; diperlukan koordinasi yang baik antara Direktorat Cipta Karya, Dinas Pertamanan, Dinas Tata Kota, dan instansi atau departemen lain dalam hal tata guna lahan yang akan digunakan menjadi jalan baru tersebut. Dalam kasus pembuatan jalan baru, masalah jaringan utilitas air hujan tidak terlalu menyulitkan karena biasanya sudah direncanakan sejak awal. Koordinasi jangan sampai berhenti pada tahap perencanaan saja, tetapi harus berlanjut sampai pada tahap pelaksanaan, pemeliharaan, dan seterusnya.

b Pelebaran jalan untuk peningkatan kapasitas jalan maupun perbaikan persimpangan mempunyai masalah dalam hal prasarana jaringan utilitas. Ini karena pada jalan dan persimpangan yang ada sekarang jaringan utilitas seperti air bersih, air kotor, listrik, dan telepon berada di tepi jalan, Jadi, jika jalan ataupun persimpangan diperlebar, jaringan utilitas akan berada di tengah jalan yang menyulitkan jika kelak ada perbaikan kerusakan.

Untuk itu diperlukan koordinasi yang baik antara instansi terkait seperti: PLN, PAM, dan Pertamanan dalam hal penentuan letak dan lokasi jaringan utilitas yang baru. Hal ini bisa menjadi salah satu hambatan karena membutuhkan waktu pengaturan yang cukup lama.

Salah satu penyebab kemacetan pada beberapa jaringan jalan adalah perbaikan dan pemeliharaan jaringan utilitas yang tidak terjadwal dari berbagai instansi yang mengakibatkan berkurangnya kapasitas jalan. Hal ini dapat menimbulkan citra pekerjaan gali dan tutup lobang yang tidak kunjung selesai. Harus ada sistem koordinasi yang baik antara instansi terkait sehingga penggalian dapat dilakukan secara terjadwal dan dapat digunakan untuk berbagai keperluan beberapa instansi sekaligus.

9.7.6 Hal lain yang dapat dilakukan

9.7.6.1 Pelatihan transportasi perkotaan bagi staf pemerintah daerah
Kesiapan pemerintah daerah dalam usaha mengelola dan mengatur daerahnya sendiri sangatlah penting dan diperlukan. Beberapa kajian menyimpulkan bahwa banyaknya permasalahan transportasi di kota bukan hanya disebabkan oleh faktor kurangnya jumlah prasarana dan fasilitas transportasi yang tersedia, tetapi juga karena ketidaksiapan pemerintah daerah sebagai badan pengelola daerah, baik di tingkat I maupun di tingkat II. Oleh sebab itu, perlu dipikirkan suatu cara untuk meluaskan wawasan dan pengetahuan aparat dan staf pemerintah daerah dalam masalah transportasi, termasuk mengelola, merencana, dan mengatur.

Sifat dan kedudukan ilmu transportasi merupakan ilmu yang multidisiplin, dan perangkat analisisnya pula cenderung merupakan pinjaman cabang ilmu lain. Jadi, cakupan materi pelatihan yang diberikan harus cukup mendasar sehingga memberikan peluang bagi peserta untuk dapat mengenal metode dasar yang biasa digunakan. Selain itu juga dapat mempersiapkan peserta sebelum suatu kebijakan transportasi di wilayah perkotaan diputuskan.

Metode dasar yang dimaksud mencakup pengenalan sistem kegiatan, dan sistem jaringan, dan sistem pergerakan. Untuk memperkenalkan peserta kepada kebijakan transportasi perkotaan, perlu disampaikan komponen tindakan yang dapat dilakukan dalam rangka pengaturan perlalulintasan, penanganan aspek rekayasa lalulintas, pemeliharaan jalan kota, dan penanganan aspek koordinasi organisasi (sistem kelembagaan), serta kaitannya dengan permasalahan transportasi perkotaan.

9.7.6.2 Analisis Dampak Lalulintas (Andall) Pembangunan kawasan pusat perkotaan, kawasan superblok, dan beberapa pusat kegiatan lain yang banyak dilakukan saat ini pasti berdampak langsung terhadap pergerakan lalulintas pada sistem jaringan jalan yang ada di sekitar kawasan tersebut. Pembangunan pasti menimbulkan bangkitan dan tarikan lalulintas yang disebabkan oleh kegiatan yang dilakukan di kawasan itu. Yang penting, seluruh pergerakan manusia, kendaraan, dan barang harus dapat dikuantifikasi dengan cermat dan saksama serta harus pula dapat diperkirakan berapa besar dampaknya (kuantitas dan kualitas) apabila pergerakan lalulintas baru itu membebani sistem jaringan jalan yang sudah ada.

Hasil analisis ini memberikan solusi terbaik yang dapat meminimumkan dampak serta memudahkan pengaturan titik akses ke lahan pembangunan yang baru tersebut. Juga memudahkan penyusunan usulan indikatif terhadap fasilitas tambahan yang diperlukan (jika ada) guna mengurangi dampak dan untuk mempertahankan tingkat pelayanan prasarana sistem jaringan jalan yang telah ada. Analisis Dampak Lalulintas (Andall) tersebut akan menganalisis dampak pengembangan kawasan terhadap kinerja sistem jaringan transportasi yang ada, dilihat dari segi kapasitas, kemacetan, keterlambatan, polusi, lingkungan, dan parameter lain.

Untuk memenuhi hal tersebut, perlu dilakukan kajian analisis dampak lalulintas guna meningkatkan efisiensi sistem jaringan jalan yang ada secara menyeluruh dan merangsang pertumbuhan pada kawasan tersebut secara terpadu. Perlunya penerapan kebijakan analisis dampak lalulintas telah diterima oleh para pakar transportasi sebagai hal yang penting dalam penanggulangan masalah transportasi di daerah perkotaan.

9.7.6.3 Sosialisasi peraturan dan penegakan hukum Ketidakdisiplinan selalu merupakan alasan utama terjadinya permasalahan transportasi perkotaan. Bagaimana pun baiknya sistem perlalulintasan, jika tidak dibarengi dengan disiplin berlalulintas yang baik, akan tetap berakhir dengan masalah. Selain itu, disiplin tidaknya pengguna jalan tidak saja tergantung pada dirinya sendiri, tetapi juga pada ketegasan sistem perlalulintasan yang berlaku, termasuk undang-undang dan peraturan, penegakan hukum, sosialisasi hukum, sarana, dan prasarana. Sistem yang tidak tegas dan jelas dapat menyebabkan pengguna jalan bertindak tidak disiplin, yang menimbulkan permasalahan transportasi yang semakin parah.

Penegakan hukum berperanan sangat penting. Undang-undang beserta perangkat peraturan pelaksanaannya perlu disebarluaskan agar masyarakat dapat memahaminya, termasuk penjelasan yang rinci cara menaati peraturan berikut sanksi pelanggarannya. Perangkat hukum tadi juga memerlukan peraturan pelaksanaan, sarana dan prasarana yang jelas, penegakan hukum, dan pembuktian yang jelas.

9.8 Konsep manajemen kebutuhan akan transportasi (MKT)

9.8.1 Pendahuluan

Banyak negara baik yang sudah berkembang maupun yang sedang berkembang mulai dapat menerima kenyataan bahwa laju peningkatan kebutuhan akan transportasi tidak akan pernah dapat ditampung oleh sistem prasarana transportasi. Hal ini disebabkan karena usaha peningkatan kualitas dan kuantitas pelayanan sistem prasarana transportasi pada suatu daerah tertentu akan dapat meningkatkan aksesibilitas dan mobilitas di daerah tersebut yang sebaliknya akan dapat merangsang kembali terjadinya peningkatan kebutuhan akan transportasinya.

Bukti yang jelas dapat terlihat di DKI-Jakarta yang telah mengeluarkan dana yang sangat besar dalam usaha peningkatan kualitas dan kuantitas sistem prasarana transportasinya sejak tahun 1983 untuk mengejar laju pertumbuhan kebutuhan akan

transportasinya yang cukup tinggi. Akan tetapi apa yang terjadi, kemacetan masih terlihat dimana-mana pada saat sekarang dengan tingkat intensitas dan kompleksitas yang tidak berubah dan malah semakin parah.

Hal ini disebabkan karena kebutuhan akan transportasi dan sistem prasarana transportasi saling kejar mengejar dan tidak akan pernah berhenti sampai kondisi jenuh tercapai (macet total dimana-mana). Dengan kata lain, dapat dikatakan bahwa usaha pemecahan permasalahan transportasi perkotaan pada saat sekarang yang dilakukan dengan usaha meningkatkan kuantitas dan kualitas sistem prasarana transportasi yang ada sama saja artinya dengan memindahkan permasalahan kemacetan yang terjadi pada masa sekarang ke masa mendatang dengan tingkat intensitas dan kompleksitas yang jauh lebih parah.

Indonesia pada saat sekarang (tahun 1998) sedang mengalami krisis ekonomi yang paling buruk selama 30 tahun terakhir. Sebagai konsekuensinya, anggaran belanja pemerintah pusat maupun daerah terpaksa harus dibatasi, terlebih-lebih anggaran belanja yang berasal dari sumber pinjaman. Dalam keadaan krisis ekonomi seperti ini, pemerintah berada pada posisi yang sangat sulit dalam menentukan alokasi anggarannya. Pemerintah memerlukan dana yang relatif besar untuk memperbaiki pelayanan jasa sistem prasarana transportasi perkotaan yang merupakan pendukung utama bagi perbaikan kondisi ekonomi. Usaha peningkatan pelayanan sistem prasarana transportasi sangatlah tidak mungkin dilakukan pada saat ini.

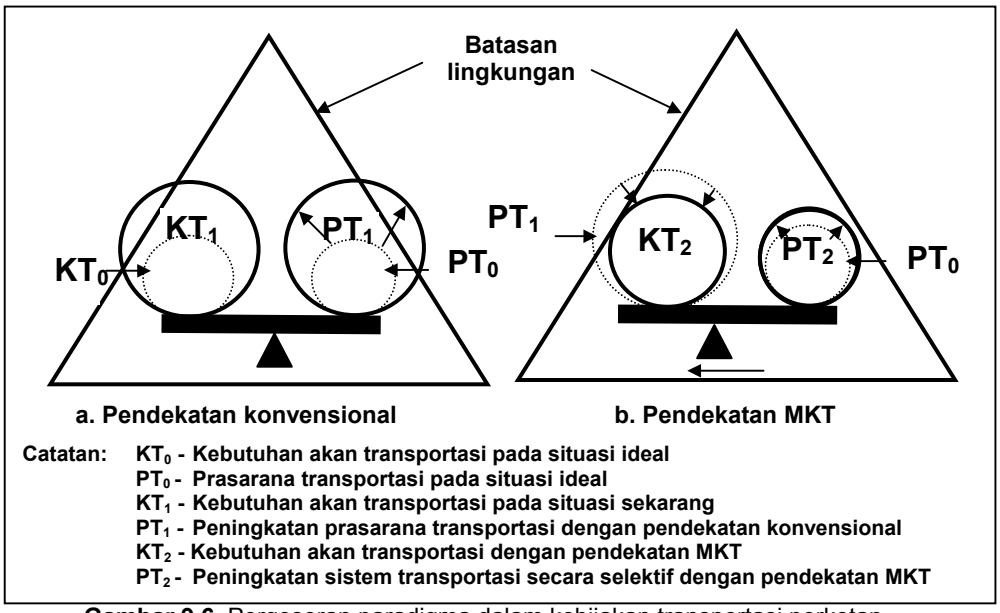
Oleh sebab itu, pendekatan yang selama ini selalu digunakan oleh para pengambil keputusan dalam berbagai kebijakan pengembangan sistem prasarana transportasi perkotaan di Indonesia yang menggunakan pendekatan konvensional yaitu **'*predict and provide*'** atau **'ramal dan sediakan'** harus mulai diganti dengan pendekatan baru yaitu **'*predict and prevent*'** atau **'ramal dan cegah'**. Salah satu cara yang dapat dilakukan adalah dengan melakukan usaha pengelolaan atau manajemen pada sisi kebutuhan akan transportasi yang dikenal dengan ***Transport Demand Management*** (**TDM**) atau **Manajemen Kebutuhan akan Transportasi** (**MKT**).

9.8.2 Pengembangan konsep

Definisi Manajemen Kebutuhan akan Transportasi (MKT) seperti yang dinyatakan oleh **Orski (1998)** adalah sebagai berikut:

> *… is the art of influencing traveller behaviour for the purpose of reducing travel demand or redistributing travel demand in space and time…*
>
> … suatu cara untuk mempengaruhi perilaku pelaku pergerakan dengan tujuan untuk mengurangi besarnya kebutuhan akan pergerakan atau menyebarkan kebutuhan tersebut dalam ruang dan waktu …

Secara umum, konsep MKT tersebut dapat dijelaskan dengan menggunakan gambar 9.6 berikut. Terlihat pada gambar 9.6a, pendekatan konvensional mengusulkan berbagai kebijakan peningkatan sistem prasarana transportasi yang dapat mengakomodir besarnya kebutuhan akan transportasi tanpa sedikitpun memperhatikan kondisi sosial, lingkungan, dan operasional yang ditimbulkan oleh pelaksanaan kebijakan tersebut.



Gambar 9.6 Pergeseran paradigma dalam kebijakan transportasi perkotan
Sumber: Ohta (1998)

Akan tetapi, dengan pendekatan MKT seperti terlihat pada gambar 9.6b, diusulkan berbagai usaha untuk memperkecil kebutuhan akan transportasi sehingga pergerakan yang ditimbulkannya masih berada dalam syarat batas kondisi sosial, lingkungan, dan operasional. Selain itu, juga diusulkan berbagai usaha peningkatan sistem prasarana transportasi yang akan ditentukan secara sangat selektif dengan sangat memperhatikan syarat batas tersebut di atas.

Kemacetan yang terjadi di daerah perkotaan timbul karena proses pergerakan dilakukan pada lokasi yang sama dan sering terjadi pada saat yang bersamaan pula. Dalam pelaksanaan konsep MKT ini, pembatasan kebutuhan akan transportasi sama sekali bukan berarti membatasi jumlah pergerakan yang akan terjadi akan tetapi bagaimana mengelola proses pergerakan tersebut agar jangan terjadi pada saat yang bersamaan dan/atau terjadi pada lokasi atau tempat yang bersamaan pula. Pembatasan kebutuhan akan transportasi dengan cara membatasi pergerakan yang akan terjadi merupakan hal yang sangat keliru karena akan menyebabkan berkurangnya mobilitas penduduk yang akan berakibat terhambatnya proses pertumbuhan ekonomi.

Oleh sebab itu, beberapa kebijakan yang dapat dilakukan dalam pelaksanaan konsep MKT ini dapat mengacu pada beberapa proses pergerakan berikut ini.

- Proses pergerakan dapat terjadi pada **lokasi yang sama**, akan tetapi pada **waktu yang berbeda** (**pergeseran waktu**);
- proses pergerakan dapat terjadi pada **waktu yang sama**, akan tetapi pada **rute atau lokasi yang berbeda** (**pergeseran rute atau lokasi**);
- proses pergerakan dapat terjadi pada **lokasi yang sama** dan pada **waktu yang sama**, akan tetapi dengan **moda transportasi yang berbeda** (**pergeseran moda**);

- proses pergerakan dapat terjadi pada **lokasi yang sama**, **waktu yang sama**, dan **moda transportasi yang sama**, akan tetapi dengan **lokasi tujuan yang berbeda** (**pergeseran lokasi tujuan**).

9.8.2.1 Pergeseran waktu Kebijakan pergeseran waktu dibutuhkan agar proses pergerakan masih dapat dilakukan pada lokasi yang sama tetapi tidak pada waktu yang bersamaan. Beberapa strategi yang dapat dilakukan untuk mendukung kebijakan ini adalah:

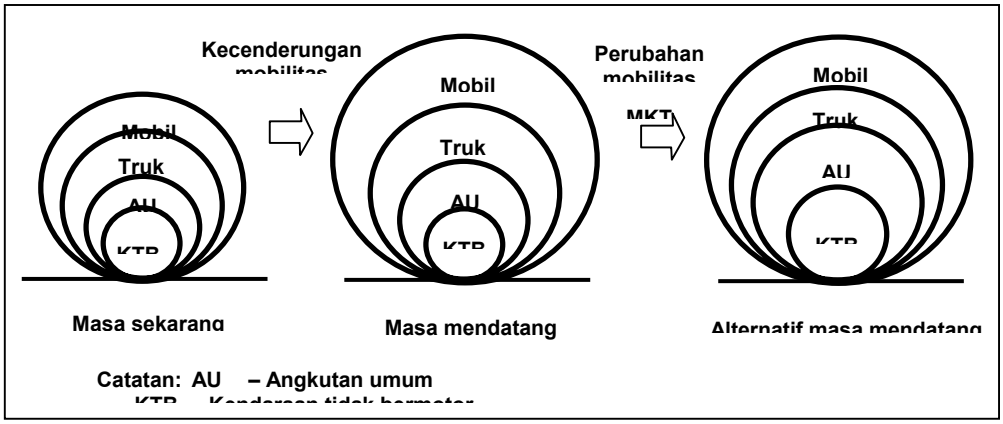
- **strategi jam masuk/keluar kantor/sekolah yang berbeda-beda** Upaya mengarahkan agar kegiatan yang terjadi waktunya tidak bersamaan sehingga mengurangi kemungkinan terjadinya kemacetan akibat menumpuknya pergerakan pada waktu yang sama. Hal ini dapat dilakukan dengan menyebarkan waktu kerja dan sekolah (misal jam belajar satu sekolah berlainan dengan jalan belajar sekolah lainnya atau pekerja unit tertentu masuk lebih dahulu disusul dengan pekerja unit lainnya, tentunya tanpa mengganggu kinerja kerja secara keseluruhan). Strategi ini akan dapat menghindarkan terbentuknya puncak pergerakan pada waktu tertentu dan menyebarkan puncak tersebut ke waktu-waktu lainnya.
- Usaha untuk menghindari terjadinya jam puncak dapat juga dilakukan dengan melakukan pergerakan lebih awal sebelum jam sibuk atau sebaliknya menunda pergerakan setelah jam sibuk. Beberapa strategi lainnya yang dapat dilakukan dapat berupa: **hari kerja yang dipadatkan** (6-hari kerja menjadi 5-hari kerja), **skejul kerja fleksibel**, **kebijakan hari kerja tanpa angkutan pribadi**, dan lain-lain.
- **batasan waktu pergerakan untuk angkutan barang** Strategi ini bertujuan agar kendaraan berat pengangkut barang dapat bergerak pada waktu-waktu tertentu saja (misal pada malam hari atau pada jam tidak sibuk).

9.8.2.2 Pergeseran rute atau lokasi Kebijakan pergeseran rute atau lokasi dibutuhkan agar proses pergerakan masih dapat dilakukan pada waktu yang sama, akan tetapi pada rute atau lokasi yang berbeda. Beberapa strategi yang dapat dilakukan untuk mendukung kebijakan ini adalah:

- Kebijakan ***road pricing*** seperti sistem stiker, ***Electronic Road Pricing*** (**ERP**), ***Area Licensing Scheme*** (**ALS**) dapat menyebabkan pergerakan tetap dapat dilakukan pada waktu yang sama, akan tetapi menggunakan ruas jalan yang lain. Hal ini akan menyebabkan tidak terjadinya penumpukan arus lalulintas pada ruas-ruas jalan tertentu dan menyebarkannya pada ruas-ruas jalan yang tidak macet.
- Strategi lainnya dapat berupa penentuan rute angkutan barang, penentuan ruas jalan khusus untuk pejalan kaki atau khusus untuk angkutan umum, dan lain-lain.

9.8.2.3 Pergeseran moda Kebijakan pergeseran moda dibutuhkan agar proses pergerakan masih dapat dilakukan pada lokasi dan waktu yang sama tetapi dengan

moda transportasi yang berbeda. Pada prinsipnya kebijakan ini didukung oleh kenyataan bahwa terdapat adanya ketidakefisienan dalam penggunaan ruang jalan yang memang sudah sangat terbatas. Untuk meningkatkan efisiensi ruang jalan tersebut (tanpa bermaksud mengurangi atau membatasi jumlah pergerakan yang ada), dapat dilakukan dengan cara mengurangi jumlah kendaraan yang bergerak. Hal ini dapat dilakukan dengan cara menggunakan kendaraan yang berokupansi lebih besar seperti penggunaan angkutan umum. Gambar 9.7 berikut memperlihatkan konsep perubahan mobilitas yang digunakan dalam konsep MKT.



Gambar 9.7 Konsep perubahan mobilitas dengan MKT
Sumber: Ohta (1998)

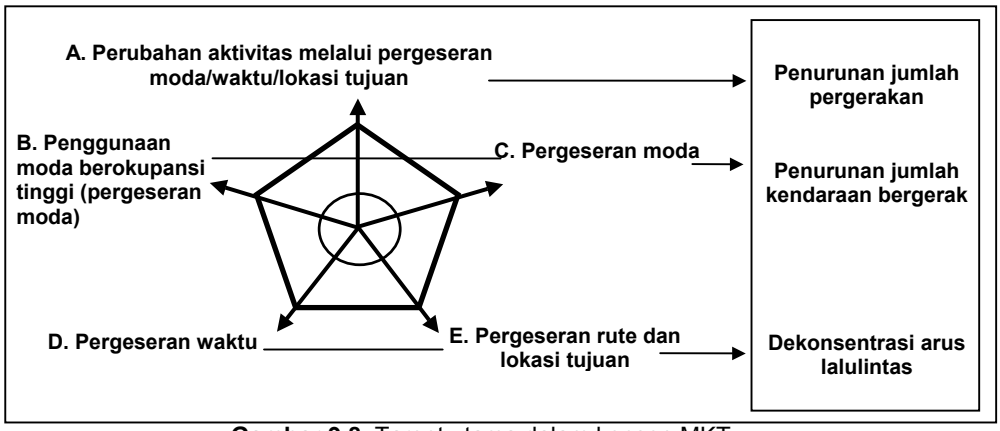
Terlihat pada gambar 9.7 bahwa jumlah pergerakan yang terjadi tetap (tidak berubah); akan tetapi, terjadi pergeseran persentase jumlah pergerakan dari yang menggunakan kendaraan berokupansi kecil ke kendaraan berokupansi lebih besar sehingga jumlah kendaraan yang bergerak menjadi lebih sedikit. Beberapa strategi yang dapat dilakukan untuk mendukung kebijakan ini adalah:

- ***Car pooling*** Strategi ini akan dapat mengurangi jumlah kendaraan yang bergerak dengan cara meningkatkan okupansi kendaraan pribadi. Kebijakan bus karyawan atau kendaraaan antar-jemput untuk anak sekolah dan karyawan merupakan salah satu perwujudan strategi *car pooling*. Konsep **3-*in*-1** yang sudah diterapkan di DKI-Jakarta juga mempunyai tujuan yang sama selain dari tujuan pergeseran lokasi.
- **Kebijakan peningkatan pelayanan angkutan umum** melalui kombinasi strategi prioritas bus, kebijakan parkir, batasan lalulintas, sistem angkutan umum massa (SAUM), dan fasilitas pejalan kaki merupakan usaha-usaha yang mengarah pada terjadinya proses pergeseran moda.
- **Pergeseran moda transportasi ke moda telekomunikasi** Strategi ini perlu diperhatikan karena proses pemenuhan kebutuhan tidak selalu harus dipenuhi dengan proses pergerakan. Kebutuhan yang bersifat informasi dan jasa dapat dipenuhi dengan menggunakan moda telekomunikasi. Penggunaan fasilitas *e-mail*, faksimili, dan internet akan sangat membantu mengurangi jumlah pergerakan karena proses pemenuhan kebutuhan yang bersifat informasi dapat dilakukan tanpa seseorang harus bergerak.

9.8.2.4 Pergeseran lokasi tujuan Kebijakan pergeseran lokasi tujuan dibutuhkan agar proses pergerakan masih dapat dilakukan pada lokasi, waktu, dan moda transportasi yang sama tetapi dengan lokasi tujuan yang berbeda. Beberapa strategi yang dapat dilakukan untuk mendukung kebijakan ini adalah:

- upaya mengarahkan pembangunan tata guna lahan sedemikian rupa sehingga pergerakan yang dibangkitkan atau yang tertarik terjadi hanya pada satu lokasi atau beberapa lokasi yang saling berdekatan. Semakin jauh kita bergerak dan semakin lama kita menggunakan jaringan jalan, semakin besar kontribusi kita dalam proses terciptanya kemacetan. Beberapa hal yang dapat dilakukan yaitu dengan mengupayakan pembangunan pusat-pusat kegiatan yang terpadu dengan berbagai jenis kegiatan sehingga penduduk untuk pergi bekerja, belanja, sekolah, dan lain-lain cukup hanya pada satu lokasi yang berdekatan saja.
- Penyebaran secara lebih merata sentra-sentra primer dan rayonisasi sekolah di daerah perkotaan juga akan sangat mendukung kebijakan pergeseran lokasi. Seseorang tidak perlu jauh-jauh untuk mendapatkan kebutuhannya atau sekolah karena semakin jauh seseorang bergerak, semakin besar kontribusinya terhadap terjadinya kemacetan.

Strategi yang telah dijelaskan di atas dapat diterangkan secara umum dengan gambar 9.8 berikut.



Gambar 9.8 Target utama dalam konsep MKT
Sumber: Ohta (1998)

9.9 Analisis dampak lalulintas (Andall)

9.9.1 Pendahuluan

Analisis Dampak Lalulintas (Andall) pada dasarnya merupakan analisis pengaruh pengembangan tata guna lahan terhadap sistem pergerakan arus lalulintas di sekitarnya. Pengaruh pergerakan lalulintas ini dapat diakibatkan oleh bangkitan lalulintas yang baru, lalulintas yang beralih, dan oleh kendaraan keluar-masuk

dari/ke lahan tersebut. Dampak ini dapat juga bersifat positif bilamana jarak perjalanan menjadi lebih pendek atau bila jumlah perjalanan menjadi berkurang.

Setiap ruang kegiatan akan 'membangkitkan' pergerakan dan 'menarik' pergerakan, yang intensitasnya tergantung pada jenis tata guna lahannya. Sistem tersebut merupakan sistem pola kegiatan tata guna lahan yang biasanya terdiri atas kegiatan sosial, ekonomi, kebudayaan, dan lain-lain. Bila terdapat pembangunan dan pengembangan kawasan baru seperti pusat perbelanjaan, superblok, dan lain-lain, tentu akan timbul tambahan bangkitan dan tarikan lalulintas baru akibat kegiatan tambahan di dalam dan sekitar kawasan tersebut. Karena itulah, pembangunan kawasan baru dan pengembangannya akan memberikan pengaruh langsung terhadap sistem jaringan jalan di sekitarnya.

Yang terpenting, seluruh pergerakan manusia, kendaraan, dan barang harus dapat dikuantifikasi dengan cermat dan saksama serta harus pula dapat diperkirakan dampaknya (kuantitas dan kualitas) apabila pergerakan lalulintas baru tersebut membebani sistem jaringan jalan yang ada. Jadi, konsep kebijakan tentang kewajiban melakukan analisis dampak lalulintas bagi setiap pembangunan kawasan perkotaan sangat dibutuhkan.

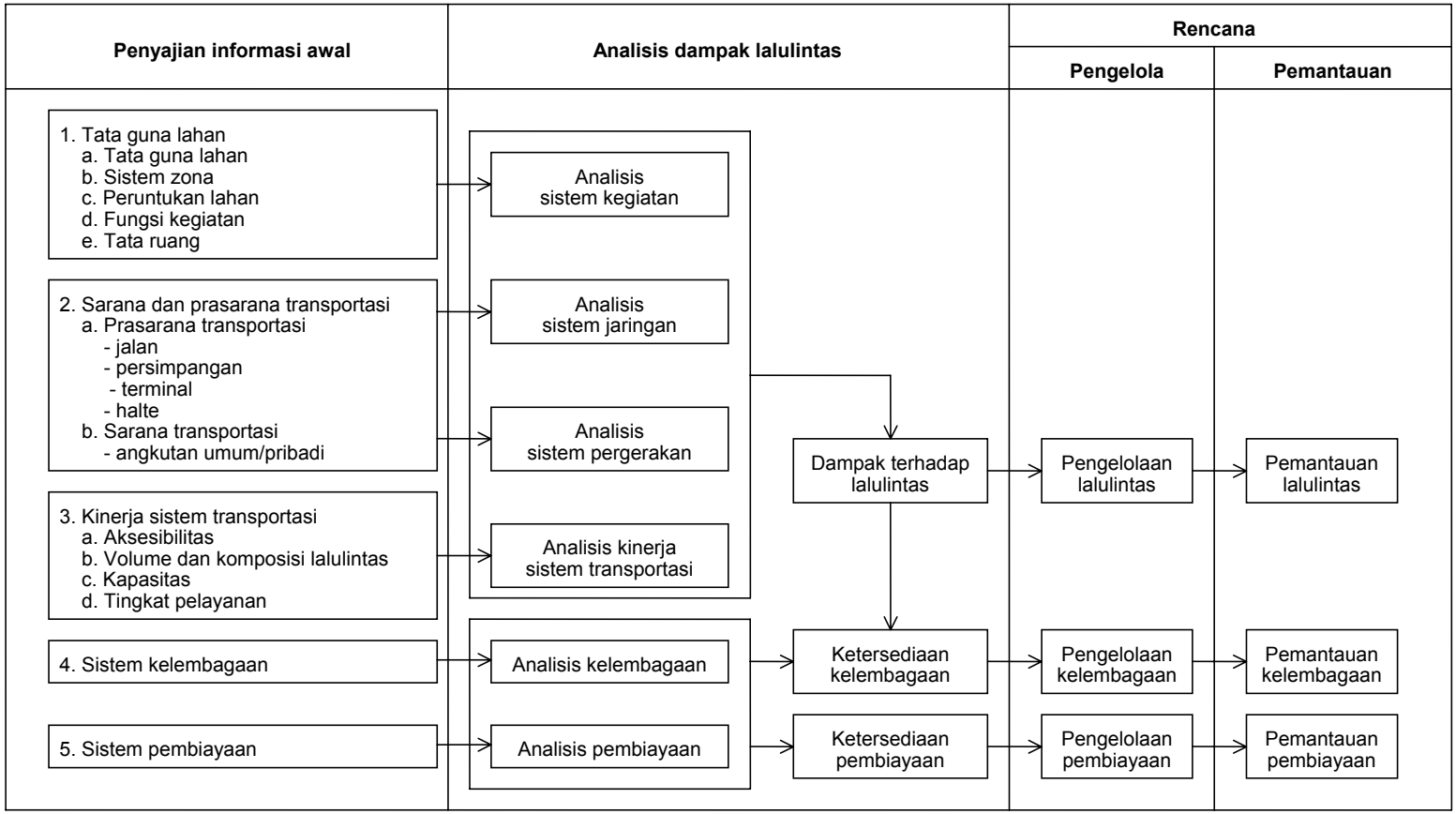
Andall sangat beragam, bergantung pada kondisi setempat dan kebijakan yang ada. Andall dapat bersifat makroskopik pada tahap pra-kajian kelayakan suatu pengembangan lahan, yang perhatian utamanya lebih diarahkan pada sistem transportasi makronya. Andall dapat juga bersifat rinci (mikroskopik), misalnya dihasilkannya usulan penyesuaian pengendalian lampu lalulintas. Kebijakan pengendalian dampak lalulintas dapat berupa usaha meminimalkan dampak lalulintas, misalnya dalam bentuk peningkatan kapasitas prasarana jalan agar dampak tersebut teratasi.

9.9.2 Metode analisis dampak lalulintas

Secara umum garis besar metode ini adalah mengacu pada Analisis mengenai Dampak Lingkungan (Amdal). Daerah yang dikembangkan adalah daerah yang memberikan bangkitan dan tarikan lalulintas baru yang akan membebani lalulintas yang ada. Rekomendasi yang diberikan dapat berupa upaya yang harus dilakukan terhadap sistem lalulintas dan prasarana yang ada guna menghadapi tambahan beban dari kawasan yang akan dikembangkan.

Masa kajian diarahkan pada program peningkatan 5 atau 10 tahunan sampai masa 20 tahun ke depan dari sejak kawasan tersebut dibuka dan berfungsi sepenuhnya (sesuai dengan pentahapan pembangunan kawasan tersebut). Secara garis besar metode ini dapat dilihat pada gambar 9.9 (lihat **Tamin dan Nahdalina, 1998**).

9.9.2.1 Tahap penyajian informasi awal Tahap ini merupakan langkah awal untuk memperoleh berbagai data dan informasi, baik yang diperoleh secara primer (pengamatan, wawancara, peninjauan, dan diskusi) maupun secara sekunder (pengumpulan data laporan, kajian, statistik, dan informasi lain) bagi upaya menunjang pemahaman besar kecilnya dampak yang diakibatkan suatu kegiatan terhadap pergerakan lalulintas suatu daerah.



Gambar 9.9 Metode analisis dampak lalulintas (Andall)
Sumber: Tamin dan Nahdalina (1998)

Dalam penyajian informasi awal ini, segala data dan informasi disampaikan dalam kajian yang tersistem dan terstruktur berdasarkan tujuan dan sasaran yang hendak dihasilkan. Dalam kajian dampak lalulintas ini, tujuan dan sasaran yang akan dicapai adalah mengetahui berapa besar dampak yang diakibatkan suatu kegiatan terhadap lalulintas suatu daerah. Apabila telah diketahui suatu kegiatan memiliki dampak, maka langkah selanjutnya adalah mengkaji berapa besar pengaruhnya itu.

Karena itu, semua peubah penentu yang diperkirakan mempunyai dampak terhadap lalulintas harus diperoleh dalam tahap ini. Peubah penentu itu pada dasarnya dapat dibagi atas peubah utama dan peubah penunjang. Peubah utama dari kajian analisis dampak lalulintas ini secara garis besar adalah tata guna lahan, sarana dan prasarana transportasi, serta kinerja sistem transportasi. Dalam tata guna lahan diperlukan data dan informasi tentang tata guna lahan, sistem zona, fungsi kegiatan, dan tata ruang.

Data tata guna lahan menyangkut rencana penyediaan tanah dan peruntukan lahan dari setiap sektor kegiatan di suatu daerah. Untuk daerah perkotaan, sektor kegiatan tersebut menyangkut kegiatan perdagangan, perkantoran, perumahan, industri, rekreasi, hiburan, dan peribadatan. Keseluruhannya merupakan aspek yang mempengaruhi terbangkitkannya lalulintas di suatu kota.

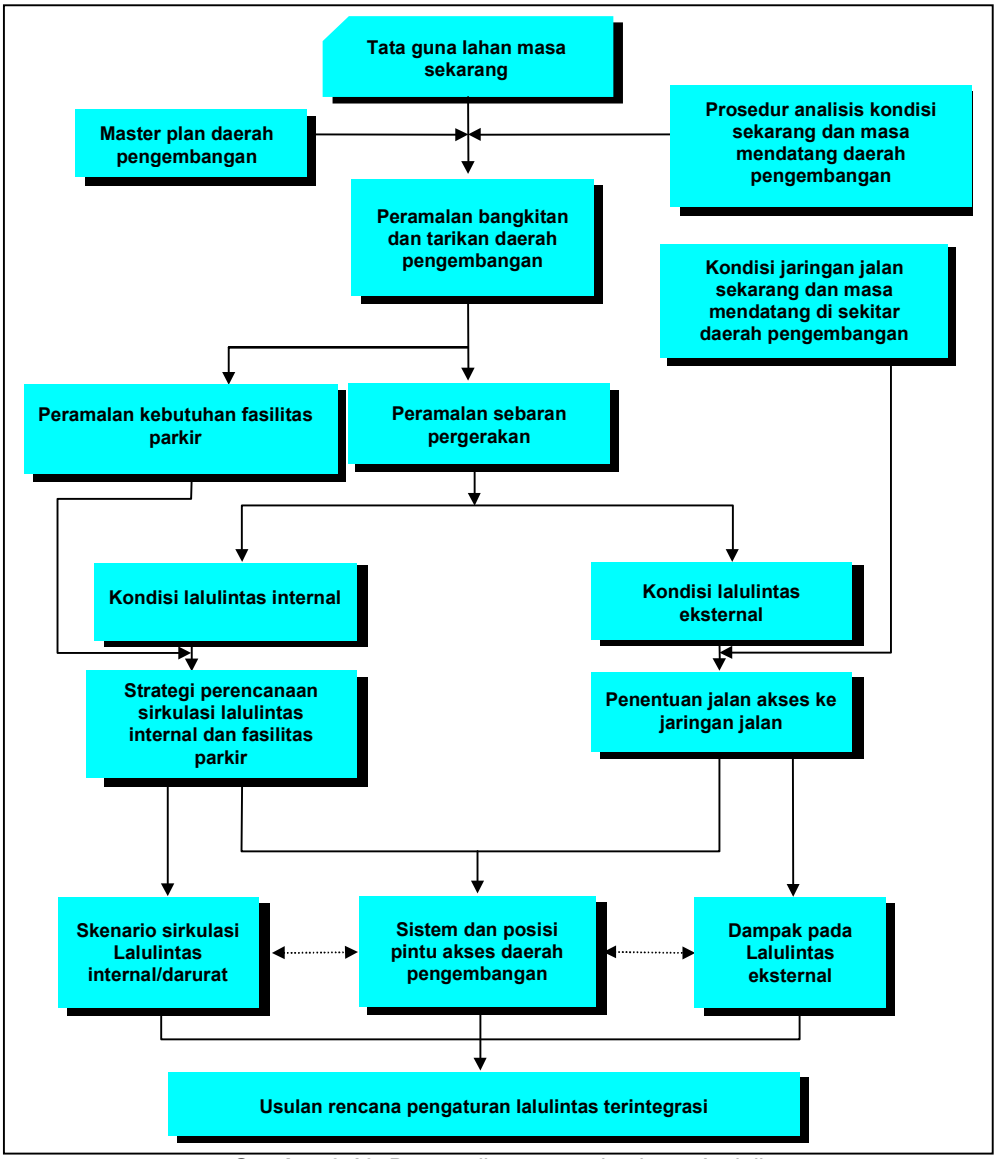
Data sistem zona menyangkut beberapa aspek yang berhubungan dengan kependudukan, sosial, dan ekonomi. Data yang termasuk dalam sistem zona ini menyangkut sebaran kepadatan penduduk, ketenagakerjaan, pendapatan penduduk, dan perekonomian daerah. Fungsi kegiatan menyangkut beberapa aspek yang berhubungan dengan fungsi dan peran kota seperti fungsi pendidikan, pemerintahan, pariwisata, pendidikan, industri, dan perdagangan. Data yang menyangkut penataan ruang meliputi beberapa rencana struktur pemanfaatan ruang daerah (kota) yang terdiri atas ruang untuk perumahan, pertamanan/daerah hijau, jaringan/utilitas seperti jalan, listrik, air minum, drainase, serta perumahan.

Informasi untuk sistem sarana dan prasarana transportasi meliputi yang ada pada masa sekarang dan yang akan datang, termasuk hierarki jalan dan informasi geometrik jalan. Data rambu dan marka lalulintas serta perlengkapan jalan, termasuk data lokasi dan kondisinya, juga diperlukan.

Data tentang terminal menyangkut lokasi terminal, hierarki, kapasitas, dan jenis terminal, sedangkan untuk halte menyangkut lokasi dan kapasitas halte. Data angkutan umum meliputi jenis, kapasitas, trayek, rute, dan jumlah armada, sedangkan untuk angkutan pribadi meliputi jenis, kapasitas, dan jumlah. Data penunjang meliputi data tentang masalah kelembagaan dan biaya untuk melengkapi informasi dalam mengkaji dampak lalulintas. Data yang diperlukan untuk kelembagaan menyangkut sistem organisasi, aparat, fungsi dan wewenang, serta proses dan prosedur pelaksanaan. Untuk pendanaan meliputi data sumber, jenis, proses, dan besarnya dana.

9.9.2.2 Tahapan Andall Dalam tahap Andall ini selanjutnya dikaji keterkaitan antar berbagai informasi dan data yang telah distrukturkan dalam tahap awal kajian. Terdapat lima aspek yang harus dianalisis dalam tahapan ini, yakni analisis sistem kegiatan, sistem jaringan, sistem pergerakan, kinerja sistem transportasi, serta

masalah kelembagaan dan biaya. Secara umum, tahapan Andall yang akan dilaksanakan dapat dilihat pada diagram alir berikut ini (gambar 9.10).



Gambar 9.10 Bagan alir susunan kegiatan Andall
Sumber: Tamin dan Nahdalina (1998)

Sistem kegiatan, sistem jaringan, sistem pergerakan, serta kinerja sistem transportasi bertujuan untuk melihat besarnya dampak lalulintas yang ditimbulkan oleh pengembangan kawasan terhadap sistem transportasi di sekitarnya. Analisis sistem kelembagaan dan pembiayaan bertujuan untuk memberikan arahan mengenai organisasi dan kelembagaan apa yang diperlukan untuk mengatasi dampak yang terjadi. Dalam analisis ini juga dikaitkan sistem pembiayaan yang diperlukan oleh sistem kelembagaan. Secara umum susunan kegiatan ini diuraikan dalam tahapan sebagai berikut.

1 **Kondisi pada saat sekarang**

- Gambaran kebijakan transportasi yang ada pada lokasi kajian;
- Volume lalulintas pada ruas dan persimpangan di daerah yang terpengaruh, ruas jalan dan persimpangan yang kritis;
- Analisis catatan kecelakaan (jika ada);
- Volume pejalan kaki di lokasi kritis;
- Identifikasi ruas atau persimpangan kritis;
- Rencana jaringan jalan di sekitar daerah kajian.

2 **Rencana pengembangan**

- Kebijakan pengembangan di sekitar lokasi, termasuk kebijakan perparkiran;
- Penggunaan lahan di sekitar lokasi yang ada sekarang;
- Peruntukan daerah pengembangan, termasuk fase pengembangan;
- Luas daerah pengembangan;
- Ketentuan rencana pengembangan.

3 **Pemilihan moda, bangkitan, dan tarikan pergerakan**

- Perhitungan volume bangkitan dan tarikan pergerakan dari/ke lokasi;
- Perkiraan pemilihan moda pada masa mendatang;
- Perkiraan bangkitan dan tarikan pergerakan, termasuk jenis kendaraan dari setiap arah untuk hari sibuk (kerja, libur), jam sibuk, dan saat tahap pengembangan selesai;
- Penentuan angka bangkitan dan tarikan pergerakan yang digunakan;
- Identifikasi saat pengaruh lalulintas terbesar;
- Spesifikasi bangkitan dan tarikan pergerakan pada saat konstruksi.

4 **Sebaran pergerakan**

- Penentuan daerah yang terpengaruh;
- Identifikasi besarnya pergerakan yang tertarik ke lokasi;
- Identifikasi besarnya pergerakan lalulintas yang hanya lewat dan yang beralih ke jaringan.

5 **Pembebanan bangkitan dan tarikan lalulintas**

- Identifikasi rute pergerakan lalulintas dari/ke lokasi;

- Penentuan pergerakan membelok pada tempat masuk;
- Proyeksi perubahan lalulintas pada ruas atau persimpangan yang akan terpengaruh.

6 **Tahun perkiraan**

- Perkiraan pertumbuhan lalulintas pada jaringan yang ada dan pada jaringan di daerah pengembangan;
- Perkiraan arus lalulintas pada jaringan pada tahun dibuka (tahun pertama operasi penuh) dan 10 atau 15 tahun setelah dibuka;
- Rencana pengembangan jaringan jalan akibat pengembangan;
- Jika memungkinkan, penyesuaian dengan tahapan pengembangan.

7 **Tata letak internal**

- Tata letak dan sirkulasi internal;
- Kendaraan pelayanan dan darurat;
- Marka jalan, lebar, jarak pandang;
- Kecepatan kendaraan dan kontrol.

8 **Pengaturan parkir**

- Pengaturan kebijakan perparkiran;
- Lahan lokasi parkir.

9 **Pengaruh ke sistem jaringan jalan**

- Tata letak jalan keluar;
- Perencanaan pengaturan sistem lalulintas;
- Perkiraan lalulintas pada ruas atau persimpangan yang terpengaruh;
- Perkiraan alternatif perencanaan yang dapat menambah pergerakan.

9.9.2.3 Tahapan penyusunan rencana pengelolaan dan pemantauan Tahap penyusunan rencana, yang dibagi atas rencana pengelolaan dan rencana pemantauan, pada dasarnya berisi arahan pengembangan yang harus dilakukan untuk mengatasi dampak lalulintas yang lebih besar. Dalam rencana pengelolaan disajikan beberapa alternatif mekanisme pelaksanaan yang dapat dilakukan untuk mengatasi masalah yang timbul. Permasalahan yang diperoleh dari tahap analisis dan tahap penyajian informasi selanjutnya dikaitkan dalam suatu organisasi pemecahan masalah.

Dalam rencana pemantauan disajikan langkah yang harus dilakukan agar arahan pengembangan dari rencana pengelolaan dapat dilaksanakan. Langkah pemantauan

diupayakan untuk menghindari terjadinya penyimpangan yang mungkin lebih besar di masa mendatang. Dalam tahapan ini diberikan pula strategi penanganan yang mungkin dapat dipakai untuk memantau dampak yang diakibatkan oleh suatu kegiatan terhadap lalulintas.

Kemungkinan kebijakan yang harus diperhatikan untuk kota di Indonesia (tergantung besar kota) antara lain perhitungan NVK (nisbah antara volume dan kapasitas) dari ruas-ruas jalan yang terpengaruh sesudah dan sebelum pengembangan. Kondisi yang diharapkan berupa:

- NVK sesudah pengembangan sama dengan NVK sebelum pengembangan;
- NVK sesudah pengembangan mendekati NVK sebelum pengembangan;
- NVK sesudah pengembangan lebih kecil dari NVK kritis jalan.

9.9.3 Analisis ruas jalan dan persimpangan

9.9.3.1 Kinerja lalulintas di ruas jalan dan persimpangan Dalam mengevaluasi permasalahan lalulintas perkotaan perlu ditinjau klasifikasi fungsional dan sistem jaringan dari ruas-ruas jalan yang ada. Klasifikasi berdasarkan fungsi jalan perkotaan dibedakan ke dalam jalan arteri, kolektor, dan lokal; sedangkan klasifikasi berdasarkan sistem jaringan terdiri atas jalan primer dan sekunder. Penjelasan mengenai penentuan klasifikasi jalan perkotaan ini diuraikan secara rinci dalam buku 'Klasifikasi Jaringan Jalan Perkotaan, Nomor: 10/BNKT/1991', Direktorat Pembinaan Jalan Kota.

Pada umumnya, permasalahan lalulintas perkotaan hanya terjadi pada jalan utama, yang dalam klasifikasi jalan di atas hanya termasuk jalan arteri dan kolektor. Pada jalan utama ini, volume lalulintas umumnya besar. Di lain pihak, pada jalan lokal, karena volume lalulintas umumnya rendah dan akses terhadap lahan di sekitarnya tinggi, maka permasalahan lalulintas tidak ada dan sifatnya lokal. Kinerja lalulintas perkotaan dapat dinilai dengan menggunakan parameter lalulintas berikut:

- untuk ruas jalan, dapat berupa NVK, kecepatan, dan kepadatan lalulintas;
- untuk persimpangan, dapat berupa tundaan dan kapasitas sisa;
- jika tersedia, maka data kecelakaan lalulintas dapat juga dipertimbangkan dalam mengevaluasi efektivitas sistem lalulintas perkotaan.

9.9.3.2 Kinerja ruas jalan Beberapa kinerja yang dibutuhkan dapat diterangkan sebagai berikut.

- **NVK –** menunjukkan kondisi ruas jalan dalam melayani volume lalulintas yang ada.
- **Kecepatan perjalanan rata-rata –** dapat menunjukkan waktu tempuh dari titik asal ke titik tujuan di dalam wilayah pengaruh yang akan menjadi tolok ukur dalam pemilihan rute perjalanan serta analisis ekonomi.

- **Tingkat pelayanan –** indikator yang mencakup gabungan beberapa parameter, baik secara kuantitatif maupun kualitatif, dari ruas jalan dan persimpangan. Penentuan tingkat pelayanan ini akan disesuaikan dengan kondisi arus lalulintas yang ada di Indonesia.

Nilai NVK untuk ruas jalan dan persimpangan di dalam 'daerah pengaruh' akan didapatkan berdasarkan hasil survei volume lalulintas di ruas jalan dan persimpangan serta survei geometrik untuk mendapatkan besarnya kapasitas pada saat ini. Perhitungan besarnya kapasitas suatu ruas jalan dapat menggunakan rumus menurut metode *Indonesian Highway Capacity Manual* **(IHCM, 1997)**.

Selanjutnya, besarnya volume lalulintas pada masa mendatang akan dihitung berdasarkan analisa peramalan lalulintas. Besarnya faktor pertumbuhan lalulintas didasarkan pada tingkat pertumbuhan normal dan tingkat pertumbuhan bangkitan yang ditimbulkan oleh pembangunan. Untuk tingkat pertumbuhan bangkitan akan disesuaikan dengan pentahapan pembangunan yang telah ditetapkan.

Berdasarkan hasil peramalan arus lalulintas tersebut akan didapatkan nilai NVK yang selanjutnya dapat menunjukkan rekomendasi jenis penanganan bagi ruas jalan serta persimpangannya. Nilai NVK berdasarkan empiris dan beberapa hasil kajian lalulintas di DKI-Jakarta dikelompokkan pada tabel 9.4.

Tabel 9.4 Nilai NVK pada berbagai kondisi

NVK	Keterangan
< 0,8	Kondisi stabil
0,8 – 1,0	Kondisi tidak stabil
> 1,0	Kondisi kritis

Sumber: Tamin dan Nahdalina (1998)

Parameter kecepatan perjalanan didapatkan dari hasil survei kecepatan dengan mengikuti kendaraan bergerak. Bersamaan dengan itu akan didapatkan nilai waktu perjalanan rata-rata antara titik-titik asal–tujuan di dalam 'daerah pengaruh' serta nilai tundaan selama perjalanan tersebut. Besarnya kecepatan perjalanan rata-rata pada saat sekarang maupun yang akan datang dari setiap ruas jalan akan merupakan masukan bagi analisis ekonomi dalam kaitannya dengan perhitungan benefit (keuntungan) berdasarkan besarnya 'nilai waktu' yang berlaku.

Di samping itu, besarnya kecepatan perjalanan atau waktu tempuh rata-rata akan menjadi salah satu tolok ukur dalam pemilihan rute perjalanan pada ruas jalan yang ada. Besarnya nilai tundaan, terutama di persimpangan, juga akan merupakan masukan bagi analisa ekonomi maupun pemilihan rute perjalanan, bersamaan dengan kecepatan perjalanan atau waktu tempuh. Di samping itu, besarnya nilai tundaan secara langsung akan dipakai sebagai salah satu indikator bagi usulan jenis penanganan, terutama di persimpangan.

Kepadatan lalulintas dapat didefinisikan sebagai jumlah kendaraan rata-rata dalam ruang. Satuan kepadatan adalah kendaraan per km atau kendaraan-km per jam. Seperti halnya volume lalulintas, kepadatan lalulintas dapat juga dikaitkan dengan penyediaan jumlah lajur jalan. Pemakaian lain dari nilai kepadatan lalulintas adalah untuk

mengatakan pentingnya ruas jalan tersebut dalam mengalirkan arus lalulintas. Semakin tinggi kepadatan lalulintas, semakin penting juga jalan tersebut di dalam jaringan jalan.

Indikator Tingkat Pelayanan (ITP) pada suatu ruas jalan menunjukkan kondisi secara keseluruhan ruas jalan tersebut. Tingkat Pelayanan ditentukan berdasarkan nilai kuantitatif seperti NVK, kecepatan perjalanan, dan faktor lain yang ditentukan berdasarkan nilai kualitatif seperti kebebasan pengemudi dalam memilih kecepatan, derajat hambatan lalulintas, serta kenyamanan. Secara umum tingkat pelayanan dapat dibedakan sebagai berikut ini.

- **Indeks Tingkat Pelayanan A**: Kondisi arus lalulintasnya bebas antara satu kendaraan dengan kendaraan lainnya, besarnya kecepatan sepenuhnya ditentukan oleh keinginan pengemudi dan sesuai dengan batas kecepatan yang telah ditentukan.
- **Indeks Tingkat Pelayanan B**: Kondisi arus lalulintas stabil, kecepatan operasi mulai dibatasi oleh kendaraan lainnya dan mulai dirasakan hambatan oleh kendaraan di sekitarnya.
- **Indeks Tingkat Pelayanan C**: Kondisi arus lalulintas masih dalam batas stabil, kecepatan operasi mulai dibatasi dan hambatan dari kendaraan lain semakin besar.
- **Indeks Tingkat Pelayanan D**: Kondisi arus lalulintas mendekati tidak stabil, kecepatan operasi menurun relatif cepat akibat hambatan yang timbul, dan kebebasan bergerak relatif kecil.
- **Indeks Tingkat Pelayanan E**: Volume lalulintas sudah mendekati kapasitas ruas jalan, kecepatan kira-kira lebih rendah dari 40 km/jam. Pergerakan lalulintas kadang terhambat.
- **Indeks Tingkat Pelayanan F**: Pada tingkat pelayanan ini arus lalulintas berada dalam keadaan dipaksakan, kecepatan relatif rendah, arus lalulintas sering terhenti sehingga menimbulkan antrian kendaraan yang panjang.

Pada tabel 9.5–9.6 dapat dilihat beberapa kondisi lalulintas yang ada pada ruas jalan arteri.

Tabel 9.5 Indeks tingkat pelayanan (ITP) berdasarkan kecepatan perjalanan rata-rata

Kelas arteri	I	II	III
Kecepatan (km/jam)	72–56	56–48	56–40
ITP	Kecepatan perjalanan rata-rata (km/jam)		
A	≥ 56	≥ 48	≥ 40
B	≥ 45	≥ 38	≥ 31
C	≥ 35	≥ 29	≥ 21
D	≥ 28	≥ 23	≥ 15
E	≥ 21	≥ 16	≥ 11
F	< 21	< 16	< 11

Sumber: Tamin dan Nahdalina (1998)

Tabel 9.6 Indeks tingkat pelayanan (ITP) berdasarkan kecepatan arus bebas dan tingkat kejenuhan lalulintas

Tingkat pelayanan	% dari kecepatan bebas	Tingkat kejenuhan lalulintas
A	≥ 90	≤ 0,35
B	≥ 70	≤ 0,54
C	≥ 50	≤ 0,77
D	≥ 40	≤ 0,93
E	≥ 33	≤ 1,0
F	< 33	> 1

Sumber: Tamin dan Nahdalina (1998)

9.9.3.3 Kondisi persimpangan Kinerja suatu persimpangan dapat dilihat dari tundaan dan kapasitas sisa persimpangan tersebut.

- **Tundaan** Tundaan di persimpangan adalah total waktu hambatan rata-rata yang dialami oleh kendaraan sewaktu melewati suatu persimpangan. Hambatan tersebut muncul jika kendaraan terhenti karena terjadi antrian di persimpangan sampai kendaraan itu keluar dari persimpangan karena adanya pengaruh kapasitas persimpangan yang sudah tidak memadai. Nilai tundaan mempengaruhi nilai waktu tempuh kendaraan. Semakin tinggi nilai tundaan, semakin tinggi pula waktu tempuhnya.

  Dalam masalah ini, nilai tundaan digunakan untuk menentukan penanganan permasalahan lalulintas, yang dapat berupa penambahan jumlah lajur dalam lengan, atau persimpangan tidak sebidang. Selain itu, tundaan juga dapat menentukan ITP suatu persimpangan (dapat dilihat pada tabel 9.7). Tundaan yang digunakan adalah tundaan pada saat mendekati persimpangan.

Tabel 9.7 Indeks tingkat pelayanan (ITP) lalulintas di persimpangan berlampu lalulintas

ITP	Tundaan per kendaraan (detik)
A	≤ 5,0
B	5,1 – 15,0
C	15,1 – 25,0
D	25,1 – 40,0
E	40,1 – 60,0
F	> 60,0

Sumber: Tamin dan Nahdalina (1998)

- **Kapasitas sisa persimpangan** Untuk penanganan persimpangan, kinerja lalulintas langsung dievaluasi dengan menggunakan kriteria dasar yang tersedia dalam menentukan jenis penanganan persimpangan yang diperlukan (tabel 9.8).

Tabel 9.8 Kriteria kinerja persimpangan

Penanganan	Parameter		
	Kapasitas sisa	Tundaan	Jumlah lengan
1. Pengaturan waktu lampu lalulintas	Positif	< 1 menit	–
2. Pelebaran	Negatif	> 1 menit	–
3. Simpang susun	Negatif	> 2 menit	> 5 lajur

Sumber: Tamin dan Nahdalina (1998)

Kondisi eksisting persimpangan tersebut memberikan gambaran bahwa jaringan jalan di sekitar daerah kajian merupakan jaringan yang cukup penting sehingga penambahan volume lalulintas yang besar dapat mengubah kondisi, dan ini cukup sulit ditangani. Beberapa tingkat pelayanan yang dapat diberikan oleh persimpangan dapat dilihat pada tabel 9.9–9.10 berikut ini.

Tabel 9.9 Tingkat pelayanan pada persimpangan berlampu lalulintas

ITP	Tundaan per kendaraan (detik)
A	≤ 5,0
B	5,1 – 15,0
C	15,1 – 25,0
D	25,1 – 40,0
E	40,1 – 60,0
F	> 60,0

Sumber: Tamin dan Nahdalina (1998)

Tabel 9.10 Tingkat pelayanan pada persimpangan tanpa lampu lalulintas

Kapasitas sisa (per kendaraan per jam)	ITP	Tundaan untuk lalulintas jalan minor
≥ 400	**A**	sedikit atau tidak ada tundaan
300–399	**B**	tundaan lalulintas singkat
200–299	**C**	tundaan lalulintas rata-rata
100–199	**D**	tundaan lalulintas lama
0–99	**E**	tundaan lalulintas sangat lama
*	**F**	*

* Ketika volume melebihi kapasitas lajur, tundaan yang parah akan disertai dengan panjang antrian yang mungkin mempengaruhi pergerakan lalulintas di persimpangan. Kondisi ini membutuhkan perbaikan geometrik persimpangan.

Sumber: Tamin dan Nahdalina (1998)

Untuk menilai kinerja lalulintas pada ruas jalan, parameter lalulintas dapat dinilai dengan memberikan nilai bobot, sehingga permasalahan lalulintas yang terjadi dapat disusun ke dalam urutan prioritasnya. Nilai bobot ini akan diuraikan pada bagian berikut. Untuk simpul jalan, kinerja lalulintas langsung dievaluasi dengan menggunakan kriteria dasar yang tersedia dalam menentukan jenis penanganan simpul yang diperlukan.

9.9.3.4 Nilai bobot Karakteristik lalulintas secara makro memperlihatkan hubungan antara volume, kecepatan, dan kepadatan lalulintas. Satu parameter lalulintas saja tidak cukup untuk dapat menggambarkan karakteristik lalulintas yang sebenarnya. Ketiga parameter tersebut perlu dianalisis secara bersamaan. Sebagai contoh, volume lalulintas yang kecil dapat mencerminkan dua kondisi lalulintas yang berbeda. Pertama, jika volume lalulintas yang kecil itu memungkinkan kendaraan bebas bergerak, maka kondisi lalulintas dapat dikatakan baik (lancar). Sebaliknya, jika volume lalulintas yang kecil itu diakibatkan oleh jalan yang macet (kecepatan rendah), maka kondisi lalulintas dapat dikatakan jelek.

Untuk penilaian kinerja lalulintas, volume lalulintas dibandingkan dengan kapasitas lajurnya. Nilai bobot yang ditetapkan untuk analisis lalulintas di sini didasarkan pada penilaian subyektif yang disesuaikan dengan persepsi mengenai kinerja lalulintas yang dirasakan oleh pengemudi secara umum. Nilai bobot tersebut dapat dilihat pada tabel 9.11.

Tabel 9.11 Nilai bobot

Parameter	Nilai bobot
1. Nilai NVK	1
2. Kecepatan	3
3. Kepadatan	5

Sumber: Tamin dan Nahdalina (1998)

Perhitungan nilai bobot ini hanya dapat dilakukan untuk data lalulintas yang ada. Nilai bobot ini sebenarnya merupakan tingkat keseriusan permasalahan lalulintas yang diindikasikan oleh nilai parameter lalulintas masing-masing. Untuk analisa kondisi lalulintas untuk masa mendatang, hanya paramater NVK yang dapat digunakan. Adapun kriteria yang digunakan untuk mengevaluasi kinerja persimpangan adalah sebagai berikut (lihat tabel 9.12).

Tabel 9.12 Kriteria evaluasi kinerja persimpangan

Penanganan	Parameter		
	Kapasitas sisa	**Tundaan**	**Jumlah lengan**
1. Pengaturan waktu lampu lalulintas	positif	< 1 menit	–
2. Pelebaran persimpangan	negatif	> 1 menit	–
3. Persimpangan tidak sebidang	negatif	> 2 menit	> 5 lajur

Sumber: Tamin dan Nahdalina (1998)

9.9.3.5 Pemeringkatan permasalahan Dalam menganalisa setiap ruas jalan dan persimpangan, rangking permasalahan lalulintas dapat disusun berdasarkan nilai kondisi ruas dan persimpangan. Kemudian, untuk ruas jalan, nilai bobot digunakan untuk mendapatkan daftar rangking akhir. Hasil perangkingan yang telah mempertimbangkan nilai bobot menyatakan urutan prioritas penanganan yang diperlukan di setiap ruas jalan. Makin kecil nilai kondisi ruas jalan, makin tinggi nilai prioritasnya untuk dievaluasi lebih lanjut mengenai jenis penanganan yang diperlukan. Untuk persimpangan jalan, prioritas penanganan langsung ditentukan berdasarkan nilai kondisi yang diamati, sesuai dengan kriteria dasar yang telah ditetapkan.

Dari urutan prioritas tersebut, perlu diidentifikasi permasalahan lalulintas yang diamati secara visual pada setiap ruas jalan dan simpul jalan yang termasuk dalam prioritas penanganan.

9.9.4 Bangkitan lalulintas

9.9.4.1 Umum Analisis dampak lalulintas didasarkan pada suatu kondisi puncak yang menunjukkan dampak lalulintas terbesar. Kondisi puncak ini diwakili oleh suatu bangkitan lalulintas per jam yang menimbulkan dampak terbesar. Kondisi sibuk lainnya dianggap mempunyai dampak lalulintas yang lebih kecil, yang tidak perlu dianalisis lagi. Kondisi puncak terjadi karena kombinasi kondisi lalulintas sekitarnya dan bangkitan lalulintas dari pembangunan baru. Kondisi puncak dianggap terjadi pada salah satu kondisi berikut:

- kondisi lalulintas sekitarnya pada jam sibuk;
- kondisi bangkitan lalulintas yang maksimum;
- kondisi sibuk khusus lainnya yang dianggap menentukan.

Dari ketiga kondisi di atas dicari kondisi yang mempunyai kombinasi terbesar dari kondisi lalulintas sekitarnya ditambah dengan bangkitan lalulintas akibat pembangunan baru tersebut. Dengan demikian, bangkitan lalulintas dari pembangunan baru hanya difokuskan pada ketiga kondisi puncak itu. Perhitungan bangkitan lalulintas perlu dilakukan pada jam sibuk berikut:

- jam sibuk pagi dari lalulintas sekitarnya
- jam sibuk sore dari lalulintas sekitarnya
- jam puncak bangkitan lalulintas dari pembangunan baru
- jam puncak tarikan lalulintas dari pembangunan baru
- jam puncak khusus lainnya dari pembangunan baru

Tidak tertutup kemungkinan bahwa jam sibuk lalulintas sekitarnya berimpit dengan jam puncak bangkitan lalulintas, dan jam sibuk ini biasanya menjadi kondisi puncak untuk analisis dampak lalulintas. Dampak lalulintas sebenarnya merupakan selisih dari bangkitan pada kondisi puncak akibat pembangunan baru dan bangkitan kondisi puncak dari penggunaan lahan sebelumnya.

Sebagai contoh bila bangkitan pada kondisi puncak akibat pembangunan baru adalah 900 kendaraan per jam dan bangkitan kondisi puncak dari penggunaan lahan sebelumnya juga, 900 kendaraan per jam, maka pembangunan baru tidak mempunyai dampak lalulintas. Atau, bila penggunaan lahan sebelumnya tidak mempunyai bangkitan lalulintas yang berarti, maka Andall hanya didasarkan pada bangkitan akibat pembangunan baru saja, tanpa direduksi oleh kondisi sebelumnya.

Dari uraian di atas diperoleh contoh angka bangkitan tata guna lahan yang dapat dijadikan angka pengali untuk menghasilkan pergerakan lalulintas dari dibangunnya suatu kawasan:

- Tingkat bangkitan daerah perkantoran dari kajian Analisis Dampak Lalulintas BNI City.
- Tingkat bangkitan daerah perbelanjaan dari kajian Analisis Dampak Lalulintas Pondok Indah Mal.
- Tingkat bangkitan daerah permukiman dan apartemen dari kajian Analisis Dampak Lalulintas Danayasa City.

9.9.4.2 Tingkat bangkitan lalulintas Beberapa tingkat bangkitan lalulintas yang dapat dipakai mengacu pada hasil kajian BNI City, Pondok Indah Mal, dan Danayasa City sebagaimana diuraikan berikut ini.

- **Perkantoran**: Tingkat bangkitan lalulintas untuk perkantoran dari kajian BNI City terlihat pada tabel 9.13.

Tabel 9.13 Tingkat bangkitan lalulintas (perkantoran)

Waktu	Perkantoran (smp/100m^2)			Pertokoan (smp/100m^2)		
	Masuk	Keluar	Total	Masuk	Keluar	Total
7:00	0,73	0,27	1,00	0,04	0,02	0,06
8:00	0,26	0,16	0,42	0,08	0,04	0,12
9:00	0,25	0,18	0,43	0,55	0,15	0,70
10:00	0,22	0,16	0,37	0,80	0,42	1,22
11:00	0,23	0,22	0,45	0,78	0,65	1,42
12:00	0,19	0,23	0,42	0,60	0,56	1,16
13:00	0,23	0,19	0,41	0,65	0,59	1,24
14:00	0,17	0,17	0,34	0,57	0,70	1,27
15:00	0,19	0,18	0,37	0,61	0,68	1,30
16:00	0,20	0,51	0,71	0,50	0,95	1,45
17:00	0,10	0,34	0,44	0,45	0,58	1,03

Sumber: LP-ITB (1994)

- **Hotel**: Tingkat bangkitan lalulintas untuk hotel hasil gabungan antara tingkat bangkitan lalulintas hasil kajian BNI City dan Pondok Indah Mal tertera pada tabel 9.14.

Tabel 9.14 Tingkat bangkitan lalulintas (hotel)

Waktu	smp/100m^2			Waktu	smp/100m^2		
	Masuk	Keluar	Total		Masuk	Keluar	Total
8:00	0,41	0,23	0,64	14:00	0,32	0,37	0,69
9:00	0,46	0,35	0,81	15:00	0,31	0,45	0,77
10:00	0,41	0,26	0,67	16:00	0,29	0,32	0,61
11:00	0,30	0,27	0,58	17:00	0,29	0,31	0,60
12:00	0,24	0,27	0,51	18:00	0,39	0,32	0,71
13:00	0,34	0,33	0,68	19:00	0,36	0,32	0,68

Sumber: LP-ITB (1996)

- **Permukiman**: Tingkat bangkitan lalulintas untuk lokasi pemukiman hasil kajian Danayasa City tertera pada tabel 9.15.

Tabel 9.15 Tingkat bangkitan lalulintas (permukiman)

Bangkitan	perjalanan/keluarga			
	Perumahan mewah		Perumahan tidak mewah	
	07.00–08.00	16.00–17.00	07.00–08.00	16.00–17.00
Masuk	0,06	0,25	0,03	0,013
Keluar	0,25	0,12	0,013	0,06

Sumber: LP-ITB (1996)

- **Apartemen**: Tingkat bangkitan lalulintas untuk apartemen hasil kajian Danayasa City tertera pada tabel 9.16.

Tabel 9.16 Tingkat bangkitan lalulintas (apartemen)

Bangkitan	smp/unit	
	07.00–08.00	16.00–17.00
Masuk	0,18	0,21
Keluar	0,21	0,21

Sumber: LP-ITB (1996)

9.9.4.3 Bangkitan lalulintas Bangkitan lalulintas ini didapatkan dengan mengalikan luas bangkitan dengan tingkat bangkitan lalulintas yang ditimbulkan oleh suatu penggunaan lahan. Bangkitan lalulintas didapatkan untuk setiap jam, sesuai dengan tingkat bangkitan yang diperoleh; dalam hal ini satuannya volume kendaraan per jam (smp/jam).

9.9.4.4 Sebaran bangkitan lalulintas Setelah volume bangkitan lalulintas per jam didapatkan, barulah dilakukan sebaran bangkitan lalulintas pada setiap pintu keluar/masuk yang ada. Dari hasil kajian di Australia, di Daerah Pusat Bisnis (DPB) yang terdiri atas tata guna lahan multi-kegiatan terdapat suatu pergerakan yang disebut pergerakan internal – pergerakan bangkitan dan tarikan dari tata guna lahan itu mengakibatkan pergerakan yang kebutuhan perjalanannya telah tersedia di kawasan itu. Pergerakan ini dapat mengurangi pergerakan eksternal yang kebutuhan akan perjalanannya bukan berlokasi di kawasan tersebut. Hasil penurunan angka pergerakan itu diperkirakan sebesar 25% dari total pergerakan yang sebenarnya terjadi.

9.9.5 Analisis penanganan masalah

Kinerja jaringan akan terpengaruh oleh perubahan permintaan dan sediaan di daerah kajian. Dalam konteks kawasan pengembangan hampir dapat dipastikan bahwa sisi permintaan akan meningkat sesuai dengan intensitas lahan yang dibangun. Tanpa kawasan pengembangan, permintaan akan tetap meningkat sesuai dengan intensitas lahan apa adanya. Situasi di atas merupakan bahan perbandingan dalam melihat dampak atau masalah lalulintas akibat pengembangan baru.

Penanganan masalah mengacu kepada kriteria evaluasi yang meliputi NVK setiap ruas jalan, yang selanjutnya akan menentukan jenis penanganan untuk ruas jalan dan persimpangan dalam daerah pengaruh. Jenis penanganan di ruas jalan dapat dikelompokkan menjadi yang berikut ini.

9.9.5.1 R1: Manajemen lalulintas Pada prinsipnya penanganan ini ditekankan pada pemanfaatan fasilitas ruas jalan yang ada, seperti:

- pemanfaatan lebar jalan secara efektif
- kelengkapan marka dan rambu jalan yang memadai serta seragam sehingga ruas jalan dapat dimanfaatkan secara optimal baik dari segi kapasitas maupun keamanan lalulintas yang meliputi sistem satu arah, pengendalian parkir, pengaturan lokasi rambu berbalik arah, pengendalian kaki lima, pengaturan belok, serta kelengkapan marka dan rambu jalan.

Jenis penanganan ini dilakukan bila NVK berada antara 0,6 sampai 0,8.

9.9.5.2 R2: Peningkatan ruas jalan Penanganan ini mencakup perubahan fisik ruas jalan yang berupa pelebaran atau penambahan lajur sehingga kapasitas ruas jalan dapat ditingkatkan secara berarti. Besarnya pelebaran atau penambahan lajur ditentukan terutama oleh nilai NVK yang terjadi atau hasil peramalan lalulintas, sehingga besarnya NVK yang diharapkan (<0,80) dapat dicapai. Jenis penanganan ini dilakukan apabila nilai NVK sudah lebih besar dari 0,80.

9.9.5.3 R3: Pembangunan jalan baru Penanganan ini merupakan alternatif terakhir dari pilihan penanganan R1 dan R2. Jenis penanganan ini dilakukan bila pelebaran jalan atau penambahan lajur sudah tidak memungkinkan, terutama karena keterbatasan lahan serta kondisi lalulintas yang nilai NVK-nya jauh lebih besar dari 0,8.

Jenis penanganan di persimpangan dengan lampu lalulintas dan persimpangan tanpa lampu lalulintas dapat dikelompokkan menjadi:

a **S1: Penanganan lampu lalulintas baru** Penanganan ini dilakukan bagi persimpangan tanpa lampu lalulintas yang telah memiliki arus lalulintas dari kaki persimpangan atau ruas jalan yang menuju persimpangan, dan arus ini cukup tinggi, sehingga titik konfliknya cukup berat dan kompleks.

b **S2: Pengaturan kembali waktu lampu lalulintas** Penanganan ini dilakukan apabila fase dan waktu yang ada sudah tidak sesuai lagi dengan kondisi volume lalulintasnya, yang antara lain ditunjukkan dengan tingginya nilai NVK ruas jalan yang menuju persimpangan. Pendekatan dapat didasarkan pada besarnya nilai NVK ruas jalan yang sudah mendekati 0,8.

c **S3: Perbaikan geometrik persimpangan** Penanganan ini meliputi pelebaran atau penambahan lajur kaki persimpangan, pelebaran radius sudut tikungan, pemasangan pulau lalulintas. Penanganan ini dilakukan bila nilai NVK ruas jalan yang menuju persimpangan sudah lebih besar dari 0,8.

d **S4: Persimpangan tidak sebidang** Penanganan ini terutama diterapkan pada ruas jalan kelas arteri serta yang kondisi lalulintas di kaki persimpangannya atau NVK ruas jalan yang menuju persimpangan tersebut tidak bisa lagi diatasi dengan penanganan R2 maupun R3.

9.10 Sistem angkutan umum massa (SAUM)

9.10.1 Permasalahan

Untuk mengimbangi dan menekan laju peningkatan penggunaan angkutan pribadi, harus dilakukan perbaikan sistem angkutan umum berdasarkan kemampuan angkut yang besar, kecepatan yang tinggi, keamanan dan kenyamanan perjalanan yang memadai dan, karena digunakan secara massal, haruslah dengan biaya perjalanan yang terjangkau. Jadi, harus ada sistem transportasi baru yang tidak terikat oleh jalan raya yang memenuhi semua persyaratan itu.

Permasalahan keterbatasan prasarana transportasi juga dapat diatasi dengan mengembangkan Sistem Angkutan Umum Massa (SAUM). Pilihan utama adalah penggunaan jenis moda transportasi kereta api yang berkapasitas besar dibandingkan dengan moda transportasi jalan raya. Kereta api juga dapat bergerak cepat dengan cara memisahkan pergerakannya dengan sistem jaringan yang lain (di bawah atau di atas tanah).

Hal ini hanya dapat diberikan oleh sistem angkutan terpandu atau jalan rel yang kecepatannya bisa diatur sesuai dengan kebutuhan. Frekuensinyapun bisa diatur sehingga daya angkut per satuan waktu dapat dijamin besarnya. Karena fungsinya yang demikian itulah sistem angkutan umum ini dikenal sebagai **Sistem Angkutan Umum Massa (SAUM)**.

Karena penggunaan kendaraan pribadi cenderung meningkat dengan berbagai alasan, harus dilakukan usaha untuk memperbaiki keseimbangan sistem transportasi secara menyeluruh. Tetapi, karena dana kurang mendukung, tentu harus ada prioritas yang diberikan dengan segala konsekuensi yang mengikutinya. Perlu diingat kecenderungan kinerja kendaraan angkutan penumpang berikut ini.

- Bila jumlah kendaraan di jalan raya terus bertambah, termasuk armada bus kota, kecepatan rata-rata akan terus menurun. Ini berarti jumlah orang terangkut per arah per jam akan semakin berkurang.
- Bila mengangkut orang dilakukan dengan kendaraan di jalan rel, apalagi dengan menambah jumlah kereta, kecepatan rata-rata masih dapat dipertahankan dan jumlah orang terangkut bahkan bisa meningkat.

Untuk mengurangi biaya investasi sistem angkutan umum, yang perlu diingat adalah:

- panjang prasarana jalan; hendaknya diambil rute selurus mungkin (rute terpendek).
- jarak antarstasiun yang jauh; hendaknya masih dalam jangkauan 2 kali jarak tempuh pejalan kaki.

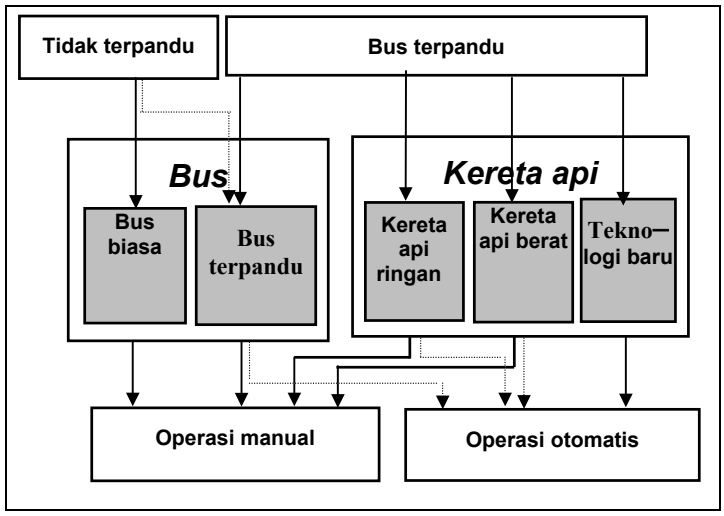
- bangunan di atas tanah yang paling rendah biayanya, disusul yang melayang, dan yang paling mahal adalah yang di bawah tanah.

Untuk kota seperti Jakarta, Bandung, dan Medan, prioritas harus sudah diberikan pada sistem angkutan umum yang massa, cepat, sesuai dengan daya beli masyarakat, dan menarik untuk digunakan. Karena biaya investasi mahal, SAUM harus diterapkan hanya untuk koridor utama dengan perkiraan jumlah penumpang lebih dari 30.000–40.000 orang/arah/jam. Jumlah orang terangkut di bawah angka tersebut dapat dilayani oleh sistem transportasi jalan raya (angkutan umum). Beberapa gambaran penggunaan jenis moda angkutan umum massa dapat dilihat pada tabel 9.17 dan gambar 9.11.

Tabel 9.17 Jenis angkutan umum massa

Moda transportasi	Beban normal (5 orang/ m^2)	Beban maksimum (8 orang/m^2)	Beban maksimum (Kontrol otomatis)
Bus biasa/bus bertingkat dengan lajur khusus bus	16.000	19.000	
Bus terpandu	18.000	24.000	
Bus biasa	18.000	24.000	
Sky Train	23.000	33.000	49.000
Kereta api ringan (I)	27.000	39.000	
VAL 256	27.000	40.000	60.000
Kereta api ringan (II)	36.000	51.000	77.000
Kereta api cepat	48.000	69.000	
Kereta api antar kota	64.000	88.000	

Sumber: JMTSS (1992)



Gambar 9.11
Karakteristik bus dan kereta api
Sumber: JMTSS (1992)

Kotamadya Bandung sudah saatnya mempertimbangkan SAUM karena kebutuhan akan pergerakan yang sangat tinggi, terutama pada pagi dan sore hari, yang tidak bisa lagi ditampung oleh sistem jaringan jalan raya. Hambatan utamanya adalah

dibutuhkan dana yang sangat besar untuk membangun SAUM ini. Keterlibatan investor/swasta sangat diharapkan dalam pemecahan masalah ini.

Jalur pengumpan dapat dilayani oleh kendaraan yang lebih kecil sesuai dengan karakteristik jalur atau prasarana jalan yang tersedia sehingga ada pembagian fungsi pelayanan dalam sistem transportasi perkotaan. Bila jalur pengumpan tidak mencakup sampai ke permukiman, barulah diperlukan angkutan lingkungan yang masih sesuai dengan undang-undang yang berlaku. Jadi, yang terpenting bukanlah jumlah kendaraan yang banyak, tapi kelancaran perjalanan dan frekuensi kedatangan kendaraan yang sesuai dan teratur serta tepat waktu.

Karena biaya operasi dan pemeliharaan sistem SAUM ini sangat tinggi, diperlukan jumlah penumpang yang tinggi yang benar-benar menggunakannya. Untuk itu diperlukan berbagai upaya yang terpola untuk mendapatkan jumlah penumpang tersebut, seperti:

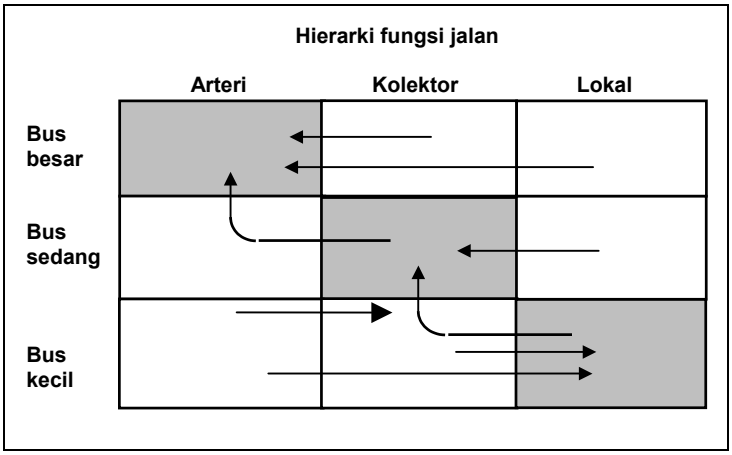
- adanya sistem pengumpan pada jalur SAUM,
- frekuensi perjalanan kereta yang harus sesuai dengan kebutuhan atau karakteristik kedatangan pengguna jasa pada sistem tersebut,
- pengembangan stasiun sistem SAUM sebagai pusat kegiatan yang dapat menarik orang sehingga lokasi ini bisa berfungsi sebagai tujuan perjalanan atau bahkan merupakan asal perjalanan,
- penerapan sistem penunjang yang dapat menjamin digunakannya sistem kereta api seoptimal mungkin,
- pemberian kemudahan bagi pengguna sistem ini.

Yang tidak kalah pentingnya adalah sistem transportasi pengumpan. Di Jakarta, pada beberapa daerah di pusat kota terlihat bahwa pengoperasian bus kecil dan bus sedang pada ruas jalan terpadat mencapai frekuensi yang sangat tinggi (waktu antara kendaraan sekitar 6 detik). Kondisi pengoperasian yang demikian dapat menghambat arus lalulintas dan selanjutnya mempengaruhi pelayanan sistem angkutan umum. Terlihat juga bahwa pengoperasian bus sedang dan bus kecil mendominasi sistem angkutan umum di perkotaan bila dibandingkan dengan jumlah armada bus besar. Akan tetapi, bila ditinjau dari sisi kapasitas yang tersedia dengan pengoperasian armada angkutan umum seperti itu, maka bus sedang dan bus kecil menyediakan kapasitas yang kira-kira sama dengan kapasitas bus besar.

Dari kondisi tersebut dapat disimpulkan bahwa dibutuhkan jenis armada angkutan umum dengan kapasitas yang lebih besar untuk dapat lebih mengefisienkan pengoperasian sistem angkutan umum. Penambahan pengoperasian jenis armada dapat meningkatkan kapasitas sistem angkutan umum secara keseluruhan.

Dalam prakteknya, peremajaan armada angkutan umum mempertimbangkan substitusi jenis kendaraan yang akan diremajakan dengan jenis kendaraan yang lebih besar kapasitasnya. Selain itu, dengan melihat kondisi yang saling tumpang tindih antara pengoperasian bus kecil, bus sedang, dan bus besar, maka kebijakan pengoperasian angkutan umum perlu mempertimbangkan hierarki fungsi jalan.

Gambar 9.12 memperlihatkan diagram pelayanan angkutan umum sesuai dengan hierarki dan fungsi jaringan jalan.



Gambar 9.12
Diagram penataan pelayanan angkutan umum
(Sumber: Tamin, 1995k)

Jelaslah bahwa kebijakan yang diperlukan untuk menata dan memperbaiki pelayanan sistem angkutan umum harus diarahkan pada hal-hal berikut ini (lihat gambar 9.12).

a Penataan trayek, dengan mengganti bus dengan bus berkapasitas lebih tinggi yang dilakukan secara bertahap pada tingkat peremajaan. Penambahan jumlah armada dan penataan trayek dilakukan dengan pertimbangan:

- bus besar beroperasi pada jaringan jalan arteri
- bus sedang beroperasi pada jaringan jalan kolektor
- bus kecil beroperasi pada jalan lokal.

b Pengurangan pengoperasian bus kecil secara bertahap pada tingkat peremajaan dengan cara:

- beberapa bus kecil diremajakan menjadi 1 bus sedang
- berapa bus sedang diremajakan menjadi 1 bus besar

9.10.2 Kendala yang dihadapi

Pembangunan kereta api perkotaan sangat dibutuhkan bagi kota-kota besar seperti DKI-Jakarta, Bandung, Medan, Surabaya, dan Semarang. Akan tetapi, beberapa kendala dalam pembangunan dan operasinya antara lain:

- Keterbatasan dana pemerintah dalam pembangunan sistem angkutan kereta api perkotaan sebagai angkutan massa yang bisa dihandalkan.
- Rencana induk perencanaan pembangunan kereta api perkotaan yang belum didukung oleh Undang-Undang atau peraturan. Oleh karena itu pemerintah harus berusaha agar rencana induk tersebut harus didukung oleh aspek legalitas.

- Tingkat pelayanan kereta api perkotaan yang masih rendah. Hal ini disebabkan karena sarana dan prasarana yang terbatas, tingkat pengetahuan, keterampilan, dan disiplin sumber daya manusia yang masih kurang.
- Biaya perawatan sarana dan prasarana kereta api perkotaan yang tinggi. Pemerintah berusaha menekan biaya perawatan dengan cara melakukan efisiensi dan optimasi dalam bidang perawatan khususnya pada sarana dan prasarana berteknologi tinggi.
- Tingkat keselamatan yang masih perlu ditingkatkan. Hal ini dilakukan dengan melakukan sosialisasi UU no 13 tahun 1992 tentang perkeretaapian serta mengadakan pendidikan dan pelatihan bagi tenaga operasional kereta api.

9.11 Sistem angkutan umum transportasi perkotaan terpadu (SAUTPT)

9.11.1 Kasus DKI-Jakarta

Di DKI-Jakarta dan wilayah penyangga sekitarnya (Botabek), sistem angkutan umum transportasi perkotaan terpadu antara bus, mikrobus, KRL Jabotabek, SAUM dan taksi merupakan kebijakan yang dapat memecahkan masalah kemacetan. Hal ini sedang diusulkan untuk diwujudkan pada awal tahun 2000. Untuk merencanakan Sistem Angkutan Umum Transportasi Perkotaan Terpadu (SAUTPT) diperlukan kajian yang menyeluruh dan sistem koordinasi interaktif yang baik antardepartemen dan instansi terkait sehingga pelaksanaan pembangunannya berdampak positif terhadap penataan tata ruang perkotaan.

Waktu tempuh merupakan salah satu faktor yang paling utama yang harus sangat diperhatikan. Waktu tempuh merupakan daya tarik utama dalam pemilihan moda transportasi (manusia ataupun barang). Jelas, bertambahnya waktu tempuh akan menurunkan jumlah penggunaan moda transportasi tertentu dan dengan sendirinya akan menurunkan pula tingkat pendapatannya.

Akibat yang lebih jauh lagi adalah berkurangnya kepercayaan masyarakat akan kemampuan moda transportasi tersebut sehingga jika terdapat alternatif moda lain yang lebih baik, masyarakat akan beralih memilih moda lain itu. Untuk perjalanan yang memerlukan beberapa moda transportasi, faktor lain yang lebih menentukan (selain waktu tempuh) adalah biaya transit (biaya perpindahan barang atau penumpang).

Untuk menekan biaya transportasi, baik untuk pergerakan penumpang dan/atau barang dalam sistem transportasi antarmoda terpadu, yang perlu diperhatikan adalah usaha penghematan biaya transit dari suatu moda ke moda lain. Untuk itu diperlukan fasilitas sarana dan prasarana pada tempat perpindahan barang dan/atau penumpang agar perpindahan dapat berlangsung dengan cepat, aman, murah, dan nyaman sehingga biaya transit dapat ditekan serendah mungkin.

Yang sangat perlu diperhatikan adalah perencanaan tata letak terminal antarmoda yang efektif dan efisien sehingga berdampak positif terhadap penggunaan lahan, tata ruang, sirkulasi penumpang dan pejalan kaki, persampahan, pertamanan,

saluran utilitas, keamanan, dan kenyamanan. Hal ini, sekali lagi, pasti membutuhkan pembebasan tanah yang menyita waktu dan biaya yang sangat besar. Selain itu, perlu juga direncanakan sistem jaringan angkutan umum terpadu yang baik yang meliputi jaringan jalan kereta api, bus antar dan dalam kota, dan lain-lain.

9.11.2 Kasus Kotamadya Bandung

Di Kotamadya Bandung dan wilayah penyangga sekitarnya, kebijakan pengembangan sistem jaringan transportasi terpadu antara jalan raya dan jalan rel merupakan kebijakan yang harus segera dilakukan untuk memecahkan masalah transportasi. Kebijakan ini memungkinkan bus, angkot, SAUM dan taksi dapat terintegrasi secara terpadu. Dalam merealisasikan Sistem Angkutan Umum Transportasi Perkotaan Terpadu (SAUTPT) dibutuhkan suatu kajian yang menyeluruh dan sistem koordinasi interaktif yang baik antardepartemen dan instansi terkait sehingga pelaksanaan pembangunannya berdampak positif terhadap penataan tata ruang perkotaan.

Berdasarkan peramalan kebutuhan akan pergerakan penumpang, sistem jaringan transportasi harus terintegrasi bukan saja dalam perencanaan tetapi juga dalam implementasi dan operasi yang menggabungkan elemen-elemen berikut ini.

- **Sistem jaringan jalan raya**: jaringan jalan baru yang terdiri atas jalan tol, jalan arteri, dan jalan kolektor sebagai jalur pengumpan dengan ketentuan pelaksanaan peraturan yang ketat dan pelaksanaan beberapa teknik pengelolaan lalulintas yang baik.
- **Sistem angkutan umum primer**: sistem angkutan umum yang berkapasitas tinggi dan berkecepatan tinggi, biasanya berupa jaringan angkutan umum berbasis jalan rel.
- **Sistem angkutan umum sekunder**: sistem angkutan umum yang dapat berbasis jalan rel maupun jalan raya yang merupakan jalur pengumpan bagi sistem angkutan primer khususnya dan sistem transportasi angkutan umum lainnya secara umum.
- **Sistem akses lokal**: lanjutan dari sistem transportasi yang dapat berupa angkot, sepeda motor, becak, dan pejalan kaki.

Dari hasil studi BMARTS (1996), analisis kebutuhan penumpang angkutan umum memperlihatkan bahwa koridor utama yang berpotensi besar untuk dijadikan sistem jaringan angkutan umum primer adalah koridor Barat–Timur antara Padalarang dan Cicalengka dan beberapa koridor radial yang menuju ke pusat kota Bandung dari Lembang, Soreang, Banjaran, dan Majalaya. Hal berikutnya yang perlu dilakukan adalah menetapkan koridor sistem jaringan angkutan umum sekunder yang dapat berbasis jalan rel atau jalan raya.

9.12 Kesimpulan dan saran

Telah dijelaskan beberapa permasalahan transportasi yang sering terjadi di daerah perkotaan di Indonesia dan ini merupakan ciri negara sedang berkembang.

Permasalahan yang utama adalah kemacetan, keterlambatan, serta polusi suara dan udara. Untuk mengatasinya perlu dipikirkan beberapa alternatif pemecahan masalah.

Sejumlah makalah (**Tamin, 1994ab, 1996cg**) menjelaskan pentingnya pembagian sistem transportasi makro menjadi sistem transportasi mikro yang terdiri dari sistem Kebutuhan Transportasi (KT), Prasarana Transportasi (PT), Rekayasa dan Manajemen Lalulintas (RL dan ML), dan Kelembagaan (KLG). Telah dibahas pula bahwa kemacetan pada dasarnya timbul karena tingkat pertumbuhan akan kebutuhan transportasi melebihi tingkat pertumbuhan fasilitas prasarana yang ada. Selain itu, masalah tersebut juga timbul karena fasilitas prasarana yang tidak berfungsi sebagaimana mestinya.

Beberapa alternatif pemecahan telah diberikan, ditinjau dari sisi kebutuhan akan transportasi, prasarana transportasi, rekayasa dan manajemen lalulintas, serta kelembagaan. Peran serta pemerintah, swasta, dan masyarakat sangat diperlukan dalam memecahkan permasalahan transportasi tersebut. Setelah melakukan analisis secara menyeluruh terhadap sistem pengelolaan transportasi perkotaan pada beberapa kota di Indonesia, berikut disampaikan ini beberapa kesimpulan dan rekomendasi.

9.12.1 Kesimpulan

a Untuk mengimbangi dan menekan laju peningkatan penggunaan angkutan pribadi, harus dilakukan perbaikan sistem angkutan umum berdasarkan kemampuan angkut yang besar, kecepatan yang tinggi, keamanan dan kenyamanan perjalanan yang memadai dan, karena digunakan secara massa, haruslah dengan biaya perjalanan yang terjangkau. Jadi, harus ada sistem transportasi baru yang tidak terikat oleh jalan raya yang memenuhi semua persyaratan itu.

   Hal ini hanya dapat diberikan oleh sistem angkutan terpandu atau jalan rel yang kecepatannya diatur sesuai dengan kebutuhan, dan, karena frekuensinya bisa diatur, daya angkut per satuan waktu dapat dijamin besarnya. Karena fungsinya yang demikian itulah sistem angkutan umum ini dikenal sebagai **Sistem Angkutan Umum Massa (SAUM)**.

   Yang tidak kalah pentingnya adalah sistem transportasi pengumpan. Pada beberapa daerah di pusat kota terlihat bahwa pengoperasian bus kecil dan bus sedang pada ruas jalan terpadat mencapai frekuensi yang sangat tinggi (waktu antara kendaraan sekitar 6 detik). Kondisi pengoperasian yang demikian menghambat arus lalulintas dan selanjutnya mempengaruhi pelayanan sistem angkutan umum. Terlihat juga bahwa pengoperasian bus sedang dan bus kecil mendominasi sistem angkutan umum di daerah perkotaan bila dibandingkan dengan jumlah armada bus besar. Akan tetapi, bila ditinjau dari sisi kapasitas yang tersedia dengan pengoperasian armada angkutan umum seperti itu, maka bus sedang dan bus kecil menyediakan kapasitas yang kira-kira sama dengan kapasitas bus besar.

b Secara umum penanganan sistem pengelolaan transportasi perkotaan di daerah tingkat II atau kotamadya belum dilaksanakan secara intensif dan tuntas, kecuali untuk wilayah DKI-Jakarta. Hal ini disebabkan karena hal berikut.

- Organisasi belum terbentuk secara sempurna. Contohnya, hanya DKI-Jakarta yang dinilai mempunyai organisasi yang paling siap dan lengkap dalam melaksanakan aspek transportasi yang dilimpahkan berdasarkan PP Nomor 22 Tahun 1990. Jadi, diperlukan usaha yang nyata untuk mempercepat proses pembentukan DLLAJ Tingkat II, misalnya melalui Instruksi Gubernur.
- Pelimpahan tugas yang tidak begitu jelas. Hal ini dapat ditunjukkan dengan tumpang-tindihnya aspek transportasi yang dilimpahkan sehingga menyebabkan tidak jelasnya sistem pengelolaan transportasi yang akan dilakukan.
- Peraturan pelaksanaan yang belum jelas dan lengkap. Setiap kota yang dianalisis mempunyai jumlah peraturan pelaksanaan yang berbeda-beda. Dapat dilihat bahwa DKI-Jakarta mempunyai jumlah peraturan pelaksanaan yang cukup banyak dalam usaha melaksanakan pengelolaan aspek transportasi yang dilimpahkan berdasarkan PP Nomor 22 Tahun 1990. Untuk kota lainnya sangat dirasakan kurangnya peraturan pelaksanaan tersebut sehingga mengakibatkan tidak jelasnya tanggung jawab dan tumpang-tindih permasalahan.

c Pembentukan DLLAJ Daerah Tingkat II yang tidak tuntas mengakibatkan kemungkinan terjadinya penanganan permasalahan transportasi yang tumpang-tindih dengan satuan tugas yang dibentuk sebelumnya untuk menangani masalah lalulintas dan angkutan jalan raya yang sama.

d DLLAJ DKI-Jakarta mempunyai organisasi yang lengkap dan paling siap dan dapat dijadikan acuan dalam pembentukan DLLAJ Daerah Tingkat II di kota lain di Indonesia.

e Terbatasnya sumber daya manusia baik dari segi kualitas maupun kuantitas dan kurangnya perhatian pemerintah daerah terhadap permasalahan lalulintas dan angkutan jalan raya mengakibatkan tidak terbentuknya organisasi yang secara otonom harus menangani permasalahan tersebut. Untuk itu sangat diperlukan usaha untuk mempercepat tersedianya sumber daya manusia dengan kursus jabatan serta pelatihan untuk meningkatkan kemampuan teknis tenaga kerja yang ada.

f Perlunya usaha untuk meningkatkan kemampuan pendanaan daerah tingkat II melalui usaha yang berkaitan dengan transportasi, misalnya izin trayek dan KIR yang pelaksanaannya diserahkan kepada DLLAJ Daerah Tingkat II.

g Perlu penanganan terpadu antara sesama daerah tingkat II dan antara tingkat I dan II sering timbul permasalahan akibat operasi pergerakan lalulintas yang melalui 2 atau lebih daerah, misalnya trayek angkutan umum.

9.12.2 Saran

Usul untuk mengatasi permasalahan transportasi perkotaan adalah sebagai berikut.

a Mempercepat pembentukan DLLAJ di Daerah Tingkat II dengan membentuk susunan organisasi dengan penjabaran tugas yang jelas, mengkaji produk hukum yang sudah dikeluarkan dan yang masih berlaku, mengintegrasikan berbagai produk hukum tersebut dan merencanakan produk hukum baru yang perlu dibuat.

b Meningkatkan kualitas sumber daya manusia dalam menangani permasalahan transportasi perkotaan dengan mengadakan penyuluhan, kursus, dan pelatihan aparat pemerintah daerah.

Notasi dan singkatan

Notasi

Untuk menyederhanakan penulisan yang berkaitan dengan definisi dan arti matematika, beberapa hal perlu didefinisikan sebagai berikut.

a	=	nilai indeks tingkat pelayanan (ITP)
A_B	=	tarikan pergerakan ke zona **B**
A_i^k, B_d^k	=	faktor penyeimbang untuk setiap tujuan perjalanan atau komoditas jenis k bagi setiap zona asal i dan zona tujuan d
b_k, α_k, β_k	=	parameter model yang tidak diketahui yang harus dikalibrasi untuk setiap tujuan perjalanan atau komoditas k
C_{id}	=	biaya perjalanan dari zona asal i ke zona tujuan d
C_{id}^r	=	biaya perjalanan dari zona asal i ke zona tujuan d yang menggunakan rute r
C_{id}^*	=	biaya perjalanan minimum dari zona asal i ke zona tujuan d
$C_l(V)$	=	hubungan biaya–arus antara besarnya arus dengan biaya perjalanan untuk ruas l yang diasumsikan sebagai fungsi meningkat
C	=	total biaya yang dikeluarkan oleh seluruh pergerakan yang terjadi di dalam daerah kajian,
	=	kapasitas (smp/jam)
$\mathbf{C_0}$	=	kapasitas dasar (smp/jam)
c	=	waktu siklus, konstanta
CV	=	koefisien variasi
D_d^k	=	total pergerakan untuk setiap tujuan perjalanan atau komoditas k yang tertarik ke zona tujuan d
$\delta_{jd}^i, \delta_{jd}^{i-1}$	=	transformasi antara [T_{id}] and [Z_{ij}]
δ_{idr}^1	=	indikator, **1** (satu) jika rute r antara zona asal i ke zona tujuan d menggunakan ruas jalan l; **0** (nol) jika tidak
E	=	tingkat akurasi,
		tingkat pertumbuhan global
E_i	=	tingkat pertumbuhan di zona i
ε, μ	=	parameter transformasi Box–Cox
f_{id}^k	=	faktor proporsi (hasil pengamatan) dari zona asal i ke zona tujuan d, untuk setiap tujuan perjalanan atau komoditas k,
	=	fungsi hambatan = $f^k(C_{id})$

F_{ij}^{k}	=	faktor proporsi (berurut) dari zona asal ***i*** ke zona tujuan ke–***j***, untuk setiap tujuan perjalanan atau komoditas ***k***
$f(C_{id})$	=	fungsi hambatan
$\mathbf{F_{CS}}$	=	faktor koreksi kapasitas atau arus jenuh akibat ukuran kota (jumlah penduduk)
$\mathbf{F_{G}}$	=	faktor koreksi arus jenuh akibat kelandaian jalan
$\mathbf{F_{LT}}$	=	faktor koreksi kapasitas akibat adanya pergerakan belok kiri
$\mathbf{F_{M}}$	=	faktor koreksi kapasitas jika ada pembatas median pada lengan persimpangan
$\mathbf{F_{MI}}$	=	faktor koreksi kapasitas akibat adanya arus lalulintas pada jalan minor
$\mathbf{F_{P}}$	=	faktor koreksi arus jenuh akibat adanya kegiatan perparkiran dengan lengan persimpangan
$\mathbf{F_{SF}}$	=	faktor koreksi arus jenuh akibat adanya gangguan samping yang meliputi faktor tipe lingkungan jalan dan kendaraan tidak bermotor
$\mathbf{F_{RSU}}$	=	faktor koreksi kapasitas akibat adanya tipe lingkungan jalan, gangguan samping, dan kendaraan tidak bermotor
$\mathbf{F_{RT}}$	=	faktor koreksi kapasitas akibat adanya pergerakan belok kanan
$\mathbf{F_{W}}$	=	faktor koreksi kapasitas untuk lebar lengan persimpangan
$\mathbf{FC_{W}}$	=	faktor koreksi kapasitas untuk lebar jalan
$\mathbf{FC_{SP}}$	=	faktor koreksi kapasitas akibat pembagian arah (tidak berlaku untuk jalan satu arah)
$\mathbf{FC_{SF}}$	=	faktor koreksi kapasitas akibat gangguan samping
$\mathbf{FC_{6,SF}}$	=	faktor koreksi kapasitas akibat gangguan samping untuk jalan 6 lajur
$\mathbf{FC_{CS}}$	=	faktor koreksi kapasitas akibat ukuran kota (jumlah penduduk)
$\mathbf{FFV_{SF}}$	=	faktor koreksi kecepatan arus bebas akibat kondisi gangguan samping
$\mathbf{FFV_{6,SF}}$	=	faktor koreksi kecepatan arus bebas akibat kondisi gangguan samping untuk jalan 6 lajur
$\mathbf{FFV_{CS}}$	=	faktor koreksi kecepatan arus bebas akibat ukuran kota (jumlah penduduk)
FV	=	kecepatan arus bebas untuk kendaraan ringan (km/jam)
$\mathbf{FV_{HV}}$	=	kecepatan arus bebas untuk kendaraan berat (km/jam)
$\mathbf{FV_{0}}$	=	kecepatan arus bebas dasar untuk kendaraan ringan (km/jam)
$\mathbf{FV_{HV,0}}$	=	kecepatan arus bebas dasar untuk kendaraan berat (km/jam)
$\mathbf{FV_{W}}$	=	faktor koreksi kecepatan arus bebas akibat lebar jalan
g	=	waktu hijau efektif
$\mathbf{G_{cu}}$	=	biaya gabungan untuk pergerakan angkutan umum (dalam satuan rupiah)

$\mathbf{G_{cp}}$ = biaya gabungan untuk pergerakan angkutan pribadi (dalam satuan rupiah)

$\boldsymbol{H_c(i)}$ = jumlah rumah tangga dengan kategori ***c*** yang berlokasi di zona ***i***

K = total jumlah tujuan perjalanan atau jenis komoditas

L = total jumlah ruas jalan yang diamati arus lalulintasnya

$\boldsymbol{L_A}$ = tata guna lahan di zona **A**

N = total jumlah zona asal atau zona tujuan

$\boldsymbol{O_i^k}$ = total pergerakan untuk setiap tujuan perjalanan atau komoditas ***k*** yang dibangkitkan oleh zona asal ***i***

$\boldsymbol{P_A}$ = bangkitan pergerakan dari zona **A**

$\boldsymbol{p_{id}^l}$ = proporsi pergerakan dari zona asal ***i*** ke zona tujuan ***d*** yang menggunakan ruas jalan ***l***

$\boldsymbol{Q_{AB(1)}}$ = arus lalulintas dari zona **A** ke zona **B** yang menggunakan rute **1**

r = koefisien korelasi

$\mathbf{R^2}$ = koefisien determinasi

S = arus jenuh (smp/jam)

$\mathbf{S_0}$ = arus jenuh dasar (smp/jam)

T = total pergerakan untuk semua pasangan antar zona di dalam daerah kajian

$\boldsymbol{T_0}$ = waktu tempuh pada saat arus = **0** (kondisi arus bebas)

$\mathbf{T_a}$ = waktu berjalan kaki dari dan ke angkutan umum (dalam satuan waktu)

$\boldsymbol{T_i}$ = total pergerakan masa mendatang dengan zona asal ***i***

$\boldsymbol{T_{id}}$ = total pergerakan yang bergerak dari zona asal ***i*** ke zona tujuan ***d*** di dalam daerah kajian

$\boldsymbol{T_{id}}, \boldsymbol{\hat{T}_{id}}$ = MAT hasil penaksiran dan MAT hasil pengamatan

$\boldsymbol{T_{id}^k}$ = total pergerakan yang bergerak dari zona asal ***i*** ke zona tujuan ***d*** yang menggunakan komoditas ***k***

$\boldsymbol{T_{id}^r}$ = total pergerakan yang bergerak dari zona asal ***i*** ke zona tujuan ***d*** yang menggunakan rute ***r***

$\boldsymbol{t_{id}}$ = pergerakan pada masa sekarang dari zona asal ***i*** ke zona tujuan ***d***

$\boldsymbol{T_Q}$ = waktu tempuh pada saat arus = ***Q***

$\boldsymbol{T_{Q_{AB(1)}}}$ = waktu tempuh lalulintas dari zona **A** ke zona **B** yang menggunakan rute **1** pada kondisi arus = ***Q***

$\mathbf{T_v}$ = waktu selama berada dalam angkutan umum (dalam satuan waktu)

$\mathbf{T_w}$ = waktu menunggu angkutan umum (dalam satuan waktu)

$\boldsymbol{[T_{id}]}$ = MAT hasil pengamatan dari zona asal ***i*** ke zona tujuan ***d***

$\boldsymbol{U_{ip}^k}$ = fungsi kesempatan antara zona ***i*** ke zona tujuan ke–***p*** dari zona ***i*** untuk setiap tujuan perjalanan atau komoditas ***k***

$\boldsymbol{V_l}, \boldsymbol{\hat{V}_l}$ = arus lalulintas hasil penaksiran dan hasil pengamatan pada ruas ***l***.

$V_l^{(a)}$ = arus lalulintas yang dihasilkan oleh teknik pembebanan *all-or-nothing* dengan biaya ruas dari hasil pengulangan terakhir

$V_l^{(n)}$ = arus lalulintas yang dihasilkan oleh pengulangan sekarang

$V_l^{(n-1)}$ = arus lalulintas yang dihasilkan oleh pengulangan sebelumnya

$\mathbf{W_e}$ = lebar jalan efektif

$\mathbf{W_K}$ = jarak antara kereb dengan gangguan pada sisi jalan

$\mathbf{W_S}$ = lebar bahu jalan efektif

X_{ij}, X_{ij-1} = kumulatif kesempatan dari zona asal ***i*** ke zona tujuan ke–***j*** atau ke zona tujuan ke–(***j*–1**) dari zona ***i***

Z_{ij} = MAT berurut dari zona asal ***i*** ke zona tujuan ke–***j*** yang semakin menjauh dari zona ***i***

Z_α = nilai variansi untuk tingkat kepercayaan α yang diinginkan

[ ] = peubah di dalam kurung dianggap mewakili seluruh set data; contohnya $[T_{id}]$ mewakili seluruh MAT

^ = digunakan sebagai peubah yang mengidentifikasi hasil pengamatan; contohnya $\hat{V}_l$

$\prod_l$ = digunakan untuk mengalikan semua peubah yang mempunyai tikalas ***l***

$\sum_k$ = digunakan untuk menambahkan semua peubah yang mempunyai tikalas ***k***, dimulai dari $k = 1$ sampai dengan batas akhir

Singkatan

ACGR = model *gravity* jenis dengan-batasan-tarikan
ADB = *Asian Development Bank*
ALS = *Area Licensing Scheme*
Andall = Analisis Dampak Lalulintas
Angkot = angkutan kota
AON = model pembebanan *all-or-nothing*
ARSDS = Arteri*al Road System Development Study*
ATCS = *Area Traffic Control System*
Bangda = Pembangunan Daerah
Bappenas = Badan Perencanaan Pembangunan Nasional
Bappeda = Badan Perencanaan Pembangungan Daerah
BBG = Bahan Bakar Gas
BBM = Bahan Bakar Minyak
BMARTS = *Bandung Metropolitan Area Urban & Sub-Urban Railway Transportation System*
BO = model *opportunity* jenis gabungan
BOK = Biaya Operasi Kendaraan
BPH = biaya perjalanan yang dihemat (rupiah)

BPN = Badan Pertanahan Nasional
BPP = Badan Pengelola Perparkiran
BPPT = Badan Pengkajian Penerapan Teknologi
BPS = Biro Pusat Statistik
BTN = Bank Tabungan Negara
CATS = *Chicago Area Transportation System*
CBD = *Central Bussiness District*
CIT = *The Chartered Institute of Transport*
Dati I = Daerah Tingkat I
DCGR = model *gravity* jenis dengan-dua-batasan
Depdagri = Departemen Dalam Negeri
Dephub = Departemen Perhubungan
DGLT = *Directorate General of Land Transportation*
Dispenda = Dinas Pendapatan Daerah
DKI-Jakarta = Daerah Khusus Ibukota Jakarta
DLLAJ = Dinas Lalulintas Angkutan Jalan
DM = *Disaggregate Model*
DO = Model *opportunity* jenis langsung
DPB = Daerah Pusat Bisnis
DPR = Dinas Perwakilan Rakyat
DPU = Dinas Pekerjaan Umum
DTK = Dinas Tata Kota
DTp = *Department of Transport*
EM = Metode penaksiran Entropi-Maksimum
EMEM = Model Entropi-Maksimum-Estimasi-Matriks
EO = Model *opportunity* jenis eksponensial
ERP = *Electronic Road Pricing*
FHA = *Federal Highway Administration*
FSTPT = Forum Studi Transportasi antar Perguruan Tinggi
GBHN = Garis-Garis Besar Haluan Negara
GIS = *Geographical Information System*
GLTS = *Greater London Transportation Study*
GO = model *gravity-opportunity*
GR = model *gravity*
HPJI = Himpunan Pengembangan Jalan Indonesia
HRB = *Highway Research Board*
IB = metode penaksiran inferensi-bayes
IHCM = *Indonesian Highway Capacity Manual*
IHT = *The Institution of Highways and Transportation*
IIA = *Independence-from-Irrelevant-Alternatives*
IID = *Independent-and-Identically-Distributed*
IM = model Informasi-Minimum
Ingub = Instruksi Gubernur
Inpres = Instruksi Presiden
IO = model *opportunity* jenis inversi
IRMS = *Integrated Road Management System*
ITB = Institut Teknologi Bandung

ITE = *Institute of Transportation Engineers*
ITP = Indeks Tingkat Pelayanan
Jabotabek = Jakarta Bogor Tangerang Bekasi
Jabar = Propinsi Jawa Barat
Jatim = Propinsi Jawa Timur
JICA = *Japan International Corporation Agency*
JMATS = *Jakarta Metropolitan Area Transportation Study*
JMTSS = *Jakarta Mass Rapid Transyt System Study*
JUDP = *Jakarta Urban Development Project*
KA = Kereta Api
KBB = Konsumsi Bahan Bakar
KBK = Kelompok Bidang Keahlian
KD = Koefisien Determinasi
Kepmen = Keputusan Menteri
Keppres = Keputusan Presiden
KLG = Sistem Kelembagaan
KM = metode penaksiran kemiripan-maksimum
KM1 = metode penaksiran kemiripan-maksimum jenis I
KM2 = metode penaksiran kemiripan-maksimum jenis II
Kodya = Kotamadya
KP = metode pembebanan Keseimbangan-Pengguna
KPL = Kawasan Pembatasan Lalulintas
KPS = metode pembebanan Keseimbangan-Pengguna-Stokastik
KRL = Keretaapi Rel Listrik
KS = metode pembebanan Keseimbangan-Sosial
KT = Kebutuhan Transportasi, metode penaksiran kuadrat-terkecil
KTB = metode penaksitasn kuadrat-terkecil-berbobot
KTL = metode penaksiran kuadrat-terkecil-linear
KTTL = metode penaksiran kuadrat-terkecil-tidak-linear
KTTLB = metode penaksiran kuadrat-terkecil-tidak-linear-berbobot
KTTJ = Konferensi Tahunan Teknik Jalan
KTU = Kuadrat-Terkecil-Umum
KTUDB = Kuadrat-Terkecil-Umum-Dengan-Batasan
KW = metode pembebanan Keseimbangan-Wardrop
LAPI = Lembaga Afiliasi Penelitian Industri
LKB = Lajur Khusus Bus
LM = model Logit-Multinomial
LO = model *opportunity* jenis logaritma
LOS = *Level of Service*
LP = Lembaga Penelitian
LPM = Lembaga Pengabdian kepada Masyarakat
LRT = *Light Rail Transit*
MAE = *Mean Absolute Error*
MAT = Matriks–Asal–Tujuan
MBUDP = *Metropolitan Bandung Urban Development Programme*
MCA = *Multiple Classification Analysis*
ME2 = *Maximum-Entropy-Matrix-Estimation model*

MKT = Manajemen Kebutuhan akan Transportasi
ML = Manajemen Lalulintas
MODCOST = *Modifying Origin and Destination COsts to Simulate Trips*
MPR = Majelis Permusyawaratan Rakyat
MPTEP = Model Perencanaan Transportasi Empat Tahap
MRT = *Mass Rapid Transit*
MS = pemilihan moda
MTI = Masyarakat Transportasi Indonesia
NBP = nisbah biaya perjalanan
NMAE = *Normalised Mean Absolute Error*
NVK = Nisbah Volume per Kapasitas
OP = model *opportunity*
O–D = *Origin–Destination*
OECF = *Overseas Economic Corporation Fund*
Orari = Organisasi Radio Amatir Indonesia
Organda = Organisasi Angkutan Daerah
PAD = Pendapatan Asli Daerah
PAM = Perusahaan Air Minum
PACGR = Model *gravity* jenis dengan-batasan-bangkitan-tarikan
PC = *personal computer*
PCGR = Model *gravity* jenis dengan-batasan-bangkitan
PDRB = Produk Domestik Regional Bruto
Pelita = Pembangunan Lima Tahun
Pemda = Pemerintah Daerah
Perda = Peraturan Daerah
PIA = Penyajian Informasi Awal
PJP = Pembangunan Jangka Panjang
PKL = Pusat Kegiatan Lokal
PKN = Pusat Kegiatan Nasional
PKW = Pusat Kegiatan Wilayah
PLN = Perusahaan Listrik Negara
PNK = Produksi Nasional Kotor
Pokja = Kelompok Kerja
Polantas = Polisi Lalulintas
Polda = Kepolisian Daerah
Polri = Kepolisian Republik Indonesia
PP = Peraturan Pemerintah
PPD = Pusat Pengolahan Data
PPK = Pusat Pengolahan Keluaran
PPTK = Pusat Penelitian Transportasi dan Komunikasi
PT = Prasarana Transportasi
PTN = Perguruan Tinggi Negeri
PTS = Perguruan Tinggi Swasta
PU = Pekerjaan Umum
RDTR = Rencana Detail Tata Ruang
Repelita = Rencana Pembangunan Lima Tahun
RL = Rekayasa Lalulintas

RMSE = *Root Mean Square Error*
Rp = rupiah
RSTRP = Rencana Struktur Tata Ruang Propinsi
RTRW = Rencana Tata Ruang Wilayah
RTRWK = Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten/Kotamadya
RTRWN = Rencana Tata Ruang Wilayah Nasional
RTRWP = Rencana Tata Ruang Wilayah Propinsi
RUC = model *Road User Costs*
RUTR = Rencana Umum Tata Ruang
SAUM = Sistem Angkutan Umum Massa
SAUTPT = Sistem Angkutan Umum Transportasi Perkotaan Terpadu
SCGR = model *gravity* jenis satu-batasan
SD = Standar Deviasi
SDM = Sumber Daya Manusia
SIG = Sistem Informasi Geografis
Sistranas = Sistem Transportasi Nasional
Sistrareg = Sistem Transportasi Regional
SIT = Sistem Informasi Transportasi
SJ = Sistem Jaringan
SK = Surat Keputusan, Sistem Kegiatan
SMP = Satuan Mobil Penumpang
SNPPTR = Strategi Nasional Pola Pengembangan Tata Ruang
SP = Sistem Pergerakan
SPPM = model kombinasi Sebaran Pergerakan–Pemilihan Moda
STD = Sistem Transfer Data
STEM = *Simultaneous Transportation Equilibrium Model*
TC = faktor pengali arus lalulintas
TDM = *Transport Demand Management*
TM = faktor pengali MAT, *Traffic Management*
UCGR = model *gravity* jenis tanpa-batasan
URMS = *Urban Road Management System*
UU = Undang-Undang
VHF = *Very High Frequency*
WCTRS = *World Conference on Transport Research Society*
WP = paket program *Word–Perfect*, Wilayah Pengembangan
WS = paket program *Word Star*

Padanan kata Inggris–Indonesia

access time	waktu akses
accessibility	aksesibilitas, kemudahan
actual cost	biaya sebenarnya
added mode	moda tambahan
appraisal	penilaian
arc	potongan
arithmetic progression	progresi aritmatik
ascending	semakin menjauh
attraction	tarikan
attraction-constrained	dengan-batasan-tarikan
attractiveness	daya tarik
average	rata-rata
backlink	ruas-sebelum
backnode	simpul-sebelum
backward pass	lewat maju
balancing factor	faktor penyeimbang
base year	tahun dasar
behavioral travel demand	perilaku-kebutuhan-akan-transportasi
belief	kepercayaan
bi-level	dua-tingkat
binary choice	pemilihan biner
binary-logit	logit-biner
binomial-logit	logit-binomial
bottleneck	penyempitan
built-up area	kawasan terbangun
bureau of public roads	dinas jalan umum
bus lane	lajur khusus bus
bus stop	tempat pemberhentian bus
by-pass	jalan pintas
capacity-restrained	batasan-kapasitas
carownership	pemilikan kendaraan
central business district	pusat perkantoran, pusat bisnis distrik
centroid connector	penghubung pusat zona
chi-squared	chi-kuadrat
composite	gabungan
computational error	galat komputasi
confidence interval	selang kepercayaan
confidence limit	tingkat kepercayaan
congestion	kemacetan
connectivity	konektivitas, ketersambungan
constrained-generalized-least-squares	kuadrat-terkecil-umum-dengan-batasan

continuous	menerus
converge	konvergen
convex	cembung
coordinated	terkoordinasi
cordon line	batas daerah studi, garis kordon
covariance	kovarian
cross classification	klasifikasi silang
cross elasticity	elastisitas silang
cumulative-opportunities	kesempatan-kumulatif
cyclic coordinate descent	penurunan-koordinat-siklus
data base	pangkalan data
decision maker	pengambil keputusan
decision tree	pohon keputusan
default	yang sudah ditentukan
delay	tundaan, keterlambatan
demand curve	kurva kebutuhan
department of transport	departemen transportasi
dependent variable	variabel tidak bebas
derived demand	kebutuhan turunan
descent	menurun, berkurang
design	rancang, perancangan
design year	tahun rencana
desire line	garis keinginan
destination-attribute	atribut-tujuan
deterministic	diterministik
deterrence function	fungsi hambatan
deviation	simpangan, residual
developed country	negara maju
developing country	negara sedang berkembang
deviation standard	simpangan baku
direct	langsung
direct demand	kebutuhan langsung
direct elasticity	elastisitas langsung
direct search	pencarian-langsung
directed graph	grafik terarah
discrete	diskret
discrete choice	pemilihan diskret
disorder	ketidakteraturan
distance	jarak
diverge	divergen
diverted traffic	lalulintas yang beralih
division of highway	divisi jalan raya
double-pass	dua-kali-lewat
doubly-constrained	dengan-dua-batasan
elastic demand	kebutuhan elastis
engineering judgement	justifikasi rekayasa
entropy	entropi

entropy measure	ukuran entropi
entry	masuk
equilibrium	keseimbangan
equilibrium-capacity-restrained	keseimbangan-dengan-batasan-kapasitas
equivalent minimization	minimasi ekivalen
error	galat, kesalahan
estimator	penaksir
exit	keluar
expected information statistics	statistik informasi yang diharapkan
explained variation	variasi terdefinisi
exponential	eksponensial
facility-dependent	tergantung-fasilitas
fast food	siap santap
feedback	umpan balik
feeder	pengumpan
finite time interval	periode waktu terbatas
first-order-iteration	iterasi-orde-pertama
fitting	penyesuaian
flagging	menggunakan bendera
floating car observer survey	survey kecepatan dengan mengikuti kendaraan bergerak
flow continuity	kesinambungan arus
flow-dependent	tergantung-arus
forecasting	peramalan
forward-pass	lewat-maju
four stage transport planning	perencanaan transportasi empat tahap
fraction	bagian
free error	bebas galat
free-flow	arus bebas
free-flow cost	biaya pada kondisi arus bebas
free-flow travel time	waktu tempuh pada kondisi arus bebas
friction	hambatan, gangguan
function	fungsi kepadatan peluang gabungan
gateways	inlet atau outlet
generalized cost	biaya gabungan
generalized-least-squares	kuadrat-terkecil-umum
generation	bangkitan
geometric progression	progresi geometrik
geometric-programming	pemrograman-geometrik
goodness-of-fit	kesesuaian
green wave	gelombang hijau
growth factor	faktor pertumbuhan
hard speed change	perubahan-kecepatan-secara-cepat
headway	jarak atau waktu antara kendaraan
heuristic	heuristik
highway engineer	ahli jalan raya
hinterland	daerah penyangga

home interview	wawancara di rumah
home-based	berbasis rumah/tempat tinggal
household-based	berbasis rumah tangga
human error	galat akibat faktor manusia
if and only if	jika dan hanya jika
image processing	proses citra
implementation	pelaksanaan, pembangunan
income	pendapatan
inconsistency	ketidakkonsistenan
incremental assignment	pembebanan-bertahap
indefinite	tak terhingga
independent and identically distributed	terdistribusi bebas dan identik
independent variable	variabel bebas
indirect	tidak langsung
indirect elasticity	elastisitas tidak langsung
inductive inference	inferensi-induktif
inelastic demand	kebutuhan tidak elastis
inflection	infleksi
inner ring road	jalan lingkar dalam
integrated	berhubungan
interdependence	ketergantungan
intervening-opportunity	kesempatan antara
intrazonal transport impedance	hambatan transportasi antarzona
intrazonal trip	pergerakan antar zona
in-vehicle time	waktu selama berada di atas kendaraan
invers	inversi
invers probability	peluang-inversi
isolated	terisolasi
iterative assignment	pembebanan-berulang
joint probability	peluang gabungan
joint probability density	kepadatan peluang gabungan
journey	perjalanan
kiss-and-ride	seseorang diantar ke terminal dengan angkutan pribadi dan kemudian melanjutkan dengan angkutan umum
lagrangian multiplier	pengali lagrange
land use	tata guna lahan
law enforcement	penegakan hukum
layout	tata letak
least-squares	kuadrat-terkecil
less developed	belum begitu berkembang
level of service	tingkat pelayanan
light rail transit	kereta api ringan
likelihood	kemungkinan
likelihood function	fungsi kemungkinan
linear programming	pemrograman linear
linear-constrained-least-squares	kuadrat-terkecil-linear-berbatas

linear-least-squares	kudrat-terkecil-linear
linear-programming	pemrograman-linear
link	ruas
loop detector	detektor lingkaran
loose-end table	tabel-tidak-berujung-akhir
market	pasar
master plan	rencana induk
mathematical-reprogramming	pemrograman-matematika
matrix capping	pemangkasan matriks
maximum-entropy	entropi-maksimum
maximum-likelihood	kemiripan-maksimum
mean value	nilai rataan
measure	ukuran
measurement	pengukuran
measurement error	galat pengukuran
micro-simulation	simulasi-mikro
minimum cost tree	pohon biaya minimum
mobility	mobilitas
modal split	pemilihan moda
mode	moda, modus
mode choice	pemilihan moda
monitoring	pengawasan
most likely	paling mungkin
moving car observer	pengamat bergerak
multi-collinearity	multikolinear
multilane	banyak lajur
multi-mode network equilibrium	keseimbangan jaringan multimoda
multinomial-logit	logit-multinomial
multipath	banyak-rute
multiple nuclei	banyak pusat
multiple regression	regresi berganda
multiple routes	banyak-rute
multiple-linear-least-squares	kuadrat-terkecil-linear-berganda
multiplicative regression	regresi perkalian
mutually exclusive	saling berkaitan
mutually independent event	kejadian yang saling bebas
natural logarithm	logaritma natural
negative-exponential	eksponensial-negatif
network equilibrium	keseimbangan jaringan
non-home-based	berbasis bukan rumah/tempat tinggal
non-linearity	non-linearitas
non-linear-least-squares	kuadrat-terkecil-tidak-linear
non-linear-maximum-likelihood	kemungkinan-maksimum-tidak-linear
null zones	zona kosong
objective function	fungsi tujuan
observed	yang diamati, pengamatan
off-peak hour	jam tidak sibuk

off-street parking	parkir bukan di badan jalan
once-through	sekaligus
one-way	satu arah
on-street parking	parkir di badan jalan
operation research	penelitian operasional
opportunity	kesempatan
ordered	berurutan
outer ring road	jalan lingkar luar
outline	garis besar
over assignment	pembebanan-berlebih
overestimate	lebih tinggi dari perkiraan
overflow	besar arus yang tidak terhingga
overload	nilai yang tidak terhingga
pair-by-pair	pasangan-demi-pasangan
park-and-ride	seseorang menggunakan angkutan pribadi dan parkir di terminal dan melanjutkan dengan angkutan umum
partial	parsial, sebagian
path	rute
peak hour	jam sibuk
penalty	denda, tambahan
perceived cost	biaya perkiraan
performance	kinerja
personal computer	komputer pribadi
person-category	kategori-orang
policy maker	pengambil kebijakan
posterior	hasil pengolahan
posterior belief	kepercayaan berikutnya
posterior probability density	kepadatan peluang berikutnya
post-multiplication	pasca-perkalian
power	pangkat
pre-multiplication	pra-perkalian
prior belief	kepercayaan awal
prior probability density	kepadatan peluang awal
probabilistic assignment	pembebanan-berpeluang
probability density function	fungsi kepadatan peluang
production-constrained	dengan-batasan-bangkitan
programming	pemrograman
quadratic-programming	pemrograman-kuadrat
quasi-direct	langsung-kuasi
quadratic search	pencarian-kuadrat
quick response	cepat tanggap
random utility	utilitas acak
randomness	keacakan
rating	peringkat
real time	waktu-nyata
reference matrix	matriks target

regional transportation system	sistem transportasi regional
regression analysis	analisa regresi
regularity	keteraturan
relative frequency	frekuensi relatif
reliable	sesuai
re-numbering	menomori kembali
repeated all-or-nothing	*all-or-nothing* berulang
response surface	permukaan respon
ribbon development	pengembangan struktur kota secara memanjang (pita)
road factor	faktor rute
road network equilibrium	keseimbangan jaringan jalan
road pricing	biaya penggunaan jalan
road user	pemakai jalan
roadside interview	wawancara di tepi jalan
route assignment	pembebanan rute
route choice	pemilihan rute
route factor	faktor rute
rural	pedalaman
rural road design	rancangan jalan antarkota
sample space	ruang sampel
sampling error	galat sampel
sampling factor	faktor proporsi sampel
saturation flow	arus jenuh
search	pencarian
search direction	arah pencarian
segregated track	lintasan terpisah
selected link analysis	analisis ruas terpilih
separable	terpisah
sequential	berurutan
sequential search	pencarian-berurutan
shift	giliran
shock wave	gelombang kejut
simultaneous choice	pemilihan simultan
simultaneous transportation equilibrium	keseimbangan transportasi simultan
simultaneous transportation equilibrium model	model keseimbangan transportasi simultan
single-pass	lewat-sekali
single-path	satu-rute
singly-constrained	dengan-satu-batasan
skimming tree	penguraian pohon
social equilibrium	keseimbangan-sosial
social optimum	optimum sosial
soft speed change	perubahan-kecepatan-secara-perlahan
spatial separation	pemisahan ruang
spatial transfer	transfer dalam ruang
specification error	galat spesifikasi

stable flow	arus stabil
standard binary logit	logit-biner standar
standard error	galat standar
state	kejadian
state of the art	kemutakhiran
steady-state	kondisi tunak
stepwise	langkah-demi-langkah
stochastic user equilibrium	keseimbangan pengguna stokastik
string network	jaringan-dawai
subscript	tikalas
suburban cottage	pemukiman di luar kota
successive averages	rata-rata berurutan
superimpose	tumpang
supermarket	pasar swalayan
superscript	tikatas
support	dukungan
surprise	kejutan
system approach	pendekatan secara sistem
system equilibrium	keseimbangan sistem
S–shaped curve	kurva berbentuk S
temporal transfer	transfer sementara
terminal cost	biaya terminal
through traffic	lalulintas menerus
time table	jadwal
tool	alat bantu
total variation	variasi total
town planner	perencana kota
traffic assignment	pembebanan lalulintas
traffic counts	perhitungan arus lalulintas
traffic engineer	ahli lalulintas
traffic engineering	rekayasa lalulintas
traffic management	manajemen lalulintas
traffic restraint	pembatasan lalulintas
transfer error	galat transfer
transport demand	kebutuhan akan transportasi
transport demand management	manajemen kebutuhan akan transportasi
transport impedance	hambatan atau gangguan transportasi
transport planner	perencana transportasi
transport supply	prasarana transportasi
travel disutility	nonutilitas perjalanan
travel friction	hambatan perjalanan
travel time	waktu perjalanan
tree	pohon
trial-and-error	coba-coba
trip distribution	sebaran pergerakan
trip end	ujung perjalanan
trip interchange	pertukaran perjalanan

trip length	panjang pergerakan
trip rate	tingkat bangkitan pergerakan
turning movement	pergerakan membelok
uncertainty	ketidakpastian
unconstrained	tanpa-batasan
underestimate	lebih rendah dari perkiraan
underground	kereta api bawah tanah
under-specification	kurang-terspesifikasi
unexplained variation	variasi tidak terdefinisi
uniform	seragam
uniform sampling	sampel seragam
unique	unik
urban	perkotaan
urban road design	rancangan jalan perkotaan
urban transportation system	sistem transportasi perkotaan
user equilibrium	keseimbangan-pengguna
user optimized equilibrium	keseimbangan-optimum-pengguna
utility	utilitas
value of time	nilai waktu
variance	variansi
vehicle trip	pergerakan berkendaraan
waiting time	waktu menunggu
walking time	waktu berjalan kaki
walking trip	pergerakan berjalan kaki
website	situs-web
weighted-non-linear-least-squares	kuadrat-terkecil-tidak-linear-berbobot
word processor	pengolah kata
zero-flow	tidak-ada-arus
zonal-based	berbasis zona
zone centroid	pusat zona

Padanan kata Indonesia–Inggris

ahli jalan raya	highway engineer
ahli lalulintas	traffic engineer
aksesibilitas	accessibility
alat bantu	tool
all-or-nothing berulang	repeated all-or-nothing
analisa regresi	regression analysis
analisis ruas terpilih	selected link analysis
arah pencarian	search direction
arus bebas	free-flow
arus jenuh	saturation flow
arus stabil	stable flow
atribut-tujuan	destination-attribute
bagian	fraction
bangkitan	generation
banyak lajur	multilane
banyak pusat	multiple nuclei
banyak-rute	multipath
banyak-rute	multiple routes
batas daerah studi	cordon line
batasan-kapasitas	capacity-restrained
bebas galat	free error
belum begitu berkembang	less developed
berbasis bukan rumah/tempat tinggal	non-home-based
berbasis rumah tangga	household-based
berbasis rumah/tempat tinggal	home-based
berbasis zona	zonal-based
berhubungan	integrated
berurutan	ordered
berurutan	sequential
besar arus yang tidak terhingga	overflow
biaya gabungan	generalized cost
biaya pada kondisi arus bebas	free-flow cost
biaya penggunaan jalan	road pricing
biaya perkiraan	perceived cost
biaya sebenarnya	actual cost
biaya terminal	terminal cost
cembung	convex
cepat tanggap	quick response
chi-kuadrat	chi-squared
coba-coba	trial-and-error
daerah penyangga	hinterland

daya tarik	attractiveness
denda, tambahan	penalty
dengan-batasan-bangkitan	production-constrained
dengan-batasan-tarikan	attraction-constrained
dengan-dua-batasan	doubly-constrained
dengan-satu-batasan	singly-constrained
departemen transportasi	department of transport
detektor lingkaran	loop detector
dinas jalan umum	bureau of public roads
diskret	discrete
diterministik	deterministic
divergen	diverge
divisi jalan raya	division of highway
dua-kali-lewat	double-pass
dua-tingkat	bi-level
dukungan	support
eksponensial	exponential
eksponensial-negatif	negative-exponential
elastisitas langsung	direct elasticity
elastisitas silang	cross elasticity
elastisitas tidak langsung	indirect elasticity
entropi	entropy
entropi-maksimum	maximum-entropy
faktor penyeimbang	balancing factor
faktor pertumbuhan	growth factor
faktor proporsi sampel	sampling factor
faktor rute	road factor
faktor rute	route factor
frekuensi relatif	relative frequency
fungsi hambatan	deterrence function
fungsi kemungkinan	likelihood function
fungsi kepadatan peluang	probability density function
fungsi kepadatan peluang gabungan	function
fungsi tujuan	objective function
gabungan	composite
galat	error
galat akibat faktor manusia	human error
galat komputasi	computational error
galat pengukuran	measurement error
galat sampel	sampling error
galat spesifikasi	specification error
galat standar	standard error
galat transfer	transfer error
gangguan	friction
garis besar	outline
garis keinginan	desire line
garis kordon	cordon line

gelombang hijau	green wave
gelombang kejut	shock wave
giliran	shift
grafik terarah	directed graph
hambatan	friction
hambatan atau gangguan transportasi	transport impedance
hambatan perjalanan	travel friction
hambatan transportasi antarzona	intrazonal transport impedance
hasil pengolahan	posterior
heuristik	heuristic
inferensi-induktif	inductive inference
infleksi	inflection
inlet	gateways
inversi	invers
iterasi-orde-pertama	first-order-iteration
jadwal	time table
jalan lingkar dalam	inner ring road
jalan lingkar luar	outer ring road
jalan pintas	by-pass
jam sibuk	peak hour
jam tidak sibuk	off-peak hour
jarak	distance
jarak atau waktu antara kendaraan	headway
jaringan-dawai	string network
jika dan hanya jika	if and only if
justifikasi rekayasa	engineering judgement
kategori-orang	person-category
kawasan terbangun	built-up area
keacakan	randomness
kebutuhan akan transportasi	transport demand
kebutuhan elastis	elastic demand
kebutuhan langsung	direct demand
kebutuhan tidak elastis	inelastic demand
kebutuhan turunan	derived demand
kejadian	state
kejadian yang saling bebas	mutually independent event
kejutan	surprise
keluar	exit
kemacetan	congestion
kemiripan–maksimum	maximum–likelihood
kemudahan	accessibility
kemungkinan	likelihood
kemungkinan-maksimum-tidak-linear	non-linear-maximum-likelihood
kemutakhiran	state of the art
kepadatan peluang awal	prior probability density
kepadatan peluang berikutnya	posterior probability density
kepadatan peluang gabungan	joint probability density

kepercayaan	belief
kepercayaan awal	prior belief
kepercayaan berikutnya	posterior belief
kereta api bawah tanah	underground
kereta api ringan	light rail transit
kesalahan atau galat	error
keseimbangan	equilibrium
keseimbangan jaringan	network equilibrium
keseimbangan jaringan jalan	road network equilibrium
keseimbangan jaringan multimoda	multi-mode network equilibrium
keseimbangan pengguna stokastik	stochastic user equilibrium
keseimbangan sistem	system equilibrium
keseimbangan transportasi simultan	simultaneous transportation equilibrium
keseimbangan-dengan-batasan-kapasitas	equilibrium-capacity-restrained
keseimbangan-optimum-pengguna	user optimized equilibrium
keseimbangan-pengguna	user equilibrium
keseimbangan-sosial	social equilibrium
kesempatan	opportunity
kesempatan antara	intervening-opportunity
kesempatan-kumulatif	cumulative-opportunities
kesesuaian	goodness-of-fit
kesinambungan arus	flow continuity
keteraturan	regularity
ketergantungan	interdependence
keterlambatan	delay
ketidakkonsistenan	inconsistency
ketidakpastian	uncertainty
ketidakteraturan	disorder
kinerja	performance
klasifikasi silang	cross classification
komputer pribadi	personal computer
kondisi tunak	steady-state
konektivitas, ketersambungan	connectivity
konvergen	converge
kovarian	covariance
kuadrat-terkecil	least-squares
kuadrat-terkecil-linear-berbatas	linear-constrained-least-squares
kuadrat-terkecil-linear-berganda	multiple-linear-least-squares
kuadrat-terkecil-tidak-linear	non-linear-least-squares
kuadrat-terkecil-tidak-linear-berbobot	weighted-non-linear-least-squares
kuadrat-terkecil-umum	generalized-least-squares
kuadrat-terkecil-umum-dengan-batasan	constrained-generalized-least-squares
kudrat-terkecil-linear	linear-least-squares
kurang-terspesifikasi	under-specification
kurva berbentuk S	S–shaped curve
kurva kebutuhan	demand curve
lajur khusus bus	bus lane

lalulintas menerus	through traffic
lalulintas yang beralih	diverted traffic
langkah-demi-langkah	stepwise
langsung	direct
langsung-kuasi	quasi-direct
lebih rendah dari perkiraan	underestimate
lebih tinggi dari perkiraan	overestimate
lewat maju	backward pass
lewat-maju	forward-pass
lewat-sekali	single-pass
lintasan terpisah	segregated track
logaritma natural	natural logarithm
logit-biner	binary-logit
logit-biner standar	standard binary logit
logit-binomial	binomial-logit
logit-multinomial	multinomial-logit
manajemen kebutuhan akan transportasi	transport demand management
manajemen lalulintas	traffic management
masuk	entry
matriks target	reference matrix
menerus	continuous
menggunakan bendera	flagging
menomori kembali	re-numbering
menurun, berkurang	descent
minimasi ekivalen	equivalent minimization
mobilitas	mobility
moda tambahan	added mode
moda, modus	mode
model keseimbangan transportasi simultan	simultaneous transportation equilibrium model
multikolinear	multicollinearity
negara maju	developed country
negara sedang berkembang	developing country
nilai rataan	mean value
nilai waktu	value of time
nilai yang tidak terhingga	overload
non-linearitas	non-linearity
nonutilitas perjalanan	travel disutility
optimum sosial	social optimum
outlet	gateways
paling mungkin	most likely
pangkalan data	data base
pangkat	power
panjang pergerakan	trip length
parkir bukan di badan jalan	off-street parking
parkir di badan jalan	on-street parking
parsial, sebagian	partial

pasangan-demi-pasangan	pair-by-pair
pasar	market
pasar swalayan	supermarket
pasca-perkalian	post-multiplication
pedalaman	rural
pelaksanaan, pembangunan	implementation
peluang gabungan	joint probability
peluang-inversi	invers probability
pemakai jalan	road user
pemangkasan matriks	matrix capping
pembatasan lalulintas	traffic restraint
pembebanan lalulintas	traffic assignment
pembebanan rute	route assignment
pembebanan-berlebih	over assignment
pembebanan-berpeluang	probabilistic assignment
pembebanan-bertahap	incremental assignment
pembebanan-berulang	iterative assignment
pemilihan biner	binary choice
pemilihan diskret	discrete choice
pemilihan moda	modal split
pemilihan moda	mode choice
pemilihan rute	route choice
pemilihan simultan	simultaneous choice
pemilikan kendaraan	carownership
pemisahan ruang	spatial separation
pemrograman	programming
pemrograman linear	linear programming
pemrograman-geometrik	geometric-programming
pemrograman-kuadrat	quadratic-programming
pemrograman-linear	linear-programming
pemrograman-matematika	mathematical-reprogramming
pemukiman di luar kota	suburban cottage
penaksir	estimator
pencarian	search
pencarian-berurutan	sequential search
pencarian-kuadrat	quadratic search
pencarian-langsung	direct search
pendapatan	income
pendekatan secara sistem	system approach
penegakan hukum	law enforcement
penelitian operasional	operation research
pengali lagrange	lagrangian multiplier
pengamat bergerak	moving car observer
pengambil kebijakan	policy maker
pengambil keputusan	decision maker
pengawasan	monitoring
pengembangan struktur kota secara me-	

manjang (pita)	ribbon development
penghubung pusat zona	centroid connector
pengolah kata	word processor
pengukuran	measurement
pengumpan	feeder
penguraian pohon	skimming tree
penilaian	appraisal
penurunan-koordinat-siklus	cyclic coordinate descent
penyempitan	bottleneck
penyesuaian	fitting
peramalan	forecasting
perencana kota	town planner
perencana transportasi	transport planner
perencanaan transportasi empat tahap	four stage transport planning
pergerakan antar zona	intrazonal trip
pergerakan berjalan kaki	walking trip
pergerakan berkendaraan	vehicle trip
pergerakan membelok	turning movement
perhitungan arus lalulintas	traffic counts
perilaku-kebutuhan-akan-transportasi	behavioral travel demand
peringkat	rating
periode waktu terbatas	finite time interval
perjalanan	journey
perkotaan	urban
permukaan respon	response surface
pertukaran perjalanan	trip interchange
perubahan-kecepatan-secara-cepat	hard speed change
perubahan-kecepatan-secara-perlahan	soft speed change
pohon	tree
pohon biaya minimum	minimum cost tree
pohon keputusan	decision tree
potongan	arc
pra-perkalian	pre-multiplication
prasarana transportasi	transport supply
progresi aritmatik	arithmetic progression
progresi geometrik	geometric progression
proses citra	image processing
pusat perkantoran	central business district
pusat zona	zone centroid
rancang, perancangan	design
rancangan jalan antarkota	rural road design
rancangan jalan perkotaan	urban road design
rata-rata	average
rata-rata berurutan	successive averages
regresi berganda	multiple regression
regresi perkalian	multiplicative regression
rekayasa lalulintas	traffic engineering

rencana induk	master plan
ruang sampel	sample space
ruas	link
ruas-sebelum	backlink
rute	path
saling berkaitan	mutually exclusive
sampel seragam	uniform sampling
satu arah	one-way
satu-rute	single-path
sebaran pergerakan	trip distribution
sekaligus	once-through
selang kepercayaan	confidence interval
semakin menjauh	ascending
seragam	uniform
seseorang diantar ke terminal dengan angkutan pribadi dan kemudian melanjutkan dengan angkutan umum	kiss-and-ride
seseorang menggunakan angkutan pribadi dan parkir di terminal dan melanjutkan dengan angkutan umum	park-and-ride
sesuai	reliable
siap santap	fast food
simpangan baku	deviation standard
simpangan, residual	deviation
simpul-sebelum	backnode
simulasi-mikro	micro-simulation
sistem transportasi perkotaan	urban transportation system
sistem transportasi regional	regional transportation system
situs-web	website
statistik informasi yang diharapkan	expected information statistics
survey kecepatan dengan mengikuti kendaraan bergerak	floating car observer survey
tabel-tidak-berujung-akhir	loose-end table
tahun dasar	base year
tahun rencana	design year
tak terhingga	indefinite
tanpa-batasan	unconstrained
tarikan	attraction
tata guna lahan	land use
tata letak	layout
tempat pemberhentian bus	bus stop
terdistribusi bebas dan identik	independent and identically distributed
tergantung-arus	flow-dependent
tergantung-fasilitas	facility-dependent
terisolasi	isolated
terkoordinasi	coordinated
terpisah	separable

tidak langsung	indirect
tidak-ada-arus	zero-flow
tikalas	subscript
tikatas	superscript
tingkat bangkitan pergerakan	trip rate
tingkat kepercayaan	confidence limit
tingkat pelayanan	level of service
transfer dalam ruang	spatial transfer
transfer sementara	temporal transfer
tumpang	superimpose
tundaan, keterlambatan	delay
ujung perjalanan	trip end
ukuran	measure
ukuran entropi	entropy measure
umpan balik	feedback
unik	unique
utilitas	utility
utilitas acak	random utility
variabel bebas	independent variable
variabel tidak bebas	dependent variable
variansi	variance
variasi terdefinisi	explained variation
variasi tidak terdefinisi	unexplained variation
variasi total	total variation
waktu akses	access time
waktu berjalan kaki	walking time
waktu menunggu	waiting time
waktu perjalanan	travel time
waktu selama berada di atas kendaraan	in-vehicle time
waktu tempuh pada kondisi arus bebas	free-flow travel time
waktu-nyata	real time
wawancara di rumah	home interview
wawancara di tepi jalan	roadside interview
yang diamati, pengamatan	observed
yang sudah ditentukan	default
zona kosong	null zones

Pustaka

Alonso, W. (1968) Predicting Best With Imperfect Data, *Journal of the American Institute of Planners*, **34**(3), 248–255.

Allsop, R.E. and Charlesworth (1977) Traffic in a Signal-Controlled Road Network: An Example of Different Signal Timings Including Diffrerent Routeing, *Traffic Engineering and Control*, **18**(5), 262–274.

Anindito, W., Tamin, O.Z., Hidayat, H. (1999) Pengaruh Tundaan di Persimpangan dan Model Pemilihan Rute Terhadap Akurasi Matriks-Asal-Tujuan Yang Diperoleh Dari Informasi Data Arus Lalu Lintas, *Prosiding Simposium II Forum Studi Transportasi Antar Perguruan Tinggi (FSTPT)*, Institut Teknologi 10 November Surabaya, Surabaya.

Ardiaman, E., Tamin, O.Z., Hidayat, H. (1999) Studi Pengaruh Tundaan di Persimpangan Dalam Aplikasi Model Pemilihan Rute di Jaringan Jalan Perkotaan, *Prosiding Simposium II Forum Studi Transportasi Antar Perguruan Tinggi (FSTPT)*, Institut Teknologi 10 November Surabaya, Surabaya.

Arezki, Y. (1986) Comparison of Some Algorithms for Equilibrium Traffic Assignment With Fixed Demand, *Proceedings of the 14th PTRC Summer Annual Meeting*, University of Sussex, July 1986, England.

Armijaya, H. dan Wisaksono, A. (1996) Estimasi Model Gravity Dengan Menggunakan Metode Inferensi Bayes (Studi Kasus di Kota Bandung), *Tugas Akhir*, Jurusan Teknik Sipil, ITB.

ARSDS (1985) Arterial Road System Development Study, *Final Report*, Directorate General of Land Transportation, Department of Communications.

Ashtakala, B. (1987) Generalised Power Model for Trip Distribution, *Transportation Research*, **21B**(1), 59–67.

Atkins, S.T. (1984) Why Value Travel Time? The Case Against, *Highways and Transportation*.

Atkins, S.T. (1987) The Crisis for Transportation Planning Modelling, *Transport Reviews*, **7**(4), 307–325.

Balfour and Marwick (1979) *Programming in Standard FORTRAN 77*, Heinemann Educational Books, London.

Batty, M. (1976) *Urban Modelling: Algorithm, Calibrations and Predictions*, Cambridge University Press, Cambridge.

Baxter, R.S. (1976) *Computer and Statistical Techniques for Planners*, Methuen & Co Ltd, London.

Beardwood, J.E. and Kirby, H.R. (1975) Zone Definition and the Gravity Model, *Transportation Research*, **9**(6), 363–369.

Beckman, M. *et al* (1956) *Studies in the Economics of Transportation*, Cowles Commission Monograph. Yale University Press, New Haven.

Bell, M.G.H. (1983a) The Estimation of an Origin–Destination Matrix From Traffic Counts, *Transportation Science*, **17**(2), 198–217.

Bell, M.G.H. (1983b) The Estimation of an Origin–Destination Flow and Their Confidence Intervals From Measurement of Link Flows: a Computer Program, *Traffic Engineering and Control*, **24**(4), 202–205.

Bell, M.G.H. (1984a) The Estimation of Junction Turning Volumes From Traffic Counts: The Role of Prior Information, *Traffic Engineering Control*, **25**(5), 279–283.

Bell, M.G.H. (1984b) Log-Linear Models for the Estimation of Origin–Destination Matrices From Traffic Counts: An Approximation, *Proceedings of the 9th International Symposium on Transportation and Traffic Theory*, Delft, 451–469.

Bell, M.G.H. (1985) Variances and Covariances for Origin–Destination Flows When Estimated by Log-Linear Models, *Transportation Research*, **18B**(6), 497–507.

Ben–Akiva, M. (1987) Methods to Combine Different Data Sources and Estimate Origin–Destination Matrices, *Proceedings of the 10th International Symposium on Transportation and Traffic Theory*, MIT Massachusetts, 459–481.

Ben–Akiva, M. and Lerman, S.R. (1985) *Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand*, The MIT Press, Canbridge, Mass.

Ben–Akiva, M. and Richards, M.G.A.(1975) *Disaggregated Travel Demand Model*, London, Saxon House.

Black, J.A. (1977) *Public Inconvenience: Access and Travel in Seven Sydney Suburbs*, Urban Research Unit, Research School of Social Sciences, Australian National University.

Black, J.A. and Conroy, M. (1977) Accessibility Measures and the Social Evaluation of Urban Structure, *Environment and Planning*, **9A**, 1013–1031.

Black, J.A. (1979) *Urban Accessibility and Transport Policy. Transport and Communications Bulletin for Asia and the Pacific*, United Nations: Economic and Social Commission for Asia and Pacific.

Black, J.A. (1981) *Urban Transport Planning: Theory and Practice*, London, Cromm Helm.

BMARTS (1996) Bandung Metropolitan Area Urban & Sub-Urban Railway Transportation System, *Final Report*, Directorate General of Land Transportation, Department of Communications.

Bradshaw, R. and Jones, P. (1998) TDM Trends in Europe, *Journal of International Association of Traffic and Safety Sciences*, **22**(1), 14–24.

Blunden, W.R. (1971) *The Land Use–Transport System: Analysis and Synthesis*, Oxford, (Pergamon Press).

BNI (1990) *BNI City Traffic Masper Plan*, Final Report, PT Pamintori Cipta.

Bonsall, P.W. *et al* (1988) The Performance of Handled Data-Captured Devices in Traffic and Transport Surveys, *Traffic Engineering and Control*, **29**(1), 10–19.

Bovy, P.H.L. and Jansen, G.R.M. (1983a) Network Aggregation Effects Upon Equilibrium Assignment Outcomes: An Empirical Investigation, *Transportation Science*, **17**(3), 240–262.

Bovy, P.H.L. and Jansen, G.R.M. (1983b) An Evaluation of Traffic Assignment Predictions Using Route Choice Analysis and Error Decomposition, *Proceedings of the 11th PTRC Summer Annual Meeting*, University of Brighton

Box, G.E.P. and Cox, D.R. (1964) An Analysis of Transformations, *Journal of Royal Statistical Society*, **26B**, 211–243.

Branston, D. (1976) Link Capacity Functions: a Review, *Transportation Research*, **10**(4), 223–236.

Bregman, L. (1967) The Relaxation Method of Finding the Common Point of Convex Sets and Its Application to the Solution of Problems in Convex Programming, *USSR Computational Mathematical Physics*, **7**, 200–217.

Brennan, G.C. (1986) Improvements to a Micro-Computer Transport Planning Suite, MSc Thesis of the University of London, Imperial College and University College London.

Bruton, M.J. (1981) *Introduction to Transportation Planning*, Hutchinson & Co Ltd, London.

Bruton, M.J. (1985) *Introduction to Transportation Planning*, Hutchinson & Co Ltd, London.

Burrell, J.E. (1968) Multiple Route Assignment and Its Application to Capacity Restraints, *Proceedings of the 4th International Symposium on the Theory of Traffic* Flow, Karlsruhe, 210–219.

Carey, M. *et al* (1981) A Method for Direct Estimation of Origin–Destination Matrices, *Transportation Science*, **15**(1), 32–49.

Carey, M. and Revelli, R. (1986) Constrained Estimation of Direct-Demand Functions and Trip Matrices, *Transportation Science*, **20**(3), 143–152

Cascetta, E. (1984) Estimation of Trip Matrices From Traffic Counts and Survey Data: A Generalised Least-Squares Estimator, *Transportation Research*, **18**B(4/5), 289–299.

Casey, H.J. (1955) Applications to Traffic Engineering of the Law of Retail Gravitation, *Traffic Quarterly*, **IX**(1), 23–35.

Chan, Y.K. (1982) Estimation of Trip Matrices From Traffic Counts – A Gravity Model Approach, MSc Thesis of the University of London, Imperial College and University College London.

Cherwony, W. and Lutin, J. (1976) Two Dimensional Logit Modal Split Model, *Transportation Engineering Journal*, **102**, 525–536.

Chesher, A. and Harrison, R. (1987) *Vehicles Operating Cost*, Washington, The International Bank for Recontruction and Development, World Bank.

Cremer, W. and Keller, H. (1987) A New Class of Dynamic Methods for the Identification of Origin–Destination Flow, *Transportation Research*, **21B**(2), 117–132.

Dacey, M.P. and Norcliffe, A. (1977) A Flexible Doubly Constrained Trip Distribution Model, *Transportation Research*, **11**, 203–204.

Daganzo, C.F. (1980) Optimal Sampling Strategies for Statistical Models with Discrete Dependent Variables, *Transportation Science*, **7**(4), 335–354.

Dallal, E.A. (1980) Public Transport Accessibility Measurement, *Traffic Engineering and Control*.

Daly, A.J. (1982) Applicability of Disaggregate Models of Behaviour: a Question of Methodology, *Transportation Research*, **16A**(5–6), 363–370.

Daly, A. *et al* (1983) Model Transfer Using Data From Several Sources, *Proceedings of the 11th PTRC Summer Annual Meeting*, University of Brighton.

Daly, A.J. and Ortuzar, JD. (1990) Forecasting and Data Aggregation: Theory and Practice, *Traffic Engineering and Control*, **31**(12), 632–643.

Danayasa (1992) *Traffic Impact Study Danayasa City Project*, Final Report, PT Pamintori Cipta.

Davidson, K.B. (1966) A Flow Travel–Time Relationship for Use in Transport Planning, *Proceedings of Australian Road Research Board*, **3**, Part 1.

Davinroy T.R. *et al* (1963) Predicting Future Travel, *Traffic Engineering and Control*, **5**(6), 366–371.

Department of Transport (1985) Traffic Appraisal Manual (TAM), HMSO, London.

Dephub dan DPU (1984) Studi Asal Tujuan Transportasi Nasional 1982: Asal Tujuan Lalulintas Jalan Raya Antar Kota di Indonesia, *Departemen Perhubungan dan Departemen Pekerjaan Umum*, Republik Indonesia.

Dephub dan DPU (1992) Studi Asal Tujuan Transportasi Nasional 1991: Asal Tujuan Lalulintas Jalan Raya Antar Kota di Indonesia, *Departemen Perhubungan dan Departemen Pekerjaan Umum*, Republik Indonesia.

De Romph, E. (1994) A Dynamic Traffic Assignment Model, Theory and Applications, *PhD Dissertation*, Delft University of Technology.

DGLT (1996) Bandung Area Traffic Control, *Final System Design*, AWA Traffic System.

Dial, R.B. (1971) A Probabilistic Multipath Traffic Assignment Model Which Obviates Path Enumeration, *Transportation Research*, **5**(2), 83–111.

Dijkstra, E.W. (1959) Note on Two Problems in Connection With Graphs (Spanning Tree, Shortest path), *Numerical Mathematics*, **1**(3), 269–271.

Direktorat Jenderal Bina Marga (1980) *Undang-Undang Republik Indonesia No.13 Tentang Jalan*, Departemen Pekerjaan Umum.

Djohar, H. (1984) Passenger Car Units and Saturation Flows For Junctions in Bandung, *MSc Thesis*, Institute of Technology Bandung.

Domencich, T.A. *et al* (1968) Estimation of Urban Passenger Travel Behaviour: An Economic Demand Model, *Highway Research Record* 238, 64–78.

Domencich, T.A. and McFadden, D. (1975) *Urban Travel Demand: A Behavioural Analysis*, North-Holland, Amsterdam.

Douglas A.A. and Lewis, R.J. (1970) Trip Generation Techniques: (1) Introduction; (2) Zonal Least Squares Regression Analysis, *Traffic Engineering and Control*, **12**(7/8), 362–365, 428–431.

Douglas A.A. and Lewis, R.J. (1971) Trip Generation Techniques: (3) Household Least Squares Regression Analysis; (4) Category Analysis and Summary of Trip Generation Techniques, *Traffic Engineering and Control*, **12**(9/10), 477–479, 532–535.

Edwards, A.W.F. (1972) *Likelihood*, Cambridge University Press, Cambridge.

Erlander, S. (1977) Accessibility, Entropy and the Distribution and Assignment of Traffic, *Transportation Research*, **11A**(3), 149–153.

Erlander, S. (1978) A Note on Balancing Procedures for Trip Distribution Estimation, *Transportation Research*, **12**(5), 335–336.

Erlander, S. *et al* (1985) On the Estimation of Trip Matrices in the Case of Missing and Uncertain Data, *Transportation Research*, **19B**(2), 123–141.

Evans, A.W. (1970) Some Properties of Trip Distribution Methods, *Transportation Research*, **4**(1), 19–37.

Evans, A.W. (1971) The Calibration of Trip Distribution Models With Exponential or Similar Cost Functions, *Transportation Research*, **5**(1), 15–38.

Evans, S.P. (1973) A Relationship Between the Gravity Model for Trip Distribution and The Transportation Problem in Linear Programming, *Transportation Research*, **7**(1), 39–61.

Evans, S.P. and Kirby, H.R. (1974) A Three-Dimensional Furness Procedure for Calibrating Gravity Models, *Transportation Research*, **8**(2), 105–122.

Fernandez, J.E. and Friesz, T.L. (1983) Equilibrium Predictions in Transportation Markets: the State of the Art, *Transportation Research*, **17B**(2), 155–172.

Fisk, C.S. (1977) Note on the Maximum Likelihood Calibration on Dial's Assignment Method, *Transportation Research*, **11**(1), 67–68.

Fisk, C.S. (1980) Some Developments in Equilibrium Traffic Assignment, *Transportation Research*, **14B**(3), 243–245.

Fisk, C.S. and Boyce, D.E. (1983) A Note on Trip Matrix Estimation From Link Traffic Count Data, *Transportation Research*, **17B**(3), 245–250.

Florian, M. (1974) On Modelling Congestion in Dial's Probabilistic Assignment Model, *Transportation Research*, **8**(1), 85–86.

Florian, M. and Fox, B. (1976) On the Probabilistic Origin of Dial's Multipath Traffic Assignment Model, *Transportation Research*, **10**(5), 339–341.

Florian, M. and Nguyen, S. (1978) A Combined Trip Distribution, Modal Split and Trip Assignment Model, *Transportation Research*, **12**(4), 241–246.

Florian, M. and Spiess, H. (1982) The Convergence of Diagonalization Algorithms for Asymmetric Network Equilibrium Problems, *Transportation Research*, **13A**(1), 17–28.

Ford, L.R. and Fulkerston, D.R. (1958) Constructing Maximum Dynamic Flows from Static Flows, *Operation Research*, Vol 6.

Frank, M. and Wolfe, P. (1956) *An Alogorithm for Quadratic Programming*, Naval Research Logistics Quarterly.

Fratar, T.J. (1954) Forecasting Distribution on Interzonal Vehicular Trips by Successive Approximation, *Highway Research Board*, **33**, 376–385.

Froberg, C.E. (1974) *Introduction to Numerical Analysis*, The Second Edition, Addison–Wesley Publishing Company.

Furness, K.P. (1965) Time Function Iteration, *Traffic Engineering and Control*, **7**(7), 458–460.

Gakenheimer, R. (1982) Transport in the National Urban Development Study of Indonesian (unpublished).

Geva, I. (1984) Estimation of Origin–Destination Flows From Traffic Counts and Small Sample Surveys, PhD Thesis, *Department of Civil Engineering*, University of Toronto.

Giriana, M. (1990) Diversion Onto Local Street from The Toll Highway Serving Soekarno–Hatta Airport, Jakarta, *MSc Thesis*, Program Pasca Sarjana, Institut Teknologi Bandung.

Gray, R.H. and Sen, A.K. (1983) Estimating Gravity Model Parameters: A Simplified Approach Based on the Odds Ratio, *Transportation Research*, **17B**(2), 117–131.

Gunawan, H. (1995) Estimasi Pemodelan Distribusi Perjalanan Dengan Model Gravity, *MSc Thesis*, Program Pasca Sarjana, Institut Teknologi Bandung.

Gunn, H. and Bates, J. (1982) Statistical Aspects of Travel Demand Modelling, *Transportation Research*, **16A**(5–6), 371–382.

Halcrow Fox and Associates (1977) *Surabaya Area Transportation Study*, The Government of Indonesia, Ministry of Communications and Tourism, Directorate General of Land Transport and Inland Waterways.

Hall, M.D. *et al* (1980) SATURN: a Simulation Assignment Model for the Evaluation of Traffic Management Schemes, *Traffic Engineering and Control*, **21**(4), 168–176.

Hansen, W.G. (1959) How Accessibility Shapes Land Use, *Journal of American Institute of Planners*, **25**, 73–76.

Hartley, T.M. and Ortuzar, J.D. (1980) Aggregate Modal Split Models: is Current UK Practice Warranted?, *Traffic Engineering and Control*, **21**(1), 7–13.

Hathaway, P.J. (1973) Some Statistical Problems Associated With Trip Distribution Models, *Proceedings of the 1st PTRC Summer Annual Meeting*, University of Brighton.

Hauer, E. *et al* (1981) Estimation of Turning Flows From Automatic Counts, *Transportation Research Record*, **795**, 1–7.

Hauer, E. and Tom-Shin, B.Y. (1981) Origin–Destination Matrices From Traffic Counts: Application and Validation on Simple System, *Traffic Engineering and Control*, **22**(3), 118–121.

Heggie, I.G. (1972) *Transport Engineering Economics*, London, McGraw Hill.

Hendrickson, C. and McNeil, S. (1984a) Matrix Entry Estimation Errors, *Proceedings of the 9th International Symposium on Transportation and Traffic Theory*, Delft, 413–430.

Hendrickson,C. and McNeil, S. (1984b) Estimation of Origin–Destination Matrices With Constrained Regression, *Transportation Research Record*, **976**, 25–32.

Hensher, D.A. and Johnson, L.W. (1981) *Applied Discrete-Choice Modelling*, Halted Press, New York.

Hobbs, F.D. (1979) *Traffic Planning and Engineering*, 2nd Edition, Oxford Pergamon Press.

Hogberg, P. (1976) Estimation of Parameters in Models for Traffic Prediction: A Non–Linear–Regression Approach, *Transportation Research*, **10**(4), 263–265.

Holm, J. *et al* (1976) Calibrating Traffic Models on Traffic Census Only, *Traffic Engineering and Control*, **17**(4), 137–140.

Hoose, N. and Willumsen, L.G. (1987) Real Time Vehicle Tracking Using the CLIP4 Parallel Processor, *Proceedings of the 15th PTRC Summer Annual Meeting*, University of Bath.

HRB (1965) Highway Capacity Manual, *Special Report* No 87, National Research Council, Washington, D.C.

Hsu, J.C.Y. (1983) Motorists' Perceived Value of Time, The North-South Toll Motorway, Taiwan, Asian Institute of Technology.

Hutchinson, B.G. (1974) Estimating Urban Goods Movement Demands, *Transportation Research Record*, **496**, 1–15.

Hyman, G.M. (1969) The Calibration of Trip Distribution Models, *Environment and Planning*, **1**, 105–112.

Institution of Highways and Transportation and Department of Transport (1987) *Roads and Traffic in Urban Areas*, London: HMSO.

Institution of Highways and Transportation (1994) *The Guidelines: Traffic Impact Assessment*, London.

IHCM (1994) Indonesian Highway Capacity Manual (Interuban and Motorway), *Manual*, Directorate General of Bina Marga, Department of Public Works.

IHCM (1997) Indonesian Highway Capacity Manual (Urban Roads), *Manual*, Directorate General of Bina Marga, Department of Public Works.

Institute of Transportation Engineering (1994) *Manual of Transportation Engineering Studies*, New Jersey.

Isnaeni, M. (1997) Pembebanan Elastis Pada Jaringan Jalan Yang Padat, *Tugas Akhir*, Jurusan Teknik Sipil, ITB.

Jansen, G.R.M. and Bovy, P.H.L. (1982) The Effect of Zone Size and Network Detail on All-or-Nothing and Equilibrium Assignment Outcomes, *Traffic Engineering and Control*, **23**(6), 311–317.

JICA (1988) Traffic Survey. *Technical Report No. 4*, Jakarta, Japanese Team Management Services For Tollway System.

JMATS (1972) Jakarta Metropolitan Area Transportation Study, *Final Report*, Directorate General of Land Transportation, Department of Communications.

JMTSS (1992) Jakarta Mass Rapid Transyt System Study, *Final Report*, Directorate General of Land Transportation, Department of Communications.

Jones, I.S. (1977) *Urban Transport Appraisal*, London, Macmillan.

Jones, P.M. (1979) HATS-A Technique for Investigating Household Decisions, *Environment and Planning*, **II**(1), 59–70.

Kanafani, A. (1983) Transportation Demand Analysis, McGraw–Hill Book Company, New York.

Kirby, H.R. (1974) Theoretical Requirements for Calibrating Gravity Models, *Transportation Research*, **8**, 97–103.

Kraft, G. (1968) Demand for Intercity Passenger Travel in the Washington–Boston Corridor, North-East Corridor Project Report, *Systems Analysis and Research Corporation*, Boston, Mass.

Kocks, F.H. (1975) *The Bangkok Transportation Study*, The Office of Metropolitan Traffic Planning, Royal Thai Government.

Lamond, B. and Stewart, N.F. (1981) Bregman's Balancing Method, *Transportation Research*, **15B**(4), 239–248.

Landau *et al* (1982) Estimation of Cross-Cordon Origin–Destination Flows from Cordon Studies, *Transportation Research Record*, **891**, 5–10.

Langdon, M.G. (1976) Modal Split Models for More Than Two Modes, *Proceedings of the 4th PTRC Summer Annual Meeting*, University of Warwick, July 1976, England.

LAPI–ITB (1997) *Perhitungan Besar Keuntungan Biaya Operasi Kendaraaan*, KBK Rekayasa Transportasi, Jurusan Teknik Sipil, ITB.

Larson, R.C. and Odoni, A.R. (1981) *Urban Operations Research*, Prentice–Hall, Englewood Cliffs, N.J.

Leblanc, L.J. and Farhangian, K. (1982) Selection of a Trip Table Which Reproduces Observed Link Flows, *Transportation Research*, **16B**(2), 83–88.

Lee, C. (1973) *Models in Planning: An Introduction to the Use of Quantitative Models in Planning*, Oxford, Pergamon Press.

Lenzconsult (1975) *Jakarta Metropolitan Area Transportation Study*, Department of Communications, the Government of the Republic of Indonesia.

Leonard, D.R. and Gower, P. (1982) User Guide to CONTRAM Version 4, *TRRL Supplementary Report* No 735, Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne.

Loubal, P.S. and Potts, R.B. (1968) A Mathematical Model for Trip Distribution, *Proceedings of the 4th International Symposium on the Theory of Traffic Flows*, Karlsruhe, 190–197.

Low, D.E. (1972) A New Approach to Transportation Systems Modelling, *Traffic Quarterly*, **26**(3), 391–404.

Lowry, I.S. (1964) *A Model of Metropolis*, Santa Monica, California, RAND Corporation.

LP–ITB (1994) *FS Dampak Lalulintas Pengembangan ex Kemayoran*, KBK Rekayasa Transportasi, Jurusan Teknik Sipil, ITB.

LP–ITB (1996) *Kajian Dampak Lalulintas di Kawasan Sudirman dan Sekitarnya*, KBK Rekayasa Transportasi, Jurusan Teknik Sipil, ITB.

LP–ITB (1998a) *Kajian Manajemen Perparkiran di Wilayah DKI–Jakarta*, KBK Rekayasa Transportasi, Jurusan Teknik Sipil, ITB.

LP–ITB (1998b) *Studi Sistem Transportasi Terpadu di Kotamadya Dati II Bandung*, Bappeda Dati II Kotamadya Bandung dan KBK Rekayasa Transportasi, Jurusan Teknik Sipil, ITB.

LPM–ITB (1996) *Manual Pelatihan Sistem Transportasi Perkotaan*, KBK Rekayasa Transportasi, Jurusan Teknik Sipil, ITB.

LPM–ITB (1997a) *Manual Pelatihan Perencanaan Transportasi*, KBK Rekayasa Transportasi, Jurusan Teknik Sipil, ITB.

LPM–ITB (1997b) *Manual Pelatihan Manajemen Lalulintas Perkotaan*, KBK Rekayasa Transportasi, Jurusan Teknik Sipil, ITB.

LPM–ITB (1997c) *Manual Pelatihan Perencanaan dan Pemodelan Transportasi*, KBK Rekayasa Transportasi, Jurusan Teknik Sipil, ITB.

LPM–ITB (1997d) *Manual Pelatihan Studi Kelayakan Proyek Transportasi*, KBK Rekayasa Transportasi, Jurusan Teknik Sipil, ITB.

LPM–ITB (1997e) *Manual Pelatihan Metode Survei Lalulintas dan Transportasi*, KBK Rekayasa Transportasi, Jurusan Teknik Sipil, ITB.

LPM–ITB (1998a) *Studi Standarisasi Bangkitan dan Tarikan Lalulintas di Zona Bandung Raya*, Dinas Lalu Lintas Angkutan Jalan Dati I Propinsi Jawa Barat dan KBK Rekayasa Transportasi, Jurusan Teknik Sipil, ITB.

LPM–ITB (1998b) *Penyusunan Rencana Pengembangan Transportasi Kabupaten Bandung*, Bappeda Dati II Kabupaten Bandung dan KBK Rekayasa Transportasi, Jurusan Teknik Sipil, ITB.

Lubis, H.A.S. *et al* (1998) Peramalan Permintaan Perjalanan dan Manfaat Investasi Pada Jaringan Jalan Yang Macet, *Laporan Riset Unggulan Terpadu V (1997–1998)*.

Luenberger, D.G. (1984) *Linear and Non-Linear Programming*, The Second Edition. Addison–Wesley Publishing Company.

Maclean, A.S. (1976) Maximum Likelihood and the Gravity Model, *Transportation Research*, **10**(5), 287–297.

Mahalingam, I.S. (1983) 'TRAFFICQ' Compatible Computer Packages for Interactive Input and for Estimation of Trip Matrices From Traffic Counts, *MSc Thesis of the University of London*, Imperial College and University College London.

Maher, M.J. (1983a) The Use of Prior Information in Gravity Model Calibration, *Traffic Engineering and Control*, **24**(2), 68–72.

Maher, M.J. (1983b) Speeding Up the Furnees Method, *Traffic Engineering and Control*, **24**(10), 485–486.

Maher, M.J. (1983c) Inferences on Trip Matrices From Observations on Link Volumes: A Bayesian Statistical Approach, *Transportation Research*, **17B**(6), 435–477.

Maher, M.J. (1984) Estimating the Turning Flows at a Junction: A Comparison of Three Models, *Traffic Engineering and Control*, **25**(1), 19–22.

Mandl, C. (1979) *Applied Network Optimization*, Academic Press Ltd, London.

Manheim, M.L. (1979) *Fundamentals of Transportation Systems Analysis*. *Volume 1: Basic Concepts*, The MIT Press.

Marler, N.W. (1970) Predicting Intrazonal Work-Trip Levels, *Proceedings of the PTRC Symposium on Urban Traffic Model Research*, 5–13.

Marler, N.W. (1985) Transport and the Urban Poor: A Case Study of Bandung, Indonesia, *Proceeding of the 5th Inter-Congress of Pacific Science Association*, Manila.

Mayberry, J.P. (1973) Structural Requirements for Abstract-Mode Models of Passenger Transportation, In R.E. Quandt, *The Demand for Travel: Theory and Measurement*. D.C. Heath and Co., Lexington, Mass.

McNeil, S. and Hendrickson, C. (1985a) A Regression Formulation of the Matrix Estimation Problem, *Transportation Science*, **19**(3), 278–292.

McNeil, S. and Hendrickson, C. (1985b) A Note on Alternative Matrix Entry Estimation Techniques, *Transportation Research*, **19B**(6), 509–519.

Mekky, A. (1979) On Estimation Turning Flows at Road Junctions, *Traffic Engineering and Control*, **20**(10), 486–487.

Mekky, A. (1983) A Direct Method for Speeding Up the Convergence of the Furness Biproportional Method, *Transportation Research*, **17B**(1), 1–11.

Minty, G.J. (1957) A Comment on the Shortest Route Problem, *Operations Research*, **5**.

Mitchell, R.B. and Rapkin, C. (1954) *Urban Traffic: A Function of Land Use*, Columbia University Press, New York.

Moore, E.F. (1957) The Shortest Path Through a Maze, *Proceedings of International Symposium on the Theory of Switching*, Harvard University.

Morley, R. (1972) *Mathematics for Modern Economics*, Fontana, London.

Morlok, E.K. (1978) *Introduction to Transportation Engineering and Planning*, McGraw–Hill Ltd.

Morphet, R. (1975) A Note on the Calculation and Calibration of Doubly-Constrained Trip Distributions Mode, *Transportation*, **4**(1), 43–53.

Mountain, L. *et al* (1986) The Estimation of Turning Flows From Traffic Counts: 1. At Four-Arm Intersections, *Traffic Engineering and Control*, **27**(10), 501–507.

Murchland, J.D. (1977) The Multiproportional Problem, *University College London*, *Transport Studies Group*. Note JDM–263.

Nguyen, S. (1974) An Algorithm for the Traffic Assignment Problem, *Transportation Science*, **8**(3), 203–216.

Nguyen, S. (1977) Estimating an OD Matrix From Network Data: A Network Equilibrium Approach, *Centre de recherché sur les transports*, Universite de Montreal, **87**.

Nguyen, S. (1982) Estimating Origin–Destination Matrices From Observed Flows, *Proceeding of the 1st Course on Transportation Planning of the International School of Transportation Planning*, Amalfi, Italy.

Norman, M. *et al* (1979) Non-Iterative Methods for Generating a Realistic Turning Flow Matrix for a Junction, *Traffic Engineering and Control*, **20**(12), 587–589.

OECD Road Research Group (1974) *Urban Traffics Models: Possibilities for Simplification*, OECD, Paris.

Ogden, K.W. (1978) The Distribution of Truck Trips and Commodity Flow in Urban Areas: A Gravity Model Analysis, *Transportation Research*, **12**(2), 131–137.

Ohta, K. (1998) TDM Measures Toward Sustainable Mobility, *Journal of International Association of Traffic and Safety Sciences*, **22**(1), 6–13.

Oi, W.J. and Shuldhiner, P.W. (1962) *An Analysis of Urban Travel Demands*, Evanston, Nortwestern University Press.

Okita, I.R., Tamin, O.Z., Sjafruddin, A. (1999) Pengaruh Agregasi Sistem Zona dan Sistem Jaringan Terhadap Pemilihan Rute, *Prosiding Simposium II Forum Studi Transportasi Antar Perguruan Tinggi (FSTPT)*, Institut Teknologi 10 November Surabaya, Surabaya.

Orski, C.K. (1998) TDM Trends in the United States, *Journal of International Association of Traffic and Safety Sciences*, **22**(1), 25–32

Ortuzar, J.D. (1980a) Mixed-Mode Demand Forecasting Techniques, *Transportation Planning and Technology*, **6**(2), 81–95.

Ortuzar, J.D. (1980b) Modelling Park'n'Ride and Kiss'n'Ride as Sub-Modal Choices: A Comment, *Transportation*, **11**(4), 383–385.

Ortuzar, J.D. (1992) *Simplified Transport Demand Modelling*, PTRC Education & Research Services Ltd.

Ortuzar, J.D. and Willumsen, L.G. (1994) *Modelling Transport*, Second Edition, John Wiley & Sons.

Outram, V.E. and Thomson, E. (1978) Driver Route Choice-Behavioural and Motivational Studies, *Proceedings of the 5th PTRC Summer Annual Meeting*, University of Warwick, July 1977, England.

Patunrangi, J., Tamin, O.Z., Sjafruddin, A. (1999) Pengaruh Resolusi Sistem Zona dan Sistem Jaringan Terhadap Tingkat Akurasi Matriks-Asal-Tujuan (MAT) Yang Diperoleh Dari Data Arus Lalu Lintas, *Prosiding Simposium II Forum Studi Transportasi Antar Perguruan Tinggi (FSTPT)*, Institut Teknologi 10 November Surabaya, Surabaya.

Pierro, L.F. Di (1983) Estimation of Freight Matrices From Traffic Counts, *MSc Thesis of the University of London, Imperial College and University College London*.

Pignataro, L.J. (1973) *Traffic Engineering Theory and Practice*, Prentice Hall, New York.

Prasetyo, L.B.B dan Tamin, O.Z. (1999) Metoda Estimasi Distribusi Perjalanan Dengan Menggunakan Model Gravity-Opportunity (Studi Kasus di Kotamadya Bandung), *Prosiding Simposium II Forum Studi Transportasi Antar Perguruan Tinggi (FSTPT)*, Institut Teknologi 10 November Surabaya, Surabaya.

Punyaratabandhu, N. (1977) Trip Generation from Housing Estates, *Master's Thesis*, Asian Institute of Technology.

Putman, S.H. (1983) *Integrated Urban Models*, Pion Ltd, London.

Quandt, R. and Baumol, W. (1966) The Demand for Abstract Transport Modes: Theory and Measurement, *Journal of Regional Science*, **6**(2), 13–26.

Rauf, M.R., Tamin, O.Z., Hidayat, H. (1999) Studi Penentuan Faktor Konversi Data Arus Lalu Lintas Dari Data Persimpangan Menjadi Data Ruas Jalan, *Prosiding Simposium II Forum Studi Transportasi Antar Perguruan Tinggi (FSTPT)*, Institut Teknologi 10 November Surabaya, Surabaya.

Robertson, D. (1969) TRANSYT: A Traffic Network Study Tool, *TRRL Report LR* 253, Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne.

Robertson, D.I. (1984) Estimating Origin–Destination Flows by Simulating Trip Choice, *Traffic Engineering and Control*, **25**(7/8), 358–364.

Robillard, P. (1974a) Multipath Traffic Assignment With Dynamic Input Flows, *Transportation Research*, **8**(6), 567–573.

Robillard, P. (1974b) Calibration of Dial's Assignment Method, *Transportation Science*, **8**(2), 117–125.

Robillard, P. and Stewart, N.F. (1974) Iterative Numerical Methods for Trip Distribution Problems, *Transportation Research*, **8**(6), 575–582.

Robillard, P. (1975) Estimating the OD Matrix From Observed Link Volumes, *Transportation Research*, **9**(2/3), 123–128.

RUC (1991) Road User Costs Model, *Second Technical Advisory Services on Planning and Programming*, Directorate General of Highways, Ministry of Public Works.

Ruiter, E.R. (1967) Toward a Better Understanding of the Intervening-Opportunities Model, *Transportation Research*, **1**(1), 47–56.

Ruswandi, D., Tamin, O.Z., Santoso, I. (1999) Studi Pengaruh Aplikasi Model Sebaran Pergerakan Terhadap Akurasi Matriks-Asal-Tujuan Yang Dihasilkan Dari Data Arus Lalu Lintas, *Prosiding Simposium II Forum Studi Transportasi Antar Perguruan Tinggi (FSTPT)*, Institut Teknologi 10 November Surabaya, Surabaya.

Safwat, K.N.A and Magnanti, T. (1988) A Combined Trip Generation, Trip Distribution, Modal Split and Trip Assignment Model, *Transportation Science*, **22**(1), 14–30.

Sakarovitch, M. (1968) The kth Shortest Chains in a Graph, *Transportation Research*, **2**(1), 1–11.

Salenius, A.G. (1972) An Intervening-Opportunities Trip Distribution Model With Competing Trip Makers, *Transportation Research*, **6**(2), 169–185.

Salter, R.J. (1978) *Highway Traffic Analysis and Design*, The Macmillan Press Ltd.

Sasaki, T. (1968) Probabilistic Models From Trip Distribution, *Proceedings of the 4th International Symposium on the Theory of the Traffic Flow*, Karlsruhe, 205–209.

Schneider, M. (1959) Gravity Models and Trip Distribution Theory, *Papers and Proceedings of the Regional Science Association*, **V**(1), 51–56.

Sheffi, Y. (1985) *Urban Transportation Networks*, Prentice–Hall, Englewood Cliffs, N.J.

Sheffi, Y. and Powell, W. (1981) A Comparison of Stochastic and Deterministic Traffic Assignment Over Congested Networks, *Transportation Research*, **15B**(1), 53–64.

Sikdar, P.K. and Hutchinson, B.G. (1981) Empirical Studies of Work Trip Distribution Models, *Transportation Research*, **15A**(3), 233–243.

Sjafruddin, A. (1992) Intercity Transport in Indonesia, Passenger Travel Demand Modelling, *PhD Dissertation*, Technical University of Denmark.

Sjafruddin, A. *et al* (1998) Pemodelan Kebutuhan Transportasi Barang Regional di Pulau Jawa, *Laporan Penelitian Hibah Bersaing* V/2, Ditjen Dikti.

Smith, D.P. and Hutchinson, B.G. (1981) Goodness of Fit Statistics for Trip Distribution Models, *Transportation Research*, **15A**(4), 295–303.

Smith, M.J. (1979) Traffic Control and Route Choice: A Simple Example, *Transportation Research*, **13B**(4), 289–294.

Smith, M.J. (1981) Properties of a Traffic Control Policy Which Ensures the Existence of a Traffic Equilibrium Consistent With the Policy, *Transportation Research*, **15B**(6), 453–462.

Smock, R. (1962) An Iterative Assignment Approach to Capacity Restraint on Arterial Networks, *Highway Research Board Bulletin*, **347**, 60–66.

Soegondo, T., Tamin, O.Z. and Fauzan, M.N. (1990) Evaluation of Lost Time at a Signalised Intersection, *Proceedings of the 6th REAAA Conference*, Kuala Lumpur (Malaysia).

Sosslau, A.B. *et al* (1978) Quick Response Urban Travel Estimation Techniques and Transferable Parameters: Users Guide, *National Cooperative Highway Research Program Report* 187, Washington, D.C., Transportation Research Board.

Spiess, H. (1987) A Maximum-Likelihood Model for Estimating Origin–Destination Matrices, *Transportation Research*, **21B**(5), 395–412.

Steer, Davies and Gleave (1984) MOTORS Transportation Suite: User Manual, London.

Steer, Davies and Gleave (1987) Validity and Application of Matrix Estimation Techniques in Trunk Road Appraisal, *Final Report*.

Stone, R. (1966) *Mathematics for Social Sciences*, Chapman and Hall, London.

Stopher, P.R. and McDonald, K.G. (1983) Trip Generation by Cross-Classification: An Alternative Methodology, *Transportation Research Record* 944, 84–91.

Stouffer, A. (1940) Intervening Opportunities: A Theory Relating Mobility and Distance, *American Sociological Review*, **5**(6), 845–867.

Strover, V.G. *et al* (1976) A Sensitivity Evaluation of the Traffic Assignment Process, *Transportation Research Record*, **610**, 50–52.

Sudjana (1988) *Metoda Statistika*, Penerbit Tarsito, Bandung.

Suh, S. *et al* (1990) A Highway Capacity Function in Korea: Measurement and Calibration, *Transportation Research*, **24A**(3), 177–186.

Supernak, J. (1979) A Behavioural Approach to Trip Generation Modelling, *Proceedings of the 7th PTRC Summer Annual Meeting*, University of Warwick, July 1981, England.

Susilo, Y.O., Tamin, O.Z., Santoso, I. (1999) Pengembangan Metoda Estimasi Parameter Model Sebaran Pergerakan Dari Data Arus Lalu Lintas, *Prosiding Simposium II Forum Studi Transportasi Antar Perguruan Tinggi (FSTPT)*, Institut Teknologi 10 November Surabaya, Surabaya.

Syafi'i (1998) Masalah Pembebanan Berlebih (*Over Assignment*) Pada Jaringan Jalan Perkotaan, *Tesis Magister*, Program Magister Rekayasa Transportasi, Program Pasca Sarjana, ITB.

Tamin, O.Z. (1985) Estimation of Matrices for Freight Movement From Traffic Counts Using a Non-Linear Regression Approach, *MSc Thesis of the University of London*, Imperial College and University College London.

Tamin, O.Z. (1986) The Estimation of a Transport Demand Model From Traffic Counts and Simple Zonal Planning Data, *Report of Transport Studies Group*, University College London.

Tamin, O.Z. (1988a) The Estimation of Transport Demand Models From Traffic Counts, *PhD Dissertation of the University of London*, University College London.

Tamin, O.Z. (1988b) Transport Demand Model From Traffic Counts, *Proceedings of the 20th Annual Conference of Universities Transport Studies Group*, London, UK.

Tamin, O.Z. (1988c) Simplified Transport Models Based on Traffic Counts, *Workshop in Transport Models*, University of Napoli, Napoli (Italy).

Tamin, O.Z. (1988d) Metoda Estimasi Matriks Asal–Tujuan (MAT) Dengan Menggunakan Data Arus Lalulintas, *Seminar Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan*, Institut Teknologi Bandung, Bandung.

Tamin, O.Z. and Willumsen, L.G. (1988) Freight Demand Model Estimation From Traffic Counts, *Proceedings of the 16th PTRC Summer Annual Conference*, University of Bath (UK).

Tamin, O.Z. (1989a) Simplified Transport Model Based on Traffic Counts, *Workshop on Responsive Urban Transport Mode,* S2–STJR and IRE, Bandung.

Tamin, O.Z. (1989b) Metoda Estimasi Matriks Asal–Tujuan (MAT) Yang Cocok Untuk Negara-Negara Yang Sedang Berkembang, *Ulasan Pada Berita Penelitian, Lembaga Penelitian*, Institut Teknologi Bandung.

Tamin, O.Z. and Soegondo, T. (1989) Freight Demand Modelling From Traffic Counts: A Case Study in Bali, Indonesia, *Proceedings of the 5th World Conference on Transport Research*, Yokohama (Japan).

Tamin, O.Z. dan Pertiwi, H.R. (1989) Estimasi Matriks Asal–Tujuan (MAT) Pergerakan Kendaraan di Kota Bandung Dengan Menggunakan Data Arus Lalulintas, *Laporan Akhir Penelitian O–M*, Lembaga Penelitian, Institut Teknologi Bandung.

Tamin, O.Z, and Willumsen, L.G. (1989) Transport Demand Model Estimation From Traffic Counts, *Journal of Transportation*, **16**, 3–26.

Tamin, O.Z. *et al* (1989) Simplified Methods Based on Traffic Counts for Estimating OD Matrices for Developing Countries, *SEATAC International Urban Transport Seminar*, Jakarta.

Tamin, O.Z. (1990a) Sistem Perkeretaapian dan Transportasi Antar Moda di Sumatera Utara-Aceh, *Seminar Pengembangan Sistem Perkeretaapian di*

Sumatera Utara-Aceh, Lembaga Afiliasi Teknik Manajemen & Industri Universitas Sumatera Utara (LATMI USU).

Tamin, O.Z. (1990b) Simplified OD Matrix Estimation Integrating Link Flow Information: A Case Study in Bandung, *Workshop on Review of Urban Transport Planning Techniques,* S2−STJR and IRE, Bandung.

Tamin, O.Z. (1990c) A Simplified Method for Estimating OD Matrices for Developing Countries, *Proceedings of the International Symposium on Urban Planning and Stormwater Management*, Kuala Lumpur (Malaysia).

Tamin, O.Z. (1990d) Public Transport Demand Estimation by Calibrating a Trip Distribution–Modal Choice from Traffic Counts, *Proceedings of the 5th CODATU Conference*, Sao Paulo (Brazil).

Tamin, O.Z. (1990e) Route Choice Models for Urban Area, Jurnal Teknik Sipil, Institut Teknologi Bandung.

Tamin, O.Z. (1990f) Vehicle Movement Modelling in Bandung Based on Traffic Counts Under 'Equilibrium Condition', *Journal of Road and Transportation,* HPJI, Indonesia.

Tamin, O.Z. and Hendarto, S. (1990) The Influence of Pedestrian Crossing to the Capacity of Signalised Intersection and Safety, *Proceedings of the 4th Annual Conference on Road Engineering* (KTTJ), Jakarta.

Tamin, O.Z. and Hendarto, S. (1990) The influence of Road Overlay and Rehabilitation to the Highway Geometric Design and Safety, *Proceedings of the 4th Annual Conference on Road Engineering* (KTTJ), Jakarta.

Tamin, O.Z. and Prabowo, A.R. (1990) A New Technology of Mass Rapid Transit System for Developing Countries, *Proceedings of the International Symposium on Urban Planning and Stormwater Management*, Kuala Lumpur (Malaysia).

Tamin, O.Z. and Santoso, I. (1990) The Application of Expert System on Highway Geometric Design, *Proceedings of the Expert System and Artificial Inteligence*, PIKSI–ITB, Bandung.

Tamin, O.Z. (1991a) Integrasi Sistem Transportasi Antar Moda Dalam Menunjang Pengembangan Wilayah Indonesia Bagian Timur, *Seminar Nasional Sistem Transportasi Bagi Pengembangan Wilayah Indonesia Bagian Timur*, Bandung.

Tamin, O.Z. (1991b) Combined Gravity-Opportunity Model for Transport Demand, *Jurnal Teknik Sipil*, Institut Teknologi Bandung.

Tamin, O.Z. (1991c) The Development of Traffic Forecasting Methodology for Developing Countries (TRIP Project), *Workshop S2–STJR ITB*, Bandung.

Tamin, O.Z. (1991d) Alternatif Pemecahan Masalah Kemacetan di Daerah Perkotaan, *Seminar Nasional 'Peran Serta Pemerintah, Swasta dan Masyarakat Dalam Mengatasi Masalah Kemacetan Lalulintas'*, Bandung.

Tamin, O.Z. (1991e) Saturation Flow and PCU Values Calculation for Several Intersections in Bandung, *Proceedings of the 2nd Highway Capacity Manual Workshop,* Bandung.

Tamin, O.Z. (1991f) Sistem Transportasi Angkutan Umum Kota Bandung Perlu Dibenah, *Pikiran Rakyat Minggu*, 3 November 1991.

Tamin, O.Z. *et al* (1991a) Estimasi Kebutuhan Angkutan Umum dengan Dengan Menggunakan Data Arus Penumpang (Model Kombinasi *Trip Distribution–Modal Choice*): Studi Kasus di Kota Bandung, *Laporan Akhir Penelitian OPF*, Lembaga Penelitian, Institut Teknologi Bandung.

Tamin, O.Z. *et al* (1991b) Aplikasi Model Transportasi Dalam Pemodelan Pergerakan Kendaraan Antar Daerah Di Jawa Timur, *Laporan Akhir Penelitian S2*, Lembaga Penelitian, Institut Teknologi Bandung.

Tamin, O.Z. dan Santoso, I. (1991) Program Peningkatan Prasarana Jalan dan Interelasinya dengan Pertumbuhan Sosial Ekonomi di Daerah Transmigrasi, *Proceedings of the National Seminar on Transportation System for the Transmigration Area*, Ciloto.

Tamin, O.Z. (1992a) Jakarta Integrated Intermodal Urban Transportation System, *Proceedings of Managing Traffic and Transportasion Conference*, Amsterdam (Netherlands).

Tamin, O.Z. (1992b) Pemecahan Kemacetan LaluLintas Kota Besar, *Journal Perencanaan Wilayah dan Kota*, Volume 4*,* Jurusan Teknik Planologi, Institut Teknologi Bandung.

Tamin, O.Z. (1992c) Application of Transport Demand Models for Inter-Regional Vehicle Movements in East Java (Indonesia), *Proceedings of the 6th World Conference on Transport Research*, Lyon (France).

Tamin, O.Z. (1992d) The Development of Traffic Forecasting Methodology for Developing Countries: Toll Road Investment Programme (Indonesia).

Tamin, O.Z. (1992e) Perbaiki Pelayanan Angkutan Umum, *Pikiran Rakyat Minggu*, 20 September 1992.

Tamin, O.Z. (1992f) Hubungan Volume, Kecepatan dan Kepadatan Lalulintas di Ruas Jalan HR Rasuna Said (Jakarta), *Jurnal Teknik Sipil,* Nomor 5, Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Bandung.

Tamin, O.Z. (1992g). Aplikasi Model Perencanaan Transportasi Empat Tahap Dalam Pemecahan Masalah Transportasi di Negara Sedang Berkembang, *Seminar Jurusan Teknik Sipil ITB*, Bandung.

Tamin, O.Z. dan Antono, S.P. (1992) Metodologi Peramalan Lalu Lintas Perkotaan Untuk Negara Berkembang dan Optimasi Sistem Operasi Lalu Lintas dan Geometri di Persimpangan Jalan, *Seminar Potensi Pemanfaatan Kemampuan Komputer Untuk Rancang Bangun Jalan dan Jembatan di Indonesia*, Jakarta.

Tamin, O.Z. *et al* (1992a) Pemodelan Pergerakan Kendaraan di Jawa Timur, *Laporan Akhir Penelitian*, Lembaga Penelitian, Institut Teknologi Bandung.

Tamin, O.Z. *et al* (1992b) Strategi Penyusunan Sistem Pemantauan dan Evaluasi Manfaat Proyek IPJK (PEMP–IPJK), *Konferensi Regional Teknik Jalan ke–2*, Balik Papan.

Tamin, O.Z. *et al* (1992c) Pengaruh Gangguan Samping (*Side Friction*) Terhadap Hubungan Matematis Antara Kecepatan–Volume Pada Jalan Berlalulintas Padat di Kota Bandung, *Laporan Akhir Penelitian*, Lembaga Penelitian, Institut Teknologi Bandung.

Tamin, O.Z. *et al* (1992d) Estimasi Kebutuhan Angkutan Umum (Public Transport) Dengan Model TDMC dan Data Arus Penumpang: *Studi Kasus di Jakarta, Laporan Akhir Penelitian*, Lembaga Penelitian, Institut Teknologi Bandung.

Tamin, O.Z. *et al* (1992e) Estimasi Kebutuhan Angkutan Umum Dengan Menggunakan Data Arus Penumpang (Model Kombinasi *Trip Distribution–Modal Choice*): Studi Kasus di Kota Jakarta, *Laporan Akhir Penelitian Dana ABT (World Bank)*, Lembaga Penelitian, Institut Teknologi Bandung.

Tamin, O.Z. dan Hidayat, H. (1992) Peran Transportasi Air Dalam Peningkatan Ekonomi dan Pengembangan Wilayah, Ceramah Ilmiah 'Peran Transportasi Air Dalam Pengembangan Wilayah', *Dies Natalis Universitas Diponegoro ke 36*, Semarang.

Tamin, O.Z. (1993a) Alternatif Pemecahan Masalah Dalam Mengatasi Kemacetan di Kota Besar, *Ceramah Ilmiah, Universitas Tarumanagara*, Jakarta.

Tamin, O.Z. (1993b) Metodologi Peramalan Lalulintas Perkotaan Untuk Negara Berkembang, *Seminar Sehari Transportasi Kota dan Pengelolaan Lingkungan, Universitas Bung Hatta*, Padang.

Tamin, O.Z. (1993c) Perbaikan Pelayanan Angkutan Umum Sebagai Usaha Memperlancar Arus Lalulintas Jalan Raya, *Seminar Nasional 'Sikap dan Perilaku Pemakai Jalan Serta Aparat Pengaturnya Terhadap Kelancaran Lalulintas', Universitas LangLang Buana*, Lembang.

Tamin, O.Z. (1993d) Strategi Peningkatan Pelayanan Angkutan Umum Sebagai Usaha Mengatasi Masalah Kemacetan di Daerah Perkotaan, *Jurnal Perencanaan Wilayah dan Kota*, Volume 8, Jurusan Teknik Planologi, Institut Teknologi Bandung.

Tamin, O.Z. and Hidayat, H. (1993e) Strategi Pengembangan Jaringan Jalan di Kawasan Indonesia Timur Berdasarkan Konsep Sistem Transportasi Antar Moda, *Konferensi Regional Teknik Jalan ke–3*, Mataram.

Tamin, O.Z. *et al* (1993f) Analisa Pemilihan Rute Jalan Bebas Hambatan/Tol dengan Metoda '*Diversion Curve*', *Laporan Akhir Penelitian*, Lembaga Penelitian, Institut Teknologi Bandung.

Tamin, O.Z. *et al* (1993g). Model Transportasi Angkutan Umum Dalam Usaha Mengatasi Masalah Kemacetan, *Laporan Akhir Penelitian*, Lembaga Penelitian, Institut Teknologi Bandung.

Tamin, O.Z. (1994a) Aplikasi Model Perencanaan Transportasi Empat Tahap Dalam Pemecahan Masalah Transportasi di Negara Sedang Berkembang, *Jurnal Teknik Sipil*, Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Bandung.

Tamin, O.Z. (1994b) Beberapa Alternatif Permecahan Masalah Transportasi di DKI–Jakarta, *Lokakarya Peningkatan Kinerja Pembangunan DKI–Jakarta Melalui Program Terstruktur*, Jakarta.

Tamin, O.Z. (1994c) Inter-Urban Forecasting Methodology for Toll Road Investment Programme (TRIP) Project, *Konferensi Tahunan Teknik Jalan ke–5*, Bandung.

Tamin, O.Z. (1994d) Model Perencanaan Transportasi Angkutan Umum Dalam Usaha Mengatasi Masalah Kemacetan (Studi Kasus: Kota Bandung), *Pekan Komunikasi Penelitian*, Lembaga Penelitian, Institut Teknologi Bandung.

Tamin, O.Z. dan Ananda, S. (1994) Pengaruh Becak Pada Persimpangan Berlampu Lalulintas, *Konferensi Tahunan Teknik Jalan ke–5*, Bandung.

Tamin, O.Z and Ekotomo, R. (1994) Jakarta Integrated Intermodal Transportation Management System, *Conference on Advanced Technologies in Transportation and Traffic Management*, Singapore.

Tamin, O.Z. dan Negara, I.N.W. (1994) Pengaruh Gangguan Samping (Side–Friction Terhadap Hubungan Matematis Antara Kecepatan–Volume Pada Jalan Berlalulintas Padat di Kota Bandung, *Konferensi Tahunan Teknik Jalan ke–5*, Bandung.

Tamin, O.Z. *et al* (1994) Bangkitan Lalulintas Dari Perumahan (studi Kasus PERUMNAS Antapani, Bandung), *Konferensi Tahunan Teknik Jalan ke–5*, Bandung.

Tamin, O.Z. (1995a) Model Transportasi Angkutan Umum Dalam Usaha Mengatasi Masalah Kemacetan: Studi Kasus di Kota Bandung, *Laporan Akhir Penelitian Hibah Bersaing*, Lembaga Penelitian, Institut Teknologi Bandung.

Tamin, O.Z. (1995b) The Estimation of Public Transport Demand Using TDMC Model and Passenger Counts: A Case Study in Jakarta (Indonesia), *The 4th International Conference on Computers in Urban Planning and Urban Management*, Melbourne, Australia.

Tamin, O.Z. (1995c) An Integrated Public Transport System for Bandung (Indonesia), *1st Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, **1**(2), 509–528, Manila, Philippines.

Tamin, O.Z. (1995d) Public Transport Planning Method for Bandung (Indonesia), *1st Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, **1**(2), 573–588, Manila, Philippines.

Tamin, O.Z. (1995e) Public Transport Strategy for Alleviating Traffic Congestion: A Case Study in Bandung (Indonesia), *The City Trans Asia 1995 Conference*, Singapore.

Tamin, O.Z. (1995f) Effects of Becaks at Signalised Intersection: A Case Study in Indonesia, *Proceeding of the 7th World Conference on Transport Research*, Sydney, Australia.

Tamin, O.Z. (1995g) The Analysis of Route Choice Between Toll and Alternative Road Using Diversion Curve Model: A Case Study in Jakarta (Indonesia), *Proceeding of the 7th World Conference on Transport Research*, Sydney, Australia.

Tamin, O.Z. (1995h) Peta Transportasi Perkotaan di DKI–Jakarta dan Alternatif Pemecahan Masalahnya, *Seminar Sistem Angkutan Metropolitan Menjelang Tahun 2005*, Jakarta.

Tamin, O.Z. (1995i) Model Perencanaan Penentuan Rute Angkutan Umum: Studi Kasus di Kota Bandung, *Seminar Nasional '75 Tahun Perkembangan Rekayasa Sipil di Indonesia'*, Institut Teknologi Bandung, Bandung.

Tamin, O.Z. (1995j) Alternatif Pemecahan Masalah Transportasi Perkotaan di Negara Sedang Berkembang Pada Abad 21, *Seminar Transportasi Kota di Negara Sedang Berkembang Pada Abad 21 (Masalah dan Pemecahannya)*, Universitas Atma Jaya, Yogyakarta.

Tamin, O.Z. (1995k) Peran UULAJ Nomor 14 Tahun 1992 dan Peraturan Pelaksanaannya Dalam Pemecahan Masalah Transportasi Perkotaan, *Seminar Peran Transportasi Sebagai Urat Nadi Pembangunan Nasional*, Cikarang.

Tamin, O.Z. *et al* (1995) Metoda Evaluasi Jumlah Armada dan Tarif Angkutan Umum: Studi Kasus di DKI–Jakarta, *Seminar Nasional '75 Tahun Perkembangan Rekayasa Sipil di Indonesia'*, Institut Teknologi Bandung, Bandung.

Tamin, O.Z. dan Sulaksono, S. (1995) Penyusunan Perencanaan Teknis Analisis Dampak Lalulintas Kawasan Pengembangan, *Seminar Hasil Penelitian LP–ITB Dengan Pemda DKI–Jakarta*, Institut Teknologi Bandung, Bandung.

Tamin, O.Z. dan Rahman, H. (1995) Metoda Pendekatan Kuantitatif Sebagai Dasar Evaluasi Pembangunan Jaringan Jalan: Studi Kasus di Wilayah DKI–Jakarta, *Konferensi Regional Teknik Jalan ke–4*, Padang.

Tamin, O.Z. (1996a) Integrated Intermodal Public Transport Network for Bandung (Indonesia), *Australasian Transport Research Forum Conference*, Auckland, New Zealand.

Tamin, O.Z. (1996b) Simplified Public Transport Route Planning Method: A Study Case in Bandung (Indonesia), *Urban Transport Conference*, Barcelona, Spain.

Tamin, O.Z. (1996c) Application of Transport Demand Models for Inter–Regional Vehicle Movements in West Java (Indonesia), *Asia–Pacific IRF Regional Meeting*, Taiwan.

Tamin, O.Z. (1996d) Route Choice Analysis Using Diversion Curve Model: A Case Study on Toll Road in Jakarta (Indonesia), *Asia–Pacific IRF Regional Meeting*, Taiwan.

Tamin, O.Z. (1996e) Speed–Volume Relationships in Congested Roads in Bandung (Indonesia), *International Conference on Urban Engineering in Asian Cities in the 21st Century*, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.

Tamin, O.Z. (1996f) An Integrated Road Transport Network System for Bandung (Indonesia), *The 14th Conference of Asean Federation of Engineering Organizations*, Malacca, Malaysia.

Tamin, O.Z. (1996g) Beberapa Alternatif Pemecahan Permasalahan Transportasi Perkotaan Di Kotamadya Bandung, *Seminar Sistem dan Moda Transportasi Perkotaan Jurusan Sipil*, Fakultas Teknik Universitas Katolik Parahyangan, Bandung.

Tamin, O.Z. (1996h) Peran Sistem Transportasi Antar Moda Dalam Menunjang IMS–GT Dan IMT–GT Di Propinsi Sumatera Barat, *Seminar Sehari Transportasi*, Jurusan Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang.

Tamin, O.Z. (1996i) Permasalahan Transportasi Perkotaan Dan Alternatif Pemecahannya, *Serial Diskusi Arsitektur dan Perkotaan (SDAP)*, Jurusan Arsitektur dan Perkotaan, Universitas Katolik Soegijapranata, Semarang.

Tamin, O.Z. (1997a) Inter-Urban Traffic Demand Forecasting for Java (Indonesia), *XIIIth International Road Federation World Conference*, Toronto, Canada.

Tamin, O.Z. (1997b) Simplified Public Transport Route Planning Method: A Case Study in Bandung (Indonesia), *Proceeding of the XIIIth International Road Federation World Conference*, Toronto, Canada.

Tamin, O.Z. (1997c) Public Transport Demand Estimation by Calibrating a Trip Distribution–Mode Choice (TDMC) Model From Passenger Counts: A Case Study in Bandung*, Indonesia, Journal of Advanced Transportation in Asia–Pacific Countries*, **31**(1), Canada.

Tamin, O.Z. (1997d) An Integrated Road Transport Network System for Bandung (Indonesia), *2nd Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, **2**(3), 675–690, Seoul, Korea.

Tamin, O.Z. (1997e) Application of Transport Demand Models for Inter-Regional Vehicle Movements in West Java (Indonesia), *2nd Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, **2**(3), 903–916, Seoul, Korea.

Tamin, O.Z. (1997f) Public Transport De5mand Estimation by Calibrating a Combined Trip Distribution-Modal Choice from Passenger Counts: A Case Study in Bandung (Indonesia), *2nd Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, **2**(3), 949–962, Seoul, Korea.

Tamin, O.Z. (1997g**)** Peran Prasarana Jaringan Dalam Pertumbuhan Daerah Perkotaan Dan Manfaatnya Dalam Pemecahan Masalah Transportasi Perkotaan, *Seminar Tantangan Urbanisasi (Transformasi Spasial dan Sosio-Kultural)*, Pusat Studi Perkotaan, Universitas Katolik Soegijapranata, Semarang.

Tamin, O.Z. (1997h**)** Perencanaan dan Pemodelan Transportasi, *Edisi I, Penerbit ITB*, Bandung.

Tamin, O.Z. (1997i**)** Upaya-Upaya Untuk Mengatasi Masalah Transportasi Perkotaan, *Majalah Ilmiah Analisis Sistem*, Nomor 9, Tahun IV, 33–44.

Tamin, O.Z. and Lazuardi, S. (1997) Penentuan Besaran Tingkat Bangkitan Lalulintas (*Trip Generation Rate*) Dengan Metoda Analisa Regresi: Studi Kasus Perumahan Antapani, Bandung, *Laporan Akhir Penelitian OPF*, Lembaga Penelitian, Institut Teknologi Bandung.

Tamin, O.Z. dan Frazila, R.B. (1997) Penerapan Konsep Interaksi Tata Guna Lahan–Sistem Transportasi Dalam Perencanaan Sistem Jaringan Transportasi, *Jurnal Perencanaan Wilayah dan Kota*, **8**(3), 34–48.

Tamin, O.Z. *et al* (1997) Evaluasi Kinerja Lalulintas di Jalan Tol Akibat Hambatan Dengan Metoda Gelombang Kejut (Shock Wave), *Konferensi Regional Teknik Jalan ke–5*, Yogyakarta.

Tamin, O.Z. *et al* (1997) Penerapan Konsep Interaksi Tata Guna Lahan–Sistem Transportasi Dalam Perencanaan Sistem Jaringan Transportasi, *Konferensi Regional Teknik Jalan ke–5*, Yogyakarta.

Tamin, O.Z., Soedirdjo, T.L. dan Utomo, H.B. (1997) Evaluasi Kinerja Lalulintas di Jalan Tol Akibat Hambatan Dengan Metoda Gelombang Kejut (*Shock Wave*), *Jurnal Teknik Sipil*, Institut Teknologi Bandung, **4**(3), 142–159.

Tamin, O.Z. (1998a**)** Peranan Sistem Transportasi Kereta Api di Propinsi Sumatera Barat, *Seminar Sehari Kereta Api, Fakultas Teknik*, *Universitas Andalas*, Padang.

Tamin, O.Z. (1998b**)** Pemodelan Optimasi Jumlah Armada dan Tarif Angkutan Kota di Kotamadya Bandung, *Laporan Akhir Penelitian OPF*, No 18685097, Lembaga Penelitian, Institut Teknologi Bandung.

Tamin, O.Z. (1998c**)** Pengembangan Estimator Inferensi Bayes Dalam Estimasi Model Kebutuhan Transportasi, *Laboratorium Rekayasa Lalulintas*, Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Bandung.

Tamin, O.Z. (1998d**)** Usulan Alternatif Pemecahan Masalah Transportasi Perkotaan di Kotamadya Bandung, *Buku Visi dan Misi Metropolitan Bandung 2020*, 247–270, Pemerintah Daerah Kotamadya Dati II Bandung.

Tamin, O.Z. (1998e**)** Beberapa Usulan Pemikiran Dalam Usaha Peningkatan Kinerja Jurusan Teknik Sipil Universitas Tarumanagara, *Diskusi Panel Evaluasi Kurikulum dan Pengembangan Kemampuan Dosen*, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jakarta.

Tamin, O.Z. *et al* (1998) Pengaruh Pembangunan Jembatan Layang Paspati Terhadap Kinerja Jaringan Jalan di Sekitarnya, *Laporan Akhir Penelitian,* LPM-ITB, Bandung.

Tamin, O.Z., Hidayat, H., Sjafruddin, A. (1998) Konsep Pengembangan Model Estimasi Matriks Asal–Tujuan Dinamis Dengan Memanfaatkan Data ATCS, *Prosiding Simposium I Forum Studi Transportasi Perguruan Tinggi (FSTPT)*, Institut Teknologi Bandung, Bandung.

Tamin, O.Z. dan Nahdalina (1998) Analisis Dampak Lalulintas (Andall), *Jurnal Perencanaan Wilayah dan Kota*, Institut Teknologi Bandung, **9**(3), 22–38.

Tamin, O.Z., Pribadi, K.S., Tamin, R.Z. (1998) The Role of Kabupaten/Local Road Network in Promoting the Regional Economic Development in Indonesia, *ILO–AIT Regional Workshop on Participatory Framework for Planning Rural Road Networks, Construction, and Maintenance*, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.

Tamin, O.Z. (1999a) Konsep Manajemen Kebutuhan Transportasi (MKT) Sebagai Alternatif Pemecahan Masalah Transportasi Perkotaan di DKI-Jakarta, *Jurnal Perencanaan Wilayah dan Kota*, Institut Teknologi Bandung, **10**(1), 10–22.

Tamin, O.Z. (1999b) Konsep Pemanfaatan Data Arus Lalulintas Untuk Menghasilkan Matriks Asal-Tujuan Nasional dan Potensi Penggunaannya Dalam Pengembangan Sistem Jaringan Jalan, *Konferensi Regional Teknik Jalan ke*–6, Pekan Baru, Riau.

Tamin, O.Z. (1999c) Alternatif Pemecahan Masalah Transportasi Perkotaan Melalui Pendekatan Manajemen dan Rekayasa Lalulintas, *Seminar Regional Manajemen dan Rekayasa Lalulintas di Propinsi Sumatera Barat,* Dinas Lalu Lintas Angkutan Jalan (DLLAJ) Dati I Propinsi Sumatera Barat, Padang.

Tamin, O.Z. (1999d) Program Kerja 'Forum Studi Transportasi Antar Perguruan Tinggi (FSTPT) 1998–2000', *Workshop on Transport Research,* FSTPT, Bogor.

Tamin, O.Z. (1999e) Pemanfaatan Data ATCS (Area Traffic Control System) Dalam Penentuan Matriks-Asal-Tujuan (MAT) Dinamis dan Berwaktu-Nyata (Real Time), *Seminar 'Kebijakan Sistem Transportasi Perkotaan',* Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Kampus UI, Depok.

Tamin, O.Z. *et al* (1999a) Dynamic Origin-Destination (O-D) Matrices Estimation From Real Time Traffic Count Information, *GraduateTeam Research Grant, Batch IV, URGE, Laporan Akhir Tahap I,* LP-ITB, Bandung.

Tamin, O.Z., Dalimunthe, L.H., Irawan, F. (1999) Dampak Resolusi Sistem Jaringan Pada Pemilihan Rute dan Kinerja Jaringan Jalan: Studi Kasus di Kotamadya/Kabupaten Bandung, *Seminar FT-UI 'Quality in Research',* Kampus UI, Depok.

Tamin, O.Z., Frazila, R.B., Prahara, E. (1999) Kajian Model Bangkitan dan Tarikan Lalu Lintas Dengan Metoda Analisis Regresi Studi Kasus di Wilayah Bandung Raya, *Jurnal Teknik Sipil*, Universitas Tarumanagara, No 2, Tahun V, Juli 1999, 265–288.

Tamin, O.Z., Hidayat, H., Sjafruddin, A. (1999) Dynamic Origin–Destination (OD) Matrices Estimation From Real Time Traffic Count Information, *The 3rd Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, **3**(6), 37–52.

Tamin, O.Z., Kusumawati, A., Arismunandar, A. (1999) Optimasi Jumlah Armada Angkutan Umum Dengan Metoda Pertukaran Trayek: Studi Kasus di Wilayah

DKI-Jakarta, *Warta Penelitian,* Balitbang Perhubungan, No 3, Tahun XI, Juni 1999, 4–20.

Tamin, O.Z., Lubis, H.A.S., Dalimunthe, L.H., Irawan, F. (1999) Pengaruh Tingkat Resolusi Sistem Jaringan Pada Pembebanan Lalulintas dan Kinerja Jaringan Jalan di Kotamadya/Kabupaten Bandung, *akan diterbitkan pada Jurnal Teknik Sipil*, Institut Teknologi Bandung.

Tamin, O.Z. dan Poernomosidhi, I.F. (1999) Sistem Transportasi Perkotaan Kotamadya Bandung, *Diskusi Panel Permasalahan Jalan Arteri Soekarno–Hatta,* HPJI DPD–Jawa Barat, Bandung.

Tamin, O.Z., Poernomosidhi, I.F., Anindito, W. (1999) Sistem Transportasi Perkotaan Terpadu di Wilayah Bandung Raya, *akan diterbitkan pada Jurnal Puslitbang Jalan*, Balitbang PU.

Tamin, O.Z., Prasetyo, L.B.B., Anindito, W. (1999) Pengaruh Pembangunan Jembatan Layang Paspati Terhadap Kinerja Jaringan Jalan di Sekitarnya, *akan diterbitkan pada Jurnal Puslitbang Jalan*, Balitbang PU.

Tamin, O.Z., Prasetyo, L.B.B., Anindito, W. (1999) Pengaruh Pembangunan Jembatan Layang Paspati Terhadap Kinerja Jaringan Jalan di Sekitarnya, *Workshop 'Penelitian Masalah Transportasi di Kotamadya Dati II Bandung,* PPTK dan LPM-ITB, Bandung.

Tamin, O.Z. dan Rahman, H. (1999) Tantangan, Hambatan, serta Peran Konsultan Manajemen Teknik Pelaksana PDM-DKE di Kotamadya Bandung, *Lokakarya 'Model Pemberdayaan Masyarakat Dalam Program Jaring Pengaman Sosial (JPS) Dalam Menghadapi Krisis Ekonomi di Propinsi Jawa Barat,* Bappeda Dati II Kotamadya Bandung, Bandung.

Tamin, O.Z., Rahman, H., Frazila, R.B. (1999) Kajian Kelayakan Jalur Lintas Selatan di Propinsi Jawa Timur, *akan diterbitkan pada Jurnal Teknik Sipil*, Universitas Tarumanagara.

Tamin, O.Z. dan Sjafruddin, A. (1999) Konsep Pemanfaatan Data Arus Lalulintas Untuk Menghasilkan Matriks Asal-Tujuan Nasional dan Potensi Penggunaannya Dalam Pengembangan Sistem Jaringan Jalan, *Prosiding Simposium II,* FSTPT, Institut Teknologi 10 November Surabaya, Surabaya, Indonesia.

Tamin, O.Z. and Soedirjo, T.L. (1999) Traffic Performance Evaluation in Toll Road Using Shock Wave Method, *Proceedings of the 3rd Conference of Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Taipei, Taiwan.

Tamin, O.Z., Soedirdjo, T.L., Utomo, H.B. (1999) Evaluasi Kinerja Persimpangan Berlampu Lalulintas Dengan Metode Gelombang Kejut (*Shock Wave*), *Jurnal Teknik Sipil*, Universitas Tarumanagara, No 1, Tahun V, 31–54.

Tamin, O.Z., Soedirdjo, T.L., Hidayat, H., Kusumawati, A. (1999) Pengaruh Kegiatan Perparkiran di Badan Jalan (On-Street Parking) Terhadap Kinerja Ruas Jalan: Studi Kasus di Wilayah DKI-Jakarta, *Jurnal Transportasi*, Forum Studi Transportasi Antar Perguruan Tinggi (FSTPT), No 1, Tahun I, Juni 1999, 1–13.

Tamin, O.Z., Rahman, H., Kusumawati, A., Munandar, A.S., Setiadji, B.H. (1999) Evaluasi Tarif Angkutan Umum dan Analisis 'Ability to Pay' (ATP) dan 'Willingness to Pay' (WTP) di DKI-Jakarta, *Jurnal Transportasi*, Forum Studi Transportasi Antar Perguruan Tinggi (FSTPT), No 2, Tahun I, Desember 1999, 121–135.

Tamin, O.Z., Rahman, H., Kusumawati, A., Munandar, A.S., Setiadji, B.H. (1999) Evaluasi Tarif Angkutan Umum dan Analisis 'Ability to Pay' (ATP) dan 'Willingness to Pay' (WTP) di DKI-Jakarta, Diskusi 'Evaluasi Tarif Angkutan Umum', Yayasan Lembaga Konsumen Indonesia, 22 Desember 1999.

Tamin, O.Z. (2000) The Development of Concept to Obtain the Dynamic National O-D Matrix Using Real Time Traffic Count Data (IRMS), *to be presented at the 10th Road Engineering Association of Asia & Australia (REAAA) International Conference*, Tokyo, Japan.

Tamin, O.Z. *et al* (2000) Dynamic Origin-Destination (OD) Matrices Estimation From Real Time Traffic Count Information, *Laporan Tahap I,* Graduate Team Research Grant, Batch IV, University Research for Graduate Education (URGE) project.

Tamin, O.Z., Hidayat, H., Anindito, W. (2000) The Impact of Intersection Delay on Route Choice Behaviour, *to be presented at the 2000-International Conference on Traffic and Transport Psychology*, Bern, Switzerland.

Tamin, O.Z., Santoso, I., Susilo, Y.O. (2000) The Development of Maximum-Entropy (ME) Estimator for Calibrating Transport Demand Models Based on Link Volume Information, *to be presented at the 2nd Asia Pacific Conference & Exhibition on Transportation and Environment*, Beijing, China.

Tamin, O.Z., Sjafruddin, A., Hidayat, H. (2000) Dynamic O-D Matrices Estimation From Real Time Traffic Count Information, *to be presented at the 2nd Asia Pacific Conference & Exhibition on Transportation and Environment*, Beijing, China.

Tamin, O.Z., Sjafruddin, A., Okita, I.R. (2000) Impact of Resolution of Zoning System and Road Network Definition on Route Choice and Road Network Performance: A Case Study in Bandung, *to be presented at the 2000-International Conference on Traffic and Transport Psychology*, Bern, Switzerland.

Tamin, O.Z., Soedirjo, T.L., Soegiono, R. (2000) The Impact of Location and Number of Traffic Counts in the Accuracy of O-D Matrices Estimated From Traffic Counts: A Case Study in Bandung, *to be presented at the ITE-2000 International Conference*, Irvine, California, USA.

Tardiff, T.J. (1979) Specification Analysis for Quantal Choice Models, *Transportation Science*, **13**(3), 179–190.

Taylor, M.A.P. and Young, W. (1988) *Traffic Analysis: New Technology and New Solution*, Melbourne, Australia, Hargreen Publishing Co.

Thomas, R.W. and Huggett, R.J. (1980) *Modelling in Geography*, Harper and Row Ltd, London.

Trisna, D., Tamin, O.Z., Karsaman, R.H. (1999) Aplikasi Metoda Analisis Multi Kriteria Dalam Pengambilan Keputusan Investasi Pengambilan Jalan Tol Dalam Kota, *Prosiding Simposium II Forum Studi Transportasi Antar Perguruan Tinggi (FSTPT)*, Institut Teknologi 10 November Surabaya, Surabaya.

Turnquist, M. and Gur, Y. (1979) Estimation of Trip Tables From Observed Link Volumes, *Transportation Research Record*, **730**, 1–6.

Van Der Zijpp, N.J. (1996a) Dynamic OD Matrix Estimation From Combined Data, *Transportation Modelling for Tomorrow*.

Van Der Zijpp, N.J. (1996b) A Bayesian Framework for Dynamic Origin-Destination Estimation on Motorway Networks, *PhD Dissertation*, Faculty of Civil Engineering, Delft University of Technology.

Van Der Zijpp, N.J. and De Romph, E. (1996) A Dynamic Traffic Forecasting Application on the Amsterdam Beltways, *Proceeding of the 2nd DRIVE–II on Short Term Traffic Forecasting*.

Van Vliet, D. (1976) Road Assignment I, II and III, *Transportation Research*, **10**(3), 137–157.

Van Vliet, D. (1977) D'Esopo: A Forgotten Tree-Building Algorithm, *Traffic Engineering and Control*, **18**(7/8), 372–375.

Van Vliet, D. (1978) Improved Shortest Path Algorithms for Transport Networks, *Transportation Research*, **12**(1), 7–20.

Van Vliet, D. (1979) The Common Man's Guide to the Theory of Equilibrium Assignment, *Technical Note* No 13, Institute for Transport Studies, Leeds University.

Van Vliet, D. and Dow, P.D. (1979) Capacity Restrained Road Assignment, *Traffic Engineering and Control*, **20**(6), 226–235.

Van Vliet, D. and Watling, D. (1991) Elastic Assignment in SATURN: the SATEASY Algorithm, *Institute for Transport Studies*, Leeds.

Van Vliet, D. and Willumsen, L.G. (1981) Validation of the ME2 Model for Estimating Trip Matrices From Traffic Counts, *Proceedings of the 8th International Symposium on Transportation and Traffic Theory, Toronto*, 640–655.

Van Zuylen, H.J. (1978) A Method to Estimate a Trip Matrix From Traffic Volume Counts, *Proceedings of the 6th PTRC Summer Annual Meeting*, University of Warwick.

Van Zuylen, H.J. (1979) The Estimation of Turning Flows on a Junction, *Traffic Engineering and Control*, **20**(11), 539–541.

Van Zuylen, H.J. (1981) Some Improvements in the Estimation of An OD Matrix From Traffic Counts, *Proceeding of the 8th International Symposium on Transportation and Traffic Theory*, 656–671, Toronto.

Van Zuylen, H.J. and Branston, D.M. (1982) Consistent Link Flow Estimation From Counts, *Transportation Research*, **16B**(6), 473–476.

Van Zuylen and Willumsen, L.G. (1980) The Most Likely Trip Matrix Estimated From Traffic Counts, *Transportation Research*, **14B**(3), 281–293.

Wahyudi, W., Supangkat, S.H., Tamin, O.Z. (1999) Komunikasi Data Real Time Dalam Pembentukan Matriks-Asal-Tujuan (Studi Kasus di Kotamadya Bandung), *Prosiding Simposium II Forum Studi Transportasi Antar Perguruan Tinggi (FSTPT)*, Institut Teknologi 10 November Surabaya, Surabaya.

Wansbeek, T.J. (1977) Least Squares Estimation of Trip Distribution Parameters: A Note, *Transportation Research*, **11**, 429–431.

Wardrop, J.G. (1952) Some Theoretical Aspects of Road Traffic Research, *Proceedings of the Institute of Civil Engineering*, **II**(1), 325–378.

Warpani, S. (1990) *Merencanakan Sistem Perangkutan*, Penerbit ITB, Bandung.

Watling, D. (1993) The Implementation of Elastic Assignment Models, *Transport Research Laboratory*, UK.

Wells, G.R. (1975) *Comprehensive Transport Planning*, London, Charles Griffin.

Wells, G.R. (1979) *Traffic Engineering: An Introduction*, Second Edition, Charles Griffin & Co Ltd, High Wycombe, Bucks.

Westermand, M. (1995) Real Time Traffic Data Collection for Transportation Telematics, *PhD Dissertation*, Transportation Planning and Traffic Engineering Section, Delft University of Technology.

Whiting, P.D. and Hillier, J.A. (1958) A Method for Finding the Shortest Route Through a Road Network, *RRL Research Note* 3337, London, Road Research Laboratory.

Wildermuth, B.R. *et al* (1972) Effect of Zone Size on Traffic Assignment and Trip Distribution, *Highway Research Record*, **392**, 58–75.

Williams, H.C.W.L. (1977) On the Formation of Travel Demand Models and Economic Evaluation Measures of User Benefit, *Environment and Planning*, **9A**(3), 285–344.

Williams, H.C.W.L. and Ortuzar, J.D. (1982a) Behavioural Theories of Dispersion and the Misspecification of Travel Demand Models, *Transportation Research*, **16B**(3), 167–219.

Williams, H.C.W.L. and Ortuzar, J.D. (1982b) Travel Demand and Response Analysis–Some Integrating Themes, *Transportation Research*, **16A**(5/6), 345–362.

Williams, I. (1975) A Comparison of Some Calibration Techniques for Doubly-Constrained Models With an Exponential Cost Function, *Transportation Research*, **10**(2), 101–104.

Wills, M.J. (1978) Linear and Non-Linear Estimation of the Matrix, *PhD Thesis*, Department of Geography, University of British Columbia.

Wills, M.J. (1986) A Flexible Gravity-Opportunities Model for Trip Distribution, *Transportation Research*, **20B**(2), 89–111.

Willumsen, L.G. (1978a) Estimation of An OD Matrix From Traffic Counts: A Review, *Working Paper No. 99,* Institute for Transport Studies, University of Leeds.

Willumsen, L.G. (1978b) OD Matrices From Network Data: A Comparison of Alternative Methods for Their Estimation, *Proceedings of the 6th PTRC Summer Annual Meeting*, University of Warwick.

Willumsen, L.G. (1981a) Simplified Transport Models Based on Traffic Counts, *Transportation*, **10**(3), 257–278.

Willumsen, L.G. (1981b) An Entropy Maximising Model for Estimating Trip Matrices From Traffic Counts, *PhD Thesis*, Department of Civil Engineering, University of Leeds.

Willumsen, L.G. (1982) Estimation of Trip Matrices From Volume Counts: Validation of a Model Under Congested Conditions, *Proceedings of the 10th PTRC Summer Annual Meeting*, University of Warwick.

Willumsen, L.G. (1984a) Writing Good FORTRAN Programs, *Note of Transport Studies Group*, University College London.

Willumsen, L.G. (1984b) Estimating Time Dependent Trip Matrices From Traffic Counts, *Proceeding of the 9th International Symposium on Transportation and Traffic Theory*, Delft, 397–411.

Willumsen, L.G. (1984c) Microcomputers and Their Software for Transport Planning in Developing Countries, *Proceedings of the 12th PTRC Summer Annual Meeting*, University of Brighton.

Willumsen, L.G. (1986a) Microcomputer Software for the Application of OR Techniques to Traffic and Transport, *Proceedings of the Conference of Operational Research Models on Microcomputers*, Lisbon.

Willumsen, L.G. (1986b) Estimation of OD Matrices From Traffic Counts, *Proceedings of the 14th PTRC Summer Annual Meeting*, University of Sussex.

Wilson, A.G. (1967) A Statistical Theory of a Spatial Distribution Models, *Transportation Research*, **1**(3), 253–269.

Wilson, A.G. (1970) *Entropy in Urban and Regional Modelling*, Pion Ltd, London.

Wilson, A.G. (1974) *Urban and Regional Models in Geography and Planning*, John Wiley & Sons Ltd., New York.

Wilson, A.G. (1981) *Geography and the Environment: Systems Analytical Methods*, John Wiley and Son Ltd.

Wilson, A.G. and Bennet, R.J. (1985) *Mathematical Methods in Human Geography and Planning*, John Wiley and Son Ltd.

Wilson, A.G. *et al* (1977) *Models of Cities and Regions: Theoretical and Empirical Developments*, John Wiley and Sons Ltd.

Wilson, A.G. *et al* (1981) *Optimization in Location and Transport Analysis*, John Wiley and Sons Ltd.

Wilson, A.G. and Kirkby, M.J. (1980) *Mathematics for Geographers and Planners*, Second Edition, Clarendom Press, Oxford.

Wilson, S.R. (1976) Statistical Notes on the Evaluation of Calibrated Gravity Models, *Transportation Research*, **10**(5), 343–345.

Wohl, M. and Martin, B.V. (1967) *Traffic System Analysis for Engineers and Planners*, McGraw Hill, New York.

Wong, D.S. (1980) Maximum Likelihood, Entropy Maximisation and the Geometric Programming Approaches to the Calibration of the Trip Distribution Models, *Transportation Research*, **15B**(5), 329–343.

Wonnacott, T.H. and Wonnacott, R.J. (1977) *Introductory Statistics for Bussiness and Economics*, John Wiley & Sons, New York.

Wotton, H.J. and Pick, G.W. (1967) A Model for Trips Generated by Households, *Journal of Transport Economics and Policy*, **1**, 137–153.

Wotton, H.J. *et al* (1981) Improved Direction Signs and the Benefits for Road Users, *Traffic Engineering and Control*, **22**(5), 264–268.

Penjurus

ACGR 180, 183, 186
ADB 519
Aksesibilitas 29, 31-37, 39-40, 43, 58-59, 72, 84-85, 115, 154, 156, 173-174, 176, 178, 185, 223, 349, 372-374, 491, 493, 495, 497, 499, 508, 528
  antarzona 181, 225
  peningkatan- 174
  perubahan- 174
  tidak ada perubahan pada- 174
  ukuran fisik- 36-37
Aksioma
  independence-of-irrelevant-alternatives (IIA) 220-221, 261, 299
  kemiripan 407
Algoritma 13, 65, 286, 290-293, 296, 304-305, 310, 312, 320-321, 357-359, 475
  analisis numerik 249
  baku 357
  berulang 310
  dasar 285, 367
  D'Esopo 286-287
  Dial 298, 310
  Dijkstra 286-287
  dua-kali-lewat 297
  Frank-Wolfe 311, 320-321, 323, 345-347, 349, 358-359
  Hitchcock 347
  KPS 325
  metode rata-rata 311
  Moore 286-287
  multiproporsional 384
  pembebanan keseimbangan 345
  pembebanan-berulang 326, 473
  pembentukan pohon 285
Alinyemen
  horizontal 108
  vertikal 108
All-or-nothing 284, 303, 310, 435, 438, 461
  -berulang 396
Alternatif pemecahan masalah 518-528
Analisis
  bangkitan pergerakan 124, 151
  Dampak Lalulintas (Andall) 527-528, 533-550
  Dampak Lalulintas BNI City 547
  Dampak Lalulintas Pondok Indah Mal 547
  Dampak Lalulintas Danayasa City 547
  interaksi sistem 31
  jaringan 334-341
  kategori 143, 146, 148, 152
  kebutuhan akan pergerakan 466-467
  kelembagaan 535
  kemiripan-maksimum 373
  kinerja jaringan jalan 479
  kinerja sistem transportasi 535
  klasifikasi ganda 149
  klasifikasi silang 143, 150
  kuadrat-terkecil-linear 373
  mengenai Dampak Lingkungan (Amdal) 534
  pembiayaan 535
  pemilihan rute 282
  potensi kawasan 498
  regresi 117, 130, 134, 143, 150, 152-153, 214, 257
  regresi linear 50, 119, 124, 143, 189-190, 246-248, 263, 265, 301, 352-355
  regresi-linear-berganda 119, 126-127
  residual 119
  ruas terpilih 287
  sistem jaringan 535
  sistem kegiatan 535
  sistem pergerakan 535
  uji kepekaan 267-269
  variansi 119
Analogi
  fisika 207, 209
  hukum gravitasi 176
Angkutan
  barang 112
  barang antarkota 472
  barang regional 254
  bus umum 441
  jalan baja 507
  jalan raya 507
  kota (angkot) 555
  massa yang terpadu 517
  pribadi 227, 441-442
  umum 428, 492
  umum *captive* 236
Antarmoda 509
Antarzona 373
Area
  Licensing Scheme (ALS) 531
  Traffic Control System (ATCS) 523
Arus
  bebas 54
  jenuh 45, 53-54, 69-70
  lalulintas 31
  lalulintas dinamis 40, 45-46, 58, 60, 303
  arus lalulintas rata-rata 335-341
  lalulintas statis 476, 478
  maksimum 275
ATCS (*Area Traffic Control System*) 371, 475-479
Atribut 271, 275
  alternatif 243
  biaya 253
  moda 251
  pelayanan transportasi 254
  pergerakan 250
  ruas jalan 278
  sektor industri 112
  sosial 152
  sosio-ekonomi 112, 115

sosio-ekonomi yang berbasis zona 123
zona tujuan 220
Automatic trafffic counters 484-490

Batch, proses 426
Bali 190, 469, 498
Bandung 1, 25, 39, 132, 195, 369, 472, 490, 523, 551, 553, 555
Kotamadya dan Kabupaten- 330-341, 443-460, 472
Bangda 29, 501
Bangkitan dan sebaran pergerakan 44
Bangkitan dan tarikan pergerakan 40-41, 84-85, 135, 372, 538
Bangkitan
barang dan kendaraan 133-134
lalulintas 42, 152, 546-548
penumpang 133-134
pergerakan 40, 44, 58-59, 71, 111-113, 116-117, 123-124, 130-132, 143, 145, 147-149, 152, 154
pergerakan berbasis rumah 185
pergerakan berbasis zona 118
Banyak-rute 294, 296
Bappeda 29, 109, 479-480, 485-490, 501, 516
Bappenas 29, 487, 501
Batas
administrasi daerah 91
alami 91
daerah kajian 89, 91-92, 108, 222
konvergen 420
kordon 428
marginal baris 388
marginal kolom 388
sensus 91
total biaya 207
zona 91-92, 466
Batasan
asal-tujuan 173
bangkitan dan tarikan pergerakan 166-167
baris 376
biaya 208
kapasitas 284
kapasitas mutlak 301
kolom 376
komputasi 374
lalulintas 8
makro 202, 417
model *gravity* 189
persamaan 177
waktu pergerakan untuk angkutan barang 531
-bangkitan 157
-kapasitas 313-314, 434, 461
-tarikan 157
Bayes
pendekatan- 187
pendekatan statistik- 386
teorema- 196
teori inferensi statistik- 386
Bentuk
eksponensial elastis 361-362
eksponensial tertutup 361-362
pangkat 361-362
program matematis 376
Biaya 235
aktual 236
-arus 272, 274, 303, 306
asuransi 97, 99, 288, 506
atas kerusakan barang 506
bahan bakar 503
ban 289
gabungan 34, 89, 96, 160, 227, 235, 239-240, 282, 285, 287-288
kecelakaan 288
konsumsi bahan bakar 97
konsumsi minyak pelumas 97
marginal 323
marginal perbaikan 105
marginal produksi 270
minimum 318
objektif 294
operasi kendaraan 96-99, 288-289
parkir 96
pemakaian ban 97-98
pembebanan keseimbangan-pengguna 347
pemeliharaan 97-98
pemeriksaan 506
pengepakan 506
penggunaan jalan 324
penyusutan 97, 99
pergerakan 160
pergerakan gabungan 239
perjalanan 288, 373
perjalanan antarzona 181, 281
perkiraan 236
persepsi minimum 295
persepsi rata-rata 327
rata-rata perjalanan 186-187, 276
ruas fiktif 346
rute optimal 322
rute tidak-optimal 322
servis pintu-ke-pintu 507
subjektif 294
tambahan 95
terminal 506
transfer 95, 507
transit 504-505, 507, 554
transportasi 271
(waktu) perjalanan antarzona 281
Bina Marga 29, 97, 479-480, 485-490, 501, 520, 526
Biro Pusat Statistik 109, 127
Botabek 492, 494, 516, 518, 554
Box-Cox
transformasi- 216-217, 435, 439
invers transformasi- 216
BPN 14
BPP 516
BPP Teknologi 495
Bregman,
metode keseimbangan- 173
metode penyeimbang- 178
Brillouin, ukuran informasi 385
Burrell 326, 435
metode- 436
teknik- 461
teknik stokastik- 436
Bus
terpandu 551
prioritas- 525

Captive 45
Car pooling 532

CATS (*Chicago Area Transportation Study*) 213
Cascade, metode 291, 297
Cekung 209
Celukan 109
Cembung 209, 218, 318
Ciri
  dasar perencanaan transportasi 13-20
  fasilitas moda transportasi 229
  kebutuhan akan transportasi 5-6
  kota atau zona 230
  pergerakan 229
  pergerakan spasial 15, 18-20
  pergerakan tidak-spasial 15-18
  permasalahan transportasi 5-9
  sistem jaringan transportasi 38
  sistem prasarana transportasi 7
  sistem transportasi 287
  sosio-ekonomi 374
CONTRAM 329

Daerah
  industri 41
  kajian 87-93, 221, 371, 428, 466, 477
  pedalaman 491
  penyangga 492
  perkotaan 490-491
  pusat bisnis (DPB) 548
  yang terpengaruh 538
Danayasa City 548
Darwin-Fohler, metode Mekanika-Statistik 209
Data
  agregat berbasis zona 142
  berbasis rumah tangga 230
  berbasis zona 112, 141, 258
  ketepatan- 104
  MAT parsial 200
  pangkalan- 366, 438
  parsial MAT 419
  prior 199
Davidson 48
  persamaan- 49
Daya tarik 169
DBase III 426
DCGR 180, 185-186, 189-190
Definisi 274, 406
  dalam pemodelan 12
  Manajemen Kebutuhan akan Transportasi (MKT) 529
  pusat zona 93, 223
  sistem zona 428, 431-432
Dengan perubahan-kecepatan-secara-perlahan 304
Dengan-batasan-bangkitan (PCGR) 180
Dengan-batasan-bangkitan-tarikan (PACGR) 180
Dengan-batasan-tarikan (ACGR) 180
Dengan-dua-batasan (DCGR) 157
Dengan-satu-batasan (SCGR) 157
Departemen
  Pekerjaan Umum (PU) 438, 480, 526
  Perhubungan (Dephub) 438, 479-480, 485-490, 526
  Perhubungan (Darat, Laut, Udara) 29, 501
  Perhubungan Darat 516
Derajat kebebasan 139
Deret Taylor 205, 321, 422
D'Esopo, algoritma 286-287
Detektor 525
Detroit 130, 132, 157, 435
  metode- 165, 170-171, 242
Detroit Metropolitan Area Traffic Study 170
Dial
  algoritma- 298, 310
  metode pembebanan- 296, 313
  modifikasi model- 299
Dijkstra, algoritma 286-287
Dimensi spasial (ruang) 159
Dinamis 22
  fenomena- 478
Dinas
  Lalulintas Angkutan Jalan (DLLAJ) 485-490, 511
  Lalulintas Angkutan Jalan Tingkat II 511
  Persampahan 526
  Pertamanan 526
  Tata Kota 14, 485-490, 526
  Pendapatan Daerah 14
Direktorat
  Cipta Karya 526
  Jendral Bina Marga 480
Diskret 149
Dispersi 435-436
Dispersi pemilihan moda 239
Divergen 421, 473
DKI-Jakarta 1-2, 18-19, 25, 35, 39, 67, 100, 132-133, 255, 371, 441-442, 468, 498-499, 515-516, 518-521, 523, 528, 532, 541, 553-554, 557
DLLAJ 29, 441, 479-480, 501-502, 516, 518, 526
  daerah Tingkat II 557-558
DPRD 515
DPU 516, 522
DTK 480, 516, 518
Dukungan 407-408
Dummy, ruas 94

Efek
  batasan kapasitas 285, 288, 324
  hambatan 214
  intervening 214
  IO 375
  kemacetan 289
  komposit 349
  stokastik 284-285, 314
  tidak-linear 141
Ekivalen, minimasi 203
Ekologi
  pengaruh- 258
  korelasi- 257
Ekonometrik 250
Eksponensial 349
  elastis 361
Eksternal
  -eksternal 92
  -internal 92
Ekstrapolasi 144, 152-153
Elastisitas 252, 355-356, 361
  kebutuhan 251
  kebutuhan terhadap waktu dan biaya perjalanan 251
  langsung 251, 262
  tidak- 273, 355, 357
  silang 262
Electronic Road Pricing (ERP) 531
EMME/2 426, 469

Entropi 207
-maksimum (EM) 207, 372, 385-386, 389, 478
memaksimumkan- 173
memaksimumkan ukuran- 173
Estimasi-Matriks-Entropi-Maksimum (EMEM) 157
Estimator kemiripan-maksimum 478
Evolusi MAT 479

Faksimili 10
Faktor
bangkitan 373
fungsi pembagi 297-298
hambatan 216
k 224-225
konversi 226, 476, 478, 487-490
koreksi 162, 487-490
koreksi akibat kekasaran jalan 97
koreksi akibat kelandaian 97
koreksi akibat kondisi arus lalulintas 97
koreksi arus jenuh 70
koreksi arus jenuh akibat ukuran kota (jumlah penduduk) 70
koreksi arus jenuh akibat adanya gangguan samping yang meliputi faktor tipe lingkungan jalan dan kendaraan tidak bermotor 70
koreksi arus jenuh akibat kelandaian jalan 70
koreksi arus jenuh akibat adanya kegiatan perparkiran dekat lengan persimpangan 70
koreksi gangguan samping 66
koreksi kapasitas 69
koreksi kapasitas akibat adanya tipe lingkungan jalan, gangguan samping, dan kendaraan tidak bermotor 69
koreksi kapasitas akibat pembagian arah 62-63
koreksi kapasitas akibat lebar jalan (FC_W) 63
koreksi kapasitas akibat gangguan samping 62-65
koreksi kapasitas akibat gangguan samping (FC_{SF}) untuk jalan yang mempunyai kereb 65
koreksi kapasitas akibat ukuran kota (jumlah penduduk) 62, 69
koreksi kapasitas akibat ukuran kota (FC_{CS}) 65-66
koreksi kapasitas akibat adanya pergerakan belok kiri 69-70
koreksi kapasitas akibat adanya pergerakan belok kanan 69-70
koreksi kapasitas akibat adanya arus lalulintas pada jalan minor 69
koreksi kapasitas arus bebas akibat lebar jalan 55
koreksi kapasitas jika ada pembatas median pada lengan persimpangan 69
koreksi kapasitas untuk lebar jalan 62
koreksi kapasitas untuk lebar lengan persimpangan 69
koreksi kecepatan arus bebas akibat gangguan samping (FV_{SF}) 54-56
koreksi kecepatan arus bebas akibat lebar jalan 54-55
koreksi kecepatan arus bebas akibat ukuran kota (FFV_{CS}) 54, 57
koreksi kecepatan arus bebas untuk jalan 4 lajur 57, 65
koreksi kecepatan arus bebas untuk jalan 6 lajur 57, 65
koreksi kecepatan arus bebas untuk kendaraan ringan 57
koreksi konsumsi minyak pelumas terhadap kondisi kekasaran permukaan 98
koreksi lebar jalan 66
koreksi pembagian arah 66
koreksi ukuran kota 66
kuantitatif 230
pengali Lagrange 381-383
penyeimbang (BF) 177, 184-185, 215, 367, 399, 430
penyesuai 430
pergeseran 353
pertumbuhan 116
proporsi sampel 194, 217-220
proporsional 215, 304
sampel acak 197, 226, 387, 412, 414
sampel seragam 412
Faktorial 199, 208
Fase hijau 525
Federal Highway Administration (FHA) 143
Fibonacci, metode 420-421
Ford dan Fulkerson, metode 293
Formula kuadrat-terkecil 401
Fortran-77 427
Fourier, prosedur transformasi 299
Fraksi 305
pembebanan seragam 306
pembebanan tidak seragam 306
seragam 306-308
tidak seragam 308
Fratar 157
metode- 165, 169-171
Frank-Wolfe
algoritma- 311, 320-323, 345-347, 349, 358-359
metode pembebanan keseimbangan- 346
teknik- 377
Fungsi 12, 83
biaya 356, 360, 400
biaya-arus 276, 278, 318
cembung 346
ciri sosio-ekonomi 374
dan turunan parsial 423
data sosio-ekonomi 373
eksponensial-negatif 178-179, 181, 186, 191, 195, 211, 349, 400, 436
entropi 202, 209, 381, 417
Gamma 199, 200
hambatan 37, 177-179, 181, 373
hambatan perjalanan 254
hambatan eksponensial-negatif 186, 188-189, 234
hambatan pangkat 189
hambatan Tanner 189
hipotesis 408
kebutuhan 348
kebutuhan inversi 344
kecenderungan 199
kemiripan 192-193, 196-198, 244, 249, 407, 412, 414
kemiripan sampel 244
kemungkinan 218
kepadatan peluang 191
kepadatan peluang gabungan 191, 193
kerapatan 196
kesempatan 216, 218
kesempatan-kumulatif 217
linear 188
logaritma natural 140, 244
logit 361

manfaat 301
model kebutuhan akan transportasi 373
monoton 202, 380, 417
pangkat 178, 191, 361
parameter 408
peluang gabungan posterior 198, 415
pemangkatan 195
pemisah 359
pemisah yang dinormalisasi 359
penjumlahan 244
perkalian 244, 250
permintaan pergerakan 357, 360-361
sebaran 196
sebaran gabungan posterior 197
sebaran logistik Gumbel 243
sebaran moda 254
sebaran parameter 198
sebaran peluang 196, 244
Tanner 178, 191, 195, 436-437
tidak-linear 188
tujuan 193, 198-200, 316-318, 320-321, 323, 343, 345-348, 357, 376, 382
Fungsi
tujuan gabungan 345
tujuan metode penaksiran entropi-maksimum (EM) 417
tujuan metode penaksiran IB 415
tujuan metode penaksiran IB dengan informasi awal 199-200
tujuan metode penaksiran IB tanpa informasi awal 198
tujuan metode penaksiran kemiripan-maksimum (KM) 195
tujuan metode penaksiran KM1 410
utilitas 258, 261, 349, 353
waktu 213
Furness 157, 178, 186
metode- 165, 171-173, 222, 434-435, 438
tiga dimensi 203

Galat 95, 100-101, 104, 114, 124, 145, 161, 166, 174, 278-279, 391, 431
dalam pengolahan data 225
dalam pengumpulan data 225
dalam penulisan informasi 225
dalam persamaan 226
distribusi- 122
faktor sampel 226
kalibrasi 226
keluaran 104
manusia 225
masukan 104, 328
mencatat 161
mengedit 226
mengidentifikasi kendaraan 225
pemodelan 222, 390
pengambilan sampel 226
pengelompokan 91, 103
pengetikan 226
pengukuran 101-102, 106, 124
perhitungan 102, 462
perluasan data survei 225
sampel 102, 135
spesifikasi 102-103, 105, 124, 226
statistik 174
survei 173
tambahan 327
teknis 161
transfer 103
Gangguan samping 67
Garis
kebutuhan akan transportasi 80
keinginan 43, 159
kordon 91
singgung 205
Garis-Garis Besar Haluan Negara (GBHN) 495
Tahun 1993 29, 479-480, 508
Gateway 468
Gauss-Jordan
metode eliminasi- 206
teknik eliminasi matriks- 402-403, 405, 411, 414, 416, 419, 423-425
Gelombang hijau 476
Geometrik, disain 108
Give-way lane 94
GO 440
GR 440
Grafik terarah 93
Grafis 478, 480
cara- 77-81
ukuran- 37
Gumbel
fungsi sebaran logistik- 243
simpangan baku- 261

Hambatan 217
antarzona 212
pergerakan 234
perjalanan 375
transportasi 177, 235, 287
transportasi intrazona 179
Hari kerja yang dipadatkan 531
Harvard 426
Heuristik, metode 273, 303
Hibah Bersaing 254
Hierarki
fungsi jalan 521, 552-553
jalan 94
keputusan perjalanan individu 242
pemilihan 242-243
Highway Capacity Manual 45-46
Hipotesis statistika 407
Hitchcock, algoritma 347
Hubungan
arus-kecepatan 94, 271-272, 274, 279-281, 295
arus-waktu tempuh 277, 301, 313
biaya-arus 95, 274-278, 305, 310, 316-319, 322, 377
kausal (timbal balik) 463, 495
matematis Biaya-Arus 304
Hukum
alam 175
fisika *Newton* 177, 179
gravitasi Newton 207, 399
gravity 72, 176
kemiripan 407
sosialisasi- 528
Hyman
metode- 187-188, 203
model modifikasi- 203

IHCM (*Indonesian Highway Capacity Manual*) 62, 66, 69-70, 279, 541
IID 243, 262
Indeks
  aksesibilitas 37-38
  industri 256
  kontribusi sektor industri 254
  Tingkat Pelayanan (ITP) 49-50, 53, 78, 542-543
Indikator 307, 310
  δ 322
  non-ruang 464
  ruang 465
  uji statistik 432-434, 456-460
Indonesia 490
  Bagian Timur 467
Industri 463, 467, 497, 502
Industrialisasi 2, 490
Inferensi
  Bayes 478
  -induktif 408
Informasi
  awal 415
  awal MAT 382-384, 386
  Matriks Asal-Tujuan (MAT) 475
  -minimum (IM) 385-386
  meminimumkan- 173, 385
  konsep- 378
Inlet/outlet (*gateways*) 92, 161, 222, 428, 466
Inpres 4 tahun 1985 505
Instrinsically
  linear 420
  non-linear 420
Instruksi
  Gubernur Daerah tingkat I 514-516
  Kepala Daerah (Gubernur) 514
  Presiden 515
Internal-internal 92
Internet 10, 476-477, 480-489
Intersep 118, 123-124, 129, 139, 247-248
  peranan- 121
Interval kepercayaan 218
Intramoda 509
Intrazona 92, 135, 222, 456-460
Inventarisasi
  fasilitas dan kebutuhan parkir 109
  kinerja angkutan umum 109
  prasarana jalan 108
  waktu tempuh 109
Invers 217
  transformasi Box-Cox 216
IRMS = *Integrated Road Management System* 479-480, 482-490
ITP 543-544

Jabotabek 492
Jalan
  antar kota 66
  arteri 95-96, 280, 362, 443-460
  arteri, kolektor, lokal 443-460, 463
  arteri primer 330-341
  arteri sekunder 330-341
  bebas hambatan 66, 280, 351
  bebas hambatan (tol) di dalam kota 520
  ciri pengguna- 229
  deskripsi jaringan- 441
  jaringan- 523
  kekasaran- 97
  kolektor primer 330-341
  kolektor sekunder 330-341
  lingkar, lingkar Bandung, lingkar luar 222, 280, 334, 521, 526
  lokal 330-341
  marka- 108
  penghubung baru (arteri) 521
  peningkatan kapasitas- 526
  perbaikan sistem lampu lalulintas dan sistem
  radial 521
  terobosan 521
  tol 280, 526
  tol Cikampek-Cirebon 352
  tol di dalam kota Bandung 362
  tol Grogol-Cawang-Priok 521
  tol Padaleunyi 334
  tol Soekarno-Hatta 334
Jalur
  khusus bus 523, 525
  lambat 108
  pengumpan 552
  SAUM 552
Jarak perjalanan 229
Jari-jari tikungan 108
Jaringan 25, 428, 431-432
  dasar 344
Jasa Marga 100
Jawa Barat 127, 129, 133, 468, 499, 600
  Dalam Angka 109
Jembatan penyeberangan 518, 521
JIUTR 100
JUDP (*Jakarta Urban Development Project*) 441
Jumlah
  penduduk 133-134
  pengulangan maksimum 312
  rumah tangga 151
  zona 88
Jurusan
  Teknik Sipil ITB 227, 254

Kabupaten
  Cianjur 331
  Garut 331
  Purwakarta 331
  Subang 331
  Sumedang 331
Kajian
  manajemen transportasi 25
  pengembangan sistem transportasi perkotaan 472
  strategis 88
  transportasi 25
Kalibrasi 11-13, 135
Kantor, pengaturan jam masuk 520
Kapasitas 8, 31, 45, 62, 69, 95, 271
  aktual 66
  dasar C_o 62, 66, 69
  jalan 77
  operasional 8
  persimpangan berlampu lalulintas 69
  praktis 277
  ruas jalan 62, 67, 367
  sisa persimpangan 67, 543-545

Karakteristik
individu 256
sosio-ekonomi 254
transportasi barang 255
Kasus
DKI-Jakarta 554-555
Kotamadya Bandung 555
K-tujuan-perjalanan 423-424
satu-tujuan-perjalanan 422
Kategori 232
rumah tangga 145
Kawasan
industri 22
Pembatasan Lalulintas (KPL) 512
pendidikan 135, 137
perkantoran 137
perumahan 22, 138
KBK Rekayasa Transportasi 67, 97, 108
Keadaan keseimbangan 271
Kebijakan
hari kerja tanpa angkutan pribadi 531
pengembangan sistem transportasi perkotaan 508-510
peningkatan pelayanan angkutan umum 532
peningkatan sistem prasarana transportasi 529
perparkiran 523-524, 538
rekayasa dan manajemen lalulintas 520
strategi pengembangan sistem jaringan jalan 503
transportasi 369
Kebutuhan 270
akan angkutan umum 441, 495, 517
akan jaringan jalan 466
akan parkir 524
akan pergerakan 9, 23, 163, 254, 466
akan sistem jaringan 164
akan transportasi 7, 25, 29, 150, 156-157, 270-271, 519-520, 528-529
tidak elastis 346
turunan 6, 113, 271
Kecamatan 443-460
Kecepatan 8
arus bebas dasar (FV_0) 54, 57, 95, 271, 275-277, 279
arus bebas dasar untuk kendaraan berat 57
arus bebas dasar untuk kendaraan ringan 54, 57
perjalanan rata-rata 540
rata-rata 337-341
sesaat 95
Kegiatan 25
perparkiran 67
Kelembagaan (KLG) 514, 556
Kelurahan 443-460
Kemacetan 493, 528
Kemiringan 123
garis regresi 247-248
Kemiripan 406, 408
maksimum 197
sampel multinomial 408-409
-maksimum (KM1 dan KM2) 195, 203, 399, 401, 429
Kemutakhiran 372
Kendaraan, pemilikan 115-116, 131, 145, 147-149, 151-152
Kepadatan
daerah permukiman 115-116, 131
pada kondisi macet total 279
peluang 408
peluang awal 386
peluang hasil pengolahan 386
penduduk 112, 230
perumahan 19
rumah tangga 131
Kepercayaan 405
Keputusan
Daerah 515
Dirjen 515
Gubernur 516
Menteri 515-516, 518
Presiden 515
Kerangka kerja
metode penaksiran KM1 410
optimasi 347
pemrograman-matematika 273
yang berbasis pemrograman-matematika 315
Kerangka
metode penaksiran kemiripan-maksimum jenis I (KM1) 409-411
metode penaksiran kemiripan-maksimum jenis II (KM2) 411-413
pemrograman matematis 209
Kereb 108
Keseimbangan 270, 461
optimum-pengguna murni 324
pengguna 366
-Pengguna (KP) 323
-Pengguna-Stokastik (KPS) 273, 284
-sosial (KS) 323
sistem transportasi 342-349
Wardrop 284
Kesempatan 212, 216
-antara 211-212, 214, 216-217, 220
-kumulatif 217, 219
Ketidakpastian dalam fungsi tujuan (ε) 359
Kinerja 440
ruas jalan 540-543
sistem jaringan 480
Kiss-and-ride 342
Klasifikasi Jaringan Jalan Perkotaan, Nomor: 10/BNKT/1991 540
Klasifikasi
pergerakan 114-115
silang 143-144, 150
Koefisien 12
determinasi (R^2) 118-120, 126-127, 136, 432-434, 452-460
korelasi 120, 128
peubah 259
peubah fiktif 141
regresi 118-119, 121, 126-128, 130, 132, 355
variasi 125
Kombinasi
cembung 216
model GR 441
Komite
eksekutif 24
pengarah teknis 24
perwakilan masyarakat 24
Komoditas
gabungan 439
lima- 440

Komputer
16 bit 427
8 bit 427
jinjing 10
portabel 425-426
pribadi 206
Kondisi
arus-bebas 48, 274, 305, 310, 312
dengan tindakan penanganan 471
keseimbangan 72, 270-271, 273, 305, 314-315, 320, 346
keseimbangan jaringan jalan 271-272
keseimbangan jaringan multimoda 272
keseimbangan sistem 272
keseimbangan-Wardrop 302-303, 307, 311, 315, 320-321, 330-341, 487-490
keseimbangan-pengguna 315
kesimbangan-sosial 324
optimum-sosial 324
pembebanan keseimbangan 376
pembebanan-berlebih 276
tanpa tindakan penanganan 470
Konsep
Asal dan Tujuan 114
batasan-kapasitas 273
biaya gabungan 96-100, 230, 278
biaya marginal 276
dasar peluang 57, 258, 397-398
entropi-maksimum 378
gravity 176, 389
informasi 378
kemungkinan 378
keseimbangan-Wardrop 270, 355
Keseimbangan-Sosial (KS) 273
Manajemen Kebutuhan akan Transportasi (MKT) 528-533
pembebanan keseimbangan 320
pembebanan-elastis 355
pemodelan 82-110
perencanaan transportasi 40, 60-61
perencanaan transportasi empat tahap 466
sistem transportasi integrasi antarmoda 13
utilitas 256
Konstanta 126-127, 176, 193, 195, 198, 406, 409
regresi 119
k 193
normalisasi 196, 198-199, 415
penjumlahan 407
perkalian 407
regresi (intersep) 118, 126, 130
Konsumsi
bahan bakar (KBB) 97
dasar minyak pelumas 98
minyak pelumas 97
Kontur 4
fungsi kemungkinan 376
Konvergen 178, 304, 306-307, 311, 321, 325, 421-422, 424, 473
konvergensi 184, 188, 205-206, 284, 303, 310, 317, 320, 322, 325-326, 359-360, 367, 461
Korelasi 121, 128
Kota
baru mandiri 520
kelayakan jalan tol dalam- 472
Reading (Ingris) 384
Ripon 431, 437-438
satelit 520
perencana- 31
Kotamadya Bandung 330-341, 362, 368, 371, 476-479, 499, 509-510, 513, 520-523, 551, 555
Kovariansi 384
Kriteria
kemiripan-maksimum 382
konvergensi 322, 359-360, 377, 382
KTB-Kendaraan Tidak Bermotor 532
KTL 430
KTTL 195, 419, 440, 474
KTTLB 419, 435, 440, 474
Kuadrat-terkecil-linear (KTL) 401
Kuadrat-terkecil-tidak-linear (KTTL) 401
Kuadrat-terkecil-umum-dengan-batasan (KTUDB) 375
kuadratis, cara interpolasi 203
kumulatif-kesempatan 221
Kurva
biaya-arus 276-278, 317-318, 345
diversi 231, 233-234, 349-351
diversi empiris 238
diversi model 235
diversi nisbah waktu tempuh 350
diversi waktu tempuh 350
isocost 252
kebutuhan 343-344
kecepatan-arus 274, 278
pembebanan-elastis 363
pemilihan moda 231, 252
sebaran 179

Laboratorium Rekayasa Lalulintas 227, 254
Lagrange
faktor pengali- 381-383
metode pengali- 317, 381, 383, 410
pengali- 208, 317, 380
persamaan- 207, 507
prosedur pengali- 377
teknik- 346
Lahan
lokasi parkir 539
intensitas tata guna- 43
Lajur Khusus Bus (LKB) 95, 512, 517
Lalulintas 58
internal 162
menerus 88, 92, 222
satu arah 472
pengaturan waktu lampu- 545
pengendalian- 108
standarisasi bangkitan dan tarikan- 134
Langsung 217, 250
-kuasi 250
LAPI-ITB 97
Laplace 405
Lebar bahu jalan efektif (W_S) 56
Lembaga Penelitian (LP) ITB 67
Level of Service = LOS 8
Lewat
-maju 298
-mundur 298
Linear 134
-eksponensial 134
korelasi- 119
-logaritmik 134

-pangkat 134
proses transformasi- 188
Lingkungan 528
pencemaran- 369
Logaritma
kemiripan 407
natural 198-200, 246, 415
jenis- 376
Logit 235, 238
-biner-nisbah 266
formulasi- 297
Lotus-123 426
Lowry, model 36, 70
LRT 330

Maher, model 386
Mainframe 425
Makroskopik 534
Manajemen
angkutan perkotaan 509
Kebutuhan akan Transportasi (MKT) 529
lalulintas 8, 26, 30, 156, 512
transportasi 523
Manual
Pelaksanaan 479, 481, 489-490
Teknis 447, 449, 489-490
Masalah
agregat 227
kurang-terspesifikasi 393-394
multikolinear 141
multi-proporsional 382
optimasi cembung 366
pembebanan keseimbangan-tidak-elastis 357
pembebanan-berlebih 355, 368
pemilihan moda 228
pemrograman-kuadrat 374
perhitungan arus lalulintas 392
transportasi di negara sedang berkembang 490, 558
transportasi perkotaan 503
MAT 156, 162-168, 170-176, 187, 195, 197, 200, 215, 224-225, 271-272, 278-284, 292, 295, 304-305, 310, 326-330, 330-341, 362, 370-372, 377, 383, 390, 398-399, 413-436, 439-444, 446-460, 477-478, 480-489
24-jam 224, 281
6-jam 224
berurut 376
dinamis dan waktu-nyata 477-478
jam sibuk pagi 224
ketelitian- 225
ketepatan- 226, 437
pada jam sibuk 281
parsial 200, 204, 371, 418, 436
regional 480-489
target 377
terurut 215
waktu-nyata 477-479, 482-490
Matriks
aksesibilitas 428
Asal-Tujuan (MAT) 142, 155, 157, 231, 330-341, 371
berdimensi dua 155, 157
biaya 215
klasifikasi silang 149
kovarian 257
parsial 174
pergerakan 155
permintaan perjalanan tetap 273
sebaran pergerakan 202, 381
variansi-kovariansi 375
MCA 150
Mclynn, model 251-252
Mean Absolute Error (MAE) 432-434
Mekanika statistika 207
Meso 207
Metode
langsung 225
stokastik 284
algoritma Powell 421
all-or-nothing 284, 293, 298, 313, 330-341, 395-396, 398, 436, 487-490
all-or-nothing-berulang 303-304
analisis dampak lalulintas (Andall) 535
analisis kategori 143, 147
analisis kuadrat-terkecil-tidak-linear 373
analisis langkah-demi-langkah tipe 1 dan 2 126, 129
analisis regresi-linear 122-123, 188-190
analisis regresi-linear-berganda 119, 121, 132
analogi 154, 157, 164-165, 173-175, 186
batasan-kapasitas 284, 384
Burrell 436, 487-490
Cascade 291, 297
coba-coba 127
dengan-batasan-bangkitan 166-167
dengan-batasan-tarikan 166-167
dengan-dua-batasan 165, 167-173
dengan-satu-batasan 165-167
Detroit 165, 170-171, 438
eliminasi Gauss-Jordan 206
entropi-maksimum 201, 209
faktor pertumbuhan 111, 117, 222, 434, 438
Fibonacci 420-421
Ford dan Fulkerson 293
foto udara 157, 163
Fratar 165, 169-171
Furness 165, 171-173, 222, 434-435, 438
heuristik 273, 303
Hyman 187-188, 203
IB 196
interaksi persimpangan 329-330
iterasi-orde-pertama 420-421
jaringan-dawai 293
kalibrasi hibrid 421-422
kalibrasi Newton-Raphson 205-206
kemiripan-maksimum (KM) 195
keseimbangan 284
keseimbangan Bregman 173
keseimbangan-dengan-batasan-kapasitas 395, 398
klasifikasi silang 143-144
konvensional 154, 157, 161-164, 225, 369, 390, 475-476, 480
KTL 402
kuadrat-terkecil (KT) 118, 124, 399
kuadrat-terkecil (KTTL dan KTTLB) 191, 195, 204, 438
kuantitatif 26
Lagrange 317
langkah-demi-langkah 135
langsung 154, 157, 161, 163
MAT 157
Mekanika-Statistik *Darwin-Fohler* 209

menggunakan bendera 157, 162-163, 369
menggunakan foto udara 369
mengikuti-mobil 157, 163
Monte Carlo 295
Newton 461
Newton-Raphson 205, 191, 194, 201, 203-204, 245, 402, 405, 411, 413, 416, 418- 424, 473
nilai rata-rata (*Darwin-Fohler*) 209
optimasi dua-tingkat 278
pemangkasan matriks pergerakan 156, 273, 356, 363-366, 368
pembebanan rute 395-396
pembebanan *all-or-nothing* 291, 321
pembebanan dengan matriks permintaan pergerakan elastis 273
pembebanan Dial 296, 313
pembebanan keseimbangan Frank-Wolfe 346
pembebanan keseimbangan-elastis 356-359, 361, 366
pembebanan matriks 312
pembebanan stokastik dengan batasan-kapasitas 310
pembebanan tidak-elastis 362, 365, 367
pembebanan-banyak-rute 313
pembebanan-berpeluang 313-314
pembebanan-bertahap 273, 304-309, 305-306, 308, 487-490
pembebanan-berulang 273, 310-312, 325, 473
pembebanan-elastis 368
pembebanan-keseimbangan 473
pembebanan-keseimbangan-pengguna 366
pembebanan-kuantal 273, 312-313
pemilihan rute 280-288
penaksiran 401-402, 420, 436, 440
penaksiran entropi-maksimum (EM) 201-203, 371, 402, 416-418
penaksiran Inferensi-Bayes (IB) 195, 198, 201, 371, 401, 414-416
penaksiran IB tanpa informasi awal 199
penaksiran IB untuk MAT parsial 200
penaksiran kemiripan-maksimum (KM) 191-195, 199, 204, 243-245, 248-249, 299, 371, 376, 401, 405-413, 418
penaksiran kemiripan-maksimum jenis I (KM1) 192, 409, 412
penaksiran kemiripan-maksimum jenis II (KM2) 194, 412-413
penaksiran KM untuk MAT parsial 204
penaksiran KT dan KTB 402
penaksiran KTL 403-404
penaksiran KTTL 191-192, 204, 402-3404, 418
penaksiran KTTL untuk MAT parsial 204
penaksiran KTTLB 418
penaksiran kuadrat-terkecil (KT) 51, 190-191, 371, 401, 402-405, 429
penaksiran kuadrat-terkecil-berbobot (KTB) 402
penaksiran kuadrat-terkecil-linear (KTL) 402-404, 473
penaksiran kuadrat-terkecil-tidak-linear (KTTL) 373, 402, 404-405
penaksiran MAT 371, 373
penaksiran regresi-linear 245-246
penaksiran terbaik 441
pencarian-berurutan (Simplex) 420
pencarian-kuadratis (Powell) 420
pencarian-langsung (Fibonacci) 420
pengali Lagrange 381, 383, 410
Pengamat Bergerak 288
pengulangan baku 320
penurunan-koordinat-siklus 388
penyeimbang Bregman 178
penyusunan mikro 207
perubahan-kecepatan-secara-perlahan 304
proporsional 284, 396
rata-rata 165, 168-171
rata-rata-berurutan 311
sederhana 187
seragam 165-166, 169-170
Simplex 421-422
sintetis 154, 157, 164, 174-176
stokastik 326, 328, 487-490
Survei Lalulintas dan Transportasi 108
survei menggunakan bendera 226
survei pengumpulan data 161
tanpa-batasan 165-166
tidak-konvensional 154, 157, 225, 370, 397
Tidak Langsung 154, 157, 161, 163-164, 225-226
tidak-proporsional 284, 396
Whiting dan Hillier 293
MicroTRIPS 426-427
Mikrokomputer 206
Mikroskopik 534
MINITRAMP 426-427
MKT 530
Mobilitas 29, 31-32, 34, 491, 493, 497, 499, 508, 528
Moda
abstrak 254-255
angkutan umum 227
fiktif 253
pertukaran- 505
spesifik 254
transportasi jalan raya 228, 550
transportasi kereta api 550
Model 3
kemiripan-maksimum 125
2-dimensi 83
abstrak 250
ACGR 183
agregat 176, 230, 257
all-or-nothing 272, 289-293, 296, 300, 306-307, 313
akhir 185
analisis coba-coba 130
analisis kategori 230
analisis langkah-demi langkah tipe 1 dan 2 128-129
analisis regresi 117-121, 125, 134, 232
analisis-regresi berbasis zona 124
arsitek 82
arus jenuh 69
ASRC 250
awal 184-185
bangkitan dan tarikan lalulintas 135, 270
bangkitan dan tarikan pergerakan berbasis rumah tangga 111
bangkitan dan tarikan pergerakan berbasis zona 111
bangkitan pergerakan 61, 111-112, 114, 122, 142, 153, 232, 250, 253, 262, 467
bangkitan pergerakan berbasis individu 151
banyak-rute 293, 296
batasan kapasitas 301, 303, 314
berbasis data rumah tangga 141, 151
berbasis individu 151

berbasis zona 121, 141
berdasarkan informasi arus lalulintas 157
Burrell 293-295
DCGR 184-185
dengan-batasan-bangkitan 158
dengan-batasan-tarikan 158
dengan-dua-batasan (DCGR) 158, 180
dengan-satu-batasan (SCGR) 158, 180
Dial 293, 296, 325
dinamis 85, 475
disagregat (DM) 257
DO 218
elastisitas-langsung 262
elastisitas-silang 262
EMEM 364, 366-367, 382-384
entropi-maksimum 125
EO 218
Estimasi Kebutuhan Transportasi (MEKT) 157
Estimasi-Matriks-Entropi-Maksimum (EMEM) 363, 378-384
faktor pertumbuhan 116-117, 186, 223
fisik 4, 82-83
Furness 439, 469
gravity jenis DCGR 349
Generalised Power 214
GO 218, 220-221, 375-376, 397, 405, 410, 413, 416, 433-434, 439-441, 451-460, 473-475
GR jenis dengan-dua-batasan (DCGR) 187, 400
grafis 4
gravity (GR) 37, 154, 157, 176, 185-190, 195-201, 207, 209-214, 218-225, 233-234, 250, 254, 372-378, 381, 399, 403, 416, 435-440
gravity berfungsi hambatan Tanner 189
gravity dengan-dua-batasan (DCGR) 223, 400
gravity dengan-satu-batasan (SCGR) 223, 349
gravity-opportunity (GO) 154, 157, 212-221, 223, 372, 397, 401, 404, 451-460
Informasi-Minimum (IM) 384-385
intervening-opportunity (IO) 154, 210, 212, 214, 375, 451-460
IO jenis eksponensial 376
jaringan 330-341
jenis *gravity* 474
jenis I 232-233
jenis II 232-233
jenis III 233-234
jenis IV 234-235
JICA 352
kebutuhan akan transportasi 90, 371, 378, 393, 431, 435
kebutuhan-langsung 227, 250-256, 372-375, 475
kemiripan-maksimum (KM) 387-389
keseimbangan 314, 326
Keseimbangan Pengguna Stokastik (KPS) 324
keseimbangan Wardrop 304
kepercayaan awal 386
klasik 143-149
koefisien regresi 130
kombinasi sebaran pergerakan dan pemilihan rute 378
kombinasi sebaran pergerakan-pemilihan moda (SPPM) 227, 238-240, 347, 370, 398-400
kompleksitas- 104
konstanta regresi 129
kontemporer 11
kontur ketinggian 83
konvensional 391
kuadrat-terkecil-linear-berbatas 373
kuantitatif 463
kurva diversi 273, 349-355
lahan 115-116
LM 261
LO 218
logit-biner 227-228, 242-243, 245, 248, 262
logit-biner standar 301
logit-biner-nisbah 245-248, 248, 262, 265-268
logit-biner-selisih 245-247, 248, 262, 265-268
logit-binomial 345, 347, 353-354
logit-multinomial (LM) 228, 261-262, 399-400
log-linear 383
Lowry 36, 70
maket 4, 82
maksimum 379
Maher 386
matematis 4, 84
Mclynn 251-252
miniatur 4, 83
minimum 367
moda spesifik 254
MODCOST 389
modifikasi Hyman 203
nisbah 245
nisbah-*t* 139
opportunity (OP) 157, 223, 435, 439-440, 474-475
opportunity jenis gabungan 218
opportunity jenis inversi (IO) 218
opportunity jenis langsung (DO) 217
opportunity jenis logaritma (LO) 218
opportunity jenis eksponensial (EO) 218
PCGR 182-183
peluang 258
pembebanan 274
pembebanan *all-or-nothing* 346
pembebanan rute 275
pembebanan-berulang 316, 487-490
pemilihan diskret 111, 113, 228, 256-261, 257, 259, 261
pemilihan moda 61, 227-269, 228, 230-231, 233, 236-237, 253, 270
pemilihan moda berhierarki 227, 248
pemilihan moda pertukaran-perjalanan 227, 230-231
pemilihan moda ujung-perjalanan 227, 230
pemilihan multimoda 227, 240-242
pemilihan rute 61, 270, 274, 282, 285, 288-289, 349, 368
penaksiran dengan kemiripan-maksimum 192
pendekatan matriks permintaan tetap 365
perencanaan transportasi 206, 228
Perencanaan Transportasi Empat Tahap (MPTEP) 40, 61, 164
perilaku-kebutuhan-akan-transportasi 300-301
perkotaan 36
peta 83
peta dan diagram 82
peubah bebas (atribut) 120, 228
peubah tidak bebas 120
regresi berbasis rumah tangga 135-139
regresi berbasis zona 121-122
regresi-linear 139, 143
regresi-perkalian 352-355

tambah utama 478
tingkat pertumbuhan 169
waktu 96, 99-100, 160, 288
waktu dasar 100
waktu tundaan 493

Nisbah
antara tarif tol/selisih waktu tempuh 353
biaya perjalanan 354
kemiripan 406-407
kesempatan fungsi 221
tingkat pelayanan 235
Volume per Kapasitas/NVK 46
waktu tempuh 234
Normalisasi 215-216, 221
Normalised Mean Absolute Error (NMAE) 432-434, 452-460
North Yorkshire County Council (NYCC) 431
Notasi 274
Numerik/grafis 477-478, 480
NVK = Nisbah Volume per Kapasitas 97, 355, 364, 368, 470-471, 479, 540-542, 545, 549-550
N-Way, struktur 240-241

OECF 519
Optimasi dua-tingkat 278
Organda 29, 501
Origin-Destination Matrix (O-D Matrix) 369
Outlet 161, 222, 466

P10 428-429
P20 4286- 429
P40 428-429
P50 428-429
PACGR 180
Paket program 206, 327, 427
MOTORS 427-429
pemrograman-kuadrat 375
SATURN 330-341, 357
PAM (Perusahaan Air Minum) 527
Pangkat 179, 186
Pangsa 251
pasar 262, 265, 267, 269
Parameter 12, 85
Box-Cox 438-439, 474
dispersi σ 294-295
elastis 360
kebutuhan transportasi 80
sosio-ekonomi 128, 133, 371
Park-and-ride 342, 524
Parkir
bersudut 68
di badan jalan 5, 517, 522, 524
bangunan tempat- 524
Pasangan
antarzona 269
zona asa*l-tujuan 360
Paspati, jembatan 522
PCGR 180, 182, 185-186
PDRB 100, 133, 254, 255
industri 256
per kapita 100, 133-134, 255
sektor industri 256
total 256
Pejalan kaki 108, 236, 523, 548
Pelatihan 479, 481, 527
Pelita 498
Peluang 405, 408
gabungan 194, 197
gabungan posterior dengan informasi awal 199
-inversi 4053
matematis 406
sebaran 202, 207, 416
subjektif 196, 414
Pemangkasan matriks pergerakan 364, 366
Pemangkatan 140
Pemantauan dan evaluasi 27
Pembangkit lalulintas 31
Pembangunan Jangka Panjang (PJP) tahap I 462, 496
Pembangunan jaringan jalan baru 493, 520-521
Pembatasan lalulintas 23, 523
Pembebanan
all-or-nothing 287, 296, 304-305, 310, 320-321
banyak-ruas 287
banyak-rute 313
batasan-kapasitas 314, 322
berpeluang 287
elastis 343
keseimbangan 273, 319, 360
keseimbangan lanjut 326-330
keseimbangan-elastis 345
keseimbangan-pengguna-stokastik (KPS) 324-326
keseimbangan-sosial (KS) 323-324
keseimbangan-tidak-elastis (tetap) 356
kondisi keseimbangan 438
MAT 272
-berlebih 273, 363, 368
-berpeluang 313
-bertahap 305, 314, 396
-berulang 396
-elastis 356, 362-363, 366
-tidak-elastis 359, 362-363
Pembentukan pohon 284-286
Pemborosan
bahan bakar 493
waktu (tundaan) 493
Pemecahan keseimbangan-pengguna 324
Pemerintah Daerah (Pemda) 29, 501, 511, 514
Pemilihan
rute 58, 85
biner 238
moda 494
moda transportasi 31, 40, 44-45, 58, 60, 84-85, 250
moda transportasi dan rute 72
pendekatan model 9-11
peubah bebas 230
rute 31, 40, 45, 58, 60, 84, 96
rute stokastik 285
Pemodelan
agregat 240
analisis regresi-linear 111
berbasis rumah tangga 135
berskala perkotaan 175
berskala regional 175
kebutuhan akan transportasi 370-371
pemilihan diskret 228
pemilihan moda 228, 249, 273
pemilihan rute 281, 461
pergerakan angkutan barang 438
pergerakan kendaraan perkotaan 434-438

pergerakan multimoda 240
sebaran pergerakan 231
sistem 82-83
transportasi 5, 11, 222, 270
transportasi regional 462
Pemrograman
-matematik 316, 323, 346
-kuadrat 375
Penaksiran 12
baru (posterior) 414
KTTL 435, 451-460
kuadrat-terkecil-umum (KTU) 375
model *gravity* (GR) 373-374
model *gravity-opportunity* (GO) 375-376, 451-460
model kebutuhan-langsung 373-375
variansi matriks 375
Penanganan zona eksternal 221-222
Penataan tata ruang perkotaan 526
Penataan trayek 553
Pendapatan 115-116, 131, 145, 147, 152, 235
Pendapatan Asli Daerah (PAD) 511
Pendekatan
agregat 228
analisis kategori 149
Bayes 187
entropi 378
entropi-maksimum 201, 207, 209, 212, 238, 378, 416
heuristik 248, 473
heuristik sederhana 321
informasi-minimum 385
kategori-orang 151
kemiripan-maksimum 191
konvensional 530
kuadrat-terkecil 190
langkah-demi-langkah 120
linear 50-51
lokal 321
menurun 320
MKT 510
model *gravity* (GR) 372
pasangan-demi-pasangan 290
pemilihan simultan 238
pemrograman-geometrik 203
pemrograman linear 35
pemrograman-kuadrat 373
pemrograman-matematika 315-320
penaksiran kuadrat-terkecil 203
penaksiran keseimbangan-jaringan 370, 372, 376-378
penaksiran model kebutuhan-akan-transportasi 370, 372-376, 390
penaksiran teori informasi 370, 372, 378-389
permintaan pergerakan tetap 365
pertama 170
rata-rata 53-54
sekaligus 290-293
simplified-odds-ratio 203
sistem 26
sistem transportasi 500-504
statistik Bayes 386
Stirling 202, 208, 269, 417
tidak-agregat 236
tidak-linear 51-53
Pendidikan 135
dan pelatihan 506
Penegakan hukum 528
Penerapan metode IB 197, 414-416
Pengabsahan 11
Pengali Lagrange 208, 317, 380
Pengelola angkutan umum 31
Pengelolaan parkir 524
Pengelompokan 101
alternatif 104
data 103-104
model 104
Pengembangan
jaringan jalan 133
konsep 529-533
model dinamis 478, 481
sistem jaringan transportasi jalan 472
Penggunaan data MAT parsial 200
Pengkalibrasian 11, 12
Pengulangan 172, 184-185, 188, 275, 284-285, 303-305, 310-312, 320, 322, 325-326, 365
maksimum 310, 304
Pengumuman Gubernur 516
Penurunan
metode penaksiran kuadrat-terkecil (KT) 401
parsial 379
Penyajian informasi awal 534-536
Penyediaan 270
Peraturan 515, 518, 528, 553
Peraturan
Daerah 514-516
pelaksanaan 514-516
Pemerintah 515
Pemerintah (PP) Nomor 22 tahun 1990 511
Pemerintah Republik Indonesia Nomor 41-44 tahun 1993 518
Perencanaan dan manajemen sistem transportasi 369
Perencanaan dan pemodelan transportasi 1-5, 9-10, 113
Perencanaan
tata guna lahan 25
transportasi 7, 13-14, 22-23, 25-26, 30, 58, 61, 171
wilayah dan perkotaan 6
Pergerakan 25
angkutan umum 472
antarzona (MAT) 156, 159, 173, 221
antarzona internal 222-223
barang antarkota 474
berbasis bukan rumah 113-114, 151, 186
berbasis-rumah 113-114, 151, 185-186, 224
berdasarkan tujuan- 114
eksternal 13, 117
eksternal-eksternal 93
internal 13, 162
internal-internal 93
intrazona 91, 93, 174, 179, 158, 327
intrazona-internal 222-223
kendaraan antarkota 472
kendaraan perkotaan 472
mekanisme penyebaran- 214, 375
membangkitkan- 28
menarik- 28
multimoda 228
Pergeseran
lokasi tujuan 531, 533
moda 530-532
moda transportasi ke moda telekomunikasi 532

rute atau lokasi 530-531
waktu 530-531
Perguruan tinggi 135-136
Perilaku
agregat individu 242
perjalanan 37
stokastik dengan keseimbangan 325
tidak-linear 140
Perjalanan
antarpasangan 253
berbasis tempat tinggal 15
intrazona 395
Perkiraan
bangkitan pergerakan 166
tarikan pergerakan 166-167
Permasalahan 526-527
dalam penggunaan data arus lalulintas 392-394
multi-proporsional 382
pembebanan lalulintas 320
pembebanan MAT 272
pemodelan pemilihan rute 272
praktis 221
program matematik 320
tidak-linear 404
transportasi perkotaan 3, 490-495, 558
transportasi regional 495-500
Permintaan tunggal 360
Permukaan berdimensi dua 214
Permukiman 548
kumuh 492
transmigrasi 7
Perpustakaan 41
Persamaan
batas 215
biaya-arus 307
Davidson 49
kemiripan-maksimum-tidak-linear 299
kebutuhan transportasi 76-77
Lagrange 207, 507
linear simultan 206, 395, 397, 403, 422-424
prasarana transportasi 74, 77
regresi peubah tunggal 134
regresi-berganda 134
simultan 205, 245, 379, 400, 402, 405, 411, 413, 416, 419, 422
simultan-linear 423
sistem prasarana transportasi 76
waktu-arus 302
Persimpangan 62
berlampu lalulintas 69-70
tidak berlampu lalulintas 69
tidak sebidang 521, 545
Pertimbangan
subjektif 414
subjektif (prior) 197
Perubahan
arus pada ruas palsu 360
biaya pada ruas palsu 360
marginal 262
-kecepatan-secara-cepat 304
-kecepatan-secara-perlahan 304
Perumahan 135-136
BTN 135
Perumnas 135
Perusahaan
Air Minum (PAM) 526
Listrik Negara (PLN) 526
Peta
kontur 83
tata guna lahan 83
topografi 83
Peubah 12, 101, 151, 406
acak 194, 196-197, 260, 387, 414
agregat 122
atribut-tujuan 216
bebas 12, 71, 85, 105-106, 117-120, 122, 124-135, 139-140, 149, 175, 205, 228, 247-248
bebas sosio-ekonomi 132
diskret 394
fiktif 140-142
gabungan 250
pemilikan kendaraan 233
sosio-ekonomi 232, 337
tidak bebas 12, 71, 117-120, 122-126, 128, 133-134, 139, 149, 175, 214, 247-248, 373
total 122
PJP
tahap I 475
tahap II 497-499
PLN 527
Pohon 179, 284, 291
biaya minimum 310, 320, 358, 428
biaya perjalanan minimum 325
keputusan 238
penguraian- 287
uraian- 179
Poisson 194, 197
sebaran- 194, 197, 199, 387, 412-414
sebaran acak- 411
Pola
kebutuhan akan transportasi barang 255
penyebaran daerah perkantoran 19
penyebaran spasial 19
pergerakan 155, 159, 164
perjalanan 17
perjalanan barang 20
perjalanan orang 19
perjalanan sekolah 16
pertumbuhan sistem kota 465
sebaran pergerakan 384
spasial 42-43
tata guna lahan 19-20, 22
variasi harian 17
Polantas 14, 29, 479-480, 485-490, 501-502
Polda 516
Polusi 493, 528
suara 369
udara 369
Populasi 116, 133
Potongan melintang 108
PP Nomor 22 Tahun 1990 516, 518, 557
PPD 441
Prasarana 500
jaringan utilitas 526
peningkatan kapasitas- 521-523
Transportasi (PT) 228, 519-423, 556
Predict and prevent 529
Predict and provide 529

Prinsip
dasar 395
entropi 176
kemiripan-maksimum 299, 407
keseimbangan I Wardrop 316, 318, 323
keseimbangan II Wardrop 323
keseimbangan Wardrop 272, 314, 328, 376
Wardrop 272, 313, 315, 323, 342
Prioritas
angkutan umum 525-526
bus di persimpangan dengan lalulintas 525
Probabilitas gabungan posterior tanpa informasi awal 198
Produksi 270
Nasional Kotor 498
Profil pembebanan 110
Program
investasi 9
komputer 371, 425, 428-440
matematika tunggal 474
optimasi 378
SATURN 366
TRANSYT 342
Propinsi
Jawa Barat 127, 497-498
Jawa Timur 94, 462-463, 467-472
Prosedur 286
kalibrasi 206, 371, 425, 430
lewat-maju 298
lewat-mundur 298
normalisasi 218
pemangkasan 363-365
pemangkasan matriks pergerakan 366-368
pengali Lagrange 377
penyeimbang 178
statistik 149
transformasi Fourier 299
Proses
batch 426
citra 370, 392
daur 26-27
estimasi Matriks Asal-Tujuan (MAT) 476
kalibrasi model 11, 85, 135, 186-187, 226, 474
keseimbangan Wardrop 284
klasifikasi silang 151
langkah-demi-langkah 133, 139
model analisis-regresi berbasis zona 126
modifikasi 85
normalisasi 376
pelaksanaan 27
pemangkasan matriks perjalanan 367
pembebanan 278
pemenuhan kebutuhan 6, 28
pemilihan moda 236-237, 251
pemilihan rute 232, 270, 281-285, 377
pemilihan sekunder 242
pemodelan 61, 117, 231
penaksiran MAT 391, 476
pengabsahan 86
pengambilan sampel 224
pengawasan dan evaluasi 27
perancangan 27
perencanaan 1, 26-27
perencanaan transportasi 164
pertukaran barang dan jasa 270
pertukaran moda 13
sebaran pergerakan 169, 232
stokastik 283
tahap-demi-tahap 128
taksiran langkah-demi-langkah 139
Transfer Data (PTD) 482-490
Proyek
evaluasi 473
kajian kelayakan 473
kebijakan transportasi 473
konsultansi 473
PT Jasa Marga 97
Pulau
Bali 438, 472
PU-Net 480-489
Pusat
bangkitan lalulintas 520
Kegiatan Lokal (PKL) 465
Kegiatan Nasional (PKN) 465
Kegiatan Wilayah (PKW) 465
kontrol ATCS 476
Pengolahan Data (PPD) 482-490
Pengolahan Keluaran (PPK) 482-490
pengumpul 464
pertokoan 41
zona 88, 91, 222, 327, 428, 466
zona eksternal 92, 222
zona internal 222
Puslitbang Binamarga 441

R1: Manajemen lalulintas 549
R2: Peningkatan ruas jalan 549
R3: Pembangunan jalan baru 549-550
Radial, koridor 555
Radius membelok 108
Ramal dan cegah 529
Ramal dan sediakan 529
Rata-rata 150, 157
Rayonisasi sekolah 520
Regresi
-berganda 123
-linear-berganda 119-121
-sederhana 123
Rekayasa dan manajemen lalulintas (RL dan ML) 453, 523-526, 556
Rekayasa lalulintas 274
Rencana
Tata Ruang Wilayah (RTRW) 84, 463
Tata Ruang Wilayah Nasional (RTRWN) 465, 496-497
Tata Ruang Wilayah Propinsi (RTRWP) 497-498
Representasi jaringan 427
Reserved lane 94
Residu 260
acak 261
Gumbel yang tersebar bebas dan identik (*Independent-and-Identically-Distributed*/IID) 261
Resolusi 87
rendah 95
sistem jaringan 94, 330-341
sistem zona 88, 330-341, 479
tinggi 95
Respons, permukaan 218, 376
Ribbon development 522

Ripon 190, 431-434, 436, 439, 472
  kota- 431, 437-438
Riset Unggulan Terpadu 356
RMSE 432-434, 452-460
Road pricing 531
Road User Costs Model 97
Route guidance 479
RTRW (Rencana Tata Ruang Wilayah) 502
RTRWK 502-503
RTRWN 497, 502
RTRWP 498, 502-503
Ruang
  jalan 522
  pemisahan- 43
Ruas 89
  dummy 94
  jalan 93-96, 271, 466
  jalan antarkota 93
  jalan berbasis satu-arah 428
  jalan dua arah 94
  jalan fiktif 428
  jalan jenis *hyper* 389
  jalan satu arah 90, 460
  palsu 357-358
  pejalan kaki 95
  -sebelum 286
Rumus *Stirling* 200
Rute, pengalihan 299
RUTR DKI-Jakarta 2005 517

S1: Penanganan lampu lalulintas baru 549
S2: Pengaturan kembali waktu lampu lalulintas 549
S3: Perbaikan geometrik persimpangan 549
S4: Persimpangan tidak sebidang 550
Sakarovitch, model 293, 296
Sampel 102, 163
  acak 412
  seragam 194-195, 389
  persentase- 195
Sarana 500
  transportasi 22
SATEASY 357
Satuan Mobil Penumpang (SMP) 46, 95
SATURN 329, 426, 469
SAUM 551, 554-555
SCGR 180, 185-186, 189-190
Sebaran
  acak poisson 411
  awal (prior) 196, 198-199, 415
  awal seragam 198, 415
  bangkitan lalulintas 548
  baru (posterior) 196
  biaya persepsi 294
  binomial 192, 408
  frekuensi kumulatif 36
  frekuensi rumah tangga 144
  geografis 30, 464
  multinomial 192-193, 387, 408-409, 413
  normal 257
  panjang pergerakan 179-180, 187
  pelayanan acak 48
  peluang gabungan 145-146, 260
  peluang parameter 198
  penduduk 31
  pengamatan 244
  pergerakan 40, 42-44, 58-59, 71-72, 84-85, 164, 169, 173, 213, 224, 239, 250, 273
  pergerakan antarzona 192
  Poisson 194, 197, 199, 387, 412-414
  posterior 196, 414
  prior 199
  residu 260
  sampel 418
  statistik 408
  tata guna lahan 20
  utilitas 260
Sekolah
  pengaturan jam masuk- 520
Sel
  kosong 223
  matriks 155, 174
Selang kepercayaan 376
Selisih
  biaya perjalanan 231
  waktu 231
SIG (Sistem Informasi Grafis) 426
Siklus penggunaan ruang transportasi 503
Simpangan 149
  baku 104, 144-145
  baku Gumbel 261
  terdefinisi 119
  tidak terdefinisi 119
  total 119
Simpul 89-90, 93, 285, 460, 466
  dan ruas 427-428
  -sebelum 286, 291
  -sebelum A 286
Simulasi *Monte Carlo* 241
Sinyal
  elektronik 525
  lampu lalulintas 476
Sistem 26, 28, 57, 207
  akses lokal 555
  angkutan kereta api perkotaan 553
  Angkutan Umum Massa (SAUM) 513, 550-554, 556
  angkutan umum perkotaan 508, 519, 555
  Angkutan Umum Transportasi Perkotaan Terpadu (SAUTPT) 523, 554-555
  arus lalulintas 71, 82, 84, 86
  arus lalulintas satu arah 522
  ATCS 329
  berbasis zona 466
  do-nothing 86-87
  do-something 86
  hierarki 521
  integrasi transportasi antarmoda terpadu 504-508
  Informasi Transportasi (SIT) 482-490
  jaringan 8, 26, 28-31, 86-87, 94-95, 270, 278, 330-341, 442-460, 464, 466, 477, 479, 501, 527, 537
  jaringan jalan raya 271, 496, 521, 555
  jaringan jalan antarkota 508
  jaringan jalan kereta api 496
  jaringan optimal 330-341
  jaringan prasarana transportasi 26, 28, 33-34, 42, 89-90, 271
  jaringan transportasi angkutan pribadi 271
  jaringan transportasi angkutan umum 271
  jaringan transportasi regional 481
  Kebutuhan akan Transportasi (KT) 500-501, 556

kegiatan 22, 26, 28-31, 87-88, 94, 464, 501, 527, 537
Kelembagaan (KLG) 28-29, 500-501
lampu lalulintas terkoordinasi 8
manajemen transportasi 8-9
mekanis 26
Pengaturan Lampu Lalulintas Terkoordinasi (*Area Traffic Control System*/ATCS) 476
pengelolaan transportasi perkotaan 556
pengumpan 552
pergerakan 1, 26, 28-30, 80-81, 464, 501, 527, 537
pergerakan lalulintas 28, 70, 76-78
persamaan simultan 191, 194, 201, 203-205, 418
persamaan tidak-linear 420
perwilayahan 464
pola kegiatan 28
prasarana transportasi (PT) 1, 5-8, 21-22, 58, 70-71, 77-78, 80-84, 86, 90, 109, 500-501, 528-529, 536
Rekayasa dan Manajemen Lalulintas (RL dan ML) 28, 500-501
SAUM 552
tata guna lahan 26, 30, 70-71, 76, 78, 80, 82-84, 86, 90, 109-110
tidak-mekanis 26
Transfer Data (STD) 485-490
transportasi 15, 20, 270
Transportasi Kawasan 502
transportasi antarmoda terpadu 497, 504-505, 508
transportasi makro 27-29, 500-501
transportasi mikro 27-28, 500-501
Transportasi Nasional (Sistranas) 13, 479-480, 498-499, 502-503, 508
transportasi perkotaan terpadu 30, 508, 517
transportasi regional 480, 495, 498-500, 502-503
transportasi secara menyeluruh (makro) 500
zona 87-88, 91, 270, 330-341, 437, 442-460, 466-468, 477, 536
zona optimum 458
zona yang berhierarki 92
Sistranas (Sistem Transportasi Nasional) 84
Situs-web 477, 479-480
Skejul kerja fleksibel 531
Solusi
kondisi keseimbangan Wardrop 302-303, 306-307, 310-311, 474
optimum sosial 323
Spasial
distribusi- 19
interaksi- 175-176
Spesifikasi
fungsi-kesempatan 216-217
model 11, 151
peubah 258
Spiess, model 275
STAN 426
Standar deviasi (SD) 432-434
Status mikro, meso, makro 201-202, 207, 378-382, 416-417
Steer, Davies and Gleave (SDG) 431
Stepwise 120
Stirling
pendekatan- 202, 208, 269, 417
rumus- 200
STEM 348
Stokastik 288
murni 284
STRADA 426
Strategi
hibrid 421-422
jam masuk/keluar kantor/sekolah yang berbeda-beda 531
Stratifikasi 146
Struktur
berhierarki 241
metode pemangkasan matriks 365-366
model 11
N-*Way* 240-241
rumah tangga 115-116, 145, 151, 229
Superelevasi 108
Surat
Keputusan Gubernur Daerah tingkat I 514-515
Keputusan Walikotamadya Daerah Tingkat II 515
Keterangan (SK) 514
Survei
16 jam-an 225
24 jam-an 225
angkutan umum dan barang 109-110
Asal-Tujuan Nasional 240, 504
foto udara 163
inventarisasi ruang parkir 109
kebutuhan parkir 109
naik-turun penumpang 109
nomor pelat mobil 163
regional O-D Nasional 438
wawancara di rumah 147
wawancara di tepi jalan 109-110, 391, 460
wawancara rumah tangga 109
Syarat batas 74-75, 182-184
Symphony 426

Tabel-tidak-berujung-akhir 286
Tahap
bangkitan pergerakan 180, 182-183
pemilihan moda 237
Tahapan
Andall 536-539
bangkitan pergerakan 113, 169-170, 230, 232
perhitungan 146
Taksiran 12
baru (posterior) 197
biaya marginal 105
Tanner 180, 186
fungsi- 178, 189, 191, 195, 436-437
Tanpa-batasan (UCGR) 157, 180
Tarikan 373
barang 133-134
kendaraan 133-134
penumpang 133-134
pergerakan 40, 112-113, 124, 154
pergerakan berbasis zona 118
pergerakan untuk manusia 116
Taylor, deret 205, 321, 422
Teknik
all-or-nothing 436, 438-439, 461
Burrell 461
eliminasi matriks Gauss-Jordan 402-403, 405, 411, 413, 416, 419, 423-424
entropi-maksimum 378
Frank-Wolfe 377
Lagrange 346
pembebanan *all-or-nothing* 384, 437

pembebanan keseimbangan 376, 394, 474
pembebanan lalulintas 273
pembebanan proporsional 397
pembebanan rute 275, 431, 461
pemilihan rute 373
penaksiran kemiripan-maksimum 388
penaksiran kuadrat-terkecil-linear-berganda 403
penaksiran MAT 390
stokastik Burrell 436
Teorema Bayes 196
Teori
antrian stokastik 48
dasar metode IB 414
dasar peluang 300-301
inferensi statistik Bayes 386
informasi 209
kemiripan-maksimum 210
Lokasi 2
perilaku perjalanan 300
ukuran galat 209
utilitas acak 228, 259
Terdistribusi bebas dan identik (IID) 260
The Puget Sound Transportation Study 143
Tingkat
akurasi 125, 330-341, 437
akurasi MAT 442-460
bangkitan pergerakan 146-148, 150-151, 547-548
gangguan samping 56, 64
isian 110
kepercayaan 125, 196, 198
kerincian 330-341
makro 201, 378-379
meso 201, 378
mikro 201, 378
pelayanan 46-47, 271, 541
pelayanan (tergantung-arus) 46-47
pelayanan (tergantung-fasilitas) 47-48
pemilikan kendaraan 115, 148, 150
pendapatan 115
penyimpangan volume 333-341
perbaikan marginal 105
pertumbuhan global 164-165, 168-171
pertumbuhan kebutuhan akan transportasi 519
pertumbuhan prasarana transportasi 519
pertumbuhan zona 168, 172
pertumbuhan zona asal 171
resolusi 95, 330-341, 442-460
resolusi optimum, optimal 335-341, 442-460
sensitifitas 336-341
Titik
inlet dan outlet 94
keseimbangan 270
maksimum 249
optimum kompleksitas 106
simpul 504
Total
arus pada jaringan dan pada ruas palsu 359
bangkitan pergerakan 147-148, 166
baris 182, 184-185, 187
galat 106
kolom 183-185
nilai faktor koreksi kecepatan arus bebas 57
pergerakan global 182
tarikan pergerakan 167
Traffic boroughs 92
Traffic Research Corporation of Canada 234
TRANPLAN 426, 469
TRANSCAD 426, 469
Transformasi 10, 215-216, 221
Box-Cox 216-217, 435, 439
linear 50, 119, 189-190, 352-353
logaritma natural 244, 353
Transport Demand Management (TDM) 529
Transportasi
perkotaan 510, 518, 527
regional antarkota 480, 496, 499
TRANSYT 342
Trip
chain 113
end 111, 326

UCGR 180-182, 185-186, 189-190
Uji
keabsahan 431, 435
kecukupan data 124-125
kepekaan 267-268, 431, 437, 440
kesesuaian 125
kewajaran 122
korelasi 122, 125-128, 133
linearitas 125
statistik 122, 124-125, 144, 149, 217
-test 121
Ujung perjalanan 372, 381
Ukuran
grafis aksesibilitas 36
informasi *Brillouin* 384-385
ketidakpastian 384
nonutilitas perjalanan 348
rasional 405
relatif daya tarik 142
rumah tangga 115-116, 146-152
sampel 120, 151, 162
struktur tata guna lahan 175
zona 91-92
Undang-Undang Nomor 5 tahun 1974 511
Urbanisasi 2, 369, 490- 492, 519-520
Utilitas 256, 260
marginal 259
UU
Nomor 13 tahun 1980 503
Nomor 14 tahun 1992 503, 554
Nomor 24 tahun 1992 502
-LLAJ Nomor 14 tahun 1992 518

Variansi 125, 150, 384
peubah 120
Variasi pembebanan 334-341
Versi
dengan-batasan-bangkitan 216
dengan-batasan-tarikan 216
dengan-satu-batasan 216
tanpa-batasan 216

Waktu 235
akses 235
berdasarkan- 114-115
hijau efektif 69
pelayanan 507
puncak 15-17
siklus 69, 525

tempuh 31, 33, 288, 504-505, 554
terjadinya pergerakan 15-17, 229
tidak-puncak 17
transfer 235
-nyata 10, 476, 478
Wardrop 283
kondisi keseimbangan- 302-303, 307, 311, 315, 320-321
konsep keseimbangan- 355
model keseimbangan- 304
prinsip keseimbangan I- 272, 313, 315, 318, 323, 342
prinsip keseimbangan II- 323
prinsip keseimbangan- 272, 314, 328, 376
proses keseimbangan- 284
solusi kondisi keseimbangan- 303, 306-307, 474
Wawancara
di jalan 226
di rumah 162, 157
di tepi jalan 157, 161-162, 391
West Midlands Transport 147
Whiting dan Hillier, metode 293
Wilayah 443-460
Wilayah Pengembangan (WP) 516
Windows 426
Word 426
World Bank 519
WP 426
WS 426

Zona 40, 90-93
akhir 222
asal 90, 92-93, 168, 175, 179, 214, 222
Bandung Raya 134-136
bangkitan 224
eksternal 88, 91-94, 222, 362, 438, 460, 468-469
internal 88, 90-93, 221, 362, 460, 468
kosong 122
luas- 88
penghubung pusat- 90, 442-460
tarikan 224
tujuan 90, 92-93, 168, 175, 179, 210, 214

%RMSE 432-434

Penulis

Ofyar Z. Tamin bekerja sebagai dosen dan peneliti senior di Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Bandung sejak tahun 1982. Ia dilahirkan di Medan pada tanggal 23 Agustus 1958, menjadi mahasiswa jurusan Teknik Sipil, ITB pada tahun 1977, dan menyelesaikan program sarjana teknik (S1) pada tahun 1982. Pada tahun 1984, ia menyelesaikan program pendidikan Pasca Sarjana (*non-degree*) bidang Rekayasa Jalan Raya di ITB dengan predikat ***cumlaude*** dan meneruskan ke Program Magister di Imperial College, Science and Technology (University of London) dan mendapat gelar MSc(Eng) di bidang transportasi pada tahun 1985. Pada tahun 1988, ia mendapat gelar PhD di bidang perencanaan dan pemodelan transportasi dari University College London (University of London).

Ofyar telah mendapatkan beberapa penghargaan baik di dalam negeri maupun di luar negeri:

- **Penghargaan Menteri PU** atas predikat ***cumlaude*** sewaktu menyelesaikan program pendidikan Pasca Sarjana (*non-degree*) bidang Rekayasa Jalan Raya di ITB pada tahun 1984.
- ***Reuben Smeed Award*** atas makalah terbaiknya di *20th Annual UTSG Conference* di London (Inggris) pada tahun 1988.
- ***Henry Spurrier Award*** dari the Chartered Institute of Transport (CIT), pada tahun 1988.
- ***Yokohama Award*** atas makalah terbaiknya di *5th World Conference on Transport Research*, Yokohama, Jepang pada tahun 1989.

Selain itu, ia juga terdaftar sebagai anggota pada beberapa perkumpulan atau lembaga profesional seperti *The Institution of Highways and Transportation* (Inggris), *The Chartered Institute of Transport* (Inggris), *Institute of Transportation Engineers* (Amerika Serikat), Himpunan Pengembangan Jalan Indonesia (Indonesia), Masyarakat Transportasi Indonesia (Indonesia), dan *World Conference on Transport Research Society*.

Pada saat sekarang ini, Ofyar menjadi pengurus Masyarakat Transportasi Indonesia baik di tingkat pusat sejak tahun 1995 maupun di tingkat daerah Propinsi Jawa Barat sejak tahun 1996 serta menjadi wakil ketua program Magister Transportasi ITB sejak tahun 1992. Ofyar juga dipercaya menjadi Ketua Forum Studi Transportasi antar Perguruan Tinggi untuk masa bakti 1998–2000.

Ofyar sekarang mengajarkan mata kuliah Perencanaan dan Pemodelan Transportasi di beberapa Program Sarjana (S1) dan Magister (S2) di lingkungan ITB, termasuk membimbing mahasiswa Doktoral (S3). Selain itu, ia juga mengajarkan beberapa mata kuliah lainnya di bidang transportasi dan aktif terlibat dalam berbagai macam kegiatan penelitian, pelatihan yang berkaitan dengan transportasi, konsultasi, dan pengabdian pada masyarakat.

Ofyar telah menikah dengan Ir. Elkhasnet, MT dan telah dikaruniai seorang putra bernama Yozzi Ilham.

KMKO Sipil Unhas
kmkosipil.blogspot.com