

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/322222507>

Rekayasa dan Manajemen Lalu lintas, Teori dan Aplikasi

Book · January 2018

CITATIONS

0

READS

5,446

1 author:



[Risdiyanto Sugeng](#)

Universitas Janabadra

2 PUBLICATIONS 0 CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Studi Jaringan Rute Angkutan Umum Perkotaan Yogyakarta, Thesis Magister, Institut Teknologi Bandung [View project](#)

RISDIYANTO

**REKAYASA &
MANAJEMEN
LALU LINTAS**
TEORI DAN APLIKASI

Rekayasa dan Manajemen Lalu Lintas: Teori dan Aplikasi

--Yogyakarta: LeutikaPrio, 2014

x + 182 hlm ; 16,5x25 cm

Cetakan Pertama, Januari 2014

Penulis : Risdiyanto

Pemerhati Aksara : Andayani

Desain Sampul : Pram's

Tata Letak : Adjie



Jl. Wiratama No. 50, Tegalrejo,

Yogyakarta, 55244

Telp. (0274) 625088

www.leutikaprio.com

email: marketing@leutikaprio.com

Hak cipta dilindungi oleh undang-undang.

Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini
tanpa izin dari penerbit.

ISBN 978-602-225-796-7

Dicetak oleh PT Leutika Nouvalitera

Isi di luar tanggung jawab percetakan.

“Untuk ibuku, istriku Weni, dan anak-anakku,
Syauqi, Farras, Fariza.”

KATA PENGANTAR

Ilmu rekayasa dan manajemen lalu lintas merupakan salah satu ilmu yang semakin dirasakan sekali manfaatnya—dengan ilmu lalu lintas lainnya—di tengah perkembangan kota-kota yang semakin pesat. Pertumbuhan jumlah kendaraan yang tidak mungkin dapat diimbangi dengan peningkatan panjang jalan, telah mengilhami kemendesakan pemahaman ilmu ini.

Buku *Rekayasa dan Manajemen Lalu Lintas, Teori dan Aplikasi* ini adalah penyempurnaan dari *Handout Rekayasa Lalu Lintas* yang hanya beredar di lingkungan Teknik Sipil Universitas Janabadra Yogyakarta. Buku ini sengaja disebarluaskan kepada masyarakat umum khususnya para mahasiswa di bidang transportasi sebagai penambah khazanah ilmu pengetahuan. Dalam buku ini, teori dasar dihadirkan dengan bahasa sederhana agar bisa dipahami oleh siapapun yang memiliki ketertarikan dengan transportasi. Meskipun beberapa materi diambilkan dari lembar-lembar pustaka yang dijadikan rujukan, namun demikian di bab terakhir dilengkapi dengan aplikasi/penerapan dalam mengatasi problem transportasi darat. Aplikasi ilmu ini merupakan pengalaman penulis dalam pekerjaan-pekerjaan di bidang transportasi. Beberapa materi rekayasa dan manajemen lalu lintas seperti simpang tak sebidang, bundaran, optimasi geometrik simpang, prioritas angkutan umum, simulasi antrian kendaraan, teori gelombang kejut (*shock wave*), fasilitas pesepeda dan pejalan kaki, direncanakan akan dihadirkan dalam buku edisi berikutnya.

Mudah-mudahan buku ini mudah dipahami dan menjadi pemicu ketertarikan mahasiswa untuk memperdalam lebih lanjut melalui literatur lainnya yang lebih detail.

Terima kasih saya sampaikan kepada semua pihak yang turut mengilhami dan menyemangati buku sederhana ini dapat terbit.

Risdiyanto

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Definisi <i>Traffic Engineering</i>	1
B. Definisi <i>Traffic Management</i>	1
C. Latar Belakang Munculnya Ilmu Rekayasa dan Manajemen Lalu Lintas.....	2
D. Kaitan Ilmu Rekayasa dan Manajemen Lalu Lintas dengan Mata Kuliah Lain.....	4
E. <i>Software</i> Transportasi	4
F. Studi Terkait Bidang Ilmu Rekayasa dan Manajemen Lalu Lintas	4
BAB II KOMPONEN LALU LINTAS	5
A. Orang	5
B. Kendaraan/Sarana.....	7
C. Jalan/Prasarana	7
D. Aturan	7

BAB III	VOLUME LALU LINTAS	9
	A. Pengantar	9
	B. Definisi Volume	10
	C. Survei Volume	11
	D. <i>Rate of Flow</i>	14
	E. <i>Peak Hour Factor</i>	15
	F. Ekuivalensi Mobil Penumpang	15
	G. Jenis-Jenis Volume Lalu Lintas	17
	H. Fluktuasi Volume Lalu Lintas	18
	I. Kapasitas	20
	J. Pertumbuhan Lalu Lintas	20
	K. Penggambaran Volume dalam Peta	21
BAB IV	KECEPATAN DAN KEPADATAN LALU LINTAS	23
	A. Kecepatan	23
	B. Kepadatan	26
BAB V	HUBUNGAN VOLUME, KECEPATAN, DAN KEPADATAN	27
	A. Hubungan Volume, Kecepatan, dan Kepadatan	27
	B. Tingkat Pelayanan Jalan	37
	C. <i>Headway</i> dan <i>Spacing</i>	37
BAB VI	JALAN PERKOTAAN	39
	A. Pendahuluan	39
	B. Perhitungan Kinerja Jalan Perkotaan	41
	C. Kecepatan Arus Bebas	42
	D. Kapasitas	45
	E. Derajat Kejenuhan	49
	F. Tingkat Pelayanan Ruas Jalan di Indonesia	50
BAB VII	PENGANTAR SIMPANG	53
	A. Jenis-jenis Simpang	53
	B. Tipe Simpang Berdasarkan Jumlah Lajur dan Median	58
	C. Pemilihan Tipe Simpang	60
BAB VIII	SIMPANG BERSINYAL	61
	A. Pengoperasian Sinyal	61
	B. Saturation Flow Lapangan	62
	C. Metode Webster	63

D. Metode MKJI 1997	67
E. Kapasitas.....	83
F. Tingkat Performansi.....	83
G. Diagram Sinyal MKJI.....	87
H. <i>Counter Down</i>	88
I. Aplikasi MKJI 1997.....	89
J. Koordinasi Simpang Bersinyal.....	89
K. Tingkat Pelayanan.....	92
BAB IX TUNDAAN LAPANGAN DAN TEORI ANTRIAN	93
A. Tundaan Lapangan	93
B. Teori Antrian.....	94
C. Manfaat Teori Antrian.....	101
D. Aplikasi Teori Antrian.....	102
E. Hasil dari Beberapa Perhitungan yang Pernah Dilakukan.....	108
BAB X MANAJEMEN LALU LINTAS.....	111
A. Ruang Lingkup.....	111
B. Manajemen Kapasitas	112
C. Manajemen Prioritas.....	112
D. Manajemen Demand (<i>Transport Demand Management</i>).....	112
BAB XI PERPARKIRAN	119
A. Umum.....	119
B. Sasaran Penyelenggaraan Parkir	120
C. Penentuan Satuan Ruang Parkir.....	120
D. Kebutuhan Parkir.....	122
E. Fasilitas Parkir	123
F. Pola Parkir Kendaraan di Badan Jalan (<i>On Street Parking</i>).....	124
G. Pola Parkir Kendaraan di Luar Badan Jalan (<i>Off Street Parking</i>)....	126
H. Pola Parkir Pulau.....	129
I. Pola Parkir Sepeda Motor	132
J. Perhitungan Karakteristik Parkir	133
K. Pengendalian Parkir.....	135
L. Manfaat Manajemen Parkir yang Baik.....	136
BAB XII KESELAMATAN LALU LINTAS.....	137
A. Pendahuluan	137
B. Pengertian Kecelakaan.....	137

C. Korban Kecelakaan	138
D. Penyebab Kecelakaan.....	138
E. Klasifikasi Kecelakaan	139
F. Perhitungan Angka Kecelakaan.....	140
G. Laju Kecelakaan	142
H. Daerah Rawan Kecelakaan.....	142
I. Penanganan.....	143
BAB XIII TRANSPORTASI DAN LINGKUNGAN	145
A. Pendahuluan	145
B. Polusi Udara	146
C. Kebisingan	149
D. Penanganan Dampak.....	151
E. Transportasi Berkelanjutan	152
BAB XIV APLIKASI ILMU REKAYASA DAN MANAJEMEN LALU LINTAS.....	155
A. Pendahuluan	155
B. Studi yang Pernah Dijalankan.....	156
DAFTAR PUSTAKA.....	165
LAMPIRAN	
A. Contoh Analisa Operasional Jalan Perkotaan menurut MKJI 1997	171
B. Contoh Perhitungan Tundaan pada Simpang Bersinyal menurut MKJI 1997	175

BAB I

PENDAHULUAN

A. Definisi *Traffic Engineering*

Menurut *The Institute of Traffic Engineers*, teknik/rekayasa lalu lintas adalah fase teknik transportasi yang erat kaitannya dengan perencanaan, perancangan geometrik serta pengoperasian lalu lintas jalan, jaringan jalan, terminal, daerah yang berdampingan dengannya, dalam hubungannya dengan moda transportasi, untuk menghasilkan keselamatan, kenyamanan serta efisiensi dalam pergerakan orang atau barang. LPM ITB menegaskan bahwa teknik/rekayasa lalu lintas berhubungan dengan desain teknis dan *layout* dari komponen prasarana transportasi seperti jalan, persimpangan, dan tempat parkir kendaraan.

B. Definisi *Traffic Management*

Manajemen lalu lintas adalah pengorganisasian, perencanaan, pemberian arah, dan pemantauan keadaan pergerakan lalu lintas, termasuk pejalan kaki, pesepeda, dan semua tipe kendaraan (Underwood, 1990). Sementara menurut LPM ITB, manajemen lalu lintas adalah suatu teknik perencanaan transportasi yang sifatnya langsung penerapan di lapangan dan biasanya berjangka waktu yang tidak terlalu lama. Manajemen lalu lintas akan berhubungan dengan arus lalu lintas itu sendiri beserta pengontrolannya dalam upaya untuk mengoptimalkan penggunaan prasarana transportasi dan juga sumber daya yang digunakan secara efisien dan terpadu.

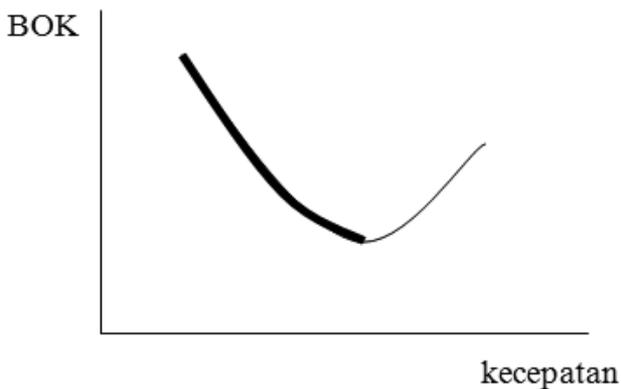
C. Latar Belakang Munculnya Ilmu Rekayasa dan Manajemen Lalu Lintas

a. Kemacetan di Kota Besar

Fakta menunjukkan bahwa lalu lintas kendaraan meningkat cukup pesat dibandingkan dengan panjang jalan. Pada sisi yang lain, pembangunan jalan yang terus menerus—untuk mengatasi kemacetan—tidak bisa dilakukan karena keterbatasan lahan, biaya, dan *visual constraint*. Kemacetan menyebabkan kerugian finansial yang sangat besar.

Beberapa hal penting berkaitan dengan kemacetan:

- i. Macet terjadi karena kendaraan bergerak dalam waktu dan tempat yang bersamaan
- ii. Macet terjadi karena jumlah kendaraan tidak sebanding dengan lebar/panjang jalan
- iii. Macet terjadi karena lemahnya pemakaian angkutan umum sebagai akibat dari kondisi angkutan umum yang kurang baik, biaya relatif mahal dibanding dengan sepeda motor, kebijakan yang belum mendukung pemakaian angkutan umum, kehandalan waktu angkutan umum, dan sebagainya.
- iv. Kemacetan mengakibatkan rendahnya kecepatan yang berdampak pada waktu tempuh perjalanan menjadi lama serta Biaya Operasional Kendaraan (BOK) yang tinggi.



Gambar 1.1. Hubungan kecepatan kendaraan dan Biaya Operasi Kendaraan

- v. Kemacetan mengurangi waktu untuk keluarga dan kegiatan sosial.
- vi. Kemacetan bisa menyebabkan *stress*.



Sumber: Seminar Nasional Transportasi, 2008

Gambar 1.2. Kemacetan di kota-kota besar semakin parah dari hari ke hari

b. Kecelakaan

Tingginya angka/jumlah kecelakaan lalu lintas di Indonesia menjadi masalah yang serius. Jumlah kecelakaan yang terdata di kepolisian jauh lebih rendah dari jumlah kecelakaan di rumah sakit, apalagi bila dibandingkan dengan jumlah kecelakaan yang sesungguhnya. Sebagai contoh, penelitian yang dilakukan oleh Listiyanto (2003) menunjukkan bahwa jumlah kecelakaan lalu lintas di Yogyakarta berdasarkan data di rumah sakit sebanyak 9.028, jauh melebihi yang tercatat di Poltabes yang hanya 127 buah kecelakaan. Sayangnya, hingga saat ini, kecelakaan lalu lintas belum secara sistemik mampu diselesaikan oleh pihak-pihak yang berkepentingan.

c. Polusi

Polusi dimaksud bisa berupa polusi udara, polusi suara, polusi air tanah. Polusi udara—salah satu contohnya dari asap kendaraan bermotor—bisa menyebabkan penurunan kecerdasan, badan mudah capek, bahkan bisa menyebabkan kanker.



Gambar 1.3. Asap kendaraan bermotor membahayakan kesehatan

D. Kaitan Ilmu Rekayasa dan Manajemen Lalu Lintas dengan Mata Kuliah Lain

Secara prinsip, mata kuliah Rekayasa dan Manajemen Lalu Lintas ini membahas dasar-dasar perhitungan karakteristik lalu lintas, serta memanajementi lalu lintas dalam dataran operasional jangka pendek. Menurut kurikulum di Jurusan Teknik Sipil Universitas Janabadra Yogyakarta (2010), pada wilayah makro, panglima ilmu transportasi ada pada mata kuliah Perencanaan Pemodelan Transportasi. Sementara itu mata kuliah Dasar-Dasar Transportasi dengan bahasan umum perihal moda transportasi darat, laut, dan udara. Transportasi Publik berisi strategi operasional angkutan umum perkotaan, sedangkan studi finansial dibahas di Ekonomi Teknik (dengan tambahan muatan Ekonomi Transportasi). Adapun Perancangan Geometrik Jalan beserta mata kuliah Perkerasan (Perancangan Perkerasan Jalan dan Bahan Lapis Keras) berisi perancangan detail pekerjaan fisik jalan.

E. Software Transportasi

Penggunaan *software* dalam penyelesaian masalah transportasi sangat bermanfaat. Beberapa *software* dimaksud adalah:

- a. Perhitungan kinerja ruas jalan, simpang dan koordinasi simpang: KAJI, SIDRA, ARCADY, OSCADY, SCOOT, TRANSYT, dan lain-lain.
- b. Pemodelan transportasi: MOTORS, SATURN, TRANPLAN, TFTP, EMME/3, CUBE, dan lain-lain.
- c. *Software* pendukung: MapInfo, ArcView, ArcGis, dan lain-lain.

F. Studi Terkait Bidang Ilmu Rekayasa dan Manajemen Lalu Lintas

Pekerjaan yang berhubungan dengan Rekayasa dan Manajemen Lalu Lintas serta bidang transportasi pada umumnya berupa studi di tingkat makro kota – dengan area yang luas–maupun di tingkat mikro, seperti persimpangan, dan sebagainya. Contoh penerapan ilmu transportasi tampak dalam beberapa contoh studi berikut:

- a. Studi Peningkatan Status Jaringan Jalan Provinsi A
- b. Studi Jalan Tol Provinsi B
- c. Studi Kelayakan Jalan Antar Kota di Provinsi C
- d. Studi Angkutan Umum Provinsi D
- e. Manajemen Lalu lintas Simpul di Kota E
- f. *Feasibility Study* Pembangunan Jalan Layang
- g. Pengembangan Basis Data Transportasi
- h. Analisis Dampak Lalu lintas Akibat Pengoperasian Supermarket
- i. dan lain-lain

BAB II

KOMPONEN LALU LINTAS

Komponen lalu lintas terdiri dari orang/barang, kendaraan, jalan, serta peraturan. Beberapa ahli menambahkan komponen lalu lintas dengan kondisi lingkungan.

A. Orang

Elemen 'orang' yang berpengaruh terhadap karakteristik lalu lintas meliputi:

a. Usia pengemudi

Usia pengemudi mempengaruhi waktu reaksi. Pengemudi lebih muda memiliki daya dan kecepatan reaksi lebih cepat. Termasuk juga kemampuan lain seperti pendengaran, penglihatan, dan sebagainya.

b. Jenis kelamin

Secara umum, keberanian laki-laki mengambil gerakan lebih besar dari pada wanita. Sebagai contoh studi yang dilakukan oleh Hadmoko (1997), gap kritis pengemudi pria 3,56 detik, sedangkan pengemudi wanita 4,15 detik. Hal ini menunjukkan bahwa pengemudi pria lebih berani mengambil gap yang lebih kecil dibandingkan dengan pengemudi wanita.

c. *Visual observation*

Kondisi lingkungan berkabut/terang, malam/siang, hujan/cerah sangat mempengaruhi gerakan kendaraan.



(a)



(b)

Gambar 2.1. Penglihatan pada (a) kondisi terang dan (b) kondisi kabur

Terkait juga di sini kemampuan penglihatan pengemudi (*visual acuity*)

Field of acute vision : 6 derajat horizontal, 3 derajat vertikal

Sensitive vision : 20 derajat horizontal, 13 derajat vertikal

Peripheral vision : 160 derajat horizontal, 115 derajat vertikal

d. *Observation by feel*

Sense pengemudi terhadap putaran roda, rem, getaran, dan sebagainya.

- e. *Observation by hearing*
Pengamatan terhadap suara mesin, ban, klakson, dan sebagainya.
- f. Observasi lain, misal penciuman
- g. Keadaan fisik manusia: tinggi badan, tinggi mata, dan sebagainya.

B. Kendaraan/Sarana

Macam kendaraan yang berbeda, akan menentukan tipe karakteristik pergerakan lalu lintas. Beberapa hal menyangkut kendaraan meliputi:

- a. Tenaga gerak, seperti tahanan gelinding, tahanan udara, tahanan tanjakan, tahanan lengkung, tahanan kelembaman, dan lain-lain yang mempengaruhi kecepatan.
- b. Ukuran kendaraan seperti panjang, lebar, tinggi, jarak as, dan sebagainya.
- c. Kemampuan kendaraan meliputi daya kuda, kecepatan, percepatan, kinerja pengereman, dan sebagainya.

C. Jalan/Prasarana

Karakteristik dari jalan yang mempengaruhi lalu lintas adalah lebar jalan, jumlah lajur, tikungan, tanjakan/datar, berlubang-lubang/rata, licin/kesat, dan sebagainya. Pada tikungan misalnya, kecepatan kendaraan cenderung untuk turun dan kembali lebih cepat pada kondisi jalan yang lurus. Demikian pula di saat hujan dengan kondisi jalan yang licin, pengemudi akan mengurangi laju kendaraannya.

D. Aturan

Era saat ini, beberapa kegagalan penyelesaian problem lalu lintas kota akibat dari lemahnya budaya taat aturan. Dengan demikian produk hukum jika ditegakkan dengan baik akan sangat berpengaruh terhadap karakteristik lalu lintas. *Law enforcement* melibatkan unsur kepolisian, kejaksaan, kehakiman, peraturan-peraturan dari tingkat pusat hingga daerah, termasuk perambuan.

Pemahaman terhadap keempat komponen lalu lintas di atas bermanfaat, misalnya dalam melihat fenomena berikut:

- a. menelaah bagaimana suatu kecelakaan terjadi, komponen lalu lintas mana yang paling dominan menyebabkan terjadinya kecelakaan
- b. memilih prioritas mana yang perlu dilakukan agar kinerja transportasi dapat meningkat
- c. mengkaji sebab-sebab kegagalan kegiatan dalam perbaikan kinerja transportasi agar tidak terulang lagi

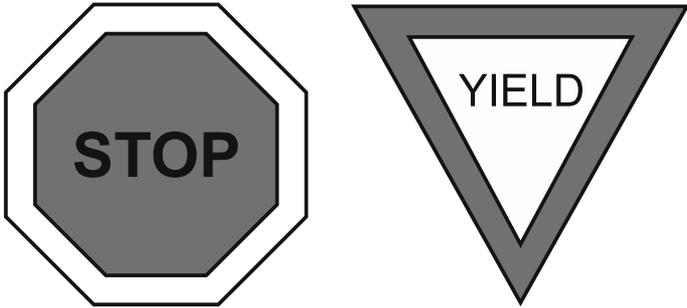
BAB III

VOLUME LALU LINTAS

A. Pengantar

Parameter aliran lalu lintas dibedakan menjadi dua kategori, golongan *macroscopic parameters*, sebagai suatu keseluruhan aliran lalu lintas yang diasumsikan memiliki kecepatan yang sama, dan golongan *microscopic parameters*, yang berupa perilaku individu kendaraan dalam aliran lalu lintas yang mempunyai karakteristik sendiri-sendiri. Dari sisi *macroscopic*, aliran lalu lintas terbagi menjadi:

- a. **Aliran tak terganggu**, adalah fasilitas tanpa faktor eksternal yang dapat menyebabkan gangguan periodik atas arus lalu lintas, seperti aliran di *freeways* dan fasilitas dengan akses terbatas. Di sini tidak ada: sinyal lalu lintas, rambu STOP atau YIELD atau simpang yang mengganggu arus lalu lintas. Mungkin juga ini berupa bagian suatu jalan *rural* yang panjang di antara dua simpang bersinyal, dengan karakteristik pendekatnya mempunyai fasilitas dengan akses terbatas.
- b. **Aliran terganggu**, adalah fasilitas yang mempunyai keadaan/perengkapan penyebab gangguan periodik aliran lalu lintas. Gangguan lalu lintas dapat disebabkan oleh adanya simpang, persilangan dengan rel kereta api, gerakan kendaraan parkir di badan jalan, dan sebagainya. Pada simpang tak bersinyal dengan prioritas, perlengkapan utama yang menciptakan gangguan seperti rambu STOP dan YIELD.



Gambar 3.1. Rambu STOP dan YIELD

B. Definisi volume

Arus lalu lintas adalah jumlah kendaraan yang melewati suatu titik/garis khayal pada jalan per satuan waktu, dinyatakan dalam kend/jam (Q_{kend}), smp/jam (Q_{smp}) atau arus harian dalam bentuk LHRT (Lalu Lintas Harian Rata-Rata Tahunan) (MKJI, 1997). Bila terdapat N kendaraan melintasi garis AA¹ selama waktu T, maka volume atau arus lalu lintas dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

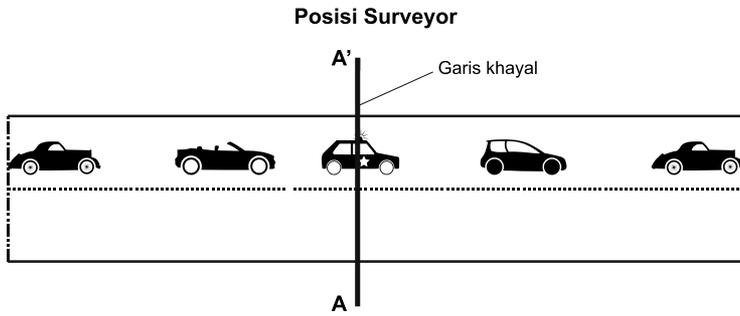
$$Q = N/T \dots\dots\dots(3.1)$$

Volume adalah sebuah peubah (variabel) yang paling penting pada rekayasa lalu lintas, dan pada dasarnya merupakan proses perhitungan yang berhubungan dengan jumlah gerakan per satuan waktu pada lokasi tertentu. Jumlah gerakan yang dihitung dapat meliputi hanya tiap moda lalu lintas saja, seperti: pejalan kaki, mobil, bus atau mobil barang, atau kelompok-kelompok campuran moda.

Periode-periode waktu yang dipilih tergantung pada tujuan studi, konsekuensinya, tingkat ketepatan yang dipersyaratkan akan menentukan frekuensi, jangka waktu, dan pembagian arus tertentu. Studi-studi volume lalu lintas pada dasarnya bertujuan untuk menetapkan: (1) nilai kepentingan relatif suatu rute, (2) fluktuasi dalam arus, (3) distribusi lalu lintas pada sebuah sistem jalan, (4) kecenderungan pemakai jalan (Hobbs, 1995).

C. Survei volume

Survei volume lalu lintas sering dilakukan karena menjadi kriteria awal untuk melihat kinerja transportasi dan rencana pengembangan transportasi ke depan. Survei volume lalu lintas di ruas jalan terlihat pada gambar berikut:

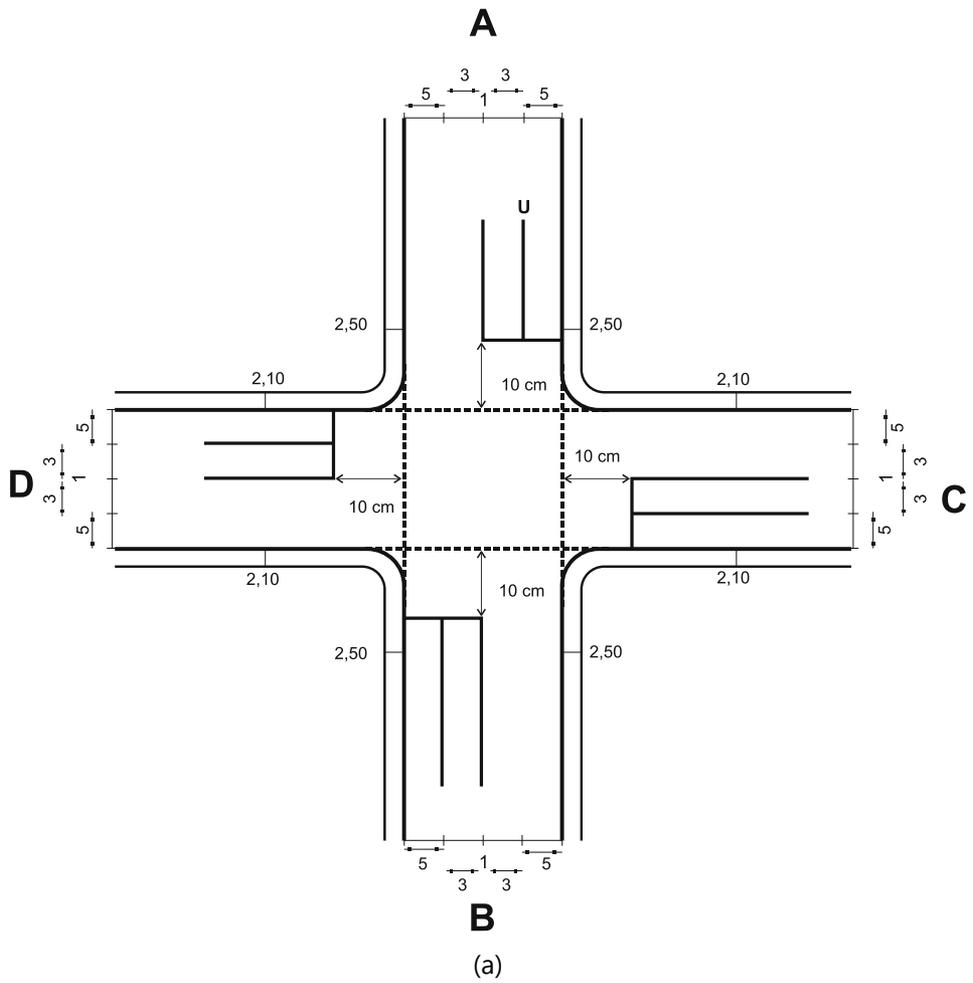


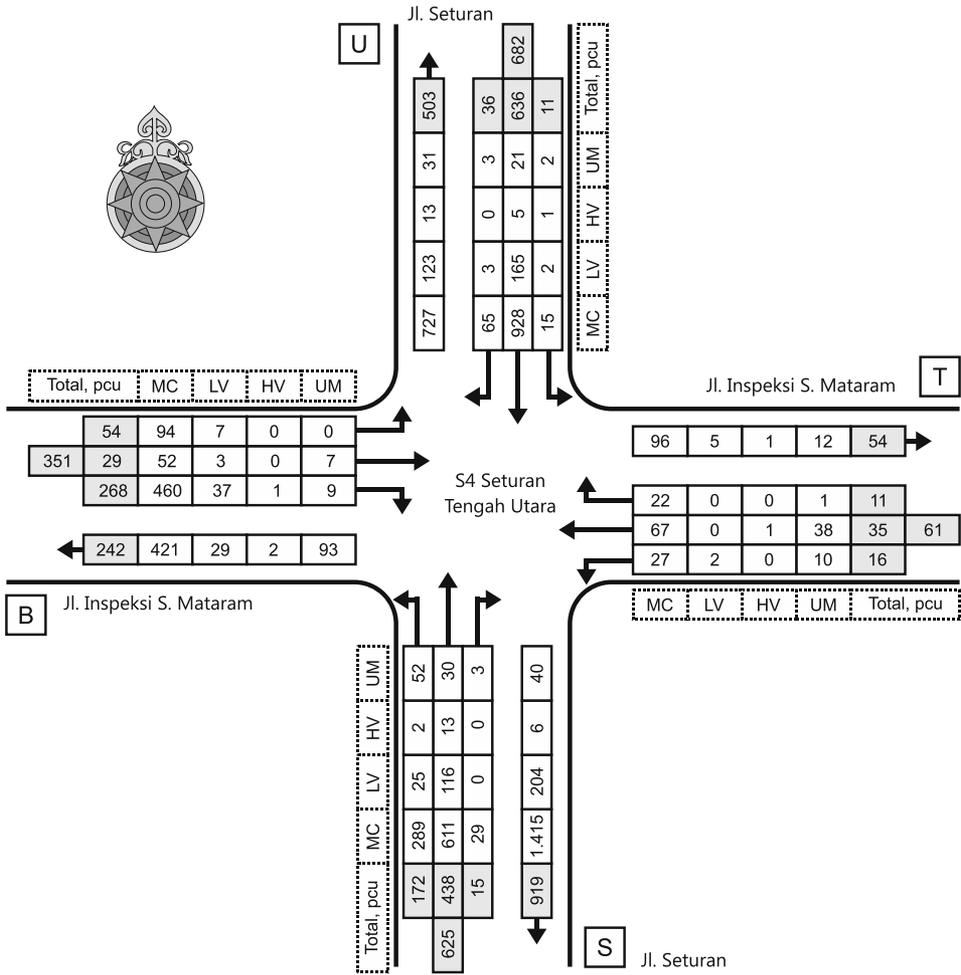
Gambar 3.2. Pengukuran volume lalu lintas di ruas jalan



Gambar 3.3. Surveyor sedang melakukan survei volume lalu lintas

Untuk survei volume lalu lintas di simpang dilakukan seperti gambar berikut:





Sumber: Munawar (2004)

(b)

Gambar 3.4. Survei di simpang: (a) survei geometrik dan (b) survei volume lalu lintas

Formulir survei volume lalu lintas yang telah terisi data survei, tampak dalam contoh berikut:

Formulir Survei Volume Lalu Lintas								
Surveyor	: Heru Gunawan							
Lokasi Survei	: Perempatan Pandanrejo							
Tanggal	: 13 Desember 2003							
Kaki Simpang	: Jl. Bali							
Cuaca	: Berawan							
Arah	: Lurus (ke utara)							
No	Pukul	Mobil	Truk		Becak	Sepeda Motor	Sepeda	Angkot
		Pribadi	Besar	Kecil				
1	06.00 – 06.15	-	-	-		6	5	1
2	06.15 – 06.30	-	-	-	1	10	7	1
3	06.30 – 06.45	-	-	-	2	13	18	1
4	06.45 – 07.00	2	-	-	1	12	15	2
5	07.00 – 07.15	-	-	-	2	18	17	-
6	07.15 – 07.30	-	-	-	-	11	10	-
7	07.30 – 07.45	1	-	-	-	5	11	-
8	07.45 – 08.00	2	-	-	-	6	15	-

D. Rate of Flow

Rate of flow (angka aliran) adalah jumlah kendaraan yang dapat melalui suatu penampang jalan atau lajur jalan pada interval waktu tertentu (biasanya kurang dari 1 jam), misalnya 15 menit. Sebagai contoh tampak dalam tabel berikut:

Tabel 3.1. Contoh perhitungan angka aliran

Periode	Volume (kend)	Rate of flow (kend/jam)
05.00 – 05.15	1000	4000
05.15 – 05.30	1200	4800
05.30 – 05.45	1100	4400
05.45 – 06.00	1000	4000
Total	4300	

Pada periode 15 menitan, *maximum flow of rate* adalah 4800 kend/jam. Ini tidak berarti bahwa 4.800 kendaraan melalui suatu penampang jalan selama observasi. Dari tabel di atas, prinsip dasarnya adalah jika kapasitas jalan hanya 4.500 kend/jam, maka akan terjadi kemacetan walaupun volumenya hanya 4.300 kend/jam.

E. *Peak Hour Factor*

Hubungan antara volume setiap jam dan angka aliran maksimum (*maximum rate of flow*) dalam jam tersebut dinyatakan dengan faktor jam puncak (*Peak Hour Factor = PHF*).

$$PHF = \text{hourly volume} / \text{maximum rate of flow} \dots\dots\dots (3.2)$$

Dengan melihat tabel 3.1., besarnya $PHF = 4.300/4.800 = 0,895$.

Dari contoh di atas, penentuan interval sangat penting dalam pengukuran volume lalu lintas. HCM 1985 mengusulkan untuk menggunakan periode 15 menitan guna analisis operasional dan perancangan. Variasi dalam angka aliran untuk periode kurang dari 15 menitan adalah tidak stabil dan hubungan dengan variabel aliran lalu lintas yang lain sulit untuk ditetapkan.

F. *Ekuivalensi Mobil Penumpang*

Arus lalu lintas terdiri dari berbagai jenis kendaraan dengan karakteristik (ukuran, kecepatan, dan lain-lain) yang berbeda-beda. Untuk tujuan pengukuran arus/volume lalu lintas perlu dikonversikan ke satuan mobil penumpang melalui faktor yang disebut dengan ekuivalensi mobil penumpang (emp). Nilai emp suatu kendaraan akan berbeda untuk kondisi jalan yang berbeda, misalnya emp suatu bus di jalan lokal akan berbeda dengan emp suatu bus di jalan arteri. Begitu pun juga nilai emp di daerah X bisa berbeda dengan nilai emp di daerah Y karena perilaku pengemudi yang juga berbeda.

Dalam MKJI (1997), pengertian ekuivalensi mobil penumpang (emp) adalah faktor konversi berbagai jenis kendaraan dibandingkan dengan mobil penumpang atau kendaraan ringan lainnya sehubungan dengan dampaknya pada perilaku lalu lintas (untuk mobil penumpang dan kendaraan ringan lainnya, $emp=1,0$).

Penentuan nilai emp suatu kendaraan di suatu lokasi dengan kondisi tertentu dapat dilakukan dengan cara melakukan pengamatan beberapa arus lalu lintas jenuh (*saturated*) yang terdiri dari lalu lintas tercampur (*mixed traffic*) dan lalu lintas tersebut tidak ada gangguan dari mulai bagian hulu hingga hilir. Ketiadaan gangguan tersebut seperti tiadanya penyeberang jalan, dan sebagainya.

Selanjutnya, antara satu kondisi arus jenuh dengan kondisi arus jenuh lainnya dibandingkan. Sebagai sebuah contoh, pada kondisi arus jenuh pertama hasil pengamatan, ada 6 mobil penumpang, 1 bus, 17 sepeda motor, 1 sepeda, dan 1 becak, dan pada kondisi arus jenuh kedua ada 2 mobil penumpang, 2 bus, 23 sepeda motor, 6 sepeda, dan 1 becak. Meskipun berbeda jumlah kendaraan tiap tipenya, kondisi arus jenuh pertama dapat dikatakan sama karakteristik lalu lintasnya dengan kondisi arus jenuh kedua. Ini berarti bahwa, dengan jumlah kondisi arus jenuh yang makin banyak, yang berarti validitas data makin baik, maka nilai emp tiap tipe kendaraan dapat diperoleh. Penghitungan jenis dan jumlah tiap jenis kendaraan pada kondisi arus jenuh dilakukan berkali-kali agar diperoleh nilai emp yang memuaskan.

Salah satu cara yang bisa dilakukan untuk mendapatkan nilai emp adalah dengan menggunakan regresi linear ganda. Dalam regresi linear ganda ini, yang dijadikan sebagai variabel *dependent* (Y) adalah mobil penumpang dan sebagai variabel *independent* (X) adalah jenis kendaraan yang lain, berturut-turut X_1 (bus), X_2 (sepeda motor), X_3 (sepeda), X_4 (becak).

Tabel 3.2. Jumlah tiap tipe kendaraan pada kondisi jenuh pada beberapa kali pengamatan

Pengamatan ke-	Jenis Kendaraan				
	(MP)	(BS)	(SM)	(SP)	(BC)
1	6	1	17	1	1
2	2	2	23	6	1
3	5	1	23	7	0
4	4	1	25	4	2
5	4	1	19	2	3
6	1	1	30	2	4

Output yang diperoleh dalam analisa tersebut adalah:

$$Y = 12,6121 - 2,5100(X_1) - 0,1892(X_2) - 0,0786(X_3) - 0,7679(X_4).$$

dengan X_1 : Bus, X_2 : Sepeda Motor, X_3 : Sepeda, dan X_4 : Becak

Persamaan di atas dapat diartikan:

1. *Intercept* atau konstanta 12,6121

Tanpa adanya variabel bus, sepeda motor, sepeda dan becak pada kondisi arus jenuh, jumlah mobil penumpang yang melewati persimpangan yang ditinjau tiap siklusnya adalah 12,6121.

2. Variabel X_1 sebesar - 2,5100

Tanda '-' berarti hubungan bus dengan mobil penumpang adalah negatif, atau setiap penambahan 1 bus akan mengurangi 2,5100 mobil penumpang.

Dengan demikian dapat diperoleh nilai pengaruh bus terhadap mobil penumpang yaitu sebesar 2,5100. Selanjutnya, tinjauan yang sama juga dilakukan pada variabel lainnya.

Berdasarkan penelitian yang pernah dilakukan (Mohi, 2003), nilai emp di daerah simpang di perkotaan Yogyakarta untuk berbagai tipe kendaraan terlihat dalam tabel berikut.

Tabel 3.3. Perbandingan nilai emp rata-rata dengan penelitian sebelumnya.

Jenis Kendaraan	Nilai emp	
	Hasil Penelitian	Sukarno, dan kawan-kawan (1987)
Mobil Penumpang	1,00	1,00
Bus	2,51	2,04
Mini Bus	1,18	1,41
Truk	2,77	2,03
Sepeda Motor	0,15	0,19
Sepeda	0,20	0,23
Becak	0,90	0,93

Sumber: Mohi (2003) dan Sukarno (1987)

Setelah nilai emp diperoleh, menurut MKJI (1997), penentuan volume dilakukan dengan rumus berikut:

$$Q = (QHV \times emp \text{ HV}) + (QLV \times emp \text{ LV}) + (QMC \times emp \text{ MC}) \dots\dots\dots(3.3)$$

dengan:

- Q = Volume lalu lintas (smp/jam)
- HV = Kendaraan berat
- LV = Kendaraan ringan
- MC = Sepeda motor

G. Jenis-Jenis Volume Lalu Lintas

- a. LHRT (Lalu Lintas Harian Rata-Rata Tahunan) = AADT (*Average Annual Daily Traffic*), adalah volume lalu lintas rata-rata 24 jam pada suatu lokasi yang ditentukan selama satu tahun penuh (365 hari), yang adalah jumlah total kendaraan yang lewat di tempat itu dalam satu tahun dibagi dengan jumlah hari dalam satu tahun (365 hari).
- b. LHR (Lalu Lintas Harian Rata-Rata) = ADT (*Average Daily Traffic*), adalah volume lalu lintas rata-rata 24 jam pada suatu lokasi yang ditentukan untuk beberapa periode waktu kurang dari satu tahun. ADT dapat diukur

untuk enam bulan, sebulan, satu musim, seminggu, dan seterusnya. ADT adalah jumlah yang sah hanya untuk periode pengukuran tersebut.

- c. VJP (Volume Jam Perencanaan) = DHV (*Design Hour Volume*) adalah volume lalu lintas yang dipakai dalam perancangan dan analisis operasional. Dalam perancangan, volume jam puncak kadang-kadang diestimasi dari proyeksi volume harian dengan menggunakan persamaan:

$$DDHV = AADT \times k \times D \dots\dots\dots (3.4)$$

dengan

DDHV = *Directional Design Hour Volume* (vph)

AADT = *Average Annual Daily Traffic* (vpd)

k = *proporsi daily traffic* yang terjadi selama jam puncak

D = persentase tiap arah

Untuk perancangan, k selalu mewakili proporsi AADT yang terjadi pada jam puncak yang ke-30 (*thirtieth highest peak hour*) dari satu tahun.

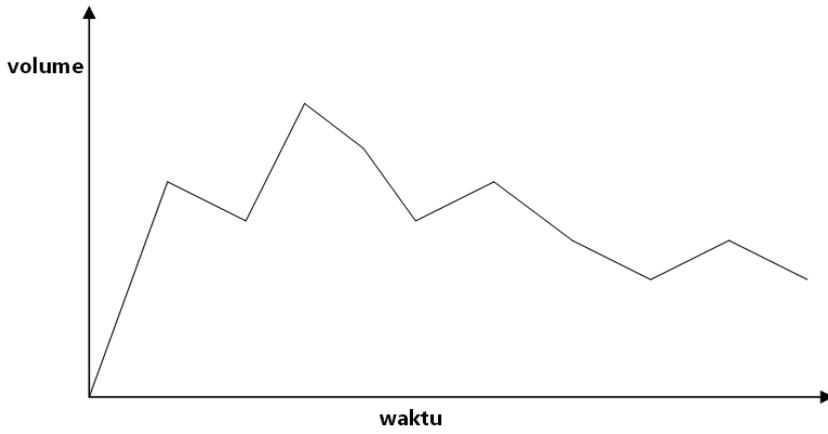
H. Fluktuasi Volume Lalu Lintas

Fluktuasi volume lalu lintas bisa ditunjukkan dengan nilai k dan D. Adapun nilai k dan D pada setiap jenis jalan (*recreational*, luar kota, perkotaan, dan sebagainya) tercantum dalam tabel berikut.

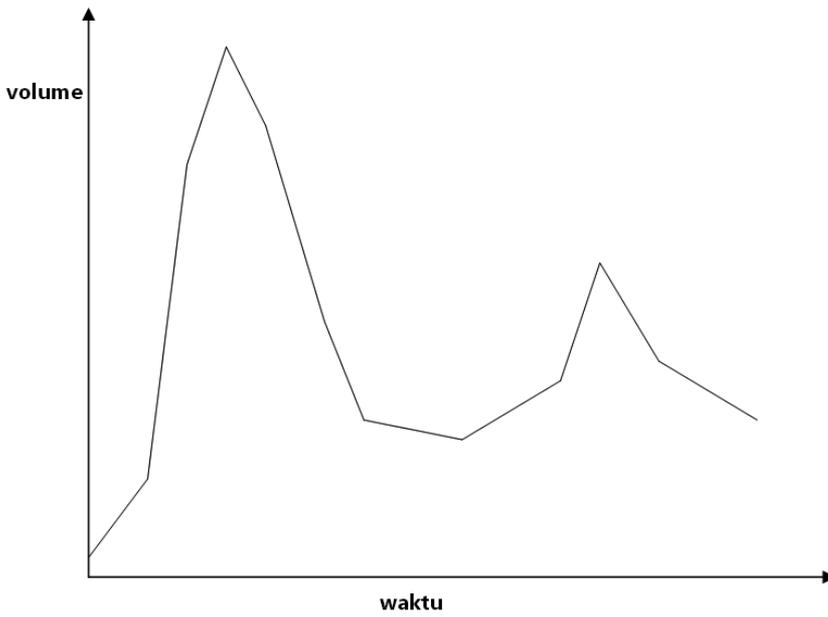
Tabel 3.4. Rentang nilai k dan D pada tiap jenis jalan

Tipe jalan	<i>Normal Range of Factors</i>	
	Faktor k	Faktor D
<i>Rural</i>	0,15 – 0,25	0,65 – 0,80
<i>Suburban</i>	0,12 – 0,15	0,55 – 0,65
<i>Urban</i>		
<i>Radial route</i>	0,07 – 0,12	0,55 – 0,60
<i>Circumferential route</i>	0,07 – 0,12	0,50 – 0,55

Sumber: McShane, W.R., Roess, R.P. (1990)



(a)



(b)

Gambar 3.5. Fluktuasi volume lalu lintas jam-jaman dalam satu hari:
(a) di jalan perkotaan dan (b) di jalan pinggir kota

I. Kapasitas

Berdasarkan HCM 1985, ditinjau dari volume, kapasitas dibagi menjadi tiga:

- a. kapasitas dasar (*basic capacity*), yaitu jumlah kendaraan maksimum yang dapat melintasi suatu penampang jalan atau ruas jalan selama satu jam pada kondisi jalan dan lalu lintas yang paling ideal. Kondisi ideal dimaksud yaitu arus lalu lintas tidak terganggu, bebas dari gangguan samping atau pejalan kaki, arus lalu lintas hanya terdiri dari mobil penumpang, lebar lajur minimal 3,6 m, lebar bahu jalan minimal 1,8 m, jalan datar–sedemikian sehingga alinemen horizontal dan alinemen vertikal memenuhi kecepatan 120 km/jam dengan jarak pandang menyiap yang cukup untuk jalan dua lajur atau tiga lajur.
- b. kapasitas yang mungkin, yaitu jumlah kendaraan maksimum yang dapat melintasi suatu penampang jalan atau ruas jalan selama satu jam pada kondisi jalan dan lalu lintas yang sedang berlaku pada jalan tersebut.
- c. kapasitas praktis (*practical capacity*) yaitu jumlah kendaraan maksimum yang dapat melintasi suatu penampang jalan atau ruas jalan selama satu jam dengan kepadatan lalu lintas yang cukup besar, yang dapat menyebabkan perlambatan yang berarti bagi kebebasan pengemudi kendaraan melakukan gerakan pada kondisi jalan dan lalu lintas yang berlaku saat ini.

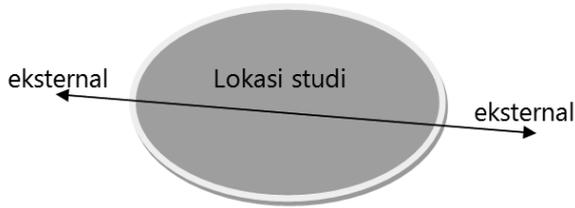
J. Pertumbuhan Lalu Lintas

Pertumbuhan volume lalu lintas merupakan gabungan dari ketiga macam tipe pertumbuhan berikut ini

- a. *Normal Traffic Growth*
Pertumbuhan volume lalu lintas akibat bertambahnya kepemilikan kendaraan yang terjadi di daerah tersebut. Kepemilikan kendaraan biasa dilihat dari jumlah BPKB baru di wilayah dimaksud.
- b. *Generated Traffic*
Pertumbuhan volume lalu lintas akibat tumbuhnya prasarana baru misal mal, dan sebagainya. Dengan adanya prasarana baru, maka muncul tarikan pergerakan sekaligus bangkitan pergerakan.
- c. *Development Traffic*
Pertumbuhan volume lalu lintas akibat perkembangan lingkungan, misalnya adanya jalan baru atau perbaikan jalan lama.

Pada kasus yang terjadi, misalnya di ruas jalan luar kota di suatu daerah yang merupakan tempat perlintasan pergerakan lalu lintas menerus (*through traffic*), maka perhitungan pertumbuhan lalu lintas di ruas jalan tersebut harus dilakukan

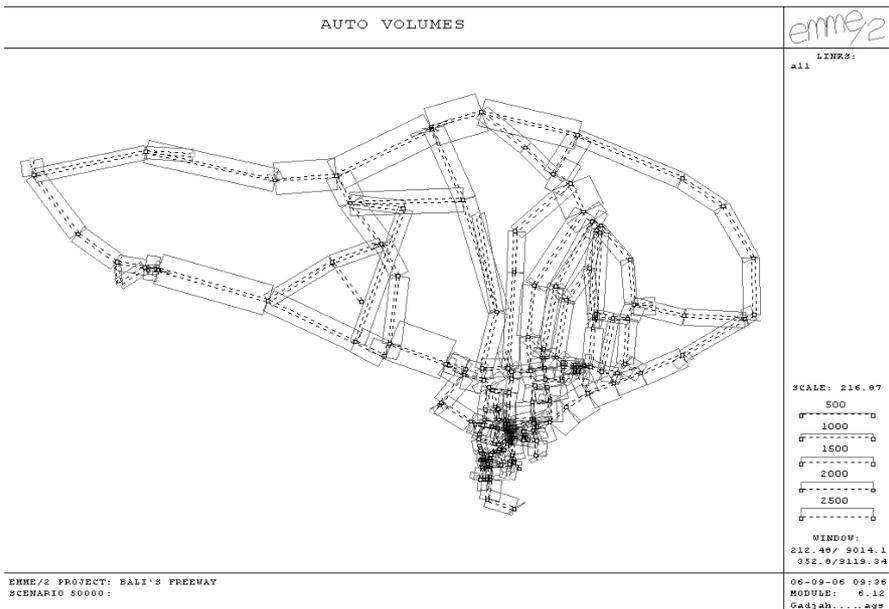
dengan sangat hati-hati. Pada gambar di bawah ini, jika normal *traffic growth* pada ruas jalan hanya dilakukan dengan pertimbangan pertumbuhan jumlah kendaraan di lokasi studi, maka hasil yang didapat akan keliru karena semestinya *normal traffic growth*-nya lebih dominan didasarkan atas pergerakan lalu lintas dari eksternal ke eksternal.



Gambar 3.6. Lalu lintas menerus

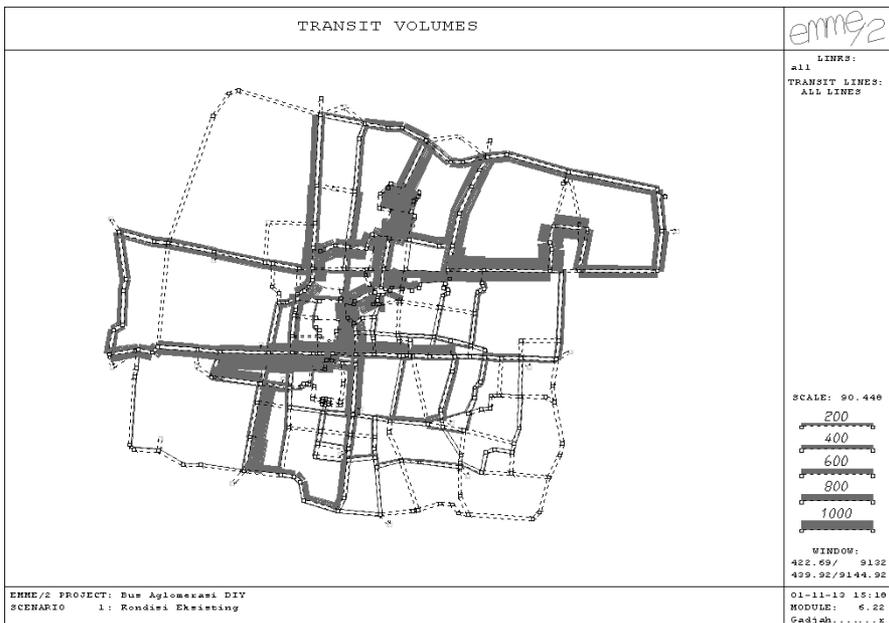
K. Penggambaran Volume dalam Peta

Penggambaran volume lalu lintas dalam sebuah peta sering digunakan untuk merepresentasikan sejauh mana besar volume lalu lintas suatu ruas jalan terhadap ruas jalan yang lain. Penggambaran juga bisa dibuat untuk volume angkutan umum yang melewati ruas-ruas jalan.



Sumber: Pekerjaan penyusunan program pengembangan jaringan jalan bebas hambatan dan jalan tol di pulau Bali, 2006.

Gambar 3.7. Volume lalu lintas di tiap ruas jalan



Catatan: Makin tebal garis segiempat, maka volume lalu lintas makin besar

Gambar 3.8. Volume angkutan umum di tiap ruas jalan

BAB IV

KECEPATAN DAN KEPADATAN LALU LINTAS

A. Kecepatan

Kecepatan didefinisikan dengan jarak dibagi waktu tempuh. Kecepatan menjadi ukuran utama kinerja ruas jalan selain VCR (*Volume Capacity Ratio*) atau DS (*Degree of Saturation*). Kecepatan memiliki bermacam-macam bentuk, yaitu:

1. *Spot speed*

Spot speed (kecepatan setempat) adalah kecepatan sesaat di suatu bagian jalan tertentu pada jarak yang cukup pendek atau pada suatu titik tertentu. *Spot speed* dapat diukur di antaranya dengan cara:

- a. langsung menggunakan radar meter (*speed gun*). Alat ini bekerja berdasar prinsip asas fisika dengan pantulan gelombang dari benda yang bergerak, di mana panjang gelombang tersebut akan berubah sesuai dengan kecepatan benda bergerak. Gelombang yang dipakai dapat berupa gelombang radio, gelombang ultrasonik maupun gelombang inframerah.
- b. dengan menggunakan video camera, maka tayangan video yang dibidikkan ke lalu lintas kendaraan pada panjang jalan tertentu dapat diputar kembali rekamannya.

- c. menggunakan bendera. Dua orang saling bekerja sama pada jarak kurang dari 100 m. Salah satu orang mengangkat bendera ketika kendaraan yang disurvei tepat di depannya, sementara lainnya menekan *stop watch*. *Stop watch* dihentikan setelah jarak tersebut dilalui.

2. *Running speed* dan *travel speed*

Running speed adalah kecepatan gerak, yaitu kecepatan tanpa mempertimbangkan waktu henti/*stop*, sementara *travel speed* adalah kecepatan perjalanan, yaitu kecepatan dengan waktu henti/*stop* dipertimbangkan. Perbedaan yang besar antara *running speed* dan *travel speed* menunjukkan adanya ketertundaan yang besar pada titik-titik simpang dan sejenisnya.

3. *Time mean speed* dan *space mean speed*

- a. Kecepatan rerata waktu (*time mean speed*) dapat diperoleh dengan cara menghitung rerata aritmatik kecepatan observasi, yaitu:

$$U_t = \frac{x}{n} \left[\frac{1}{t_1} + \frac{1}{t_2} + \frac{1}{t_3} + \dots + \frac{1}{t_n} \right] \dots\dots\dots (4.1)$$

Time Mean Speed (TMS) adalah rerata dari beberapa nilai kecepatan.

- b. Kecepatan rerata ruang (*space mean speed*) adalah kecepatan rerata harmonik (*harmonic mean speed*), diperoleh dari waktu tempuh (*travel time*) rerata, dengan rumus sebagai berikut:

$$U_s = \frac{x}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i} \dots\dots\dots (4.2)$$

di mana:

- U_s : kecepatan rerata ruang (m/det)
- x : panjang ruas jalan untuk pengukuran kecepatan (m)
- t_i : waktu tempuh kendaraan ke-i yang menempuh jarak x (detik)
- n : jumlah kendaraan yang diambil data kecepatannya.

Space Mean Speed (SMS) adalah jarak dibagi waktu rerata beberapa kendaraan.

Tabel 4.1. Perhitungan TMS dan SMS

Kendaraan	Jarak (m)	Waktu (menit)	Kecepatan (km/jam)
1	1000	4	15
2	1000	2	30
3	1000	1	60
Rerata	1000	2,333	35

TMS: 35 km /jam, SMS: 1000 m / 2,333 menit: 25,7 km/jam

4. *Floating car method* dan *moving car observer*

Floating car method adalah survei kecepatan dengan mengikuti pergerakan kendaraan-kendaraan yang berada di suatu ruas jalan. Jalannya kendaraan survei sesuai dengan mayoritas pergerakan lalu lintas di ruas jalan tersebut. Pada *floating car method*, jumlah kendaraan yang mendahului dan didahului kendaraan survei relatif sama. Sementara *moving car observer* adalah survei kecepatan kendaraan lebih valid yang disertai perhitungan volume lalu lintas kedua arah, jumlah kendaraan yang mendahului dan didahului kendaraan survei serta waktu tempuhnya. Berikut adalah contoh *moving car observer* pada survei di ruas jalan dengan panjang segmen 2,5 km:

Tabel 4.2. Perhitungan Moving Car Observer

Arah kendaraan survei Ke Utara	Waktu (menit)	Jumlah kendaraan berlawanan arah dengan kend survei	Kendaraan yang mendahului kendaraan survei	Kendaraan yang didahului kendaraan survei
	4,56	232	11	27
	4,55	334	17	31
	3,85	281	4	43
	3,75	261	7	32
	3,22	237	6	45
	3,05	244	4	36
Rerata	3,83	264,8	8,167	35,67
selisih			- 27,503	

Arah kendaraan survei ke selatan	Waktu (menit)	Jumlah kendaraan berlawanan arah dengan kend. survei	Kendaraan yang mendahului kendaraan survei	Kendaraan yang didahului kendaraan survei
	4,35	199	24	49
	3,92	239	39	35
	3,55	213	17	58
	3,8	201	1	51
	3,03	197	3	62
	3,18	218	1	85
Rerata	3,64	211,167	14,167	56,67
selisih			- 42,503	

$$q = (x + y) / (a + w)$$

$$t = w - (y / q)$$

dengan

q : arus (volume) searah kendaraan survei

x : arus arah berlawanan

y : selisih arus mendahului dan didahului

w : rata-rata perjalanan searah

a : rata-rata perjalanan berlawanan arah

t : waktu rata-rata

Arah Utara

$$q = (211,167) + (-27,503) / (3,64 + 3,83) = 24,59 \text{ kend per menit}$$

$$t = w - (y / q) = 3,83 - (-27,503 / 24,59) = 4,948 \text{ menit}$$

$$\text{Kecepatan} = 2,5 \text{ km} \cdot 60 / 4,948 = 30,315 \text{ km/jam}$$

Arah Selatan

$$q = (264,8) + (-42,503) / (3,64 + 3,83) = 29,76 \text{ kend per menit}$$

$$t = w - (y / q) = 3,83 - (-42,503 / 29,76) = 5,258 \text{ menit}$$

$$\text{Kecepatan} = 2,5 \text{ km} \cdot 60 / 5,258 = 28,528 \text{ km/jam}$$

B. Kepadatan

Kepadatan merupakan konsentrasi kendaraan di jalan. Kepadatan adalah jumlah kendaraan tiap panjang jalan tertentu. Kepadatan dinyatakan sebagai kendaraan tiap mil atau kendaraan per km. Survei kepadatan dilakukan dengan menggunakan foto udara atau video dari tempat yang tinggi pada panjang jalan tertentu.

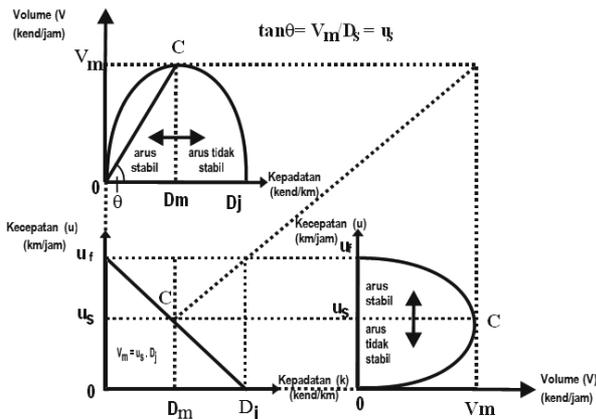
BAB V

HUBUNGAN VOLUME, KECEPATAN, DAN KEPADATAN

A. Hubungan Volume, Kecepatan, dan Kepadatan

A.1. Metode Greenshields

Greenshields (1934) mengadakan studi pada jalur jalan di luar Kota Ohio, di mana kondisi lalu lintasnya tanpa gangguan dan bergerak secara bebas (*steady state condition*). Hasilnya adalah suatu pendekatan hubungan antara kecepatan dan kepadatan yang mengikuti fungsi linear. Berikut digambarkan hubungan kecepatan, arus, dan kepadatan menurut Greenshields.



Gambar 5.1. Grafik hubungan variabel lalu lintas model Greenshields

a. Hubungan kecepatan (Us) dan kepadatan (D)

Menurut Greenshields, kecepatan arus dan kepadatan mempunyai hubungan sistematis sebagai berikut:

$$V = U_s \cdot D \dots\dots\dots(5.1)$$

dimana:

V : volume arus lalu lintas (kendaraan/jam)

D : kepadatan (kendaraan/km)

U_s : kecepatan rerata ruang (km/jam)

Hubungan variabel lalu lintas berupa volume lalu lintas, kecepatan (kecepatan rata-rata ruang) dan kepadatan digambarkan dalam diagram fundamental. Dengan bentuk umum persamaan linier Y = Ax + B dengan x adalah kepadatan (D) dan Y adalah kecepatan (Us). Nilai A dan B dapat dicari sebagai berikut:

$$A = \frac{\sum x^2 \sum Y - \sum x \sum xY}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \dots\dots\dots(5.2)$$

$$B = \frac{n \sum xY - \sum x \sum Y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \dots\dots\dots(5.3)$$

$$U_s = U_f - \left(\frac{U_f}{D_j} \right) \cdot D \dots\dots\dots(5.4)$$

dengan:

U_f : kecepatan arus bebas rerata (km/jam)

D_j : kepadatan pada kondisi macet total (*jam density*)

b. Hubungan volume (V) dan kecepatan (Us)

$$V = D_j \cdot U_s - \left(\frac{D_j}{U_f} \right) \cdot U_s^2 \dots\dots\dots(5.5)$$

c. Hubungan arus (V) dan kepadatan (D)

$$V = U_f \cdot D - \left(\frac{U_f}{D_j} \right) \cdot D^2 \dots\dots\dots(5.6)$$

d. Menentukan volume maksimum (Vm)

Untuk menentukan kepadatan (D) dan kecepatan rerata ruang saat kapasitas maksimal, dilakukan dengan diferensial persamaan menjadi sebagai berikut:

i. Kepadatan pada saat arus maksimal (Dm)

$$\frac{dV}{dD} = U_f - \frac{U_f}{D_j} \cdot 2D = 0$$

$$D = D_m = \frac{D_j}{U_f} \dots\dots\dots(5.7)$$

ii. Kecepatan pada saat arus maksimal (Um)

$$\frac{dV}{dU_s} = D_j - \frac{D_j}{U_f} \cdot 2U_s = 0$$

$$U_s = U_m = \frac{U_f}{2} \dots\dots\dots(5.8)$$

Dari persamaan di atas, maka dapat diperoleh volume arus lalu lintas maksimal (kapasitas = qm = C) sebagai:

$$V_m = C = U_m \cdot D_m = \frac{U_f \cdot D_j}{4} \dots\dots\dots(5.9)$$

$$U_m = \frac{U_f}{2} \dots\dots\dots(5.10)$$

dengan:

U_f : kecepatan arus bebas rerata (km/jam)

D_j : kepadatan pada kondisi macet total (*jam density*)

Grafik hubungan antara kecepatan, arus (volume), dan kepadatan tersebut di atas juga menggambarkan parameter sebagai berikut:

1. Kapasitas (C), merupakan kondisi di mana terjadi arus maksimum (Vm) yang dinyatakan dengan satuan kendaraan/jam.
2. Kecepatan kritik (Um) merupakan kecepatan pada saat mencapai kondisi kapasitas yang dinyatakan dengan satuan km/jam.
3. Kepadatan kritik (Dm) merupakan kepadatan pada saat mencapai kapasitas maksimum yang dinyatakan dengan satuan kendaraan/km.

4. Kepadatan jam (D_j) merupakan keadaan untuk semua kendaraan berhenti, yang dinyatakan dengan satuan kendaraan/km.
5. Kecepatan teoretis (U_f), merupakan kondisi di mana lalu lintas yang kepadatannya nol, dinyatakan dengan satuan km/jam.

A.2. Metode Greenberg

Greenberg tahun 1959, mengadakan studi di Lincoln Tunnel dan menganalisa karakteristik lalu lintas dengan mengasumsikan bahwa arus lalu lintas mempunyai kesamaan dengan arus fluida atau persamaan kontinuitas dari persamaan gerak benda cair. Hubungan matematis antara kepadatan dan kecepatan dapat dinyatakan dalam bentuk logaritma natural. Model ini tidak valid untuk kepadatan yang kecil karena pada kepadatan mendekati nol, maka kecepatan bernilai sangat besar (tak terhingga).

a. Hubungan kecepatan (U_s) dan kepadatan (D)

Bentuk umum persamaan kecepatan dan kepadatan dinyatakan dengan fungsi $Y = A X + B$ dengan $X = \ln D$ dan $Y =$ kecepatan, sehingga didapat

$$U_s = U_f \cdot \ln \frac{D_j}{D} \dots\dots\dots(5.11)$$

b. Hubungan volume (V) dan kecepatan (U_s)

$$V = D_j U_s e^{-U_s/U_f} \dots\dots\dots(5.12)$$

c. Hubungan volume (V) dan kepadatan (D)

$$V = U_f \cdot D \cdot \ln \left(\frac{D_j}{D} \right) \dots\dots\dots 5.13)$$

d. Menentukan volume maksimum

V_m diperoleh saat $\frac{\partial V}{\partial D} = 0$, maka:

$$V_m = U_f \frac{D_j}{e} \dots\dots\dots(5.14)$$

A.3. Metode Underwood

Underwood mengemukakan suatu hipotesis bahwa hubungan antar variabel lalu lintas (kecepatan dan kepadatan) merupakan hubungan eksponensial negatif. Model Underwood dapat berlaku pada kondisi kepadatan arus lalu lintas yang

rendah karena dapat menghasilkan harga kecepatan sama dengan kecepatan pada arus bebas ($U_s = U_f$). Model Underwood tidak valid untuk kepadatan yang tinggi, karena kecepatan tidak pernah mencapai nol pada saat kepadatan yang tinggi.

a. Hubungan kecepatan (U_s) dan kepadatan (D)

Persamaan umum kecepatan dan kepadatan difungsikan dengan $Y = A X + B$, di mana X adalah kepadatan dan $Y = \ln U_s$. Dengan asumsi kecepatan berhubungan secara eksponensial (-) dengan kepadatan, maka:

$$U_s = U_f \cdot e^{-D/D_m} \dots\dots\dots(5.15)$$

b. Hubungan volume (V) dan kecepatan (U_s)

$$V = U_s \cdot D_m \cdot \ln \frac{U_f}{U_s} \dots\dots\dots(5.16)$$

c. Hubungan volume (V) dan kepadatan (D)

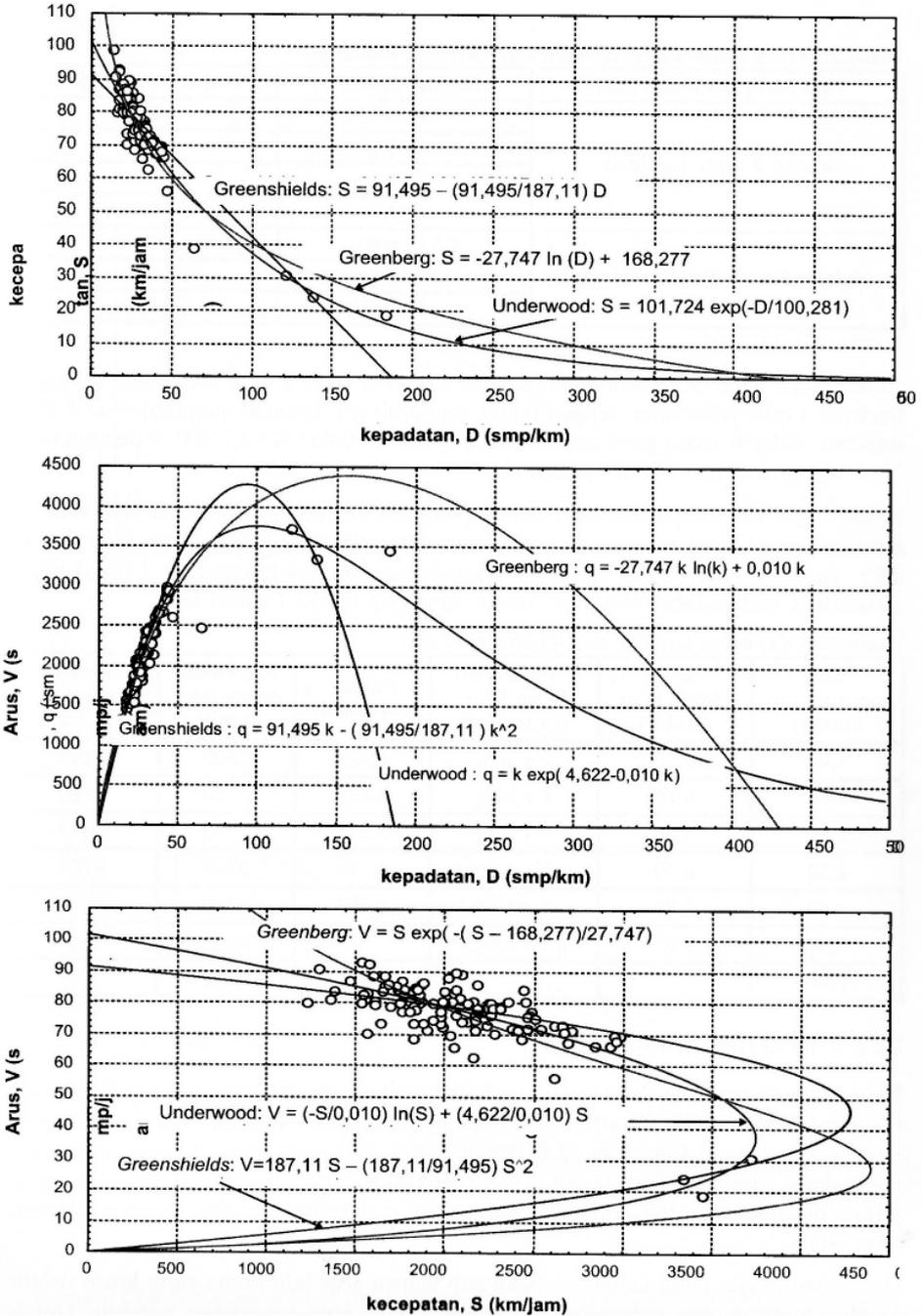
$$V = U_f \cdot D \cdot e^{-D/D_m} \dots\dots\dots(5.17)$$

d. Menentukan volume maksimum (V_m)

V_m dapat diperoleh saat $\partial V/\partial D = 0$, sehingga diperoleh:

$$V_m = U_f \cdot D_m/e \dots\dots\dots(5.18)$$

Ketiga bentuk model di atas, bila dibandingkan tampak dalam gambar berikut:



(Sumber: Tamin, 2008)

Gambar 5.2. Grafik parameter lalu lintas menurut Greenshields, Greenberg, dan Underwood

A.4. Contoh Perhitungan dengan Metode Greenshields

Dilakukan survei volume (V) dan kecepatan (u_s) pada suatu ruas jalan di pagi hari, yang hasilnya tampak pada tabel di bawah ini.

Tabel 5.1 Hubungan antara kecepatan, arus, dan kepadatan

No	Periode	Volume (X.Y)	Kecepatan (Y)	Kepadatan (X)	X ²
1	07.00 - 07.10	774.90	29.7234	26.0704	679.6641
2	07.20 - 07.30	758.82	24.6125	30.8307	950.5321
3	07.30 - 07.40	973.08	28.0832	34.6498	1200.6120
4	07.50 - 08.00	846.54	30.5147	27.7421	769.6217
5	08.05 - 08.15	892.20	25.8109	34.5668	1194.8612
6	08.15 - 08.25	881.88	26.6980	33.0317	1091.0957
7	08.25 - 08.35	943.20	23.3392	40.4128	1633.1916
8	08.37 - 08.47	932.76	28.7557	32.4374	1052.1831
9	08.50 - 09.00	936.30	26.9395	34.7556	1207.9538
10	09.30 - 09.13	687.06	25.7280	26.7047	713.1414
11	09.13 - 09.23	764.46	26.0428	29.3540	861.6592
12	09.25 - 09.35	553.68	31.4363	17.6128	310.2097
	jumlah	9,944.8800	327.6842	368.1688	11664.7257

Sumber: Susana (2004)

Dengan:

X = kepadatan (D)

Y = kecepatan (u_s)

Untuk menentukan garis regresi hubungan kecepatan dan kepadatan, volume dan kecepatan serta volume dan kepadatan dilakukan langkah berikut:

$$\begin{aligned}
 A = u_f &= \frac{\sum x^2 \cdot \sum y - \sum x \cdot \sum xy}{n \cdot \sum x^2 - (\sum x)^2} \\
 &= \frac{11664,7257 \cdot 327,6842 - 368,1688 \cdot 9944,8800}{12 \cdot 11664,7257 - (368,1688)^2} \\
 &= 36,345
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 B &= \frac{n \cdot \sum xy - \sum x \cdot \sum y}{n \cdot \sum x^2 - (\sum x)^2} \\
 &= \frac{12 \cdot 9944,88 - 368,1688 \cdot 327,6842}{12 \cdot 11664,7257 - (368,1688)^2} \\
 &= -0,2946
 \end{aligned}$$

sehingga diperoleh:

$$u_f = A = 36,345 \text{ km/jam}$$

$$\begin{aligned}
 D_j &= \frac{-u_f}{B} \\
 &= \frac{-36,345}{-0,2946} \\
 &= 123,37 \text{ smp/km}
 \end{aligned}$$

jadi $u_f = 36,345 \text{ km/jam}$
 $D_j = 123,37 \text{ smp/km}$

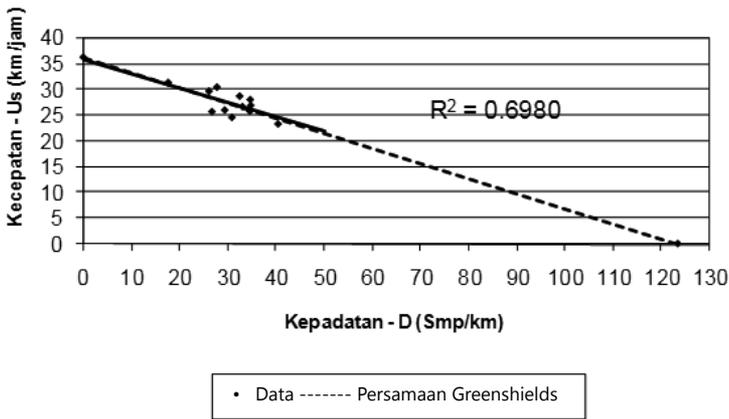
a. Hubungan kecepatan (u_s) dan kepadatan (D)

$$u_s = u_f - (u_f/D_j) \cdot D$$

$$u_s = 36,345 - (36,345/123,37) \cdot D$$

Jadi model persamaan hubungan kecepatan (u_s) dan kepadatan (D) sebagai berikut:

$$u_s = 36,345 - (36,345/123,37) \cdot D$$



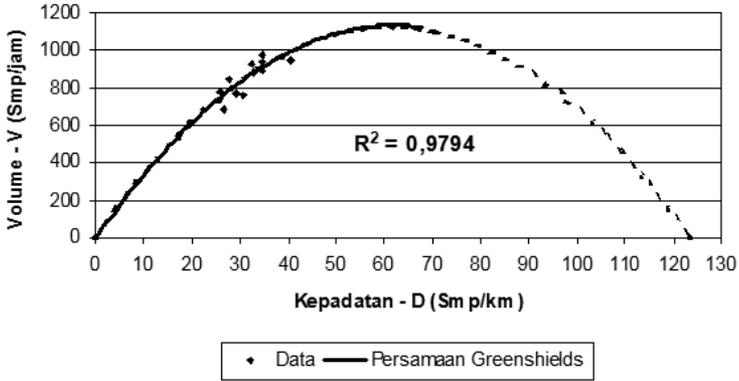
Gambar 5.3. Hubungan kecepatan dan kepadatan (D) metode Greenshields

b. Hubungan volume (V) dan kepadatan (D)

$$\begin{aligned}
 V &= u_f \cdot D - (u_f/D_j) \cdot D^2 \\
 &= 36,345 \cdot D - (36,345/123,37) \cdot D^2 \\
 &= 36,345 \cdot D - 0,2946 \cdot D^2
 \end{aligned}$$

Jadi model persamaan hubungan volume (V) dan kepadatan (D) menjadi:

$$V = 36,345 \cdot D - 0,2946 \cdot D^2$$



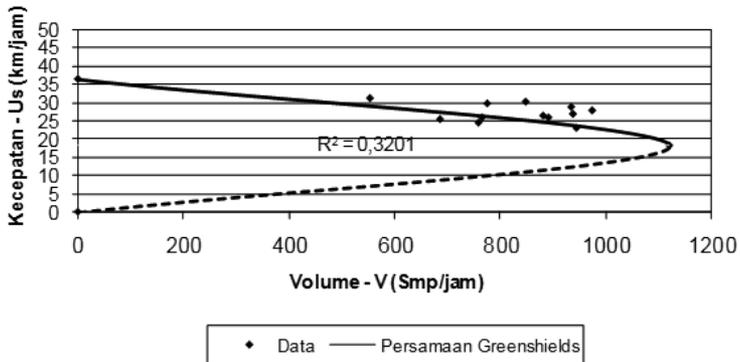
Gambar 5.4. Hubungan volume (V) dan kepadatan (D) metode Greenshields

c. Hubungan volume (V) dan kecepatan (u_s)

$$\begin{aligned}
 V &= D_j \cdot u_s - (D_j/u_f) \cdot u_s^2 \\
 V &= 123,37 \cdot u_s - (123,37/36,345) \cdot u_s^2 \\
 V &= 123,37 \cdot u_s - 3,396 \cdot u_s^2
 \end{aligned}$$

Jadi model persamaan hubungan volume (V) dan kecepatan (u_s) sebagai berikut:

$$V = 123,37 \cdot u_s - 3,396 \cdot u_s^2$$



Gambar 5.5. Hubungan volume (V) dan kecepatan (u_s) metode Greenshields

d. Menentukan volume maksimum (V_m)

Volume maksimum terjadi pada kondisi:

1) $D = D_j/2$

2) $u_s = u_f/2$

sehingga volume maksimum yang terjadi dari kedua kondisi tersebut adalah:

- Untuk kondisi $D = D_j/2$

$$V_m = (u_f \cdot D_j)/4$$

$$V_m = (36,345 \cdot 123,37)/4$$

$$V_m = 1120,97 \text{ smp/jam}$$
- Untuk kondisi $u_s = u_f/2$

$$V_m = (u_f \cdot D_j) /4$$

$$V_m = (36,345 \cdot 123,37)/4$$

$$V_m = 1120,97 \text{ smp/jam}$$

Jadi volume maksimum yang terjadi adalah: $V_m = 1120,97 \text{ smp/jam}$ dengan:

$$D = 123,37/2 = 61,685 \text{ smp/jam}$$

$$u_s = 36,345/2 = 18,1725 \text{ km/jam}$$

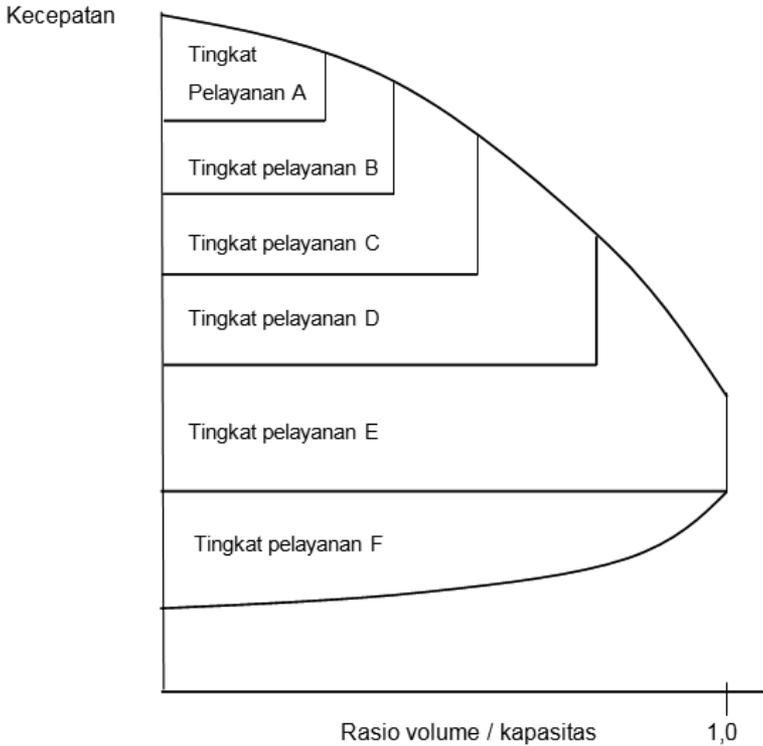
Untuk lebih jelasnya nilai-nilai dari hasil persamaan di atas dapat dilihat dalam tabel berikut ini:

Tabel 5.2 Nilai variabel lalu lintas

No	Variabel	Nilai
1	Kepadatan pada kondisi macet (D_j) smp/km	123,37
2	Kecepatan maksimum teoritik (u_f) km/jam	36,345
3	Kepadatan saat volume maksimum (D) smp/km	61,685
4	Kecepatan saat volume maksimum (u_s), km/jam	18,1725
5	Kapasitas (c)	1120,97

B. Tingkat Pelayanan Jalan

Tingkat pelayanan (*level of service* = LOS) jalan ditentukan oleh besarnya kecepatan dan *Volume Capacity Ratio* (VCR). Tingkat pelayanan jalan juga bisa digambarkan dari hubungan antara kecepatan dan rasio volume terhadap kapasitas sebagaimana gambar 5.6. di bawah ini.



Gambar 5.6. Hubungan rasio volume kapasitas terhadap kecepatan

C. Headway dan Spacing

Headway (*h*) adalah selang waktu kedatangan kendaraan yang berturutan, dengan satuan 'detik/kendaraan' atau 'detik/smp' atau cukup 'detik'. Satuan *headway* juga dapat berupa 'menit'. Sementara *spacing* (*s*) adalah jarak antar bumper depan kendaraan yang berurutan. *Headway* merupakan kebalikan dari volume, sementara *spacing* adalah kebalikan dari kepadatan. Selain itu juga dikenal adanya *clearance* (*c*) yakni jarak antara bumper depan kendaraan belakang, dengan bumper belakang kendaraan depan. Demikian pula ada *gap* (*g*), yaitu selisih waktu kedatangan kendaraan diukur dari bumper depan kendaraan belakang, dengan bumper belakang kendaraan depan. Besarnya *gap* (*g*) sama dengan *headway* (*h*) dikurangi rasio panjang kendaraan (*l*) dengan kecepatan kendaraan (*u*) yang dirumuskan:

$$g = h - \frac{l}{u} \dots\dots\dots(5.19)$$

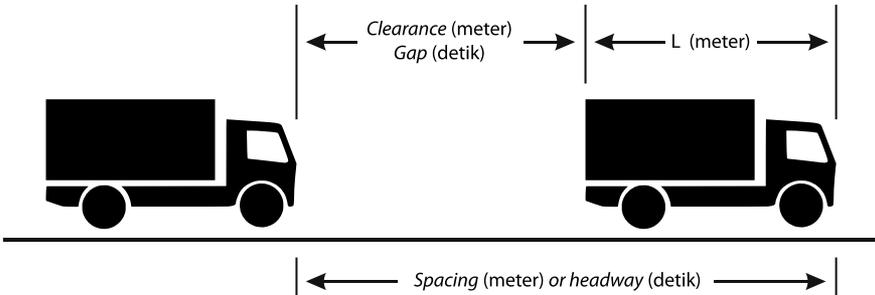
dengan:

q = gap (detik)

h = headway (detik)

l = panjang kendaraan (meter)

U = kecepatan kendaraan (meter/detik)



Gambar 5.7. Penggambaran headway, spacing, gap, dan clearance

Contoh soal

Tentukan besarnya *headway* jika jarak antar bumper depan kendaraan sebesar 20 meter, dengan kecepatan rerata 40 km/jam.

s : 1 / D = 20 m (=20 m/kend)

Us : 40 km/jam = 40.000 m/jam

V : D. Us.

V = (1/20). kend/m . 40.000 m/jam = 2.000 kend/jam

h = 1/V = 3.600 detik/2.000 kend = 1,8 detik

BAB VI

JALAN PERKOTAAN

A. Pendahuluan

Ciri utama jalan perkotaan (*urban road*), menurut HCM (1994) adalah bahwa gerakan kendaraan dipengaruhi oleh tiga hal, yakni kondisi lingkungan, interaksi antar kendaraan, serta efek dari lampu lalu lintas. Kondisi lingkungan seperti geometrik, *land use*, parkir, dan sebagainya. Interaksi antar kendaraan dipengaruhi oleh kepadatan lalu lintas, proporsi truk dan bus, serta oleh gerakan belok. Lampu lalu lintas (*traffic signal*) memaksa kendaraan untuk berhenti beberapa waktu dengan ditunjukkan oleh adanya *platoon*/iring-iringan kendaraan. Secara umum, jalan perkotaan melayani pergerakan kendaraan dengan kecepatan yang lebih rendah daripada jalan luar kota (*rural road*).

Adapun tingkat pelayanan jalan perkotaan menurut HCM 2000 tertera dalam tabel berikut. Ukuran tingkat pelayanan diukur dari besarnya nilai kecepatan.

Tabel 6.1. Tingkat pelayanan jalan perkotaan

Kelas jalan perkotaan	I	II	III	IV
<i>Range free flow speed (km/jam)</i>	90 – 70	70 – 55	55 – 50	50 - 40
<i>Type free flow speed (km/jam)</i>	80	65	55	45
Tingkat pelayanan	Rerata kecepatan perjalanan (km/jam)			

REKAYASA & MANAJEMEN LALU LINTAS

A	>72	>59	>50	>41
B	>56-72	>46-59	>39-50	>32-41
C	>40-56	>33-46	>28-39	>23-32
D	>32-40	>26-33	>22-28	>18-23
E	>26-32	>21-26	>17-22	>14-18
F	≤26	≤21	≤17	≤14

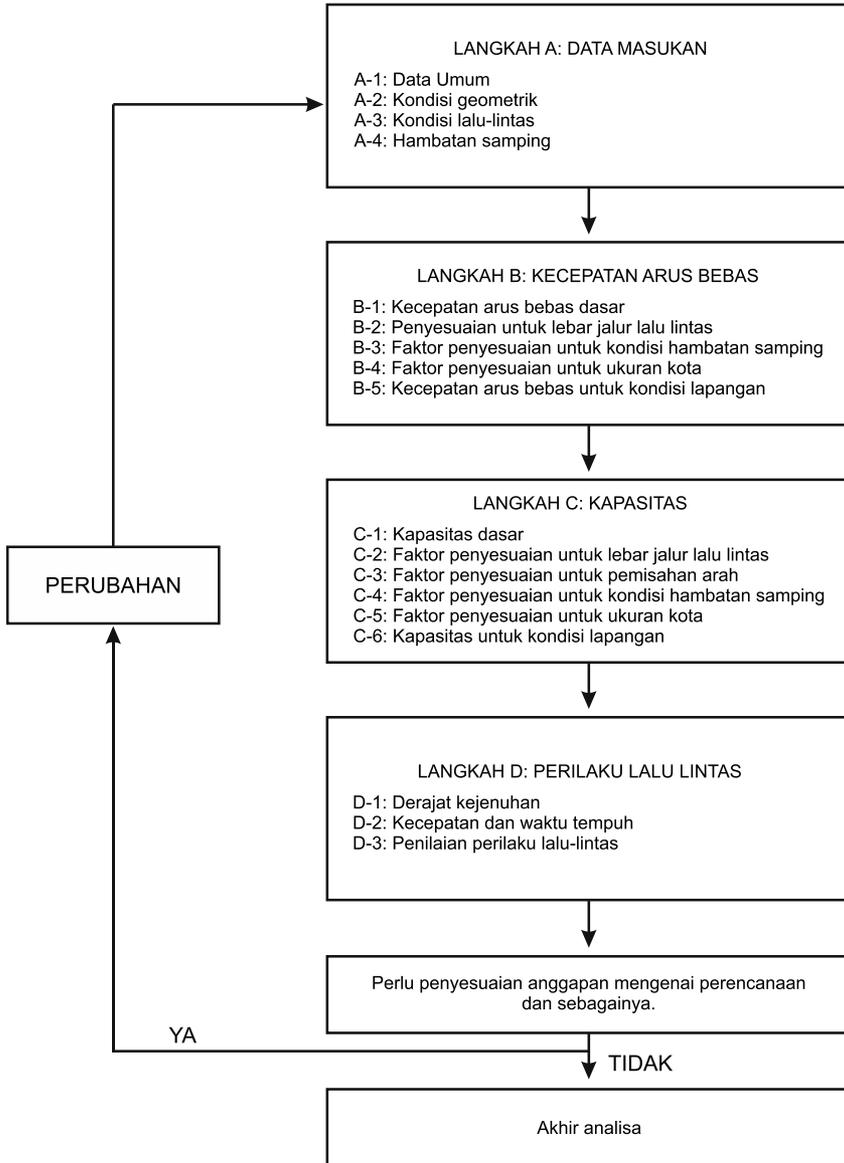
Sumber: HCM 2000



Gambar 6.1. Salah satu kondisi jalan perkotaan

B. Perhitungan Kinerja Jalan Perkotaan

MKJI 1997 menguraikan langkah demi langkah perencanaan ruas jalan perkotaan guna perbaikan kinerja, sebagaimana diagram berikut.



Gambar 6.2. Bagan alir perencanaan perbaikan kinerja ruas jalan

C. Kecepatan Arus Bebas

Kecepatan arus bebas didefinisikan sebagai kecepatan pada saat tingkat arus nol, yaitu kecepatan yang akan dipilih pengemudi seandainya mengendarai kendaraan bermotor tanpa halangan kendaraan bermotor lain di jalan (yaitu saat arus =0).

Persamaan untuk menentukan kecepatan arus bebas mempunyai bentuk umum sebagai berikut:

$$FV = (FV_o + FV_w) \times FFV_{SF} \times FFV_{CS} \dots\dots\dots(6.1)$$

Dimana:

- FV = Kecepatan arus bebas kendaraan ringan pada kondisi lapangan (km/jam)
- FV_o = Kecepatan arus bebas dasar kendaraan ringan pada jalan yang diamati (km/jam)
- FV_w = Penyesuaian lebar jalur lalu lintas efektif (km/jam)
- FFV_{SF} = Faktor penyesuaian kondisi hambatan samping
- FFV_{CS} = Faktor penyesuaian ukuran kota

Sumber MKJI, 1997

a. Kecepatan arus bebas dasar (FV_o)

Menurut MKJI (1997), kecepatan arus bebas dasar yaitu kecepatan arus bebas segmen jalan pada kondisi tertentu (geometri, pola arus lalu lintas dan faktor lingkungan). Untuk menentukan kecepatan arus bebas dasar kendaraan ringan, dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 6.2. Kecepatan arus bebas dasar (FV_o) untuk jalan perkotaan

Tipe jalan	Kecepatan arus bebas dasar (Fvo) (km/jam)			
	Kendaraan ringan LV	Kendaraan berat HV	Sepeda motor MC	Semua kendaraan (rata-rata)
Enam lajur terbagi (6/2 D) atau Tiga lajur satu arah (3/1)	61	52	48	57
Empat lajur terbagi (4/2 D) atau dua lajur satu arah (2/1)	57	50	47	55
Empat lajur tak terbagi (4/2 UD)	53	46	43	51
Dua lajur tak terbagi (2/2 UD)	44	40	40	42

Sumber: MKJI 1997 (Tabel B-1:1)

b. Penyesuaian kecepatan arus bebas akibat lebar jalur lalu lintas efektif (FV_w)

Penentuan faktor penyesuaian akibat lebar jalur lalu lintas didasarkan pada lebar efektif jalur lalu lintas (W_e), dapat dilihat pada tabel 6.3. di bawah ini.

Tabel 6.3. Penyesuaian untuk pengaruh lebar jalur lalu lintas (FV_w) pada kecepatan arus bebas kendaraan ringan untuk jalan perkotaan

Tipe jalan	Lebar jalur lalu lintas efektif (W_e) (m)	FVW (km/jam)
Empat lajur terbagi atau jalan satu arah	Per lajur	
	3,00	-4
	3,25	-2
	3,50	0
	3,75	2
	4,00	4
Empat lajur tak terbagi	Per lajur	
	3,00	-4
	3,25	-2
	3,50	0
	3,75	2
	4,00	4
Dua lajur tak terbagi	Total	
	5	-9,5
	6	-3
	7	0
	8	3
	9	4
	10	6
11	7	

Sumber: MKJI 1997 (Tabel B-2:1)

c. Faktor penyesuaian kecepatan arus bebas akibat hambatan samping (FFV_{SF})

i) Jalan dengan bahu

untuk menentukan faktor penyesuaian kecepatan arus bebas akibat hambatan samping, dapat dilihat pada tabel 6.4. di bawah ini.

Tabel 6.4. Faktor penyesuaian untuk pengaruh hambatan samping dan lebar bahu (FFV_{sp}) pada kecepatan arus bebas kendaraan ringan untuk jalan perkotaan dengan bahu

Tipe jalan	Kelas hambatan samping (SFC)	Faktor penyesuaian untuk hambatan samping dan lebar bahu			
		Lebar bahu efektif rata-rata WS (m)			
		≤ 0,5 m	1,0 m	1,5 m	≥ 2 m
Empat lajur terbagi 4/2 D	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
Empat lajur tak terbagi 4/2 UD	Sangat rendah	1,02	1,03	1,03	1,04
	Rendah	0,98	1,00	1,02	1,03
	Sedang	0,93	0,96	1,00	1,02
	Tinggi	0,87	0,91	0,96	0,98
	Sangat tinggi	0,80	0,86	0,92	0,95
Dua lajur tak terbagi 2/2 UD 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: MKJI 1997 (Tabel B-3:1)

ii) Jalan dengan kereb

Untuk menentukan faktor penyesuaian kecepatan arus bebas akibat hambatan samping, dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 6.5. Faktor penyesuaian untuk pengaruh hambatan samping dan jarak kereb-penghalang (FFV_{sp}) pada kecepatan arus bebas kendaraan ringan untuk jalan perkotaan dengan kereb

Tipe jalan	Kelas hambatan samping (SFC)	Faktor penyesuaian untuk hambatan samping dan jarak kereb-penghalang			
		Jarak kereb-penghalang W_k (m)			
		≤ 0,5 m	1,0 m	1,5 m	≥ 2 m
Empat lajur terbagi 4/2 D	Sangat rendah	1,00	1,01	1,01	1,02
	Rendah	0,97	0,98	0,99	1,00
	Sedang	0,93	0,95	0,97	0,99
	Tinggi	0,87	0,90	0,93	0,96
	Sangat tinggi	0,81	0,1985	0,88	0,92
Empat lajur tak terbagi 4/2 UD	Sangat rendah	1,00	1,01	1,01	1,02
	Rendah	0,96	0,98	0,99	1,00
	Sedang	0,91	0,93	0,96	0,98
	Tinggi	0,84	0,87	0,90	0,94
	Sangat tinggi	0,77	0,81	0,85	0,90

Tipe jalan	Kelas hambatan samping (SFC)	Faktor penyesuaian untuk hambatan samping dan jarak kereb-penghalang			
		Jarak kereb-penghalang W_k (m)			
		$\leq 0,5$ m	1,0 m	1,5 m	≥ 2 m
Dua lajur tak terbagi 2/2 UD atau jalan satu arah	Sangat rendah	0,98	0,99	0,99	1,00
	Rendah	0,93	0,95	0,96	0,98
	Sedang	0,87	0,89	0,92	0,95
	Tinggi	0,78	0,81	0,84	0,88
	Sangat tinggi	0,68	0,72	0,77	0,82

Sumber: MKJI 1997 (Tabel B-3:2)

d. Faktor penyesuaian kecepatan arus bebas untuk ukuran kota (FFV_{cs})

Untuk menentukan faktor penyesuaian kecepatan arus bebas untuk ukuran kota, dapat dilihat pada tabel 6.6 di bawah ini.

Tabel 6.6. Faktor penyesuaian untuk ukuran kota pada kecepatan arus bebas kendaraan ringan (FFV_{cs}), jalan perkotaan

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

Sumber: MKJI 1997 (Tabel B-4:1)

D. Kapasitas

Menurut MKJI (1997), kapasitas didefinisikan sebagai arus maksimum yang dapat dipertahankan per satuan waktu yang melewati suatu titik jalan dalam kondisi tertentu.

Persamaan dasar untuk menentukan kapasitas adalah sebagai berikut:

$$C = C_o \times FC_w \times FC_{sf} \times FC_{sp} \times FC_{cs} \dots\dots\dots (6.2)$$

di mana:

- C = Kapasitas (smp/jam)
- C_o = Kapasitas dasar (smp/jam)
- FC_w = Faktor penyesuaian lebar jalur lalu lintas
- FC_{sf} = Faktor penyesuaian hambatan samping
- FC_{sp} = Faktor penyesuaian pemisahan arah
- FC_{cs} = Faktor penyesuaian ukuran kota

Sumber MKJI, 1997

a. Kapasitas dasar (C_0)

Kapasitas dasar yaitu kapasitas segmen jalan pada kondisi geometrik, pola arus lalu lintas, dan faktor lingkungan yang ditentukan sebelumnya. Untuk menentukan nilai kapasitas dasar (C_0) dapat dilihat pada tabel 6.7 di bawah ini:

Tabel 6.7. Kapasitas dasar jalan perkotaan (C_0)

Tipe Jalan	Kapasitas Dasar (smp/jam)	Catatan
Empat lajur terbagi atau jalan satu arah	1650	Per Lajur
Empat lajur tak terbagi	1500	Per Lajur
Dua lajur tak terbagi	2900	Total Dua Arah

Sumber: MKJI 1997 (Tabel C-1:1)

b. Faktor penyesuaian kapasitas untuk lebar jalur lalu lintas (FC_w)

Untuk menentukan faktor penyesuaian kapasitas untuk lebar jalur lalu lintas untuk jalan perkotaan (W_c), dapat dilihat pada tabel 6.8 di bawah ini.

Tabel 6.8. Penyesuaian kapasitas untuk pengaruh lebar jalur lalu lintas untuk jalan perkotaan (FC_w)

Tipe jalan	Lebar jalur lalu lintas (W_c) (m)	FC_w (km/jam)
Empat lajur terbagi atau jalan satu arah	Per lajur	
	3,00	0,92
	3,25	0,96
	3,50	1,00
	3,75	1,04
Empat lajur tak terbagi	Per lajur	
	3,00	0,91
	3,25	0,95
	3,50	1,00
	3,75	1,05
	4,00	1,09

Tipe jalan	Lebar jalur lalu lintas (W_c) (m)	FC_w (km/jam)
Dua lajur tak terbagi	Per-lajur	
	5	0,56
	6	0,87
	7	1,00
	8	1,14
	9	1,25
	10	1,29
	11	1,34

Sumber: MKJI 1997 (Tabel C-2:1)

c. Faktor penyesuaian kapasitas akibat hambatan samping (FC_{SF})

i) Jalan dengan bahu

Untuk menentukan faktor penyesuaian kapasitas untuk hambatan samping berdasarkan lebar bahu efektif (W_s) dan kelas hambatan samping (SFC), dapat dilihat pada tabel 6.9 di bawah ini.

Tabel 6.9. Faktor penyesuaian kapasitas untuk pengaruh hambatan samping dan lebar bahu (FC_{SF}) pada jalan perkotaan dengan bahu

Tipe jalan	Kelas hambatan samping	Faktor penyesuaian untuk hambatan samping dan lebar bahu FC_{SF}			
		Lebar bahu efektif W_s			
		$\leq 0,5$	1,0	1,5	$\geq 2,0$
4/2 D	VL	0,96	0,98	1,01	1,03
	L	0,94	0,97	1,00	1,02
	M	0,92	0,95	0,98	1,00
	H	0,88	0,92	0,95	0,98
	VH	0,84	0,88	0,92	0,96
4/2 UD	VL	0,96	0,99	1,01	1,03
	L	0,94	0,97	1,00	1,02
	M	0,92	0,95	0,98	1,00
	H	0,87	0,91	0,94	0,98
	VH	0,80	0,86	0,90	0,95
2/2 UD atau jalan satu arah	VL	0,94	0,96	0,99	1,01
	L	0,92	0,94	0,97	1,00
	M	0,89	0,92	0,95	0,98
	H	0,82	0,86	0,90	0,95
	VH	0,73	0,79	0,85	0,91

Sumber: MKJI 1997 (Tabel C-4:1)

ii) jalan dengan kereb

Untuk menentukan faktor penyesuaian untuk kapasitas untuk hambatan samping berdasarkan jarak antara kereb dan penghalang pada trotoar (W_g) dan kelas hambatan samping (SFC), dapat dilihat pada tabel 6.10 di bawah ini.

Tabel 6.10. Faktor penyesuaian kapasitas untuk pengaruh hambatan samping dan jarak kereb penghalang (FC_{sf}) pada jalan perkotaan dengan kereb

Tipe jalan	Kelas hambatan samping	Faktor penyesuaian untuk hambatan samping dan jarak kereb penghalang FC_{sf}			
		Jarak kereb-penghalang W_k			
		$\leq 0,5$	1,0	1,5	$\geq 2,0$
4/2 D	VL	0,95	0,97	0,99	1,01
	L	0,94	0,96	0,98	1,00
	M	0,91	0,93	0,95	0,98
	H	0,86	0,89	0,92	0,95
	VH	0,81	0,85	0,88	0,92
4/2 UD	VL	0,95	0,97	0,99	1,01
	L	0,93	0,95	0,97	1,00
	M	0,90	0,92	0,95	0,97
	H	0,84	0,87	0,90	0,93
	VH	0,77	0,81	0,85	0,90
2/2 UD atau jalan satu arah	VL	0,93	0,95	0,97	0,99
	L	0,90	0,92	0,95	0,97
	M	0,86	0,88	0,91	0,94
	H	0,78	0,81	0,84	0,88
	VH	0,86	0,72	0,77	0,82

Sumber: MKJI 1997 (Tabel C-4:2)

d. Faktor penyesuaian kapasitas akibat pemisah arah (FC_{sp})

Untuk menentukan faktor pemisah arah khusus jalan tak terbagi dapat dilihat pada tabel 6.11 di bawah ini.

Tabel 6.11. Faktor penyesuaian kapasitas untuk pemisah arah (FC_{sp})

Pemisah arah SP %-%		50 - 50	55 - 45	60 - 40	65 - 35	70 - 30
FC _{sp}	Dua lajur 2/2	1,00	0,97	0,94	0,91	0,88
	Empat lajur 4/2	1,00	0,985	0,97	0,955	0,94

Sumber: MKJI 1997 (Tabel C-3:1)

e. Faktor penyesuaian kapasitas untuk ukuran kota (FC_{cs})

Untuk menentukan faktor penyesuaian kecepatan arus bebas untuk ukuran kota, dapat dilihat pada tabel 6.12 di bawah ini.

Tabel 6.12. Faktor penyesuaian kapasitas untuk ukuran kota (FC_{Gt}), pada jalan perkotaan

Ukuran kota (juta penduduk)	Faktor penyesuaian untuk ukuran kota
≤ 0,1	0,86
0,1 – 0,5	0,90
0,5 – 1,0	0,94
1,0 – 3,0	1,00
≥ 3,0	1,04

Sumber: MKJI 1997 (Tabel C-5:1)

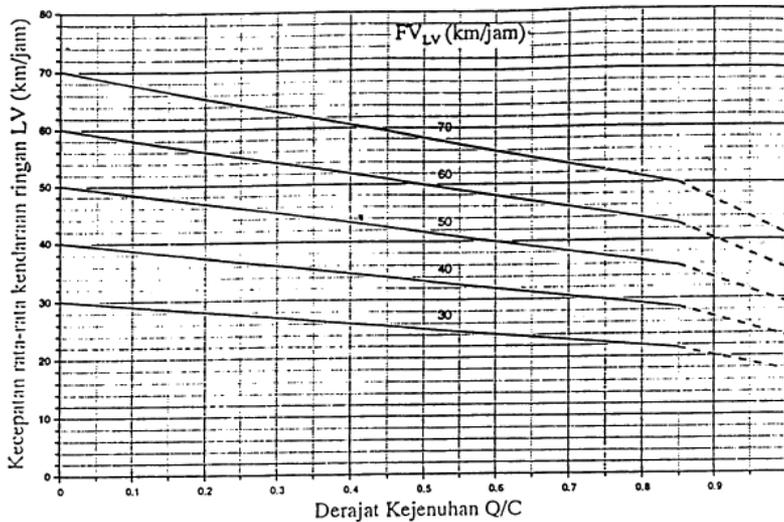
E. Derajat Kejenuhan

Menurut MKJI (1997), derajat kejenuhan didefinisikan sebagai rasio arus terhadap kapasitas, digunakan sebagai faktor utama dalam penentuan tingkat kinerja suatu ruas jalan. Nilai derajat kejenuhan ini menunjukkan apakah segmen jalan tersebut mempunyai masalah kapasitas atau tidak. Derajat kejenuhan jalan perkotaan yang masih dapat diterima maksimum sebesar 0,75 (MKJI 1997). Derajat kejenuhan dapat dihitung dengan rumus:

$$DS = \frac{Q}{C} \dots\dots\dots(6.3)$$

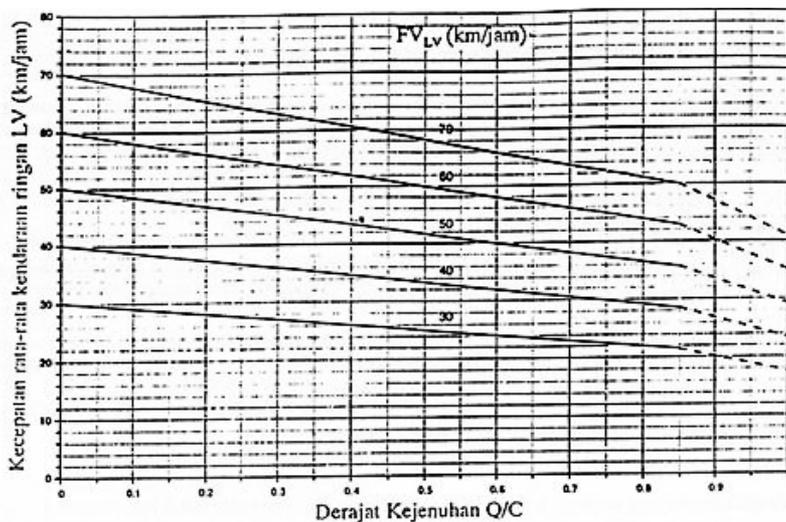
di mana:

- DS = Derajat kejenuhan
- Q = Arus total sesungguhnya (smp/jam)
- C = Kapasitas sesungguhnya (smp/jam)



Sumber: MKJI 1997 (Gambar D-2:1)

Gambar 6.3. Kecepatan sebagai fungsi dari DS untuk jalan 2/2 UD



Sumber: MKJI 1997 (Gambar D-2:2)

Gambar 6.4. Kecepatan sebagai fungsi dari DS untuk jalan banyak lajur dan satu arah

F. Tingkat Pelayanan Ruas Jalan di Indonesia

Sesuai dengan KM no. 14 Tahun 2006, tingkat pelayanan ruas jalan kolektor primer di Indonesia tampak pada tabel di bawah ini:

Tabel 6.13. Tingkat pelayanan jalan kolektor primer

Tingkat Pelayanan	Karakteristik operasi terkait
A	Kecepatan lalu lintas minimal 100 km/jam Volume lalu lintas sekitar 30% dari kapasitas (600 smp/jam/lajur)
B	Awal dari kondisi arus stabil Kecepatan lalu lintas sekitar 90 km/jam Volume lalu lintas tidak melebihi 50% kapasitas (1.000 smp/jam/lajur)
C	Arus stabil Kecepatan lalu lintas minimal 75 km/jam Volume lalu lintas tidak melebihi 75% kapasitas (1.500 smp/jam/lajur)
D	Mendekati arus tidak stabil Kecepatan lalu lintas sekitar 60 km/jam Volume lalu lintas sampai 90% kapasitas (1.800 smp/jam/lajur)
E	Arus pada tingkat kapasitas (2.000 smp/jam/lajur) Kecepatan lalu lintas sekitar 50 km/jam
F	Arus tertahan, kondisi terhambat (<i>congested</i>) Kecepatan lalu lintas kurang dari 50 km/jam

Tabel 6.14. Tingkat pelayanan jalan arteri sekunder dan kolektor sekunder

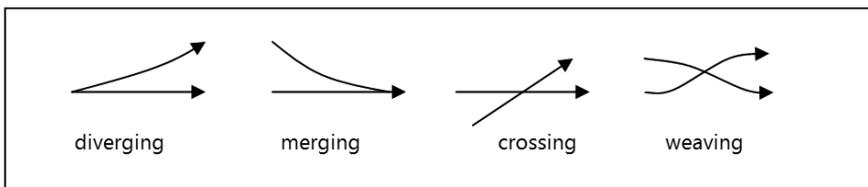
Tingkat Pelayanan	Karakteristik operasi terkait
A	Arus bebas Kecepatan perjalanan rata-rata di atas 80 km/jam $V/C \leq 0,6$ <i>Load factor</i> pada simpang = 0
B	Arus stabil Kecepatan perjalanan rata-rata minimal 40 km/jam $V/C \leq 0,7$ <i>Load factor</i> $\leq 0,1$
C	Arus stabil Kecepatan perjalanan rata-rata minimal 30 km/jam <i>Load factor</i> $\leq 0,3$
D	Mendekati arus tidak stabil Kecepatan perjalanan rata-rata minimal 25 km/jam $V/C \leq 0,9$ <i>Load factor</i> $\leq 0,7$
E	Arus tidak stabil, terhambat, dengan tundaan yang tidak dapat ditolerir Kecepatan perjalanan rata-rata sekitar 25 km/jam Volume pada kapasitas <i>Load factor</i> pada simpang ≤ 1
F	Arus tertahan, macet Kecepatan perjalanan rata-rata < 15 km/jam V/C permintaan melebihi 1 Simpang jenuh

BAB VII

PENGANTAR SIMPANG

A. Jenis-Jenis Simpang

Pada persimpangan, sebagaimana disajikan pada gambar di bawah ini, terdapat 4 jenis dasar dari gerakan kendaraan, yaitu berpencar (*diverging*), bergabung (*merging*), bersilangan (*crossing*), dan menjalin (*weaving*).



Gambar 7.1. Jenis dasar dari gerak kendaraan

Adapun jenis simpang dibedakan menjadi:

1) Simpang tak bersinyal (*unsignalised intersection*)

Simpang tak bersinyal banyak dipakai pada volume lalu lintas yang rendah. Pada simpang jenis ini hak utama pada simpang diperoleh berdasarkan aturan *General Priority Rule*, di mana kendaraan yang lebih dulu berada pada simpang mempunyai hak jalan lebih dahulu, daripada kendaraan yang akan memasuki simpang tersebut.

Di Indonesia, pada kondisi simpang dengan kelas ruas jalan (kaki simpang) yang sama, semestinya prioritas diberikan bagi kendaraan yang datang dari sebelah kiri. Namun demikian dalam kenyataannya, aturan ini tidak berjalan karena ketidaktahuan aturan ataupun karena budaya berlalu lintas yang masih kurang.

Sementara itu pada kondisi pertemuan jalan mayor dan jalan minor, prioritas memberi hak yang lebih kepada suatu jalan utama atau volume lalu lintas lebih banyak. Bentuk operasi ini dilakukan pada simpang yang mempunyai volume/arus lalu lintas yang lebih rendah, yaitu pada pendekatan dipasang tanda *stop* atau *yield*.

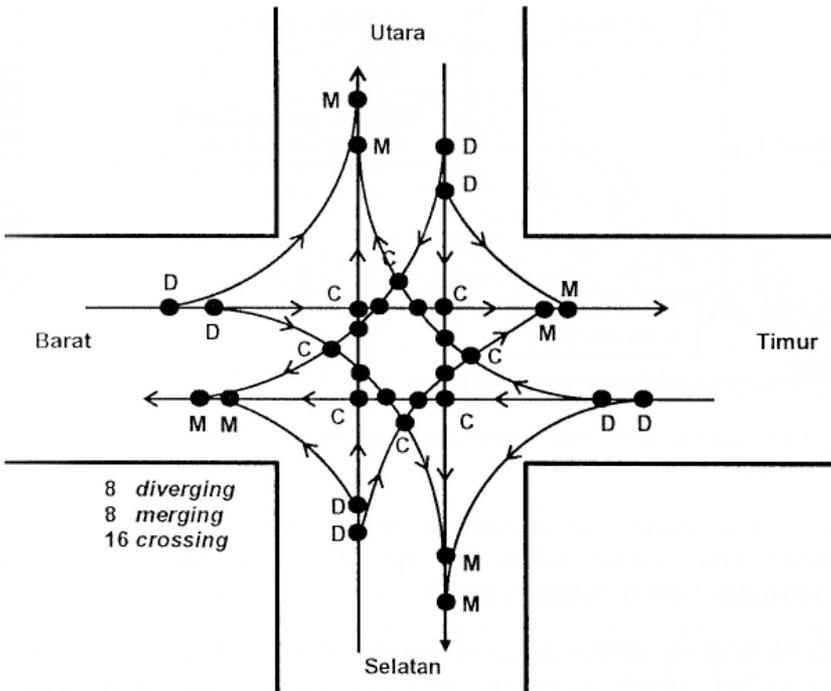
Pengaturan simpang juga dapat dilakukan dengan memberikan kanalisasi yang bisa berupa marka ataupun pulau-pulau lalu lintas sehingga arah pergerakan kendaraan dapat dipertegas. Pulau-pulau lalu lintas juga bisa dipakai sebagai tempat perlindungan bagi pejalan kaki.

2) Simpang bersinyal (*signalised intersection*)

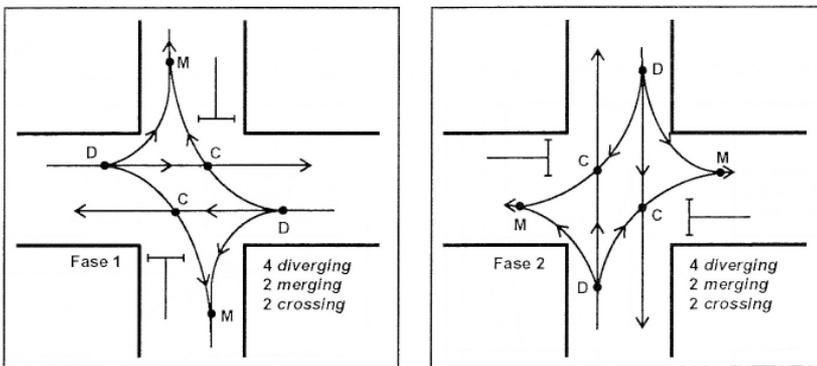
Pada simpang dengan menggunakan sinyal, arus kendaraan memasuki simpang secara bergantian yang diatur dengan menggunakan lampu lalu lintas. Arus lalu lintas yang melaluinya cukup tinggi, sehingga penggunaan simpang tak bersinyal sudah tidak memadai lagi. Lampu lalu lintas mempunyai fungsi utama sebagai pengatur hak jalan bagi pergerakan lalu lintas termasuk pejalan kaki.

Pengaturan arus lalu lintas di persimpangan digunakan *traffic control signal*, yang terdiri dari tiga buah warna, yaitu hijau, kuning, dan merah. Dari ketiga warna sinyal ini, sinyal hijau mengisyaratkan bahwa kendaraan boleh berjalan selama waktu tersebut, sinyal kuning mengisyaratkan agar pengemudi berhati-hati dan bersiap untuk berhenti, dan sinyal merah mengisyaratkan agar kendaraan berhenti. Urutan warna sinyal di Indonesia yaitu merah – hijau – kuning – merah, di mana urutan tersebut mengikuti urutan warna sinyal yang berlaku di Amerika, sedangkan di Inggris urutan warna sinyalnya adalah merah – merah + kuning – hijau – kuning – merah.

Pada pengaturan dengan dua fase di simpang empat, jumlah titik konflik mengalami pengurangan–dibandingkan dengan pengaturan simpang tak bersinyal–sebagaimana gambar berikut (Tamin 2008):



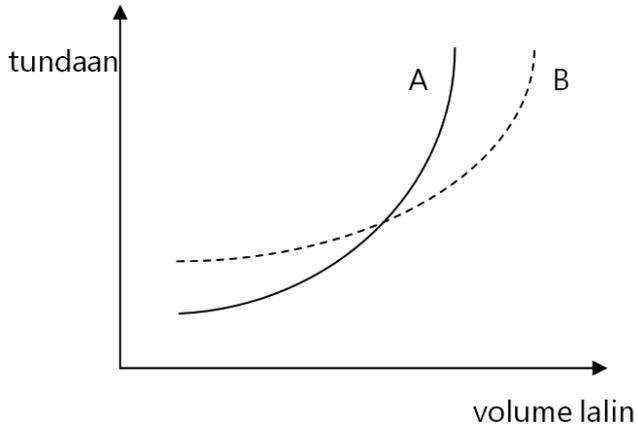
Gambar 7.2. Pergerakan kendaraan pada simpang tak bersinyal



Gambar 7.3. Pergerakan kendaraan pada simpang bersinyal dua fase

Lampu lalu lintas lebih disukai apabila

- Arus lebih tinggi pada beberapa lengan dibandingkan yang lain
- Ruang terbatas dan biaya 'mahal'
- *Coordinated area traffic control* bisa dimanfaatkan



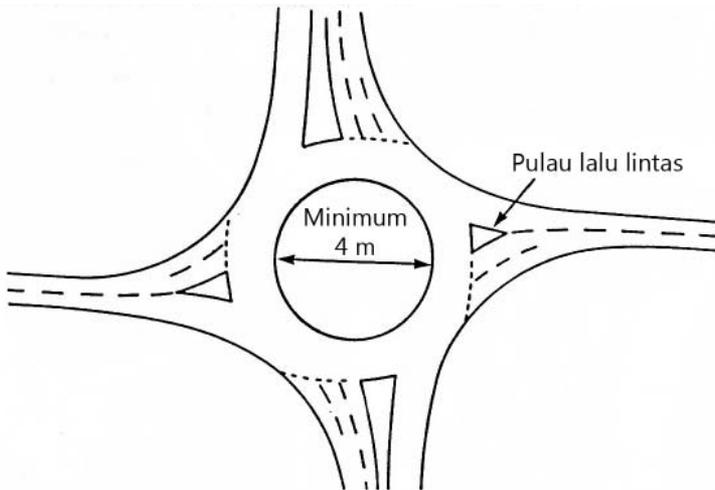
Gambar 7.4. Tundaan pada Simpang Tak Bersinyal (A) dan Simpang Bersinyal (B)

3) Bundaran (*roundabout*) – bagian jalinan

Bundaran adalah alternatif lain pengganti lampu lalu lintas. Bundaran lebih disukai apabila:

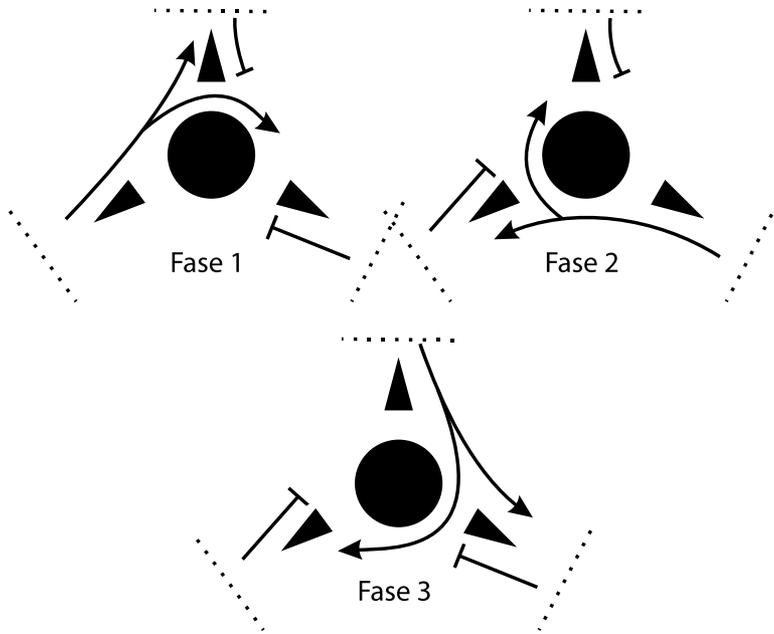
- Arus pada tiap lengan relatif seimbang
- Terdapat volume yang tinggi untuk lalu lintas membelok ke kanan
- Jika persimpangan mempunyai lebih dari 4 lengan

Bundaran sangat berguna di Indonesia. Bundaran dapat meningkatkan pemilihan kontrol dan menghasilkan antrian yang lebih kecil pada periode jam tidak sibuk dibandingkan dengan lampu lalu lintas.



Gambar 7.5. Contoh bundaran

Bundaran juga dapat dipadukan dengan sinyal sebagaimana gambar berikut



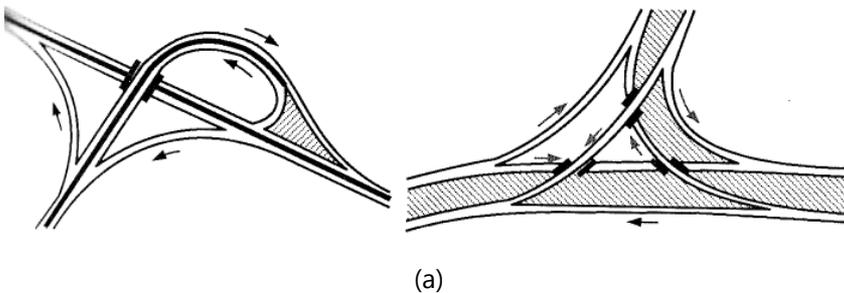
Sumber: Munawar 2004

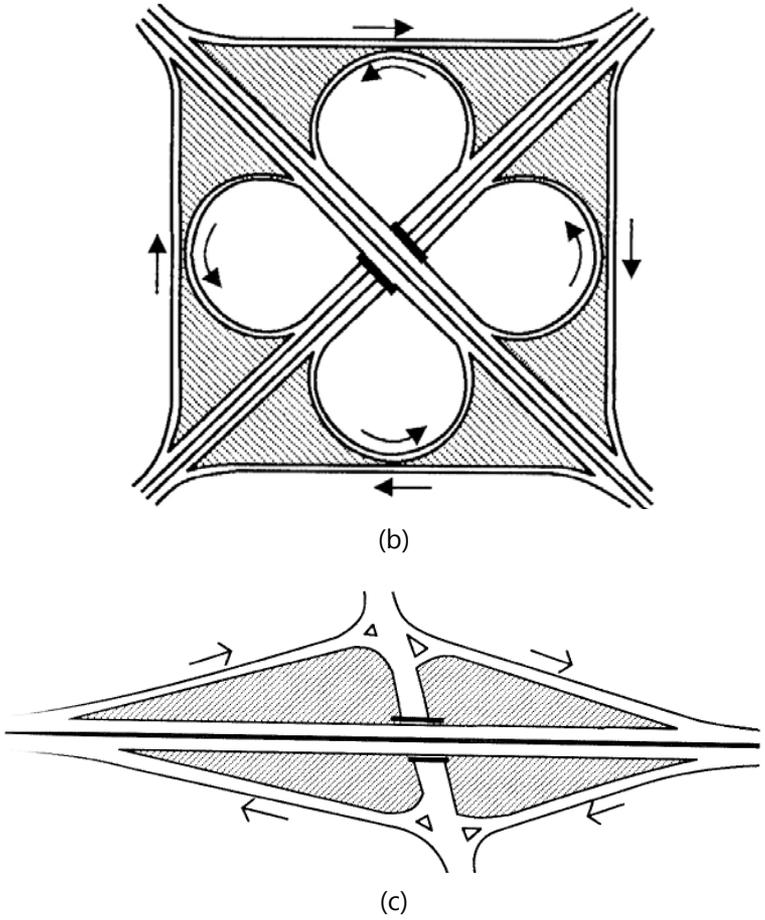
Gambar 7.6. Contoh pengaturan fase pada Bundaran Bersinyal

Pada bundaran bersinyal, pengaturan sinyal berlawanan dengan arah jarum jam.

4) Simpang susun (*interchange*)

Persilangan seringkali merupakan *bottle neck* (bagian yang mempunyai kapasitas terkecil), sehingga kapasitas suatu jaringan jalan sering ditentukan oleh kapasitas persilangannya. Oleh karena itu, pada arus lalu lintas yang sangat tinggi, persilangan dibuat tidak sebidang (simpang susun) guna meningkatkan kapasitasnya. Bentuk yang paling banyak dipakai adalah bentuk semanggi.





Gambar 7.7. Simpang susun: (a) bentuk T dan Y; (b) bentuk semanggi; (c) bentuk diamond

B. Tipe Simpang Berdasarkan Jumlah Lajur dan Median

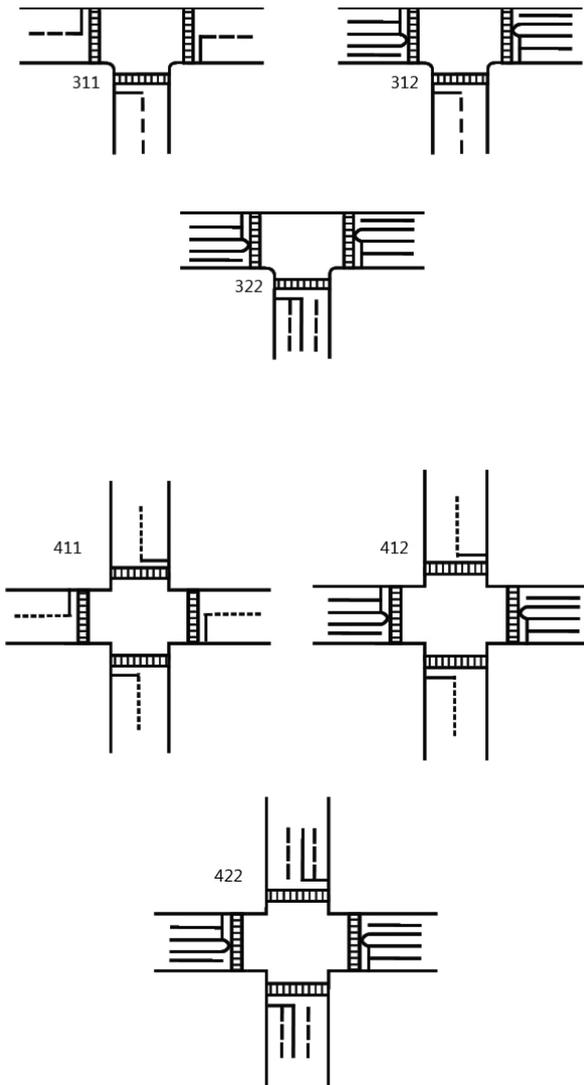
Berdasarkan jumlah lajur dan mediannya, tipe dari simpang tiga dan empat dapat dibedakan seperti terlihat pada tabel dan gambar berikut (MKJI 1997):

Tabel 7.1. Simpang dengan tiga lengan

Kode Tipe	Pendekat Utama		Pendekat Jalan Simpang
	Jumlah Lajur	Median	Jumlah Lajur
311	1	T	1
312	2	Y	1
322	2	Y	2

Tabel 7.2. Simpang dengan empat lengan

Kode Tipe	Pendekat Utama		Pendekat Jalan Simpang
	Jumlah Lajur	Jumlah Median	Jumlah Lajur
411	1	T	1
412	2	Y	1
422	2	Y	2

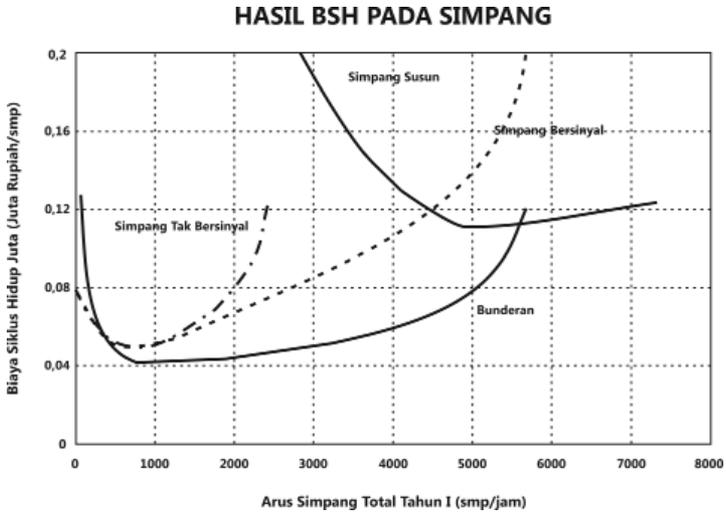


Sumber: Manual Kapasitas Jalan Indonesia 1997

Gambar 7.8. Macam tipe simpang

C. Pemilihan Tipe Simpang

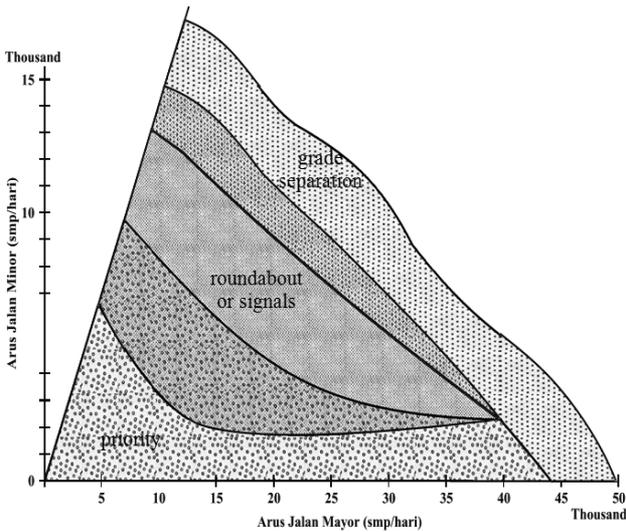
Dengan menggunakan perbandingan analisa biaya siklus hidup (juta Rp/ smp) dan arus lalu lintas total 1 tahun (smp/jam), maka penentuan tipe simpang dapat dilakukan sebagaimana gambar berikut. Pemilihan tipe simpang dipilih yang memiliki biaya siklus hidup minimum.



Sumber: MKJI 1997

Gambar 7.9. Grafik pemilihan jenis tipe simpang berdasarkan biaya siklus hidup

Menurut buku *Roads and Traffic in Urban Areas*, pemilihan tipe simpang didasarkan atas gambar berikut.



Gambar 7.10. Grafik pemilihan jenis tipe simpang berdasarkan volume lalu lintas

BAB VIII

SIMPANG BERSINYAL

A. Pengoperasian Sinyal

Berdasarkan HCM 1985, ada tiga macam cara pengoperasian lampu isyarat lalu lintas yaitu:

1. *Permitted operation*, yaitu lampu lalu lintas dalam putaran konstan di mana setiap siklus sama dan panjang siklus serta fase tetap.
2. *Semi actuated operation* yaitu pada operasi isyarat lalu lintas ini, jalan utama (*major street*) selalu berisyarat hijau sampai alat pendeteksi pada jalan samping (*side street*) menentukan bahwa terdapat kendaraan yang datang pada satu atau kedua sisi jalan tersebut.
3. *Full actuated operation* yaitu pada isyarat lampu lalu lintas ini, semua fase lalu lintas dikontrol dengan alat detektor sehingga panjang siklus atau fasenya berubah-ubah tergantung dari permintaan yang didasarkan oleh detektor.

Di Indonesia untuk pengoperasian Alat Pemberi Isyarat Lalu lintas (APILL)–paling banyak–dipakai sistem *permitted operation*. Urutan nyala lampu isyarat lalu lintas yang dipakai adalah merah, hijau dan kuning.

Menurut Morlok, E.K (1995), sinyal lalu lintas terdiri dari tiga macam yaitu hijau untuk berjalan, kuning berarti memperbolehkan kendaraan untuk memasuki pertemuan apabila tidak terdapat kendaraan lainnya sebelum lampu merah muncul dan merah untuk berhenti.

B. Saturation Flow Lapangan

Menghitung *saturation flow* di lapangan menurut MKJI 1997

Dalam mencari nilai *saturation flow* suatu ruas jalan didasarkan pada rumus:

$$S = \frac{S(2) + S(3) + \dots + S(n-1)}{n - 2} \dots\dots\dots (8.1)$$

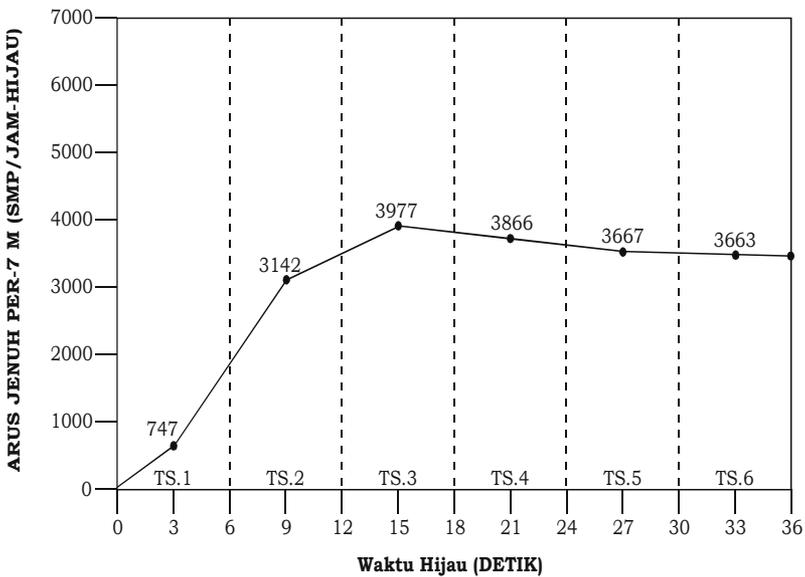
dengan:

S = *saturation flow* (smp/6 detik)

S (2) = volume kendaraan pada kondisi jenuh interval ke-2 (smp/6 detik)

n = jumlah interval

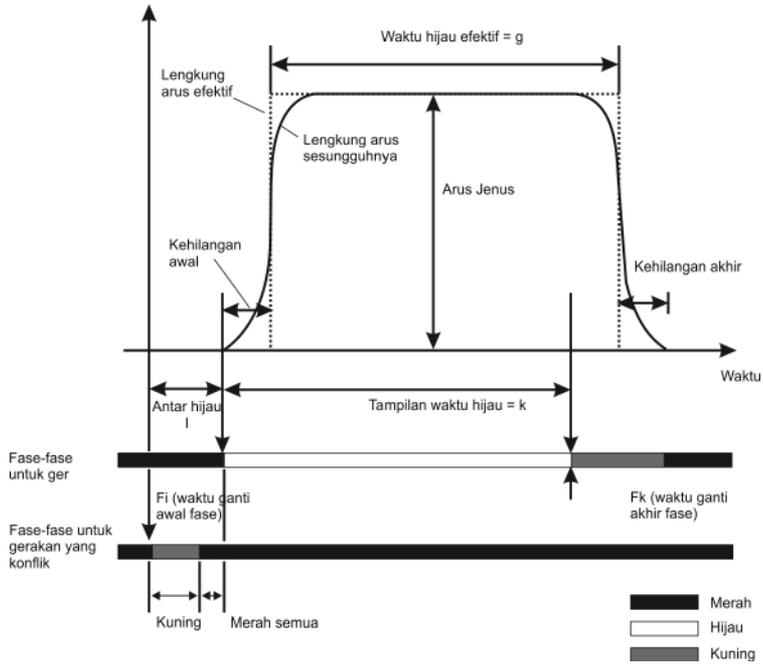
Arus jenuh dianggap tetap selama waktu hijau. Meskipun demikian dalam kenyataannya, arus berangkat mulai dari nol pada awal waktu hijau dan mencapai nilai puncaknya setelah 10-15 detik. Nilai ini akan menurun sedikit sampai akhir waktu hijau, sebagaimana tampak dalam gambar berikut:



Gambar 8.1. Arus jenuh yang diamati per selang waktu enam detik

C. Metode Webster

Penggambaran arus jenuh tampak dalam skema berikut:



Gambar 8.2. Model dasar arus jenuh

Menurut Webster, waktu siklus optimum—yang mengakibatkan waktu tunda minimum—dirumuskan dengan:

$$C_o = (1,5 L + 5) / (1 - Y) \dots\dots\dots (8.2)$$

dengan

L = total *lost time*

Y = penjumlahan $y (=q/s)$ untuk tiap fase

Selanjutnya rumus yang digunakan adalah:

$$l = k + a - g \dots\dots\dots (8.3)$$

dengan

l = waktu hilang pada fase tersebut

k = waktu hijau/tampilan waktu hijau pada fase tersebut

a = amber/kuning

g = waktu hijau efektif

Rumusan lainnya

$$L = nl + R \dots\dots\dots (8.4)$$

dengan

n = jumlah fase

R = $n (I_p - t_a)$

I_p = *Intergreen periode*

t_a = waktu kuning/amber

l = *lost time/waktu hilang tiap fase*

Contoh perhitungan

1. Simpang empat dengan kondisi volume serta arus jenuh tampak pada tabel berikut

Tabel 8.1. Volume arus lalu lintas dan arus jenuh

Pergerakan	Volume lalu lintas, q (smp/jam)	Arus jenuh, s (smp/jam)
Utara	500	1500
Timur	300	1200
Selatan	400	1200
Barat	250	1250

Jika diset dengan 2 fase, *lost time* per fase selama 2 detik dan *intergreen* periode bernilai 4 detik dan amber 2 detik, *setting*-lah nyala sinyal tersebut:

Tabel 8.2. Perhitungan Y

Pergerakan	$y=q/s$	y kritis	Y
Utara	0,33	0,33	0,58
Selatan	0,33		
Timur	0,25	0,25	
Barat	0,20		

$$\begin{aligned}
 L &= nl + R \\
 &= 2.2 + 2 (4 - 2) \\
 &= 8 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

Waktu siklus optimum

$$C_o = (1,5 \times 8 + 5) / (1 - 0,58) = 40 \text{ detik}$$

Waktu hijau efektif total = $C - L = 40 - 8 = 32$ detik

Waktu hijau efektif tiap *stage*

Tabel 8.3. Perhitungan waktu hijau efektif

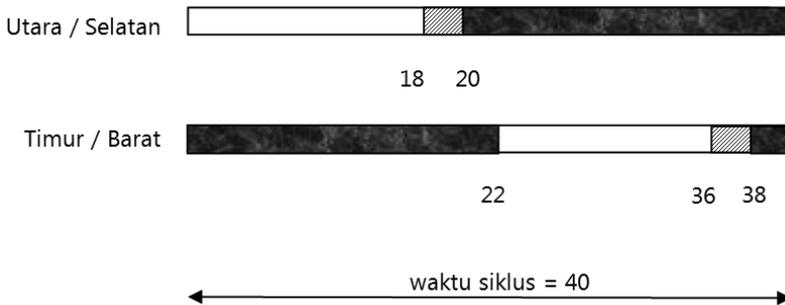
Stage	Waktu hijau efektif (detik)
Utara / Selatan	$y \cdot 32 / Y = 0,33 \times 32 / 0,58 = 18$
Timur / Barat	$y \cdot 32 / Y = 0,25 \times 32 / 0,58 = 14$

Waktu hijau aktual = $k = g + l - a$

Dengan asumsi amber (kuning) = 2 detik, maka

Tabel 8.4. Perhitungan waktu hijau aktual

Stage	Waktu hijau aktual (detik)
Utara / Selatan	$k = g + l - a = 18 + 2 - 2 = 18$
Timur / Barat	$14 + 2 - 2 = 14$



Gambar 8.3. Diagram dua fase dengan waktu siklus 40 detik

2. Soal sama dengan nomor 1, hanya dibuat dengan 3 fase

Tabel 8.5. Perhitungan Y untuk 3 fase

Pergerakan	$y = q/s$	y kritis	Y
Utara	0,33	0,33 *	0,78
Selatan	0,33		
Timur	0,25	0,25	
Barat	0,20	0,20	

Catatan: * ambil yang besar dari nilai q/s utara atau q/s selatan

$$\begin{aligned}
 L &= nl + R \\
 &= 3.2 + 3(4 - 2) \\
 &= 12 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

Waktu siklus optimum

$$C_o = (1,5 \times 12 + 5) / (1 - 0,78) = 105 \text{ detik}$$

$$\text{Waktu hijau efektif total} = C - L = 105 - 12 = 93 \text{ detik}$$

Waktu hijau efektif tiap *stage*

Tabel 8.6. Perhitungan waktu hijau efektif

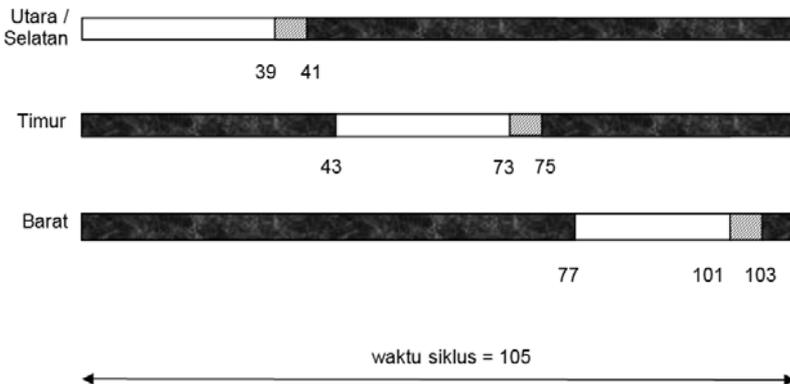
Stage	Waktu hijau efektif (detik)
Utara / Selatan	$y.93/Y = 0,33 \times 93/0,78 = 39$
Timur	30
Barat	24

$$\text{Waktu hijau aktual} = k = g + l - a$$

Dengan *lost time* 2 detik, dan *amber* 2 detik, maka waktu hijau aktual (tertayang) menjadi:

Tabel 8.7. Perhitungan waktu hijau aktual

Stage	Waktu hijau aktual (detik)
Utara / Selatan	$39 + 2 - 2 = 39$
Timur	30
Barat	24

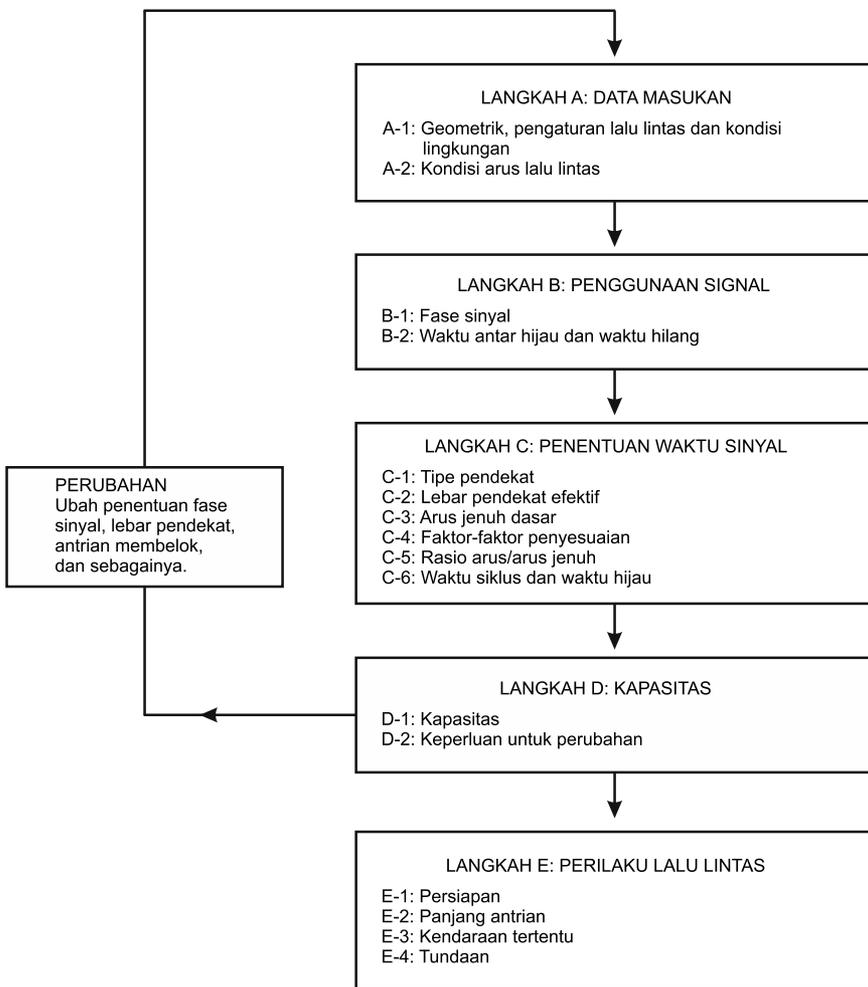


Gambar 8.4. Diagram tiga fase dengan waktu siklus 105 detik

D. Metode MKJI 1997

Contoh perhitungan pada metode Webster di atas sesungguhnya hanyalah contoh yang disederhanakan, seperti pada besarnya *saturation flow* yang langsung ditentukan dengan nilai tertentu, padahal semestinya nilai ini—jika dilakukan dengan rumusan—dipengaruhi oleh banyak sekali faktor, sebagaimana telah tertera dalam MKJI 1997. Begitu pun juga perhitungan di atas hanya sampai pada penentuan *setting* sinyal merah kuning hijau, yang seharusnya besarnya tundaan juga dihitung.

MKJI 1997 menggunakan diagram berikut untuk melakukan perhitungan kinerja/perilaku lalu lintas.

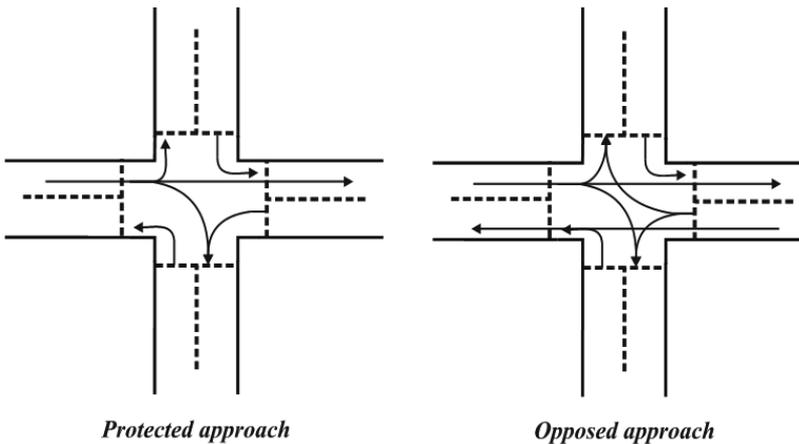


Gambar 8.5. Diagram Alir Perhitungan Kinerja Simpang Bersinyal

D.1. Fase Sinyal (Phase)

Dalam MKJI 1997, disarankan untuk menggunakan pengaturan dengan 2 fase sebagai kasus dasar dalam analisis. Jumlah fase yang baik adalah fase yang menghasilkan kapasitas besar dan rata-rata tundaan lebih rendah. Arus belok kanan perlu dikendalikan apabila volumenya lebih besar dari 200 smp/jam. Dalam penentuan waktu sinyal perlu juga diperhatikan tipe dari masing-masing pendekat, yang dibedakan atas:

1. *Protected approach* (pendekat terlindung = P), yaitu pendekat yang dihindari terhadap konflik dengan arus dari arah yang berlawanan, artinya dalam satu fase tidak boleh ada gerakan belok kanan yang bersamaan dengan gerakan lurus dari arah yang berlawanan.
2. *Opposed approach* (pendekat terlawan = O), yaitu pendekat yang diperbolehkan adanya konflik dengan arus dari arah yang berlawanan karena volume kendaraan kecil.



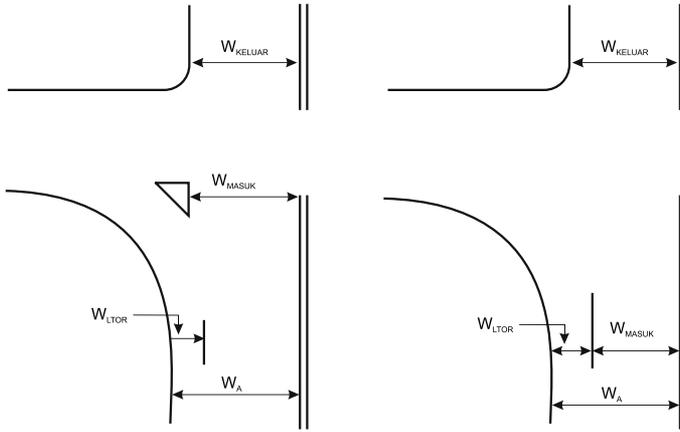
Sumber: MKJI 1997
 Gambar 8.6. Contoh suatu fase sinyal pada masing-masing pendekat

D.2. Lebar Pendekat Efektif dan Tipe Pendekat

Lebar efektif adalah lebar dari bagian pendekat yang diperkeras yang digunakan dalam perhitungan kapasitas. Penghitungan lebar efektif (W_e) pada tiap *approach* didasarkan pada informasi tentang lebar *approach* (W_A), lebar *entry* (W_{entry}) dan *exit* (W_{exit}).

a) Untuk semua tipe *approach* (P dan O)

Jika $LTOR$ diizinkan dan tidak tercampur dengan lalu lintas lain dalam *approach*, secara umum dapat diasumsikan $W_{LTOR} > 2 M$, lebar efektif dihitung dari nilai terkecil antara $W_A - W_{LTOR}$ dan W_{entry} .



Sumber: MKJI, 1997

Gambar 8.7. Penentuan Lebar Efektif

(1) $W_{L TOR} \geq 2 \text{ m}$

$$W_E = \min \left(\frac{W_A - W_{entry}}{W_{exit}} \right) \dots\dots\dots (8.5)$$

Gerakan L TOR harus dihitung tersendiri dari arus yang lurus (Q_{ST}) dan belok kanan (Q_{RT})

$$Q = Q_{ST} + Q_{RT}$$

(2) $W_{L TOR} < 2 \text{ m}$

$$W_E = \min \left(\frac{W_A}{W_{exit}} \right) \dots\dots\dots (8.6)$$

Gerakan L TOR harus dimasukkan juga dalam analisis.

$$Q = Q_{ST} + Q_{RT} + Q_{LT}$$

b) Untuk tipe *approach* hanya P

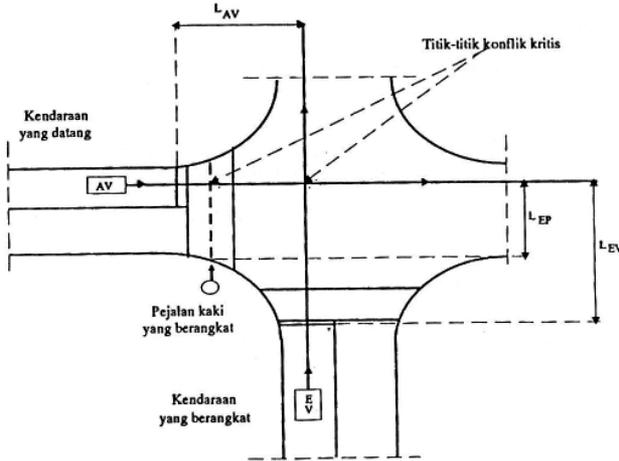
Jika lebar *approach exit* cukup:

$$W_{exit} > W_{entry} (1 - P_{RT} - P_{LT} - P_{L TOR}) \dots\dots\dots (8.7)$$

Jika kondisi ini dijumpai, W_E dihitung sebagaimana rumus di atas. Jika tidak dijumpai maka W_E sama dengan W_{exit} dan analisis untuk ini hanya memperhitungkan yang lurus, yaitu $Q = Q_{ST}$

D.3. Waktu Merah Semua (all red)

Waktu merah semua yang diperlukan untuk pengosongan pada akhir setiap fase harus memberi kesempatan bagi kendaraan terakhir (melewati garis henti pada akhir sinyal kuning) berangkat dari titik konflik sebelum kedatangan kendaraan yang datang pertama dari fase berikutnya (melewati garis henti pada awal sinyal hijau pada titik yang sama). Jadi merah semua merupakan fungsi dari kecepatan dan jarak dari kendaraan yang berangkat dan yang datang dari garis henti sampai ke titik konflik dan panjang dari kendaraan yang berangkat.



Gambar 8.8. Arus datang dan berangkat pada simpang

Titik konflik kritis pada masing-masing fase (i) adalah titik yang menghasilkan waktu merah semua sebesar:

$$\text{Merah semua}_i = \left[\frac{(L_{EV} + l_{EV})}{V_{EV}} - \frac{L_{AV}}{V_{AV}} \right] \dots\dots\dots (8.8.)$$

Sumber: MKJI 1997 (rumus 16)

dengan:

- L_{EV} L_{AV} = jarak dari garis henti ke titik konflik masing-masing untuk kendaraan yang berangkat dan yang datang (m)
- l_{EV} = panjang kendaraan yang berangkat (m)
- V_{EV} V_{AV} = kecepatan masing-masing untuk kendaraan yang berangkat dan yang datang (m/dt)

Nilai-nilai yang dipilih untuk V_{EV} , V_{AV} dan I_{EV} tergantung dari komposisi lalu lintas dan kondisi kecepatan pada lokasi. Nilai-nilai sementara yang dapat digunakan sesuai MKJI 1997 adalah:

- a. Kecepatan kendaraan yang datang, yaitu:
 $V_{AV} = 10$ m/det (kendaraan bermotor)
- b. Kecepatan kendaraan yang berangkat, yaitu
 $V_{EV} = 10$ m/det (kendaraan bermotor)
 $V_{EV} = 3$ m/det (kendaraan tak bermotor)
 $V_{EV} = 1,2$ m/det (pejalan kaki)
- c. Panjang kendaraan yang berangkat
 $I_{EV} = 5$ m (LV atau HV)
 $I_{EV} = 2$ m (MC atau UM)

Apabila periode merah semua untuk masing-masing akhir fase telah ditetapkan, waktu hilang (LTI) untuk semua simpang dapat dihitung sebagai jumlah dari waktu-waktu antarahijau.

$$LTI = \sum (\text{merah semua} + \text{kuning}) = \sum IG_i \dots\dots\dots (8.9)$$

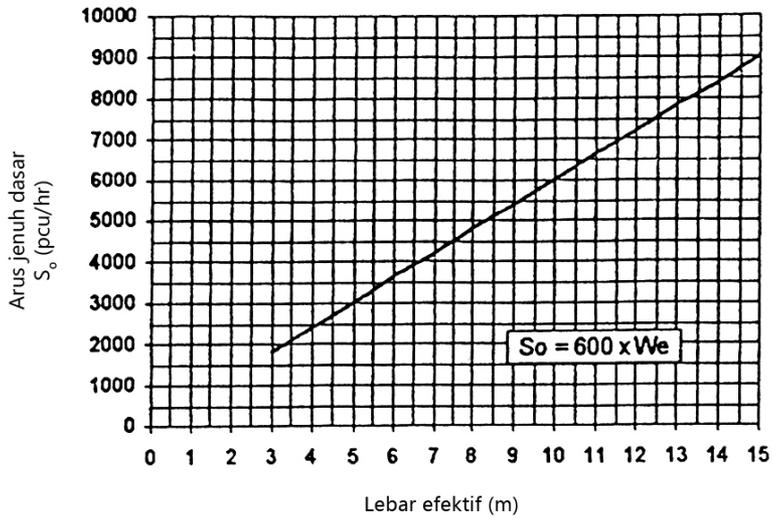
Panjang waktu kuning pada sinyal lalu lintas perkotaan di Indonesia biasanya adalah 3,0 detik.

D.4. Arus Jenuh Dasar

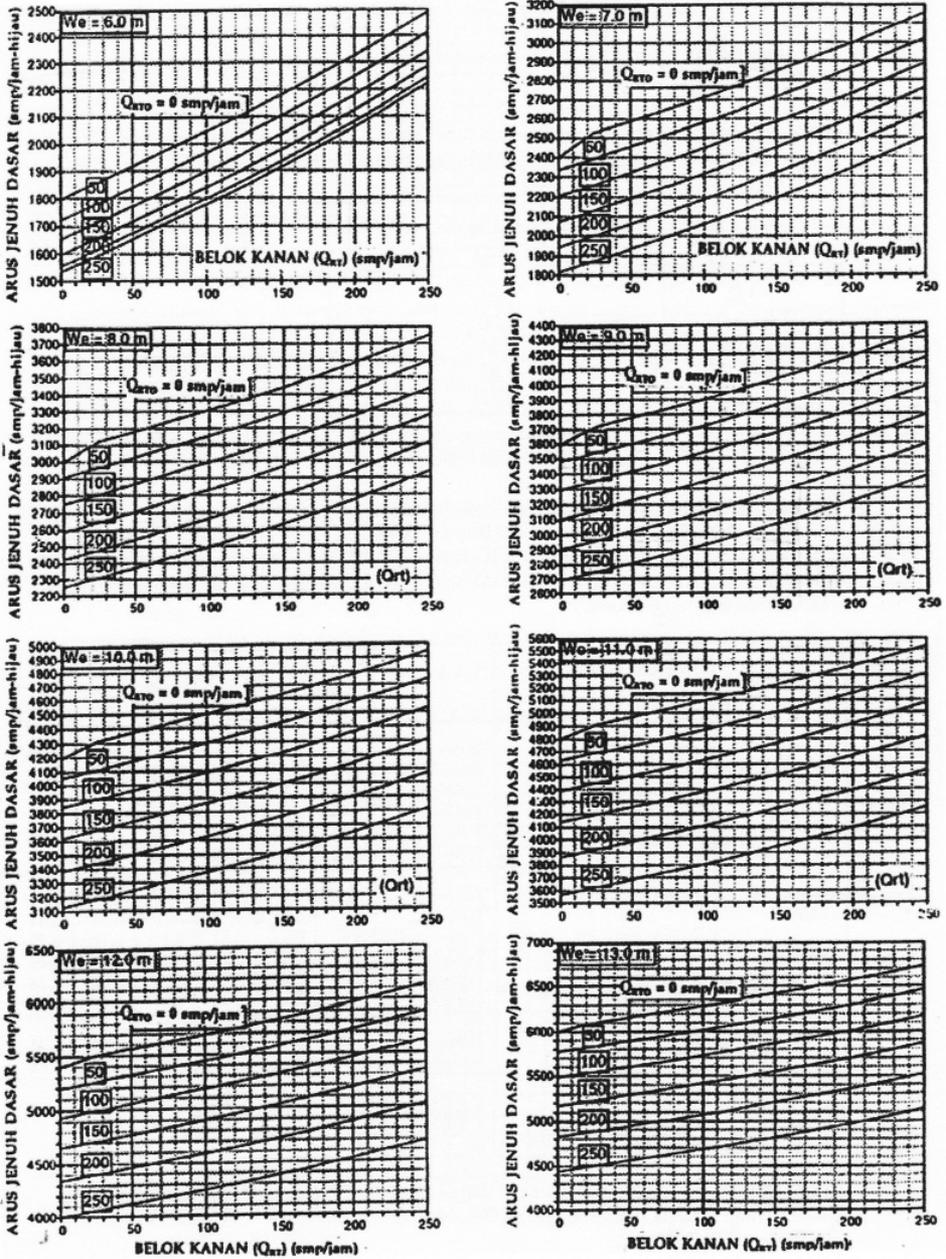
Arus jenuh dasar adalah besarnya keberangkatan antrian di dalam pendekat selama kondisi ideal (smp/jam hijau).

- a) Untuk tipe pendekat P
 $S_o = 600 \times W_e$ smp/jam hijau(8.10)

- b) Untuk tipe pendekat O
 Arus jenuh didapat dari gambar 8.10 (untuk *approach* tanpa garis pemisah belok kanan) dan dan gambar 8.11 (untuk *approach* dengan garis pemisah belok kanan). S_o sebagai fungsi dari lebar efektif (W_e), lalu lintas belok kanan (Q_{RT}) dan lalu lintas belok kanan yang berlawanan (Q_{RTO}). Cara menggunakan gambar dengan mencari nilai lurus jenuh dengan lebar *approach* yang lebih besar dan lebih kecil dari W_e aktual dan kemudian diinterpolasi.

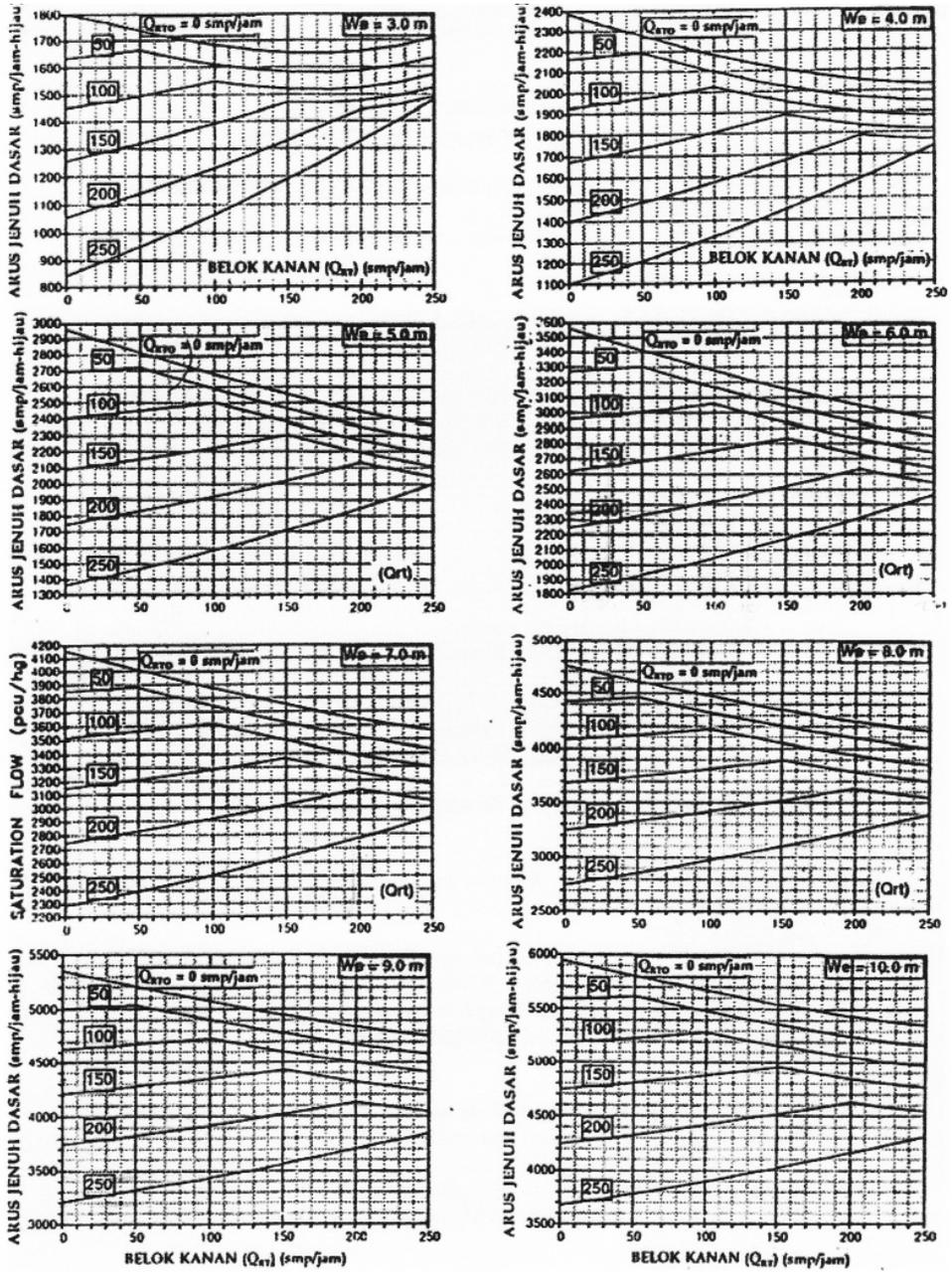


Sumber: MKJI 1997 (Gambar C-3:1)
Gambar 8.9. Arus jenuh dasar untuk pendekatan tipe P



Sumber: MKJI 1997 (Gambar C-3:3)

Gambar 8.10. Arus jenuh dasar untuk tipe pendekat 0 dengan lajur belok kanan terpisah

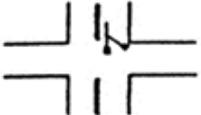
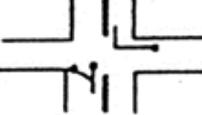
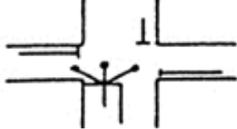
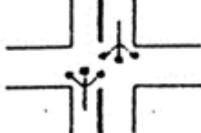
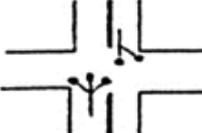


Sumber: MKJI 1997 (Gambar C-3:2)

Gambar 8.11. Arus jenuh dasar untuk tipe pendekat 0 tanpa lajur belok kanan terpisah

1) Pemilihan Tipe Pendekat

Penentuan tipe pendekat dengan tipe terlindung (P) atau melawan (O) didasarkan pada teori di bawah ini.

Tipe Pendekat	Keterangan	Contoh Pola-Pola Pendekat			
Terlindung (P)	Tanpa konflik lalu lintas dari arah berlawanan	1 - Jalur	1 - Jalur	Simpang T	
		2 - Jalur pembatasan belok kanan			
					
		2 - Jalur dengan pembatasan fase sinyal tiap arah			
					
Berlawanan (O)	Terjadi konflik lalu lintas dari arah berlawanan	2 - Jalur lalu lintas berlawanan pada fase yang sama tidak ada pembatasan belok kanan			
					

Sumber: MKJI, 1997

Gambar 8.12. Penentuan tipe pendekat

2) Faktor Koreksi

- a) Penetapan faktor koreksi untuk nilai arus lalu lintas dasar kedua tipe *approach* (pendekat)
 - (1) Faktor koreksi ukuran kota (F_{CC}), ditentukan dari tabel 8.8 sebagai fungsi dari ukuran kota.

Tabel 8.8. Faktor Penyesuaian Ukuran Kota

Penduduk Kota (Juta Jiwa)	Faktor Penyesuaian Ukuran Kota (Fcs)
> 3,0	1,05
1,0 – 3,0	1,00
0,5 – 1,0	0,94
0,1 – 0,5	0,83
< 0,1	0,82

Sumber: MKJI 1997 (Tabel C-4:3)

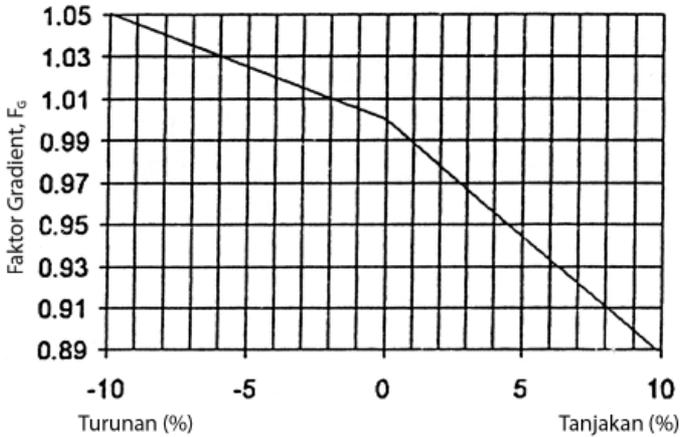
- (2) Faktor koreksi gangguan samping (F_{SF}), ditentukan dari tabel 8.9 sebagai fungsi dari tipe lingkungan jalan dan kelas gangguan samping. Jika gangguan samping tidak diketahui dapat diasumsikan nilai yang tinggi agar tidak terjadi over estimasi untuk kapasitas.

Tabel 8.9 Faktor Penyesuaian Hambatan Samping

Lingkungan jalan	Hambatan samping	Tipe Fase	Rasio Kendaraan Tak Bermotor					
			0,00	0,05	0,10	0,15	0,20	> 0,25
Komersial (COM)	Tinggi	Terlawan	0,93	0,88	0,84	0,79	0,74	0,70
		Terlindung	0,93	0,91	0,88	0,87	0,85	0,81
	Sedang	Terlawan	0,94	0,89	0,85	0,80	0,75	0,71
		Terlindung	0,94	0,92	0,89	0,88	0,86	0,82
	Rendah	Terlawan	0,95	0,90	0,86	0,81	0,76	0,72
		Terlindung	0,95	0,93	0,90	0,89	0,87	0,83
Pemukiman (RES)	Tinggi	Terlawan	0,96	0,91	0,86	0,81	0,78	0,72
		Terlindung	0,96	0,94	0,92	0,89	0,86	0,84
	Sedang	Terlawan	0,97	0,92	0,87	0,82	0,79	0,73
		Terlindung	0,97	0,95	0,93	0,90	0,87	0,85
	Rendah	Terlawan	0,98	0,93	0,88	0,83	0,80	0,74
		Terlindung	0,98	0,96	0,94	0,91	0,88	0,86
Akses Terbatas (RA)	Tinggi/ Sedang/ Rendah	Terlawan	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75
		Terlindung	1,00	0,98	0,95	0,93	0,90	0,88

Sumber: MKJI 1997 (Tabel C-4:4)

- (3) Faktor koreksi gradien (F_G), adalah fungsi dari kelandaian lengan persimpangan ditentukan dari gambar di bawah ini.



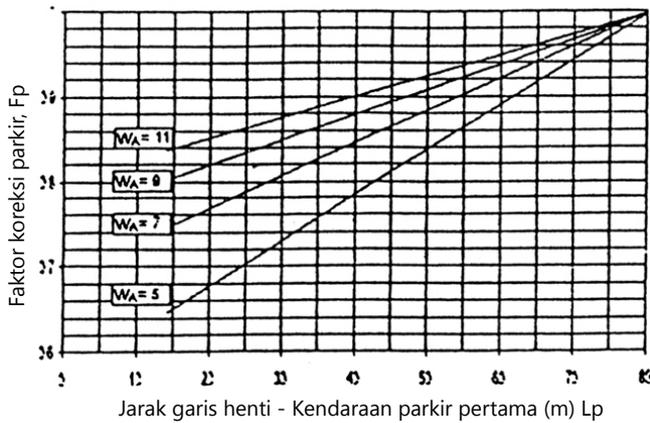
Sumber: MKJI 1997 (Gambar C-4:1)
 Gambar 8.13. Faktor Koreksi Gradien F_g

- (4) Faktor koreksi parkir (F_p), adalah jarak dari garis henti ke kendaraan yang parkir pertama dan lebar *approach* ditentukan dari formula di bawah ini.

$$F_p = [L_p/3 - (W_A - 2) \times (L_p/3 - g) / W_A] / g \dots\dots\dots(8.11)$$

dengan:

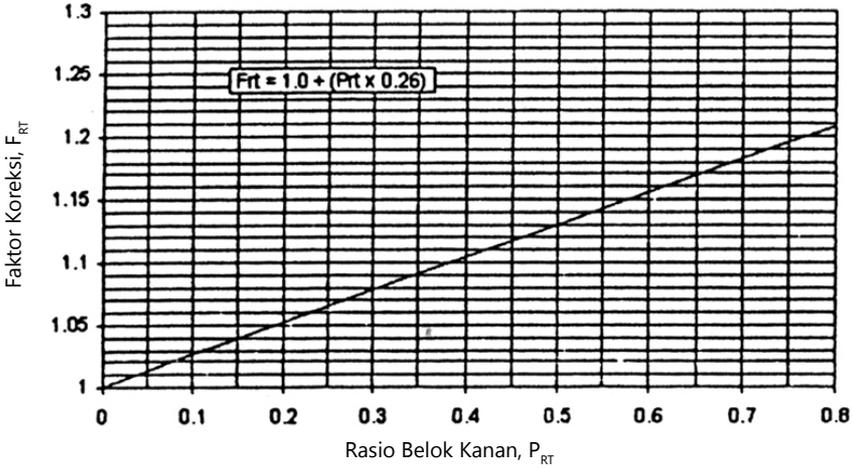
- L_p = Jarak antara garis henti dan kendaraan yang parkir pertama
- W_A = Lebar *approach* (m)
- g = Waktu hijau *approach* yang bersangkutan (detik)



Sumber: MKJI 1997 (Gambar C-4:2)
 Gambar 8.14. Faktor Koreksi Parkir F_p

b) Penetapan faktor koreksi untuk arus jenuh dasar hanya untuk tipe *approach P*

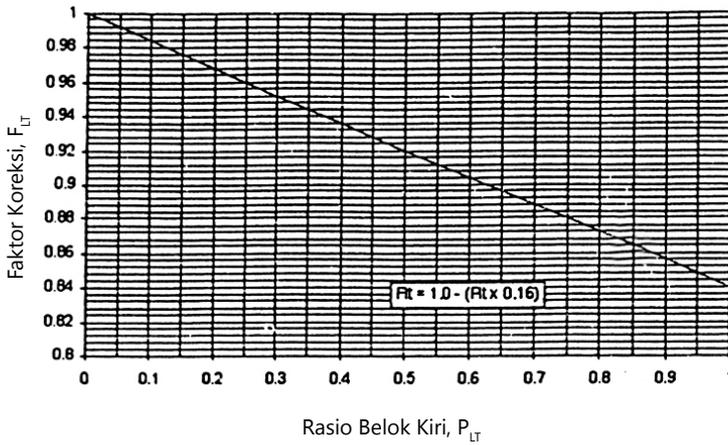
(1) Faktor koreksi belok kanan (F_{RT}), ditentukan sebagai fungsi perbandingan kendaraan yang belok kanan (P_{RT}). Faktor ini hanya untuk tipe *approach P*, jalan dua jalur dan diperlihatkan oleh gambar berikut di bawah ini.



Sumber: MKJI 1997 (Gambar C-4:3)
Gambar 8.15. Faktor Koreksi Belok Kanan P_{RT}

Untuk jalan dua jalur tanpa median, kendaraan yang belok kanan terlindungi dengan tipe *approach P*, cenderung untuk melewati garis tengah sebelum garis henti ketika mengakhiri belokannya. Kasus ini akan menambah arus jenuh dengan perbandingan yang tinggi pada lalu lintas belok kanan.

- (2) Faktor koreksi belok kiri (P_{LT}) ditentukan sebagai fungsi perbandingan belok kiri (P_{LT}). Faktor ini hanya untuk tipe *approach* tanpa L_{TOR} .



Sumber: MKJI 1997 (Gambar C-4:4)
 Gambar 8.16. Faktor Koreksi Belok Kiri F_{LT}

Dalam *approach* yang terlindung, tanpa perlengkapan untuk L_{TOR} kendaraan yang belok kiri cenderung menurun pelan dan dapat mengurangi arus jenuh pada *approach* tipe O dan tidak ada koreksi yang dimasukkan pada perbandingan untuk belok kiri.

- c) Perhitungan menentukan nilai arus jenuh (S)
 Penghitungan ini dapat menggunakan rumus di bawah ini.

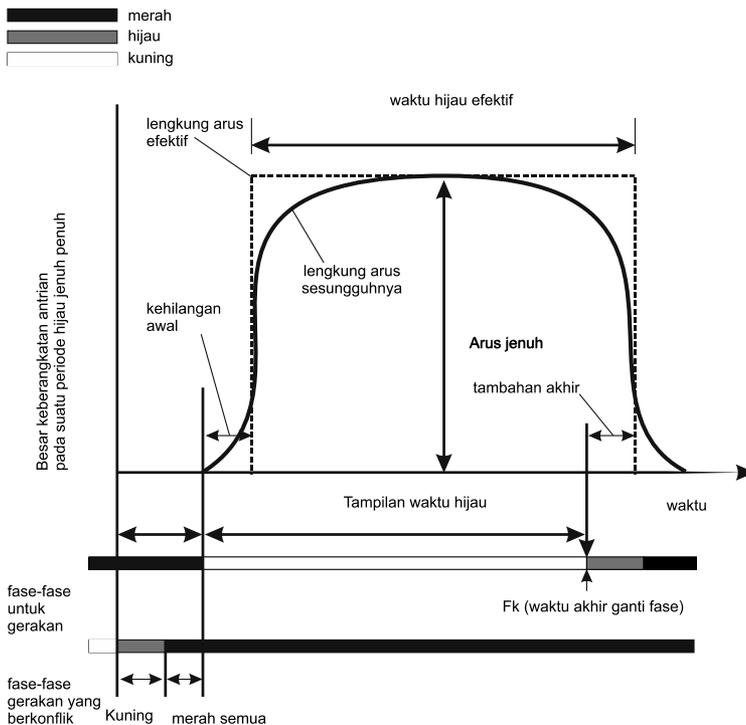
$$S = S_0 \times F_{CS} \times F_{SF} \times F_G \times F_{PF} \times F_{RT} \times F_{LT} \times \text{smp/jam hijau} \dots\dots\dots(8.12)$$

Sumber: MKJI 1997 (Rumus 24)

dengan:

- S_0 = Arus jenuh dasar
- F_{CS} = Faktor koreksi ukuran kota
- F_{SF} = Faktor koreksi gangguan samping
- F_G = Faktor koreksi kelandaian
- F_F = Faktor koreksi parkir
- F_{RT} = Faktor koreksi belok kanan
- F_{LT} = Faktor koreksi belok kiri

Menurut MKJI 1997, nilai arus jenuh diasumsikan tetap selama waktu hijau. Kenyataan yang ada di lapangan, kendaraan masih berhenti saat mulai hijau dan arus kendaraan perlahan-lahan bergerak. Puncak terjadi setelah 10 sampai 15 detik dan arus akan mulai berkurang sampai waktu hijau berakhir. Pada permulaan arus kendaraan bergerak akan mengalami waktu hilang saat waktu hijau (*start lost*). Waktu hilang ini juga terjadi pada saat akhir hijau (*end gain*). Dengan demikian waktu hijau efektif didefinisikan sebagai lamanya waktu hijau yang terjadi pada waktu arus jenuh konstan dikurangi *start lost* dan *end gain*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 8.17 di bawah ini.



Gambar 8.17. Model dasar arus jenuh menurut MKJI.

3) Perbandingan Arus dengan Arus Jenuh

Penghitungan perbandingan arus (Q) dengan arus jenuh (S) untuk tiap *approach* dirumuskan di bawah ini.

$$FR = Q/S \dots \dots \dots (8.13)$$

Sumber: MKJI 1997 (Rumus 26)

Perbandingan arus kritis (FR_{crit}) yaitu nilai perbandingan arus yang tertinggi dalam tiap fase. Jika nilai perbandingan arus kritis untuk tiap fase dijumlahkan, akan didapat perbandingan arus persimpangan.

$$IFR = \sum (FR_{crit}) \dots\dots\dots(8.14)$$

Sumber: MKJI 1997 (Rumus 27)

Penghitungan perbandingan fase (*phase ratio*, PR) untuk tiap fase merupakan suatu fungsi perbandingan antara FR_{crit} dengan IFR.

$$PR = FR_{crit} / IFR \dots\dots\dots(8.15)$$

Sumber: MKJI 1997 (Rumus 28)

4) Waktu Siklus dan Waktu Hijau

a. Waktu Siklus (c)

Waktu siklus adalah waktu untuk urutan lengkap dan indikasi sinyal.

Waktu siklus untuk fase, dapat dihitung dengan rumus atau gambar di bawah ini. Waktu siklus hasil penghitungan ini merupakan waktu siklus optimum, di mana akan menghasilkan tundaan terkecil.

$$c = \frac{(1.5 \times LT + 5)}{(1 - IFR)} \dots\dots\dots(8.16)$$

Sumber: MKJI 1997 (Rumus 29)

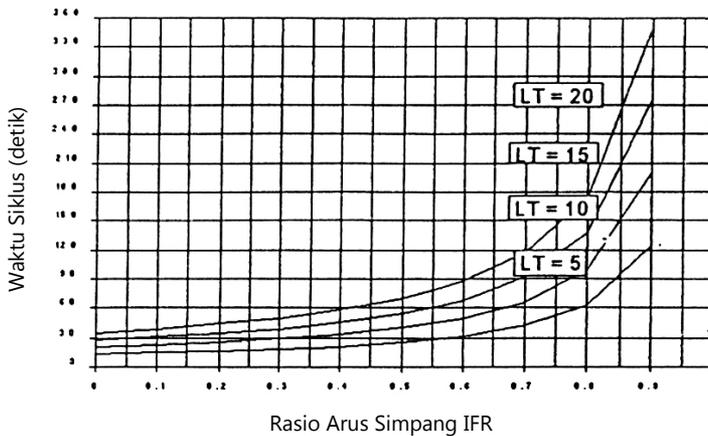
di mana:

c = Waktu siklus sinyal (detik)

LT = Total waktu hilang per siklus (detik)

IFR = Perbandingan arus persimpangan S (FR_{crit}).

Jika alternatif fase sinyal yang direncanakan dievaluasi, menghasilkan nilai yang rendah untuk ($IFR = LT/c$), maka hasil ini akan lebih efisien.



Sumber: MKJI 1997 (Gambar C-6:1)

Gambar 8.18. Penentuan Waktu Siklus

Waktu siklus yang dihasilkan diharapkan sesuai batas yang disarankan oleh Peraturan HCM 1993, hal ini sebagai pertimbangan teknik lalu lintas, yang diterangkan dalam tabel di bawah ini:

Tabel 8.10 Waktu Siklus yang Disarankan

Tipe Kontrol	Waktu Siklus
2 fase	40 – 80
3 fase	50 – 100
4 fase	80 – 130

Waktu siklus yang lebih rendah dari yang disarankan akan menyebabkan lebih sulit bagi pejalan kaki untuk menyeberang jalan, hal ini dapat menjadi pertimbangan. Sedangkan waktu siklus bagi pejalan kaki untuk menyeberang jalan, hal ini dapat menjadi pertimbangan. Sedangkan waktu siklus yang lebih besar (>130 detik) harus dihindarkan, kecuali untuk kasus yang sangat khusus. Waktu siklus ini akan menghasilkan kehilangan kapasitas persimpangan yang cukup besar.

b. Waktu Hijau (g)

Waktu hijau adalah waktu nyala hijau dalam suatu pendekatan.

Penghitungan waktu hijau untuk tiap fase dijelaskan dengan rumus di bawah ini.

$$g_i = (c - LT) \times PR_i \dots\dots\dots(8.17)$$

Sumber: MKJI 1997 (Rumus 30)

dengan:

- g_i = Waktu hijau dalam fase-I (detik)
- c = Waktu siklus yang ditentukan (detik)
- LT = Total waktu hilang per siklus (detik)
- Pri = Perbandingan fase = I, $FR_{crit} / S(FR_{crit})$

Waktu hijau yang lebih pendek dari 10 detik untuk dihindarkan, hal ini mungkin menghasilkan terlalu banyak pengemudi yang berlawanan setelah lampu merah dan kesulitan bagi pejalan kaki ketika menyeberang jalan.

E. Kapasitas

Kapasitas untuk tiap lengan persimpangan dihitung dengan formula berikut:

$$C = S \times g / c \dots\dots\dots(8.18)$$

Sumber: MKJI 1997 (Rumus 32)

dengan:

- C = Kapasitas (smp/jam)
- S = Arus jenuh (smp/jam)
- g = Waktu hijau (detik)
- c = Waktu siklus yang ditentukan (detik).

Dari hasil penghitungan ini dapat dicari nilai derajat jenuh dengan rumus di bawah ini:

$$DS = Q/C \dots\dots\dots(8.19)$$

Sumber: MKJI 1997 (Rumus 33)

dengan:

- DS = Derajat jenuh
- Q = Arus lalu lintas (smp/jam)
- C = Kapasitas (smp/jam).

F. Tingkat Performansi

Dari data hasil hitungan sebelumnya maka dapat diketahui tingkat performansi suatu persimpangan, antara lain: panjang antrian, kendaraan terhenti dan tundaan dalam penghitungan ini beberapa persiapan antara lain satuan waktu yang semula jam diganti detik dan dihitung nilai perbandingan hijau, $GR = g/c$, yang didapat dari penghitungan sebelumnya.

1) Panjang Antrian

Panjang antrian adalah panjang antrian kendaraan dalam suatu pendekat. Dari nilai derajat jenuh dapat digunakan untuk menghitung jumlah antrian smp (NQ_1) yang merupakan sisa dari fase hijau terdahulu. Didapat formula dan gambar di bawah ini.

$$\text{Untuk } DS > 0.5: NQ_1 = 0,25 \times C [(DS-1) + \sqrt{(DS - 1)^2 + \frac{8 (DS - 0,5)}{C}}] \dots\dots(8.20)$$

Sumber: MKJI 1997 (Rumus 34.1)

Untuk $DS \leq 0.5$: $NQ_1 = 0$ (8.21)

Sumber: MKJI 1997 (Rumus 34.2)

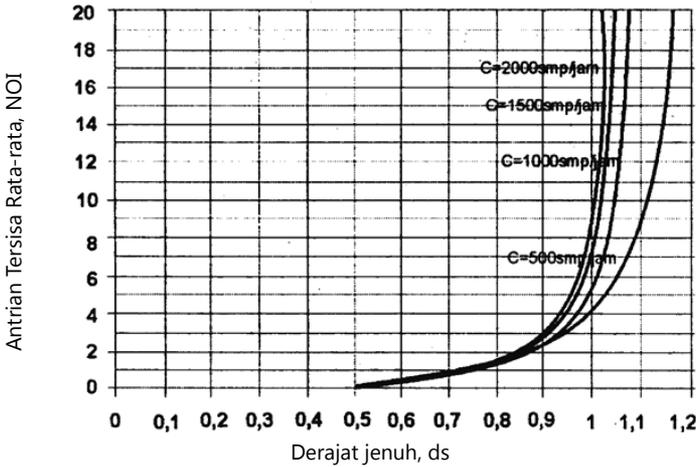
dengan:

NQ_1 = Jumlah smp yang tersisa dari fase hijau sebelumnya.

DS = Derajat kejenuhan

GR = Rasio hijau

C = Kapasitas (smp/jam) = arus jenuh x rasio hijau (S x GR)



Sumber: MKJI 1997 (Gambar E-2:1)
Gambar 8.19. Jumlah Antrian Kendaraan

Kemudian dihitung jumlah antrian smp yang datang selama fase merah (NQ_2) dengan formula berikut:

$$NQ_2 = Cx \frac{1 - GR}{1 - GR x DS} x \frac{G}{3600} \dots\dots\dots (8.22)$$

Sumber: MKJI 1997 (Rumus 35)

dengan:

NQ_2 = Jumlah smp yang datang selama fase merah.

Q = Arus lalu lintas pada tempat masuk di luar L_{TOR} (smp/jam)

c = Waktu siklus (detik)

GR = Rasio hijau (detik)

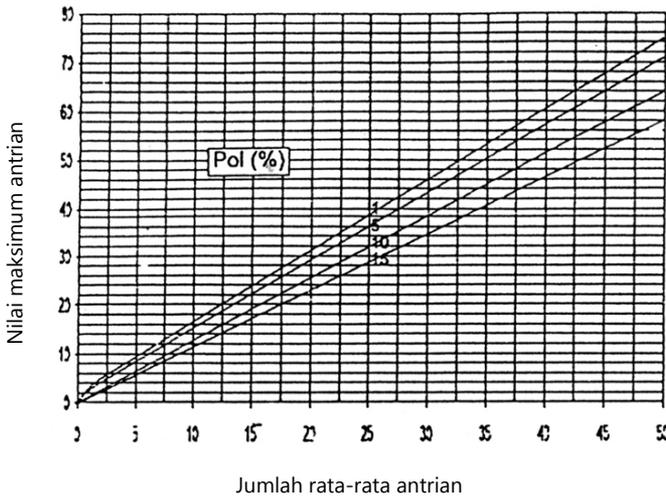
DS = Derajat jenuh

Untuk menghitung jumlah antrian total dengan menjumlahkan kedua hasil di atas.

$$NQ = NQ_1 + NQ_2 \dots\dots\dots(8.23)$$

Sumber: MKJI 1997 (Rumus 37)

Untuk menentukan NQ_{max} dapat dicari dari gambar di bawah ini, dengan menghubungkan nilai NQ dan *probabilitas overloading* POL(%). Untuk perencanaan dan desain disarankan nilai POL < 5%, sedangkan untuk operasional disarankan POL 5-10%.



Sumber: MKJI 1997 (Gambar E-2:2)

Gambar 8.20. Penghitungan Jumlah Antrian smp max, Nq_{max}

Penghitungan panjang antrian (QL) didapat perkalian antara NQ_{max} dengan rata-rata area yang ditempati tiap smp (20 sqm) dan dibagi lebar *entry* (W_{entry}), yang dirumuskan di bawah ini.

$$QL = NQ_{max} \times 20 / W_{entry} \text{ (meter)} \dots\dots\dots(8.24)$$

Sumber: MKJI 1997 (Rumus 38)

2) Kendaraan Terhenti

Angka henti (NS) adalah jumlah rata-rata berhenti per smp, termasuk berhenti berulang dalam antrian. Angka henti pada masing-masing pendekat dapat dihitung berdasar rumus 8.25 berikut.

$$NS = 0,9 \times \frac{NQ}{Q \times c} \times 3600 \dots\dots\dots(8.25)$$

Sumber: MKJI 1997 (Rumus 39)

dengan:

c = waktu siklus (detik)

Q = arus lalu lintas (smp/jam)

Jumlah kendaraan terhenti (N_{ST}) pada masing-masing pendekat dapat dihitung dengan rumus 8.26 berikut:

$$N_{ST} = Q \times NS \text{ (smp/jam)} \dots\dots\dots(8.26)$$

Sumber: MKJI 1997 (Rumus 40)

Angka henti seluruh simpang didapatkan dengan membagi jumlah kendaraan terhenti pada seluruh pendekat dengan arus simpang total Q dalam kend/jam.

$$NS_{TOT} = Q \times NS \dots\dots\dots(8.27)$$

Sumber: MKJI 1997 (Rumus 41)

3) Tundaan

Tundaan lalu lintas rata-rata tiap *approach* ditentukan dengan rumus 8.28 berikut.

$$DT = c \times A + \frac{NQ_1 \times 3600}{C} \dots\dots\dots(8.28)$$

Sumber: MKJI 1997 (Rumus 42)

dengan:

DT = tundaan lalu lintas rata-rata (det/smp)

c = waktu siklus yang disesuaikan (det)

$$A = \frac{0,5 \times (1-GR)^2}{(1 - GR \times ds)} \dots\dots\dots(8.29)$$

dengan:

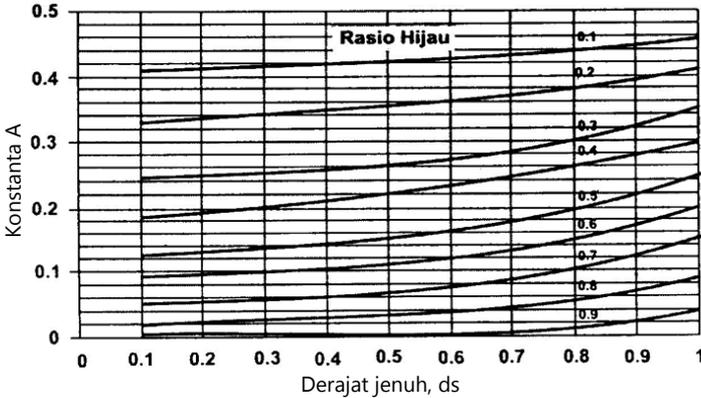
GR = rasio hijau (g/c)

DS = derajat jenuh

NQ_1 = jumlah smp yang tersisa dari fase hijau sebelumnya

C = kapasitas (smp/jam)

Atau dapat dilihat pada Gambar 8.21 di bawah ini:



Sumber: MKJI 1997 (Gambar E-4:1)

Gambar 8.21. Penentuan Nilai A dalam Formula Tundaan

Tundaan geometri ditentukan dengan rumus berikut:

$$DG_j = (1 - \rho_{SV}) \times \rho_T \times 6 + (\rho_{SV} \times 4) \dots\dots\dots(8.30)$$

Sumber: MKJI 1997 (Rumus 43)

dengan:

DG_j = tundaan geometri rata-rata untuk *approach* j (detik/smp)

ρ_{SV} = rasio kendaraan terhenti pada *approach* = Min (NS,1)

ρ_T = rasio kendaraan berbelok pada *approach*

Tundaan rata-rata (det/smp) adalah penjumlahan antara tundaan rata-rata dan tundaan geometri rata-rata ($D = DT + DG$). Sementara tundaan total (smp.det) adalah perkalian antara tundaan rata-rata dengan arus lalu lintas ($D \times Q$). Tundaan rata-rata untuk seluruh simpang (D_j) didapat dengan membagi jumlah nilai tundaan dengan arus total.

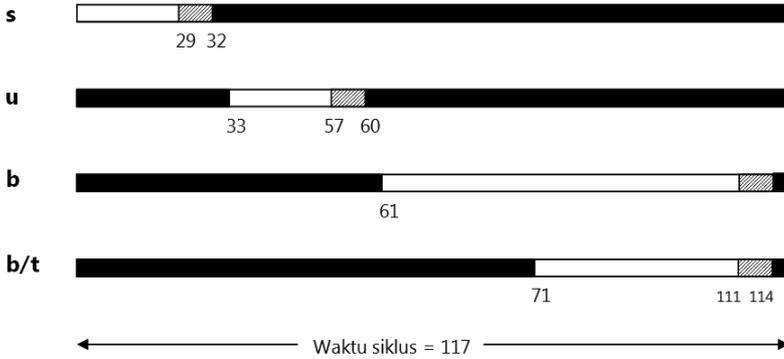
$$D_j = \frac{\sum Q \times D_j}{Q_{TOT}} \text{ (det/smp)} \dots\dots\dots(8.31)$$

Sumber: MKJI 1997 (Rumus 44)

G. Diagram Sinyal MKJI

Dalam MKJI Bab Simpang Bersinyal halaman 2-73 dan 2-74 dengan waktu hijau pendekat utara, selatan, timur dan barat berturut-turut adalah sebesar 24 detik, 29 detik, 40 detik, dan 10 detik. Khusus untuk pendekat barat mengalami hijau pada fase ketiga dan keempat. Adapun waktu merah semua pada fase 1 ke fase 2 selama 1 detik, fase 2 ke fase 3 selama 1 detik, dan fase 4 ke fase 1 selama 3 detik, sementara waktu kuning (amber) 3 detik per fase. Waktu siklus disesuaikan

sebesar 117 detik. Jika digambarkan dalam bentuk diagram sinyal tampak sebagai berikut.



Gambar 8.22. Diagram setting sinyal

H. Counter Down

Penggunaan *counter down* (*timer mundur*) yang telah banyak diterapkan di perkotaan akan mengurangi besarnya waktu hilang awal, memperbesar *saturation flow*, sekaligus meniadakan lampu kuning (*amber*).



Gambar 8.23. Counter down di simpang

I. Aplikasi MKJI 1997

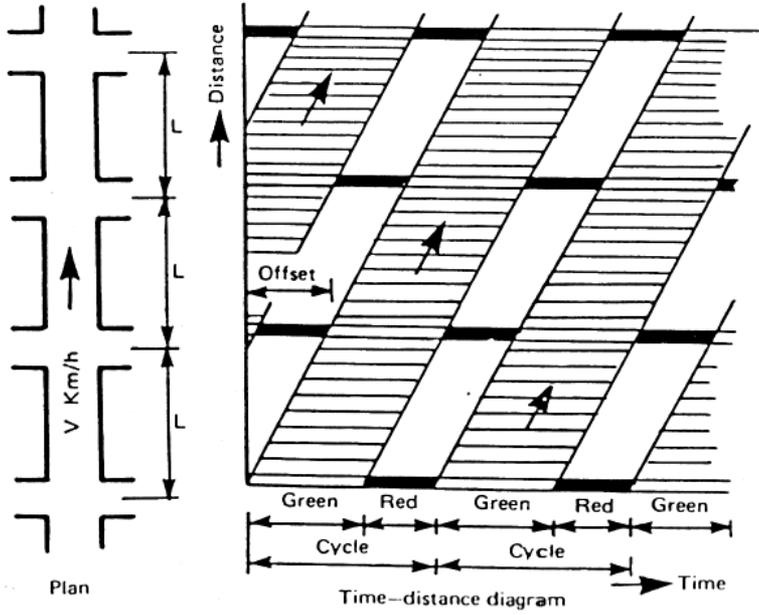
Studi yang dilakukan Risdiyanto (2008) menunjukkan bahwa hasil dari hitungan tundaan metode MKJI 1997 untuk simpang bersinyal di Yogyakarta, ternyata lebih besar dibandingkan dengan tundaan dari pengamatan langsung di lapangan. Munawar (2004) menyarankan penyesuaian perhitungan arus jenuh menjadi $S_0 = 780 \times W_e$ yang berarti bahwa makin besar arus jenuh S , maka makin banyak kendaraan yang bisa dilepaskan dari kaki simpang sehingga tundaannya akan turun (tundaan lebih kecil dari tundaan hitungan MKJI 1997). Priyanto (2007) pun mengusulkan perhitungan arus jenuh S menjadi $S = 381,3w + 1661$.

J. Koordinasi Simpang Bersinyal

Pengaturan simpang-sebidang dengan lampu lalu lintas pada suatu jaringan jalan dapat dilakukan melalui suatu koordinasi sehingga ada keterkaitan atas satu simpang dengan simpang lainnya yang berada dalam satu jaringan jalan. Koordinasi simpang bersinyal adalah salah satu langkah penting untuk mengurangi besarnya tundaan yang terjadi. Selain itu, koordinasi simpang dapat mengurangi konsumsi bahan bakar dan penurunan kecelakaan lalu lintas. Pengaturan ini juga dapat memberikan fasilitas khusus berupa prioritas kepada angkutan umum/bus kota dan dalam kondisi darurat seperti ambulans, pemadam kebakaran. Dalam pengembangan selanjutnya *Area Traffic Control System* (ATCS) dengan sistem komputernya dapat mengatur rambu pengontrol dan memonitor tempat-tempat parkir *off-street*.

Sasaran utama dari hampir semua ATCS yang ada adalah memungkinkan pergerakan kendaraan secara kontinu dan meminimumkan tundaan sepanjang arteri dan melalui jaringan jalan utama. ATCS dapat menghasilkan kualitas arus lalu lintas atau tingkat pelayanan terbaik yang mungkin untuk kondisi lalu lintas dan pembatasan lain yang ada. Kualitas diukur dengan sejumlah faktor yang berbeda seperti: tundaan, jumlah berhenti, waktu perjalanan, keamanan lalu lintas, kebebasan bergerak, dan pengaruh lingkungan (gas pengeluaran, kebisingan, dan lain-lain).

Untuk melakukan koordinasi, dibutuhkan waktu siklus (*cycle time*) yang sama, serta *setting* mulainya waktu hijau antara satu simpang dengan simpang lainnya. Perbedaan waktu mulainya waktu hijau dikenal dengan istilah '*offset time*'. Dengan koordinasi, diharapkan terjadi gelombang hijau (*green wave*) pada kendaraan yang melewatinya. Berikut digambarkan *setting* waktu hijau pada jalan satu arah.



Sumber: Underwood (1990)

Gambar 8.24. *Setting* sinyal terkoordinasi pada jalan satu arah

Besarnya *offset* merupakan fungsi dari panjang ruas dan kecepatan kendaraan antar simpang, sehingga dirumuskan dengan:

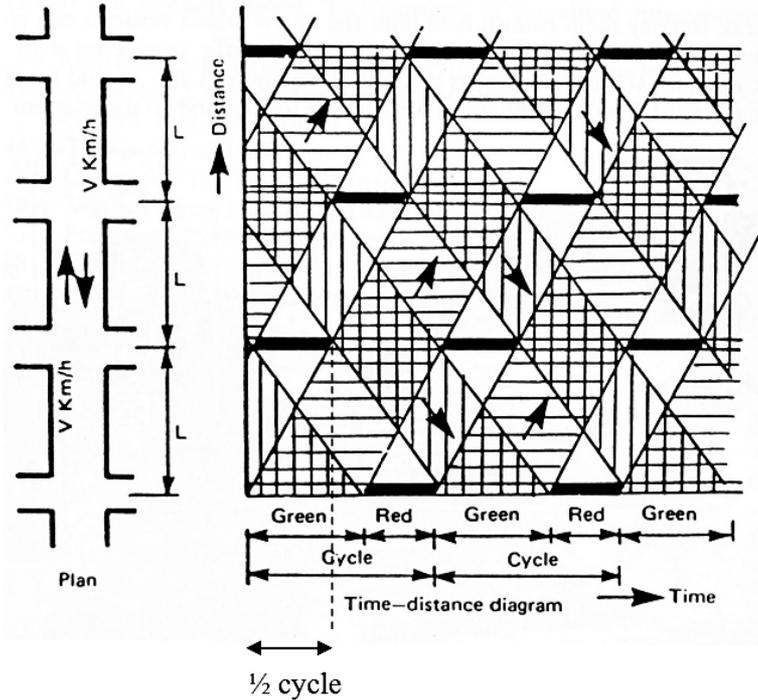
$$T = \frac{3,6 L}{V}$$

T = *offset* (detik)

L = panjang ruas jalan (meter)

V = kecepatan kendaraan (km/jam)

Pada kasus jalan dua arah, maka *setting* waktu hijau tampak pada gambar berikut



Gambar 8.25. *Setting* sinyal terkoordinasi pada jalan dua arah

Besarnya waktu siklus merupakan fungsi dari kecepatan rata-rata dan jarak antar simpang. Terlihat pada gambar, bahwa mulainya hijau di simpang berikutnya (waktu perjalanan) setara dengan setengah dari waktu siklus. Dengan kata lain, waktu siklus sama dengan dua kali jarak per kecepatan kendaraan, dan dirumuskan dengan:

$$T = \frac{3,6 \cdot 2L}{V} = \frac{7,2L}{V}$$

- C = waktu siklus (detik)
- L = panjang ruas jalan (meter)
- V = kecepatan kendaraan (km/jam)

Permasalahan yang timbul berikutnya adalah bahwa panjang ruas-ruas jalan tidak sama, waktu hijau optimal tiap simpang berlainan, kecepatan kendaraan yang berbeda-beda, sementara waktu siklus pada tiap simpang dibuat sama. Untuk memahami persoalan ini, pembaca bisa melihat pada literatur lain perihal *platoon dispersion*.

K. Tingkat Pelayanan

Ukuran kinerja baik buruknya simpang adalah besarnya tundaan. Semakin besar tundaan, kinerja simpang semakin buruk. Menurut HCM 2000, tingkat pelayanan simpang bersinyal disajikan dalam tabel berikut:

Tabel 8.11. Tingkat pelayanan jalan simpang bersinyal

Tingkat pelayanan	Waktu tunda rerata (detik/smp)
A	≤ 10
B	$> 10 - 20$
C	$> 20 - 35$
D	$> 35 - 55$
E	$> 55 - 80$
F	> 80

Indonesia, sesuai KM No 14 Tahun 2006, tingkat pelayanan simpang tertera pada tabel berikut:

Tabel 8.12. Tingkat pelayanan simpang bersinyal

Tingkat pelayanan	Tundaan (detik/kend)	<i>Load Factor</i>
A	$\leq 5,0$	0,0
B	5,10 – 15,0	$\leq 0,1$
C	15,1 – 25,0	$\leq 0,3$
D	25,1 – 40,0	$\leq 0,7$
E	40,1 – 60,0	$\leq 1,0$
F	> 60	NA

BAB IX

TUNDAAN LAPANGAN DAN TEORI ANTRIAN

A. Tundaan Lapangan

Tundaan lapangan bisa didapat dengan melakukan survei secara langsung di lokasi studi. Sebagai contoh misalnya di palang pintu lintasan KA yang memotong jalan raya maupun pada daerah persimpangan. Dengan mengetahui kendaraan yang melewati jalan yang terhalang pintu lintasan kereta api, maka dapat diklasifikasikan ke dalam kendaraan yang berhenti, kendaraan tidak berhenti, serta kendaraan yang sedang menunggu/antri dalam interval 15 detik.

Untuk menghitung tundaan lapangan adalah seperti tabel berikut:

Tabel 9.1. Hambatan pada saat kendaraan melintasi simpang tak bersinyal

Menit ke	Detik ke-				Arus yang masuk	
	00 - 15	15 - 30	30 - 45	45 - 60	Kendaraan berhenti	Kendaraan tidak berhenti
00	1	3	6	4	7	2
01	2	0	7	5	8	5
02	9	7	2	0	10	3
Sub. Total	12	10	15	9	25	10
Total	JR = 46				JB = 25	JT = 10

Catatan: JR = Jumlah kendaraan yang antri tiap range 15 detik

JB = Jumlah kendaraan berhenti

JT = Jumlah kendaraan tidak berhenti

a. Total tundaan (T)

$$T = JR \times 15$$

$$= 46 \times 15 = 690 \text{ kend. detik}$$

b. Rata-rata tundaan kendaraan yang berhenti (RTKH)

$$RTKH = \frac{(JR \times 15)}{JB} = \frac{(46 \times 15)}{25} = \frac{690}{25} = 27,6 \text{ detik}$$

c. Persentase kendaraan tertunda

$$= \frac{JB}{JR} \times 100 \%$$
$$= \frac{25}{46} \times 100 \%$$
$$= 54,34 \%$$

d. Rata-rata tundaan untuk semua kendaraan (RTSK)

$$RTSK = \left[\frac{JR \times 15}{JB \times JT} \right]$$
$$= \left[\frac{46 \times 15}{25 \times 10} \right] = 19,71 \text{ detik}$$

B. Teori Antrian

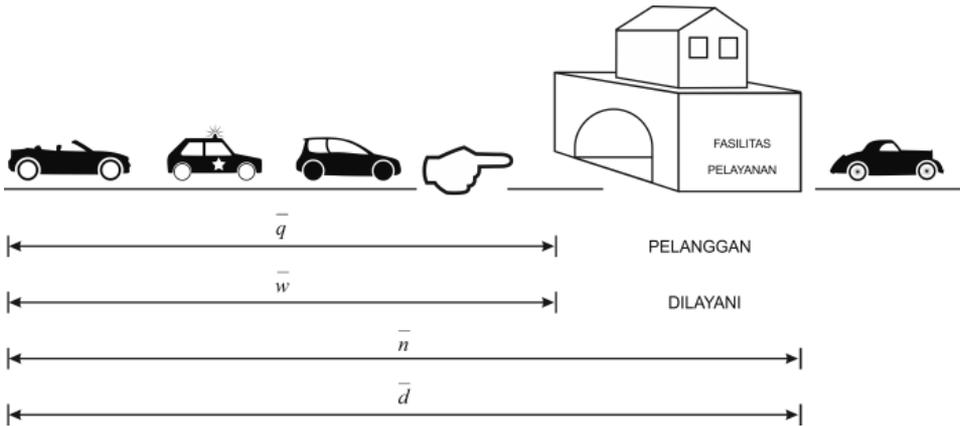
B.1. Pendahuluan

Teori antrian bermula dari penelitian A.K. Erlang yang dimulai pada tahun 1909. Ia mengamati kasus kemacetan hubungan telepon di *Copenhagen Telephone* dengan tujuan untuk menentukan permintaan sambungan telepon yang tidak pasti. Pada saat itu hubungan telepon harus melewati operator dan pada saat sibuk peminta harus menunggu untuk bisa disambungkan dengan nomor yang dikehendaki. Selanjutnya, pada tahun 1917, Erlang mempublikasikan penemuannya dan kemudian disusul oleh Molina (1927) dan Thornton (1928). Sebelum perang dunia kedua berakhir teori ini telah diperluas ke masalah-masalah umum termasuk antrian kendaraan di jalan raya.

Terdapat empat karakteristik antrian yang harus ditentukan untuk meramalkan prestasi (dalam kata lain variabel-variabel) yaitu distribusi kedatangan, distribusi waktu pelayanan, jumlah pintu pelayanan, dan terakhir adalah disiplin antrian.

B.2. Skema Antrian

Sistem antrian yang paling sederhana ditunjukkan pada gambar 9.1. Sistem antrian mempunyai dua bagian dasar, yaitu suatu antrian dan fasilitas pelayanan tunggal, yang kadang-kadang disebut *single channel*. Sistem *single channel* ini menerima individu-individu dari suatu tingkat kedatangan.



- Keterangan:
- \bar{q} = Panjang antrian rata-rata
 - \bar{n} = Jumlah rata-rata kendaraan di dalam sistem
 - \bar{w} = Waktu menunggu rata-rata di dalam antrian
 - \bar{d} = Waktu rata-rata yang digunakan di dalam sistem

Gambar 9.1. Skema antrian

B.3. Prinsip Teori Antrian

B.3.1. Distribusi Kedatangan

Model antrian adalah model probabilistik (*stochastic*) karena unsur-unsur tertentu proses antrian yang dimasukkan dalam model adalah variabel random. Variabel random ini sering digambarkan dengan distribusi probabilitas. Distribusi *headway* dari kedatangan lalu lintas, mungkin saja merata (yaitu *headway* yang konstan) atau dapat mengikuti pola-pola kedatangan Poisson atau acak, atau pola-pola lainnya. Asumsi yang biasa digunakan pada distribusi kedatangan adalah distribusi Poisson. Distribusi Poisson adalah distribusi diskrit dengan rata-rata sama dengan varians.

$$P(x) = \frac{(\lambda t)^x e^{-\lambda t}}{x!}$$

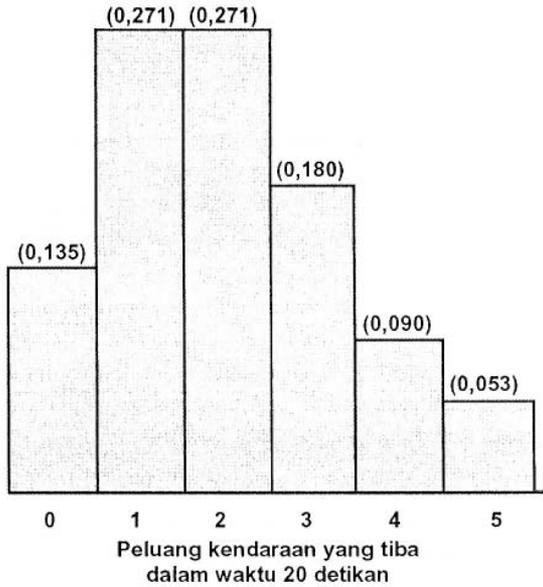
Dengan:

$P(x)$ = kemungkinan terdapat x kendaraan tiba dalam interval waktu t

λ = tingkat kedatangan kendaraan dalam satuan waktu tertentu

t = interval waktu kedatangan kendaraan

e = bilangan natural (=2,718)



Sumber: Tamin (2008)

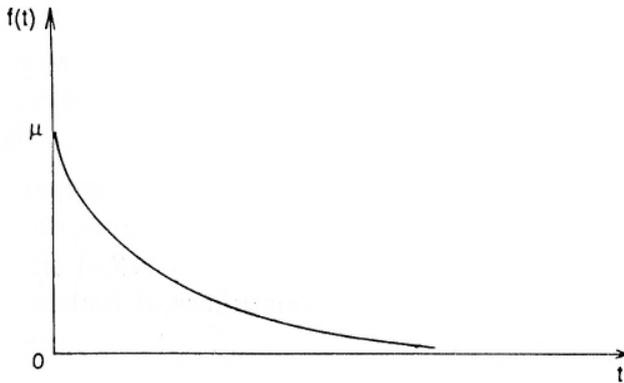
Gambar 9.2. Distribusi Poisson untuk kedatangan kendaraan $\lambda = 0,1$ kendaraan per detik

Distribusi Poisson merupakan proses yang sepenuhnya acak (*completely random process*) karena memiliki sifat bahwa interval waktu yang tersisa sampai pemunculan kejadian berikutnya sepenuhnya tidak bergantung pada interval waktu yang telah berlalu dari pemunculan kejadian terakhir.

Suatu ciri menarik adalah, bahwa jika kejadian/kedatangan kendaraan dalam satu periode waktu tertentu berdistribusi Poisson dengan laju rata-rata kedatangan sebesar λ , maka interval waktu antara kedatangan kendaraan (*headway*) adalah eksponensial negatif.

B.3.2. Distribusi Waktu Pelayanan

Biasanya, waktu pelayanan diasumsikan berdistribusi eksponensial negatif. Dengan demikian, jika waktu pelayanan mengikuti distribusi eksponensial negatif, maka tingkat pelayanan mengikuti distribusi Poisson. Distribusi eksponensial negatif adalah distribusi probabilitas kontinu.



Gambar 9.3. Contoh Distribusi Eksponensial negatif

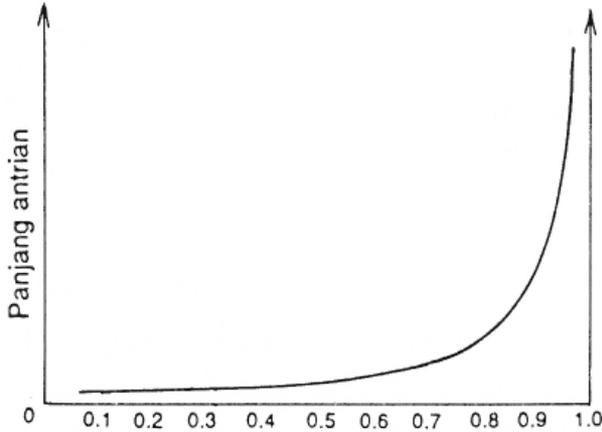
Penelitian menunjukkan bahwa asumsi distribusi eksponensial negatif maupun Poisson belum tentu benar. Oleh karena itu perlu dilakukan pengujian dengan menggunakan *test goodness of fit* dengan memakai distribusi *chi square*.

B.3.3. Disiplin Antri

Disiplin antrian ialah urutan di mana satuan lalu lintas yang tiba akan dilayani. Dalam transportasi, hal ini biasanya dilakukan dengan cara yang pertama datang akan pertama pula dilayani, tetapi dalam sistem lain urutan ini mungkin terbalik, yang terlebih dahulu datang akan paling akhir dilayani, seperti surat-surat yang ditumpuk, dan dipilih mulai dari yang paling atas (Morlok E. W., 1978). Dalam istilah teori antrian, hal yang pertama tadi disebut "pertama masuk pertama keluar" (*first in, first out* (FIFO) atau *first come first served* (FCFS)); sedang yang kedua tadi disebut "terakhir masuk, pertama keluar" (*last in, first out* (LIFO)).

B.3.4. Tingkat Kedatangan dan Tingkat Pelayanan

Supaya tidak terjadi antrian yang panjang sekali, maka tingkat kedatangan harus lebih kecil dari tingkat pelayanan. Hubungan antara rasio tingkat kedatangan terhadap tingkat pelayanan dengan panjang antrian pada awalnya landai, tetapi makin lama makin tinggi menanjak sebagaimana grafik berikut:



Gambar 9.4. Hubungan rasio tingkat kedatangan dan tingkat pelayanan terhadap panjang antrian

B.3.5. Notasi Kendal

Terdapat banyak variasi yang mungkin dari model antrian. Model tersebut dituliskan dalam notasi Kendall. Notasi Kendal yang sederhana yaitu [a / b / c] dengan a adalah distribusi kedatangan, b distribusi keberangkatan atau waktu pelayanan, dan c adalah banyaknya pintu pelayanan. Untuk a dan b, notasi M menunjukkan Poisson, dan D menunjukkan deterministik/konstan.

B.3.6. Model Antrian M/M/1

Pada model ini, kedatangan dan keberangkatan berdistribusi Poisson dengan satu pintu pelayanan, misalnya di pom bensin. Apabila pada pelayanan terdapat banyak pintu (seperti misalnya gerbang tol), maka rata-rata kedatangan pada setiap pintu pelayanan adalah jumlah total kedatangan dibagi dengan jumlah pintu. Rata-rata pelayanan setiap pintu adalah jumlah total pelayanan yang dapat dilayani dibagi dengan jumlah pintu pelayanan. Sebagai sebuah catatan, pada contoh ini jumlah pintu tol sama dengan jumlah jalur masuk.

Tabel 9.2. Hubungan antara antrian pada stasiun tunggal dengan kedatangan Poisson dan waktu pelayanan eksponensial untuk beberapa kondisi keadaan tetap

No	Model Antrian	Deskripsi Model
1	$P(n) = \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n \left(1 - \frac{\lambda}{\mu}\right) = (\rho)^n (1 - \rho)$	$P(n)$ = kemungkinan terdapatnya tempat n kendaraan pada sistem
2	$\bar{n} = \frac{\lambda}{\mu - \lambda} = \frac{\rho}{1 - \rho}$	\bar{n} = jumlah rata-rata kendaraan di dalam sistem

No	Model Antrian	Deskripsi Model
3	$\text{Var } \bar{q} = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda^2)} = \frac{\rho^2}{1 - \rho}$	$\text{Var}(n)$ = varian dari n (jumlah kendaraan di dalam sistem)
4	$\bar{q} = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda^2)} = \frac{\rho^2}{1 - \rho}$	\bar{q} = panjang antrian rata-rata
5	$f(d) = (\mu - \lambda) e^{-(\lambda - \mu)d}$	$f(d)$ = kemungkinan untuk memakai waktu d di dalam sistem antrian
6	$\bar{d} = \frac{1}{\mu - \lambda}$	\bar{d} = waktu rata-rata yang digunakan di dalam sistem
7	$\bar{W} = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)} = \bar{d} - \frac{1}{\mu}$	\bar{W} = waktu menunggu rata-rata di dalam antrian
8	$P(d \leq t) = 1 - e^{-(1-\rho)\mu t}$	$P(d \leq t)$ = kemungkinan untuk memakai waktu t atau kurang di dalam sistem antrian
9	$P(W \leq t) = 1 - \rho e^{-(1-\rho)\mu t}$	$P(W \leq t)$ = kemungkinan untuk memakai waktu menunggu t atau kurang di dalam sistem antrian

Keterangan:

λ = Jumlah rata-rata kendaraan yang tiba per satuan waktu

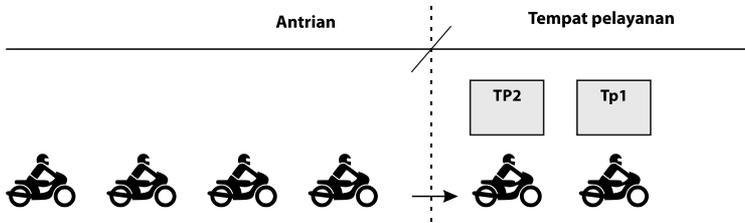
μ = Tingkat pelayanan rata-rata, jumlah kendaraan per satuan waktu

ρ = Intensitas lalu lintas atau faktor pemakaian = λ/μ

Sumber: Wohl dan Martin dalam Morlok. E. W. (1991)

B.3.7. Antrian Tandem

Antrian tandem adalah antrian dengan disiplin FIFO di mana pengantri tidak bergerak satu-satu, namun sekaligus dua-dua (tandem). Beberapa pom bensin telah menerapkan sistem ini khususnya pada pom untuk sepeda motor.

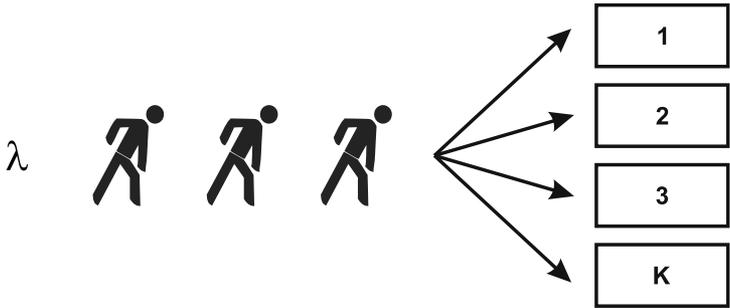


Gambar 9.5. Disiplin FIFO model tandem

Pada model tandem ini, misalnya saja tingkat pelayanan per pintu sebesar 200 kendaraan per jam akan menjadi 400 kendaraan per jam untuk dua pintu. Model ini baru baik diterapkan jika standar deviasi waktu pelayanan di tiap pintu relatif kecil. Jika standar deviasi cukup besar, maka yang terjadi justru waktu tunggu yang lama.

B.3.8. First Vacant First Out (FVFO)

Terdapat tipe antrian dengan pengontrolan pada pintu pelayanan untuk mengatasi ketidakefisienan yang terjadi yaitu dengan cara bahwa kendaraan/orang yang datang dapat memilih pintu yang *leading* yaitu menuju pintu pertama yang kosong (*First Vacant First Out = FVFO* atau *First Vacant First Served = FVFS*). Cara kedua ini biasa digunakan di loket antri di bank. Pada beberapa pintu tol hal ini juga diterapkan sebagaimana gambar berikut



Gambar 9.6. Disiplin FVFO



Gambar 9.7. Pintu tol model FVFO

Adapun rumusan perhitungan tampak pada tabel berikut:

Tabel 9.3. Hubungan antara antrian pada stasiun ganda dengan kedatangan Poisson dan waktu pelayanan Eksponensial untuk beberapa kondisi keadaan tetap

Model antrian	Deskripsi model
1 $p(n) = \frac{1}{n!} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n p(0)$ for $n = 0, 1, \dots, k - 1$	$p(n)$ = kemungkinan terdapatnya tepat n kendaraan di dalam sistem untuk $0 \leq n < k$
2 $p(n) = \frac{1}{k!k^{n-k}} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n p(0), \text{ for } n \geq k$	$p(n)$ = kemungkinan terdapatnya tepat n kendaraan di dalam sistem untuk $n \geq k$
3 $p(0) = \frac{1}{\left[\sum_{n=0}^{k-1} \frac{1}{n!} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n\right] + \frac{1}{k!} \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k \frac{k\mu}{k\mu - \lambda}}$	$p(0)$ = kemungkinan terdapatnya nol kendaraan di dalam sistem
4 $\bar{n} = \frac{\lambda\mu(\lambda/\mu)^k}{(k-1)!(k\mu - \lambda)^2} p(0) + \frac{\lambda}{\mu}$	\bar{n} = jumlah rata-rata kendaraan di dalam sistem
5 $\bar{q} = \frac{\lambda\mu(\lambda/\mu)^k}{(k-1)!(k\mu - \lambda)^2} p(0)$	\bar{q} = panjang antrian rata-rata
6 $\bar{d} = \frac{\mu(\lambda/\mu)^k}{(k-1)!(k\mu - \lambda)^2} p(0) + \frac{1}{\mu}$	\bar{d} = waktu rata-rata yang digunakan di dalam sistem
7 $\bar{w} = \frac{\mu(\lambda/\mu)^k}{(k-1)!(k\mu - \lambda)^2} p(0)$	\bar{w} = waktu menunggu rata-rata di dalam antrian
8 $p(d \leq t) = 1 - e^{-\mu t} \left\{ 1 + \frac{p(n \geq k)}{k} \times \frac{1 - e^{-\mu kt} [1 - (\lambda/\mu k) - (1/k)]}{1 - (\lambda/\mu k) - (1/k)} \right\}$	$p(d \leq t)$ = kemungkinan untuk menggunakan waktu t atau kurang dalam sistem
9 $p(n \geq k) = \sum_{n=k}^{\infty} p(n) = \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k \frac{p(0)}{k! \left(1 - \frac{\lambda}{\mu k}\right)}$	$p(n \geq k)$ = kemungkinan untuk harus menunggu di dalam antrian

† k = jumlah stasiun pelayanan atau saluran pelayanan, masing-masing mempunyai tingkat pelayanan μ

λ_k = tingkat kedatangan rata-rata per stasiun

$\lambda = k\lambda_k$

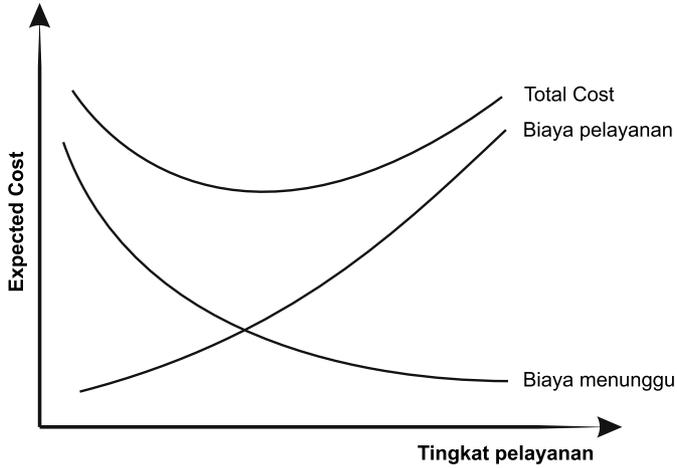
$\rho = \lambda/k\mu =$ intensitas lalu-lintas

Sumber: Wohl dan Martin (1967, hal. 368).

C. Manfaat Teori Antrian

Pada kasus di gerbang jalan tol, jumlah pintu layanan yang banyak akan mengakibatkan *operating cost* pihak pengusaha menjadi besar, walaupun pengemudi kendaraan merasakan keuntungan karena waktu antri yang pendek. Sementara itu, bila jumlah pintu layanan sedikit, maka pengemudi kendaraan akan mengalami antri yang lama, meskipun *operating cost* pengusaha jalan tol

menjadi kecil. Pada titik keseimbangan, pengusaha dan pengemudi mendapatkan keuntungan optimum. Fenomena ini bisa digambarkan dalam grafik berikut:



Gambar 9.8. Biaya-biaya di dalam model antrian

D. Aplikasi Teori Antrian

Contoh 1

Para penumpang tiket pesawat datang pada agen tiket dengan tingkat kedatangan rata-rata 20 orang per jam. Jika setiap penumpang dilayani rerata 2 menit, carilah jumlah penumpang menunggu dalam sistem dan dalam antrian serta waktunya!

Jawab:

Pelayanan 2 menit per penumpang = 30 orang per jam yang terlayani

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu}$$

$$\rho = \frac{20}{30} = \frac{2}{3}$$

- 1). Jumlah rata-rata penumpang di dalam sistem.

$$\bar{n} = \frac{\lambda}{\mu - \lambda} = \frac{\rho}{1 - \rho} = \frac{2/3}{1 - 2/3} = 2 \text{ penumpang}$$

- 2). Panjang antrian rata-rata.

$$\bar{q} = \frac{\rho^2}{1 - \rho} = \frac{4/9}{1 - 2/3} = 1,3 \text{ penumpang}$$

3). Waktu rata-rata yang digunakan dalam sistem:

$$\bar{d} = \frac{1}{\mu - \lambda} = \frac{1}{30 - 20} = 1/10 \text{ jam} = 6 \text{ menit}$$

4). Waktu menunggu rata-rata di dalam antrian.

$$\bar{w} = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)} = \frac{20}{30(30 - 20)} = 4 \text{ menit}$$

Contoh 2

Data pelayanan kendaraan yang melewati pintu tol tercatat 1.323 tingkat kedatangan kendaraan per jam (0.3675 kendaraan per detik) dengan nilai rata-rata pelayanan 2,557 kendaraan per detik (1407,899 kendaraan per jam). Carilah parameter-parameter antrian!

Jawab:

Dari data di atas, maka dianalisis dengan menggunakan persamaan 1 sampai 9 yang terdapat pada tabel 9.2. dan selanjutnya hasil analisis disusun sebagai berikut ini.

$$\begin{aligned} \text{Waktu pelayanan} = \rho &= \frac{\lambda}{\mu} \\ &= \frac{1323}{1407,899} \\ &= 0,923362 \end{aligned}$$

1). Kemungkinan terdapatnya tempat $n (=5)$ kendaraan pada sistem.

$$\begin{aligned} P(n) &= \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n \left(1 - \frac{\lambda}{\mu}\right) = (\rho)^n (1 - \rho) \\ &= (0,923362)^5 \left(1 - \frac{0,923362}{1407,899}\right) \\ &= 0,6707722 \end{aligned}$$

2). Jumlah rata-rata kendaraan di dalam sistem.

$$\begin{aligned} n &= \frac{\lambda}{\mu - \lambda} = \frac{\rho}{1 - \rho} \\ &= \frac{0.923362}{1 - 0.923362} \\ &= 15.583222 \text{ kendaraan} \\ &= 16 \text{ kendaraan} \end{aligned}$$

3). Varian dari n (jumlah kendaraan di dalam sistem).

$$\begin{aligned} \text{Var}(n) &= \frac{\lambda \rho}{(\mu - \lambda)^2} = \frac{\rho}{[1 - \rho]^2} \\ &= \frac{0.923362}{(1 - 0.923362)^2} \\ &= 157.2112 \text{ kendaraan} \\ &= 157 \text{ kendaraan} \end{aligned}$$

4). Panjang antrian rata-rata.

$$\begin{aligned} \bar{q} &= \frac{\lambda^2}{\mu (\mu - \lambda^2)} = \frac{\rho^2}{1 - \rho} \\ &= \frac{0.923362^2}{1 - 0.923362} \\ &= 14.64352 \text{ kendaraan} \\ &= 15 \text{ kendaraan} \end{aligned}$$

5). Kemungkinan untuk memakai waktu d di dalam sistem antrian.

$$\begin{aligned} f(d) &= (\mu - \lambda) e^{-(\lambda - \mu)d} \\ &= (1407.899 - 1323) e^{(1323 - 1047.899) 0.011778} \\ &= 31.234457 \end{aligned}$$

6). Waktu rata-rata yang digunakan dalam sistem.

$$\begin{aligned} \bar{d} &= \frac{1}{\mu - \lambda} \\ &= \frac{1}{1407.899 - 1323} \\ &= 0.011778 \text{ jam} \\ &= 42.403 \text{ detik} \end{aligned}$$

7). Waktu menunggu rata-rata di dalam antrian.

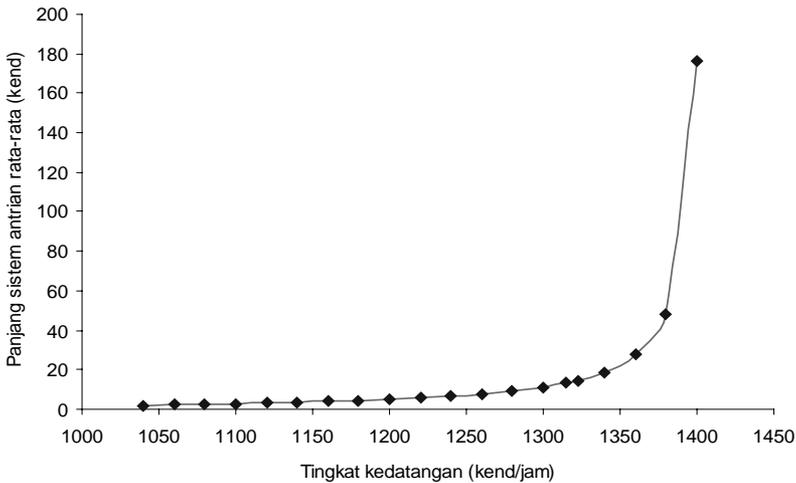
$$\begin{aligned} \bar{W} &= \frac{\lambda}{\mu (\mu - \lambda)} = \bar{d} - \frac{1}{\mu} \\ &= 0.011778 - \frac{1}{1407.899} \\ &= 0.01167 \text{ jam} \\ &= 42.012 \text{ detik} \end{aligned}$$

8). Kemungkinan untuk menggunakan waktu t atau kurang dari sistem antrian.

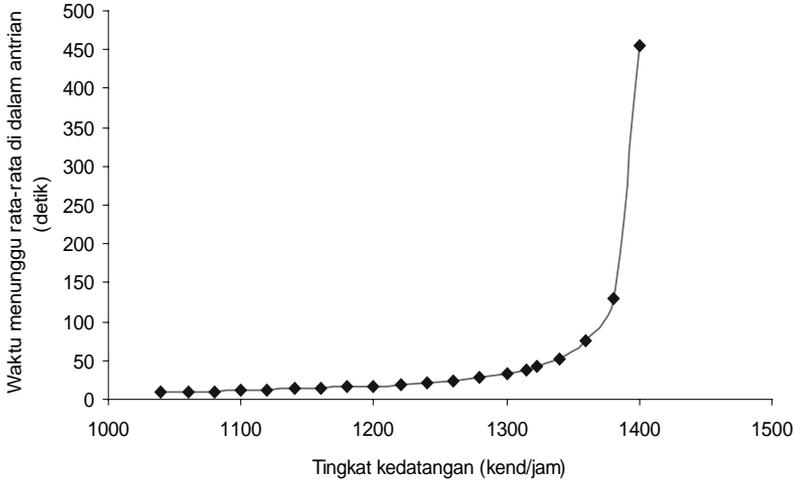
$$\begin{aligned} P(d \leq t) &= 1 - e^{-(1-\rho) \mu t} \\ &= 1 - e^{-(1-0.923362) 1407.899 * 0.011778} \\ &= 0.999 \end{aligned}$$

9). Kemungkinan untuk memakai waktu menunggu t atau kurang di dalam sistem antrian.

$$\begin{aligned} P(W - t) &= 1 - \rho e^{-(1-\rho) \mu t} \\ &= 1 - 0.923362 * e^{-(1-0.923362) * 1407.899 * 0.011778} \\ &= 0.0215045 \end{aligned}$$



Gambar 9.9. Hubungan tingkat kedatangan kendaraan dengan panjang sistem antrian



Gambar 9.10. Hubungan tingkat kedatangan dengan waktu menunggu rata-rata di dalam antrian.

Contoh 3

Sejumlah kendaraan memasuki pintu tol dengan laju kedatangan sebesar 1.500 kendaraan per jam (= 5/12 kendaraan per detik). Bila jumlah pintu pelayanan ada 3 buah, dan tiap pintu mampu melayani 1/6 kendaraan tiap detik, maka tentukan waktu dan panjang antrian dengan

- a) disiplin FIFO biasa
- b) disiplin FVFO!

Jawab

a) Dengan FIFO biasa

Kedatangan 1.500 kend/jam membagi rata ke ketiga pintu pelayanan menjadi 500 kend/jam atau 5/36 kend per detik. Dengan demikian $\lambda = 5/36$. Tingkat pelayanan $\mu = 1/6$.

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu}$$

$$\rho = \frac{5/36}{1/6} = \frac{5}{6}$$

1). Jumlah rata-rata kendaraan di dalam sistem.

$$\bar{n} = \frac{\lambda}{\mu - \lambda} = \frac{\rho}{1 - \rho} = \frac{5/6}{1 - 5/6} = 5 \text{ kend}$$

2). Panjang antrian rata-rata.

$$\bar{q} = \frac{\rho^2}{1 - \rho} = \frac{25/36}{1 - 5/6} = 4,16 \text{ kend}$$

3). Waktu rata-rata yang digunakan dalam sistem.

$$\bar{d} = \frac{1}{\mu - \lambda} = \frac{1}{1/6 - 5/36} = 36 \text{ detik/kend}$$

4). Waktu menunggu rata-rata di dalam antrian.

$$\bar{W} = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)} = \frac{5/36}{1/6(1/6 - 5/36)} = 30 \text{ detik/kend}$$

b) Dengan FVFO

Kedatangan 1.500 kend / jam, maka $\lambda = 5/12$. Tingkat pelayanan $\mu = 1/6$, sementara $k = 3$.

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu}$$

$$\rho = \frac{5/12}{1/6} = \frac{5}{2}$$

$$P(0) = \frac{1}{\left[\sum_{n=0}^{k-1} \frac{1}{n!} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^n \right] + \frac{1}{k!} \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^k \frac{k\mu}{k\mu - \lambda}}$$

$$P(0) = \frac{1}{\left[\sum_{n=0}^2 \frac{1}{n!} \left(\frac{5}{2} \right)^n \right] + \frac{1}{3!} \left(\frac{5}{2} \right)^3 \frac{1/2}{1/2 - 5/12}} = 4/89$$

1). Jumlah rata-rata kendaraan di dalam sistem.

$$\bar{n} = \frac{\lambda\mu \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^k}{(k-1)! (k\mu - \lambda)^2} P(0) + \frac{\lambda}{\mu}$$

$$\bar{n} = \frac{(5/12) (1/6) \left(\frac{5}{2}\right)^3}{(3-1)! (1/2 - 5/12)^2} (4/89) + \frac{5}{2} = 6,01$$

2). Panjang antrian rata-rata.

$$\bar{q} = \bar{n} - \frac{\lambda}{\mu} = 6,01 - \frac{5}{2} = 3,51$$

3). Waktu rata-rata yang digunakan dalam sistem.

$$\bar{d} = \frac{\bar{q}}{\lambda} + \frac{1}{\mu} = 8,41 + 6 = 14,41$$

4). Waktu menunggu rata-rata di dalam antrian.

$$\bar{w} = \frac{\bar{q}}{\lambda} = 8,41$$

Bila dibandingkan hasil antara FIFO normal dengan FVFO tampak dalam tabel berikut:

Tabel 9.4. Perbandingan kinerja FIFO normal dan FVFO

Parameter		FIFO normal	FVFO
n rerata	Kend dlm sistem (kend)	5	6,01
q rerata	Kend dlm antrian (kend)	4,16	3,51
d rerata	Waktu dlm sistem (dtk/kend)	36	14,41
w rerata	Waktu dlm antrian (dtk/kend)	30	8,41

E. Hasil dari Beberapa Perhitungan yang Pernah Dilakukan

Berdasarkan hasil-hasil perhitungan yang pernah dilakukan, beberapa hal penting mengenai antrian disarikan sebagai berikut:

1. Disiplin FIFO (FIFS) model biasa/normal dan model tandem–dengan banyak pintu pelayanan–dapat diterapkan pada waktu layan antar pintu dengan standar deviasi kecil, karena jika terjadi selisih perbedaan pelayanan yang besar, maka disiplin ini tidak efisien. Ketidakefisienan ini diakibatkan oleh akan adanya pintu yang kosong sementara pintu yang lain masih banyak kendaraan yang antri. Contoh kasus penerapan disiplin ini adalah pada pintu masuk jalan tol.

2. Disiplin FVFO (FVFS) diterapkan pada waktu layan dengan standar deviasi besar.
Contoh kasus: antrian nasabah di depan *teller* bank
4. Jika yang dijadikan ukuran adalah waktu tunggu dalam antrian yang paling singkat, maka prioritas terbaik adalah FVFO, disusul FIFO tandem dan baru kemudian FIFO biasa/normal.
6. Prioritas penanganan suatu kasus antrian secara umum adalah:
 - a. Pemilihan disiplin antrian sesuai dengan karakteristik antrian (standar deviasi waktu pelayanan dan keamanan antrian)
 - b. Perbaikan waktu layan menjadi lebih cepat
 - c. Penambahan pintu pelayanan (alternatif terakhir)

BAB X

MANAJEMEN LALU LINTAS

A. Ruang Lingkup

Manajemen lalu lintas adalah suatu proses pengaturan dan penggunaan sistem jalan yang sudah ada dengan tujuan untuk memenuhi suatu tujuan tertentu tanpa perlu penambahan/pembuatan infrastruktur baru (Fachrurrozy, 2000). Manajemen lalu lintas dapat dikelompokkan menjadi 4 bagian (Malkhamah, 1995) yaitu:

1. Manajemen lalu lintas dengan melakukan perubahan sistem jalan secara fisik, seperti: perubahan pada *lay out* pertemuan jalan, pengaturan kecepatan lalu lintas dengan pengasaran permukaan jalan, pemasangan lampu lalu lintas, dan sebagainya.
2. Manajemen lalu lintas dengan melakukan perubahan sistem jalan secara non fisik, seperti: pengaturan dengan lampu lalu lintas, penerapan sistem jalan satu arah, pengaturan waktu dan tempat untuk parkir, dan sebagainya.
3. Penyediaan informasi bagi pemakai jalan, seperti informasi mengenai arah, marka pembagian badan jalan, pemberian nama jalan, informasi trayek angkutan umum, dan sebagainya.
4. Penetapan tarif untuk pemakai prasarana lalu lintas, misalnya pemberlakuan tarif parkir sesuai waktunya (jam sibuk atau di luar jam sibuk), tarif angkutan umum, *road pricing*, dan sebagainya.

Manajemen lalu lintas (*traffic management*) lebih efektif diaplikasikan pada kondisi lalu lintas belum mengalami kemacetan yang parah. Manajemen lalu lintas menghindari pendekatan ke arah pembuatan jalan/pelebaran jalan karena selain menimbulkan dampak sosial (penggusuran, dan sebagainya), juga terbukti tidak efektif dalam menangani kemacetan di daerah perkotaan.

Strategi yang dapat dilakukan dalam manajemen lalu lintas meliputi:

1. Manajemen Kapasitas
2. Manajemen Prioritas
3. Manajemen *Demand* (*Transport Demand Management*)

B. Manajemen Kapasitas

Langkah pertama dalam manajemen lalu lintas adalah membuat penggunaan kapasitas ruas jalan maupun simpang seefektif mungkin sehingga pergerakan kendaraan lalu lintas menjadi lancar. Beberapa penerapan dari manajemen kapasitas seperti perbaikan persimpangan melalui alat kontrol (*traffic signal*) maupun geometriaknya, manajemen parkir di tepi jalan (*on street parking*), pemisahan tipe kendaraan di ruas jalan, jalan satu arah, dan sebagainya.

C. Manajemen Prioritas

Manajemen prioritas lebih diutamakan bagi kendaraan angkutan umum melalui penerapan jalur khusus bus (*buslane*), jalan khusus bus (*busway*), maupun prioritas bagi kendaraan tak bermotor seperti jalur khusus sepeda, prioritas bagi pejalan kaki, dan sebagainya.

D. Manajemen *Demand* (*Transport Demand Management*)

D.1. Pendahuluan

Manajemen Kebutuhan Transportasi (*Transport Demand Management*) adalah upaya untuk memperkecil jumlah perjalanan kendaraan pribadi (*push*) dan mendorong pengembangan pelayanan angkutan umum (*pull*), sebagai bagian dari kebijakan transportasi berkelanjutan (*sustainable transportation*), untuk mengurangi kemacetan lalu lintas perkotaan (Majalah Teknik Jalan dan Transportasi, Juni 2010).

Menurut Tamin (2008), kemacetan terjadi karena pergerakan dilakukan pada lokasi yang sama dan pada saat yang bersamaan pula. Oleh karena itu penyelesaian persoalan kemacetan dapat dilakukan dengan:

- a. Bergerak pada waktu yang sama tetapi pada lokasi yang berbeda (*Location Shift*)
- b. Bergerak pada lokasi yang sama tetapi pada waktu yang berbeda (*Time Shift*)

- c. Dapat juga bergerak pada lokasi yang sama dan waktu yang sama tetapi dengan moda yang berbeda (*LOV* menjadi *HOV=High Occupancy Vehicle*) (*Mode Shift*)

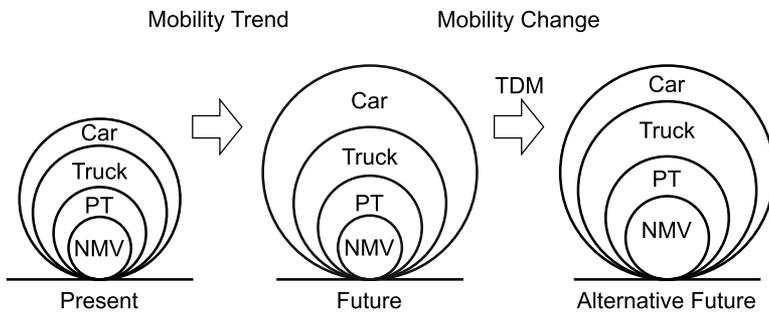
Dengan demikian, pendekatan TDM adalah dari '*predict and provide approach*' menuju ke '*predict and prevent approach*'.

D.2. Strategi Pemecahan Masalah Kemacetan

Menurut Tamin (2008), cara untuk memecahkan persoalan transportasi di perkotaan dilakukan dengan:

- a. Meredam atau memperkecil tingkat kebutuhan akan transportasi (sistem kegiatan)
- b. Peningkatan kapasitas dan efisiensi sistem prasarana transportasi yang ada (sistem jaringan)
- c. Memperlancar sistem pergerakan melalui kebijakan rekayasa dan manajemen lalu lintas (sistem pergerakan)
- d. Peningkatan peranan sistem kelembagaan, peran sektor swasta, peran masyarakat, penegakan hukum, dan lain-lain.

Kelancaran sistem pergerakan misalnya, dapat dilakukan melalui pengurangan pemakaian kendaraan pribadi dan perluasan penggunaan angkutan umum dan angkutan tak bermotor seperti skema berikut:

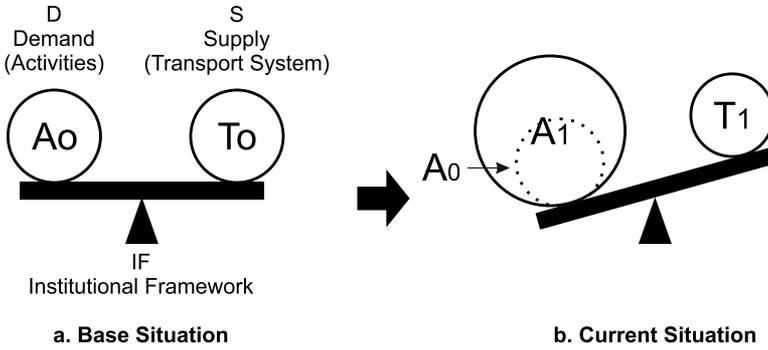


Note: PT – Public Transportation
 NMV – Non-Motorized Modes

Sumber: Ohta (1998)

Gambar 10.1 Konsep Perubahan Mobilitas Melalui TDM

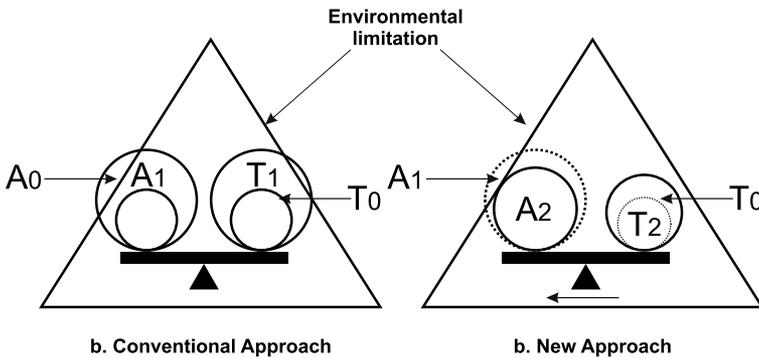
TDM perlu dikembangkan terus mengingat kondisi lalu lintas saat ini, lebih besar volume kendaraannya (aktivitas) dibandingkan dengan ketersediaan prasarana (*transport system*) sebagaimana tampak pada gambar berikut:



Note: A_0 – Activities at the base situation
 A_1 – Activities at the present situation
 T_0 – Transport System at the base situation
 $T_1(=T_0)$ – Transport Sistem at the present situation

Sumber: Ohta (1998)
 Gambar 10.2. Kondisi Transportasi Perkotaan Saat Ini

Oleh karena itu diperlukan paradigma mendasar agar persoalan lalu lintas dapat diatasi dengan baik. Paradigma yang sedang dikembangkan tampak pada skema di bawah ini:

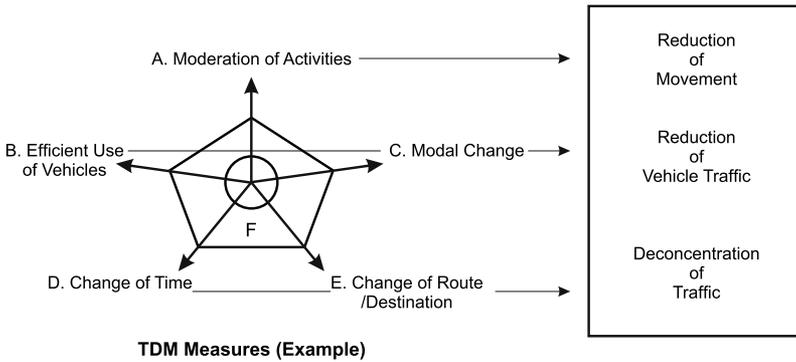


Sumber: Ohta (1998)

Note: A_0 – Activities at the base situation
 T_0 – Transport System at the base situation
 A_1 – Activities at the present situation
 T_1 – Improved transport System with conventional approach
 A_2 – Moderated Activities with new approach
 T_2 – Selectively improved transport system with new approach

Gambar 10.3. Paradigma Kebijakan Transportasi Perkotaan

Empat target utama dalam pengukuran TDM adalah sebagaimana gambar berikut:



Source: Road Bureau, MOC (1996) dalam Ohta (1998)

Gambar 10.4. Target Utama Pengukuran TDM

Moderation of Activities dilakukan melalui perubahan jadwal waktu kerja, *tele working*, *land use policy*, dan lain-lain. *Efficient use of vehicle* dengan cara pengaturan parkir, pengaturan lajur, dan lain-lain. *Modal Change* dapat ditempuh lewat peningkatan angkutan umum, perbaikan prasarana pejalan kaki dan pesepeda. *Change of Time* dengan menerapkan fleksibilitas waktu kerja, pembatasan waktu pergerakan kendaraan berat, *no car day*, dan sebagainya. *Change of Route* dilakukan dengan prioritas zona untuk pejalan kaki, pesepeda dan angkutan umum. Selain itu juga melalui perancangan ulang rute angkutan berat (truk) dan manajemen parkir.

Menurut Tamin (2008), TDM dapat dilakukan pada Sistem Kegiatan, Sistem Jaringan, dan Sistem Pergerakan. Berikut diuraikan satu demi satu.

D.3. TDM pada Sistem Kegiatan

Tujuan TDM pada sistem kegiatan adalah agar bangkitan pergerakan dan dampaknya terhadap kemacetan ditekan tanpa mengurangi fungsi dan maksud pergerakan tersebut. Adapun langkah-langkahnya sebagai berikut:

1. Mengarahkan pembangunan sehingga pergerakan yang dibangkitkan terjadi pada satu lokasi atau lokasi yang saling berdekatan (*towards zero transportations*). Strategi ini merupakan strategi jangka panjang. Beberapa langkah yang bisa diterapkan adalah:
 - a. *Compact city/kota satelit*
 - b. Penyebaran lokasi pusat/sentra primer
 - c. *Intensive development with mixed uses*

2. Mengarahkan kegiatan agar tidak terjadi pada saat yang bersamaan (*time shifting or peak spreading*)
 - a. *Staggered working hour*
 - b. *Compressed work week*
3. Pemanfaatan perkembangan teknologi informasi (*mode shift*)
 - a. *Telecommuting*
 - b. *Internet/e-mail, fax*
4. *Road pricing*

D.4. TDM pada Sistem Jaringan

TDM pada sistem jaringan ditempuh melalui:

1. Penataan hierarki sistem jaringan jalan
2. Peningkatan kapasitas prasarana melalui:
 - a. Pelebaran/perbaikan geometrik persimpangan
 - b. Pembuatan persimpangan tidak sebidang
3. Peningkatan efisiensi sistem jaringan dengan kebijakan perparkiran, dan lain-lain
4. Efektivitas kapasitas jaringan jalan yang sudah sangat terbatas
5. Sistem Angkutan Umum Transportasi Perkotaan Terpadu (SAUTPT) termasuk Sistem Angkutan Umum Massal (SAUM)



Sumber: Sutiyoso, 2007

Gambar 10.5. Perbandingan kepadatan lalu lintas pada kondisi angkutan pribadi dan pada kondisi dengan angkutan umum

D.5. TDM pada Sistem Pergerakan

TDM pada sistem pergerakan dapat dilakukan seperti:

1. Manajemen lalu lintas (sistem satu arah, dan lain-lain)
2. Manajemen kebutuhan pergerakan (*traffic restraint, congestion pricing, dan lain-lain*)
3. Penerapan kebijakan perparkiran
 - a. *On-street* menjadi *off-street*
 - b. Kenaikan tarif parkir
 - c. *Restraint* bagi angkutan pribadi
4. Pemberian prioritas pada HOV atau angkutan umum (*car/van pooling, lajur khusus bus (buslane),* ataupun jalan khusus bus (*busway*).
5. Peningkatan fasilitas pejalan kaki yang bisa berupa trotoar (*footways*), jari-jari tikungan yang pendek—agar pejalan kaki lebih aman menyeberang jalan akses karena pengemudi akan memperlambat kendaraannya—, rute pejalan kaki (*footpaths, zebra crossings, jalan khusus pejalan kaki (pedestrianisation),* dan sebagainya.
6. Sistem informasi lalu lintas *real time*.

D.6. Kesimpulan berkaitan dengan TDM

Beberapa kesimpulan yang berkenaan dengan TDM adalah:

- a. Tidak ada suatu *single solution* pun yang dapat memecahkan masalah transportasi yang ada, harus merupakan kombinasi berbagai upaya/strategi yang saling terintegrasi dan melengkapi.
- b. Sangat pentingnya koordinasi di tingkat perencanaan, pelaksanaan, pendanaan, kerja sama swasta, SDM, dan lain-lain.
- c. Pentingnya kesiapan perangkat hukum/peraturan sebelum TDM diberlakukan.
- d. Sebaiknya TDM yang membutuhkan dana relatif sedikit yang lebih diprioritaskan.
- e. Perlunya dukungan dan kesiapan lembaga terkait, *law enforcement*, serta dukungan komitmen nyata dari para pengambil keputusan.

BAB XI

PERPARKIRAN

A. Umum

Perparkiran dan fasilitas terminal adalah suatu bagian penting dari sistem transportasi. Perencanaan dan perancangan fasilitas ini menuntut suatu pemahaman menyangkut karakteristik sarana angkut, perilaku pengemudi, operasi perparkiran, dan karakteristik pembangkit perparkiran dari setiap tata guna lahan yang dilayani.

Kegagalan menyediakan fasilitas parkir yang pantas untuk menampung permintaan akan menghasilkan penumpukan kendaraan dan kekecewaan. Tanpa pengetahuan mengenai permintaan (*demand*), jawaban terhadap tantangan ini tak dapat ditentukan seperti juga akan kebutuhan fasilitas jalan raya. Untuk mengetahui kebutuhan akan tempat parkir harus dilakukan survei. Informasi yang sangat dibutuhkan bagi keperluan ini meliputi:

- a. klasifikasi kebutuhan serta jumlahnya
- b. klasifikasi kendaraan, mobil penumpang, taksi, dan lain-lain.
- c. kondisi tempat parkir: legal, ilegal, di pinggir jalan, di luar jalan, dan lain-lain
- d. waktu untuk parkir dan waktu keluar daerah parkir
- e. Tujuan pengemudi setelah menaiki kendaraannya
- f. Tujuan lain setelah memanfaatkan tempat parkir

- g. Kebutuhan akan tempat parkir: berbelanja, bekerja, berdagang, bongkar muat, dan lain-lain.

Penelitian di Jerman menunjukkan bahwa rata-rata sebuah kendaraan selama 24 jam, 2,5 jam dipakai untuk bergerak dan sebesar 21,5 jam kendaraan tersebut diparkir. Dari foto di Kota Hamburg didapat data bahwa pada siang hari sebanyak 15.250 kendaraan parkir, sementara hanya 1.730 kendaraan bergerak.

Semakin besar volume lalu lintas di jalan semakin besar pula kebutuhan pelataran parkir yang dibutuhkan. Pada kondisi di lapangan, tiga buah kendaraan yang diparkir sepanjang 1 km secara efektif mengurangi lebar jalan 5,5 m menjadi 4,6 m (hilang 0,4 m).

B. Sasaran Penyelenggaraan Parkir

Sasaran utama dari kebijaksanaan parkir sebagai bagian dari kebijaksanaan transportasi adalah sebagai berikut:

- a. Untuk mengendalikan jumlah kendaraan yang masuk ke suatu kawasan
- b. Meningkatkan pendapatan asli daerah yang dikumpulkan melalui retribusi parkir
- c. Meningkatkan fungsi jalan sehingga sesuai dengan peranannya
- d. Meningkatkan kelancaran dan keselamatan lalu lintas
- e. Mendukung tindakan pembatasan lalu lintas lainnya

C. Penentuan Satuan Ruang Parkir

Penentuan satuan ruang parkir didasarkan sebagai berikut:

1. Dimensi kendaraan standar untuk mobil penumpang
2. Ruang bebas kendaraan

Ruang bebas kendaraan parkir diberikan pada arah lateral dan longitudinal kendaraan. Ruang bebas arah lateral ditetapkan pada saat posisi pintu kendaraan dibuka, yang diukur dari ujung paling luar pintu ke badan kendaraan parkir yang ada di sampingnya.

Ruang bebas ini diberikan agar tidak terjadi benturan antara pintu kendaraan dan kendaraan yang parkir di sampingnya pada saat penumpang turun dari kendaraan. Ruang bebas arah memanjang diberikan di depan kendaraan untuk menghindari benturan dengan dinding atau kendaraan yang lewat jalur gang. Jarak bebas arah lateral diambil sebesar 5 cm dan jarak bebas arah longitudinal sebesar 30 cm.

3. Lebar bukaan pintu kendaraan

Ukuran lebar bukaan pintu merupakan fungsi karakteristik pemakai kendaraan yang memanfaatkan fasilitas parkir.

Sebagai contoh, lebar bukaan pintu kendaraan karyawan-karyawan kantor akan berbeda dengan lebar bukaan pintu kendaraan pengunjung pusat kegiatan perbelanjaan. Dalam hal ini, karakteristik pengguna kendaraan yang memanfaatkan fasilitas parkir dipilih menjadi tiga seperti yang ditunjukkan pada Tabel 11.2. di bawah ini.

Tabel 11.1. Lebar Bukaan Pintu Kendaraan

Jenis Bukaan Pintu	Pengguna dan/atau Peruntukan Fasilitas Parkir	Gol
Pintu depan/belakang terbuka tahap awal 55 cm	<ul style="list-style-type: none"> Karyawan/pekerja kantor Tamu/pengunjung pusat kegiatan perkantoran, perdagangan, pemerintahan, universitas 	I
Pintu depan/belakang terbuka penuh 75 cm	<ul style="list-style-type: none"> Pengunjung tempat olahraga, pusat hiburan/rekreasi, hotel, pusat perdagangan eceran/swalayan, rumah sakit, bioskop. 	II
Pintu depan terbuka penuh dan ditambah untuk pergerakan kursi roda	<ul style="list-style-type: none"> Orang cacat 	III

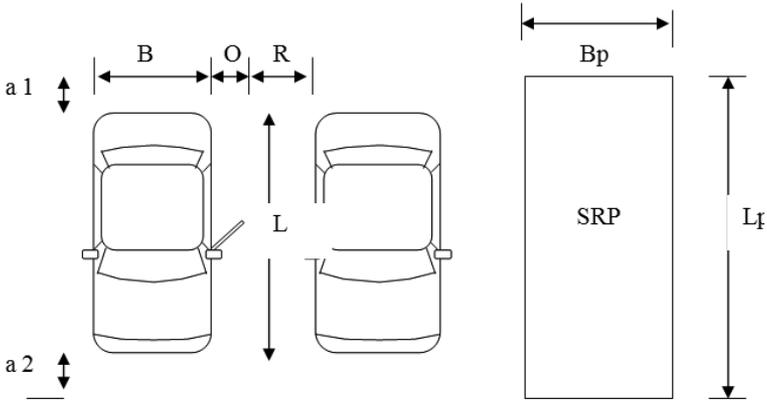
Berdasarkan kebutuhan tersebut maka didapat ketentuan satuan ruang parkir untuk mobil penumpang seperti pada tabel berikut:

Tabel 11.2. Penentuan SRP (Satuan Ruang Parkir)

No	Jenis Kendaraan	SRP (m ²)
1	a. Mobil Penumpang untuk Golongan 1	2,30 x 5,0
	b. Mobil Penumpang untuk Golongan II	2,50 x 5,0
	c. Mobil Penumpang untuk Golongan III	3,00 x 5,0
2	Bus atau Truk	3,40 x 12,5
3	Sepeda Motor	0,75 x 2,0

Sumber: Direktorat Jenderal Perhubungan Darat (1998)

Satuan ruang parkir (SRP) untuk mobil penumpang ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 11.1. Penentuan SRP

Keterangan:

- B = Lebar total kendaraan
- L = Panjang total
- O = Lebar bukaan pintu arah longitudinal
- a 1, a 2 = Jarak bebas
- R = Jarak bebas arah lateral
- Bp = Lebar SRP
- Lp = Panjang SRP

D. Kebutuhan Parkir

Kebutuhan tempat parkir untuk kendaraan baik kendaraan pribadi, angkutan penumpang umum, sepeda motor maupun truk adalah sangat penting. Kebutuhan tersebut sangat berbeda dan bervariasi tergantung dari bentuk dan karakteristik masing-masing kendaraan dengan desain dan lokasi parkir. Jenis-jenis kebutuhan ruang parkir antara lain untuk kebutuhan:

- a. Gedung perkantoran, pusat perdagangan
- b. Pusat pemerintahan
- c. Tempat rekreasi
- d. Pusat perdagangan eceran atau pasar swalayan
- e. Hotel dan tempat penginapan
- f. Rumah sakit
- g. Sekolah atau universitas
- h. Bioskop atau tempat pertunjukan lainnya
- i. Tempat pertandingan olah raga, dan lain-lain.

Sebagai contoh kebutuhan tempat parkir sebagai berikut:

Tabel 11.3. Ukuran kebutuhan ruang parkir

Peruntukan	SRP	Kebutuhan ruang parkir
Pusat perdagangan		
• Pertokoan	SRP/100 m ² luas lantai efektif	3,5 – 7,5
• Pasar swalayan	SRP/100 m ² luas lantai efektif	3,5 – 7,5
• Pasar	SRP/100 m ² luas lantai efektif	3,5 – 7,5
Pusat perkantoran		
• Pelayanan bukan umum	SRP/100 m ² luas lantai	1,5 – 3,5
• Pelayanan umum	SRP/100 m ² luas lantai	1,5 – 3,5
Sekolah	SRP/mahasiswa	0,7 – 1,0
Hotel/tempat penginapan	SRP/kamar	0,2 – 1,0
Rumah sakit	SRP/tempat tidur	0,2 – 1,3
Bioskop	SRP/tempat duduk	0,1 – 0,4

Sumber: Pedoman Perencanaan dan Pengoperasian Fasilitas Parkir, 1998

E. Fasilitas Parkir

Permintaan parkir didistribusikan pada tata guna lahan suatu area. Penetapan pilihan tempat parkir mobil yang dibuat yaitu sebagai bangunan berupa sebuah gedung dan dengan parkir di pinggir jalan. Berdasarkan tata guna tanah seperti tersebut di atas, maka tempat parkir dibedakan menjadi 2, yaitu:

1. Parkir di pinggir jalan (*on street parking*)

Parkir yang banyak dilakukan adalah melakukan parkir di pinggir jalan, tetapi parkir di pinggir jalan ini sangat merugikan pemanfaatan jalan, terutama menyebabkan kemacetan lalu lintas serta memperkecil kapasitas jalan. Melakukan parkir di pinggir jalan dapat mengurangi kecepatan arus lalu lintas lebih dari 20% serta mengurangi lebar jalan untuk setiap baris lebih kurang 4 meter, dan juga dapat menyebabkan kecelakaan lalu lintas.

2. Parkir di daerah lain (*off street parking*)

Kebanyakan pada pusat kota parkir di pinggir jalan sangat dibatasi, sehingga diperlukan penyediaan fasilitas di luar daerah jalan. Ada beberapa klasifikasi parkir di luar daerah jalan ini, di antaranya:

a. Parkir di pelataran parkir

Sebuah pelataran parkir akan mampu menampung 350 – 500 kendaraan per ha. Biaya konstruksi ini minimal sekali tetapi sangat memakan tempat.

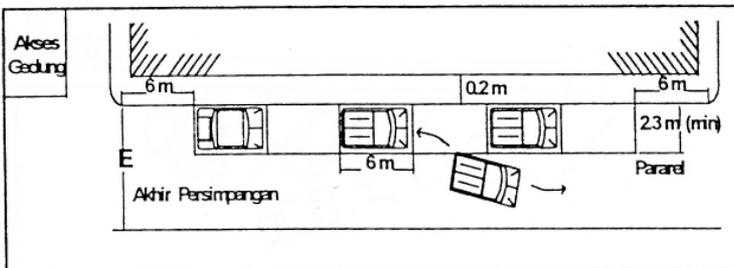


Gambar 11.2. Tatanan tempat parkir di pelataran

- b. Parkir di gedung bertingkat banyak
Apabila harga tanah tinggi maka diperlukan pula untuk membuat tempat parkir yang efisien terhadap pendayagunaan tanah. Tinggi ruang harus dibatasi hingga 2,2 m agar memperoleh panjang jalan tanjakan yang minimum tetapi pada lantai bawah disediakan tinggi 3,75 m untuk mewadahi kendaraan yang lebih tinggi.
- c. Parkir di bawah tanah
- d. Pengembangan tersusun (*composite development*)
- e. Garasi mekanik

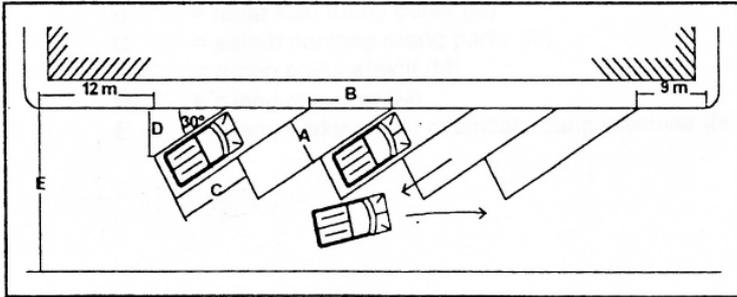
F. Pola Parkir Kendaraan di Badan Jalan (*On Street Parking*)

- a. Pola parkir paralel



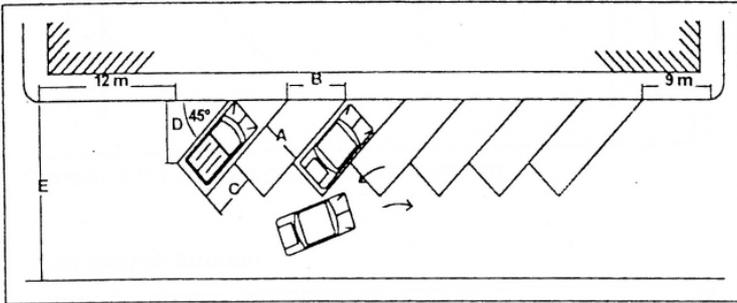
Gambar 11.3. Pola parkir paralel

- b. Pola parkir menyudut
 - a) Membentuk sudut 30°



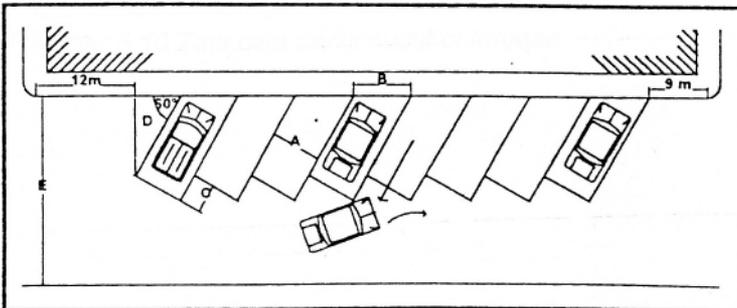
Gambar 11.4. Pola parkir bersudut 30°

- b) Membentuk sudut 45°



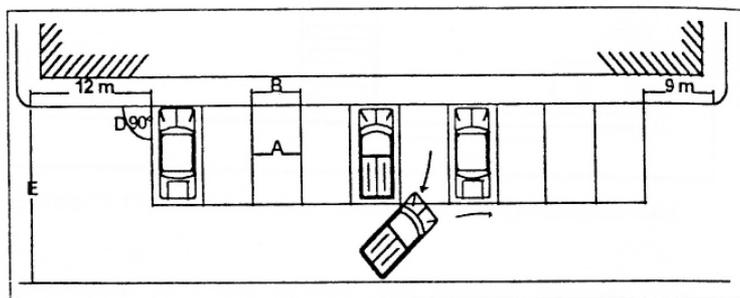
Gambar 11.5. Pola parkir bersudut 45°

- c) Membentuk sudut 60°



Gambar 11.6. Pola parkir bersudut 60°

d) Membentuk sudut 90°



Gambar 11.7. Pola parkir bersudut 90°

Dari pola-pola parkir di atas, ketentuan besarnya A, B, C, D, dan E tertera pada tabel berikut:

Tabel 11.4. Ukuran ruang parkir

	Golongan	A	B	C	D	E
Sudut 30	I	2,3	4,6	3,45	4,70	7,6
	II	2,5	5,0	4,30	4,85	7,75
	III	3,0	6,0	5,35	5,0	7,9
Sudut 45	I	2,3	3,5	2,5	5,6	9,3
	II	2,5	3,7	2,6	5,65	9,35
	III	3,0	4,5	3,2	5,75	9,45
Sudut 60	I	2,3	2,9	1,45	5,95	10,55
	II	2,5	3,0	1,5	5,95	10,55
	III	3,0	3,7	1,85	6,0	10,6
Sudut 90	I	2,3	2,3	-	5,4	11,2
	II	2,5	2,5	-	5,4	11,2
	III	3,0	3,0	-	5,4	11,2

G. Pola Parkir Kendaraan di Luar Badan Jalan (*Off Street Parking*)

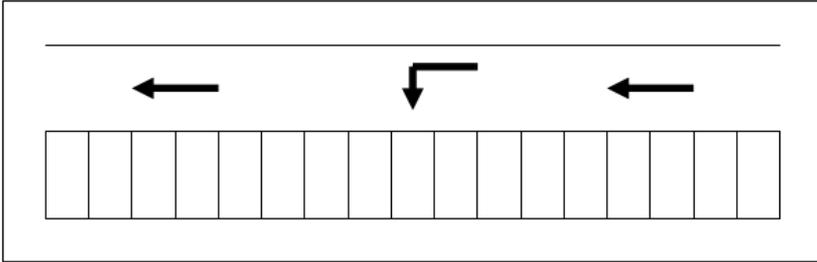
a. Parkir kendaraan satu sisi

Pola parkir ini diterapkan apabila ketersediaan ruang sempit di suatu tempat kegiatan (Direktorat Jenderal Perhubungan Darat, 1998).

a) Membentuk sudut 90°

Pola parkir ini mempunyai daya tampung lebih banyak jika dibandingkan dengan pola parkir paralel, tetapi kemudahan dan

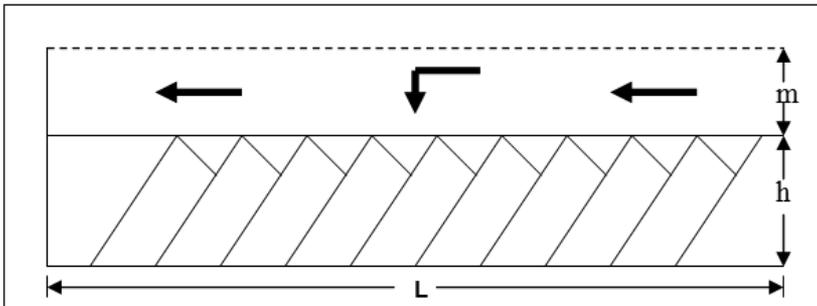
kenyamanan pengemudi melakukan manuver masuk dan keluar ke ruangan parkir lebih sedikit jika dibandingkan dengan pola parkir dengan sudut yang lebih kecil dari 90° .



Gambar 11.8. Pola parkir tegak lurus

b) Membentuk sudut 30° , 45° , 60°

Pola parkir ini mempunyai daya tampung lebih banyak jika dibandingkan dengan pola parkir paralel, dan kemudahan dan kenyamanan pengemudi melakukan manuver masuk dan keluar ke ruangan parkir lebih besar jika dibandingkan dengan pola parkir dengan sudut 90° .



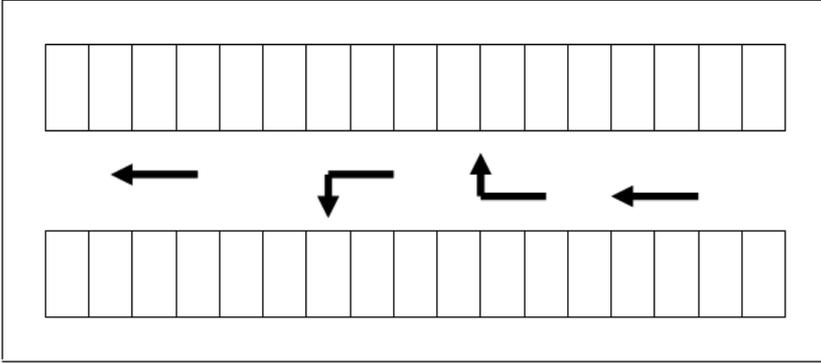
Gambar 11.9. Pola parkir sudut

b. Parkir kendaraan dua sisi

Pola parkir ini diterapkan apabila ketersediaan ruang cukup memadai.

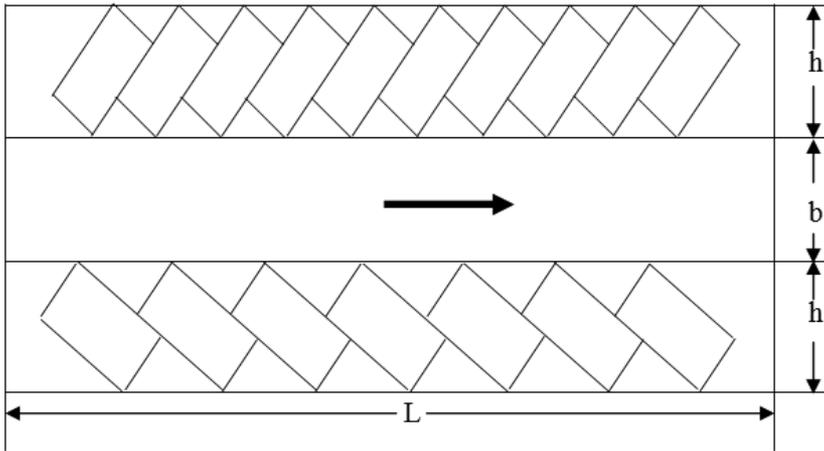
a) membentuk sudut 90°

Pada pola parkir ini, arah gerakan lalu lintas kendaraan dapat satu arah atau dua arah.



Gambar 11.10. Parkir tegak lurus yang berhadapan

b) membentuk sudut 30°, 45°, 60°

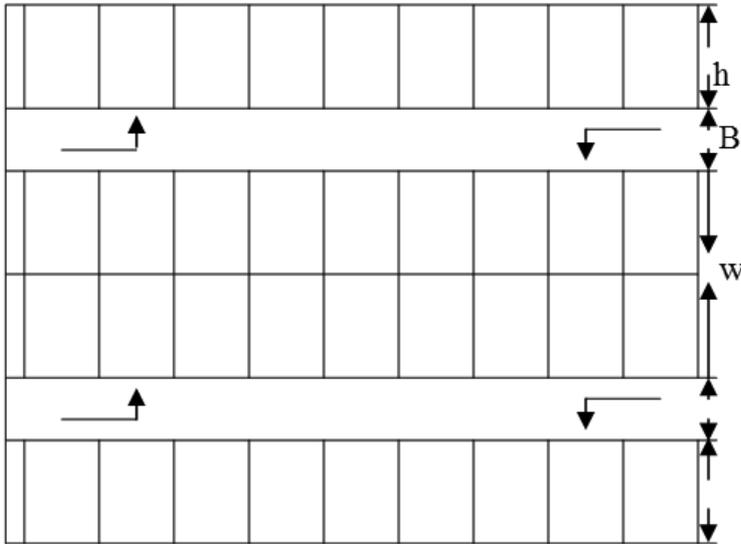


Gambar 11.11. Parkir sudut yang berhadapan

H. Pola Parkir Pulau

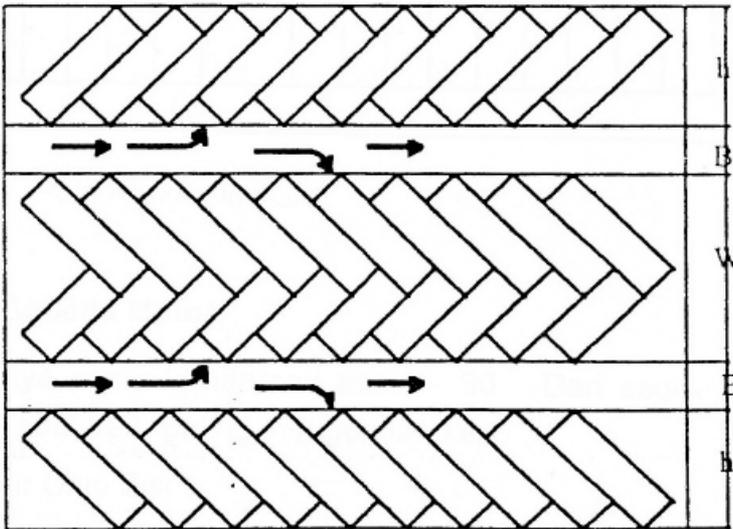
Pola parkir ini diterapkan apabila ketersediaan ruang cukup luas.

- a) membentuk sudut 90°



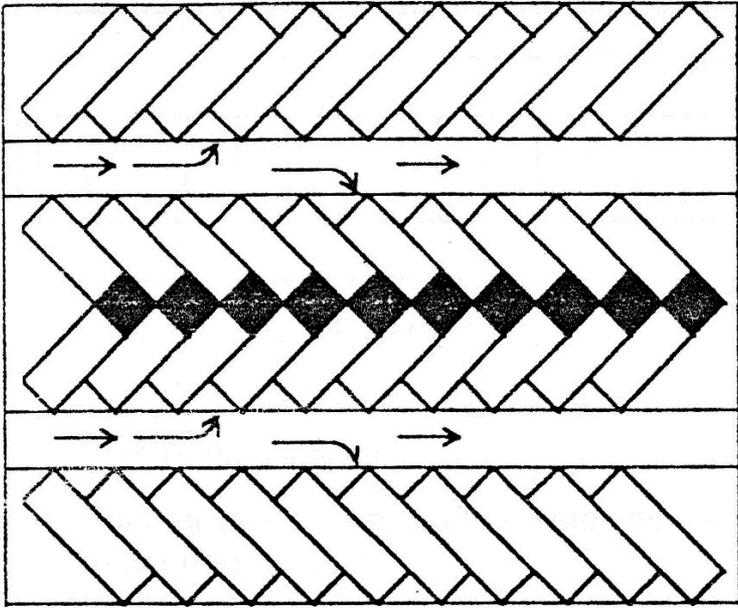
Gambar 11.12. Taman parkir tegak lurus dengan 2 gang

- b) membentuk sudut 45°
- (1) bentuk tulang ikan tipe A



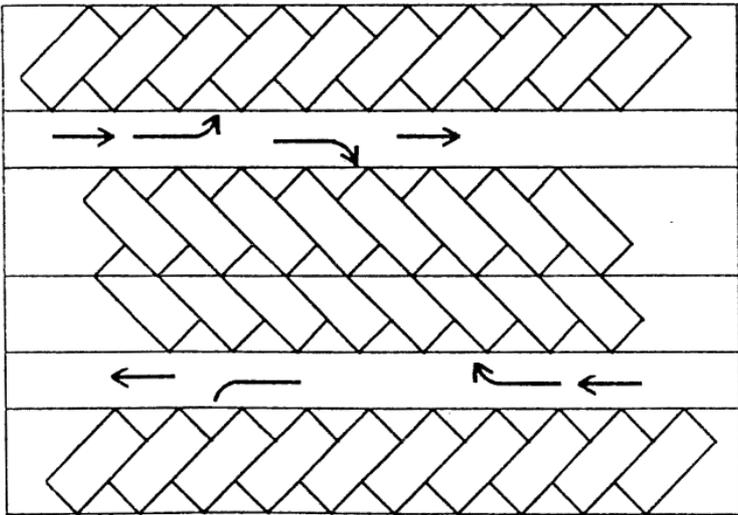
Gambar 11.13. Taman parkir sudut dengan 2 gang tipe A

(2) bentuk tulang ikan tipe B



Gambar 11.14. Taman parkir sudut dengan 2 gang tipe B

(3) bentuk tulang ikan tipe C

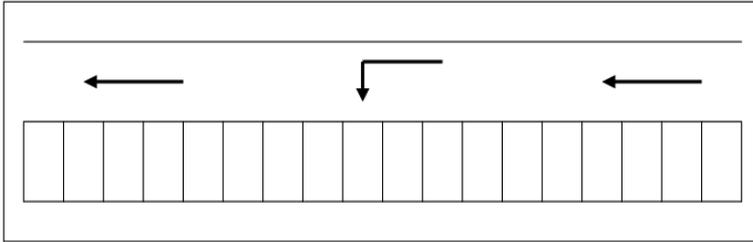


Gambar 11.15. Taman parkir sudut dengan 2 gang tipe C

c) Pola parkir bus atau truk

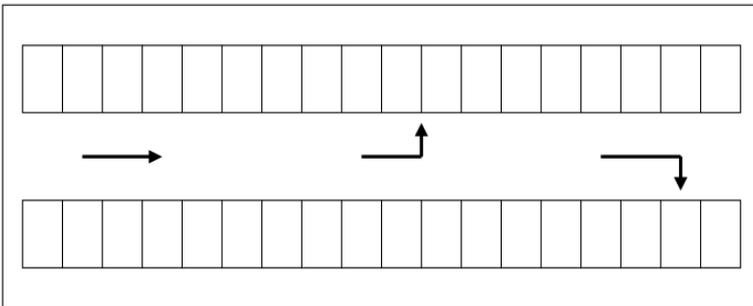
Posisi kendaraan dapat dibuat menyudut 60° ataupun 90° , tergantung dari luas areal parkir. Dari segi efektivitas ruang posisi sudut 90° lebih menguntungkan.

a. Pola parkir satu sisi



Gambar 11.16. Pola parkir satu sisi

b. Pola parkir dua sisi



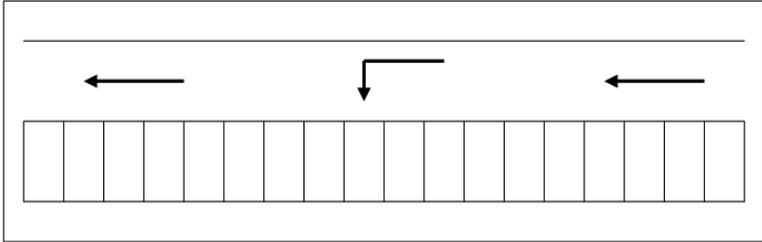
Gambar 11.17. Pola parkir dua sisi

I. Pola Parkir Sepeda Motor

Pada umumnya posisi kendaraan adalah 90° dari segi efektivitas ruang, posisi sudut 90° paling menguntungkan.

- a. Pola parkir satu sisi

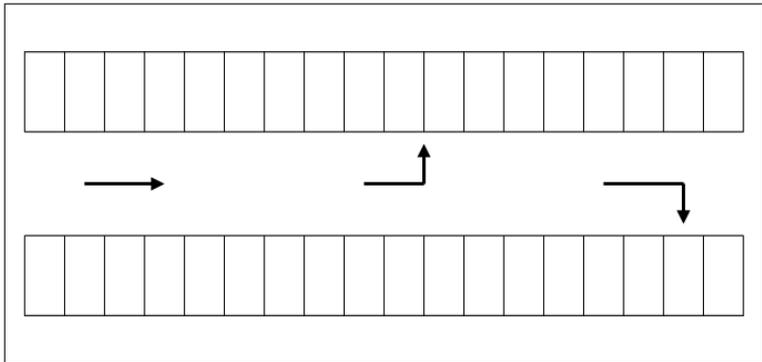
Pola ini diterapkan apabila ketersediaan ruang sempit.



Gambar 11.18. Pola parkir satu sisi

- b. Pola parkir dua sisi

Pola ini diterapkan apabila ketersediaan ruang cukup memadai.



Gambar 11.19. Pola parkir dua sisi

Keterangan: h = Jarak terjauh antara tepi luar satuan ruang parkir
 w = Lebar terjauh satuan ruang parkir pulau
 b = Lebar jalur gang

Dari hasil penelitian yang dilakukan oleh Setiawan (2008) diungkapkan bahwa kemudahan manuver lebih dipengaruhi oleh penambahan lebar *stall* (lebar SRP) untuk parkir dengan sudut 45° dan dipengaruhi oleh lebar *aisle* (gang) untuk parkir dengan sudut 90°.

J. Perhitungan Karakteristik Parkir

Perhitungan karakteristik parkir dilakukan dengan menghitung jumlah kendaraan yang masuk dan keluar dalam interval waktu tertentu.

- a. **Volume Parkir** adalah jumlah total kendaraan yang masuk ke areal parkir ditambah dengan jumlah kendaraan yang telah ada sebelumnya selama periode waktu tertentu.
- b. **Akumulasi Parkir** kendaraan yang berada di area parkir pada saat tertentu dihitung dengan cara menambah jumlah kendaraan yang sudah ada, dikurangi jumlah kendaraan keluar dalam interval tertentu.

$$\text{Akumulasi} = E_i - E_x + X \dots\dots\dots(11.1)$$

Keterangan: E_i = Entry (kendaraan masuk lokasi)
 E_x = Exit (kendaraan keluar lokasi)
 X = kendaraan yang sudah parkir

- c. **Parking Turn Over** (pergantian parkir) menunjukkan tingkat penggunaan ruang parkir dan diperoleh dengan membagi volume parkir dengan ruang parkir yang tersedia untuk periode waktu tertentu (Hobbs, 1995).
- d. **Durasi parkir** adalah rentang waktu (lama waktu) kendaraan yang parkir.

$$\text{Durasi} = E_x \text{ time} - E_n \text{ time} \dots\dots\dots(11.2)$$

Keterangan: $E_x \text{ time}$ = saat kendaraan keluar
 $E_n \text{ time}$ = saat kendaraan masuk

- e. **Indeks Parkir** adalah persentase jumlah kendaraan yang menempati ruang parkir yang tersedia yaitu nilai perbandingan akumulasi parkir terhadap ruang parkir yang tersedia dalam interval waktu tertentu.

$$\text{Indeks Parkir} = \frac{\text{Jumlah yang terisi}}{\text{Jumlah teoretis yang tersedia}} \times 100\% \dots\dots\dots(11.3)$$

Contoh Perhitungan

Dari suatu survei parkir dengan ruang parkir yang tersedia sejumlah 40 SRP, diperoleh data sebagai berikut:

Tabel 11.5. Hasil Survei Perparkiran

Periode Waktu	Jumlah Kendaraan		Akumulasi
	Datang	Pergi	
11.00 – 11.30	11	4	7
11.31 – 12.00	11	12	6
12.01 – 12.30	8	3	11
13.31 – 13.00	22	11	22
13.01 – 13.30	18	26	14
13.31 – 14.00	16	18	12
14.01 – 14.30	1	13	0
Jumlah (volume parkir)	87	87	

Sumber: Suherminanta (1999)

Pada jam 11.00 WIB ruang parkir dianggap kosong, maka dapat dihitung parkir indeks.

Indeks parkir (*Parking Index*):

$$(PI) = \frac{\text{Akumulasi}}{R. \text{ Parkir yang tersedia}} \times 100\%$$

11.6. Perhitungan Indeks Parkir

Jam	Akumulasi	PI (%)
11.00 – 11.30	7	17,5
11.31 – 12.00	6	15
12.01 – 12.30	11	27,5
13.31 – 13.00	22	55
13.01 – 13.30	14	35
13.31 – 14.00	12	30
14.01 – 14.30	0	0

$$"Turn Over" = \frac{\text{Jumlah kendaraan yang diparkir}}{\text{Ruang parkir yang tersedia}}$$

$$"Turn Over" = \frac{87}{40}$$

"Turn Over" = **2.175 per ruang parkir**

Dari survei juga dapat diperinci lagi variabel lainnya misalnya durasi parkir. Durasi parkir adalah selisih waktu semenjak suatu kendaraan datang (masuk) hingga kendaraan itu pergi (keluar). Semisal diperoleh durasi sebagaimana berikut:

- Parkir dengan durasi 30 menit sebanyak 30 kendaraan.
- Parkir dengan durasi 60 menit sebanyak 41 kendaraan.
- Parkir dengan durasi 90 menit sebanyak 13 kendaraan.
- Parkir dengan durasi 120 menit sebanyak 3 kendaraan.

Dengan demikian dapat diketahui bahwa Mode Durasi = 60 menit.

$$\begin{aligned} \text{Total vehicle hours} &= \{(0.5 \times 30) + (1 \times 43) + (1.5 \times 13) + (2 \times 3)\} \\ &= 84 \text{ kendaraan/jam} \end{aligned}$$

$$\text{Durasi rata-rata} = \frac{\text{Total vehicle hours}}{\text{Total vehicle}}$$

$$\text{Durasi rata-rata} = \frac{84}{87}$$

$$\text{Durasi rata-rata} = 0.966 \text{ jam} = 57,96 \text{ menit}$$

$$\text{Space hours occupancy} = \frac{\text{Total Vehicle hours}}{\text{Space} \times \text{hours}}$$

$$\text{Space hours occupancy} = \frac{84}{40 \times 3,5}$$

$$\text{Space hours occupance} = 60 \%$$

K. Pengendalian Parkir

Menurut Hobbs (1995), pengendalian utama yang sejauh ini telah dibahas adalah mengenai ruang atau tempatnya. Akan tetapi harga atau biaya adalah penting juga mengingat pengendalian tersebut dapat digunakan secara bersama agar penawaran ruang parkir yang tersedia dapat disesuaikan dengan permintaan ruang, waktu, dan biaya. Parkir tidak diizinkan pada tempat-tempat di mana merupakan daerah berbahaya. Pengendalian dengan waktu dan biaya berkaitan dengan usaha untuk menyeimbangkan penawaran dan permintaan, dan pembayaran kembali atas investasi keuangan untuk pembangunan prasarana dan perawatan.

Kombinasi-kombinasi pengendalian yang utama adalah:

- a. Kebijakan tarif parkir.
- b. Diterapkan untuk tujuan memaksimalkan retribusi parkir.
- c. Pembatasan lokasi dan ruang.
- d. Dimaksudkan untuk mengendalikan arus lalu lintas kendaraan pribadi ke suatu daerah tertentu atau untuk membebaskan suatu daerah tau koridor tertentu dari kendaraan yang parkir di pinggir jalan.
- e. Pembatasan waktu parkir pada suatu koridor untuk kelancaran arus lalu lintas.
- f. Pembatasan waktu lamanya parkir biasanya diwujudkan dengan penetapan tarif progresif menurut lamanya waktu parkir.
- g. Pembatasan-pembatasan pengeluaran izin dan jenis kendaraan.
- h. Pembatasan waktu terhadap akses.

Metode-metode pengendalian parkir yang utama dan umum dilakukan adalah dengan:

- a. Alat pengukur parkir (*parking meter*)
- b. Sistem kartu dan *disk*
- c. Sistem karcis
- d. Sistem izin parkir perumahan

L. Manfaat Manajemen Parkir yang Baik

Kebijakan parkir dapat mengurangi *space* di pusat kota melalui pengenaan tarif parkir yang cukup tinggi. Hal ini dapat terjadi karena para pemilik kendaraan akan enggan menggunakan kendaraannya menuju pusat kota (mengingat tarif yang tinggi), sehingga *parking policy* dapat mengurangi konsumsi energi serta kemacetan lalu lintas. Di beberapa kota, kebijakan parkir telah mampu meningkatkan pemakaian angkutan umum diikuti pengurangan angka kemacetan.

BAB XII

KESELAMATAN LALU LINTAS

A. Pendahuluan

Keselamatan lalu lintas menjadi tema sentral yang makin penting di tengah masih banyaknya kejadian kecelakaan lalu lintas di Indonesia. Sebagian besar kecelakaan terjadi di daerah perkotaan karena volume lalu lintas yang tinggi, disiplin pengemudi yang kurang, kondisi emosi pengemudi yang sedang tergesa-gesa untuk mencapai tujuan, dan sebab-sebab lainnya. Kecelakaan mengakibatkan kerugian tidak saja bagi korban, namun juga bagi keluarga korban, lebih-lebih jika korban adalah satu-satunya penanggung ekonomi keluarga.

B. Pengertian Kecelakaan

Menurut Peraturan Pemerintah No. 43 tahun 1993 tentang prasarana dan lalu lintas jalan mengartikan kecelakaan lalu lintas adalah suatu peristiwa di jalan yang tidak disangka-sangka dan tidak sengaja melibatkan kendaraan dengan atau tanpa pemakai jalan lainnya, mengakibatkan korban manusia atau kerugian harta benda.

Hal lain yang perlu diketahui sehubungan dengan kecelakaan adalah kuantitas dan kualitas kecelakaan. Kuantitas kecelakaan adalah tinjauan terhadap kecelakaan yang hanya memperhatikan angka kejadian kecelakaan semata. Sedangkan

yang dimaksud kualitas kecelakaan adalah tinjauan kejadian kecelakaan yang tidak semata melihat angka kejadian kecelakaan saja, namun meninjau produk kejadian kecelakaan tersebut yaitu tingkat keparahan korban maupun kendaraan kecelakaan karena setiap jenis jalan akan mempunyai tingkat keparahan yang berbeda.

C. Korban Kecelakaan

Korban kecelakaan dapat dibedakan menjadi 3—menurut PP No. 43 tahun 1993—, yaitu:

1. Korban mati

Korban mati adalah korban yang dipastikan mati sebagai akibat kecelakaan lalu lintas dalam jangka waktu paling lama 30 (tiga puluh) hari setelah kecelakaan tersebut.

2. Korban luka berat

Korban luka berat adalah korban yang karena luka-lukanya menderita cacat tetap atau harus dirawat dalam jangka waktu lebih dari 30 (tiga puluh) hari sejak terjadinya kecelakaan.

3. Korban luka ringan

Korban luka ringan adalah korban yang tidak termasuk dalam pengertian di atas.

D. Penyebab Kecelakaan

Lalu lintas ditimbulkan oleh adanya pergerakan dari alat-alat angkut, karena ada kebutuhan perpindahan manusia dan/atau barang. Unsur-unsur sistem transportasi adalah semua yang dapat berpengaruh terhadap lalu lintas. Di antara faktor-faktor pokok penyebab kecelakaan menurut Wells (1993) yaitu: kerusakan kendaraan, rancangan kendaraan, cacat pengemudi, permukaan jalan dan rancangan jalan. Faktor-faktor penyebab kecelakaan dikelompokkan menjadi 3 (Hobbs, 1995) meliputi: pemakai jalan, kendaraan dan lingkungan jalan raya.

1. Faktor manusia (pemakai jalan)

Pada umumnya semua faktor yang penyebab kecelakaan lalu lintas tidak berdiri sendiri, tetapi merupakan kombinasi dari berbagai penyebab. Karakteristik pemakai jalan antara lain usia, jenis kelamin, dan tingkat sosial (Oglesby dan Hick, 1988). Kesalahan yang sering dilakukan oleh pemakai jalan sehingga terjadi kecelakaan lalu lintas adalah kecepatan yang berlebihan, lengah, salah anggapan, sikap panik dari orang-orang yang tidak berpengalaman (Hobbs, 1995).

2. Faktor kendaraan

Jumlah kendaraan yang ada pada saat ini mengalami peningkatan, terbukti dengan banyaknya kendaraan yang berlalu lalang di ruas-ruas jalan khususnya daerah perkotaan. Kenaikan jumlah kendaraan yang melalui ruas jalan akan menambah angka LHR (Lalu Lintas Harian Rata-Rata). Dengan demikian lalu lintas menjadi padat karena kenaikan jumlah kendaraan tersebut tidak sebanding dengan penambahan ruas jalan.

Kendaraan dapat menjadi faktor penyebab terjadinya kecelakaan lalu lintas bila tidak dikemudikan sebagaimana mestinya, sehingga akibat dari kondisi tekniknya yang tidak layak jalan, atau penggunaan kendaraan yang tidak sesuai aturan.

3. Faktor jalan dan lingkungan

Faktor jalan dapat menjadi faktor penyebab kecelakaan bila jalan tersebut tidak sesuai dengan aturan yang ada atau sudah mengalami kerusakan yang ditimbulkan oleh pembuatan yang tidak sesuai aturan atau memang sudah tua. Kerusakan pada permukaan jalan, konstruksi jalan rusak atau tidak sempurna, geometri jalan kurang sempurna merupakan sebagian dari masalah jalan yang mengakibatkan terjadinya kecelakaan.

Lingkungan merupakan salah satu yang dapat menyebabkan kecelakaan lalu lintas, tetapi bisa berhubungan dengan faktor penyebab kecelakaan lain terutama faktor manusia. Sebagian dari pengaruh lingkungan adalah cuaca, asap kendaraan ataupun dari industri dan pandangan sekitar.

E. Klasifikasi Kecelakaan

Pignataro (1973) mengklasifikasikan kecelakaan berdasarkan cara terjadinya yaitu:

1. Hilang kendali atau selip.
2. Tanpa tabrakan atau kecelakaan sendiri di jalan:
 - a) berjungkir balik di jalan,
 - b) kecelakaan lain.
3. Tabrakan di jalan dengan:
 - a) pejalan kaki,
 - b) kendaraan motor lain yang sedang berjalan,
 - c) kendaraan yang diparkir,
 - d) kereta api,
 - e) pengendara sepeda,
 - f) binatang,

- g) objek tetap dan
- h) objek lain.

Sedangkan menurut jenis tabrakan, kecelakaan digolongkan:

1. tabrakan lurus,
2. tabrakan belakang,
3. tabrakan samping,
4. tabrakan depan,
5. tabrakan mundur dan
6. tabrakan lain.

F. Perhitungan Angka Kecelakaan

Analisis data kecelakaan merupakan salah satu cara pendekatan terhadap kecelakaan. Dengan analisis, dapat dilihat kecenderungan kecelakaan yang terjadi dan dapat diidentifikasi keberhasilan terhadap suatu perubahan dengan segera pendekatan tersebut dapat dipahami bahwa perbaikan pada kenyataannya memang disebabkan oleh suatu usaha bukan hanya fluktuasi belaka.

Metode-metode yang dapat digunakan dalam perhitungan angka kecelakaan adalah (Pignataro, 1973):

1. Accident rate per-mile

Accident rate per-mile adalah angka kecelakaan per mil dari suatu ruas jalan tertentu. Kecelakaan berbahaya diekspresikan sebagai jumlah kecelakaan dari semua tipe per-mil dari setiap jalan. Untuk kasus di Indonesia diilustrasikan per-km dari ruas jalan yang ditinjau, dirumuskan:

$$R = A / L \dots\dots\dots(12.1)$$

dengan:

- R = Angka kecelakaan/km/tahun
- A = Jumlah kecelakaan selama periode pengamatan (kecelakaan/tahun)
- L = Panjang jalan yang ditinjau (km)

2. Accident rate based on vehicle-mile

Accident rate based on vehicle-mile adalah bahaya lalu lintas diekspresikan sebagai jumlah kecelakaan per 100 juta kendaraan-mil perjalanan. Angka kendaraan-mil diekspresikan dalam bagian kematian, luka-luka atau kecelakaan total per 100 juta kendaraan per mil. Untuk kasus di Indonesia diilustrasikan per-km dari ruas jalan yang ditinjau, dirumuskan:

$$R = (C \times 100.000.000) / V \dots\dots\dots(12.2)$$

dengan:

R = Angka kecelakaan per-100 juta kendaraan-km-tahun

C = Jumlah kecelakaan selama waktu pengamatan (kematian atau luka-luka/kecelakaan total per tahun)

V = Volume kendaraan selama waktu pengamatan (kendaraan-km)

3. Angka korban kecelakaan

Angka korban kecelakaan adalah angka kecelakaan, menggambarkan kecelakaan parah yang menyebabkan timbulnya korban dari kecelakaan yang terjadi.

4. Severity index

Severity index adalah indeks kefatalan atau keparahan kecelakaan, menggambarkan tingkat kekerasan relatif yang didefinisikan sebagai jumlah kefatalan tiap kecelakaan. Indeks keparahan dapat dinyatakan dalam persen, dirumuskan:

$$S I = (F / A) \times 100\% \dots\dots\dots(12.3)$$

dengan:

S I = Indeks kefatalan (%)

F = Jumlah kecelakaan fatal (kecelakaan fatal per tahun)

A = Jumlah total kecelakaan pada ruas jalan (total kecelakaan per tahun)

Hal ini perlu dipahami bahwa, indeks kefatalan hanya menggambarkan perbandingan kecelakaan fatal terhadap total kecelakaan yang terjadi. Ruas jalan yang mempunyai kecelakaan fatal banyak dapat mempunyai indeks kefatalan yang rendah hanya karena jumlah kecelakaan yang terjadi tinggi.

5. Angka kecelakaan

Angka kecelakaan berdasarkan tingkat kecelakaan, pada metode perhitungan bobot atas tingkat kecelakaan (*accident severity*) dengan menerapkan angka *Equivalent Property Damage Only Accident* (EPDO). EPDO adalah nilai ekuivalen dari tiap-tiap kejadian kecelakaan terhadap nilai titik yang mengakibatkan kerusakan saja (*Damage Only*). Kecelakaan fatal ekuivalen dengan 12 kali nilai setiap kecelakaan yang hanya mengakibatkan kerusakan saja (DO), luka berat ekuivalen dengan 6 kali DO dan kecelakaan ringan ekuivalen dengan 3 kali DO.

G. Laju Kecelakaan

Statistik kecelakaan yang berguna adalah laju kecelakaan yang berakibat luka-luka, (PI = *Personal Injuring*), yang memungkinkan dibandingkan dengan frekuensi kecelakaan di satu tempat dengan tempat lain (Wells, 1993). Dapat dirumuskan:

$$\text{Laju PI} = (3000 \times N) / (V \times L) \dots\dots\dots(12.4)$$

$$\text{Laju PI} = (1.000.000 \times N) / (365 \times V \times L) \dots\dots\dots(12.5)$$

dengan:

N = Jumlah kecelakaan pada suatu ruas jalan per tahun

V = Arus lalu lintas dua arah (kendaraan per hari)

L = Panjang ruas jalan (km)

Menurut Hobbs (1995) laju kecelakaan dihitung berkaitan dengan populasi, jumlah kendaraan terdaftar jumlah perjalanan kendaraan dapat dirumuskan:

$$Y = 0,15 + (0,01 X) \dots\dots\dots(12.6)$$

dengan:

Y = Kecelakaan per km per tahun

X = Arus kendaraan rata-rata per jam

H. Daerah Rawan Kecelakaan

Daerah rawan merupakan hal yang penting dalam masalah kecelakaan lalu lintas sebagai identifikasi lokasi yang memerlukan perhatian lebih. Daerah yang memerlukan perhatian lebih jika mempunyai angka kecelakaan tinggi, risiko kecelakaan tinggi dan potensi kecelakaan tinggi pada suatu ruas jalan.

Daerah rawan kecelakaan ini dapat diidentifikasi lokasi jalan tertentu (*blackspot*) maupun pada ruas jalan tertentu (*blacksite*). Ada beberapa kriteria yang dapat digunakan untuk menentukan *blackspot* dan *blacksite*.

1. Blackspot, ketentuan yang dipakai adalah:

- a) Jumlah kendaraan selama periode tertentu melebihi suatu nilai tertentu.
- b) Tingkat kecelakaan/*accident rate* (per kendaraan) untuk suatu periode tertentu melebihi suatu nilai tertentu.
- c) Jumlah kecelakaan dan tingkat kecelakaan melebihi suatu nilai tertentu.
- d) Tingkat kecelakaan melebihi nilai kritis.

2. **Blacksite**, ketentuan yang dipakai adalah:

- a) Jumlah kecelakaan melebihi suatu nilai tertentu.
- b) Jumlah kecelakaan per km melebihi suatu nilai tertentu.
- c) Tingkat kecelakaan atau jumlah kecelakaan per kendaraan melebihi suatu nilai tertentu.

Tingkat kecelakaan secara sistematis dapat diperhitungkan dengan cara berikut:

$$TK = JK / (T \times L) \dots\dots\dots(12.7)$$

dengan:

- TK = Tingkat kecelakaan (kecelakaan per tahun/km)
- JK = Jumlah kecelakaan selama i tahun (jumlah/tahun)
- T = Waktu pengamatan (tahun)
- L = Panjang ruas jalan yang ditinjau (km)

I. Penanganan

Hal-hal yang perlu dipahami dalam konsep keselamatan jalan yaitu istilah mencegah kecelakaan dan mengurangi kecelakaan. Mencegah kecelakaan melibatkan perbaikan pada tahap perencanaan dan desain jalan-jalan baru. Sedangkan mengurangi kacelakaan melibatkan penanganan yang ekonomis terhadap lokasi rawan kecelakaan yang keduanya berorientasi untuk meminimal korban kecelakaan dan korban lain.

Menurut Suhartono dalam Listiyanto (2003), data kecelakaan diperlukan untuk menganalisis tingkat kecelakaan dan merencanakan pencegahan kecelakaan lalu lintas dengan metode 3 E, yaitu:

1. **Engineering (secara teknik)**, misalnya:
 - a) pembangunan dan perbaikan jalan,
 - b) pemasangan rambu-rambu lalu lintas, dan
 - c) penetapan kecepatan maksimum.
2. **Education (bersifat pendidikan)**, misalnya:
 - a) penyuluhan kepada masyarakat,
 - b) himbauan pemakaian sabuk pengaman, dan
 - c) kampanye keselamatan lalu lintas.
3. **Enforcement (penegakan peraturan)**, misalnya:
 - a) penindakan pelanggaran lalu lintas,
 - b) penimbangan kendaraan,
 - c) pemeriksaan periodik kendaraan, dan
 - d) pengawasan dan patroli jalan.

Macam-macam penanganan kecelakaan lalu lintas berdasarkan daerah rawan kecelakaan, yaitu:

1. **Penanganan titik rawan**, misalnya:
 - a) perbaikan perkerasan jalan,
 - b) perbaikan elinemen jalan,
 - c) pemasangan rambu peringatan sering terjadi kecelakaan,
 - d) perbesaran jari-jari tikungan,
 - e) pemasangan lampu penerangan, dan
 - f) pemasangan lampu lalu lintas pada simpang.
2. **Penanganan ruas jalan**, misalnya:
 - a) penurunan batas maksimal kecepatan pada ruas,
 - b) pemasangan kendaraan bekas tabrakan di samping jalan sebagai bentuk akibat kecelakaan lalu lintas,
 - c) pengurangan hambatan samping,
 - d) pembuatan median,
 - e) pembuatan tempat parkir,
 - f) pemasangan rambu peringatan sering terjadi kecelakaan, dan
 - g) penambahan pos penjagaan polisi.
3. **Penanganan area (massal)**, misalnya:
 - a) penyuluhan kepada masyarakat tentang bahaya kecelakaan melalui media cetak maupun elektronik supaya berdisiplin di jalan,
 - b) pengadaan operasi atau patroli lalu lintas,
 - c) pendataan kecelakaan yang mempunyai format yang sama,
 - d) penindakan terhadap pelanggaran lalu lintas terutama pelanggaran kecepatan dan SIM, dan
 - e) pengetatan terhadap pembuatan SIM.

BAB XIII

TRANSPORTASI DAN LINGKUNGAN

A. Pendahuluan

Keterkaitan antara transportasi dengan lingkungan meliputi spektrum yang sangat lebar. Dampak yang timbul bisa akibat dari prasarana transportasi yang secara fisik mempengaruhi lingkungan sekitarnya atau akibat pengoperasian fasilitas tersebut. Faktor-faktor yang terkait dengan pengoperasian moda-moda transportasi bersifat sangat dinamis karena tingkat gangguannya tergantung dari volume penggunaan, jenis moda, dan teknologi yang digunakan. Dampak lingkungan yang dirasakan akibat pengoperasian transportasi ini umumnya menjadi isu yang berkepanjangan karena terus berkembang seiring dengan perkembangan aktivitas manusia.

Bagi transportasi perkotaan, polusi udara akibat transportasi jalan merupakan dampak yang boleh dikatakan paling problematis, terutama di negara-negara berkembang di mana perkembangan prasarana sangat tertinggal dibanding perkembangan kebutuhan yang mengakibatkan kemacetan yang sangat ekstensif. Faktor lalu lintas dan faktor badan jalan masing-masing memberikan dampak tertentu pada lingkungan sekitarnya, sebagaimana tabel berikut.

Tabel 13.1. Dampak buruk transportasi pada berbagai macam jenis objek

Jenis	Dampak
Akibat lalu lintas	<ul style="list-style-type: none">• polusi udara• kebisingan• vibrasi• kerusakan fisik• perasaan tak aman/nyaman
Akibat badan jalan	<ul style="list-style-type: none">• instruksi visual dan estetika• pemisahan lahan• konsumsi lahan/pembongkaran bangunan• perubahan akses dan nilai lahan• pengaruh terhadap kehidupan alam dan ekosistem• pengaruh terhadap situs budaya dan sejarah• lapangan kerja/bisnis

B. Polusi Udara

B.1. Gas Rumah Kaca

Jika kita berada di mobil tertutup tanpa AC di saat siang yang terik, hawa dalam ruang mobil terasa panas. Hal ini disebabkan oleh sinar matahari yang masuk menembus kaca mobil membuat seisi mobil menjadi panas. Panas matahari tersebut terperangkap di dalam mobil, tidak dapat menembus ke luar kaca mobil.

Hal di atas juga terjadi pada bumi, di mana radiasi yang dipancarkan oleh matahari menembus lapisan atmosfer dan masuk ke bumi. Radiasi matahari yang masuk ke bumi dalam bentuk gelombang pendek—menembus atmosfer bumi dan berubah menjadi gelombang panjang ketika mencapai permukaan bumi. Setelah mencapai permukaan bumi, sebagian gelombang panjang yang dipantulkan kembali oleh bumi dapat menembus atmosfer menuju angkasa luar, sebagian dihadang dan diserap oleh gas-gas yang berada di atmosfer—disebut gas rumah kaca (GRK). Akibatnya radiasi matahari tersebut terperangkap di atmosfer bumi. Karena peristiwa ini berlangsung berulang kali, maka kemudian terjadi akumulasi radiasi matahari di atmosfer bumi yang menyebabkan suhu di bumi menjadi semakin hangat. Peristiwa alam ini dikenal dengan efek rumah kaca (ERK), karena peristiwanya serupa dengan proses yang terjadi di dalam rumah kaca. Jadi peristiwa efek rumah kaca bukanlah efek yang ditimbulkan oleh gedung-gedung kaca, seperti yang selama ini sering disalahartikan. Peristiwa ERK menyebabkan bumi menjadi hangat dan layak untuk ditempati manusia. Jika tidak ada ERK, maka suhu permukaan bumi akan 33° C lebih dingin dibanding suhu saat ini. Namun berbagai aktivitas manusia, terutama proses industri dan transportasi, menyebabkan GRK yang diemisikan ke atmosfer terus meningkat. Alhasil, terjadilah perubahan komposisi GRK di atmosfer. Hal ini kemudian menyebabkan radiasi yang dipantulkan kembali oleh permukaan bumi ke luar angkasa terhambat

sehingga menyebabkan terjadinya akumulasi panas di atmosfer.

Gas rumah kaca adalah gas-gas di atmosfer yang dihasilkan dari berbagai kegiatan manusia. Gas ini berkemampuan untuk menyerap radiasi matahari di atmosfer sehingga menyebabkan suhu di permukaan bumi menjadi lebih hangat. Meningkatnya konsentrasi GRK di atmosfer akibat aktivitas manusia pada akhirnya menyebabkan meningkatnya suhu permukaan bumi secara global.

Dalam Konvensi PBB mengenai Perubahan Iklim, ada enam jenis gas yang digolongkan sebagai GRK, yaitu karbondioksida (CO_2), dinitroksida (N_2O), metana (CH_4), sulfurheksafluorida (SF_6), perfluorokarbon (PFC_s), dan hidrofluorokarbon (HFC_s). GRK terutama dihasilkan dari kegiatan manusia yang berhubungan dengan penggunaan bahan bakar fosil (minyak, gas, dan batu bara) seperti pada penggunaan kendaraan bermotor dan penggunaan alat-alat elektronik. Selain itu penebangan pohon, penggundulan hutan serta kebakaran hutan juga merupakan sumber emisi GRK. Perubahan iklim sendiri merupakan sebuah fenomena global karena penyebabnya bersifat global, disebabkan oleh aktivitas manusia di seluruh dunia. Selain itu, dampaknya juga bersifat global, dirasakan oleh seluruh makhluk hidup di berbagai belahan dunia. Oleh karena itu solusinya pun harus bersifat global, namun dalam bentuk aksi lokal di seluruh dunia.

Perubahan iklim itu sendiri terjadi secara perlahan dalam jangka waktu yang cukup panjang, antara 50 – 100 tahun. Walaupun terjadi secara perlahan, perubahan iklim memberikan dampak yang sangat besar pada kehidupan umat manusia. Sebagian besar wilayah di dunia akan menjadi semakin panas, sementara bagian lainnya akan berubah semakin dingin. Saat ini pun dampaknya sudah mulai kita rasakan. Singkat kata, meningkatnya konsentrasi GRK di atmosfer akibat aktivitas manusia di berbagai belahan dunia, menyebabkan meningkatnya radiasi yang terperangkap di atmosfer. Akibatnya, suhu rata-rata di seluruh permukaan bumi meningkat. Peristiwa ini disebut **Pemanasan Global**. Meningkatnya suhu rata-rata permukaan bumi menyebabkan terjadinya perubahan pada unsur iklim lainnya, seperti naiknya suhu air laut, meningkatnya penguapan di udara, serta berubahnya pola curah hujan dan tekanan udara yang pada akhirnya mengubah pola iklim dunia. Peristiwa ini kemudian dikenal dengan **Perubahan Iklim**.

B.2. Efek Polutan

Polutan utama yang dihasilkan oleh gas buang kendaraan adalah karbon monoksida, oksida belerang, oksida nitrogen, hidrokarbon, dan lain-lain. Dampak masing-masing jenis polutan udara terhadap kesehatan tersaji dalam tabel berikut:

Tabel 13.2. Dampak buruk polutan pada kesehatan

Jenis polutan	Dampak pada kesehatan
Karbon monoksida (CO)	Mengganggu proses pengabsorpsian oksigen oleh sel darah merah. Akibatnya menurunkan kemampuan berpikir, memperlambat refleks, menjadi pencetus angina (radang tenggorokan), dan rasa mengantuk. CO juga mempengaruhi pertumbuhan janin dan pembentukan jaringan pada bayi dan anak. Bersama polutan lain, CO bisa menyebabkan kematian pada orang-orang yang mempunyai problem dengan sistem pernapasannya. CO juga bertanggung jawab terhadap turunnya produktivitas pekerja dan berbagai ketidaknyamanan lainnya.
Nitrogen oksida (NO)	Melemahkan sistem pertahanan tubuh, sehingga virus influenza lebih gampang menyerang, menyebabkan paru teriritasi sehingga muncul oedema, bronchitis, dan pneumonia. Para pengidap asma juga menjadi lebih sensitif terhadap debu dan serbuk tanaman. Makin besar dampaknya bila bersama-sama polutan lain.
Hidrokarbon (HC)	Mengiritasi mata, mencetuskan batuk dan mengi, rasa mengantuk, dan bercak kulit. HC juga diduga karsinogenik, penyebab kanker, serta bertanggung jawab pada perubahan kode genetik.
Ozon (HC dan Nox)	Mengiritasi membran mukosa pada sistem pernapasan, menyebabkan batuk, bersin, dan kadar tersedak, serta merusak fungsi pernapasan. HC dan Nox juga mengiritasi mata, jadi penyebab sakit kepala dan segala ketidaknyamanan lainnya, menurunkan kekebalan tubuh terhadap flu dan pneumonia. Bisa mencetuskan serangan jantung kronis, asma, bronchitis, dan emfisema.
Timah hitam (Pb)	Mempengaruhi fungsi reproduksi, peredaran darah, jaringan saraf, dan fungsi ginjal. Timah hitam juga diduga mencetuskan sifat hiperaktif dan menurunkan kemampuan belajar anak-anak. Bisa masuk lewat saluran pernapasan dan pencernaan. Sulfur dioksida sangat mengiritasi bagian yang terkena (SO ₂) mencetuskan asma, bersin-bersin dan merusak fungsi paru.
Partikel (TSP), berbentuk debu	Mengiritasi membran mukosa dan bisa mencetuskan penyakit saluran pernapasan. Partikel yang lebih halus bisa menyebabkan kanker paru. Ada korelasi yang kuat antara kadar TSP dengan angka kematian bayi di kawasan perkotaan.
Bahan beracun lainnya	Dicurigai menyebabkan kanker, gangguan pada fungsi reproduksi dan kelahiran yang cacat. Benzen dan asbestos misalnya diketahui karsinogenik—menyebabkan leukemia dan kanker paru. Aldehid dan keton mengiritasi mata, membuat napas tersengal-sengal dan bila terkena kulit bisa mencetuskan kanker kulit.

Sumber: Syafruddin (1999)

C. Kebisingan

Bising (*noise*) adalah bunyi yang tidak dikehendaki. Intensitas bunyi di suatu titik pada suatu gelombang suara diukur dari tekanannya dalam decibel (dB). Sebagai suatu ilustrasi bahwa gesekan daun sebesar sekitar 35 dB dan suara burung terukur sebesar 45 dB.

Untuk menduplikasi respons pendengaran manusia digunakan filter pembobotan frekuensi yakni dB (A), dB (B), dB (C), dan sebagainya. Filter A (dBA) adalah ukuran tingkat tekanan suara dalam bobot A, yaitu tingkat tekanan suara dalam daerah yang dapat diterima oleh telinga manusia. Dalam daerah A dapat dibedakan suara dari kendaraan yang berbeda walaupun spektrumnya hampir sama. Skala B untuk suara dengan kekerasan yang moderat tetapi sangat jarang digunakan. Filter C (dBC) digunakan untuk suara yang sangat keras yang menghasilkan respons terhadap bising antara 20 s.d. 20.000 Hz dan digunakan apabila dihubungkan dengan alat *spectrum analyzer*. Sementara itu dBD digunakan untuk mengukur dan memperbandingkan pengaruh bising akibat kapal terbang pada telinga manusia.

Filter dB (A) telah terbukti cukup objektif untuk memberikan kolerasi dengan ukuran-ukuran subjektif (dalam spektrum suara yang sama). Filter dB (A) dapat untuk membandingkan suara mobil, truk, dan bus. Namun, dB (A) tidak bisa membandingkan antara mobil dengan pesawat jet karena spektrum suaranya berbeda. Adapun dB (D) bisa digunakan untuk pesawat terbang. Adapun tingkat kebisingan lalu lintas sesaat di suatu titik sama dengan jumlah kuat suara yang diterima dari kendaraan-kendaraan yang berada pada jarak yang berbeda dan dengan bermacam-macam intensitas suara. Tingkat kebisingan ini berubah-ubah setiap saat. Parameter yang paling banyak digunakan adalah L, yakni tingkat kebisingan lebih tinggi dari tingkat kebisingan yang diukur dalam interval waktu yang telah ditetapkan.

Instrumen dasar pengukuran kebisingan lalu lintas meliputi *sound meter level* dan *precision sound meter level*. Sebagai misal kebisingan pinggir jalan bernilai 50-95 dB(A), sementara kebisingan dalam ruangan 30-80 dB(A). Di Perancis, standar kebisingan siang hari di pemukiman, gedung dan sekolah sebesar L50 antara 40 – 45 dB (A), sementara di Jepang L50 sebesar 50 dB (A) untuk daerah perumahan siang hari dan 40 dB (A) untuk malam hari. L50 adalah tingkat kebisingan rata-rata yang terlewati untuk 50% dari periode "*sampling*" sepanjang hari.

Tingkat kebisingan yang ditimbulkan oleh sebuah sarana transport dalam lingkungan suatu kegiatan yang sensitif terhadap kebisingan dapat diestimasi. Dalam kasus jalan raya, berbagai persamaan telah dibuat untuk memperkirakan tingkat kebisingan pada berbagai jarak dari jalan raya. Tingkat kebisingan ini tergantung pada volume lalu lintas, kecepatan lalu lintas, dan bauran kendaraan (terutama persentase truk) sebagaimana persamaan berikut (Galloway (1969) dalam Rekayasa Lalu Lintas (1998)).

$$T = 10 \log q - 10 \log d + \log u + 20 \dots\dots\dots(13.1)$$

dengan:

T = tingkat kebisingan rata-rata pada penerima yang berjarak d dari sumber suara (dalam dBA)

d = jarak antara penerima dan lajur khayal pada pertengahan lajur lalu lintas

q = volume lalu lintas (kend/jam)

u = kecepatan lalu lintas rata-rata (mil/jam)

Persamaan di atas berlaku untuk volume lalu lintas di atas 1.000 kendaraan per jam dan tidak ada gangguan atau hambatan seperti bangunan di antara jalan dan titik di mana tingkat kebisingan dihitung.

Sementara itu, efek dari adanya kebisingan berupa gangguan pendengaran terjadi di atas 65 dB seperti jalan padat lalu lintas (sekitar 70 dB), suara pengujian mesin (140 dB) atau menyebabkan tuli pada 150 dB (Hobbs 1995).

Menurut Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. Kep – 48/MENLH/II/1996 tentang Baku Tingkat Kebisingan seperti tabel berikut:

Tabel 13.3. Baku Tingkat Kebisingan

Peruntukan Kawasan/Lingkungan Kegiatan		Tingkat Kebisingan dB (A)
a.	Peruntukan Kawasan	
1.	Perumahan dan Pemukiman	55
2.	Perdagangan dan Jasa	70
3.	Perkantoran dan Perdagangan	65
4.	Ruang Terbuka Hijau	50
5.	Industri	70
6.	Pemerintahan dan Fasilitas Umum	60
7.	Rekreasi	70
8.	Khusus	
	- Bandar Udara *	
	- Stasiun Kereta Api *	
	- Pelabuhan Laut	70
	- Cagar Budaya	60
b.	Lingkungan Kegiatan	
1.	Rumah Sakit atau Sejenisnya	55
2.	Sekolah atau Sejenisnya	55
3.	Tempat Ibadah atau Sejenisnya	55

D. Penanganan Dampak

Metode-metode untuk menangani dan mengurangi dampak lingkungan akibat transportasi telah banyak dikenal dan telah diterapkan di berbagai negara. Beberapa yang berkaitan dengan usaha pengurangan emisi gas buang kendaraan bermotor, kebisingan, dan vibrasi akibat transportasi jalan disajikan.

Tabel 13.4. Penanganan dampak buruk polutan

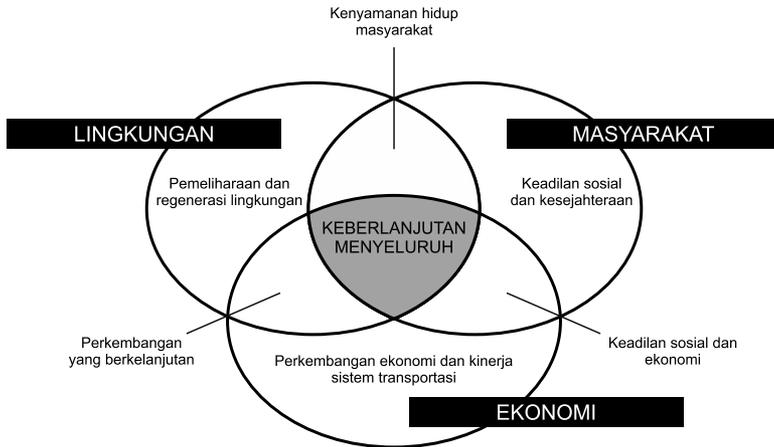
Pengurangan Emisi	
Modifikasi mesin	<ul style="list-style-type: none"> • Penyetelan mesin dan pemeliharaan yang baik • Penyiapan rasio udara/bahan bakar dan campuran • Waktu pengapian • Desain ruang bakar dan rasio kompresi • Injeksi bahan bakar, desain ruang bakar, <i>turbocharging</i>, pada mesin diesel untuk mengurangi partikel dan resirkulasi gas buang untuk mengurangi emisi NO₂
Penanganan gas buang	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Catalytic converter: reduction catalyst</i> untuk mengurangi emisi NO₂ serta <i>oxidation catalyst</i> untuk HC dan CO • Reaktor termal: untuk mengoksidasi emisi HC dan CO dari mesin
Modifikasi bahan bakar	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Unleaded fuel</i> (BBM tanpa timbal) • <i>Fuel extenders</i>: penggantian timbal pada BBM dengan komponen beroktan tinggi, seperti MTBE (<i>methyl tertiary butyl alcohol</i>), TBA (<i>tertiary butyl alcohol</i>), jenis alkohol / ether lainnya • Alternatif bahan bakar: alkohol, LPG, CNG (<i>Compressed Natural Gas</i>)
Jenis kendaraan baru atau alternatif sumber tenaga	<ul style="list-style-type: none"> • Turbin gas (Brayton): hemat bahan bakar, emisi rendah, adaptasi terhadap beberapa jenis bahan bakar • Stirling: efisiensi bahan bakar tinggi, adaptasi terhadap beberapa jenis bahan bakar • Mesin uap (Rankine): emisi rendah, adaptasi terhadap beberapa jenis bahan bakar, tetapi tidak hemat BBM • Tenaga listrik • Tenaga matahari
Pengurangan Bising	
Perencanaan jalan	<ul style="list-style-type: none"> • Menghindari daerah sensitif terhadap kebisingan • Penciptaan daerah khusus berwawasan lingkungan
Perancangan jalan	<ul style="list-style-type: none"> • Pembuatan jalan di daerah galian atau terowongan • Pembuatan <i>noise barrier</i> • Bahan jalan yang rendah kebisingan
Manajemen lalu lintas	<ul style="list-style-type: none"> • Konsentrasi lalu lintas di jalan-jalan utama • Pembatasan kendaraan berat • Pembatasan kecepatan lalu lintas • Pengendalian volume lalu lintas • Pengurangan jumlah berhenti
Perancangan gedung	<ul style="list-style-type: none"> • Jendela yang tepat (insulasi, kaca ganda) • Perlindungan khusus untuk bangunan sensitif

Penanganan dari sumbernya	<ul style="list-style-type: none"> • Gerakan / getaran badan kendaraan • Mesin kendaraan • Gesekan roda-jalan
Pengurangan Vibrasi	
Perancangan jalan	<ul style="list-style-type: none"> • Perbaiki permukaan jalan
Perancangan kendaraan	<ul style="list-style-type: none"> • Suspensi kendaraan baik untuk meredam vibrasi
Manajemen lalu lintas	<ul style="list-style-type: none"> • Jumlah kendaraan berat di daerah kritis dikurangi
Perancangan gedung	<ul style="list-style-type: none"> • Metode insulasi bangunan dari vibrasi lalu lintas

Sumber: Syafruddin (2000)

E. Transportasi Berkelanjutan

Pembangunan saat ini selayaknya menggunakan paradigma *sustainable development* yang ditekankan pada tiga bidang utama, yakni sosial (masyarakat), ekonomi, serta lingkungan. Tidaklah pembangunan itu hanya mengupayakan pada satu bidang saja dengan mengabaikan bidang lainnya, namun haruslah ketiganya berjalan bersama-sama. Ketiga bidang di atas harus memperhatikan tidak hanya masa saat ini, namun juga untuk generasi mendatang. Dengan kata lain, pembangunan itu harus berkelanjutan (*sustainable*).



Gambar 13.1. Paradigma pembangunan berkelanjutan

Pada lingkup transportasi, *The Centre for Sustainable Transportation* merumuskan suatu definisi bahwa transportasi yang berkelanjutan adalah suatu sistem yang:

- a. memungkinkan kebutuhan akses yang sangat mendasar dari individu dan masyarakat untuk dipenuhi dengan selamat dan dengan cara yang konsisten dengan kesehatan manusia dan ekosistem, dan dengan kesetaraan di dalam serta di antara generasi

- b. terjangkau, beroperasi secara efisien, memberikan pilihan moda-moda transportasi dan mendukung perkembangan ekonomi
- c. membatasi emisi dan limbah yang masih dalam kemampuan bumi untuk menyerapnya, meminimalisasi konsumsi sumber-sumber yang tak terbarukan, menggunakan dan mendaur ulang komponen-komponennya, dan meminimalisasi penggunaan lahan serta produksi kebisingan

Adapun indikator keberlanjutan sektor transportasi—menurut Bank Dunia—adalah:

- a. pengurangan penggunaan mobil pribadi per kapita
- b. peningkatan angkutan umum, berjalan, bersepeda, dan *carpooling*
- c. pengurangan komuter rata-rata ke dan dari tempat kerja
- d. peningkatan kecepatan angkutan umum relatif terhadap mobil pribadi
- e. peningkatan km pelayanan angkutan umum relatif terhadap penyediaan jalan
- f. peningkatan tingkat pengembalian biaya angkutan umum dari tarif
- g. pengurangan ruang parkir per 1.000 pekerja di lokasi pusat bisnis
- h. peningkatan km lajur sepeda terpisah

Menurut Departemen Perhubungan (2008), untuk mewujudkan transportasi berkelanjutan diarahkan pada pemenuhan target ekonomi, target ekologi dan target sosial yang meliputi:

- a. Target ekonomi
 - 1) Pengembangan lapangan pekerjaan
 - 2) Penyediaan transportasi berkapasitas besar, cepat, murah
 - 3) Menyediakan pilihan transportasi
 - 4) Memperkuat hubungan desa dan perkotaan
 - 5) Penyediaan dana untuk pembangunan, operasi, dan pemeliharaan infrastruktur dan fasilitas transportasi
- b. Target ekologi
 - 1) Meningkatkan kesehatan dan keselamatan transportasi
 - 2) Mengurangi polusi
 - 3) Mengurangi penggunaan lahan
 - 4) Mengembangkan kerangka strategi yang peka lingkungan
- c. Target sosial
 - 1) Jaminan pelayanan transportasi dan aksesibilitas bagi semua lapisan masyarakat
 - 2) Fokus pada transport bagi kaum miskin perkotaan

- 3) Memperbaiki metode penanganan masalah transportasi bagi kaum miskin
- 4) Memastikan partisipasi demokratis dalam pengambilan keputusan kebijakan transportasi

BAB XIV

APLIKASI ILMU REKAYASA DAN MANAJEMEN LALU LINTAS

A. Pendahuluan

Beberapa studi pernah penulis lakukan—terkait dengan ilmu rekayasa dan manajemen lalu lintas dan beberapa ilmu lain—yang telah dibahas dari bab 1 sampai bab 10. Studi-studi ini sengaja dihadirkan untuk memberi kejelasan prinsip-prinsip utama pekerjaan konsultan perencana dalam bidang per lalu lintasan khususnya dalam hal pelaporan. Secara umum dalam KAK (Kerangka Acuan Kerja) atau TOR (*Term of Reference*), konsultan perencana diminta membuat laporan pendahuluan, laporan antara, draft laporan akhir, dan laporan akhir. **Laporan Pendahuluan** berisi maksud dan tujuan, metode survei dan pengumpulan data, metode analisis yang akan digunakan, identifikasi awal terhadap masalah, rencana kerja secara menyeluruh, mobilisasi tenaga ahli dan tenaga pendukung, serta jadwal kegiatan. **Laporan Antara** berisi kumpulan data survei dan analisis data. Sesudah itu dibuat Draft Laporan Akhir dan selanjutnya dipungkasi dengan **Laporan Akhir**. Kedua bentuk laporan yang baru saja disebutkan berisi secara lengkap keseluruhan hasil studi.

B. Studi yang Pernah Dijalankan

Berikut sekilas beberapa studi dimaksud.

1. Studi Perbaikan Simpang di Kota K

a. Latar belakang

Permasalahan utama diadakannya pekerjaan ini adalah belum optimalnya desain dan pengaturan simpul-simpul di Kota K, sehingga pergerakan kendaraan tidak lancar. Selain itu juga munculnya kekhawatiran penurunan keselamatan lalu lintas.

b. Format laporan

BAB I PENDAHULUAN

- 1.1. Latar Belakang
- 1.2. Tujuan dan Sasaran
- 1.3. Lingkup Perencanaan
- 1.4. Sistematika Pembahasan

BAB II GAMBARAN UMUM KOTA K

- 2.1. Gambaran Wilayah
- 2.2. Gambaran Fisik Dasar
- 2.3. Gambaran Kependudukan
- 2.4. Gambaran Rencana Detail Tata Ruang Kota K

BAB III GAMBARAN KHUSUS SIMPUL JALAN

- 3.1. Gambaran Sistem Transportasi Kota K
- 3.2. Gambaran Sistem Jaringan Jalan Kota K
- 3.3. Gambaran Simpul Pertigaan Jalan A
- 3.4. Gambaran Simpang Empat B
- 3.5. Gambaran Simpang Lima C
- 3.6. Gambaran Simpang Tiga D
- 3.7. Gambaran Simpang Tiga E

BAB IV KRITERIA TEKNIS PERENCANAAN SIMPUL JALAN KOTA

- 4.1. *Traffic Speed*
- 4.2. *Sight Distance*
- 4.3. Alinemen Horizontal
- 4.4. Alinemen Vertikal
- 4.5. *Typical Cross Section*
- 4.6. *Intersection at Grade*
- 4.7. *Road Savety*

BAB V KONSEP PERENCANAAN SEMPUL JALAN

- 5.1. Konsep Umum
- 5.2. Konsep Penataan Pertigaan Jalan A
- 5.3. Konsep Penataan Sempang Empat B
- 5.4. Konsep Penataan Sempang Lima C
- 5.5. Konsep Penataan Sempang Tiga D
- 5.6. Konsep Penataan Sempang Tiga E

BAB VI PELAKSANAAN KEGIATAN PERENCANAAN

- 6.1. Persiapan
- 6.2. Kegiatan Survei
- 6.3. Penyusunan Gambar Kerja, BQ, RKS, dan RAB
- 6.4. Penyusunan Laporan Perencanaan
- 6.5. Diskusi dan Pembahasan dengan Tim Teknis
- 6.6. Pelaksanaan *Aanwijzing*
- 6.7. Pengawasan Berkala

c. Rekomendasi

Secara umum rekomendasi yang ditawarkan adalah perbaikan *setting* sinyal, perbaikan geometrik simpang supaya lancar namun tetap aman, penataan rambu lalu lintas, perubahan simpang tak bersinyal menjadi simpang bersinyal, serta pembenahan median jalan.

d. Komentar

Ilmu rekayasa dan manajemen lalu lintas dalam studi ini berkenaan dengan persoalan perbaikan simpang melalui kegiatan pengukuran geometrik, survei volume lalu lintas, pengamatan visual perilaku kendaraan, pencermatan keberadaan rambu, dan sebagainya.

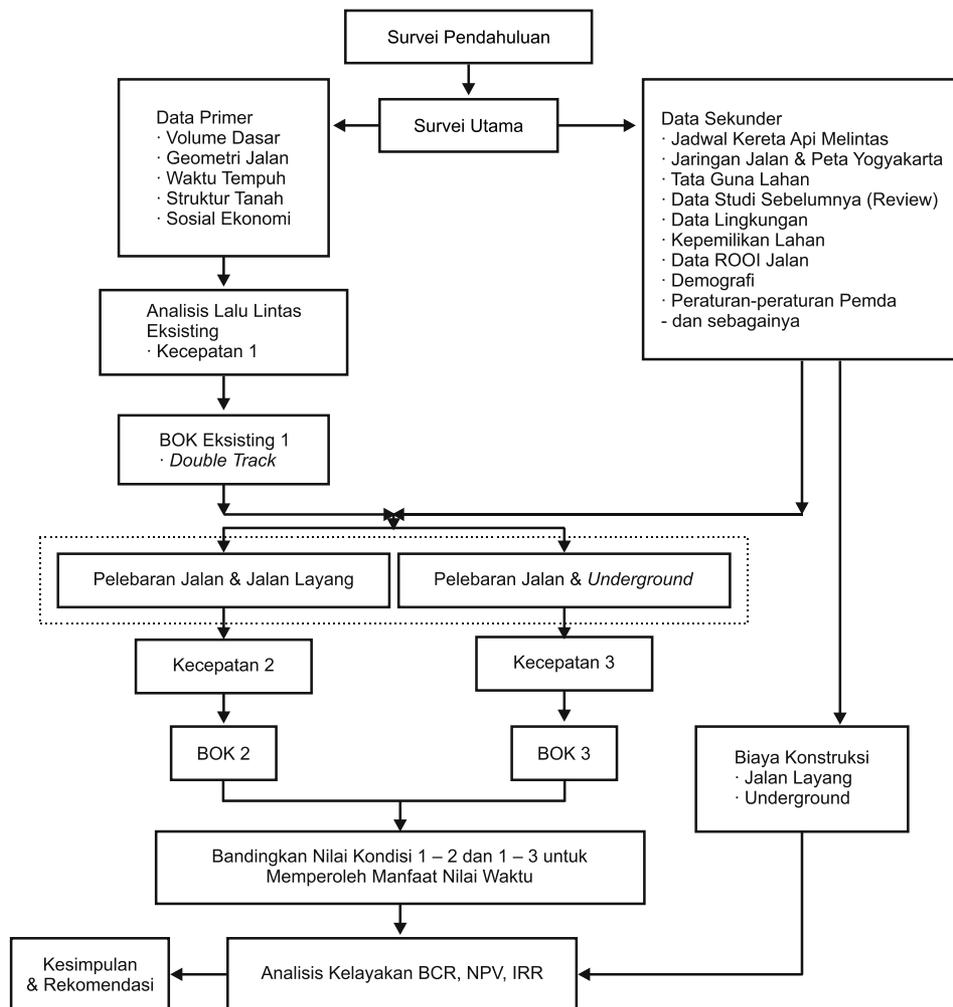
2. Feasibility Study Pembangunan Jalan Layang

a. Latar belakang

Secara geografis Kota Y terbagi menjadi 2 (dua) wilayah oleh keberadaan jalan kereta api (rel) milik PT Kereta Api Indonesia. Pada ruas-ruas jalan raya yang melintas jalan kereta api (rel) akan memiliki potensi kemacetan lalu lintas. Hal tersebut akan semakin meningkat apabila PT Kereta Api Indonesia secara nasional akan mengembangkan jalan rel ganda (*double track*). Dengan adanya rencana tersebut maka di masa mendatang kepadatan jalur rel kereta api akan bertambah dan hal tersebut akan menyebabkan waktu kemacetan lalu lintas yang semakin lama. Apabila hal ini tidak segera diantisipasi, maka akan membawa dampak terhadap

kelancaran kegiatan ekonomi di Kota Y dan hal tersebut akan menyebabkan inefisiensi ekonomi.

b. Metodologi



c. Format laporan

HALAMAN JUDUL	
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI.....	ii
BAB I. PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	I-1
1.2. Maksud, Tujuan, dan Sasaran	I-2
1.3. Lokasi Studi	I-3
1.4. Ruang Lingkup Materi	I-4
1.5. Dasar Hukum	I-4
BAB II. DESKRIPSI WILAYAH KOTA YOGYAKARTA	
2.1. Wilayah Administrasi Kota Yogyakarta	II-1
2.1.1. Kondisi Geografis	II-1
2.1.2. Iklim	II-1
2.1.3. Pembagian Wilayah	II-4
2.2. Kondisi Sosial Ekonomi	II-7
2.2.1. Kependudukan	II-7
2.2.2. Dinamika Perkembangan Kota	II-8
2.2.3. Potensi Daerah	II-10
2.2.4. Perekonomian.....	II-15
2.3. Kondisi Transportasi	II-17
BAB III. METODOLOGI STUDI	
3.1. Alur Pelaksanaan Studi	III-1
3.2. Metode Analisis Pelaksanaan Kegiatan	III-2
3.2.1. Analisis Lingkungan	III-2
3.2.2. Analisis Manfaat Ekonomi	III-3
3.2.3. Analisis Manfaat Sosial Budaya	III-3
3.2.4. Analisis Manfaat Kewilayahan	III-3
3.2.5. Analisis Aspek Hukum	III-3
3.2.6. Analisis Biaya Investasi dan Operasi	III-4
3.3. Analisis Biaya dan Manfaat	III-4
3.3.1. Komponen Biaya	III-5
3.3.2. Manfaat Pembangunan Jalan	III-6
3.3.3. Biaya Operasi Kendaraan	III-6
3.3.4. Perhitungan Kecepatan	III-9
3.3.5. Perhitungan Nilai Waktu	III-10
3.3.6. Biaya Pembebasan Tanah, Konstruksi, dan Pemeliharaan	III-10

3.3.7. Prinsip Perhitungan Manfaat dan Biaya Selama Periode Tinjauan	III-10
BAB IV. PELAKSANAAN STUDI	
4.1. Tahapan Kegiatan	IV-1
4.1.1. Pengumpulan Data Sekunder	IV-1
4.1.2. Pengumpulan Data Primer	IV-1
4.2. Kompilasi Data Primer	IV-2
4.2.1. Volume Lalu Lintas	IV-2
4.2.2. Kecepatan Lalu Lintas di Tempat Studi	IV-6
4.2.3. Geometrik Jalan	IV-7
4.2.4. Volume Lalu Lintas di Lima Perlintasan KA	IV-8
4.3. Kompilasi Data Sekunder	IV-9
4.3.1. Tata Guna Lahan	IV-9
4.3.2. Kepemilikan Lahan	IV-9
4.3.3. Waktu Perlintasan KA	IV-9
BAB V. ANALISIS KONDISI SOSIAL BUDAYA	
5.1. Penggunaan Lahan di provinsi D	V-1
5.2. Penggunaan Lahan di Sekitar Jalan Ipda Tut Harsono	V-3
5.3. Survei Lingkungan dan Sosial	V-5
5.3.1. Pendapat Pemilik Lahan	V-5
5.3.2. Pendapat Pengguna Jalan Ipda Tut Harsono	V-9
5.4. Aspek Hukum	V-14
5.4.1. Rencana Umum Tata Ruang Kota Y	V-15
5.4.2. Rencana Strategis Pembangunan Kota Y	V-16
5.4.3. Prioritas Pembangunan	V-18
5.5. Analisis Aspek Lingkungan	V-18
BAB VI. ANALISIS TRANSPORTASI	
6.1. Analisis <i>Flyover</i> Lebar Jalur Lalu Lintas 10 Meter	VI-1
6.1.1. Perhitungan BOK	VI-1
6.1.1.1. Parameter BOK	VI-1
6.1.1.2. BOK Utara Selatan	VI-2
6.1.1.3. BOK Selatan Utara	VI-5
6.1.2. Perhitungan Nilai Waktu	VI-8
6.1.3. Perhitungan Biaya Konstruksi	VI-9
6.1.3.1. Biaya Pembebasan Tanah	VI-9
6.1.3.2. Biaya Pembangunan	VI-9
6.1.3.3. Biaya Pemeliharaan	VI-10
6.1.4. Analisis Kelayakan	VI-10
6.1.5. Perhitungan <i>Internal Rate of Return</i>	VI-11

6.2. Analisis <i>Flyover</i> Lebar Jalur Lalu Lintas 12 Meter	VI-13
6.2.1. Perhitungan <i>Internal Rate of Return</i>	VI-14
6.3. Desain <i>Flyover</i> yang Direkomendasikan	VI-15
6.4. Manajemen Lalu Lintas Masa Konstruksi	VI-16
BAB VII. KESIMPULAN DAN REKOMENDASI	
7.1. Kesimpulan	VII-1
7.2. Rekomendasi	VII-2
LAMPIRAN	

d. Rekomendasi

Derajat kejenuhan ruas Jalan X saat ini telah mencapai lebih dari 0,7 sehingga harus segera dilakukan pembenahan. Pembangunan *flyover* menguntungkan dari sisi analisis ekonomi karena menghasilkan nilai BCR lebih dari satu.

e. Komentar

Ilmu rekayasa dan manajemen lalu lintas dalam studi ini dipakai untuk melakukan survei volume lalu lintas di ruas-ruas utama tempat studi, melakukan survei kecepatan di perlintasan dengan KA, melakukan perhitungan kecepatan jika *double track* kereta api telah dioperasikan, serta mendesain lebar jalan agar tercapai manfaat lebih besar dari biaya. Dalam studi ini juga terlibat ilmu ekonomi transportasi serta ekonomi teknik.

3. Studi Kelayakan Pembangunan Jalan Tol Provinsi B

a. Deskripsi Umum

Studi ini bertujuan untuk menilai kelayakan teknis dan ekonomis rencana pembangunan beberapa ruas jalan tol. Studi ini dilakukan dengan inputing data berupa kondisi lalu lintas, Matriks Asal Tujuan, jaringan jalan di provinsi B, ruas jalan rencana untuk jalan tol, prediksi pertumbuhan lalu lintas untuk jangka pendek, menengah dan jangka panjang, dan metode pembebanan (*traffic assignment*) yang dilakukan. Program akan menghasilkan keluaran volume lalu lintas pada tiap ruas jalan. Keluaran program harus divalidasi dengan volume lalu lintas hasil survei kondisi eksisting. Kelayakan jalan tol terlihat sampai seberapa besar masyarakat menggunakan kendaraannya untuk melewati ruas jalan tol rencana.

b. Komentar

Ilmu paling dominan dalam studi ini adalah dalam pemodelan (*modelling*). Ilmu rekayasa dan manajemen lalu lintas dipakai pada inputing data ke

pemodelan. Dimulai dari survei volume lalu lintas, survei kecepatan lalu lintas, penentuan kapasitas jalan, serta pemakaian volume jam-jaman. Di dalam setiap ruas jalan, harus diberikan suatu fungsi khusus hubungan antara volume lalu lintas dengan waktu tempuh melewati ruas jalan.

4. Studi Angkutan Umum Perbatasan Provinsi X

a. Deskripsi Umum

Studi ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja angkutan perbatasan yang meliputi *Load Factor*, asal tujuan pergerakan penumpang, dan persepsi pelayanan perbatasan menurut penumpang. Studi dimulai dengan melakukan survei kinerja angkutan perbatasan. Selain itu juga dilakukan wawancara dengan pihak operator maupun pengemudi. Hasilnya adalah berupa perubahan trayek pada beberapa rute angkutan perbatasan.

b. Komentar

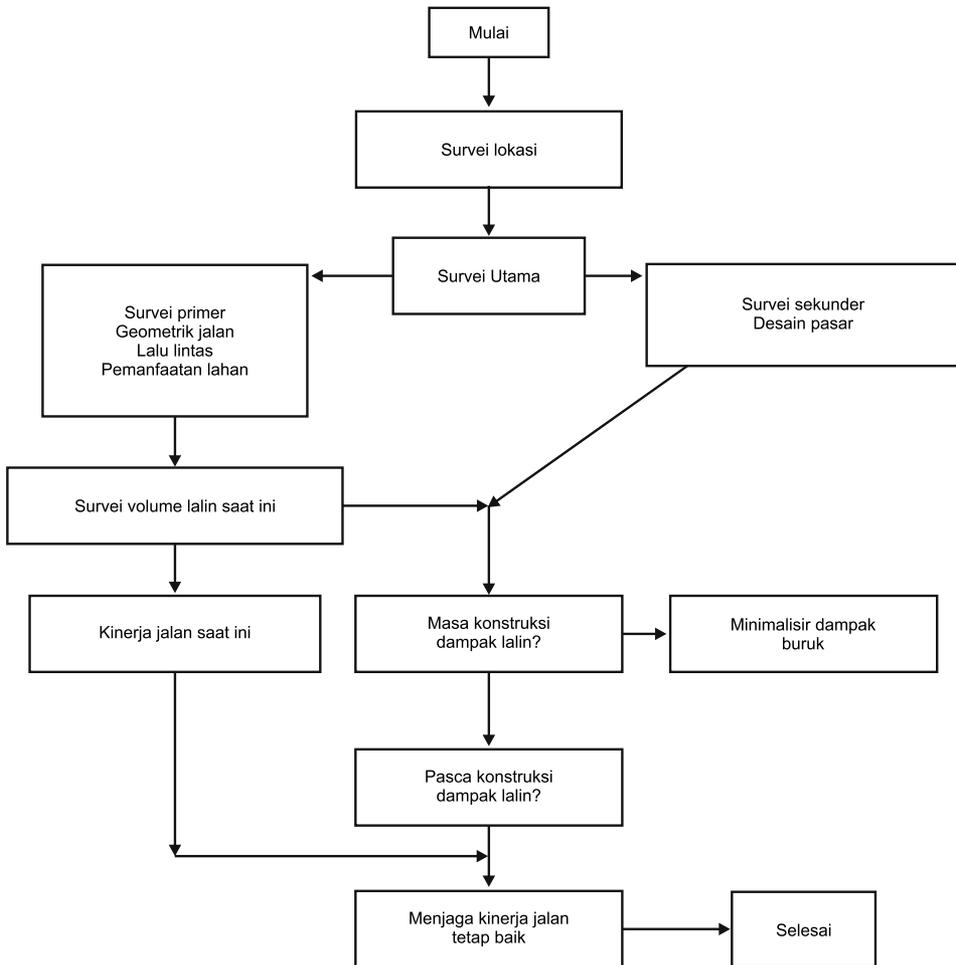
Ilmu paling dominan dalam studi ini adalah ilmu Transportasi Publik (angkutan umum). Persoalan mendasar yang perlu dipecahkan adalah pada integrasi antar jenis moda angkutan sehingga antara satu moda dengan moda lainnya, antara trayek pedesaan dan trayek perbatasan, termasuk trayek AKDP dapat saling melengkapi dan bukan justru saling bersaing mematikan.

5. Analisis Dampak Lalu Lintas Pembangunan Pasar Y

a. Deskripsi Umum

Pembangunan pasar Y akan mengakibatkan adanya tarikan pergerakan (*attraction*) sehingga diperlukan analisis untuk melihat sejauh mana efek adanya pasar Y terhadap pergerakan kendaraan di ruas jalan depan pasar Y tersebut. Analisis Dampak Lalu Lintas (Andall) perlu dilakukan agar pasar Y—selain membawa efek baik terhadap laju perkembangan ekonomi pihak-pihak terkait—diharapkan juga tidak membawa efek buruk yang signifikan terhadap kecepatan kendaraan di ruas jalan perkotaan.

b. Metodologi



c. Komentar

Ilmu Rekayasa dan Manajemen Lalu Lintas sangat terkait dengan studi ini, seperti dalam survei volume lalu lintas, kecepatan kendaraan di ruas jalan eksisting, prediksi kendaraan yang datang ke pasar Y, desain parkir pasar Y dan juga prediksi kecepatan pasca terbangunnya pasar akibat adanya tarikan pergerakan baru.

DAFTAR PUSTAKA

- . 1985. *Highway Capacity Manual*, Washington D.C.: TRB
- . 1993. *Prasarana dan Lalu Lintas Jalan, PP No. 43 Tahun 1993*. Jakarta
- . 1994. *Highway Capacity Manual*. Washington D.C.: TRB
- . 2000. *Highway Capacity Manual*. Washington D.C.: TRB
- . 1995. *Modul Pelatihan I dan II, Rekayasa Lalu Lintas, Manajemen Lalu Lintas, Sistem Kelembagaan*. Lembaga Pengabdian Kepada Masyarakat (LPM) ITB Bekerja Sama dengan Direktorat Jenderal Pembangunan Daerah
- . 1995. *Sustainable Transport Priorities for Policy Reform*. Washington D.C.: World Bank Publication
- . 1996. *Baku Tingkat Kebisingan*, Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. Kep – 48/MENLH/II/1996
- . 1996. *Sustainable Transport*, The World Bank, Washington D.C. , www.worldbank.org
- . 1997. *Manual Kapasitas Jalan Indonesia*. DPU, Jakarta: Dirjen Bina Marga
- . 1997. *Rekayasa Lalu lintas, Seri SC-OLLAJ2*. Badan Pendidikan dan Latihan Perhubungan Pusat Pendidikan dan Latihan Perhubungan Darat
- . 1998. *Rekayasa Lalu Lintas, Penataran Dosen PTS Dalam Rangka Perluasan Wawasan dan Penguasaan Bidang Teknik Sipil Angkatan I*. Departemen Pendidikan dan Kebudayaan Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Direktorat Perguruan Tinggi Swasta

- . 1998. *Pedoman Perencanaan dan Pengoperasian Fasilitas Parkir*, Jakarta: Direktorat Bina Sistem Lalu lintas Angkutan Kota Direktorat Jenderal Perhubungan Darat
- . 2000. *Highway Capacity Manual*. Washington D.C.: TRB
- . 2003. *Studi Perbaikan Simpul di Kabupaten Klaten*. Yogyakarta: PT Kertagana,
- . 2004. *Perencanaan Teknis Simpul Jalan Paket I*. Laporan Akhir DPU Kabupaten Klaten
- . 2006. *Manajemen dan Rekayasa Lalu Lintas di Jalan*. Peraturan Menteri Perhubungan No. 14 tahun 2006
- . 2006. *Penyusunan FS Lintasan Kereta Api di Jalan Ipda Tut Harsono*, Laporan Akhir. Yogyakarta: CV Triguna
- . 2006. *Penyusunan Program Pengembangan Jaringan Jalan Bebas Hambatan dan Jalan Tol di Pulau Bali*, Laporan Pendahuluan. Jakarta: PT Eskapindo Matra
- . 2008. *Pengelolaan dan Manajemen Transportasi Perkotaan*. Seminar Nasional Transportasi 2008, Menuju Transportasi Perkotaan yang Aman, Terpadu, Berkesinambungan, dan Berwawasan Lingkungan, UGM 10 Mei 2008, Departemen Perhubungan
- . 2008. *Pengadaan Infrastruktur Transportasi dalam Pengembangan Transportasi Perkotaan*. Seminar Nasional Transportasi 2008, Menuju Transportasi Perkotaan yang Aman, Terpadu, Berkesinambungan, dan Berwawasan Lingkungan, UGM 10 Mei 2008, Departemen Pekerjaan Umum
- . 2010. *Strategi Pemilihan "Transport Demand Management" yang Cocok untuk Kota Besar di Indonesia*. Majalah Teknik Jalan dan Transportasi No. 114 Juni 2010 Tahun XXVII, HPJI
- . 2010. *Kurikulum Jurusan Teknik Sipil Universitas Janabadra Yogyakarta*
- . 2011. *Sustainable Transportation*. <http://biuxoblog.org.ru>
- Fachrurrozy. 1996. *Teknik Lalu Lintas*. Yogyakarta: Jurusan Teknik Sipil UGM
- Fachrurrozy. 2000. *Manajemen Lalu linta*. Yogyakarta: Jurusan Teknik Sipil Universitas Gadjah Mada
- Hadmoko, H.D.. 1997. *Perbandingan Gap Pengemudi Pria dan Wanita, Studi Kasus Persimpangan Jalan Dr. Sutomo dan Jalan Tunjung Yogyakarta*. Yogyakarta: Makalah Seminar Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil Universitas Gadjah Mada
- Hobbs, F.D.. 1995. *Perencanaan dan Teknik Lalu Lintas*, Edisi Kedua. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press
- Khisty, C.J.. Lall, B.K.. 1998. *Transportation Engineering, An Introduction*. Prentice Hall International, Inc.

-
- Listiyanto, A.D.. 2003. *Karakteristik Kecelakaan Lalu Lintas, Studi Kasus Kecelakaan Lalu Lintas di Kota Yogyakarta Tahun 2002*. Yogyakarta: Tugas Akhir Jurusan Teknik Sipil Universitas Janabadra
- Malkhamah, S.. 1995. *Survey Lampu Lalu Lintas dan Pengantar Manajemen Lalu Lintas*, Yogyakarta: Biro Penerbit KMTS FT UGM
- May, A.D.. 1990. *Traffic Flow Fundamentals*. New Jersey: Prentice-Hall Inc.
- McShane, W., Roess, R.P.. 1990. *Traffic Engineering*. New Jersey: Prentice Hall
- Mohi, E.. 2003. *Penelitian Satuan Mobil Penumpang Berbagai Jenis Kendaraan pada Simpang Bersinyal*. Yogyakarta: Jurusan Teknik Sipil UJB
- Morlok, E.K.. 1991. *Pengantar Teknik dan Perencanaan Transportasi*. Jakarta: Penerbit Erlangga
- Munawar, A.. 2004. *Manajemen Lalu Lintas Perkotaan*, Yogyakarta: Penerbit Beta Offset
- Oglesby, C. H., Hicks, R. C., 1988, *Teknik Jalan Raya*, Edisi Keempat, Jilid 1. Jakarta: Erlangga
- Ohta, K.. 1998. *TDM Measures Toward Sustainable Mobility*, makalah pada Simposium I FSTPT 3 Desember 1998. Bandung: Institut Teknologi Bandung
- Pignataro, L.J.. 1973. *Traffic Engineering Theory and Practice*, Dept. of Transportation Planning and Engineering, New York: Institute of Brooklyn
- Priyanto, S.. 2007. *Analisis Arus Jenuh Berdasarkan Lebar Pendekat Simpang di Yogyakarta*. Civil Engineering Forum Teknik Sipil Volume XVII/1 Januari 2007 ISSN 0854-111. Yogyakarta: Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada
- Risdiyanto. 2002. *Studi Jaringan Rute Angkutan Umum Perkotaan Yogyakarta*. Thesis Magister Institut Teknologi Bandung
- Risdiyanto. 2006. *Rekayasa Lalu Lintas, Teori dan Praktek*. Yogyakarta: Jurusan Teknik Sipil Universitas Janabadra
- Risdiyanto. 2008. *Perbandingan Tundaan Simpang Bersinyal dengan Metode MKJI 1997 dan Metode Survei Lapangan*, Wahana Teknik Sipil, Jurnal Pengembangan Teknik Sipil Volume 13, Nomor 1, April 2008, ISSN 0853-8727, Semarang
- Setiawan, R.. 2008. *Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kemudahan Manuver Parkir, Studi Kasus Universitas Kristen Petra Surabaya*, makalah pada Konferensi Teknik Sipil (Konteks) II di Universitas Atmajaya Yogyakarta
- Suherminanta. 1999. *Analisis Kapasitas Ruang Parkir Off Street pada Pusat Perbelanjaan Mirota Kampus*. Diskusi Seminar Akademik Tenaga Edukatif dan Peneliti Universitas Janabadra Yogyakarta, Lembaga Penelitian dan Pengembangan Universitas Janabadra Yogyakarta
-

- Susana, I.. 2004. *Pengaruh Pergerakan Parkir Kendaraan terhadap Kinerja Jalan Diponegoro Yogyakarta*. Yogyakarta: Tugas Akhir Jurusan Teknik Sipil Universitas Janabadra
- Sutiyoso. 2007. *Pengembangan Pola Transportasi Makro DKI Jakarta*. Makalah pada Seminar Nasional Pengembangan Pola Transportasi Makro DKI Jakarta, Konsep, Realisasi, dan Tantangan. Semarang: Universitas Diponegoro
- Sutomo, H.. 2000. *Penyelenggaraan Jalan Berkelanjutan*. Makalah presentasi, Yogyakarta
- Sutomo, H.. 2001. *Transportasi Berkelanjutan* dalam buku *Trend Teknik Sipil Era Melenium Baru*. Jakarta: Yayasan John Hi-Tech Idetama
- Siswanto. 1990. *Management Science*, Jakarta: Penerbit PT Elex Media Komputindo, Kelompok Gramedia
- Stiani, D.. 2004. *Pengaruh Pintu Lintasan Kereta Api terhadap Kemacetan Pada Jalan Pasar Sentolo Kulon Progo*. Yogyakarta: Tugas Akhir Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Janabadra
- Sukarno dkk.. 1987. *Nilai Satuan Mobil Penumpang untuk Persimpangan yang Berlalu Lintas di Yogyakarta*. Yogyakarta: Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Indonesia
- Syafruddin, A., Lubis, H.A.. 2000. *Tantangan Menuju Sistem Transportasi Berkelanjutan*, Seminar Nasional Tantangan Transportasi Perkotaan Menghadapi Millenium III 8 April 2000, Fakultas Teknik Universitas Katolik S.t. Thomas Medan
- Syafruddin, A.. 1999. *Transportasi dan Lingkungan*, Modul Kuliah Rekayasa Lalu Lintas Program Magister Rekayasa Transportasi ITB Bandung
- Taha, H.A.. 1997. *Riset Operasi, Suatu Pengantar*, Edisi Kelima, Jilid 2. Jakarta Barat: Binarupa Aksara
- Tamin, O.Z.. 2008. *Perencanaan, Pemodelan, dan Rekayasa Transportasi*. Bandung: Penerbit ITB
- Underwood, R.T. 1990. *Traffic Management An Introduction*. Melbourne: Hargreen Publishing Company
- Well, G.R.. 1993. *Teknik Lalu Lintas*. Jakarta: Penerbit Bhartara

LAMPIRAN

- Contoh Analisa Operasional Jalan Perkotaan menurut MKJI 1997
- Contoh Perhitungan Tundaan pada Simpang Bersinyal menurut MKJI 1997

MKJI: JALAN PERKOTAAN

5. CONTOH PERHITUNGAN**5.1 CONTOH 1: ANALISA OPERASIONAL JALAN DUA-LAJUR DUA-ARAH**

- Geometri :** Lebar jalur lalu-lintas efektif 6,0 m
Lebar bahu efektif pada kedua sisi 1,0 m (rata dengan jalan)
- Lalu-lintas :** Pemisahan arah 70-30
- Lingkungan :** Ukuran kota 700.000 penduduk
Banyak angkutan kota
Banyak pejalan kaki
Beberapa kendaraan menggunakan akses sisi jalan.
- Pertanyaan :**
1. Berapa kapasitas segmen jalan (smp/jam) ?
 2. Berapa arus maksimum lalu-lintas (smp/jam) yang dapat dilalui pada kecepatan 30 km/jam ?
- Penyelesaian :** Dengan menggunakan Formulir UR-1, UR-2 & UR-3, jawabannya adalah:
1. Kapasitas segmen 1.795 smp/jam
 2. Arus maksimum pada kecepatan 30 km/jam adalah 553 smp/jam.

MISAL JALAN PERKOTAAN

3660ha5Seramp4UR1-X1.WCZ
11/06/55/MLB.Rev. 17/06/56.D1

Formulir UR - 1

JALAN PERKOTAAN FORMULIR UR-1: DATA MASUKAN - DATA UMUM - GEOMETRIK JALAN	Tanggal:		Ditangani oleh:	DK
	Propinsi:		Diperiksa oleh:	EN
	Kota:		Ukuran kota:	0,7 juta
	No.ruas>Nama jalan:			
	Segmen antara	dan		
	Kode segmen:		Tipe daerah:	
Panjang (km):		Tipe jalan:	2/2 UD	
Periode waktu:		Nomor soal:		

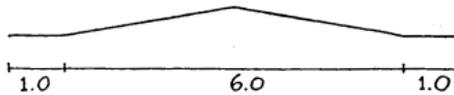
Rencana situasi



Penampang melintang

Sisi A

Sisi B



	Sisi A	Sisi B	Total	Rata-rata
Lebar jalur lalu-lintas rata-rata	3.0	3.0	6.0	3.0
Kereb (K) atau Bahu (B)	B	B		
Jarak kereb - penghalang (m)				
Lebar efektif bahu (dalam + luar) (m)	1.0	1.0	2.0	1.0

Bukaan median (tidak ada, sedikit, banyak)

Kondisi pengaturan lalu-lintas

Batas kecepatan (km/jam)	
Pembatasan akses untuk tipe kendaraan tertentu	
Pembatasan parkir (periode waktu)	
Pembatasan berhenti (periode waktu)	
Lain-lain	

AKSI: JALAN PERKOTAAN

3603475&L&UR-2-AT-NG
11 September 1985/SLB, Rev.2304/1985/ENB

Formulir UR-2

JALAN PERKOTAAN FORMULIR UR-2: DATA MASUKAN - ARUS LALU LINTAS - HAMBATAN SAMPIING	Tanggal:		Ditangani oleh:	DK
	No.ruas>Nama jalan:			
	Kode segmen:		Diperiksa oleh:	EN
	Periode waktu:		Nomor soal:	

Lalu lintas harian rata-rata tahunan

LHRT (kend./hari) Faktor-k = Pemisahan arah 1/arah 2 =
 Komposisi %

LV %	<input type="text"/>	HV %	<input type="text"/>	MC %	<input type="text"/>
------	----------------------	------	----------------------	------	----------------------

Data arus kendaraan/jam

Baris	Tipe kend.	Kend. ringan	Kend. berat	Sepeda motor		Arus total Q					
1,1	emp arah 1	LV:	1,00	HV:		MC:					
1,2	emp arah 2	LV:	1,00	HV:		MC:					
2	Arah (1)	kend/jam (2)	smp/jam (3)	kend/jam (4)	smp/jam (5)	kend/jam (6)	smp/jam (7)	Arah % (8)	kend/jam (9)	smp/jam (10)	
3	1							70			
4	2							30			
5	1+2										
6	Pemisahan arah, $SP=Q_1/(Q_{1+2})$							70 %			
7	Faktor-smp $F_{sup} =$										

Kelas hambatan sampiing

Bila data rinci tersedia, gunakan tabel pertama untuk menentukan frekwensi berbobot kejadian, dan selanjutnya gunakan tabel kedua. Bila tidak, gunakan hanya tabel kedua.

1. Penentuan frekwensi kejadian

Perhitungan frekwensi berbobot kejadian per jam per 200 m dari segmen jalan yang diamati, pada kedua sisi jalan.

Tipe kejadian hambatan sampiing	Simbol	Faktor bobot	Frekwensi kejadian	Frekwensi berbobot
(20)	(21)	(22)	(23)	(24)
Pejalan kaki	PED	0,5	/jam, 200m	
Parkir, kendaraan berhenti	PSV	1,0	/jam, 200m	
Kendaraan masuk + keluar	EEV	0,7	/jam, 200m	
Kendaraan lambat	SMV	0,4	/jam	
Total:				

2. Penentuan kelas hambatan sampiing

Frekwensi berbobot kejadian	Kondisi khusus	Kelas hambatan sampiing	
(30)	(31)	(32)	(33)
< 100	Permukiman, hampir tidak ada kegiatan	Sangat rendah	VL
100 - 299	Permukiman, beberapa angkutan umum, dll.	Rendah	L
300 - 499	Daerah industri dengan toko-toko di sisi jalan	Sedang	M
500 - 899	Daerah niaga dengan aktivitas sisi jalan yang tinggi	Tinggi	H
> 900	Daerah niaga dgn aktivitas pasar sisi jalan yang sangat tinggi	Sangat tinggi	VH

JALAN PERKOTAAN FORMULIR UR-3: ANALISA KECEPATAN, KAPASITAS	Tanggal: _____	Ditangani oleh: DK	
	No. ruas>Nama jalan: _____		
	Kode segmen: _____	Diperiksa oleh: EN	
	Periode waktu: _____	Nomor soal: _____	

Kecepatan arus bebas kendaraan ringan $FV = (FV_o + FV_w) \times FFV_{sf} \times FFV_{cs}$

Soal/ Arah	Kecepatan arus bebas dasar FV_o Tabel B-1:1 (km/jam)	Faktor penyesuaian untuk lebar jalur FV_w Tabel B-2:1 (km/jam)	$FV_o + FV_w$ (2) + (3) (km/jam)	Faktor penyesuaian		Kecepatan arus bebas FV (4) x (5) x (6) (km/jam)
				Hambatan samping FFV_{sf} Tabel B-3:1 atau 2	Ukuran kota FFV_{cs} Tabel B-4:1	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
	44	-3	41	0,86	0,95	33,5

Kapasitas $C = C_o \times FC_w \times FC_{sp} \times FC_{sf} \times FC_{cs}$

Soal/ Arah	Kapasitas dasar C_o Tabel C-1:1 smp/jam	Faktor penyesuaian untuk kapasitas				Kapasitas C smp/jam (11)x(12)x(13)x(14)x(15)
		Lebar jalur FC_w Tabel C-2:1	Pemisahan arah FC_{sp} Tabel C-3:1	Hambatan samping FC_{sf} Tabel C-4:1 atau 2	Ukuran kota FC_{cs} Tabel C-5:1	
(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)
	2900	0,87	0,88	0,86	0,94	1795

Kecepatan kendaraan ringan

Soal/ Arah	Arus lalu lintas Q Formulir UR-2 smp/jam	Derajat kejujutan DS (21)/(16)	Kecepatan V_{lv} Gbr.D-2:1 atau 2 km/jam	Panjang segmen jalan L km	Waktu tempuh TT (24)/(23) jam
(20)	(21)	(22)	(23)	(24)	(25)
	553	0,31	30,0		

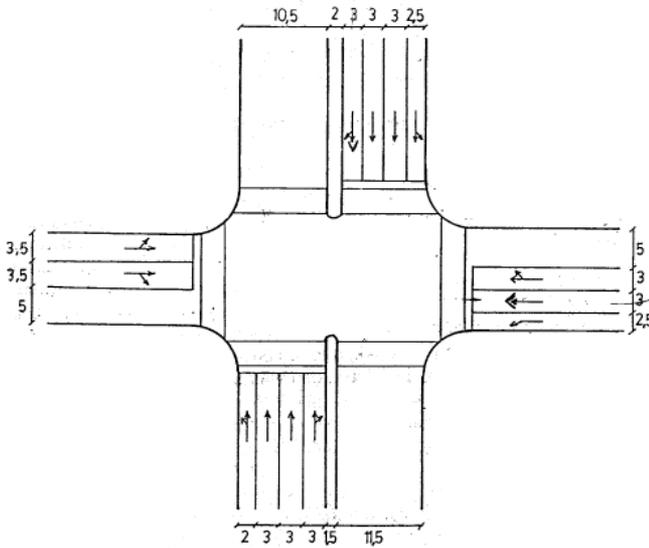
MKJI: SIMPANG BERSINYAL

Contoh
Formulir SIG-1

SIMPANG BERSINYAL Formulir SIG-1: GEOMETRI PENGATURAN LALU LINTAS LINGKUNGAN	Tanggal: 24 Januari 1996	Diangani oleh: DK
	Kota: Jakarta	
	Simpang: Iskandarsyah - Wijaya	
	Ukuran kota: 8,3 juta	
	Perihal: 4 - Fase hijau awal	
	Periode: Jam puncak pagi - sore	

FASE SINYAL YANG ADA

g =	28	g =	17	g =	6	g =	21	Waktu siklus: c =	87
								Waktu hilang total: LTI = Σ IG =	15
IG =	5	IG =	5	IG =	5	IG =	5		



KONDISI LAPANGAN

Kode pendekatan (1)	Tipe lingkungan jalan (2)	Hambatan samping Tinggi/Pendak (3)	Median Ya/Tidak (4)	Kelaikanan ±% (5)	Belok-kiri langsung Ya/Tidak (6)	Jarak ke kendaraan parkir (m) (7)	Lebar pendekatan (m)			
							Pendekat W _A (8)	Masuk W _{MASUK} (9)	Belok kiri lang-sung W _{LTOR} (10)	Keluar W _{KELUAR} (11)
U	COM	R	Y		T		11,5	11,5		11,5
S	RES	R	Y		T		11,0	11,0		10,5
T	RES	R	T		Y		8,5	6,0	2,5	5,0
B	RES	R	T		T		7,0	7,0		5,0

REKAYASA & MANAJEMEN LALU LINTAS

MKJI: SIMPANG BERSINYAL

Contoh 1

Formulir SIG-II

SIMPANG BERSINYAL Formulir SIG-II: ARUS LALU LINTAS		Tanggal: 24 Januari 1996 Kota: Jakarta Simpang: Iskandarsyah - Wijaya										Ditangani oleh: DK				
		ABUS LALU LINTAS KENDARAAN BERMOTOR (MV)										KEND. TAK. BERMOTOR				
Kode Pen-dekat	Arah	Kendaraan ringan (LV)			Kendaraan berat (HV)			Sepeda Motor (MC)			Kendaraan bermotor total MV		Rasio berbelok		Arus UM	Rasio UM/MV
		emp terlindung = 1,0 emp terlawan = 1,0		emp terlindung = 1,3 emp terlawan = 1,3		emp terlindung = 0,2 emp terlawan = 0,4		total MV		Rasio berbelok						
		kend/jam	smp/jam	kend/jam	smp/jam	kend/jam	smp/jam	kend/jam	smp/jam	p- π	p π					
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	
U	LTA TOR	49	49	49	7	9	9	19	4	8	75	62	66	0,05		0
	ST	680	680	680	91	118	118	263	53	105	1034	851	903		4	
	RT	257	257	257	34	44	44	99	20	40	390	321	341	0,26		
	Total	986	986	986	132	171	171	381	77	153	1499	1234	1310		4	0,003
S	LTA TOR	152	152	152	6	8	8	35	7	14	193	167	174	0,11		2
	ST	627	627	627	24	31	31	144	29	58	795	687	716		3	
	RT	554	554	554	21	27	27	127	25	51	702	606	632	0,42		2
	Total	1333	1333	1333	51	66	66	306	61	123	1690	1460	1522		7	0,004
T	LTA TOR	428	428	428	25	33	33	224	45	90	677	506	551	0,43		10
	ST	550	550	550	32	42	42	288	58	115	870	650	707		6	
	RT	21	21	21	1	1	1	11	2	4	33	24	26	0,02		1
	Total	999	999	999	58	76	76	523	105	209	1580	1180	1284		17	0,011
B	LTA TOR	102	102	102	23	30	30	62	12	25	187	144	157	0,19		2
	ST	321	321	321	71	92	92	194	39	78	586	452	491		6	
	RT	127	127	127	28	36	36	76	15	30	231	178	193	0,23		1
	Total	550	550	550	122	158	158	332	66	133	1004	774	841		9	0,010
	LTA TOR															
	ST															
	RT															
	Total															
	LTA TOR															
	ST															
	RT															
	Total															
	LTA TOR															
	ST															
	RT															
	Total															
	LTA TOR															
	ST															
	RT															
	Total															

MKJI: SIMPANG BERSINYAL

Contoh 1
Formulir SIG-III

SIMPANG BERSINYAL Formulir SIG-III: WAKTU ANTAR HIJAU WAKTU HILANG		Tanggal: 24 Januari 1996				
		Ditangani oleh: DK				
		Kota: Jakarta				
		Simpang: Iskandarsyah - Wijaya				
		Perihal: 4 - Fase hijau awal				
LALU LINTAS BERANGKAT		LALU LINTAS DATANG				Waktu merah semua (det)
Pendekat	Kecepatan V_e m/det	Pendekat	U	S	T	B
		Kecepatan V_A m/det	10	10	10	10
		Jarak berangkat-datang (m)*			15,5+5-16	
U	10	Waktu berangkat-datang (det)**			1,6+0,5-1,6	
		Jarak berangkat-datang (m)				16,2+5-15,5
S	10	Waktu berangkat-datang (det)				1,6+0,5-1,6
		Jarak berangkat-datang (m)		29+5-13		
T	10	Waktu berangkat-datang (det)		2,9+0,5-1,3		
		Jarak berangkat-datang (m)	28,8+5-11,2			
B	10	Waktu berangkat-datang (det)	2,9+0,5-1,1			
		Jarak berangkat-datang (m)				
		Waktu berangkat-datang (det)				
		Jarak berangkat-datang (m)				
		Waktu berangkat-datang (det)				
		Penentuan waktu merah semua				
		Fase 1 --> Fase 2				1.0
		Fase 2 --> Fase 3				1.0
		Fase 3 --> Fase 4				0.0
		Fase 4 --> Fase 1				3.0
		Waktu kuning total (3 det/fase)				9.0
		Waktu hilang total (LTI) = Merah semua total + waktu kuning (det/siklus)				14.0

*) Dari gambar, lihat contoh Gambar B-2:1

***) Waktu untuk berangkat = $(L_{ev} + l_{ev})/V_{ev}$
Waktu untuk datang = L_{av}/V_{av}

