

MODUL GEOLOGI TEKNIK
PELATIHAN PERENCANAAN BENDUNGAN TINGKAT DASAR



2017

PUSAT PENDIDIKAN DAN PELATIHAN SUMBER DAYA AIR DAN KONSTRUKSI



KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kami panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas selesainya validasi dan penyempurnaan Modul Geologi Teknik sebagai Materi Substansi dalam Pelatihan Perencanaan Bendungan Tingkat Dasar. Modul ini disusun untuk memenuhi kebutuhan kompetensi dasar Aparatur Sipil Negara (ASN) di bidang Sumber Daya Air.

Modul Geologi Teknik disusun dalam 8 (delapan) bab yang terbagi atas Pendahuluan, Materi Pokok, dan Penutup. Penyusunan modul yang sistematis diharapkan mampu mempermudah peserta pelatihan dalam memahami geologi teknik dalam perencanaan bendungan. Penekanan orientasi pembelajaran pada modul ini lebih menekankan pada partisipasi aktif dari para peserta.

Akhirnya, ucapan terima kasih dan penghargaan kami sampaikan kepada Tim Penyusun dan Narasumber Validasi, sehingga modul ini dapat diselesaikan dengan baik. Penyempurnaan maupun perubahan modul di masa mendatang senantiasa terbuka dan dimungkinkan mengingat akan perkembangan situasi, kebijakan dan peraturan yang terus menerus terjadi. Semoga Modul ini dapat memberikan manfaat bagi peningkatan kompetensi ASN di bidang Sumber Daya Air.

Bandung, Nopember 2017
Kepala Pusat Pendidikan dan Pelatihan
Sumber Daya Air dan Konstruksi

Ir. K. M. Arsyad, M.Sc

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
PETUNJUK PENGGUNAAN MODUL	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Deskripsi Singkat	5
1.3 Tujuan Pembelajaran.....	5
1.3.1 Hasil Belajar	5
1.3.2 Indikator Hasil Belajar	5
1.4 Materi Pokok dan Sub Materi Pokok	5
BAB II KLASIFIKASI BATUAN	9
2.1 Umum.....	9
2.2 Batuan Beku.....	9
2.2.1 Bentuk Batuan Beku.....	9
2.2.2 Klasifikasi Batuan Beku.....	12
2.3 Batuan Sedimen.....	16
2.3.1 Batuan Klasik Terigen	16
2.3.2 Batuan Sedimen Silikaan	26
2.3.3 Presipitat Kimia	26
2.3.4 Batuan Sedimen Fosfatik	27
2.3.5 Sedimen Besian	27
2.3.6 Batubara.....	28
2.4 Batuan Metamorf (<i>Metamorphic Rocks</i>).....	30
2.4.1 Faktor-Faktor Pengaruh	30
2.4.2 Batuan Asal	30
2.4.3 Penggolongan Proses Metamorfosa.....	31
2.4.4 Klasifikasi Batuan Metamorf.....	31

2.5	Penyebaran Batuan di Alam.....	32
2.6	Klasifikasi Batuan	32
2.6.1	Berdasarkan Sifat Fisik dan Sifat Teknis.....	32
2.6.2	Klasifikasi Berdasarkan Skala Kekerasan.....	34
2.6.3	Klasifikasi Berdasarkan Kuat Tekan.....	36
2.6.4	Klasifikasi Batuan Berdasarkan Sifat Teknis.....	38
2.7	Diskontinuitas	39
2.8	Permeabilitas.....	41
2.9	Klasifikasi Kuat Massa Batuan.....	41
2.10	Klasifikasi Berdasarkan Tingkat Pelapukan.....	43
2.11	Latihan.....	43
2.12	Rangkuman	44
2.13	Evaluasi	44
BAB III	GEOMORFOLOGI	45
3.1	Definisi Geomorfologi.....	45
3.2	Konsep Dasar Geomorfologi.....	45
3.3	Proses Geomorfologi.....	46
3.3.1	Degradasi.....	47
3.3.2	Agradasi.....	51
3.4	Siklus Perkembangan Sungai	52
3.4.1	Lembah.....	53
3.4.2	Pola Pengaliran	53
3.4.3	Meander.....	56
3.4.4	Endapan Sungai	56
3.5	Bentang Alam Daerah Terlipat.....	57
3.6	Bentang Alam Daerah Tersesarkan.....	59
3.7	Bentang Alam <i>Karst</i>	60
3.7.1	Terjadinya Bentuk Bentang Alam <i>Karst</i>	60
3.8	Bentang Alam Pantai.....	61
3.8.1	Erosi Pantai	63
3.8.2	Pantai Tumbuh	64
3.8.3	Klasifikasi Bentuk Pantai	64
3.9	Latihan.....	66
3.10	Rangkuman	66

3.11 Evaluasi.....	66
BAB IV STRATIGRAFI.....	69
4.1 Umum.....	69
4.2 Hukum Dasar Stratigrafi.....	69
4.3 Prinsip Dasar Stratigrafi	70
4.4 Korelasi Stratigrafi.....	74
4.5 Latihan	76
4.6 Rangkuman.....	76
4.7 Evaluasi.....	77
BAB V STRUKTUR GEOLOGI	79
5.1 Umum.....	79
5.2 Pengertian.....	79
5.3 Cara-Cara Mempelajari Struktur Batuan	80
5.3.1 Kekar (<i>Joints</i>)	81
5.3.2 Shear Joints (Kekar Gerus).....	85
5.3.3 Kekar Pada Batuan Metamorfis	86
5.3.4 Kekar Tarik (Tension Joint)	86
5.3.5 Kekar-Kekar yang Tidak Ada Hubungannya dengan Gaya Tektonik	86
5.4 Sesar (Faults).....	88
5.4.1 Istilah-Istilah yang Berhubungan dengan Gejala Sesar.....	89
5.4.2 Bagian-Bagian yang Tersesarkan (Tergeser).....	89
5.4.3 Gerak-Gerak Pergeseran pada Sesar, Serta Akibatnya.....	90
5.4.4 Klasifikasi Sesar (<i>Classification</i>)	90
5.4.5 Sesar Normal atau Sesar Biasa atau Sesar Turun.....	92
5.4.6 Sesar Naik (<i>Reverse Fault</i> atau <i>Thrust</i>)	93
5.4.7 Hubungan Antara Sesar dan Kegiatan Batuan Beku	97
5.4.8 Penyajian atau Pemetaan Struktur Sesar	98
5.5 Lipatan dan Gejala Perlipatan.....	100
5.5.1 Terbentuknya Struktur Lipatan.....	100
5.5.2 Unsur-Unsur Struktur Lipatan	101
5.5.3 Pengelompokkan Lipatan.....	103
5.5.4 Cara Menentukan Penunjaman (<i>Plunge</i>) Pada Lipatan	106
5.5.5 Pengelompokkan Secara Morfologis	107

5.6	Latihan.....	112
5.7	Rangkuman	113
5.8	Evaluasi	113
BAB VI AIR TANAH (GROUNDWATER)		115
6.1	Umum	115
6.2	Definisi Air Tanah	115
6.3	Penyebaran Air Tanah	116
6.4	Pergerakan Air Tanah	118
6.5	Jenis Air Tanah.....	119
6.6	Sistem Akuifer dan Geologi Air Tanah	121
6.7	Lithologi, Stratigrafi dan Struktur	123
6.8	Beberapa Jenis <i>Unconfined Aquifer</i>	124
6.9	Jenis-Jenis Mata Air	126
6.10	Latihan.....	127
6.11	Rangkuman	127
6.12	Evaluasi	128
BAB VII KEGEMPAAN		131
7.1	Pendahuluan	131
7.2	Konsep Dasar.....	132
7.2.1	Lempeng Tektonik	132
7.2.2	Pergerakan Sesar.....	134
7.3	Tipe Sesar	137
7.3.1	<i>Strike Slip Faults</i>	137
7.3.2	<i>Dip Slip Faults</i>	137
7.3.3	<i>Oblique Slip Faults</i>	138
7.3.4	Magnitudo Gempa	138
7.3.5	<i>Hiposentrum dan Episentrum</i>	139
7.3.6	Zona Pelepasan Energi	140
7.3.7	Jarak Lokasi ke Sumber Gempa	140
7.3.8	Goncangan Puncak di Permukaan Tanah	140
7.4	Gempa Bumi dan Jenisnya	141
7.5	Jenis Gempa Bumi Berdasarkan Kedalaman Episentrum.....	141
7.6	Jenis Gempa Bumi dan Kedalaman Episentrum yang Terjadi di Dunia	143

7.7 Latihan	143
7.8 Rangkuman.....	143
7.9 Evaluasi.....	144
BAB VIII PENUTUP.....	145
8.1 Simpulan	145
8.2 Tindak Lanjut.....	146
DAFTAR PUSTAKA.....	147
GLOSARIUM	148
KUNCI JAWABAN	152

DAFTAR TABEL

Tabel 2.2. Klasifikasi Batuan Beku Berdasarkan Tekstur dan Komposisi Mineral	13
Tabel 2.3. Ciri-Ciri Umum Jenis Batuan.....	14
Tabel 2.4. Klasifikasi Batuan Beku Secara Umum	14
Tabel 2.5. Klasifikasi Batuan Beku.....	15
Tabel 2.6. Klasifikasi Batuan Piroklastik (Hasil Kegiatan Gunung Api)	15
Tabel 2.7. Skala Tingkatan Ukuran Partikel/ Butiran	17
Tabel 2.8. Klasifikasi Batuan Sedimen Berdasarkan Tekstur.....	29
Tabel 2.9. Klasifikasi Batuan Sedimen Klastik.....	30
Tabel 2.10. Angka Kekerasan Berdasarkan Mohs	34
Tabel 2.11. Angka Kekerasan Berdasarkan Nespak.....	35
Tabel 2.12. Kekerasan Batuan Berdasarkan Skala Mohs	36
Tabel 2.13. Klasifikasi Kekerasan Untuk Batuan Utuh	37
Tabel 2.14. Klasifikasi Batuan Utuh (Deere Dan Miller's, 1969).....	38
Tabel 2.15. Tabel Klasifikasi Teknik Berdasarkan RQD.....	38
Tabel 2.16. Klasifikasi Teknis Batuan Utuh Berdasarkan (Hoek & Bray, 1969).....	39
Tabel 2.17. Pemberian Ketebalan Lapisan.....	39
Tabel 2.18. Klasifikasi Kerapatan Kekar	40
Tabel 2.19. Kriteria Batuan Berdasarkan RQD.....	40
Tabel 2.20. Klasifikasi Ketebalan Kekar	40
Tabel 2.21. Klasifikasi Permeabilitas	41
Tabel 2.22. Klasifikasi Permeabilitas Tanah dan Batuan	41
Tabel 2.23. Klasifikasi Batuan Berdasarkan Tingkat Pelapukan	43
Tabel 3.1. Bagian-Bagian Pengangkutan Material	50
Tabel 5.1. Tabel Separaasi dan Slip.....	91
Tabel 7.1. Jenis Gempa Bumi Jarak Episentral.....	141
Tabel 7.2. Jenis Gempa Bumi dan Jarak Fokus.....	141
Tabel 7.3. Skala Mercalli - Cancani dan Skala Omori	142
Tabel 7.4. Skala Kekuatan Gempa Bumi Mutlak Dari Omori.....	142
Tabel 7.5. Skala kekuatan Omori yang dirobah oleh Van Bemmfen untuk Indonesia.....	142
Tabel 7.6. Beberapa Jenis Gempa Bumi	143

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Diagram Memperlihatkan Lempeng-Lempeng yang Bergerak	3
Gambar 2.1. Komparator Kebundaran	18
Gambar 2.2. Bentuk Kebolaan dan Kebundaran Butiran Batuan	19
Gambar 2.3. Proses Metaforse yang Menghasilkan Batuan Metamorf	32
Gambar 2.4. Klasifikasi Batuan Berdasarkan Kuat Tekan	37
Gambar 2.5. Klasifikasi Kuat Batuan Massa dan Tingkat Kemudahan Penggalian ..	42
Gambar 2.6. Klasifikasi Kuat Batuan Massa dan Tingkat Kemudahan Penggalian (Bieniawski, 1974)	42
Gambar 3.1. Bagian Proses Pembentukan Roman Muka Bumi	47
Gambar 3.2. Proses Pengelupasan (Seperti Menguliti Bawang)	48
Gambar 3.3. Reaksi Kimia Pada Proses Pelarutan Batu Gamping	48
Gambar 3.4. Pembentukan Tanah Akibat Proses Pelapukan Batuan (Strahler & Strahler, 1984)	49
Gambar 3.5. Ilustrasi Bentuk - Bentuk Utama Erosi Oleh Air, A. Gully Erosion dan B. Rill And Interrill Erosion (El-Swaify Et. Al., 1982).....	51
Gambar 3.6. Bentuk Lahan Erosional dan Depositional (Strahler & Strahler, 1984)	52
Gambar 3.7. Profil Ideal Kipas Aluvial, Menunjukkan Lapisan - Lapisan Mudflow (<i>Aquicludes</i>) Berselingan dengan Lapisan - Lapisan Pasir (<i>Aquifers</i>) (Strahler & Strahler, 1984).....	52
Gambar 3.8. Pola Pengaliran Dasar (Howard, 1967; Dalam Van Zuindam, 1983) .	55
Gambar 3.9. Bentuk Lahan di Sekitar Sungai Bermeander	57
Gambar 3.10. Tahapan Perkembangan Erosi Pada Bentang Alam Terlipat	58
Gambar 3.11. Reaksi Kimia dan Keseimbangannya Pada Proses	61
Gambar 3.12. Ilustrasi Bentangalam Karst di Indiana Bagian Selatan, USA (Thornbury, 1969)	61
Gambar 3.13. Ilustrasi <i>Wash</i> dan <i>Backwash</i> Akibat Pergerakan Air Dipantai (Strahler & Strahler, 1984)	62
Gambar 3.14. Fenomena <i>Longshore Current</i> dan <i>Longshore Drifting</i>	63
Gambar 3.15. Pantai Turun di Pelabuhan Whangaroa, Bagian Timur Laut Auckland, New Zealand (Thornburry, 1969)	65
Gambar 4.1. <i>Angular Unconformity</i>	72
Gambar 4.2. <i>Disconformity</i>	72

Gambar 4.3. <i>Unconformity</i>	74
Gambar 5.1. Diagram Balok Dengan Kekar-Kekar Sistematik dan Tidak Sistematik (<i>Cross Joints</i>)	83
Gambar 5.2. Jenis-Jenis Kekar dan Hubungannya Dengan Struktur Antiklin	84
Gambar 5.3. Arah-Arah Kekar Dalam Suatu Intrusi	84
Gambar 5.4. Diagram Sesar	89
Gambar 5.5. Penampang Bidang Sesar dan Bagian – Bagiannya	90
Gambar 5.6. Blok Diagram Sesar Normal	92
Gambar 5.7. Blok Diagram Sesar Naik (<i>Reverse Fault</i>)	93
Gambar 5.8. Blok Diagram Sesar Naik (<i>Trust Fault</i>)	94
Gambar 5.9. Struktur Lipatan <i>Anticline</i> dan <i>Syncline</i>	101
Gambar 5.10. Lipatan Antiklin	104
Gambar 5.11. Lipatan Asimetri	104
Gambar 5.12. Monoklin	105
Gambar 5.13. Lipatan Terbuka	105
Gambar 5.14. Lipatan “ <i>Plunging</i> ”	106
Gambar 5.15. a) Lipatan Silindris, b) Lipatan Non Silindris, c) Lipatan Tanpa Bidang Silindris dan d) Lipatan Tanpa Bidang Non Silindris	109
Gambar 5.16. Penggolongan Lipatan Didasarkan Bentuk Penompang Tegak Lurus Sumbu	110
Gambar 5.17. <i>Fold Symmetry</i>	111
Gambar 5.18. <i>Orthorhombic Symmetry</i>	111
Gambar 5.19. <i>Monoclinic Symmetry</i>	112
Gambar 5.20. Rincian <i>Monoclinic Symmetry</i>	112
Gambar 6.1. Berbagai Hubungan Antara Air Tanah dan Air Sungai	118
Gambar 6.2. Akifer yang Bagian Atas dan Bawahnya Dibatasi Oleh Lapisan Bersifat Akifug atau <i>Aquiclude</i>	122
Gambar 6.3. Akifer yang Dibatasi Oleh Lapisan Semi Permeabel di Bagian Atas dan atau di Bagian Bawah	122
Gambar 6.4. Akifer yang dibatasi Oleh Lapisan <i>Impermeable</i> di Bagian Bawahnya Tetapi Pada Bagian Atasnya Tidak Ada Lapisan	123
Gambar 6.5. Mata Air Jenis Depresi	126
Gambar 6.6. Mata Air Kontak	126
Gambar 6.7. Mata Air Rekahan	126
Gambar 6.8. Mata Air Pelarutan	127

Gambar 7.1. Lempeng Tektonik Utama dan Perkiraan Arah Pergerakannya (Modifikasi Dari Parek, 1983)	133
Gambar 7.2. Seismisitas Indonesia 1973 - 2003 (Suhardjono, 2009)	134
Gambar 7.3. Sesar Bertingkat	137
Gambar 7.4. <i>Dip Slip Fault</i>	138
Gambar 7.5. <i>Oblique Slip</i>	138
Gambar 7.6. Hiposentrum, Episentrum, Bidang Sesar, dan Zona Keruntuhan Dari Suatu Gempa	139

PETUNJUK PENGGUNAAN MODUL

Deskripsi

Modul Geologi Teknik terdiri dari enam kegiatan belajar mengajar. Kegiatan belajar pertama membahas tentang klasifikasi batuan. Kegiatan belajar kedua membahas tentang geomorfologi. Kegiatan belajar ketiga membahas tentang stratigrafi. Kegiatan belajar keempat membahas tentang struktur geologi. Kegiatan belajar kelima membahas tentang air tanah (*groundwater*). Kegiatan belajar keenam membahas tentang kegempaan.

Peserta pelatihan mempelajari keseluruhan modul ini dengan cara yang berurutan. Pemahaman setiap materi pada modul ini diperlukan untuk memahami geologi teknik dalam perencanaan bendungan. Setiap kegiatan belajar dilengkapi dengan latihan atau evaluasi yang menjadi alat ukur tingkat penguasaan peserta pelatihan setelah mempelajari materi dalam modul ini.

Persyaratan

Dalam mempelajari modul pembelajaran ini, peserta pelatihan diharapkan dapat menyimak dengan seksama penjelasan dari pengajar, sehingga dapat memahami dengan baik materi yang merupakan dasar dari Perencanaan Bendungan. Untuk menambah wawasan, peserta diharapkan dapat membaca terlebih dahulu materi sebelumnya terkait bendungan.

Metode

Dalam pelaksanaan pembelajaran ini, metode yang dipergunakan adalah dengan kegiatan pemaparan yang dilakukan oleh Widyaiswara/ Fasilitator, adanya kesempatan tanya jawab, curah pendapat, bahkan diskusi.

Alat Bantu/ Media

Untuk menunjang tercapainya tujuan pembelajaran ini, diperlukan Alat Bantu/ Media pembelajaran tertentu, yaitu: LCD/ proyektor, Laptop, *white board* dengan spidol dan penghapusnya, bahan tayang, serta modul dan/ atau bahan ajar.

Tujuan Kurikuler Khusus

Setelah mengikuti semua kegiatan pembelajaran dalam mata pelatihan ini, peserta diharapkan mampu memahami prinsip-prinsip geologi teknik untuk menunjang perencanaan bendungan.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Geologi berasal dari bahasa Yunani (Geos = Bumi, Logos = pengertian atau ilmu), jadi artinya Ilmu yang mempelajari tentang Bumi secara keseluruhan, asal muasalnya/ terjadinya, struktur, komposisi, sejarah dan proses-proses alam yang telah berlangsung hingga wujudnya sekarang (*The Penguin Dictionary of Geology*).

Cabang - cabang ilmu geologi antara lain : Mineralogi, Petrologi, Paleontologi, Geologi sejarah, Geologi Ekonomi, Geofisika, Geomorfologi, Geologi Minyak Bumi, Geokimia dan Lain-lain.

Umumnya ilmu geologi dapat dibagi menjadi dua kelompok, yaitu :

- Ilmu mengenai sifat-sifat dan penyebaran daripada bahan yang membentuk bumi (batuan), cara-cara pembentukan, perombakan, pengangkutan dan pengubahannya. Juga sifat dan perkembangan daripada bentang alam. Khusus bidang inidalam geologi disebut Geologi Fisik.
- Studi mengenai perkembangan kehidupan di bumi dan perubahan-perubahan yang terjadi di dalam bumi semenjak bumi ini ada. Bidang ini dikelompokkan sebagai Geologi Sejarah.

a) Definisi Geologi Untuk Teknik Sipil

Secara harfiah geologi dapat didefinisikan sebagai cabang ilmu yang mempelajari bumi, yaitu mulai dari sejarah terbentuknya bumi, material pembentuk bumi, proses - proses yang mempengaruhi bumi, struktur bangunan bumi dan masih ada lagi yang lain.

Mengingat bahwa cara kerja ahli teknik sipil ini berdasarkan pada fisika - matematik, sedang ahli geologi berdasarkan pada hukum - hukum alam, muncul profesi baru, yaitu ahli geologi teknik: yang mempunyai kemampuan:

- Mampu menganalisa proses geologi
- (Mampu mengenal masalah yang mungkin timbul akibat interaksi pekerjaan teknik sipil disuatu tempat dan mampu memberikan saran penanggulangannya, sehingga hasil rekayasa mempunyai faktor keamanan sesuai rencana.

b) Definisi Geologi Teknik

Menurut USBR (1974), antara geologi dan teknik sipil terdapat beberapa bidang profesi yang merupakan mata rantai antara satu dengan yang lainnya, yaitu : *geologist - engineering geologist - geotechnician - geological engineer - civil engineer*. *Engineering geologist* adalah seorang ahli geologi yang bekerja untuk kepentingan teknik sipil. *Geological engineer* adalah seorang ahli teknik sipil yang dapat menterjemahkan permasalahan geologi. *Geotechnician* bisa seorang ahli geologi teknik ataupun seorang ahli teknik sipil yang bekerja untuk menyiapkan paramater disain yang akan digunakan oleh perencana.

Geologi teknik adalah aplikasi geologi untuk kepentingan ke teknikan yang menjamin pengaruh faktor - faktor geologi terhadap lokasi, desain, konstruksi, dan pelaksanaan pembangunan.

Mengenal bumi kita

Bumi kita merupakan salah satu anggota dari apa yang disebut tata surya. Tata surya itu sendiri terdiri dari planet-planet bersama masing-masing satelitnya, asteroid, comets dan kumpulan-kumpulan meteorit, yang keseluruhannya bergerak dalam pengaruh gaya berat daripada matahari. Sedangkan matahari merupakan pusat daripada tata surya.

Bagian bumi yang padat diselubungi oleh lapisan-lapisan: air, udara dan jasad hidup. Yang selalu bergerak satu terhadap lainnya dan bersenyawa dalam cara-cara yang beragam. Untuk mudahnya lapisan-lapisan tersebut dapat kita bayangkan sebagai selaput yang saling menutup, dan pada batas-batas tertentu bercampur dengan selaput berikutnya.

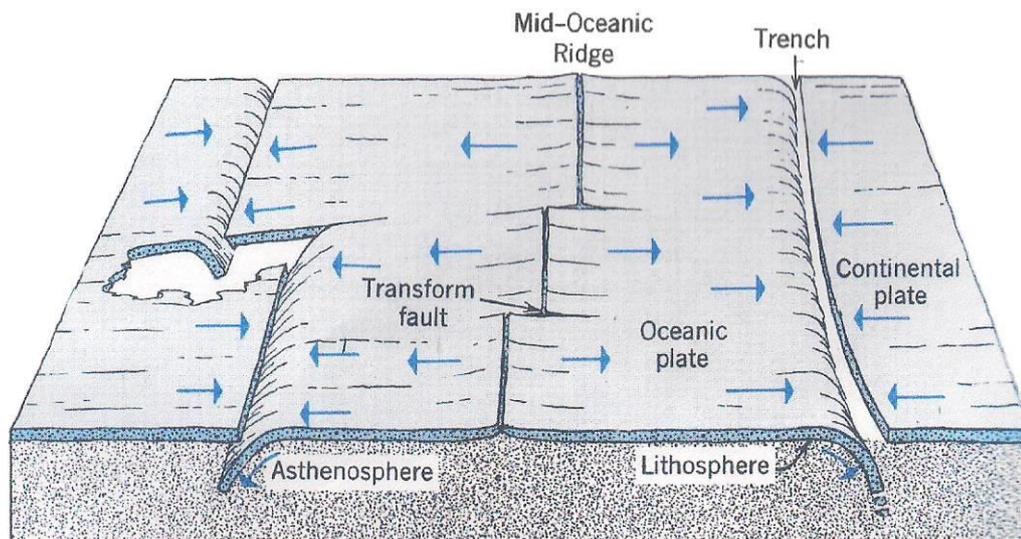
Berdasarkan penelitian, di beberapa tempat di dalam bumi terdapat bidang-bidang pemisah atau bidang diskontinuitas.

Dengan adanya bidang-bidang tersebut maka bumi dibagi dalam 3 zone utama, yaitu :

- Kulit bumi (dari kerak bumi sampai 1.200 km)
- Selubung bumi atau mantle (dari 1.200 sampai 2.900 km), dan
- Inti bumi.

Berdasarkan “teori tektonik lempeng”, kerak bumi dapat di bagi menjadi 2 jenis, yaitu kerak benua dan kerak samudera. Secara garis besar dapat dikatakan bahwa bahan yang membentuk kerak benua itu terdiri dari batuan yang ringan yang mengandung banyak silica, SiO_2 . Sedangkan kerak samudra yang merupakan dasar-dasar daripada samudera-samudera di bumi, terdiri dari batuan yang sangat padat, berwarna gelap dan bersusunan miskin akan SiO_2 .

Kedua jenis kerak ini membentuk “lempeng - lempeng” berukuran raksasa, yang kemudian disebut lempeng - lempeng benua dan samudera, yang dapat bergeser diatas mantel bumi dengan kecepatan berkisar antara 1-10 cm /tahun, atau sama dengan 100 km/10 juta tahun. Batasan - batasan antara masing - masing lempeng, merupakan tempat tempat dimana terdapat daerah - daerah bergempa dan gejala pembentukan pegunungan.



Gambar 1.1. Diagram Memperlihatkan Lempeng-Lempeng yang Bergerak

Lempeng atau kerak benua, disebut juga SIAL, terutama terdiri dari batuan kristalin dengan unsur-unsur utama Si dan Al. Mempunyai kecepatan rambat gelombang seismik 6,1 km/detik. Sedangkan lempeng atau samudera, disebut juga lapisan SIMA, terutama terdiri dari unsur-unsur Si dan Mg, mempunyai rambat gelombang 7,0 km/detik. Kerak benua disebut juga lapisan granit, karena batuan yang membentuk kerak tersebut terutama bersusunan granit walaupun tidak mutlak semuanya granit, sedangkan kerak samudera disebut juga lapisan basaltis karena batuan yang membentuk terutama basalt.

Dalam pengelompokan batuan yang ada didalam kulit bumi, dapat dibagi menjadi 3 kelompok besar, yaitu :

- a) Batuan beku
- b) Batuan sedimen
- c) Batuan metamorf

Batuan beku adalah hasil pembekuan dari suatu bahan dari lelehan pijar bersuhu tinggi yang berasal dari bagian yang dalam dari bumi yang disebut magma. Pada saat terbentuknya kulit bumi diduga pada waktu itu batuan seluruhnya adalah batuan beku. Jadi batuan beku dapat dianggap “nenek moyang” semua batuan .

Batuan sedimen kebanyakan berasal dari penghancuran batuan yang telah ada, diangkut dan kemudian diendapkan sebagai lapisan-lapisan di lembah-lembah, di dataran rendah atau di dasar samudra atau danau dan diendapkan dengan susunan yang baru pula.

Batuan metamorfosis terjadi akibat perubahan dari batuan yang telah ada (batuan beku atau sedimen) akibat peningkatan tekanan dan suhu, umpamanya karena pengaruh gejala pembentukan pegunungan. Bila proses perubahan air cukup besar, maka batuan itu dapat di lebur kembali dan membentuk lelehan yang pijar dan kalau mendingin akan kembali menjadi batuan beku. Siklus demikian disebut daur dari batuan.

1.2 Deskripsi Singkat

Mata pelatihan ini membekali peserta dengan pengetahuan terkait dengan klasifikasi batuan; geomorfologi; stratigrafi; struktur geologi; air tanah (*groundwater*); kegempaan.

1.3 Tujuan Pembelajaran

1.3.1 Hasil Belajar

Setelah mengikuti semua kegiatan pembelajaran dalam mata pelatihan ini, peserta diharapkan mampu memahami prinsip-prinsip geologi teknik untuk menunjang perencanaan bendungan.

1.3.2 Indikator Hasil Belajar

Setelah mengikuti pembelajaran ini, peserta pelatihan diharapkan mampu:

- a) Menjelaskan klasifikasi batuan
- b) Menjelaskan geomorfologi
- c) Menjelaskan stratigrafi
- d) Menjelaskan struktur geologi
- e) Menjelaskan air tanah (*groundwater*)
- f) Menjelaskan kegempaan

1.4 Materi Pokok dan Sub Materi Pokok

a) Materi Pokok 1: Klasifikasi Batuan

- 1) Umum
- 2) Batuan Beku
- 3) Batuan Sedimen
- 4) Batuan Metamorf (Metamorphic Rocks)
- 5) Penyebaran Batuan di Alam
- 6) Klasifikasi Batuan
- 7) Diskontinuitas
- 8) Permeabilitas
- 9) Klasifikasi Kuat Massa Batuan
- 10) Klasifikasi Berdasarkan Tingkat Pelapukan
- 11) Latihan

12) Rangkuman

13) Evaluasi

b) Materi Pokok 2: Geomorfologi

1) Definisi Geomorfologi

2) Konsep Dasar Geomorfologi

3) Proses Geomorfologi

4) Siklus Perkembangan Sungai

5) Bentang Alam Daerah Terlipat

6) Bentang Alam Daerah Tersesarkan

7) Bentang Alam Karst

8) Bentang Alam Pantai

9) Latihan

10) Rangkuman

11) Evaluasi

c) Materi Pokok 3: Stratigrafi

1) Umum

2) Hukum Dasar Stratigrafi

3) Prinsip Dasar Stratigrafi

4) Latihan

5) Rangkuman

6) Evaluasi

d) Materi Pokok 4: Struktur Geologi

1) Umum

2) Pengertian

3) Cara-Cara Mempelajari Struktur Batuan Sesar (*Faults*)

4) Lipatan dan Gejala Perlipatan

5) Latihan

6) Rangkuman

7) Evaluasi

e) Materi Pokok 5: Air Tanah (*Groundwater*)

- 1) Umum
- 2) Definisi Air Tanah
- 3) Penyebaran Air Tanah
- 4) Pergerakan Air Tanah
- 5) Jenis Air Tanah
- 6) Sistem Akuifer dan Geologi Air Tanah
- 7) Lithologi, Stratigrafi dan Struktur
- 8) Beberapa Jenis Unconfined Aquifer
- 9) Jenis-Jenis Mata Air
- 10) Latihan
- 11) Rangkuman
- 12) Evaluasi

f) Materi Pokok 6: Kegempaan

- 1) Pendahuluan
- 2) Konsep Dasar
- 3) Tipe Sesar
- 4) Gempa Bumi dan Jenisnya
- 5) Jenis Gempa Bumi Berdasarkan Episentrum
- 6) Jenis Gempa Bumi dan Kedalaman Episentrum yang Terjadi di Dunia
- 7) Latihan
- 8) Rangkuman
- 9) Evaluasi



BAB II

KLASIFIKASI BATUAN

Indikator Hasil Belajar:

Setelah mengikuti pembelajaran ini, peserta diharapkan mampu menjelaskan klasifikasi batuan.

2.1 Umum

Seperti telah dijelaskan, berdasarkan kejadiannya, batuan dibagi menjadi tiga jenis, yaitu: Batuan beku, batuan sedimen dan batuan metamorf yang dibahas lebih rinci seperti di bawah.

2.2 Batuan Beku

Batuan beku adalah batuan hasil pembekuan dari magma, yaitu masa cair dan pijar di dalam bumi. Batuan ini merupakan material - material yang membentuk kerak bumi dan terdiri dari kumpulan mineral - mineral pembentuk batuan yang di alam batuan ini mempunyai sifat - sifat yang dipengaruhi oleh mineral - mineral pembentuk batuan tersebut. Sifat - sifat mineral ini ditentukan oleh komposisi kimianya, bentuk kristalnya, bidang belah, berat jenis dan kekerasan.

2.2.1 Bentuk Batuan Beku

a) Batuan Intrusi

Batuan ini terbentuk karena pendinginan magma jauh di dalam bumi, dan sangat penting karena kehadirannya turut membangun kerangka dari kerak bumi. Bentuk intrusi ini dapat dibagi dalam dua golongan, yakni: bentuk diskordan dan konkordan.

Tanda - tanda batuan intrusi adalah mempunyai bentuk kristal yang besar - besar, misalnya batuan granit, diorit dan gabro.

1) Bentuk diskordan

Bentuk intrusi ini memotong batuan yang ada disekitarnya, seperti :

(a) Batolith :

Adalah massa yang terbesar dari batuan beku didalam kulit bumi. Batolith adalah suatu bentuk batuan dalam bumi (sekarang karena pengikisan banyak yang tersingkap di atas permukaan), yang berdinding curam tetapi bertambah lebar ke dalam dan tidak

diketahui apakah mempunyai dasar atau tidak. Batuan tersebut merupakan bentuk - bentuk instruksi yang terbesar. Kebanyakan batolith dijumpai pada inti-inti pegunungan lipatan dan arahnya sejajar dengan memanjangnya pegunungan. Batuan tersebut diinstruksikan pada saat atau segera setelah gejala pembentukan pegunungan berlangsung. Kebanyakan batolith mempunyai susunan granitis atau yang agak serupa. Contoh, di Amerika : Nevada batolith dan Idaho batolith, yang terbesar di AS.

Bagian atas (*roof*) dari batolith bentuknya tidak teratur, dan bergelombang. Bagian yang menonjol ke atas dari permukaan ini disebut "*copulas*", sedangkan yang menggantung ke bawah disebut "*roof pendants*". Batuan - batuan sekitarnya yang tertinggal/terbawa dalam batolith disebut *inclusion*.

(b) Gang (korok) :

Penyebaran dan bentuknya dapat disamakan dengan helai kertas (tipis, panjang dan arahnya vertikal, atau miring), menerobos batuan sekitarnya. Dapat menembus batuan sedimen, atau batuan beku sendiri. Panjangnya dapat mencapai berkilo-kilometer dengan tebal hanya beberapa cm sampai beberapa meter.

Macam - macam gang :

- Pegmatit : Berbutir kasar, komposisi masam, warna muda (kwarsa, felspar dan mika).
- Aplit : Komposisi sama, tetapi berbutir halus.
- Lamprofir : Komposisi lebih basa dari magma asal.

Kebanyakan gang (korok) terjadi akibat penerobosan magma kedalam rekah rekah di dalam batuan yang terbentuk oleh tekanan akibat naiknya magma.

(c) Jenjang vulkanik :

Pada gunung - gunung api yang telah mati, pipa kepundannya diisi oleh batuan yang membeku. Dan bila batuan sekitarnya

hilang karena pengikisan maka akan tinggal batuan beku tadi yang lebih keras dari sekitarnya dan tinggal sebagian jenjang gunung api.

Contoh :

- Plered, Purwakarta.
- Devil Tower (Wyoming, USA) - (Disini batumannya mempunyai struktur tiang (*columnar jointing*, terjadi akibat pendinginan).

2) Bentuk konkordan :

Bagian atas dari badan intrusi letaknya sesuai dengan susunan dari batuan di atasnya. Batuan sedimen mempunyai bidang - bidang lapisan yang sejajar. Jadi kalau bagian atas dari intrusi itu letaknya sejajar dengan lapisan - lapisan di sekelilingnya, adalah konkordan.

Contoh :

- *Sill* (berbentuk pipih, tipis dan penyebarannya lebih luas), magma yang membentuk sill lebih encer dari magma lakolit. Still kadang - kadang disebut juga intrusi lempung. Bedanya dari korok (gang) karena letaknya yang parallel dengan bidang - bidang pelapisan batuan disekitarnya. Kebanyakan sill mempunyai hubungan dengan korok, yang dalam hal ini merupakan saluran pengisinya.
- Lakolit (berbentuk lensa), bila magma naik, mengangkat batuan penutupnya sehingga membentuk kubah, maka bentuk demikian disebut lakolit.

b) Batuan Ekstrusi

Batuan ini terbentuk karena pendinginan magma yang terjadi di permukaan bumi. Tanda - tanda batuan ekstrusi ini :

- Mempunyai bentuk kristal kecil - kecil (Apaniti)
- Tidak berkristal sama sekali berbentuk gelas atau amorf.

Contoh batuan ekstrusi adalah batuan riolit, andesit, basalt batuan yang kristalnya halus sedang yang tidak berkristal adalah batuan obsidian.

2.2.2 Klasifikasi Batuan Beku

Berdasarkan komposisi mineral dan teksturnya, batuan beku dapat diklasifikasikan:

- a) Komposisi Mineral : mineral-mineral yang dikandung oleh batuan, misalnya : batuan beku yang banyak mengandung kwarsa (SiO_2) dan mineral-mineral terang lainnya disebut batuan asam : granit, riolit. Batuan beku yang tidak mengandung kwarsa dan terdiri dari mineral-mineral gelap (*mafic minerals*) dinamakan batuan basa : gabro, basalt.
- b) Tekstur : Keadaan kristalnya (berkristal atau tidak), besarnya kristal, bentuk kristal dan susunan-susunannya.

Berdasarkan kejadiannya, batuan beku dapat dibagi menjadi:

- a) Batuan Intrusi : Batuan yang terbentuk karena pendinginan magma jauh di dalam bumi.

Tanda-tanda: mempunyai bentuk kristal yang besar-besar (terlihat oleh mata biasa),misal : granit, diorit, gabro.

- b) Batuan Ekstrusi : Batuan terbentuk karena pendinginan magma yang terjadi di permukaan bumi.

Tanda-tanda :

- Mempunyai bentuk kristal yang kecil-kecil (aphanitik)
- Atau sama sekali tidak berkristal yang disebut gelas (amorf): obsidian.misal : riolit, andesit, basalt, hasil pendinginan lava.

- c) Batuan Propiri : Batuan yang terbentuk karena pendinginan magma tetapi letaknya tidak jauh dari permukaan bumi.

Tanda-tanda : mempunyai bentuk kristal campuran antara yang besar-besar dan yang halus atau dengan gelas.

Misal : granit propiri, diorit propiri, gabro propiri.

Untuk lebih jelasnya mengenai klasifikasi ini bisa dilihat pada tabel di bawah.

Tabel 2.1. Klasifikasi Batuan Beku Berdasarkan Tekstur dan Komposisi Mineral

TEXTURE (TEXTURE)	CHIEF FELOSPAR ORTOCLASF			CHIEF FELDSPAR PLAGIOCLASE (BANYAK FELDPAP PLAGIOKLAS)				NO FELDSPAR NO FELDSPHATOTD	
	± Biotite ± Hornblende ± Augite			± Biotite (Or) (And) Hornblende Pyroxene				Augite (Or) (And) Hornblende Biotite	
	+ Quartz (Kwarsa)	+ Quartz + Nepheline	+Nepheline	+ Quartz	+ Quartz	+Olivine	+Olivine	+Olivine	+Olivine
PHANERITIC (PANERITIK)	Granite (Granit)	Syenite (Sienit)	Nepheline Syenite	Quartz Diorite	Diorite (Diorit)	Gabbro	Olivine Gabbro	Pyroxenite/ Amphibolite	Peridotite (peridotit)
PORPHYRITIC (PORPIRITIK)	Granite Porphyry (Porpiri)	Syenite Porphyry	Nephiline Syenite Porphyry	Quartz Diorite porphyry	Diorite Porphyry	Gabbro Porphyry	Olivine Gabbro Porphyry	Pyroxenite Amphibolite porphyry	Peridotite porphyry
	Ryolite porphyry	Trachyte Porphyry	Phonolite porphyry	Dacite Porphyry	Andesite Porphyry	Basalt Porphyry	Olivine Basalt Porphyry		
APHANITIC (APANITIK)	Rhyolite (Riolit)	Trachyte (Trachit)	Phonolite (Ponolit)	Dacite (Dasit)	Andesite (Andesit)	Olivine Basalt	Olivine Basalt		
GLASSY (GELAS)	OBSIDIAN, PITCHSTONE, VITROPHYRE (PITROPIR)								

Tabel 2.2. Ciri-Ciri Umum Jenis Batuan

Jenis Batuan →	Bat. Beku	Bat. Sedimen	Bat. Metamorf
Genesa	Kristalisasi dari pem-bekuan magma	Akumulasi material hasil erosi	Rekristalisasi akibat P +/- atau T yang tinggi
Lingkungan / Lokasi pem-bentukan	Di dalam (intrusif) dan di permukaan tanah (ekstrusif)	Terutama pengendapan di dasar laut	Terutama di bagian dalam perut bumi
Tekstur	Mosaik, jalinan antar kristal	Sementasi antar pe-cahan butir	Mosaik, jalinan antar kristal
Struktur Primer	Masif, tak berstruktur	Berlapis	Orientasi kristal akibat tekanan tinggi
Kuat batuan	Tinggi dan merata	Bervariasi, umumnya rendah	Bervariasi, umumnya tinggi. Orientasi kristal dapat memperlemah batuan
Batuan utama	Granit, Basalt	Batu pasir, batu gam-ping, batu lempung	Batu sekis, batu sabak, batu marmer

SOEDARYANTO Doc, '09

Tabel 2.3. Klasifikasi Batuan Beku Secara Umum

Nama Batuan			Genesa	Bentuk	Pendinginan	Butiran	Ukuran
Rhyolite	Andesite	Basalt	Ekstrusif	Lava	Cepat	Halus	< 0,1 mm
Porphiry	-	Dolerite	Intrusi kecil	Dyke, Sill	Sedang	Sedang	0,1 – 2 mm
Granit	Diorite	Gabbro	Intrusi besar	Batholith	Pelan	Kasar	>2 mm
70 % Asam Kental Eksplusif 3% 10% Cerah	52%-66% Intermed.	45%-50% Basa Cair Lelehan 12% 50% Gelap/Kelam	Kandungan Silika Klasifikasi Kekentalan Magma Sifat Gunung Api Kandungan besi Mineral Mafik Warna	Diferensiasi Magma: Magma Basaltik (Basa) ↓ Magma Andesitik (Intermediate) ↓ Magma Rhyolitik (Asam)			

SOEDARYANTO Doc, '09

Tabel 2.4. Klasifikasi Batuan Beku

GRUP →	BATUAN BEKU ASAM		BATUAN BEKU INTERMEDIATE		BB. BASA	BB. ULTRA B.
Fam bat. → Tekstur ↓	GRANIT	GRANODIORIT	SYENIT	DIORIT	GABBRO	ULTRA BASA
Kasar (> 2 mm)	Granit	Granodiorit	Syenit	Diorit	Gabbro Norit	Peridotit Pyroksenit Serpentenit
Medium (0,1 – 2,0 mm)	Mikro Granit	Mikro Grano-diorit	Mikro Syenit	Mikro Diorit	Dolerit (Diabas)	Picrite
Halus (< 0,1 mm)	Rhyolit	Dasit	Tracyt	Andesit	Basalt	Limburgit
Klastik	Tuff (< 4,0 mm) Agglomerat (> 4,0 mm)					
Kndgn. Silikat	(berkurang) →					
Warna	← Cerah → Kelayam/Gelap					

. SOEDARYANTO Doc, '09

Tabel 2.5. Klasifikasi Batuan Piroklastik (Hasil Kegiatan Gunung Api)

Name	Unconsolidated Material	
	Size of Fragments	Character of Fragments
Volcanic dust	Mostly less than 0.25 mm in diameter	Ash and dust
Volcanic ash	Mostly 0.25 to 4.0 mm in diameter	May contain fragments of molten material hardened in flight
Lapilli	Mostly 4.0 to 32.0 mm in diameter	May contain bombs (molten material hardened in flight)
Name	Consolidated Material	
	Constituents	
Tuff	Volcanic dust and volcanic ash	
Volcanic breccia	Lapilli and blocks	
Tuff-breccia	Same as above except that much of the matrix is less than 4.0 mm in diameter	
Agglomerate	Rounded or subangular fragments larger than 4.0 mm in diameter set in finer matrix	
Volcanic conglomerate	Similar to volcanic breccia but the fragments are rounded by action of running water	

(After Wentworth and Williams) 24

2.3 Batuan Sedimen

Batuan sedimen terbentuk karena proses pengendapan dari hasil rombakan batuan-batuan yang telah ada. Hasil rombakan-rombakan tersebut dapat diendapkan langsung ditempat asal batuan aslinya atau di bawa oleh air, angin, gletser air laut sebagai larutan, suspensi dan lain-lain dan diendapkan di tempat lain.

Pada mulanya batuan ini diendapkan sebagai material-material yang lepas, tetapi kemudian terjadi proses litifikasi (pemadatan) karena faktor waktu dan adanya endapan - endapan baru di atasnya.

Metoda pengklasifikasian batuan sedimen, ada dua. Pertama adalah metoda deskriptif yang mengklasifikasikan berdasarkan informasi hasil pemerian berbagai karakter dan kenampakan batuan, tanpa memperdulikan mulajadinya. Kedua, adalah metoda genetik yang mengklasifikasikan batuan berdasarkan mulajadinya. Klasifikasi genetik akan dapat diterapkan apabila mulajadi suatu batuan memang diketahui dengan pasti.

Banyak ahli mengklasifikasikan batuan sedimen ke dalam 4 (empat) golongan besar, yaitu: konglomerat, batupasir, karbonat (batuangamping dan dolostone), serta batulumpur (serpih). Pembagian sederhana itu didasarkan pada komposisi dan besar butirnya. Perlu diketahui bahwa ada tipe - tipe batuan sedimen lain yang tidak masuk pada salah satu golongan di atas. Sebagai contoh, batuan yang tersusun oleh campuran dari partikel karbonat dan terigen, batubara, batuan silikaan, evaporit, sedimen pembawaan-besi, sedimen fosfatik, dan batuan batuan yang tekstur asalnya telah teralterasi.

Secara garis besar jenis batuan sedimen yang terdapat di alam ini dapat dibedakan menjadi beberapa jenis, seperti dijelaskan di bawah.

2.3.1 Batuan Klasik Terigen

Batuan terigen mencakup semua batuan sedimen yang tersusun oleh butiran - butiran hasil proses - proses pelapukan fisika, kimia, dan biologi batuan tua. Butiran - butiran itu akan mengalami pengangkutan dan pengendapan secara

fisik. Batuan klastik terigen merupakan kelompok batuan yang sangat besar dan meliputi batuan dengan berbagai besar butir, mulai dari batulumpur hingga konglomerat. Variasi batuan ini terjadi karena dipengaruhi oleh ukuran butir atau teksturnya. Karena itu, batuan klastika terigen diklasifikasikan berdasarkan ukuran, komposisi, dan tekstur butirannya.

Aspek tekstur yang paling penting artinya dalam klasifikasi batuan klastik terigen ialah besar butir. Klasifikasi yang didasarkan pada besar butir tersebut merupakan pembagian orde-pertama yang akan banyak membantu para sedimentologian dalam menafsirkan dinamika proses pengangkutan sedimen. Para ahli telah mengajukan berbagai istilah yang dapat digunakan untuk menamakan ukuran - ukuran partikel berdasarkan diameternya.

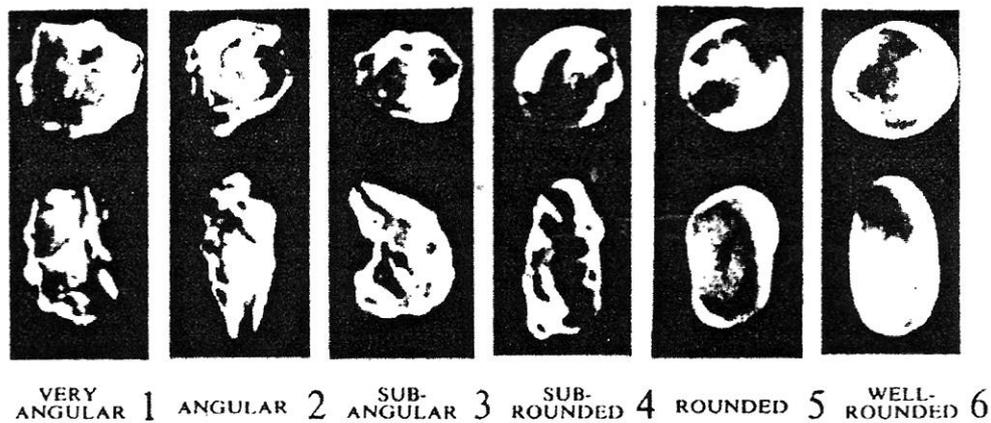
Tabel 2.6. Skala Tingkatan Ukuran Partikel/ Butiran

<i>mm</i>	ϕ	<i>Wentworth (1922)</i>	<i>US Bureau of Soils</i>	<i>ASTM (1935)</i>	<i>BS 1377 (1967)</i>
2048	-11				
1024	-10	boulders			
512	-9				
256	-8	-----			cobbles
128	-7	cobbles			
64	-6	-----		--- 76.1 ---	--- 60 ---
32	-5	pebbles	gravel	c	c
16	-4			gravel 19.0	--- 20 ---
8	-3			f	m
4	-2	-----		--- 4.76 ---	gravel 6
2	-1	granules		c	f
1	0	vc		--- 2.00 ---	--- 2 ---
		c		m	c
0.5	1	-----	-----		--- 0.6 ---
		c	c		
0.25	2	sand m	sand m	sand -0.42	sand m
		f	f		0.2
0.125	3	-----	-----	f	f
		vf			
0.0625	4	-----	--- 0.1 ---	--- 0.076 ---	--- 0.06 ---
			vf		
0.0313	5		--- 0.05 ---		
0.0156	6	silt	silt	silt	silt c
					m
0.0078	7		--- 0.005 ---	--- 0.005 ---	--- 0.006 ---
0.0039	8				
0.0020	9				--- 0.002 ---
					f
0.00098	10	clay	clay	clay	clay
0.00049	11				
0.00024	12				

†vc = very coarse; c = coarse, m = medium, f = fine, vf = very fine.

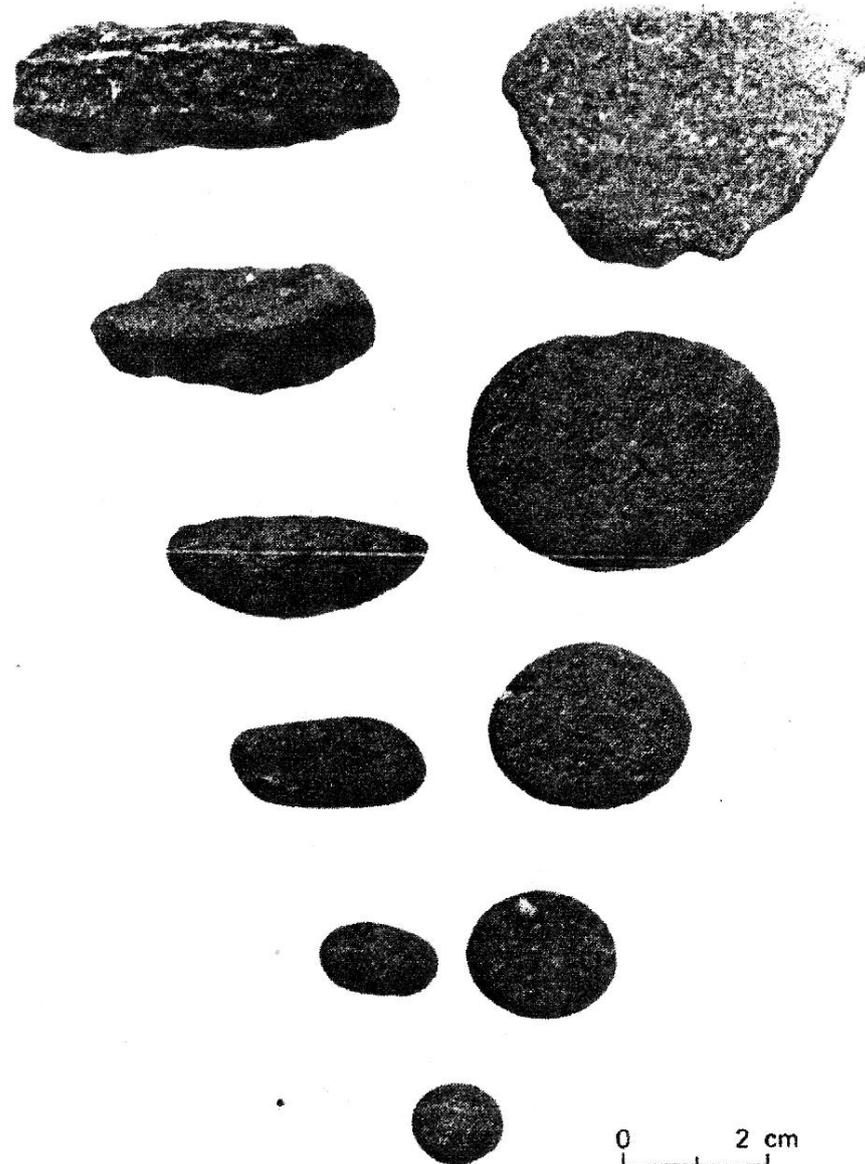
Sebagian besar batuan sedimen yang tersusun oleh butiran berukuran pasir atau lebih besar dari itu dinamakan dengan nama kombinasi dari komposisi mineral dan besar butirannya. Klasifikasi yang didasarkan pada mineralogi butir nampaknya lebih sederhana. Tipe - tipe batuan yang biasa ditemukan dapat dilihat dalam diagram segitiga, dimana partikel kuarsa, felspar dan fragmen batuan merupakan komponen - komponen utama batuan tersebut.

Batupasir dan konglomerat sering diklasifikasikan berdasarkan tekstur butiran seperti ukuran, bentuk (kebundaran dan kebolaan), serta tekstur permukaan. Kebundaran (*roundness*) didefinisikan sebagai ada tidaknya sudut - sudut tajam dalam suatu butiran.



Gambar 2.1. Komparator Kebundaran

Metode paling sederhana yang biasa dipakai para sedimentologian adalah cara perbandingan visual suatu butiran teramati dengan suatu “komparator” bentuk butir. Metoda itu biasanya digunakan di lapangan, dapat dilakukan dengan mudah, dan seringkali memberikan hasil yang cukup akurat.



Gambar 2.2. Bentuk Kebolaan dan Kebundaran Butiran Batuan

a) Konglomerat/ Rudit

Konglomerat (*conglomerate*), atau sering disebut juga rudit (*rudite*), tersusun oleh suatu kerangka butiran yang berukuran lebih halus dan terletak diantara butiran-butiran besar itu. Sebagian besar (lebih dari 25%) butir konglomerat berukuran lebih dari 2 mm. Butiran-butiran tersebut dapat berupa kerikil (*pebble*), kerakal (*cobble*), dan bongkah (*boulder*), atau yang secara kolektif disebut berangkal (*gravel*).

Istilah - istilah yang biasa digunakan untuk menamakan batuan sedimen yang tersusun oleh partikel berangkal adalah konglomerat, fanglomerat

(*fanglomerate*), breksi (*breccias*), *sharpstone*, *rounstone*, *punddingstone*, diakmitit (*diacmitite*), diakmiton (*diacmiton*), dan tillit (*tillite*). Seperti juga batuan sedimen yang lain, istilah-istilah itu bersifat deskriptif, meskipun ada juga diantaranya yang mengimplikasikan aspek genetik batuanya.

Istilah konglomerat dipakai sebagai nama umum batuan-batuan yang mengandung lebih dari 25% partikel berukuran lebih dari 2 mm. Batuan yang mengandung kurang dari 25% partikel berukuran lebih dari 2 mm dinamakan batupasir atau batulumpur, kemudian diberi nama campurannya. Misalnya “batupasir kerikilan”, “lumpur kerakalan”. Demikian pula sebaliknya.

Istilah breksi digunakan untuk menamakan konglomerat yang tersusun oleh butiran yang menyudut (*angular*). Konglomerat terdiri dari matriks dan butiran. Dalam hubungan ini, matriks didefinisikan sebagai butiran-butiran yang lebih halus dan terletak diantara butiran-butiran. Jika butiran-butiran “mengandung” di atas matriks, tidak saling bersentuhan satu sama lain, maka dikatakan bahwa batuan itu didukung-matriks. Sebagai contoh, diamikton adalah konglomerat didukung-matriks yang mula-jadinya tidak diketahui secara pasti, meskipun orang sering menghubungkannya dengan aliran lumpur. Sebaliknya, batuan klastik kasar yang tersusun oleh butiran-butiran yang saling bersentuhan satu sama lain disebut batuan didukung-butir. Batuan seperti itu tidak mempunyai matriks atau matriksnya hanya mengisi ruang-ruang pori antar butirnya.

Cara lain untuk memerikan/mendeskripsi konglomerat ialah dengan menyatakan komposisi butirannya. Berdasarkan komposisinya konglomerat dapat dibagi menjadi dua tipe, yaitu konglomerat polimik atau monomik (semua butiran mempunyai komposisi sama) dan konglomerat polimik (butirannya berupa partikel batuan atau mineral dengan berbagai komposisi).

b) Batu pasir

Salah satu skema klasifikasi yang paling sering digunakan orang mengkombinasikan komposisi, frekuensi relatif butirannya (kuarsa, felspar, dan fragmen batuan), dan prosentasi matriksnya. (Dott, 1964; Petti john dkk, 1972). Dalam hal ini, istilah matriks didefinisikan sebagai butiran yang lebih kecil dari 0,030 mm. Jadi, material yang menjadi matriks dalam batupasir adalah lumpur. Klasifikasi ini memisahkan batupasir yang matriks lumpurnya kurang dari 10% dengan batupasir lumpuran (*muddy sandstone or wacke*) yang matrik lumpurnya 10 - 50 persen. Batupasir lumpuran atau *wacke* banyak menarik perhatian para ahli karena kandungan matriksnya yang tinggi, sedangkan dari berbagai hasil studi diketahui bahwa batuan yang merupakan campuran dari lanau, lempung, dan pasir seperti itu jarang ditemukan dalam lingkungan masa kini. Pada kebanyakan lingkungan pengendapan, pasir umumnya terpilah baik karena selama pengkonsentrasian butiran pasir, partikel - partikel yang lebih halus terangkut sebagai beban suspensi dalam fluida pengangkut atau pengendap.

Istilah *grewak (greywacke)* sering digunakan untuk menamakan batuan yang merupakan campuran dari pasir dan lumpur. Selain itu, ada beberapa penulis menganggap bahwa *grewak* harus mempunyai matriks mineral klorit yang berwarna hijau. Karena klorit merupakan mineral metamorf, bukan sedimen. Meski demikian, *grewak* dengan butir-butir klorit yang tererosi dan terangkut dari terrain metamorfik tingkat-rendah jelas merupakan batuan sedimen. Lebih jauh, kata *grewak* juga dipakai untuk menamakan suatu batuan yang terbentuk oleh arus turbid. Kerancuan akan timbul karena sebenarnya tidak semua batupasir lumpuran terbentuk oleh proses turbidit. Ada batupasir lumpuran yang terbentuk oleh proses lain.

Warna batupasir kuarsa bermacam-macam dan tidak memiliki arti penting dalam klasifikasi. Hampir semua batupasir kuarsa mengandung sedikit mineral berat. Banyak diantara mineral berat itu merupakan mineral pembawa besi (*iron-bearing mineral*) seperti magnetit, ilmenit, dan garnet. Apabila mineral - mineral itu tidak terlalu banyak, warna batupasirnya putih

salju dengan bintik - bintik kelabu. Apabila pasir itu teroksidasi, misalnya oleh kerja air tanah kaya-oksigen yang mengalir melalui pori-porinya, maka beberapa mineral yang secara kimiawi tidak stabil akan teroksidasi. Warna oksidasi dari besi adalah merah sehingga apabila batupasir kuarsa teroksidasi, maka selain warna putih salju juga akan terlihat warna kemerahan atau kecoklatan. Sebenarnya, tidak sedikit apa yang disebut sebagai batupasir merah (*red sandstone*) adalah batupasir kuarsa yang teroksidasi. Batupasir kuarsa yang sedikit mengandung material organik dapat berwarna kehitaman, hal mana mengimplikasikan bahwa batupasir tersebut telah tereduksi selama pengendapan atau diagenesa.

c) Batu lumpur

Batu lumpur (*mudrocks*), yaitu batuan sedimen klastik terigen yang terutama disusun oleh lumpur. Batuan ini menempati 80% dari semua jenis batuan sedimen. Istilah-istilah yang bisa digunakan untuk menamakan sebagai jenis batulumpur adalah batulumpur (*mudstone*), serpih (*shale*), batulempung (*claystone*), batulanau (*siltstone*), argilit (*argillite*), dan silit (*siltite*). *Mudrocks* mencakup semua batuan tersebut di atas dan sinonim dengan istilah *mudstone* (karena itu, istilah *mudrock* diterjemahkan sebagai batulumpur). Istilah serpih mengimplikasikan pengertian batulumpur yang memperlihatkan gejala membelah (*fissility*), yaitu suatu kecenderungan untuk pecah di sepanjang bidang - bidang perlapisan yang sangat rapat. Serpih dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu serpih lempung (*clay shale*) dan serpih lanau (*silt shale*). Tergantung pada besar butir yang partikel dominan. Istilah batulempung atau batulanau mengimplikasikan perlapisan massif dan berturut - turut. Terutama disusun oleh butiran berukuran lempung dan lanau. Istilah argilit dan silit, berturut - turut, dipakai untuk menamakan batulempung dan batulanau yang sangat kompak dan sedikit termetamorfosa.

Seperti halnya batupasir, batulumpur berasal dari berbagai jenis batuan sumber yang terpecah-pecah menjadi partikel-partikel berukuran lempung dan lanau, partikel-partikel mana umumnya kemudian terangkut sebagai beban suspensi. Besar butir lumpur mencerminkan komposisinya. Kuarsa,

sebagai contoh, secara mekanik bersifat resisten karena tidak memiliki belahan yang baik dan hampir tidak pernah hancur menjadi partikel yang berukuran lanau. Mineral - mineral lempung merupakan jenis material yang banyak menyusun batulumpur karena mineral-mineral tersebut merupakan sebagian kecil material yang dapat hadir dalam ukuran lempung.

Pada hampir setiap batulumpur, mineral lempung menjadi material penyusun yang dominan. Mineral tersebut dapat terbentuk sebagai hasil alterasi kimia dari felspar, mika, dan mineral-mineral lempung lain. Kadang-kadang mineral lempung tersebut dapat digunakan untuk menentukan sejarah pelapukan dan diagenesa batulumpur karena iklim, temperatur, curah hujan, vegetasi, dan kimia tanah yang berbeda akan menghasilkan kumpulan mineral yang berbeda-beda pula. Jenis-jenis mineral lempung yang penting untuk diketahui adalah illit, monmorilonit, dan berbagai jenis mineral lempung dari kelompok smektit, kaolinit, dan gibbsit.

Warna dari kebanyakan batulumpur dikontrol oleh tingkat dan keadaan oksidasi mineral-mineral besi serta oleh kandungan material organik. Meskipun besi hanya merupakan material penyusun minor, namun warna batulumpur umumnya mencerminkan misbah material sedimen yang teroksidasi terhadap material sedimen yang tereduksi. Keadaan oksidasi besi dalam batuan berbutir halus lebih mencerminkan lingkungan diagenetiknya, bukan lingkungan oksidasi atau reduksi. Serpih yang ada dalam sekuen-sekuen batulumpur yang diendapkan pada berbagai lingkungan memperlihatkan adanya bintik-bintik merah atau hijau yang mengindikasikan terjadinya oksidasi heterogen dalam sedimen tersebut.

d) Batuan Karbonat

Seperti telah dikemukakan sebelumnya, kelompok batuan klastik terigen memiliki besar butir dan komposisi yang sangat bervariasi. Batuan ini dapat diklasifikasikan berdasarkan tekstur atau komposisi butirannya. Bila dilihat dari segi teksturnya, sebagian besar batuan karbonat juga dapat

dimasukkan ke dalam golongan batuan klastik terigen. Namun, batuan karbonat bersifat unik karena material utama yang menyusunnya terangkut sebagai bagian dari beban larutan dan tidak memerlukan batuan sumber lokal. Karena itu, kita akan menganggap batuan ini merupakan kelompok batuan tersendiri.

Berbeda dengan material penyusun batuan klastik terigen, material penyusun batuan karbonat terutama berupa ion-ion kalsium dan bikarbonat yang terlarut dari batuan yang terlapukan. Ion-ion tersebut kemudian diekstraksikan dari larutan, melalui proses organik atau anorganik, membentuk batugamping atau dolostone. Selain binatang, banyak ganggang marin juga mengendapkan pelat-pelat kalsium karbonat dalam dinding selnya. Jadi, ganggang marin juga menghasilkan sedium bioklasik. Sebagai contoh, dalam struktur sel dinding ganggang hijau *Penicillus* yang hidup dalam air tenang dapat ditemukan butir-butir karbonat dalam bentuk jarum aragonite. Ketika organism ini mati, jarum-jarum karbonat ini akan membentuk lumpur gamping yang diendapkan pada lingkungan energy rendah seperti laguna dan teluk.

Bagian - bagian yang keras dari rangka organisma marin, setelah organisma tersebut mati, dapat terhancurkan melalui abrasi mekanis dan pelapukan. Meskipun bagian keras dari tubuh setiap organisma memiliki potensial untuk menjadi partikel-partikel sedimen karbonat, namun cangkang-cangkang invertebrata marin merupakan mineral yang paling sering menjadi sumber sedimen tersebut karena cangkang - cangkang itu sangat melimpah. Butir-butir rombakan cangkang itu praktis menempati ruah batugamping bioklastik. Salah satu contoh dari sedimen tipe ini adalah pasir "*shell hash*" yang ditemukan di lingkungan pantai karbonat modern seperti pantai Florida. Sedimen pantai tersebut tersusun oleh berbagai jenis material rombakan cangkang, termasuk fragmen-fragmen *sea urchin (echinodermata)*, pelecypoda, gastropoda, crinoida, koral, ganggang koral, dan bryozoa. Mikroorganisma-mikroorganisma seperti ganggang, jamur, dan bakteri juga memegang peranan yang penting dalam proses penghancuran butir-butir cangkang organisma lain

sedemikian rupa sehingga berbagai mikro-organisma ini sangat penting artinya dalam pembentukan lumpur gamping.

Batuan karbonat mencakup batugamping (CaCO_3 ; kalsit atau aragonite) dan dolostone (Ca-MgCO_3 ; dolomite). Sebagian batugamping dapat dianggap sebagai batuan klastik karena sebelum diendapkan, partikel-partikel penyusunnya telah terangkut. Sebagian besar batuan karbonat tersusun oleh campuran partikel yang telah terangkut oleh proses-proses fisik dan kemudian tersemenkan atau terrekristalisasi secara in situ. Karena itu, aspek yang patut diperhatikan dalam klasifikasi batuan karbonat bukan hanya butir-butir yang telah terangkut, tetapi juga semennya. Salah satu klasifikasi yang sederhana menekankan bahwa batugamping sebenarnya tidak lebih dari batuan klastik yang tersusun oleh butir-butir karbonat. Sistem klasifikasi ini memberikan nama-nama yang berbeda berdasarkan besar butirannya. Jadi, kalsirudit (*calcsirudite*) adalah batuan karbonat yang ekuivalen dengan konglomerat terigen, tetapi tersusun oleh butir-butir karbonat yang berukuran lebih dari 2 mm. Kalkarenit (*calcarenite*) adalah batuan karbonat yang ekuivalen dengan batupasir terigen, tetapi tersusun oleh butir-butir karbonat yang berukuran lebih dari 0,063-2 mm. Kalsilulit (*calcilutite*) adalah batuan karbonat yang ekuivalen dengan batulumpur terigen, tetapi tersusun oleh butir-butir karbonat yang berukuran kurang dari 0,063 mm.

Karena batuan karbonat mudah terrekristalisasi, maka batugamping umumnya akan berubah bila terkubur, meskipun dangkal. Selama rekristalisasi, mineral-mineral karbonat dapat teralih-tempatkan (*replaced*) oleh silika dan mineral-mineral lain. Kita perlu hati-hati dalam membedakan kalsit sekunder dengan kalsit spar. Alterasi sekunder seringkali menghasilkan dolostone yang terbentuk selama rekristalisasi batugamping dan terjadinya penammaterial magnesium. Dolostone primer, yaitu batuan yang disusun oleh dolomit primer, seperti juga dolomit yang terbentuk melalui rekristalisasi, dapat dinamakan berdasarkan klasifikasi standar untuk batugamping, tetapi kemudian ditambahkan

awalan “Dolo”. Sebagai contoh, suatu batuan yang tersusun oleh lumpur dolomit dapat dinamakan dolomikrit.

2.3.2 Batuan Sedimen Silikaan

Batuan sedimen silikaan adalah kelompok batuan sedimen yang terutama disusun oleh silika opel dan kalsedon. Kelompok batuan ini dapat diklasifikasikan berdasarkan tekstur atau komposisi butirannya. Namun, bila dilihat dari teksturnya, batuan ini merupakan batuan yang berbutir halus sehingga tidak berbeda dengan batulumpur yang termasuk ke dalam batuan klastik terigen. Karena itu, kelompok batuan ini terutama diklasifikasikan berdasarkan komposisinya.

Bagian-bagian keras dari cangkang mikro organisma bersel satu merupakan sumber dari butiran - butiran sedimen laut dalam dan lakustrin. Sedimen tersebut umumnya berukuran lanau atau lempung. Organisma-organisma dengan cangkang (*test or shell*) silika merupakan unsur utama yang menyusun rijang (*chert*) laut dalam. Cangkang diatom, radiolarian, dan spikula spon (*sponge*) merupakan material yang biasanya menjadi sumber selut karbonat atau selut silikaan, tergantung pada taxa organismanya.

Butir-butir silika juga dapat bercampur dengan tipe-tipe pasir atau lumpur lain, baik yang berupa terigen, maupun karbonat, membentuk berbagai jenis sedimen. Sedimen yang merupakan campuran dari butir silika, material terigen, dan material karbonat itu ialah porselaint (*porcellanite*), batulumpur silikaan (*siliceous mudstone*), batugamping silikaan (*siliceous limestone*), dan rijang karbonat (*carbonaceous chert*). Penamaan sedimen campuran ini ditentukan berdasarkan jumlah dan tipe komponen-komponen penyusunnya. Biasanya rijang sering dinamakan berdasarkan warnanya. Sebagai contoh, jaspis (*jasper*) adalah rijang merah dan batuapi (*flint*) adalah rijang hitam.

2.3.3 Presipitat Kimia

Presipitat kimia (*chemical precipitates*) adalah batuan yang tersusun oleh mineral-mineral yang dipresipitaskan dari larutan melalui proses-proses anorganik. istilah lain yang sering dipakai untuk menamakan kelompok batuan sedimen ini adalah evaporit (*evaporate*). Batuan-batuan yang termasuk ke

dalam presipitat kimia adalah gipsum yang berlapis (*bedded gypsum*), anhidrit (*anhydrite*), halit (*halite*), dan berbagai jenis garam borat (*borates*). Travertin (*travertine*), tufa (*tufa*), sinter silikaan (*siliceous sinter*), dan sinter karbonata (*carbonaceous sinter*) yang seluruhnya atau sebagian besar tersusun oleh presipitat kimia juga dapat dimasukkan ke dalam kelompok batuan ini. Seperti yang kita lihat, nama dari setiap jenis batuan yang termasuk ke dalam kelompok batuan sedimen presipitat kimia diambil dari nama mineral pembentuknya. Nama-nama yang lain seperti travertine, tufa, dan sinter tidak mengimplikasikan mineralogi batumannya, namun mengimplikasikan arti genetik, yaitu sebagai endapan yang terbentuk di sekitar mata air.

2.3.4 Batuan Sedimen Fosfatik

Batuan sedimen fosfatik adalah batuan yang memiliki berbagai macam tekstur dan mengandung berbagai bentuk fosfat organik dalam jumlah yang cukup banyak. Batuan sedimen fosfatik dapat diberi nama berdasarkan tekstur atau komposisi komponen pembentuknya. Batuan fosfatik umumnya kaya akan mineral apatit dan beberapa ahli (a.l. Murray, 1981) membedakan antara sedimen fosfatik menjadi dua jenis : pertama, yang mengandung apatit 20% - 50%; kedua, yang mengandung apatit > 50%. Sedimen yang mengandung apatit lebih dari 50% itu disebut fosforit (*phosphorite*). Sedimen fosfatik ada yang mengandung modul-modul fosfat, sedangkan jenis yang lain mengandung "oid" fosfat.

2.3.5 Sedimen Besian

Sedimen besian (*iron-bearing sediments*) juga ditemukan dalam rekaman stratigrafi, terutama dalam sekuen - sekuen batuan sedimen yang berumur Proterozoikum Awal. Sedimen-sedimen ini umumnya berbutir halus, berlapis sangat tipis, dan umumnya nampak sebagai perselingan laminasi-laminasi siderite, limonit, rijang, dan magnetit. Karena tersusun oleh laminasi-laminasi seperti itu, maka batuan ini sering disebut formasi pita besi (*iron banded formation*). Dalam banyak hal, proses pembentukan batuan ini mirip dengan proses pembentukan sedimen karbonat masa kini.

2.3.6 Batubara

Batubara sebenarnya bukan merupakan batuan dalam pengertian teknis karena tidak mengandung mineral anorganik yang memiliki struktur kristal tertentu. Namun, karena batubara cukup melimpah dan banyak ditemukan dalam sekuen-sekuen batupasir dan serpih, maka setiap stratigrafiwan perlu memiliki pengetahuan tentang klasifikasi batubara.

Batubara merupakan produk pengakumulasian dan terkompaksikan material-material, rombakan tumbuhan dan bagian-bagian tubuh tumbuhan multiseluler. Batubara ini diberi nama sesuai dengan derajat kompaksi dan alterasi molekul-molekul organiknya. Sedimen karbonat dapat dipandang merupakan campuran dari lempung, gambut (rombakan tumbuhan yang belum terkonsolidasi), dan *sapropel* (sedimen berbutir halus yang tersusun oleh bakteri dan ganggang).

Ketika bagian-bagian tubuh suatu flora terkompaksi, volumenya dapat mengalami penyusutan hingga 50%. Ketika kompaksi terjadi, akan dilepaskan hidrokarbon volatil dalam bentuk metana. Pada saat itu, yang akan tersisa adalah material yang hampir merupakan karbon murni. Mineral sisa itu disebut antrasit (*anthrasite*). Batubara yang secara komersial paling baik adalah batubara yang sedikit mengandung debu dan belerang serta kompak. Batubara ini disebut *bituminous*.

Tabel 2.7. Klasifikasi Batuan Sedimen Berdasarkan Tekstur

TEXTURAL CLASSIFICATION OF SEDIMENTARY ROCKS
KLASIFIKASI BATUAN SEDIMEN BERDASARKAN TEKSTUR
After R.C. Muelenz.

Fabric (Texture) / Tekstur	Essential Components / Komponen-komponen yang penting.	Identification Characteristic / Sifat-sifat Identifikasi	Rock Name / Nama Batuan
Clastic (Detrital) / Klastik	Volcanic material	(Frag. > 32 mm Particles < 4 mm	Agglomerate, Breccia Tuff
	Gravel	Abraded pieces > 4 mm > 50%, clay < 25%.	Conglomerate
	Rock, mineral frag.	Angular pieces > 4 mm > 50% clay < 25%	Breccia
	Rock frag, and clay	High size range, usually unsorted matrix of clay, sometimes sand, but usually in excess of frag.	Till or tillits (depends on compaction)
	Sand	Particles < 4 mm > 1/16 mm > 50% clay < 25%	Sandstone, arkose quartzite, gray-wacke.
	Detrital calcite grains	Calcite > 50%, clay < 25%	Limestone
	Silt	Particles < 1/16 mm > 50%, clay < 25%, massive or stratified.	Siltstone
Clay minerals	Clay minerals	Clay 25%, massive to stratified Mostly clays and sericite, incipient recrystallization	Claystone Argillite
		Montmorillonite clays 75% Kaolinite clays 75% Very fine grained; carbonate 25% - 75%	Bentonite Kaolin Marl, marlstone
Crystalline / Kristalin	Calcite	Carbonate > 50% of which calcite > 50%	Limestone Chalk
	Calcite and clay Carbonates	Fine to mc, porous firm, friable Very fine grained; calcite 25-75% Carbonates > 25%, compact to earthy	Marl, Marlstone Caliche
	Dolomite	Carbonate > 50%, of which dolomite > 50%, coarse to fine, compact.	Dolomite
	Chalcedony	Chalcedony > 25%, mc, to crc, conchoidal fracture, compact	Chalcedonic chert.
Amorphous / Non Kristalin	Opal	Opal > 50%, massive to banded compact	Opal, Opaline chert.
	Amorphous carbon	Fibrous or spongy or compact, carbonized plant remains > 50%, black brown.	Coal
Biofragmental / Fragmen-fragmen sisa Fauna/flora	Calcareous shells Diatom tests ↓	Whole or fragmental shells 50% Diatom tests 50%	Coquina Diatomite, Diatomaceous earth.
	Foraminifera tests ↑	Foraminifera tests > 50%	Foraminiferal limestone
	Algal structures ↓ Coral structures ↓ Partial or completely carbonized plant remains	Algal structures > 50% Coral structures > 50% Brown to black, spongy or compact, plant remains easily visible.	Algal limestone Coral limestone Peat (gambut)
	Tests are the protective covering of some invertebrates. Algae are cellular aquatic plants. Coral is the solid secretion made of calcium carbonate from small invertebrates.	Black, massive to banded, compact almost metallic appearance Brown to black, fibrous to compact	Bituminous or anthracite Lignite

Foraminifera are very tiny, many celled shells which have numerous holes or pores.
Diatom are microscopic plants that secrete siliceous materials.

frag. = fragments ; mc = microcrystalline
crc. = cryptocrystalline, > = greater than or over ; < = less than or under.

Tabel 2.8. Klasifikasi Batuan Sedimen Klastik

Limiting Dimensions, in Millimeters	Particles	Aggregate	Lithified Product
256 and larger	Boulder	Boulder gravel	Boulder conglomerate
64 to 256	Cobble	Cobble gravel	Cobble conglomerate
4 to 64	Pebble	Pebble gravel	Pebble conglomerate
2 to 4	Granule	Granule gravel	Granule conglomerate
1 to 2	Very coarse sand grain	Very coarse sand	Very coarse sandstone
1/2 to 1	Coarse sand grain	Coarse sand	Coarse sandstone
1/4 to 1/2	Medium sand grain	Medium sand	Medium sandstone
1/8 to 1/4	Fine sand grain	Fine sand	Fine sandstone
1/16 to 1/8	Very fine sand grain.	Very fine sand	Very fine sandstone
1/256 to 1/16	Silt Particle	Silt	Siltstone
1/256	Clay particle	Clay	Claystone

(By permission from Principles of Sedimentation, by W.H.Twenhofel)

2.4 Batuan Metamorf (*Metamorphic Rocks*)

Batuan Metamorf, adalah batuan yang terbentuk karena adanya perubahan/ pembentukan baru komposisi mineral-mineral dalam batuan asal, tanpa melalui fasa cair dahulu. Proses perubahan dalam kondisi padat dinamakan proses metamorfosa. Proses metamorfosa dapat menghasilkan jenis batuan yang kondisinya baru sama sekali berbeda dari batuan asalnya.

2.4.1 Faktor-Faktor Pengaruh

Faktor-faktor yang menyebabkan proses metamorfosa ialah :

- Temperatur (t)
- Tekanan (p)
- Larutan-larutan kimia yang aktif.

2.4.2 Batuan Asal

Batuan asal yang membentuk batuan metamorf terjadi dari batuan yang ada sebelumnya, jadi dapat berupa batuan beku, batuan sedimen atau batuan metamorf.

2.4.3 Penggolongan Proses Metamorfosa

Berdasarkan cara terjadinya, batuan metamorf dapat digolongkan menjadi:

a) **Metamorfosa Regional (*Regional Metamorphism*)**

Terjadi karena proses pembentukan pegunungan-pegunungan lipatan batuan yang telah ada terlipat oleh gaya-gaya yang kuat dan terjadi kenaikan temperatur yang tinggi proses metamorfosa. Jadi dalam hal ini, faktor tekanan dan temperatur memegang faktor yang dominan.

b) **Kontak metamorfosa (*Contact Metamorphism*)**

Terjadi karena adanya bersinggungan magma yang cair panas dengan batuan yang ada disekelilingnya. Jadi faktor temperatur (t) yang memegang peranan.

c) **Batuan-batuan metamorf yang dihasilkan**

Dari kedua proses metamorfosa tersebut akan menghasilkan batuan-batuan yang berlainan, misalnya : *slate* (batu sabak) *phyllit*, kwarsit, marmer, sekis, gneiss, dll.

2.4.4 Klasifikasi Batuan Metamorf

Batuan metamorf dapat digolongkan menjadi dua bagian besar :

a) Yang mempunyai foliasi (*Foliated*)

Misal : Gneis, sekis, sabak (*slate*), *phyllit*.

Tanda : Mempunyai bidang-bidang perlapisan akibat orientasi mineral-mineral.

b) Yang tidak berfoliasi (*Non foliated*)

Misal : Kwarsit, marmer.

Tanda : Umumnya terdiri dari butiran-butiran kristal masif.

ORIGINAL ROCK	METAMORPHIC ZONE				
	<i>Chlorite</i>	<i>Biotite</i>	<i>Almandite</i>	<i>Staurolite</i>	<i>Sillimanite</i>
	METAMORPHIC ROCK				
Shale	Slate	Biotite Phyllite	Biotite-garnet Phyllite	Biotite-garnet-staurolite schist	Sillimanite schist or gneiss
Clayey Sandstone	Clayey Sandstone	Quartz-mica Schist	Quartz-mica-garnet Schist		
Quartz Sandstone	Quartzite				
Limestone Dolomite	Limestone Dolomite	Marble			
Basalt	Chlorite-epidote-albite Schist		Albite-epidote Amphibolite	Amphibolite	
Granite	Granite	Granite Gneiss			
Rhyolite	Rhyolite	Fine-grained biotite Gneiss			

Gambar 2.3. Proses Metaforse yang Menghasilkan Batuan Metamorf

2.5 Penyebaran Batuan di Alam

Dari hasil penelitian, hampir 95% komposisi kerak bumi adalah berupa batuan beku dan sisanya batuan lainnya. Tetapi penyebarannya dipermukaan bumi mempunyai tendensi yang sebaliknya yaitu: justru batuan sedimenlah yang mendominasi dan tersingkap paling luas dipermukaan bumi sampai meliputi 95%.

Dari batuan sedimen yang tersingkap dipermukaan bumi hampir seluruhnya terdiri dari batuan lempung (*clay*) : 46%, batu pasir (*sandstone*) : 32% dan batugamping (*limestone*) 22%.

Jadi sudah sepantasnyalah kita harus mengetahui dengan baik mengenai sifat-sifat fisik dari ketiga macam batuan sedimen tersebut karena tersingkap dipermukaan bumi hampir meliputi 75% dari luas permukaan bumi.

2.6 Klasifikasi Batuan

2.6.1 Berdasarkan Sifat Fisik dan Sifat Teknis

Sifat fisika batuan yang sering diminta oleh para ahli teknik sipil untuk parameter desain antara lain yaitu: "*strength*" ("*compressive normal strength*", "*tensile normal strength*", "*shear strength*"), kohesi, sudut geser dalam,

elastisitas, kelulusan air, dan beberapa sifat yang lain.

Batu dikatakan bersifat keras yaitu bila komposisinya terdiri dari mineral keras dengan jalinan antar kristal yang kokoh, dan hubungan antar fragmen kuat, serta dalam keadaan segar, masif tanpa retak sedikitpun.

Bahkan misalnya dalam pengujian "*strength*" di laboratorium untuk suatu contoh batuan, akan memberikan hasil yang berlainan bila arah gaya uji berbeda. Sifat ini disebut "*un-isotrop*".

Hasil uji di laboratorium-pun perlu dipertimbangkan betul, sebab hasilnya akan berbeda dengan pengujian di lapangan ("*insitu test*"). Hasil uji di laboratorium ("*material properties*") selalu lebih besar dari hasil uji lapangan ("*mass properties*").

Dalam pembicaraan sehari-hari, disarankan agar ahli teknik sipil berhati-hati bila mendapat penjelasan dari seorang ahli geologi yang belum terbiasa dengan pekerjaan teknik sipil. Sering ahli geologi menyebut semua material alam di permukaan bumi sebagai batuan. Granit yang segar dan keras disebut sebagai batuan, pasir lepas dari endapan sungai juga disebut sebagai batuan, tanah lempung di dataran rendah pantai juga disebut sebagai batuan. Hal inilah yang sering menjadikan kesalah-pahaman dalam penentuan parameter desain.

Lain halnya dengan seorang ahli geologi teknik yang telah terbiasa dengan pekerjaan teknik sipil. Pertama kali bila mendeskripsi suatu material alam, akan ditentukan dulu apakah material tersebut merupakan tanah atau batu. Jadi sama sekali tidak menyebutnya sebagai batuan.

Cara sederhana membedakan tanah dan batu yaitu dengan memasukkan sepotong contoh ke dalam gelas berisi air. Bila dengan sedikit adukan saja contoh tersebut hancur atau teruari, maka disebut tanah; sebaliknya bila tetap bentuknya seperti semula, disebut batu. Berdasar cara sederhana ini dapat diketahui bahwa tanah akan berubah sifatnya bila kandungan airnya berubah, sedangkan batu akan tetap sifatnya walaupun kandungan airnya berubah.

Namun tidak semua batu bersifat seperti di atas. Untuk batu lunak ("*soft rock*"), sifatnya dapat berubah bila kandungan airnya berubah. Sifat yang mudah berubah semacam ini disebut "*slaking*". Ini yang perlu dicatat baik oleh ahli geologi teknik maupun ahli teknik sipil, bahwa batu yang mudah "*slaking*" ini banyak dijumpai di Indonesia. Di bawah permukaan tanah batu jenis ini bersifat segar dan kuat, tetapi bila tersingkap di permukaan karena penggalian dan langsung terkena udara bebas, langsung kekuatannya menurun, bahkan sifatnya berubah menjadi seperti tanah.

2.6.2 Klasifikasi Berdasarkan Skala Kekerasan

a) Skala Kekerasan Mohs

Kekerasan batuan tergantung dari jenis mineral yang terkandung di dalamnya. Nilai kekerasan suatu mineral ditunjukkan berdasar skala Mohs seperti di bawah.

Tabel 2.9. Angka Kekerasan Berdasarkan Mohs

Mineral standar	Keterangan	Cara menandai
Talk	1	Member pada kain
Gypsum	2	Dapat digores dengan kuku
Kalsit	3	Dapat digores dengan tem baga
Fluorit	4	
Apatit	5	Dapat digores dengan pisau saku
Ortoklas	6	Menggores pada kaca jendela
Kwarsa	7	Tidak dapat digores dengan baja
Topas	8	
Corundum	9	Menggores pada hampir semua logam, tetapi tidak pada intan
Intan	10	Menggores pada semua benda kecuali sesama intan

b) Skala Kekerasan Nespak

NESPAK:, (1975) Telah membuat skala kekerasan batuan secara kualitatif untuk kepentingan teknik sipil, Kekerasan untuk tanah kohesif diberi simbol (OH (overburden hardness)) dan untuk batu diberi simbol RH (rock hardness), seperti terlihat dibawah ini:

Tabel 2.10. Angka Kekerasan Berdasarkan Nespak

Kekerasan	Simbol	Tanda-tanda
Sangat lunak	OH-0	Bersifat setengah cair, hanya dapat diambil dengan alat penghisap atau alat semacam perangkap; contoh: lanau pantai
Lunak	OH-1	Mudah diremas dengan jari tangan; contoh: lempung dan lanau basah.
Agak lunak	OH-2	Tidak mudah diremas dengan jari tangan tetapi bila dipijit masih nampak bekas jari.
Agak keras	OH-3	Bila dipijit tidak nampak bekas jari tetapi ujung pensil dapat ditusukkan sampai kurang lebih 1,5 cm.
Keras	OH-4	Ujung pensil sukar ditusukkan dan pengambilan contoh tanah dengan cara di dorongpun sukar dilakukan.
Sangat keras	OH-5	Sudah mendekati kekerasan batu, umumnya batu lapuk, lempung kering atau pasir kompak yang mulai mengalami sementasi.
Sangat lunak	RH-0	Sama dengan OH-4 dan OH-5 dan hanya dapat diambil dengan pemboran kering; contoh beberapa jenis tufa dan batulempung.
Lunak	RH-1	Dapat digores dengan kuku dan diambil dengan palu geologi serta cepat dibor dengan matabor widya; misal beberapa jenis batupasir, batulanau dan serpih,
Agak lunak	RH-2	Dapat digores dengan pisau dan cukup baik dibor dengan matabor widya; contoh: batupasir yang tersemen baik dan batugamping.
Agak keras	RH-3	Sukar digores dengan pisau, sukar diambil dengan palu geologi tetapi ujung contoh batu masih mudah dipecahkan dengan palu. Masih dapat dibor dengan widya tetapi kadang-kadang memerlukan matabor intan; contoh: basalt.
Keras	RH-4	Ujung contoh batu sukar dipecah dengan palu, tak dapat digores dengan pisau dan pemboran memerlukan matabor intan; contoh: sejenis kwarsit.
Sangat keras	RH-5	Kemajuan pemboran dengan matabor intan sangat lambat; contoh; rijang, batuan tersilifikasi.

c) Kekerasan Batuan Berdasarkan Skala Mohs

Makin tinggi kekerasan mineral yang terkandung dalam batuan, makin tinggi pula sifat kekerasan batuan. Kekerasan batuan menurut secara Mohs dari beberapa mineral yang terkandung dalam batuan yang diusulkan oleh Proctor, (1975) dapat di lihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 2.11. Kekerasan Batuan Berdasarkan Skala Mohs

Rock type	Range of Mohs hardness								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Granite, gneiss						—	—		
Basalt, felsite					—	—			
Shale		—	—						
Sandstone		—	—	—	—	—	—		
Limestone, marble			—						
Dolomite			—	—					
Slate			—	—	—				
Quartzite							—		

*Rock hardness guide based on Mohs hardness scale.
(From Proctor, 1970. Used with permission of the Association of
Engineering Geologists.)*

2.6.3 Klasifikasi Berdasarkan Kuat Tekan

a) Klasifikasi ISRM (1975)

Skala kekerasan ini di usulkan oleh *ISRM Working Party* tahun 1975. Berdasarkan hasil penelitian yang di lakukan pada inti bor serta dilakukan penelitian laboratorium dengan melakukan pengujian kuat tekan pada inti bor, di usulkan satu klasifikasi kekerasan untuk batuan yang utuh seperti tabel di bawah ini.

Tabel 2.12. Klasifikasi Kekerasan Untuk Batuan Utuh

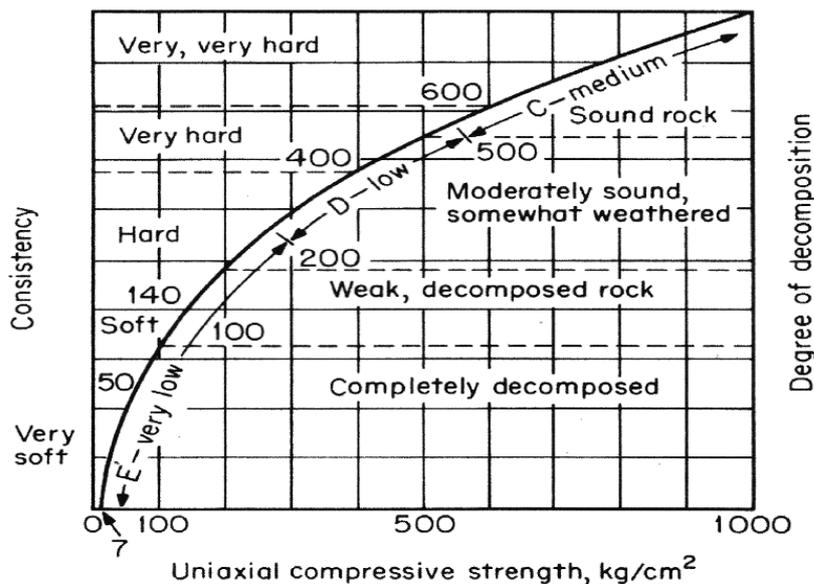
Class	Hardness	Field test	Strength,† kg/cm ²
I	Extremely hard	Many blows with geologic hammer required to break intact specimen	>2000
II	Very hard to hard	Hand-held specimen breaks with hammer end of pick under more than one blow	2000-700 700-250
III	Moderate	Cannot be scraped or peeled with knife. hand-held specimen can be broken with single moderate blow with pick.	250-100
IV	Soft	Can just be scraped or peeled with knife. Indentations 1 mm to 3 mm deep show in specimen with moderate blow of pick.	100-30
V	Very soft	Material crumbles under moderate blow with sharp end of pick and can be peeled with a knife. but is too hard to hand-trim for triaxial test specimen.	30-10

*After ISRM Working Party (1975).¹⁰

†Uniaxial compressive strength [Core Logging Comm. (1978)¹¹].

b) Klasifikasi Batuan Dari Jening, 1972, Jayger 1972 dan Deere 1969

Klasifikasi batuan ini dilakukan berdasarkan harga kuat tekan yang telah dilakukan oleh beberapa peneliti yaitu Deere (1968) yang membuat klasifikasi berdasarkan harga kuat tekan untuk mengetahui kekuatan batuan.



Gambar 2.4. Klasifikasi Batuan Berdasarkan Kuat Tekan

Sedangkan Jening (1972) meneliti mengenai konsistensi batuan berdasarkan harga kuat tekan. Lainnya Jayger (1972) melakukan klasifikasi batuan untuk mengetahui “Degree of Composition” berdasarkan nilai kuat tekan yang dikombinasikan dengan hasil penelitian terdahulu yang menghasilkan klasifikasi batuan seperti gambar di atas.

c) Klasifikasi Batuan Utuh Dari Deere dan Miller’s (1969)

Tabel 2.13. Klasifikasi Batuan Utuh (Deere Dan Miller’s, 1969)

Description	Uniaxial 1bf / in ²	Compressive Kgf / cm ²	Strength MPa	Example of rock types
Very low strength	150 – 3500	10 – 250	1 – 25	Chalk, rocksalt
Low strength	3500 – 7500	250 – 500	25 – 50	Coal, siltstone, schist
Medium strength	7500 – 15000	500 – 1000	50 – 100	Sandstone, slate, shale
High strength	15000 – 30000	1000 – 2000	100 – 200	Marble, granite, gneiss
Very high strength	30000	2000	> 200	Quartzite, dolerite, gabbro

2.6.4 Klasifikasi Batuan Berdasarkan Sifat Teknis

a) Berdasarkan RQD

Klasifikasi ini di buat dan diusulkan oleh ini untuk mengetahui kualitas dari massa batuan dalam satu proyek berdasarkan RQD dan *Velocity Index* oleh Coon dan Merritt (1970).

Tabel 2.14. Tabel Klasifikasi Teknik Berdasarkan RQD

RQD, %	Velocity index	Rock-mass quality
90–100	0.80–1.00	Excellent
75–90	0.60–0.80	Good
50–75	0.40–0.60	Fair
50–25	0.20–0.40	Poor
25–0	0–0.20	Very poor

b) Klasifikasi Teknis Dari Deere

Klasifikasi ini di usulkan oleh Deere (1969) untuk batuan yang utuh berdasarkan sifat teknisnya yang dikombinasi dengan nilai *Point - Load Index* dan harga modulus rasio dari Hoek & Bray (1974).

Tabel 2.15. Klasifikasi Teknis Batuan Utuh Berdasarkan (Hoek & Bray, 1969)

(A) ON THE BASIS OF UNIAXIAL COMPRESSIVE STRENGTH				
Class	Strength	Uniaxial compression, kg/cm ²	Point-load index†	Rock type
A	Very high	>2200	>95	Quartzite, diabase, dense basalts
B	High	1100-2200	50-95	Majority of igneous rocks, stronger metamorphics, well-cemented sandstone, hard shales, limestones, dolomites
C	Medium	550-1100	25-50	Shales, porous sandstones, limestones, schistose metamorphic rocks
D	Low	275-550	13-25	Porous and low-density rocks, friable sandstones, clay-shales, chalk, halite, and all altered rocks
E	Very low	<275	<13	As for class D
(B) ON THE BASIS OF MODULUS RATIO‡				
Class	Modulus ratio	Value	Rock fabric	
H	High	>500	Steeply dipping schistosity or foliation	
M	Medium (average)	200-500	Interlocking fabric, little or no schistosity	
L	Low	<200	Closure of foliations or bedding planes affects deformation	

2.7 Diskontinuitas

Pengertian diskontinuitas pada batuan mencakup bidang perlapisan dan semua bidang ketidakteraturan. Pemberian ketebalan lapisan menggunakan istilah dan berdasar kriteria seperti terlihat pada tabel di bawah.

Tabel 2.16. Pemberian Ketebalan Lapisan

KELAS	KETEBALAN (mm)	ISTILAH
1	Lebih dari 2000	BERLAPIS SANGAT TEBAL
2	2000 – 600	BERLAPIS TEBAL
3	600 – 200	BERLAPIS SEDANG
4	200 – 60	BERLAPIS TIPIS
5	Kurang dari 60	BERLAPIS SANGAT TIPIS

DARI : C E G M

Klasifikasi kerapatan kekar berdasar jarak terkecil antar kekar terlihat dalam tabel di bawah.

Tabel 2.17. Klasifikasi Kerapatan Kekar

KELAS	JARAK ANTAR KEKAR (mm)	ISTILAH
1	Lebih dari 2000	SANGAT JARANG
2	2000 – 600	JARANG
3	600 – 200	SEDANG
4	200 – 60	RAPAT
5	Kurang dari 60	SANGAT RAPAT

DARI : C E G M

Beberapa aspek kekar yang perlu diperhatikan adalah kerapatan kekar, lebar bukaan kekar, kehalusan bidang kekar dan isian kekar.

Tabel 2.18. Kriteria Batuan Berdasarkan RQD

RQD	KUALITAS BATUAN
0 – 25%	Sangat Jelek (Very Poor)
25 – 50%	Jelek (Poor)
50 – 75%	Sedang (Fair)
75 – 90%	Bagus (Good)
90 – 100%	Sangat Bagus (Excellent)

Tabel 2.19. Klasifikasi Ketebalan Kekar

Description	Joint spacing	Rock-mass designation
Very wide	≥3 m	Solid
Wide	1 to 3 m	Massive
Moderately close	30 cm to 1 m	Blocky/seamy
Close	5 cm to 30 cm	Fractured
Very close	<5 cm	Crushed

*From Deere (1963)¹³ and Bieniawski (1974).¹⁴

2.8 Permeabilitas

Derajat permeabilitas batuan dinyatakan dalam koefisien permeabilitas, k, yang ditentukan dengan melakukan pengujian dan penafsiran kualitatif berdasarkan keadaan batuan.

Tabel 2.20. Klasifikasi Permeabilitas

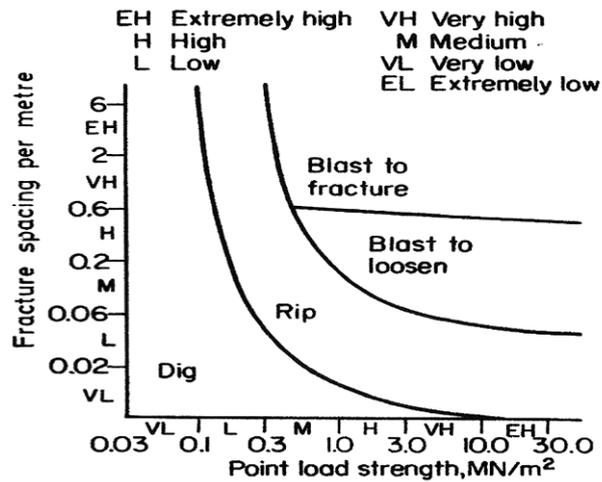
Pemerian jenis tanah	Angka kelulusan		Pemerian jenis batu
	Istilah	K dalam m/det	
Kerikil bersih	Sangat lulus	$1 - 10^{-2}$	Berkekar jarak dekat /rapat atau sngat rapat
Pasir bersih, kerikil pasiran. Pasir kerikil	Sangat lulusair	$10^{-2} - 10^{-5}$	Kekar berjarak sedang atau jarang
Pasir halus, lanau, lempung lapuk	Sedikit lulusair	$10^{-5} - 10^{-9}$	Kekar berjarak jarang sampai sangat jarang
Lempung	Efektif kedapair	$< 10^{-9}$	Tidak berkekar, pejal

Tabel 2.21. Klasifikasi Permeabilitas Tanah dan Batuan

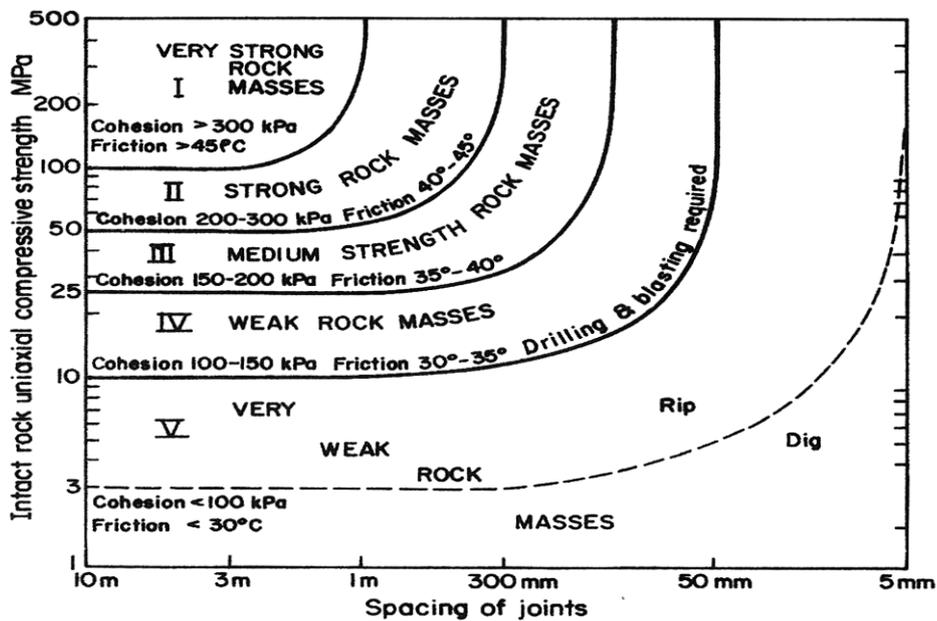
KELAS	KOEFSIEN PERMEABILITAS (cm /det.)	ISTILAH	UMUMNYA TERDAPAT	
			TANAH	BATU BERKEKAR
1	Lebih besar 10	Sangat tinggi	Kerikil bersih	Sangat rapat
2	$10 - 10^{-2}$		Pasir kasar bersih	Rapat
3	$10^{-2} - 10^{-3}$	Tinggi	Pasir halus	Sedang
4	$10^{-3} - 10^{-5}$	Sedang- tinggi	Pasir lanauam-lanau	Sangat jarang
5	$10^{-5} - 10^{-7}$	Rendah	Lempung	Tidak berkerak
			DARI : C E G M	DAN LEMM

2.9 Klasifikasi Kuat Massa Batuan

Untuk menaksir tingkat kemudahan penggalian dan penyederhanaan massa batuan untuk pemetaan geoteknik, Dearman, dkk, 1974 dan Bieniawski, 1974 telah membuat klasifikasi massa batuan dan tingkat kemudahan penggaliannya.



Gambar 2.5. Klasifikasi Kuat Batuan Massa dan Tingkat Kemudahan Penggalian



Gambar 2.6. Klasifikasi Kuat Batuan Massa dan Tingkat Kemudahan Penggalian (Bieniawski, 1974)

2.10 Klasifikasi Berdasarkan Tingkat Pelapukan

Tabel 2.22. Klasifikasi Batuan Berdasarkan Tingkat Pelapukan

Tingkat Pelapukan	Simbol	Tanda - tanda
1. Tak Lapuk / Segar (Unweathered / Fresh)	UW / F	Tidak nampak tanda - tanda pelapukan. Kristal mineral bersifat segar dan berwarna terang. Beberapa diskontinuitas mungkin menunjukkan sedikit noda oksidasi.
2. Agak Lapuk (Slightly weathered)	WS	Pelapukan berkembang pada permukaan diskontinuitas yang terbuka. Permukaan diskontinuitas berubah warna dan perubahan tersebut dapat berkembang sampai sedalam 10 mm dari permukaan diskontinuitas.
3. Lapuk Sedang (Moderately weathered)	WM	Sebagian besar dari batuan telah berubah warna. Batuan belum bersifat repui (kecuali pada batuan sedimen dengan sementasi kurang baik). Diskontinuitas telah teroksidasi atau terisi material ubahan.
4. Sangat Lapuk (Highly weathered)	WH	Pelapukan telah berkembang keseluruhan masa batuan. Sebagian material batuan bersifat repui. Batuan tidak mempunyai kilap, seluruh material kecuali kwarsa telah berubah warna. Batuan dapat digali dengan palu geologi.
5. Lapuk Sempurna (Completely weathered)	WC	Seluruh masa batuan telah berubah warna dan komposisinya. Kenampakan dari luar berupa tanah, tetapi gambaran tekstur dan struktur batuan aslinya masih terlihat.
6. Tanah Residu (Residual Soil)	RS	Seluruh masa batuan telah berubah menjadi tanah bersifat plastis, febrik dan struktur batuan melapuk sempurna. Volume berubah menjadi besar

2.11 Latihan

1. Sebutkan Proses Geologi yang terjadi sehingga terbentuknya batuan Beku!
2. Bagaimana terjadinya batuan sedimen dan apa ciri yang khas dari batuan ini!
3. Sebutkan 3 (Tiga) Faktor menyebabkan terjadinya batuan Metamorfosa!

2.12 Rangkuman

Jenis batuan terdiri dari batuan beku, batuan sedimen dan batuan metamorf.

Pengertian diskontinuitas pada batuan mencakup bidang perlapisan dan semua bidang ketidakmenerusan.

Derajat permeabilitas batuan dinyatakan dalam koefisien permeabilitas, k , yang ditentukan dengan melakukan pengujian dan penafsiran kualitatif berdasarkan keadaan batuan.

2.13 Evaluasi

1. Berdasar tempat terbentuknya (di bawah dan / atau diatas permukaan bumi) batuan beku dibedakan menjadi 2 jenis yaitu batuan.....
 - a. Sill dan Gang
 - b. Batholit dan Lakolit
 - c. Lava dan Abu Gunung Api
 - d. Intrusi dan Ekstrusi

2. Ciri utama batuan Sedimen adalah.....
 - a. Keras membatu
 - b. Berasal dari batuan yang lebih tua seperti dari erosi batuan beku,
 - c. Berlapis dan tersemen
 - d. Berbutir tidak beraturan

3. Batuan Metamorfosa di tandai oleh.....
 - a. Adanya Lapisan antar butir
 - b. Mempunyai perlapisan akibat orientasi mineral atau foliasi
 - c. Keras dan memperlihatkan bentuk batuan
 - d. Terlihat adanya tanda terbakar oleh temperatur tinggi

BAB III

GEOMORFOLOGI

Indikator Hasil Belajar:

Setelah mengikuti pembelajaran ini, peserta mampu menjelaskan geomorfologi.

3.1 Definisi Geomorfologi

Geomorfologi secara umum didefinisikan sebagai ilmu yang mempelajari tentang alam, yaitu meliputi bentuk-bentuk roman muka bumi serta perubahan-perubahan yang terjadi sepanjang evolusinya dan hubungannya dengan keadaan struktur di bawahnya, serta sejarah perubahan geologi yang diperlihatkan atau tergambar pada bentuk permukaan itu (American Geological Institute. 1973). Dalam bahasa Indonesia banyak orang memakai kata bentangalam sebagai terjemahan geomorfologi.

Pada masa sekarang geomorfologi bukan saja meliputi bidang yang statis, yang hanya mempelajari bentuk - bentuk roman muka bumi, akan tetapi juga merupakan ilmu yang dinamis yang dapat meramalkan kejadian alam sebagai hasil interpolasi. Selain itu pemerian bentuk roman muka bumi dapat dinyatakan dengan besaran-besaran matematika seperti kita kenal dengan nama geomorfologi kuantitatif.

3.2 Konsep Dasar Geomorfologi

Thornbury (1969) dalam buku yang berjudul *Principles of Geomorphology* mengemukakan 10 konsep dasar dalam geomorfologi, yaitu :

- a) Proses-proses fisik dan hukumnya yang terjadi saat ini berlangsung selama waktu geologi;
- b) Struktur geologi merupakan factor pengontrol yang dominan dalam evolusi bentuk lahan (*land forms* ;
- c) Tingkat perkembangan relief permukaan bumi tergantung pada proses - proses geomorfologi yang berlangsung;
- d) Proses - proses geomorfik terekam pada *land forms* yang menunjukkan karakteristik proses yang berlangsung;
- e) Keragaman *erosional agents* tercermin pada produk dan urutan *land forms* yang terbentuk;

- f) Evolusi geomorfologi bersifat kompleks;
- g) Obyek alam di permukaan bumi umumnya berumur lebih muda dari Pleistosen;
- h) Interpretasi yang sempurna mengenai *landscapes* melibatkan beragam faktor geologi dan perubahan iklim selama Pleistosen ;
- i) Apresiasi iklim global diperlukan dalam memahami proses - proses geomorfik yang beragam;
- j) Geomorfologi, umumnya mempelajari *land forms/ landscapes* yang terjadi saat ini dan sejarah pembentukannya.

3.3 Proses Geomorfologi

Proses geomorfologi adalah perubahan-perubahan baik secara fisik maupun kimiawi yang dialami permukaan bumi. Penyebab proses tersebut yaitu benda-benda alam yang kita kenal dengan nama *geomorphic agent*, berupa air dan angin. Termasuk di dalam golongan *geomorphic agent* air ialah air permukaan, air bawah tanah, *glacier*, gelombang, arus, dan air hujan. Sedangkan angin terutama mengambil peranan yang penting di tempat-tempat terbuka seperti di padang pasir atau di tepi pantai. Kedua penyebab ini dibantu dengan adanya gaya berat, dan kesemuanya bekerja bersama-sama dalam melakukan perubahan terhadap rona muka bumi. Tenaga-tenaga perusak ini dapat kita golongkan dalam tenaga asal luar (*eksogen*), yaitu yang datang dari luar atau dari permukaan bumi, sebagai lawan dari tenaga asal dalam (*endogen*) yang berasal dari dalam bumi. Tenaga asal luar pada umumnya bekerja sebagai perusak, sedangkan tenaga asal dalam sebagai pembentuk. Kedua tenaga inipun bekerja bersama-sama dalam mengubah bentuk rona muka bumi ini. Proses geomorfologi yang kita kenal dapat diintisarikan seperti terlihat pada gambar di bawah.

PEMBENTUKAN → PENGRUSAKAN → PENGANGKUTAN		
Tenaga Asal dalam Pembentukan struktur Pembentukan gunungapi	Tenaga Asal luar Gradasi (perataan) Pelapukan <u>Tenaga dari luar bumi</u> Jatuhan Meteorit	Tenaga Asal luar Pengangkutan bahan (<i>mass wasting</i>) Erosi oleh: Air permukaan Air bawah tanah Gelombang Arus Angin Es
	Pengrusakan dan pengangkutan oleh organisma, termasuk manusia	

Gambar 3.1. Bagian Proses Pembentukan Roman Muka Bumi

3.3.1 Degradasi

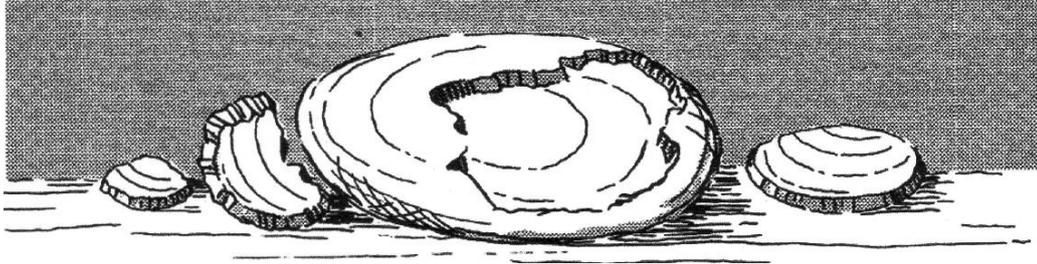
Proses degradasi yang telah kita kenal dapat dikelompokkan menjadi tiga, yaitu pelapukan, pengangkutan bahan, dan erosi. Berikut ini ketiga proses tersebut dibahas secara umum.

a) Pelapukan

Berdasarkan beberapa definisi (Strahler & Strahler, 1984 ; Thornburry, 1969 ; Cargo & Mallory, 1974 ; Von Engel, 1960 ; dll), dapat disimpulkan bahwa pelapukan adalah proses penghancuran batuan atau permukaan bumi oleh proses kimia, fisika dan biologi. Pelapukan sering disebut pula sebagai proses desintegrasi atau dekomposisi. Dari ketiga macam proses degradasi yang telah disebutkan, pelapukan dianggap sangat penting karena dapat mempercepat kedua proses lainnya.

Pelapukan adalah perubahan fisik atau kimiawi batuan yang disebabkan karena berhubungan dengan udara, air, dan organisma. Pelapukan digolongkan sebagai pelapukan fisika, pelapukan kimiawi, dan pelapukan biologis tergantung kepada penyebab utamanya. Pada pelapukan fisik, tenaga yang berupa tekanan dan temperatur memegang peranan yang sangat penting, sedangkan pada pelapukan kimiawi reaksi kimia menyebabkan perubahan pada komposisi kimia batuan. Pelapukan fisik menyebabkan batuan berubah ukuran menjadi lebih kecil yaitu dengan pemecahan atau desintegrasi. Penyebab terjadinya desintegrasi dapat berupa pengembangan karena berkurangnya tekanan, pertumbuhan kristal, pengembangan dan pengerutan karena pemanasan dan

pendinginan, serta pengisian koloid. Batuan sangat sering pecah melalui bidang pelapisannya oleh karena bidang ini lemah. Proses ini dinamakan exfoliation. Gambar di bawah memperlihatkan proses pelapukan batuan yang dikenal dengan pelapukan mengulit bawang.



Gambar 3.2. Proses Pengelupasan (Seperti Menguliti Bawang)

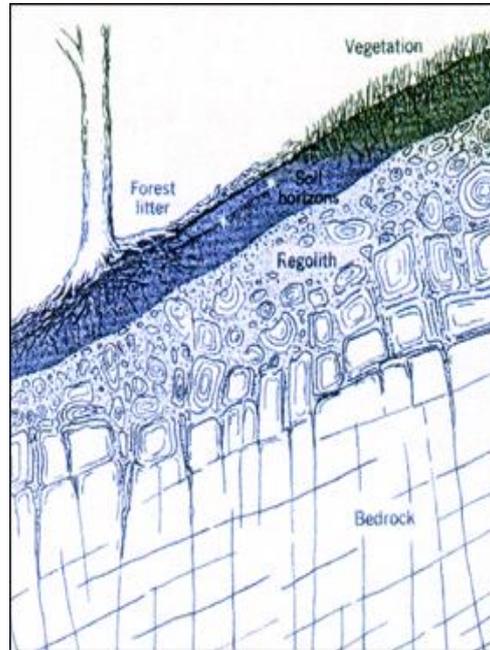
Pelapukan kimiawi dapat disebabkan karena oksidasi, hidrasi, dan karbonisasi yang kemudian volumenya mengembang dan berat jenisnya menjadi kecil. Oksidasi pada batuan yang mengandung besi menghasilkan hematite yang berwarna coklat kekuning - kuning. Hidrasi menghasilkan perubahan volume pada tiap molekul batuan yang disebabkan oleh masuknya air. Akibat perubahan volume ini maka batuan mengelupas menghasilkan keratan - keratan yang tipis - tipis. Pada proses karbonasi, terbentuk karbonat sebagai hasil reaksi asam karbonat dengan mineral pada batuan. Batuan yang mudah larut seperti batugamping akan mengalami proses karbonasi ini. Asam karbonat terbentuk karena udara yang mempunyai kandungan CO₂ bereaksi dengan adanya air. Gambar dibawah ini menggambarkan reaksi yang terjadi pelarutan batugamping. Dengan reaksi ini pelapukan kimia berlangsung yang mengakibatkan proses pelarutan pada batu gamping terjadi.



Gambar 3.3. Reaksi Kimia Pada Proses Pelarutan Batu Gamping

Pelapukan organik sebenarnya merupakan kombinasi antara kedua jenis pelapukan yang telah diuraikan sebelumnya, disebabkan karena tumbuh - tumbuhan ataupun makhluk hidup, misalnya akar pepohonan, cacing, dsb.

Baik larutan kimia maupun energi yang dihasilkan oleh organisme, dapat mempercepat proses pelapukan batuan. Gambar di bawah menunjukkan proses pembentukan tanah akibat adanya pelapukan batuan.



Gambar 3.4. Pembentukan Tanah Akibat Proses Pelapukan Batuan (Strahler & Strahler, 1984)

b) Pengangkutan (*mass wasting*)

Pengangkutan material-material (*mass wasting*) adalah pengangkutan material hasil proses pelapukan oleh *agent-agent* tertentu. Pada proses pengangkutan, gaya berat dan air memegang peranan yang sangat penting. Berdasarkan kecepatannya dan jumlah air yang mengangkutnya orang mengenal tanah longsor, *debris avalanches*, aliran tanah, aliran lumpur, *sheetfloods*, dan *slopewash*. Pada Tabel di bawah ditunjukkan bagian yang menjelaskan jenis-jenis pengangkutan yang terjadi di permukaan bumi.

Tabel 3.1. Bagian-Bagian Pengangkutan Material

MENGALIR		LONGSOR	RUNTUH
MENGALIR PERLAHAN	MENGALIR CEPAT		
RAYAPAN Rayapan tanah Rayapan talus Rayapan batuan Rayapan batuan karena glacier BANJIR Lumpur (<i>Solifluction</i>)	ALIRAN TANAH ALIRAN LUMPUR LONGSOR/ RUNTUHAN SALJU (<i>debris avalanche</i>)	NENDATAN (<i>slump</i>) LONGSORAN (<i>slide</i>) JATUHAN (<i>debris fall</i>) LONGSOR BATUAN (<i>rock slide</i>) JATUHAN BATUAN (<i>rock fall</i>)	RUNTUH (<i>subsidence</i>)

c) Erosi

Seperti arti asalnya, erosi adalah proses penggerusan atau pengumpulan material-material terutama oleh air. Proses pelapukan dapat mempercepat proses erosi. Orang awam mengartikan erosi sebagai pengrusakan dan pengangkutan material-material dari tanah penutup. Dalam arti geologi erosi lebih tepat untuk dipakai sebagai proses penggerusan, baik batuan segar maupun lapukan atau tanah penutup.

Definisi erosi cukup beragam, namun dapat disimpulkan bahwa erosi merupakan proses di permukaan bumi yang berlangsung secara gradual yang diakibatkan oleh aktivitas air, angin, salju maupun media geologi lainnya (Strahler & Strahler, 1984). Arnoldus (1974, dalam El-Swaify et. al., 1982) mengusulkan klasifikasi erosi secara umum menjadi erosi geologi (*geological erosion*) dan erosi yang dipercepat (*accelerated erosion*). Erosi geologi terjadi secara alami, umumnya berlangsung dalam jutaan tahun dan seimbang dengan perubahan-perubahan di alam. Erosi yang dipercepat diakibatkan oleh aktivitas manusia, umumnya bersifat mengubah kondisi alami secara drastis.

Erosi yang diakibatkan oleh pengerjaan air dapat dibagi menjadi beberapa tahapan, yaitu (Van Zuidam, 1983), yaitu erosi percikan (*splash erosion*), erosi lembaran (*sheet erosion*), erosi alur (*rill erosion*), dan erosi membentuk parit (*gully erosion*).

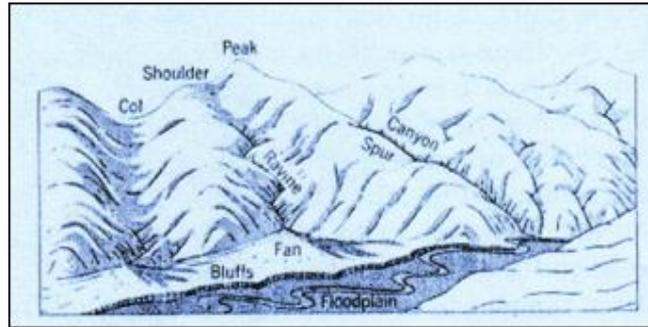
Erosi percikan disebabkan oleh energi yang ditimbulkan ketika tetes-tetes hujan jatuh ke permukaan batuan/tanah. Besarnya material yang tererosi akan setara dengan besarnya energi yang dihasilkan oleh percikan air hujan tersebut. Erosi lembaran didefinisikan sebagai perpindahan serentak material batuan/tanah membentuk lapisan tipis mengikuti arah kemiringan lahan. Erosi Air merupakan bentuk erosi yang paling umum, terjadi ketika material batuan/tanah dipindahkan oleh air yang menyisakan bentuk alur di permukaan. Erosi membentuk parit merupakan pengembangan lebih lanjut dari tahapan erosi alur, berukuran lebih besar dibandingkan alur yang terbentuk akibat erosi alur.



Gambar 3.5. Ilustrasi Bentuk - Bentuk Utama Erosi Oleh Air, A. Gully Erosion dan B. Rill And Interrill Erosion (El-Swaify Et. Al., 1982)

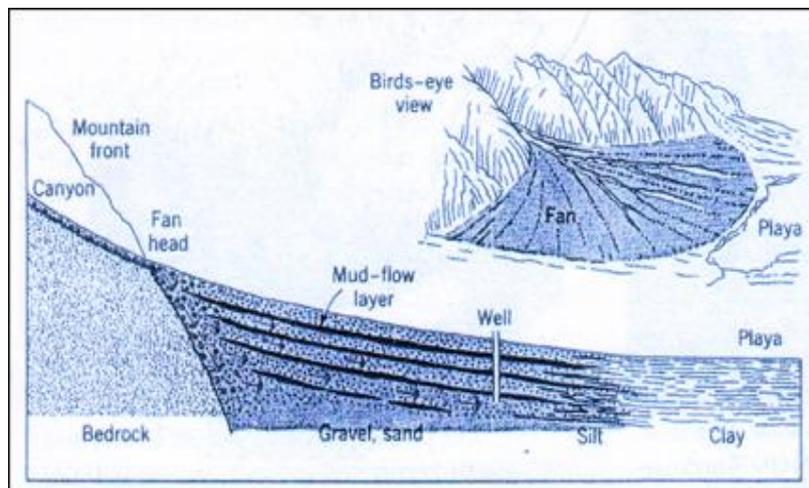
3.3.2 Agradasi

Agradasi yaitu penumpukan material-material yang terjadi karena gaya angkut berhenti, misalkan karena lereng tempat berlangsungnya pengangkutan tidak lagi berlanjut melainkan berubah menjadi datar. Maka pada tempat tersebut akan terjadi penumpukan bahan dan permukaan tanah menjadi lebih tinggi dibanding dengan permukaan asal.



Gambar 3.6. Bentuk Lahan Erosional dan Depositional (Strahler & Strahler, 1984)

Contoh yang paling baik dari agradasasi adalah pengendapan aluvium dan endapan glacier. Endapan aluvium dapat dikenal bermacam-macam pula, sebagai contoh endapan talus, kipas aluvium (*aluvial fan*) dan *kolovium*.



Gambar 3.7. Profil Ideal Kipas Aluvial, Menunjukkan Lapisan - Lapisan Mudflow (*Aquicludes*) Berselingan dengan Lapisan - Lapisan Pasir (*Aquifers*) (Strahler & Strahler, 1984)

3.4 Siklus Perkembangan Sungai

Sebagaimana sudah diuraikan di muka, air merupakan unsur pelaksana utama pengrusakan tenaga asal luar. Suatu daerah pertama-tama akan terangkat oleh tenaga asal dalam dan proses ini dinamakan proses pembentukan. Sedangkan pada proses yang dilakukan oleh air permukaan dinamakan proses pengrusakan.

Keduanya pada akhirnya bekerja dalam satu hubungan yang erat yang dinamakan siklus: "Pengrusakan - Pengangkutan - Pengendapan - Pembentukan". Di daerah beriklim tropis lembab yang mempunyai angka

curah hujan tinggi seperti Indonesia, peranan air permukaan ini sangat penting.

3.4.1 Lembah

Permukaan lereng mula-mula dikikis atau dierosi membentuk lembah kecil (*gully*). Bila tidak, air mengikis daerah yang luas bersama-sama, sehingga tidak terbentuk lembah kecil tersebut. Erosi semacam ini dinamakan erosi memipih atau lembaran (*sheet erosion*). Gully lambat laun berubah menjadi lembah yang makin lama makin dalam. Lembah muda ini biasanya berbentuk huruf V, dasar lembah sempit dan lereng terjal. Lembah yang dewasa (*mature*) dan tua (*old*) membentuk diri menyerupai huruf U yaitu dengan dasar lembah yang makin rata. Bentuk lembah yang demikian ini dapat pula terjadi akibat pekerjaan es (*glacier*).

Selain air itu sendiri yang bekerja mengikis secara vertical dibagian hulu, tepi lembah serta dasar lembah, juga material-material yang dibawanya ikut mengikis dasar sungai atau lembah tersebut, sehingga semakin lama semakin dalam. Kemampuan mengikis ini ada batasannya, yaitu apabila air sudah tidak bergerak lagi, atau bila telah mencapai muka laut. Oleh karena itu, permukaan ini dinamakan *erosion base level*. Dibawah muka ini tidak terjadi erosi.

Keseimbangan dan bentuk profil dasar lembah atau sungai yang ideal terbentuk jika kekerasan batuan sama di semua tempat (homogen) yang dilalui sungai tersebut. Di alam, keadaan yang demikian jarang dijumpai. Batuan keras akan menonjol dan dinamakan titik jendul (*nick point*) yang akan menyebabkan pula terbentuknya permukaan dasar erosi setempat di tempat tersebut.

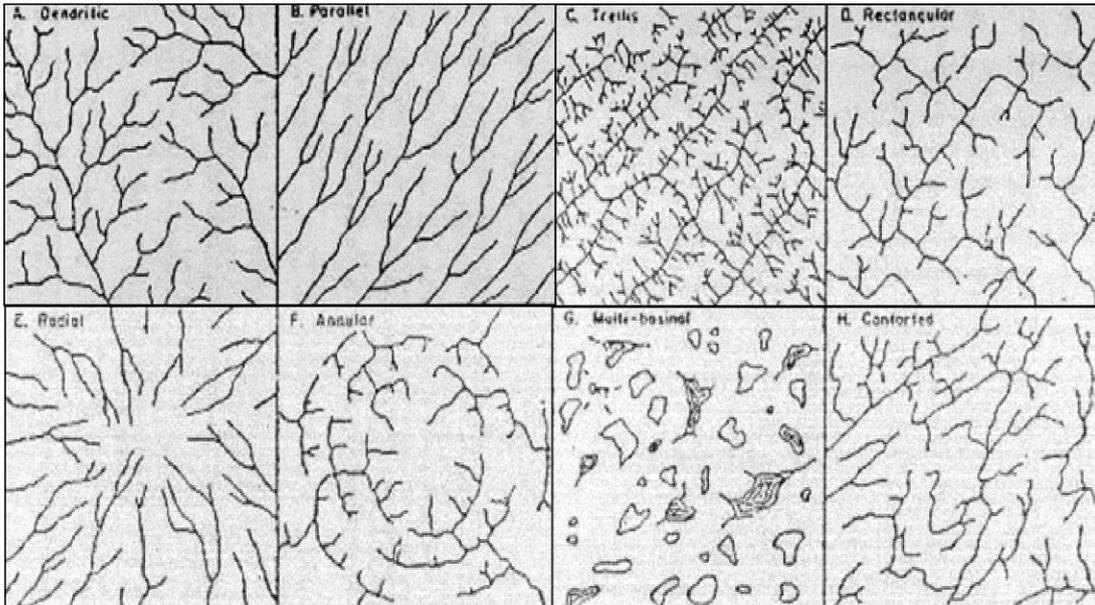
3.4.2 Pola Pengaliran

Pola pengaliran adalah hubungan antara satu sungai dengan sungai lainnya atau hubungan antara air permukaan yang mengalir melalui lembah-lembah. Hubungan tersebut akan membentuk suatu pola atau *pattern*.

Kekerasan batuan di permukaan bumi berlainan di satu tempat dengan tempat lainnya yang tentu saja akan membentuk beraneka ragam jenis pola pengaliran. Kenampakan tersebut dapat dengan jelas dilihat pada peta topografi dan potret udara atau citra satelit. Dari bentuk atau jenis pola itu orang dapat menafsirkan jenis batuan atau gejala struktur geologi lainnya .

Pola pengaliran dasar yang diperlihatkan pada gambar di bawah oleh Howard, 1967; (dalam Van Zuidam, 1983), yaitu:

- a) Pola pengaliran mendaun (*dendritik*) terjadi karena kekerasan batuan relatif sama (homogen) dan lereng tidak terlalu curam. Hubungan antar satu sungai dengan sungai lainnya seperti daun atau pohon dengan cabang - cabangnya. Bila sudut antara tiap-tiap cabang sama, maka dinamakan *pinnale*.
- b) Pola pengaliran sejajar (*paralel*) terjadi seperti pada pola pengaliran dendritik tetapi lereng agak terjal sehingga air bergerak dengan cepat dan tidak sempat bergabung satu sama lainnya, melainkan berjajar.
- c) Pola pengaliran menangga (*trellis*) terdapat di daerah yang terlipat kekerasan batuan yang berselang-seling antara yang lemah dan yang keras mengakibatkan sungai berbelok-belok. Kadang-kadang memotong batuan keras dan menyusuri batuan lemah. Sungai dinamakan subsekuen bila menyusuri bagian lemah yang sejajar dengan jurus lapisan batuan, sedangkan konsekuen bila memotongnya. Obsekuen ialah anak sungai yang sejajar dengan sungai konsekuen. Pola ini dapat memberi keterangan tentang daerah terlipat, antiklin, siklin dan kubah.
- d) Pola pengaliran (*annular*) terjadi pada batuan yang terlipat dan lipatannya membentuk kubah (*dome*).
- e) Pola pengaliran memancar (*radial*) terjadi pada daerah yang terlipat ataupun gunung api. Terutama pada daerah bergunungapi, pola ini sangat sering dijumpai dan merupakan salah satu ciri utamanya. Sungai-sungai mengalir dari satu pusat kesegala arah, memancar (*radial*) atau disebut juga *sentrifugal*. Bila sebaliknya yaitu pola sungai memancar tetapi ke arah dalam (pusat) disebut dengan pola pengaliran *centripetal*.



Gambar 3.8. Pola Pengaliran Dasar (Howard, 1967; Dalam Van Zuindam, 1983)

- f) Pola pengaliran menyudut terjadi di daerah yang banyak terpatah - patah atau banyak terdapat retakan sehingga sungai terpengaruh oleh letak retakan-retakan tersebut yang merupakan daerah lemah. Bila sudut antara sungai-sungai itu runcing, maka pola pengaliran dinamakan *angulate*. Sedangkan bila bersudut hampir tegak dinamakan *rectangular*. Pola pengaliran jenis ini sangat penting peranannya dalam menganalisis struktur geologi suatu daerah untuk eksplorasi mineral.
- g) Di daerah berawa-rawa dan dekat muka laut prang biasanya menemukan pola pengaliran *deranged* atau *contorted* yaitu pola yang memperlihatkan aliran sungai yang tidak menentu, serta tepi sungai yang tidak jelas, bercampur baur dengan rawa. Di Kalimantan Selatan, sekitar Banjarmasin, pola pengaliran sungai semacam ini sering dijumpai.
- h) Pola pengaliran *mutli-basinal* sering dijumpai pada bentuk lahan *karst* yang didominasi oleh batugamping. Pola tersebut dicirikan oleh aliran sungai yang tidak menerus karena beralih menjadi sungai bawah tanah akibat adanya proses pelarutan.

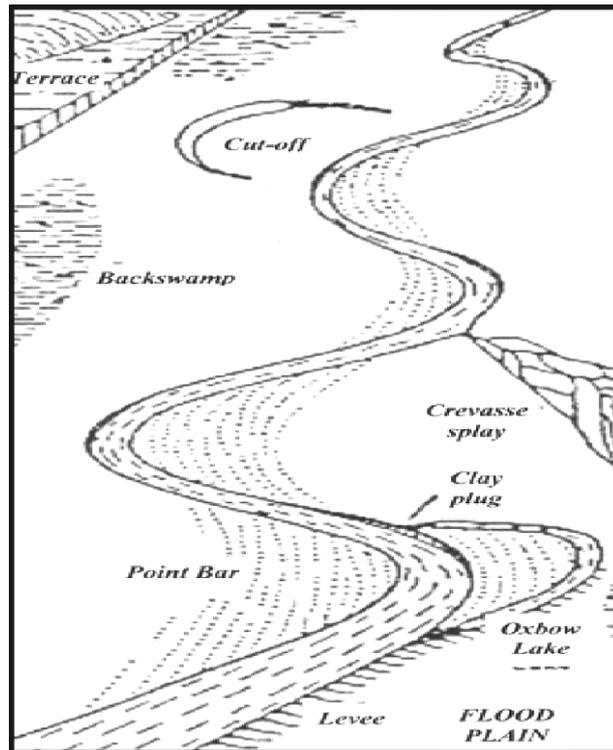
3.4.3 Meander

Bila sungai berada jauh di atas permukaan dasar erosi (*erosion base level*) maka tenaga erosi tegak (*vertical erosion*) jauh lebih besar dari pada tenaga erosi horizontal. Akan tetapi air mendekati permukaan dasar ini sehingga tenaga tersebut menjadi berimbang dan akhirnya tenaga horizontal menjadi lebih besar.

Proses tersebut mengakibatkan pengikisan tidak berjalan tegak atau ke bawah melainkan mendatar atau kesamping mengakibatkan sungai menjadi berbelok - belok. Sungai yang berbelok-belok membentuk huruf U ini dinamakan sungai bermeander. Kadang-kadang suatu meander berbentuk sedemikian rupa sehingga membentuk danau tapal kuda (*oxbow lake*). Pengendapan terjadi dibelakang arus suatu meander yang terlindung, di sini tepi sungai bertambah dan bekas pertumbuhan meander itu (*meander scroll*) masih terlihat.

3.4.4 Endapan Sungai

Endapan sungai terjadi karena daya angkut air berkurang akibat mendekati permukaan dasar erosi ataupun karena perubahan arus. Pengendapan membentuk apa yang disebut endapan sungai nusa ataupun bar. Berdasarkan bentuk nusa dan letaknya dapat digunakan untuk menafsirkan arah aliran sungai.



Gambar 3.9. Bentuk Lahan di Sekitar Sungai Bermeander (Gregory & Walling, 1979; Dalam Van Zuidam, 1983)

3.5 Bentang Alam Daerah Terlipat

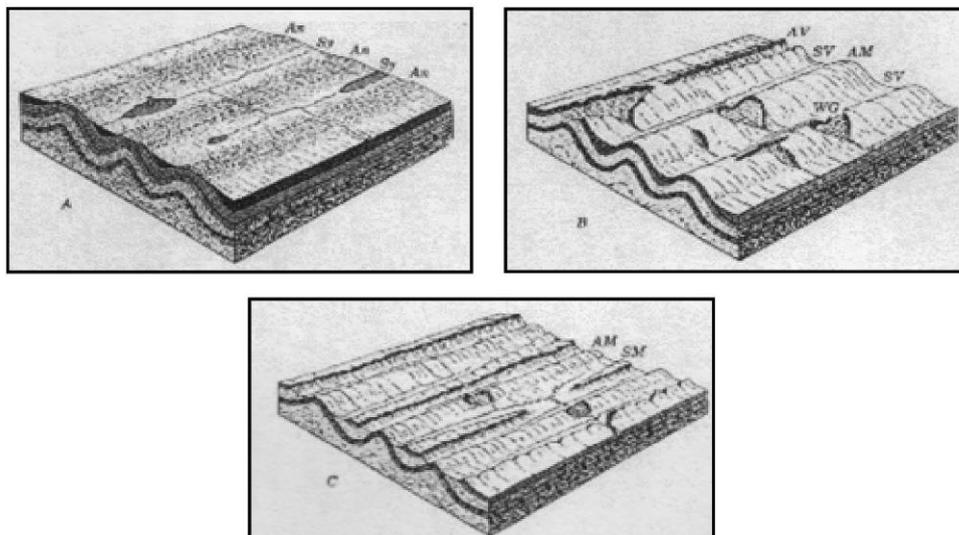
Batuan endapan terbentuk dengan cara pengendapan material-material yang dibawa oleh air. Oleh karena itu, pada waktu pembentukannya batuan endapan berada dalam keadaan mendatar atau horisontal. Keanekaragaman bahan mempengaruhi batuan endapan sehingga akan terbentuk berlapis-lapis dan per lapisannya terletak secara horisontal.

Berkaitan dengan hal tersebut, dalam posisi normal makin ke arah atas letaknya maka dengan sendirinya makin muda. Dalam stratigrafi, hukum tersebut dinamakan hukum superposisi. Bila tenaga asal dalam (*endogen*) bekerja pada daerah itu maka batuan endapan akan mengalami gangguan. Mungkin letaknya tidak horisontal lagi atau justru terlipat membentuk lipatan (*fold*) baik antiklin maupun sinklin, atau bahkan tersesarkan (*fault*). Sebagai akibat dari kekerasan batuan endapan yang berlainan antara satu lapisan dengan lapisan lainnya, maka batuan semacam ini membentuk bentangalam tersendiri yang khas. Erosi akan mengambil bagian di tempat-tempat lemah yaitu pada batuan yang lunak dan bagian yang keras akan menonjol

membentuk bukit-bukit. Biasanya bukit ini memanjang sejajar dengan arah pelapisan.

Dengan cara mengetahui bentuk bentang alamnya, mengetahui arah lembah dan sistem perbukitannya dapat dengan mudah ditafsirkan batuan dan struktur geologi yang ada di daerah tersebut. Bentangalam ini kadang-kadang terlihat dengan mudah pada peta topografi dan potret udara atau citra satelit.

Dengan begitu profil dasar sungai atau lembah akan mempunyai bentuk tertentu apabila sudah mencapai keseimbangan yang pada umumnya membentuk kurva yang cekung perlahan-lahan. Kadang-kadang sebuah danau atau waduk menahan jalannya air dan menghentikan aktivitas pengampelasan. Karena itu maka air waduk atau air danau itu dinamakan batas dasar sewaktu-waktu atau setempat (*temporary or local base level*).



Gambar 3.10. Tahapan Perkembangan Erosi Pada Bentang Alam Terlipat

Keterangan:

An = antiklin, Sy = sinklin, L = danau, AV = lembah antiklinal, SV = lembah sinklinal, WG = watergap, AM = pegunungan antiklinal, SM = pegunungan sinklinal (Strahler & Strahler, 1984).

Pola pengaliran pada bentangalam batuan terlipat pada umumnya adalah pola pengaliran menangga (*trellis*) yang sudah diterangkan dalam bagian yang lalu.

Pada pola ini dikenal adanya sungai subsekuen, konsekuen, obsekuen, dan resekuen.

3.6 Bentang Alam Daerah Tersesarkan

Patahan atau seringkali juga disebut sesar (*fault*) adalah gejala geologi yang berhubungan dengan pergerakan kulit bumi. Bila sesar ini sampai ke permukaan bumi maka akan mempengaruhi bentuk rona muka bumi di tempat itu, dengan demikian mempengaruhi bentuk bentangalam. Bila dapat mengetahui bentuk bentangalam maka dapat pula ditafsirkan adanya pensesaran di suatu daerah.

Sesar dapat dibagi atas sesar naik, sesar normal, dan sesar mendatar atau sesar geser jurus (*strike - slip fault, wrench fault, tear fault*) tergantung kepada arah pergerakan. Sesar naik dijumpai bila blok di bawah bidang patahan bergerak relatif ke atas, sedangkan pada sesar normal terjadi sebaliknya. Pada sesar geser jurus dan sesar mendatar, atau disebut juga sesar horisontal, gerakan terjadi bersesuaian dengan arah jurus. Gerakan ini adalah gerakan mendatar. Bila blok relatif bergerak ke kiri dalam hal kita menghadap bidang patahan, dinamakan sinistral, sedangkan sebaliknya dinamakan dextral. Pada umumnya sesar yang dijumpai di alam merupakan gabungan antara gerakan - gerakan tersebut.

Pengaruh sesar terhadap bentangalam suatu daerah terutama sangat jelas pada bidang sesar. Tempat ini biasanya merupakan tempat yang lemah dan lunak, dan biasanya menjadi sasaran erosi. Oleh karena itu, pada daerah yang tersesarkan atau retakan biasanya terbentuk lembah yang lurus dan memanjang.

Pada sesar normal, biasanya bidang patahan membentuk gawir (*scarp*) yang berupa dinding miring. Pada dinding ini biasanya orang menemukan garis-garis geseran (*scetch*) yang menunjukkan adanya patahan. Pada umumnya dinding ini memperlihatkan pula bentuk deretan segitiga oleh karena beberapa bagian telah dikerat membentuk lembah. Bentuk ini dinamakan *triangular facets*.

3.7 Bentang Alam *Karst*

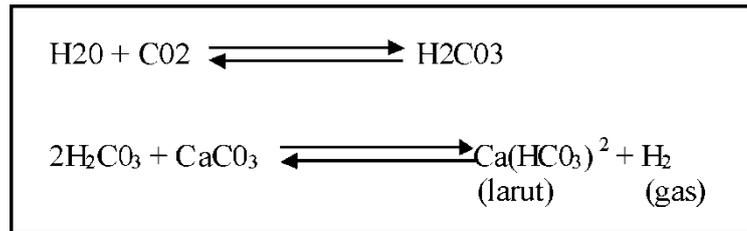
Bentangalam *karst* termasuk bentuk bentangalam yang penting, dan banyak pula ditemukan di Indonesia. Bentuk ini sangat erat berhubungan dengan batuan endapan yang mudah melarut. Oleh karena itu dengan mengetahui bentuk bentangalamnya, pada umumnya orang dapat mengetahui jenis batuanannya, terutama juga oleh karena bentuk bentangalam *karst* sangat karakteristik dan mempunyai tanda-tanda yang mudah dikenal baik di lapangan, pada peta topografi maupun pada potret udara dan citra satelit. Bentangalam ini terutama memperlihatkan lubang-lubang, membulat atau memanjang, gua-gua dan bukit-bukit yang berbentuk kerucut.

Di Indonesia bentangalam karst dapat ditemukan di beberapa daerah di pulau Jawa, yaitu Jampang di Selatan Jawa Barat, Pegunungan Sewu di Kulon Progo, Jawa Tengah, daerah perbukitan Rembang di Jawa Timur, dan beberapa daerah di Sulawesi Tengah. Di Irian Barat bentangalam karst ditemukan di Kepala Burung pada formasi Klasafet, sedangkan di Sumatera ditemukan, terutama di Sumatera Selatan dan Aceh.

3.7.1 Terjadinya Bentuk Bentang Alam *Karst*

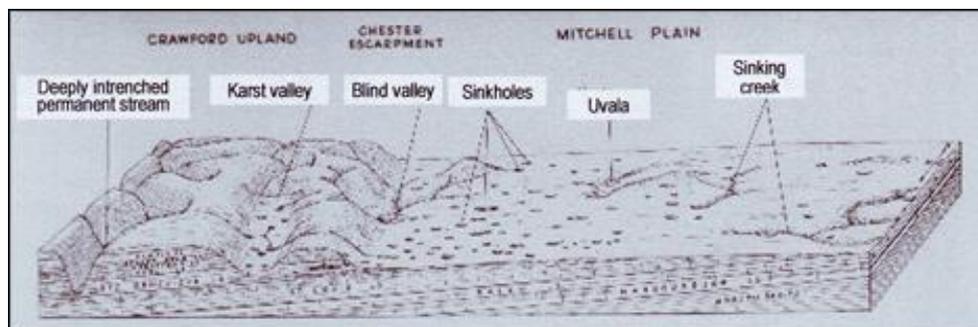
Bentangalam *karst* terbentuk karena batuan muda dilarutkan dalam air dan membentuk lubang-lubang. Bentangalam ini terutama terjadi pada wilayah yang tersusun oleh batugamping yang mudah larut, dan batuan dolomit atau gamping dolomitan. Akibat pelarutan yang memegang peranan utama, maka air sangat penting artinya. Bentangalam *karst* biasanya berkembang di daerah yang mempunyai curah hujan cukup.

Di samping itu, pelarutan maksimum dapat terjadi bila air tidak mencapai jenuh akan karbonat. Air yang mengalir dapat menciptakan keadaan ini. Air yang mengandung CO_2 (gas) akan lebih mudah melarutkan batugamping. Di bawah ini diperlihatkan reaksi kimia yang menghasilkan pelarutan tersebut.



Gambar 3.11. Reaksi Kimia dan Keseimbangannya Pada Proses Pelarutan Batugamping

Bila $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ terkena udara kembali maka berarti ada penambahan H_2 dari udara. Oleh karena itu keseimbangan reaksi akan bergerak ke kiri dan akan terbentuk kembali CaCO_3 yang mengendap. Reaksi tersebut kemudian menerangkan terbentuknya stalaktit dan stalakmit yang dikenal dalam gua-gua di daerah kapur. Oleh karena itu, syarat penting untuk terbentuknya kedua jenis endapan ini ialah adanya persediaan H_2 secara terus-menerus yang dapat diperoleh apabila udara dapat mengalir di dalam gua itu. Udara yang segar selalu menggantikan udara yang berada di dalam gua. Gejala-gejala yang khas sebagai karakteristik bentangalam karst diantaranya adalah *terra rossa*, *lapies*, *sinkholes*, dll (Thornbury, 1969).



Gambar 3.12. Ilustrasi Bentangalam Karst di Indiana Bagian Selatan, USA (Thornbury, 1969)

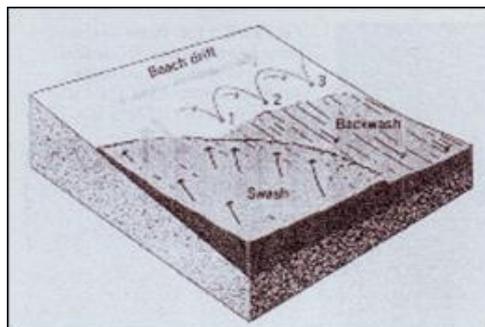
3.8 Bentang Alam Pantai

Bagian ini terutama akan membicarakan bentuk-bentuk geomorfologi pantai beserta cara terjadinya dan penyebabnya. Selain pantai laut juga akan disinggung tentang pantai danau.

Ada tiga macam gerakan air laut yang menyebabkan pros gradasi pada permukaan bumi, yaitu gelombang, arus, dan pasang-surut. Pasang surut sebenarnya sangat sedikit pengaruhnya.

Angin adalah penyebab utama terjadinya gelombang. Kecepatan, besarnya daerah yang tertiup angin (*fetch*), dan lamanya angin bertiup menentukan besarnya gelombang. Istilah-istilah yang dipakai dalam mengukur besarnya gelombang lama dengan istilah yang dipakai dalam ilmu fisika, yaitu panjang gelombang, tinggi gelombang, dan waktu gelombang (getaran), serta kecepatan gelombang. Oleh karena *fetch* di danau pada umumnya tidak cukup luas, maka gelombang besar jarang terjadi. Gelombang paling besar yang pernah tercatat, yaitu yang mempunyai tinggi gelombang sebesar 16 meter, ditimbulkan oleh *fetch* sebesar 1000 kilometer (Kuenen, 1950; dalam Thornbury, 1969).

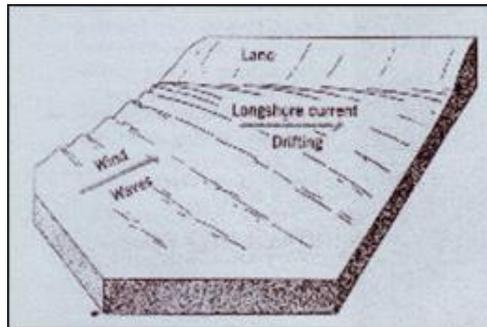
Ada dua macam gelombang yang dikenal yaitu gelombang osilasi (*wave of oscillation*) dan gelombang translasi (*translation*). Yang pertama terjadi di tempat-tempat yang dalam sehingga dasar lautan tidak berpengaruh terhadap gelombang ini. Sedangkan yang kedua terjadi di tempat-tempat yang dangkal di tepi pantai. Pada gelombang pertama tidak terjadi gerakan air secara mendatar, akan tetapi pada gelombang translasi gerakan air yang dominan adalah gerakan mendatar sehingga terjadi pengikisan terhadap pantai dan dasar laut dangkal.



Gambar 3.13. Ilustrasi *Wash* dan *Backwash* Akibat Pergerakan Air Dipantai (Strahler & Strahler, 1984)

Selain oleh angin gelombang dapat ditimbulkan pula oleh gempa bumi yang terjadi di dasar laut. Acapkali gelombang itu mempunyai ukuran yang besar dan dapat melanda pantai serta menimbulkan banjir dan bencana di daerah pantai. Gelombang semacam ini dinamakan tsunami.

Arus (*current*) dibedakan dari gelombang oleh karena di sini terjadi pemindahan massa air. Penyebabnya bermacam-macam, akan tetapi yang mempunyai arti dalam geomorfologi adalah yang ditimbulkan karena angin. Apabila arus ini menabrak pantai dengan posisi miring maka akan timbul arus sepanjang pantai (*longshore current*) yang akan mempengaruhi pembentukan pantai. Pantai sedikit demi sedikit bergeser sepanjang garis pantai sebagai hasil kerja arus semacam ini (*longshore drifting*) ditampilkan pada gambar di bawah.



Gambar 3.14. Fenomena Longshore Current dan Longshore Drifting (Strahler & Strahler, 1984)

Selain oleh angin, arus dapat pula ditimbulkan karena adanya pasang-surut (*tidal current*). Oleh karena permukaan air laut yang berlainan antara satu tempat dengan tempat lainnya maka akan terjadi arus dari tempat pasang ke tempat surut terutama melalui selat-selat, sebagai contoh selat-selat di antara pulau di Nusa Tenggara. Arus yang ditimbulkan oleh pasang-surut inipun berpengaruh pula terhadap pembentukan pantai. *Tidal bore* adalah bagian muka arus yang terjadi karena pasang-surut. *Tidal bore* biasanya berpengaruh dalam pengikisan pantai dan pembentukan endapan laut.

3.8.1 Erosi Pantai

Gelombang yang menghempas ke arah pantai dapat merusak pantai tersebut, akibatnya pantai sedikit demi sedikit menjadi mundur posisinya ke arah darat. Pantai yang demikian dinamakan pantai yang mengalami pemunduran atau abrasi (*abration*). Di Indonesia pantai yang mengalami abrasi umpamanya pantai Sumatera Barat (sekitar Padang) dan pantai Teluk Jakarta.

Muara sungai pada umumnya menumpahkan material-material yang dibawa sungai ke laut. Akibat perubahan kecepatan air sungai yang terjadi di muara maka material-material yang terangkut ini segera mengendap, dan membentuk pantai yang tumbuh atau mengalami akresi (*accretion*). Pada pengikisan pantai terjal mulamula terjadi bagian yang melekok pada muka laut, kemudian lama-kelamaan pantai itu runtuh dan mundur sedikit demi sedikit.

3.8.2 Pantai Tumbuh

Pantai tumbuh terjadi di tempat-tempat pengendapan material-material yang dibawa sungai atau dibawa arus laut itu sendiri. Sungai ini membentuk delta dan material-material yang dibawanya mengendap pula di depan pantai. Pantai yang demikian dinamakan pantai tumbuh atau mengalami akresi. Di Indonesia pantai yang tumbuh terutama dikenal di pantai-pantai Selat Malaka dan Laut Jawa.

Pengendapan yang terjadi di depan pantai terdiri dari bermacam-macam jenisnya. *Bar* adalah endapan di muka pantai yang kira-kira hampir sejajar pantai. *Czrspate bar* adalah salah satu jenis *bar* yang menyudut atau membentuk semacam taji terhadap pantai, sedangkan *tombolo* menghubungkan pantai dengan pulau kecil di depan pantai yang pulau ini juga terbentuk dengan cara pengendapan. "Pematang pantai" adalah endapan yang terbentuk pada pantai sepanjang garis pantai dari bahan - bahan hasil pengikisan pantai atau material-material yang dibawa sungai yang dimuntahkan ke laut.

3.8.3 Klasifikasi Bentuk Pantai

Pantai dapat digolongkan menjadi 4 golongan besar, yaitu: (1) pantai naik (*emergence coast*), (2) pantai turun atau tenggelam (*submergence coast*), (3) pantai statis (*neutral coastline*), dan (4) pantai gabungan (*compound coastline*) (Thornbury, 1969).

a) Pantai naik (*emergence coast*)

Pantai naik bercirikan garis pantai yang relatif rata, oleh karena dasar laut yang hampir rata dan tidak mengalami erosi serta mengalami

pengendapan, terangkat ke atas mukalaut. Kalaupun berbelok - belok, maka belokan ini halus dan rata serta perlahan. Pantai naik tidak dapat dicampur-baurkan dengan pantai maju. Pada pantai maju penambahan pantai terjadi karena pengendapan. Pantai naik yang terbentuk karena patahan pada umumnya berbentuk lurus tetapi terjal.

b) Pantai turun (*submergence coast*)

Pada pantai turun, bagian daratan yang sudah tererosi dan membentuk lembah-lembah serta roman muka yang tidak rata tenggelam di bawah muka air laut. Garis pantai menjadi berkerinyut dan banyak berbelok-belok tidak teratur. Pantai inipun jangan disamakan dengan pantai yang terdiri dari batuan yang keras, sehingga membentuk pantai tidak teratur. Biasanya yang disebutkan terakhir membentuk pantai yang terjal.



Gambar 3.15. Pantai Turun di Pelabuhan Whangaroa, Bagian Timur Laut Auckland, New Zealand (Thornburry, 1969)

c) Pantai statis (*neutral coastline*)

Pada pantai statis tidak terjadi pengendapan di muka pantai serta pertumbuhan dan pemunduran pantai, seperti diuraikan dalam bagian (1) dan (2) di atas. Karakteristik pantai ini diantaranya terbentuk delta, dataran aluvial, bersifat vulkanik, dan *coral reef* tumbuh dengan baik.

d) Pantai gabungan (*compound coastline*)

Pantai ini mengalami proses gabungan, pada periode tertentu mengalami penurunan, pada periode lain mengalami kenaikan. Oleh karena itu, karakteristik pantai naik dan turun keduanya ditemukan pada jenis pantai ini.

3.9 Latihan

1. Sebutkan secara singkat yang dimaksud Proses Geomorfologi!
2. Sebutkan tiga unsur pada Proses Degradasi!
3. Apa yang dimaksud dengan Proses Agradasi!

3.10 Rangkuman

Geomorfologi secara umum didefinisikan sebagai ilmu yang mempelajari tentang alam, yaitu meliputi bentuk-bentuk roman muka bumi serta perubahan-perubahan yang terjadi sepanjang evolusinya dan hubungannya dengan keadaan struktur di bawahnya, serta sejarah perubahan geologi yang diperlihatkan atau tergambar pada bentuk permukaan itu (American Geological Institute. 1973). Dalam bahasa Indonesia banyak orang memakai kata bentangalam sebagai terjemahan geomorfologi.

Proses geomorfologi adalah perubahan-perubahan baik secara fisik maupun kimiawi yang dialami permukaan bumi. Penyebab proses tersebut yaitu benda-benda alam yang kita kenal dengan nama *geomorphic agent*, berupa air dan angin.

3.11 Evaluasi

1. Aliran sungai air yang mengikis secara vertical dibagian hulu, dan material-material yang dibawanya ikut mengikis dasar sungai atau lembah tersebut, sehingga lembahnya berbentuk V, disebut lembah sungai bertaraf.....
 - a. Awal
 - b. Tua
 - c. Dewasa
 - d. Muda
2. Pola pengaliran terjadi pada daerah yang terlipat ataupun gunung api umumnya adalah.....
 - a. Pola aliran trellis
 - b. Pola aliran dendritic
 - c. Pola aliran memancar (radial)
 - d. Pola aliran mengumpul (annular)

3. Bentangalam yang terjadi akibat pelarutan pada wilayah yang tersusun oleh batugamping, batuan dolomit atau gamping dolomitan yang membentuk lubang-lubang disebut sebagai.....
- a. Terra rossa
 - b. Lapis
 - c. Sinkholes
 - d. Karst



BAB IV

STRATIGRAFI

Indikator Hasil Belajar:

Setelah mengikuti pembelajaran ini, peserta mampu menjelaskan stratigrafi.

4.1 Umum

Stratigrafi adalah ilmu batuan sedimen yang mempelajari asal (origin), korelasi, pemerian dan pembentukan batuan sedimen dengan cara menerapkan prinsip-prinsip kimia, fisika, paleontologi dan ekologi moderen.

Salah satu cabang dari ilmu stratigrafi ialah ilmu paleontologi. Ilmu paleontologi mempelajari peri hidup dari masa geologi yang telah lampau. Untuk keperluan itu digunakan fosil - fosil. Fosil adalah sisa - sisa atau bekas - bekas jasad yang terpendam atau diliputi oleh sedimen - sedimen.

4.2 Hukum Dasar Stratigrafi

Steno telah mengemukakan inti dari apa yang sekarang dikenal sebagai tiga hukum stratigrafi:

- a) Hukum datar asal (*law of original horizontality*) yang menyatakan bahwa batuan berlapis diendapkan sebagai lapisan - lapisan atau strata horizontal.
- b) Hukum kesinambungan lateral (*law of lateral continuity*) yang menyatakan bahwa batuan berlapis akan melampar secara menerus di permukaan bumi. dibatasi : oleh energy, jarak dan sumber, serta waktu.
- c) Hukum superposisi (*law of superposition*) yang menyatakan bahwa batuan berlapis diendapkan secara kronologis, dimana batuan yang tua akan terletak di bawah batuan yang muda.

Ketiga hukum Steno itu di kemudian hari menjadi pilar-pilar utama bagi pengetahuan ilmu geologi. Latar belakang pengetahuan medis dan anatomi yang dimiliki Steno telah banyak membantunya dalam mempelajari fosil-fosil organisme. Dia juga menggaris-bawahi bahwa meskipun dilaut masa sekarang ini kita tidak dapat menemukan organisme yang mirip dengan bentuk fosil seperti yang telah ditemukan, tapi studi anatomi detil dengan jelas

menunjukkan bahwa fosil - fosil itu memang lebih mirip dengan sisa - sisa organisme dari pada dengan benda - benda anorganik. Dengan demikian, secara implisit Steno juga telah mengemukakan azas “masa sekarang adalah kunci masa lampau”.

4.3 Prinsip Dasar Stratigrafi

Prinsip dasar stratigrafi adalah sebagai berikut:

- a) Pada awalnya perlapisan/strata diendapkan secara horizontal. Meskipun azas ini dengan mudah dapat diakui kesahihannya, namun ketika diterapkan di lapangan tidak langsung benar. Sebagai contoh, dalam lingkungan non-marin, pengendapan sedimen berbutir kasar dapat terjadi pada suatu lereng yang miring hingga 30° . Endapan marin juga dapat terakumulasi dengan kedudukan yang hampir sama. Kedua contoh di atas merupakan pengecualian dari azas datar asal. Karena itu, kita harus merevisi pertanyaan azas tersebut sehingga dapat diterapkan pada seluruh bentuk endapan sedimen.
- b) Azas superposisi yang menyatakan bahwa dalam suatu longgokan vertikal batuan berlapis, lapisan yang ada di bawah diendapkan lebih dahulu daripada lapisan yang ada di atasnya. Sekali lagi azas ini ada pengecualiannya, misalnya endapan gua. Namun, endapan yang merupakan pengecualian itu umumnya hanya bersifat lokal. Penerapan azas ini memerlukan kehati-hatian karena dapat menyebabkan timbulnya penafsiran yang salah sama sekali. Meskipun azas superposisi dapat diterapkan pada hampir setiap penampang vertikal dari singkapan atau daerah tertentu, tetapi lapisan-lapisan yang terletak di bagian bawah tidak selalu lebih tua daripada lapisan-lapisan yang ada di atasnya. Hukum ini juga hanya dapat diterapkan pada sekuen menerus yang tidak terganggu oleh per-sesar-an. Sebagai contoh, pada *thrust terrain* dan kompleks subduksi, orang sering menemukan suatu sekuen batuan dimana batuan muda terletak di bawah batuan tua. Namun, hasil-hasil pengamatan detail menunjukkan bahwa sekuen tersebut memang terbentuk akibat adanya peralih-tempatan tektonik, bukan oleh pengendapan biasa.
- c) Konsep kesinambungan lateral. Konsep ini menyatakan bahwa strata diendapkan sebagai lapisan-lapisan menerus di sepanjang cekungan

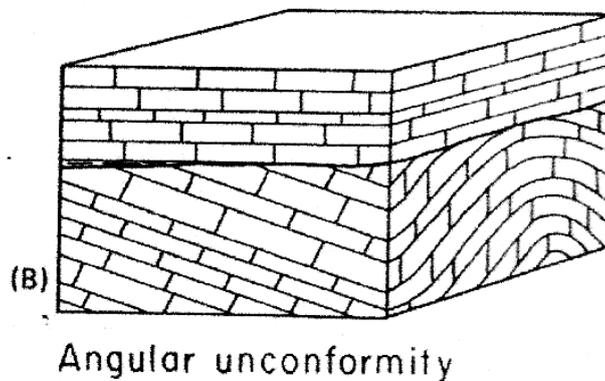
pengendapan dan mungkin dapat dikolerasikan hingga satu jarak yang jauh. Meskipun konsep ini sangat penting artinya untuk memahami stratigrafi regional, namun hendaknya hanya digunakan secara terbatas untuk suatu cekungan pengendapan. Penerapan yang kurang tepat dari hukum ini pada masa lalu telah mendorong lahirnya teori “kulit bawang” yang menyatakan bahwa bumi tersusun oleh lapisan-lapisan konsentris batuan sedimen. Sekarang kita tahu bahwa lapisan-lapisan sedimen menipis dan menghilang pada tepi-tepi cekungan pengendapannya serta bahwa suatu tipe sedimen dapat berubah secara berangsur menjadi tipe-tipe sedimen yang lain karena adanya perubahan fasies. Perubahan fasies itu terjadi karena adanya perubahan lingkungan pengendapan yang ekuivalen dengan waktu. Penerapan stratigrafi “kue lapis” tersebut juga dapat mendorong timbulnya kesalahan penafsiran. Satuan-satuan batuan harus dipandang sebagai lapisan-lapisan yang berubah ketebalannya, berakhir pada tepian cekungan pengendapannya, secara lateral berubah menjadi tipe litologi yang lain, bahkan lapisan itu dapat berubah secara tiba-tiba.

Azas stratigrafi lain yang bersifat mendasar adalah azas pemotongan dan hukum inklusi (*law of inclusion*). Azas pemotongan menyatakan bahwa sesuatu yang memotong suatu lapisan batuan sedimen berumur lebih muda daripada batuan sedimen tersebut. Jadi, jika suatu retas (*dike*) memotong suatu strata sedimen maka retas itu berumur lebih muda daripada strata itu. Hukum inklusi menyatakan bahwa suatu inklusi, misalnya partikel yang ada dalam konglomerat, harus ada sebelum benda yang mengandung inklusi itu terbentuk. Dengan kata lain, material inklusi lebih tua daripada umur endapan dimana inklusi itu berada. Hukum ini mungkin merupakan hukum paling mendasar dalam stratigrafi. Hukum ini dikemukakan oleh Nicolaus Steno ketika dia mengamati inklusi zat padat dalam zat padat yang lain.

Untuk menerapkan azas-azas stratigrafi yang telah dijelaskan di atas, seseorang harus dapat mengetahui posisi stratigrafi asal dari suatu sekuen sedimen. Hal ini dapat dengan mudah dilakukan pada daerah-daerah yang tidak terganggu. Namun, syarat tersebut tidak jarang menimbulkan kesulitan jika strata yang diamatinya terdeformasi kuat. Sebagai contoh, pada suatu

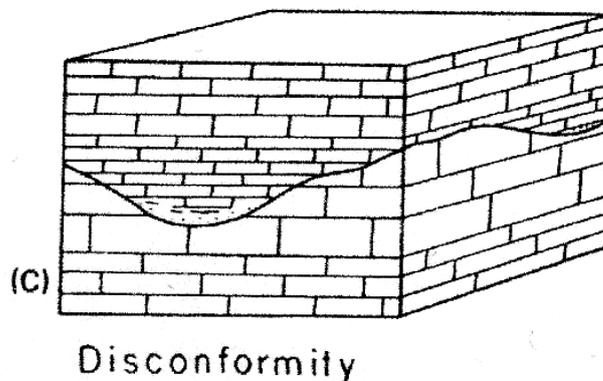
sekuen vertikal, superposisi tidak dapat diterapkan tanpa kita mengetahui posisi stratigrafi asalnya.

Dalam mempelajari *angular unconformity* ada dua hal yang perlu diperhatikan. Pertama, kita tidak boleh menggunakan besaran sudut kontak sebagai indikasi rentang waktu yang hilang. Kedua, kita juga harus mampu membedakan *angular unconformity* dengan lapisan silang-siur skala besar. Lapisan silang-siur merupakan gejala batuan yang memiliki implikasi pengertian jauh beda dengan apa yang diimplikasikan oleh *angular unconformity*.



Gambar 4.1. Angular Unconformity

Disconformity adalah jenis ketidakselarasan dimana sekuen batuan yang dipisahkan oleh bidang kontak terletak sejajar satu sama lain, sedangkan bidang kontakannya merupakan bidang erosi tua yang memiliki relatif cukup kasar.



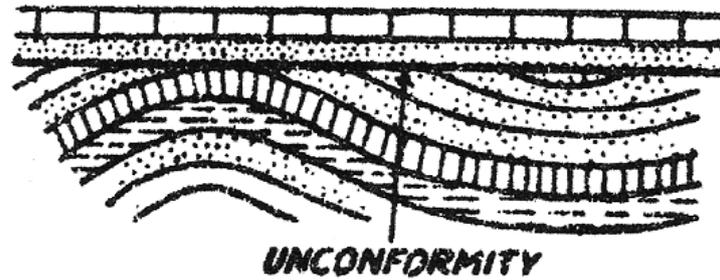
Gambar 4.2. Disconformity

Dalam *paraconformity* kedua sekuen batuan yang dipisahkan oleh bidang kontak juga terletak sejajar satu sama lain, namun bidang kontakannya bukan

merupakan bidang erosi tua. Karena bidang kontakannya bukan merupakan bidang yang tidak jelas, maka ketidakselarasan ini ditentukan berdasarkan ketidak-sinambungan suksesi fosilnya atau berdasarkan hasil teknik penanggalan radiometric. Untuk menghindari adanya kerancuan antara konsep selang waktu yang hilang dengan kontak erosi, maka istilah “kontak ketidak-selarasan” (“unconformable contact”) atau “ketidak-selarasan” (“unconformity”). Berbeda dengan tipe ketidak-selarasan yang lain, unconformity dibentuk oleh dua tipe batuan yang sangat berbeda, misalnya batuan plutonik dengan batuan sedimen.

Tipe kontak stratigrafi yang lain telah diketahui sejak lama adalah kontak intrusi. Dalam tipe kontak stratigrafi ini batuan plutonik dalam atau batuan plutonik hipabisal bersentuhan dengan batuan sedimen. Kontak ini dapat ditafsirkan berdasarkan hukum pemotongan dari steno yang menyatakan bahwa batuan yang memotong berumur lebih muda dari pada batuan yang dipotong.

Keempat tipe dasar dari ketidakselarasan di atas, mungkin dengan pengecualian untuk paraconformity, dapat dengan relatif mudah diamati di lapangan. bila dalam suatu sekuen batuan ditemukan adanya ketidakselarasan besar, maka dapat disimpulkan bahwa rekaman stratigrafi itu tidak lengkap dan bahwa ada selang waktu yang tidak terwakili oleh batuan. Keyakinan akan hilangnya selang waktu demikian mungkin akan sukar didapatkan bila kita dihadapkan pada paket stratigrafi yang menerus. Hingga dewasa ini ada dua pendapat yang berkembang di kalangan ilmuan mengenai waktu yang diwakili oleh sekuen-sekuen “menerus”. Kelompok pertama menyatakan bahwa kecuali untuk ketidakselarasan-ketidakselarasan besar, strata sedimen merekam hampir seluruh sejarah bumi. Kelompok kedua menyatakan bahwa setiap bidang perlapisan mencerminkan rentang waktu yang hilang, meski sangat singkat. lebih jauh para ahli yang menyokong pendapat kedua ini menyatakan bahwa selang waktu yang dicerminkan oleh bidang perlapisan mungkin lebih panjang daripada selang waktu yang dicerminkan oleh batuan itu sendiri.



Gambar 4.3. Unconformity

4.4 Korelasi Stratigrafi

Para geologian yang pada akhir abad 19 mencoba mengembangkan kolom geologi dan menyadari perlunya dilakukan pemisahan yang jelas antara konsep waktu dengan konsep batuan yang diendapkan selama selang waktu tertentu. Hal itu kemudian mendorong munculnya satuan waktu-geologi (*geologic-time units*) yang ditujukan untuk berbagai selang waktu geologi serta satuan batuan-waktu (*time-rock units*) yang ditujukan untuk batuan yang terbentuk selama tiap waktu selang tersebut. Satuan waktu-geologi batuan dibagi menjadi lima bagian. Kelima bagian itu, dari kisaran terpanjang hingga terpendek, berturut-turut adalah kurun (*eon*), masa (*era*), jaman (*period*), kala (*epoch*), dan umur (*age*). Satuan batuan-waktu yang diendapkan pada setiap selang waktu tersebut berturut-turut adalah eonotem (*eonothem*), eratem (*erathem*), sistem (*system*), deret (*series*), dan jenjang (*stage*). kaitan antara setiap satuan batuan-waktu dengan satuan waktu-geologi yang korelatif dengannya. Baik satuan batuan-waktu maupun satuan waktu-geologi, keduanya mengambil nama dari kolom-kolom geologi standar yang telah disepakati secara internasional. Sebagai contoh, istilah Kambrium digunakan untuk menunjukkan waktu 570-505 juta tahun yang lalu (*million years ago, Ma*) dan istilah Sistem Kambrium untuk menunjukkan batuan-batuan yang diendapkan selama Kambrium.

Konsep pembagian dan penggolongan batuan yang lain, dan tentu saja penting, adalah satuan litologi yang tidak bersangkutan paut dengan aspek waktu. Bagian standar dari satuan batuan adalah formasi (*formation*). Beberapa formasi yang berhubungan erat dapat digabungkan menjadi satuan yang lebih besar: kelompok (*group*) atau supergroup. Suatu formasi juga

dapat dibagi lagi menjadi satuan-satuan yang lebih kecil: anggota (*member*) atau *bed*.

Ada empat satuan yang hingga saat ini telah digunakan secara luas oleh para stratigrafiwan di seluruh dunia yaitu satuan litostratigrafi, satuan biostratigrafi, satuan kronostratigrafi, dan satuan geokronologi.

Satuan litostratigrafi (*lithostratigraphic units*) yang secara singkat biasa disebut satuan batuan (*rock units*), mungkin merupakan kategori paling mendasar dalam penggolongan stratigrafi. Satuan-satuan dalam kategori ini ditentukan semata-mata berdasarkan karakter litologi yang sifatnya khas. Batuan litostratigrafi dapat tersusun oleh satu tipe batuan atau kombinasi dari beberapa tipe batuan yang memperlihatkan karakter yang khas dibanding batuan-batuan yang ada disekitarnya. Kontak antara dua satuan litostratigrafi dapat bersifat tajam atau berangsur. Jika kontak berangsur dari dua satuan litostratigrafi merupakan satuan zona yang cukup lebar, maka batuan-batuan yang ada di zona kontak tersebut dapat disatukan menjadi satuan baru. Dalam menetapkan suatu satuan litostratigrafi perlu dikemukakan penampang tipe yang dapat mewakili satuan tersebut. Penentuan suatu penampang tipe hendaknya jangan hanya dilakukan berdasarkan karakter litologinya saja, tetapi juga harus mempertimbangkan aksesibilitasnya. Kontak atas dan bawah dari suatu penampang tipe hendaknya dinyatakan secara jelas. Perlu diketahui bahwa istilah “penampang tipe” dan “kontak atas dan kontak bawah dari penampang tipe” yang digunakan oleh North America Commission on Stratigraphic Nomenclature, berturut-turut sinonim dengan istilah “Stratotipe Satuan” dan “Stratotipe Batas” yang digunakan oleh *International Subcommission on Stratigraphic Classification*.

Bagian dasar dari suatu satuan litostratigrafi adalah formasi (*formation*). Beberapa formasi yang mirip satu sama lain dapat disatukan menjadi kelompok (*group*) atau sebagai supergroup. Suatu formasi dapat dibagi menjadi satu atau lebih anggota (*member*) dan anggota dapat dibagi menjadi satu atau lebih *bed*.

Formasi umumnya merupakan satuan resmi yang pertama kali ditentukan dalam pekerjaan lapangan. Untuk dapat disebut formasi, suatu satuan harus

memiliki kesamaan litologi atau memiliki kombinasi litologi yang khas sedemikian rupa sehingga dapat dibedakan dengan satuan-satuan lain yang ada di sekitarnya. Karena formasi merupakan satuan lapangan, maka suatu formasi harus dapat dipetakan dalam suatu peta yang skalanya digunakan pada wilayah dimana formasi itu berada.

Pada tahun 1987, ISSC mendefinisikan suatu satuan baru yang disebut satuan stratigrafi yang dibatasi oleh ketidakselarasan (*stratigraphic bounded-unconformity unit*). Satuan-satuan ini dikenal sebagai satu tubuh batuan yang batas atas dan bawahnya merupakan ketidak-selarasan (*disconformity, angular unconformity, dsb*) yang memiliki pelamparan regional atau interregional. Satuan ini dapat tersusun oleh campuran dari berbagai jenis batuan, fosil, dan umur. Satu-satunya kriteria yang digunakan untuk menentukan satuan ini adalah ketidakselarasan. Sistem satuan dasar dari satuan ini, oleh para ahli stratigrafi seperti Sloss (1963) diidentifikasi sebagai sekuen regresi dan transgresi yang berskala regional (lihat gambar 1-20). Akhir-akhir ini banyak ahli berpendapat bahwa satuan ini terbentuk sebagai hasil perubahan muka air laut berskala global. Karena itu, menurut mereka, satuan ini dapat dipakai untuk mengkorelasikan endapan - endapan dari benua yang berbeda.

4.5 Latihan

1. Sebutkan Hukum dasar stratigrafi yang pertama oleh Steno!
2. Sebutkan Hukum dasar stratigrafi yang kedua oleh Steno!
3. Sebutkan Hukum dasar stratigrafi yang ketiga oleh Steno!

4.6 Rangkuman

Stratigrafi adalah ilmu batuan sedimen yang mempelajari asal (origin), korelasi, pemerian dan pembentukan batuan sedimen dengan cara menerapkan prinsip-prinsip kimia, fisika, paleontologi dan ekologi moderen.

Steno telah mengemukakan inti dari apa yang sekarang dikenal sebagai tiga hukum stratigrafi:

- a) Hukum datar asal (*law of original horizontality*) yang menyatakan bahwa batuan berlapis diendapkan sebagai lapisan - lapisan atau strata horizontal.
- b) Hukum kesinambungan lateral (*law of lateral continuity*) yang menyatakan bahwa batuan berlapis akan melampar secara menerus di permukaan bumi. dibatasi : oleh energy, jarak dan sumber, serta waktu.
- c) Hukum superposisi (*law of superposition*) yang menyatakan bahwa batuan berlapis diendapkan secara kronologis, dimana batuan yang tua akan terletak di bawah batuan yang muda.

4.7 Evaluasi

1. Pada suatu singkapan batuan terdapat 2 (dua) lapisan batuan sedimen dengan umur yang berbeda dengan Kontak menyudut antara lapisan bawah dan lapisan di atasnya, apakah jenis kontak tersebut.....
 - a. Kontak selaras
 - b. Kontak tak selaras jenis disconformity
 - c. Kontak tak selaras jenis angular unconformity
 - d. Kontak tak selaras jenis

2. Dalam Geologi dikenal umur batuan dari yang tua sampai muda pada umumnya dalam rentang ribuan sampai jutaan tahun. Salah satu pengenalan umur tersebut berdasar hasil fosil yang terdapat dalam endapan batuan. Umur batuan yang berdasar kan pengenalan fosil disebut sebagai.....
 - a. Umur mutlak
 - b. Umur variable
 - c. Umur absolut
 - d. Umur relative

3. Air adalah salah satu media transportasi dalam pengangkutan sedimen mulai dari sumber material di gunung sampai ketempat diendapkan misalnya laut. Jika ditemukan suatu endapan breksi disuatu tempat maka dapat dikatakan bahwa material breksi berasal dari.....
- a. Sumber relatif jauh dari tempat tersebut
 - b. Sumber relatif dekat dari tempat tersebut
 - c. Tergantung relatif besarnya banjir
 - d. Tergantung bentuk batholit

BAB V

STRUKTUR GEOLOGI

Indikator Hasil Belajar:

Setelah mengikuti pembelajaran ini, peserta mampu menjelaskan struktur geologi.

5.1 Umum

Struktur geologi pada umumnya membahas perihal bentuk kerak bumi dan hubungan antara satuan-satuan batuan yang membentuk kerak bumi. Oleh karena dalam hal hubungan antara satuan-satuan batuan itu sangat rumit, atau bahkan seringkali tidak jelas, akibat adanya gejala deformasi (*deformation*), maka ruang lingkup struktur geologi menjurus kearah suatu usaha untuk memahami gejala-gejala geologi yang menyebabkan terjadinya perubahan-perubahan bentuk pada batuan.

Dengan demikian, maka tujuan utama dari struktur geologi adalah mempelajari pelenturan-pelenturan pada bumi, apa yang menyebabkan dan bagaimana akibatnya. Banyak ahli geologi yang beranggapan bahwa struktur geologi adalah sama atau identik dengan tektonik. Sebenarnya tidak demikian halnya, kedua istilah ini harus dibedakan satu sama lainnya. Struktur geologi harus diartikan sebagai sains yang menyelidiki dan mempelajari perihal bentuk dan kerangka dari batuan serta gejala-gejala yang menyebabkannya, maka tektonik mempunyai ruang lingkup yang lebih luas.

5.2 Pengertian

Yang dimaksud dengan struktur batuan adalah bentuk dan kedudukannya yang nampak pada singkapan. Kenampakan tersebut adalah hasil pembentukan dari dua proses, yaitu :

- a) Proses yang berhubungan dengan saat pembentukan batuan tersebut, dimana akan dijalin struktur-struktur primair, dan
- b) Proses-proses yang bekerja kemudian setelah batuan terbentuk, yaitu baik yang berupa deformasi mekanis ataupun perubahan secara kimiawi yang mempengaruhi batuan tersebut.

Pengangkatan, perlipatan dan sebagainya, adalah hasil daripada proses yang kedua tersebut, dan struktur - struktur yang dibentuknya disebut struktur sekunder. Umumnya, struktur geologi hanya khusus mempelajari struktur-struktur sekunder saja. Namun, kita tetap harus mempunyai pengetahuan yang cukup mengenai hal - hal dan sifat - sifat dari batuan asal yang diubah itu, artinya kita juga harus mengetahui bentuk - bentuk daripada struktur primair.

Yang dimaksud dengan struktur-struktur primer, umpamanya, yang terdapat pada batuan sedimen, adalah : bidang-bidang perlapisan, struktur silang (*cross bedding*), gelembur-geombang (*ripple marks*), dan sebagainya. Sedangkan pada batuan beku, umpamanya struktur aliran (*flow structure*), yang sering dijumpai pada lava atau bagian tepi dari batolith.

5.3 Cara-Cara Mempelajari Struktur Batuan

Terdapat dua cara yang biasa ditempuh untuk mempelajari dan menganalisis struktur geologi, yaitu :

Cara 1 :

- a) Terlebih dahulu dicoba untuk mengenal jenis struktur batuan yang diamati, misalnya: struktur lipatan (antiklin atau sinklin), rekahan, sesar, dan sebagainya.
- b) Bentuk dan ukurannya kemudian diperikan (dalam bentuk sebenarnya), misalnya: pada suatu lipatan, apakah simetris atau asimetris, lebar dan panjang singkapan ditentukan, tinggi puncak, dan sebagainya.
- c) Kedudukan unsur-unsurnya harus diukur dan dipetakan, misalnya: arah poros, besar penunjaman dan sebagainya.
- d) Dibuat suatu gambar/sketsa, bagan sementara atau foto.
- e) Bagaimana cara-cara dan mekanisme pembentukannya perlu didiskusikan.

Cara 2 :

Dengan menggambarkan geometri struktur batuan dengan dasar statistik. Unsur-unsur struktur dipetakan dan dicantumkan ke dalam peta sebagai kelompok-kelompok data statistik yang berupa diagram-diagram, yang

keseluruhannya akan menggambarkan suatu pola struktur batuan di daerah tersebut. Studi pola struktur demikian didasarkan kepada beratus-ratus pengamatan dan catatan-catatan yang kemudian diubah kedalam diagram-diagram pola.

Kedua cara diatas, bila dilakukan dan dianalisis, maka hasilnya akan saling mengisi dalam usaha mempelajari struktur geologi suatu daerah. Tetapi yang paling diutamakan dalam praktek adalah tempat dan kedudukan yang sebenarnya dari struktur-struktur tersebut, terutama dalam menghadapi masalah-masalah pertambangan, perminyakan, atau geologi teknik.

Secara umum struktur geologi yang telah dikenal, antra lain berupa: kekar, sesar dan lipatan. Untuk lebih jelasnya, bisa diuraikan sebagai berikut:

5.3.1 Kekar (*Joints*)

Umumnya rekahan batuan adalah merupakan hasil kekandasan akibat tegangan (*stress*), karena itu mereka akan mempunyai sifat - sifat yang mengikutiti hukum-hukum fisika. Hampir tidak ada suatu singkapan dimuka bumi ini yang tidak memperlihatkan gejala rekahan.

Kekar adalah sebutan untuk struktur rekahan dalam batuan dimana tidak ada atau sedikit sekali mengalami pergeseran. Rekahan yang telah bergeser disebut sesar. Struktur kekar merupakan gejala umum yang sering dijumpai dan dipelajari secara luas, karena hubungannya yang erat dengan masalah - masalah :

- a) Geologi Teknik
- b) Geologi minyak, terutama dengan masalah cadangan dan produksi.
- c) Geologi Air - Tanah.
- d) Geologi untuk pertambangan, baik dalam hal sistem penambangannya maupun pengerahan terhadap bentuk - bentuk mineralisasi dan lain - lain.

Dalam teknik sipil masalah rekahan merupakan hal yang sangat penting, karena merupakan jalur-jalur lemah dalam batuan. Kesukaran yang dihadapi dalam membuat analisis struktur ini terletak pada banyaknya sifat-sifat dasar yang dimiliki; artinya terdapat bukti - bukti bahwa kekar-kekar ini, dapat

terbentuk pada setiap waktu. Misalnya: Dalam batuan sedimen, kekar dapat terbentuk mulai dari saat pengendapan, atau segera terbentuk setelah pengendapannya, dimana sedimen tersebut masih sedang mengeras.

Rekahan juga dapat terjadi pada saat mendekati akhir proses deformasi; atau bersama-sama dengan pembentukan struktur-struktur lainnya seperti lipatan atau serat. Atau juga terbentuk jauh sesudah gaya-gaya deformasi tersebut mulai menghilang, dalam usaha untuk mengimbangi perubahan-perubahan akibatnya tersebut. Juga ternyata bahwa bukan saja gaya tektonik yang selalu menyebabkan terjadinya kekar, sebab banyak batuan yang keras yang tidak menunjukkan adanya pengaruh tektonik juga disilangi oleh sejumlah struktur kekar.

Di dalam kekar tidak terjadi pergeseran. sehingga sukar sekali untuk menentukan usia relatif dari satu kumpulan kekar yang mempunyai arah tertentu terhadap sekumpulan kekar lainnya yang mempunyai arah lain. Akibatnya, kita dapat memberikan perumpamaan yang salah mengenai usianya, dan ini akan menyebabkan analisis yang dibuat kurang teliti.

Kekar dapat dikelompokkan dan didiskripsikan berdasarkan salah satu atau beberapa daripada sifat-sifat seperti di bawah ini :

- Bentuknya
- Ukurannya
- Kerapatan
- Gabungan antara ukuran dan kerapatan (*frequency of occurrence*).

a) Pengelompokan didasarkan kepada bentuknya :

- 1) Kekar yang sistematis
- 2) Yang tak sistematis

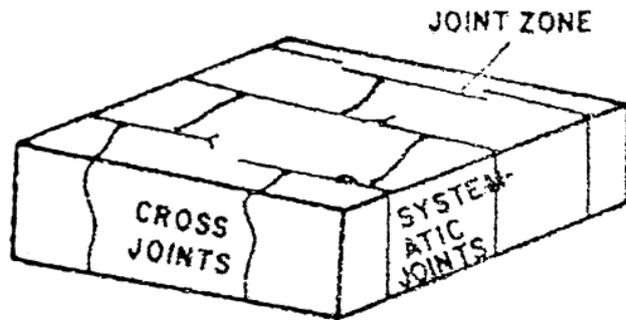
Yang sistematis selalu dijumpai dalam pasangan ("set"). Tiap pasangan ditandai oleh arahnya yang serba sejajar, atau hampir sejajar bila dilihat dari kenampakan diatas permukaan (jadi belum tentu demikian pada kenampakan vertikalnya).

Terdapatnya lebih dari satu pasang kekar di suatu daerah disebut sebagai "sistem" atau pola kekar. Kekar sistematis umumnya

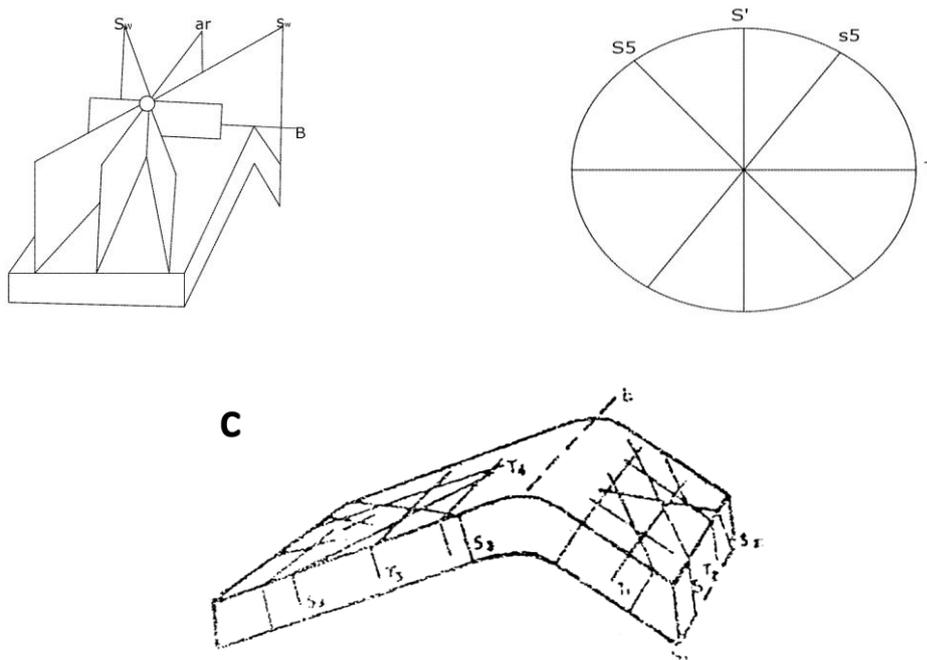
mempunyai bidang - bidang kekar yang rata atau melengkung lemah, dan biasanya hamper tegak lurus, pada batas litologi (bidang perlapisan). Kekar yang tak sistimatik dapat saling bertemu, tetapi tidak memotong kekar lainnya. Permukaannya selalu lengkung dan umumnya berakhir pada bidang-bidang perlapisan.

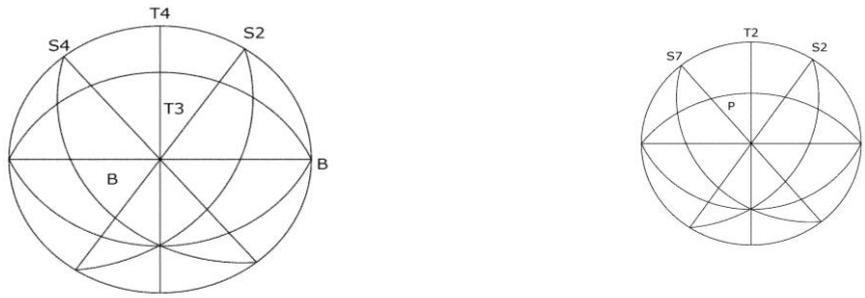
b) Pengelompokan yang didasarkan ukurannya :

Penggolongan ini dilakukan secara sembarang, dan tergantung kepada yang akan menggunakan dan ukuran kekar yang terbesar yang terdapat di daerah itu.

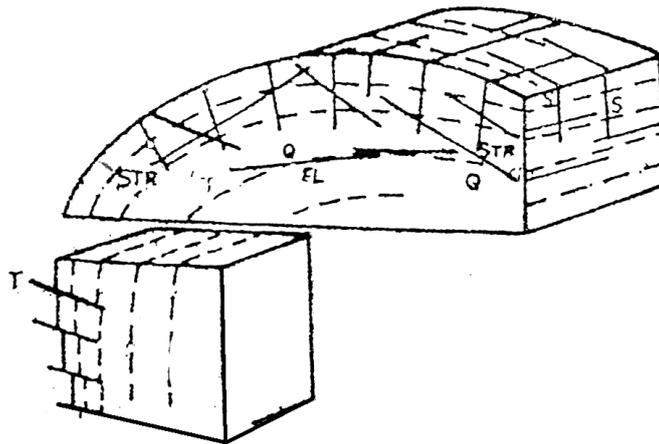


Gambar 5.1. Diagram Balok Dengan Kekar-Kekar Sistimatik dan Tidak Sistimatik (Cross Joints)





Gambar 5.2. Jenis-Jenis Kekar dan Hubungannya Dengan Struktur Antiklin



Gambar 5.3. Arah-Arah Kekar Dalam Suatu Intrusi

Q = *Cross joint*

S = *Logitudinal joint*

Ukuran kekar sangat beragam, berkisar dari beberapa ratus meter hingga yang kecil, yang hanya dapat dilihat di bawah mikroskop. Ukuran kekar (bidang kekar) akan sangat tergantung dari jenis batuan dan ukuran dari satuan batuan. Kerapatan kekar dihitung dari jumlah bidang-bidang kekar yang terpotong oleh lintasan yang dibuat tegak lurus pada arah kekar.

- c) Dilihat dari cara pembentukannya, umumnya kekar dikelompokkan menjadi :
- 1) Kekar yang disebabkan oleh tekanan, disebut “*shear*” atau “*compression joints*”
 - 2) Kekar yang disebabkan oleh tarikan, disebut “*tension joints*” atau kekar tegangan.

Kadang-kadang kedua jenis kekar tersebut sukar sekali dibedakan di lapangan. Parker (G.S.A. Bull, v. 53, 1942) dan Robert (Am. J. Sci. , v. 259, 481, 1961) mengemukakan kriteria-kriteria untuk mengenal kedua jenis kekar tersebut di lapangan.

Misalnya: dikatakan bahwa *shear Joints* umumnya lurus-lurus, mempunyai permukaan yang rata, dan menunjukkan gejala struktur "*plumose*" dan lain sebagainya

5.3.2 Shear Joints (Kekar Gerus)

"*First order shear joint*" biasanya parallel dengan sesar, karena pembentukannya disebabkan oleh pola tegangan yang sama. Bedanya adalah bahwa pada gejala sesar salah satu pasangan akan berkembang lebih menonjol dari komplementernya, sedangkan pada kekar kedua-duanya akan kita lihat berkembang dengan sama.

Sifat - sifat khas yang dijumpai pada kekar gerus :

- a) Biasanya bidangnya rata (licin), dan memotong seluruh batuan. Sukar dikenal (artinya dibedakan dari kekar lainnya). Bila ada gores - goaris pada bidangnya, maka ini berarti bahwa telah terjadi pergeseran oleh pergerakan-pergerakan sesudahnya.
- b) Dalam beberapa hal dianggap bahwa kekar oleh tekanan (*shear joints*) akan memotong langsung melalui butir-butir komponen pada konglomerat, jadi tidak mengelilingi butir-butir seperti yang diakibatkan oleh tarikan.
- c) Adanya "*joint set*" biasanya 2, 3 atau lebih dapat juga ditafsirkan sebagai suatu pasangan *shear joint*. Dalam sedimen (batuan berlapisan) sering sekali bidang-bidang lapisannya berubah menjadi salah satu "*joint set*". Sedangkan yang lainnya akan tegak lurus pada bidang pelapisannya, ini kalau belum terlipat. Kalau sudah terjadi perlipatan, *shear joint* akan memotong bidang lapisan dengan sudut tertentu. Karena gejala sesar (*faulting*) juga dapat mengakibatkan terjadinya beberapa "*joint set*" dan kekar gerus (*second order shear joint*), maka mengenai hubungan antara sesar dan beberapa jenis kekar, akan dibahas nanti pada bab selanjutnya.

5.3.3 Kekar Pada Batuan Metamorfis

Kekar pada batuan metamorfis, akan memotong foliasi, kadang-kadang tegak lurus pada foliasi dan kadang-kadang foliasi dapat menempati salah satu “*joint set*”. Kalau melihat perkembangannya di lapangan, mungkin tidak akan didapati sebaik apa yang dijelaskan disini. Dan hal ini benar, kadang-kadang kekar akan ditemukan dalam keadaan baik sekali, kadang-kadang tidak beraturan. Ini disebabkan karena sangat tergantung pada besar butir dan keseragaman dari material-materialnya. Pada batuan yang halus dan homogen seperti lempung, ia akan berkembang secara baik sekali, dan biasanya lapisan-lapisan disini hampir tidak ada pengaruhnya karena geseran pada bidang lapisannya hampir sama dengan kekuatan lempung itu sendiri. Bila batuan itu kasar seperti konglomerat, maka ia akan sangat tidak beraturan. Artinya tidak begitu parallel, dan terputus - putus.

Walaupun ada beberapa “*joint set*”, biasanya salah satu akan terlihat dengan jelas sekali dan lebih teratur. Ini disebabkan karena pada arah ini tekanan mengalami tekanan yang paling minimum. Jadi ia akan searah dengan arah dimana terdapat rintangan yang paling kecil.

5.3.4 Kekar Tarik (Tension Joint)

Berbeda sekali dengan *shear joint*, *tension joint* sangat tidak teratur, bidang-bidangnya tidak rata. Yang sangat khas ialah bahwasanya ia selalu terbuka. Yang paling sederhana ialah yang diakibatkan oleh pengerutan.

5.3.5 Kekar-Kekar yang Tidak Ada Hubungannya dengan Gaya Tektonik

Umumnya dijumpai terutama pada lava atau batuan beku sebagai akibat pendinginan. *Columnar jointing* pada basalt, bentuknya heksagonal, umumnya pentagonal kadang-kadang juga disebut diaklas. Pada granit atau sebangsanya juga kita jumpai kekar sebagai akibat daripada pendinginan/ penyusutan volume.

Jenis - jenis kekar yang terdapat dalam granit:

a) *Cross joint* (disebut juga O joint).

Kekar ini adalah kekar yang arahnya (bidangnya) tegak lurus pada struktur garis aliran. Kekar ini biasanya lebih panjang dan lebih lurus dari jenis-jenis lainnya. Bidanganya hampir selalu dilapisi oleh mineral-mineral hydro thermal seperti : chlorit, muscovite, kwarsa, pyrite dan lain - lain.

Jika aliran magmanya melengkung (batholiths), maka pola kekarnya juga akan menyebar seperti tulang kerangka sebuah kipas.

Pada jenis batuan beku yang agak kompak dimana struktur alirannya tidak begitu Nampak, kekar ini tidak bisa ditentukan dengan jelas. Kekar ini biasanya berkembang dengan baik pada bagian tepi badan magma. Bidanganya biasanya licin. Seringkali sesar jenis ini diisi oleh korok apilit, pegmatite dan lain-lain.

b) *Logitudinal joint*

Arahnya sejajar dengan garis aliran. Kekar ini akan jelas kalau garis alirannya horizontal, misalnya pada bagian atas dari suatu intrusi yang besar. Bedanya dengan cross joint adalah pada bidanganya yang kasar. Juga biasanya diisi oleh pegmatite, apilit atau korok lainnya.

Kekar yang berhubungan dengan erosi dan pengurangan beban disebut "*sheeting joint*" dengan arahn sejajar dengan permukaan yang tersingkap.

Granit kalau membeku dan mendingin akan menimbulkan kontraksi, tetapi tidak dapat menghasilkan belahan-belahan selama masih terpendam di bawah permukaan, dan di bawah tekanan. Kalau beban diatasnya telah dihilangkan karena erosi, maka keseimbangan antara tekanan dan tarikan akan diganti dengan tarikan saja yang dapat menghasilkan terjadinya belahan - belahan.

Pembentukan *tension joint* juga meliputi penambahan volume pada batuan yang disebabkan oleh berkurangnya *stress* yang dengan

sendirinya akan mengurangi *strain*, ini termasuk pula pembebanan dari beban geostatis akibat erosi.

5.4 Sesar (Faults)

Sesar akhir-akhir ini menjadi semakin penting setelah dalam konsep tektonik yang baru, tektonik lempeng, gejala ini merupakan struktur yang paling penting dalam kerak bumi. Berdasarkan konsep ini, sesar tersebut merupakan satu-satunya pelenturan kerak bumi yang utama yang ditimbulkan sebagai akibat daripada pergeseran-pergeseran benua dan lempeng.

Fault seringkali diterjemahkan sebagai gejala “patahan”. Istilah ini sebenarnya kurang tepat, sebab patahan adalah sama dengan gejala rekahan pada batuan dimana pergeseran kurang penting atau sama sekali tidak ada.

Faults adalah suatu rekahan pada batuan yang telah mengalami pergeseran sehingga terjadinya perpindahan antara bagian-bagian yang berhadapan, dengan arah yang sejajar dengan bidang patahan. Gejala demikian sebaiknya disebut “sesar”.

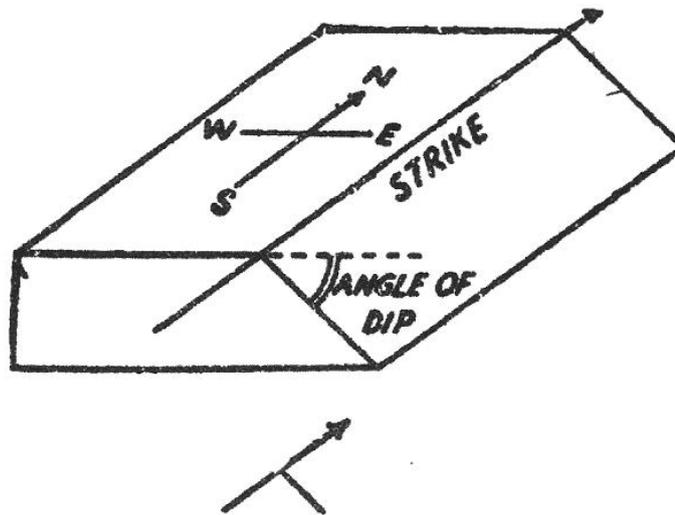
Istilah “fault” sendiri, mula-mula digunakan oleh pekerja-pekerja pertambangan batubara untuk menyatakan suatu lapisan batubara yang tidak ada kelanjutannya (mendadak menghilang), (arti daripada “*fault*” yang sebenarnya adalah “salah”). Kemudian ternyata bahwa kesalahan tersebut disebabkan karena sebagian dari lapisan batubara tersebut telah hilang karena mengalami suatu pergeseran dan perpindahan melalui bidang patahan. Untuk selanjutnya maka bidang tersebut, atau gejala patahan itu sendiri dinamakan “*fault*”, yang merupakan suatu gejala struktur geologi.

Pergeseran-pergeseran yang telah terjadi pada sesar, ukuran panjang maupun kedalaman daripada sesar, dapat berkisar antara beberapa cm saja sampai mencapai ratusan km. Material yang hancur akibat pergeseran yang terdapat pada jalur sesar, dapat berkisar dari “gouge”, suatu material yang halus karena lumat, sampai “breksi” yang mempunyai ketebalan berkisar antara beberapa centimeter sampai ratusan meter.

5.4.1 Istilah-Istilah yang Berhubungan dengan Gejala Sesar

Sesar adalah rekahan atau “jalur patahan” di alam dimana telah terjadi pergeseran yang arahnya sejajar dengan bidang rekahannya. Seringkali rekahan demikian tercerminkan secara morfologi sebagai gawir yang merupakan bidang atau sisi dari suatu bidang rekahan. Gawir tersebut dinamakan “gawir sesar”, sedangkan bidang rekahannya dinamakan “bidang sesar”.

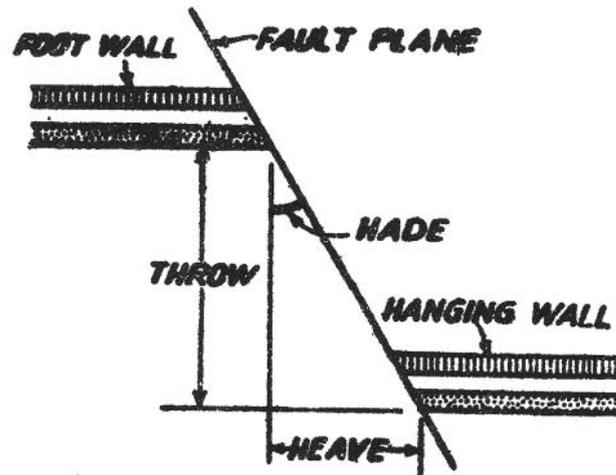
Perpotongan bidang sesar dengan permukaan tanah disebut “garis sesar” (*fault line* atau *fault trace*). Kemudian bidang sesar ditentukan seperti halnya pada suatu bidang, yaitu dengan “jurus sesar” yang merupakan perpotongan antara bidang sesar dengan horisontal, dan “kemiringan sesar”, yaitu sudut yang dibuat antara bidang sesar dengan horisontal.



Gambar 5.4. Diagram Sesar

5.4.2 Bagian-Bagian yang Tersesarkan (Tergeser)

Hangingwall dan *footwall* (atap sesar dan alas sesar). Atap sesar atau “*hangingwall*” adalah bongkah patahan yang berada di bagian atas bidang sesar, sedangkan alas sesar atau “*footwall*” ialah bongkah yang ada di bagian bawah bidang sesar.



Gambar 5.5. Penampang Bidang Sesar dan Bagian – Bagianya

5.4.3 Gerak-Gerak Pergeseran pada Sesar, Serta Akibatnya

Gerakan pada sesar dapat berupa gerak sejajar atau “*translation*” atau terputar (*rotational*).

5.4.4 Klasifikasi Sesar (*Classification*)

Secara geometris (deskriptif) kita dapat menggolongkan sesar didasarkan pada :

- Jenis perpindahan sesungguhnya (*net slip*).
- Gerak relatif semu.
- Kedudukan daripada sesar terhadap struktur sekitarnya.
- Bentuk pola daripada sistem sesar.

Pengelompokan berdasarkan jenis perpindahan sesungguhnya (kinematik dari pergeseran); yang harus diperhatikan dalam pengelompokan ini adalah, besarnya dan jenis “*slip*”. Tetapi *slip* hanya dapat diketahui bilamana ada bagian - bagian yang jelas tergeser. Jadi pergeseran yang dapat dilihat pada bidang sesar atau bilamana suatu bidang sesar dapat diperkirakan kedudukannya.

- Suatu sesar gerak pergeserannya dapat searah dengan jurus daripada bidang sesar (*strike slip*). Sesar demikian disebut “*strike slip fault*”.
- Atau dapat juga searah dengan kemiringan daripada bidang sesar (*dip-slip*) dan disebut “*dip slip fault*”.
- Atau dapat juga miring (*oblique slip*), dan disebut “*oblique slip fault*”.

Penting sekali untuk membedakan dengan jelas antara pengertian : “*slip*” dan “*separation*”. “*Slip*” menunjukkan pergeseran relatif yang sesungguhnya, sedangkan “*separation*” menunjukkan pergeseran relatif semu dari badan-badan yang berbentuk panjang atau bidang atau oleh gejala sesar.

Sebagai perbandingan dibawah ini dicantumkan nama-nama atau istilah-istilah untuk sesar dengan menggunakan dasar penggolongan yang berbeda.

Tabel 5.1. Tabel Separaasi dan Slip

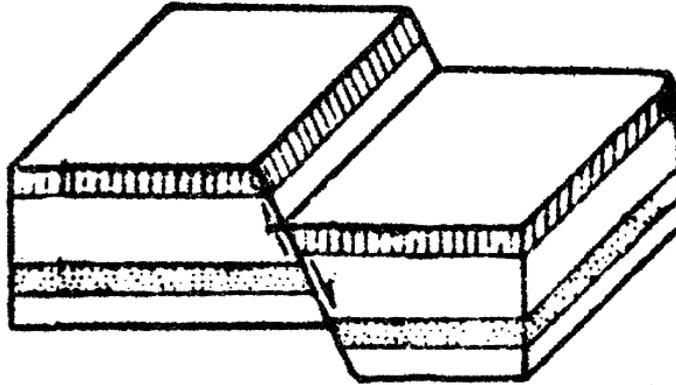
Istilah yang umum (kurang tepat)	<i>Separation Classification</i>	<i>Slip Classification</i>
<u>Dasar pengelompokan</u> – Pergeseran	Gerak relatif	Gerak sebenarnya (dimana slipnya jelas dapat dilihat)
<u>Nama - nama sesar</u> – Normal fault – <i>Reverse fault</i> – <i>Left lateral</i> – <i>Right lateral</i>	<i>Normal separation fault</i> <i>Reverse separation fault</i> <i>Left separation</i> <i>Right separation</i>	<i>Normal slip fault</i> <i>Reserve slip fault</i> <i>Left strike slip</i> <i>Right strike slip</i>

Pengelompokan yang didasarkan pada kedudukan sesar terhadap struktur batuan sekitarnya (biasanya ditetapkan pada sesar dalam batuan sedimen):

- Srtike fault* : Suatu sesar yang arahnya jurusannya sejajar dengan jurus batuan sekitarnya.
- Dip fault* : Jurus daripada sesar searah dengan kemiringan daripada lapisan batuan sekitarnya .
- Diagonal* atau *oblique fault*. Yang memotong struktur batuan sekitarnya.
- Longitudinal fault*. Arah daripada sesar paralel dengan arah umum dari struktur regional.
- Transverse faults* : Yang memotong tegak lurus atau miring terdapat struktur regional (biasanya dijumpai pada daerah yang terlipat: memotong sumbu/ poros terhadap antiklin)

5.4.5 Sesar Normal atau Sesar Biasa atau Sesar Turun

Merupakan gejala pergeseran dimana *hangingwall* bergeser relatif turun terhadap *footwall*. Susunan daripada poros utama tegasnya menunjukkan arah tegasan terbesar adalah vertical.



Gambar 5.6. Blok Diagram Sesar Normal

Gaya geologi yang mempunyai arah yang demikian ialah gaya berat. Anggapan bahwasanya kebanyakan sesar normal disebabkan oleh gaya berat, sebagian didasarkan kepada kenyataan bahwa kemiringan daripada bidang sesarnya mempunyai sudut 45° atau lebih besar. Kecuali itu adanya bongkahan yang turun, atau *hangingwall* yang turun, juga diduga merupakan suatu geseran sebagai akibat gaya berat. Oleh karena itu suatu sesar yang nyata-nyata mempunyai sifat-sifat tersebut diatas selalu dikenal sebagai *gravity faults*.

Karena lateral sesar normal umumnya akan menghilang dan berubah menjadi bentuk engsel dengan disertai pengurangan daripada *throw*-nya, sedang bentuk garis sesarnya juga acapkali melengkung. Suatu daerah yang disilangi oleh sejumlah sesar-sesar turun disebut gejala sesar bongkah (*block faulting*). Seperangkatan gejala sesar turun dengan *throw* yang sama dinamakan *stop faulting* (sesar bentuk tangga). Pada sesar yang relatif muda, gejala sesar demikian dapat dikenal dari pencerminan topografinya.

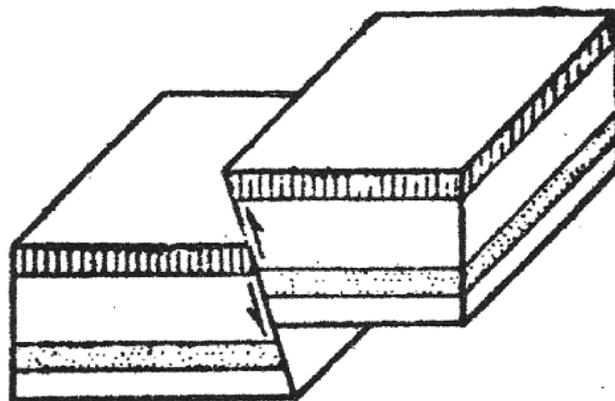
Sesar turun, mempunyai hubungan yang erat dengan pengembangan kulit bumi, atau dapat juga diakibatkan oleh pemuaian kearah suatu antiklin (perlipatan). Yang disebut terakhir ini, mungkin merupakan gejala sesar turun

yang paling umum kita jumpai. Pada suatu lipatan sesar biasa dapat memotong, menyalang ataupun sejajar dengan poros lipatan.

Beberapa sifat penting dari sesar normal yang perlu diketahui, adalah:

- Umumnya sesar mempunyai kemiringan yang besar, karena itu garis sesar yang tampak adalah lurus dan tidak atau sedikit sekali terpengaruh oleh topografi. Sebenarnya kemiringannya berkisar dari hampir horizontal sampai vertikal. Tetapi keadaan statistik terutama yang berasal dari daerah-daerah tambang batubara dan lapangan-lapangan minyak, kebanyakan merupakan rekahan-rekahan gerus (*shear fractures*), mempunyai kemiringan antara 45° - 70° .
- Biasanya dijumpai sebagai sesar-sesar yang berpasangan, hampir sejajar yang bersusun sebagai sesar bentuk tangga.
- Seretan ("*drag*") dan bidang-bidang gores - garis sering dijumpai.
- Pola rekahan yang ada, satu kelompok akan berarah sejajar dengan bidang sesar, sedang lainnya mempunyai jurus yang sama tetapi miring kearah yang berlawanan.
- Karena sesar biasa cenderung untuk mempunyai kemiringan yang besar, maka gawir sesar yang diakibatkan akan lebih mudah untuk terpengaruh oleh gejala longsor, terutama sekali pada bagian - bagian yang retak.
- Seringkali pada bagian yang turun terjadi gejala pelengkungan ("*drag*"), yang seakan - akan menunjukkan arah gerak yang salah. Gejala demikian disebut "*reverse drag*" atau "*downbending*".

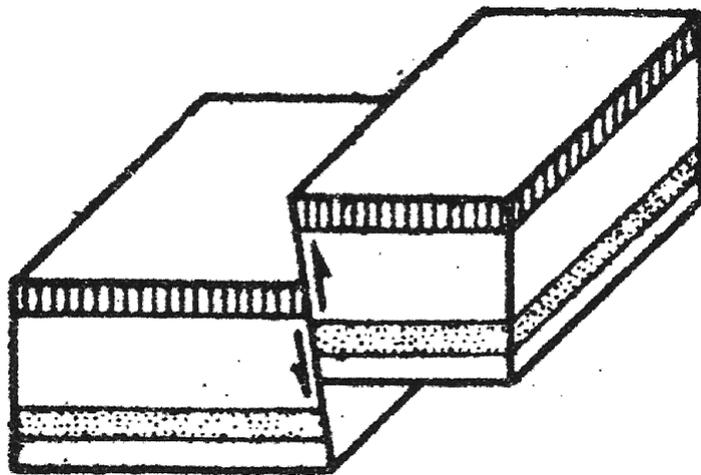
5.4.6 Sesar Naik (*Reverse Fault* atau *Thrust*)



Gambar 5.7. Blok Diagram Sesar Naik (*Reverse Fault*)

Sifat - sifat umum :

- a) Merupakan ciri yang khas didalam pegunungan lipatan yang muda di seluruh dunia.
- b) Sesar naik dengan kemiringan yang kecil, sangat umum dijumpai dimana terdapat endapan yang tebal didalam geosinklin yang mengalami deformasi.
- c) Dibagian depan dari sesar, pada garis sesar, sesar akan lebih cepat naik dibandingkan dengan pengikisan. Rombakan batuan yang terbentuk didepan akan tertutup oleh sesar yang terus bergerak, sehingga akan terjadi pencampuran dengan breksi sesar.
- d) Gejala drag pada lapisan diatas dan dibawah bidang sesar, serta pembentukan sesar-sesar sekunder yang sejajar atau hampir sejajar dengan sesar utama, sangat umum dijumpai.
- e) Jalur sesarnya dapat merupakan jalur yang sangat rumit atau berupa suatu bidang yang licin. Keadaan ini tergantung daripada sifat batuan, suhu, tekanan dan sebagainya.
- f) Biasanya sangat sukar untuk dapat mengetahui dan mengukur bidang sesarnya, baik karena keadaannya yang sangat rumit (adanya perlipatan atau sesar-sesar tambahan), maupun zone demikian biasanya sangat peka terdapat pengikisan.



Gambar 5.8. Blok Diagram Sesar Naik (*Trust Fault*)

Perbedaan antara *reverse* dan *trust fault* terletak pada besarnya sudut *hade*, pada *reverse fault* besar sudut *hade*-nya lebih besar dari 20° , sedangkan pada *trust fault* sudut *hade* lebih kecil dari 20° .

Pada sesar naik, *hangingwall* bergeser relatif ke atas terhadap *footwall*. Susunan dari poros utama tegasan adalah sama seperti pada gejala perlipatan, karena itu sesar naik mempunyai hubungan genesa yang erat dengan perlipatan. Dari susunan poros utama tegasannya, maka diharapkan kemiringan daripada bidang sesar demikian akan mempunyai sudut kurang dari 45° . Memang kenyataannya kemiringannya sering mendekati horizontal. Karena itu umumnya sesar naik dibedakan dua jenis, yaitu: *Low angle* dan *High angle reverse faults*.

Ditinjau dari kejadiannya, kita dapat memisahkan sesar naik yang terjadi sebelum gejala lipatan dan sesar naik yang terjadi bersama-sama atau sedikit setelah perlipatan. Yang disebut pertama, tidak ada hubungannya dengan gejala lipatan.

Sesar naik dengan kemiringan yang kecil disebut *thrust* atau *thrust fault*. Disini pergeseran lateral lebih menonjol.

a) Sesar naik yang berhubungan dengan gejala perlipatan

Sesar-sesar demikian jelas berasosiasi dengan pembentukan suatu lipatan. Pelengkungan yang disusul dengan pembentukan lipatan-lipatan asimetris akan menimbulkan bagian-bagian yang lemah pada sisinya yang curam yang disertai dengan pembentukan sejumlah rekahan. Bila tekanan yang menyebabkan pembentukan lipatan tersebut semakin bertambah, maka rekahan-rekahan tersebut akan beralih menjadi suatu sesar naik. Sesar demikian oleh Willis disebut *break thrusts*.

b) Sesar mendatar (sesar jurus mendatar atau *strike slip faults*)

Gerak - gerak daripada sesar demikian arahnya yang dominan adalah horizontal. Ini berarti bahwa yang disebut sebagai sesar mendatar dalam jumlah terbatas juga mempunyai komponen gerak vertikal.

Sesar - sesar jenis ini umumnya ditemui di daerah - daerah, yang mengalami perlipatan dan pensesaran naik. Arahnya dapat memotong poros lipatan secara diagonal atau kadang - kadang hampir tegak lurus.

Sesar - sesar mendatar yang arahnya tegak lurus terhadap poros lipatan ini tidak sesuai dengan prinsip teori kekandasan batuan, dan sesar demikian tadinya mungkin merupakan kekar-kekar yang memotong antiklin (*cross joints*), yang kemudian berkembang sebagai sesar mendatar. Sesar demikian juga kadang - kadang disebut tear faults.

c) Teori Moody and Hill (1956) mengenai sesar mendatar

Teori ini dikemukakan setelah dilakukan penyelidikan yang sangat luas mengenai sesar-sesar mendatar utama. Dalam teorinya, mereka beranggapan bahwa kerak bumi ini telah terpecah - pecah menjadi beberapa bongkah yang masing - masing dibatasi oleh sesar - sesar mendatar utama. Terpesahnya kerak bumi ini diakibatkan oleh tekanan yang arahnya Utara - Selatan.

d) Pengenalan sesar di lapangan

- 1) Pelurusan topografi.
- 2) Pembelokan sungai yang tiba-tiba berubah arah dan lurusnya perbedaan vegetasi. Pembelokan sungai yang tiba - tiba dapat menunjukkan arah pergeseran.
- 3) Jalur kataklasis.

Terutama gejala sesar di batuan kristalin agak sukar untuk dikenal disebabkan tidak adanya lapisan-lapisan penunjuk. Di daerah yang terdiri dari batuan yang homogen, sesar biasanya dapat dikenal dengan adanya jalur-jalur kataklasis. Kadang - kadang hanya dapat dikenal di bawah mikroskop.

- 4) Cermin sesar atau gores-garis sesar (*slicken side*).

Adanya gores-garis pada bidang sesar, biasanya dapat dipakai untuk menentukan gerak relatif dari bagian-bagian yang digeser. Umumnya geologiawan menganggap bahwa bagian yang berseberangan dengan bidang sesar akan bergerak ke arah yang sama dengan permukaan "*macro scarps*" yang terdapat pada bidang sesar. Di daerah dimana singkapan sangat kurang, maka adanya pecahan-

pecahan cermin sesar yang berserakan di atas tanah, juga dapat memberikan indikasi adanya sesar.

- 5) Pesentuhan yang tiba-tiba dan tidak biasa antara batuan yang berumur tua dengan batuan yang muda.
- 6) Struktur - struktur minor seperti :
 - *Drag* : lapisan-lapisan di daerah sesar biasanya menunjukkan tanda-tanda terseret, yang disebabkan adanya penahanan oleh bagian yang berlawanan. Struktur demikian dapat digunakan untuk menentukan arah gerakan relatif.
 - *Mylonit*: material yang mengalami penggerusan secara kuat, dan tersemenkan. Terdapat pada bidang sesar dan biasanya menyertai sesar naik.
 - Breksi sesar.
 - Rekahan-rekahan halus sepanjang garis sesar.

5.4.7 Hubungan Antara Sesar dan Kegiatan Batuan Beku

Gejala sesar banyak dijumpai di daerah-daerah atau di sekitar aktivitas batuan beku. Yang jelas gejala sesar tersebut banyak dijumpai di daerah bergunung api. Sesar-sesar seperti ini biasanya bentuknya tidak teratur dan tidak menerus, dan mengalami pergeseran-pergeseran melalui rekahan-rekahan dan sesar yang menyilangnya. Sifat dari pergeserannya dapat vertikal maupun mendatar. Sesar biasa adalah yang paling umum dijumpai.

Telah lama diketahui adanya hubungan yang erat antara gejala sesar tersebut dengan kegiatan batuan beku :

- a) **Pada daerah gunung api;** Sesar mempunyai hubungan dengan penyelarasan-penyelarasan (*adjustments*) dari kerak bumi sebagai akibat gerakan-gerakan hebat dari magma. Dimulai terlebih dahulu dengan pembubungan kerak bumi, untuk memberikan jalan kepada magma yang akan keluar (pembentukan lava). Setelah selesai erupsi, maka akan disusul oleh penurunan-penurunan yang tak teratur dari kerak bumi untuk mengimbangi kekosongan-kekosongan di dalam akibat keluarnya magma. Dapat dibayangkan adanya tekanan-tekanan dan gerakan-gerakan kesegala jurusan (dari bawah ke atas, mendatar dan akhirnya ke bawah,

oleh gaya berat), dan yang akan terbentuk pertama-tama adalah sesar naik dan mendatar, dan terakhir akibat gaya berat.

- b) Batuan beku terobosan;** terutama yang berukuran besar, akan menimbulkan pen-sesar-an dan deformasi lainnya pada batuan yang berada di sekitarnya, yang diakibatkan oleh tekanan pada saat terjadinya intrusi, akibat pemuaian karena panas, dan akhirnya akibat pendinginan.
- c) Pada dasarnya, intrusi** itu tidak saja hanya menyebabkan terjadinya gejala sesar, tetapi gejala sesar dapat juga memberi tempat terhadap intrusi. Ganggang dan *sill*, seringkali diintrusikan melalui bidang-bidang rekahan dan sesar. Kerap kali juga akan terjadi pergerakan - pergerakan lagi setelah intrusi.
- d) Kesimpulan :**
Daerah vulkanik yang aktif, adalah merupakan daerah patahan dan sebaliknya. Penyebaran linier dari gunung-gunung api, umumnya seringkali ditafsirkan sebagai bukti dari sesar slide.

5.4.8 Penyajian atau Pemetaan Struktur Sesar

Pemetaan geologi mempunyai tujuan yang bermacam-macam dengan menggunakan skala peta yang berlainan, dan dengan menggunakan peta dasar yang berbeda pula. Peta dengan skala besar, umumnya akan lebih baik sebagai peta dasar untuk dapat menampakkan dan menafsirkan sesar, karena mempunyai gambaran 3 dimensi yang baik.

Di daerah-daerah yang mempunyai susunan batuan yang beraneka ragam, dengan singkapan yang baik dan dengan keadaan struktur yang sederhana, sesar biasanya dapat dikenal tanpa kesukaran. Dilain pihak, daerah dengan singkapan yang kurang disertai dengan struktur yang rumit dan pada batuan yang sejenis (serpih atau sekis) akan menyebabkan pengenalan sesar sukar dan pemetaannya kurang teliti.

a) Ciri - ciri suatu sesar

Bukti bukti tambahan lainnya untuk dapat menunjukkan gejala sesar adalah:

- 1) Adanya pergeseran (perpindahan) pada unsur geologi yang terpotong.
- 2) Atau berimpit dengan kelurusan topografi.

- 3) Atau adanya *gouge*, atau jalur breksi.

Jalur sesar umumnya tidak terlalu tampak di permukaan, karena mereka sangat peka terhadap erosi, sehingga mempunyai kecenderungan tertutup oleh alluvium. Dengan cara menarik satu garis yang menerus melalui singkapan yang terpisah-pisah, dapat menimbulkan kesalahan dan akibatnya dapat memberikan gambaran tektonik yang salah.

Akhirnya, kunci untuk memetakan sesar adalah :

- 1) Mengamati perpindahan atau pergeseran (*offset/displacement*) dari badan-badan atau bentuk-bentuk geologi.
- 2) Kadang-kadang harus memperhatikan adanya jalur breksi, atau
- 3) Perbedaan bentuk topografi (*topographic discontinuitas*) seperti : gawir, atau pola aliran.

Dengan mendapatkan bukti-bukti di atas kita akan sudah mampu memberikan penjelasan berdasarkan *separation*.

Perhatian : adanya pergeseran pada suatu bentuk geologi oleh sesar, dapat menjadi kabur disebabkan oleh kehadiran sesar atau struktur lipatan lainnya yang tidak tampak, terutama di daerah yang kurang singkapan dan struktur yang rumit kemungkinan ini jangan sampai diabaikan dalam usaha menentukan *separation* dan *slip*.

Secara umum, untuk mengenali sesar dilapangan, kenali hal-hal sebagai berikut :

- 1) Sesar biasanya merupakan gejala terakhir. Karena itu terputusnya suatu bentuk geologi akan didasarkan kepada anggapan keadaan sebelum terjadinya sesar. Ada satu kekecualian dalam hal ini, yaitu pada gejala sesar dimana sesar itu berlangsung selama proses sedimentasi.
- 2) Terputusnya (*discontinuitas*) kesinambungan suatu bentuk geologi harus diperlihatkan pada peta maupun penampang tegak. Biasanya mereka ini adalah hasil penafsiran yang didasarkan kepada suatu konsep geologi (misalnya stratigrafi) sebelum terjadinya sesar, dan

kepada konsep yang diterapkan untuk menjelaskan terputusnya kesinambungan.

- 3) Terputusnya kesinambungan pada bentuk-bentuk geologi, disamping yang terlihat nyata oleh sesar, terbaliknya kedudukan lapisan, jalur breksi dan bodinya *gouge*, juga dihalangnya lapisan, dan perulangan lapisan pada peta dan penampang tegak, dapat digunakan sebagai pengenal untuk sesar.

5.5 Lipatan dan Gejala Perlipatan

5.5.1 Terbentuknya Struktur Lipatan

Sebelum suatu urutan-urutan batuan sedimen mengalami gejala perlipatan, batuan tersebut pada saat diendapkannya sudah mempunyai timbulan-timbulan. Timbulan tersebut kecuali disebabkan oleh sifat permukaan yang tidak rata dari tempat pengendapan (dasar cekungan) juga dapat diakibatkan oleh menurunnya dasar cekungan dimana dia diendapkan. Singkapan lapisan-lapisan sedimen itu tidak diendapkan secara horizontal, melainkan memang sebelumnya sudah membentuk sudut dengan bidang horizontal. Sudut tersebut dinamakan "*sudut primair*" (*primary dip*).

Selama pengendapan berlangsung, sudut primair ini juga akan terus menerus mengalami perubahan yang disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain :

- a) Mengikuti dasar cekungan.

Terutama pada endapan geosinklin, sedimen yang tebal itu mempunyai *facies dangkal*. Untuk menjaga supaya keadaannya terus bersifat demikian, tetapi menerima endapan-endapan yang tebal, maka dasar daripada cekungan harus terus menerus berada dalam keadaan yang menurun. Akibat penurunan ini, maka lapisan sedimen tertua (terbawah) akan ditarik ke bawah, dan tentu saja akan menjadi miring (*tilted*) sedikit, sehingga sudut asalnya (*primary dip*) akan berubah.

Kecuali itu, beban sedimen yang di atasnya akan merupakan tekanan terhadap sedimen di bawahnya, ini berarti keadaan kemiringannya makin menyimpang dari sudut asalnya, dan hasil akhir dari peristiwa ini akan membentuk suatu sudut yang dinamakan sudut permulaan (*initial dip*).

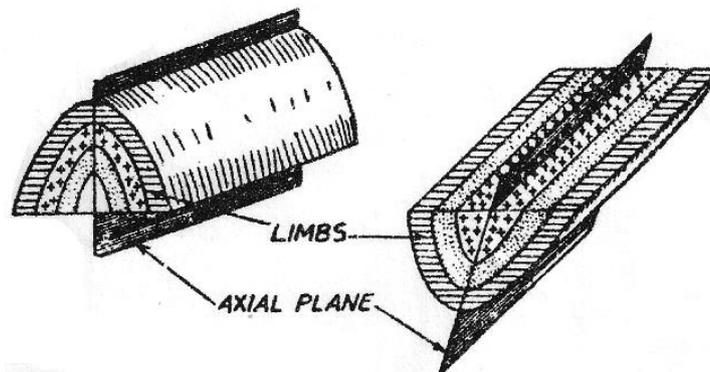
Dalam menentukan intensitas daripada tekanan yang menyebabkan lipatan, adanya sudut ini harus diperhitungkan.

- b) Kemudian sejak saat pengendapan, Lapisan-lapisan sedimen tersebut telah mengalami tekanan-tekanan atau tarikan oleh gaya-gaya yang berasal dari dalam. Kebanyakan berupa gaya tekanan atau *shearing*. Dengan perkataan lain, sedimen tersebut secara terus menerus mengalami perubahan-perubahan sepanjang pembentukannya, dan mengakibatkan terjadinya lipatan-lipatan berukuran besar-besar ataupun kecil. Lipatan yang berukuran besar dapat mencapai berkilometer-kilometer untuk melaluinya, sedangkan yang berukuran kecil hanya sampai beberapa meter sampai centimeter.

Kedudukan akhir dari pada lapisan-lapisan sedimen, yaitu yang kita ukur sekarang, telah termasuk pula didalamnya "*initial dip*".

5.5.2 Unsur-Unsur Struktur Lipatan

Anticline (atau *antiforms*), adalah unsur struktur lipatan bentuk yang convex ke atas, sedangkan *syncline* (atau *sinforms*) adalah lipatan yang concave ke atas. *Limb* (sayap), adalah bagian dari lipatan yang terletak *down dip*, dimulai dari lengkungan maksimum suatu *anticline* atau *updip* bila dari lengkungan maksimum suatu *syncline*. *Backlimb* ialah sayap yang landai. *Forelimb* ialah sayap yang curam pada bentuk lipatan yang tidak simetri.



Gambar 5.9. Struktur Lipatan *Anticline* dan *Syncline*

Axial line (garis poros), garis khayal yang menghubungkan titik - titik dari lengkungan maximum pada tiap permukaan lapisan dari suatu struktur lipatan.

Kedudukan daripada *axial line* dinyatakan dengan cara menyebutkan arahnya, atau bearing dan besarnya *plunge*.

Axial surface, permukaan khayal dimana terdapat semua *axial lines* dari suatu lipatan. Pada beberapa lipatan, permukaan ini dapat merupakan suatu bidang planar, dan dinamakan *axial plane*.

Crestal line (garis puncak), suatu garis khayal yang menghubungkan titik - titik tertinggi pada setiap permukaan lapisan dari suatu antiklin.

Dalam suatu lipatan tidak perlu poros antiklin itu merupakan bagian yang tertinggi dari suatu lipatan. Garis khayal dari titik - titik terendah pada *syncline* disebut "*trough line*".

Dalam prakteknya, perbedaan antara poros antiklin dan puncak antiklin tidak begitu diperhatikan, kecuali di bidang perminyakan, karena besarnya akumulasi dari minyak bumi ditentukan oleh puncak dari antiklin dan bukan oleh sumbernya.

Crestal surface/plane, adalah suatu permukaan khayal dimana terletak di dalamnya semua garis puncak dari suatu lipatan. *Trough surface (plane)* idem, terendah pada antiklin.

Lipatan itu tidak menerus secara tak terhingga, sepanjang jurusnya, tetapi pada suatu ketika umumnya dia akan menghilang. Selama jurus daripada poros suatu lipatan sejajar dengan lapisan - lapisan yang terlipat, lipatan itu belum ada tanda - tanda untuk menghilang. Atau dengan perkataan lain selama garis poros itu letaknya horizontal. Bila garis poros itu membuat sudut dengan horizontal, maka kesejajaran tersebut dengan sendirinya akan hilang, dan jurus daripada lapisan akan memusat (menuju) ke poros, dan bersatu pada ujungnya.

Pitch atau *rake*, pada lipatan ialah sudut antara garis poros dan horizontal, diukur pada bidang poros (*axial plane*). Sedangkan *plunge* daripada antiklin adalah sudut yang dibuat oleh poros dengan horizontal pada bidang vertikal.

Amplitudo dari suatu struktur, adalah jarak vertikal antara garis poros suatu antiklin dan garis poros dari sinklin, pada bidang perlapisan yang sama.

5.5.3 Pengelompokan Lipatan

Seperti halnya sesar, terdapat beberapa cara untuk mengelompokkan struktur lipatan. Biasanya setelah dilakukan pengukuran-pengukuran dilapangan terhadap unsur-unsur lipatan dan kemudian dipetakan, maka selanjutnya akan dicarikan cara penggolongan yang bagaimana dan sesuai untuknya.

Billings dalam bukunya pada bab "*nomenclature of folds*" mengemukakan cara yaitu:

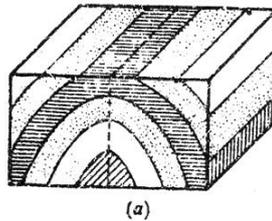
- a) Berdasarkan bentuk lipatan, dilihat dari penampang : lipatan simetri, asimetri, rebah, menggantung, *isoclinal*s, monoklinal, *fan fold* dan sebagainya.
- b) Berdasarkan besarnya dan kedudukan sudut sayapnya.
- c) Besarnya tekanan yang membentuk struktur lipatan : lipatan terbuka, lipatan tertutup.
- d) Kombinasi sinklin dan antiklin : sinklinorium, antiklinorium.

Badgely mengemukakan 5 cara :

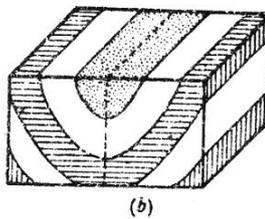
- a) Penggolongan secara descriptive atau secara geometri, yaitu yang didasarkan dengan cara melihat kepada kedudukan daripada sayap, bidang poros dan poros daripada lipatan.
- b) Penggolongan secara morfologis, yang didasarkan :
 - Kepada bentuk daripada lipatan di dalam
 - Kepada bentuk dalam penampang denah (*plan view*)
 - Kepada jumlah relatif sinklin dan antiklin dalam suatu daerah.
- c) Didasarkan kepada mekanisme terjadinya.
- d) Penggolongan "kinematis" didasarkan kepada gerak - gerak luar dari bahan - bahan
- e) Penggolongan yang didasarkan kepada kedudukannya di dalam pola tektonik.

Pengelompokan secara descriptive adalah sebagai berikut:

- a) Lipatan simetris (*symmetrical fold*) suatu lipatan dimana bidang sumbunya mempunyai jarak sama terhadap kedua sayapnya. Membagi lipatan menjadi 2 bagian yang sama seperti yang nampak pada penampang vertikalnya yang dibuat pada garis horizontal pada bidang poros.



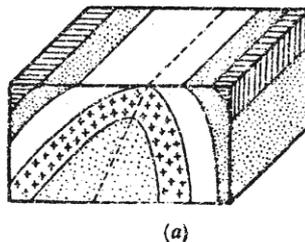
(1) Symmetrical anticline fold.



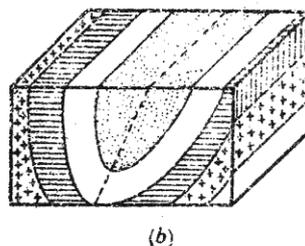
(2) Symmetrical syncline fold.

Gambar 5.10. Lipatan Antiklin

- b) Bila jarak jarak pada kedua sayapnya tidak sama, maka ia digolongkan sebagai lipatan asimetri (*asymmetrical fold*). Biasanya sayap dari lipatan demikian mempunyai sudut yang tidak sama.



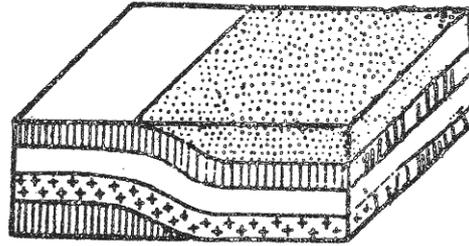
(1) Asymmetrical anticline fold.



(2) Asymmetrical syncline fold.

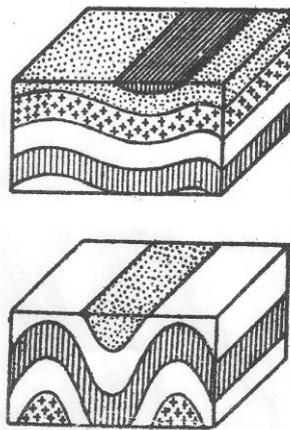
Gambar 5.11. Lipatan Asimetri

Monoklin: suatu pencuraman setempat di suatu daerah, yang umumnya ditandai oleh kemiringan yang sangat landai.



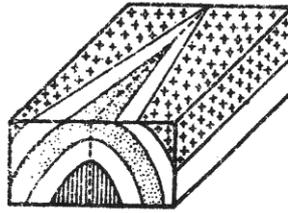
Gambar 5.12. Monoklin

Lipatan terbuka (*open fold*) : bentuk lipatan dimana masih ada kemungkinan untuk lebih lengkung lagi tanpa menimbulkan adanya “*flowage*”. Sebaliknya dari “*open fold*” adalah “*closed fold*” (lipatan tertutup).



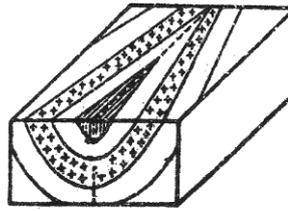
Gambar 5.13. Lipatan Terbuka

Kebanyakan bentuk-bentuk lipatan adalah “*cylindrical*” atau “*conical*”. *Cylindrical fold*, adalah bentuk lipatan dimana poros-porosnya menunjam secara sejajar (paralel). Besarnya penunjaman dari suatu lipatan bisa didapat dari pengamatan-pengamatan bidang perlapisan di daerah penunjaman, *blineation*, *drag folds*, perpotongan *cleavage* dan bidang lapisan dan sebagainya.



(a)

(1) Plunging anticline fold.



(b)

(2) Plunging syncline fold.

Gambar 5.14. Lipatan “Plunging”

5.5.4 Cara Menentukan Penunjaman (*Plunge*) Pada Lipatan

Bagaimana cara mengukur besarnya penunjaman di lapangan merupakan suatu masalah yang perlu diperhatikan. Biasanya penunjaman antiklin atau sinklin di lapangan kurang diperhatikan.

Terdapat beberapa cara yang dapat dikemukakan disini, yaitu :

- Dengan mengukur “*cleavage*”.
 - Dengan melihat peta struktur contour.
 - Dengan melihat pada peta geologi secara regional.
 - Secara statistik.
- a) Tentang *cleavage*, sudah dijelaskan dalam bab struktur rekahan, yaitu sebagai sifat pada batuan atau beberapa macam batuan untuk pecah pada arah-arrah tertentu. *Cleavage* adalah macam batuan untuk pecah pada arah-arrah tertentu. *Cleavage* adalah rekahan, tetapi dengan jarak yang lebih dekat.

Kita mengenal adanya 2 macam *cleavage* :

- 1) *Flow cleavage* adalah akibat penghabluran dari beberapa mineral yang berbentuk pipih. Jadi sifat mudah dipecahnya adalah dikarenakan adanya mineral-mineral yang berbentuk pipih tersebut.
- 2) *Fracture cleavage* adalah karena adanya rekahan-rekahan yang rapat sebagai akibat "*shearing*" yang disebabkan karena gaya (*stress*).

Umumnya, kedudukan terakhir dari "*fracture cleavage*" itu akan hampir sejajar dengan bidang poros dari suatu gejala lipatan. Karena itu, dalam pekerjaan lapangan, kedudukan dari "*fracture cleavage*" dipakai sebagai unsur struktur untuk menentukan kedudukan daripada bidang poros (poros daripada lipatan).

Sudut pada bidang *cleavage* yang vertikal ini juga merupakan besarnya *plunge*. Tetapi *cleavage* tidak selalu ada dalam setiap batuan, jadi metode ini tidak selamanya dapat diterapkan.

- b) Dalam peta struktur kontur, besarnya *plunge* dengan segera dapat diketahui. Tetapi apabila formasi batumannya terlipat dengan kuat, peta struktur kontur biasanya tidak dibuat.
- c) Apabila cara kedua tidak dilakukan kita menggunakan peta geologi dan berdasarkan kepada jurus dan kemiringan, kita dapat mengetahui arah dan besarnya (kira-kira) penunjaman.
Pada penunjaman yang curam (dengan sudut yang besar), lapisan-lapisan akan lebih cepat membelah melalui porosnya, sedang penunjam yang landai, akan jauh (agak lama).
- d) Untuk mendapatkan arah dan besarnya penunjaman pada suatu struktur lipatan secara tepat (biasanya di daerah dengan struktur perlipatan yang kompleks), maka cara statistic adalah yang sebaiknya ditempuh.

5.5.5 Pengelompokkan Secara Morfologis

Didasarkan kepada (1) perubahan bentuk daripada lipatan pada kedalaman dan (2) kepada susunan (pola) dari struktur lipatan, dilihat dalam penampang denah (*plan view*), jenis-jenis lipatan adalah sebagai berikut :

- a) *Concentric fold* (lipatan konsentris) :

Sebutan untuk bentuk perlipatan dimana jarak-jarak (tebal) tiap lapisan

yang terlibat lipatan tetap sama. Bentuk lipatan akan berubah makin ke dalam makin cepat. Ukuran antiklin akan mengecil ke bawah, sedangkan sinklin akan bertambah besar ke atas. Lipatan demikian, kadang-kadang juga disebut "*parallel folds*". Bentuk lipatan seperti ini sangat umum di jumpai di daerah yang mengalami pelenturan yang tidak begitu kuat, dimana terlibat adanya endapan-endapan yang tebal dan kompeten/kompak.

Data yang dapat memberi keterangan-keterangan apakah suatu lipatan mengalami perubahan bentuk makin ke dalam, dapat kita ketahui dari data pemboran. Bentuk lipatan-lipatan jenis ini jarang kita jumpai di daerah-daerah penghasil minyak bumi.

b) *Similar fold*:

Sebutan untuk lapisan-lapisan yang terlipat dengan bentuk-bentuk yang sama ke dalam, baik antiklin maupun sinklin yang ukurannya tidak banyak berubah ke dalam maupun ke atas.

Kesamaan dalam bentuk dan ukuran tersebut hanya dapat dipertahankan dengan adanya penipisan pada bagian sayap dari lipatan dan penebalan pada poros-porosnya. Perubahan-perubahan pada ketebalan (penebalan) akan sangat menonjol pada lapisan-lapisan yang kurang kompak (*incompetent*).

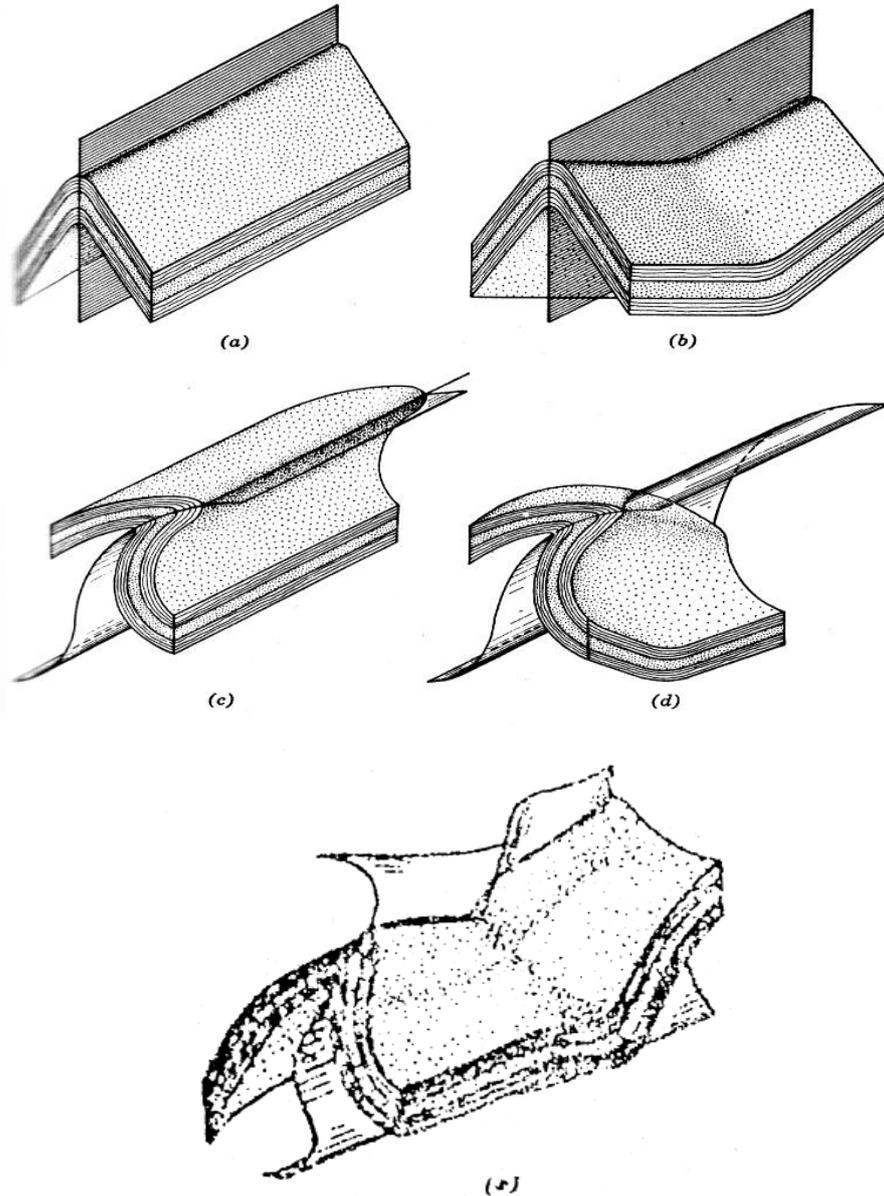
c) Didasarkan kepada mekanisme daripada lipatan.

Dalam mekanisma ini kita membedakan antara istilah *flexure* dan lipatan (*folding*).

Flexure, adalah bentuk-bentuk lengkungan dari lapisan batuan sebagai akibat gaya yang arahnya vertikal, sedangkan lipatan, adalah bentuk lengkungan pada batuan sebagai akibat gaya tangential (horisontal).

Contoh struktur-struktur *flexure* yang umum ialah : struktur monoklin, sebagai akibat gejala pengangkatan yang tidak gama.

Lipatan, bentuk dan kedudukan dari tiap-tiap lapisan yang mengalami perlipatan, tidak sama. Hal tersebut ditentukan oleh sifat-sifat fisik masing-masing lapisan batuan dan mekanisme proses perlipatan itu sendiri. Mengenai sifat-sifat fisik ini, kita kenal istilah-istilah : lapisan-lapisan yang kompeten (kompak) dan inkompeten (kurang kompak).

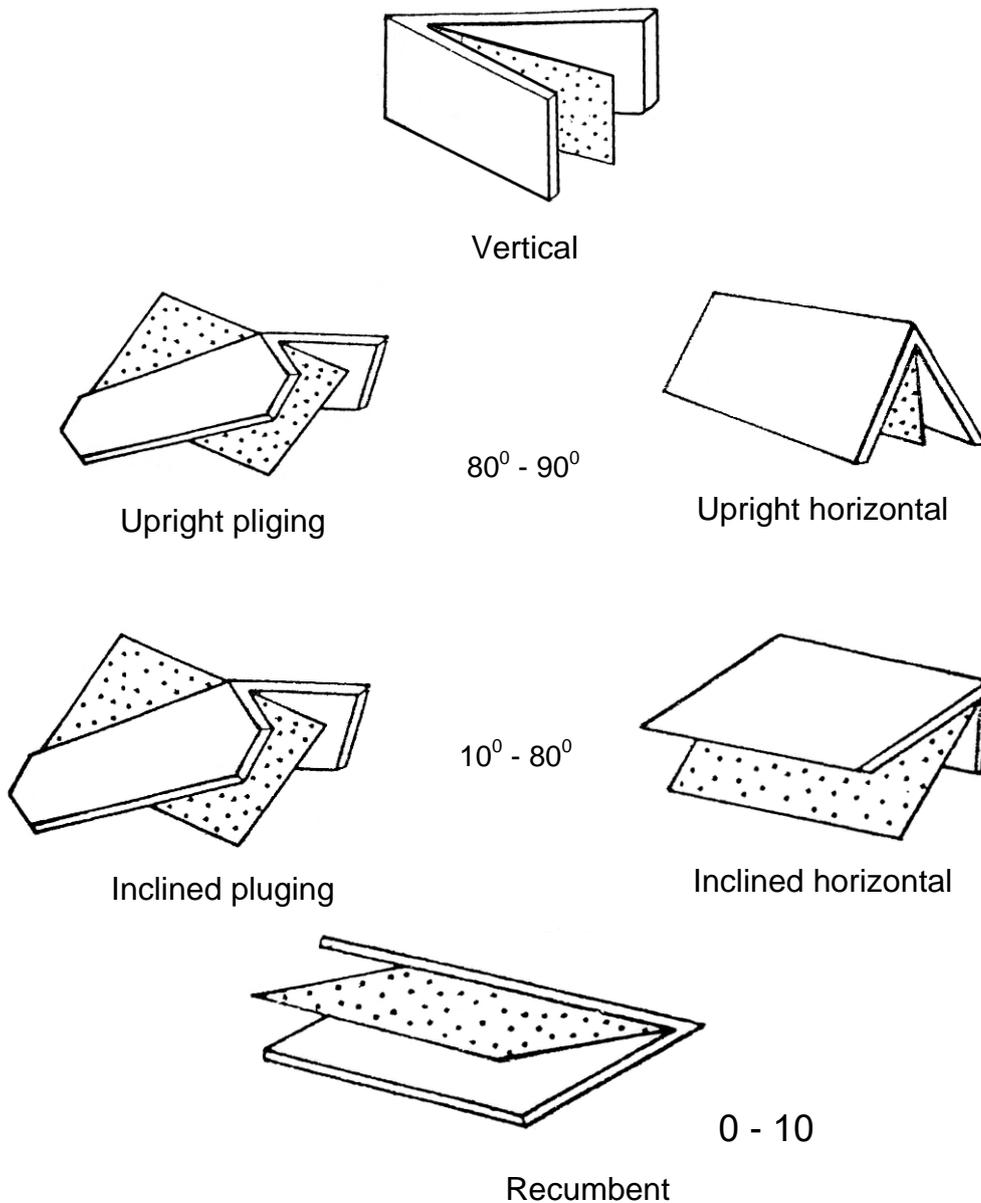


Gambar 5.15. a) Lipatan Silindris, b) Lipatan Non Silindris, c) Lipatan Tanpa Bidang Silindris dan d) Lipatan Tanpa Bidang Non Silindris

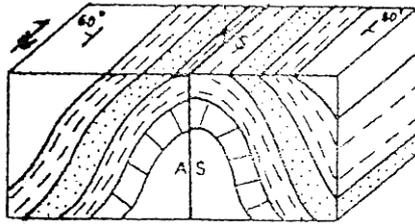
Kompeten dalam sifat fisik disini diartikan sebagai sifat daripada batuan dimana dalam gejala perlipatan, akan melengkung secara “kaku”, sedangkan inkompeten adalah sifat dimana lapisan itu akan mengalir dalam segala bentuk sesuai dengan gaya yang bekerja terhadapnya.

Jadi gejala pelipatan merupakan lebih banyak dipengaruhi oleh keadaan sekitarnya dibandingkan jenis batumannya sendiri. Di daerah yang berlainan misalnya, batuan yang relatif kompeten akan dijumpai lebih mudah mengalami deformasi, dan karena metamorfisma (sangat jarang), batuan yang relatif incompetent akan menjadi lebih competent.

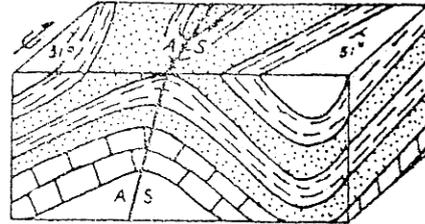
Terjadinya lipatan berdasarkan kedudukan hinge dan axial plane, dijelaskan seperti gambar-gambar di bawah.



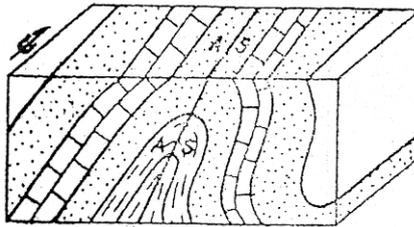
Gambar 5.16. Penggolongan Lipatan Didasarkan Bentuk Penompang Tegak Lurus Sumbu



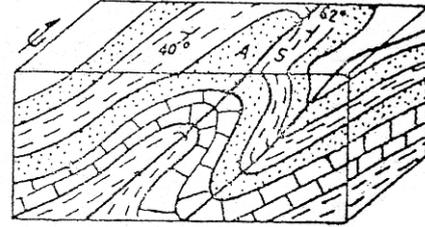
A. Antiklin simetri, tanpa penunjaman



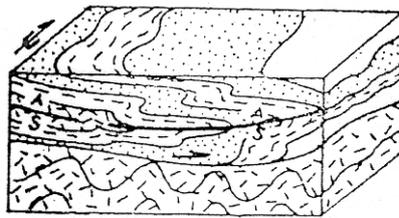
B. Lipatan asimetri, menunjam



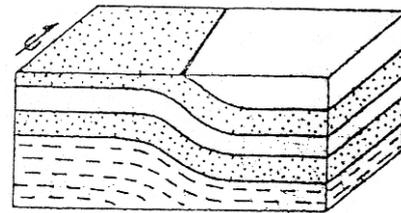
C. Lipatan isoklusal, tanpa penunjam



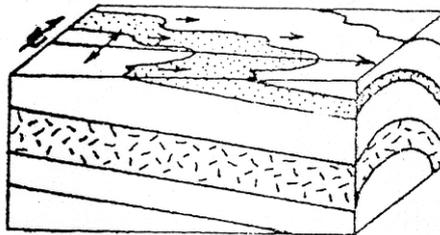
D. Lipatan menggantung



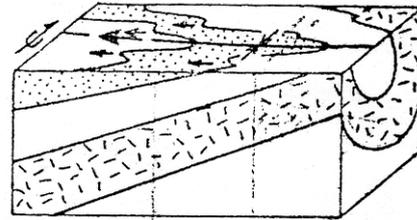
E. Lipatan rebah



F. Lipatan manaklin

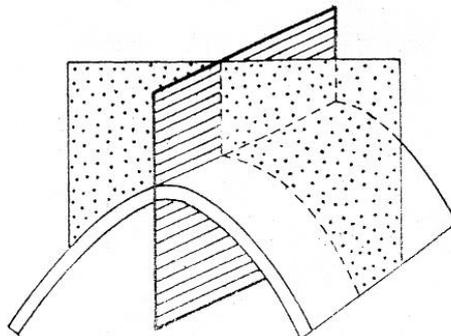


G. Lipatan silindris

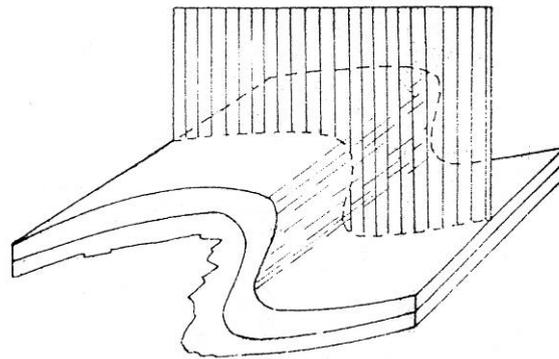


H. Sinklin menunjam

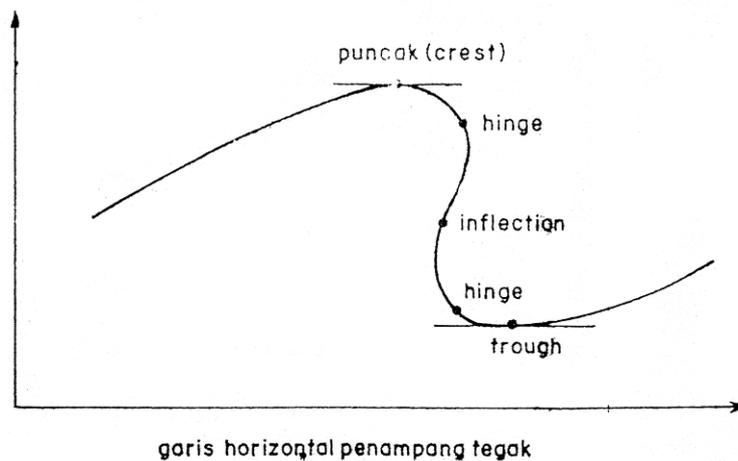
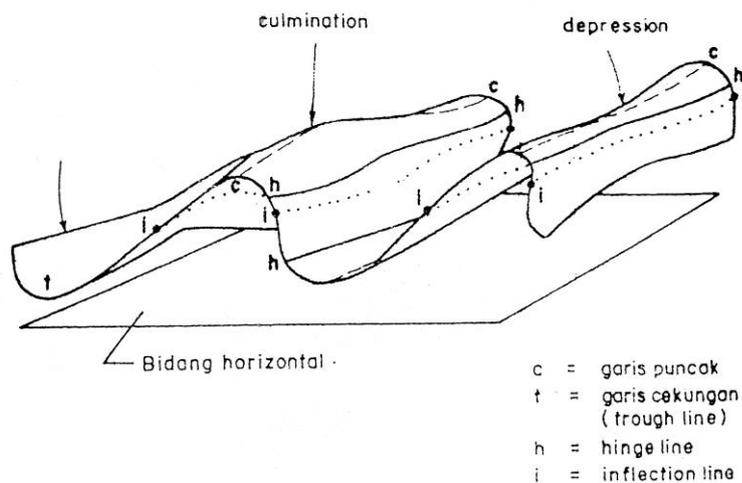
Gambar 5.17. Fold Symmetry



Gambar 5.18. Orthorhombic Symmetry



Gambar 5.19. Monoclinic Symmetry



Gambar 5.20. Rincian Monoclinic Symmetry

5.6 Latihan

1. Apa yang dimaksudkan dengan kekar / joint!
2. Salah satu struktur geologi yang cukup penting untuk diketahui dalam perencanaan dan pembangunan bendungan adalah Sesar (*fault*). Terangkan yang dimaksud dengan sesar tersebut!

3. Semula batuan sedimen diendapkan secara mendatar sehingga lapisannya juga mendatar. Mengapa pada banyak singkapan di lapangan batuan sedimen mempunyai bidang lapisan dengan kemiringan, Jelaskan secara singkat.!

5.7 Rangkuman

Tujuan utama dari struktur geologi adalah mempelajari pelenturan-pelenturan pada bumi, apa yang menyebabkan dan bagaimana akibatnya. Banyak ahli geologi yang beranggapan bahwa struktur geologi adalah sama atau identik dengan tektonik. Sebenarnya tidak demikian halnya, kedua istilah ini harus dibedakan satu sama lainnya. Struktur geologi harus diartikan sebagai sains yang menyelidiki dan mempelajari perihal bentuk dan kerangka dari batuan serta gejala-gejala yang menyebabkannya, maka tektonik mempunyai ruang lingkup yang lebih luas.

5.8 Evaluasi

1. Dilapangan terdapat suatu bidang rekahan pada singkapan batuan dengan dimensi relatif panjang dan bidang rekah terbuka. Rekahan seperti ini disebutkan adalah salah satu struktur geologi jenis.....
 - a. Kekar/ rekahan
 - b. Sesar
 - c. Rekahan tersebut adalah antiklin
 - d. Rekahan tersebut adalah sinklin

2. Di lapangan terdapat suatu bidang rekahan pada singkapan batuan dengan dimensi relatif panjang dan bidang rekah terbuka. Pada lapisan batuan nya terlihat adanya perpindahan salah satu blok. Rekahan seperti ini disebutkan sebagai salah satu struktur geologi jenis.....
 - a. Kekar/ rekahan
 - b. Sesar
 - c. Rekahan tersebut adalah antiklin
 - d. Rekahan tersebut adalah sinklin

3. Salah satu struktur geologi akibat adanya pergerakan dan tekanan tektonik terhadap lapisan batuan yang berbentuk cekungan ke arah bawah, dengan strike/ dip tertentu disebut
- a. Struktur sesar
 - b. Struktur kekar
 - c. Struktur antiklin
 - d. Struktur sinklin

BAB VI

AIR TANAH (*GROUNDWATER*)

Indikator Hasil Belajar:

Setelah mengikuti pembelajaran ini, peserta mampu menjelaskan air tanah (*groundwater*).

6.1 Umum

Walaupun jumlah air tanah hanya sekitar satu persen dari jumlah air yang menyusun bumi kita ini, tetapi jumlahnya sangat besar. Diperkirakan jumlah air tanah pada kerak bumi sampai kedalaman 899 meter sekitar 3.000 kali lebih besar dari jumlah volume air yang berada pada semua sungai, dan sekitar 20 kali dari jumlah volume air yang terdapat pada semua danau dan sungai.

Pengetahuan mengenai air tanah juga penting dalam perencanaan bendungan sehubungan dengan pekerjaan perbaikan fondasi bendungan, termasuk metoda pengeringannya (*dewatering*). Selain itu airtanah juga merupakan media yang sangat penting dari proses erosi seperti aliran air permukaan. Proses erosi yang dilakukan airtanahlah yang membentuk gua-gua di dalam tanah dan kenampakan lain yang berhubungan dengan gua tersebut.

6.2 Definisi Air Tanah

Air tanah adalah sejumlah air di bawah permukaan bumi yang dapat dikumpulkan melalui sumur-sumur, terowongan atau sistem drainase. Dapat juga disebut aliran yang secara alami mengalir ke permukaan tanah melalui pancaran atau rembesan (Bouwer, 1978).

Air tanah mengalir dari daerah yang lebih tinggi menuju ke daerah yang lebih rendah (gravitasi) dalam perjalanannya menuju ke laut. Daerah yang lebih tinggi merupakan daerah tangkapan (*recharge area*) dan daerah yang lebih rendah merupakan daerah buangan (*discharge area*), yang merupakan daerah pantai maupun lembah dengan suatu sistem aliran sungai. Secara lebih spesifik daerah tangkapan didefinisikan sebagai bagian dari suatu daerah aliran (*watershed/ catchment area*) dimana aliran air tanah (yang

jenuh) menjauhi muka air tanah.

Sedangkan daerah buangan didefinisikan sebagai bagian dari suatu daerah aliran (*watershed/catchment area*) dimana aliran air tanah (yang jenuh) menuju muka air tanah (Freeze dan Cherry, 1979). Biasanya di daerah tangkapan, muka air tanahnya terdapat pada kedalaman tertentu, sedangkan muka air tanah daerah buangan umumnya mendekati permukaan tanah, salah satu contohnya adalah daerah rawa dan pantai.

6.3 Penyebaran Air Tanah

Air hujan sebagian akan menjadi air permukaan, sebagian akan menguap, dan sebagian lagi akan meresap ke dalam tanah menjadi airtanah. Sumber air tanah yang berasal dari peresapan air hujan ini disebut air meteorik. Jumlah air hujan yang meresap ke dalam tanah dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu kemiringan topografi, sifat batuan, intensitas hujan dan tipe serta jumlah vegetasi yang terdapat pada daerah tersebut. Air hujan yang turun pada daerah kemiringan lereng yang terjal dan disusun oleh batuan yang kedap air (*impermeable*), sebagian besar airnya menjadi air permukaan (*run off*). Sedangkan air hujan yang turun pada daerah yang landai dengan batuan yang tidak kedap air (*permeable*), sebagian besar airnya akan meresap ke dalam tanah menjadi air tanah.

Air yang meresap ke dalam tanah sebagian akan tertahan oleh partikel-partikel tanah dan akan menguap kembali ke atmosfer, sebagian akan diserap oleh tumbuhan dan sebagian lagi akan terus meresap ke bawah sampai pada suatu zona dimana pori-pori tanah seluruhnya terisi oleh air. Zona tersebut disebut zona jenuh air atau zona saturasi (*zone of saturation*). Air yang terdapat dalam zona ini disebut airtanah. Batas teratas dari zona yang jenuh air ini disebut muka airtanah (*water table*). Daerah di atas muka airtanah dimana tanah, sedimen atau batumannya tidak jenuh air disebut *zone of aeration*. Pada zona ini rongga antar butiran terisi oleh udara.

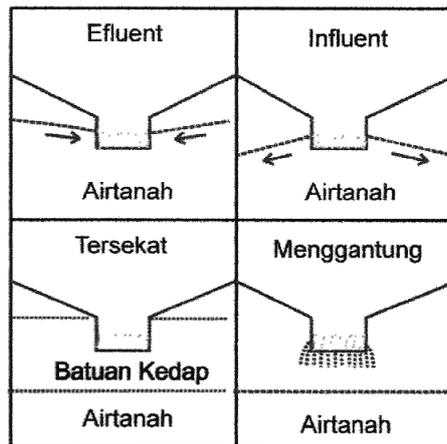
Selain berasal dari air permukaan, airtanah dapat juga berasal dari air yang terjebak pada waktu pembentukan batuan sedimen. Airtanah jenis ini disebut air konat (*connate water*). Aktivitas magma di dalam bumi dapat membentuk

airtanah, karena adanya unsur hidrogen dan oksigen yang menyusun magma. Airtanah yang berasal dari aktivitas magma ini disebut dengan air juvenil (*juvenile water*). Dari ketiga sumber airtanah tersebut air meteorik merupakan sumber airtanah yang terbesar.

Muka air tanah merupakan kenampakan yang sangat penting bagi air tanah, terutama untuk memperkirakan produktivitas dari suatu sumur, menerangkan tentang aliran sungai dan mata air, dan menentukan fluktuasi dari air di danau dan sungai.

Meskipun muka air tanah tidak dapat diketahui secara langsung tetapi kedudukannya dapat dipelajari dan dipetakan pada daerah yang mempunyai banyak sumur, karena muka air tanah di sumur merupakan batas paling atas dari zona yang jenuh air. Muka air tanah biasanya merupakan pencerminan dari keadaan topografinya. Di daerah rawa muka airtanah akan tinggi, dan akan turun ke bawah pada daerah yang rendah. Di daerah rawa muka airtanah biasanya berada di permukaan. Sedangkan muka airtanah yang berada di atas permukaan akan membentuk danau atau sungai. Kedudukan muka airtanah sangat bervariasi tergantung pada jumlah curah hujan dan permeabilitas tanah dan batuan penyusunnya.

Hubungan antara muka air tanah dengan sungai yang mengalir pada daerah yang basah (*humid*) ditunjukkan seperti gambar di bawah. Sungai yang airnya disuplai oleh air tanah, membuat sungai tersebut tetap berair pada musim kemarau, disebut sungai *effluent*. Sebaliknya di daerah kering (*arid*) dimana muka airtanah sangat dalam, airtanah tidak dapat mensuplai aliran air sungai. Hanya sungai permanen di daerah ini yang berasal dari daerah bawah yang kemudian mengalir ke daerah kering. Pada kondisi demikian, zona saturasi yang berada di bawah lembah sungai akan disuplai oleh air sungai, sehingga muka airtanah di bawah lembah ini akan cembung ke atas. Sungai demikian disebut dengan sungai *influen*.



Gambar 6.1. Berbagai Hubungan Antara Air Tanah dan Air Sungai

6.4 Pergerakan Air Tanah

Aliran air tanah sangat dipengaruhi oleh gaya gravitasi. Airtanah mengalir dari muka airtanah yang tinggi ke muka airtanah yang rendah, yaitu menuju lembah sungai, danau atau mata air. Meskipun kebanyakan airtanah mengalir ke tempat yang rendah sesuai dengan kemiringan muka airtanah, tetapi sebagian airtanah mengalir melalui jalur yang melengkung ke daerah tersebut di atas. Pada gambar di atas terlihat sebagian airtanah meresap ke sungai dari segala arah. Ada juga aliran yang melengkung ke atas berlawanan arah dengan gaya gravitasi. Aliran tersebut disebabkan oleh perbedaan ketinggian muka airtanah yang menyebabkan perbedaan tekanan pada airtanah tersebut. Hal ini dapat dikatakan bahwa airtanah di daerah perbukitan berada pada tekanan yang lebih tinggi daripada airtanah yang berada di lembah sungai, sehingga airtanah bergerak ke daerah yang bertekanan rendah. Jadi aliran yang berbentuk garis melengkung di zona saturasi merupakan perpaduan antara gaya gravitasi dan kecenderungan air untuk mengalir ke tempat yang tekanannya lebih rendah.

Keadaan material bawah tanah sangat mempengaruhi aliran dan jumlah airtanah. Jumlah air tanah yang dapat disimpan dalam batuan dasar, sedimen dan tanah, sangat tergantung pada porositas bahan tersebut. Porositas merupakan jumlah atau persentase pori atau rongga dalam total volume batuan atau sedimen. Selain pori atau rongga antar butiran, rongga di dalam batuan dapat juga terbentuk karena adanya kekar dan sesar, atau karena

pelarutan batuan seperti yang sering terbentuk pada batugamping.

Porositas suatu material sangat bervariasi, batuan sedimen pada umumnya mempunyai porositas antara 10% sampai 50%. Besarnya porositas sangat tergantung pada bentuk dan ukuran butir, susunan butiran, derajat sortasi dan derajat batuan sedimen. Sebagai contoh, lempung dapat mempunyai porositas sampai 50%, sedang material yang disusun oleh gravel mempunyai porositas 20%. Pada batuan yang disusun oleh ukuran butir yang sangat bervariasi (sortasinya jelek), porositasnya akan turun, sebab butiran yang halus akan mengisi rongga diantara butiran yang kasar. Batuan beku dan metamorf, dan juga sebagian batuan sedimen yang disusun oleh mineral yang saling tumbuh dan mengikat, porositasnya sangat kecil. Porositas yang besar pada batuan semacam ini disebabkan oleh adanya rekahan-rekahan pada batuan tersebut.

Selain porositas, sifat fisik batuan lainnya yang mempengaruhi jumlah airtanah adalah permeabilitas. Permeabilitas merupakan kemampuan batuan atau tanah untuk melewatkan atau meloloskan air. Airtanah mengalir melalui rongga-rongga yang kecil. Semakin kecil rongganya, semakin lambat alirannya. Jika rongganya sangat kecil, akibatnya molekul air tersebut akan tetap tinggal. Kejadian semacam ini terjadi pada lempung. Meskipun lempung mempunyai kemampuan yang tinggi untuk menyimpan air, tetapi karena porinya sangat kecil, maka air tidak dapat bergerak atau mengalir. Lapisan atau batuan yang disusun oleh material lempung yang tidak dapat melewatkan air disebut lapisan kedap air (*impermeable*) dan disebut lapisan *aquiclude*. Sebaliknya batuan yang disusun oleh material kasar seperti batupasir atau kerakal yang mempunyai pori yang besar, airtanah akan mengalir dengan mudah. Batuan permeabel semacam ini yang dapat mengalirkan airtanah dengan mudah disebut *aquifer*.

6.5 Jenis Air Tanah

Air meteorik (*meteoric water*) adalah air tanah yang terjadi secara atmosferik (*atmospheric origin*), artinya berkaitan langsung dengan atau sebagai bagian dari siklus hidrologi sekarang (*resen*) yang sedang berlangsung. Istilah *resen*

menunjukkan geologi masa kini yang bisa menyangkut waktu selama puluhan ribu tahun.

Air konat (*connate water*) adalah airtanah yang masih terbentuk secara atmosferik tetapi telah mengalami isolasi terhadap siklus hidrologi untuk selama waktu jutaan tahun (hilang dari peredaran siklus hidrologi selama waktu tersebut).

Airtanah jenis ini telah ada di dalam formasi geologi sejak pembentukannya, sama-sama terbentuk dengan material akuifernya, misalnya pada pengendapan alluvium terbentuk akuifer bersama-sama dengan air yang mengendapkannya (*conatus* bahasa latin yang berarti dilahirkan bersama-sama). Air ini biasanya berkualitas tidak baik, asin, dan sebagainya.

Air juvenil atau primer (*juvenile* atau *primary water*), yaitu airtanah yang tidak pernah menjadi bagian dari siklus hidrologi. Air ini terbentuk di dalam bumi sendiri secara vulkanik dan magmatik. Airtanah ini kaya akan kandungan mineral, tetapi bukan sumber air yang berarti, dan air ini muncul ke permukaan bumi melalui aktivitas vulkanisme.

Air magmatik (*magmatic water*) termasuk air vulkanik berasal dari magma dangkal.

Air plutonik (*plutonic water*) berasal dari magma dalam. Air metamorfik (*metamorphic water*) adalah air yang telah berada pada batuan selama periode metamorfisme.

Air marin/ laut (*marin water*) adalah air yang telah bergerak ke dalam akuifer-akuifer dari lautan. Semua jenis airtanah tersebut sangat ditentukan oleh kondisi geologi lingkungan dari keberadaannya. Kemudian, usia airtanah dapat berkisar antara beberapa tahun sampai puluhan ribu tahun (bahkan jutaan tahun).

6.6 Sistem Akuifer dan Geologi Air Tanah

a) Akuifer

Akuifer ialah suatu lapisan, formasi, atau kelompok formasi satuan geologi yang *permeable* baik yang terkonsolidasi (misalnya lempung) maupun yang tidak terkonsolidasi (pasir) dengan kondisi jenuh air dan mempunyai suatu besaran konduktivitas hidraulik (K) sehingga dapat membawa air (atau air dapat diambil) dalam jumlah (kuantitas) yang ekonomis.

b) *Aquiclude (impermeable layer)*

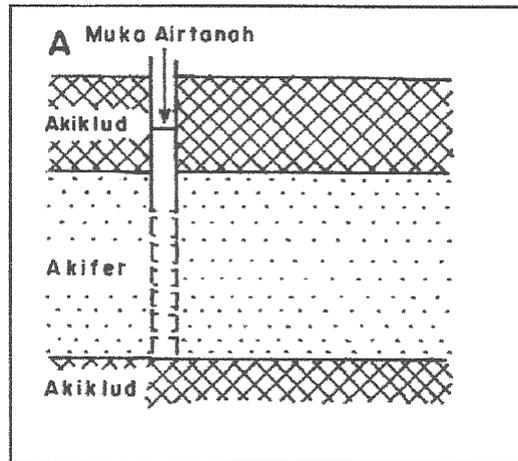
Adalah suatu lapisan lapisan, formasi, atau kelompok formasi suatu geologi yang *impermeable* dengan nilai konduktivitas hidraulik yang sangat kecil sehingga tidak memungkinkan air melewatinya. Dapat dikatakan juga merupakan lapisan pembatas atas dan bawah suatu *confined aquifer*.

c) *Aquitard (semi impervious layer)*

Aquitard ialah suatu lapisan lapisan, formasi, atau kelompok formasi suatu geologi yang *permable* dengan nilai konduktivitas hidraulik yang kecil namun masih memungkinkan air melewati lapisan ini walaupun dengan gerakan yang lambat. Dapat dikatakan juga merupakan lapisan pembatas atas dan bawah suatu *semi confined aquifer*.

d) *Confined Aquifer*

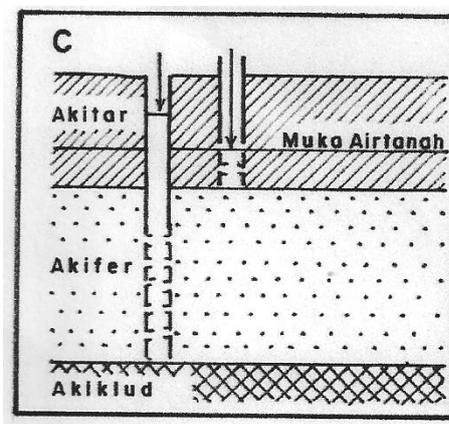
Merupakan akuifer yang jenuh air yang dibatasi oleh lapisan atas dan bawahnya merupakan *aquiclude* dan tekanan airnya lebih besar dari tekanan atmosfer. Pada lapisan pembatasnya tidak ada air yang mengalir (*no flux*).



Gambar 6.2. Akifer yang Bagian Atas dan Bawahnya Dibatasi Oleh Lapisan Bersifat Akifug atau Aquiclude

e) *Semi Confined (leaky) Aquifer*

Merupakan akuifer yang jenuh air yang dibatasi oleh lapisan atas berupa *aquitard* dan lapisan bawahnya merupakan *aquiclude*. Pada lapisan pembatas di bagian atasnya karena bersifat *aquitard* masih ada air yang mengalir ke akuifer tersebut (*influx*), walaupun hidraulik konduktivitasnya jauh lebih kecil dibandingkan hidraulik konduktivitas akuifer. Tekanan airnya pada akuifer lebih besar dari tekanan atmosfer.

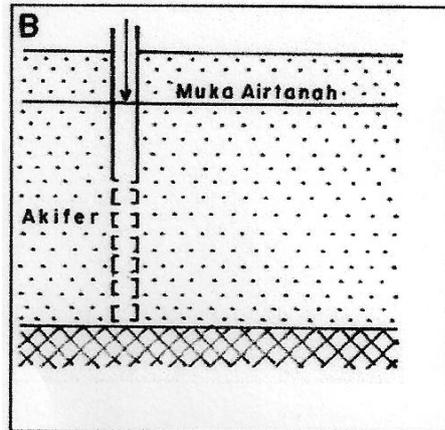


Gambar 6.3. Akifer yang Dibatasi Oleh Lapisan Semi Permeabel di Bagian Atas dan atau di Bagian Bawah

f) *Unconfined Aquifer*

Merupakan akuifer jenuh air (*saturated*). Lapisan pembatasnya, yang merupakan *aquitard*, hanya pada bagian bawahnya dan tidak ada pembatas *aquitard* di lapisan atasnya, batas di lapisan atas berupa

muka air tanah. Dengan kata lain merupakan akuifer yang mempunyai muka air tanah.



Gambar 6.4. Akifer yang dibatasi Oleh Lapisan *Impermeable* di Bagian Bawahnya Tetapi Pada Bagian Atasnya Tidak Ada Lapisan

g) *Semi Unconfined Aquifer*

Merupakan akuifer yang jenuh air (*saturated*) yang dibatasi hanya lapisan bawahnya yang merupakan *aquitard*. Pada bagian atasnya ada pembatas yang mempunyai hidraulik konduktivitas lebih kecil daripada hidraulik konduktivitas dari akuifer. Akuifer ini juga mempunyai muka air tanah yang terletak pada lapisan pembatas tersebut.

h) *Artesian Aquifer*

Merupakan *confined aquifer* dimana ketinggian hidrauliknya (*potentiometric surface*) lebih tinggi daripada muka tanah. Oleh karena itu apabila pada akuifer ini dilakukan pengeboran maka akan timbul pancaran air (*spring*), karena air yang keluar dari pengeboran ini berusaha mencapai ketinggian hidraulik tersebut.

6.7 Lithologi, Stratigrafi dan Struktur

Kondisi alami dan distribusi akuifer, *aquiclude* dan *aquitard* dalam sistem geologi dikendalikan oleh lithologi, stratigrafi dan struktur dari material endapan geologi dan formasi (Freeze dan Cherry, 1979). Selanjutnya lithologi merupakan susunan fisik dari pengendapan proses geologi. Susunan ini termasuk komposisi mineral, ukuran butir dan kumpulan butiran (*grain packing*) yang terbentuk dari sedimentasi atau batuan yang menampilkan sistem geologi. Stratigrafi menjelaskan hubungan geometris

dan umur antara macam-macam lensa, dasar dan formasi dalam geologi sistem dari asal terjadinya sedimentasi. Bentuk struktur seperti pecahan (*cleavages*), retakan (*fracture*), lipatan (*folds*), dan sesar/patahan (*faults*), merupakan sifat-sifat geometrik dari sistem geologi yang dihasilkan oleh perubahan bentuk (*deformation*) akibat adanya proses pengendapan (*deposition*) dan proses kristalisasi (*crystallization*) dari batuan. Pada endapan yang belum terkonsolidasi (*unconsolidated deposits*) lithologi dan stratigrafi merupakan pengendali yang paling penting.

6.8 Beberapa Jenis *Unconfined Aquifer*

Unconfined aquifer merupakan akuifer dengan hanya satu lapisan pembatas yang kedap air (di bagian bawahnya). Ketinggian hidraulik sama dengan ketinggian muka airnya. Dari sistem terbentuknya dan lokasinya jenis akuifer ini ada beberapa macam, yaitu :

a) **Akuifer Lembah (*Valley Aquifers*)**

Merupakan akuifer yang ada pada suatu lembah dengan sungai sebagai batas (*inlet* atau *outlet*nya). Jenis ini dapat dibedakan berdasarkan lokasinya yaitu di daerah yang banyak curah hujannya (*humid zone*), seperti di Indonesia. Pengisian air terjadi pada seluruh areal dari akuifer melalui transfiltrasi. Sungai-sungai yang ada di akuifer ini diisi airnya (*recharge*) melalui daerahdaerah yang mempunyai ketinggian yang sama dengan ketinggian sungai. Pada ilmu hidrologi pengisian yang menimbulkan aliran ini dikenal dengan sebutan aliran dasar (*base flow*). Hal ini merupakan indikator bahwa walaupun dalam keadaan tidak ada hujan (musim kemarau), pada sungai-sungai tertentu masih ada aliran airnya. Disamping itu akibat adanya *recharge* juga merupakan salah satu faktor penyebab suatu sungai berkembang dari penampang yang kecil di sebelah hulunya menjadi penampang yang besar di sebelah hilirnya (mendekati laut).

Sedangkan di daerah gersang (*arid zone*) dimana curah hujannya sedikit, kurang dari 500 mm per tahun, dan lebih kecil dari penguapan/evapotranspirasi fenomenanya merupakan kebalikan dari daerah *humid*. Karena pengisian (infiltrasi) ke akuifer tidak ada akibat

sedikitnya curah hujan, maka pengisian yang terjadi adalah dari sungai ke akuifer. Pada umumnya aliran pada akuifer adalah pada arah yang sama dengan aliran sungai. Masalah yang terjadi umumnya :

- Permeabilitas besar dari sungai terutama pada bagian dasarnya, semakin besar permeabilitasnya aliran sungai semakin kecil karena aliran akan meresap ke dalam tanah.
- Pada daerah rendah timbul masalah salinitas yang cukup besar, karena aliran air tanah (Chebatarev, 1955 dan Toth, 1963) mengubah komposisi kimia makin ke hilir mendekati unsur kimia air laut (misalnya NaCl).

b) *Perched Aquifers*

Merupakan akuifer yang terletak di atas suatu lapisan formasi geologi kedap air. Biasanya terletak bebas di suatu struktur tanah dan tidak berhubungan dengan sungai. Kadang-kadang bilamana lapisan di bawahnya tidak murni kedap air namun berupa *aquitards* bisa memberikan distribusi air pada akuifer di bawahnya. Kapasitasnya tergantung dari pengisian air dari sekitarnya dan juga luasnya lapisan geologi yang kedap air tersebut.

c) *Alluvial Aquifers*

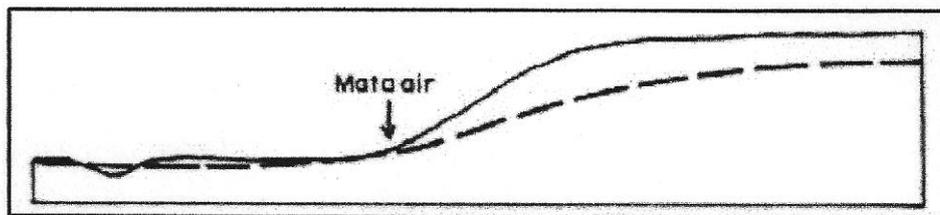
Alluvial Aquifers merupakan material yang terjadi akibat proses fisik di sepanjang daerah aliran sungai atau daerah genangan (*flood plains*). Akibat pergeseran sungai dan perubahan kecepatan penyimpanan yang sebelumnya pernah terjadi maka simpanan berisi material tanah yang beragam dan heterogen dalam distribusi sifat-sifat hidrauliknya. Dalam klasifikasi tanah sering disebut *well graded*. Akibatnya kapasitas air di akuifer ini menjadi besar dan umumnya volume air tanahnya seimbang (*equilibrium*) dengan air yang ada di sungai. Akuifer ini membantu pengaturan rezim aliran sungai. Sehingga boleh dikatakan setiap daerah dengan akuifer jenis ini, akuifer ini merupakan sumber yang penting untuk suplai air. Di daerah hulu aliran sungai umumnya air sungai meresap ke tanah (*infiltrasi*) dan mengisi akuifer ini (*recharge*). Hal ini terjadi karena ketinggian dasar sungai relatif di atas ketinggian

muka air tanah pada akuifer. Namun, semakin ke hilir aliran sungai terjadi sebaliknya, akuifer memberikan pengisian ke aliran sungai (*recharge*), karena muka air tanah di akuifer relatif lebih tinggi di bandingkan dengan dasar sungai. Pengisian ini menimbulkan aliran dasar (*base flow*) di sungai sepanjang tahun, walaupun pada musim kemarau tidak terjadi hujan di daerah pengaliran sungai (DPS). Ditinjau dari kuantitas kandungan air yang dimilikinya, maka akuifer ini merupakan akuifer yang paling baik dibandingkan dengan akuifer jenis lain.

6.9 Jenis-Jenis Mata Air

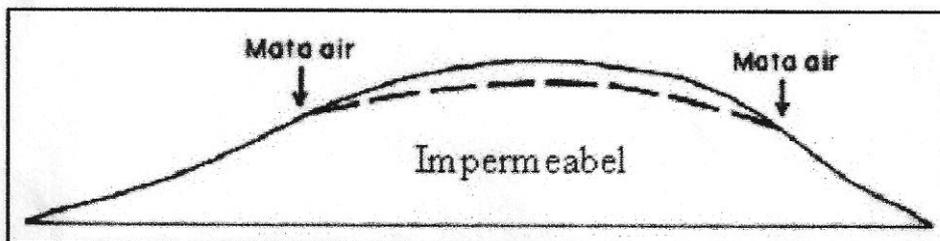
Menurut Tood (1980), jenis-jenis mata air adalah:

- a) Mata air depresi (*depression spring*): mataair yang disebabkan karena permukaan tanah memotong muka airtanah (*water table*).



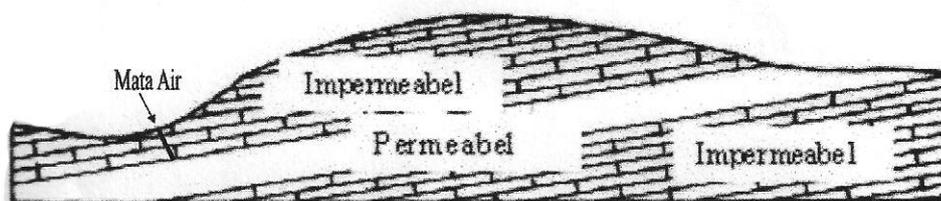
Gambar 6.5. Mata Air Jenis Depresi

- b) Mata air kontak (*contact spring*): mata air akibat kontak antara lapisan akifer dengan lapisan impermeabel di bagian bawahnya.



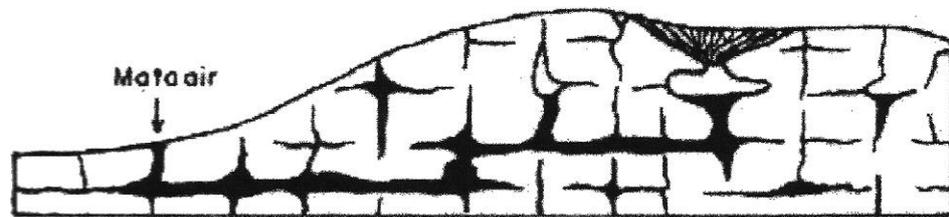
Gambar 6.6. Mata Air Kontak

- c) Mata air rekahan (*fracture spring*): mata air yang dihasilkan oleh akifer tertekan yang terpotong oleh struktur impermeabel.



Gambar 6.7. Mata Air Rekahan

- d) Mata air pelarutan (*solution tubular spring*): mata air yang terjadi akibat pelarutan batuan oleh air tanah.



Gambar 6.8. Mata Air Pelarutan

6.10 Latihan

1. Jelaskan yang dimaksudkan dengan lapisan batuan sebagai Aquifer!
2. Apakah yang dimaksudkan dengan lapisan Aquiclude, Jelaskan!
3. Jelaskan yang dimaksudkan dengan lapisan Aquitard dalam masalah air tanah!

6.11 Rangkuman

Air tanah adalah sejumlah air di bawah permukaan bumi yang dapat dikumpulkan melalui sumur-sumur, terowongan atau sistem drainase.

Air meteorik (*meteoric water*) adalah air tanah yang terjadi secara atmosferik (*atmospheric origin*), artinya berkaitan langsung dengan atau sebagai bagian dari siklus hidrologi sekarang (*resen*) yang sedang berlangsung. Istilah *resen* menunjukkan geologi masa kini yang bisa menyangkut waktu selama puluhan ribu tahun.

Air konat (*connate water*) adalah airtanah yang masih terbentuk secara atmosferik tetapi telah mengalami isolasi terhadap siklus hidrologi untuk selama waktu jutaan tahun (hilang dari peredaran siklus hidrologi selama waktu tersebut).

Airtanah jenis ini telah ada di dalam formasi geologi sejak pembentukannya, sama-sama terbentuk dengan material akuifernya, misalnya pada pengendapan alluvium terbentuk akuifer bersama-sama dengan air yang mengendapkannya (*conatus* bahasa latin yang berarti dilahirkan bersama-sama). Air ini biasanya berkualitas tidak baik, asin, dan sebagainya.

Air juvenil atau primer (*juvenile* atau *primary water*), yaitu airtanah yang tidak pernah menjadi bagian dari siklus hidrologi. Air ini terbentuk di dalam bumi sendiri secara vulkanik dan magmatik. Airtanah ini kaya akan kandungan mineral, tetapi bukan sumber air yang berarti, dan air ini muncul ke permukaan bumi melalui aktivitas vulkanisme.

Air magmatik (*magmatic water*) termasuk air vulkanik berasal dari magma dangkal.

Air plutonik (*plutonic water*) berasal dari magma dalam. Air metamorfik (*metamorphic water*) adalah air yang telah berada pada batuan selama periode metamorfisme.

Air marin/ laut (*marin water*) adalah air yang telah bergerak ke dalam akuifer-akuifer dari lautan. Semua jenis airtanah tersebut sangat ditentukan oleh kondisi geologi lingkungan dari keberadaannya. Kemudian, usia airtanah dapat berkisar antara beberapa tahun sampai puluhan ribu tahun (bahkan jutaan tahun).

6.12 Evaluasi

1. Air tanah yang mensuplai Sungai dikarenakan muka air tanah setempat relatif lebih tinggi elevasinya dari palung sungai disebut dengan.....
 - a. Sungai influen,
 - b. Sungai efluen
 - c. Sungai intermitten
 - d. Sungai permanen
2. Sungai yang mensuplai air tanah dikarenakan muka air tanah setempat relatif lebih rendah dari palung sungai demikian disebut dengan....
 - a. Sungai influen
 - b. Sungai efluen
 - c. Sungai intermitten
 - d. Sungai permanen

3. Mata air depresi (*depression spring*): adalah mata air yang disebabkan karena.....
- a. Merupakan akibat adanya pelarutan
 - b. Akibat adanya rekahan pada lapisan batuan
 - c. Permukaan tanah memotong muka air tanah
 - d. Karena perbedaan lapisan permeable



BAB VII

KEGEMPAAN

Indikator Hasil Belajar:

Setelah mengikuti pembelajaran ini, peserta mampu menjelaskan kegempaan.

7.1 Pendahuluan

Gempa bumi asli bersumber di dalam bumi dan merambat melalui permukaan dan menembus bumi. Dari pengertian ini ternyata dapat dijelaskan bahwa getaran-getaran yang disebabkan oleh pabrik-pabrik, lalu lintas, pukulan-pukulan gelombang, tidak dapat digolongkan kedalam gempa bumi meskipun getaran-getaran inipun dicatat oleh pencatat gempa bumi yang peka.

Gempa bumi terjadi disebabkan oleh pergerakan relatif secara tiba-tiba pada sesar atau zona sesar aktif pada kerak bumi. Sesar aktif adalah sesar yang menimbulkan pergeseran atau alihan relatif dalam waktu geologi resen, sehingga dianggap berpotensi bergerak lagi. Jika sesar bergerak dalam waktu geologi yang lampau, selama waktu dari rezim tegangan tektonik yang berbeda dan jika sesar tidak bergerak dalam waktu holosen sampai resen (lebih kurang 11 ribu tahun yang lalu), maka sesar dianggap tidak aktif.

Daerah gempa bumi adalah bagian dari kerak bumi dimana getaran - getaran itu dapat dirusakkan tanpa alat. Jarak antara Episentrum dan stasiun pencatat disebut Episentral dan jarak antara episentrum dan hyposentrum disebut focus.

Sesar berpotensi aktif adalah sesar yang belum pasti berpotensi menyebabkan gempa bumi. Jika sesar ditemukan di daerah yang di duga sebagai sumber gempa bumi maka diperlukan analisis yang seksama dan pengertian tentang sesar untuk evaluasi potensi terjadinya gempa.

Gempa disebabkan oleh pergerakan relatif yang terjadi secara tiba-tiba pada sesar atau zona patahan dalam kerak bumi, yang disebut sesar aktif (yang menimbulkan gempa). Mekanisme pergerakan sesar mengikuti proses

regangan elastis (*elastic rebound*), sebagai akibat pelepasan energi regangan secara tiba-tiba dalam kerak bumi. Peningkatan energi regangan dalam kerak bumi melalui pergerakan relatif antara bagian-bagian kerak bumi disebut juga sebagai lempeng tektonik. Pelepasan energi regangan ini disebut keruntuhan sesar (*fault rupture*), yang terjadi sepanjang zona keruntuhan. Bila terjadi keruntuhan sesar akan terjadi regangan elastis pada batuan. Pantulan ini menyebabkan getaran melalui kerak bumi dan sepanjang permukaan bumi, serta menimbulkan guncangan gempa permukaan sebagai sumber kerusakan gempa secara umum. Jika sesar sepanjang keruntuhan mengarah ke atas permukaan tanah dan permukaan tidak terlapis sedimen, maka pergerakan relatif dapat memicu keruntuhan permukaan, sebagai sumber kerusakan gempa terhadap infrastruktur yang telah dibangun.

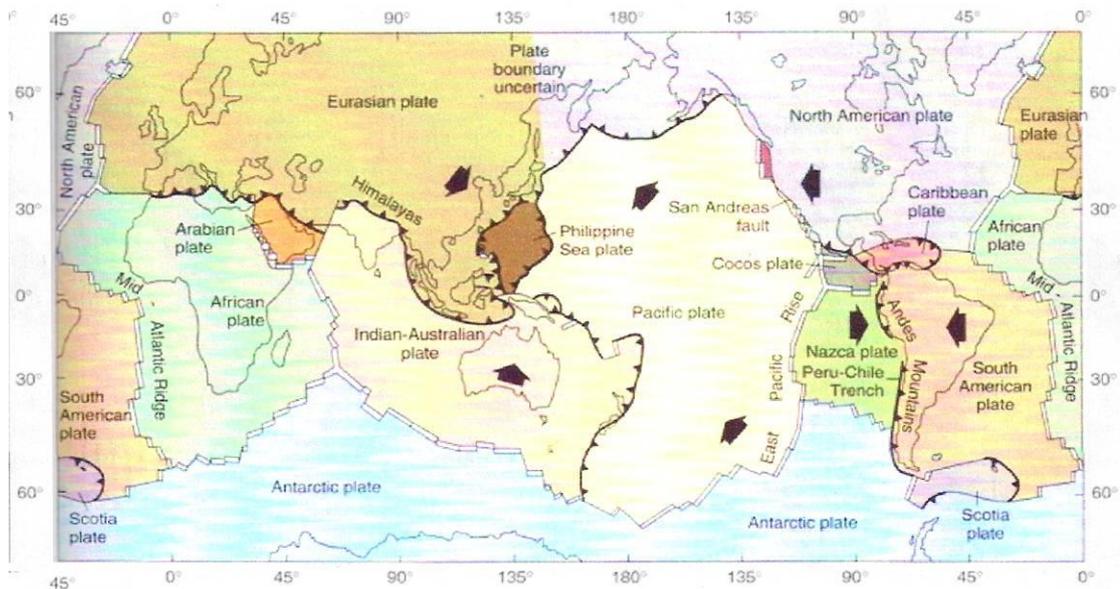
7.2 Konsep Dasar

Pada kerak bumi sesar dapat berada baik pada bidang kontak lempeng tektonik maupun dalam lempengnya sendiri. Tidak semua sesar menimbulkan gempa (*seismogenic*), dan sesar yang menyebabkan gempa disebut sesar aktif. Sesar yang belum pasti berpotensi menimbulkan gempa disebut sesar berpotensi aktif. Jika sesar ditemukan di daerah yang diduga sebagai sumber gempa, maka diperlukan analisis yang seksama dan pengertian tentang sesar untuk evaluasi potensi terjadinya gempa.

7.2.1 Lempeng Tektonik

Teori lempeng tektonik menggambarkan bahwa kerak bumi merupakan mosaik dari lempeng-lempeng tektonik. Lempeng-lempeng ini dapat menarik salah satu bagian, naik di atas yang lain, dan bergeser melewati satu sama lain. Pergerakan lempeng tektonik dipicu oleh arus konveksi dalam batuan cair di dalam selimut bagian atas bumi. Arus konveksi sendiri disebabkan oleh sumber panas bumi. Lempeng mengembang luas pada zona penyebaran, yang aliran konveksinya menyebarkan serpihan (*plumes*) material dari selimut atas ke permukaan bumi. Pada bidang kontak antara dua lempeng tektonik yang bersifat saling menekan, salah satunya menghunjam ke bawah sedangkan lempeng yang lainnya terangkat di atasnya. Bidang kontak ini disebut sebagai zona subduksi (*zona Benioff*).

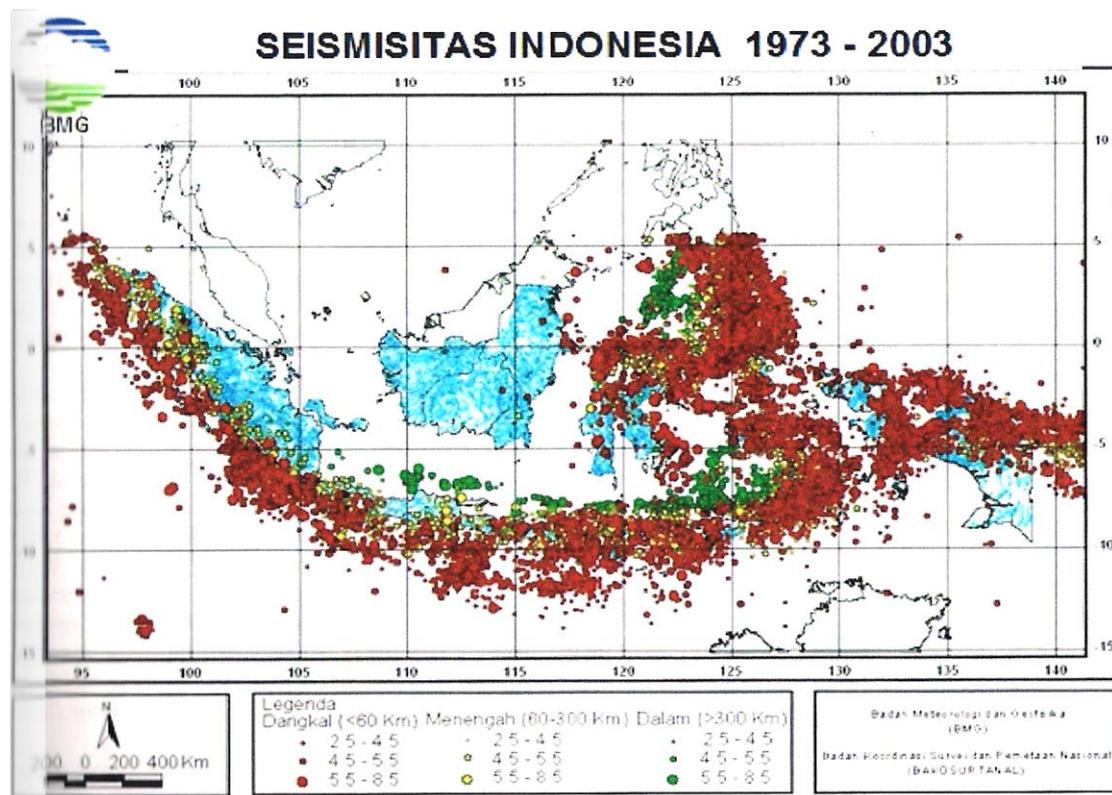
Pada gambar di bawah diperlihatkan lempeng-lempeng tektonik utama dari kerak bumi. Pergerakan lempeng ditunjukkan oleh arah panah, yang berkaitan dengan aktivitas sesar, kejadian gempa, dan proses vulkanik. Pada umumnya, gempa terjadi pada atau di dekat batasan lempeng, yang disebut zona Benioff, yaitu zona kontak yang miring (*dips*) antara dua lempeng tektonik (*dips*) dari permukaan sampai kedalaman bawah kerak bumi yang disebut sebagai gempa "*interplate*". Gempa dapat juga terjadi di bagian dalam lempeng dengan frekuensi yang jauh lebih rendah daripada batasan lempeng atau (*intraplate earthquake*).



Gambar 7.1. Lempeng Tektonik Utama dan Perkiraan Arah Pergerakannya (Modifikasi Dari Parek, 1983)

Indonesia berada pada tatanan tektonik, berupa pertemuan tiga lempeng tektonik (*junction of fates*), yaitu Pasifik, Indo Australia dan Eurasia. Lempeng-lempeng ini mengalami pecah menjadi beberapa blok yang saling bergerak dan berinteraksi, seperti blok Sumatera. Implikasi dari tatanan tektonik tersebut adalah deformasi sepanjang batas lempeng, pengangkatan atau penurunan kerak, gempa bumi dan aktivitas vulkanik. Gempa yang terjadi sepanjang batas lempeng disebut gempa bumi *interplate*. Sedangkan gempa bumi yang terjadi jauh dari lempeng disebut *intraplate*. Yang menjadi penyebab utama terjadinya gempa ini adalah tumbukan antar lempengan di daerah yang disebut daerah *interplate*. Batas lempeng merupakan daerah

yang amat kompleks, dimana blok tersebut saling berinteraksi dan menyebabkan deformasi.



Gambar 7.2. Seismisitas Indonesia 1973 - 2003 (Suhardjono, 2009)

Berdasarkan gambar lokasi kejadian gempa antara tahun 1973-2003 di atas, dengan magnitudo M_S yang bervariasi antara 2,5 sampai 8,5 sekalarichter dan kedalaman dangkal (< 60 km), menengah (60 km — 200 km) dan dalam (200 km — 600 km), maka terlihat dengan jelas bahwa Indonesia termasuk daerah dengan kerentanan tinggi terhadap gempa bumi.

7.2.2 Pergerakan Sesar

Sesar terjadi bila tegangan dalam material geologi (batuan) melebihi kekuatan geser material untuk menahan tegangan. Pada umumnya, sesar yang terbentuk sekarang merupakan hasil aktivitas tektonik yang terjadi pada waktu geologi yang lampau. Sesar ini biasanya tidak aktif, tetapi sesar yang berkaitan dengan proses tektonik yang lampau dapat menjadi aktif kembali karena proses tektonik yang terjadi sekarang.

Tidak semua sesar sepanjang terjadi pergerakan relatif merupakan sumber gempa. Banyak sesar terjadi di permukaan sepanjang pergerakan relatif, dengan laju kecepatan kontinyu yang relatif lambat dan penurunan tegangan geser kecil, namun tidak cukup menimbulkan gempa.

Pergerakan demikian disebut rayapan sesar (*fault creep*), yang dapat terjadi sepanjang sesar dangkal, dimana tegangan lapangan (*overburden*) yang rendah menghasilkan disipasi tegangan yang relatif cepat. Rayapan sesar dapat berada pada kedalaman tanah lunak dan/atau regas yang mengalami deformasi plastis. Apabila terjadi penurunan perlawanan friksi atau tidak seragam (*asperities*) sepanjang bidang sesar, dapat menyebabkan rayapan langgeng dan memicu lepasnya energi regangan sepanjang sesar. Bila terjadi intrusi magma atau pertumbuhan kubah garam (*growing salt domes*), maka akan menimbulkan rayapan sesar berlebihan sehingga mengaktifkan sesar dangkal dalam sedimen lunak. Sesar yang disebabkan oleh ekstraksi (*extraction*) cairan dapat mengakibatkan penurunan tanah, sehingga terjadi sesar aktif dekat permukaan. Pergerakan ini dipicu oleh rayapan langgeng untuk menyesuaikan sesar aktif secara tektonik, dan sesar yang ditimbulkan oleh longsoran gravitasi terjadi dalam sedimen tebal yang tidak terkonsolidasi.

Sesar aktif yang terjadi dalam batuan dasar kristalin umumnya mampu menimbulkan energi regangan, yang dapat menghasilkan kekuatan gempa yang mempengaruhi keruntuhan pada bendungan. Keruntuhan sesar dapat terjadi dari batuan dasar kristalin ke permukaan tanah dan menyebabkan keruntuhan tanah. Namun, keruntuhan sesar bisa juga mencapai bawah permukaan tanpa terjadi rombakan permukaan tanah karena pergerakan sesar. Sebagai contoh sifat gempa di bagian pusat dan timur Amerika Serikat, penyesaran bawah permukaan terjadi tanpa adanya keruntuhan sesar primer pada permukaan tanah. Gempa signifikan yang terjadi di daerah batas lempeng pantai Pasifik, menimbulkan keruntuhan karena sesar naik, namun tidak merombak permukaan tanah, disebut *blind thrust faults*. Guncangan gempa kuat bersama-sama dengan keruntuhan sesar dapat menimbulkan rombakan tanah sekunder, seperti *graben*, *ridge-top shattering*, longsoran, dan likuifaksi.

Jika sesar menimbulkan deformasi relatif dalam waktu geologi Resen (terbentuknya tatanan tektonik), maka sebaiknya sesar ini dianggap berpotensi untuk bergerak lagi. Jika sesar bergerak dalam waktu geologi yang lampau selama waktu dan regime tegangan tektonik yang berbeda, dan jika sesar tidak bergerak dalam waktu Holocene Resen (11.000 tahun yang lalu), maka sesar dianggap tidak aktif.

Umur geomorfik dan pergerakan sesar tidak selalu dapat dihitung. Dalam praktek sesar dianggap aktif, jika sesar dapat mengalihkan dasar alluvium tidak terkonsolidasi, deposit es, atau tanah permukaan. Jika ada aktivitas gempa mikro beserta sesar, maka sesar dianggap aktif dan mampu menimbulkan gempa susulan. Gempa mikro yang terjadi dalam batuan dasar pada kedalaman 7 km - 20 km dapat menunjukkan potensi gempa besar. Gempa mikro yang terjadi pada kedalaman 1 km - 3 km tidak selalu menunjukkan potensi terjadinya gempa besar yang merusak. Jika tidak ada tanda-tanda geomorfik, aktivitas tektonik atau sejarah kejadian gempa besar, maka mikrotremor dangkal hanya menunjukkan potensi kejadian gempa kecil atau moderat. Magnitudo gempa mikro dangkal sebesar .s 3 kadangkadang terjadi bersamaan dengan mekanisme penambangan atau non-seismogenik lainnya. Jika tidak ada tanda-tanda geomorfik dan aktivitas gempa mikro di daerah tersebut, maka sesar tidak aktif dan tidak menimbulkan gempa susulan.

Ukuran magnitudo gempa yang dapat terjadi pada sesar (aktif atau berpotensi aktif), pada umumnya sesuai dengan ukuran sesar (misalnya sesar kecil menyebabkan gempa kecil dan sesar besar menimbulkan gempa besar). Sesar yang mengandung ketidak-seragaman dan mengalami friksi dan perlawanan geometrik tertentu, hanya dapat bergerak bila tegangan geser terakumulasi melampaui kekuatan geser. Dengan demikian, setiap sesar mempunyai kecenderungan menimbulkan gempa dalam rentang magnitudo tertentu sesuai dengan sifat sesarnya.

Sesar yang terputus-putus pendek melewati sedimen di permukaan tanah bisa menerus pada kedalaman tertentu, yang digambarkan oleh struktur geologi permukaan. Hal ini berarti, panjang grup sesar yang teramati kerap kali lebih

pendek daripada panjang sebenarnya. Namun, grup sesar ini dapat juga bergerak dalam segmen yang berbeda. Panjang grup segmen sesar pendek ini dapat disamakan dengan kontinuitas tanda-tanda geomorfik.

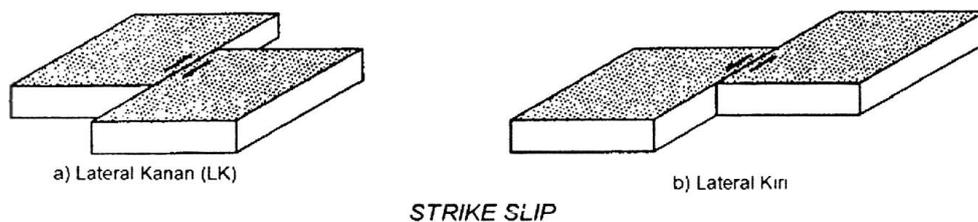
Walaupun kondisi geologi, geomorfologi dan kegempaan setempat suatu daerah penelitian sudah diketahui, namun tidak berarti bahwa semua sesar aktif dapat ditemukan. Oleh karena itu, harus dilakukan evaluasi dengan cara memperhitungkan potensi kegempaan dari sesar yang belum diketahui. Untuk itu, biasanya digunakan gempa-gempa perkiraan atau random yang terjadi dalam zona gempa yang diketahui.

7.3 Tipe Sesar

Sesar dapat diklasifikasikan berdasarkan ragam pergerakan relatif, yang dijelaskan pada gambar dibawah.

7.3.1 Strike Slip Faults

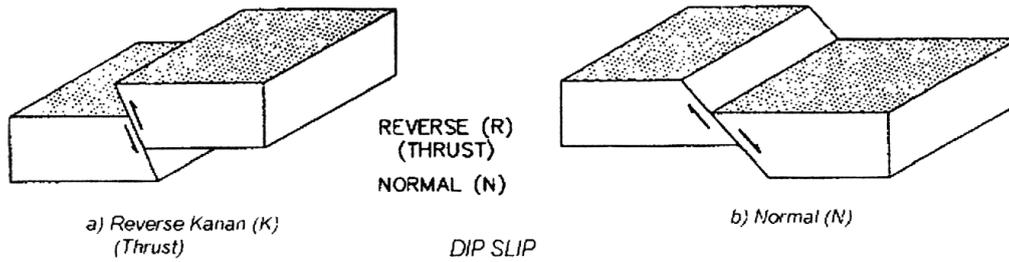
Sesar yang terjadi akibat pergerakan relatif secara lateral disebut *strike slip faults*. Pada dasarnya berbentuk linier atau bidang (*planar*), tidak linier dan berbentuk agak kompleks (contohnya sesar San Andreas), atau bertingkat. Sesar yang bertingkat dapat terjadi bersama-sama pada zona pergeseran yang berpindah dan pada *strike slip faults* yang berdekatan.



Gambar 7.3. Sesar Bertingkat

7.3.2 Dip Slip Faults

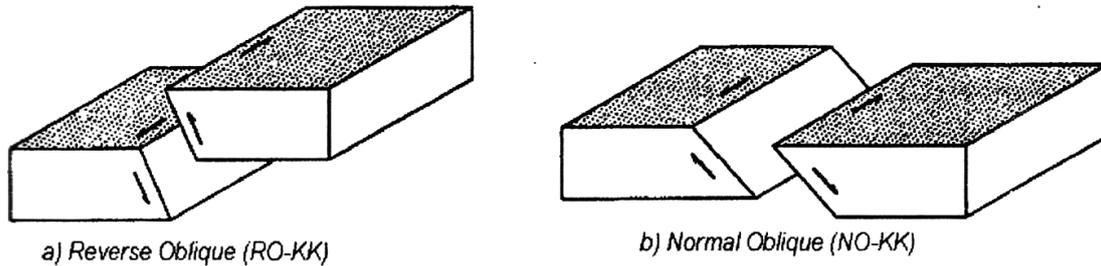
Sesar yang mengalami pergeseran tegak lurus, terjadi akibat peregangan/tarikan (*tensional*) atau tekanan (*compressional*). Normal fault disebut sesar turun, dan reverse fault disebut sesar naik. Dip slip faults menimbulkan patahan ganda di dalam zona sesar agak lebar dan tidak beraturan. Contohnya punggung gunung (*ridges*) dan sags dari reverse fault dalam zona geser (Hart, 1980).



Gambar 7.4. Dip Slip Fault

7.3.3 Oblique Slip Faults

Sesar yang menunjukkan pola kombinasi *strike slip fault* dan *dip slip fault* disebut *oblique slip*.



Gambar 7.5. Oblique Slip

Pada umumnya, sesar tersebut terjadi karena perubahan arah pergeseran atau pergerakan sesar. Contohnya sesar San Andreas di California, yang berarah utara-selatan, melengkung ke timur-barat. Di sekitar lengkung besar, pergerakan lateral longsor bersudut *strike* njang batas lempeng, yang umumnya ditransfer ke sesar naik dan sesar turun, akan menghasilkan pergeseran tegak lurus pada bidang sesar berarah timur-barat.

7.3.4 Magnitudo Gempa

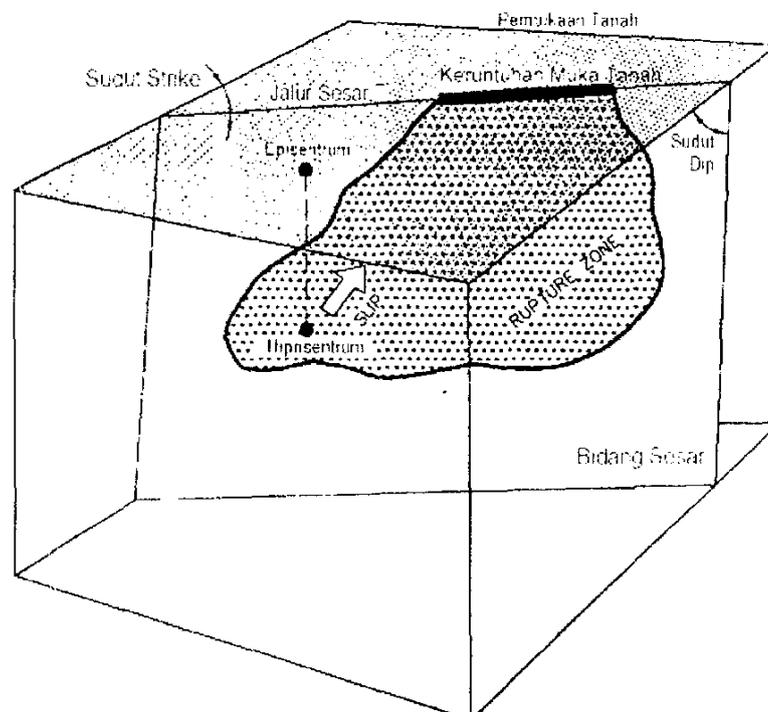
Magnitudo gempa (M) adalah suatu ukuran gempa yang berhubungan dengan pelepasan energi gempa dengan skala bervariasi sesuai dengan karakteristik gempa untuk menghitung tingkat energinya. Karakteristik gempa mencakup intensitas guncangan tanah setempat, gelombang badan, dan gelombang permukaan akibat gempa. Contohnya, di sebelah timur Amerika Serikat, biasanya digunakan magnitudo gelombang badan m_b (untuk perioda pendek). Namun untuk perioda panjang, digunakan magnitudo gelombang badan m_5 . Di California, biasanya digunakan magnitudo lokal M_L (Richter), atau magnitudo gelombang permukaan M_s ; dan di Jepang digunakan *the Japan Meteorological Agency Magnitude* (M_{JMA}). Sedangkan di

Indonesia pada umumnya didasarkan pada gelombang permukaan M_S atau gelombang badan m_b .

Jadi magnitudo atau besaran gempa adalah tingkat besaran gempa yang berhubungan dengan pelepasan energi regangan pada saat terjadi patahan batuan sepanjang garis sesar, yang terdiri atas magnitudo gempa M_L , M_S , M_b atau m , M_W dan M_{JMA} .

7.3.5 Hiposentrum dan Episentrum

Hiposentrum (pusat/focus) gempa adalah titik dari mana gelombang gempa pertama berasal. Secara konseptual, dapat dianggap sebagai titik pada bidang sesar dimana mulai terjadi longsoran karena gempa. Episentrum adalah titik pada permukaan tanah langsung di atas hiposentrum. Gambar di bawah menunjukkan hubungan antara hiposentrum, episentrum, bidang sesar, dan zona keruntuhan dari suatu gempa, dan definisi sudut strike dan dip dari bidang sesar.



Gambar 7.6. Hiposentrum, Episentrum, Bidang Sesar, dan Zona Keruntuhan Dari Suatu Gempa

7.3.6 Zona Pelepasan Energi

Zona pelepasan energi (zona keruntuhan *seismogenic*) adalah daerah pada bidang sesar dengan gelombang gempa sebagai sumber guncangan kuat di permukaan tanah; umumnya merupakan bagian dari zona keruntuhan dalam batuan kristalin. Oleh karena itu, walaupun bidang sesar runtuh pada permukaan tanah, namun zona pelepasan energi tidak meluas sampai ke permukaan tanah.

7.3.7 Jarak Lokasi ke Sumber Gempa

Gambar di bawah menunjukkan definisi tentang berbagai jarak lokasi dan sumber, yang umumnya digunakan untuk memperkirakan guncangan gempa di permukaan tanah. Pada umumnya di Amerika Serikat bagian timur digunakan jarak episentrum (R_E); di Amerika Serikat bagian barat digunakan jarak keruntuhan (R_R), jarak seismogenik (R_S), jarak hiposentrum (R_H), dan jarak Joyner dan Boore (R_J); serta tepi dinding tergantung (*hanging wall*) pada suatu sesar naik (misalnya pada permukaan tanah di atas bidang keruntuhan), $R_J=0$.

7.3.8 Guncangan Puncak di Permukaan Tanah

Intensitas guncangan gempa di permukaan tanah biasanya dinyatakan dengan nilai puncak dari sejarah waktu vs percepatan, yang disebut sebagai **percepatan puncak** di permukaan tanah (*peak ground acceleration, PGA*). Penggunaan kecepatan puncak di permukaan tanah (*peak green velocity, PGV*) dan/atau alihan puncak di permukaan tanah (*peak ground displacement, PGD*) kerap digunakan sebagai parameter potensi tingkat kerusakan akibat gempa. Guncangan puncak di permukaan tanah umumnya ditentukan untuk guncangan arah horisontal, karena cenderung berupa guncangan yang menimbulkan kerusakan terberat. Gambar di bawah menunjukkan sejarah percepatan, kecepatan, dan alihan dengan waktu dari komponen gempa horisontal. Nilai-nilai percepatan puncak horisontal di permukaan tanah (PHGA), kecepatan puncak vertikal di permukaan tanah (PHGV), dan alihan puncak horizontal di permukaan tanah (PHGD) ditunjukkan pada gambar di bawah dengan garis penuh. Kedua komponen horisontal dan vertikal dari PGA, PGV, dan PGD umumnya disebut sebagai parameter guncangan gempa di permukaan tanah.

7.4 Gempa Bumi dan Jenisnya

Berdasarkan sebab dan akibatnya terjadinya gempa bumi, gempa bumi ini dapat dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu :

- a) Gempa bumi vulkanik: yaitu gempa bumi yang disebabkan oleh adanya peletusan gunung api, biasanya gempa bumi ini lemah dan hanya terasa disekitar gunung api itu saja. (Hanya 7% dari jumlah rata-rata gempa bumi yang terjadi).
- b) Gempa Bumi Runtuhan : Gejala ini terdapat di daerah-daerah dimana terdapat runtuh-runtuhan dalam tanah (daerah pertambangan). Terdapat hanya kira-kira 3% dari jumlah rata-rata gempa bumi yang terjadi.

- c) Gempa bumi tektonik

Gempa Bumi Tektonik adalah gempa yang terjadi bila kekuatan geser batuan (batu dan tanah) tidak dapat lagi menahan tegangan yang meningkat secara perlahan-lahan dalam suatu lempeng tektonik (gempa *interplate* atau pada sesar aktif) gempa *interplate*. Gempa bumi tektonik dapat terjadi jikalau terbentuk patahan-patahan yang baru atau jika terjadi pergeseran-pergeseran sepanjang patahan. Tercatat kurang lebih 90% dari jumlah rata-rata yang terjadi.

7.5 Jenis Gempa Bumi Berdasarkan Kedalaman Episentrum

Tabel 7.1. Jenis Gempa Bumi Jarak Episentral

Jenis Gempa bumi	Jarak episentral dalam km
Gempa bumi setempat	10.000
Gempa bumi jauh	± 10.000
gempa bumi sangat jauh	10.000

Berdasarkan jarak episentrum gempa bumi dapat dibagi menjadi seperti pada tabel di bawah ini.

Tabel 7.2. Jenis Gempa Bumi dan Jarak Fokus

Jenis Gempa bumi	Dalamnya focus dalam km
Gempa bumi dangkal	± 50
Gempa bumi intermedier	100 - 300
Gempa bumi dalam	300 - 700

Berdasarkan kerusakan yang terjadi di permukaan atau pengaruhnya terhadap kehidupan manusia berbagai jenis skala besaran gempa bumi telah diajukan oleh para ahli antara lain :

- a) Hubungan antara skala Mercalli-Cancani dan skala Omori dapat dilihat dari tabel dibawah ini.

Tabel 7.3. Skala Mercalli - Cancani dan Skala Omori

Mercalli - Cancani	Omori
II + III	I
IV	II
V	III
VI	IV
VII + VIII	V
IX + X	VI
XI + XII	VII

- b) Skala besaran gempa dari Omori

Tabel 7.4. Skala Kekuatan Gempa Bumi Mutlak Dari Omori

Derajat	Percepatan getaran - getaran gempa bumi
I	0,25 cm / sekon
IV	5 - 10 cm / sekon
V	10 - 25 cm / sekon
VIII	25 - 50 cm / sekon
X	200 - 500 cm / sekon
XII	500 cm / sekon

- c) Skala Besaran Gempa Omori yang dimodifikasi oleh Van Bemmflen untuk Indonesia ditunjukkan seperti pada tabel dibawah.

Tabel 7.5. Skala kekuatan Omori yang dirobah oleh Van Bemmflen untuk Indonesia

Derajat	Keterangan
I	Getaran - getaran lunak, dirasakan oleh banyak orang tetapi tidak oleh semua orang.
II	Getaran - getaran sedang kerasnya, semua orang terbangun disebabkan banjir barang pecah, dan bunyi jendela dan pintu.
III	Getaran - getaran agak kuat, jam dinding berhenti, pintu dan jendela terbuka.
IV	Getaran kuat, gambar dinding jatuh, serta retakan terlihat dinding.
V	Getaran - getaran sangat kuat, dinding - dinding dan atap runtuh.
VI	Rumah - rumah yang kuat runtuh.
VII	Kerusakan - kerusakan umum.

7.6 Jenis Gempa Bumi dan Kedalaman Episentrum yang Terjadi di Dunia

Beberapa kejadian gempa bumi yang telah melanda beberapa kota besar di dunia adalah seperti pada tabel di bawah ini.

Tabel 7.6. Beberapa Jenis Gempa Bumi

Gempa bumi	jenis Gempa bumi	Jarak dalam, km yang masih merasakan gempa tanpa alat - alat
Lisboa (tahun 1755)	tektonik	2500 km
Lembah Mississippi (tahun 1811)	tektonik	1760 km
Mino Owari (tahun 1891)	tektonik	640 km
San Francisco (tahun 1906)	tektonik	200 km
Messina (tahun 1908)	tektonik	200 km
Bandai San (tahun 1888)	vulkanik	50 km
Isehia (tahun 1888)	vulkanik	3 km
Thuringe (tahun 1926)	robohan	60 km

7.7 Latihan

1. Apakah yang dimaksudkan dengan Hyposentrum dan dimana letaknya?
2. Apakah yang dimaksudkan dengan Episentrum dan dimana letaknya?
3. Kapan suatu sesar disebut tidak aktif?

7.8 Rangkuman

Gempa disebabkan oleh pergerakan relatif yang terjadi secara tiba-tiba pada sesar atau zona patahan dalam kerak bumi, yang disebut sesar aktif (yang menimbulkan gempa).

Pada kerak bumi sesar dapat berada baik pada bidang kontak lempeng tektonik maupun dalam lempengnya sendiri. Tidak semua sesar menimbulkan gempa (*seismogenic*), dan sesar yang menyebabkan gempa disebut sesar aktif. Sesar yang belum pasti berpotensi menimbulkan gempa disebut sesar berpotensi aktif. Jika sesar ditemukan di daerah yang diduga sebagai sumber gempa, maka diperlukan analisis yang seksama dan pengertian tentang sesar untuk evaluasi potensi terjadinya gempa.

7.9 Evaluasi

1. Gempa bumi yang disebabkan oleh adanya peletusan gunung api, biasanya gempa bumi ini relatif lemah dan hanya terasa disekitar gunung api disebut sebagai.....
 - a. Gempa Tektonik
 - b. Gempa Mekanik
 - c. Gempa Runtuhan
 - d. Gempa Vulkanik

2. Gempa yang terjadi bila kekuatan geser batuan (batu dan tanah) tidak dapat lagi menahan tegangan yang meningkat secara perlahan-lahan pada lempeng tektonik (gempa interplate atau pada sesar aktif) disebut sebagai.....
 - a. Gempa Tektonik
 - b. Gempa Mekanik
 - c. Gempa Runtuhan
 - d. Gempa Vulkanik

3. Jika terjadi gempa akibat keruntuhan dibawah permukaan tanah seperti banyaknya galian terowongan (daerah pertambangan), dan runtuhnya rongga2 akibat pelarutan yang cukup besar ukurannya di daerah-daerah Karts, maka gempa yang terjadi disebut sebagai.....
 - a. Gempa Tektonik
 - b. Gempa Mekanik
 - c. Gempa Runtuhan
 - d. Gempa Vulkanik

BAB VIII

PENUTUP

8.1 Simpulan

Sebagaimana diketahui bendungan akan bertumpu pada batuan, sehingga faktor batuan sebagai pondasi salah satu bagian terpenting diketahui terutama karena batuan pondasi akan berkaitan erat dengan stabilitas dan keamanan bendungan.

Faktor tersebut diantaranya, proses pembentukan batuan beku, sedimen dan metamorf serta kekuatan relatif antar satu jenis batuan dengan batuan lainnya dan potensi kegunaannya serta kemudahan yang didapat (*workability*). Dalam hal sifat fisik dan mekanik batuan sangat perlu diketahui untuk memahami stabilitas dan daya dukung pondasi.

Faktor selanjutnya proses pembentukan bentang alam (*geomorfologi*) dan proses yang terjadi jika dilakukan penempatan bendungan pada suatu lokasi seperti erosi, sedimentasi dan longsor atau gerakan tanah.

Faktor lainnya adalah Struktur geologi seperti sesar (*fault*), retakan (*crack*), kekar (*joint*), lipatan (*fold*) seperti antiklin dan sinklin. Disamping kondisi dan sifat fisik dan mekanik batuan / tanah, kondisi geologi suatu bendungan akan pula berkaitan erat dengan produk produk tektonik yang dapat menjadikan batuan yang awalnya bersifat keras dan kuat akan dapat menjadi lemah (*rock defect*). Cacat batuan (*rock defect*) merupakan hal yang perlu diketahui dengan baik untuk memahami stabilitas pondasi bendungan. Karena dengan memahami cacat batuan seperti sesar, joint set, dan akibat pelapukan batuan, sehingga saat pelaksanaan konstruksi bendungan dapat dilakukan bagian mana dari seluruh batuan pondasi yang perlu diperbaiki/ditingkatkan daya dukung dan juga tingkat kekedapannya.

Faktor penting lainnya adalah kegempaan, adalah sangat penting untuk mengetahui kondisi kegempaan suatu lokasi rencana bendungan. Suatu daerah rencana lokasi bendungan perlu diketahui kegempaanannya baik dari

literatur sebelumnya maupun analisa yang dilakukan khusus untuk lokasi bendungan yang akan dibangun. Termasuk jenis jenis gempa yang akan berpengaruh pada bangunan bendungan nantinya. Dengan mengetahui besaran gempa dan dan zona zona besaran gempa akan dapat direncanakan desain bendungan yang sesuai besaran gempa setempat.

8.2 Tindak Lanjut

Peserta diharapkan mengikuti materi selanjutnya dan membaca literatur secara keseluruhan yang tertera pada daftar pustaka.

DAFTAR PUSTAKA

- Whitten,D.G.A.and Brooks,J.R.V, 1972, *The Pinguin Dictionanry of Geology*, Pinguin Book Ltd, Harmmonswordsth, Middx.Price.
- Purbo – Hadiwijoyo, 1975, *Peristilahan Geology dan Ilmu yang berhubungan*, Penerbit ITB, Bandung, Indonesia.
- Bharat Singh & HD Sharma, *Earth and Rockfill dams*, Sarita Prakashan, Meerut, India, 1982.
- Bureau of Reclamation, 1977. *Design of Small Dams*. Denver Colorado, 1977.
- Bharat Singh, *Fundamentals of Irrigation Engineering*, N.C.Jain, Roorkee Press, 7th edition, India 1982.
- Calvin V.Davis, *Handbook of Applied Hydraulics*, McGraw-hill Book Company, Inc, New York-Toronto-London-Tokyo, second edition, 1962.
- R.S. Varsney, S.C.Gupta, *Theory &Design of Irrigation Structures*, Vol.II Canal and Storage Works, Nem Chand & Bro

GLOSARIUM

Asteroid	: Benda angkasa yang lebih kecil dibanding planet (planetoid)
Comets	: Benda lebih kecil dari planet umumnya menampakan ekor (koma)
Batu meteorit	: Batuan hasil pecahan benda2 angkasa yang jatuh dipermukaan bumi
Tektonik lempeng	: Kerak bumi
Mid oceanic ridge	: Punggungan tengah samudra
Trench	: Palung (parit)
Transform fault	: Sesar tarik
Astenosfer	: Lapisan massa batuan yang liquid
Lithosfer	: Lapisan batuan kerak bumi
Sima	: Kumpulan bubuk batuan berunsur SI-lika dan MA-gnesium
Sial	: Kumpulan bubuk batuan berunsur SI-lika dan AL-munium
Metamorfosis	: Proses perubahan (dalam akibat Temperatur & Pressure)
Batolith	: Massa terbesar batuan beku didalam kulit bumi berbentuk bukit
Pegunungan lipatan	: Adalah pegunungan yang terbentuk lipatan lapisan batuan,
Konkordan	: Bentuk pembekuan magma sejajar lapisan batuan
Diskordan	: Suatu bentuk pembekuan magma memotong lapisan batuan
Sill	: Magma beku bentuk pipih, tipis
Lakolit	: Magma beku bentuk lensa cekung
Lopolit	: Magma beku bentuk lensa cembung
Intrusi	: Batuan beku hasil terobosan magma

Extrusi	: Batuan hasil pembekuan magma permukaan bumi
Afanitik	: Textur dari batuan beku berbentuk kristal halus
Amorf	: Hasil pembekuan magma bersifat kaca / gelas
Mudrock / mudstone	: Batu lumpur , terbentuk oleh unsur lempung
Invertebrata marin	: Hewan tanpa tulang belakang berasal dari laut
Sell hash	: Kulit / cangkang binatang terkumpul
Compressive normal strength	: Kuat tekan normal
Tensile normal strength	: Kuat tarik normal
Shear strength	: Kuat geser
Un-isotrop	: Tidak sama disemua arah
Slaking	: Sifat batuan mudah berubah bila terexpose / terbuka
Rqd	: Rock quality designation
Velocity index	: Index / nilai kecepatan gelombang seismik
Rockmass quality	: Kualitas massa batuan
Diskontinuitas	: Bidang “ketidakmenerusan”
Koefisien permeabilitas (k) batuan	: Kecepatan air dalam batuan (cm / detik)
Geomorfologi	: Geo= bumi, morfo= bentang alam, logy= ilmu yang mempelajari
Geomorphic agent	: Unsur yang penyebab perubahan bentang alam
Pleistosen	: Salah satu zaman pada skala geologi
Agradation	: Penumpukan material pembentuk permukaan bumi
Degradation	: Pengurangan material pembentuk permukaan bumi
Endapan glacier	: Endapan sedimen hasil aliran salju
Kipas aluvium (<i>aluvial fan</i>)	: Endapan sedimen dikaki bukit menyebar seperti kipas

Czrspace bar	: Jenis bar berbentuk menyudut atau taji terhadap pantai
Kolovium	: Penumpukan bahan rombakan dikaki bukit
Fold	: Lipatan
Stratigrafi, strata	: Jenjang / lapisan.
Angular unconformity	: Ketidakselarasan bersudut,
<i>Disconformity</i>	: Ketidakselarasan sejajar.
Satuan litostratigrafi	: Satuan batuan (<i>rock units</i>) yang terkecil,
<i>Cross bedding</i>	: Struktur silang,
<i>Ripple marks</i>	: Gelembur-gelombang,
Kekar	: Retakan
Plumose	: Berbulu / berserat,
Shear joint	: Kekar geser
Columnar jointing	: Kekar meniang
Sheeting joint	: Kekar berlembar,
Faults	: Sesar,
Gawir sesar	: Tebing / rim bidangsesar
Fault line atau fault trace	: Garis sesar,
Hanging wall	: Blok yang bergeser relatif di atas bidang sesar
Footwall	: Blok yang diam relatif dibawah bidang sesar
Slicken side	: Cermin sesar,
Drag	: Lipatan seret,
Mylonit	: Bubuk / tepung sesar,.
Fault breccias	: Breksi sesar,
Mocro scarps	: Bagian yang berseberangan dengan bidang sesar
Gouge	: Rongga/ retakan terbuka yang mengalami tarikan
Watershed/catchment area	: Daerah tangkapan air hujan

Recharge area	: Daerah lebih tinggi merupakan daerah tangkapan hujan
Discharge area	: Daerah lebih rendah merupakan daerah buangan air
Zone of saturation	: Zona saturasi,
Zone of aeration	: Zona airasi,
Meteoric water	: Air meteorik, berasal dari peresapan air hujan.
Connate water	: Air konat, airtanah air yang terjebak saat sedimentasi.
Juvenile water	: Air tanah pada batuan hasil pembekuan magma,
Efluent river	: Sungai yang airnya disuplai oleh air tanah
Influent river	: Sungai yang mensuplai suplai air tanah
Lapisan aquiclude	: Lapisan sekat,
Lapisan aquifer	: Lapisan pembawa air
Plate tectonic theory	: Teori lempeng tektonik,
Junction of fates	: Posisi kontak antar lempeng tektonik

KUNCI JAWABAN

A. Latihan Materi Pokok 1: Klasifikasi Batuan

1. Sebutkan Proses Geologi yang terjadi sehingga terbentuknya batuan Beku!

Jawaban:

Batuan beku adalah batuan hasil pembekuan dari magma, yaitu masa cair dan pijar yang terdapat di dalam bumi.

2. Bagaimana terjadinya batuan sedimen dan apa ciri yang khas dari batuan ini!

Jawaban:

Batuan sedimen terbentuk karena proses pengendapan (sedimentasi) dari hasil rombakan batuan-batuan yang telah ada. Dapat diendapkan langsung ditempat asal batuan aslinya atau di bawa oleh air, angin, gletser, air laut sebagai larutan, suspensi dan lain-lainnya.

3. Sebutkan 3 (Tiga) Faktor menyebabkan terjadinya batuan Metamorfosa!

Jawaban:

Faktor-faktor yang menyebabkan proses metamorfosa ada 3 (tiga) yaitu

- a. Temperatur (t)
- b. Tekanan (p)
- c. Larutan-larutan kimia yang aktif.

B. Evaluasi Materi Pokok 1: Klasifikasi Batuan

1. D
2. C
3. B

C. Latihan Materi Pokok 2: Geomorfologi

1. Sebutkan secara singkat yang dimaksud Proses Geomorfologi!

Jawaban:

Proses geomorfologi adalah perubahan-perubahan baik secara fisik maupun kimiawi yang dialami permukaan bumi.

2. Sebutkan tiga unsur pada Proses Degradasi!

Jawaban:

Proses Degradasi dapat dikelompokkan menjadi tiga, yaitu pelapukan, erosi dan pengangkutan bahan (transportasi).

3. Apa yang dimaksud dengan Proses Agradasi!

Jawaban:

Agradasi yaitu penumpukan material-material yang terjadi karena gaya angkut berhenti, dengan kata lain terjadi sedimentasi

D. Evaluasi Materi Pokok 2 : Geomorfologi

1. D
2. C
3. D

E. Latihan Materi Pokok 3: Stratigrafi

1. Sebutkan Hukum dasar stratigrafi yang pertama oleh Steno!

Jawaban:

Hukum pertama (Steno) adalah Datar asal, bahwa batuan sedimen berlapis lapis diendapkan secara horizontal.

2. Sebutkan Hukum dasar stratigrafi yang kedua oleh Steno!

Jawaban:

Hukum Kedua (Steno) adalah Kesenambungan lateral yang menyatakan batuan berlapis akan melampar secara menerus di permukaan bumi.

3. Sebutkan Hukum dasar stratigrafi yang ketiga oleh Steno!

Jawaban:

Hukum KeTiga (Steno) adalah Hukum superposisi yang menyatakan bahwa secara kronologis batuan berlapis diendapkan, dimana batuan yang tua akan terletak di bawah batuan yang muda.

F. Evaluasi Materi Pokok 3: Stratigrafi

1. C
2. D
3. B

G. Latihan Materi Pokok 4: Struktur Geologi

1. Apa yang dimaksudkan dengan kekar/ joint!

Jawaban:

Kekar adalah sebutan untuk struktur rekahan dalam batuan dimana tidak ada mengalami pergeseran (displacement).

2. Salah satu struktur geologi yang cukup penting untuk diketahui dalam perencanaan dan pembangunan bendungan adalah Sesar (*fault*). Terangkan yang dimaksud dengan sesar tersebut!

Sesar adalah suatu rekahan/ retakan pada batuan yang telah mengalami pergeseran sehingga terjadinya perpindahan antara bagian-bagian yang berhadapan.

3. Semula batuan sedimen diendapkan secara mendatar sehingga lapisannya juga mendatar. Mengapa pada banyak singkapan di lapangan batuan sedimen mempunyai bidang lapisan dengan kemiringan, Jelaskan secara singkat!

Jawaban:

Batuan sedimen dengan bidang lapisan yang miring dilapangan adalah akibat adanya proses tektonik / tekanan terhadap batuan sedimen yang biasanya bersifat semi plastis sampai plastis, sehingga batuan sedimen yang sebelumnya diendapkan mendatar menjadi terangkat/ terlipat dan membentuk sudut terhadap horizontal

H. Evaluasi Materi Pokok 4: Struktur Geologi

1. A
2. B
3. D

I. Latihan Materi Pokok 5: Air Tanah (*Groundwater*)

1. Jelaskan yang dimaksudkan dengan lapisan batuan sebagai Aquifer!

Jawaban:

Aquifer ialah suatu lapisan, formasi, atau kelompok formasi satuan geologi yang *permeable* baik yang mempunyai suatu besaran konduktivitas hidraulik (K) sehingga dapat membawa air. Disebut juga lapisan pembawa air.

2. Apakah yang dimaksudkan dengan lapisan Aquiclude, Jelaskan!

Jawaban:

Aquiclude adalah suatu lapisan batuan, formasi atau kelompok formasi batuan yang *impermeable* dengan nilai konduktivitas hidraulik (k) yang sangat kecil sehingga tidak memungkinkan air dapat melewatinya.

3. Jelaskan yang dimaksudkan dengan lapisan Aquitard dalam masalah air tanah!

Jawaban:

Aquitard ialah suatu lapisan, formasi, atau kelompok formasi suatu geologi yang semi permeable dengan nilai konduktivitas hidraulik (k) yang relatif kecil.

J. Evaluasi Materi Pokok 5: Air Tanah (*Groundwater*)

1. B
2. A
3. C

K. Latihan Materi Pokok 6: Kegempaan

1. Apakah yang dimaksudkan dengan Hyposentrum dan dimana letaknya?

Jawaban:

Hiposentrum (pusat/ focus) gempa adalah titik dari mana gelombang gempa pertama berasal dibawah permukaan tanah.

2. Apakah yang dimaksudkan dengan Episentrum dan dimana letaknya?

Jawaban:

Episentrum adalah titik pada permukaan tanah langsung di atas hiposentrum atau proyeksi titik Hyposentrum diatas permukaan tanah.

3. Kapan suatu sesar disebut tidak aktif?

Jawaban:

Menurut Standar Kementrian PUPR, Sesar dianggap tidak aktif apabila sesar tidak bergerak dalam waktu holosen sampai resen (lebih kurang 11 ribu tahun yang lalu). Sedangkan menurut USBR jika sesasr tidak bergerak dfalam masa 30 ribu tahun.

L. Evaluasi Materi Pokok 6: Kegempaan

1. D
2. A
3. C