



**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
DIREKTORAT JENDERAL GURU DAN TENAGA KEPENDIDIKAN
2016**

MODUL GURU PEMBELAJAR

Paket Keahlian Geologi Pertambangan

**Pedagogik : Pembelajaran Berbasis TIK
Profesional : Penanganan Bahan Peledak dan
Preparasi Bahan Galian**

**KELOMPOK
KOMPETENSI**





MODUL GURU PEMBELAJAR

Paket Keahlian Geologi Pertambangan

Penyusun :

Adree Octova, S.Si., MT
UNP Padang
aadree.octova@gmail.com
085263018281

Reviewer :

Drs. Murad M.S., MT
UNP Padang
murad.83ys@gmail.com
08126768194

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
PUSAT PENGEMBANGAN DAN PEMBERDAYAAN
PENDIDIK DAN TENAGA KEPENDIDIKAN
BIDANG BANGUNAN DAN LISTRIK
MEDAN
2016**



KATA PENGANTAR

Profesi guru dan tenaga kependidikan harus dihargai dan dikembangkan sebagai profesi yang bermartabat sebagaimana diamanatkan Undang-undang Nomor 14 Tahun 2005 tentang Guru dan Dosen. Hal ini dikarenakan guru dan tenaga kependidikan merupakan tenaga profesional yang mempunyai fungsi, peran, dan kedudukan yang sangat penting dalam mencapai visi pendidikan 2025 yaitu “Menciptakan Insan Indonesia Cerdas dan Kompetitif”. Untuk itu guru dan tenaga kependidikan yang profesional wajib melakukan Guru Pembelajar.

Modul diklat GP Geologi Pertambangan Bagi Guru dan Tenaga Kependidikan Grade 5 ini merupakan bahan ajar yang dirancang untuk dapat dipelajari secara mandiri oleh peserta diklat yang berisi materi, metode, batasan-batasan, dan cara mengevaluasi yang disajikan secara sistematis dan menarik untuk mencapai tingkatan kompetensi yang diharapkan sesuai dengan tingkat kompleksitasnya. Modul ini disajikan untuk memberikan informasi tentang Geologi Pertambangan sebagai salah satu bentuk materi dalam kegiatan Guru Pembelajar bagi guru dan tenaga kependidikan.

Pada kesempatan ini, disampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan kepada berbagai pihak yang telah memberikan kontribusi secara maksimal dalam mewujudkan modul ini, mudah-mudahan modul ini dapat menjadi acuan dan sumber informasi bagi peserta diklat, pelaksanaan diklat, dan semua pihak yang terlibat dalam penyusunan modul diklat GP.

Jakarta, Maret 2016
Direktur Jenderal Guru dan
Tenaga Kependidikan,

Sumarna Surapranata, Ph.D.
NIP 19590801 198503 1002

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL.....	x
PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Tujuan.....	2
C. Peta Kompetensi.....	3
D. Ruang Lingkup.....	3
E. Saran Cara Penggunaan Modul.....	4
KEGIATAN PEMBELAJARAN PEDAGOGIK.....	5
A. Tujuan Pembelajaran.....	5
B. Indikator Pencapaian Kompetensi.....	5
C. Uraian Materi	
1. Pendahuluan.....	5
2. Teknologi Informasi dan Pembelajaran.....	6
D. Aktivitas Pembelajaran.....	7
E. Latihan.....	8
F. Rangkuman.....	8
G. Umpan Balik.....	9
H. Kunci Jawaban.....	9
I. Penutup.....	9
J. Evaluasi.....	10
K. Daftar Pustaka.....	10
KEGIATAN PEMBELAJARAN 1.....	11
A. Tujuan Pembelajaran.....	11
B. Indikator Pencapaian Kompetensi.....	11
C. Uraian Materi.....	11
1. Pengertian Bentang Alam Eolian.....	11

2. Proses-proses oleh Angin.....	19
3. Macam-macam Bentang Alam Eolian	20
D. Aktivitas Pembelajaran.....	24
E. Latihan	25
F. Rangkuman.....	26
G. Umpan Balik dan Tindak Lanjut	27
H. Kunci Jawaban	27
I. Penutup	30
J. Evaluasi	30
K. Daftar Pustaka	31
KEGIATAN PEMBELAJARAN 2	32
A. Tujuan Pembelajaran	32
B. Indikator Pencapaian Kompetensi	32
C. Uraian Materi	32
1. Pengertian Karst	32
2. Klasifikasi Karst	37
3. Spesifikasi Karst	43
4. Proses Pembentukan Karst	46
5. Gua Karst	48
6. Sungai Karst	51
7. Hidrologi Karst	52
D. Aktivitas Pembelajaran	60
E. Latihan	61
F. Rangkuman	62
G. Umpan Balik dan Tindak Lanjut	63
H. Kunci Jawaban	64
I. Penutup	69
J. Evaluasi	69
K. Daftar Pustaka	70
KEGIATAN PEMBELAJARAN 3	72
A. Tujuan Pembelajaran	72
B. Indikator Pencapaian Kompetensi	72

C. Uraian Materi	72
1. Defenisi Erosi	72
2. Proses Terjadinya Erosi	74
3. Jenis-jenis Erosi	77
4. Dampak Erosi	81
5. Pencegahan Erosi	84
6. Pembuatan Teras Lereng	85
D. Aktivitas Pembelajaran	86
E. Latihan	86
F. Rangkuman	87
G. Umpan Balik dan Tindak Lanjut	88
H. Kunci Jawaban	89
I. Penutup	91
J. Evaluasi	91
K. Daftar Pustaka	92
KEGIATAN PEMBELAJARAN 4	93
A. Tujuan Pembelajaran	93
B. Indikator Pencapaian Kompetensi.....	93
C. Uraian Materi	93
1. Defenisi Peledakan.....	93
2. Sifat Fisik Bahan Peledak.....	94
3. Karakteristik Detonasi Bahan Peledak	100
4. Klasifikasi Bahan Peledak	103
5. Jenis dan Tipe Bahan Peledak	105
D. Aktivitas Pembelajaran	119
E. Umpan Balik dan Tindak Lanjut.....	119
F. Latihan	120
G. Rangkuman.....	121
H. Kunci Jawaban	124
I. Penutup	124
J. Evaluasi	124
K. Daftar Pustaka	125

KEGIATAN PEMBELAJARAN 5	126
A. Tujuan Pembelajaran	126
B. Indikator Pencapaian Kompetensi	126
C. Uraian Materi	126
1. Izin Gudang Bahan Peledak	127
2. Proses Izin Bahan Gudang Bahan Peledak	131
3. Syarat Kelengkapan Keselamatan Gudang Bahan Peledak	132
4. Pengamanan Gudang Bahan Peledak	139
5. Jenis-jenis Gudang Bahan Peledak	140
D. Aktivitas Pembelajaran	142
E. Latihan	143
F. Rangkuman	143
G. Umpan Balik dan Tindak Lanjut	144
H. Kunci Jawaban	145
I. Penutup	146
J. Evaluasi	147
K. Daftar Pustaka	147
 KEGIATAN PEMBELAJARAN 6	 148
A. Tujuan Pembelajaran	148
B. Indikator Pencapaian Kompetensi	148
C. Uraian Materi	148
1. Bahan Galian	150
2. Identifikasi Bahan Galian	153
3. Klasifikasi Bahan Galian	160
4. Teknik Pengambilan Sampel	164
5. Sifat-sifat Bahan Galian	170
D. Aktivitas Pembelajaran	176
E. Latihan	177
F. Rangkuman	177
G. Umpan Balik dan Tindak Lanjut	178
H. Kunci Jawaban	179
I. Penutup	179

J. Evaluasi	180
K. Daftar Pustaka	180
EVALUASI	181
JAWABAN EVALUASI	185
PENUTUP	185
DAFTAR PUSTAKA	186
GLOSARIUM	190

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 <i>Barchan Dune</i>	13
Gambar 1.2 <i>Transverse Dune</i>	14
Gambar 1.3 Gunung Pasir Parabolik	15
Gambar 1.4 <i>Linier Dune</i>	15
Gambar 1.5 <i>Star Dune</i>	16
Gambar 1.6 Gurun Gobi Di Cina.....	17
Gambar 1.7 Gumuk Pasir di Parangritis.....	18
Gambar 1.8 Mekanisme Transportasi oleh Angin	19
Gambar 1.9 <i>Desert Varnish</i>	21
Gambar 1.10 Hasil Batuan yang Mengalami Polish	22
Gambar 1.11 <i>Mushroom Rock</i>	23
Gambar 1.12 Tipe-tipe Endapan Angin.....	24
Gambar 2.1 Bentang Alam Karst	34
Gambar 2.2 <i>Pepino Hills</i>	34
Gambar 2.3 Polje.....	35
Gambar 2.4 Ovala di Perbukitan	35
Gambar 2.5 Topografi Karst	35
Gambar 2.6 Topografi Karst	35
Gambar 2.7 Gua di Perbukitan Karst	35
Gambar 2.8 Stalagtit dan Stalagmit	35
Gambar 2.9 Stalagmit.....	35
Gambar 2.10 Sinkhole	35
Gambar 2.11 Kenampakan Karst Labirint	36
Gambar 2.12 Kenampakan kegelkarst Gunungsewu dari foto udara dan lapangan.....	42
Gambar 2.13 Kenampakan karst tower.....	43
Gambar 2.14 Karst.....	44
Gambar 2.15 Fase Pertama	46
Gambar 2.15 Fase Kedua.....	47
Gambar 2.16 Fase Ketiga.....	47
Gambar 2.17 Fase Keempat.....	48

Gambar 2.18 Gua karst	48
Gambar 2.19 Siklus Hidrologi	53
Gambar 2.20 Drainase bawah permukaan di daerah karst	54
Gambar 2.21 Hidrolik Head	57
Gambar 2.22 Kondisi geologis yang berpengaruh terhadap muka air tanah .	59
Gambar 3.1 Grand Canyon	73
Gambar 3.2 Contoh Erosi	74
Gambar 3.3 Pinggir Jalan yang terkena erosi akibat gaya berat	78
Gambar 3.4 Puncak Dinding Canyon Di Sun Lakes Satate Park Washington Yang Memperlihatkan Lonsor Batuan	78
Gambar 3.5 Bukit Pasir di Namibia, Afrika	79
Gambar 3.6 Gletcher di Switzerland	80
Gambar 3.7 Tanah Pertanian Yang Rusak Karena Erosi	83
Gambar 3.8 Areal Tanah Yang Subur.....	84
Gambar 3.9 Tembok Batu untuk mencegah erosi.....	84
Gambar 3.10 Teras Tanah Berfungsi Untuk Memperkuat Daya Tahan Terhadap Erosi	85
Gambar 3.11 Batu – batu kasar yang ditempatkan di pinggir pantai untuk mengurangi erosi air laut	85
Gambar 4.1 Pengujian sensitifitas bahan peledak dengan cara air gap	97
Gambar 4.2 Penurunan kecepatan detonasi ANFO akibat kandungan air ...	101
Gambar 4.3 Proses terbentuknya detonasi	102
Gambar 4.4 Gerakan batuan akibat tekanan gas hasil peledakan	103
Gambar 4.5 Klasifikasi bahan peledak menurut J.J. Manon	104
Gambar 4.6 Butiran ammonium nitrat berukuran sebenarnya 2 – 3 mm	107
Gambar 4.7 Kenampakan campuran butiran AN dan FO	108
Gambar 4.8 Hubungan % FO dan %RWS bahan peledak ANFO	109
Gambar 4.9 Atas: Bentuk struktur emulsi Bawah: Pola urutan produksi emulsi.....	112
Gambar 4.10 Bahan peledak emulsi berbentuk cartridge buatan DynoNobel	113
Gambar 4.11 Prinsip campuran emulsi dan ANFO untuk membuat heavy ANFO.....	114
Gambar 4.12 Karakteristik tipe heavy ANFO dengan variasi emulsi dan ANFO	115

Gambar 4.13 Bahan peledak permissible berbasis emulsi.....	117
Gambar 5.1 Diagram alir penerbitan izin gudang bahan peledak	127
Gambar 5.2 Gudang bahan peledak	129
Gambar 5.3 rak detonator	130
Gambar 5.4 Palet dengan tinggi minimal 30 cm	131
Gambar 5.5 Termometer	132
Gambar 5.6 Tanda dilarang merokok dan dilarang masuk bagi yang tidak berkepentingan	132
Gambar 5.7 APAR	133
Gambar 5.8 Lampu penerangan	133
Gambar 5.9 Pos jaga	133
Gambar 5.10 Pagar dengan pintu yang dapat terkunci	134
Gambar 5.11 Lokasi gudang handak	134
Gambar 5.12 Pintu masuk gudang	135
Gambar 5.13 Hydrant	135
Gambar 5.14 Atap dan bahan tidak mudah terbakar	136
Gambar 5.15 Dinding yang pejal	136
Gambar 6.1 Penampang kerak bumi	151
Gambar 6.2 Siklus dan pembentukan batuan	152

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Rubrik Umpan Balik Isi Modul	8
Tabel 2. Rubrik Umpan Balik Isi Modul.....	27
Tabel 3. Rubrik Umpan Balik Isi Modul	63
Tabel 4. Rubrik Umpan Balik Isi Modul	88
Tabel 4.1. Densitas pengisian untuk berbagai diameter lubang ledak dan densitas bahan peledak dalam gr/cc.....	96
Tabel 4.2 Klasifikasi Bahan Peledak menurut Anon (1977)	104
Tabel 4.3 Jumlah kebutuhan FO untuk memperoleh ANFO.....	110
Tabel 4.4 Karakteristik ANFO dari beberapa produsen.....	110
Tabel 4.5 Jenis bahan peledak berbasis emulsi.....	113
Tabel 5. Rubrik Umpan Balik Isi Modul	119
Tabel 5.1 Rubrik Umpan Balik Isi Modul	144
Tabel 6.1 Bentuk-bentuk Kristal Isometrik	171
Tabel 6.2 Bentuk Kristal Non – Isometrik	172
Tabel 6.3. Skala mohs	174
Tabel 6.4 Rubrik Umpan Balik Isi Modul	178

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pendidik adalah tenaga kependidikan yang berkualifikasi sebagai guru, dosen, konselor, pamong belajar, widyaiswara, tutor, instruktur, fasilitator, dan sebutan lain yang sesuai dengan kekhususannya, serta berpartisipasi dalam menyelenggarakan pendidikan. Guru dan tenaga kependidikan wajib melaksanakan kegiatan pengembangan keprofesian secara berkelanjutan agar dapat melaksanakan tugas profesionalnya. Program Guru Pembelajar (GP) adalah pengembangan kompetensi Guru dan Tenaga Kependidikan yang dilaksanakan sesuai kebutuhan, bertahap, dan berkelanjutan untuk meningkatkan profesionalitasnya.

Guru Pembelajar sebagai salah satu strategi pembinaan guru dan tenaga kependidikan diharapkan dapat menjamin guru dan tenaga kependidikan mampu secara terus menerus memelihara, meningkatkan, dan mengembangkan kompetensi sesuai dengan standar yang telah ditetapkan. Pelaksanaan kegiatan GP akan mengurangi kesenjangan antara kompetensi yang dimiliki guru dan tenaga kependidikan dengan tuntutan profesional yang dipersyaratkan.

Guru dan tenaga kependidikan wajib melaksanakan GP baik secara mandiri maupun kelompok. Khusus untuk GP dalam bentuk diklat dilakukan oleh lembaga pelatihan sesuai dengan jenis kegiatan dan kebutuhan guru. Penyelenggaraan diklat GP dilaksanakan oleh PPPPTK dan LPPPTK KPTK atau penyedia layanan diklat lainnya. Pelaksanaan diklat tersebut memerlukan modul sebagai salah satu sumber belajar bagi peserta diklat. Modul merupakan bahan ajar yang dirancang untuk dapat dipelajari secara mandiri oleh peserta diklat berisi materi, metode, batasan-batasan, dan cara mengevaluasi yang disajikan secara sistematis dan menarik untuk mencapai tingkatan kompetensi yang diharapkan sesuai dengan tingkat kompleksitasnya.

Modul diklat GP Geologi Pertambangan Bagi Guru dan Tenaga Kependidikan Grade 5 ini terdiri atas kegiatan pembelajaran pedagogik dan 6 (enam) kegiatan pembelajaran yang sesuai dengan pelajaran yang diampu guru. Kegiatan pembelajaran pedagogik meliputi materi mengenai macam-macam teknologi informasi dan komunikasi.

Pada kegiatan pembelajaran 1, dibahas mengenai Bentang Alam Hasil Aktivitas Angin (*Landforms Eolian Processes*). Pada kegiatan pembelajaran 2, dibahas mengenai Spesifikasi Bentang Alam Karst. Kegiatan Pembelajaran 3 meliputi materi Rumusan Proses Erosi Partikel Batuan di Permukaan Bumi.

Kegiatan pembelajaran 4 memaparkan tentang Rumusan Sifat Fisik dan Karakter Detonasi Bahan Peledak dalam Kegiatan Peledakan. Pada kegiatan pembelajaran 5, diuraikan Cara Merumuskan Ketentuan Umum, Persyaratan Fisik, dan Jenis-Jenis Gudang Bahan Peledak. Sementara itu, kegiatan pembelajaran 6 terdiri atas materi mengenai Cara Mendeskripsikan Berdasarkan Sifat Fisik Dan Sifat Kimia Mineral Bahan Galian.

B. Tujuan

Tujuan disusunnya modul diklat GP ini adalah untuk meningkatkan kompetensi pedagogik dan profesional guru geologi pertambangan. Setelah mempelajari Modul GP UKG Geologi Pertambangan, diharapkan guru/peserta diklat memiliki kemampuan dalam mengetahui hubungan gaya endogen dengan bentang alam, menguraikan siklus batuan, menerapkan konsep peledakan untuk pertambangan, serta merancang deskripsi dan preparasi bahan galian.

C. Peta Kompetensi

NO.	KOMPE- TENS I UTAMA	STANDAR KOMPETENSI GURU		
		KOMPE- TENS I INTI	KOMPETENSI GURU MATA PELAJARAN/KELAS/ KEAHLIAN/BK	Indikator Esensial/ Indikator Pencapaian Kompetensi (IPK)
1	PEDAGOGIK	5. Memanfaatkan teknologi informasi dan komunikasi dalam pembelajaran yang diampu	5.1 Memanfaatkan teknologi informasi dan komunikasi dalam pembelajaran yang diampu	5.1.1 Macam-macam teknologi informasi dan komunikasi untuk kepentingan pembelajaran dijelaskan sesuai dengan kegunaannya
2	PROFESIONAL	20. Menguasai materi, struktur, konsep, dan pola pikir keilmuan yang mendukung mata pelajaran yang diampu.	20.5 Menjelaskan hubungan gaya eksogen dengan bentang alam	20.5.3 Mengontrol bentang alam hasil aktivitas angin (<i>Landforms Eolian Processes</i>)
				20.5.4 Menspesifikasi bentang alam Karst
			20.8 Menguraikan siklus batuan	20.8.3 Merumuskan proses erosi partikel batuan di permukaan bumi
			20.21 Menerapkan konsep peledakan untuk pertambangan	20.21.3 Merumuskan sifat fisik dan karakter detonasi bahan peledak dalam kegiatan peledakan
			20.22 Menerapkan penanganan bahan peledak dan peledakan serta pola peledakan pada pelaksanaan pekerjaan peledakan	20.29.1 Merumuskan cara mendeskripsikan berdasarkan sifat fisik dan sifat kimia mineral bahan galian
	20.29 Merancang deskripsi dan preparasi bahan galian	20.33.2 Merencanakan beberapa konstruksi model endapan bahan galian		

D. Ruang Lingkup

Modul ini berisi macam-macam teknologi informasi dan komunikasi, bentang alam hasil aktivitas angin, bentang alam Karst, proses erosi partikel batuan di permukaan bumi, sifat fisik dan karakteristik denotasi bahan peledak, ketentuan umum, persyaratan fisik, dan jenis-jenis gudang bahan peledak, serta deskripsi sifat fisik dan sifat kimia mineral bahan galian

E. Saran Cara Penggunaan Modul

Agar modul ini dapat dipergunakan secara efektif dan tepat sasaran, maka pengguna modul diharapkan:

1. membaca *outline* modul terlebih dahulu;
2. mengetahui peta kompetensi;
3. memahami kompetensi utama, kompetensi inti, kompetensi guru mata pelajaran atau kelas;
4. memahami indikator esensial atau indikator pencapaian kompetensi (IPK);
5. memahami tujuan pembelajaran setiap kegiatan pembelajaran;
6. memahami seluruh isi kegiatan pembelajaran dengan menjawab soal latihan yang disediakan, kemudian mencocokkan dengan kunci jawaban yang disediakan;
7. melakukan pengayaan dengan membaca buku–buku sumber, artikel, karya ilmiah dan hasil penelitian sebelumnya.

KEGIATAN PEMBELAJARAN PEDAGOGIK

Macam-macam Teknologi Informasi dan Komunikasi

A. Tujuan Pembelajaran

Modul ini disusun berdasarkan kompetensi pedagogik dan potensi profesional. Kedua kompetensi tersebut dirangkum ke dalam kompetensi inti, kompetensi guru, dan indikator pencapaian kompetensi. Oleh karena itu, tujuan penulisan kegiatan pedagogik ini adalah sebagai berikut.

1. Memberikan pengetahuan tentang penggunaan teknologi informasi dan komunikasi dalam proses pembelajaran.
2. Memberikan pengetahuan kepada guru tentang macam-macam teknologi informasi dan komunikasi.
3. Memberikan pengetahuan kepada guru tentang pemanfaatan teknologi informasi dan komunikasi dalam pembelajaran.
4. Memberikan pengetahuan tentang proses penyusunan perangkat pembelajaran dengan menggunakan teknologi informasi dan komunikasi.

B. Indikator Pencapaian Kompetensi

1. Guru dapat mengetahui tentang penggunaan teknologi informasi dan komunikasi dalam proses pembelajaran.
2. Guru dapat mengetahui tentang macam-macam teknologi informasi dan komunikasi.
3. Guru dapat memanfaatkan teknologi informasi dan komunikasi dalam pembelajaran.
4. Guru dapat menyusun perangkat pembelajaran dengan menggunakan teknologi informasi dan komunikasi.

C. Uraian Materi

1. Pendahuluan

Kemajuan teknologi informasi, khususnya pada era globalisasi, telah menjadikan pengaksesan dan penyebaran informasi tidak lagi terkait dengan ruang dan waktu. Dalam skala detik saja sebuah informasi dapat

diakses atau disebar luaskan ke seluruh pelosok dunia melalui jaringan internet.

Di bidang pendidikan, selain untuk membantu tugas-tugas administrasi, internet juga dapat dipakai sebagai sarana pembelajaran. Melalui internet setiap orang dapat mengakses informasi yang terkait dengan pendidikan, seperti jurnal, hasil penelitian, penemuan baru, dan lainnya.

2. Teknologi Informasi Dalam Pembelajaran

Internet yang merupakan singkatan dari "*Interconnected Network*", adalah jaringan komputer independen terbesar di dunia. Menurut Adri (2007), pemanfaatan jaringan internet sebagai sumber dan sarana pembelajaran, dapat diimplemetasikan sebagai poin-poin berikut: *browsing, resourcing, searching, consulting dan communicating.*

a. Browsing

Browsing adalah seni pencarian informasi seperti membaca berita, bermain game, menulis blog, mengirim e-mail, dan lain sebagainya. Beberapa browser yang dapat dipakai dalam mengakses informasi adalah Internet Explorer, Mozilla, Opera, Safari, Netspace, dan Google Chrome.

b. Resourcing

Resourcing adalah kegiatan menjadikan internet sebagai sumber informasi. Sesuai dengan perannya, bahwa internet adalah gudangnya informasi, maka internet dimanfaatkan untuk mendapatkan informasi dan data yang berkaitan dengan materi ajar.

c. Searching

Searching adalah proses pencarian data dari sekumpulan data yang sudah ada atau yang sudah tersedia di internet. Hasil dari suatu pencarian dapat bernilai salah (tidak ketemu atau tidak sukses) atau benar.

d. *Consulting and Communicating*

Consulting and communicating merupakan fasilitas yang dapat digunakan pendidik dan peserta didik saling berkomunikasi lewat internet. Dapat berupa e-mail, facebook, friendster, dan lain-lain.

Di samping apa yang telah dikemukakan di atas, teknologi informasi atau komputer juga dapat dipergunakan untuk keperluan lainnya dalam proses pembelajaran, seperti pembuatan *powerpoint*, video, dan gambar-gambar animasi.

D. Aktivitas Pembelajaran

Aktivitas pembelajaran yang ada pada kegiatan pedagogik ini, di antaranya adalah sebagai berikut.

1. Mengamati

Mengamati macam-macam teknologi informasi dan komunikasi.

2. Menanya

Mengkondisikan situasi belajar untuk membiasakan mengajukan pertanyaan secara aktif dan mandiri tentang teknologi informasi dan komunikasi.

3. Mengumpulkan data

Mengumpulkan data yang dipertanyakan dan menentukan sumber (melalui benda konkret, dokumen, buku, eksperimen) untuk menjawab pertanyaan yang diajukan tentang manfaat dan macam-macam teknologi informasi dan komunikasi.

4. Mengasosiasi/Mengolah Informasi

Mengkategorikan data dan menentukan hubungannya, selanjutnya disimpulkan dengan urutan dari yang paling sederhana sampai pada yang lebih kompleks tentang proses penggunaan teknologi informasi dan komunikasi.

5. Mengkomunikasikan

Menyampaikan hasil konseptualisasi tentang teknologi informasi dan komunikasi.

E. Latihan

1. Beberapa alat-alat dan sistem yang mendukung perkembangan Teknologi Informasi dan Komunikasi (TIK), kecuali
 - a. Telepon
 - b. Radio
 - c. Internet
 - d. Buku
2. Berikut ini, sektor-sektor yang menggunakan TIK untuk pengembangan kualitas sektor-sektor itu sendiri, kecuali
 - a. Pendidikan
 - b. Transportasi
 - c. Pasar Tradisional
 - d. Ekonomi
3. Hakikat Pendidikan di Amerika adalah
 - a. memiliki asumsi bahwa siswa memiliki kemampuan mengaktifkan semua indera
 - b. menjalankan program belajar jarak jauh
 - c. mengakses data dan informasi secara langsung dan mandiri
 - d. menjalankan proyek yang disebut OLPC (One Laptop Per Child)
4. Manakah media pembelajaran yang dapat mengembangkan TIK dalam proses pembelajaran di bawah ini.
 - a. Papan Tulis
 - b. LCD
 - c. Wall Chart
 - d. OHP

F. Rangkuman

1. Di bidang pendidikan, selain untuk membantu tugas-tugas administrasi, internet juga dapat dipakai sebagai sarana pembelajaran. Melalui internet setiap orang dapat mengakses informasi yang terkait dengan pendidikan, seperti jurnal, hasil penelitian, penemuan baru, dan lainnya.
2. Internet yang merupakan singkatan dari "Interconnected Network", adalah jaringan komputer independen terbesar di dunia.
3. Pemanfaatan jaringan internet sebagai sumber dan sarana pembelajaran, dapat diimplementasikan sebagai point-point berikut:
Browsing, Resourcing, Searching, Consulting dan Communicating.

G. Umpan Balik dan Tindak Lanjut

Untuk mendapatkan umpan balik setelah mempelajari modul kegiatan pedagogik ini, guru-guru diminta untuk mengisi rubrik umpan balik ini dan memberikan masukan yang konstruktif yang disediakan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Rubrik Umpan Balik Isi Modul

No.	Pokok Bahasan	Pertanyaan Umpan Balik	Jawaban Guru dan Tindak Lanjut
1	Macam-macam teknologi informasi dan komunikasi	Apakah Anda mampu menyebutkan macam-macam teknologi informasi dan komunikasi?	
2	Manfaat teknologi informasi dan komunikasi	Apakah Anda paham tentang manfaat teknologi informasi dan komunikasi?	
3	Proses penggunaan teknologi informasi dan komunikasi	Apakah Anda paham tentang penggunaan teknologi informasi dan komunikasi?	

H. Kunci Jawaban

1. d
2. c
3. a
4. b

I. Penutup

1. Modul pasca UKG (Ujian Kompetensi Guru) yang membahas tentang topik kegiatan kognitif ini diharapkan dapat berguna bagi Anda dalam mengembangkan kompetensi dan meningkatkan kemampuan Anda pada level berikutnya.
2. Anda dapat mengembangkan materi-materi berkaitan dengan kompetensi pedagogik yang tidak ada dalam modul ini. Modul ini masih butuh pengembangan sesuai dengan perkembangan ilmu pengetahuan dari hari ke hari.

3. Modul ini juga diharapkan akan membantu Anda dalam belajar secara mandiri dan mengukur kemampuan diri sendiri sehingga nantinya anda dapat meningkatkan kemampuan ke level berikutnya.

J. Evaluasi

Pada bagian evaluasi ini, ada 3 jenis latihan yang akan diberikan untuk mengukur kemampuan Anda, yaitu sebagai berikut.

1. Kognitif Skill

- a. Jelaskan secara tepat dan singkat tentang macam-macam teknologi informasi dan komunikasi dalam pembelajaran!
- b. Jelaskan secara tepat dan singkat manfaat teknologi informasi dan komunikasi dalam pembelajaran!

2. Psikomotor Skill

Jelaskan tentang aplikasi teknologi informasi dan komunikasi dalam menyusun media pembelajaran, sesuai dengan penjelasan yang sudah dibahas pada materi sebelumnya.

3. Attitude Skill

Sebagai sebuah tim dalam melakukan proses pembelajaran yang membahas tentang teknologi informasi dan komunikasi, bagaimana cara Anda menanamkan rasa ketakwaan kepada Tuhan yang Maha Esa, rasa tanggung jawab, kebersamaan, dan kedisiplinan

K. Daftar Pustaka

Adri, M. (2007). *Pemanfaatan Internet Sebagai Sumber Pembelajaran*.

Diakses tanggal 10 Desember dari mirror.unej.ac.id/iso/.../adri-modul0-gurugoblog.pdf.

KEGIATAN PEMBELAJARAN 1

Bentang Alam Hasil Aktivitas Angin (*Landforms Eolian Processes*)

A. Tujuan Pembelajaran

Dengan diberikan modul tentang bentang alam hasil aktivitas angin (*landforms eolian processes*), guru dapat mengetahui dan memahami proses-proses dan macam-macam bentang alam eolian.

B. Indikator Pencapaian Kompetensi

1. Guru dapat mengetahui dan memahami tentang bentang alam eolian.
2. Guru dapat mengetahui dan memahami proses-proses bentang alam hasil aktivitas angin.
3. Guru dapat mengetahui dan memahami macam-macam bentang alam eolian

C. Uraian Materi

1. Pengertian Bentang Alam Eolian

Menurut Bloom (1978), Proses Aeolian adalah proses yang disebabkan oleh aktivitas angin khususnya kemampuan angin dalam merubah bentuk permukaan bumi. Angin dapat mengikis/mengerosi, men-*transport*, dan mengendapkan material-material, terutama sangat efektif di daerah yang vegetasinya jarang dan sebagai pemasok material sedimen yang tak terkonsolidasi. Walaupun air lebih dominan dibandingkan angin, namun proses aeolian sangat penting terutama pada lingkungan arid seperti di wilayah gurun.

Wilayah-wilayah yang curah hujan (presipitasi) tahunannya kecil umumnya jarang tumbuh-tumbuhan sehingga tanah dan batuan yang terdapat di wilayah tersebut tersingkap dan hal ini menyebabkan tanah dan batuan yang ada dapat tererosi oleh angin dan terkena sinar matahari secara langsung. Angin sebagai agent akan mengerosi partikel-partikel yang berukuran lempung, lanau dan pasir pada batuan dan tanah membentuk bentangalam yang unik hasil pengendapan partikel-partikel

tersebut. Setiap wilayah di bagian bumi memiliki sejarah iklim yang kompleks dan seringkali aktivitas fluvial dan kekeringan (ariditas) terjadi secara bersamaan. Konsekuensinya adalah bentangalam yang terbentuk oleh aktivitas angin dapat menutupi bentangalam yang dibentuk oleh aktivitas fluvial. Banyak bentangalam gurun masih dikontrol oleh banjir bandang yang terjadi secara sporadis oleh hujan di daerah sekitar wilayah perbukitan.

Aktivitas angin adalah aktivitas di mana partikel-partikel lepas yang berukuran lempung, lanau dan pasir mudah sekali berpindah oleh tiupan angin, sehingga daerah-daerah yang tidak bervegetasi, arid (kering) dan kaya sedimen akan dipengaruhi oleh aktivitas angin dan angin akan menjadi faktor yang sangat penting sebagai media/agen pada proses erosi dan sedimentasi. Angin yang sangat kuat dapat meng-erosi dan mengangkut sedimen lebih banyak, partikel pasir halus dapat berpindah hingga ratusan kilometer sedangkan partikel lempung dan lanau dapat dibawa hingga ribuan kilometer.

Bentuk-bentuk bentang alam yang dikontrol oleh aktivitas angin yaitu sebagai berikut: *sand dunes*, *pediment*, dan *inselbergs*.

- a. Morfologi *Sand dunes* adalah bentang alam yang berbentuk bukit-bukit pasir berpola parabolic atau ellipsoid dan merupakan hasil pengendapan partikel-partikel pasir yang diangkut oleh angin.

Sand dune cenderung terbentuk dengan penampang tidak simetri. Jika tidak ada stabilisasi oleh vegetasi gumuk pasir cenderung bergeser ke arah angin berhembus, hal ini karena butir-butir pasir terhembus dari depan ke belakang gumuk. Gerakan gumuk pasir pada umumnya kurang dari 30 meter.

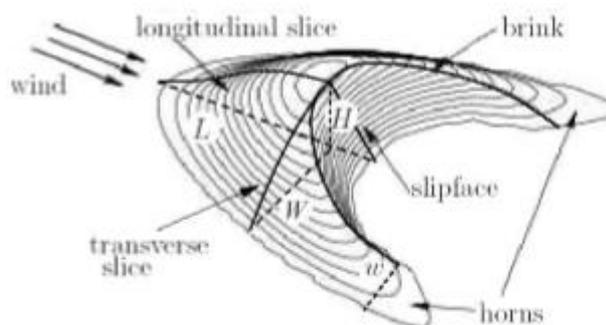
Secara global gumuk pasir atau sand dune merupakan bentuk lahan bentukan asal proses angin (aeolian). Bentuk lahan bentukan asal proses ini dapat berkembang dengan baik apabila terpenuhi persyaratan sebagai berikut.

- 1) Tersedia material berukuran pasir halus hingga kasar dalam jumlah yang banyak.
- 2) Adanya periode kering yang panjang dan tegas.
- 3) Adanya angin yang mampu mengangkut dan mengendapkan bahan pasir tersebut.
- 4) Gerakan angin tidak banyak terhalang oleh vegetasi maupun obyek lain.

Hace (dalam Thornbury, 1964) Bentuk gumpuk pasir bermacam-macam tergantung pada faktor-faktor jumlah dan ukuran butir pasir, kekuatan dan arah angin, dan keadaan vegetasi. Bentuk gumpuk pasir pokok yang perlu dikenal adalah bentuk melintang (*transverse*), sabit (*barchan*), parabola (*parabolic*), dan memanjang (*longitudinal dune*).

1) Gumpuk Pasir Tipe Barchan (*Barchanoid Dunes*)

Gumpuk pasir ini bentuknya menyerupai bulan sabit dan terbentuk pada daerah yang tidak memiliki barrier. Besarnya kemiringan lereng daerah yang menghadap angin lebih landai dibandingkan dengan kemiringan lereng daerah yang membelakangi angin, sehingga apabila dibuat penampang melintang tidak simetri. Ketinggian gumpuk pasir barchan umumnya antara 5 – 15 meter. Gumpuk pasir ini merupakan perkembangan, karena proses eolin tersebut terhalangi oleh adanya beberapa tumbuhan, sehingga terbentuk gumpuk pasir seperti ini dan daerah yang menghadap angin lebih landai dibandingkan dengan kemiringan lereng daerah yang membelakangi angin.



Gambar 1.1 *Barchan dune* (Horvat, B.)

2) Gumuk Pasir Melintang (*Transverse Dune*)

Gumuk pasir ini terbentuk di daerah yang tidak berpenghalang dan banyak cadangan pasirnya. Bentuk gumuk pasir melintang menyerupai ombak dan tegak lurus terhadap arah angin. Awalnya, gumuk pasir ini mungkin hanya beberapa saja, kemudian karena proses eolin yang terus menerus maka terbentuklah bagian yang lain dan menjadi sebuah koloni. Gumuk pasir ini akan berkembang menjadi bulan sabit apabila pasokan pasirnya berkurang.



Gambar 1.2 *transverse dune* (Thornbury, 1964)

3) Gumuk Pasir Parabolik

Gumuk pasir ini hampir sama dengan gumuk pasir barchan akan tetapi yang membedakan adalah arah angin. Gumuk pasir parabolik arahnya berhadapan dengan datangnya angin. Awalnya, mungkin gumuk pasir ini berbentuk sebuah bukit dan melintang, tetapi karena pasokan pasirnya berkurang maka gumuk pasir ini terus tergerus oleh angin sehingga membentuk sabit dengan bagian yang menghadap ke arah angin curam.



Gambar 1.3 Gumuk Pasir Parabolik (Thornbury, 1964)

4) Gumuk Pasir Memanjang (*Linear Dune*)

Gumuk pasir memanjang adalah gumuk pasir yang berbentuk lurus dan sejajar satu sama lain. Arah dari gumuk pasir tersebut searah dengan gerakan angin. Gumuk pasir ini berkembang karena berubahnya arah angin dan terdapatnya celah diantara bentukan gumuk pasir awal, sehingga celah yang ada terus menerus mengalami erosi sehingga menjadi lebih lebar dan memanjang.

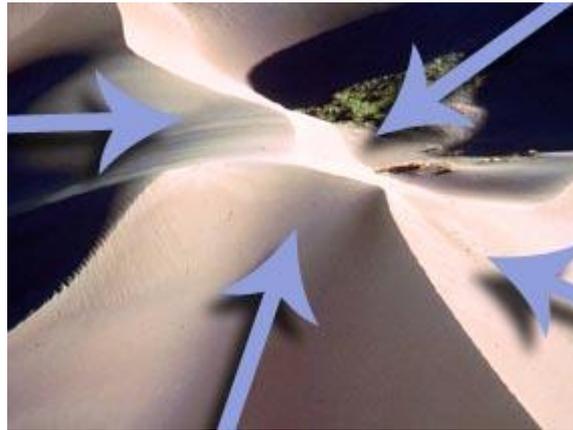


Gambar 1.4 *linier dune* (Thornbury, 1964)

5) Gumuk Pasir Bintang (*Star Dune*)

Gumuk pasir bintang adalah gumuk pasir yang dibentuk sebagai hasil kerja angin dengan berbagai arah yang bertumbukan.

Bentukan awalnya merupakan sebuah bukit dan dikelilinginya berbentuk dataran, sehingga proses eolin pertama kali akan terfokuskan pada bukit ini dengan tenaga angin yang datang dari berbagai sudut sehingga akan terbentuk bentuklahan baru seperti bintang. Bentuk seperti ini akan hilang setelah terbentuknya bentukan baru disekitarnya.



Gambar 1.5 *star dune*(Thornbury, 1964)

6) Tipe *Impedeed Dunes*

a) *Blowout*

Bentuk: terdapat penutup lahan (misal : vegetasi) di sekitar cekungan. Terbentuk karena deflasi lokal.

b) *Echo Dunes*

Bagian tepi yang memanjang, terpisah dari topografi penghalang. Proses pembentukan: akumulasi pada zona perputaran aliran angin karena zona penghalang.

- b. Morfologi endapan *Loess* adalah bentang alam yang berbentuk dataran dan merupakan hasil pengendapan material yang berbutir halus oleh angin.
- c. Morfologi *Scree* adalah bentang alam hasil pengikisan angin yang diendapkan di kaki lereng.
- d. Morfologi *Arroyos* adalah bentang alam yang terbentuk sebagai akibat dari aliran air hujan yang membawa partikel-pasir yang mengisi

bagian *gullies* dan *valley* dan umumnya terdapat di daerah yang beriklim arid.

- e. Morfologi Pediment adalah bentang alam berbentuk dataran landai merupakan endapan yang terletak dikaki-kaki bukit merupakan hasil erosi perbukitan disekitarnya.
- f. Morfologi Inselberg adalah bentang alam berbentuk perbukitan memanjang dan merupakan sisa hasil erosi angin.

Hace (dalam Thornbury, 1964) menyatakan bentang alam eolian merupakan bentang alam yang dibentuk karena aktivitas angin. Bentang alam ini banyak dijumpai pada daerah gurun pasir. Gurun pasir sendiri lebih diakibatkan adanya pengaruh iklim. Gurun pasir diartikan sebagai daerah yang mempunyai curah hujan rata-rata kurang dari 26 cm/tahun.

Gurun pasir tropik terletak pada daerah antara 35^o LU sampai 35^o LS, yaitu pada daerah yang mempunyai tekanan udara tinggi dengan udara sangat panas dan kering. Gurun pasir lintang rendah terdapat di tengah-tengah benua yang terletak jauh dari laut atau terlindung oleh gunung-gunung dari tiupan angin laut yang lembab sehingga udara yang melewati gunung dan sampai pada daerah tersebut adalah udara yang kering. pada (Gambar 1.6) adalah salah satu contoh morfologi aeolian. Gurun ini merupakan salah satu gurun pasir yang terkenal di dunia



Gambar 1.6 Gurun Gobi di China (Microsoft Encarta, 2007)

Selain angin sebagai media utamanya, masih ada 2 faktor yang lainnya yaitu: pasokan pasir (*sand supply*) yang kontinyu dan jarangny vegetasi di lokasi yang bersangkutan.

Keadaan di Indonesia yang berupa kepulauan berpeluang terbentuknya morfogenesis eolian. Peluang tersebut paling besar akan dijumpai di pantai-pantai dari pulau yang berhadapan dengan samudra lepas. Pantai yang dimaksud adalah pantai barat Sumatra, selatan Jawa, selatan Kepulauan Nusa Tenggara (Bali-NTT), utara Sulawesi, dan selatan Irian. Salah satu lokasi morfogenesis eolian yang terbagus di Indonesia adalah di Pantai Parangtritis (Gambar 1.7).



Gambar 1.7 Gumuk pasir di daerah sekitar pantai parangtritis yogyakarta merupakan salah satu bentukan aeolian yang terdapat di indonesia. Selain menjadi objek penelitian geomorfologi daerah ini juga kerap dijadikan objek wisata (Budianto,2011)

Morfogenesis Aeolian Pantai Parangtritis merupakan suatu kompleks morfologi yang sekuensial. Sebagai embrio dari morfologi tersebut adalah pembentukan pematang gisik (*beach ridge*) di bagian paling selatan, berada di zona garis pantai. Selanjutnya ketika pengaruh air laut secara langsung sudah kurang dominan, di sebelah utaranya berurutan terbentuk morfologi gumuk pasir (*sand dune*) jenis *longitudinal* (memanjang), *barchan* (bulan sabit) dan *transversal* (melintang). Sekuen

gumuk pasir seperti itu akan berakhir di muara Sungai Opak yang terletak 4 km di sebelah barat Pantai Parangtritis.

2. Proses-Proses oleh Angin

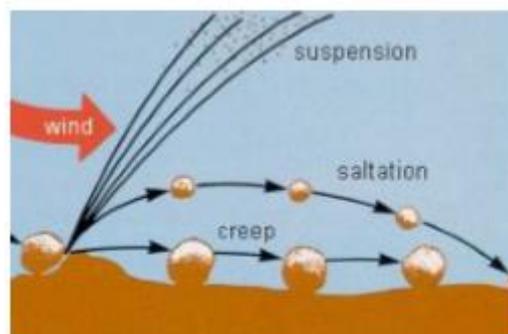
Angin meskipun bukan sebagai agen geomorfik yang sangat penting (topografi yang dibentuk oleh angin tidak banyak dijumpai), namun tetap tidak dapat diabaikan. Proses-proses yang disebabkan oleh angin meliputi erosi, transportasi, dan deposisi.

a. Erosi oleh Angin

Erosi oleh angin dibedakan menjadi dua macam, yaitu deflasi dan abrasi/korasi. Deflasi adalah proses lepasnya tanah dan partikel-partikel kecil dari batuan yang diangkut dan dibawa oleh angin. Abrasi merupakan proses penerusan batuan dan permukaan lain oleh partikel-partikel yang terbawa oleh aliran angin.

b. Transportasi oleh Angin

Cara transportasi oleh angin pada dasarnya sama dengan transportasi oleh air yaitu secara melayang (*suspension*) dan menggeser di permukaan (*traction*). Secara umum, partikel halus (debu) dibawa secara melayang dan yang berukuran pasir dibawa secara menggeser di permukaan (*traction*). Pengangkutan secara *traction* ini meliputi meloncat (*saltation*) dan menggelinding (*rolling*).



Gambar 1.8 Mekanisme transportasi materi oleh angin (Horvat, B.)

c. Pengendapan oleh Angin

Jika kekuatan angin yang membawa material berkurang atau jika turun hujan, maka material-material (pasir dan debu) tersebut akan diendapkan.

3. Macam – Macam Bentang Alam Eolian

Dilihat dari proses pembentukannya, bentang alam eolian dapat dikelompokkan menjadi 2, yaitu bentang alam akibat proses erosi oleh angin dan bentang alam akibat proses pengendapan oleh angin.

a. Bentang Alam Eolian Akibat Proses Erosi

Proses erosi oleh angin dibedakan menjadi 2, yaitu deflasi dan abrasi. Bentang alam yang disebabkan oleh proses erosi ini juga dibedakan menjadi 2 yaitu bentang alam hasil proses deflasi dan bentang alam hasil proses abrasi.

1) Bentang Alam Hasil Proses Deflasi

Bentang alam hasil proses deflasi dibedakan menjadi 3 macam:

a) Cekungan Deflasi (*Deflation Basin*).

Cekungan deflasi merupakan cekungan yang diakibatkan oleh angin pada daerah yang lunak dan tidak terkonsolidasi atau material-material yang tersemen jelek. Cekungan tersebut akibat material yang ada dipindahkan oleh angin ke tempat lain. Contoh cekungan ini terdapat di Gurun Gobi (Gambar 1.6) yang terbentuk karena batuan telah diurai oleh adanya pelapukan. Cekungan ini mempunyai ukuran antara 300 m sampai lebih dari 45 km panjangnya dan dari 15m sampai 150 m dalamnya.

b) *Lag Gravel*

Deflasi terhadap debu dan pasir yang ditinggalkan merupakan material yang kasar (*gravel*, bongkah dan fragmen yang besar), disebut lagstone. Akumulasi seperti itu dalam waktu yang lama bisa menjadi banyak dan menjadi lag gravel atau bahkan sebagai desert pavement, dimana

sisa-sisa fragmennya berhubungan satu sama lain saling berdekatan.



Gambar 1.9 *Desert varnish* (Noor, 2009)

c) *Desert Varnish*

Beberapa lagstone yang tipis, megkilat, berwarna hitam atau coklat dan permukaannya tertutup oleh oksida besi dikenal desert varnish.

2) Bentang Alam Hasil Proses Abrasi

Bentang alam hasil proses abrasi atau korasi antara lain sebagai berikut:

- a) *Ventifact* Beberapa sisa batuan berukuran bongkah–berangkal yang dihasilkan oleh abrasi angin yang mengandung pasir akan membentuk einkanter (*single edge*) atau dreikanter (*three edge*). Einkanter terbentuk dari perpotongan antara pebble yang mempunyai kedudukan tetap dengan arah angin yang tetap/konstan. Dreikanter terbentuk dari perpotongan antara *pebble* yang posisinya *overturned* akibat pengrusakan pada bagian bawah dengan arah angin yang tetap atau dapat juga disebabkan oleh arah angin yang berganti-ganti terhadap pebble yang

mempunyai kedudukan tetap, sehingga membentuk bidang permukaan yang banyak.

b) *Polish*

Polish ini terbentuk pada batuan yang mempunyai ukuran butir halus, digosok oleh angin yang mengandung pasir (*sand blast*) atau yang mengandung silt (*silt blast*) yang mempunyai kekuatan lemah, sehingga hasilnya akan lebih mengkilat, misalnya pada kwarsit akibat erosi secara abrasi akan lebih mengkilat.



Gambar 1.10 hasil batuan yang mengalami *polish* (Noor, 2009)

c) *Grooves*

Angin yang mengandung pasir dapat juga menggosok dan menyapu permukaan batuan membentuk suatu alur yang dikenal sebagai *grooves*. Pada daerah kering, alur yang demikian itu sangat jelas. Alur-alur tersebut memperlihatkan kenampakan yang sejajar dengan sisi sangat jelas

d) *Sculpturing* (Penghiasan)

Batu jamur (*mushroom rock*) yaitu batu yang tererosi oleh angin yang mengandung pasir sehingga bentuknya menyerupai jamur (*mushroom*).



Gambar 1.11 Mushroom rock (Noor, 2009)

e) Yardang

Pada batuan yang halus, abrasi oleh angin secara efektif memotong sepanjang alur rekahan membentuk bentukan sisa yang berdiri memanjang yang disebut yardang. Kehadiran rekahan-rekahan mempunyai pengaruh penting pada orientasi beberapa yardang. Material yang halus tertransport sedangkan lapisan yang resisten membentuk perlapisan dengan material lain yang kurang kompak.

b. Bentang Alam Hasil Pengendapan Angin

Jika kekuatan angin yang membawa material berkurang atau jika turun hujan, maka material-material yang terbawa oleh angin akan diendapkan. Bentang alam hasil proses pengendapan oleh angin ini dibedakan menjadi 2 yaitu sebagai berikut :

1) *Dune*

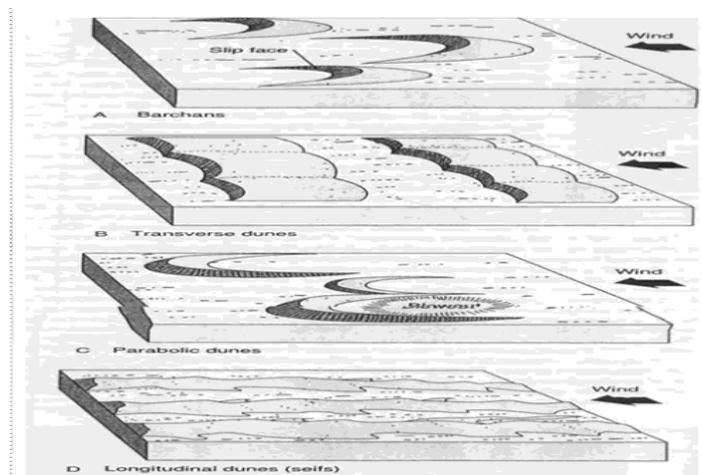
Dune adalah suatu timbunan pasir yang dapat berpindah, bentuknya tidak dipengaruhi oleh bentuk permukaan dan rintangan. Berdasarkan ukurannya, proses hasil pengendapan material pasir, yaitu sebagai berikut.

- a) *Ripples* berukuran 5 cm—2 m dan tinggi 0,1—5 cm
- b) *Dunes* lebar 3—600 m dan tinggi 0,1—15 m
- c) *Megadunes* lebar 300—3 km dan tinggi 20—400 m

2) Loess

Daerah yang luas tertutup material-material halus dan lepas disebut Loess. Beberapa endapan loess yang dijumpai di Cina barat mempunyai ketebalan sampai beberapa ratus meter. Di tempat lain kebanyakan endapan loess tersebut hanya mencapai beberapa meter saja. Beberapa endapan *loess* menutupi daerah yang sangat subur.

Penyelidikan secara mikroskopis memperlihatkan bahwa *loess* berkomposisi partikel-partikel angular dengan diameter kurang dari 0,5 mm terdiri dari kuarsa, feldspar, hornblende dan mika. Kebanyakan butiran-butiran tersebut dalam keadaan segar atau baru terkena pelapukan sedikit. Kenampakan itu menunjukkan bahwa loess tersebut merupakan hasil endapan dari debu dan lanau yang diangkut dan diendapkan oleh angin.



Gambar 1.12 Tipe-tipe endapan angin (Noor, 2009)

D. Aktivitas Pembelajaran

Aktivitas pembelajaran yang ada pada kegiatan pembelajaran 1 ini, di antaranya adalah sebagai berikut.

1. Mengamati

Mengamati proses-proses dan macam-macam bentang alam eolian.

2. Menanya

Mengkondisikan situasi belajar untuk membiasakan mengajukan pertanyaan secara aktif dan mandiri tentang bentang alam hasil aktivitas angin.

3. Mengumpulkan data

Mengumpulkan data yang dipertanyakan dan menentukan sumber (melalui benda konkret, dokumen, buku, eksperimen) untuk menjawab pertanyaan yang diajukan tentang proses-proses dan macam-macam bentang alam eolian.

4. Mengasosiasi/Mengolah Informasi

Mengkategorikan data dan menentukan hubungannya, selanjutnya disimpulkan dengan urutan dari yang paling sederhana sampai pada yang lebih kompleks tentang proses-proses dan macam-macam bentang alam eolian

5. Mengkomunikasikan

Menyampaikan hasil konseptualisasi tentang proses-proses dan macam-macam bentang alam eolian

E. Latihan

Jawablah pertanyaan berikut!

1. Jelaskan maksud dari morfologi sand dunes!
2. Jelaskanlah maksud dari proses deflasi!
3. Sebutkan dan jelaskan jenis korasi berdasarkan kerjanya!
4. Sebutkan dan jelaskan jenis-jenis gerakan pengangkutan materi oleh angin!
6. Jelaskan maksud dari cekungan deflasi!
7. Jelaskan proses terbentuknya einkanter dan dreikanter!
8. Jelaskan proses terbentuknya polish!
9. Jelaskan yang dimaksud dengan loses!
10. Jelaskan apa itu batu jamur!
11. Jelaskan cara transportasi angin!

F. Rangkuman

1. Aktivitas angin adalah aktivitas dimana partikel-partikel lepas yang berukuran lempung, lanau dan pasir mudah sekali berpindah oleh tiupan angin, sehingga daerah-daerah yang tidak bervegetasi, arid (kering) dan kaya sedimen akan dipengaruhi oleh aktivitas angin dan angin akan menjadi faktor yang sangat penting sebagai media/agent pada proses erosi dan sedimentasi
2. Bentang alam eolian merupakan bentang alam yang dibentuk karena aktivitas angin. Bentang alam ini banyak dijumpai pada daerah gurun pasir
3. Bentuk-bentuk bentang alam yang dikontrol oleh aktivitas angin yaitu: *Sand Dunes*, *Arroyos*, *Pediment*, dan *Inselbergs*.
4. Selain angin sebagai media utama masih ada 2 faktor yang lain yang menyebabkan bentang alam eolian yaitu: pasokan pasir (*sand supply*) yang kontinyu dan jarangny vegetasi di lokasi yang bersangkutan.
5. Dari proses pembentukannya, bentang alam eolian dapat dikelompokkan menjadi 2, yaitu bentang alam akibat proses erosi oleh angin dan bentang alam akibat proses pengendapan oleh angin.
6. Bentuk lahan asal proses aeolin merupakan bentukan lahan oleh proses eksogenik dengan angin sebagai agen pembentuk utamanya, yakni dengan membentuk endapan oleh adanya pengikisan, pengangkutan, dan pengendapan bahan-bahan tidak kompak oleh angin. Sebagai fenomena yang langka Gumuk pasir memiliki fungsi ekologis yang sangat penting. Ada 3 tempat dengan cadangan air yang melimpah yaitu, daerah di antara 2 gunung api muda, Daerah berbatuan gamping dan daerah pesisir pantai. Daerah berpasir seperti ini memiliki kemampuan meloloskan air yang tinggi sehingga memberikan cadangan air bagi masyarakat pesisir pantai selatan. Selain itu keberadaan sand dunes (gumuk pasir) dapat meredam hantaman gelombang tsunami, satu kerentanan bencana di pesisir selatan jawa. Sehingga dengan keberadaan gumuk pasir resiko bencana tsunami dapat berkurang.

G. Umpan Balik dan Tindak Lanjut

Untuk mendapatkan umpan balik setelah mempelajari modul kegiatan pembelajaran ini, guru-guru diminta untuk mengisi rubrik umpan balik ini dan memberikan masukan yang konstruktif yang disediakan pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Rubrik Umpan Balik Isi Modul

No.	Pokok Bahasan	Pertanyaan Umpan Balik	Jawaban Guru dan Tindak Lanjut
1	Pengertian bentang alam eolian	Apakah Anda mampu menyebutkan pengertian bentang alam eolian?	
2	Proses-proses oleh angin	Apakah Anda paham tentang proses-proses bentang alam hasil aktivitas angin?	
3	Macam-macam bentang alam eolian	Apakah Anda paham tentang macam-macam bentang alam eolian?	

H. Kunci Jawaban

1. Morfologi *Sand Dunes* adalah bentang alam yang berbentuk bukit-bukit pasir berpola parabolic atau elipsoid dan merupakan hasil pengendapan partikel-partikel pasir yang diangkut oleh angin.
2. Proses deflasi merupakan gerakan tiupan angin yang membawa materi batuan, baik berupa debu halus, pasir, maupun materi yang kasar dan berat.
3. Berdasarkan kerjanya korasi dapat dibedakan menjadi 3, yaitu sebagai berikut.
 - a. *Polishing dan pitting*
Gerakan angin yang membawa/disertai pasir disebut dengan polishing. Gerakan angin yang membawa pasir mempunyai kemampuan untuk melubangi batuan, kemampuan untuk melubangi batuan ini disebut dengan *pitting*.
 - b. *Grooving dan shaping*

Batuan yang telah berlubang sebagai akibat kekuatan pitting akan terus mengalami proses pembentukan lubang sehingga makin lama makin besar dan dalam. Proses melubangi secara terus-menerus sehingga menjadi lubang yang besar dan dalam disebut dengan *grooving*.

Batuan yang berlubang-lubang besar tersebut kemudian berubah menjadi pecah-pecah dan berkeping-keping. Proses terjadinya pecahan dan keping-keping ini disebut *shaping*.

c. *Faceting*

Batuan yang telah berkeping-keping berubah menjadi lebih kecil lagi. Proses perubahan batuan menjadi bagian lebih kecil disebut dengan *faceting*.

4. Jenis-jenis gerakan pengangkutan materi oleh angin adalah sebagai berikut.

a. Suspensi (*Suspension*)

Merupakan gerakan vertikal tiupan angin yang mampu mengangkut materi-materi halus ke tempat yang lebih jauh. Gerakan ini tidak besar peranannya dalam mengangkut pasir karena kemampuan mengangkut ke atas sangat terbatas. Pada saat angin mengangkut debu kadang-kadang disertai dengan gerakan turbulen. Kecepatan angin tidak selalu tetap tetapi selalu mengalami variasi periode yang pendek sehingga menyebabkan adanya tekanan angin. Tekanan angin ini menyebabkan udara berputar ke segala arah, putaran udara ke segala arah inilah yang dapat menyebabkan terjadinya gerakan suspensi.

b. Saltasi (*Saltation*)

Yaitu gerakan meloncat materi butiran yang disebabkan oleh tabrakan dan pantulan angin yang bermuatan pasir. Gerakan saltasi secara langsung disebabkan tekanan angin terhadap butiran pasir, pasir yang ditiup angin pada umumnya mempunyai gerakan saltasi.

c. Rayapan Permukaan (*Surface Creep*)

Gerakan rayapan permukaan disebabkan oleh karena tubrukan materi butiran oleh gerakan saltasi. Terjadinya tubrukan materi butiran ini secara teratur, tetapi kadang-kadang juga tersebar menjadi pecahan-pecahan di atas tempat jatuhnya pasir. Oleh karena

benturan ini gerakan materi butiran menjadi lambat yang selanjutnya menjadi rayapan permukaan. Kadang-kadang angin yang mengangkut debu atau pasir bergerak berputar seperti spiral, gerakan seperti ini disebut dengan badai debu.

5. Cekungan deflasi merupakan cekungan yang diakibatkan oleh angin pada daerah yang lunak dan tidak terkonsolidasi atau material-material yang tersemen jelek.
6. Einkanter terbentuk dari perpotongan antara pebble yang mempunyai kedudukan tetap dengan arah angin yang tetap/konstan. Dreikanter terbentuk dari perpotongan antara pebble yang posisinya overturned akibat pengrusakan pada bagian bawah dengan arah angin yang tetap atau dapat juga disebabkan oleh arah angin yang berganti-ganti terhadap pebble yang mempunyai kedudukan tetap, sehingga membentuk bidang permukaan yang banyak.
7. Polish
Polish ini terbentuk pada batuan yang mempunyai ukuran butir halus, digosok oleh angin yang mengandung pasir (*sand blast*) atau yang mengandung silt (*silt blast*) yang mempunyai kekuatan lemah, sehingga hasilnya akan lebih mengkilat, misalnya pada kwarsit akibat erosi secara abrasi akan lebih mengkilat.
8. Loess adalah bentuklahan asal proses eoline yang terbentuk dari bahan endapan angin yang berukuran debu oleh erosi angin yang berasal dari daerah gurun dan pada umumnya tidak berlapis.
9. Batu jamur (*mushroom rock*) yaitu batu yang tererosi oleh angin yang mengandung pasir sehingga bentuknya menyerupai jamur (*mushroom*).
10. Cara transportasi oleh angin pada dasarnya sama dengan transportasi oleh air yaitu secara melayang (*suspension*) dan menggeser di permukaan (*traction*).

I. Penutup

1. Modul pasca UKG (Ujian Kompetensi Guru) yang membahas tentang bentang alam hasil aktivitas angin (*landforms eolian proses*) ini diharapkan dapat berguna bagi anda dalam mengembangkan kompetensi dan meningkatkan kemampuan anda pada level berikutnya.
2. Anda dapat mengembangkan materi-materi berkaitan bentang alam hasil aktivitas angin (*landforms eolian proses*) yang tidak ada dalam modul ini. Modul ini masih butuh pengembangan sesuai dengan perkembangan ilmu pengetahuan dari hari ke hari.
3. Modul ini juga diharapkan akan membantu anda dalam belajar secara mandiri dan mengukur kemampuan diri sendiri sehingga nantinya anda dapat meningkatkan kemampuan ke level berikutnya.

J. Evaluasi

Pada bagian evaluasi ini, ada 3 jenis latihan yang akan diberikan untuk mengukur kemampuan Anda, yaitu sebagai berikut.

1. Kognitif Skill

- a. Jelaskan secara tepat dan singkat tentang proses-prose bentang alam hasil aktivias angin!
- b. Jelaskan secara tepat dan singkat macam-macam bentang alam eolian!

2. Psikomotor Skill

Jelaskan tentang aplikasi bentang alam eolian hasil aktivitas angin yang terjadi di Indonesia , sesuai dengan penjelasan yang sudah dibahas pada materi sebelumnya.

3. Attitude Skill

Sebagai sebuah tim dalam melakukan proses pembelajaran yang membahas tentang bentang alam eolian, bagaimana cara Anda menanamkan rasa ketakwaan kepada Tuhan yang Maha Esa, rasa tanggung jawab, kebersamaan, dan kedisiplinan.

K. Daftar Pustaka

- Bloom, Arthur. 1978. *Geomorphology A systematic Analysis of late Cenozoic Landforms*. Prentice: Hall.
- Budyanto, Gunawan. 2011. *Teknologi Konservasi Lanskap Gumuk Pasir Pantai Parangritis Bantul DIY*. Jurnal Lanskap Indonesia Vol. 3 No. 2 Tahun 2011
- Haryono, Eko & Curren, James C. 2002. *Kentucky Is A Karst Country*. University of Kentucky Lancaster.
- Horvat, Barbara. _."Barchan Dunes". (*Makalah Seminar*). Fakultas Za Matematiko in fiziko Univerza v Ljulbjani.
- Nicholas. 2009. *Aeolian Features and Processes*. The Geological Society of America. Nevada
- Noor, Djauhari. 2009. *Proses – Proses Geologi dan Perubahan Bentangalam*. Bogor: Program Studi Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Pakuan.
- Noor, Djauhari. 2012. *Pengantar Geologi*. Bogor: Program Studi Teknik Geologi Fakultas Teknik Universtas Pakuan.
- Sutama. Lithosfer. Modul Geo.X.04.
- Thornbury, W.D. 1964. *Principle Of Geomorphology*. John Wiley and Sons Inc.: New York.

KEGIATAN PEMBELAJARAN 2

Bentang Alam Karst

A. Tujuan Pembelajaran

Dengan diberikan modul tentang bentang alam karst, guru dapat mengetahui dan memahami tentang proses pembentukan bentang alam karst.

B. Indikator Pencapaian Kompetensi

1. Guru dapat mengetahui dan memahami tentang bentang alam karst.
2. Guru dapat mengetahui dan memahami klasifikasi karst
3. Guru dapat mengetahui dan memahami spesifikasi bentang alam karst
4. Guru dapat mengetahui dan memahami proses pembentukan topografi karst
5. Guru dapat mengetahui dan memahami gua karst, sungai karst, serta hidrologi karst

C. Uraian Materi

1. Pengertian Karst

Karst adalah sebuah bentukan di permukaan bumi yang pada umumnya dicirikan dengan adanya depresi tertutup (*closed depression*), drainase permukaan, dan gua. Daerah ini dibentuk terutama oleh pelarutan batuan, kebanyakan batu gamping.

Karst merupakan istilah dalam bahasa Jerman yang diturunkan dari bahasa Slovenia (*kras*) yang berarti lahan gersang berbatu. Istilah ini di negara asalnya sebenarnya tidak berkaitan dengan batugamping dan proses pelarutan, namun saat ini istilah *kras* telah diadopsi untuk istilah bentuklahan hasil proses pelarutan. Ford dan Williams (1989) mendefinisikan karst sebagai medan dengan kondisi hidrologi yang khas sebagai akibat dari batuan yang mudah larut dan mempunyai porositas sekunder yang berkembang baik

Karst dicirikan sebagai berikut.

- a. terdapatnya cekungan tertutup dan atau lembah kering dalam berbagai ukuran dan bentuk,
- b. langkanya atau tidak terdapatnya drainase/ sungai permukaan, dan
- c. terdapatnya goa dari sistem drainase bawah tanah.

Karst tidak hanya terjadi di daerah berbatuan karbonat, tetapi terjadi juga di batuan lain yang mudah larut dan mempunyai porositas sekunder (kekar dan sesar intensif), seperti batuan gipsum dan batugaram. Namun demikian, karena batuan karbonat mempunyai sebaran yang paling luas, karst yang banyak dijumpai adalah karst yang berkembang di batuan karbonat. Oleh karenanya bahasan modul ini selanjutnya hanya akan menguraikan karst batuan karbonat

Morfologi Karst atau Topografi Karst adalah termasuk kedalam bentangalam Order 3 yang terbentuk sebagai hasil dari proses erosi pada batugamping. Batugamping (CaCO_3) merupakan batuan utama karst, dan merupakan batuan penyusun bentangalam karst dengan berbagai bentuk. Adapun batuan dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) merupakan batuan yang kurang / tidak mudah mengalami pelarutan oleh media air, sehingga batuan induk dolomit kurang berkembang dalam pembentukan morfologi karst. Batuan karst tersingkap lebih dari 12% di muka bumi, baik di daratan maupun di kepulauan, akan tetapi topografi yang benar benar memperlihatkan bentuk topografi karst hanya 8% saja. Tempat tempat yang terkenal dengan bentang alam karst-nya adalah di kepulauan Bahama dan Yunani. Sebagaimana diketahui bahwa 20-25% dari populasi sirkulasi air bawah tanah (ground water) di dunia ada di wilayah batuan karst, sehingga dalam bidang hidro-geologi, studi terhadap bentangalam karst menjadi sangat penting.

Sistem dinamis dari karst menyebabkan air meteorit (hujan dan salju) mengalir dibawah permukaan dikarenakan sifat batumannya yang mudah larut dibandingkan jika mengalir diatas permukaan seperti saluran

saluran sungai. Di daerah batuan karst, aliran air mengalir mengikuti rongga-rongga yang terbentuk sebagai akibat pelarutan yang berkembang pada sistem rekahannya, air masuk dan keluar melalui tepi/ujung dari batuan yang mudah larut atau ketempat tempat yang lebih rendah. Sebagai konsekuensi dari sifat tersebut maka hampir semua topografi karst sebagai gugusan bentangalam yang menjadikan air meteorit mengalir melalui rongga-rongga. Pada umumnya morfologi karst dicirikan oleh bentuk topografi yang tidak teratur dan umumnya terdapat adanya aliran sungai bawah tanah serta lubang lubang hasil pelarutan air berbentuk dolina atau ovala.

Berbagai tipe dan bentuk bentangalam karst menurut Noor (2009) adalah sebagai berikut.

- a. Morfologi Karst adalah bentangalam yang dibangun oleh batugamping yang dicirikan oleh adanya gua-gua, ovala, dolina sebagai hasil pelarutan air.
- b. Morfologi Pepino Hill adalah bentangalam perbukitan yang tersusun dari batugamping yang berbentuk kerucut kerucut batugamping.
- c. Morfologi Polje adalah bentangalam yang berbentuk depresi aksentif hasil erosi pada perbukitan batugamping yang tertutup disemua sisi dan dibagian tengahnya berupa lantai yang datar dibatasi oleh dinding ding yang terjal.
- d. Morfologi Dolina dan Ovala adalah lubang-lubang berbentuk kerucut terbalik (mangkuk) sebagai hasil pelarutan air di daerah morfologi karst. Dolina dan Ovala dibedakan berdasarkan bentuknya, dolina berbentuk "V" dan ovala "U".



Gambar 2.1 Bentang Alam Kars (Noor, 2009)



Gambar 2.2 Pepino hills (Noor, 2009)



Gambar 2.3 Polje (Noor, 2009)



Gambar 2.4 Ovala di perbukian (Noor, 2009)



Gambar 2.5 Topografi Karst (Noor, 2009)



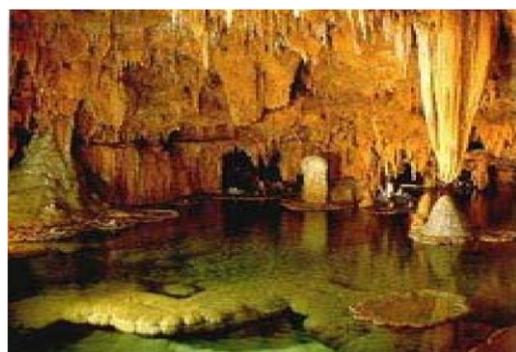
Gambar 2.6 Topografi Karst (Noor, 2009)



Gambar 2.7 Gua di perbukitan karst (Noor, 2009)



Gambar 2.8 Stalagtit dan Stalagmit (Noor, 2009)



Gambar 2.9 Stalagmit (Noor, 2009)

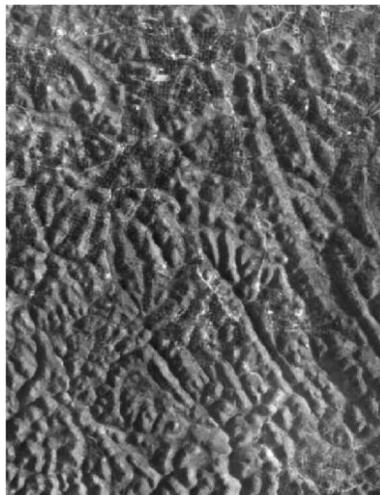


Gambar 2.10 Sinkhole (Dolina) (Noor, 2009)

Selain klasifikasi tersebut, literatur atau peneliti karst lain telah memberi nama tertentu untuk suatu kawasan karst. Penamaan yang digunakan hanya dimaksudkan untuk memberi nama tanpa bermaksud mengklasifikasi secara sistematis. Beberapa tipe karst yang sering digunakan dan sering muncul di literatur karst antara lain *labirynt karst* dan *polygonal karst*.

- a. *Labyrinth karst* merupakan karst yang dicirikan oleh koridor-koridor atau ngarai memanjang yang terkontrol oleh kekar atau sesar. Morfologi karst tersusun oleh blok-blok batugamping yang dipisahkan satu sama lain oleh ngarai/koridor karst. Karst tipe ini terbentuk karena pelarutan yang jauh lebih intensif di jalur sesar dan patahan.

Sebaliknya, di tempat lainnya pelarutan tidak intensif. Karst labirin di Indonesia dapat dijumpai di Papua dan di sebagian Gunungsewu (Gambar 2.11)



Gambar 2.11. Kenampakan karst labirin (Adji dan Haryono, 2013)

- b. Karst Poligonal merupakan penamaan yang didasarkan dari sudut pandang morfometri dolin. Karst tipe ini dapat berupa karst kerucut maupun karst menara. Karst dikatakan poligonal apabila ratio luas dolin dengan luas batuan karbonat mendekati satu atau satu. dengan kata lain semua batuan karbonat telah berubah menjadi kumpulan dolin-dolin dan dolin telah bersambung satu dengan lainnya
- c. Karst Fosil merupakan karst yang terbentuk pada masa geologi lampau dan saat ini proses karstifikasinya sudah berhenti (Sweeting, 1972). Dalam hal ini karstifikasi tidak berlangsung hingga saat ini karena perubahan iklim yang tidak lagi mendukung proses karstifikasi. Karst fosil banyak ditemukan di Barat laut Yoksire-Ingris.

Karst fosil dapat dibedakan menjadi dua tipe. Pertama, karst yang terbentuk di waktu geologi sebelumnya dan tidak tertutupi oleh batuan lain. Tipe ini disebut dengan bentuklahan tinggalan (*relict landform*). Kedua, karst terbentuk di periode geologi sebelumnya yang kemudian ditutupi oleh batuan nonkarbonat. Bentuklahan karst tersebut selanjutnya muncul ke permukaan karena batuan atapnya telah tersingkap oleh proses denudasi. Tipe ini disebut dengan bentuklahan tergali (*exhumed lanform*).

2. Klasifikasi Karst

Topografi karst telah banyak ditemukan di berbagai tempat di belahan bumi dengan berbagai tipe. Peneliti karst telah mencoba menjelaskan variasi karst dan mengklasifikasi tipe-tipe karst. Klasifikasi karst secara umum dapat dikategorikan menjadi tiga kelompok, yaitu 1) klasifikasi yang didasarkan pada perkembangan (*Cvijic*), 2) klasifikasi yang didasarkan pada morfologi, dan 3) klasifikasi yang didasarkan pada iklim (*Sawicki, Lehmann, Sweeting*).

Beberapa klasifikasi karst berikut ini adalah klasifikasi *Cvijic*, *Gvozdeckij* dan *Sweeting*.

a. Klasifikasi *Cvijic*

Cvijic membagi topografi karst menjadi tiga kelompok, yaitu holokarst, merokarst, dan karst transisi.

- 1) Holokarst merupakan karst dengan perkembangan paling sempurna, baik dari sudut pandang bentuklahannya maupun hidrologi bawah permukaannya. Karst tipe ini dapat terjadi bila perkembangan karst secara horisontal dan vertikal tidak terbatas; batuan karbonat masif dan murni dengan kekar vertikal yang menerus dari permukaan hingga batuan dasarnya; serta tidak terdapat batuan impermeabel yang berarti. Karst tipe holokarst yang dicontohkan oleh *Cvijic* adalah Karst Dinaric, Lycia, dan Jamaica. Di Indonesia, karst tipe ini jarang ditemukan, karena besarnya curah hujan menyebabkan sebagian besar karst terkontrol oleh proses fluvial.

- 2) Merokarst merupakan karst dengan perkembangan tidak sempurna atau parsial dengan hanya mempunyai sebagian ciri bentuklahan karst. Merokarst berkembang di batugamping yang relatif tipis dan tidak murni, serta khususnya bila batugamping diselingi oleh lapisan batuan napalan. Perkembangan secara vertikal tidak sedalam perkembangan holokarst dengan evolusi relief yang cepat. Erosi lebih dominan dibandingkan pelarutan dan sungai permukaan berkembang. Merokarst pada umumnya tertutup oleh tanah, tidak ditemukan kelen, dolin, goa, swallow hole berkembang hanya setempatsetempat. Sistem hidrologi tidak kompleks, alur sungai permukaan dan bawah permukaan dapat dengan mudah diidentifikasi. Drainase bawah tanah terhambat oleh lapisan impermeabel. Contoh dari karst ini adalah karst di Batugamping Carboniferous Britain, Irlandia, Galicia Polandia, Moravia karst Devonian, dan karst di Prancis utara. Contoh merokarst di Indonesia diantaranya adalah karst di sekitar Rengel Kabupaten Tuban.

- 3) Karst Transisi berkembang di batuan karbonat relatif tebal yang memungkinkan perkembangan bentuk karst bawah tanah, akan tetapi batuan dasar yang impermeabel tidak sedalam di holokarst,

sehingga evolusi karst lebih cepat; lembah fluvial lebih banyak dijumpai, dan polje hampir tidak ditemukan. Contoh dari karst transisi menurut Cvijic adalah Karst Causses Prancis, Jura, Plateux Balkan Timur, dan dan Dachstein. Contoh holokarst di Indonesia yang pernah dikunjungi penulis antara lain Karst Gunung Sewu (Gunungkidul, Wonogiri, dan Pacitan), Karst Karangbolong (Gombong), dan Karst Maros (Sulawesi Selatan).

b. Klasifikasi Gvozdeckij

Gvozdeckij mengklasifikasi karst berdasarkan pengamatannya di Rusia, menurutnya karst dibedakan menjadi bare karst, covered karst, soddy karst, buried karst, tropical karst, dan permafrost karst.

- 1) Bare karst lebih kurang sama dengan karst Dinaric (holokarst)
- 2) Covered karst merupakan karst yang terbentuk bila batuan karbonat tertutup oleh lapisan aluvium, material fluvio-glacial, atau batuan lain seperti batupasir.
- 3) Soddy karst atau soil covered karst merupakan karst yang berkembang di batugamping yang tertutup oleh tanah atau terra rosa yang berasal dari sisa pelarutan batugamping.
- 4) Buried karst merupakan karst yang telah tertutup oleh batuan lain, sehingga bukti-bukti karst hanya dapat dikenali dari data bor.
- 5) Tropical karst of cone karst merupakan karst yang terbentuk di daerah tropis.
- 6) Permafrost karst merupakan karst yang terbentuk di daerah bersalju.

c. Klasifikasi Sweeting

Karst menurut Sweeting diklasifikasikan menjadi true karst, fluviokarst, glaciokarst, tropical karst, arid an semiarid karst. Klasifikasi Sweeting terutama didasarkan pada iklim.

- 1) True karst merupakan karst dengan perkembangan sempurna (holokarst). Karst yang sebenarnya harus merupakan karst dolin yang disebabkan oleh pelarutan secara vertikal. Semua karst yang bukan tipe dolin karst dikatakan sebagai deviant. Contoh dari true karst menurut Sweeting adalah Karst Dinaric.

- 2) Fluviokarst dibentuk oleh kombinasi antara proses fluvial dan proses pelarutan. Fluviokarst pada umumnya terjadi di daerah berbatuan gamping yang dilalui oleh sungai alogenik (sungai berhilir di daerah non-karst). Sebaran batugamping baik secara lateral maupun vertikal jauh lebih kecil daripada true karst. Perkembangan sirkulasi bawah tanah juga terbatas disebabkan oleh muka air tanah lokal. Mataair muncul dari lapisan impermeable di bawah batugamping maupun dekat muka air tanah lokal. Lembah sungai permukaan dan ngarai banyak ditemukan. Bentuk hasil dari proses masuknya sungai permukaan ke bawah tanah dan keluarnya sungai bawah kembali ke permukaan seperti lembah buta dan lembah saku merupakan fenomena umum yang banyak dijumpai. Goa-goa di fluviokarst terbentuk di perbatasan antara batugamping dan batuan impermeabel di bawahnya oleh sungai alogenik dan berasosiasi dengan perkembangan sungai di daerah karst. Permukaan batugamping di fluviokarst pada umumnya tertutup oleh tanah yang terbentuk oleh erosi dan sedimentasi proses fluvial. Singkapan batugamping (*bare karst*) ditemukan bila telah terjadi erosi yang pada umumnya disebabkan oleh penggundulan hutan.

- 3) Glasiokarst merupakan karst yang terbentuk karena karstifikasi didominasi oleh proses glasiasi dan proses glasial di daerah yang berbatuan gamping. Nival karst merupakan karst yang terbentuk karena proses karstifikasi oleh hujan salju (*snow*) pada lingkungan glasial dan periglasial. Glasiokarst terdapat di daerah berbatugamping yang mengalami glasiasi atau pernah mengalami glasiasi. Glasiokarst dicirikan oleh kenampakan-kenampakan hasil penggosokan, erosi, dan sedimentasi glacier. Hasil erosi glacier pada umumnya membentuk limestone pavement. Erosi lebih intensif terjadi di sekitar kekar menghasilkan cekungan dengan lereng terjal memisahkan pavement satu dengan lainnya. Dolin-dolin terbentuk terutama disebabkan oleh hujan salju. Pencairan es menghasilkan ngarai, pothole, dan goa, Karakteristik lain dari glasiokarst adalah goa-goa

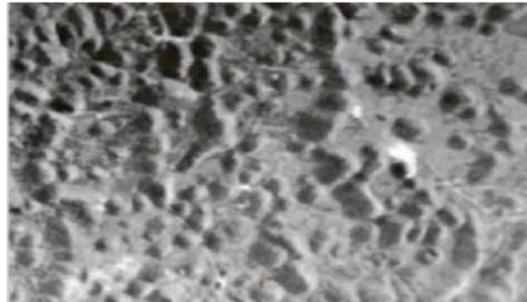
yang terisi oleh es dan salju. Contoh dari galsiokarst adalah karst di lereng atas pegunungan Alpen.

- 4) Tropical karst berbeda dengan karst di iklim sedang dan kutub terutama disebabkan oleh presipitasi dan evaporasi yang besar. Presipitasi yang yang besar menghasilkan aliran permukaan sesaat yang lebih besar, sedangkan evaporasi menghasilkan rekristalisasi larutan karbonat membentuk lapisan keras di permukaan. Hal ini menyebabkan dolin membulat seperti di iklim sedang jarang ditemukan digantikan oleh dolin berbentuk bintang yang tidak beraturan. Dolin tipe ini sering disebut kockpit. Di antara dolin ditemukan bukit-bukit yang tidak teratur disebut dengan bukit kerucut.

Karst tropis secara lebih rinci dibedakan menjadi dua kelompok, yaitu sebagai berikut.

- a) Kegelkarst dicirikan oleh kumpulan bukit-bukit berbentuk kerucut yang sambung menyambung. Sela antar bukit kerucut membentuk cekungan dengan bentuk seperti bintang yang dikenal dengan kockpit. Kockpit seringkali membentuk pola kelurusan sebagai akibat kontrol kekar atau sesar. Depresi atau kockpit yang terkontrol kekar atau sesar ini oleh Lemann disebut gerichteter karst (*karst oriente*). Contoh kegelkarst di Indonesia antara lain Karst Gunungsewu dan Karst Karangbolong. Kenampakan kegelkarst dari foto udara dan peta topografi ditunjukkan pada Gambar 2.12
- b) *Turmkarst*/menara karst/*pinacle karst* merupakan tipe karst kedua yang sering dijumpai di daerah tropis. Tipe karst ini dicirikan oleh bukit-bukit dengan lereng terjal, biasanya ditemukan dalam kelompok yang dipisahkan satu sama lain dengan sungai atau dataran aluvial. Tower karst dibentuk berkembang apabila pelarutan lateral oleh muka air tanah yang sangat dangkal atau oleh sungai alogenik yang melewati singkapan batugamping. Beberapa ahli beranggapan bahwa *turmkarst* merupakan perkembangan lebih lanjut dari

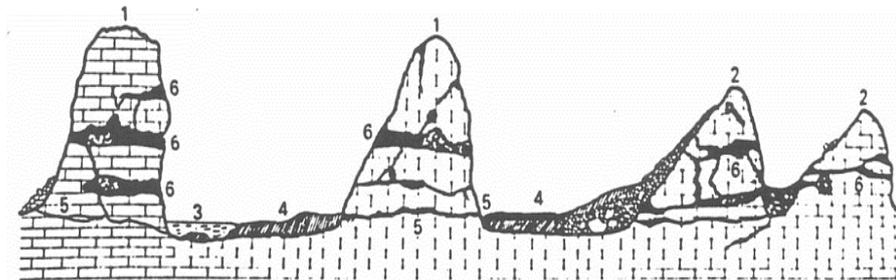
kegelkarst karena kondisi hidrologi tertentu. Distribusi dan sebaran bukit menara pada umumnya dikontrol oleh kekar atau sesar.



Gambar 2.12 Kenampakan kegelkarst Gunungsewu dari foto udara dan lapangan (Adji dan Haryono, 2013)

Ukuran bukit menara sangat bervariasi dari pinnacle kecil hingga blok dengan ukuran beberapa kilometer persegi. Permukaan tidak teratur disebabkan oleh depresi-depresi dan koridor dengan dedalaman hingga 150 meter. Kontak dari bukit menara dengan dataran aluvium merupakan tempat pemunculan mataair dan perkembangan gua. Telaga dan rawa juga sering ditemukan di kaki dari bukit-bukit menara. Rawa yang relatif bersifat asam selanjutnya akan mempercepat pelarutan secara lateral membentuk bukit-bukit yang semakin curam hingga tegak. Bila muka tanah turun, rawa akan teratus dan ditutupi oleh endapan koluvium dari rombakan bukit menara, sehingga bukit menara berubah menjadi tidak curam (gambar 2.13)

Karst menara dapat dibedakan menjadi dua kelompok. Pertama, bukit menara merupakan bukit sisa batugamping yang terisolir di antara rataannya batugamping yang telah tertutup oleh endapan aluvium. Kedua, bukit menara merupakan bukit sisa dari batugamping yang berada di dataran dengan batuan non karbonat. Karst menara di Indonesia diantaranya dapat ditemukan di tepian Karst Maros yang berbatasan dengan dataran aluvial (sisi barat).



Gambar 2.13 Kenampakan karst tower (Sweeting, 1972)

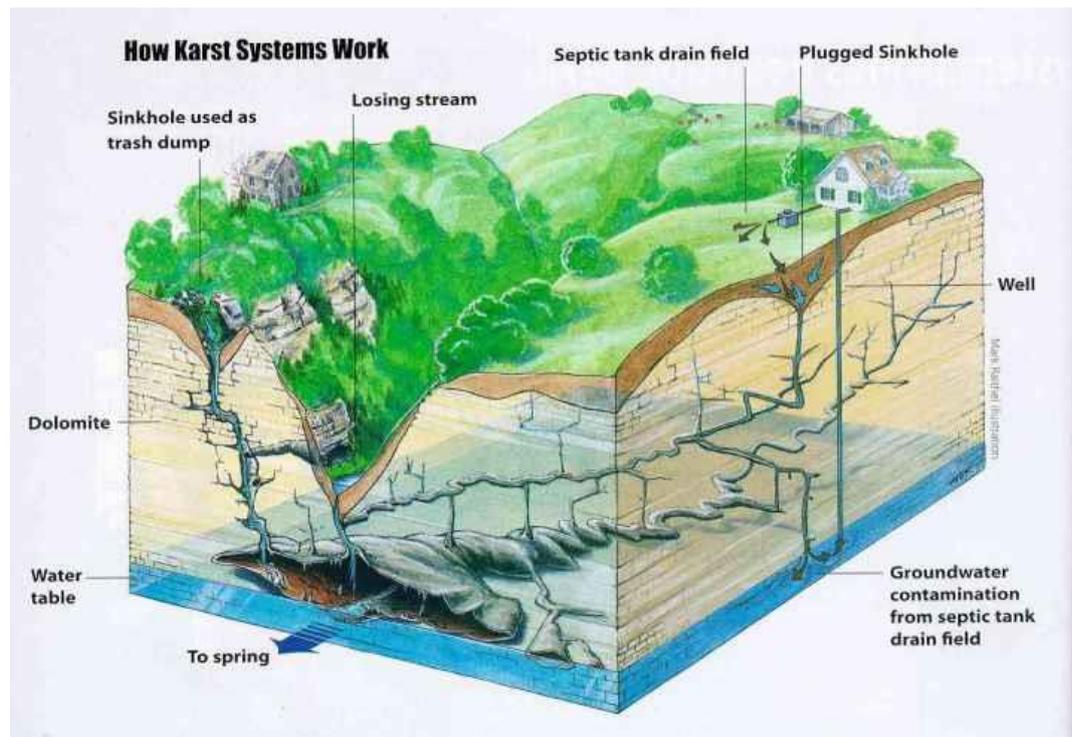
Keterangan gambar:

1. Bukit karst menara terbentuk oleh erosi lateral,
2. Bukit karst kerucut,
3. Sungai,
4. Dataran korosi Gua aktif, Gua fosil

3. Spesifikasi Bentang Alam Karst

Proses pembentukan karst Daerah karst terbentuk oleh pelarutan batuan terjadi di litologi lain, terutama batuan karbonat lain misalnya dolomit, dalam evaporit seperti halnya gips dan halite, dalam silika seperti halnya batupasir dan kuarsa, dan di basalt dan granit dimana ada bagian yang kondisinya cenderung terbentuk gua (*favourable*). Daerah ini disebut karst asli. Daerah karst dapat juga terbentuk oleh proses cuaca, kegiatan hidrolik, pergerakan tektonik, air dari pencairan salju dan pengosongan batu cair (*lava*). Karena proses dominan dari kasus tersebut adalah bukan pelarutan, kita dapat memilih untuk penyebutan bentuk lahan yang cocok adalah pseudokarst (karst palsu).

Kawasan karst pada umumnya terbagi menjadi dua, yaitu eksokarst dan endokarst. Contoh-contoh eksokarst (morfologi permukaan) adalah dolina, uvala, dan polje. Contoh-contoh endokarst (morfologi bawah permukaan) adalah gua, terowongan, sungai bawah tanah, saluran.



Gambar 2.14 Karst (Adji, 2013)

Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Bentang Alam Karst

a. Faktor Fisik

Faktor – faktor fisik yang mempengaruhi topografi karst yaitu sebagai berikut:

1) Ketebalan Batu Gamping

Ketebalan batu gamping yang baik untuk perkembangan karst adalah batu gamping yang tebal, dapat masif atau yang terdiri dari beberapa lapisan dan membentuk unit batuan yang tebal, sehingga mampu menampilkan topografi karst sebelum habis terlarutkan. Namun yang paling baik adalah batuan yang masif, karena pada batugamping berlapis biasanya terdapat lempung yang

terkonsentrasi pada bidang perlapisan, sehingga mengurangi kebebasan sirkulasi air untuk menembus seluruh lapisan.

2) Porositas Dan Permeabilitas

Porositas dan permeabilitas berpengaruh dalam sirkulasi air dalam batuan. Semakin besar porositas sirkulasi air akan semakin lancar sehingga proses karstifikasi akan semakin intensif.

3) Intensitas Struktur (Kekar)

Zona kekar adalah zona lemah yang mudah mengalami pelarutan dan erosi sehingga dengan adanya kekar dalam batuan, proses pelarutan berlangsung intensif.

Kekar yang baik untuk proses karstifikasi adalah kekar berpasangan (kekar gerus), karena kekar tsb berpasangan sehingga mempertinggi porositas dan permeabilitas. Namun apabila intensitas kekar sangat tinggi batuan akan mudah tererosi atau hancur sehingga proses karstifikasi terhambat.

b. Faktor Kimiawi

1) Kondisi Kimia Batuan

Kondisi kimia batuan dalam pembentukan topografi karst diperlukan sedikitnya 60% kalsit dalam batuan dan yang paling baik diperlukan 90% kalsit.

2) Kondisi Kimia Media Pelarut

Kondisi kimia media pelarut dalam proses karstifikasi media pelarutnya adalah air, kondisi kimia air ini sangat berpengaruh terhadap proses karstifikasi. Kalsit sulit larut dalam air murni, tetapi mudah larut dalam air yang mengandung asam. Air hujan mengikat CO_2 di udara dan dari tanah membentuk larutan yang bersifat asam yaitu asam karbonat (H_2CO_3). Larutan inilah yang sangat baik untuk melarutkan batu gamping.

c. Faktor Biologi

Kalsit sulit larut Kalsit sulit larut dalam air murni, tetapi mudah larut dalam air yang mengandung asam. Air hujan mengikat CO₂ di udara dan dari tanah membentuk larutan yang bersifat asam yaitu asam karbonat (H₂CO₃). Larutan inilah yang sangat baik untuk melarutkan batu gamping.

d. Faktor Iklim dan Lingkungan

Kondisi lingkungan yang mendukung adalah adanya lembah besar yang mengelilingi tempat yang tinggi yang terdiri dari batuan yang mudah larut (batugamping) yang terkekarkan intensif. Kondisi lingkungan di sekitar batugamping harus lebih rendah sehingga sirkulasi air berjalan dengan baik, sehingga proses karstifikasi berjalan dengan intensif.

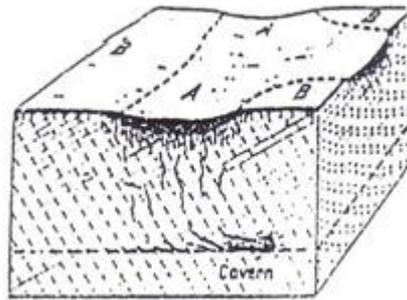
4. Proses Pembentukan Topografi Karst

Kondisi batuan yang menunjang terbentuknya topografi karst ada empat yaitu sebagai berikut.

- a. Mudah larut dan berada di dekat permukaan
- b. Masif, tebal, dan terkekarkan
- c. Berada pada daerah dengan curah hujan yang tinggi
- d. Dikelilingi lembah

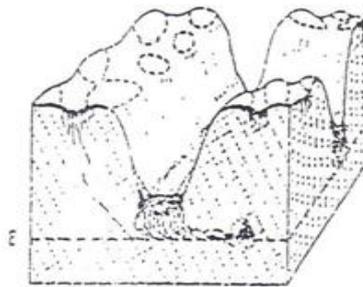
Proses pelarutan pada batu gamping meninggalkan morfologi sisa pelarutan, perkembangan morfologi sisa ini dapat dibagi menjadi empat fase, yaitu sebagai berikut.

- a. Terjadi pelarutan pada batuan terkekarkan sehingga membentuk lembah yang kemudian merupakan zona yang lebih cepat mengalami pelarutan (zona A) dibandingkan dengan zona B yang tidak mengalami pengkekaran.



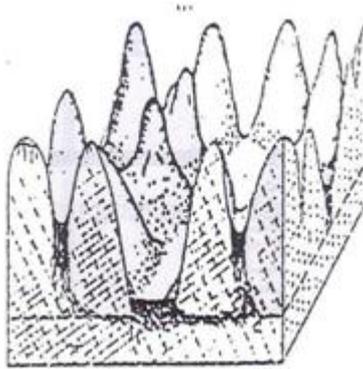
Gambar 2.15 Fase Pertama

- b. Karena zona A lebih cepat mengalami pelarutan, maka zona ini segera terbentuk lembah yang dalam, sementara pada zona B masih berupa daratan tinggi dengan gejala elarutan di beberapa tempat.



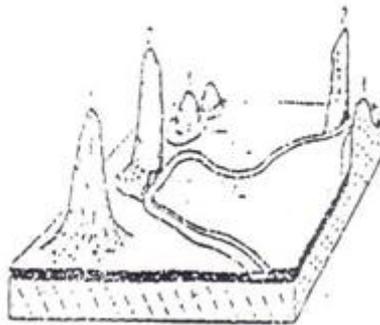
Gambar 2.15 Fase Kedua

- c. Pelarutan pada kedua zona terus berjalan sehingga pada fase ini mulai terbentuk kerucut-kerucut karst pada zona B. Pada kerucut karst ini tingkat pelarutan/erosi vertikalnya lebih kecil dibandingkan lembah di sekitarnya.



Gambar 2.16 Fase Ketiga

- d. Karena adanya erosi lateral oleh sungai maka zona A berada pada baas permukaan erosi dan pada zona B erosi vertikal telah berjalan leih lanjut sehingga hanya tinggal beberapa morfologi sisa saja, morfologi sisa ini disebut menara karst.



Gambar 2.17 Fase Keempat

5. Gua Karst

Gua karst merupakan bentuk akibat terjadinya peristiwa pelarutan beberapa jenis batuan akibat aktivitas air hujan dan air tanah, sehingga tercipta lorong-lorong dan bentukan batuan yang sangat menarik akibat proses kristalisasi dan pelarutan batuan tersebut.



Gambar 2.18 Gua karst

Gua karst yang terjadi dalam kawasan batu gamping adalah yang paling sering ditemukan (70 % dari seluruh gua di dunia). Diperkirakan wilayah sebaran karst batu gamping RRC adalah yang terluas di dunia. Gua karst lainnya terdiri dari gypsum (banyak di AS), halite / garam NaCl dan KCl (banyak di Rusia, Rumania, Hongaria) dan dolomite (banyak di Eropa Barat)

a. Proses pembentukan gua karst

Tahap awal, air tanah mengalir melalui bidang rekahan pada lapisan batu gamping menuju ke sungai permukaan. Mineral-mineral yang mudah larut dierosi dan lubang aliran air tanah tersebut semakin membesar.

Sungai permukaan lama-lama menggerus dasar sungai dan mulai membentuk jalur gua horisontal.

Setelah semakin dalam tergerus, aliran air tanah akan mencari jalur gua horisontal yang baru dan langit-langit atas gua tersebut akan runtuh dan bertemu sistem gua horisontal yang lama dan membentuk surupan (sumuran gua).

b. Ornamen-ornamen dalam Gua Karst

1) Geode

Batu permata yang terbentuk dari pembentukan rongga oleh aktifitas pelarutan air`tanah. Kemudian dalam kondisi yang berbeda terjadi pengendapan material mineral (kuarsa, kalsit dan fluorit) yang dibawa oleh air tanah pada bagian dinding rongga.

2) Stalaktit (*Stalactite*)

Terbentuk dari tetesan air dari atap gua yang mengandung kalsium karbonat (CaCO_3) yang mengkristal, dari tiap tetes air akan menambah tebal endapan yang membentuk kerucut menggantung dilangit-langit gua. Berikut ini adalah reaksi kimia pada proses pelarutan batu gamping : $\text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}_2 + 2\text{HCO}_3$

3) Stalakmit (*Stalacmite*)

Merupakan pasangan dari stalaktit, yang tumbuh di lantai gua karena hasil tetesan air dari atas langit-langit gua.

4) Tiang (*Column*)

Merupakan hasil pertemuan endapan antara stalaktit dan stalakmit yang akhirnya membentuk tiang yang menghubungkan stalaktit dan stalakmit menjadi satu.

5) Tirai (*Drapery*)

Tirai (*drapery*) terbentuk dari air yang menetes melalui bidang rekahan yang memanjang pada langit-langit yang miring hingga membentuk endapan cantik yang berbentuk lembaran tipis vertikal.

6) Teras Travertin

Teras Travertin merupakan kolam air di dasar gua yang mengalir dari satu lantai tinggi ke lantai yang lebih rendah, dan ketika mereka menguap, kalsium karbonat diendapkan di lantai gua.

c. Manfaat Gua Karst

Kawasan karst di daerah Gunung Kidul memang cukup tertinggal. Pemerintah tidak melakukan pembangunan karena menganggap kawasan ini tidak berpotensi. Ini karena kawasan karst memang kering dan tidak cocok untuk lahan pertanian. Iklimnya panas, tanahnya kering, dan air permukaannya sedikit sehingga tanaman tidak akan bertahan lama jika ditanam.

Pada dasarnya daerah karst mempunyai banyak potensi yaitu, sebagai berikut.

1) Daerah potensi mineral

Batuan karbonat (batu gamping) merupakan salah satu dari sumber mineral terbesar di daerah karst. Batuan ini sering digunakan sebagai ornamen/hiasan, campuran pembuatan semen, serta bahan baku industri-industri seperti untuk bahan pemutih, penjernih air dan bahan pestisida.

2) Objek Wisata: Banyaknya wisata yang dikembangkan, seperti wisata alam, wisata petualangan, wisata ilmiah. Hal ini tentu saja dapat menambah devisa negara dan menjadi mata pencaharian bagi warga setempat.

3) Daerah penambangan: Daerah karst khususnya gua karst dapat dijadikan daerah penambangan, seperti penambangan untuk industri semen, gips, dan batu gamping.

4) Daerah potensi air: Pada dasarnya, karena merupakan batuan yang kompak, batugamping bersifat impermeabel. Adanya sistem rekahan atau rongga-rongga pelarutan di dalamnya, menyebabkan batugamping dapat bertindak sebagai akifer yang cukup baik. Air ini dapat digunakan karena merupakan cadangan air bersih yang justru meluap pada musim kemarau.

5) Terdapat banyak benda-benda arkeolog: Ada banyak fosil yang di temukan dalam gua-gua kapur yang ada di Pegunungan Sewu di selatan Jawa. Dari fosil binatang kecil purba, fosil binatang besar purba, sampai manusia prasejarah sampai artefak-artefak dari kebudayaan manusia. Fosil kerang laut dan mollusca juga banyak menghiasi dinding gua, tim dari UGM juga pernah menemukan fosil yang diidentifikasi sebagai fragmen taring kuda nil, dan juga telah ditemukan fosil manusia Pacitan.

6) Habitat bagi banyak fauna: Pada gua karst biasanya terdapat banyak hewan menguntungkan yang bisa dijumpai, di antaranya ular, kelelawar, dan walet. Ular dapat bermanfaat sebagai predator tikus. Kelelawar bermanfaat sebagai pemakan serangga. Dan walet, tentu

dapat mendatangkan banyak uang melalui sarang dan air liurnya yang berharga mahal.

d. Contoh-Contoh Gua Karst

Berikut ini adalah contoh keberadaan gua karst di Indonesia.

- 1) Karst Maros-pangkep di Sulawesi Selatan merupakan salah satu kawasan karst yang mempunyai bentang alam yang unik dan khas yang biasa disebut tower karst.
- 2) Karst Pengunungan Sewu
- 3) Karst Taman Leuser Taman Nasional Gunung Leuser (Aceh)
- 4) Bohorok (Sumut)
- 5) Payakumbuh (Sumbar)
- 6) Gombong selatan (Jateng)
- 7) Pacitan-Trenggalek (Jatim)
- 8) Malang selatan, dan Blambangan (Jatim)

6. Sungai Karst

Sistem hidrologi daerah karst secara umum bersifat impermeabel, tetapi karena terdapat celah dan rekahan maka batuan menjadi impermeabel (atau bisa disebut permeabilitas sekunder), dengan demikian air hujan dapat masuk ke dalam batuan, membentuk rekahan-rekahan yang melebar, terbentuk gua-gua dan menyatu antara rekahan satu dengan yang lain akhirnya terjadilah sungai bawah tanah.

a. Manfaat Sungai Karst

Air tanah karst secara kualitatif tentunya mempunyai kualitas yang umumnya baik. Sebagian besar sumber air tanah karst ini digunakan oleh masyarakat sebagai sumber air minum. Umumnya kualitas air tanah karst mempunyai konsentrasi unsur Ca (kalsium), Mg (magnesium), dan kesadahan yang tinggi. Hal ini sesuai dengan komposisi mineral batuan karbonat yang memang didominasi Ca dan Mg. Oleh karena itu sumber air ini bila digunakan sebagai air minum sebaiknya diendapkan terlebih dahulu agar konsentrasi dua unsur tersebut dapat berkurang. Efek dari penggunaan air yang mengandung Ca dan Mg yang tinggi dapat mengakibatkan terganggunya kerja ginjal.

b. Pencemaran Sungai Karst

Pencemaran air tanah karst dapat terjadi terutama berasal dari daerah imbuhan, misalnya dari kotoran kelelawar dalam gua, penebangan tanaman, penambangan batu gamping dan lainnya.

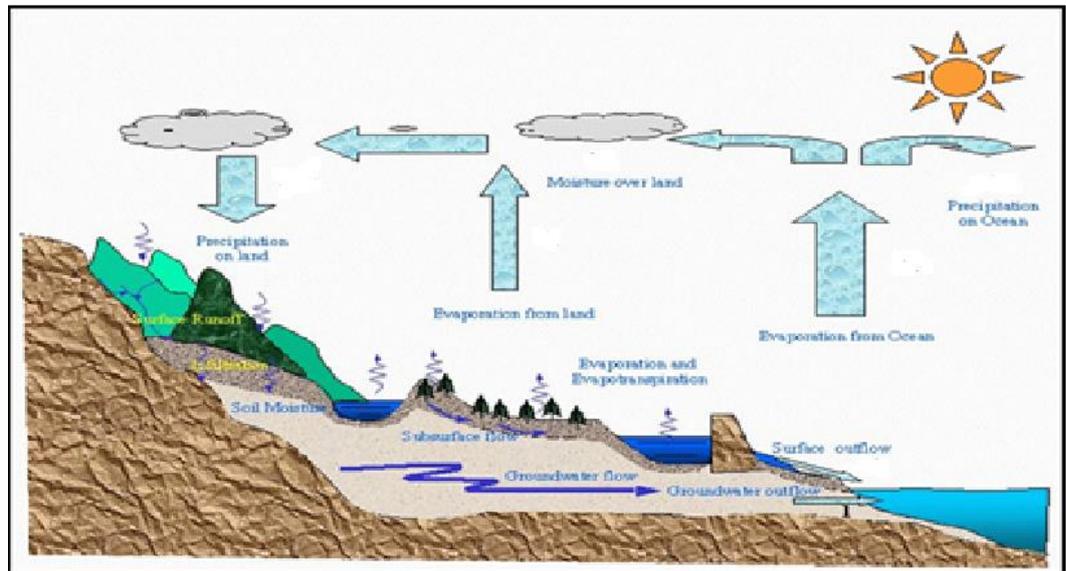
7. Hidrologi Karst

Pada awalnya, berbicara mengenai hidrologi karst tentunya mempunyai konsekuensi logis yang dapat terbagi menjadi dua topik pembicaraan utama yaitu hidrologi dan karst. Hidrologi, menurut Linsley et. al. (1975) adalah cabang dari ilmu geografi fisik yang berurusan dengan air di permukaan bumi dengan sorotan khusus pada sifat, fenomena dan distribusi air di daratan.

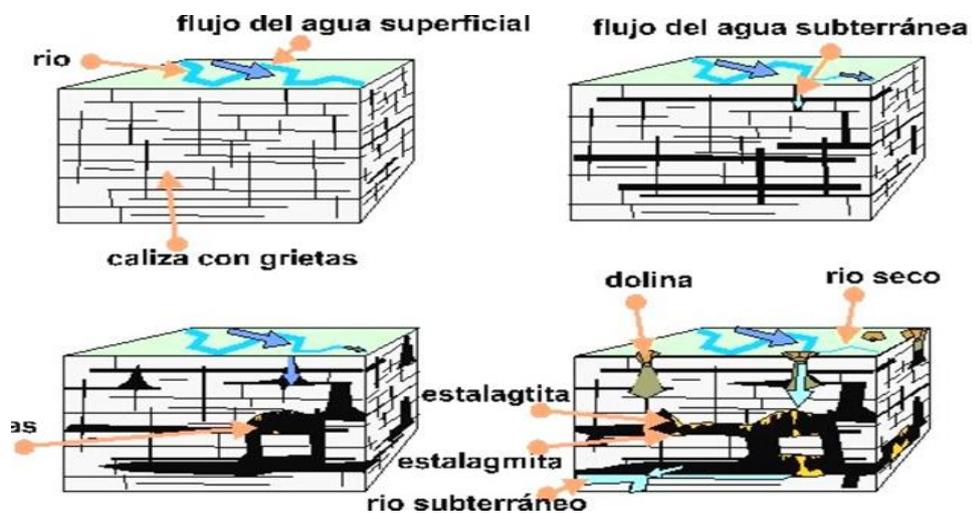
Hidrologi dikategorikan secara khusus mempelajari kejadian air di daratan/bumi, deskripsi pengaruh sifat daratan terhadap air, pengaruh fisik air terhadap daratan dan mempelajari hubungan air dengan kehidupan. Pada sisi yang lain, karst dikenal sebagai suatu kawasan yang unik dan dicirikan oleh topografi eksokarst seperti lembah karst, doline, uvala, polje, karren, kerucut karst dan berkembangnya sistem drainase bawah permukaan yang jauh lebih dominan dibandingkan dengan sistem aliran permukaannya (Adji dkk., 1999).

Jika kita belajar hidrologi secara umum pasti tidak akan pernah lepas dari siklus hidrologi, yaitu peredaran air di bumi baik itu di atmosfer, di permukaan bumi dan di bawah permukaan bumi. Selama siklus tersebut, air dapat berubah wujudnya yaitu padat, cair maupun gas tergantung dari kondisi lingkungan siklus hidrologi. Jumlah air dalam siklus hidrologi selalu tetap dan hanya berubah distribusinya saja dari waktu ke waktu akibat adanya pengaruh dari faktor tertentu (Adji dan Suyono, 2004). Siklus hidrologi secara umum disajikan pada Gambar 2.19. Seperti disebutkan di atas, karena sifatnya, fokus dari hidrologi karst adalah bukan pada air permukaan tetapi pada air yang tersimpan di bawah tanah pada sistem-sistem drainase bawah permukaan karst. Untuk lebih jelasnya,

Gambar 2.20 mengilustrasikan drainase bawah permukaan yang sangat dominan di daerah karst.



Gambar 2.19 Siklus Hidrologi (Adji dan Haryono, 2013)



Gambar 2.20 Drainase bawah permukaan di daerah karst (Adji dan Haryono, 2013)

Dari Gambar 2.20 terlihat bahwa karena sifat batuan karbonat yang mempunyai banyak rongga percelahan dan mudah larut dalam air, maka sistem drainase permukaan tidak berkembang dan lebih didominasi oleh sistem drainase bawah permukaan. Sebagai contoh adalah sistem

pergoaan yang kadang-kadang berair dan dikenal sebagai sungai bawah tanah. Selanjutnya, dalam bahasan ini akan lebih banyak dideskripsikan hidrologi karst bawah permukaan yang selanjutnya akan kita sebut sebagai airtanah karst.

Secara definitif, air pada sungai bawah tanah di daerah karst boleh disebut sebagai airtanah merujuk definisi airtanah oleh Todd (1980) bahwa airtanah merupakan air yang mengisi celah atau pori-pori/rongga antar batuan dan bersifat dinamis. Sedangkan, air bawah tanah karst juga merupakan air yang mengisi batuan/percelahan yang banyak terdapat pada kawasan ini, walaupun karakteristiknya sangat berbeda dibandingkan dengan karakteristik airtanah pada kawasan lain.

Pada daerah non-karst, dengan mudah kita dapat membedakan antara sistem hidrologi permukaan dan bawah permukaan. Secara sederhana, konsep Daerah Aliran Sungai (DAS) dapat dianggap sebagai unit untuk mengkaji sistem hidrologi baik itu permukaan maupun bawah permukaan. DAS sering pula dikenal sebagai drainage basin (cekungan yang mempunyai sistem aliran) yang mempunyai karakteristik aliran permukaan dan bawah permukaan dan keluar melalui satu outlet dibatasi oleh batas topografi berupa igir.

Batas dari DAS dapat dikatakan selalu tetap dan tidak berubah sepanjang masa, terutama jika kita berbicara mengenai air permukaan. Sementara itu, sistem airtanah (akuifer) dapat memotong batas topografi DAS dan menjadi bagian dari beberapa DAS. Sebaliknya, konsep DAS aliran permukaan di daerah karst sulit dikenali karena lebih berkembangnya bawah permukaan. Kenyataan yang ada adalah banyaknya lorong-lorong hasil proses solusional dan sangat sedikitnya aliran permukaan.

Jankowski (2001) mengatakan bahwa terdapat tiga komponen utama pada sistem hidrologi karst, yaitu : akuifer, sistem hidrologi permukaan, dan sistem hidrologi bawah permukaan. Di karst, cekungan bawah permukaan dapat diidentifikasi dengan mencari hubungan antara

sungai yang tertelan (swallow holes) dan mata air. Cekungan bawah permukaan ini dapat berkorelasi dengan cekungan aliran permukaan (DAS) jika jalur-jalur lorong solusional pada bawah permukaan utamanya bersumber pada sungai permukaan yang masuk melalui ponor. Tapi, secara umum batas antara DAS permukaan dan bawah permukaan adalah tidak sama. Sistem bawah permukaan, terutama yang memiliki kemiringan muka airtanah yang rendah dapat mempunyai banyak jalur dan outlet (mataair). Selanjutnya, karena terus berkembangnya proses pelarutan, muka airtanah, mataair dan jalur sungai bawah tanah di akuifer karst juga dapat berubah-ubah menurut waktu.

a. Akuifer Karst

Akuifer dapat diartikan sebagai suatu formasi geologi yang mampu menyimpan dan mengalirkan airtanah dalam jumlah yang cukup pada kondisi hidraulik gradien tertentu (Acworth, 2001). Cukup artinya adalah mampu mensuplai suatu sumur ataupun mata air pada suatu periode tertentu. Dapatkah formasi karst yang didominasi oleh batuan karbonat disebut sebagai suatu akuifer?. Jawaban dari pertanyaan ini dapat kita kembalikan dari definisi akuifer seperti yang telah disebutkan di atas. Jika formasi karst dapat menyimpan dan mengalirkannya sehingga sebuah sumur atau mataair mempunyai debit air yang cukup signifikan, maka sah-sah saja jika formasi karst tersebut disebut sebagai suatu akuifer. Perdebatan mengenai hal ini sudah terjadi terutama pada masa-masa lampau dan solusi yang ada biasanya tergantung dari sudut hidrogeologis mana kita memandangnya.

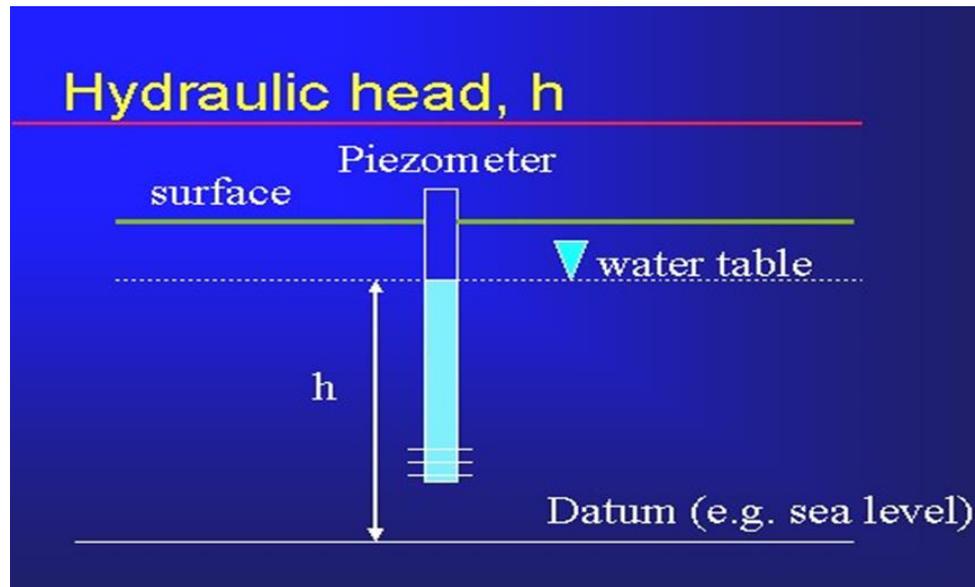
Selanjutnya, dua hal ekstrim pada akuifer karst adalah adanya sistem conduit dan diffuse yang hampir tidak terdapat pada akuifer jenis lain (White, 1988). Ada kalanya suatu formasi karst didominasi oleh sistem conduit dan ada kalanya pula tidak terdapat lorong-lorong conduit tetapi lebih berkembang sistem diffuse, sehingga hanya mempunyai pengaruh yang sangat kecil terhadap sirkulasi airtanah karst. Tetapi, pada umumnya suatu daerah karst yang berkembang baik mempunyai kombinasi dua element tersebut. Selain itu menurut

Gillison (1996) terdapat satu lagi sistem drainase di daerah karst yaitu sistem rekahan (*fissure*).

b. Muka Air Tanah Karst

Muka air tanah adalah batas antara zone jenuh dan zone tak jenuh. Secara sederhana muka airtanah adalah air yang kita temukan pertama kali ketika kita menggali sebuah sumur. Secara regional, notasi airtanah sering kali dinyatakan dengan suatu istilah yang dikenal sebagai *hydraulic head* atau jumlah antara tekanan hidrostatik airtanah dan ketinggian tempat. Lebih mudahnya, nilai *hydraulic head* adalah nilai ketinggian tempat dikurangi ketinggian muka airtanah dari permukaan bumi, seperti yang disajikan pada Gambar 2.21 Selanjutnya, peta garis yang menunjukkan tempat yang mempunyai nilai *hydraulic head* yang sama disebut peta kontur airtanah atau equipotential map. Jika peta tersebut dilengkapi dengan arah aliran airtanah maka dikenal sebagai flownets atau jaring-jaring airtanah. Karena airtanah mengalir dari tempat yang bernilai *hydraulic head* tinggi ke rendah, maka akan memiliki apa yang dikenal sebagai *hydraulic gradient* atau kemiringan muka airtanah.

Apakah ada muka airtanah (*watertable*) di akuifer karst? Dan jikalau ada apakah mempunyai karakteristik seperti halnya pada akuifer-akuifer non-karst?. Perdebatan mengenai karakteristik dan eksistensi muka airtanah di akuifer karst sudah berlangsung sejak puluhan tahun yang lalu.



Gambar 2.21 *Hydraulic head* (Adji dan Haryono, 2013)

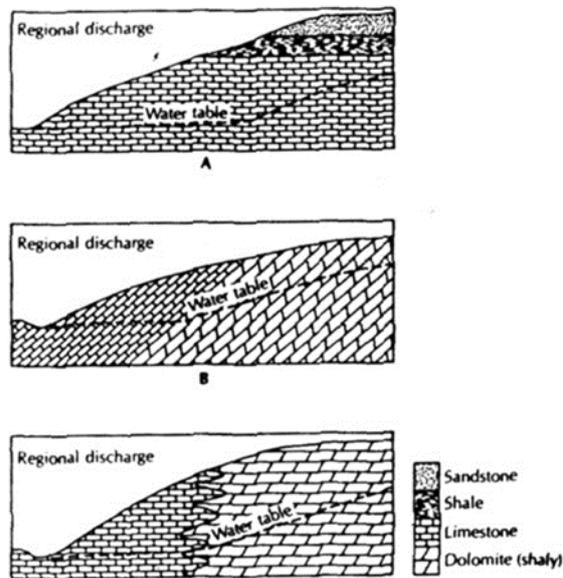
Pada satu pihak banyak argumen percaya bahwa sungai yang masuk ke akuifer karst secara langsung/tertelan melalui swallow hole dan menjadi sungai bawah tanah dan mengalir terus ke bawah serta tidak mempunyai level atau muka freatik yang teratur/homogen seperti halnya pada akuifer non-karst, sehingga disimpulkan bahwa muka airtanah tidak dapat didefinisikan/tidak ada.

Pendapat lain mengatakan bahwa muka airtanah di akuifer karst dapat didefinisikan dengan cara melihat keseluruhan cekungan airtanah karst dan sekitarnya dan tidak hanya terfokus pada akuifer yang didominasi oleh sistem conduit saja. Cekungan karst ini akan mempunyai dua sistem aliran utama yaitu diffuse dan conduit, walupun pada tingkat yang lebih dalam akan lebih terkonsentrasi pada lorong-lorong conduit. Sebagai contoh adalah keberadaan goa-goa dengan sungai bawah tanah. Pada akhirnya, jika gerakan airtanah pada lorong conduit sudah mulai pelan, biasanya sudah mulai mendekati laut atau pantai sehingga kemiringan muka airtanahnya sudah mulai rendah dan mendekati datar. Pada kondisi ini, orang biasanya dapat membuat sumur gali untuk keperluan sehari-hari, sehingga dapat disimpulkan bahwa muka airtanah sudah dapat didefinisikan. Pada kondisi ini juga tidak begitu penting apakah air yang

terdapat pada sumur itu merupakan muka airtanah atau merupakan lorong conduit yang jenuh air dan tepat pada pertemuan retakan-retakan batuan karbonat. Selanjutnya, ketinggian muka airtanah dapat didefinisikan dengan cara melakukan tracer test yang dikombinasikan dengan pemetaan goa, pemetaan retakan dan conduit, serta pemetaan muka airtanah pada sumur-sumur gali penduduk. Contoh yang sudah dilakukan di DIY adalah yang dilakukan oleh MacDonalds and partners (1983) ketika mencoba membuat peta kontur muka freatik pada karst Gunung Sewu di Kabupaten Gunung Kidul.

White (1988) menyatakan bahwa terjadinya silang pendapat mengenai ada tidaknya muka airtanah di karst lebih disebabkan oleh ketidakpersamaan atau kurangnya pengetahuan mengenai konsep muka airtanah. Muka airtanah tidak pernah statis dan berfluktuasi menurut faktor-faktor yang dapat mempengaruhinya seperti terhadap musim. Lebih jauh lagi, mendefinisikan muka airtanah karst memang tidak semudah mencari muka airtanah pada akuifer yang teratur, homogen dan isotropik. Keunikan akuifer karst adalah terletak pada respons yang cepat pada sistem aliran conduit jika terjadi perubahan imbuhan (hujan) dibandingkan pada sistem diffuse. Pada sistem conduit, muka airtanah akan cepat sekali naik mencapai puluhan meter hanya dalam waktu beberapa jam saja dan selanjutnya bisa langsung turun lagi dengan cepat. Kenyataan ini hampir tidak pernah dijumpai pada akuifer jenis lain, bahkan pada akuifer karst lain yang didominasi oleh aliran diffuse. Pada karst dengan aliran diffuse, yang tentu saja memiliki nilai konduktivitas hidraulik lebih kecil, respon terhadap hujan akan berjalan pelan, sehingga dapat dikatakan bahwa fungsi regulator karst berjalan dengan baik.

Pada sisi lain, stratigrafi pada cekungan dimana akuifer karst berada juga dapat berpengaruh terhadap sifat dan kedudukan muka airtanah karst (Fetter, 1994). Hal ini dapat juga terjadi pada akuifer berbatuan karbonat yang mempunyai tipe karbonat yang berbeda. (Gambar 2.22) mengilustrasikan beberapa kondisi yang menyebabkan adanya perbedaan kemiringan muka airtanah pada akuifer karst.



Gambar 2.22 Kondisi geologis yang berpengaruh terhadap muka air tanah
(Fetter, 1994)

Keterangan dari Gambar 2.11 adalah sebagai berikut:

1. Gambar A. Akuifer bagian atas adalah sandstone yang relatif mempunyai nilai K yang cukup. Tetapi, karena dibawah formasi sandstone terdapat shale yang memiliki nilai K kecil dan menyebabkan terbatasnya imbuhan (*recharge*) ke formasi batuan gamping di lapisan paling bawah. Sebaliknya, pada akuifer bagian kiri recharge dari air hujan dapat mengalir secara bebas menuju batuan karbonat, sehingga proses solusional dapat berlangsung secara lancar. Kesimpulannya, terdapat dua pola kemiringan muka airtanah pada bagian kiri dan kanan akibat adanya perbedaan stratigrafi.
2. Gambar B dan C. Akuifer ini mempunyai perbedaan tingkat pelarutan (dolomit dan gamping yang mudah larut) yang mengakibatkan terjadinya perbedaan kemiringan muka airtanah.

Kesimpulan dari bahasan muka air tanah karst diatas adalah bahwa karakteristik muka airtanah di akuifer karst sangat berbeda dengan akuifer

di tempat lain. Faktor yang sangat menentukan adalah adanya sifat akuifer karst yang cenderung anisotropis karena dominasi proses pelarutan yang menghasilkan lorong-lorong conduit yang sangat tidak beraturan. Karena sifatnya yang memiliki nilai konduktivitas hidraulic (K) sangat tinggi terutama pada area yang mempunyai perkembangan lorong conduit yang sangat baik, muka airtanah karst dapat berada sangat dalam di bawah permukaan tanah. Selain itu, karena sifatnya tersebut, kadang-kadang terdapat genangan air/aliran yang bertengger pada suatu cekungan atau lorong diatas muka airtanah. Hal inilah yang sering menyebabkan sulitnya mendefinisikan muka airtanah di akuifer karst. Akhirnya, karena proses pelarutan sangat dikontrol oleh adanya retakan/rekahan pada batuan karbonat, maka muka airtanah dapat tidak bersambung satu sama lain (discontinuous) walaupun pada tempat-tempat yang sudah dekat dengan laut dan memiliki gradient hidraulic sangat rendah, muka airtanah karst dikontrol oleh muka airtanah dasar (base level) baik itu lokal maupun dan regional. Sebagai contoh, jika kita mengebor atau membuat sumur di akuifer karst, jangan heran jika pada kedalaman tertentu kita memperoleh air, tetapi pada lokasi lain yang berdekatan dengan kedalaman yang sama kita tidak dapat menemukan air.

D. Aktivitas Pembelajaran

Aktivitas pembelajaran yang ada pada kegiatan pembelajaran 1 ini, di antaranya adalah sebagai berikut.

1. Mengamati
Mengamati proses-proses dan macam-macam bentang alam karst.
2. Menanya
Mengkondisikan situasi belajar untuk membiasakan mengajukan pertanyaan secara aktif dan mandiri tentang bentang alam karst.
3. Mengumpulkan data
Mengumpulkan data yang dipertanyakan dan menentukan sumber (melalui benda konkret, dokumen, buku, eksperimen) untuk menjawab pertanyaan yang diajukan tentang proses-proses, klasifikasi, dan spesifikasi bentang alam karst.

4. Mengasosiasi/Mengolah Informasi
Mengkategorikan data dan menentukan hubungannya, selanjutnya disimpulkan dengan urutan dari yang paling sederhana sampai pada yang lebih kompleks tentang proses-proses, klasifikasi, dan spesifikasi bentang alam karst..
5. Mengkomunikasikan
Menyampaikan hasil konseptualisasi tentang proses-proses, klasifikasi, dan spesifikasi bentang alam karst.

E. Latihan

Jawablah pertanyaan berikut!

1. Apa yang dimaksud dengan Karst?
2. Sebutkan ciri-ciri Karst!
3. Apa jenis batuan Karst yang mempunyai sebaran paling luars?
4. Jelaskan karakteristik Labyrinth Karst!
5. Kapan sebuah Karst dikatakan poligonal?
6. Jelaskan dua tipe Karst!
7. Gvozdeckij mengklasifikasi karst menjadi bare karst, covered karst, soddy karst, buried karst, tropical karst, dan permafrost karst. Jelaskan masing-masing kelompok Karst tersebut!
8. Jelaskan perbedaan proses terbentuknya Karst Asli dan karst Palsu!
9. Jelaskan faktor alam yang mempengaruhi bentang alam Karst!
10. Ada 4 kondisi batuan yang menunjang terbentuknya topografi Karst. Sebutkan 4 kondisi tersebut!
11. Bagaimana proses sebuah Gua Karst dapat terbentuk?
12. Jelaskan 5 ornamen-ornamen dalam Gua Karst!
13. Sebutkan manfaat Gua Karst!

F. Rangkuman

1. Karst adalah sebuah bentukan di permukaan bumi yang pada umumnya dicirikan dengan adanya depresi tertutup (closed depression), drainase permukaan, dan gua. Daerah ini dibentuk terutama oleh pelarutan batuan, kebanyakan batu gamping.

2. Ciri – ciri Karst yaitu:
 - a. terdapatnya cekungan tertutup dan atau lembah kering dalam berbagai ukuran dan bentuk,
 - b. langkanya atau tidak terdapatnya drainase/ sungai permukaan,
 - c. terdapatnya goa dari sistem drainase bawah tanah
3. Morfologi Karst adalah bentangalam yang dibangun oleh batu gamping.
4. Kawasan karst pada umumnya terbagi menjadi dua, yaitu eksokarst dan endokarst.
5. Proses Pembentukan Topografi Karst. Kondisi batuan yang menunjang terbentuknya topografi karst ada empat yaitu sebagai berikut.
 - a. Mudah larut dan berada di dekat permukaan
 - b. Masif, tebal dan terkekarkan
 - c. Berada pada daerah dengan curah hujan yang tinggi
 - d. Dikelilingi lembah
6. Muka air tanah karst di atas adalah bahwa karakteristik muka air tanah di akuifer karst sangat berbeda dengan akuifer di tempat lain. Faktor yang sangat menentukan adalah adanya sifat akuifer karst yang cenderung anisotropis karena dominasi proses pelarutan yang menghasilkan lorong-lorong conduit yang sangat tidak beraturan. Karena sifatnya yang memiliki nilai konduktivitas hidraulic (K) sangat tinggi terutama pada area yang mempunyai perkembangan lorong conduit yang sangat baik, muka airtanah karst dapat berada sangat dalam di bawah permukaan tanah.
7. Proses pelarutan sangat dikontrol oleh adanya retakan/rekahan pada batuan karbonat, maka muka airtanah dapat tidak bersambung satu sama lain (discontinuous) walaupun pada tempat-tempat yang sudah dekat dengan laut dan memiliki gradient hidraulik sangat rendah, muka airtanah karst dikontrol oleh muka airtanah dasar (base level) baik itu lokal maupun dan regional. Sebagai contoh, jika kita mengebor atau membuat sumur di akuifer karst, jangan heran jika pada kedalaman tertentu kita memperoleh air, tetapi pada lokasi lain

yang berdekatan dengan kedalaman yang sama kita tidak dapat menemukan air.

G. Umpan Balik dan Tindak Lanjut

Untuk mendapatkan umpan balik setelah mempelajari modul kegiatan pembelajaran ini, guru-guru diminta untuk mengisi rubrik umpan balik ini dan memberikan masukan yang konstruktif yang disediakan pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Rubrik Umpan Balik Isi Modul

No.	Pokok Bahasan	Pertanyaan Umpan Balik	Jawaban Guru dan Tindak Lanjut
1	Pengertian bentang alam karst	Apakah Anda mampu menyebutkan pengertian bentang alam eolian?	
2	Klasifikasi karst	Apakah Anda paham tentang Klasifikasi Karst?	
3	Spesifikasi bentang alam karst	Apakah Anda paham tentang spesifikasi bentang alam karst?	
4	Proses pembentukan topografi karst	Apakah Anda paham tentang proses pembentukan topografi karst?	
5	Gua karst	Apakah Anda paham tentang gua karst?	
6	Sungai karst	Apakah Anda paham tentang sungai karst?	
7	Hidrologi karst	Apakah Anda paham tentang hidrologi karst?	

H. Kunci Jawaban

1. Karst adalah sebuah bentukan di permukaan bumi yang pada umumnya dicirikan dengan adanya depresi tertutup (closed depression), drainase permukaan, dan gua.
2. Ciri-ciri Karst:
 - a. Terdapatnya cekungan tertutup dan atau lembah kering dalam berbagai ukuran dan bentuk,
 - b. Langkanya atau tidak terdapatnya drainase/ sungai permukaan,
 - c. Terdapatnya goa dari sistem drainase bawah tanah
3. Jenis batuan Karst yang mempunyai sebaran paling luas adalah batuan karbonat
4. Labyrinth karst merupakan karst yang dicirikan oleh koridor-koridor atau ngarai memanjang yang terkontrol oleh kekar atau sesar. Morfologi karst ini tersusun oleh blok-blok batugamping yang dipisahkan satu sama lain oleh ngarai/koridor karst. Karst tipe ini terbentuk karena pelarutan yang jauh lebih intensif di jalur sesar dan patahan.
5. Karst dikatakan poligonal apabila ratio luas dolin dengan luas batuan karbonat mendekati satu atau satu. dengan kata lain semua batuan karbonat telah berubah menjadi kumpulan dolin-dolin dan dolin telah bersambung satu dengan lainnya.
6. Dua tipe Karst
 - a. Pertama, karst yang terbentuk di waktu geologi sebelumnya dan tidak tertutupi oleh batuan lain. Tipe ini disebut dengan bentuklahan tinggalan (*relict landform*).
 - b. Kedua, karst terbentuk di periode geologi sebelumnya yang kemudian ditutupi oleh batuan nonkarbonat. Bentuklahan karst tersebut selanjutnya muncul ke permukaan karena batuan atapnya telah tersingkap oleh proses denudasi. Tipe ini disebut dengan bentuklahan tergali (*exhumed landform*).
7. Gvozdeckij mengklasifikasi karst menjadi bare karst, covered karst, soddy karst, buried karst, tropical karst, dan permafrost karst.
 - a. Bare karst lebih kurang sama dengan karst Dinaric (holokarst)

- b. Covered karst merupakan karst yang terbentuk bila batuan karbonat tertutup oleh lapisan aluvium, material fluvio-glacial, atau batuan lain seperti batupasir.
 - c. Soddy karst atau soil covered karst merupakan karst yang berkembang di batugamping yang tertutup oleh tanah atau terra rosa yang berasal dari sisa pelarutan batugamping.
 - d. Buried karst merupakan karst yang telah tertutup oleh batuan lain, sehingga bukti-bukti karst hanya dapat dikenali dari data bor.
 - e. Tropical karst of cone karst merupakan karst yang terbentuk di daerah tropis.
8. Perbedaan proses terbentuknya Karst Asli dan karst Palsu
- a. Karst Asli

Daerah karst terbentuk oleh pelarutan batuan terjadi di litologi lain, terutama batuan karbonat lain misalnya dolomit, dalam evaporit seperti halnya gips dan halite, dalam silika seperti halnya batupasir dan kuarsa, dan di basalt dan granit dimana ada bagian yang kondisinya cenderung terbentuk gua.
 - b. Karst Palsu

Daerah karst dapat juga terbentuk oleh proses cuaca, kegiatan hidrolik, pergerakan tektonik, air dari pencairan salju dan pengosongan batu cair (lava). Karena proses dominan dari kasus tersebut adalah bukan pelarutan, kita dapat memilih untuk penyebutan bentuk lahan yang cocok adalah pseudokarst.
9. Jelaskan faktor alam yang mempengaruhi bentang alam Karst!
- Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Bentang Alam Karst
- a. Faktor Fisik

Faktor – faktor fisik yang mempengaruhi topografi karst yaitu sebagai berikut:

 - 1) Ketebalan Batu Gamping

Ketebalan batu gamping yang baik untuk perkembangan karst adalah batu gamping yang tebal, dapat masif atau yang terdiri dari beberapa lapisan dan membentuk unit

batuan yang tebal, sehingga mampu menampilkan topografi karst sebelum habis terlarutkan.

2) Porositas Dan Permeabilitas

Porositas dan permeabilitas berpengaruh dalam sirkulasi air dalam batuan. Semakin besar porositas sirkulasi air akan semakin lancar sehingga proses karstifikasi akan semakin intensif.

3) Intensitas Struktur (Kekar)

Zona kekar adalah zona lemah yang mudah mengalami pelarutan dan erosi sehingga dengan adanya kekar dalam batuan, proses pelarutan berlangsung intensif.

b. Faktor Kimiawi

1) Kondisi Kimia Batuan

Kondisi kimia batuan dalam pembentukan topografi karst diperlukan sedikitnya 60 % kalsit dalam batuan dan yang paling baik diperlukan 90 % kalsit.

2) Kondisi Kimia Media Pelarut

Kondisi kimia media pelarut dalam proses karstifikasi media pelautnya adalah air, kondisi kimia air ini sangat berpengaruh terhadap proses karstifikasi. Kalsit sulit larut dalam air murni, tetapi mudah larut dalam air yang mengandung asam. Air hujan mengikat CO_2 di udara dan dari tanah membentuk larutan yang bersifat asam yaitu asam karbonat (H_2CO_3). Larutan inilah yang sangat baik untuk melarutkan batugamping

c. Faktor Biologi

Kalsit sulit larut Kalsit sulit larut dalam air murni, tetapi mudah larut dalam air yang mengandung asam. Air hujan mengikat CO_2 di udara dan dari tanah membentuk larutan yang bersifat asam yaitu asam karbonat (H_2CO_3). Larutan inilah yang sangat baik untuk melarutkan batugamping.

d. Faktor Iklim dan Lingkungan

Kondisi lingkungan yang mendukung adalah adanya lembah besar yang mengelilingi tempat yang tinggi yang terdiri dari

batuan yang mudah larut (batu gamping) yang terkekarkan intensif. Kondisi lingkungan di sekitar batugamping harus lebih rendah sehingga sirkulasi air berjalan dengan baik, sehingga proses karstifikasi berjalan dengan intensif.

10. Kondisi batuan yang menunjang terbentuknya topografi karst ada empat yaitu sebagai berikut.

- a. Mudah larut dan berada di dekat permukaan
- b. Masif, tebal dan terkekarkan
- c. Berada pada daerah dengan curah hujan yang tinggi
- d. Dikelilingi lembah

11. Proses terbentuknya Gua Karst

- a. Tahap awal, air tanah mengalir melalui bidang rekahan pada lapisan batu gamping menuju ke sungai permukaan. Mineral-mineral yang mudah larut dierosi dan lubang aliran air tanah tersebut semakin membesar.
- b. Sungai permukaan lama-lama menggerus dasar sungai dan mulai membentuk jalur gua horisontal.
- c. Setelah semakin dalam tergerus, aliran air tanah akan mencari jalur gua horisontal yang baru dan langit-langit atas gua tersebut akan runtuh dan bertemu sistem gua horisontal yang lama dan membentuk surupan (sumuran gua).

12. Ornamen-ornamen dalam Gua Karst

a. Geode

Batu permata yang terbentuk dari pembentukan rongga oleh aktifitas pelarutan air tanah. Kemudian dalam kondisi yang berbeda terjadi pengendapan material mineral (kuarsa, kalsit dan fluorit) yang dibawa oleh air tanah pada bagian dinding rongga.

b. Stalaktit (*Stalactite*)

Terbentuk dari tetesan air dari atap gua yang mengandung kalsium karbonat (CaCO_3) yang mengkristal, dari tiap tetes air akan menambah tebal endapan yang membentuk kerucut menggantung dilangit-langit gua. Berikut ini adalah reaksi kimia pada proses pelarutan batu gamping : $\text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}^{2+} + 2\text{HCO}_3^-$

- c. *Stalakmit (Stalacmite)*
Merupakan pasangan dari stalaktit, yang tumbuh di lantai gua karena hasil tetesan air dari atas langit-langit gua.
 - d. *Tiang (Column)*
Merupakan hasil pertemuan endapan antara stalaktit dan stalakmit yang akhirnya membentuk tiang yang menghubungkan stalaktit dan stalakmit menjadi satu.
 - e. *Tirai (Drapery)*
Tirai (drapery) terbentuk dari air yang menetes melalui bidang rekahan yang memanjang pada langit-langit yang miring hingga membentuk endapan cantik yang berbentuk lembaran tipis vertikal.
 - f. *Teras Travertin*
Teras Travertin merupakan kolam air di dasar gua yang mengalir dari satu lantai tinggi ke lantai yang lebih rendah, dan ketika mereka menguap, kalsium karbonat diendapkan di lantai gua.
13. Pada dasarnya daerah karst mempunyai banyak potensi yaitu, sebagai berikut.
- a. Daerah potensi mineral
 - b. Objek Wisata
 - c. Daerah penambangan
 - d. Daerah potensi air
 - e. Terdapat banyak benda-benda arkeolog
 - f. Habitat bagi banyak fauna

I. Penutup

1. Modul pasca UKG (Ujian Kompetensi Guru) yang membahas tentang bentang alam karst ini diharapkan dapat berguna bagi anda dalam mengembangkan kompetensi dan meningkatkan kemampuan anda pada level berikutnya.
2. Anda dapat mengembangkan materi-materi berkaitan bentang alam karst yang tidak ada dalam modul ini. Modul ini masih butuh pengembangan sesuai dengan perkembangan ilmu pengetahuan dari hari ke hari.
3. Modul ini juga diharapkan akan membantu anda dalam belajar secara mandiri dan mengukur kemampuan diri sendiri sehingga nantinya anda dapat meningkatkan kemampuan ke level berikutnya.

J. Evaluasi

Pada bagian evaluasi ini, ada 3 jenis latihan yang akan diberikan untuk mengukur kemampuan Anda, yaitu sebagai berikut.

1. Kognitif Skill

- a. Jelaskan secara tepat dan singkat tentang proses-proses bentang alam karst!
- b. Jelaskan secara tepat dan singkat tentang spesifikasi karst!
- c. Jelaskan secara tepat dan singkat tentang gua karst, sungai karst, hidrologi karst.

2. Psikomotor Skill

Jelaskan tentang aplikasi bentang alam karst yang terjadi di Indonesia , sesuai dengan penjelasan yang sudah dibahas pada materi sebelumnya.

3. Attitude Skill

Sebagai sebuah tim dalam melakukan proses pembelajaran yang membahas tentang bentang alam karst, bagaimana cara Anda menanamkan rasa ketakwaan kepada Tuhan yang Maha Esa, rasa tanggung jawab, kebersamaan, dan kedisiplinan.

K. Daftar Pustaka

- Acworth, R. I. 2001a. *Short Course Note: Electrical Methods in Groundwater Studies*. Australia: School of Civil and Environmental Engineering University of New South Wales Sydney.
- Adji, T. N. dkk. 1999. "Kawasan Karst dan Prospek Pengembangannya di Indonesia". *Prosiding Smeinar PIT IGI di Universitas Indonesia, 26—27 Oktober 1999*.
- Adji, T. N. dan Suyono. 2004. "Bahan Ajar Hidrologi Dasar". Yogyakarta: Fakultas Geografi UGM.
- Adji, T. N. dan Eko Haryono. 2013. "Buku Ajar Karst: ". Yogyakarta: Fakultas Geografi UGM.
- Alpha, Tau Rho, Galloway, John P., and John C. Tinsley III. "Karst Topography". U.S. Department Of The Interior.
- Fetter, C. W. 1994. *Applied Hydrogeology*. 3rd Ed. New York: Macmillan Publishing Company.
- Ford, D. and William, P. 1992. *Karst Geomorphology and Hydrology*. London: Chapman and Hall.
- Gillison, A.N., Liswanti, N., dan Rahman, I.A. 1996. *Rapid assessment Kerinci Seblat National Park Buffer Zone: Preliminary Report on Plant Ecology and Overview of Biodiversity Assessment*. Bogor: Working Paper CIFOR no.14.
- Haryono, Eko & Curren, James C. 2002. "Kentucky Is A Karst Country". University of Kentucky.
- Jankowski, J. 2001. "Short Course Note: Hydrogeochemistry". Australia: School of Geology University of New South Wales Sydney.
- Mac. Donald, Sir M. & Partners., Binnie & Partners Hunting Technical Service Ltd. 1984. Greater Yogyakarta Groundwater Resources Study. Volume 3 Groundwater. Groundwater Development Project (P2AT), Ministry of Public Works: Government of Republic Indonesia.
- Noor, Djauhari. 2006. "Proses–proses Geomorfologi". Bogor: Program Studi Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Pakuan
- Noor, Djauhari. 2009. "Proses–proses Geologi dan Perubahan Bentangalam". Bogor: Program Studi Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Pakuan.
- Noor, Djuahari. 2012. "Pengantar Geologi". Bogor: Program Studi Teknik Geologi Fakultas Teknik Universtas Pakuan.

Sweeting, M.M. 1972. *Karst Landforms*. London: Macmillan.

Sukandarrumidi, Maulana and Fivry Wellda. 2014. "Ada Apa dengan Wilayah Bentang Alam Karst?" *Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains & Teknologi (SNAST)* di Yogyakarta.

Todd, D. K. 1980. *Groundwater Hydrology*. Ed. John Wiley and Sons.

White, W. B. 1988. *Geomorphology and Hydrology of Karst Terrain*. New York: Oxford University Press.

KEGIATAN PEMBELAJARAN 3

Proses Erosi Partikel Batuan di Permukaan Bumi

A. Tujuan Pembelajaran

Dengan diberikan modul tentang proses erosi partikel batuan di permukaan bumi guru dapat mengetahui dan memahami proses-proses dan macam-macam bentang alam eolian.

B. Indikator Pencapaian Kompetensi

1. Guru dapat mengetahui dan memahami tentang definisi dan proses terjadinya erosi.
2. Guru dapat mengetahui dan memahami jenis-jenis erosi.
3. Guru dapat mengetahui dan memahami dampak dan pencegahan erosi.

C. Uraian Materi

1. Defenisi Erosi

Erosi tanah adalah penyingkiran dan pengangkutan bahan dalam bentuk larutan atau suspensi dari tapak semula oleh pelaku berupa air mengalir (aliran limpasan), es bergerak atau angin (Notohadiprawiro, 1998: 74). Menurut Kartasapoetra, dkk. (1991: 35), erosi adalah pengikisan atau kelongsoran yang sesungguhnya merupakan proses penghanyutan tanah oleh desakan-desakan atau kekuatan angin dan air, baik yang berlangsung secara alamiah ataupun sebagai akibat tindakan atau perbuatan manusia.

Dua sebab utama terjadinya erosi adalah karena sebab alamiah dan aktivitas manusia. Erosi alamiah dapat terjadi karena adanya pembentukan tanah dan proses yang terjadi untuk mempertahankan keseimbangan tanah secara alami. Sedangkan erosi karena aktivitas manusia disebabkan oleh terkelupasnya lapisan tanah bagian atas akibat cara bercocok tanam yang tidak mengindahkan kaidah-kaidah konservasi tanah atau kegiatan pembangunan yang bersifat merusak keadaan fisik tanah (Asdak, 1995: 441).

Lebih lanjut tentang terjadinya erosi akan meliputi proses-proses:

1. *Detachment* atau pelepasan partikel-partikel tanah,
2. *Transportation* atau penghanyutan partikel-partikel tanah, dan
3. *Deposition* atau pengendapan partikel-partikel tanah yang telah dihanyutkan (dalam Kartasapoetra dkk., 1991: 41)

Menurut istilah ilmu geologi, erosi adalah suatu perubahan bentuk batuan, tanah atau lumpur yang disebabkan oleh kekuatan air, angin, es, pengaruh gaya berat dan organisme hidup. Angin yang berhembus kencang terus-menerus dapat mengikis batuan di dinding-dinding lembah. Air yang mengalir terus-menerus selama jutaan tahun dapat menggerus batuan di sekitar seperti yang terjadi pada Grand Canyon di Amerika. Demikian pula erosi akibat es yang disebut dengan glacier yang dapat meretakkan batuan jika celah-celah batuan yang terisi dengan air yang membeku.



Gambar 3.1 Grand Canyon (Asdak,1995)

Erosi dapat terjadi secara fisik atau mekanis (misalnya, oleh angin, gelombang dan arus, air yang mengalir seperti curah hujan, atau es glasial yang bergerak), atau dapat pula terjadi secara kimia, ketika partikel bergerak dalam larutan cair yang melarutkan batuan dan mineral.

Kedua bentuk erosi tersebut terjadi di mana–mana di bumi, dari fragmen batuan yang meluncur menuruni lereng pegunungan hingga partikel–partikel yang terbawa dan terendapkan di lembah–lembah laut.

Erosi terjadi pada tingkat yang sangat beragam dan tergantung pada banyak variabel. Sebagai contoh, erosi yang terjadi pada batuan yang lebih keras atau lebih tahan erosi seperti granit akan menghasilkan lebih sedikit endapan dibandingkan dengan erosi yang terjadi pada batuan yang lebih lunak seperti batulanau untuk periode waktu paparan yang sama. Erosi juga bergantung pada kondisi cuaca dan kondisi lingkungan sekitar. Gelombang yang menghantam singkapanbatupasir akan menggerus partikel lebih cepat dibandingkan dengan aliran air sungai dengan kecepatan sedang yang menggerus batuan yang sama.



Gambar 3.2 Contoh Erosi (Asdak, 1995)

2. Proses Terjadinya Erosi

Proses terjadinya erosi tanah melalui tiga tahap, yaitu tahap pelepasan partikel tunggal dari massa tanah (*detachment*) dan tahap pengangkutan oleh media yang erosive (*transportation*). Pada kondisi dimana energi yang tersedia tidak lagi cukup untuk mengangkut partikel, maka akan terjadi tahap yang ketiga yaitu pengendapan (*sedimentation*) (suripin, 2002).

Proses erosi bermula dari penghancuran agregat-agregat tanah sebagai akibat dari pukulan air hujan yang mempunyai energi lebih besar daripada daya tahan tanah. Hancuran partikel-partikel tanah yang menyumbat pori-pori tanah menyebabkan kapasitas infiltrasi tanah menurun sehingga air mengalir di permukaan tanah sebagai limpasan permukaan (run off). Limpasan permukaan mempunyai energi yang mengikis dan mengangkut partikel tanah. Selanjutnya jika tenaga limpasan permukaan sudah tidak mampu lagi mengangkut bahan-bahan hancuran, maka bahan-bahan hancuran tersebut akan diendapkan. Dengan demikian ada tiga proses yang bekerja secara berurutan dalam proses erosi, yaitu diawali dengan penghancuran agregat-agregat tanah, pengangkutan, dan diakhiri dengan pengendapan.

Percikan air hujan merupakan media utama pelepasan partikel tanah. Pada saat butiran air hujan mengenai permukaan tanah yang gundul, partikel tanah dapat terlepas. Pada lahan datar partikel-partikel tanah tersebar lebih-kurang merata ke segala arah, namun untuk lahan miring terjadi dominasi ke arah bawah searah lereng. Partikel-partikel tanah yang terlepas tersebut akan menyumbat pori-pori tanah, sehingga akan menurunkan kapasitas dan laju infiltrasi. Pada kondisi dimana intensitas hujan melebihi laju infiltrasi, maka akan terjadi genangan air di permukaan tanah, yang kemudian akan menjadi aliran permukaan. Aliran permukaan ini menyediakan energi untuk mengangkut partikel-partikel yang terlepas, baik oleh percikan air hujan maupun oleh adanya aliran permukaan itu sendiri. Pada saat energi atau aliran permukaan menurun dan tidak mampu lagi mengangkut partikel tanah yang terlepas, maka partikel tanah tersebut akan diendapkan (Suripin,2002).

Mekanisme terjadinya erosi oleh Nurpilihan (2000) diidentifikasi menjadi tiga tahap yaitu:

- a. *Detachment* (penghancuran tanah dari agregat tanah menjadi partikel-partikel tanah);
- b. *Transportation* (pengangkutan partikel tanah oleh limpasan hujan atau run off dan

- c. *Sedimentation* (sedimen/pengendapan jumlah tanah tererosi); tanah-tanah tererosi akan terendapkan pada cekungan-cekungan atau pada daerah-daerah bagian bawah.

Cekungan-cekungan yang menampung partikel-partikel tanah dari top soil yang tergerus akan menjadi lahan yang amat subur. Faktor-faktor signifikan yang mempengaruhi erosi adalah iklim terutama curah hujan, tekstur tanah; vegetasi dan topografi dan manusia; kecuali iklim maka faktor-faktor lainnya dapat dikendalikan oleh manusia.

Nurpilihan (2000) berpendapat ditinjau dari tekstur tanah maka dapat dikatakan bahwa tekstur pasir lebih mudah terhancurkan oleh butiran-butiran hujan menjadi partikel-partikel tanah dibandingkan dengan tekstur lainnya; hal ini disebabkan karena daya ikat antar partikel tanah dari tekstur pasir tidak kuat atau tidak mantap karena atau perekat antar partikel lemah yang disebabkan karena sedikitnya tekstur liat (yang berfungsi sebagai semen diantara partikel-partikel tanah). Sedangkan tekstur liat paling mudah diangkut (transportasi) dibandingkan tekstur lainnya karena ukuran partikel tanah yang kecil dibandingkan dengan tekstur lainnya.

Drop size sangat berperan dan mempengaruhi proses erosi secara langsung, makin tinggi intensitas hujan maka semakin besar pula drop size hujan, sementara penelitian Wischmeier dan Smith (1958) mengungkapkan bahwa kecepatan drop size untuk jatuh ke permukaan tanah sangat tergantung dari besar kecilnya drop size. Semakin besar drop size semakin cepat pula jatuh ke atas permukaan tanah.

Menurut Frevert, et. Al (dalam Yuniarto, 1994), mengartikan erosi tanah sebagai proses hilangnya lapisan tanah yang jauh lebih cepat dari proses kehilangan tanah pada peristiwa erosi geologi. Berdasarkan proses terjadinya, erosi tanah dapat dibedakan menjadi dua macam, yaitu sebagai berikut.

- a. Erosi normal

Juga disebut sebagai erosi geologi atau erosi alami yaitu proses erosi tanah akibat pelapukan batuan atau bahan induk tanah secara geologi dan alamiah. Batuan padat atau bahan induk tanah akan menjadi lapuk oleh cuaca menjadi bagian-bagian besar dan kecil. Selanjutnya secara fisik (mekanik), biologi (aktivitas organik), dan kimia, batuan tersebut akan terurai dan terjadi retakan-retakan. Pada saat terjadi hujan, air akan masuk ke dalam retakan-retakan batuan dan lama-kelamaan batuan akan pecah menjadi bagian-bagian yang lebih kecil lagi. Proses tersebut terjadi dengan laju yang relatif lambat dan berlangsung dalam waktu yang lama. Perubahan bentuk pada erosi normal merupakan proses keseimbangan alam, artinya kecepatan kerusakan tanah masih sama atau lebih kecil dari kecepatan proses pembentukan tanah.

b. Erosi dipercepat

Proses erosi dipercepat merupakan pengangkutan tanah yang menimbulkan kerusakan tanah akibat dari kegiatan manusia dalam mengelola tanah untuk meningkatkan produktivitas tanah yang menyebabkan terjadinya pemecahan agregat-agregat tanah, meliputi pengangkutan dan pemindahan tanah pada saat pengolahan tanah. Hal tersebut menyebabkan meningkatnya laju erosi tanah yang disebut erosi dipercepat, artinya kecepatan kerusakan tanah sudah lebih besar atau melebihi kecepatan proses pembentukan tanah

3. Jenis-Jenis Erosi

Erosi terdiri dari beberapa macam berdasarkan proses terjadinya yaitu sebagai berikut.

a. Erosi Akibat Gaya Berat

Batuan atau sedimen yang bergerak terhadap kemiringannya merupakan proses erosi yang disebabkan oleh gaya berat massa. Ketika massa bergerak dari tempat yang tinggi ke tempat yang rendah maka terjadilah apa yang disebut dengan pembuangan massa. Dalam proses terjadinya erosi, pembuangan massa memiliki peranan penting karena arus air dapat memindahkan material ke

tempat-tempat yang jauh lebih rendah. Proses pembungan massa terjadi terus menerus baik secara perlahan maupun secara tiba-tiba sehingga dapat menimbulkan bencana tanah longsor.



Gambar 3.3 Pinggir Jalan yang terkena erosi akibat gaya berat (Frevert, et. Al dalam Yuniyanto, 1994)

Lereng pegunungan yang terjal dan mengandung tanah liat di sekitar daerah yang sudah retak-retak akan sangat rentan terhadap erosi akibat gaya berat. Erosi ini akan berlangsung sangat cepat sehingga dapat menimbulkan bencana longsor.



Gambar 3.4 puncak dinding canyon di sun lakes satate park Washington yang memperlihatkan longsor batuan (Frevert, et. Al dalam Yuniyanto, 1994)

b. Erosi oleh Angin

Hembusan angin kencang yang terus menerus di daerah yang tandus dapat memindahkan partikel-partikel halus batuan di daerah tersebut membentuk suatu formasi, misalnya bukit-bukit pasir di gurun atau pantai.

Efek lain dari angin adalah jika partikel keras yang terbawa dan bertumbukan dengan benda padat lainnya sehingga menimbulkan erosi yang disebut dengan abrasi. Pada gambar 6 dapat dilihat contoh erosi oleh angin yang menyebabkan terjadinya bukit pasir di Namibia, Afrika.



Gambar 3.5 bukit pasir di Namibia, Afrika (Frevert, et. Al dalam Yuniyanto, 1994)

c. Erosi oleh Air

Jika tingkat curah hujan berlebihan sedemikian rupa sehingga tanah tidak dapat menyerap air hujan terjadilah genangan air yang mengalir kencang. Aliran air ini sering menyebabkan terjadinya erosi yang parah karena dapat mengikis lapisan permukaan tanah yang dilewatinya, terutama pada tanah yang gundul.

Pada dasarnya air merupakan faktor utama penyebar erosi seperti aliran sungai yang deras. Makin cepat air yang mengalir makin cepat benda yang dapat terkikis. Pasir halus dapat bergerak dengan kecepatan 13,5 km/jam yang merupakan kecepatan erosi yang kritis.

Air sungai dapat mengikis tepi sungai dengan tiga cara yaitu, sebagai berikut.

- 1) Gaya hidrolik yang dapat memindahkan lapisan sedimen
- 2) Air dapat mengikis sedimen dengan menghilangkan dan melarutkan ion
- 3) Partikel dalam air membentur batuan besar dan mengikisnya

Air Juga dapat mengikis pada tiga tempat yaitu sisi sungai, dasar sungai, dan lereng atas sungai.

Erosi juga dapat terjadi akibat air laut. Arus dan gelombang laut termasuk pasang surut laut merupakan faktor penyebab terjadinya erosi di pinggiran laut atau pantai. Karena tenaga arus dan gelombang merupakan kekuatan yang dapat memindahkan batuan atau sedimen pantai.

d. Erosi oleh Es

Erosi ini terjadi akibat perpindahan partikel-partikel batuan karena aliran es yang terjadi di pinggiran sungai. Sebenarnya es yang bergerak lebih besar tenaganya dibandingkan dengan air. Misalnya *glacier* yang terjadi di daerah dingin dimana air masuk ke pori-pori batuan dan kemudian air membeku menjadi es pada malam hari sehingga batuan menjadi retak dan pecah, karena sifat es yang mengembang dalam pori-pori.



Gambar 3.6 Gletcher di Switzerland (Kartasapoetra 1991)

Kartasapoetra (1991: 48) menjelaskan bahwa erosi terdiri atas *normal erosion* (erosi geologi) dan *accelerated erosion* (erosi yang dipercepat). Dari kedua macam erosi tersebut erosi dipercepat yang perlu diperhatikan. Menurut Kartasapoetra (2000), Kirby dan Morgan (1980), Rahim (2000), dan Zuidam (1978), erosi yang terjadi dapat dibedakan atas dasar kenampakan lahan akibat erosi itu sendiri. Erosi dapat dibedakan menjadi 5 sebagai berikut.

- a. Erosi percik (*splash erosion*); terjadi karena terlepasnya butiran tanah oleh tetesan hujan pada awal kejadian hujan.
- b. Erosi lembar (*sheet erosion*); terjadi jika ada genangan dengan kedalaman tiga kali ukuran butir hujan, sulit dideteksi karena pemindahan butir-butir tanah merata pada seluruh permukaan tanah.
- c. Erosi alur (*rill erosion*); dimulai dengan adanya konsentrasi limpasan permukaan, aliran air akan membentuk alur-alur dangkal memanjang pada permukaan tanah (kedalaman <50 cm).
- d. Erosi parit atau erosi selokan (*gully erosion*); merupakan erosi alur yang telah berkembang membentuk parit berbentuk huruf V dan U (kedalaman 50 – 300 cm) atau telah berkembang menjadi jurang (*ravine*) (kedalaman > 300 cm).
- e. Erosi tebing sungai (*stream bank erosion*) atau erosi saluran (*channel erosion*); umumnya terjadi pada tebing-tebing sungai yang stabil.

4. Dampak Erosi

Dampak dari erosi adalah menipisnya lapisan permukaan tanah bagian atas, yang akan menyebabkan menurunnya kemampuan lahan (degradasi lahan). Akibat lain dari erosi adalah menurunnya kemampuan tanah untuk meresapkan air (infiltrasi). Penurunan kemampuan lahan meresapkan air ke dalam lapisan tanah akan meningkatkan limpasan air permukaan yang akan mengakibatkan banjir di sungai. Selain itu butiran tanah yang terangkut oleh aliran permukaan pada akhirnya akan mengendap di sungai (sedimentasi) yang selanjutnya akibat tingginya sedimentasi akan mengakibatkan pendangkalan sungai sehingga akan memengaruhi kelancaran jalur pelayaran.

Erosi dalam jumlah tertentu sebenarnya merupakan kejadian yang alami, dan baik untuk ekosistem. Misalnya, kerikil secara berkala turun ke elevasi yang lebih rendah melalui angkutan air. erosi yang berlebih, tentunya dapat menyebabkan masalah, semisal dalam hal sedimentasi, kerusakan ekosistem dan kehilangan air secara serentak.

Banyaknya erosi tergantung berbagai faktor. Faktor iklim, termasuk besarnya dan intensitas hujan / presipitasi, rata-rata dan rentang suhu, begitu pula musim, kecepatan angin, frekuensi badai. faktor geologi termasuk tipe sedimen, tipe batuan, porositas dan permeabilitasnya, kemiringan lahan. Faktor biologis termasuk tutupan vegetasi lahan, makhluk yang tinggal di lahan tersebut dan tata guna lahan oleh manusia.

Umumnya, dengan ekosistem dan vegetasi yang sama, area dengan curah hujan tinggi, frekuensi hujan tinggi, lebih sering kena angin atau badai tentunya lebih terkena erosi. sedimen yang tinggi kandungan pasir atau silt, terletak pada area dengan kemiringan yang curam, lebih mudah tererosi, begitu pula area dengan batuan lapuk atau batuan pecah. porositas dan permeabilitas sedimen atau batuan berdampak pada kecepatan erosi, berkaitan dengan mudah tidaknya air meresap ke dalam tanah. Jika air bergerak di bawah tanah, limpasan permukaan yang terbentuk lebih sedikit, sehingga mengurangi erosi permukaan. Sedimen yang mengandung banyak lempung cenderung lebih mudah bererosi daripada pasir atau silt. Dampak sodium dalam atmosfer terhadap erodibilitas lempung juga sebaiknya diperhatikan

Faktor yang paling sering berubah-ubah adalah jumlah dan tipe tutupan lahan. pada hutan yang tak terjamah, mineral tanah dilindungi oleh lapisan humus dan lapisan organik. kedua lapisan ini melindungi tanah dengan meredam dampak tetesan hujan. lapisan-lapisan beserta serasah di dasar hutan bersifat porus dan mudah menyerap air hujan. Biasanya, hanya hujan-hujan yang lebat (kadang disertai angin ribut) saja yang akan mengakibatkan limpasan di permukaan tanah dalam hutan. bila Pepohonan dihilangkan akibat kebakaran atau penebangan, derajat

peresapan air menjadi tinggi dan erosi menjadi rendah. kebakaran yang parah dapat menyebabkan peningkatan erosi secara menonjol jika diikuti dengan hujan lebat. dalam hal kegiatan konstruksi atau pembangunan jalan, ketika lapisan sampah / humus dihilangkan atau dipadatkan, derajat kerentanan tanah terhadap erosi meningkat tinggi.

Pembangunan jalan, secara khusus memungkinkan terjadinya peningkatan derajat erosi karena selain menghilangkan tutupan lahan, jalan dapat secara signifikan mengubah pola drainase, apalagi jika sebuah embankment dibuat untuk menyokong jalan. Jalan yang memiliki banyak batuan dan hydrologically invisible (dapat menangkap air secepat mungkin dari jalan, dengan meniru pola drainase alami) memiliki peluang besar untuk tidak menyebabkan penambahan erosi.

Erosi mempunyai dampak yang kebanyakan merugikan, karena terjadi kerusakan lingkungan hidup. Menurut penelitian bahwa 15% permukaan bumi mengalami erosi. Kebanyakan disebabkan oleh air kemudian oleh angin.

Jika erosi terjadi di tanah pertanian maka tanah tersebut berangsur-angsur akan menjadi tidak subur, karena lapisan tanah yang subur makin menipis, dan jika terjadi di pantai, maka bentuk garis pantai akan berubah.

Dampak lain dari erosi adalah sedimen dan polutan pertanian yang terbawa air akan menumpuk di suatu tempat. Hal ini bisa menyebabkan pendangkalan air waduk, kerusakan ekosistem di danau, pencemaran air minum.



Gambar 3.7 tanah pertanian yang rusak karena erosi (Kartasapoetra, 1991)

5. Pencegahan Erosi

Erosi Erosi tidak dicegah secara sempurna karena merupakan proses alam. Pencegahan erosi merupakan usaha pengendalian terjadinya erosi yang berlebihan sehingga dapat menimbulkan bencana. Ada banyak cara untuk mengendalikan erosi antara lain sebagai berikut.

a) Pengolahan Tanah

Areal tanah yang diolah dengan baik dengan penanaman tanaman, penataan tanaman yang teratur akan mengurangi tingkat erosi. Lihat Gambar 3.8



Gambar 3.8 Areal tanah yang subur

b) Pemasangan Tembok Batu Rangka Besi

Dengan membuat tembok batu dengan kerangka kawat besi di pinggir sungai dapat mengurangi erosi air sungai. Lihat Gambar 3.9.



Gambar 3.9 Tembok Batu untuk mencegah erosi

- c) Penghutan Kembali
Yaitu mengembalikan suatu wilayah hutan pada kondisi semula dari keadaan yang sudah rusak di beberapa tempat, seperti yang terlihat pada gambar
- d) Penempatan batu Batu Kasar Sepanjang pinggir pantai
- e) Pembuatan Pemecah angin atau Gelombang

6. Pembuatan Teras Tanah Lereng

Teras tanah berfungsi untuk memperkuat daya tahan tanah terhadap gaya erosi.



Gambar 3.10 Teras tanah berfungsi untuk memperkuat daya tahan terhadap erosi



Gambar 3.11 Batu–batu kasar yang ditempatkan di pinggir pantai untuk mengurangi erosi air laut

D. Aktivitas Pembelajaran

Aktivitas pembelajaran yang ada pada kegiatan pembelajaran 1 ini, di antaranya adalah sebagai berikut.

1. Mengamati
Mengamati proses-proses dan dampak erosi.
2. Menanya
Mengkondisikan situasi belajar untuk membiasakan mengajukan pertanyaan secara aktif dan mandiri tentang proses erosi partikel batuan di permukaan bumi.
3. Mengumpulkan data
Mengumpulkan data yang dipertanyakan dan menentukan sumber (melalui benda konkret, dokumen, buku, eksperimen) untuk menjawab pertanyaan yang diajukan tentang proses terjadinya erosi, jenis-jenis erosi, dampak erosi, dan pencegahan erosi.
4. Mengasosiasi/Mengolah Informasi
Mengkategorikan data dan menentukan hubungannya, selanjutnya disimpulkan dengan urutan dari yang paling sederhana sampai pada yang lebih kompleks tentang proses, jenis-jenis, dampak dan pencegahan erosi.
5. Mengkomunikasikan
Menyampaikan hasil konseptualisasi tentang proses, jenis-jenis, dampak dan pencegahan erosi.

E. Latihan

Jawablah pertanyaan berikut:

1. Jelaskan proses terjadinya erosi!
2. Sebutkan jenis-jenis erosi!
3. Jelaskan usaha yang dapat dilakukan untuk mencegah erosi!
4. Apa yang akan terjadi jika tidak ada penanganan khusus terkait masalah erosi?
5. Bagaimana batu-batu pantai dapat mengurangi erosi air laut terhadap pantai? Jelaskan!
6. Tuliskan 3 tahap pengikisan tepian air sungai!
7. Apa itu erosi oleh gaya berat? Bagaimana proses terjadinya?
8. Tuliskan faktor-faktor yang menyebabkan mempercepat proses terjadinya erosi.
9. Apa yang dimaksud dengan terasering?
10. Bagaimana menurut pendapatmu cara yang paling baik untuk menangani permasalahan Erosi dewasa ini?

F. Rangkuman

1. Erosi adalah suatu perubahan bentuk batuan, tanah atau lumpur yang disebabkan oleh kekuatan air, angin, es, pengaruh gaya berat dan organisme hidup. Angin yang berhembus kencang terus-menerus dapat mengikis batuan di dinding-dinding lembah.
2. Erosi mempunyai dampak yang kebanyakan merugikan, karena terjadi kerusakan lingkungan hidup. Menurut penelitian bahwa 15% permukaan bumi mengalami erosi. Kebanyakan disebabkan oleh air kemudian oleh angin.
3. Erosi terjadi di banyak lokasi yang biasanya semakin diperparah oleh ulah manusia. Proses alam yang menyebabkan terjadinya erosi adalah karena faktor curah hujan, tekstur tanah, tingkat kemiringan dan tutupan tanah.
4. Erosi tidak dicegah secara sempurna karena merupakan proses alam. Pencegahan erosi merupakan usaha pengendalian terjadinya erosi yang berlebihan sehingga dapat menimbulkan bencana.

G. Umpan Balik dan Tindak Lanjut

Untuk mendapatkan umpan balik setelah mempelajari modul kegiatan pembelajaran 3 ini, guru-guru diminta untuk mengisi rubrik umpan balik ini dan memberikan masukan yang konstruktif yang disediakan pada **Tabel 4.**

Tabel 4. Rubrik Umpan Balik Isi Modul

No	Pokok Bahasan	Pertanyaan Umpan Balik	Jawaban Guru dan Tindak Lanjut
1	Definisi erosi	Apakah Anda mampu menyebutkan definisi erosi?	
2	Proses terjadinya erosi	Apakah Anda paham tentang proses terjadinya erosi?	
3	Jenis-jenis erosi	Apakah Anda paham tentang jenis-jenis erosi?	
4	Dampak erosi	Apakah Anda paham tentang dampak erosi?	
5	Pencegahan erosi	Apakah Anda paham tentang pencegahan erosi?	

H. Kunci Jawaban

1. Erosi adalah sedimen, misalnya pasir serta letak tanahnya juga agak curam menimbulkan tingkat erosi yang tinggi. Selain faktor curah hujan, tekstur tanah dan kemiringannya, tutupan tanah juga mempengaruhi tingkat erosi. Tanah yang gundul tanpa ada tanaman pohon atau rumput akan rawan terhadap erosi. Erosi juga dapat disebabkan oleh angin, air laut dan es.
2. Jenis-jenis erosi
 - a. Erosi akibat gaya berat
 - b. Erosi Oleh Angin
 - c. Erosi Oleh Air
 - d. Erosi Oleh Es
3. Usaha yang dapat dilakukan untuk mencegah erosi:
 - a. Pengolahan Tanah
 - b. Pemasangan Tembok Batu Rangka Besi
 - c. Penghutan Kembali
 - d. Penempatan batu Batu Kasar Sepanjang pinggir pantai
 - e. Pembuatan Pemecah angin atau Gelombang
 - f. Pembuatan Teras Tanah Lereng
4. Erosi akan memberikan dampak negative yang lebih besar terhadap kehidupan manusia. Tidak subur nya lahan akan mempersulit kehidupan ekonomi masyarakat sehingga masyarakat kemudian membuka hutan untuk dijadikan lahan perkebunan, tanpa diiringi dengan penanaman kembali.maka erosi akan terjadi lebih cepat.
5. Dengan menempatkan batu-batu disekitar pantai, maka ombak pantai akan mengikis batuan pantai. Dengan sendirinya ini akan memperlambat proses pengikisan air laut terhadap pasir pantai
6. Tahap pengikisan tepi sungai
 - a. Gaya hidrolik yang dapat memindahkan lapisan sedimen
 - b. Air dapat mengikis sedimen dengan menghilangkan dan melarutkan ion.
 - c. Partikel dalam air membentur batuan besar dan mengikisnya

7. Erosi oleh gaya berat

Batuan atau sedimen yang bergerak terhadap kemiringannya merupakan proses erosi yang disebabkan oleh gaya berat massa. Ketika massa bergerak dari tempat yang tinggi ke tempat yang rendah maka terjadilah apa yang disebut dengan pembuangan massa. Dalam proses terjadinya erosi, pembuangan massa memiliki peranan penting karena arus air dapat memindahkan material ke tempat-tempat yang jauh lebih rendah. Proses pembuangan massa terjadi terus menerus baik secara perlahan maupun secara tiba-tiba sehingga dapat menimbulkan bencana tanah longsor.

8. Faktor penyebab erosi

- a. Intensitas curah hujan yang tinggi di suatu lokasi yang tekstur tanahnya adalah sedimen, misalnya pasir serta letak tanahnya juga agak curam menimbulkan tingkat erosi yang tinggi.
- b. Selain faktor curah hujan, tekstur tanah dan kemiringannya, tanah yang gundul tanpa ada tanaman pohon atau rumput akan rawan terhadap erosi.

9. Terasering adalah teras pada lahan miring yang digunakan untuk menahan gelombang erosi agar tidak terjadi lebih cepat. Pembuatan terasering biasanya dilakukan pada lahan dengan tingkat kemiringan yang sangat tinggi.

10. Cara yang paling baik yang dapat dilakukan pada saat ini adalah dengan penanaman hutan-hutan bakau ditepi pantai, reboisasi, dan pembuatan teras pada lahan miring (terasering).

I. Penutup

1. Modul pasca UKG (Ujian Kompetensi Guru) yang membahas tentang proses erosi partikel batuan di permukaan bumi ini diharapkan dapat berguna bagi Anda dalam mengembangkan kompetensi dan meningkatkan kemampuan Anda pada level berikutnya.
2. Anda dapat mengembangkan materi-materi berkaitan proses erosi partikel batuan di permukaan bumi yang tidak ada dalam modul ini. Modul ini masih butuh pengembangan sesuai dengan perkembangan ilmu pengetahuan dari hari ke hari.
3. Modul ini juga diharapkan akan membantu anda dalam belajar secara mandiri dan mengukur kemampuan diri sendiri sehingga nantinya anda dapat meningkatkan kemampuan ke level berikutnya.

J. Evaluasi

Pada bagian evaluasi ini, ada 3 jenis latihan yang akan diberikan untuk mengukur kemampuan Anda, yaitu sebagai berikut.

1. Kognitif Skill

- a. Jelaskan secara tepat dan singkat tentang proses erosi partikel batuan di permukaan bumi!
- b. Jelaskan secara tepat dan singkat dampak erosi dan cara pencegahannya!

2. Psikomotor Skill

Jelaskan tentang aplikasi proses erosi partikel batuan di permukaan bumi yang terjadi di Indonesia, sesuai dengan penjelasan yang sudah dibahas pada materi sebelumnya.

3. Attitude Skill

Sebagai sebuah tim dalam melakukan proses pembelajaran yang membahas tentang proses erosi partikel batuan di permukaan bumi, bagaimana cara Anda menanamkan rasa ketakwaan kepada Tuhan yang Maha Esa, rasa tanggung jawab, kebersamaan, dan kedisiplinan.

I. Daftar Pustaka

- Arsyad, S. 1989. *Konservasi Tanah dan Air*. Bogor: IPB Press.
- Asdak, Chay. 1995. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta: UGM Press.
- Kartosapoetra. 1985. *Teknologi Konservasi Tanah dan Air*. Jakarta: Bumi Aksara.
- Kartasapoetra, A. G. 1991. *Hama Hasil Tanaman dalam Gudang*. Jakarta: Rineka Cipta Jakarta.G.R. Foster & L.D.
- Notohadiprawiro. T. 1998. *Tanah dan Lingkungan*. Jakarta: Direktorat Jendral Departemen Pendidikan dan Kebudayaan.
- Nurpilihan, Bafdal. 2000. "Pengaruh Naungan Terhadap Laju Erosi Pada Berbagai Kemiringan Pola Tanam Dan Kermiringan Lahan". (*Laporan Penelitian*). Jawa Barat: Lembaga Penelitian UNPAD.

KEGIATAN PEMBELAJARAN 4

Sifat Fisik dan Karakteristik Detonasi Bahan Peledak

A. Tujuan Pembelajaran

Dengan diberikan modul tentang sifat fisik dan karakteristik detonasi bahan peledak, guru dapat mengetahui dan memahami sifat fisik, karakteristik, klasifikasi, dan jenis serta tipe bahan peledak.

B. Indikator Pencapaian Kompetensi

1. Guru dapat mengetahui dan memahami tentang definisi peledakan dan sifat fisik bahan peledak.
2. Guru dapat mengetahui dan memahami karakteristik detonasi dan klasifikasi bahan peledak.
3. Guru dapat mengetahui dan memahami jenis dan tipe bahan peledak.

C. Uraian Materi

1. Definisi Peledakan

Peledakan merupakan salah satu kegiatan dalam penambangan yang bertujuan untuk memberaikan batuan atau material, dimana bahannya terdiri dari bahan kimia yang mampu menciptakan ledakan.

Kegiatan peledakan biasanya dilakukan apabila material terlalu sulit untuk digali sehingga perlu diberaikan terlebih dahulu. Pemberaian material galian dapat memudahkan dalam melakukan penambangan dan pengangkutan. Untuk melakukan peledakan digunakan bahan peledak yang disesuaikan dengan kebutuhan.

Bahan peledak komersil yang saat ini banyak diproduksi dan dijual berasal dari penemuan dan pengembangan *black powder*. *Black powder* merupakan campuran antara $\text{NaNO}_3 + \text{C} + \text{S}$. Penemu *black powder* itu sendiri sampai saat ini belum diketahui. Catatan atau dokumen mengenai salt pater atau nitrat yang merupakan bahan dasar pembuatan *black powder* pertama kali ditemukan pada abad ke-13 dan ditulis oleh orang Arab. Diperkirakan salt pater sudah digunakan oleh bangsa China sejak

abad ke-10. Bahan peledak mulai disebarluaskan pada tahun 1242 oleh seorang biarawan Inggris bernama Roger Balcom.

Bahan peledak yang dimaksudkan adalah bahan peledak kimia didefinisikan sebagai suatu campuran bahan kimia senyawa tunggal atau campuran bentuk padat, cair, atau campuran padat dan cair yang apabila diberi aksi panas, benturan, gesekan atau ledakan awal akan mengalami suatu reaksi kimia eksotermis sangat cepat dan hasil reaksinya sebahagian atau seluruhnya berbentuk gas yang disertai panas dan tekanan tinggi.

Panas dari gas yang dihasilkan reaksi peledakan sekitar 4000°C.

Menurut *Langefors* dan *Kihlstrom*, tekanan reaksi peledakan tersebut bisa mencapai lebih dari 100.000 atm setara dengan 101.500 kg/cm² atau 9.850 MPa. Energy yang ditimbulkan oleh reaksi peledakan sekitar 25.000 MW atau 5.950.000 Kcal/s. Energy ini dihasilkan oleh reaksi peledakan yang sangat cepat yaitu berkisar antara 2.500 – 7.500 m/s, namun kekuatan energi tersebut hanya beberapa saat saja dan akan berkurang seiring dengan perkembangan runtuhannya.

Bahan peledak (*explosive*) terdiri dari tiga campuran bahan utama, yaitu:

- a. Zat kimia yang mudah bereaksi yang berfungsi sebagai bahan peledak dasar (eksplosive best) misalnya: NG (Nitrogilisherin, C₃H₅(NO₃)₃, TNT (Trinitrowena, C₆H₂CH₃(NO₃)₃, Etilene Glyolnitate C₃H₄(NO₃)₂, dan sebagainya.
- b. Oksidator berfungsi memberikan oksigen misalnya KClO₃, NaClO₃, NH₄NO₃, dan sebagainya.
- c. Zat penyerap/tambahan misalnya serbuk kayu, serbuk batubara, chalt (CaCo₃) kiesel guhr (SiO₂), dan sebagainya

2. Sifat Fisik Bahan Peledak

Sifat fisik bahan peledak merupakan suatu kenampakan nyata dari sifat bahan peledak ketika menghadapi perubahan kondisi lingkungan sekitarnya. Kenampakan nyata ini harus diamati dan dikatehui tanda-

tandanya oleh juru ledak untuk menjustifikasikan suatu bahan peledak yang rusak, rusak tapi masih bisa dipakai dan tidak rusak. Kualitas bahan peledak umumnya akan menurun seiring dengan derajat kerusakannya, artinya suatu bahan peledak yang rusak, energy yang dihasilkannya akan berkurang.

a. Densitas

Densitas adalah angka yang menyatakan perbandingan berat per volume. Densitas bahan peledak dapat didefinisikan dengan beberapa pengertian sebagai berikut.

- 1) Densitas bahan peledak adalah berat bahan peledak per unit volume, yang dinyatakan dalam gr/cc.
- 2) Densitas pengisian (loading density) adalah berat bahan peledak per meter kolom lubang tembok, dinyatakan dalam kg/m.
- 3) Cartridge count atau stick count adalah jumlah cartridge (bahan peledak berbentuk pasta yang sudah dikemas) dengan ukuran $1\frac{1}{4}$ " x 8" di dalam kotak seberat 50 lb atau 140 dibagi berat jenis bahan peledak.

Densitas bahan peledak berkisar antara 0,6 – 1,7 gr/cc, contohnya ANFO, memiliki densitas 0,8 – 0,85 gr/cc. Bahan peledak yang memiliki densitas tinggi akan menghasilkan kecepatan detonasi dan tekanan yang tinggi. Untuk fragmentasi hasil peledakan berukuran kecil, digunakan bahan peledak dengan densitas tinggi, dan sebaliknya untuk fragmentasi hasil peledakan berukuran besar digunakan bahan peledak dengan densitas besar. Untuk meledakkan batuan massif atau keras, digunakan bahan peledak dengan densitas tinggi dan untuk batuan yang berstruktur atau lunak digunakan bahan peledak dengan densitas rendah.

Densitas pengisian ditentukan dengan cara perhitungan volume silinder, karena lubang ledak berbentuk silinder yang tingginya sesuai dengan kedalaman lubang. Contoh perhitungan sebagai berikut.

- 1) Digunakan diameter lubang ledak 4 inci = 102 mm

- 2) Diambil tinggi lubang (t) 1 m, maka volumenya = $p r^2 t = p \times 1$
= 0,00817 m³/m = 8.170 cm³/m
- 3) Bila digunakan ANFO dengan densitas 0,80 gr/cc, maka volume ANFO per meter ketinggian lubang = = 6.536 gr/m = 6,53 kg/m

Setelah diketahui muatan bahan peledak per meter lubang ledak, maka jumlah muatan bahan peledak di dalam lubang ledak adalah perkalian tinggi total lubang yang terisi bahan peledak dengan densitas pengisian tersebut. Misalnya untuk tinggi lubang yang harus diisi bahan peledak 9 m dan densitas pengisian 6,53 kg/m, maka muatan bahan peledak di dalam lubang tersebut adalah 9 m x 6,53 kg/m = 58,77 kg/lubang.

Perhitungan di atas membutuhkan waktu dan tidak praktis bila diterapkan di lapangan. Untuk itu dibuat tabel yang menunjukkan densitas pengisian dengan variasi diameter lubang ledak dan densitas bahan peledak seperti terlihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Densitas pengisian untuk berbagai diameter lubang ledak dan densitas bahan peledak dalam gr/cc

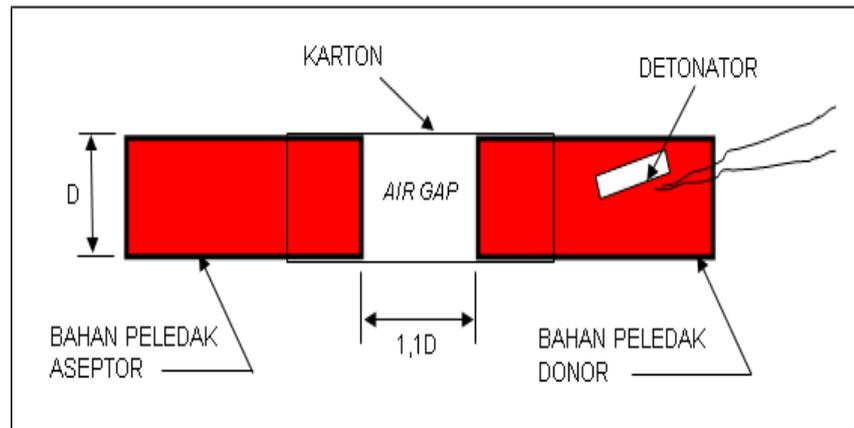
Diameter Lubang Ledak		Densitas Bahan Peledak, gr/cc								
mm	Inci	0.70	0.80	0.85	0.90	1.00	1.15	1.20	1.25	1.30
76	3.00	3.18	3.63	3.86	4.08	4.54	5.22	5.44	5.67	5.90
89	3.50	4.35	4.98	5.29	5.60	6.22	7.15	7.47	7.78	8.09
102	4.00	5.72	6.54	6.95	7.35	8.17	9.40	9.81	10.21	10.62
108	4.25	6.41	7.33	7.79	8.24	9.16	10.54	10.99	11.45	11.91
114	4.50	7.14	8.17	8.68	9.19	10.21	11.74	12.25	12.76	13.27
121	4.75	8.05	9.20	9.77	10.35	11.50	13.22	13.80	14.37	14.95
127	5.00	8.87	10.13	10.77	11.40	12.67	14.57	15.20	15.83	16.47
130	5.13	9.29	10.62	11.28	11.95	13.27	15.26	15.93	16.59	17.26
140	5.50	10.78	12.32	13.08	13.85	15.39	17.70	18.47	19.24	20.01
152	6.00	12.70	14.52	15.42	16.33	18.15	20.87	21.78	22.68	23.59
159	6.25	13.90	15.88	16.88	17.87	19.86	22.83	23.83	24.82	25.81
165	6.50	14.97	17.11	18.18	19.24	21.38	24.59	25.66	26.73	27.80
178	7.00	17.42	19.91	21.15	22.40	24.88	28.62	29.86	31.11	32.35
187	7.38	19.23	21.97	23.34	24.72	27.46	31.58	32.96	34.33	35.70
203	8.00	22.66	25.89	27.51	29.13	32.37	37.22	38.84	40.46	42.08
210	8.25	24.25	27.71	29.44	31.17	34.64	39.83	41.56	43.30	45.03

229	9.00	28.83	32.95	35.01	37.07	41.19	47.37	49.42	51.48	53.54
251	9.88	34.64	39.58	42.06	44.53	49.48	56.90	59.38	61.85	64.33
270	10.63	40.08	45.80	48.67	51.53	57.26	65.84	68.71	71.57	74.43
279	11.00	42.80	48.91	51.97	55.02	61.14	70.31	73.36	76.42	79.48
286	11.25	44.97	51.39	54.61	57.82	64.24	73.88	77.09	80.30	83.52
311	12.25	53.18	60.77	64.57	68.37	75.96	87.36	91.16	94.96	98.75
349	13.75	66.96	76.53	81.31	86.10	95.66	110.01	114.79	119.58	124.36
381	15.00	79.81	91.21	96.91	102.61	114.01	131.11	136.81	142.51	148.21
432	17.00	102.60	117.26	124.59	131.92	146.57	168.56	175.89	183.22	190.55

b. Sensitifitas

Sensitifitas adalah sifat yang menunjukkan tingkat kemudahan inisiasi bahan peledak atau ukuran minimal booster yang diperlukan. Sifat sensitive bahan peledak tergantung pada komposisi bahan kimia peledak, diameter, temperature dan tekanan ambient. Untuk menguji sensitifitas bahan peledak dapat digunakan cara yang sederhana yang disebut air gap test.

- 1) Siapkan 2 buah bahan peledak berbentuk cartridge berdiameter sama, misalnya "D"
- 2) Dekatkan kedua bahan peledak tersebut hingga berjarak 1,1 D, kemudian gabungkan keduanya menggunakan selongsong terbuat dari karton (lihat Gambar 2.1).
- 3) Pasang detonator No. 8 atau detonating cord 10 gr/m pada salah satu bahan peledak (disebut donor), kemudian ledakkan.
- 4) Apabila bahan peledak yang satunya lagi (disebut aseptor) turut meledak, maka dikatakan bahwa bahan peledak tersebut sensitif; sebaliknya, bila tidak meledak berarti bahan peledak tersebut tidak sensitif.



Gambar 4.1. Pengujian sensitifitas bahan peledak dengan cara air gap

Bahan peledak ANFO tidak sensitif terhadap detonator No. 8 dan untuk meledak-kannya diperlukan primer (yaitu booster yang sudah dilengkapi detonator No. 8 atau detonating cord 10 gr/m) di dalam lubang ledak. Oleh sebab itu ANFO disebut bahan peledak peka (sensitif) terhadap primer atau “peka primer”.

c. Ketahanan Terhadap Air (*Water Resistance*)

Ketahanan bahan peledak terhadap air adalah kemampuan suatu bahan peledak untuk melawan air disekitarnya tanpa kehilangan sensitifitas atau efisiensi. Suatu bahan peledak dikategorikan bahan peledak yang memiliki ketahanan terhadap air yang buruk atau “poor” apabila dapat larut dalam air dalam waktu yang pendek. Bahan peledak yang dikategorikan bahan peledak sangat baik atau “*excellent*” apabila bahan peledak tidak larut dalam air.

Contoh bahan peledak yang memiliki ketahanan terhadap air yang buruk adalah ANFO. Contoh bahan peledak yang memiliki ketahanan terhadap air yang sangat baik adalah bahan peledak jenis emulsi, wattergel atau slurries, dan bahan peledak berbentuk cartridge. Apabila dalam lubang tembak terdapat air dan bahan peledak yang digunakan adalah ANFO, umumnya digunakan

selubung plastik khusus untuk membungkus ANFO sebelum dimasukkan ke dalam lubang ledak.

d. Kestabilan Kimia (*Chemical Stability*)

Kestabilan kimia bahan peledak adalah kemampuan untuk tidak berubah secara kimia dan tetap mempertahankan sensitifitas selama dalam penyimpanan dalam gudang dengan kondisi tertentu. Contoh bahan peledak yang tidak stabil adalah bahan peledak berbasis nitrogliserin atau NG-based explosive.

Faktor–faktor yang mempercepat ketidak-stabilan kimiawi antara lain panas, dingin, kelembaban, kualitas bahan baku, kontaminasi, pengepakan, dan fasilitas gudang bahan peledak. Tanda-tanda kerusakan bahan peledak dapat berupa kenampakan kristalisasi, penambahan

e. Karakteristik Gas (*Fumes Characteristics*)

Detonasi bahan peledak akan menghasilkan fume yaitu gas-gas baik yang tidak beracun (non-toxic) maupun yang mengandung racun (toxic). Gas hasil peledakan yang tidak beracun seperti uap air (H₂O), karbondioksida (CO₂), dan nitrogen (N₂). Gas hasil peledakan yang beracun antara lain nitrogen monoksida (NO), nitrogen oksida (NO₂), dan karbon monoksida (CO). pada tambang bawah tanah gas-gas tersebut perlu mendapatkan perhatian khusus, yaitu dengan system ventilasi yang memadai. Pada tambang terbuka, kewaspadaan perlu ditingkatkan apabila gerakan angin rendah.

Di lapangan, gas beracun hasil peledakan sulit untuk dihindari akibat beberapa factor, antara lain:

- a. Pencampuran ramuan bahan peledak yang meliputi unsure oksida dan bahan bakar (*fuel*) tidak seimbang sehingga tidak mencapai zero oxygen balance.
- b. Letak primer yang tidak tepat.

- c. Kurang tertutup karena pemasangan stemming kurang padat dan kuat.
- d. Adanya air dalam lubang ledak.
- e. System waktu tunda (*delay time system*) tidak tepat dan
- f. Kemungkinan adanya reaksi antara bahan peledak dengan batuan (sulfide atau karbonat). Fumes hasil peledakan memperlihatkan warna yang berbeda yang dapat dilihat sesaat setelah peledakan terjadi, di antaranya sebagai berikut.
 - 1) Gas *cokelat-orange* adalah fume dari gas NO hasil reaksi bahan peledak basah karena lubang ledak berair.
 - 2) Gas berwarna putih diduga kabut dari uap air (H₂O) yang juga menandakan terlalu banyak air di dalam lubang ledak. Anas yang luar biasa merubah fase cair menjadi kabut.
 - 3) Warna kehitaman berkemungkinan dihasilkan oleh pembakaran yang tidak sempurna.

3. Karakteristik Detonasi Bahan Peledakan

Karakter detonasi bahan peledak menggambarkan perilaku suatu bahan peledak ketika meledak untuk menghancurkan batuan.

- a. Kekuatan (*Strength*) Bahan Peledak Kekuatan bahan peledak berkaitan dengan energy yang mampu dihasilkan oleh suatu bahan peledak. Kekuatan bahan peledak tergantung pada campuran kimiawi yang menghasilkan energy panas ketika terjadi inisiasi.
 - 1) Kekuatan berat absolute (*absolute weight strength*)
Merupakan energy panas maksimum bahan peledak teoritis didasarkan pada campuran kimiawinya.
 - 2) Kekuatan berat relative (*relative weight strength*)
Adalah kekuatan bahan peledak (dalam berat) dibanding dengan ANFO.
 - 3) Kekuatan volume absolute (*absolute bulk strength*)
Merupakan energy per unit volume.
 - 4) Kekuatan volume relatif
- b. Kecepatan Detonasi (*Detonation Velocity*)

Kecepatan detonasi disebut juga *velocity of detonation* (VoD) merupakan sifat bahan peledak yang sangat penting. Kecepatan detonasi diartikan sebagai laju rambatan gelombang detonasi sepanjang bahan peledak dengan satuan millimeter per sekon (m/s) atau *feet per second* (fps).

Kecepatan detonasi diukur dalam kondisi sebagai berikut.

1) Terkurung

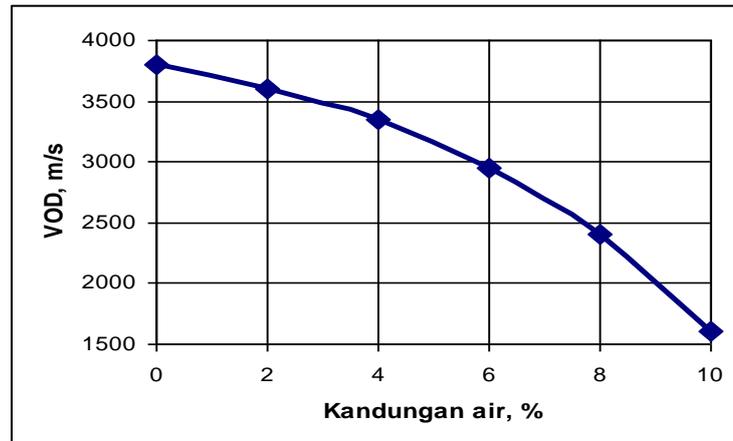
Kecepatan detonasi terkurung adalah ukuran kecepatan gelombang detonasi (*detonation wave*) yang merambat melalui kolom bahan peledak di dalam lubang ledak atau ruang terkurung lainnya.

2) Tidak Terkurung

Kecepatan detonasi tidak terkurung menunjukkan kecepatan detonasi bahan peledak apabila bahan peledak tersebut diledakkan dalam keadaan terbuka.

Kecepatan detonasi bahan peledak harus melebihi kecepatan suara massa batuan (*impedance matching*) sehingga menimbulkan energy kejut (*shock energy*) yang mampu memecahkan batuan. Untuk peledakan pada batuan keras dipakai bahan peledak yang mempunyai kecepatan detonasi tinggi (sifat *shattering effect*) dan pada batuan lemah dipakai bahan peledak yang kecepatan detonasi rendah (sifat *heaving effect*).

Nilai kecepatan detonasi tergantung pada diameter, densitas, dan ukuran partikel bahan peledak. Bahan peledak komposit (non-ideal) tergantung pada derajat pengurungannya (*confinement degree*). Kecepatan detonasi tidak terkurung umumnya 70 – 80% kecepatan detonasi terkurung. Kecepatan detonasi bahan peledak komersil bervariasi antara 1500 – 8500 m/s atau sekitar 5000 – 25000 fps. Kecepatan detonasi ANFO antara 2500 – 4500 m/s, tergantung pada diameter lubang ledak.



Gambar 4.2 Penurunan kecepatan detonasi ANFO akibat kandungan air

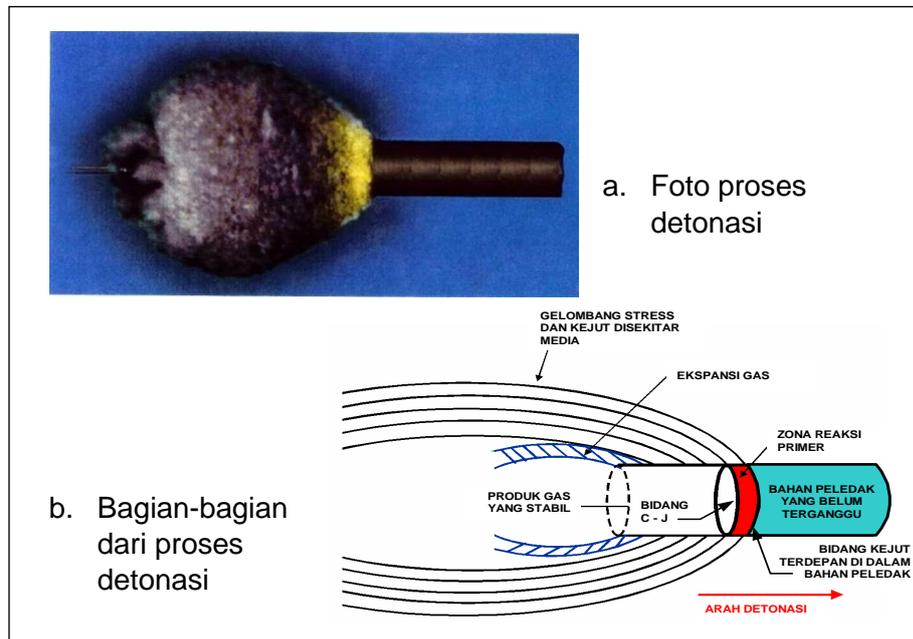
c. Tekanan Detonasi (*Detonation Pressure*)

Tekanan detonasi adalah tekanan yang terjadi di sepanjang zona reaksi peledakan sehingga terbentuk reaksi kimia seimbang sampai ujung bahan peledak, yang disebut bidang Chapman-Jouguet (C-J plane) dan umumnya mempunyai satuan dalam MPa. Tekanan detonasi merupakan fungsi dari kecepatan detonasi dan densitas bahan peledak. Dari penelitian oleh Cook menggunakan foto sinar-x diperoleh formulasi tekanan detonasi yaitu, sebagai berikut.

Di mana:

- PD = tekanan detonasi, kPa
- ρ_e = densitas handak, gr/cc
- VoD = kecep detonasi, m/s

ANFO dengan densitas 0,85 gr/cc dan VoD 3700 m/s memiliki PD = 2900 MPa



Gambar 4.3 Proses terbentuknya detonasi

d. Tekanan Pada Lubang Ledak (*Borehole Pressure*)

Gas hasil detonasi bahan peledak akan memberikan tekanan terhadap dinding lubang ledak dan terus berekspansi menembus media untuk mencapai keseimbangan. Keseimbangan tekanan gas tercapai setelah gas tersebut terbebaskan, yaitu ketika telah mencapai udara luar. Biasanya tekanan gas pada dinding lubang ledak sekitar 50% dari tekanan detonasi.

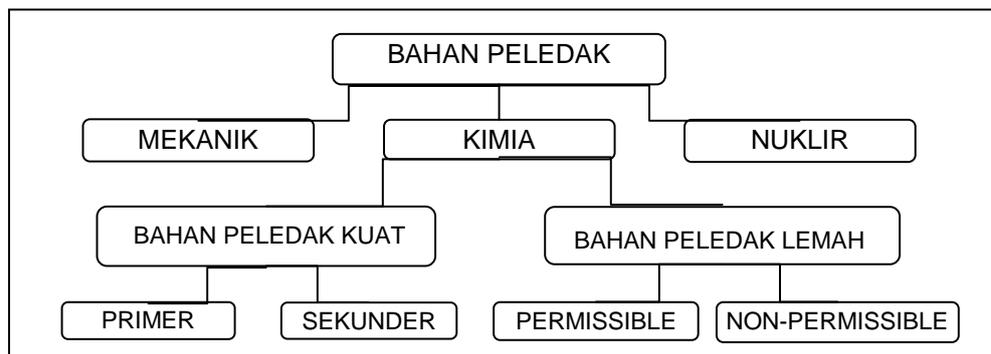
Volume dan laju kecepatan gas yang dihasilkan peledakan akan mengontrol tumpukan dan lemparan fragmen batuan. Makin besar tekanan pada dinding lubang ledak akan menghasilkan jarak lemparan tumpukan hasil peledakan semakin jauh.



Gambar 4.4 Gerakan batuan akibat tekanan gas hasil peledakan

4. Klasifikasi Bahan Peledak

Bahan peledak diklasifikasikan berdasarkan sumber energinya menjadi bahan peledak mekanik, kimia dan nuklir seperti terlihat pada Gambar 4.5 (J.J. Manon, 1978). Karena pemakaian bahan peledak dari sumber kimia lebih luas dibanding dari sumber energi lainnya, maka pengklasifikasian bahan peledak kimia lebih intensif diperkenalkan. Pertimbangan pemakaiannya antara lain, harga relatif murah, penanganan teknis lebih mudah, lebih banyak variasi waktu tunda (*delay time*) dan dibanding nuklir tingkat bahayanya lebih rendah. Oleh sebab itu modul ini hanya akan memaparkan bahan peledak kimia.



Gambar 4.5 Klasifikasi bahan peledak menurut (J.J. Manon, 1978)

Bahan peledak *permissible* dalam klasifikasi di atas perlu dikoreksi karena tidak semua merupakan bahan peledak lemah. Bahan peledak

permissible digunakan khusus untuk memberaikan batubara ditambang batubara bawah tanah dan jenisnya adalah blasting agent yang tergolong bahan peledak kuat.

Sampai saat ini terdapat berbagai cara pengklasifikasian bahan peledak kimia, namun pada umumnya kecepatan reaksi merupakan dasar pengklasifikasian tersebut. Contohnya antara lain sebagai berikut 2 sebagai berikut.

- a. Menurut R.L. Ash (1990), bahan peledak kimia dibagi menjadi:
 - 1) Bahan peledak kuat (*high explosive*) bila memiliki sifat detonasi atau meledak dengan kecepatan reaksi antara 5.000 – 24.000 fps (1.650 – 8.000 m/s)
 - 2) Bahan peledak lemah (*low explosive*) bila memiliki sifat deflagrasi atau terbakar kecepatan reaksi kurang dari 5.000 fps (1.650 m/s).
- b. Menurut Anon (1977), bahan peledak kimia dibagi menjadi 3 jenis seperti terlihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 **Klasifikasi Bahan Peledak menurut Anon (1977)**

JENIS	REAKSI	CONTOH
Bahan peledak lemah (<i>low explosive</i>)	<i>Deflagrate</i> (terbakar)	<i>black powder</i>
Bahan peledak kuat (<i>high explosive</i>)	<i>Detonate</i> (meledak)	NG, TNT, PETN
<i>Blasting agent</i>	<i>Detonate</i> (meledak)	ANFO, slurry, emulsi

5. Jenis dan Tipe Bahan Peledak

a. Agen Peledakan

Agen peledakan adalah campuran bahan-bahan kimia yang tidak diklasifikasikan sebagai bahan peledak, di mana campuran tersebut terdiri dari bahan bakar (fuel) dan oksida. Pada udara terbuka, agen peledakan tersebut tidak dapat diledakkan oleh detonator (blasting capsule) nomor 8. Agen peledakan disebut juga dengan nama nitrocarbonitrate, karena kandungan utamanya nitrat sebagai oksidator yang diambil dari ammonium nitrat (NH₄NO₃) dan karbon sebagai bahan bakar. Kadang-kadang ditambah bahan kimia lain,

baik yang bukan bahan peledak, misalnya aluminium atau ferrosilicon, maupun sebagai bahan peledak, yaitu TNT, dan membentuk bahan peledak baru.

Keuntungan agen peledakan adalah aman dalam pengangkutan, penyimpanan, dan penanganannya murah. Agen peledakan mempunyai ketahanan terhadap air buruk atau mudah larut dalam air, kecuali sudah diubah kebentuk bahan peledak slurry atau watergel. Sangat sukar menentukan secara tepat sifat agen peledakan karena sifat tersebut akan berubah tergantung dari ukuran butir bahan, densitas, derajat pengurungan (confined degree), diameter muatan, kondisi air, coupling ratio, dan jumlah primer. Pada umumnya produsen agen peledakan akan mencantumkan spesifikasinya sesuai dengan kondisi normal, termasuk batas waktu kadaluarsanya.

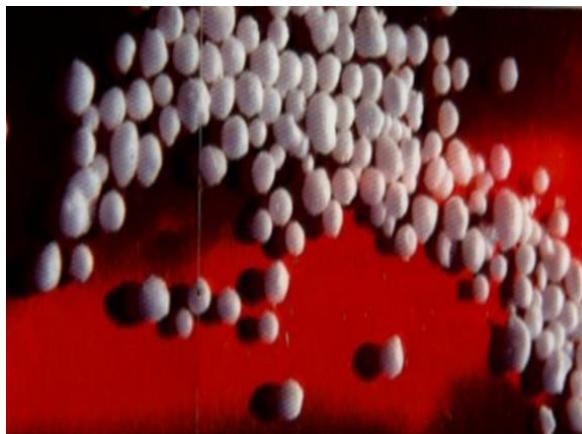
1) Ammonium Nitrat (AN)

Ammonium nitrat (NH_4NO_3) merupakan bahan dasar yang berperan sebagai penyuplai oksida pada bahan peledak. Berwarna putih seperti garam dengan titik lebur sekitar $169,6^\circ \text{C}$. Ammonium nitrat adalah zat penyokong proses pembakaran yang sangat kuat, namun ia sendiri bukan zat yang mudah terbakar dan bukan pula zat yang berperan sebagai bahan bakar sehingga pada kondisi biasa tidak dapat dibakar. Sebagai penyuplai oksigen, maka apabila suatu zat yang mudah terbakar dicampur dengan AN akan memperkuat intensitas proses pembakaran dibanding dengan bila zat yang mudah terbakar tadi dibakar pada kondisi udara normal. Udara normal atau atmosfer hanya mengandung oksigen 21%, sedangkan AN mencapai 60%. Bahan lain yang serupa dengan AN dan sering dipakai oleh tambang kecil adalah potassium nitrat (KNO_3).

Ammonium nitrat tidak digolongkan ke dalam bahan peledak. Namun bila dicampur atau diselubungi oleh hanya beberapa persen saja zat-zat yang mudah terbakar, misalnya bahan bakar

minyak (solar, dsb), serbuk batubara, atau serbuk gergaji, maka akan memiliki sifat-sifat bahan peledak dengan sensitifitas rendah. Walaupun banyak tipe-tipe AN yang dapat digunakan sebagai agen peledakan, misalnya pupuk urea, namun AN yang sangat baik adalah yang berbentuk butiran dengan porositas tinggi, sehingga dapat membentuk komposisi tipe ANFO. Sifat-sifat ammonium nitrat penting untuk agen peledakan sebagai berikut:

- a) Densitas: butiran berpori 0,74 – 0,78 gr/cc (untuk agen peledakan) butiran tak berpori 0.93 gr/cc (untuk pupuk urea)
- b) Porositas: mikroporositas 15%
makro plus mikroporositas 54% butiran tak berpori mempunyai porositas 0 – 2%
- c) Ukuran partikel: ukuran yang baik untuk agen peledakan antara 1 – 2 mm
- d) Tingkat terhadap air kelarutan: bervariasi tergantung temperatur, yaitu:
 - (1) 5° C tingkat kelarutan 57,5% (berat)
 - (2) 10° C tingkat kelarutan 60% (berat)
 - (3) 20° C tingkat kelarutan 65,4% (berat)
 - (4) 30° C tingkat kelarutan 70% (berat)
 - (5) 40° C tingkat kelarutan 74% (berat)



Gambar 4.6 Butiran ammonium nitrat berukuran sebenarnya 2 – 3 mm

2) ANFO

ANFO adalah singkatan dari ammonium nitrat (AN) sebagai zat pengoksidasi dan fuel oil (FO) sebagai bahan bakar. Setiap bahan bakar berunsur karbon, baik berbentuk serbuk maupun cair, dapat digunakan sebagai pencampur dengan segala keuntungan dan kerugiannya. Pada tahun 1950-an di Amerika masih menggunakan serbuk batubara sebagai bahan bakar dan sekarang sudah diganti dengan bahan bakar minyak, khususnya solar.

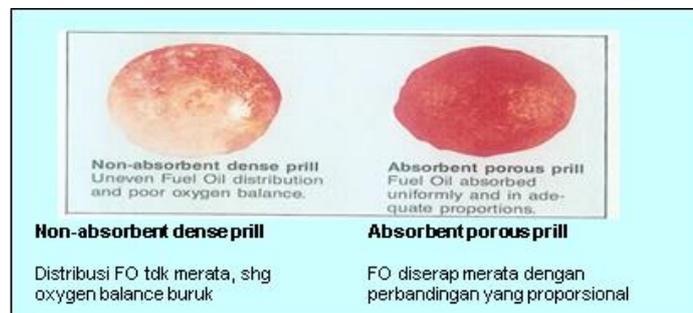
Bila menggunakan serbuk batubara sebagai bahan bakar, maka diperlukan preparasi terlebih dahulu agar diperoleh serbuk batubara dengan ukuran seragam. Beberapa kelemahan menggunakan serbuk batubara sebagai bahan bakar, yaitu:

- a) preparasi membuat bahan peledak ANFO menjadi mahal,
- b) tingkat homogenitas campuran antara serbuk batubara dengan AN sulit dicapai,
- c) sensitifitas kurang, dan
- d) debu serbuk batubara berbahaya terhadap pernafasan pada saat dilakukan pencampuran.
- e) Menggunakan bahan bakar minyak selain solar atau minyak disel, misalnya minyak tanah atau bensin dapat juga dilakukan, namun beberapa kelemahan harus dipertimbangkan, yaitu:
 - f) Akan menambah derajat sensitifitas, tapi tidak memberikan penambahan kekuatan (*strength*) yang berarti, dan
 - g) Mempunyai titik bakar rendah, sehingga akan menimbulkan resiko yang sangat berbahaya ketika dilakukan pencampuran dengan AN atau pada saat operasi pengisian ke dalam lubang ledak. Bila akan digunakan bahan bakar minyak sebagai FO pada ANFO harus mempunyai titik bakar lebih besar dari 61⁰ C.

Penggunaan solar sebagai bahan bakar lebih menguntungkan dibanding jenis FO yang karena beberapa alasan, yaitu:

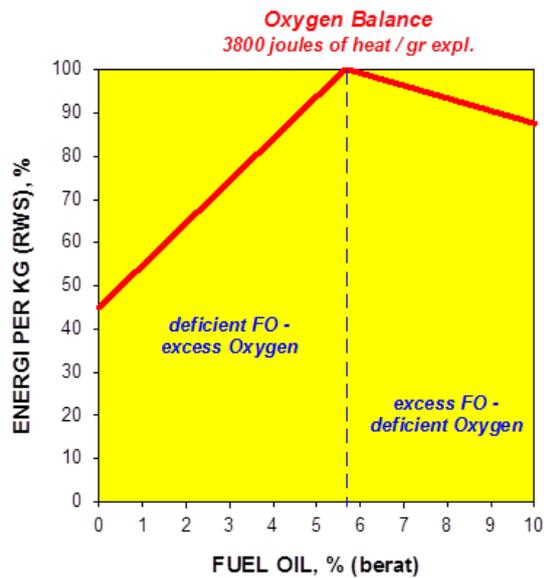
- a) Harganya relatif murah,
- b) Pencampuran dengan AN lebih mudah untuk mencapai derajat homogenitas,
- c) Karena solar mempunyai viskositas relatif lebih besar dibanding FO cair lainnya, maka solar tidak menyerap ke dalam butiran AN tetapi hanya menyelimuti bagian permukaan butiran AN saja, dan
- d) Karena viskositas itu pula menjadikan ANFO bertambah densitasnya.

Untuk menyakinkan bahwa campuran antara An dan FO sudah benar-benar homogen dapat ditambah zat pewarna, biasanya oker. Gambar 4.7 memperlihatkan butiran AN yang tercampur dengan FO secara merata (homogen) dan tidak merata.



Gambar 4.7 Kenampakan campuran butiran AN dan FO

Komposisi bahan bakar yang tepat, yaitu 5,7% atau 6%, dapat memaksimumkan kekuatan bahan peledak dan meminimumkan fumes. Artinya pada komposisi ANFO yang tepat dengan AN = 94,3% dan FO = 5,7% akan diperoleh zero oxygen balance. Kelebihan FO disebut dengan overfuelled akan menghasilkan reaksi peledakan dengan konsentrasi CO berlebih, sedangkan bila kekurangan FO atau underfuelled akan menambah jumlah NO₂. Gambar 4.8 grafik yang memperlihatkan hubungan antara persentase FO dan RWS dari ANFO.



Gambar 4.8 Hubungan % FO dan %RWS bahan peledak ANFO

Perbandingan AN : FO sebesar 94,3% : 5,7% adalah perbandingan berdasarkan berat. Agar diperoleh perbandingan berat komposisi yang tepat antara FO dengan AN, dapat digunakan Tabel 3.1 yang menggunakan solar berdensitas 0,80 gr/cc sebagai bahan bakar. Dengan memvariasikan kebutuhan akan ANFO, akan diperoleh berapa liter solar yang diperlukan untuk dicampur dengan sejumlah AN.

Tabel 4.3 Jumlah kebutuhan FO untuk memperoleh ANFO

ANFO,kg	BAHAN BAKAR (FO)		AN, kg
	kg	liter	
10	0.57	0.71	9.43
20	1.14	1.43	18.86
30	1.71	2.14	28.29
40	2.28	2.85	37.72
50	2.85	3.56	47.15
70	3.99	4.99	66.01
80	4.56	5.70	75.44
100	5.70	7.13	94.30
200	11.40	14.25	188.60
300	17.10	21.38	282.90
400	22.80	28.50	377.20
500	28.50	35.63	471.50
1000	57.00	71.25	943.00

ANFO yang diproduksi oleh beberapa produsen bahan peledak pada umumnya mempunyai sifat yang sama seperti terlihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Karakteristik ANFO dari beberapa produsen

PROPERTIES		NITRO NOBEL	PT. DAHANA	ICI Australia (ORICA)
Density, gr/cc				
- Poured	:	0,80 - 0,85	--	--
- Blow loaded	:	0,85 - 0,95	--	--
- Bulk	:	--	0,80 - 0,84	0,80 - 1,10
Energy, MJ/kg	:	3,7	--	--
RWS, %	:	100	100 ¹⁾	100 - 113
RBS, %	:			100 - 156
- Poured	:	100	--	--
- Blow loaded	:	116	--	--
VoD, m/s	:	--	3000 - 3300 ²⁾	4100 ³⁾
Min.hole diameter, mm	:		38.1	25
- Poured	:	75	--	--
- Blow loaded	:	25	--	--
Water Resistance	:	Nil	poor	poor
Storage life, Month	:	6	6	6
Trade mark	:	ANFO prilled	Danfo	Nitropril
1	RWS to Blasting Gelatin = 55%			
2	In 25" diameter confined borehole			
3	In 200 mm diameter confined borehole			

3) *Slurries (Waterngels)*

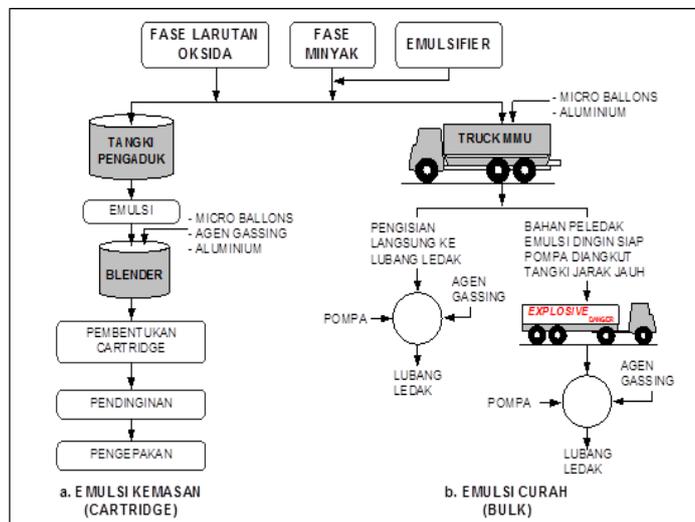
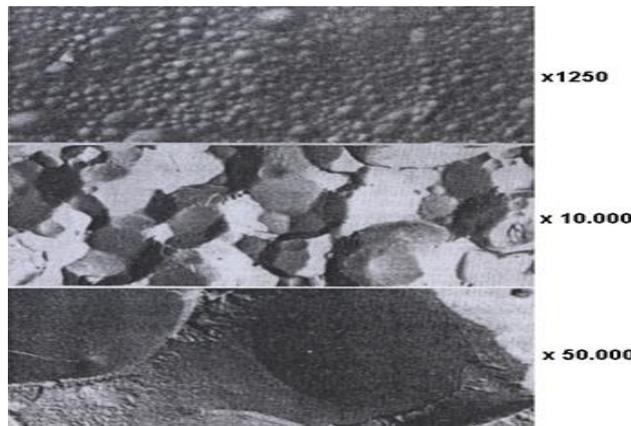
Istilah *slurries* dan *waterngel* adalah campuran oksidator, bahan bakar, dan pemeka (*sensitizer*) di dalam media air yang dikentalkan memakai *gums*, semacam perekat, sehingga campuran tersebut berbentuk jeli atau slurries yang mempunyai ketahanan terhadap air sempurna. Sebagai oksidator bisa dipakai sodium nitrat atau ammonium nitrat, bahan bakarnya adalah solar atau minyak diesel, dan pemekanya bisa berupa bahan peledak atau bukan bahan peledak yang diaduk dalam 15% media air.

Agen peledakan slurry yang mengandung bahan pemeka yang bukan jenis bahan peledak, misalnya solar, sulfur, atau aluminium, tidak peka terhadap detonator (*non-cap sensitive*). Sedangkan slurry yang mengandung bahan pemeka dari jenis bahan peledak, seperti TNT, maka akan peka terhadap detonator (*cap sensitive*). Oleh sebab itu jenis slurry yang disebutkan terakhir bukanlah merupakan agen peledakan, tetapi benar-benar sebagai bahan peledak slurry (*slurry explosive*) dan peka terhadap detonator. Slurry pada umumnya dikenal karena bahan bakar pemekanya, seperti aluminized slurry, TNT slurry, atau smokeless powder slurry.

4) Bahan peledak berbasis emulsi (emulsion based explosives)

Bahan peledak emulsi terbuat dari campuran antara fase larutan oksidator berbutir sangat halus sekitar 0,001 mm (disebut *droplets*) dengan lapisan tipis matrik minyak hidrokarbonat.. Emulsi ini disebut tipe “air-dalam-minyak” (*water-in-oil emulsion*). *Emulsifier* ditambahkan untuk mempertahankan fase emulsi. Dengan memperhatikan butiran oksidator yang sangat halus dapat difahami bahwa untuk membuat emulsi ini cukup sulit, karena untuk mencapai *oxygen balance* diperlukan 6% berat minyak di dalam emulsi harus menyelimuti 94% berat butiran *droplets*. Gambar 3.5 memperlihatkan bentuk struktur emulsi dengan pembesaran 1250 x, 10.000 x dan 50.000 x.

Karena butiran oksidator terlalu halus, maka diperlukan peningkatan kepekaan bahan peledak emulsi dengan menambahkan zat pemeka (*sensitizer*), misalnya agen *gassing* kimia agar terbentuk gelembung udara untuk menimbulkan fenomena *hot spot*. Zat pemeka lainnya adalah *glass microballons* dan kadang-kadang ditambah pula dengan aluminium untuk meningkatkan kekuatan. Konsistensi sifat bahan peledak tergantung pada karakteristik ketahanan fase emulsi dan efek emulsi tersebut terhadap adanya perubahan viskositas yang merupakan fungsi daripada waktu penimbunan.



Gambar 4.9 Atas: Bentuk struktur emulsi (Bamfield and Morrey, 1984)
 Bawah: Pola urutan produksi emulsi

Saat ini, pemakaian bahan peledak emulsi cukup luas diberbagai penambangan bahan galian, baik pemakaian dalam bentuk kemasan cartridge maupun langsung menggunakan *truck Mobile Mixer Unit* (MMU) ke lubang ledak. Tabel 4.5 adalah contoh bahan peledak berbasis emulsi dari beberapa produsen bahan peledak termasuk merk dagang dan sifat-sifatnya, sedang Gambar 4.10 contoh bahan peledak berbasis emulsi berbentuk cartridge dari Dyno Nobel dan Dahana.

Tabel 4.5 Jenis bahan peledak berbasis emulsi

Sifat-sifat	Produsen			
	PT.Dahana	Dyno Nobel	ICI Explosives	Sasol Smx
Merk dagang	<i>Dayagel Magnum</i>	<i>Emulite</i>	<i>Seri Powergel</i>	<i>Seri Emex</i>
Densitas, gr/cc	1,25	1,18 - 1,25	1,16 -1,32	1,12 -1,24
Berat/karton, kg	20	25	20	--
RWS, %	119	111	98 - 118	74 - 186
RBS, %	183	162	140 - 179	97 - 183
VoD, m/s	4600 - 5600	5000 - 5800	4600 - 5600	4600 - 5600
Diameter, mm	25 - 65	25 -80	25 - 65	25 - 65
Ketahanan thd air	Sangat baik	Sangat baik	Sangat baik	Sangat baik
Waktu penyimpanan, thn	1	1	1	1



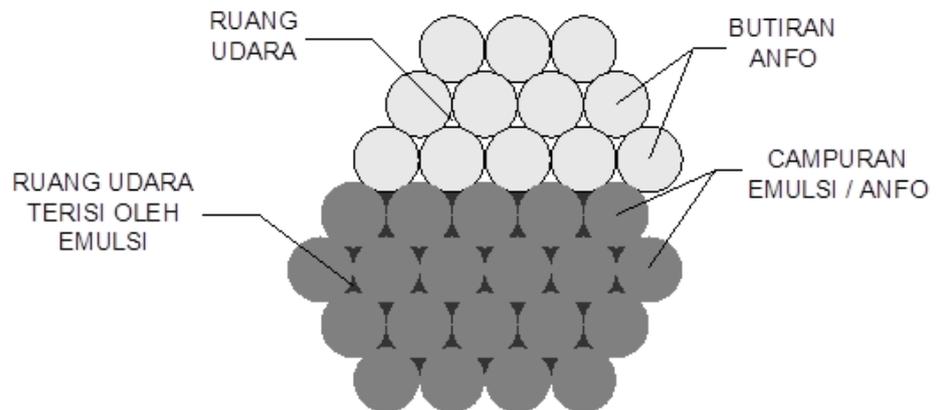
Gambar 4.10 Bahan peledak emulsi berbentuk cartridge buatan Dyno Nobel (ICI-Explosive, 1988)

5) Bahan Peledak *Heavy* ANFO

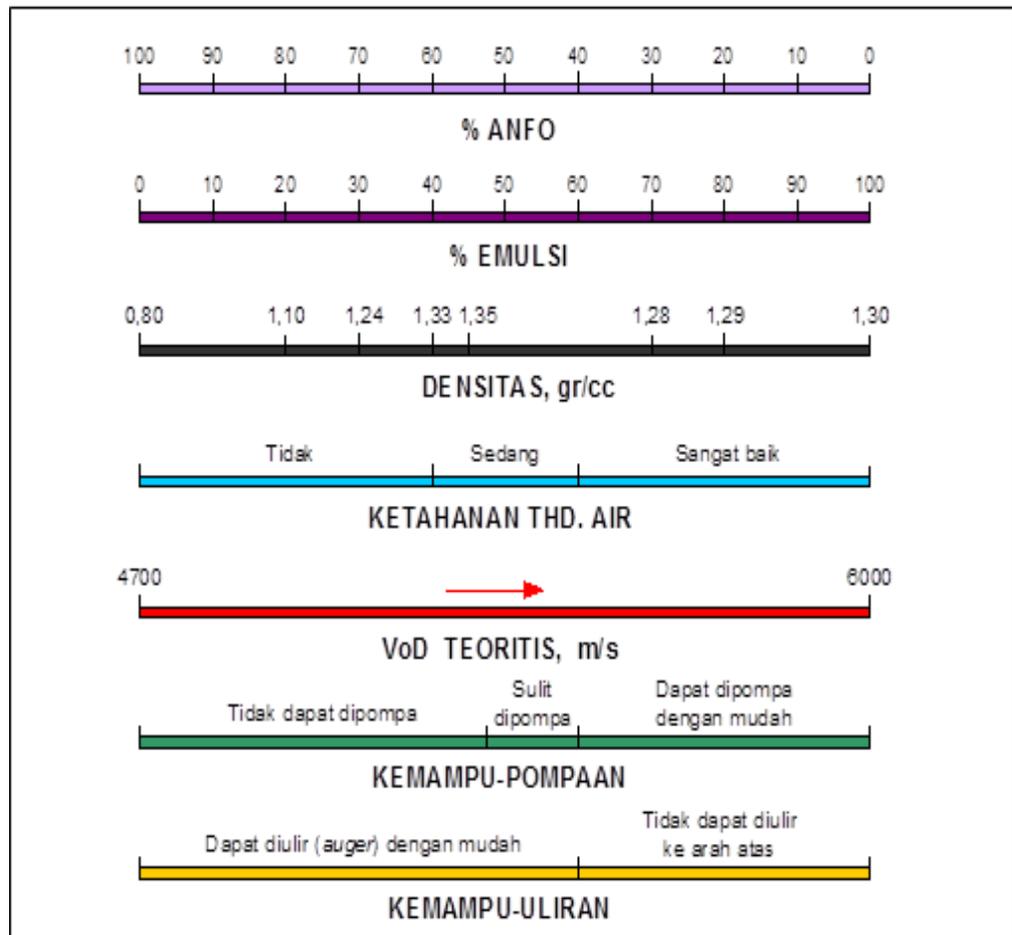
Bahan peledak *heavy* ANFO adalah campuran daripada emulsi dengan ANFO dengan perbandingan yang bervariasi (lihat Gambar 4.11 dan 4.12). Keuntungan dari campuran ini sangat tergantung pada perbandingannya, walaupun sifat atau karakter bawaan dari emulsi dan ANFO tetap mempengaruhinya. Keuntungan penting dari pencampuran ini adalah:

- 1) energi bertambah,
- 2) sensitifitas lebih baik,
- 3) sangat tahan terhadap air,
- 4) memberikan kemungkinan variasi energi di sepanjang lubang ledak.

Cara pembuatan *heavy* ANFO cukup sederhana karena matriks emulsi dapat dibuat di pabrik emulsi kemudian disimpan di dalam tangki penimbunan emulsi. Dari tangki tersebut emulsi dipompakan ke bak *truck Mobile Mixer/Manufacturing Unit* (MMU) yang biasanya memiliki tiga kompartemen. Emulsi dipompakan ke salah satu kompartemen bak, sementara pada dua kompartemen bak yang lainnya disimpan ammonium nitrat dan solar. Kemudian MMU meluncur ke lokasi yang akan diledakkan.



Gambar 4.11 Prinsip campuran emulsi dan ANFO untuk membuat *heavy* ANFO ()



Gambar 4.12 Karakteristik tipe heavy ANFO dengan variasi emulsi dan ANFO (Du Pont, 1986)

Agen peledakan tidak seluruhnya peka primer, tetapi sebagian besar bahan peledak kemasan berbasis emulsi peka detonator. Demikian pula dengan wattergel yang bahan pemekanya dari jenis bahan peledak, yaitu TNT.

b. Bahan Peledak Berbasis Nitrogliserin

Kandungan utama dari bahan peledak ini adalah nitrogliserin, nitoglikol, nitrocotton dan material selulosa. Kadang-kadang ditambah juga ammonium atau sodium nitrat. Nitrogliserin merupakan zat kimia berbentuk cair yang tidak stabil dan mudah meledak, sehingga pengangkutannya sangat beresiko tinggi. Upaya yang dilakukan untuk meningkatkan keselamatan dalam pengangkutan maupun

pengemasan adalah dengan mencampur nitrogliserin dengan bahan yang mudah menyerap cairan, diantaranya adalah serbuk gergaji. Serbuk gergaji sekarang sudah tidak dipakai lagi karena terlalu mudah terbakar dan daya serapnya kurang. Alfred Nobel yang pertama kali menemukan kiieselguhr sebagai penyerap nitrogliserin yang baik dan hasil campurannya itu dinamakan bahan peledak dinamit. Saat itu kandungan kiieselguhr dan NG divariasikan untuk memberikan energi yang diinginkan dan keamanan dalam pengangkutannya.

Bahan peledak ini mempunyai sifat plastis yang konsisten (seperti lempung atau dodol), berkekuatan (strength) yang tinggi, densitas tinggi, dan ketahanan terhadap air sangat baik, sehingga dapat digunakan langsung pada lubang ledak yang berair. Bahan dikemas (dibungkus) oleh kertas mengandung polyethylene untuk mencegah penyerapan air dari udara bebas.

Adapun kelemahan bahan peledak jenis ini adalah :

- 1) Mengandung resiko kecelakaan tinggi pada saat pembuatan di pabrik maupun pengangkutan
- 2) Sensitif terhadap gesekan, sehingga sangat berbahaya apabila tertabrak atau tergilas oleh kendaraan
- 3) Membuat kepala pusing
- 4) Tidak dapat digunakan pada lokasi peledakan yang bertemperatur tinggi
- 5) Biaya pembuatan tinggi

c. Bahan Peledak Permissible

Bahan peledak permissible adalah bahan peledak yang khusus digunakan pada tambang batubara bawah tanah. Bahan peledak ini harus lulus beberapa tahapan uji keselamatan yang ketat sebelum dipasarkan. Pengujian terutama diarahkan pada keamanan peledakan dalam tambang batubara bawah tanah yang umumnya berdebu agar bahan peledak tersebut tidak menimbulkan kebakaran tambang. Bahan peledak yang lulus uji akan diklasifikasikan ke dalam

“permitted explosive” dengan rating P1 atau P5, di mana kode rating menunjukkan tingkat kekuatan bahan peledak tersebut. Bahan peledak permissible P1 dapat digunakan untuk meledakkan batubara yang keras, pembuatan vertical shaft, dan lubang bukaan bahwa tanah lainnya; sedangkan P5 lebih cocok digunakan pada tambang batubara bawah tanah yang berdebu.

Bahan peledak permissible bisa berbasis NG maupun emulsi. Komposisi bahan peledak permissible ditambah dengan garam yang dapat menekan temperature saat peledakan berlangsung disebut fire suppressant salts. Derajat penekanan tersebut tergantung pada distribusi dan persentase garam yang dapat memberikan jaminan keamanan agar tidak terjadi kebakaran debu batubara pada udara ketika proses peledakan. Disamping garam terdapat pula cara lain untuk menekan temperatur tersebut, yaitu dengan memanfaatkan system pertukaran ion atau yang disebut reinforced safety. Bahan peledak ini biasanya dibuat dengan persentase NG kecil ditambah bahan bakar dan sodium nitrat serta ammonium chloride, reaksinya adalah: $\text{NaNO}_3 + \text{NH}_4\text{Cl} \longrightarrow \text{NaCl} + \text{NH}_4\text{NO}_3$

Hasilnya adalah ammonium nitrat sebagai oksidator dan sodium chloride yang mempunyai daya pendinginan yang besar, bahkan lebih besar dibanding dengan pencampuran yang pertama. ICI-Explosive membuat bahan peledak permissible berbasis emulsi yang dinamakan seri Permitted Powergel.



Gambar 4.13 Bahan peledak permissible berbasis emulsi (ICI-Explosive, 1988)

d. Bahan Peledak *Black Powder*

Black powder atau *gunpowder* pertama kali dibuat pada abad ke-13 dan digunakan baik untuk keperluan militer maupun penambangan. Komposisi *black powder* adalah serbuk batubara, garam, dan belerang. Bahan peledak ini terbakar cepat sekali, bisa mencapai kecepatan rambat 100 ± 10 detik per meter atau 60 meter per detik pada kondisi terselubung, tetapi tidak bisa meledak. Oleh sebab itu, *black powder* diklasifikasikan sebagai bahan peledak lemah (*low explosive*).

Kapabilitas *black powder* sangat dipengaruhi oleh cuaca yang memperburuk kemampuan bakarnya. Karena kelemahan inilah *black powder* tersingkir penggunaannya sebagai bahan peledak utama dalam industri pertambangan setelah ditemukan nitrigleserin dan bahkan sekarang bahan peledak berbasis emulsi yang mempunyai kekuatan detonasi sangat tinggi dan aman.

Walaupun demikian *black powder* saat ini masih tetap dimanfaatkan untuk mengisi sumbu api atau sumbu bakar atau safety fuse untuk peledakan dengan menggunakan detonator biasa. Untuk keperluan militer, *black powder* digunakan sampai sekarang sebagai mesiu di dalam selongsong peluru yang berfungsi sebagai pelontar proyektil peluru (propellant) dan juga digunakan pada berbagai keperluan piroteknik.

D. Aktivitas Pembelajaran

Aktivitas pembelajaran yang ada pada kegiatan pembelajaran 4 ini, di antaranya adalah sebagai berikut.

1. Mengamati
Mengamati sifat fisik dan karakteristik denotasi bahan peledak.
2. Menanya
Mengkondisikan situasi belajar untuk membiasakan mengajukan pertanyaan secara aktif dan mandiri tentang sifat dan karakteristik detonasi bahan peledak.

3. Mengumpulkan data
Mengumpulkan data yang dipertanyakan dan menentukan sumber (melalui benda konkret, dokumen, buku, eksperimen) untuk menjawab pertanyaan yang diajukan tentang klasifikasi, jenis dan tipe bahan peledak.
4. Mengasosiasi/Mengolah Informasi
Mengkategorikan data dan menentukan hubungannya, selanjutnya disimpulkan dengan urutan dari yang paling sederhana sampai pada yang lebih kompleks tentang sifat fisik dan karakteristik denotasi bahan peledak.
5. Mengkomunikasikan
Menyampaikan hasil konseptualisasi tentang sifat fisik dan karakteristik denotasi bahan peledak.

E. Umpan Balik dan Tindak Lanjut

Untuk mendapatkan umpan balik setelah mempelajari modul kegiatan pembelajaran 3 ini, guru-guru diminta untuk mengisi rubrik umpan balik ini dan memberikan masukan yang konstruktif yang disediakan pada **Tabel 5**.

Tabel 5. Rubrik Umpan Balik Isi Modul

No.	Pokok Bahasan	Pertanyaan Umpan Balik	Jawaban Guru dan Tindak Lanjut
1	Definisi peledakan	Apakah Anda mampu menyebutkan definisi peledakan?	
2	Sifat fisik bahan peledak	Apakah Anda paham tentang sifat fisik bahan peledak?	
3	Karakteristik denotasi bahan peledak	Apakah Anda paham tentang karakteristik bahan peledak?	
4	Klasifikasi bahan peledak	Apakah Anda paham tentang klasifikasi bahan peledak?	
5	Jenis dan tipe bahan peledak	Apakah Anda paham tentang jenis dan tipe bahan peledak?	

F. Latihan

Lingkari atau berilah tanda silang (X) pada huruf:

- A. Jika pernyataan benar dan sebab benar dan merupakan sebab akibat
- B. Jika pernyataan dan sebab benar, tetapi tidak merupakan sebab akibat
- C. Jika pernyataan atau sebab salah
- D. Jika pernyataan dan sebab salah

1. Kecepatan detonasi merupakan salah satu sifat penting dalam menyukseskan peledakan bahan galian.

SEBAB

Kecepatan detonasi merupakan kecepatan gelombang kejut yang besarnya melebihi kecepatan rambat suara daripada batuan.

Jawaban: A. B. C. D.

2. Hasil suatu peledakan memperlihatkan fume berwarna coklat-orange yang disebabkan oleh bahan peledak yang basah

SEBAB

Air akan melarutkan ammonium nitrat, sehingga energi yang ditimbulkan berkurang

Jawaban: A. B. C. D.

3. Tekanan detonasi bahan peledak merupakan fungsi dari kecepatan detonasi, densitas dan sensitifitas bahan peledak tersebut.

SEBAB

Gas bertekanan tinggi hasil proses detonasi akan menekan dinding lubang ledak yang besarnya sekitar 50% dari tekanan detonasi.

Jawaban: A. B. C. D.

4. Sejumlah karton kemasan bahan peledak di dalam gudang bahan peledak peka detonator terlihat cairan berwarna kecoklatan yang menandakan bahan peledak tersebut sudah mulai rusak

SEBAB

Bahan peledak tersebut sudah terlalu lama di dalam gudang sehingga terjadi oksidasi yang menyebabkan unsur-unsur pembentuk bahan peledak mencair.

Jawaban: A. B. C. D.

5. Pada densitas batuan yang rapat diperlukan jenis bahan peledak yang mempunyai kecepatan detonasi tinggi agar dapat melebihi kecepatan rambat gelombang pada batuan

SEBAB

Tekanan detonasi merupakan fungsi dari jenis, tekstur, dan densitas batuan sehingga semakin tinggi tekanan detonasi menyebabkan lemparan batuan semakin jauh.

Jawaban: A. B. C. D.

G. Rangkuman

1. Sifat atau karakter fisik bahan peledak meliputi:
 - a. Densitas, termasuk densitas pengisian (loading density) dan cartridge count atau stick count.
 - b. Sensitivitas, salah satu cara pengujiannya adalah uji air gap.
 - c. Ketahanan terhadap air
 - d. Kestabilan kimiawi, terutama berpengaruh terhadap lama penyimpanan bahan peledak di dalam gudang bahan peledak
 - e. Karakteristik gas, terdiri dari gas tidak beracun (non-toxic), yaitu H₂O, CO₂, dan N₂, dan gas beracun (toxic), yaitu NO, NO₂, dan CO.
2. Karakter detonasi bahan peledak terdiri dari:
 - a. Kekuatan detonasi, dinyatakan dalam AWS, RWS, ABS, dan RBS.
 - b. Kecepatan detonasi atau velocity of detonation (VoD) dengan satuan m/s atau fps.

- c. Tekanan detonasi, rumusnya sebagai berikut:
 - d. Tekanan terhadap dinding lubang ledak, yaitu tekanan dari gas hasil peledak yang akan mendorong batuan terlempar dan terlepas dari batuan induknya. Besarnya sekitar 50% tekanan detonasi.
3. Bahan peledak adalah suatu bahan kimia senyawa tunggal atau campuran berbentuk padat, cair, atau campurannya yang apabila diberi aksi panas, benturan, gesekan atau ledakan awal akan mengalami suatu reaksi kimia eksotermis sangat cepat dan hasil reaksinya sebagian atau seluruhnya berbentuk gas disertai panas dan tekanan sangat tinggi yang secara kimia lebih stabil.
 4. Bahan peledak industri adalah bahan peledak yang dirancang dan dibuat khusus untuk keperluan industri, misalnya industri pertambangan, sipil, dan industri lainnya, di luar keperluan militer.
 5. Reaksi peledakan berupa reaksi eksotermis, yaitu reaksi kimia yang menghasilkan panas.
 6. Hasil peledakan tergantung pada kondisi eksternal saat pekerjaan tersebut dilakukan karena kondisi eksternal akan mempengaruhi kualitas bahan kimia pembentuk bahan peledak tersebut.
 7. Panas merupakan awal terjadinya proses dekomposisi bahan kimia yang menimbulkan pembakaran dilanjutkan dengan deflagrasi dan terakhir detonasi.
 8. Bahan peledak diklasifikasikan berdasarkan kecepatan reaksi dan sifat reaksinya menjadi bahan peledak kuat (high explosive) dan bahan peledak lemah (low explosives).
 9. Bahan peledak yang dipergunakan untuk penambangan bahan galian disebut bahan peledak industri yang dapat dikelompokkan sebagai berikut:
 - a. Agen peledakan (blasting agent)
 - b. Bahan peledakan berbasis nitrogliserin
 - c. Bahan peledak permissible
 - d. Black powder
 10. Agen peledakan adalah jenis bahan peledak yang unsur-unsur oksidator dan bahan bakarnya (fuel) secara terpisah bukan merupakan bahan peledak.

11. Agen peledakan yang sering digunakan (khususnya pada industri pertambangan di Indonesia) sebagai berikut.
 - a. Butiran ANFO kering yang terbuat dari ammonium nitrat (AN) dan solar dengan perbandingan 94,3% (AN) dengan 5,7% (solar).
 - b. Agen peledakan lumpur atau slurry atau watergels terbuat dari campuran air, oksidator nitrat (ammonium nitrat), zat perekat dan zat pengendap. Apabila zat pemekanya terbuat dari bukan bahan peledak, maka produknya disebut “agen peledakan lumpur” atau slurry blasting agent; bila pemekanya dari bahan peledak, misalnya TNT, maka disebut “bahan peledak lumpur” atau slurry explosive. Agen peledakan lumpur ini merupakan perbaikan dari ANFO, antara lain berdensitas lebih besar dibanding air dan lebih tahan terhadap air.
 - c. Emulsi adalah agen peledakan yang relatif baru terbuat dari fase oksida liquid dicampur dengan fase minyak (solar atau minyak disel) ditambah emulsifier untuk mempertahankan fase emulsinya. Sebagai pemekanya bisa digunakan glass microballons atau agen gassing kimia untuk menimbulkan fenomena hot spot karena butiran oksidator sangat halus, yaitu 0,001 mm.
 - d. Heavy ANFO adalah campuran antara agen peledakan emulsi dengan ANFO dengan perbandingan yang dapat divariasikan untuk memberikan energi tertentu sesuai dengan kondisi lapangan. Bahkan dalam satu lubang ledak dapat diberikan heavy ANFO dengan perbandingan yang berbeda apabila diketahui kualitas setiap lapisan batuan.
12. Bahan peledak berbasis nitrogliserin atau NG adalah bahan peledak konvensional yang bahan dasarnya adalah nitrogliserin dicampur dengan serbuk gergaji atau kieselghur.
13. Bahan peledak permissible adalah bahan peledak yang khusus digunakan pada tambang batubara bawah tanah. Sebagai reagen atau zat pendingin digunakan garam sehingga temperatur hasil peledakan dapat ditekan.
14. *Black powder* atau *gunpowder* mempunyai komposisi serbuk batubara, garam, dan belerang. Bahan peledak ini terbakar cepat sekali, bisa

mencapai kecepatan rambat pembakaran 100 ± 10 detik per meter pada kondisi terselubung, tetapi tidak bisa meledak. Pada industri penambangan bahan galian black powder saat ini digunakan untuk mengisi sumbu api atau *safety fuse*.

H. Kunci Jawaban

1. A
2. B
3. C
4. A
5. C

I. Penutup

1. Modul pasca UKG (Ujian Kompetensi Guru) yang membahas tentang sifat fisik dan karakteristik denotasi bahan peledak ini diharapkan dapat berguna bagi Anda dalam mengembangkan kompetensi dan meningkatkan kemampuan Anda pada level berikutnya.
2. Anda dapat mengembangkan materi-materi berkaitan sifat fisik dan karakteristik denotasi bahan yang tidak ada dalam modul ini. Modul ini masih butuh pengembangan sesuai dengan perkembangan ilmu pengetahuan dari hari ke hari.
3. Modul ini juga diharapkan akan membantu anda dalam belajar secara mandiri dan mengukur kemampuan diri sendiri sehingga nantinya anda dapat meningkatkan kemampuan ke level berikutnya.

J. Evaluasi

Pada bagian evaluasi ini, ada 3 jenis latihan yang akan diberikan untuk mengukur kemampuan Anda, yaitu sebagai berikut.

1. Kognitif Skill

- a. Jelaskan secara tepat dan singkat tentang sifat fisik dan karakteristik denotasi bahan peledak!
- b. Jelaskan secara tepat dan singkat klasifikasi serta jenis dan tipe bahan peledak!

2. Psikomotor Skill

Jelaskan tentang aplikasi pemanfaatan bahan peledak, sesuai dengan penjelasan yang sudah dibahas pada materi sebelumnya.

3. Attitude Skill

Sebagai sebuah tim dalam melakukan proses pembelajaran yang membahas tentang proses erosi partikel batuan di permukaan bumi, bagaimana cara Anda menanamkan rasa ketakwaan kepada Tuhan yang Maha Esa, rasa tanggung jawab, kebersamaan, dan kedisiplinan.

K. Daftar Pustaka

- Anon. 1977. "Blasters' Handbook, Du Pont, 16th ed, Sales Development Section: Explosives Products Division". E.I. du Pont de Nemours & Co.(Inc), Wilmington, Delaware, pp. 397 – 408.
- Anon. 1980. "Blasters' Handbook, Du Pont, 16th ed, Sales Development Section, Explosives Products Division." E.I. du Pont de Nemours & Co.(Inc), Wilmington, Delaware, pp. 31 – 86.
- Anon. 1988. "Blasting Explosives and Accessories, ICI Australia Operation." Pty. Ltd. Explosive Division, pp. 1 – 17.
- Anon. 2001. *In Muhammadiyah, S.B.A.E.: Analisis Sistem Dinamis*. Jakarta: UMJ Press.
- Anon. 2004. "In UNDP The Economics of Democracy". United Nation Development Program.
- Gutafsson, R, 1973, *Swedish Blasting Technique*, Gothenburg. Sweden, pp. 15 - 30.
- Ash, R.L. 1990. "Design of Blasting Round, Surface Mining". B.A. Kennedy Editor. Society for Mining, Metallurgy, and Exploitation, Inc. Page. 565-584.
- Jimeno, C.L., Jimeno, E.L., and Carcedo, F.J.A. 1995. "Drilling and Blasting of Rocks". A.A. Balkema, Rotterdam, Brookfield, Netherlands. Pp. 98 - 122.
- Manon, J. J. 1978. "Explosives: Their Classification and Characteristics". (*E/MJ Operating Handbook of Underground Mining*). New York, USA. pp. 76—80.

KEGIATAN PEMBELAJARAN 5

Ketentuan Umum, Persyaratan Fisik, dan Jenis-jenis Gudang Bahan Peledak

A. Tujuan Pembelajaran

Dengan diberikan modul tentang ketentuan umum, persyaratan fisik, dan jenis-jenis gudang bahan peledak, guru dapat mengetahui dan memahami ketentuan umum, persyaratan fisik, dan jenis-jenis gudang bahan peledak.

B. Indikator Pencapaian Kompetensi

1. Guru dapat mengetahui dan memahami tentang ketentuan umum, persyaratan fisik, dan jenis-jenis gudang bahan peledak.
2. Guru dapat mengetahui dan memahami proses izin, syarat, dan pengamanan gudang bahan peledak
3. Guru dapat mengetahui dan memahami jenis-jenis gudang bahan peledak

C. Uraian Materi

Bahan peledak harus disimpan pada gudang khusus untuk bahan peledak yang memiliki persyaratan yang telah ditetapkan oleh Pemerintah, yaitu:

1. Perizinan
2. Persyaratan fisik gudang
3. Jenis-jenis gudang bahan peledak
4. Jarak aman dari fasilitas umum
5. Tata cara penyimpanan bahan peledak dalam gudang

1. Izin Gudang Bahan Peledak

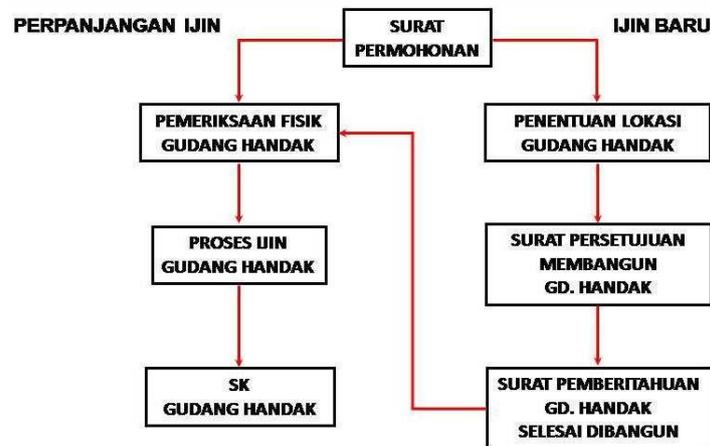


Diagram alir proses penerbitan izin gudang bahan peledak

Gambar 5.1. Diagram alir penerbitan izin gudang bahan peledak

a. Surat Permohonan

Dari perusahaan (KTT/Direksi) ditujukan kepada KAPIT. Lampiran Surat Permohonan :

- 1) Gambar konstruksi gudang bahan peledak
- 2) Peta Situasi Lokasi Gudang Bahan Peledak
- 3) Copy Ijin Pertambangan
- 4) (KK, PKP2B, KP atau SIPD)
- 5) SK Pengesahan KTT

b. Penentuan Lokasi Gudang Bahan Peledak

Penunjukan Lokasi Gudang Handak dilakukan oleh Inspektur Tambang dengan memperhatikan :

- 1) Jarak Aman antar gudang bahan peledak dan fasilitas-fasilitas lainnya di sekitar gudang (Kepmen 555.K/26/M.PE/1995 Pasal 59)
- 2) Lokasi gudang handak dinyatakan dalam koordinat dan dicantumkan dalam berita acara
- 3) Kepala Desa turut menandatangani berita acara penunjukan lokasi gudang, untuk memastikan bahwa tanah lokasi gudang tidak bermasalah dengan masyarakat di sekitar gudang.

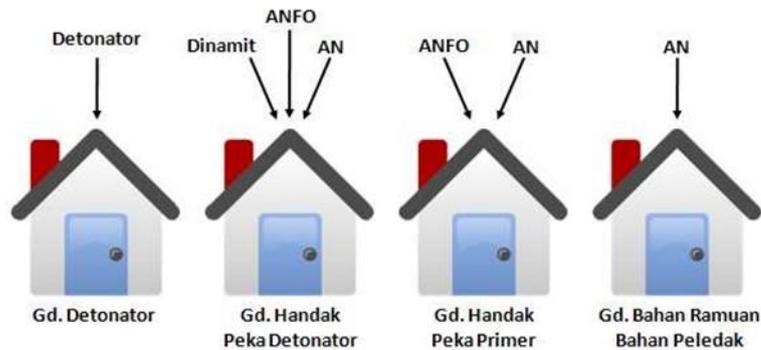
- c. Persetujuan Membangun Gudang Handak
Kapit mengeluarkan surat persetujuan membangun gudang bahan peledak di lokasi yang dimaksud dalam Berita Acara penunjukan lokasi. Didalam surat persetujuan ini dicantumkan bahwa setelah pembangunan gudang encapai 80 %, KTT harus melaporkan kepada KAPIT untuk selanjutnya dilakukan pemeriksaan fisik oleh PIT/IT.
- d. Surat Pemberitahuan Gudang Handak Selesai Dibangun
Surat ini dibuat oleh perusahaan sebagai pemberitahuan bahwa pembangunan gudang sudah mencapai 80 % dan siap untuk diinspeksi.
- e. Pemeriksaan Fisik Gudang Bahan Peledak
Pemeriksaan fisik ini dilakukan oleh Inspektur Tambang. Hal – hal yang diperiksa, antara lain :
 - 1) Kesesuaian antara fisik gudang dengan gambar konstruksi yang sudah disetujui KAPIT sebelumnya.
 - 2) Kesesuaian antara lokasi gudang yang sudah dibangun dengan lokasi yang tertera didalam berita acara penunjukan lokasi gudang.
 - 3) Syarat-syarat kelengkapan keselamatan gudang bahan peledak,

Dalam hal perpanjangan ijin gudang bahan peledak, terdapat beberapa tambahan yang harus diperiksa, sebagai berikut :

- 1. Berdasarkan Kepmen 555.K/26/M.PE/1995 Pasal 62 :
 - a. Bahan peledak harus disimpan dalam kemasan aslinya dan dicantumkan tanggal penyerahan bahan peledak tersebut ke dalam gudang. Tulisan harus mudah dilihat dalam kemasan dan dapat dibaca tanpa memindahkan kemasan.
 - b. Detonator harus disimpan terpisah dengan bahan peledak lainnya di dalam gudang handak peka detonator
 - c. Bahan peledak peka primer dapat disimpan bersama-sama dengan handak peka detonator didalam gudang handak peka detonator, tetapi tidak boleh disimpan bersama-sama dengan bahan ramuan didalam gudang bahan ramuan bahan peledak
 - d. Bahan ramuan bahan peledak dapat disimpan bersama-sama didalam gudang handak peka detonator ataupun didalam gudang peka primer
 - e. Temperatur ruangan bahan peledak untuk :

- 1) Bahan ramuan maksimal 55°C
- 2) Peka detonator maksimal 35°C

Penjelasan diatas dapat dilihat dari gambar dibawah:



Gambar 5.2 Gudang bahan peledak

2. Berdasarkan Kepmen 555.K/26/M.PE/1995 Pasal 63 : Harus terdapat petugas administrasi bahan peledak :
 - a. Ditunjuk KTT dalam jumlah yang cukup
 - b. Mempunyai sertifikat juru ledak kelas II
 - c. Memahami peraturan-peraturan bahan peledak
 - d. Petugas tersebut berumur minimal 21 Tahun
 - e. Berpengalaman menangani dan menggunakan bahan peledak
 - f. Mempunyai wewenang secara tertulis dari KTT
 - g. Namanya didaftarkan dalam buku Tambang

3. Berdasarkan Kepmen 555.K/26/M.PE/1995 Pasal 64 :
 - a. Harus tersedia buku catatan yang berisi :
 - 1) Nama, jenis dan jumlah keseluruhan bahan peledak termasuk tanggal penerimaannya
 - 2) Lokasi dan jumlah bahan peledak yang disimpan
 - b. Harus tersedia daftar persediaan yang secara teratur selalu disesuaikan dan dalam rinciannya tercatat :
 - 1) Nama dan tandatangan petugas bahan peledak
 - 2) Jumlah setiap jenis handak yang masuk dan keluar gudang
 - 3) Tanggal dan waktu pengeluaran serta pengambilan
 - 4) Nama dan tandatangan petugas yang menerima handak

- 5) Lokasi peledakan atau tujuan permintaan handak
4. Berdasarkan Kepmen 555.K/26/M.PE/1995 Pasal 66 mengenai penyimpanan handak Peka Detonator :
- a. Gudang berbentuk bangunan
 - 1) Tetap dalam kemasan aslinya
 - 2) Diletakkan diatas palet yang tingginya minimal 30cm
 - 3) Tinggi tumpukan maksimum 5 peti
 - 4) Lebar tumpukan maksimum 4 peti
 - 5) Panjang tumpukan disesuaikan dengan panjang gudang
 - 6) Diantara tiap lapisan peti harus diberi papan penyekat yang tebalnya minimal 1,5 cm
 - 7) Jarak antara tumpukan satu dengan tumpukan berikutnya minimal 80 cm
 - 8) Jarak antara tumpukan dengan dinding gudang minimal 30cm



Gambar 5.3 Rak Detonator



Gambar 5.4 Palet dengan tinggi minimal 30 cm

- b. Gudang berbentuk Kontener
Sama dengan poin a diatas, dengan catatan kapasitas maksimum adalah 2.000 Kg
5. Berdasarkan Kepmen 555.K/26/M.PE/1995 Pasal 67, mengenai penyimpanan handak Peka Primer :
- a. Gudang berbentuk bangunan
 - 1) Tetap dalam kemasan aslinya
 - 2) Jika kemasannya ukuran 25 Kg maka penyimpanan sama dengan bahan peledak peka detonator - Jika berat kemasan 1.000 Kg
 - a) maka tinggi tumpukan maksimum adalah 3 tumpukan
 - b) jarak antara tumpukan dengan dinding gudang minimal 75 cm
 - c) tersedia lorong untuk forklift
 - b. Gudang berbentuk kontener
 - 1) Tetap dalam kemasan aslinya
 - 2) Jika kemasannya ukuran 25 Kg maka penyimpanan sama dengan bahan peledak peka detonator
 - 3) Kapasitas maksimum adalah 5.000 Kg

2. Proses Izin Gudang Bahan Peledak

Setelah dilakukan pemeriksaan fisik oleh PIT/IT dilanjutkan dengan pemrosesan izin gudang bahan peledak. Jika dalam pemeriksaan fisik ditemukan hal-hal yang perlu diperbaiki, pemrosesan izin gudang belum dapat dilanjutkan sampai perbaikan tersebut selesai dilakukan dan laporannya yang disertai dengan fotofoto perbaikan disampaikan kepada KAPIT.

3. Syarat Kelengkapan Keselamatan Gudang Bahan Peledak

Adapun syarat – syarat kelengkapan keselamatan gudang bahan peledak diatur dalam kepmen yaitu, antara lain :

1. Kepmen 555.K/26/M.PE/1995 Pasal 54
 - a. Termometer di dalam ruang penyimpanan Khusus untuk perpanjangan Ijin Gudang, harus Diperiksa bahwa temperature maksimum untuk :
 - 1) Gudang bahan ramuan handak adalah 55⁰C
 - 2) Gudang Handak Peka Detonator adalah 35⁰C (pasal 62)



Gambar 5.5 Termometer

- b. Tanda “dilarang merokok”
- c. Tanda “dilarang masuk bagi yang tidak berkepentingan”



Gambar 5.6 Tanda dilarang merokok dan dilarang masuk bagi yang tidak berkepentingan

- d. Alat pemadam api diluar bangunan dan mudah dijangkau



Gambar 5.7 APAR

- e. Lampu penerangan di sekitar lokasi gudang



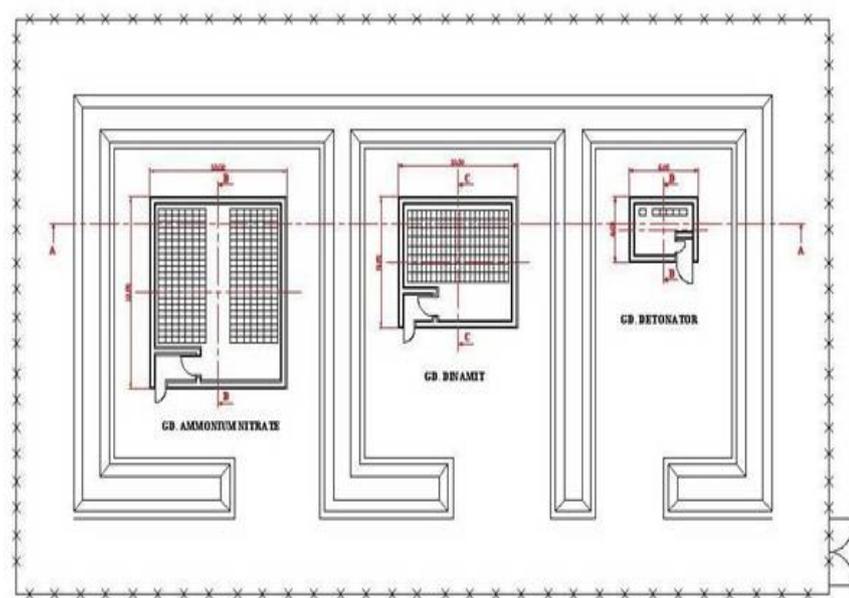
Gambar 5.8 Lampu penerangan

- f. Rumah jaga diluar gudang dan dapat dengan mudah mengawasi sekitar gudang



Gambar 5.9 Pos jaga

- g. Sekeliling lokasi gudang dipasang pagar dengan pintu yang dapat dikunci



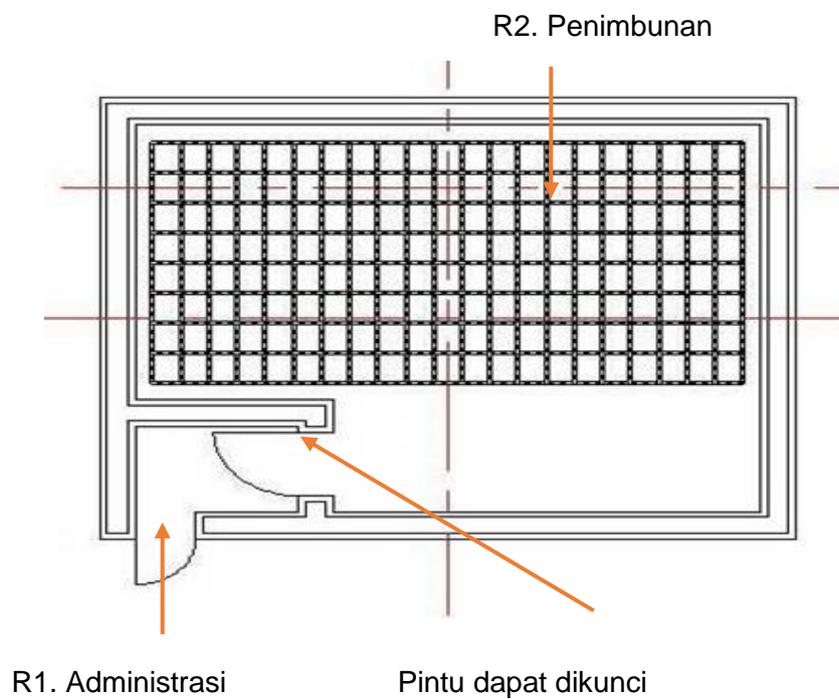
Gambar 5.10 Pagar dengan pintu yang dapat terkunci

- h. Sekeliling lokasi gudang handak peka detonator dilengkapi tanggul yang tingginya 2 m dan lebar bagian atas 1 m



Gambar 5.11 Lokasi gudang handak

- i. Pintu masuk tidak boleh berhadapan langsung dengan pintu gudang



Gambar 5.12 Pintu masuk gudang

- j. Jika kapasitas gudang AN dan ANFO kurang dari 5 Ton, maka di bagian dalam gudang harus dipasang pemadam api otomatis, dan jika lebih dari 5 Ton harus dipasang hidran diluar gudang



Gambar 5.13 Hydrant

2. Kepmen 555.K/26/M.PE/1995 Pasal 55
 - a. Gudang handak peka detonator harus terdiri dari dua ruangan, ruang belakang untuk menyimpan handak dan ruang depan untuk administrasi gudang handak
 - b. Pintu ruang belakang tidak boleh berhadapan langsung dengan pintu ruang depan dan kedua pintu dapat dikunci

3. Berdasarkan Kepmen 555.K/26/M.PE/1995 Pasal 56
Gudang Bahan Peledak Sementara
 - a. Gudang Handak Peka Detonator
 - 1) Berbentuk Bangunan
 - (a) dari bahan yang tidak mudah terbakar
 - (b) atap seringan mungkin



Gambar 5.14 Atap dan bahan tidak mudah terbakar

(c) dinding yang pejal



Gambar 5.15 Dinding yang pejal

(d) lubang ventilasi pada bagian atas dan bawah

(e) hanya satu pintu

Hanya boleh ada satu pintu untuk akses masuk dan keluar ruang penimbunan bahan peledak.

(f) resistans pbumian alat penangkal petir lebih kecil dari 5 ohm

(g) Bebas kebakaran dalam radius 30 meter

(h) Lantai gudang dari bahan yang tidak menimbulkan percikan bunga api

(i) Tidak boleh ada besi yang tersingkap sampai 3 meter dari lantai

(j) Kapasitas maksimal 4 Ton.

2) Berbentuk Kontener

(a) dari pelat logam dengan ketebalan minimal 3 milimeter

(b) lubang ventilasi pada bagian atas dan bawah

(c) dilapisi dengan kayu pada bagian dalam

(d) air hujan tidak dapat masuk

(e) satu pintu

(f) resistans pbumian alat penangkal petir lebih kecil dari 5 ohm

(g) Kapasitas Maksimal 2 Ton

4. Kepmen 555.K/26/M.PE/1995 Pasal 57

Gudang Transit

- a. Bahan peledak peka detonator tidak boleh disimpan dalam gudang bahan peledak transit dan harus langsung disimpan dalam gudang utama
- b. Gudang bahan peledak peka primer:
 - (1) gudang berbentuk bangunan harus memenuhi persyaratan sebagaimana dimaksud dalam 1.a kecuali butir 3 dan 8 dan mempunyai kapasitas tidak lebih dari 500.000 kilogram dan
 - (2) Gudang berbentuk kontener harus memenuhi persyaratan
- c. Gudang bahan ramuan bahan peledak :
 - (1) Gudang berbentuk bangunan harus memenuhi persyaratan sebagaimana dimaksud dalam 1.a. kecuali butir 3 dan 8, dan
 - (2) Gudang berbentuk kontener atau tangki hanya boleh ditempatkan pada lokasi yang telah mendapat izin Kepala Pelaksana Inspeksi Tambang dan bahan ramuan bahan peledak tersebut harus tetap tersimpan dalam kemasan aslinya. Kapasitas tiap kontener atau tangki tidak lebih dari 20.000 kilogram dan kapasitas tiap daerah penimbunan tersebut tidak lebih dari 2.000.000 kilogram.

Gudang Utama

- a. Gudang penyimpanan bahan peledak peka detonator harus memenuhi persyaratan sebagaimana dimaksud dalam pasal 56 ayat (1) huruf a dan mempunyai kapasitas tidak lebih dari 150.000 kilogram.
- b. Gudang bahan peledak peka primer harus memenuhi persyaratan sebagaimana dimaksud dalam pasal 56 ayat (1) huruf a dan mempunyai kapasitas tidak lebih dari 500.000 kilogram.
- c. Gudang bahan ramuan bahan peledak :

- (1) untuk gudang berbentuk bangunan harus memenuhi persyaratan sebagaimana dimaksud dalam pasal 56 ayat (1) kecuali huruf a butir 3) dan mempunyai kapasitas tidak lebih dari 500.000 kilogram;
- (2) Untuk gudang berbentuk tangki harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:
 - (a) tangki tidak boleh terbuat dari bahan tembaga, timah hitam, seng atau besi galvanisir;
 - (b) pada bagian atas harus tersedia bukan sebagai lubang pemeriksaan dan harus tersedia tempat khusus bagi operator untuk melakukan pemeriksaan;
 - (c) pipa pengeluaran harus terletak pada bagian bawah dan
 - (d) pada bagian atas harus tersedia katub untuk pengeluaran tekanan udara yang berlebihan.
- (3) Untuk gudang berbentuk kontener harus memenuhi persyaratan sebagaimana dimaksud dalam pasal 56 ayat (1)

4. Pengamanan Gudang Bahan Peledak

1. Setiap gudang bahan peledak harus dilengkapi dengan:
 - a. thermometer yang ditempatkan di dalam ruang penimbunan;
 - b. tanda “dilarang merokok” dan “dilarang masuk bagi yang tidak berkepentingan”;
 - c. hanya satu jalan masuk;
 - d. alat pemadam api yang diletakkan ditempat yang mudah dijangkau di luar bangunan gudang.
2. Sekitar gudang bahan peledak harus dilengkapi lampu penerangan dan harus dijaga 24 jam terus menerus oleh orang yang dapat dipercaya.
3. Rumah jaga harus dibangun di luar gudang dan dapat untuk mengawasi sekitar gudang dengan mudah.

4. Sekeliling lokasi gudang bahan peledak harus dipasang pagar pengaman yang dilengkapi dengan pintu yang dapat dikunci.
5. Sekitar gudang bahan peledak harus dilengkapi lampu penerangan dan harus dijaga 24 jam terus menerus oleh orang yang dapat dipercaya.
6. Rumah jaga harus dibangun di luar gudang dan dapat untuk mengawasi sekitar gudang dengan mudah.
7. Sekeliling lokasi gudang bahan peledak harus dipasang pagar pengaman yang dilengkapi dengan pintu yang dapat dikunci.
8. Untuk masuk ke dalam gudang hanya diperbolehkan menggunakan lampu senter kedap gas.
9. Dilarang memakai sepatu yang mempunyai alas besi, membawa korek api atau barang-barang lain yang dapat menimbulkan bunga api ke dalam gudang.
10. Sekeliling gudang bahan peledak peka detonator harus dilengkapi tanggul pengaman yang tingginya 2 (dua) meter dan lebar bagian atas 1 (satu) meter dan apabila pintu masuk berhadapan langsung dengan pintu gudang, harus dilengkapi dengan tanggul sehingga jalan masuk hanya dapat dilakukan dari samping.
11. Untuk gudang Amonium Nitrat dan ANFO, berlaku ketentuan sebagai berikut:
 - a. gudang dengan kapasitas kurang dari 5.000 kilogram pada bagian dalamnya harus dipasang pemadam api otomatis yang dipasang pada bagian atas, dan
 - b. gudang dengan kapasitas 5.000 kilogram atau lebih harus dilengkapi dengan hidran yang dipasang di luar gudang yang dihubungkan dengan sumber air bertekanan.

5. Jenis – jenis Gudang Bahan Peledak

Pengaturan ruangan gudang bahan peledak yaitu, sebagai berikut:

1. Gudang berbentuk bangunan untuk menyimpan bahan peledak peka detonator harus terdiri dari:
 - a. ruangan belakang untuk penyimpanan bahan peledak,

- b. ruangan depan untuk penerimaan dan pengeluaran bahan peledak
2. Pintu ruangan belakang tidak boleh berhadapan langsung dengan pintu ruangan depan dan kedua pintu tersebut dilengkapi kunci yang kuat

Ruangan gudang bahan peledak dari jenis lainnya dapat terdiri dari satu ruangan tetapi harus disediakan tempat khusus untuk pemeriksaan dan atau menghitung bahan peledak yang letaknya berdekatan tetapi tidak menjadi satu dengan gudang tersebut.

1. Gudang bahan peledak peka detonator:

a. Gudang berbentuk bangunan:

- 1) Bahan yang tidak mudah terbakar;
- 2) Atap seringan mungkin;
- 3) Dinding yang pejal;
- 4) dilengkapi dengan lubang ventilasi pada bagian atas dan bawah;
- 5) mempunyai hanya satu pintu;
- 6) dilengkapi dengan alat penangkal petir dengan resistans pembumian lebih kecil dari 5 ohm;
- 7) bebas kebakaran dalam radius 30 meter;
- 8) lantai gudang terbuat dari bahan yang tidak menimbulkan percikan bunga api; dan
- 9) tidak boleh ada besi yang tersingkap sampai 3 meter dari lantai

b. Gudang berbentuk kontener:

- 1) terbuat dari pelat logam dengan ketebalan minimal 3 milimeter;
- 2) dilengkapi dengan lubang ventilasi pada bagian atas dan bawah;
- 3) dilapisi dengan kayu pada bagian dalam;
- 4) dibuat sedemikian rupa sehingga air hujan tidak dapat masuk;
- 5) mempunyai satu pintu; dan

- 6) dilengkapi dengan alat penangkal petir dengan resistans pbumian lebih kecil dari 5 ohm;

2. Gudang bahan peledak peka primer

Tata cara penyimpanan bahan peledak

- a. Bahan peledak harus disimpan dalam kemasan aslinya dan dicantumkan tanggal penyerahan bahan peledak tersebut ke gudang, tulisan harus jelas pada kemasannya dan mudah dibaca tanpa memindahkan kemasan.
- b. Detonator harus tersimpan terpisah dengan bahan peledak lainnya di dalam gudang bahan peledak peka detonator.
- c. Bahan peledak peka detonator tidak boleh disimpan di gudang bahan peledak peka primer atau di gudang bahan ramuan bahan peledak.
- d. Bahan peledak peka primer dapat disimpan bersama-sama di dalam gudang bahan peledak peka detonator tetapi tidak boleh disimpan bersama-sama dalam gudang bahan ramuan bahan peledak.
- e. Bahan ramuan bahan peledak dapat disimpan bersama-sama di dalam gudang bahan peledak peka primer dan atau di dalam gudang bahan peledak peka detonator.
- f. Amunisi dan jenis mesiu lainnya hanya dapat disimpan dengan bahan peledak lain di dalam gudang bahan peledak apabila ditumpuk pada tempat terpisah dan semua bagian yang terbuat dari besi harus dilapisi dengan pelat tembaga atau alumunium atau ditutupi dengan beton sampai tiga meter dari lantai.
- g. Temperatur ruangan bahan peledak untuk:
 - 1) bahan ramuan tidak boleh melebihi 55⁰ Celcius; dan
 - 2) peka detonator tidak boleh melebihi 35⁰ Celcius.

D. Aktivitas Pembelajaran

Aktivitas pembelajaran yang ada pada kegiatan pembelajaran 1 ini, di antaranya adalah sebagai berikut.

1. Mengamati
Mengamati ketentuan umum, persyaratan fisik, dan jenis-jenis gudang bahan peledak.
2. Menanya
Mengkondisikan situasi belajar untuk membiasakan mengajukan pertanyaan secara aktif dan mandiri tentang ketentuan umum, persyaratan fisik, dan jenis-jenis gudang bahan peledak.
3. Mengumpulkan data
Mengumpulkan data yang dipertanyakan dan menentukan sumber (melalui benda konkret, dokumen, buku, eksperimen) untuk menjawab pertanyaan yang diajukan tentang ketentuan umum, persyaratan fisik, dan jenis-jenis gudang bahan peledak.
4. Mengasosiasi/Mengolah Informasi
Mengkategorikan data dan menentukan hubungannya, selanjutnya disimpulkan dengan urutan dari yang paling sederhana sampai pada yang lebih kompleks tentang ketentuan umum, persyaratan fisik, dan jenis-jenis gudang bahan peledak..
5. Mengkomunikasikan
Menyampaikan hasil konseptualisasi tentang ketentuan umum, persyaratan fisik, dan jenis-jenis gudang bahan peledak.

E. Latihan

Jawablah pertanyaan berikut:

1. Bahan peledak harus disimpan pada gudang khusus untuk bahan peledak yang memiliki persyaratan yang telah ditetapkan oleh Pemerintah, sebutkan persyaratannya?
2. Sebutkan syarat – syarat kelengkapan keselamatan gudang bahan peledak yang diatur dalam Kepmen 555.K/26/M.PE/1995 Pasal 54?
3. Jelaskan pengaturan ruangan pada gudang bahan peledak!

F. Rangkuman

1. Bahan peledak harus disimpan pada gudang khusus untuk bahan peledak yang memiliki persyaratan yang telah ditetapkan oleh Pemerintah, yaitu:
 - a. Perizinan
 - b. Persyaratan fisik gudang
 - c. Jenis-jenis gudang bahan peledak
 - d. Jarak aman dari fasilitas umum
 - e. Tata cara penyimpanan bahan peledak dalam gudang
2. Proses izin Gudang bahan peledak, setelah dilakukan pemeriksaan fisik oleh PIT/IT dilanjutkan dengan pemrosesan ijin gudang bahan peledak, jika dalam pemeriksaan fisik ditemukan hal-hal yang perlu diperbaiki, pemrosesan ijin gudang belum dapat dilanjutkan sampai perbaikan tersebut selesai dilakukan dan laporannya yang disertai dengan fotofoto perbaikan disampaikan kepada KAPIT.
3. Jenis – jenis Gudang Bahan Peledak
 - a. Gudang bahan peledak peka detonator
 - b. Gudang bahan peledak peka primer
4. Di dalam gudang bahan peledak harus tersedia buku catatan bahan peledak yang berisi:
 - a. nama, jenis, dan jumlah keseluruhan bahan peledak serta tanggal penerimaan
 - b. lokasi dan jumlah bahan peledak yang disimpan.
5. Pengaturan ruangan gudang bahan peledak yaitu, sebagai berikut:

Gudang berbentuk bangunan untuk menyimpan bahan peledak peka detonator harus terdiri dari:

 - a. ruangan belakang untuk penyimpanan bahan peledak,
 - b. ruangan depan untuk penerimaan dan pengeluaran bahan peledak
 - c. Pintu ruangan belakang tidak boleh berhadapan langsung dengan pintu ruangan depan dan kedua pintu tersebut dilengkapi kunci yang kuat
6. Setiap gudang bahan peledak harus dilengkapi dengan:
 - a. thermometer yang ditempatkan di dalam ruang penimbunan;
tanda “dilarang merokok” dan “dilarang masuk bagi yang tidak berkepentingan”;

- b. hanya satu jalan masuk;
- c. alat pemadam api yang diletakkan ditempat yang mudah dijangkau di luar bangunan gudang

G. Umpan Balik dan Tindak Lanjut

Untuk mendapatkan umpan balik setelah mempelajari modul kegiatan pembelajaran ini, guru-guru diminta untuk mengisi rubrik umpan balik ini dan memberikan masukan yang konstruktif yang disediakan pada **Tabel 5.1**

Tabel 5.1 Rubrik Umpan Balik Isi Modul

No	Pokok Bahasan	Pertanyaan Umpan Balik	Jawaban Guru dan Tindak Lanjut
1	Izin gudang bahan peledak	Apakah Anda mampu memaparkan tentang izin gudang bahan peledak?	
2	Proses izin gudang bahan peledak	Apakah Anda paham tentang proses izin gudang bahan peledak?	
3	Syarat kelengkapan keselamatan gudang bahan peledak	Apakah Anda paham tentang syarat kelengkapan keselamatan gudang bahan peledak?	
4	Pengamanan gudang bahan peledak	Apakah Anda paham tentang pengamanan bahan peledak?	
5	Jenis-jenis gudang bahan peledak	Apakah Anda paham tentang jenis-jenis gudang bahan peledak?	

H. Kunci Jawaban

1. Bahan peledak harus disimpan pada gudang khusus untuk bahan peledak yang memiliki persyaratan yang telah ditetapkan oleh Pemerintah, yaitu:
 - a. Perizinan
 - b. Persyaratan fisik gudang
 - c. Jenis-jenis gudang bahan peledak
 - d. Jarak aman dari fasilitas umum

- e. Tata cara penyimpanan bahan peledak dalam gudang
2. Syarat – syarat kelengkapan keselamatan gudang bahan peledak yang diatur dalam Kepmen 555.K/26/M.PE/1995 Pasal 54 yaitu:
- a. Termometer di dalam ruang penimbunan Khusus untuk perpanjangan Ijin Gudang, harus Diperiksa bahwa temperature maksimum untuk :
 - b. Gudang bahan ramuan handak adalah 55⁰C
 - c. Gudang Handak Peka Detonator adalah 35⁰C (pasal 62)Tanda “dilarang merokok”
 - d. Tanda “dilarang masuk bagi yang tidak berkepentingan”
 - e. Alat pemadam api diluar bangunan dan mudah dijangkau
 - f. Lampu penerangan di sekitar lokasi gudang
 - g. Rumah jaga diluar gudang dan dapat dengan mudah mengawasi sekitar gudang
 - h. Sekeliling lokasi gudang dipasang pagar dengan pintu yang dapat dikunci
 - i. Sekeliling lokasi gudang handak peka detonator dilengkapi tanggul yang tingginya 2 m dan lebar bagian atas 1 m
 - j. Pintu masuk tidak boleh
 - k. Jika kapasitas gudang AN dan ANFO kurang dari 5 Ton, maka di bagian dalam gudang harus dipasang pemadam api otomatis, dan jika lebih dari 5 Ton harus dipasang hidran diluar gudang
3. Gudang berbentuk bangunan untuk menyimpan bahan peledak peka detonator harus terdiri dari:
- a. Gudang berbentuk bangunan untuk menyimpan bahan peledak peka detonator harus terdiri dari:
 - 1) ruangan belakang untuk penyimpanan bahan peledak,
 - 2) ruangan depan untuk penerimaan dan pengeluaran bahan peledak
 - b. Pintu ruangan belakang tidak boleh berhadapan langsung dengan pintu ruangan depan dan kedua pintu tersebut dilengkapi kunci yang kuat

I. Penutup

1. Modul pasca UKG (Ujian Kompetensi Guru) yang membahas tentang ketentuan, persyaratan fisik, dan jenis-jenis gudang bahan peledak ini diharapkan dapat berguna bagi Anda dalam mengembangkan kompetensi dan meningkatkan kemampuan Anda pada level berikutnya.
2. Anda dapat mengembangkan materi-materi berkaitan ketentuan umum, persyaratan fisik, dan jenis-jenis gudang bahan peledak yang tidak ada dalam modul ini. Modul ini masih butuh pengembangan sesuai dengan perkembangan ilmu pengetahuan dari hari ke hari.
3. Modul ini juga diharapkan akan membantu anda dalam belajar secara mandiri dan mengukur kemampuan diri sendiri sehingga nantinya anda dapat meningkatkan kemampuan ke level berikutnya.

J. Evaluasi

Pada bagian evaluasi ini, ada 3 jenis latihan yang akan diberikan untuk mengukur kemampuan Anda, yaitu sebagai berikut.

1. Kognitif Skill

- a. Jelaskan secara tepat dan singkat tentang ketentuan, dan jenis-jenis gudang bahan peledak!
- b. Jelaskan secara tepat dan singkat syarat kelengkapan keselamatan gudang bahan peledak!

2. Psikomotor Skill

Jelaskan tentang aplikasi ketentuan umum, persyaratan fisik, dan jenis-jenis gudang peledak yang Anda ketahui, sesuai dengan penjelasan yang sudah dibahas pada materi sebelumnya.

3. Attitude Skill

Sebagai sebuah tim dalam melakukan proses pembelajaran yang membahas tentang ketentuan umum, persyaratan fisik, dan jenis-jenis gudang peledak, bagaimana cara Anda menanamkan rasa ketakwaan kepada Tuhan yang Maha Esa, rasa tanggung jawab, kebersamaan, dan kedisiplinan.

I. Daftar Pustaka

Keputusan Menteri Pertambangan dan Energi Nomor: 555.K/26/M.PE/1995.
1999. *Keselamatan dan Kesehatan Kerja Pertambangan Umum*.
Direktorat Jenderal Pertambangan Umum: Direktorat Teknik
Pertambangan Umum.

KEGIATAN PEMBELAJARAN 6

Deskripsi Sifat Fisik dan Sifat Kimia Mineral Bahan Galian

A. Tujuan Pembelajaran

Dengan diberikan modul tentang deskripsi sifat fisik dan sifat kimia mineral bahan galian, guru dapat mengetahui dan memahami sifat fisik dan sifat kimia mineral bahan galian.

B. Indikator Pencapaian Kompetensi

1. Guru dapat mengetahui dan memahami tentang identifikasi bahan galian.
2. Guru dapat mengetahui dan memahami klasifikasi bahan galian.
3. Guru dapat mengetahui dan memahami teknik pengambilan sampel dan sifat-sifat bahan galian.

C. Uraian Materi

Dalam dunia pertambangan terutama tahap penentuan ekonomis, di mana pekerjaan sampling, preparasi dan perhitungan mutu atau kadar bahan galian mutlak diperlukan, modul ini membahas secara global tentang hal tersebut. Sebelum pembahasan lebih lanjut, alangkah baik untuk mengetahui istilah – istilah pengolahan bahan galian seperti dibawah ini :

1. *Sample* adalah contoh bahan galian.
2. *Feed* (umpan) adalah material yang akan dipreparasi.
3. *Konsentrat* adalah material hasil preparasi yang berkadar tinggi.
4. *Midling* adalah material hasil preparasi yang berkadar menengah.
5. *Tailing* adalah material sisa atau sampah hasil preparasi.
6. *Oversize* adalah material yang tertahan pada jaringan karena diameter melebihi ukuran saringan.
7. *Undersize* adalah material yang lolos lubang saringan karena diameter lebih kecil dari ukuran saringan.
8. *Ore* : Sekumpulan mineral berharga yang bernilai ekonomis
9. *Mineral* : Sekumpulan bahan an organik yang terbentuk secara alamiah yang mempunyai sifat fisik dan kimia tertentu
10. *COG* : Kadar rata-rata terendah dari suatu mineral yang bernilai ekonomis

11. Derajat Liberasi (DL) : Perbandingan jumlah berat mineral yang terbebas sempurna dgn jumlah berat bijih dalam suatu fraksi yang dinyatakan dalam %
12. *Ratio of Concentration* (K) : Perbandingan antara berat feed (F) dan berat konsentrat (C) yg dihasilkan oleh suatu PBG untuk melihat seberapa jauh reduksi yang telah dilakukan $K = F/C$
13. *Material Balance* : Jumlah material yang masuk dalam PBG sama dengan jumlah material yang dikeluarkan dari proses tersebut $F = C + T$
14. *Metalurgical Balance* : Jumlah metal atau mineral yang masuk dalam PBG sama dengan jumlah metal/mineral yang dihasilkan dari proses tersebut $F_f = C_c + T_t$
15. *Recovery* (R) : Perbandingan jumlah berat mineral/metal yang diambil dari suatu proses pengolahan dengan jumlah berat mineral / metal keseluruhan yang terdapat dalam bijih yang dinyatakan dalam % $R = C_c/F_f$

Sampling bahan galian harus mewakili daerah operasi penelitian. Metode/peralatan mengikuti sifat fisik bahan galian / mineralnya begitu juga perhitungan kadar mengikuti cut of grade bahan galian. Misalnya kadar emas dinyatakan dalam ppm atau karat, kadar besi dinyatakan dalam %, Kadar timah dinyatakan dalam kwintal / 1000 m³. Tujuan sampling yaitu mengambil contoh bahan galian yang dapat mewakili daerah operasi penelitian, untuk preparasi tujuannya mengubah bahan baku atau bahan tambang menjadi bahan yang siap diolah (menaikkan kadar bahan galian). Sedangkan perhitungan kadar sangat penting, supaya seorang eksplorasi sudah mengetahui prakiraan kadar bahan galian sehingga dapat menentukan daerah operasi apakah prospek atau tidak prospek.

Bahan galian adalah semua produk dari pertambangan yang diperoleh dengan cara pelepasan dari batuan induknya di dalam kerak bumi, terdiri dari mineral-mineral.

Mineral adalah suatu benda berbentuk padat, cair, atau gas yang homogeny dan terdapat di alam, terbentuk secara alamiah dari bahan-

bahan an-organik, mempunyai komposisi kimia tertentu dengan struktur atom dan sifat fisik yang sama.

1. Bahan Galian

a. Struktur Lapisan Kulit Bumi

Pertama-tama perlu anda ketahui bahwa kata lithosfer berasal dari bahasa Yunani yaitu lithos artinya batuan, dan sphaera artinya lapisan lithosfer yaitu lapisan kerak bumi yang paling luar dan terdiri atas batuan dengan ketebalan rata-rata 1200 km. Perlu anda pahami bahwa yang dimaksud batuan bukanlah benda yang keras saja berupa batu dalam kehidupan sehari-hari, namun juga dalam bentuk tanah liat, abu gunung api, pasir, kerikil dan sebagainya. Tebal kulit bumi tidak merata, kulit bumi di bagian benua atau daratan lebih tebal dari di bawah samudra. Bumi tersusun atas beberapa lapisan yaitu:

- 1) Barisfer yaitu lapisan inti bumi yang merupakan bahan padat yang tersusun dari lapisan nife (nikel dan ferum besi) jari jari barisfer +- 3.470 km.
- 2) Lapisan antara yaitu lapisan yang terdapat di atas nife tebal 1700 km. Lapisan ini disebut juga asthenosfer / mantel, merupakan bahan cair bersuhu tinggi dan berpijar. Berat jenisnya 5 gr/cm³.
- 3) Lithosfer yaitu lapisan paling luar yang terletak di atas lapisan antara dengan ketebalan 1200km berat jenis rata-rata 2,8 gram/cm³

Litosfer disebut juga kulit bumi terdiri dari dua bagian yaitu:

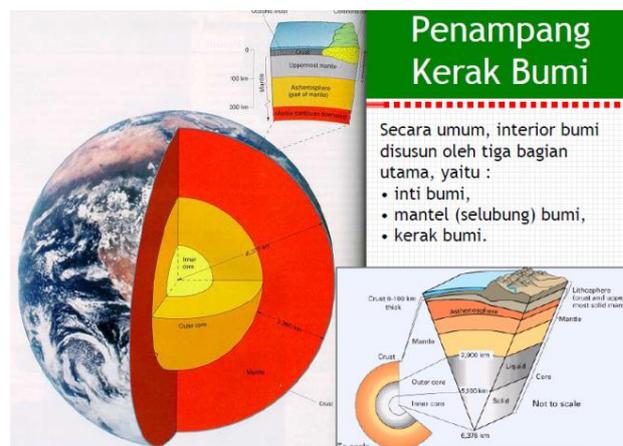
- 1) Lapisan sial (*silisium* aluminium) yaitu lapisan kulit bumi yang tersusun atas logam silisium dan aluminium, senyawanya dalam bentuk SiO₂ dan Al₂O₃. Pada lapisan sial (*silisium* dan *aluminium*) ini antara lain terdapat batuan sedimen, granit andesit jenis-jenis batuan metamor, dan batuan lain yang terdapat di daratan benua. Lapisan sial dinamakan juga lapisan kerak bersifat padat dan batu bertebaran rata-rata 35km. Kerak bumi ini terbagi menjadi dua bagian yaitu:

- a) Kerak benua : merupakan benda padat yang terdiri dari batuan granit di bagian atasnya dan batuan beku basalt di bagian bawahnya. Kerak ini yang merupakan benua.
 - b) Kerak samudra : merupakan benda padat yang terdiri dari endapan di laut pada bagian atas, kemudian di bawahnya batuan batuan vulkanik dan yang paling bawah tersusun dari batuan beku gabro dan peridotit. Kerak ini menempati dasar samudra
- 2) Lapisan sima (*silisium magnesium*) yaitu lapisan kulit bumi yang tersusun oleh logam logam silisium dan magnesium dalam bentuk senyawa Si O₂ dan Mg O lapisan ini mempunyai berat jenis yang lebih besar dari pada lapisan sial karena mengandung besi dan magnesium yaitu mineral ferro magnesium dan batuan basalt. Lapisan merupakan bahan yang bersipat elastis dan mempunyai ketebalan rata rata 65 km

b. Batuan Pembentuk Litosfer

Pada lapisan litosfer terdapat tiga jenis batuan yaitu:

- 1) Batuan beku
- 2) Batuan sedimen
- 3) Batuan metamorf

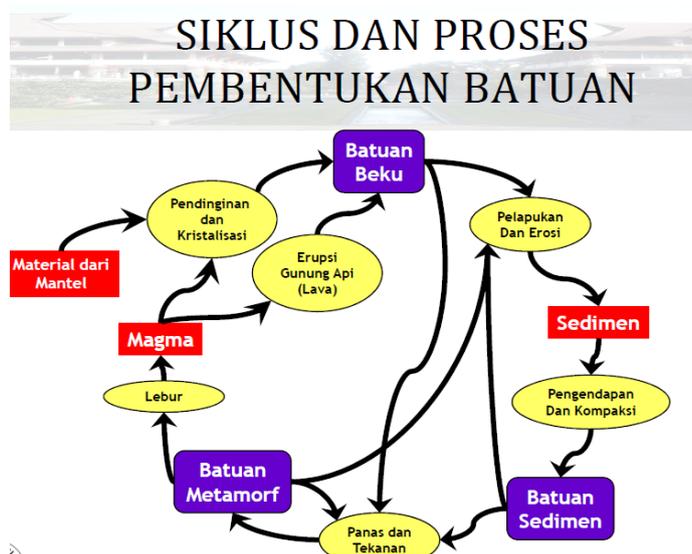


Gambar 6.1 Penampang kerak bumi

Semua batuan pada mulanya dari magma. Magma keluar di permukaan bumi antara lain melalui puncak gunung berapi. Gunung berapi ada di daratan ada pula yang di lautan. Magma yang sudah mencapai permukaan bumi akan membeku. Magma yang membeku kemudian menjadi batuan beku.

Batuan beku muka bumi selama beribu-ribu tahun lamanya dapat hancur terurai selama terkena panas, hujan, serta aktifitas tumbuhan dan hewan. Selanjutnya hancuran batuan tersebut tersangkut oleh air, angin atau hewan ke tempat lain untuk diendapkan. Hancuran batuan yang diendapkan disebut batuan endapan atau batuan sedimen. Baik batuan sedimen atau beku dapat berubah bentuk dalam waktu yang sangat lama karena adanya perubahan temperatur dan tekanan.

Batuan yang berubah bentuk disebut batuan malihan atau batuan metamorf. Proses pembentukan batuan dapat dilihat pada Gambar 6.2 dibawah ini:



Gambar 6.2 Siklus dan pembentukan batuan

2. Identifikasi Bahan Galian

a. Proses Pembentukan Bahan Galian

Proses terbentuknya endapan bahan galian adalah kompleks dan sering lebih dari satu proses yang bekerja bersama-sama. meskipun dari satu jenis bahan, misalnya logam, kalau terbentuk oleh proses yang berbeda maka akan menghasilkan tipe endapan yang berbeda pula. Contohnya adalah endapan bijih besi, endapan ini dapat dihasilkan oleh proses diferensiasi magmatik oleh larutan hidrotermal, oleh proses sedimentasi ataupun oleh proses pelapukan.

Tiap-tiap proses akan menghasilkan endapan bijih besi yang berbeda-beda baik dalam mutu, besarnya cadangan, maupun jenis mineral-mineral ikutannya. Diantara tenaga-tenaga geologi yang membentuk endapan bahan galian, maka air memegang peranan yang dominan. Di dalam peranannya, air dapat dalam bentuk uap air, air magmatik yang panas, air laut, air sungai, air tanah, air danau maupun air permukaan. Disamping air, maka temperatur, reaksi-reaksi kimia, sinar matahari, metamorfisme. tenaga-tenaga arus dan gelombang, juga merupakan faktor-faktor pembentuk endapan bahan galian.

b. Konsentrasi Magmatik

Beberapa dari mineral yang terdapat dalam batuan beku banyak yang mempunyai nilai ekonomis, tetapi pada umumnya konsentrasi terlalu kecil untuk dapat diproduksi secara komersial, oleh karena itu diperlukan suatu proses konsentrasi untuk dapat mengumpulkan bahan-bahan tersebut dalam suatu deposit yang ekonomis. Konsentrasi tersebut terjadi pada saat batuan beku masih berupa magma, karenanya disebut konsentrasi oleh proses magmatik. Perkecualian pada intan, dimana tidak diperlukan konsentrasi, tetapi suatu kristal tunggal saja sudah cukup berharga.

Deposit bahan galian sebagai hasil endapan proses magmatik ini memiliki ciri-ciri adanya hubungan yang dekat dengan batuan beku

intrusif dalam atau intrusif menengah. Konsentrasi magmatik dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

- a. Magmatik awal :
 - a) Kristalisasi tanpa konsentrasi : intan
 - b) Kristalisasi dan pemisahan : khron, platina
- b. Magmatik akhir :
 - a) Akumulasi dan atau injeksi larutan residual : besi titan, platina, titan, khron.
 - b) Akumulasi dan pemisahan larutan : beberapa tipe deposit nikel dan tembaga.
 - c) Pegmatit.

Hasil atau produk dari proses magmatik dapat dibagi menjadi 4 jenis, yaitu logam tunggal (native metal), oksida, silfida dan batu mulia (gemstone):

- a. Contoh logam tunggal : Platina, Emas, Perak, Besi-Nikel.
- b. Contoh oksida : Besi (magnetit, hematit), Besi-titan (magnetit bertitan), Titan (ilmenit), Khrom (kromit), Tungsten (wolframit).
- c. Contoh sulfida : Nikel-tembaga (kalkopirit), Nikel (pentlandit, molibdenit).
- d. Contoh batu mulia : Intan, Garnet (almandit), Peridotit.

c. Sublimasi

Proses sublimasi merupakan proses yang tidak begitu berarti dalam pembentukan bahan galian, tetapi memang ada bahan galian yang terbentuk oleh proses ini. Proses sublimasi menyangkut perubahan langsung dari keadaan gas atau uap menjadi keadaan padat, tanpa melalui fase cair. Proses ini berhubungan erat dengan kegiatan gunung berapi dan fumarol, tetapi sublimat yang dihasilkan sering jumlahnya tidak cukup banyak untuk dapat ditambang secara menguntungkan. Belerang adalah bahan galian yang terjadi sebagai akibat proses sublimasi, yang secara lokal sering cukup menguntungkan untuk ditambang. Disamping belerang sering juga dapat dijumpai garam-garam klorida dari besi, tembaga, seng dan garam-garam dari logam alkali lainnya, tetapi

umumnya relatif sangat kecil untuk dapat ditambang secara menguntungkan.

d. Kontak Metasomatisme

Pada saat magma yang pijar dan sangat panas menerobos lapisan batuan, magma tersebut makin lama akan makin kehilangan panasnya akhirnya akan membeku menjadi batuan beku intrusif. Proses tersebut dapat terjadi pada keadaan yang dangkal, menengah ataupun pada kedalaman yang besar, sehingga dikenal adanya batuan beku intrusif dangkal, menengah ataupun dalam. Dalam proses tersebut akan terlihat adanya tekanan dan suhu yang sangat tinggi terutama pada kontak terobosannya, antara magma yang masih cair dengan batuan disekitarnya. Pengaruh dari kontak ini dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu :

- 1) Pengaruh dari panas saja, tanpa adanya perubahan-perubahan kimiawi baik pada magmanya maupun pada batuan yang diterobos. kontak ini disebut kontak metamorfisme.
- 2) Pengaruh panas dan disertai adanya perubahan-perubahan kimiawi sebagai akibat pertukaran ion dan sebagainya. Dari magma ke batuan yang diterobos dan sebaliknya. Kontak semacam ini disebut kontak metasomatisme.

e. Konsenterasi Hidrotermal

Produk akhir dari proses diferensiasi magmatik adalah suatu larutan yang disebut larutan sisa magma, yang mungkin dapat mengandung konsenterasi logam yang dulunya berada dalam magma. Larutan sisa magma ini yang juga disebut larutan hidrotermal, banyak mengandung logam-logam yang berasal dari magma yang sedang membeku dan diendapkan ditempat-tempat sekitar magma yang sedang membeku tadi. Larutan ini makin jauh letaknya dari magma makin kehilangan panasnya, sehingga dikenal adanya deposit hidrotermal suhu tinggi di tempat yang terdekat dengan intrusi, deposit hidrotermal suhu menengah ditempat yang agak jauh, dan deposit hidrotermal suhu rendah di tempat yang terjauh. Deposit tersebut juga dinamakan hipotermal, mesotermal dan

epitermal, tergantung dari suhu, tekanan, dan keadaan geologi di mana mereka terbentuk, seperti yang ditunjukkan oleh mineral-mineral yang dikandungnya.

Dalam perjalanannya melalui (menerobos) batuan, larutan hidrotermal akan mendepositkan mineral-mineral yang dikandungnya di rongga-rongga batuan dan membentuk deposit celah (cavity filling deposit) atau melalui proses metasomatik membentuk deposit pengganti (replacement deposit). Secara umum deposit replacement terjadi pada kondisi suhu dan tekanan tinggi jadi pada daerah lebih dekat batuan intrusinya, merupakan deposit hipotermal. Sebaliknya deposit pengisian atau deposit celah (cavity filling deposit) lebih banyak terjadi di daerah dengan suhu dan tekanan rendah, jadi merupakan deposit epitermal, yang terletak agak jauh dari batuan intrusifnya

Syarat-syarat penting untuk terjadinya deposit hidrotermal adalah :

- 1) Adanya larutan yang mampu melarutkan mineral-mineral.
- 2) Adanya tekanan atau rongga pada batuan yang dapat dilewati larutan.
- 3) Adanya tempat dimana larutan dapat mendepositkan kandungan mineralnya.
- 4) Ada reaksi kimia yang menghasilkan pengendapan mineral baru.
- 5) Konsentrasi mineral yang cukup dalam deposit sehingga menguntungkan kalau ditambang.

f. Sedimentasi

Proses-proses sedimentasi tidak saja menghasilkan batuan-batuan sedimen, tetapi dapat juga menghasilkan deposit-deposit mineral berharga seperti mangan, besi, tembaga, batubara, karbonat, tanah lempung, belerang, lempung pemurni (fuller's earth atau bleekarde), lempung bentonit, tanah diatome, dan secara tidak langsung deposit vanadium-uranium. Meskipun demikian deposit-deposit tersebut sebenarnya juga batuan sedimen, yang kebetulan karena sifat-sifat kimiawi dan fisiknya kemudian menjadi sangat berharga. Karenanya,

cara terbentuknya juga sama dengan cara terbentuknya batuan sedimen, harus ada batuan yang bertindak sebagai sumber (asal), harus ada suatu proses yang mengangkut dan mengumpulkan bahan-bahan hasil rombakan batuan asal, dan akhirnya pengendapan hasil rombakan tersebut pada suatu cekungan pengendapan tertentu. Kemudian mungkin saja dapat terjadi alterasi kimiawi ataupun kompaksi dan perubahan-perubahan lain pada endapan tersebut. Jadi dalam proses di atas jelaslah bahwa batuan asal haruslah mengalami pelapukan terlebih dahulu, baik pelapukan fisik maupun pelapukan kimia, sebelum diangkut dan diendapkan ditempat lain.

Jenis batuan asal, cara pengangkutannya, dan lingkungan pengendapan dimana bahan-bahan tersebut akan diendapkan kembali, pada umumnya akan serupa bagi satu jenis bahan tertentu. Termasuk dalam proses sedimentasi ini pengendapan deposit mineral akibat penguapan (evaporation). Proses penguapan ini paling baik terjadi di daerah beriklim panas dan kering. Air tanah, air danau atau air pada daerah laut yang tertutup seperti laguna, dapat menghasilkan deposit-deposit mineral sebagai akibat proses penguapan. Juga sumber-sumber air panas dapat menghasilkan deposit serupa.

g. Pelapukan

Proses pelapukan yang meskipun berjalan lambat tetapi terus-menerus dalam jangka waktu lama, sehingga pada akhirnya batuan dan mineral-mineral yang dikandungnya akan mengalami disintegasi sebagai akibat pelapukan fisik dan dekomposisi sebagai akibat pelapukan kimiawi. Pelapukan fisika dan kimiawi terdiri dari bermacam-macam proses yang dapat bekerja sendiri-sendiri ataupun secara bersama-sama. Pelapukan kimiawi banyak terjadi di daerah yang beriklim basah dan panas seperti di Indonesia ini, sedang pelapukan fisik lebih menonjol di daerah yang beriklim kering.

Hasil pelapukan dapat dibedakan atas tiga jenis atau kelompok, yaitu :

- 1) Bahan-bahan yang dilarutkan dan diangkut sebagai larutan.

- 2) Bahan-bahan yang diangkut bukan sebagai larutan, tetapi sebagai bahan padat, yaitu sebagai beban melayang (suspensi) dan sebagai beban dasar (bed-load).
- 3) Bahan-bahan yang tertinggal.
Diantara ketiga jenis bahan sebagai hasil proses pelapukan di atas, maka bahan jenis pertama kalau merupakan bahan berharga konsentrasinya akan merupakan deposit evaporit (penguapan) yang telah diterangkan di depan. Sedang konsentrasi bahan galian kedua akan merupakan deposit karena proses sedimentasi seperti telah diuraikan di depan.

h. Deposit konsentrasi residual

Konsentrasi residual adalah suatu pengumpulan bahan residu yang berharga setelah bagian-bagian tidak berharga tersingkirkan oleh proses pelapukan. Contoh deposit yang terbentuk secara ini adalah bijih besi yang terkandung dalam gamping murni dalam bentuk besi karbonat. Oleh proses pelarutan (pelapukan kimiawi) gampingnya akan larut dan besinya tertinggal. Seperti juga besi, mangan juga dapat terbentuk akibat pelapukan kimiawi. Meskipun aluminium termasuk unsur yang sangat banyak dijumpai pada kerak bumi, tetapi sebagian besar ada dalam kombinasi dengan bahan lain yang masih menimbulkan kesulitan untuk dapat diambil secara komersial.

Sampai sekarang hanya bauksit yang merupakan bijih aluminium yang komersial. Bauksit adalah suatu oksida aluminium yang terhidrasi, dan berasal dari hasil pelapukan batuan beku yang kaya akan mineral-mineral feldspar dan tidak mengandung mineral kuarsa, yaitu nepheline syenit. Bauksit yang baik mengandung kira-kira 50% aluminium dan kurang dari 6% silika, 10% oksida besi dan 4% oksida titanium.

i. Deposit konsentrasi mekanis atau placer

Sisa pelapukan yang tidak dapat larut akan menghasilkan suatu selubung dari bahan-bahan lepas, diantaranya berat dan beberapa lagi ringan; ada yang getas (brittle) dan ada yang tahan (durable). Bahan-bahan tersebut

oleh suatu media tertentu seperti air yang mengalir (sungai), angin arus pantai (beach), ataupun air permukaan (running water) dapat mengalami pemisahan bagian yang berat terhadap bagian yang ringan secara gravitasi dan membentuk endapan placer.

Konsentrasi hanya dapat terjadi kalau mineral berharga yang bersangkutan memiliki tiga sifat sebagai berikut :

- a. Berat jenisnya tinggi
- b. Tahan terhadap pelapukan kimiawi
- c. Tahan terhadap benturan-benturan fisik (durable)

Mineral placer yang memiliki sifat-sifat tersebut adalah emas, platina, tinstone, magnetit, khromit, ilmenit, rutil, tembaga, batu mulia, zircon, monazit, fosfat, tantalit, columbit. Diantara bahan-bahan tersebut di atas yang paling berharga sebagai deposit placer adalah emas, platina, tinstone, ilmenit (bijih titanium), intan dan ruby.

j. Deposit sebagai akibat oksidasi dan pengkayaan sekunder

Air dan oksigen adalah tenaga pelapukan kimiawi yang sangat kuat, kalau mereka bersentuhan dengan suatu deposit bijih, maka hasilnya adalah reaksi-reaksi kimia yang kadang-kadang dapat drastis dan merubah deposit yang sudah ada tersebut. Air permukaan yang mengandung oksigen akan bersifat sebagai bahan pelarut yang mampu melarutkan mineral-mineral tertentu. Suatu deposit bijih dapat teroksidasi dan dapat kehilangan banyak kandungan mineral yang berharga karena tercuci (leached), kemudian terbawa ke bawah oleh air permukaan yang sedang turun ke bawah (meresap ke bawah).

Pada bagian bawah, akhirnya larutan tersebut mengendapkan kandungan-kandungan mineral logamnya menjadi endapan bijih teroksidasi (oxidized ores), ini terjadi di atas muka air tanah. Pada saat larutan memasuki air tanah di bawah muka air tanah, mereka memasuki zona dimana tidak ada oksigen dan kandungan logamnya lalu diendapkan dalam bentuk logam-logam sulfida. Proses tersebut dinamakan pengkayaan sulfida sekunder. Tentu saja gambaran tersebut

tidak terjadi pada semua deposit bijih yang terkena air, karena tidak semua deposit bijih mengandung logam yang dapat teroksidasi, atau iklim yang tidak memungkinkan terjadinya pelarutan yang kuat. Jadi haruslah ada kondisi khusus yang mengangkut waktu, iklim, topografi dan jenis bijih tertentu untuk dapat terjadinya zona teroksidasi dan zona diperkaya.

k. Deposit oleh Proses Metamorfisme

Metamorfisme adalah suatu proses dimana batuan dan mineral mengalami ubahan akibat adanya tekanan dan suhu yang tinggi yang ditimpakan kepadanya, disamping itu kadang-kadang disertai pula dengan penambahan air dan karbon dioksida. Ubahan ini dapat dalam bentuk kristalisasi maupun rekombinasi dari kandungan-kandungan batuan yang menimbulkan mineral-mineral bukan logam baru yang berharga. Deposit mineral yang terjadi oleh proses metamorfisme terutama adalah grafit, asbes, talk, batusabun, garnet dan bahan-bahan abrasif.

l. Konsentrasi oleh Proses Air Tanah

Yang dimaksud dengan air tanah adalah air di bawah permukaan tanah dan di bawah muka air tanah, semua pori batuan terisi jenuh dengan air. Sedangkan air tanah yang berada di atas muka air tanah disebut air gravitasi (gravity water). Muka air tanah ini biasa juga disebut water table. Air tanah dapat dibedakan antara yang berasal dari curah hujan dan merembes ke dalam tanah yang akhirnya masuk ke dalam lapisan pembawa air (aquifer) dan air tanah yang terjebak di dalam lapisan batuan bersamaan dengan waktu batuan sedimen itu terbentuk. Air tanah jenis pertama disebut air meteorik (meteoric water) dan yang kedua disebut air konet (connet water). Karena sifat terbentuknya maka air konet ini lebih kaya akan garam –garam dibandingkan dengan air meteorik.

3. Klasifikasi Bahan Galian

a. Penggolongan Bahan Galian Menurut Undang-Undang Pertambangan Indonesia

Kebutuhan sesuatu bahan galian untuk memenuhi kebutuhan manusia pada saat ini makin terasa sekali. Minyak bumi sebagai contoh, pada saat ini merupakan bahan bakar yang dibutuhkan dan digunakan oleh setiap negara di dunia ini. Hampir setiap manusia di dunia membutuhkan minyak bumi untuk kepentingan yang berbeda-beda. Kebutuhan akan minyak bumi pada saat ini sudah tidak terkendali lagi sehubungan dengan kemajuan dalam bidang teknologi, sehingga dapat berpengaruh tidak saja terhadap segi ekonomi, tetapi juga berpengaruh terhadap segi sosial, politik dan keamanan.

Di Indonesia, minyak bumi selain merupakan barang-barang pokok yang dibutuhkan rakyatnya, tetapi juga merupakan sumber devisa yang besar. Sebagian besar anggaran pendapatan Negara diperoleh dari penjualan minyak bumi. Bahan galian jenis ini memberikan keuntungan yang tidak sedikit serta dapat menjamin perekonomian Negara.

Menurut undang-undang pokok pertambangan No.11 tahun 1967, pasal 3 ayat 1, bahan galian di Indonesia dipisahkan menjadi 3 golongan, masing-masing adalah :

- 1) Golongan bahan galian strategi
- 2) Golongan bahan galian vital
- 3) Golongan bahan galian yang tidak termasuk a dan b

Sementara itu, dalam bagian Penjelasan, dicantumkan bawah arti penggolongan bahan-bahan galian tersebut adalah :

- 1) Bahan galian Strategis berarti strategis untuk Pertahanan dan Keamanan serta Perekonomian Negara;
- 2) Bahan galian Vital berarti dapat menjamin hajat hidup orang banyak;
- 3) Bahan galian yang tidak termasuk bahan galian Strategis (a) dan Vital berarti karena sifatnya tidak langsung memerlukan pasaran yang bersifat internasional.

Penunjukan sesuatu bahan galian ke dalam golongan a, b, atau golongan c, menurut pasal 3 ayat 2 dari undang-undang pokok pertambangan

No.11 tahun 1967, diatur dengan Peraturan Pemerintah. Penggolongan bahan galian semula diatur Peraturan Pemerintah No.39 tahun 1960 tentang penggolongan bahan galian. Peraturan tersebut kemudian dicabut dan digantikan oleh Peraturan Pemerintah No.25 tahun 1964, tentang penggolongan bahan galian menurut Peraturan Pemerintah No.25 tahun 1964 didasarkan pertimbangan sebagai berikut:

- 1) Nilai strategis/ekonomis bahan galian terhadap Negara;
- 2) Terdapatnya sesuatu bahan galian dalam alam (genese);
- 3) Penggunaan bahan galian bagi industri;
- 4) Pengaruhnya terhadap kehidupan rakyat banyak;
- 5) Pemberian kesempatan pengembangan pengusaha;
- 6) Penyebaran pembangunan di Daerah

Selanjutnya UU 11/1967 ini ditindaklanjuti dengan Peraturan Pemerintah Tentang Penggolongan Bahan Galian (PP No 27/1980), yang menyatakan sebagai berikut:

- a. Golongan bahan galian yang strategis adalah:
 - 1) minyak bumi, bitumen cair, lilin bumi, gas alam;
 - 2) bitumen padat, aspal;
 - 3) antrasit, batubara, batubara muda;
 - 4) uranium, radium, thorium dan bahan-bahan galian radioaktif lainnya;
 - 5) nikel, kobalt;
 - 6) timah
- b. Golongan bahan galian yang vital adalah:
 - 1) besi, mangan, molibden, khrom, wolfram, vanadium, titan;
 - 2) bauksit, tembaga, timbal, seng;
 - 3) emas, platina, perak, air raksa, intan;
 - 4) arsen, antimon, bismut;
 - 5) yttrium, rutenium, cerium dan logam-logam langka lainnya;
 - 6) berillium, korundum, zirkon, kristal kwarsa;
 - 7) kriolit, fluorpar, barit;
 - 8) yodium, brom, klor, belerang;

c. Golongan C atau bahan galian yang tidak termasuk golongan A atau B adalah:

- 1) nitrat-nitrat, pospat-pospat, garam batu (halite);
- 2) asbes, talk, mika, grafit, magnesit;
- 3) yarosit, leusit, tawas (alum), oker;
- 4) batu permata, batu setengah permata;
- 5) pasir kwarsa, kaolin, feldspar, gips, bentonit;
- 6) batu apung, tras, obsidian, perlit, tanah diatome, tanah serap (fullers earth);
- 7) marmer, batu tulis;
- 8) batu kapur, dolomit, kalsit;
- 9) granit, andesit, basal, trakhit, tanah liat, dan pasir sepanjang tidak mengandung unsur-unsur mineral golongan a amupun golongan b dalam jumlah yang berarti ditinjau dari segi ekonomi pertambangan.

b. Penggolongan bahan galian berdasarkan Pemanfaatannya

Bahan galian menurut pemanfaatannya dikelompokkan atas tiga golongan:

- a) Bahan galian Logam / Bijih (Ore); merupakan bahan galian yang bila dioleh dengan teknologi tertentu akan dapat diambil dan dimanfaatkan logamnya, seperti timah, besi, tembaga, nikel, emas, perak, seng, dll
- b) Bahan galian Energi; merupakan bahan galian yang dimanfaatkan untuk energi, misalnya batubara dan minyak bumi.
- c) Bahan galian Industri; merupakan bahan galian yang dimanfaatkan untuk industri, seperti asbes, aspal, bentonit, batugamping, dolomit, diatomae, gipsum, halit, talk, kaolin, zeolit, tras.

c. Penggolongan bahan galian industri berdasarkan cara terbentuknya.

Penggolongan bahan galian industri berdasarkan atas asosiasi dengan batuan tempat terdapatnya, dengan mengacu pada Tushadi dkk [1990, dalam Sukandarumidi, 1999] adalah sebagai berikut :

- a. Kelompok I : BGI yang berkaitan dengan Batuan Sedimen, kelompok ini dapat dibagi menjadi :
 - 1). Sub Kelompok A : BGI yang berkaitan dengan batugamping :
Batugamping, dolomit, kalsit, marmer, oniks, Posfat, rijang, dan gipsum.
 - 2). Sub Kelompok B : BGI yang berkaitan dengan batuan sedimen lainnya : bentonit, ballclay dan bondclay, fireclay, zeolit, diatomea, yodium, mangan, felspar.

- a. Kelompok II, BGI yang berkaitan dengan batuan gunung api : obsidian, perlit, pumice, tras, belerang, trakhit, kayu terkersikkan, opal, kalsedon, andesit dan basalt, paris gunung api, dan breksi pumice.
- b. Kelompok III, BGI yang berkaitan dengan intrusi plutonik batuan asam & ultra basa : granit dan granodiorit, gabro dan peridotit, alkali felspar, bauksit, mika, dan asbes.
- c. Kelompok IV, BGI yang berkaitan dengan batuan endapan residu & endapan letakan : lempung, pasir kuarsa, intan, kaolin, zirkon, korundum, kelompok kalsedon, kuarsa kristal, dan sirtu.
- d. Kelompok V, BGI yang berkaitan dengan proses ubahan hidrotermal : barit, gipsum, kaolin, talk, magnesit, pirofilit, toseki, oker, dan tawas.
- e. Kelompok VI, BGI yang berkaitan dengan batuan metamorf : kalsit, marmer, batusabak, kuarsit, grafit, mika dan wolastonit.

4. Teknik Pengambilan Sampel

Sampling (pengambilan conto) merupakan tahap awal dari suatu analisis. Pengambilan conto harus efektif, cukup seperlunya tapi representatif (mewakili). Sampling harus dilakukan dalam tahapan yang benar sehingga hasil sampling yang didapat mampu mewakili material yang begitu banyak dan dapat dipakai sebagai patokan untuk mengontrol apakah proses pengolahan tersebut berjalan dengan baik atau tidak. Untuk hasil lebih baik dilakukan analisa mikroskop.

Increment adalah jumlah satuan mineral yang dikumpulkan dari populasi sebagai bagian dari contoh yang diperoleh dengan sekali pengambilan contoh.

Dari mekanismenya, pengambilan contoh dapat dibagi dua, yaitu :

a. Hand sampling

Pengambilan contoh dilakukan dengan tangan, sehingga hasilnya sangat tergantung pada ketelitian operator

1) Grab sampling

Pengambilan sampel pada material yang homogen dan dilakukan dengan interval tertentu dengan menggunakan sekop. Contoh yang diperoleh biasanya kurang representatif.

2) Shovel sampling

Pengambilan sampel dengan menggunakan shovel, keuntungan cara ini lebih murah, waktu pengambilan cepat dan memerlukan tempat yang tidak begitu luas. Material contoh yang diambil berukuran kurang dari 2 inchi.

3) Stream sampling

Alat yang digunakan Hand sampling cutter. Contoh yang diambil berupa pulp (basah) dan pengambilan searah dengan aliran (stream).

4) Pipe sampling

Alat yang digunakan pipa/tabung dengan diameter 0.5, 1.0, dan 1.5 inchi. Salah satu ujung pipa runcing untuk dimasukkan ke material. Terdiri dari dua pipa (besar dan kecil) sehingga terdapat rongga diantaranya untuk tempat contoh. Digunakan pada material padat yang halus dan tidak terlalu keras.

5) Coning and quatering

Langkah-langkah yang dilakukan:

- a) Material dicampur sehingga homogenya.
- b) Diambil secukupnya dan dibuat bentuk kerucut.
- c) Ujung kerucut ditekan sehingga membentuk kerucut terpotong dan dibagi empat bagian sama besar.

d) Dua bagian yang berseberangan diambil untuk dijadikan conto yang dianalisis.

b. Mechanical sampling

Digunakan untuk pengambilan conto dalam jumlah yang besar dengan hasil yang lebih representatif dibandingkan hand sampling. Alat yang dipergunakan, antara lain;

1) Riffle sampler

Alat ini bentuknya persegi panjang dan didalamnya terbagi beberapa sekat yang arahnya berlawanan. Riffle-riffle ini berfungsi sebagai pembagi conto agar dapat terbagi sama rata.

2) Vein sampler

Pada bagian dalam dilengkapi dengan revolving cutter, yaitu pemotong yang dapat berputar pada porosnya sehingga akan membentuk area yang bundar sehingga dapat memotong seluruh alur bijih.

Langkah selanjutnya setelah sampling adalah analisa yang meliputi penimbangan, pengayakan, mikroskopis dan analisis kimiawi jika diperlukan.

Analisis Ayak

Tujuan analisis ayak adalah untuk mengetahui :

- a. Jumlah produksi suatu alat
- b. Distribusi partikel pada ukuran tertentu
- c. Ratio of concentration
- d. Recovery suatu mineral pada setiap fraksi

Peralatan yang diperlukan dalam analisis ayak antara lain ayakan, timbangan, mikroskop dan alat sampling. Untuk melakukan analisis lebih baik digunakan dua ayakan dengan salah satunya dipakai sebagai pembanding.

a. Standar ukuran ayakan (screen)

Ukuran yang digunakan bisa dinyatakan dengan mesh maupun mm (metrik). Yang dimaksud mesh adalah jumlah lubang yang terdapat dalam satu inchi persegi (square inch), sementara jika dinyatakan

dalam mm maka angka yang ditunjukkan merupakan besar material yang diayak.

b. Presentase opening

Presentase opening adalah perbandingan antara luas lubang bukaan dengan luas permukaan screen.

Pelolosan material dalam ayakan dipengaruhi oleh beberapa hal, yaitu:

- a. Ukuran material yang sesuai dengan lubang ayakan
- b. Ukuran rata-rata material yang menembus lubang ayakan
- c. Sudut yang dibentuk oleh gaya pukulan partikel
- d. Komposisi air dalam material yang akan diayak
- e. Letak pelapisan material pada permukaan sebelum diayak

Kapasitas screen secara umum tergantung pada :

- a. Luas penampang screen
- b. Ukuran bukaan
- c. Sifat dari umpan seperti ; berat jenis, kandungan air, temperature
- d. Tipe mechanical screen yang digunakan

Efisiensi screen dalam mechanical engineering didefinisikan sebagai perbandingan dari energi keluaran dengan energi masukan. Dengan demikian dalam screening bukannya efisiensi melainkan ukuran keefektifan dari operasi. Faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi screen:

1. Lamanya umpan berada dalam screen
2. Jumlah lubang yang terbuka
3. Kecepatan umpan
4. Tebalnya lapisan umpan
5. Cocoknya lubang ayakan dengan bentuk dan ukuran rata-rata material yang diolah.

Dari hasil pengayakan dilakukan analisa mikroskop sehingga didapatkan hasil bahwa pada ukuran butir yang paling kecil derajat liberasinya makin

besar. Dengan demikian berarti makin kecil ukuran butir makin sempurna material terliberasi atau terbebaskan dari ikatan gangue mineral.

Selain itu dari hasil pengayakan yang dilakukan dengan dua ayakan akan dapat dibandingkan satu sama lainnya sehingga dapat diketahui efisiensi pengayakan yang paling baik.

Derajat liberasi adalah perbandingan antara jumlah berat mineral bebas dan berat mineral yang sama seluruhnya (bebas dan terikat).

Efisiensi yaitu perbandingan antara undersize yang lolos dengan undersize yang seharusnya lolos.

Sampling adalah cara mengambil contoh bahan galian yang mewakili suatu daerah. Sebelum pengambilan sample maka terlebih dahulu dilakukan survei (penelitian pendahuluan), mencakup daerah yang cukup luas.

Survei

Penelitian pendahuluan dapat dilakukan dengan cara :

1. Foto udara : dengan pesawat terbang / satelit.
2. Pengukuran langsung di permukaan tanah :
 - a) Geomagnetik : sifat – sifat magnet suatu endapan
 - b) Geolistrik : sifat – sifat listrik suatu endapan
 - c) Geofisik : Gelombang pantulan suatu endapan (lebih keras sifat endapan maka waktu pantulan semakin cepat)
 - d) Geokimia : Sifat – sifat kimia dari bahan galian

Peta yang dihasilkan (1) peta berskala 1 : 25000 (peta anomali) yakni indikasi adanya tanah – tanah yang mengandung bahan galian yang dicari.

Tahapan Lanjutan (follow up)

Tahapan lanjutan adalah penelitian yang dilakukan pada daerah – daerah anomali sesuai peta anomali pada tahap 1. Pada tahapan lanjutan dilakukan penelitian yang meliputi kegiatan :

1. *Traverse*

Merupakan survei meliputi sungai ke arah hulu dan percabangannya. Prinsipnya adalah membuat garis lurus di sungai dengan cara

tertentu, yaitu masih dapat dilihat pembidik. Sample yang diambil dari travers didapat dari singkapan, umumnya jarak pengambilan sample adalah 50 m atau sesuai kondisi medan. Peralatan yang digunakan umumnya: Kompas, Klinometer, Pita Ukur, Peralatan Pendukung (tali, map, HCL, fold lens/ Lensa lipat).

2. *Grid Soil*

Dilaksanakan sebagai kelanjutan dari travers sungai karena survei grid soil biasanya dilakukan di daerah pegunungan yang dijumpai banyak sungai. Pada kegiatan ini dilakukan pengambilan sample tanah, chip sampling. Bedanya dengan batuan adalah tanah dipengaruhi oleh organisme. Chip *rock sampling* adalah pengambilan sample batuan dengan pahat/palu geologi dan hasilnya berupa batuan yang remuk. Lihat contoh grid soil pada gambar dibawah ini :

3. *Trenching*

Trenching adalah sistem pengambilan sample dengan membuat alur / selokan kecil pada batuan / bahan galian yang masih segar.

4. *Test Pit*

Test pit adalah pengambilan sample pada daerah yang elum tererosi, tetapi terletak pada kedalaman yang sulit dicapai bila tanpa membuat test pit (sumuran).

Grid Line

Grid line merupakan suatu metode pengambilan sample pada daerah travers sungai untuk mengetahui kandungan lapisan batuan yang mungkin lanjutan dari outcrop (singkapan) selama travers. Pada kegiatan grid line pengambilan sample dapat dilakukan dengan cara soil sampling (SO), Rock Chip Sampling (RC).

Adapun prinsip dari grid line adalah membuat garis lurus di lapangan kemudian menentukan titik – titik pengambilan sample. Dikenal istilah base line (garis dasar), cross line adalah garis yang dibuat pada base line

yang arahnya utara – selatan, tahapan – tahapan untuk membuat grid line adalah :

- 1) Menentukan arah garis dengan kompas untuk mengarahkan orang yang merintis jalan.
- 2) Mengurai pita ukur sampai jarak masih bisa terlihat bendera pita ukur. Secara umum pita ukur memiliki panjang maksimal 20m, apabila tidak memungkinkan pita bantu dengan panjang 5m, 10m, 15m, 20m, 25m.
- 3) Mengukur slope (lereng)
- 4) Menentukan Jarak 12,5 m untuk melakukan pengukuran geomagnetik.

Tahapan Penanganan Sample

1. Tahap penerimaan sample

Pada tahap ini sample diterima dari lapangan yang dilengkapi dengan data mendasar : nomor lokasi sample, jenis sample / bahan galian, jumlah sample berdasarkan titik pengambilan sample (pengeboran inti, bor bangsa / empire bor, sumur uji (test pit).

2. Tahap Pemrosesan Sample

Samples yang datang dari lapangan kalau berasal dari pemboran, maka sample dimasukkan dalam kantong sample (tray). Sample dapat diangkut melalui darat, pesawat, speed board, dari lokasi pengambilan sample, Core dalam sample box, sesudah sampai dilaboratorium diatur pada meja core sesuai dengan lokasinya. Core dicuci dengan sabun untuk menghilangkan lumpur atau tanah yang menempel. Core disusun mendekati aslinya.

3. Labelling (Pemberian Label)

Pemberian keterangan pada tray dilakukan dengan cara diberi cat dan keterangan yang meliputi nomor lote / lubang bor, nomor box, interval (jarak kedalaman). Ukuran interval dimulai dari bagian kiri core sampai dengan bagian akhir kedalaman yang dicapai. Pada awalnya dapat diukur melalui core box sebelum atau berikutnya. Pada pengukuran interval core harus teliti benar artinya core yang hancur /patah harus dirapatkan sehingga mendekati susunan aslinya. Alat yang diperlukan adalah spidol anti air, tisu pengering (mmbersihkan meteran).

5. Sifat – Sifat Bahan Galian

Terdapat dua cara untuk dapat mengenal suatu mineral, yang pertama adalah dengan cara mengenal sifat fisiknya. Yang termasuk dalam sifat fisik mineral adalah (1) bentuk kristalnya, (2) berat jenis, (3) bidang belah, (4) warna, (5) kekerasan, (6) goresan, dan (7) kilap. Adapun cara yang kedua adalah melalui analisa kimiawi atau analisa difraksi sinar X, cara ini pada umumnya sangat mahal dan memakan waktu yang lama.

a. Sifat Fisik Mineral

Berikut ini adalah sifat-sifat fisik mineral yang dapat dipakai untuk mengenal mineral secara cepat, yaitu:

1. Bentuk kristal (crystal form): Apabila suatu mineral mendapat kesempatan untuk berkembang tanpa mendapat hambatan, maka ia akan mempunyai bentuk kristalnya yang khas. Tetapi apabila dalam perkembangannya ia mendapat hambatan, maka bentuk kristalnya juga akan terganggu. Setiap mineral akan mempunyai sifat bentuk kristalnya yang khas, yang merupakan perwujudan kenampakan luar, yang terjadi sebagai akibat dari susunan kristalnya didalam.

Tabel 6.1 Bentuk Bentuk Kristal Isometrik

Bentuk Bentuk Kristal Isometrik			
Nama	Jumlah Bidang	Nama	Jumlah Bidang
 (1) Cube	6	 (9) Tristetrahedron	12
 (2) Octahedron	8	 (10) Hextetrahedron	24
 (3) Dodecahedron	12	 (11) Deltoid dodecahedron	24
 (4) Tetrahexahedron	24	 (12) Gyroid	24
 (5) Trapezohedron	24	 (13) Pyritohedron	12
 (6) Trisoctahedron	24	 (14) Diploid	24

 (7) Hexoctahedron	48	 (15) Tetartoid	12
 (8) Tetrahedron	4		

Tabel 6.2 Bentuk Kristal Non – Isometrik

Bentuk Bentuk Kristal Non-Isometrik					
Nama		Jumlah Bidang	Nama		Jumlah Bidang
	(16) Pedion*	1		(32) Dihexagonal pyramid	12
	(17) Pinacoid**	2		(33) Rhombic dipyramid	8
	(18) Dome or Sphenoid	2		(34) Trigonal dipyramid	6
	(19) Rhombic prism	4		(35) Ditrigonal dipyramid	12
	(20) Trigonal prism	3		(36) Tetragonal dipyramid	8
	(21) Ditrigonal prism	6		(37) Ditetragonal dipyramid	16
	(22) Tetragonal prism	4		(38) Hexagonal dipyramid	12
	(23) Ditetragonal prism	8		(39) Dihexagonal dipyramid	24
	(24) Hexagonal prism	6		(40) Trigonal trapezohedron	6
	(25) Dihexagonal prism	12		(41) Tetragonal trapezohedron	8
	(26) Rhombic pyramid	4		(42) Hexagonal trapezohedron	12
	(27) Trigonal pyramid	3		(43) Tetragonal scalenohedron	8
	(28) Ditrigonal pyramid	6		(44) Hexagonal scalenohedron	12

	(29) Tetragonal pyramid	4		(45) Rhombohedron	6
	(30) Ditetragonal pyramid	8		(46) Rhombic disphenoid	4
	(31) Hexagonal pyramid	6		(47) Tetragonal disphenoid	4

Kristal mineral intan, dapat dikenali dari bentuknya yang segi-delapan atau oktahedron dan mineral grafit dengan segi-enamnya yang pipih, meskipun keduanya mempunyai susunan kimiawi yang sama, yaitu keduanya terdiri dari unsur Karbon (C). Perbedaan bentuk kristal tersebut terjadi karena susunan atom karbonnya yang berbeda.

2. Berat jenis (specific gravity): Setiap mineral mempunyai berat jenis tertentu. Besarnya ditentukan oleh unsur-unsur pembentuknya serta kepadatan dari ikatan unsur-unsur tersebut dalam susunan kristalnya. Umumnya mineral-mineral pembentuk batuan, mempunyai berat jenis sekitar 2.7, meskipun berat jenis rata-rata unsur metal didalamnya berkisar antara 5. Emas murni umpamanya, mempunyai berat jenis 19.3.
3. Bidang belah (fracture): Mineral mempunyai kecenderungan untuk pecah melalui suatu bidang yang mempunyai arah tertentu. Arah tersebut ditentukan oleh susunan dalam dari atom-atomnya. Dapat dikatakan bahwa bidang tersebut merupakan bidang lemah yang dimiliki oleh suatu mineral.
4. Warna (color): Warna mineral memang bukan merupakan penciri utama untuk dapat membedakan antara mineral yang satu dengan lainnya. Namun paling tidak ada warnawarna yang khas yang dapat digunakan untuk mengenali adanya unsur tertentu didalamnya. Sebagai contoh warna gelap dipunyai mineral, mengindikasikan terdapatnya unsur besi. Disisi lain mineral dengan warna terang, diindikasikan banyak mengandung aluminium.

5. Kekerasan (hardness): Salah satu kegunaan dalam mendiagnosa sifat mineral adalah dengan mengetahui kekerasan mineral. Kekerasan adalah sifat resistensi dari suatu mineral terhadap kemudahan mengalami abrasi (abrasive) atau mudah tergores (scratching). Kekerasan suatu mineral bersifat relatif, artinya apabila dua mineral saling digoreskan satu dengan lainnya, maka mineral yang tergores adalah mineral yang relatif lebih lunak dibandingkan dengan mineral lawannya. Skala kekerasan mineral mulai dari yang terlunak (skala 1) hingga yang terkeras (skala 10) diajukan oleh Mohs dan dikenal sebagai Skala Kekerasan Mohs.

Tabel 6.3. Skala mohs

Kekerasan (Hardness)	Mineral	Rumus Kimia
1	Talc	$Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$
2	Gypsum	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$
3	Calcite	$CaCO_3$
4	Fluorite	CaF_2
5	Apatite	$Ca_5(PO_4)_3(OH,Cl,F)$
6	Orthoclase	$KAlSi_3O_8$
7	Quartz	SiO_2
8	Topaz	$Al_2SiO_4(OH,F)_2$
9	Corundum	Al_2O_3
10	Diamond	C

6. Goresan pada bidang (streak): Beberapa jenis mineral mempunyai goresan pada bidangnya, seperti pada mineral kuarsa dan pyrit, yang sangat jelas dan khas.
7. Kilap (luster): Kilap adalah kenampakan atau kualitas pantulan cahaya dari permukaan suatu mineral. Kilap pada mineral ada 2 (dua) jenis, yaitu Kilap Logam dan Kilap NonLogam. Kilap Non-logam antara lain, yaitu: kilap mutiara, kilap gelas, kilap sutera, kelap resin, dan kilap tanah.

b. Sifat Kimiawi Mineral

Berdasarkan senyawa kimiawinya, mineral dapat dikelompokkan menjadi mineral Silikat dan mineral Non-silikat. Terdapat 8 (delapan) kelompok mineral Non-silikat, yaitu kelompok Oksida, Sulfida, Sulfat, Native elemen, Halid, Karbonat, Hidroksida, dan Phospat. Adapun untuk mineral silikat hanya beberapa jenis mineral silikat yang terlibat dalam pembentukan batuan. Mineral-mineral tersebut dinamakan Mineral pembentuk batuan, atau Rock-forming minerals, yang merupakan penyusun utama batuan dari kerak dan mantel Bumi. Mineral pembentuk batuan dikelompokkan menjadi empat: (1) Silikat, (2) Oksida, (3) Sulfida dan (4) Karbonat dan Sulfat.

1. Mineral Silikat

Hampir 90 % mineral pembentuk batuan adalah dari kelompok ini, yang merupakan persenyawaan antara silikon dan oksigen dengan beberapa unsur metal. Karena jumlahnya yang besar, maka hampir 90 % dari berat kerak-Bumi terdiri dari mineral silikat, dan hampir 100 % dari mantel Bumi (sampai kedalaman 2900 Km dari kerak Bumi).

Berikut adalah Mineral Silikat:

- a. Kuarsa: (SiO_2)
- b. Felspar Alkali: (KAlSi_3O_8)
- c. Felspar Plagiklas: ($\text{Ca,NaAlSi}_3\text{O}_8$)
- d. Mika Muskovit: ($\text{K}_2\text{Al}_4(\text{Si}_6\text{Al}_2\text{O}_{20})(\text{OH},\text{F})_2$)
- e. Mika Biotit: $\text{K}_2(\text{Mg,Fe})_6\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
- f. Amfibol: ($\text{Na,Ca})_2(\text{Mg,Fe,Al})_3(\text{Si,Al})_8\text{O}_{22}(\text{OH})$)
- g. Pyroksen: ($\text{Mg,Fe,Ca,Na})(\text{Mg,Fe,Al})\text{Si}_2\text{O}_6$)
- h. Olivin: ($\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$)

Nomor a sampai d adalah mineral non-ferromagnesium dan e hingga h adalah mineral ferromagnesium

2. Mineral oksida. Terbentuk sebagai akibat perseyawaan langsung antara oksigen dan unsur tertentu. Susunannya lebih sederhana dibanding silikat. Mineral oksida umumnya lebih keras dibanding mineral lainnya

kecuali silikat. Mereka juga lebih berat kecuali sulfida. Unsur yang paling utama dalam oksida adalah besi, Chrom, mangan, timah dan aluminium. Beberapa mineral oksida yang paling umum adalah es (H_2O), korondum (Al_2O_3), hematit (Fe_2O_3) dan kassiterit (SnO_2).

3. Mineral Sulfida. Merupakan mineral hasil persenyawaan langsung antara unsur tertentu dengan sulfur (belerang), seperti besi, perak, tembaga, timbal, seng dan merkuri. Beberapa dari mineral sulfida ini terdapat sebagai bahan yang mempunyai nilai ekonomis, atau bijih, seperti pirit (FeS_2), chalcocite (Cu_2S), galena (PbS), dan sphalerit (ZnS).
4. Mineral-mineral Karbonat dan Sulfat. Merupakan persenyawaan dengan ion $(CO_3)^{2-}$, dan disebut karbonat, umpamanya persenyawaan dengan Ca dinamakan kalsium karbonat, $CaCO_3$ dikenal sebagai mineral kalsit. Mineral ini merupakan susunan utama yang membentuk batuan sedimen.

D. Aktivitas Pembelajaran

Aktivitas pembelajaran yang ada pada kegiatan pembelajaran 6 ini, di antaranya adalah sebagai berikut.

1. Mengamati
Mengamati sifat fisik dan sifat kimia mineral bahan galian.
2. Menanya
Mengkondisikan situasi belajar untuk membiasakan mengajukan pertanyaan secara aktif dan mandiri tentang sifat fisik dan sifat kimia mineral bahan galian.
3. Mengumpulkan data
Mengumpulkan data yang dipertanyakan dan menentukan sumber (melalui benda konkret, dokumen, buku, eksperimen) untuk menjawab pertanyaan yang diajukan tentang sifat fisik dan sifat kimia mineral bahan galian.
4. Mengasosiasi/Mengolah Informasi
Mengkategorikan data dan menentukan hubungannya, selanjutnya disimpulkan dengan urutan dari yang paling sederhana sampai

pada yang lebih kompleks tentang sifat fisik dan sifat kimia mineral bahan galian.

5. Mengkomunikasikan

Menyampaikan hasil konseptualisasi tentang sifat fisik dan sifat kimia mineral bahan galian.

E. Latihan

1. Sebutkan jenis mineral menurut jenis senyawa kimianya ?
2. Kekerasan suatu mineral (*minerals hardness*) adalah salah satu sifat fisik dari mineral. Skala Mohs adalah skala relatif dari kekerasan mineral. Sebutkan skala kekerasan menurut Mohs ?
3. Sebutkan sifat – sifat fisik mineral yang dapat dipakai untuk mengenal mineral secara cepat?

F. Rangkuman

1. Terdapat dua cara untuk dapat mengenal suatu mineral, yang pertama adalah dengan cara mengenal sifat fisiknya. Yang termasuk dalam sifat fisik mineral adalah (1) bentuk kristalnya, (2) berat jenis, (3) bidang belah, (4) warna, (5) kekerasan, (6) goresan, dan (7) kilap. Adapun cara yang kedua adalah melalui analisa kimiawi atau analisa difraksi sinar X, cara ini pada umumnya sangat mahal dan memakan waktu yang lama
2. Menurut undang-undang pokok pertambangan No.11 tahun 1967, pasal 3 ayat 1, bahan galian di Indonesia dipisahkan menjadi 3 golongan, masing-masing adalah (a) golongan bahan galian strategi, (b) golongan bahan galian vital (c) golongan bahan galian yang tidak termasuk a dan b.
3. Mineral dressing adalah pengolahan mineral dengan tujuan untuk memisahkan mineral berharga dan tidak berharga berdasarkan sifat fisik mineral. Sedangkan mineral *dressing* yang khusus bijih atau *ore* disebut dengan istilah *ore dressing*. Dengan perkataan lain, *ore dressing* adalah suatu proses dimana bijih diolah sedemikian rupa sehingga didapat konsentrat atau hasil yang dikehendaki dengan tidak mengubah sifat fisik serta kimia dari bijih tersebut, secara ekonomis.

4. Batuan Beku adalah batuan yang berasal dari proses pendinginan dan penghabluran lelehan batuan didalam bumi yang berasal dari magma.
5. Klasifikasi Batuan Beku adalah pengelompokkan batuan beku berdasarkan susunan kimiawi batuan, tekstur batuan, susunan mineralogi, dan bentuk tubuh batuan di dalam kerak bumi. Klasifikasi batuan beku terdiri dari batuan beku asam, batuan beku intermediate, batuan beku basa, dan batuan beku ultra basa/ultra mafik.
6. Batuan Sedimen Klastik adalah batuan sedimen yang berasal dari hasil rombakan batuan yang telah ada berupa batuan beku, metamorf, atau sedimen dan kemudian terangkut melalui media air, angin, atau gletser, selanjutnya diendapkan dalam suatu cekungan yang kemudian mengalami proses kompaksi, diagenesa, sementasi dan litifikasi dan pada akhirnya berubah menjadi batuan sedimen.
7. Batuan Sedimen Non-klastik adalah batuan sedimen yang terbentuk sebagai hasil dari proses kimiawi (batuan halit sebagai hasil dari proses evaporasi), ataupun hasil dari proses organik (seperti batugamping terumbu yang berasal dari organisme dan batubara yang berasal dari tumbuhan yang telah mati).
8. Batuan Metamorf adalah batuan yang terbentuk sebagai hasil dari proses metamorfosa, baik itu berupa metamorfosa termal (perubahan temperatur), metamorfosa dinamo (perubahan tekanan), ataupun metamorfosa dinamo-termal (perubahan temperatur dan tekanan) pada batuan-batuan yang telah ada.

G. Umpan Balik dan Tindak Lanjut

Untuk mendapatkan umpan balik setelah mempelajari modul kegiatan pembelajaran 6 ini, guru-guru diminta untuk mengisi rubrik umpan balik ini dan memberikan masukan yang konstruktif yang disediakan pada **Tabel 6.4**

Tabel 6.4 Rubrik Umpan Balik Isi Modul

No	Pokok Bahasan	Pertanyaan Umpan Balik	Jawaban Guru dan Tindak Lanjut
----	---------------	------------------------	--------------------------------

1	Bahan galian	Apakah Anda mampu menjelaskan mengenai hal-hal yang berkaitan dengan bahan galian?	
2	Identifikasi bahan galian	Apakah Anda mampu mengidentifikasi bahan galian?	
3	Klasifikasi bahan galian	Apakah Anda mampu mengklasifikasikan bahan galian?	
4	Teknik pengambilan sampel	Apakah Anda paham tentang teknik pengambilan sampel?	
5	Sifat-sifat bahan galian	Apakah Anda paham tentang sifat-sifat bahan galian?	

H. Kunci Jawaban

1. Berdasarkan senyawa kimiawinya, mineral dapat dikelompokkan menjadi mineral Silikat dan mineral Non-silikat. Terdapat 8 (delapan) kelompok mineral Non-silikat, yaitu kelompok Oksida, Sulfida, Sulfat, Native elemen, Halid, Karbonat, Hidroksida, dan Phospat
2. Talc ,Gypsum ,Calcite, Fluorite, Apatite, Orthoclase, Quartz, Topaz, Corundum, Diamond
3. sifat – sifat fisik mineral:
 - a) Bentuk kristal (crystall form)
 - b) Berat jenis (specific gravity)
 - c) Bidang belah (fracture)
 - d) Warna (color)
 - e) Kekerasan (hardness)
 - f) Goresan pada bidang (streak)
 - g) Kilap (luster)

I. Penutup

1. Modul pasca UKG (Ujian Kompetensi Guru) yang membahas tentang ketentuan, persyaratan fisik, dan jenis-jenis gudang bahan peledak ini diharapkan dapat berguna bagi Anda dalam mengembangkan kompetensi dan meningkatkan kemampuan Anda pada level berikutnya.

2. Anda dapat mengembangkan materi-materi berkaitan ketentuan umum, persyaratan fisik, dan jenis-jenis gudang bahan peledak yang tidak ada dalam modul ini. Modul ini masih butuh pengembangan sesuai dengan perkembangan ilmu pengetahuan dari hari ke hari.
3. Modul ini juga diharapkan akan membantu anda dalam belajar secara mandiri dan mengukur kemampuan diri sendiri sehingga nantinya anda dapat meningkatkan kemampuan ke level berikutnya.

J. Evaluasi

Pada bagian evaluasi ini, ada 3 jenis latihan yang akan diberikan untuk mengukur kemampuan Anda, yaitu sebagai berikut.

1. *Kognitif Skill*
 - a. Jelaskan secara tepat dan singkat tentang identifikasi dan klasifikasi bahan galian!
 - b. Jelaskan secara tepat dan singkat teknik pengambilan sampel dan sifat-sifat bahan galian!
2. *Psikomotor Skill*

Jelaskan tentang aplikasi deskripsi sifat fisik dan sifat kimia mineral bahan galian yang Anda ketahui, sesuai dengan penjelasan yang sudah dibahas pada materi sebelumnya.
3. *Attitude Skill*

Sebagai sebuah tim dalam melakukan proses pembelajaran yang membahas tentang deskripsi sifat fisik dan sifat kimia mineral bahan galian, bagaimana cara Anda menanamkan rasa ketakwaan kepada Tuhan yang Maha Esa, rasa tanggung jawab, kebersamaan, dan kedisiplinan.

K. Daftar Pustaka

- Endarto Danang. 2005. *Pengantar Geologi Dasar*. Surakarta: LPP UNS.
- Huang W. T. 1962. *Petrology*. New York, San Fransisco: Mc Graw-Hill Book Company Toronto London.
- Koesoemadinata, R.P. dan Hartono D. 1981. "Stratigrafi dan Sedimentasi Daerah Bandung Utara". Proceeding PIT X IAGI, Bandung.
- Peraturan Pemerintah Nomor 25 Tahun 1964 Tanggal 1 Juni 1964. 1964. *Penggolongan Bahan Galian*. Jakarta: Pemerintah Indonesia.

Evaluasi

Pada bagian evaluasi ini, ada 3 jenis latihan yang akan diberikan untuk mengukur kemampuan Anda, yaitu sebagai berikut.

1. Kognitif Skill

- a. Jelaskan secara tepat dan singkat tentang bentang alam eolian!
- b. Jelaskan secara tepat dan singkat tentang bentang alam Karst!
- c. Jelaskan secara tepat dan singkat tentang erosi!
- d. Jelaskan secara tepat dan singkat tentang bahan peledak!
- e. Jelaskan secara tepat dan singkat tentang ketentuan umum gudang bahan peledak!
- f. Jelaskan secara tepat dan singkat sifat fisik dan sifat kimia mineral bahan galian!

2. Psikomotor Skill

Jelaskan tentang aplikasi materi-materi di atas yang terdapat di Indonesia, sesuai dengan penjelasan yang sudah dibahas pada materi-materi sebelumnya.

3. Attitude Skill

Sebagai sebuah tim dalam melakukan proses pembelajaran yang membahas tentang berbagai materi tentang geologi pertambangan, bagaimana cara Anda menanamkan rasa ketakwaan kepada Tuhan yang Maha Esa, rasa tanggung jawab, kebersamaan, dan kedisiplinan.

Pilihlah satu jawaban yang paling tepat, lingkarilah A, B, C, atau D.

1. Bahan peledak merupakan bahan yang sangat berbahaya karena hasil reaksinya menimbulkan....
 - A. Suara ledakan yang sangat keras
 - B. Efek panas yang tinggi dan tekanan yang tinggi pula sehingga mampu melemparkan batuan sampai jarak yang cukup jauh.
 - C. Getaran yang hebat sampai pada radius jarak tertentu dari sumber ledak
 - D. Semua jawaban benar

2. Reaksi peledakan terjadi secara bertahap dan dalam waktu yang sangat singkat dengan urutan sebagai berikut
 - A. Panas, deflagrasi, detonasi
 - B. Panas, detonasi, deflagrasi
 - C. Terbakar, meledak
 - D. Terbakar, meledak, merambat

3. Hasil peledakan yang sempurna apabila seluruh unsur kimia pembentuk bahan peledak tersebut berubah menjadi gas, sebab
 - A. Gas hasil peledakan berwarna, sehingga hasil peledakan dapat diidentifikasi dari warnanya
 - B. Gas hasil peledakan menimbulkan temperatur dan tekanan sangat tinggi dalam sekejap didalam ruang tertutup, sehingga menimbulkan gelombang kejut tekan dan tarik yang mampu merobek dan menghancurkan batuan
 - C. Gas menimbulkan gelombang kejut yang menyebar keseluruh lapisan batuan
 - D. Gas mempunyai densitas yang lebih kecil dibanding batuan sekitarnya

4. Apabila jumlah lubang yang akan diledakkan 130 lubang, kedalaman muatan bahan peledak tiap lubang 11 m dan diameter lubang 4,50", digunakan bahan peledak bulk emulsi dengan densitas 1,2 gr/cc, maka jumlah bahan peledak yang diperlukan adalah:
 - A. 1751,75 kg
 - B. 17517,50 kg
 - C. 175175 kg
 - D. 1751750 kg

5. Dalam kotak bahan peledak tertulis bahwa densitasnya 1,20 gr/cc dan ukuran cartridge $1\frac{1}{4}$ " x 8". Berapa batang (btg) kira-kira jumlah *cartridge* dalam kotak tersebut :
- A. 100 btg B. 112,50 btg C. 123,50 btg D. 132 btg
6. Saudara diminta menguji bahan peledak yang diperkirakan sudah lama (daluwarsa). Dari hasil pengujian dengan cara air gap, ternyata bahan peledak tersebut meledak pada jarak sekitar 0,30D. Berapa perkiraan derajat sensitifitas yang tersisa:
- A. 27% B. 28% C. 29% D. 30%
7. Bahan peledak "emulite" produksi Dyno Nobel menghasilkan energi 4,1 MJ/kg dengan densitas 1,2 gr/cc. Berapa RWS dan RBS emulite tersebut bila AWS ANFO = 3,7 MJ/kg dengan densitas 0,82 gr/cc
- A. $RW_{SEMULITE} = 90,2$; $RBS_{SEMULITE} = 62$
 B. $RW_{SEMULITE} = 90,2$; $RBS_{SEMULITE} = 76$
 C. $RW_{SEMULITE} = 111$; $RBS_{SEMULITE} = 162$
 D. $RW_{SEMULITE} = 111$; $RBS_{SEMULITE} = 1328$.
8. Dinamit yang dibuat oleh Alfred Nobel sekitar 100 tahun yang lalu adalah campuran :
- A. NG dengan emulsi C. NG dengan kieselguhr
 B. NG dengan serbuk gergaji D. emulsi dengan ANFO
9. Bahan peledak berbasis NG memiliki kekuatan yang tinggi, namun memiliki kelemahan diantaranya adalah :
- A. sangat peka terhadap gesekan
 B. membuat kepala pusing
 C. tidak dapat digunakan pada suhu udara yang tinggi
 D. semua jawaban benar

10. Bahan peledak yang mengandung komponen NaCl atau garam biasanya adalah bahan peledak
- A. high explosive B. low explosive
C. permitted explosive D. slurry explosive
11. Sumber dan sarana prasarana berikut dapat diimplementasikan dalam pemanfaatan jaringan internet kecuali:
- A. Browsing B. Searching C. Sounding D. Consulting
12. Tipe impeded dunes yang terdapat penutup lahan disekitar cekungan karena defiasi lokal merupakan tipe:
- A. star dune B. blowout C. echo dunes D. linear dunes
13. Faktor – faktor fisik yang mempengaruhi topografi karst yaitu, kecuali:
- A. Ketebalan Batu Gamping
B. Porositas Dan Permeabilitas
C. Intensitas Strukur (Kekar)
D. Kondisi Kimia Batuan
14. Apakah yang dimaksud dengan detachment dari mekanisme terjadinya erosi oleh Nurpilihan (2000):
- A. Penghancuran tanah dari agregat tanah menjadi partikel-partikel tanah
B. Pengangkutan partikel tanah oleh limpasan hujan atau run off
C. Pengendapan jumlah tanah tererosi
D. Mengangkut partikel tanah yang terlepas
15. Jenis-jenis erosi berdasarkan proses terjadinya, kecuali:
- A. Erosi Akibat Gaya Berat B. Erosi oleh sungai
C. Erosi oleh Air D. Erosi oleh Angin
16. Pemeriksaan fisik gudang bahan peledak dilakukan oleh:
- A. Inspektur tambang B. KAPIT C. KTT D. Kepala Lubang
17. Temperatur ruangan bahan peledak untuk bahan ramuan adalah:
- A. 50 °C B. 40 °C C. 35 °C D. 55 °C

18. Gudang bahan peledak berbentuk kontainer dibuat dari:
A. pelat logam B. Kayu C. Besi D. Beton
19. Bahan galian di Indonesia dipisahkan menjadi 3 golongan yaitu, kecuali:
A. Strategis B. Vital C. potensi D. Tidak a dan b
20. Survey geolistrik digunakan saat:
A. Survey eksplorasi B. Sampel C. Pengolahan D. survey

Jawaban Evaluasi Pilihan Ganda

- | | |
|-------|-------|
| 1. D | 11. C |
| 2. A | 12. B |
| 3. C | 13. D |
| 4. B | 14. A |
| 5. C | 15. B |
| 6. A | 16. A |
| 7. C | 17. D |
| 8. C | 18. A |
| 9. D | 19. C |
| 10. C | 20. A |

Penutup

1. Modul pasca UKG (Ujian Kompetensi Guru) yang membahas tentang berbagai materi geologi pertambangan ini diharapkan dapat berguna bagi Anda dalam mengembangkan kompetensi dan meningkatkan kemampuan Anda pada level berikutnya.
2. Anda dapat mengembangkan materi-materi berkaitan geologi pertambangan yang tidak ada dalam modul ini. Modul ini masih butuh pengembangan sesuai dengan perkembangan ilmu pengetahuan dari hari ke hari.
3. Modul ini juga diharapkan akan membantu Anda dalam belajar secara mandiri dan mengukur kemampuan diri sendiri sehingga nantinya Anda dapat meningkatkan kemampuan ke level berikutnya

Daftar Pustaka

- Acworth, R. I. 2001a. *Short Course Note: Electrical Methods in Groundwater Studies*. Australia: School of Civil and Environmental Engineering University of New South Wales Sydney.
- Adji, T. N. dkk. 1999. "Kawasan Karst dan Prospek Pengembangannya di Indonesia". *Prosiding Smeinar PIT IGI di Universitas Indonesia, 26—27 Oktober 1999*.
- Adji, T. N. dan Suyono. 2004. "Bahan Ajar Hidrologi Dasar". Yogyakarta: Fakultas Geografi UGM.
- Adji, T. N. dan Eko Haryono. 2013. "Buku Ajar Karst: ". Yogyakarta: Fakultas Geografi UGM.
- Adri, M. 2007. "Pemanfaatan Internet Sebagai Sumber Pembelajaran". Diakses tanggal 10 Desember dari mirror.unej.ac.id/iso/.../adri-modul0-gurugoblog.pdf.
- Alpha, Tau Rho, Galloway, John P., and John C. Tinsley III. "Karst Topography". U.S. Department Of The Interior.
- Anon. 1977. "Blasters' Handbook, Du Pont, 16th ed, Sales Development Section: Explosives Products Division". E.I. du Pont de Nemours & Co.(Inc), Wilmington, Delaware, pp. 397 – 408.
- Anon. 1980. "Blasters' Handbook, Du Pont, 16th ed, Sales Development Section, Explosives Products Division." E.I. du Pont de Nemours & Co.(Inc), Wilmington, Delaware, pp. 31 – 86.
- Anon. 1988. "Blasting Explosives and Accessories, ICI Australia Operation." Pty. Ltd. Explosive Division, pp. 1 – 17.
- Anon. 2001. *In Muhammadi, S.B.A.E.: Analisis Sistem Dinamis*. Jakarta: UMJ Press.
- Anon. 2004. "In UNDP The Economics of Democracy". United Nation Development Program.
- Gutafsson, R, 1973, *Swedish Blasting Technique*, Gothenburg. Sweden, pp. 15 - 30.
- Arsyad, S. 1989. *Konservasi Tanah dan Air*. Bogor: IPB Press.
- Asdak, Chay. 1995. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta: UGM Press.

- Ash, R.L. 1990. "Design of Blasting Round, Surface Mining". B.A. Kennedy Editor. Society for Mining, Metallurgy, and Exploitation, Inc. Page. 565-584.
- Bloom, Arthur. 1978. *Geomorphology A systematic Analysis of late Cenozoic Landforms*. Prentice: Hall.
- Budyanto, Gunawan. 2011. *Teknologi Konservasi Lanskap Gumuk Pasir Pantai Parangritis Bantul DIY*. Jurnal Lanskap Indonesia Vol. 3 No. 2 Tahun 2011.
- Endarto Danang. 2005. *Pengantar Geologi Dasar*. Surakarta: LPP UNS.
- Fetter, C. W. 1994. *Applied Hydrogeology*. 3rd Ed. New York: Macmillan Publishing Company.
- Ford, D. and William, P. 1992. *Karst Geomorphology and Hydrology*. London: Chapman and Hall.
- Gillison, A.N., Liswanti, N., dan Rahman, I.A. 1996. *Rapid assessment Kerinci Seblat National Park Buffer Zone: Preliminary Report on Plant Ecology and Overview of Biodiversity Assessment*. Bogor: Working Paper CIFOR no.14.
- Haryono, Eko & Curren, James C. 2002. *Kentucky Is A Karst Country*. University of Kentucky Lancaster.
- Horvat, Barbara. _ ."Barchan Dunes". (*Makalah Seminar*). Fakultas Za Matematiko in fiziko Univerza v Ljulbjani.
- Huang W. T. 1962. *Petrology*. New York, San Fransisco: Mc Graw-Hill Book Company Toronto London.
- Jimeno, C.L., Jimeno, E.L., and Carcedo, F.J.A. 1995. "Drilling and Blasting of Rocks". A.A. Balkema, Rotterdam, Brookfield, Netherlands. Pp. 98 - 122.
- Jankowski, J. 2001. "Short Course Note: Hydrogeochemistry". Australia: School of Geology University of New South Wales Sydney.
- Kartosapoetra. 1985. *Teknologi Konservasi Tanah dan Air*. Jakarta: Bumi Aksara.
- Kartasapoetra, A. G. 1991. *Hama Hasil Tanaman dalam Gudang*. Jakarta: Rineka Cipta Jakarta.G.R. Foster & L.D.

- Koesoemadinata, R.P. dan Hartono D. 1981. "Stratigrafi dan Sedimentasi Daerah Bandung Utara". Proceeding PIT X IAGI, Bandung.
- Keputusan Menteri Pertambangan dan Energi Nomor: 555.K/26/M.PE/1995. 1999. *Keselamatan dan Kesehatan Kerja Pertambangan Umum*. Direktorat Jenderal Pertambangan Umum: Direktorat Teknik Pertambangan Umum.
- Mac. Donald, Sir M. & Partners., Binnie & Partners Hunting Technical Service Ltd. 1984. Greater Yogyakarta Groundwater Resources Study. Volume 3 Groundwater. Groundwater Development Project (P2AT), Ministry of Public Works: Government of Republic Indonesia.
- Manon, J. J. 1978. "Explosives: Their Classification and Characteristics". (*E/MJ Operating Handbook of Underground Mining*). New York, USA. pp. 76—80.
- Nicholas. 2009. *Aeolian Features and Processes*. The Geological Society of America. Nevada
- Noor, Djauhari. 2006. "Proses–proses Geomorfologi". Bogor: Program Studi Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Pakuan
- Noor, Djauhari. 2009. *Proses – Proses Geologi dan Perubahan Bentangalam*. Bogor: Program Studi Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Pakuan.
- Noor, Djauhari. 2012. *Pengantar Geologi*. Bogor: Program Studi Teknik Geologi Fakultas Teknik Universtas Pakuan.
- Notohadiprawiro. T. 1998. *Tanah dan Lingkungan*. Jakarta: Direktorat Jendral Departemen Pendidikan dan Kebudayaan.
- Nurpilihan, Bafdal. 2000. "Pengaruh Naungan Terhadap Laju Erosi Pada Berbagai Kemiringan Pola Tanam Dan Kermiringan Lahan". (*Laporan Penelitian*). Jawa Barat: Lembaga Penelitian UNPAD.
- Peraturan Pemerintah Nomor 25 Tahun 1964 Tanggal 1 Juni 1964. 1964. *Penggolongan Bahan Galian*. Jakarta: Pemerintah Indonesia.
- Pettijohn, F.J. 1975. "Sedimentary Rocks". Third Edition, Franchis Pettijohn, Printed in USA, 7,18 p.
- Shand, S. J. 1943. *Eruptive Rocks: Their Genesis, Composition, Classification, and Their Relation to Ore Deposits with A Chaper on Meteorites*. London: 444 p. Edicion: 2 ed.
- Sukandarrumidi, Maulana and Fivry Wellda. 2014. "Ada Apa dengan Wilayah Bentang Alam Karst?" *Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains & Teknologi (SNAST)* di Yogyakarta.

Sutama. Lithosfer. Modul Geo.X.04.

Sweeting, M.M. 1972. *Karst Landforms*. London: Macmillan.

Thornbury, W.D. 1964. *Principle Of Geomorphology*. John Wiley and Sons Inc.: New York.

Todd, D. K. 1980. *Groundwater Hydrology*. Ed. John Wiley and Sons.

White, W. B. 1988. *Geomorphology and Hydrology of Karst Terrain*. New York: Oxford University Press.

Glosarium

Absolute Weight Strength merupakan energy panas maksimum bahan peledak teoritis didasarkan pada campuran kimiawinya.

Agen Peledakan adalah campuran bahan-bahan kimia yang tidak diklasifikasikan sebagai bahan peledak, di mana campuran tersebut terdiri dari bahan bakar (fuel) dan oksida

Allotriomorfik granular yaitu jika sebagian besar mineral-mineralnya terdiri dari mineral-mineral yang anhidral.

Amigdaloidal, yaitu struktur dimana lubang-lubang gas telah terisi oleh mineral-mineral sekunder, biasanya mineral silikat atau karbonat

Ammonium Nitrat adalah zat penyokong proses pembakaran yang sangat kuat, namun ia sendiri bukan zat yang mudah terbakar dan bukan pula zat yang berperan sebagai bahan bakar sehingga pada kondisi biasa tidak dapat dibakar

ANFO adalah singkatan dari ammonium nitrat (AN) sebagai zat pengoksidasi dan fuel oil (FO) sebagai bahan bakar

Authigenesis yaitu munculnya mineral baru yang tumbuh pada pori-pori batuan.

Bahan Peledak Permissible adalah bahan peledak yang khusus digunakan pada tambang batubara bawah tanah

Batu jamur (*mushroom rock*) yaitu batu yang tererosi oleh angin yang

mengandung pasir sehingga bentuknya menyerupai jamur (*mushroom*)

Bentang alam eolian merupakan bentang alam yang dibentuk karena aktivitas angin.

Bentuk lahan (*landform*) yaitu kompleks fisik permukaan ataupun dekat permukaan suatu daratan yang dipengaruhi oleh kegiatan manusia.

Bleg Sample (BI) merupakan jenis sample yang diambil dari endapan di tepi sungai atau pada pot katena, kemungkinan mineral berharga tersangkut

Cartridge count (*stick count*) adalah jumlah cartridge (bahan peledak berbentuk pasta yang sudah dikemas) dengan ukuran 1¼" x 8" di dalam kotak seberat 50 lb atau 140 dibagi berat jenis bahan peledak.

Cekungan deflasi merupakan cekungan yang diakibatkan oleh angin pada daerah yang lunak dan tidak terkonsolidasi

Cementation (sementasi) pengendapan mineral yang merupakan semen dari batuan, semen tersebut diendapkan pada saat proses primer maupun sekunder.

Chemical Stability adalah kemampuan untuk tidak berubah secara kimia dan tetap mempertahankan sensitifitas selama dalam penyimpanan dalam gudang dengan kondisi tertentu.

COG adalah Kadar rata-rata terendah dari suatu mineral yang bernilai ekonomis

Diagenesa eogenik yaitu diagenesa awal pada sedimen di bawah muka air

Diagenesa mesogenik yaitu diagenesa pada waktu sedimen mengalami penguburan semakin dalam. Diagenesa telogenik, yaitu diagenesis pada saat batuan sedimen tersingkap kembali dipermukaan oleh karena pengangkatan dan erosi.

Densitas adalah angka yang menyatakan perbandingan berat per volume.

Densitas bahan peledak adalah berat bahan peledak per unit volume, yang dinyatakan dalam gr/cc

Densitas pengisian (loading density) adalah berat bahan peledak per meter kolom lubang tembak, dinyatakan dalam kg/m

Derajat Liberasi (DL) adalah Perbandingan jumlah berat mineral yang terbebas sempurna dgn jumlah berat bijih dalam suatu fraksi yang dinyatakan dalam %

Dissolution (pelarutan) merupakan mineral melarut dan membentuk porositas sekunder.

Dune adalah suatu timbunan pasir yang dapat berpindah, bentuknya tidak dipengaruhi oleh bentuk permukaan dan rintangan.

Erosi (erosion) merupakan serangkaian proses yang menyebabkan sejumlah material bumi atau batuan terkikis, diangkut dan dipindahkan ke tempat lain di permukaan bumi

Feed (umpan) adalah material yang akan dipreparasi

Fosil yaitu sisa-sisa organisme yang pernah hidup di waktu silam, yang diawetkan oleh alam

Goede adalah batu permata yang terbentuk dari pembentukan rongga oleh aktifitas pelarutan air tanah

Hipidiomorfik granular yaitu jika sebagian besar mineral-mineralnya terdiri dari mineral-mineral yang subhedral.

Hipokristalin adalah apabila sebagian batuan terdiri dari massa gelas dan sebagian lagi terdiri dari massa kristal.

Holohialin adalah batuan beku yang semuanya tersusun dari massa gelas. Granularitas dapat diartikan sebagai besar butir (ukuran) pada batuan beku.

Holokristalin adalah batuan beku dimana semuanya tersusun oleh kristal

Igneous Rocks adalah batuan yang terbentuk dari satu atau beberapa mineral dan terbentuk akibat pembekuan dari magma. Berdasarkan teksturnya batuan beku ini bisa dibedakan lagi menjadi batuan beku plutonik dan vulkanik.

Infiltrasi yaitu Proses meresapnya air ke dalam tanah

Karst adalah sebuah bentukan di permukaan bumi yang pada umumnya dicirikan dengan adanya depresi tertutup (closed depression), drainase permukaan, dan gua. Daerah ini dibentuk terutama oleh

pelarutan batuan, kebanyakan batu gamping.

Kerak benua adalah merupakan benda padat yang terdiri dari batuan granit di bagian atasnya dan batuan beku basalt di bagian bawahnya

Kerak samudra adalah merupakan benda padat yang terdiri dari endapan di laut pada bagian atas, kemudian di bawahnya batuan batuan vulkanik dan yang paling bawah tersusun dari batuan beku gabro dan peridotit

Konsentrat adalah material hasil preparasi yang berkadar tinggi

Lagstone yaitu Deflasi terhadap debu dan pasir yang ditinggalkan merupakan material yang kasar (gravel, bongkah dan fragmen yang besar)

Lapisan sial (silisium alumunium) yaitu lapisan kulit bumi yang tersusun atas logam silisium dan alumunium, senyawanya dalam bentuk SiO_2 dan AL_2O_3

Lapisan sima (silisium magnesium) yaitu lapisan kulit bumi yang tersusun oleh logam logam silisium dan magnesium.

Lithosfer yaitu lapisan paling luar yang terletak di atas lapisan antara dengan ketebalan 1200km

Loess adalah daerah yang luas tertutup material-material halus dan lepas

Material Balance adalah Jumlah material yang masuk dalam PBG sama dengan jumlah material yang dikeluarkan dari proses tersebut

Metalurgical Balance adalah Jumlah metal atau mineral yang masuk alam PBG sama dengan jumlah metal/mineral yang dihasilkan dari proses tersebut

Masif yaitu jika tidak menunjukkan adanya sifat aliran, jejak gas (tidak menunjukkan adanya lubang-lubang) dan tidak menunjukkan adanya fragmen lain yang tertanam dalam tubuh batuan beku.

Midling adalah material hasil preparasi yang berkadar menengah

Mineral adalah Sekumpulan bahan an organic yang terbentuk secara alamiah yang mempunyai sifat fisik dan kimia tertentu

Mineral Dressing adalah pengolahan mineral dengan tujuan untuk memisahkan mineral berharga dan tidak berharga berdasarkan sifat fisik mineral.

Ore adalah Sekumpulan mineral berharga yang bernilai ekonomis

Oversize adalah material yang tertahan pada jaringan karena diameter melebihi ukuran saringan

Panidiomorfik granular yaitu jika sebagian besar mineral-mineralnya terdiri dari mineral-mineral yang euhedral.

Pelapukan (weathering) merupakan proses hancurnya batuan atau mineral permukaan bumi menjadi bagian yang lebih kecil atau lunak karena proses fisika, kimiawi dan biologi.

Peledakan merupakan salah satu kegiatan dalam penambangan yang bertujuan untuk memberaikan batuan atau material, dimana

bahannya terdiri dari bahan kimia yang mampu menciptakan ledakan

Panned Consent (Pc) merupakan sample jenis ini diambil dari lubang = blog sample . Pengambilan lebih kebawah dari BL. Sample kemudian diulang dan di saring

Pillow lava atau lava bantal yaitu struktur paling khas dari batuan vulkanik bawah laut, membentuk struktur seperti bantal.

Ratio of Concentration (K) adalah Perbandingan antara berat feed (F) dan berat konsentrat (C) yg dihasilkan oleh suatu PBG untuk melihat seberapa jauh reduksi yang telah dilakukan

Recrystallization merupakan perubahan struktur kristal, namun komposisi mineralnya tetap sama.

Recovery (R) adalah Perbandingan jumlah berat mineral/metal yang terambil dari suatu proses pengolahan dengan jumlah berat min / metal keseluruhan yang terdapat dalam bijih yang dinyatakan dalam % Barisfer yaitu lapisan inti bumi yang merupakan bahan padat yang tersusun dari lapisan nife

Relative Weight Strength adalah kekuatan bahan peledak (dalam berat) dibanding dengan ANFO.

Replacement yaitu melarutnya satu mineral yang kemudian terdapat mineral lain yang terbentuk dan menggantikan mineral tersebut.

Rock Float merupakan sampel diambil pada singkapan yang biasa di aliran sungai, bentuk berupa pecahan / fragmen yang kasar. Sample untuk background (latar

belakang) yang menunjukkan adanya bahan galian yang dicari (mineral pembantu).

Rock Chip Sample (Chip Sample) merupakan sampel yang diambil pada batuan yang masih segar / mineralisasinya mengandung logam berharga. Banyaknya sekitar 1 kg

Sample adalah contoh bahan galian

Sensitifitas adalah sifat yang menunjukkan tingkat kemudahan inisiasi bahan peledak atau ukuran minimal booster yang diperlukan.

Shock Energy merupakan energi yang ditimbulkan oleh kecepatan suara masa batuan sehingga mampu memecahkan batuan

Siklus Batuan yaitu Perubahan bentuk batuan dari magma menjadi batuan dan suatu saat akan kembali mejadi magma

Skoria yaitu struktur yang sama dengan struktur vesikuler tetapi lubang-lubangnya besar dan menunjukkan arah yang tidak teratur.

Slurries Dan Watergel yaitu campuran oksidator, bahan bakar, dan pemeka (sensitizer) di dalam media air yang dikentalkan memakai gums, semacam perekat, sehingga campuran tersebut berbentuk jeli atau slurries yang mempunyai ketahanan terhadap air sempurna.

Specimen Sample (Sp) merupakan sampel yang diambil di daerah aliran sungai yang dijumpai singkapan dan masih segar, bervariasi (pada batuan vulkanik), sedang untuk sedimen berfosil untuk menentukan umur geologi, berat sample = 1kg

Stalakmit stalacmite merupakan pasangan dari stalaktit, yang tumbuh di lantai gua karena hasil tetesan air dari atas langit-langit gua

Stream Sample Sediment (S.S) merupakan sampel yang diambil bagian terbawah dari lubang pada pan sampling. Pendulangan sample dilakukan 2 x 1 x air yang kedua busa air sabun kemudian diayak dengan saringan 80#, beratnya 300 gr.

Soil Sample merupakan sampel yang diambil dengan metode grid line di daerah bukit / lereng / lembah, soil diambil pada horizon B dan C. Jumlah sample = + 0,5 kg – 1 kg

Tailing adalah material sisa atau sampah hasil preparasi

Tekanan Detonasi adalah tekanan yang terjadi di sepanjang zona reaksi peledakan sehingga terbentuk reaksi kimia seimbang sampai ujung bahan peledak, yang disebut bidang Chapman-Jouguet(C-J plane) dan umumnya mempunyai satuan dalam Mpa

Teras Travertin merupakan kolam air di dasar gua yang mengalir dari satu lantai tinggi ke lantai yang lebih rendah, dan ketika mereka menguap, kalsium karbonat diendapkan di lantai gua

Tiang (Column) merupakan hasil pertemuan endapan antara stalaktit dan stalakmit yang akhirnya

membentuk tiang yang menghubungkan stalaktit dan stalakmit menjadi satu.

Undersize adalah material yang lolos lubang saringan karena diameter lebih kecil dari ukuran saringan

Velocity Of Detonation (VoD) merupakan sifat bahan peledak yang sangat penting. Kecepatan detonasi diartikan sebagai laju rambatan gelombang detonasi sepanjang bahan peledak dengan satuan millimeter per sekon (m/s) atau feet per second (fps).

Vesikuler yaitu struktur yang berlubang-lubang yang disebabkan oleh keluarnya gas pada waktu pembekuan magma. Lubang-lubang tersebut menunjukkan arah yang teratur.

Water Resistance adalah kemampuan suatu bahan peledak untuk melawan air disekitarnya tanpa kehilangan sensitifitas atau efisiensi.

Xenolitis yaitu struktur yang memperlihatkan adanya fragmen/pecahan batuan lain yang masuk dalam batuan yang mengintrusi.

Zona kekar adalah zona lemah yang mudah mengalami pelarutan dan erosi sehingga dengan adanya kekar dalam batuan, proses pelarutan berlangsung intensif