



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
DIREKTORAT JENDERAL GURU DAN TENAGA KEPENDIDIKAN
2016

MODUL GURU PEMBELAJAR

Paket Keahlian Geologi Pertambangan

Pedagogik : Pengembangan Instrumen Penilaian
Profesional : Konsep Pengeboran dan Rekonstruksi
Peralatan

**KELOMPOK
KOMPETENSI**





MODUL GURU PEMBELAJAR

Paket Keahlian Geologi Pertambangan

Penyusun :

Drs. Rusli Har, MT
UNP Padang
ruslihar_1603@yahoo.com
0751-7055644

Reviewer :

Nilva Yanti, ST
PT. AIC
—
—

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.

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.

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

	Halaman
Cover Luar	i
Cover Dalam	ii
Kata Pengantar	iii
Daftar isi	iv
Daftar Gambar	v
Daftar Tabel	vi
I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Tujuan	1
C. Peta Kompetensi	2
D. Ruang Lingkup	3
E. Saran Cara Penggunaan Modul	3
F. Indikator Pencapaian Kompetensi	4
1. Indikator Pedagogik	4
2. Indikator Profesional	4
II KEGIATAN PEMBELAJARAN 1	5
A. Tujuan Pembelajaran	5
B. Uraian Materi Pembelajaran	5
1. Kaidah Pengembangan Instrumen Penilaian dan Evaluasi Proses dan Hasil Belajar	5
2. Kisi-kisi Pengembangan Instrumen	20
3. Instrument Penilaian	26
4. Evaluasi Hasil belajar	28
5. Rangkuman	34
C. Aktivitas Pembelajaran	35
D. Umpan Balik dan Tindak Lanjut	36
E. Latihan	37
F. Kunci Jawaban	37
III KEGIATAN PEMBELAJARAN 2	39
A. Tujuan Pembelajaran	39
B. Uraian Materi Pembelajaran	39
1. Teknik Preparasi Foraminifera	39
2. Teknik Preparasi Foraminifera Kecil.....	39

3. Rangkuman	44
C. Aktivitas Pembelajaran	44
D. Umpan Balik dan Tindak Lanjut	44
E. Latihan	45
F. Kunci Jawaban	45
IV KEGIATAN PEMBELAJARAN 3	46
A. Tujuan Pembelajaran	46
B. Uraian Materi Pembelajaran	46
1. Penanganan Batuan Penutup	46
2. Pengelolaan Air Limbah Tambang	52
3. Reklamasi Lahan Bekas Tambang	67
4. Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3)	73
5. Pengelolaan Kualitas Udara Tambang	80
6. Rangkuman	82
C. Aktivitas Pembelajaran	83
D. Umpan Balik dan Tindak Lanjut	84
E. Latihan	85
F. Kunci Jawaban	86
V KEGIATAN PEMBELAJARAN 4	88
A. Tujuan Pembelajaran	88
B. Uraian Materi Pembelajaran	88
1. Detonator	88
2. Sumbu dan Penyambung pada Peledakan	99
3. Primer dan Booster	113
4. Rangkuman	118
C. Aktivitas Pembelajaran	119
D. Umpan Balik dan Tindak Lanjut	120
E. Latihan	120
F. Kunci Jawaban	121
VI KEGIATAN PEMBELAJARAN 5	123
A. Tujuan Pembelajaran	123
B. Uraian Materi Pembelajaran	123
1. Pemboran Lubang Ledak	123

2.	Faktor yang Mempengaruhi Kinerja Pemboran.....	123
3.	Pola Pemboran pada Tambang Terbuka	127
4.	Dasar Pemilihan Alat Bor	127
5.	Peralatan Pemboran	129
6.	Rangkuman	137
C	Aktivitas Pembelajaran	138
D.	Umpan Balik dan Tindak Lanjut	138
E.	Latihan	139
F.	Kunci Jawaban	140
VII	KEGIATAN PEMBELAJARAN 6	141
A.	Tujuan Pembelajaran	141
B.	Uraian Materi Pembelajaran	141
1.	Peta Geologi	141
2.	Stratigrafi Dalam Peta Geologi	142
3.	Cara Membuat Penampang Geologi	143
4.	Persyaratan Teknis Kelengkapan Peta Geologi	147
5.	Penyusunan Layout Peta Geologi	155
6.	Rangkuman	160
C.	Aktivitas Pembelajaran	161
D.	Umpan Balik dan Tindak Lanjut	161
E.	Latihan	162
F.	Kunci Jawaban	163
VIII	KEGIATAN PEMBELAJARAN 7	165
A.	Tujuan Pembelajaran	165
B.	Uraian Materi Pembelajaran	165
1.	Pengambilan Contoh (<i>Sampling</i>)	165
2.	Uji Sifat Fisik Batuan Utuh	166
3.	Uji Sifat Mekanik Batuan	168
4.	Rancangan dan Analisis Kemantapan Lereng	179
5.	Rangkuman	187
C	Aktivitas Pembelajaran	188
D.	Umpan Balik dan Tindak Lanjut	188
E.	Latihan	189
F.	Kunci Jawaban	190

IX.	PENUTUP	192
A.	Evaluasi	192
B.	Glosarium	194
C.	Daftar Pustaka	196

DAFTAR GAMBAR

	Hal.
Gambar 1. Bagan Alir Penanganan Tanah/Batuan Penutup	46
Gambar 2. Pembungkusan Lapisan PAF dengan NAF Cover Setebal 2 m	49
Gambar 3. Pembungkusan Lapisan PAF dengan NAF Cover Lebih dari 10 Meter ..	50
Gambar 4. Langkah-langkah dalam Pembuatan Timbunan Batuan Penutup	52
Gambar 5. Contoh Air Asam Tambang di Permukaan	53
Gambar 6. Kolam Pengendapan	55
Gambar 7. Sketsa <i>Settling Pond</i>	57
Gambar 8. Pompa Multiflow MFC-345	57
Gambar 9. Gambar 9. Pompa Multiflow MFC-360	58
Gambar 10. Pompa Multiflow MFC-380	58
Gambar 11. Pompa Multiflow MFC-420	59
Gambar 12. Sistem Perlakuan Lahan Basah Pasif yang Gagal	61
Gambar 13. Pemberian Kapur pada Saluran Terbuka	62
Gambar 14. Pemberian <i>Green Hydro</i> pada Saluran Terbuka	63
Gambar 15. Perlakuan Pasif Berupa <i>Limestone Channel</i>	63
Gambar 16. Tambang Tembaga Batu Hijau.....	68
Gambar 17. Bekas Tambang Emas Direvegetasi/Dihutankan Kembali.....	69
Gambar 18. Pengurugan Kembali Bekas Tambang Emas di Wetar	70
Gambar 19. Skema Bentuk Teras dan Guludan	70
Gambar 20. Tanaman Sengon di Disposasi Tambang Batubara TCM	71
Gambar 21. Tahapan Revegetasi di Disposasi Tambang Batubara TCM	72
Gambar 22. Reklamasi Lahan Bekas Tambang Bauksit untuk Pemukiman Dan Pengembangan Kota, Tanjungpinang, Bintan	72
Gambar 23. Revegetasi Lahan Bekas Tambang Batubara Menggunakan Tanaman Jarak	73
Gambar 24. Simbol di Area Workshop	78
Gambar 25. Tanda Simbol pada TPS	78
Gambar 26. Simbol pada Tangki Penyimpanan Oli Bekas	78
Gambar 27. Simbol pada Pewadahan Oli Bekas	79
Gambar 28. Pewadahan Filter Bekas	79
Gambar 29. <i>Emergency Response System</i>	80
Gambar 30. Penyiraman Jalan Tambang dengan Menggunakan <i>Water Truck</i>	81
Gambar 31. Penanaman Pohon di Kiri Kanan Jalan Tambang	81
Gambar 32. Sketsa Penampang Detonator Biasa	89

Gambar 33.	Kemasan detonator biasa	90
Gambar 34.	Sketsa Penampang Detonator Listrik	91
Gambar 35.	Detonator listrik langsung	92
Gambar 36.	Detonator Listrik Tunda	93
Gambar 37.	Bagian-bagian sumbu nonel	96
Gambar 38.	Bagian Dalam Detonator Nonel	97
Gambar 39.	“J” Hook dan Label Tunda pada Detonator Nonel	97
Gambar 40.	Detonator Nonel Dalam Lubang Ledak atau In-Hole Delay	98
Gambar 41.	Detonator Nonel di Permukaan atau Trunkline Delay	98
Gambar 42.	Gulungan Sumbu Api 12,5 m dan Dalam Kemasan Rol 250 m.....	101
Gambar 43.	Cara Pemasangan Sumbu Api ke Detonator Biasa	101
Gambar 44.	Cara Pemotongan dan Penyulutan Sumbu Api	101
Gambar 45.	Alat Penyulut Sumbu Api dan Cara Penyulutannya	102
Gambar 46.	Bagian-Bagian Sumbu Ledak	103
Gambar 47.	Seri Sumbu Ledak Buatan	104
Gambar 48.	Cara Meledakkan Sumbu Ledak	104
Gambar 49.	Kawat Utama (Lead Wire) untuk Peledakan Listrik	106
Gambar 50.	Multiple Fuse Ignitor dan Pemasangannya	106
Gambar 51.	Plastic Ignitor Cord (PIC)	107
Gambar 52.	Penyambungan PIC-Cepat dengan Sumbu Api Menggunakan Penyambung <i>Bean-Hole</i>	108
Gambar 53.	Aneka Sambungan Sumbu Ledak	109
Gambar 54.	Cara Pemasangan Sumbu Ledak pada DRC	110
Gambar 55.	Bagian Dalam DRC	110
Gambar 56.	Cara Mengikat Sumbu Ledak pada Blok MS <i>Connector</i>	111
Gambar 57.	<i>Lead-In Line</i> atau <i>Extendaline</i>	112
Gambar 58.	Posisi Primer di Dalam Kolom Lubang Ledak	113
Gambar 59.	Perbedaan booster dan primer serta karakter energi ledak ANFO	114
Gambar 60.	Pembuatan Primer Menggunakan Detonator Biasa	115
Gambar 61.	Pembuatan Primer Menggunakan Detonator Listrik	115
Gambar 62.	Pembuatan Primer Menggunakan Sumbu Ledak	117
Gambar 63.	Seri Anzomex Primers Buatan ICI Explosive (1988)	118
Gambar 64.	Primer Sistem <i>Sliderdeck</i> dari ICI <i>Explosives</i>	118
Gambar 65.	Sketsa Pola Pemboran pada Tambang Terbuka	127
Gambar 66.	Hubungan Variasi Diameter Lubang Ledak dengan Tinggi Jenjang	128

Gambar 67.	<i>Furukawa-PCR2002 Rock Drill</i>	130
Gambar 68.	Simulasi Pemboran dengan Mesin Bor Putar	131
Gambar 69.	<i>Xuzhou Xugong XR150D Rock Drill</i>	132
Gambar 70.	<i>Sandvik ID600 Rock Drill</i>	133
Gambar 71.	<i>Sandvik DP1500 Rock Drill</i>	133
Gambar 72.	Rangkaian Stang Bor pada Mesin Bor Tumbuk	136
Gambar 73.	Pipa <i>Casing</i>	136
Gambar 74.	Mata Bor	137
Gambar 75.	Cara Membuat Penampang dengan Batuan Garis Jurus	144
Gambar 76.	Contoh Penampang Geologi A-A'	145
Gambar 77.	Contoh Penampang Geologi B-B'	146
Gambar 78.	Satuan Stratigrafi/Kolerasi Satuan Dalam Peta Geologi	150
Gambar 79.	Contoh Penyusunan Formasi Batuan dalam Peta Geologi	151
Gambar 80.	Contoh Peta Geologi Lembar Lubuksikaping, Sumatera	156
Gambar 81.	Contoh Peta Geologi Lembar Pekanbaru, Sumatera	157
Gambar 82.	Tata Letak Keterangan Pinggir pada Peta Geologi	160
Gambar 83.	Proses Pengambilan Contoh Geoteknik dari Core Barrel	166
Gambar 84.	Penyimpanan Contoh Geoteknik di Dalam Core Box	166
Gambar 85.	Oven	167
Gambar 86.	Desicator dan Vakum	167
Gambar 87.	Timbangan	167
Gambar 88.	Penimbangan Contoh Batuan	167
Gambar 89.	Mesin Kuat Tekan Contoh	168
Gambar 90.	Mesin Kuat Tekan Hungta	168
Gambar 91.	Perubahan Bentuk Contoh pada Batuan Pada Uji Kuat Tekan (UCS)....	169
Gambar 92.	Susunan Contoh Batu Uji Dengan Pelat Baja Penekan dan <i>Spherical Seat</i>	169
Gambar 93.	Fraktur Getas Contoh Batu Uji	170
Gambar 94.	Rekahan Aksial (Axial Spilting)	170
Gambar 95.	Bentuk Pecahan Kerucut dan Distribusi Tegangan di Dalam Contoh Batuan di Dalam Uji UCS.....	170
Gambar 96.	Kurva Tegangan Regangan Uji Kuat Tekan Uniaksial (UCS)	171
Gambar 98.	Penentuan Modulus Tangent, Average dan Secant	172
Gambar 99.	Longsor di Tambang Batubara Adaro.....	173
Gambar 100.	Uji Geser Langsung Ilustrasi Mekanisme	174
Gambar 101.	Peralatan Uji Geser Langsung di Laboratorium	174

Gambar 102.	Ilustrasi Arah Tegangan Pada Uji Geser Langsung	174
Gambar 103.	Garis kekuatan Mohr-Coulomb	175
Gambar 104.	Balok pada Permukaan Bidang Miring	175
Gambar 105.	Hasil Uji Triaksial Tipe 1	176
Gambar 106.	Hasil Uji Triaksial Tipe 2	176
Gambar 107.	Hasil Uji Triaksial Tipe 3	176
Gambar 108.	Arah Tekanan Pemampatan pada Uji Triaksial	178
Gambar 109.	Tahapan Prosedur Uji Triaksial Metoda Konvensional	178
Gambar 110.	Kurva lingkaran Mohr-Coulomb untuk Penentuan Hasil Uji Triaksial	178
Gambar 111.	<i>Cross Section</i> Rancangan Lereng Tambang	179
Gambar 112.	Ilustrasi Distribusi Tegangan Horizontal Akibat Penggalian di Tambang Batubara	180
Gambar 113.	Contoh analisis proyeksi <i>steronet</i> oleh PT. Freeport Indonesia	181
Gambar 114.	Bagian-Bagian dari Jenjang.....	181
Gambar 115.	Grafik antara FK Lereng Tunggal dan Kemiringan Lereng.....	183
Gambar 116.	Bentuk Lereng Keseluruhan	184
Gambar 117.	Geometri Lereng Timbunan	185
Gambar 118.	Grafik FK terhadap Tinggi Lereng dengan Sudut 30°	186
Gambar 119.	Grafik FK terhadap Tinggi Lereng dengan Sudut 15°	186

DAFTAR TABEL

	hal.
Tabel 1. Peta Standar Kompetensi Guru	2
Tabel 2. Kriteria dan Tingkat Kesulitan Soal Tes	15
Tabel 3. Penentuan Kategori Soal Tes	15
Tabel 4. Daya Pembeda Soal Pilihan Ganda	17
Tabel 5. Penyederhanaan Tabel Daya Pembeda Soal Pilihan ganda	17
Tabel 6. Kategori Tingkat Kesukaran Daya Beda	18
Tabel 7. Format Sistem Penilaian	22
Tabel 8. Contoh Format Kisi-Kisi Penulisan Soal	22
Tabel 9. Contoh Format Kisi-kisi Tes Objektif	23
Tabel 10. Contoh Format Kisi-kisi Tes Uraian	23
Tabel 11. Contoh Format Kisi-kisi Tes Uraian	24
Tabel 12. Contoh Daftar Cek Penilaian Keterampilan Psikomotor	31
Tabel 13. Contoh Daftar Skala Nilai untuk Keterampilan Psikomotor	32
Tabel 14. Contoh Format Penyusunan Kisi-Kisi Evaluasi	33
Tabel 15. Rubrik Umpan Balik Isi Modul Pembelajaran 1	36
Tabel 16. Contoh Tahapan Teknis Preparasi Foraminifera Kecil	41
Tabel 17. Rubrik Umpan Balik Isi Modul Pembelajaran 2	45
Tabel 18. Kadar Baku Mutu Air Limbah Kegiatan Penambangan Batubara	54
Tabel 19. Kadar Baku Mutu Air Limbah Kegiatan Pengolahan/Pencucian Batubara ...	54
Tabel 20. Rubrik Umpan Balik Isi Modul Pembelajaran 3	84
Tabel 21. Interval Waktu Tunda Pada Detonator.....	93
Tabel 22. Nomor Waktu Tunda dan Nilai Nominal Waktu Tunda untuk Tambang Batubara	94
Tabel 23. Nomor Waktu Tunda dan Nilai Nominal Waktu Tunda	94
Tabel 24. Waktu Tunda Detonator Nonel	98
Tabel 25. Waktu Tunda Nominal DRC Buatan ICI-Explosive	110
Tabel 26. Waktu Tunda Nominal <i>MS-Connector</i> Buatan ICI-Explosive	111
Tabel 27. Spesifikasi <i>Anzomex primers</i> buatan ICI Explosive	118
Tabel 28. Rubrik Umpan Balik Isi Modul Pembelajaran 4	120
Tabel 29. Kekerasan Batuan dan Kekuatan Batuan Fredrich Van Mohs	124
Tabel 30. Sifat Fisik Dan Mekanik dari Batuan Sedimen.....	125
Tabel 31. Rubrik Umpan Balik Isi Modul Pembelajaran 5	138
Tabel 32. Corak yang Digunakan pada Peta Geologi	152
Tabel 33. Simbol yang Digunakan pada Peta Geologi	153

Tabel 34.	Rubrik Umpan Balik Isi Modul Pembelajaran 6	162
Tabel 35.	Diagram Skematik Berbagai Tipe Deformasi Batuan pada Pengujian Triaksial	177
Tabel 36.	Data material yang Digunakan untuk Analisis Kemantapan lereng	
Tabel 37.	Data Material yang Digunakan untuk Analisis Kemantapan Lereng Tunggal	182
Tabel 38.	Hasil Analisis Kemantapan Lereng Tunggal	182
Tabel 39.	Data Material yang Digunakan untuk Analisis Kemantapan Lereng Keseluruhan	184
Tabel 40.	Hasil Analisis Kemantapan Lereng Keseluruhan.....	185
Tabel 41.	Karakteristik Material yang Digunakan untuk Analisis Lereng Timbunan	186
Tabel 42.	Hasil Perhitungan FK Lereng Timbunan	187
Tabel 43.	Rubrik Umpan Balik Isi Modul	188

I. 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.

Pedoman penyusunan modul diklat GP bagi guru dan tenaga kependidikan ini merupakan acuan bagi penyelenggara pendidikan dan pelatihan dalam mengembangkan modul pelatihan yang diperlukan guru dalam melaksanakan kegiatan GP.

B. Tujuan

Tujuan umum GP adalah meningkatkan kualitas layanan dan mutu pendidikan di sekolah/madrasah serta mendorong guru untuk senantiasa memelihara dan meningkatkan kompetensi secara terus-menerus sesuai dengan profesinya.

Tujuan khusus GP adalah.

- a. Meningkatkan kompetensi guru untuk mencapai standar kompetensi yang ditetapkan dalam peraturan perundangan yang berlaku.
- b. Memenuhi kebutuhan guru dalam peningkatan kompetensi sesuai dengan perkembangan ilmu pengetahuan, teknologi, dan seni.
- c. Meningkatkan komitmen guru dalam melaksanakan tugas pokok dan fungsinya sebagai tenaga profesional.
- d. Menumbuhkembangkan rasa cinta dan bangga sebagai penyandang profesi guru.

C. Peta Kompetensi

Tabel 1. Peta Standar Kompetensi Guru

NO.	KOMPETENSI UTAMA	STANDAR KOMPETENSI GURU		
		KOMPETENSI INTI	KOMPETENSI GURU MATA PELAJARAN/KELAS/KEAHLIAN/BK	Indikator Esensial/ Indikator Pencapaian Kompetensi (IPK)
1	PEDAGOGIK	Menyelenggarakan penilaian dan evaluasi proses dan hasil belajar.	8.4. Mengembangkan instrumen penilaian dan evaluasi proses dan hasil belajar.	8.4.1. Kaidah pengembangan instrumen penilaian dan evaluasi proses dan hasil belajar dijelaskan dengan benar.
				8.4.2. Kisi-kisi dikembangkan sesuai dengan tujuan penilaian.
				8.4.3. Instrumen penilaian dikembangkan sesuai dengan kisi-kisi ..
			8.7 Melakukan evaluasi proses dan hasil belajar.	8.7.1 Evaluasi hasil belajar dilakukan dengan menggunakan instrumen yang telah ditetapkan
				8.7.2 Evaluasi hasil belajar dilakukan dengan menggunakan instrumen yang telah ditetapkan
2	PROFESIONAL	Menguasai materi, struktur, konsep dan pola pikir keilmuan yang mendukung mata pelajaran yang diampu.	20.17 Menerapkan pencucian fosil.	20.17.1 Merumuskan teknik preparasi foraminifera kecil/ mikro foram.
			20.20 Menerapkan upaya mencegah kecelakaan kerja pada tiap item paket keahlian geologi pertambangan.	20.20.2 Menerapkan kriteria dan persyaratan kesehatan lingkungan.
			20.23 Menampilkan peralatan perlengkapan peledakan dalam persiapan pelaksanaan pekerjaan peledakan.	20.23.2 Merekonstruksi alat pemicu peledakan non listrik (Nonel) berdasarkan penyulut sumbu api dan pemicu nonel atau starter non-electric.
			20.26 Merumuskan konsep pemboran dan merekonstruksi peralatan pemboran diberbagai kondisi batuan dan menyajikan hasil pemboran.	20.26.3 Merumuskan alat-alat yang digunakan dalam pemboran lubang ledak.
			20.39 Merumuskan jenis-jenis peta dan penampangnya serta	20.39.1 Memperjelas susunan lembar gambar peta geologi, penggambaran penampang geologi, serta kerapian peta

			kelengkapan peta.	dan penampang.
				20.39.4 Menyusun legenda atau keterangan serta indeks lokasi daerah pemetaan.
			20.44 Merancang hasil uji batuan.	20.44.1 Merancang geometri lereng tunggal (single slope) dan lereng keseluruhan (overall slope) yang aman dengan menggunakan data masukan properties material hasil pengujian geomekanika (sifat fisik dan sifat mekanika batuan).

D. Ruang Lingkup

Ruang lingkup penulisan modul ini, pada dasarnya dibagi dua kelompok yaitu: **Kelompok I**, di tuangkan dalam bentuk **pembelajaran 1** yang memuat tentang materi pedagogik yang membahas tentang kaidah pengembangan instrumen pembelajaran dan evaluasi proses belajar mengajar; kisi-kisi instrumen dan evaluasi hasil belajar. **Kelompok II** dituangkan ke dalam bentuk indikator profesional yang memuat **pembelajaran 2, 3, 4, 5, 6 dan 7**. Urutan konten masing-masing pembelajaran adalah: Tekni preparasi foraminifera kecil/mikroforam; menerapkan kriteria dan persyaratan kesehatan lingkungan; alat pemicu peledakan non elektrik (Nonel) berdasarkan penyulut sumbu api dan sumbu ledak; alat-alat yang digunakan dalam pemboran lubang ledak; penyusunan lembar gambar peta geologi, penggambaran penampang geologi serta kerapian peta dan penampang; menyusun legenda peta dan geometri lereng tunggal dan lereng keseluruhan. Kemudian setiap materi diberikan bahan soal guna mengevaluasi hasil pembelajaran modul ini.

E. Saran Cara Penggunaan Modul

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

1. Membaca *out line* modul terlebih dahulu.
2. Mengetahui peta kompetensi.
3. Memahami kompetensi utama, kompetensi inti, kompetensi guru mata pelajaran atau kelas pada peta kompetensi.
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.

F. Indikator Pencapaian Kompetensi

1. Indikator Pencapaian Kompetensi Pedagogik

- a. 8.4.1. Kaidah pengembangan instrumen penilaian dan evaluasi proses dan hasil belajar dijelaskan dengan benar.
- b. 8.4.2. Kisi-kisi dikembangkan sesuai dengan tujuan penilaian.
- c. 8.4.3. Instrumen penilaian dikembangkan sesuai dengan kisi-kisi.
- d. 8.7.1 Evaluasi hasil belajar dilakukan dengan menggunakan instrumen yang telah ditetapkan.
- e. 8.7.2 Evaluasi hasil belajar dilakukan dengan menggunakan instrumen yang telah ditetapkan

2. Indikator Pencapaian Kompetensi Profesional

- a. 20.17.1 Merumuskan teknik preparasi foraminifera kecil/ mikro foram.
- b. 20.20.2 Menerapkan kriteria dan persyaratan kesehatan lingkungan.
- c. 20.23.2 Merekonstruksi alat pemicu peledakan non listrik (Nonel) berdasarkan penyulut sumbu api dan pemicu nonel atau starter non-electric.
- d. 20.26.3 Merumuskan alat-alat yang digunakan dalam pemboran lubang ledak.
- e. 20.39.1 Memperjelas susunan lembar gambar peta geologi, penggambaran penampang geologi, serta kerapian peta dan penampang.
- f. 20.44.1 Merancang geometri lereng tunggal (single slope) dan lereng keseluruhan (overall slope) yang aman dengan menggunakan data masukan properties material hasil pengujian geomekanika (sifat fisik dan sifat mekanika batuan).

II. KEGIATAN PEMBELAJARAN 1

A. Tujuan Pembelajaran

Modul Pembelajaran 1 ini disusun berdasarkan kompetensi pedagogik yang mencakup komponen kompetensi inti, kompetensi guru dan indikator pencapaian kompetensi. Oleh karena itu penulisan pembelajaran 1 ini bertujuan untuk:

1. Memberikan pengetahuan tentang kaidah pengembangan instrumen penilaian dan evaluasi proses hasil belajar.
2. Memberikan pengetahuan kepada guru tentang penyusunan kisi-kisi yang dikembangkan sesuai dengan tujuan penilaian.
3. Melakukan evaluasi proses dan hasil belajar.
4. Memberikan pengetahuan tentang proses penyusunan evaluasi hasil belajar dengan menggunakan instrumen yang telah ditetapkan sebelumnya.

B. Uraian Materi Pembelajaran

1. Kaidah Pengembangan Instrumen Penilaian dan Evaluasi Proses dan Hasil Belajar

Secara umum yang dimaksud instrumen adalah suatu alat yang memenuhi persyaratan akademis, sehingga dapat dipergunakan sebagai alat untuk mengukur suatu obyek ukur atau mengumpulkan data mengenai suatu variable. Dalam bidang penelitian, instrument diartikan sebagai alat untuk mengumpulkan data mengenai variabel- variabel penelitian untuk kebutuhan penelitian, sedangkan dalam bidang pendidikan instrument digunakan untuk mengukur prestasi belajar siswa, factor – factor yang diduga mempunyai hubungan atau berpengaruh terhadap hasil belajar, perkembangan hasil belajar siswa, keberhasilan proses belajar mengajar guru, dan keberhasilan pencapaian suatu program tertentu (Daryanto, 2012).

Pada dasarnya instrumen dapat dibagi dua yaitu tes dan non-tes. Bagian termasuk kelompok tes adalah: tes prestasi belajar, tes intelegensi, tes bakat, dan tes kemampuan akademik. Sedangkan yang termasuk dalam kelompok non-tes adalah skala sikap, skala penilaian, pedoman observasi, pedoman wawancara, angket, pemeriksaan dokumen dan sebagainya. Instrumen yang berbentuk tes bersifat performansi maksimum sedang instrumen non-tes bersifat performansi tipikal.

Pengertian instrumen dalam lingkup evaluasi didefinisikan sebagai perangkat untuk mengukur hasil belajar siswa yang mencakup hasil belajar dalam ranah kognitif, afektif, dan psikomotor. Bentuk instrumen dapat berupa tes dan non-tes. Instrumen bentuk tes mencakup: tes uraian (uraian objektif dan uraian bebas),

tes pilihan ganda, jawaban singkat, menjodohkan, benar salah, unjuk kerja (performance test), dan porto folio. Instrumen bentuk non-tes mencakup: wawancara, angket, dan pengamatan (observasi).

Sebelum instrumen digunakan hendaknya dianalisis terlebih dahulu. Dua karakteristik penting dalam menganalisis instrumen adalah validitas dan reliabilitasnya. Instrumen dikatakan valid (tepat atau absah) apabila instrumen digunakan untuk mengukur apa yang seharusnya diukur. Instrumen untuk mengukur kemampuan memahami kondisi geologi siswa SMK Pertambangan tidak tepat jika digunakan pada siswa Sekolah menengah umum. Dalam hal ini sasaran kepada siapa instrumen itu ditujukan merupakan salah satu aspek yang harus dipertimbangkan dalam menganalisis validitas suatu instrumen. Aspek lainnya misalnya kesesuaian indikator dengan butir soal, penggunaan bahasa, kesesuaian dengan kurikulum yang berlaku, kaidah-kaidah dalam penulisan butir soal dan sebagainya.

Instrumen evaluasi yang baik memiliki ciri-ciri dan harus memenuhi beberapa indikator, antara lain: memiliki nilai validitas, reliabilitas, objectivitas, pratikabilitas, ekonomis, taraf kesukaran dan memiliki daya pembeda yang tegas. Batasan dan penjelasan dari indikator tersebut adalah:

a. Validitas

Di dalam buku "*Encyclopedia of Educational Evaluation*," Scarvia B. Anderson menyebutkan bahwa sebuah tes dikatakan valid apabila tes tersebut mengukur apa yang hendak diukur (Arikunto,1990). Penganalisisan terhadap tes hasil belajar sebagai suatu totalitas dapat dilakukan dengan dua cara. **Pertama.** Penganalisisan yang dilakukan dengan jalan berpikir secara rasional atau penganalisisan dengan menggunakan logika (*logical analysis*). **Kedua,** penganalisisan yang dilakukan dengan mendasarkan diri kepada kenyataan empiris, dimana penganalisisan dilaksanakan dengan menggunakan *empirical analysis* (Sudijono,1996).

Lebih jelas dikatakan bahwa validitas adalah salah satu ciri yang menandai tes hasil belajar yang baik. Untuk dapat menentukan apakah suatu tes hasil belajar telah memiliki validitas atau daya ketepatan mengukur, dapat dilakukan dari dua segi, yaitu: dari segi tes itu sendiri sebagai totalitas dan dari segi itemnya, sebagai bagian yang tak terpisahkan dari tes tersebut (Sudijono,1996). Dalam pengertian yang lain, maksud validitas di sini adalah bahwa instrumen yang disusun memiliki kemampuan untuk mengukur apa yang seharusnya diukur. Sebuah Instrumen Evaluasi dikatakan baik apabila

memiliki validitas yang tinggi dan mampu membedakan kemampuan peserta didik (Zainul dan Nasution, 2005).

Secara umum, validitas tes dibagi menjadi dua yaitu: **Validitas tes secara rasional** dan **validitas tes secara empiris**. Validitas Tes Secara Rasional adalah validitas yang diperoleh dengan berfikir secara logis. Sebuah tes hasil belajar dapat dikatakan telah memiliki validitas rasional, apabila telah dilakukan penganalisisan secara rasional (Sudijono,1996). Untuk dapat menentukan apakah tes hasil belajar sudah memiliki validitas rasional ataukah belum, dapat dilakukan penelusuran dari dua segi, yaitu: **Validitas Isi** (*Content Validity*) dan **Validitas Konstruksi** (*Construct Validity*).

Validitas isi artinya adalah kejituan suatu tes apabila ditinjau dari isi tes tersebut. Sebuah tes hasil belajar dapat dikatakan valid, apabila materi tes tersebut mengandung atau memuat materi representatif terhadap bahan-bahan pelajaran yang diberikan (Nurkancana,1986).

Validitas konstruksi (*Construct Validity*), secara etimologis mengandung arti: susunan, kerangka atau rekaan. Validitas susunan artinya kejituan dari sebuah tes ditinjau dari susunan tes tersebut. Validitas konstruksi dari suatu tes hasil belajar dapat dilakukan penganalisisannya dengan jalan melakukan pencocokan antara aspek-aspek berfikir yang terkandung dalam tes hasil belajar tersebut, dengan aspek-aspek berfikir yang dikehendaki untuk diungkap oleh tujuan instruksional khusus (Sudijono,1996).

Validitas empiris bersumber pada pengamatan di lapangan. Tes hasil belajar dapat dikatakan telah memiliki validitas empiris apabila didasarkan hasil analisis yang dilakukan terhadap data hasil pengamatan di lapangan, terbukti bahwa hasil tes belajar itu secara tepat telah dapat mengukur hasil belajar yang seharusnya diungkap atau diukur lewat tes hasil belajar tersebut (Sudijono,1996). Untuk menentukan apakah tes hasil belajar sudah memiliki validitas empiris ataukah belum dapat dilakukan penelusuran dari dua segi yaitu: melalui validitas ramalan (*predictive validity*) dan Validitas bandingan.

Validitas ramalan artinya ketepatan (kejituan) dari suatu alat pengukur ditinjau dari kemampuan tes tersebut untuk meramalkan prestasi yang dicapainya kemudian. Suatu tes hasil belajar dapat dikatakan mempunyai validitas ramalan yang tinggi, apabila hasil yang dicapai oleh anak dalam tes tersebut betul-betul dapat meramalkan sukses tidaknya anak-anak dalam pelajaran-pelajaran yang akan datang (Nurkancana,1986).

Sebuah tes hasil belajar dinyatakan memiliki nilai validitas ramalan atau belum, dapat diketahui dari korelasi antara tes hasil belajar yang sedang diuji

validitas ramalannya dengan kriteria yang ada. Jika di antara kedua variabel tersebut terdapat korelasi positif yang signifikan, maka tes hasil belajar yang sedang diuji validitas ramalannya itu dapat dinyatakan sebagai tes hasil belajar yang telah memiliki daya ramal yang tepat (Sudijono, 1996).

Validitas bandingan artinya kejituan dari sebuah tes yang dilihat dari kolerasinya terhadap kecakapan yang telah dimiliki. Perbedaan antara validitas ramalan dengan validitas bandingan dapat dilihat dari segi waktunya. (Nurkancana, 1986).

b. Reliabilitas

Sebuah instrumen memiliki nilai reliabilitas yang tinggi apabila instrumen yang disusun menghasilkan hasil pengukuran yang andal. Reliabilitas atau keandalan adalah konsistensi dari serangkaian pengukuran dan alat ukur yang digunakan.

Secara empirik, tinggi rendahnya reliabilitas ditunjukkan dengan angka yang disebut dengan koefisien reliabilitas. Soal (perangkat soal) yang valid pasti reliabel, tetapi soal yang reliabel belum tentu valid. Oleh karena itu soal yang valid secara teoritis, juga sudah reliabel (andal) secara teoritis. Dengan demikian soal buatan guru yang sudah disusun melalui kisi-kisi, sudah valid secara teoritis juga sudah reliabel secara teoritis. Reliabilitas empiris soal dihitung dengan teknik statistik, yaitu dengan cara korelasi. Angka korelasi yang diperoleh dengan cara ini disebut koefisien reliabilitas atau angka reliabilitas (r_{11} atau r_{tt}) soal. Soal yang baik adalah soal yang mempunyai koefisien reliabilitas lebih dari atau sama dengan 0,70.

Koefisien reliabilitas dapat dipengaruhi oleh waktu penyelenggaraan tes. Interval penyelenggaraan yang terlalu dekat atau terlalu jauh, akan mempengaruhi koefisien reliabilitas (Sukardi, 2008). Faktor-faktor lain yang juga mempengaruhi reliabilitas instrument evaluasi adalah: a) **Panjang tes**, semakin panjang sebuah tes evaluasi, semakin banyak jumlah item materi pembelajaran yang diukur. b) **Penyebaran skor**, koefisien reliabilitas dipengaruhi oleh bentuk sebaran skor dalam kelompok siswa yang diukur. Semakin tinggi sebaran, semakin tinggi juga estimasi koefisien reliabel. c) **Tingkat kesulitan tes**, tes normatif yang terlalu mudah atau terlalu sulit untuk siswa, cenderung menghasilkan skor reliabilitas rendah. d) **Objektivitas**, yaitu derajat dimana siswa dengan kompetensi sama, mencapai hasil yang sama pula.

c. **Objektivitas**

Dalam menetapkan hasil evaluasi, Instrumen evaluasi hendaknya terhindar dari pengaruh-pengaruh subjektifitas pribadi dari si evaluator. Untuk menekan pengaruh subjektifitas, evaluasi yang dilakukan harus mengacu bersifat kontinuitas dan komprehensif. Evaluasi harus dilakukan secara kontinu agar evaluator memperoleh gambaran yang lebih jelas tentang keadaan peserta didik yang dinilai. Evaluasi yang dilakukan hanya satu atau dua kali, tidak akan memberikan hasil yang objektif tentang keadaan peserta didik yang dievaluasi, karena faktor kebetulan akan sangat mengganggu hasilnya.

Objektivitas yang dimaksudkan dalam alat evaluasi berkaitan erat dengan ketetapan atau konsistensi pada sistem pemberian skor. Misalkan seorang guru yang memeriksa hasil pekerjaan peserta didiknya dengan menggunakan tes uraian. Jika tes uraian tidak memiliki format penilaian per item (butir soal), maka akan rawan dengan kesalahan dalam prose pemeriksaannya. Beberapa faktor “X” yang akan mempengaruhi proses penilaian adalah: karena kedekatan, keleluargaan dan sebagainya. Untuk itu, objektivitas perlu dijaga dalam mengevaluasi. Bahkan beberapa pendapat mengatakan bahwa objektivitas dan reliabilitas akan saling mempengaruhi dan saling menunjang satu sama lain. Kepraktisan sebuah alat evaluasi lebih menekankan pada tingkat efisiensi dan efektivitas alat evaluasi tersebut. beberapa kriteria yang dikemukakan oleh Gerson, dkk. dalam mengukur tingkat kepraktisan, diantaranya adalah:

1. Waktu yang diperlukan untuk menyusun tes
2. Biaya yang diperlukan untuk menyelenggarakan tes
3. Waktu yang diperlukan untuk melaksanakan tes
4. Tingkat kesulitan menyusun tes
5. Tingkat kesulitan dalam proses pemeriksaan tes
6. Tingkat kesulitan melakukan interpretasi terhadap hasil tes
7. Kepraktisan alat evaluasi akan memberikan manfaat yang besar bagi pelaksanaan maupun bagi peserta didik karena dirancang sedemikian sistematis terutama materi instrumen.

Objektivitas suatu tes dapat ditentukan oleh tingkat atau kualitas kesamaan skor–skor yang diperoleh meskipun hasil tes itu dinilai oleh beberapa orang penilai. Objektivitas adalah kualitas yang menunjukkan identitas atau kesamaan dari skor–skor atau diagnosis–diagnosis yang

diperoleh dari data yang sama dan dari pembuat skor kompeten yang sama. Kualitas suatu objektivitas dapat dibedakan menjadi tiga tingkatan, yaitu:

1. **Objektivitas tinggi**, yaitu jika hasil tes itu menunjukkan tingkat kesamaan yang tinggi.
2. **Objektivitas sedang**, yaitu sama seperti tes yang sudah di standarisasi, tetapi pandangan subjektif skor masih mungkin muncul dalam penilaian dan interpretasinya.
3. **Objektivitas fleksibel**, yaitu seperti beberapa tes yang digunakan oleh Lembaga Bimbingan dan Penyuluhan untuk keperluan *counseling*.

d. Praktikabilitas

Sebuah instrumen evaluasi dikatakan memiliki praktikabilitas yang tinggi apabila instrumen tersebut praktis, mudah pengadministrasiannya dan memiliki ciri: mudah dilaksanakan, tidak menuntut peralatan yang banyak dan memberi kebebasan kepada peserta didik mengerjakan yang dianggap mudah terlebih dahulu. Mudah dalam pemeriksaannya, artinya instrumen harus dilengkapi dengan pedoman skoring dan kunci jawaban, dilengkapi dengan petunjuk yang jelas, sehingga dapat dilaksanakan oleh orang lain.

Kepraktisan adalah kualitas yang menunjukkan kemungkinan dapat dijalankannya suatu teknik penilaian yang menyangkut: biaya, waktu, kemudahan penyusunan, kemudahan penskoran dan kemudahan dalam interpretasi hasil-hasilnya. Sebuah tes dikatakan mempunyai kepraktisan yang baik jika kemungkinan untuk menggunakan tes itu besar. Adapun kriteria untuk mengukur praktis tidaknya sebuah tes dapat dilihat dari :

1. Biaya yang diperlukan untuk menyelenggarakan tes
2. Waktu yang diperlukan untuk menyusun tes
3. Sukar mudahnya menyusun tes
4. Sukar mudahnya menilai hasil tes
5. Sulit tidaknya menginterpretasikan hasil tes
6. Lamanya waktu yang diperlukan untuk melaksanakan tes.

Kepraktisan merupakan syarat dari sebuah tes standar. Kepraktisan mengandung arti kemudahan untuk pengoperasian dari sebuah tes, baik dalam mempersiapkan, menggunakan, mengolah, menafsirkan, maupun mengadministrasikannya. Dimiyati dan Mudjiono (2010) mengemukakan ada beberapa faktor yang mempengaruhi kepraktisan instrument evaluasi, antara lain:

1. Kemudahan mengadministrasi

Kemudahan pengadministrasian instrument evaluasi dapat dilakukan dengan cara memberikan petunjuk yang sederhana dan jelas, subtes sebaiknya relatif sedikit dan pengaturan tempo tes sebaiknya tidak menimbulkan kesulitan. Kesalahan dalam mengadministrasikan instrument evaluasi akan menurunkan kepraktisannya sehingga menyebabkan berkurangnya validitas dan reliabilitas instrumen.

2. Waktu yang disediakan untuk melancarkan evaluasi

Kepraktisan dipengaruhi oleh faktor waktu yang disediakan untuk melaksanakan evaluasi. Waktu yang terlalu singkat akan menimbulkan kepanikan bagi peserta tes, sedangkan waktu yang terlalu panjang akan menimbulkan kebosanan dan membuang-buang waktu.

3. Kemudahan penskor

Untuk mencapai kemudahan dalam penskoran diperlukan upaya seperti menyediakan: format petunjuk penskoran, kunci penskoran, pemisahan lembar jawaban dari lembar soal atau menyediakan peralatan otomatis/mesin penskoran.

4. Kemudahan interpretasi dan aplikasi

Untuk memudahkan interpretasi dan aplikasi hasil evaluasi diperlukan petunjuk yang jelas. Karena semakin mudah interpretasi dan aplikasi hasil evaluasi, akan semakin meningkatkan kepraktisan evaluasi.

5. Tersedianya bentuk instrument evaluasi yang ekuivalen atau sebanding.

Untuk berbagai kegunaan pendidikan, bentuk-bentuk ekuivalen tes yang sama seringkali diperlukan. Bentuk-bentuk ekuivalen dari sebuah tes yang bertujuan untuk mengukur aspek-aspek perilaku dapat dibuat dalam bentuk: butir-butir tes yang memiliki kesamaan isi dan memiliki tingkat kesulitan dan karakteristik yang sama. Dengan demikian, satu bentuk tes dapat menggantikan tes yang lain. Sedangkan instrument evaluasi yang sebanding adalah instrument evaluasi yang memiliki kemungkinan dapat dibandingkan dengan makna dari skor umum yang dimiliki. sehingga untuk tes yang berseri, cukup menggunakan satu skala skor saja. Adanya

bentuk–bentuk ekuivalen atau sebanding dari sebuah instrument evaluasi akan mempraktiskan kegiatan evaluasi.

Dalam kenyataannya, banyak tes yang dibuat tidak menunjukkan kepraktisan. Padahal kepraktisan merupakan syarat suatu tes standar. Kebanyakan orang membuat tes hanya untuk kepentingan dirinya sendiri, tidak berpikir untuk orang lain. Akibatnya, ketika tes tersebut digunakan orang lain, maka orang tersebut merasakan kesulitan. Kepraktisan bukan hanya dipertimbangkan ketika memilih tes yang sudah dipublikasikan, tetapi siapapun yang mengembangkan tes harus memenuhi syarat ini. Kepraktisan mengandung arti kemudahan suatu tes, baik dalam mempersiapkan, menggunakan, mengolah dan menafsirkan, maupun mengadministrasikannya.

e. Ekonomis

Pelaksanaan evaluasi menggunakan instrumen harus dirancang sedemikian rupa sehingga tidak membutuhkan biaya yang mahal, tenaga yang banyak dan waktu yang lama, baik ketika memproduksi maupun melaksanakan dan mengolah hasilnya. Dengan mempertimbangkan kriteria-kriteria tersebut, sewajarnya dapat dihasilkan alat tes (sosal-soal) yang berkualitas yang memenuhi syarat-syarat sbb:

1. Shahih (valid). Yaitu mengukur apa yang harus diukur dan sesuai dengan tujuan.
2. Relevan. Artinya, yang diuji harus sesuai dengan tujuan yang diinginkan.
3. Spesifik. Yaitu soal yang dibuat hanya akan dapat dijawab oleh peserta didik yang betul-betul belajar dengan benar.
4. Tidak mengandung ketaksaan (tafsiran ganda).
5. Representatif. Artinya, soal yang dibuat dapat mewakili materi ajar secara keseluruhan.
6. Seimbang. Artinya, soal-soal yang dirancang dapat mewakili seluruh materi secara seimbang.

Meskipun tes telah disusun dan dilakukan berdasarkan aturan dan sesuai dengan prosedur, namun tes itu sendiri mengandung beberapa kelemahan yang perlu diperhatikan. Gilbert Sax menjelaskan bahwa tes setidaknya memiliki kelemahan sbb:

1. Tes dapat menimbulkan kecemasan pada diri siswa, sehingga kondisi ini dapat mempengaruhi hasil tes.

2. Secara psikologis, adakalanya tes akan memberikan dampak yang kurang baik bagi siswa, karena hasil tes yang diperoleh tidak sesuai dengan harapan siswa.
3. Tes cenderung menghasilkan pengkategorian secara permanent pada diri siswa. Sebagai contoh jika hasil tes menunjukkan bahwa si “X” adalah anak yang kurang pandai, maka predikat “**kurang pandai**” ini sukar sekali diubah jika tidak ada perubahan hasil tes berikutnya dengan hasil yang memuaskan.
4. Terkadang tes tidak merepresentasikan kepandaian seseorang. Siswa yang terlalu hati-hati dalam menelaah soal tes, seringkali kehabisan waktu untuk menyelesaikan soal. Akibatnya nilai tes yang diperoleh rendah. Sebaliknya, siswa yang membaca soal secara sepintas, mampu menyelesaikan tes, meskipun mungkin jawabannya hanyalah sekedar menebak atau kebetulan “benar”.
5. Tes hanya mengukur aspek tingkah laku yang sangat terbatas, sementara ada sifat-sifat manusia yang lebih cocok untuk dinilai dengan pengamatan penerapan sikap yang diharapkan (secara aplikatif).

f. Taraf Kesukaran

Instrumen yang baik terdiri dari butir-butir instrumen yang tidak terlalu mudah dan tidak terlalu sukar. Butir soal yang terlalu mudah tidak mampu merangsang peserta didik untuk mempertinggi usaha memecahkannya. Sebaliknya kalau terlalu sukar membuat peserta didik putus asa dan tidak memiliki semangat untuk mencoba lagi karena di luar jangkauannya.

Menganalisis tingkat kesukaran soal artinya mengkaji soal-soal tes/ujian dari segi kesulitannya sehingga dapat di peroleh soal-soal mana yang termasuk mudah, sedang dan sukar. Sedangkan menganalisis daya pembeda artinya mengkaji soal-soal tes dari segi kesanggupan tes tersebut dalam kategori lemah atau rendah dan kategori kuat atau tinggi prestasinya (Wayan Nurkencana, 1983).

Asumsi yang digunakan untuk memperoleh kualitas yang baik, disamping memenuhi validitas dan reliabilitas, adalah daya keseimbangan dari tingkat kesulitan soal tersebut. Keseimbangan yang dimaksudkan adalah adanya soal-soal yang termasuk mudah, sedang dan sukar secara proporsional. Tingkat kesukaran soal dipandang dari kesanggupan atau kemampuan siswa dalam menjawabnya, bukan dilihat dari segi guru dalam melakukan analisis pembuat soal.

Ada beberapa dasar pertimbangan dalam menentukan proporsi jumlah soal kategori **mudah**, **sedang** dan **sukar**. Pertimbangan **pertama** adalah, adanya keseimbangan, yakni jumlah soal harus sama untuk ke tiga kategori tersebut. **Kedua**, proporsi jumlah soal untuk ke tiga kategori tersebut harus seimbang. Artinya sebagian besar soal yang disusun, berada dalam kategori sedang, sebagian lagi termasuk kategori mudah dan sukar dengan proporsi yang seimbang. Perbandingan antara soal mudah, sedang dan sukar bisa di buat 3-4-3. Artinya: 30% soal kategori mudah, 40% soal kategori sedang dan 30% lagi soal kategori sukar.

Di samping itu, karena suatu tes khusus dirancang untuk memisahkan antara murid-murid yang betul-betul mempelajari suatu pelajaran dengan yang tidak, maka tes yang baik adalah tes yang betul-betul dapat memisahkan ke dua golongan murid tadi. Jadi setiap item disamping harus mempunyai derajat kesukaran tertentu, juga harus mampu membedakan antara murid yang pandai dengan murid yang kurang pandai.

Cara melakukan analisis untuk menentukan tingkat kesukaran soal, dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$I = \frac{B}{N}$$

Dimana: I = Indeks kesulitan untuk setiap butir soal; B = Banyaknya siswa yang menjawab benar setiap butir soal dan N = Banyaknya yang memberikan jawaban pada soal yang di maksudkan.

Kriteria yang digunakan adalah, makin kecil indeks yang di peroleh maka makin sulit soal tersebut. Sebaliknya, makin besar indeks yang diperoleh makin mudah soal tersebut. Kriteria tingkat kesukaran soal dapat dilihat pada nilai indeks berikut ini.

1. Soal dengan P: 0 – 0,30 adalah soal kategori sukar.
2. Soal dengan P: 0,31 – 0,70 adalah soal kategori sedang.
3. Soal dengan P: 0,71 – 1,00 adakah soal kategori mudah.

Contoh:

Seorang Guru memberikan 10 pertanyaan pilihan berganda denga komposisi 3 soal mudah, 4 soal sedang dan 3 soal sukar. Jika dibuatkan susunan soalnya adalah seperti pada **Tabel 2** berikut :

Tabel 2. Kriteria dan Tingkat Kesulitan Soal Tes

No. Soal	Kriteria yang diukur	Tingkat Kesukaran Soal
1	Pengetahuan	Mudah
2	Aplikasi	Sedang
3	Pemahaman	Mudah
4	Analisis	Sedang
5	Evaluasi	Sukar
6	Sintesis	Sukar
7	Pemahaman	Mudah
8	Aplikasi	Sedang
9	Analisis	Sedang
10	Sistesis	Sukar

Kemudian soal tersebut di berikan kepada 10 orang siswa. Dari hasil tes diketahui bahwa tidak seorang pun yang tidak mengisi seluruh pertanyaan tersebut. Setelah di periksa hasilnya seperti yang terlihat pada **Tabel 3** berikut:

Tabel 3. Penentuan Kategori Soal Tes

No. Soal	Banyaknya siswa yang menjawab benar (N)	Banyaknya siswa yang menjawab (B)	Indeks $\frac{B}{N}$	Kategori Soal
1	20	18	0,9	Mudah
2	20	12	0,6	Sedang
3	20	10	0,5	Mudah
4	20	20	1,0	Sedang
5	20	6	0,3	Sukar
6	20	4	0,2	Sukar
7	20	16	0,8	Mudah
8	20	11	0,55	Sedang
9	20	17	0,85	Sedang
10	20	5	0,25	Sukar

Dari sebaran data pada Tabel 3 atas, terlihat bahwa ada tiga soal yang meleset, yakni soal nomor 3. Semula soal no 3 diproyeksikan ke dalam

kategori **mudah**. Setelah di coba ternyata termasuk kedalam kadegori **sedang**. Demikian juga soal nomor 4, semula di proyeksikan **sedang** ternyata termasuk kedalam kategori **mudah**. Soal nomor 9 semula di kategorikan **sedang** ternyata termasuk kedalam kategori **mudah**. Sedangkan tujuh soal yang lainnya sesuai dengan proyeksi semula. Atas dasar tersebut, maka ketiga soal di atas harus diperbaiki kembali.

Soal no : 3 dinaikan dalam kategori sedang.

Soal no : 4 diturunkan dalam kategori mudah.

Soal no : 9 di turunkan kedalam kategori mudah.

g. Daya Pembeda

Yang dimaksud dengan daya pembeda sebuah instrumen adalah kemampuan instrumen tersebut untuk membedakan antara anak didik yang pandai (berkemampuan tinggi) dengan anak didik yang tidak pandai (berkemampuan rendah). Indek daya pembeda ini disingkat dengan **D** dan dinyatakan dengan Indeks Diskriminasi.

Salah satu tujuan analisis kuantitatif soal adalah untuk menentukan dapat tidaknya suatu soal membedakan kelompok dalam aspek yang di ukur sesuai dengan perbedaan yang ada dalam kelompok itu. Indeks yang di gunakan dalam membedakan peserta tes yang berkemampuan tinggi dengan peserta tes yang berkemampuan rendah adalah indeks daya pembeda. Indeks ini menunjukkan kesesuaian antara fungsi soal dengan fungsi tes secara keseluruhan. Dengan demikian validitas soal ini sama dengan daya pembeda soal. Yaitu daya yang membedakan antara peserta tes yang berkemampuan tinggi dengan peserta tes yang berkemampuan rendah.

h. Hubungan Antara Tingkat Kesukaran dan Daya Pembeda.

Tingkat kesukaran berpengaruh langsung pada daya pembeda soal. Jika setiap orang memilih benar jawaban ($P = 1$), atau jika setiap orang memiliki benar jawaban ($P = 0$) maka soal tidak dapat digunakan untuk membedakan kemampuan peserta tes. Oleh karena itu, soal yang baik adalah soal yang memiliki daya pembeda antara peserta tes kelompok atas dan kelompok rendah. Kelompok rendah memiliki tingkat kemampuam 0.50 dan akan diperoleh daya pembeda kelompok atas maksimal 1.00.

i. **Daya Pembeda Soal Pilihan Ganda**

Untuk menentukan daya pembeda soal pilihan ganda yang menunjukkan adanya tingkat kesukaran dapat ditentukan dengan melihat kelompok atas dan kelompok bawah berdasarkan skor total. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada **Tabel 4** berikut ini:

Tabel 4. Daya Pembeda Soal Pilihan Ganda

No.	Nama Peserta	Nomor Soal										Total Skor
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	Randika	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	8
2	Ujang	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	3
3	Upik	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	7
4	Butet	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	8
5	Ocok	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	4
6	Neneng	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	8
7	Frengki	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	3
8	Gusman	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	6
9	Desi	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	4
10	Andre	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	4

Untuk memudahkan perhitungan skor yang terdapat pada Tabel 4, diurutkan dari peserta tes yang memperoleh skor yang tinggi menuju peserta yang memperoleh skor yang rendah. Hasilnya dapat dilihat pada Tabel 5 berikut:

Tabel 5. Penyederhanaan Tabel Daya Pembeda Soal Pilihan ganda

No	Peserta	Nomor soal										Skor
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	Randika	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	8
2	Ujang	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	8
3	Upik	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	8
4	Butet	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	7
5	Ocok	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	6
6	Neneng	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	4
7	Frengki	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	4
8	Gusman	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	4

9	Desi	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	3
10	Andre	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	3
Jumlah jawaban benar		10	5	6	6	8	5	5	5	5	0	
Jumlah peserta		10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	
Kesukaran		0.00	0.50	0.60	0.60	0.80	0.50	0.50	0.50	0.5	1.00	

Keterangan :

Skor Siswa kelompok atas: 6 – 10

Skor Siswakelompok bawah: 5 - 1

Cara menghitung Daya Beda dari soal pilihan berganda adalah sebagai berikut: Nilai DB memiliki rentang nilai antara -1,00 hingga +1,00. Dengan mengambil soal contoh di atas, beberapa kondisi soal dapat di jelaskan sebagai berikut:

Contoh soal nomor 2. Semua siswa kelompok atas dapat menjawab benar dan semua siswa kelompok bawah menjawab salah, maka DB akan + 1,00. DB dapat di tentukan besarnya dengan rumus sebagai berikut :

$$PT - PR = \frac{TB}{T} - \frac{RB}{T}$$

Dimana:

PT adalah proporsi siswa yang menjawab benar pada kelompok siswa yang mempunyai kemampuan tinggi; **PR** adalah proporsi siswa yang menjawab benar pada kelompok siswa yang mempunyai kemampuan rendah; **TB** jumlah siswa yang menjawab benar pada kelompok siswa yang mempunyai kemampuan tinggi; **T** jumlah kelompok siswa yang mempunyai kemampuan tinggi. **RB** jumlah siswa yang menjawab benar pada kelompok siswa yang mempunyai kemampuan rendah dan **R** jumlah kelompok siswa yang mempunyai kemampuan rendah. Kategori tingkat kesukaran daya beda dapat dilihat pada **Tabel 6**.

Tabel 6. Kategori Tingkat Kesukaran Daya Beda.

No soal	Kelompok atas	Kelompok bawah	Daya Beda
1	1.00	1.00	0.00
2	1.00	0.00	1.00
3	1.00	0.10	0.90
4	1.00	0.10	0.90

5	0.30	0.60	-0.30
6	1.00	0.00	1.00
7	1.00	0.10	0.90
8	0.80	0.10	0.70
9	0.00	1.00	-1.00
10	0.00	0.00	0.00

Kembali pada tingkat kesukaran yang di tunjukkan pada Tabel 6 di atas. Soal nomor 9 merupakan soal yang sukar bagi kelompok atas tetapi sangat mudah bagi kelompok bawah. Soal nomor 10 merupakan soal yang sangat sukar baik bagi kelompok atas maupun kelompok bawah. Soal nomor 2 dan nomor 6 merupakan soal yang sangat sukar bagi kelompok bawah tetapi relatif mudah untuk kelompok atas. Perhitungan daya beda sangatlah sederhana dan menyajikan informasi yang dapat membedakan masing–masing kelompok berdasarkan kemampuan mereka (Engelhart, 1965). Soal nomor 1 dan nomor 10 tidak menunjukkan perbedaan antar kelompok. Tidak adanya perbedaan tingkat kesukaran pada soal nomor 1 dan nomor 10 yang juga menunjukkan bahwa soal tidak dapat menunjukkan perbedaan antar kelompok. Soal nomor 5 dan nomor 9 mempunyai indeks daya beda yang baik, tetapi terbalik. Tanda negatif nomor 5 dan nomor 9 menunjukkan bahwa peserta tes yang kemampuannya tinggi tidak dapat menjawab soal dengan benar. Tetapi peserta tes yang kemampuannya rendah menjawab dengan benar. data statistik di atas menunjukkan bahwa soal nomor 5 dan 9 merupakan soal yang tidak baik. Data statistik menunjukkan bahwa soal nomor 2,3,4,6,7 dan 8 merupakan soal yang baik ditinjau dari daya pembeda.

j. Daya Pembeda Soal Uraian

Langkah yang di lakukan untuk menghitung daya pembeda sama seperti yang dilakukan pada soal pilihan ganda. Urutkan seluruh peserta tes berdasarkan perolehan skor total dari yang tertinggi hingga perolehan skor yang terendah. Dari contoh di atas dapat disimpulkan bahwa cara menghitung daya pembeda dapat dilakukan dengan menempuh langkah-langkah sebagai berikut :

1. Periksa jawaban soal semua siswa peserta tes.
2. Buat daftar peringkat atau urutan hasil tes berdasarkan skor yang di capainya.

3. tentukan jumlah siswa kelompok atas dan kelompok bawah.
4. Hitung selisih tingkat kesukaran menjawab soal antara kelompok atas dan kelompok bawah.
5. Membandingkan nilai selisih yang di peroleh.
6. Tentukan ada tidaknya daya pembeda pada setiap nomor soal dengan kriteria “memiliki daya pembeda”.

2. Kisi-Kisi Pengembangan Instrumen

Setiap pengukuran membutuhkan instrument atau alat yang akan dipakai sebagai alat ukur. Pengukuran berat membutuhkan timbangan, pengukuran temperatur membutuhkan termometer. Demikian pula dengan pengukuran hasil belajar, harus menggunakan Instruen penilaian. Pengukuran hasil belajar, membutuhkan alat yang disebut instrumen penilaian. Instrumen ini antara lain terdiri dari tes dan skala sikap. Sebagai alat yang digunakan untuk menilai capaian pembelajaran peserta didik, instrumen harus memenuhi kaidah-kaidah tertentu dalam penulisannya.

Sebelum membicarakan instrumen penilaian, terlebih dahulu perlu untuk memahami apa yang dimaksud dengan instrumen penilaian, pengukuran, penilaian dan evaluasi. Menurut lampiran Permendikbud Nomor 104 Tahun 2014, instrumen penilaian adalah alat yang digunakan untuk menilai capaian pembelajaran peserta didik. Misalnya: tes dan skala sikap. Pengukuran adalah proses penetapan angka terhadap suatu gejala menurut aturan tertentu. Sedangkan evaluasi adalah penilaian yang sistematis tentang manfaat atau kegunaan suatu objek” (Ekawati dan Sumaryanta, 2011).

Khusus untuk penilaian menurut Permendikbud nomor 81A tahun 2013, adalah serangkaian kegiatan yang dilakukan secara sistematis dan berkelanjutan untuk memperoleh, menganalisis, dan menafsirkan data tentang proses dan hasil belajar peserta didik sehingga menjadi informasi yang bermakna dalam pengambilan keputusan. Sebagai alat yang digunakan untuk menilai capaian pembelajaran peserta didik, instrumen harus memenuhi kaidah-kaidah berikut (Diadopsi dari Yuniarto):

a. Kaidah Penulisan Soal Secara Umum

1. Petunjuk pengerjaan dan rumusan soal harus jelas dan menggunakan bahasa Indonesia yang baik dan benar.
2. Rumusan soal harus sesuai dengan indikator.
3. Butir soal tidak bergantung pada jawaban soal sebelumnya.

4. Rumusan soal tidak boleh mengandung petunjuk (clue) kepada kunci jawaban.
5. Materi soal harus sesuai dengan jenjang/jenis pendidikan atau tingkatan kelas dan
6. Rumusan soal harus mempertimbangkan tingkat kesulitan soal.

b. Kaidah Penulisan Soal Pilihan Ganda

1. Pilihan jawaban harus homogen dan logis.
2. Hanya ada satu jawaban yang paling benar.
3. Pokok soal harus dirumuskan dengan singkat, jelas, dan tegas.
4. Pokok soal jangan memberi petunjuk ke kunci jawaban.
5. Pokok soal tidak menggunakan pernyataan yang bersifat negatif ganda.
6. Panjang rumusan pilihan jawaban relatif sama.
7. Pilihan jawaban jangan menggunakan pernyataan “Semua jawaban di atas salah” atau “Semua jawaban di atas benar” dan sejenisnya.
8. Pilihan jawaban yang berbentuk angka atau waktu harus disusun berdasarkan urutan besar kecil atau secara kronologis.
9. Pilihan jawaban tidak mengulang kata/kelompok kata yang sama.

c. Kaidah Penulisan Soal Isian

1. Jawaban yang akan diisi oleh siswa pada titik-titik adalah jawaban yang pendek
2. Titik-titik tidak selalu ditempatkan pada akhir kalimat.

d. Kaidah Penulisan Soal Jawaban Singkat

1. Jawaban yang dituntut oleh butir soal harus singkat dan pasti, dapat berupa kata, frase, angka, simbol, tahun, atau nama tempat, nama tokoh, lambang, atau kalimat yang sudah pasti;
2. Rumusan butir soal tidak merupakan kalimat yang dikutip langsung dari buku.

e. Kaidah Penulisan Soal Bentuk Uraian

1. Batasan pertanyaan dengan jawaban yang diharapkan harus jelas;
2. Rumusan kalimat butir soal harus menggunakan kata tanya atau perintah yang menuntut jawaban uraian.

Sebelum mulai menulis soal/tes, terlebih dahulu perlu ditentukan jumlah soal untuk setiap kompetensi dasar, demikian pula dengan penyebarannya. Untuk hal tersebut, dibutuhkan format seperti **Tabel 7, 8, 9, 10 dan 11.**

Tabel 7. Format Sistem Penilaian

No	Kompetensi Dasar	Materi	Jumlah Soal		
			Objektif	Tertulis	Praktek

Setelah selesai mengisi format pada Tabel 7 di atas, selanjutnya perlu dibuatkan kisi-kisi soal, yang tujuannya adalah untuk menentukan ruang lingkup dan sebagai petunjuk dalam menulis soal. Kisi-kisi dapat berbentuk format atau matriks seperti contoh berikut ini:

Contoh Format Kisi-Kisi Penulisan Soal

Nama Sekolah :

Mata Pelajaran :

Alokasi Waktu :

Bentuk Soal :

Jumlah Soal :

Tabel 8. Contoh Format Kisi-kisi Penulisan Soal

No	Kompetensi inti	Kompetensi dasar	Kelas/sem	Materi pokok	Indikator	Nomor Soal

Contoh Format Kisi-Kisi Tes Objektif

Nama Sekolah :
Mata Pelajaran :
Semester/Tahun :
Alokasi Waktu :
Tipe Test :
Jumlah Butir Tes :

Tabel 9. Contoh Format Kisi-kisi Tes Objektif

No	POKOK BAHASAN DAN SUB POKOK BHASAN	JENJANGA KEMAMPUAN DAN TINGKAT KESUKARAN												JUMLAH BUTIR SOAL	%
		C1			C2			C3			C4, 5, 6				
		MUDAH	SEDANG	SUKAR	MUDAH	SEDANG	SUKAR	MUDAH	SEDANG	SUKAR	MUDAH	SEDANG	SUKAR		
1	2	3			4			5			6			7	8
	JUMLAH BUTIR SOAL														
	PERSENTASE														100

Keterangan:

- C1 : Proses berfikir ingatan
- C2 : Proses berfikir pemahaman
- C3 : Proses berfikir penerapan
- C4,5,6 : Proses berfikir analitis, sintesis dan evaluasi
- Mudah, Sedang, Sukar adalah tingkat kesukaran butir soal yang diinginkan, menentukan tingkat kesukaran ini didasarkan pada pertimbangan pembuat soal
- Pokok/sub pokok bahasan di kolom 2 diambil dari GBPP (Garis-Garis Besar Program Pengajaran) yang ditarik dari Tujuan Instruksional Khusus (TIK).

Contoh Format Kisi-Kisi Tes Uraian

Nama Sekolah :
Mata Pelajaran :
Semester/Tahun :
Alokasi Waktu :
Tipe Test :
Jumlah Butir Tes :

Tabel 10. Contoh Format Kisi-kisi Tes Uraian

NO	POKOK BAHASAN DAN SUB POKOK BAHAN	JUMLAH SOAL PROSES BERFIKIR MAKSIMAL					JUMLAH BUTIR SOAL	%
		C2	C3	C4	C5	C6		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
JUMLAH	BUTIR SOAL							
	PERSENTASE							100

Contoh Format Kisi-Kisi Tes Uraian

Nama Sekolah :
Mata Pelajaran :
Semester/Tahun :
Alokasi Waktu :
Tipe Test :
Jumlah Butir Tes Objektif : Uraian :

Tabel 11. Contoh Format Kisi-kisi Tes Uraian

[illegible]

Keterangan:

A,B,C,D,E adalah ragam soal yaitu melengkapi pilihan (pilihan ganda biasa, analisis hubungan antar hal, analisis kasus. Pilihan ganda kompleks dan membaca diagram, grafik, tabel atau gambar

3. Instrumen Penilaian

Ada beberapa teknik dan alat penilaian yang dapat digunakan guru sebagai sarana untuk memperoleh informasi tentang keadaan belajar siswa. Penggunaan berbagai teknik dan alat itu harus disesuaikan dengan tujuan penilaian, waktu yang tersedia, sifat tugas yang dilakukan siswa dan banyaknya/jumlah materi pelajaran yang sudah disampaikan.

Fungsi, tujuan dan prinsip penilaian pada dasarnya adalah langkah-langkah yang dilakukan oleh guru untuk dapat menentukan capaian hasil belajar yang telah dilalui oleh peserta didik selama mengikuti proses pembelajaran. Dari hasil penilaian ini, seorang pendidik (guru) dapat memperoleh potret atau profil kemampuan peserta didik yang dicapai sesuai dengan standar kompetensi dan kompetensi dasar yang telah dirumuskan pada masing-masing sekolah.

Penilaian mempunyai peran yang penting dalam proses pembelajaran, sesuai dengan fungsi, tujuan dan prinsip penilaian.

a. Fungsi penilaian

- 1) Mengetahui kemajuan dan kesulitan belajar siswa
- 2) Memberikan umpan balik
- 3) Melakukan perbaikan kegiatan pembelajaran
- 4) Memotivasi guru untuk mengajar lebih baik
- 5) Memotivasi siswa untuk belajar lebih giat

b. Tujuan penilaian

- 1) *Keeping track* (proses pembelajaran sesuai dengan rencana)
- 2) *Cheking up* (mencek kelemahan dalam proses pembelajaran)
- 3) *Finding out* (menemukan kelemahan dan kesalahan dalam pembelajaran)
- 4) *Summing up* (menyimpulkan pencapaian kompetensi peserta didik)

c. Prinsip Penilaian

- 1) Sahih, penilaian didasarkan pada data yang mencerminkan kemampuan yang diukur.
- 2) Objektif, penilaian didasarkan pada prosedur dan kriteria yang jelas, tidak dipengaruhi subjektivitas penilai
- 3) Adil, penilaian tidak menguntungkan atau merugikan peserta didik, karena kebutuhan dan latar belakang mereka berbeda-beda.

- 4) Terpadu, penilaian adalah salah satu komponen yang tak terpisahkan dalam proses pembelajaran
- 5) Terbuka, prosedur penilaian, kriteria penilaian dan dasar pengambilan keputusan dapat diketahui oleh pihak yang berkepentingan
- 6) Menyeluruh dan berkesinambungan, penilaian dilakukan dengan mencakup seluruh aspek kompetensi dengan menggunakan teknik penilaian yang sesuai
- 7) Sistematis, penilaian dilakukan dengan terencana dan bertahap serta mengikuti langkah-langkah baku
- 8) Beracuan kriteria dan penilaian

Teknik penilaian adalah metode atau cara penilaian yang dapat digunakan guru untuk mendapatkan informasi mengenai keadaan belajar dan prestasi peserta didik. Teknik penilaian yang memungkinkan dan dapat dengan mudah digunakan oleh guru adalah teknik tes.

Tes dapat didefinisikan sebagai suatu pertanyaan atau tugas atau seperangkat tugas yang direncanakan untuk memperoleh informasi tentang trait atau atribut pendidikan atau psikologik yang setiap butir pertanyaan atau tugas tersebut mempunyai jawaban atau ketentuan yang dianggap benar. Setiap tes menuntut keharusan adanya respon dari subjek (orang yang di tes) yang dapat disimpulkan sebagai suatu trait yang dimiliki oleh subyek yang sedang dicari infomasinya.

Menurut bentuknya, tes dapat dibagi kedalam dua macam yaitu: butir tes bentuk uraian (*essay test*) dan butir test berbentuk objektif (*objective test*). Dua bentuk test ini dapat dipilah lagi kedalam berbagai tipe, yaitu: Test uraian terbatas (*restricted essay*) dan tes uraian bebas (*extended essay*). Butir tes objektif menurut tipenya dapat dibagi menjadi tiga, yaitu: tes benar - salah (*true-false*), butir test menjodohkan (*matching*) dan butir tes pilhan ganda (*mulple choice*). Menurut ragamnya, tiap tes tersebut di atas dapat dipilah lagi ke dalam ragam butir test, yaitu:

1. Tipe Tes Uraian terbatas

- a) Ragam tes jawaban singkat
- b) Ragam tes melengkapi
- c) Ragam tes uraian terbatas sederhana

2. Tipe tes uraian bebas

- a) Ragam tes uraian sederhana

- b) Ragam tes uraian ekspresif

3. Tipe tes obkektif benar salah

- a) Ragam benar salah sederhana
- b) Ragam benar salah dengan koreksi

4. Tipe tes obkektif menjodohkan

- a) Ragam menjodohkan sederhana
- b) Ragam menjodohkan hubungan sebab akibat

5. Tipe tes obkektif pilihan ganda

- a) Ragam pilihan ganda biasa
- b) Ragam pilihan ganda hubungan antar hal
- c) Ragam pilihan ganda analisis kasus
- d) Ragam pilihan ganda kompleks
- e) Ragam pilihan ganda membaca diagram

4. Evaluasi Hasil Belajar

a. Proses Evaluasi Hasil Belajar

Tujuan dilaksanakannya evaluasi proses dan hasil pembelajaran adalah untuk mengetahui keefektifan pelaksanaan pembelajaran dan pencapaian hasil pembelajaran oleh setiap peserta didik. Sedangkan manfaatnya adalah: **Pertama**, untuk memperoleh pemahaman pelaksanaan dan hasil pembelajaran yang telah berlangsung/dilaksanakan oleh guru. **Kedua**, untuk membuat keputusan yang berkenaan dengan pelaksanaan dan hasil pembelajaran. **Ketiga**, untuk meningkatkan kualitas proses dan hasil pembelajaran dalam rangka upaya meningkatkan kualitas keluaran.

Sasaran dari evaluasi pembelajaran adalah pelaksanaan dan pengelolaan pembelajaran untuk memperoleh pemahaman tentang strategi pembelajaran yang dilaksanakan oleh guru. Cara mengajar dan media pembelajaran yang digunakan oleh guru dalam pembelajaran, serta minat, sikap dan cara atau kebiasaan belajar siswa.

Tahapan pelaksanaan evaluasi proses pembelajaran adalah penentuan tujuan, menentukan desain evaluasi, pengembangan instrumen evaluasi, pengumpulan informasi/data, analisis dan interpretasi dan tindak lanjut.

Tujuan evaluasi pembelajaran dapat dirumuskan dalam bentuk pernyataan atau pertanyaan. Secara umum tujuan evaluasi proses pembelajaran untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan berikut:

1. Apakah strategi pembelajaran yang dipilih dan dipergunakan oleh guru cukup efektif ?.

2. Apakah media pembelajaran yang digunakan oleh guru cukup efektif ?.
3. Apakah cara mengajar guru menarik dan sesuai dengan pokok materi sajian yang dibahas ?.
4. Bagaimana persepsi siswa terhadap materi sajian yang dibahas berkenaan dengan kompetensi dasar yang akan dicapai ?.
5. Apakah siswa antusias untuk mempelajari materi sajian yang dibahas ?
6. Bagaimana siswa menyikapi pembelajaran yang dilaksanakan yang dilaksanakan oleh guru ?.
7. Bagaimanakah cara belajar siswa mengikuti pembelajaran yang dilaksanakan oleh guru.

Desain evaluasi proses pembelajaran mencakup rencana evaluasi proses dan pelaksana evaluasi. Rencana evaluasi proses pembelajaran berbentuk matriks dengan kolom-kolom berisi tentang: Nomor urut, informasi yang dibutuhkan, indikator, metode yang mencakup teknik dan instrumen, responden dan waktu. Selanjutnya, pelaksanaan evaluasi proses adalah guru mata pelajaran yang bersangkutan.

Dalam penyusunan instrumen evaluasi, diperlukan sebuah proses pembelajaran untuk memperoleh informasi deskriptif dan atau informasi judgmental dapat terwujud. Hal-hal yang perlu diperhatikan adalah: **(1)** Lembar pengamatan untuk mengumpulkan informasi tentang kegiatan belajar siswa dalam mengikuti proses pembelajaran yang dilaksanakan oleh guru dapat digunakan sendiri oleh guru atau siswa untuk saling mengamati. **(2)** Kuesioner yang harus dijawab oleh siswa berkenaan dengan strategi pembelajaran yang dilakukan oleh guru, metode dan media pembelajaran yang digunakan oleh guru, minat, persepsi siswa tentang pembelajaran untuk suatu materi pokok sajian yang telah terlaksana.

Pengumpulan data atau informasi dilaksanakan pada setiap akhir pelaksanaan pembelajaran untuk materi sajian yang berkenaan dengan satu kompetensi dasar dengan maksud guru dan siswa memperoleh gambaran menyeluruh dan kebulatan tentang pelaksanaan pembelajaran yang telah dilaksanakan untuk pencapaian penguasaan satu kompetensi dasar.

Analisis dan interpretasi dilaksanakan dengan segera setelah data atau informasi terkumpul. Analisis berwujud deskripsi hasil evaluasi berkenaan dengan proses pembelajaran yang telah dilaksanakan. Sedangkan interpretasi merupakan penafsiran terhadap deskripsi hasil analisis proses pembelajaran.

Hasil analisis tersebut di atas harus ada tindak lanjutnya. Dalam evaluasi proses pembelajaran tindak lanjut pada dasarnya berkenaan dengan pembelajaran yang akan dilaksanakan selanjutnya dan evaluasi pembelajarannya. Pembelajaran yang akan dilaksanakan selanjutnya merupakan keputusan tentang upaya perbaikan pembelajaran yang akan dilaksanakan sebagai upaya peningkatan mutu pembelajaran. Sedangkan tindak lanjut evaluasi pembelajaran berkenaan dengan pelaksanaan dan instrumen evaluasi yang telah dilaksanakan mengenai tujuan, proses dan instrumen evaluasi proses pembelajaran.

b. Sasaran dan Tahap Evaluasi Hasil Belajar

Sasaran evaluasi hasil belajar siswa adalah penguasaan kompetensi yang dapat diartikan sebagai: **(1)** Seperangkat tindakan cerdas penuh tanggung jawab yang dimiliki seseorang sebagai syarat untuk dianggap mampu oleh masyarakat dalam melaksanakan tugas-tugas di bidang pekerjaan tertentu. **(2)** Kemampuan yang dapat dilakukan oleh peserta didik yang mencakup pengetahuan, keterampilan dan perilaku. **(3)** Integrasi domain kognitif, afektif dan psikomotor yang direfleksikan dalam perilaku. Mengacu pada pengertian kompetensi tersebut, maka hasil belajar siswa mencakup ranah kognitif, psikomotorik dan afektif yang harus dikuasai oleh setiap siswa setelah pembelajaran yang berlangsung sesuai dengan rencana pembelajaran yang disusun oleh guru.

c. Evaluasi Hasil Belajar Ranah Kognitif

Ranah kognitif sebagai ranah hasil belajar berkaitan dengan kemampuan berfikir, kemampuan memperoleh pengetahuan, pengenalan, pemahaman, konseptualisasi, penentuan dan penalaran. Bloom mengklasifikasikan ranah kognitif ini atas enam tingkatan, yaitu: Pengetahuan, pemahaman, penerapan, analisis, sintesis dan evaluasi.

Prosedur penyusunan evaluasi hasil belajar ranah kognitif dengan menggunakan tes sebagai instrumennya meliputi: penyusunan tes, melaksanakan testing, melakukan skoring, analisis, interpretasi dan melakukan tindakan lanjut. Model susunan tes hasil belajar ranah kognitif dapat dilihat pada Tabel 6, 7, 8 dan 9 di atas.

d. Evaluasi Hasil Belajar Ranah Psikomotor

Ranah keterampilan motorik atau psikomotor diartikan sebagai serangkaian gerakan otot-otot yang terpadu untuk dapat menyelesaikan suatu tugas. Penilaian keterampilan psikomotor lebih rumit dan subjektif bila dibandingkan dengan penilaian dalam ranah kognitif. Penilaian keterampilan psikomotor memerlukan teknik pengamatan dengan kerandalan (reabilitas) yang tinggi terhadap dimensi-dimensi yang akan diukur.

Penyusunan instrumen penilaian ranah kognitif meliputi beberapa langkah, yaitu:

1. Tahap analisis tugas: meliputi upaya untuk menjabarkan keterampilan psikomotor ke dalam dimensi-dimensinya.
2. Tahap penentuan dimensi psikomotorik: komponen penyusun suatu keterampilan yang dapat diamati dan diukur

Instrumen atau alat ukur ketetampilan psikomotor terdiri dari:

1. Daftar Cek (*check list*)
2. Skala nilai (*rating scale*)
3. Catatan Anekdotik (*Anecdotal record*)

Tabel 12 dan 13 berikut ini memperlihatkan contoh form daftar cek penilaian keterampilan psikomotor.

Contoh Form Daftar Cek Penilaian Keterampilan Psikomotor

Kompetensi :

Tingkatan :

Berikan tanda cek (V) bila dilakukan dengan benar.

Tabel 12. Contoh Daftar Cek Penilaian Keterampilan Psikomotor

NO	DIMENSI	CEK
1		
2		
3		
4		
5		
6		
DST.		
	JUMLAH SKOR	
	NILAI	

Contoh form skala nilai untuk penilaian keterampilan psikomotor

Kompetensi :

Tingkatan :

Tabel 13. Contoh Daftar Skala Nilai untuk Keterampilan Psikomotor

NO	DIMENSI	3	2	1	0
1					
2					
3					
4					
5					
6					
DST.					
	SKOR RATA-RATA (JUMLAH SKOR: n) =				
	NILAI = (SKOR RATA-RATA: 3) X 100				

Keterangan:

3 = dilakukan dengan sangat memuaskan

2 = dilakukan dengan memuaskan

1 = dilakukan kurang memuaskan

0 = tidak dilakukan

e. Evaluasi Hasil Belajar Ranah Afektif

Sasaran evaluasi ranah penilaian hasil belajar afektif adalah evaluasi kemampuan yang berkenaan dengan perasaan, emosi, sikap atau derajat penerimaan suatu objek yang meliputi aspek-aspek, yang menurut Bloom dapat dibagi sebagai berikut:

1. Menerima atau mengenal, yaitu bersedia menerima dan memperhatikan berbagai stimulus yang masih bersikap pasif, sekedar mendengarkan atau memperhatikan.
2. Merespon atau berpartisipasi, yaitu keinginan berbuat sesuatu sebagai reaksi terhadap gagasan, benda atau sistem nilai lebih dari sekedar mengenal.
3. Menilai atau menghargai, yaitu keyakinan atau anggapan bahwa sesuatu gagasan, benda atau cara berfikir tertentu mempunyai nilai/harga atau makna.

4. Mengorganisasi, yaitu menunjukkan saling berkaitan antara nilai-nilai tertentu dalam suatu sistem nilai. Serta menentukan nilai mana yang mempunyai prioritas lebih tinggi dari pada nilai yang lain. Seseorang menjadi committed terhadap sistem nilai tertentu.
5. Karakteristik/internalisasi/mengamalkan, yaitu mengintegrasikan nilai ke dalam suatu filsafat hidup yang lengkap dan meyakinkan, serta perilakunya selalu konsisten dengan filsafat hidupnya tersebut.

Langkah kerja untuk penyusunan instrumen/alat penilaian hasil belajar afektif adalah sebagai berikut:

1. Menyusun kisi-kisi dengan format seperti yang terlihat pada Tabel 14 berikut ini.

Tabel 14. Contoh Format Penyusunan Kisi-Kisi Evaluasi

KOMPETENSI DASAR	INDIKATOR	TEKNIK PENILAIAN	TIPE TEKNIK PENILAIAN	JUMLAH BUTIR
1	1.1.	Testing	Objektif	15
	1.2.			
	1.3.			
2	2.1.	Non - testing	Persetujuan	25
	2.2.			
	2.3.			
	2.4.			

2. Menyusun perangkat instrumen.

Perangkat instrumen disusun sesuai dengan tipe teknik pengukuran dan penilaian yang akan digunakan. Yaitu:

- a) Teknik testing dengan tes sebagai instrumennya dapat menggunakan tipe atau bentuk tes objektif atau essay.
- b) Teknik non-testing dengan bukan tes sebagai instrumennya dapat menggunakan tipe terbuka atau tertutup. Tipe terbuka berisi pertanyaan/pernyataan yang membutuhkan jawaban uraian dari peserta didik. Sedangkan tipe tertutup berisi pertanyaan/pernyataan yang diikuti dengan jawaban pendek dari peserta didik yang terdiri atas beberapa bentuk. Seperti:
 - 1) Pernyataan dengan jawaban **Ya** atau **Tidak**.
 - 2) Pernyataan dengan jawaban **Setuju** atau tidak **Setuju**

- 3) Pernyataan/Pertanyaan frekuensi, yaitu pertanyaan/ Pernyataan dengan jawaban **Selalu – Kadang-kadang – tidak pernah.**
- 4) Pernyataan/Pertanyaan dengan jawaban **Penting – Tidak Penting.**
- 5) Pernyataan/Pertanyaan dengan jawaban **Mungkin – Tidak Mungkin.**
- 6) Pernyataan/Pertanyaan dengan jawaban **Baik – Cukup – Kurang/Tidak Baik.**
- 7) Skala Penilaian/Angka: pernyataan/pertanyaan dengan angka skala penilaian: 5, 4, 3, 2, 1

5. Rangkuman

Instrumen adalah suatu alat yang memenuhi persyaratan akademis, sehingga dapat dipergunakan sebagai alat untuk mengukur suatu obyek ukur atau mengumpulkan data mengenai suatu variable. Dalam bidang penelitian, instrument diartikan sebagai alat untuk mengumpulkan data mengenai variabel– variabel penelitian untuk kebutuhan penelitian, sedangkan dalam bidang pendidikan instrument digunakan untuk mengukur prestasi belajar siswa, faktor – faktor yang diduga mempunyai hubungan atau berpengaruh terhadap hasil belajar, perkembangan hasil belajar siswa, keberhasilan proses belajar mengajar guru, dan keberhasilan pencapaian suatu program tertentu (Daryanto, 2012).

Pengertian instrumen dalam lingkup evaluasi didefinisikan sebagai perangkat untuk mengukur hasil belajar siswa yang mencakup hasil belajar dalam ranah kognitif, afektif, dan psikomotor. Bentuk instrumen dapat berupa tes dan non-tes. Instrumen bentuk tes mencakup: tes uraian (uraian objektif dan uraian bebas), tes pilihan ganda, jawaban singkat, menjodohkan, benar salah, unjuk kerja (*performance test*), dan porto folio. Instrumen bentuk non-tes mencakup: wawancara, angket, dan pengamatan (observasi).

Instrumen evaluasi yang baik memiliki ciri-ciri dan harus memenuhi beberapa kaidah antara lain: memiliki nilai validitas, reliabilitas, objectivitas, pratikabilitas, ekonomis, taraf kesukaran dan memiliki daya pembeda yang tegas.

Sebelum membicarakan instrumen penilaian, terlebih dahulu perlu untuk memahami apa yang dimaksud dengan instrumen penilaian, pengukuran, penilaian dan evaluasi. Menurut lampiran Permendikbud Nomor 104 Tahun 2014, instrumen penilaian adalah alat yang digunakan untuk menilai capaian pembelajaran peserta didik, misalnya: tes dan skala sikap. Pengukuran adalah proses penetapan angka terhadap suatu gejala menurut aturan tertentu. Sedangkan evaluasi adalah

penilaian yang sistematis tentang manfaat atau kegunaan suatu objek (Ekawati dan Sumaryanta, 2011).

Fungsi, tujuan dan prinsip penilaian pada dasarnya adalah langkah-langkah yang dilakukan oleh guru untuk dapat menentukan capaian hasil belajar yang telah dilalui oleh peserta didik selama mengikuti proses pembelajaran, yang mana dari penilaian ini seorang pendidik (guru) dapat memperoleh potret atau profil kemampuan peserta didik yang dicapai sesuai dengan standar kompetensi dan kompetensi dasar yang telah dirumuskan pada masing-masing sekolah. Penilaian mempunyai peran yang penting dalam proses pembelajaran, sesuai dengan fungsi, tujuan dan prinsip penilaian.

Tes dapat didefinisikan sebagai suatu pertanyaan atau tugas atau seperangkat tugas yang direncanakan untuk memperoleh informasi tentang trait atau atribut pendidikan atau psikologi yang setiap butir pertanyaan atau tugas tersebut mempunyai jawaban atau ketentuan yang dianggap benar. Setiap tes menuntut keharusan adanya respon dari subjek (orang yang di tes) yang dapat disimpulkan sebagai suatu trait yang dimiliki oleh subjek yang sedang dicari informasinya.

Menurut bentuknya, tes dapat dibagi ke dalam dua macam yaitu: butir tes bentuk uraian (*essay test*) dan butir test berbentuk objektif (*objective test*). Dua bentuk test ini dapat dipilah lagi ke dalam berbagai tipe, yaitu: Test uraian terbatas (*restricted essay*) dan tes uraian bebas (*extended essay*). Butir test objektif menurut tipenya dapat dibagi menjadi tiga, yaitu: tes benar - salah (*true-false*), butir test menjodohkan (*matching*) dan butir tes pilihan ganda (*multiple choice*).

Sasaran dari evaluasi pembelajaran adalah pelaksanaan dan pengelolaan pembelajaran untuk memperoleh pemahaman tentang strategi pembelajaran yang dilaksanakan oleh guru. Cara mengajar dan media pembelajaran yang digunakan oleh guru dalam pembelajaran, serta minat, sikap dan cara atau kebiasaan belajar siswa. Tahapan pelaksanaan evaluasi proses pembelajaran adalah penentuan tujuan, menentukan desain evaluasi, pengembangan instrumen evaluasi, pengumpulan informasi/data, analisis dan interpretasi dan tindak lanjut.

C. Aktivitas Pembelajaran

Aktivitas pembelajaran yang dilakukan pada kegiatan proses belajar mengajar mengenai kompetensi pedagogik ini adalah:

A. Mengamati

Mengamati kaidah-kaidah pengembangan instrumen penilaian dan evaluasi proses dan hasil belajar di sekolah-sekolah.

B. Menanya

Mengkondisikan situasi belajar untuk membiasakan mengajukan pertanyaan secara aktif dan mandiri tentang kisi-kisi dikembangkan sesuai dengan tujuan penilaian.

C. Mengumpulkan data

Mengumpulkan data yang dipertanyakan dan menentukan sumber (melalui benda konkret, dokumen, buku, eksperimen) untuk menjawab pertanyaan yang diajukan bagaimana mengembangkan instrumen penilaian.

D. Mengasosiasi/ Mengolah Informasi

Mengkategorikan data dan menentukan hubungan instrumen dengan kisi-kisi penilaian hasil belajar, selanjutnya disimpulkan dengan urutan dari yang paling sederhana sampai pada yang lebih kompleks tentang sistem penilaian.

E. Mengkomunikasikan

Menyampaikan hasil konseptualisasi tentang pengembangan instrumen penilaian hasil belajar.

D. Umpan Balik dan Tindak Lanjut

Untuk mendapatkan umpan balik setelah mempelajari modul ini guru-guru diminta untuk mengisi rubrik umpan balik ini dan memberikan masukan yang konstruktif yang disediakan pada **Tabel 15**.

Tabel 15. Rubrik Umpan Balik Isi Modul 1

No	Pokok Bahasan	Ranah pengetahuan	Jawaban Guru dan Tindak Lanjut
1	Kaidah Pengembangan Instrumen Penilaian dan Evaluasi Proses Belajar dan Hasil Belajar	Apakah saudara mengerti apa yang perlu dikembangkan dalam penyusunan instrumen penilaian? (C2)	
		Apakah saudara bisa menerapkan (C3) dan menganalisis (C4) komponen-komponen instrumen penilaian?:	
		Apakah saudara bisa merancang (C6) komponen instrumen penilaian seperti: nilai validitas, reliabilitas, objectivitas, pratikabilitas, ekonomis, taraf kesukaran dan memiliki daya pembeda	
2	Kisi-Kisi Pengembangan Instrumen	Apakah saudara bisa meyakini kisi-kisi pengembangan instrumen yang saudara rancang sudah baik? (A3)	
		Apakah saudara bisa mengelola instrumen penilaian yang saudara buat? (A4)	
3	Evaluasi Hasil Belajar	Apakah saudara bisa merencanakan instrumen untuk mengevaluasi hasil belajar? (C6)	

E. Latihan

1. Instrumen evaluasi yang baik memiliki ciri-ciri dan harus memenuhi beberapa kaidah, sehingga instrumen tersebut dapat digunakan dengan baik dan benar. Jelaskan kaidah apa saja yang harus dipenuhi.
2. Bagaimana cara menentukan daya pembeda soal ujian?
3. Uraikan jenis tes yang biasa digunakan dalam instrumen penilaian.
4. Jelaskan tujuan dan sasaran dari evaluasi belajar.

F. Kunci Jawaban

1. Jawaban Soal 1.

Kaidah-kaidah yang harus dipenuhi oleh sebuah instrumen evaluasi adalah: Instrumen harus memiliki nilai validitas, reliabilitas, objektivitas, praktikabilitas, ekonomis, tingkat kesukaran dan memiliki daya pembeda yang tegas.

2. Jawaban Soal 2.

Langkah yang dilakukan untuk menghitung daya pembeda sama seperti yang dilakukan pada soal pilihan ganda. Urutkan seluruh peserta tes berdasarkan perolehan skor total dari yang tinggi keperolehan skor yang rendah. Adapun langkah-langkah untuk menghitung daya pembeda adalah dengan menempuh langkah sebagai berikut :

- a. Memeriksa jawaban soal semua siswa peserta tes.
- b. Membuat daftar peringkat atau urutan hasil tes berdasarkan skor yang di capainya.
- c. Menentukan jumlah siswa kelompok atas dan kelompok bawah.
- d. Menghitung selisih tingkat kesukaran menjawab soal antara kelompok atas dan kelompok bawah.
- e. Membandingkan nilai selisih yang di peroleh.
- f. Menentukan ada tidaknya daya pembeda pada setiap nomor soal dengan kriteria "memiliki daya pembeda".

3. Jawaban Soal 3.

Berdasarkan bentuk-bentuk tes, dapat dibagi kedalam dua macam yaitu: butir tes bentuk uraian (*essay test*) dan butir test berbentuk objektif (*objective test*). Dua bentuk test ini dapat dipilah lagi kedalam berbagai tipe, yaitu: Test uraian terbatas (*restricted essay*) dan tes uraian bebas (*extended essay*). Butir test objektif menurut tipenya dapat dibagi menjadi tiga, yaitu: tes benar - salah (*true-false*), butir test menjodohkan (*matching*) dan butir tes pilihan ganda (*multiple choice*). Menurut

ragamnya, tiap tes tersebut di atas dapat dipilah lagi ke dalam ragam butir test, yaitu:

- a. Tipe Tes Uraian terbatas terdiri dari: Ragam tes jawaban singkat; Ragam tes melengkapi dan Ragam tes uraian terbatas sederhana.
- b. Tipe tes uraian bebas terdiri dari: Ragam tes uraian sederhana dan Ragam tes uraian ekspresif.
- c. Tipe tes objektif benar salah terdiri dari: Ragam benar salah sederhana dan Ragam benar salah dengan koreksi
- d. Tipe tes objektif menjodohkan terdiri dari: Ragam menjodohkan sederhana dan Ragam menjodohkan hubungan sebab akibat
- e. Tipe tes objektif pilihan ganda terdiri dari: Ragam pilihan ganda biasa; Ragam pilihan ganda hubungan antar hal; Ragam pilihan ganda analisis kasus; Ragam pilihan ganda kompleks; Ragam pilihan ganda membaca diagram

4. Jawaban Soal 4.

Tujuan dilaksanakannya evaluasi proses dan hasil pembelajaran adalah untuk mengetahui keefektifan pelaksanaan pembelajaran dan pencapaian hasil pembelajaran oleh setiap peserta didik. Sedangkan manfaatnya adalah: Pertama, untuk memperoleh pemahaman pelaksanaan dan hasil pembelajaran yang telah berlangsung/dilaksanakan oleh dosen. Kedua, untuk membuat keputusan yang berkenaan dengan pelaksanaan dan hasil pembelajaran. Ketiga, untuk meningkatkan kualitas proses dan hasil pembelajaran dalam rangka upaya meningkatkan kualitas keluaran. Sedangkan Sasaran dari evaluasi pembelajaran adalah pelaksanaan dan pengelolaan pembelajaran untuk memperoleh pemahaman tentang strategi pembelajaran yang dilaksanakan oleh guru. Cara mengajar dan media pembelajaran yang digunakan oleh guru dalam pembelajaran, serta minat, sikap dan cara atau kebiasaan belajar siswa.

III. KEGIATAN PEMBELAJARAN 2

A. Tujuan Pembelajaran

Modul pembelajaran 2 ini disusun berdasarkan kompetensi profesional yang menyangkut proses pencucian fosil dan merumuskan teknik preparasi foraminifera kecil/mikro forum. Oleh karena itu penulisan pembelajaran 2 ini bertujuan untuk:

1. Memberikan pengetahuan tentang tata cara pencucian fosil.
2. Memberikan pengetahuan tentang bagaimana cara melakukan preparasi foraminifera kecil/mikroforum.

B. Uraian Materi Pembelajaran

1. Teknik Preparasi Foraminifera

Preparasi adalah proses pemisahan fosil dari batuan dan material pengotor lainnya. Setiap jenis fosil memerlukan metode preparasi. Proses ini pada umumnya bertujuan untuk memisahkan mikrofosil yang terdapat dalam batuan dari material-material lempung (matrik) yang menyelimutinya (Pringgoprawiro, 1984)

Untuk setiap jenis mikrofosil mempunyai teknik preparasi tersendiri. Polusi, terkontaminasi dan kesalahan dalam prosedur maupun kekeliruan pada pemberian label, harus tetap menjadi perhatian agar mendapatkan hasil yang optimum. Teknik preparasi untuk foraminifera kecil, dapat dilakukan dengan prosedur sebagai berikut (Pringgoprawiro, 1984):

2. Teknik Preparasi Foraminifera Kecil

a. Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel batuan di lapangan hendaknya dengan memperhatikan tujuan yang akan dicapai. Untuk mendapatkan sampel yang baik diperhatikan interval jarak tertentu terutama untuk menyusun biostratigrafi.

Kriteria pengambilan sampel, yaitu sebagai berikut (Pringgoprawiro, 1984):

1. Memilih sampel batuan insitu dan bukan berasal dari talus, karena dikhawatirkan fosilnya sudah ter-*displaced* atau tidak insitu.
2. Batuan yang berukuran butir halus lebih memungkinkan mengandung fosil, karena batuan yang berbutir kasar tidak dapat mengawetkan fosil. Batuan yang dapat mengawetkan fosil antara lain lempung (*clay*), serpih

(*shale*), napal (*marl*), tufa napalan (*marly tuff*), batu gamping bioklastik, batu gamping dengan campuran batu pasir sangat halus.

3. Batuan yang lunak akan memudahkan dalam proses pemisahan fosil.
4. Jika endapan turbidit diambil pada endapan berbutir halus, yang diperkirakan merupakan endapan suspense yang juga mencerminkan kondisi normal.

b. Penguraian dan Pencucian

Langkah-langkah proses pencucian batuan adalah sebagai berikut (Pringgoprawiro, 1984):

1. Batuan sedimen ditumbuk dengan palu karet atau palu kayu hingga berukuran dengan diameter 3-6 mm.
2. Larutkan dalam larutan H_2O_2 (hydrogen peroksida) 50% diaduk dan dipanaskan.
3. Diamkan sampai butiran batuan tersebut terlepas semua (selama 24 jam). Jika fosil masih nampak kotor dapat dilakukan dengan perendaman menggunakan air sabun, lalu dibilas/dicuci dengan air sampai bersih.
4. Keringkan pada terik matahari dan fosil siap untuk diayak.

c. Proses Pengayakan

Pengayakan dapat dilakukan dengan cara basah dan cara kering (Noor, 2012).

1. Cara Kering

Cara ini dilaksanakan dengan tahapan sebagai berikut:

- (1) Pastikan seluruh contoh batuan sudah kering
- (2) Masukkan ke dalam ayakan paling atas dari unit ayakan yang telah tersusun sesuai dengan keperluan.
- (3) Mesin kocok dijalankan selama kurang lebih 10 menit.
- (4) Contoh batuan yang tertinggal di tiap ayakan ditimbang dan dimasukkan ke dalam botol contoh batuan.

2. Cara Basah

Cara ini prosesnya sama dengan cara kering, tetapi cara ini biasanya menggunakan ayakan yang lebih kecil. Pengayakannya dilakukan dalam air sehingga contoh batuan yang diperoleh masih

dalam keadaan basah dan perlu dikeringkan terlebih dahulu sebelum dimasukkan ke dalam botol.

d. Pemisahan Fosil

Cara memisahkan fosil-fosil dari kotoran adalah dengan menggunakan jarum dari cawan tempat contoh batuan, untuk memudahkan dalam pengambilan fosilnya perlu disediakan air (jarum dicelupkan ke dalam air terlebih dahulu sebelum pengambilan).

Alat-alat yang dibutuhkan dalam pemisahan fosil antara lain adalah (Noor, 2012) :

- a) Cawan untuk tempat contoh batuan
- b) Jarum untuk mengambil batuan
- c) Kwas bulu halus
- d) Cawan tempat air
- e) Lem untuk merekatkan fosil
- f) Kertas untuk memberi nama fosil
- g) Tempat fosil

Fosil yang telah dipisahkan diletakkan pada *plate* (tempat fosil). Untuk melihat contoh pekerjaan preparasi, dapat dilihat pada **Tabel 16** berikut ini (Noor, 2012):

Tabel 16. Contoh Tahapan Teknis Preparasi Foraminifera Kecil

No	Gambar	Keterangan
1		Menyiapkan sampel batuan berfosil.

2		Sampel batuan berfosil ditumbuk dengan palu kayu atau palu karet.
3		Kemudian dimasukkan kedalam beker glass 1000 ml.
4		Setelah itu, sampel batuan berfosil dicampur dengan H_2O_2 .
5		Setelah tercampur akan terjadi reaksi sampai sampel batuan terurai.
6		Setelah terurai sample batuan siap dicuci.

7		Sampel batuan dicuci dengan menggunakan air secara berulang-ulang sambil diremas-remas sehingga bersih dari lumpur.
8		Setelah bersih dari lumpur kemudian dikeringkan.
9		Sampel kemudian dikeringkan memakai oven listrik.
10		Setelah kering diayak menggunakan serangkaian ayakan.
11		Sampel fosil foraminifera sudah bisa digunakan untuk dideterminasi.

3. Rangkuman

Preparasi adalah proses pemisahan fosil dari batuan dan material pengotor lainnya. Proses ini pada umumnya bertujuan untuk memisahkan mikrofosil yang terdapat dalam batuan dari material-material lempung (matrik) yang menyelimutinya. Adapun kegiatan untuk melakukan persiapan preparasi adalah: Pengambilan sampel, melakukan penguraian dan pencucian, proses pengayakan cara kering dan cara basa, pemisahan fosil.

C. Aktivitas Pembelajaran

Aktivitas pembelajaran yang dilakukan pada kegiatan pembelajaran mengenai preparasi foraminifera kecil adalah:

1. Mengamati
Mengamati prinsip-prinsip tentang pengklasifikasian fosil foraminifera kecil.
2. Menanya
Mengkondisikan situasi belajar untuk membiasakan mengajukan pertanyaan secara aktif dan mandiri tentang teknik preparasi fosil foraminifera kecil.
3. Mengumpulkan data
Mengumpulkan data yang diperlukan untuk melakukan proses pengamatan fosil foraminifera kecil.
4. Mengasosiasi/ Mengolah Informasi
Mengkategorikan data dan menentukan hubungannya, selanjutnya disimpulkan dengan urutan dari yang paling sederhana sampai pada yang lebih kompleks tentang persiapan preparasi, pengambilan sampel, dan pengamatan sampel foraminifera kecil.
5. Mengkomunikasikan
Menyampaikan hasil konseptualisasi tentang hasil pengamatan foraminifera kecil.

D. Umpan Balik dan Tindak Lanjut

Untuk mendapatkan umpan balik setelah mempelajari modul ini guru-guru diminta untuk mengisi rubrik umpan balik ini dan memberikan masukan yang konstruktif yang disediakan pada **Tabel 17**.

Tabel 17. Rubrik Umpan Balik Isi Modul 2

No	Pokok Bahasan	Pertanyaan Umpan Balik	Jawaban Guru dan Tindak Lanjut
1	Teknik Preparasi Foraminifera	Apakah saudara bisa melakukan identifikasi foraminifera kecil/mini foram? (C2)	
		Apakah saudara bisa menganalisis untuk melakukan teknik preparasi mini foram? (C5)	
		Apakah saudara bisa merancang persiapan untuk melakukan preparasi foraminifera kecil/mini foram? (C6)	
2	Teknik Preparasi Foraminifera Kecil	Apakah saudara bisa mengoprasikan peralatan untuk melakukan pengamatan foraminifera kecil? (P5)	

E. Latihan

1. Jelaskan pengertian preparasi foraminifera/tujuannya
2. Bagaimanakah kriteria-kriteria pengambilan sampel pada preparasi foraminifera
3. Jelaskan teknis pengayakan dengan cara kering pada proses preparasi foraminifera

F. Kunci Jawaban

1. Jawaban No. 1

Preparasi adalah proses pemisahan fosil dari batuan dan material pengotor lainnya. Proses ini pada umumnya bertujuan untuk memisahkan mikrofosil yang terdapat dalam batuan dari material-material lempung (matrik) yang menyelimutinya.

2. Jawaban No. 2

- a) Pilih sampel batuan insitu dan bukan berasal dari talus.
- b) Pilih batuan yang berukuran butir halus karena lebih memungkinkan mengandung fosil dibandingkan batuan yang berbutir kasar yang tidak dapat mengawetkan fosil.
- c) Pilih batuan yang lunak, karena akan memudahkan dalam proses pemisahan fosil.

3. Jawaban No. 3

- a. Pastikan seluruh contoh batuan sudah kering
- b. Masukkan ke dalam ayakan paling atas dari unit ayakan yang telah tersusun sesuai dengan keperluan.
- c. Mesin kocok dijalankan selama kurang lebih 10 menit.
- d. Contoh batuan yang tertinggal di tiap ayakan ditimbang dan dimasukkan ke dalam botol contoh batuan.

IV. KEGIATAN PEMBELAJARAN 3

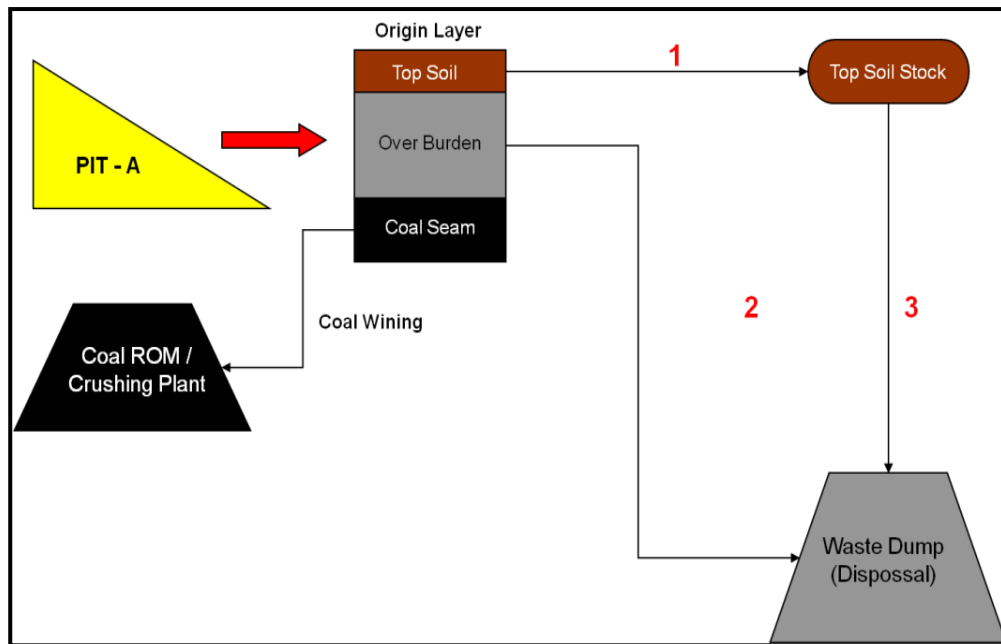
A. Tujuan Pembelajaran

Modul pembelajaran 3 ini disusun berdasarkan kompetensi profesional yang menyangkut proses menerapkan upaya untuk mencegah kecelakaan kerja yang tertuang di dalam K3LH dan difokuskan pada kriteria dan persyaratan kesehatan lingkungan tambang

B. Uraian Materi Pembelajaran

1. Penanganan Batuan Penutup

Sumber utama terbentuknya air asam tambang yaitu pada batuan penutup batubara atau mineral. Untuk mencegah terbentuknya air asam tambang pada daerah timbunan batuan penutup, maka diperlukan penanganan batuan penutup yang sesuai dengan kondisi daerah penambangan. Pada kegiatan penanganan batuan penutup, hal yang sangat penting untuk diketahui adalah cara penambangan yang terintegrasi, mulai dari kegiatan eksplorasi, perencanaan tambang, hingga rencana reklamasi di akhir kegiatan pertambangan (lihat **Gambar 1**) (Alimano, 2011).



Gambar 1. Bagan Alir Penanganan Tanah/Batuan Penutup

Secara umum konsep pencegahan terbentuknya air asam tambang adalah pengendalian oksidasi mineral sulfida dan reaksi turunannya yang berasal dari batuan penutup. Perlakuan pertama penanganan batuan penutup adalah penerapan kaidah pertambangan yang baik dan benar, termasuk tahap pembersihan lahan (*land clearing*) yang sesuai aturan. Langkah selanjutnya yang harus diperhatikan adalah pengontrolan kontak antara oksigen dan air dengan mineral sulfida (Alimano, 2011).

Langkah-langkah yang dilakukan dalam pencegahan ini adalah penerapan metode penutup kering (*dry cover method*) dan metode penutup basah (*wet cover method*) dalam penimbunan batuan penutupnya yaitu sebagai berikut (Alimano, 2011):

a. Metode Penutup Kering (*Dry Cover Method*)

Metode penutupan kering merupakan metode penutupan batuan berpotensi pembentuk asam dengan batuan netral atau pengonsumsi asam yang selanjutnya dipadatkan. Metode ini memiliki implikasi bahwa potensi air asam tambang harus diketahui sebelum penambangan dilakukan, termasuk lokasi dan ketebalan dari material tersebut di dalam cadangan batuan. Menurut Alimano (2011), terdapat beberapa jenis metode penutup kering yaitu: Metode Encapsulasi, *In-Pit* Disposal dan *Mixing* Disposal. Metode Encapsulasi

merupakan metoda penutupan batuan berpotensi pembentuk asam dengan batuan penetral atau pengonsumsi asam. Metode ini lebih sering dilakukan karena kemudahannya. Metode *In-Pit* disposal dilakukan pada lokasi pit yang luas atau berdekatan. Metode ini memanfaatkan areal di dalam pit yang telah digunakan tetapi mencukupi untuk dijadikan areal pembuangan. Sedangkan *Mixing Disposal* adalah metoda pencampuran batuan berpotensi pembentuk asam dengan pengonsumsi asam. Cara ini jarang dilakukan karena kesulitan kondisi geologi dan kemajuan tambangnya serta potensi perubahan batuan penetral menjadi batuan berpotensi pembentuk asam. Adapun kelebihan dari metode penutup kering ini adalah:

- 1) Dapat dikombinasikan dengan sistem *backfilling*.
- 2) Pelaksanaan teknis dapat dilakukan dengan peralatan sederhana atau konvensional.

Sedangkan kelemahan dari metode penutup kering ini adalah:

- 1) Memerlukan penjadwalan penimbunan yang tepat dengan adanya sinkronisasi antara rencana penambangan dengan rencana penimbunan. Metode ini tidak cocok untuk kegiatan penambangan yang tidak terduga (penambangan dilakukan sesuai permintaan konsumen).
- 2) Kuantitas batuan netral atau basa harus dipastikan dapat melingkupi atau menutupi batuan asam sesuai dimensi perencanaan.
- 3) Tingkat pemadatan/kompaksi harus dihitung dan diukur secara benar.

b. Metode Penutup Basah (*Wet Cover Method*)

Metode penutup basah merupakan metode yang dilakukan dengan cara penempatan batuan penutup berpotensi pembentuk asam ke dalam suatu area penimbunan dan menggenangnya dengan air. Metode ini cocok untuk daerah cekungan dan/atau memiliki curah hujan yang cukup tinggi (Alimano, 2011). kelebihan dari metode penutup basah ini adalah:

- 1) Ramah lingkungan.
- 2) Dapat memanfaatkan rawa alami untuk mengurangi biaya (apabila diizinkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup).

Sedangkan kelemahan dari metode penutup basah ini adalah:

- 1) Memerlukan area yang relatif luas.
- 2) Memerlukan biaya tinggi untuk pemindahan batuan apabila area timbunan terletak jauh dari lokasi penambangan.

Selain metode penimbunan, diperlukan juga pengelolaan umum batuan penutup beserta konstruksi penimbunan batuan benutup.

c. Pengelolaan Umum Batuan Penutup

Penerapan metode kering adalah cara termudah untuk dilakukan di setiap daerah timbunan. Pada dasarnya kegiatan penimbunan batuan sisa (*waste rock*) dalam pertambangan umum dengan penimbunan sisa material bernilai dalam pengolahan secara *heap leaching* adalah sama. Ada beberapa cara penerapan metode kering yang disarankan untuk dilakukan sesuai dengan komposisi material pembentuk asamnya (ketersediaan material NAF), antara lain (Alimano, 2011):

1) Cara 1

Pembungkusan dengan lempung yang dikompaksi setebal 1 meter. Cara ini digunakan apabila keterdapatan NAF sangat terbatas dan memiliki ketersediaan lempung dalam jumlah cukup. Cara ini memiliki karakteristik sebagai berikut:

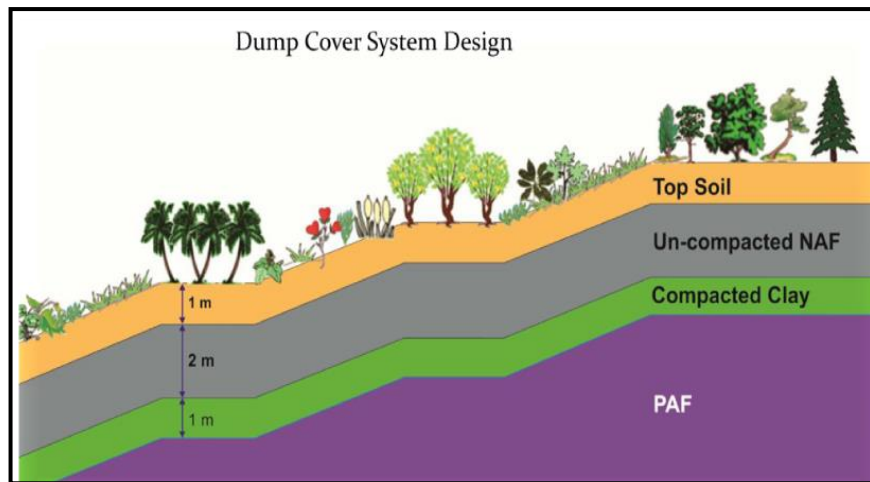
- a) Biaya tergantung dari lamanya pekerjaan kompaksi.
- b) Bergantung kepada ketersediaan lempung.
- c) Rentan terhadap potensi erosi.
- d) Pembungkus (*cover*) berpotensi untuk merekah/rusak.
- e) Memerlukan pengawasan teknis tingkat tinggi.

2) Cara 2

Pembungkusan dengan material NAF yang dikompaksi setebal 2 meter. Cara ini digunakan apabila keterdapatan NAF sangat terbatas dan tidak memiliki ketersediaan lempung. Cara ini memiliki karakteristik sebagai berikut:

- a) Biaya tergantung dari lamanya pekerjaan kompaksi.
- b) Memerlukan pengawasan teknis tingkat tinggi.
- c) Rentan terhadap potensi erosi.
- d) Pembungkus (*cover*) berpotensi untuk merekah/rusak.

Cara ini menerapkan pembungkusan lapisan PAF dengan lapisan lempung yang dikompakkan setebal 1 meter, NAF *cover* tanpa pemadatan (timbun bebas) setebal 2 meter dan lapisan *top soil* setebal 1 meter sebagai media revegetasi. Untuk melihat model per lapisannya dapat dilihat pada **Gambar 2** :



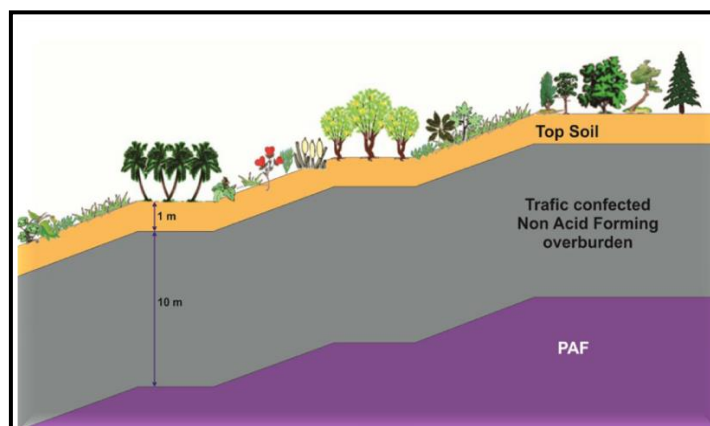
Gambar 2 Pembungkusan Lapisan PAF dengan NAF Cover Setebal 2 Meter (Rusli, 2012)

3) Cara 3

Pembungkusan dengan material NAF bebas. Cara ini digunakan pada areal yang memiliki ketersediaan NAF melimpah. Cara ini memiliki karakteristik sebagai berikut:

- a) Biaya minimum apabila dump area dekat dengan *pit* (syarat mutlak).
- b) Resiko erosi lebih kecil apabila cover lebih tebal.
- c) Memerlukan pengawasan teknis rendah tetapi harus disesuaikan antara karakteristik *waste* dengan penanganan yang sesuai.

Cara ini menerapkan pembungkusan lapisan PAF dengan NAF cover dengan ketebalan lebih dari 10 meter (NAF Bebas), dan lapisan *top soil* setebal 1 meter sebagai media revegetasi. Untuk melihat model perlapisannya dapat dilihat pada **Gambar 3**:



Gambar 3. Pembungkusan Lapisan PAF dengan NAF Cover Lebih dari 10 Meter (Rusli, 2012)

4) Cara 4

Kondisi material PAF tanpa pembungkusan. Cara ini digunakan pada areal yang tidak memiliki ketersediaan material NAF atau penetral lainnya. Cara ini memiliki karakteristik sebagai berikut:

- a) Biaya tergantung dari lamanya kompaksi.
- b) Potensi erosi kecil dikarenakan terintegrasi dengan pelaksanaan kompaksi.
- c) Memerlukan studi pendahuluan terhadap kemampuan lapisan terkompaksi dalam menahan atau mencegah terjadinya oksidasi.
- d) Memerlukan pengawasan teknis tingkat tinggi.

5) Cara 5

Kondisi material PAF dengan pembungkusan tambahan/buatan. Cara ini digunakan pada areal yang tidak memiliki ketersediaan material NAF atau penetral lainnya tetapi memiliki kemampuan dana untuk penyediaan pembungkusan buatan (aspal, beton, atau *HDPE*). Cara ini memiliki karakteristik sebagai berikut:

- a) Biaya sangat tinggi.
- b) Ketelitian tinggi pada saat pemasangan atau konstruksi.
- c) Pengawasan teknis relatif kecil.

d. Perencanaan Kontruksi Daerah Timbunan

Menurut Alimano (2011), tujuan dari perencanaan konstruksi adalah sebagai berikut:

- 1) Untuk menentukan langkah-langkah konstruksi dalam pembentukan permukaan *dump* akhir yang stabil.
- 2) Untuk menentukan penempatan material PAF dan NAF sehingga dapat meminimalisir terbentuknya AAT.

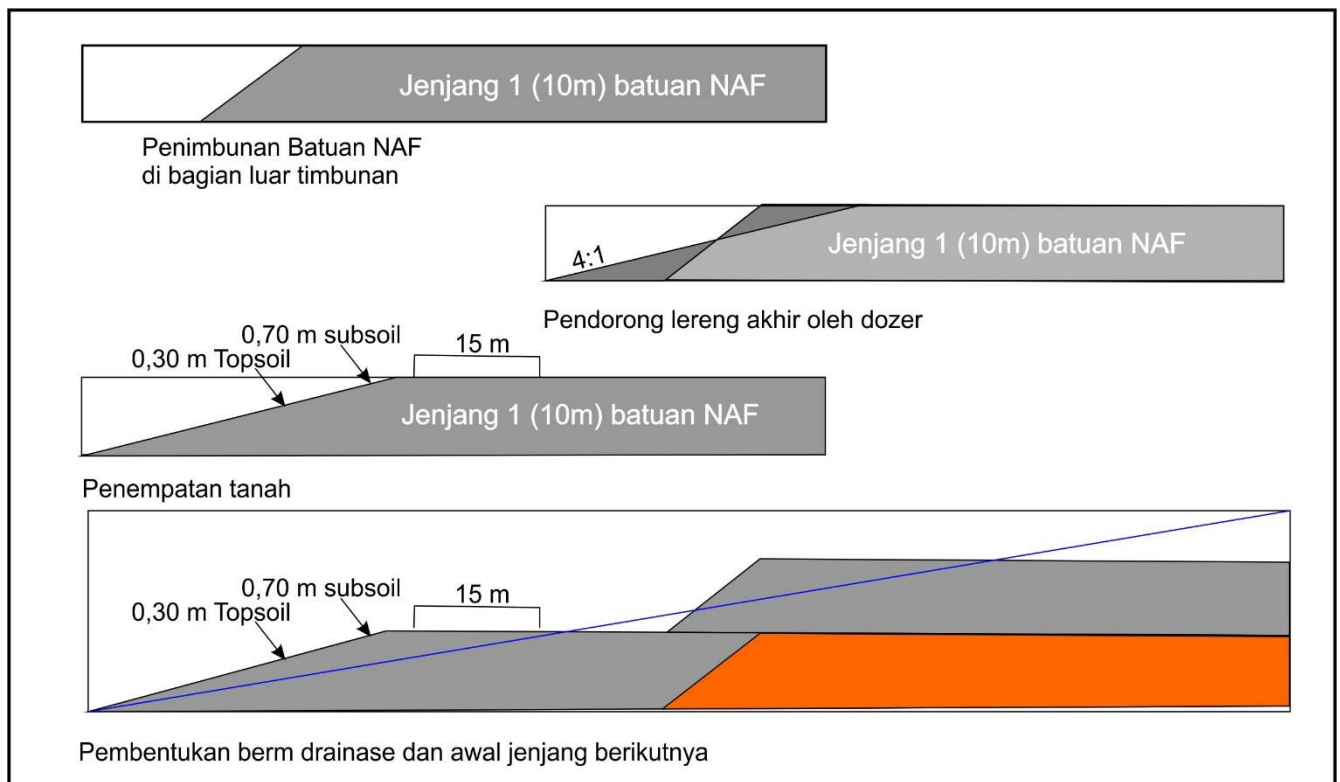
Secara umum terdapat dua prinsip konstruksi daerah timbunan, yaitu:

- 1) Penimbunan dari bawah ke atas (*dumping from the bottom up*).
- 2) Penimbunan dari atas (*dumping from a high face*).

Langkah-langkah yang harus diperhatikan dalam pembuatan timbunan adalah sebagai berikut (lihat **Gambar 4**):

- 1) Penentuan prinsip cara penimbunan yang digunakan (dari bawah ke atas atau sebaliknya).

- 2) Menentukan titik atau pasak dari lingkaran luar daerah timbunan.
- 3) Penempatan material NAF di sisi luar daerah timbunan.
- 4) Penempatan material PAF berbarengan dengan langkah **c**.
- 5) Pemadatan lereng.
- 6) Penempatan top soil (tanah pucuk).
- 7) Pembuatan tanggul drainase dan konstruksi awal untuk timbunan atas selanjutnya.



Gambar 4. Langkah-langkah dalam Pembuatan Timbunan Batuan Penutup

2. Pengelolaan Air Limbah Tambang

Air sebagai komponen utama lingkungan hidup akan mempengaruhi dan dipengaruhi oleh komponen lainnya. Air yang kualitasnya buruk akan

mengakibatkan kondisi lingkungan hidup menjadi buruk sehingga akan mempengaruhi kondisi kesehatan dan keselamatan manusia serta kehidupan makhluk lainnya (Wardhana, 2004). Penurunan kualitas air akan menurunkan daya guna, hasil guna, produktivitas, daya dukung dan daya tampung dari sumber daya air yang pada akhirnya akan menurunkan kekayaan sumber daya alam. Air sebagai komponen sumber daya alam yang sangat penting maka harus dipergunakan untuk sebesar-besarnya bagi kemakmuran rakyat. Hal ini berarti bahwa penggunaan air untuk berbagai manfaat dan kepentingan harus dilakukan secara bijaksana dengan memperhitungkan kepentingan generasi masa kini dan masa depan (Wardhana, 2004). Untuk itu air perlu dikelola agar tersedia dalam jumlah yang aman, baik kuantitas maupun kualitasnya, serta bermanfaat bagi kehidupan dan ekosistem serta makhluk hidup lainnya, agar tetap berfungsi secara ekologis, guna menunjang pembangunan berkelanjutan. Di satu pihak, usaha atau kegiatan manusia memerlukan air yang berdaya guna, tetapi di lain pihak berpotensi menimbulkan dampak negatif, antara lain berupa pencemaran yang dapat mengancam ketersediaan air, daya guna, daya dukung, daya tampung, dan produktivitasnya. Agar air dapat bermanfaat secara lestari dan pembangunan dapat berkelanjutan, maka dalam pelaksanaan penambangan perlu dilakukan pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air (air asam tambang) (Wardhana, 2004).

Air asam tambang atau *acid mine drainage* adalah istilah umum yang digunakan untuk menyebutkan air lindi (*leachate*), rembesan (*seepage*) atau aliran (*drainage*). Air asam tambang terjadi akibat pengaruh oksidasi alamiah mineral *sulfida* (mineral belerang) yang terkandung dalam batuan, dimana mineral *sulfida* terpapar dengan kondisi dimana terdapat air dan oksigen (sebagai faktor utama) yang menyebabkan terjadinya proses oksidasi dan menghasilkan air dengan kondisi asam. Perlu diketahui, air asam sebenarnya tidak saja terbentuk akibat kegiatan penambangan saja, bahkan setiap kegiatan yang berpotensi menyebabkan terbuka dan teroksidasinya mineral *sulfida*, akan menyebabkan terbentuknya air asam tambang (Ayu, 2008).

Pencegahan terbentuknya AAT lebih baik dari pada mengolahnya (*prevention is better than treatment*), karena lebih andal untuk jangka panjang dan meminimalkan risiko. Terutama terkait dengan metode penanganan dan didorong dengan semakin banyaknya ditemukan kasus AAT dari tambang yang sudah tutup seperti di AS dan Australia yang menjadi beban pemerintah untuk mengatasinya yang nilainya mencapai milyaran dolar setiap tahunnya (lihat **Gambar 5**). Oleh karena itu pemahaman tentang risiko (lingkungan, teknis dan finansial) yang dapat ditimbulkan oleh AAT sangat penting bagi suatu tambang (Rusli, 2012).



Gambar 5. Contoh Air Asam Tambang di Permukaan

Walaupun pencegahan telah dilakukan dengan baik, tetap saja ada air asam tambang yang terbangkitkan dan perlu diolah. Oleh karena itu, pengolahan air asam tambang diperlukan agar air keluaran dari kolam pengendapan memenuhi baku mutu lingkungan sebelum dilepaskan ke badan perairan alami (Rusli, 2012).

Sesuai dengan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 113 Tahun 2003, mengenai baku mutu air keluaran yang dianjurkan oleh pemerintah, dapat dilihat pada **Tabel 18** dan **19** :

Tabel 18. Kadar Baku Mutu Air Limbah Kegiatan Penambangan Batubara (Kepmen LH No.113 Thn 2003)

Parameter	Satuan	Kadar maksimum
Ph		"6-9
Residu tersuspensi	mg/l	400
Besi (Fe) Total	mg/l	7
Mangan (Mn) Total	mg/l	4

Tabel 19. Kadar Baku Mutu Air Limbah Kegiatan Pengolahan/Pencucian Batubara (Kepmen LH No.113 Thn 2003)

Parameter	Satuan	Kadar maksimum
Ph		"6-9
Residu tersuspensi	mg/l	200
Besi (Fe) Total	mg/l	7
Mangan (Mn) Total	mg/l	4

Untuk mengolah air limbah dari kegiatan penambangan, maka diperlukan kegiatan–kegiatan pembuatan kolam pengendapan (*settling pond*), pemompaan dari pit ke kolam pengendapan, pengapuran dan pengukuran kualitas air.

a. Pembuatan Kolam Pengendapan

Kolam pengendapan (*settling pond*) adalah tempat untuk menangkap *run off* dan menahan air ketika tanah dan kotoran lain dalam air mengendap menjadi sedimen. Kebanyakan kolam pengendap diperlukan karena air keluaran yang mengandung banyak *Total Suspended Solid* atau residu tersuspensi yang melampaui baku mutu kualitas keluaran air. Secara garis besar kolam pengendap bisa dibuat dengan membangun tanggul penahan atau menggali lubang untuk tampungan air atau sedimen (lihat **Gambar 6**) (Christanto, 2010).

Kolam pengendap berbeda dengan sebuah dam dimana bertujuan untuk menahan air hanya selama untuk mengendapkan material tersuspensi, setelah air jernih, air tersebut bisa dialirkan. Kolam pengendap juga harus dipelihara, dimana bila sediment telah mengendap dan mencapai kadar air tertentu dimana bisa dibuang, maka pembuangan atau pengerukan kolam dilakukan (Christanto, 2010).

Kolam pengendap selain sebagai tempat untuk mengendapkan material tersuspensi, di area tambang juga berfungsi sebagai penampungan air limbah yang mengandung logam berat (Fe dan Mn) dan air yang mengandung asam ($\text{pH} < 6$), dimana di dalam tampungan tersebut dilakukan perlakuan penetralan air limbah atau tercemar sehingga bisa menjadi normal sesuai ambang batas baku mutu yang disyaratkan oleh Pemerintah. Di kolam pengendap tersebut bisa dilakukan *treatment* berupa pengapuran, pemberian alum, *aerasi*, dan perlakuan-perlakuan lainnya sesuai dengan kondisi kandungan limbahnya (Christanto, 2010).



**Gambar 6. Kolam Pengendapan (PT. Trubaindo Coal Mining,
Kalimantan Timur, 2014)**

1) Jenis-Jenis Kolam Pengendap Berdasarkan Topografi Area

Berdasarkan topografi area yang akan dibangun kolam pengendap, secara garis besar ada dua jenis topografi yang mempengaruhi pemilihan jenis kolam pengendap (Christanto, 2010):

- a) Topografi dengan kontur yang tajam dan banyak *creek* atau sungai yang dipisahkan oleh bukit-bukit. Dengan topografi tersebut, maka pemilihan kolam pengendap adalah dengan membangun bendungan yang membendung *creek* atau aliran sungai dengan menghubungkan dua bukit. Hal tersebut akan memberikan kapasitas tampungan yang maksimal dengan pekerjaan yang minimal.
- b) Topografi dengan kontur yang sangat landai, cenderung *flat*, dan berada di area rendah (*low land*). Dengan topografi tersebut, maka pemilihan kolam pengendap adalah dengan melakukan penggalian kolam.

2) Jenis-Jenis Kolam Pengendap Berdasarkan Umur Rencana

Kolam pengendap juga dirancang berdasarkan umur rencana kolam pengendap tersebut. Ada dua jenis umur rencana kolam yang mempengaruhi rancangan kolam pengendap (Christanto, 2010), yaitu: Umur rencana pendek (kurang dari 2 tahun) dan Umur rencana panjang (lebih dari 2 tahun). Kolam pengendap dengan umur pendek biasanya dibuat hanya sementara sampai sumber limbah atau sedimen tidak ada. Untuk daerah tambang kolam pengendap ini dibuat di area rencana reklamasi. Kolam pengendap ini cukup dirancang dengan kapasitas sesuai dengan laju sedimentasi selama umurnya saja, setelah itu kolam pengendap ini bisa di-*decommissioning* atau tidak difungsikan lagi. Kolam pengendap dengan umur panjang dibuat dengan rencana umur layanan lebih dari 2 tahun. Kolam pengendap ini dibuat untuk melayani sedimentasi dari erosi yang terjadi sepanjang umur tambang. Hal ini akan membuat rancangan kolam pengendap semaksimal mungkin kapasitasnya. Bila ada program pengerukan, maka kapasitas tampungan sedimen bisa diperkecil, tetapi fungsi dari kolam pengendap akan terus menerus ada sampai tidak ada erosi dan sedimentasi.

3) Perhitungan Dimensi *Settling pond*

Ukuran *settling pond* dibuat dengan mempertimbangkan luas area tangkapan hujan. Berikut adalah rumus yang digunakan untuk menentukan dimensi *settling pond* (Manning):

$$V = Q \times t$$

$$A = V/d$$

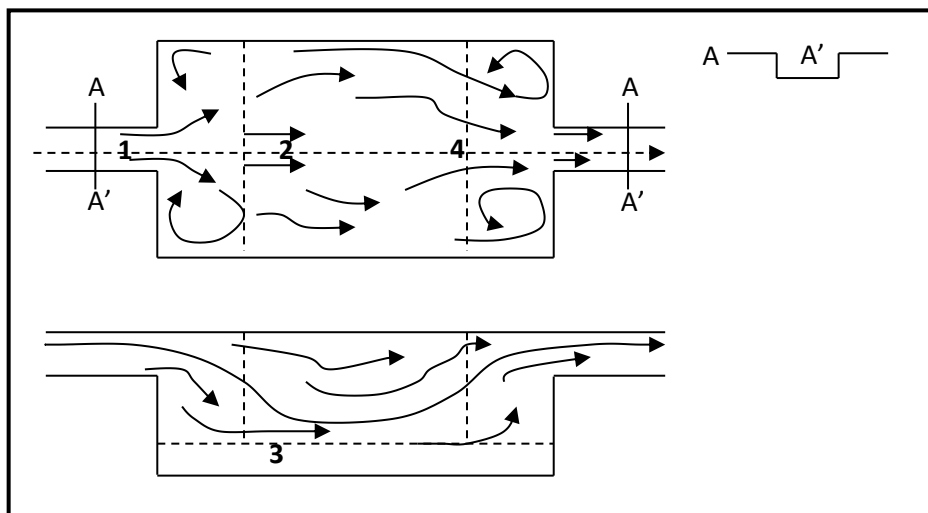
$$P = A/L$$

$$L = P/\text{Jumlah Zona}$$

Dimana **V** adalah Volume saluran (m³), **Q** Debit air (m³/s), **t** Lama hujan rata-rata/hari (s), **A** Luas penampang saluran, **P** Panjang sumuran, **L** Lebar sumuran, dan **d** Kedalaman.

Fungsi dari ke 4 zona dari *settling pond* pada perhitungan dimensi di atas, yaitu sebagai berikut (lihat **Gambar 7**) (Christanto, 2010):

- Zona masukan yaitu tempat masuknya aliran lumpur ke dalam kolam pengendapan dengan anggapan campuran padatan cairan yang masuk terdistribusi secara seragam.
- Zona pengendapan yaitu tempat partikel akan mengendap
- Zona endapan lumpur, yaitu tempat partikel padatan mengalami sedimentasi dan terkumpul di bagian bawah kolam pengendapan
- Zona keluaran, yaitu tempat keluarnya cairan yang jernih



Gambar 7. Sketsa Settling Pond

b. Pemompaan Air dari Pit ke Kolam Pengendapan

Pemompaan air tambang dari pit ke kolam pengendapan bertujuan untuk memindahkan air tambang dari *sump* di pit penambangan ke kolam pengendapan. Air yang sampai di kolam pengendapan kemudian dilakukan

pengkapuran guna memperbaiki baku mutu kualitas air untuk dialirkan ke badan air penerima.

MODEL MFC-345



GENERAL INFORMATION 200 x 150 single stage centrifugal Type – 345G Frame Size - FF Gland – Conventional packed, oil lubricated Using a controlled drip feed system. Passage Size – 140 mm ENGINE OPTIONS Caterpillar 3406TA - 328 kW Cummins N14-450 - 317 kW (Max 1800 RPM) DIMENSIONS/CAPACITIES/WEIGHTS Height - 3100 mm Length - 5800 mm Width - 2000 mm Weight – Dry - 9680 kg Weight – Wet - 12000 kg Fuel Capacity - 2320 litres	CONSTRUCTION Pump Casing - Ultrachrome 28% Cr (A49) Impeller - Ultrachrome 28% Cr (A49) Shaft - CS 1045 Carbon Steel Sleeve – Fully Hardened Type 420C ** For aggressive water applications, all wetted parts are available in stainless steel PERFORMANCE Maximum Flowrate - 260 litres per second Shutoff Head - 106 metres
---	--

Gambar 8. Pompa Multiflow MFC-345

MODEL MFC-360



GENERAL INFORMATION 200 x 150 single stage centrifugal Type – 360G Frame Size - 6A Gland Seal – Conventional packed, oil lubricated using a controlled drip feed system. Passage Size – 45 mm ENGINE OPTIONS Caterpillar 3126TA - 166 kW Cummins 6CTA8.3 - 157 kW DIMENSIONS/CAPACITIES/WEIGHTS Height - 2460 mm Length - 5650 mm Width - 1800 mm Weight – Dry - 6500 kg Weight – Wet - 7800 kg Fuel Capacity - 1800 litres	CONSTRUCTION Pump Casing - T220 Grey Cast Iron Impeller - 316 Stainless Steel Shaft - 1040 Shaft Steel Shaft Sleeve – 431 Stainless Steel ** For aggressive water applications, all wetted parts are available in stainless steel PERFORMANCE Maximum Flowrate - 100 litres per second Shutoff Head - 126 metres
--	---

Gambar 9. Pompa Multiflow MFC-360

MODEL MFC-380



GENERAL INFORMATION 200 x 150 single stage centrifugal Type – 380G Frame Size - 6A Gland Seal – Conventional packed, oil lubricated Using a controlled drip feed system. Passage Size - 45 mm ENGINE OPTIONS Caterpillar C9 @ 1700 RPM 'B' Rating - 219 kW Cummins M11-350 @ 1700 RPM Water Management Rating - 229 kW DIMENSIONS/CAPACITIES/WEIGHTS Height - 2750 mm Length - 5650 mm Width - 1800 mm Weight – Dry - 6500 kg Weight – Wet - 7800 kg Fuel Capacity - 1800 litres	CONSTRUCTION Pump Casing - T220 Cast Iron Impeller - 316 Stainless Steel Shaft - CS1040 Carbon Steel Sleeve – 431 Stainless Steel ** For aggressive water applications, all wetted parts are available in stainless steel PERFORMANCE Maximum Flowrate - 155 litres per second Shutoff Head - 110 metres
---	--

Gambar 10. Pompa Multiflow MFC-380

MODEL MFC-420



GENERAL INFORMATION 200 x 150 single stage centrifugal Type – 8/6 FF-HX Slurry Pump Frame Size - FF Gland Seal - Conventional packed, oil lubricated using a controlled drip feed system. Passage Size - 50 mm ENGINE Caterpillar 3412 DITTA DIMENSIONS/CAPACITIES/WEIGHTS Height - 3378 mm Length - 7500 mm Width - 2400 mm Weight – Dry - 12260 kg Weight – Wet - 16260 kg Fuel Capacity - 4012 litres	CONSTRUCTION Pump Casing - Ultrachrome 28% Cr (A49) Impeller - Ni-Cr-Mo Steel (A25) Shaft - CS 1045 Carbon Steel Sleeve – Fully Hardened Type 420C ** For aggressive water applications, all wetted parts are available in stainless steel PERFORMANCE Maximum Flowrate - 273 litres/second Shutoff Head - 150 metres
---	---

Gambar 11. Pompa Multiflow MFC-420

Pompa berfungsi untuk memindahkan atau mengangkat zat cair dari tempat yang rendah ke tempat yang tinggi. Ada dua macam tipe sambungan pemompaan (Prodjosumarto, 1983), yaitu: (1) Seri: Dua atau beberapa buah

pompa dihubungkan secara seri maka nilai head bertambah sebesar jumlah head masing-masing sedangkan debit pemompaan tetap. (2) **Paralel:** Kapasitas pemompaan bertambah sesuai kemampuan debit masing-masing pompa namun head tetap. **Gambar 8, 9, 10 dan 11** menampilkan jenis pompa beserta spesifikasi yang umum digunakan di tambang terbuka (Prodjosumarto, 1983). Untuk memahami spesifikasi dan jumlah pompa, maka perlu mengetahui faktor yang mempengaruhi kerja pompa seperti yang dijelaskan berikut ini

1) Faktor yang Mempengaruhi Kerja Pompa

Kapasitas pompa dipengaruhi oleh faktor-faktor berikut ini (Prodjosumarto, 1983):

- a) Beda elevasi antara tempat penampungan dengan tempat pembuangan
- b) Kecepatan fluida yang mengalir
- c) Gesekan antara fluida dengan pipa
- d) Belokan-belokan dan perubahan aliran yang terjadi
- e) Ukuran butiran material dalam cairan dan densitas cairan

2) Dasar Pemilihan Pompa

Secara teknis pemilihan pompa tergantung pada:

- a) Kecepatan air yang dipompakan.
- b) Tinggi angkatan dari bak penampung ke pembuangan.
- c) Tekanan head pada titik pembuangan.
- d) Ketinggian tempat pengoperasian pompa.
- e) Tinggi pompa di atas permukaan air yang akan dipompakan.
- f) Ukuran pipa yang akan digunakan.
- g) Jumlah, ukuran, jenis sambungan dan katup.

3) Penghitungan Kapasitas Pompa

Kapasitas pompa merupakan debit air yang dikeluarkan pompa dalam selang waktu tertentu. Kapasitas pompa dihitung berdasarkan hasil pengukuran tinggi muka air debit pada saat dilakukan pemompaan. Persamaan yang digunakan adalah (Prodjosumarto, 1983):

$$Q_p = Q_L + Q_z$$

Dimana **Q_p** adalah Kapasitas pompa (m^3/menit), **Q_L** Debit air yang berkurang pada selang waktu tertentu, m^3/menit dan **Q_z** Debit air tanah, m^3/menit .

4) Perhitungan Head Total Pompa (Hr)

Head Total Pompa (Hr) dapat dihitung dengan menggunakan rumus (Prodjosumarto, 1983):

$$Hr = h_s + h_p + h_f + h_v$$

Dimana **Hr** adalah Head total (m), **hs** Beda tinggi flens isap dan flens keluar (m), **hp** Tekanan bekerja pada kedua permukaan dianggap sama (**hp** = 0), **hf** Kerugian head (m) dan **hv** Head kecepatan keluar (m).

5) Perhitungan Waktu Kerja Pompa

Waktu kerja pompa dapat dihitung dengan menggunakan rumus (Prodjosumarto, 1983):

$$Q = Q_p \times W_p$$

Dimana **Q** adalah Debit air yang dipompa (m³/hari), **Qp** Kapasitas pompa, m³/menit dan **Wp** Waktu kerja pompa (m³/menit).

6) Perhitungan Daya Pompa

Daya pompa dihitung dengan menggunakan rumus (Prodjosumarto, 1983):

$$P = \frac{1000 \cdot w \cdot Q_p \cdot H}{75 \cdot n}$$

Dimana **P** adalah Daya pompa (Hp), **w** Berat jenis cairan (ton/m³), **Qp** Kapasitas pompa (m³/menit), **H** Total head (m) dan **n** Efisiensi pompa (0,5 - 0,6).

c. Pemberian Bahan Kimia Penetral/Pengkapuran

Sistem perlakuan AAT dapat digolongkan sebagai sistem perlakuan aktif dan pasif. Untuk menentukan apakah metode aktif atau pasif cocok bagi penerapan terhadap AAT tertentu, dapat dilakukan dengan menilai muatan asam dari aliran AAT. Pendekatan pasif paling cocok bagi perlakuan air dengan kemasaman yang rendah (<800 mg CaCO₃/L) dan muatan asam yang rendah (100–150 kg CaCO₃ per hari) dengan laju aliran yang stabil. **Gambar 12** menunjukkan sistem perlakuan lahan basah pasif yang gagal. Lahan basah pada awalnya dirancang untuk menangani air dengan pH 5, kemudian beroperasi dengan baik selama tiga tahun.



Gambar 12. Sistem Perlakuan Lahan Basah Pasif yang Gagal.

1) Sistem Perlakuan Aktif

Keunggulan dari sistem perlakuan aktif adalah karena dapat direkayasa untuk mengakomodasi beragam muatan asam. Berikut ini adalah empat jenis teknologi perlakuan aktif (Baiquni, 2007):

- a) Pengendapan (presipitasi) hidroksida-hidroksida logam dengan penambahan bahan-bahan penetralisir untuk menaikkan pH atau pengendapan sulfida-sulfida logam
- b) Pertukaran ion menggunakan suatu lapisan damar untuk mengambil logam-logam dalam bentuk-bentuk muatan positif atau negatif.
- c) Pemisahan membran (osmosis berbalik, elektrodialisis) ini akan memindahkan baik ion-ion garam maupun logam utama ke tingkat yang rendah.
- d) Sistem bioreaktor untuk penghilangan logam-logam dan sulfat. Sejauh ini bentuk perlakuan aktif yang paling umum dan murah adalah netralisasi kimia dengan menggunakan fasilitas (pabrik) tetap atau peralatan portabel untuk melakukan perlakuan *di tempat (insitu)*. Perlakuan *in-situ* dapat menjadi satu pilihan yang baik bila biaya untuk mengumpulkan dan memompa AAT ke suatu fasilitas tetap melampaui biaya membangun fasilitas portabel yang lebih kecil (Taylor et al. 2005).

Sebagian besar logam yang dipermasalahkan dapat dihilangkan dengan menaikkan pH ke tingkat yang dibutuhkan. Namun merkuri (Hg), molibdenum (Mo), kromium-VI (kromat) dan arsenik-III (arsenit) tidak dapat dikelola dengan pengendalian pH saja. Perancangan suatu fasilitas untuk menangani AAT membutuhkan penghitungan kebutuhan penetral air dan uji

penyaringan untuk menentukan penetral mana dari yang tersedia yang akan paling efektif pembiayaannya untuk memenuhi sasaran perlakuan (Baiquni, 2007).

Faktor terpenting dalam pemilihan penetral (*neutralant*) adalah target pH yang dibutuhkan untuk memenuhi tujuan-tujuan pelepasan kualitas air. Batu gamping (*limestone*) adalah reagen yang paling murah, namun hanya dapat mencapai pH maksimum sekitar 7. Ini tidak cukup untuk mengurangi logamlogam sejenis mangan, nikel, seng, kobalt dan kadmium ke tingkat yang cukup rendah (Baiquni, 2007).



Gambar 13. Pemberian Kapur pada Saluran Terbuka (PT.Trubaindo Coal Mining, Kalimantan Timur, 2015)



Gambar 14.

Gambar 15

Gambar 14. Pemberian Green Hydro pada Saluran Terbuka (PT.Trubaindo Coal Mining, Kalimantan Timur, 2015)

Gambar 15. Perlakuan Pasif Berupa Limestone Channel (KPC, Kalimantan Timur, 2014)

2) Sistem Perlakuan Pasif

Berikut ini adalah 3 jenis teknologi perlakuan pasif (Baiquni, 2007) yaitu:

- a) Saluran-saluran (*channels*) batu gamping oksik dan anoksik atau saluran-saluran dangkal (*riffle channels*) untuk menetralkan air dengan pH rendah (lihat **Gambar 15**).
- b) Netralisasi kimiawi berbantuan-penggunaan tenaga matahari atau air untuk mendorong sistem pembagi reagen.
- c) Lahan basah (aliran permukaan dan bawah-permukaan, dengan atau tanpa tambahan batu gamping).

Rancangan umur pakai dari suatu sistem perlakuan pasif adalah satu isu utama. Terkadang sejumlah nyata volume air tambang yang membutuhkan perlakuan hanya diproduksi selama fase operasional, menjelang rehabilitasi bahan sumber (seperti timbunan batuan sisa) atau penghentian operasi-operasi pengeringan. Dalam keadaan seperti itu, tentunya kelanjutan jangka panjang (pasca-penutupan) akan mendapatkan penekanan lebih kecil. Sistem mandiri yang berkelanjutan jauh lebih dibutuhkan setelah penutupan lokasi. Sistem-sistem perlakuan pasif mengakumulasi logam-logam beracun, oleh karena itu implikasi jangka panjang atas perencanaan penutupan harus dipertimbangkan bila sistem ini yang dikehendaki (Baiquni, 2007).

d. Parameter Pengukuran Air Limbah Tambang

1) Derajat Keasaman (pH)

pH atau derajat keasaman digunakan untuk menyatakan tingkat keasaman atau basa yang dimiliki oleh suatu zat, larutan atau benda. pH normal memiliki nilai 7 sementara bila nilai $pH > 7$ menunjukkan zat tersebut memiliki sifat basa. Sedangkan nilai $pH < 7$ menunjukkan keasaman. pH 0 menunjukkan derajat keasaman yang tinggi, dan pH 14 menunjukkan derajat kebasaan tertinggi.

Umumnya indikator sederhana yang digunakan adalah kertas lakmus yang berubah menjadi merah bila keasamannya tinggi dan biru bila keasamannya rendah. Selain menggunakan kertas lakmus, indikator asam basa dapat diukur dengan pH meter yang bekerja berdasarkan prinsip elektrolit/konduktivitas suatu larutan. Sistem pengukuran pH mempunyai tiga bagian yaitu elektroda pengukuran pH, elektroda referensi dan alat pengukur impedansi tinggi. Istilah pH berasal dari "p", lambang matematika dari negative logaritma, dan "H", lambang kimia untuk unsur Hidrogen. Definisi

yang formal tentang pH adalah negative logaritma dari aktivitas ion hydrogen. pH adalah singkatan dari *power of Hydrogen* (Sary, 2006).

2) **Total Suspended Solid (TSS)**

Total Suspended Solid atau total padatan tersuspensi adalah residu dari padatan total yang tertahan oleh saringan dengan ukuran partikel maksimal 2 μ m atau lebih besar dari ukuran partikel koloid. Metode ini digunakan untuk menentukan residu tersuspensi yang terdapat dalam contoh uji air dan air limbah secara gravimetri. Metode ini tidak termasuk penentuan bahan yang mengapung, padatan yang mudah menguap dan dekomposisi garam mineral (Haslam, 1995). Menurut Alerts dan Santika (1987), prinsip pengukuran TSS di laboratorium pada dasarnya menggunakan filter kertas atau filter *fiber glass* (serabut kaca) dan kemudian zat padat yang tertahan pada filter dikeringkan pada suhu 105 °C sehingga berat residu sesudah pengeringan adalah zat padat tersuspensi. TSS dapat ditentukan melalui persamaan matematis yaitu:

$$\text{mg/zat tersuspensi} = \frac{(a - b) \cdot 100}{c}$$

Dimana **a** adalah berat filter dan residu sesudah pemanasan 105 °C (mg), **b** berat filter kering (sudah dipanaskan 105 °C) (mg) dan **c** ml sampel.

Tingginya nilai TSS pada kolam pengendapan (*settling pond*) pertama disebabkan oleh bahan-bahan mineral dari proses pencucian batubara yang belum sempat mengendap karena terjadi pengadukan dasar perairan akibat derasnya aliran air limbah yang masuk ke kolam pengendapan (*settling pond*) pertama. Rendahnya nilai TSS pada kolam pengendapan (*settling pond*) terakhir dikarenakan pada kolam pengendapan yang menuju ke kolam pengendapan terakhir telah diberikan perlakuan penambahan bahan kimia yaitu CaCO₃ yang dimaksudkan untuk mengendapkan padatan tersuspensi yang tidak bisa mengendap secara langsung.

3) **Besi**

Keberadaan besi pada kerak bumi menempati posisi keempat terbesar. Dalam tabel periodik, besi mempunyai simbol Fe dan nomor atom 26. Besi ditemukan dalam bentuk kation ferro (Fe²⁺) dan ferri (Fe³⁺). Pada perairan alami dengan pH sekitar 7 dan kadar oksigen terlarut yang cukup, ion ferro yang bersifat mudah larut dioksidasi menjadi ion ferri. Pada oksidasi ini terjadi pelepasan elektron. Sebaliknya, pada reduksi ferri menjadi ferro

terjadi penangkapan elektron. Proses oksidasi dan reduksi besi tidak melibatkan oksigen dan hidrogen (Mackereth et al., 1989). Reaksi oksidasi ion ferro menjadi ion ferri ditunjukkan dalam persamaan berikut ini:

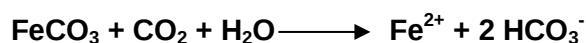


Proses oksidasi dan reduksi besi biasanya melibatkan bakteri sebagai mediator. Bakteri kemosintesis *Thiobacillus* dan *Ferrobacillus* memiliki sistem enzim yang dapat mentransfer elektron dari ion ferro kepada oksigen. Transfer elektron ini menghasilkan ion ferri, air, dan energi bebas yang digunakan untuk sintesis bahan organik dari karbondioksida. Bakteri kemosintesis bekerja secara optimum pada pH rendah (sekitar 5). Metabolisme bakteri *Desulfovibrio* menghasilkan H_2SO_4 yang dapat melarutkan besi (ferri) (Efendi, 2003).

Pada pH sekitar 7,5 – 7,7 ion ferri mengalami oksidasi dan berikatan dengan hidroksida membentuk $Fe(OH)_3$ yang bersifat tidak larut dan mengendap (presipitasi) di dasar perairan, membentuk warna kemerahan pada substrat dasar. Oleh karena itu, besi hanya ditemukan pada perairan yang berada dalam kondisi anaerob (anoksik) dan suasana asam (Efendi, 2003).

Pada perairan alami, besi berikatan dengan anion membentuk senyawa $FeCl_2$, $Fe(HCO_3)_2$, dan $Fe(SO_4)_2$. Pada perairan yang diperuntukkan bagi keperluan domestik, pengendapan ion ferri dapat mengakibatkan warna kemerahan pada porselin, bak mandi, pipa air, dan pakaian. Kelarutan besi meningkat dengan menurunnya pH.

Air tanah dalam biasanya memiliki karbondioksida dengan jumlah yang relatif banyak, dicirikan dengan rendahnya pH, dan biasanya disertai dengan kadar oksigen terlarut yang rendah atau bahkan terbentuk suasana anaerob. Pada kondisi ini, sejumlah ferri karbonat akan larut sehingga terjadi peningkatan besi ferro (Fe^{2+}) di perairan. Pelarutan ferri karbonat ditunjukkan dalam persamaan reaksi berikut ini (Efendi, 2003):



Persamaan di atas juga terjadi pada perairan anaerob. Dengan kata lain, besi (Fe^{2+}) hanya ditemukan pada perairan yang bersifat anaerob, akibat proses dekomposisi bahan organik yang berlebihan. Jadi, di perairan, kadar besi (Fe^{2+}) yang tinggi berkorelasi dengan kadar bahan organik yang tinggi; atau kadar besi yang tinggi terdapat pada air yang berasal dari air tanah dalam yang bersuasana anaerob atau dari lapisan dasar perairan yang sudah tidak mengandung oksigen (Efendi, 2003).

Kadar besi pada perairan yang mendapat cukup aerasi (aerob) hampir tidak pernah lebih dari 0,3 mg/liter. Kadar besi pada perairan alami berkisar antara 0,005 – 0,2 mg/liter (Boyd, 1988). Pada air tanah dalam dengan kadar oksigen yang rendah, kadar besi dapat mencapai 10 – 100 mg/liter, sedangkan pada perairan laut sekitar 0,01 mg/liter. Air hujan mengandung besi sekitar 0,005 mg/liter. Kadar besi >1,0 mg/liter dianggap membahayakan kehidupan organisme akuatik. Air yang diperuntukkan untuk air minum sebaiknya memiliki kadar besi kurang dari 0,3 mg/liter dan perairan yang dipeuntukkan bagi keperluan pertanian sebaiknya memiliki kadar besi tidak lebih dari 20 mg/liter (Efendi, 2003).

4) Mangan (Mn)

Mangan (Mn) adalah unsur kimia yang mempunyai nomor atom 25 berada dalam bentuk Manganeous (Mn^{2+}) dan Manganik (Mn^{4+}). Pada perairan dengan kondisi anaerob akibat dekomposisi bahan organik dengan kadar yang tinggi, Mn^{4+} pada senyawa mangan dioksida mengalami reduksi menjadi Mn^{2+} yang bersifat larut. Mn^{2+} berikatan dengan nitrat, nitrit, sulfat, dan klorida, dan larut dalam air. Kadar mangan pada kerak bumi sekitar 950 mg/kg. Mangan merupakan salah satu logam yang biasa digunakan dalam industri baja, baterai, gelas, keramik, cat, dan bahan celupan (Efendi, 2003). Kadar mangan pada perairan alami sekitar 0,2 mg/liter. Perairan yang asam sekitar 10-150 mg/liter. Perairan laut sekitar 0,002 mg/liter. Pada perairan air tawar bervariasi antara 0,002 mg/liter hingga lebih dari 4,0 mg/liter. Pada air minum maksimum 0,05 mg/liter. Air irigasi pertanian pada tanah masam sekitar 0,2 mg/liter, sedangkan untuk tanah yang bersifat netral dan alkalis sekitar 10 mg/liter (Efendi, 2003).

Meskipun tidak bersifat toksik, mangan dapat mengendalikan kadar unsur toksik di perairan, misalnya logam berat. Jika dibiarkan di udara terbuka dan mendapat cukup oksigen, air dengan kadar mangan (Mn^{2+}) tinggi (lebih dari 0,01 mg/liter) akan membentuk koloid karena terjadinya proses oksidasi Mn^{2+} menjadi Mn^{4+} . Koloid ini mengalami presipitasi membentuk warna coklat gelap sehingga air menjadi keruh. Kemampuan mangan untuk menghambat toksisitas Cu terhadap mikroalga *Nitzschia closterium* lebih baik daripada Fe (Efendi, 2003). Air yang berasal dari tambang dapat mengandung mangan terlarut, dan pada konsentrasi ± 1 mg/l dapat ditemukan pada perairan dengan aliran yang berasal dari tambang asam. Pada pH yang tinggi dan kondisi aerob terbentuk mangan yang tidak larut seperti MnO_2 ,

Mn_3O_4 , atau MnCO_3 meskipun oksidasi dari Mn^{2+} itu berjalan relatif lambat (Efendi, 2003).

3. Reklamasi Lahan Bekas Tambang

Salah satu kegiatan akhir tambang adalah reklamasi, yang merupakan upaya penataan kembali daerah bekas tambang agar bisa menjadi daerah bermanfaat dan berdayaguna. Reklamasi tidak berarti akan mengembalikan seratus persen sama dengan kondisi rona awal. Sebuah lahan atau gunung yang dikupas untuk diambil isinya hingga kedalaman ratusan meter bahkan sampai seribu meter (lihat **Gambar 16**), walaupun sistem gali timbun (*back filling*) diterapkan tetap akan meninggalkan lubang besar seperti danau (Herlina, 2004).

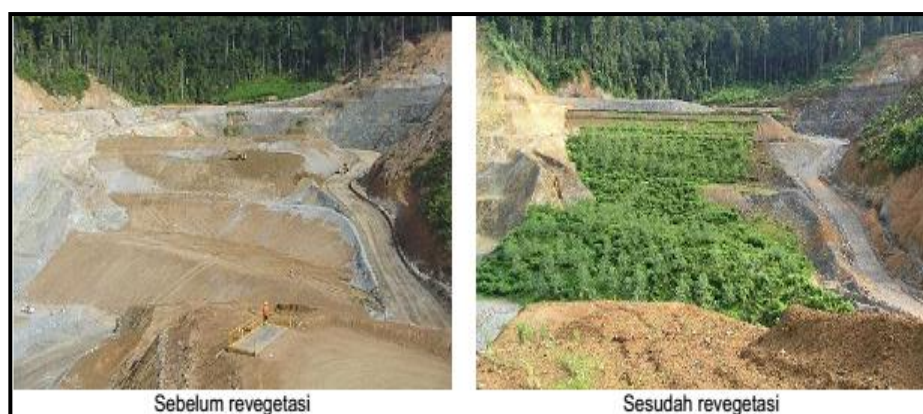
Pada prinsipnya kawasan atau sumberdaya alam yang dipengaruhi oleh kegiatan pertambangan harus dikembalikan ke kondisi yang aman dan produktif melalui rehabilitasi. Kondisi akhir rehabilitasi dapat diarahkan untuk mencapai kondisi seperti sebelum ditambang. Kegiatan rehabilitasi dilakukan secara terus menerus dan berlanjut sepanjang umur pertambangan hingga pasca tambang (Suprpto, 2006). Tujuan jangka pendek rehabilitasi adalah membentuk bentang alam (*landscape*) yang stabil terhadap erosi. Selain itu rehabilitasi juga bertujuan untuk mengembalikan lokasi tambang ke kondisi yang memungkinkan untuk digunakan sebagai lahan produktif. Bentuk lahan produktif yang akan dicapai menyesuaikan dengan tataguna lahan pasca tambang. Penentuan tataguna lahan pasca tambang tergantung pada berbagai faktor antara lain potensi ekologis lokasi tambang dan keinginan masyarakat serta pemerintah. Bekas lokasi tambang yang telah direhabilitasi harus dipertahankan agar tetap terintegrasi dengan ekosistem bentang alam sekitarnya (Suprpto, 2006).



Gambar 16. Tambang Tembaga Batu Hijau

Teknik rehabilitasi meliputi *regarding*, *reconturing* dan penanaman kembali permukaan tanah yang tergradasi, penampungan dan pengelolaan racun dan air asam tambang (AAT) dengan menggunakan penghalang fisik maupun tumbuhan untuk mencegah erosi atau terbentuknya AAT. Permasalahan yang perlu dipertimbangkan dalam penetapan rencana reklamasi meliputi (Suprpto, 2006):

- a. Pengisian kembali bekas tambang, penebaran tanah pucuk dan penataan kembali lahan bekas tambang serta penataan lahan bagi pertambangan yang kegiatannya tidak dilakukan pengisian kembali
- b. Stabilitas jangka panjang, penampungan tailing, kestabilan lereng dan permukaan timbunan, pengendalian erosi dan pengelolaan air (lihat **Gambar 17**).
- c. Karakteristik fisik kandungan bahan nutrient dan sifat beracun tailing atau limbah batuan yang dapat berpengaruh terhadap kegiatan revegetasi.
- d. Pencegahan dan penanggulangan air asam tambang, potensi terjadinya AAT dari bukaan tambang yang terlantar, pengelolaan tailing dan timbunan limbah batuan (sebagai akibat oksidasi sulfida yang terdapat dalam bijih atau limbah batuan).
- e. Penanganan potensi timbulnya gas metan dan emisinya dari tambang batubara (Karliansyah, 2001).
- f. Sulfida logam yang masih terkandung pada *tailing* atau *waste* merupakan pengotor yang potensial akan menjadi bahan toksik dan penghasil air asam tambang yang akan mencemari lingkungan, pemanfaatan sulfida logam tersebut merupakan salah satu alternatif penanganan. Demikian juga kandungan mineralekonomi yang lain, diperlukan upaya pemanfaatan.
- g. Penanganan bahan galian yang masih potensial untuk menjadi bernilai ekonomi baik dalam kondisi *in-situ*, berupa *tailing* atau *waste*



Gambar 17. Bekas Tambang Emas Direvegetasi/Dihutankan Kembali, Halmahera Utara, Maluku Utara (Tain et.al., 2005)

Secara umum yang harus diperhatikan dan dilakukan dalam merehabilitasi atau reklamasi lahan bekas tambang yaitu dampak perubahan dari kegiatan pertambangan, rekonstruksi tanah, revegetasi, pencegahan air asam tambang, pengaturan drainase, dan tataguna lahan pasca tambang (Suprpto, 2006).

a. Rekonstruksi Tanah

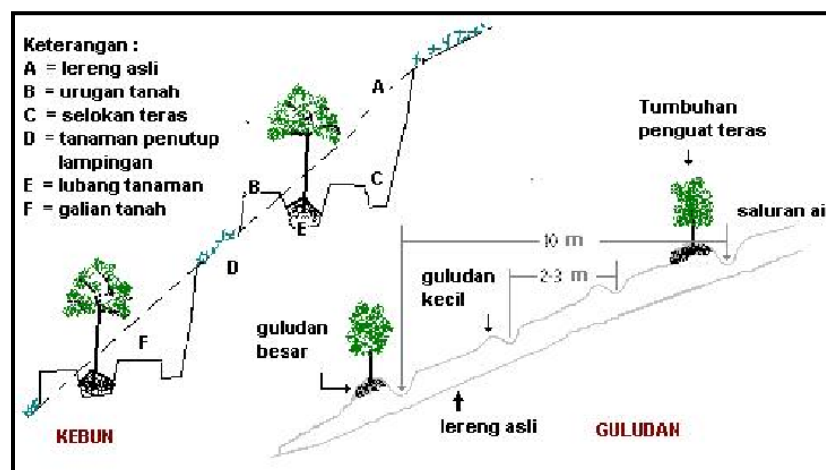
Untuk mencapai tujuan restorasi perlu dilakukan upaya seperti rekonstruksi lahan dan pengelolaan tanah pucuk. Pada kegiatan ini, lahan yang masih belum rata harus terlebih dahulu ditata dengan penimbunan kembali (*back filling*) dengan memperhatikan jenis dan asal bahan urugan, ketebalan, dan ada tidaknya sistem aliran air (*drainage*) yang kemungkinan terganggu (lihat **Gambar 18**).

Pengembalian bahan galian ke asalnya diupayakan mendekati keadaan aslinya. Ketebalan penutupan tanah (*sub-soil*) berkisar 70-120 cm yang dilanjutkan dengan redistribusi tanah pucuk.

Lereng dari bekas tambang dibuat bentuk teras, selain untuk menjaga kestabilan lereng, diperuntukan juga bagi penempatan tanaman revegetasi (**Gambar 19 & 20**).



Gambar 18. Pengurugan Kembali Bekas Tambang Emas di Wetar.



Gambar 19. Skema Bentuk Teras dan Guludan (KPP Konservasi, 2006)

b. Revegetasi

Perbaikan kondisi tanah meliputi perbaikan ruang tubuh, pemberian tanah pucuk dan bahan organik serta pemupukan dasar dan pemberian kapur. Kendala yang dijumpai dalam merestorasi lahan bekas tambang yaitu masalah fisik, kimia (*nutrients* dan *toxicity*), dan biologi. Masalah fisik tanah mencakup tekstur dan struktur tanah. Masalah kimia tanah berhubungan dengan reaksi tanah (pH), kekurangan unsur hara, dan mineral *toxicity*. Untuk mengatasi pH yang rendah dapat dilakukan dengan cara penambahan kapur. Sedangkan kendala biologi seperti tidak adanya penutupan vegetasi dan tidak adanya mikroorganisme potensial dapat diatasi dengan perbaikan kondisi tanah, pemilihan jenis pohon, dan pemanfaatan mikoriza (Suprpto, 2006).

Secara ekologi, spesies tanaman lokal dapat beradaptasi dengan iklim setempat tetapi tidak untuk kondisi tanah. Untuk itu diperlukan pemilihan spesies yang cocok dengan kondisi setempat, terutama untuk jenis-jenis yang cepat tumbuh, misalnya sengon (lihat **Gambar 20**), yang telah terbukti adaptif untuk tambang. Dengan dilakukannya penanaman sengon minimal dapat mengubah iklim mikro pada lahan bekas tambang tersebut. Untuk menunjang keberhasilan dalam merestorasi lahan bekas tambang, maka dilakukan langkah-langkah seperti perbaikan lahan pratanam, pemilihan spesies yang cocok dan penggunaan pupuk (Suprpto, 2006).

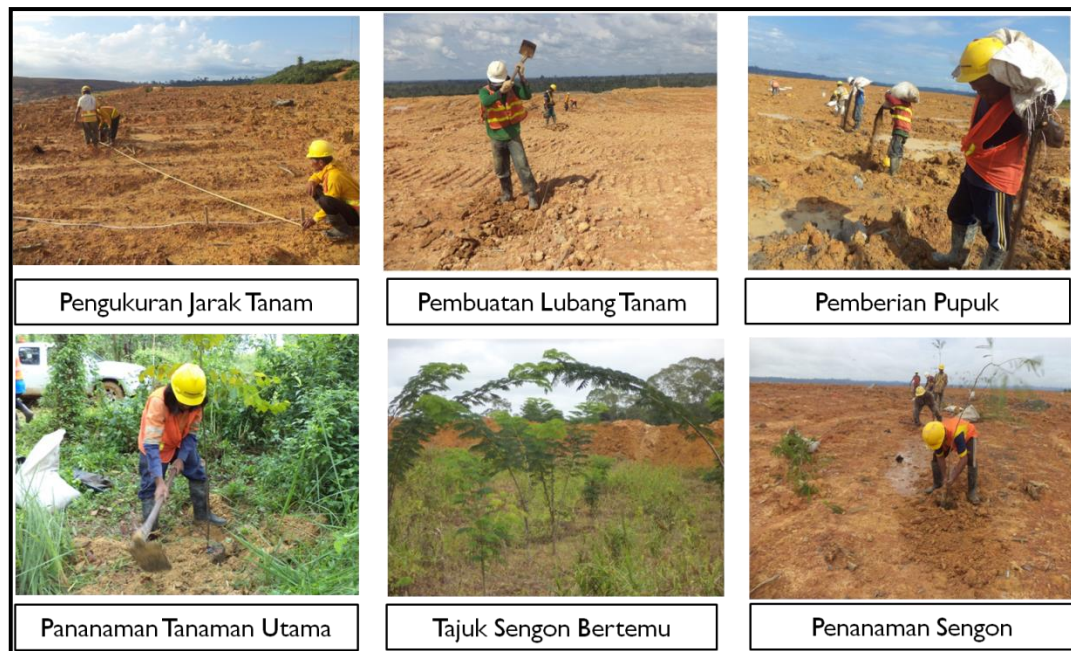
Untuk mengevaluasi tingkat keberhasilan pertumbuhan tanaman pada lahan bekas tambang, dapat ditentukan dari persentasi daya tumbuhnya, persentasi penutupan tajuknya, pertumbuhannya, perkembangan akarnya, penambahan spesies pada lahan tersebut, peningkatan humus, pengurangan erosi dan fungsi sebagai filter alam. Dengan cara tersebut, maka dapat diketahui sejauh mana tingkat keberhasilan yang dicapai dalam merestorasi lahan bekas tambang (Rahmawaty, 2002).



Gambar 20. Tanaman Sengon di Disposol Tambang Batubara TCM

Tahapan revegetasi pada disposal area yang telah dilapisi oleh top soil, adalah sebagai berikut (lihat **Gambar 21**):

- 1) Setelah disposal area dilapisi dengan top soil setebal 1 meter, langkah selanjutnya yaitu penanaman tanaman *cover crop*. Tanaman *cover crop* adalah jenis tanaman yang cepat merambat sebagai tanaman yang digunakan untuk melindungi kualitas unsur hara dari top soil.
- 2) Melakukan penanaman tanaman *fast growing* (seperti Sengon, Duo Banga, dan Jabon). Penanaman tanaman ini dengan jarak 4 x 4 meter dengan dimensi lubang tanam sebesar 40 cm x 40 cm x 40 cm.
- 3) Setelah ujung tajuk dari tanaman *fast growing* bertemu, maka dilakukan penanaman tanaman utama (seperti Ulin, Meranti, Rambutan, dan Kapur). Penanaman tanaman utama ini dilakukan dengan jarak 8 x 8 meter dengan dimensi lubang tanam sebesar 40 cm x 40 cm x 40 cm.



Gambar 21. Tahapan Revegetasi di Disposal Tambang Batubara TCM

c. Tataguna Lahan Pasca Tambang

Lahan bekas tambang tidak selalu dekembalikan ke peruntukan semula. Hal ini tergantung pada penetapan tata guna lahan wilayah tersebut. Perkembangan suatu wilayah menghendaki ketersediaan lahan baru yang dapat dipergunakan untuk pengembangan pemukiman atau kota. Lahan bekas tambang bauksit sebagai salah satu contoh, telah diperuntukkan bagi pengembangan kota Tanjungpinang (lihat **Gambar 22**).



Gambar 22. Reklamasi Lahan Bekas Tambang Bauksit untuk Pemukiman Dan Pengembangan Kota, Tanjungpinang, Bintan (Rohmana et.al., 2007)

Pemilihan spesies untuk revegetasi terkait juga tataguna lahan pasca tambang. Perkembangan harga minyak bumi akhir-akhir ini, memberikan peluang untuk pengembangan bioenergi, diantaranya dengan pengembangan tanaman jarak pagar untuk menghasilkan minyak. Sebagian lahan bekas tambang telah dicanangkan untuk program pengembangan bioenergi tersebut (lihat **Gambar 23**). Kelebihan jarak pagar adalah selain mampu mereklamasi bekas lahan tambang dalam waktu singkat, tanaman ini juga menghasilkan sumber energi terbarukan biodisel (Ridwan, 2007).



Gambar 23. Revegetasi Lahan Bekas Tambang Batubara Menggunakan Tanaman Jarak (PT. Berau Coal, 2007)

4. Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3)

a. Limbah B3

Peraturan Pemerintah No. 18 Tahun 1999 menyebutkan bahwa, limbah bahan berbahaya dan beracun (limbah B3) adalah sisa suatu usaha atau kegiatan yang mengandung bahan berbahaya dan beracun yang karena sifat atau konsentrasinya serta jumlahnya baik secara langsung maupun tidak langsung dapat mencemarkan dan atau merusakkan lingkungan hidup dan atau dapat membahayakan lingkungan hidup, kesehatan, kelangsungan hidup manusia serta makhluk hidup lain.

Menurut PP No. 74 tahun 2001, Limbah B3 didefinisikan sebagai bahan yang karena sifat dan atau konsentrasinya dan atau jumlahnya, baik secara langsung maupun tidak langsung dapat mencemarkan dan atau merusak lingkungan hidup, dan atau dapat membahayakan lingkungan hidup, kesehatan, kelangsungan hidup manusia serta makhluk hidup lainnya). Berdasarkan

Klasifikasi PP No. 74 Tahun 2001 Pasal 8 Ayat 1, tentang Bahan Berbahaya dan Beracun adalah:

- 1) **Mudah Meledak:** Pada suhu dan tekanan standar (25 derajat Celcius, 760 mmHg) dapat meledak atau melalui reaksi kimia dan atau fisika dapat menghasilkan gas dengan suhu dan tekanan tinggi yang dengan cepat dapat merusak lingkungan sekitarnya.
- 2) **Mudah Terbakar:** Limbah yang mempunyai salah satu sifat sebagai berikut :
 - a) Berupa cairan yang mengandung alkohol kurang dari 24% volume dan atau pada titik nyala tidak lebih dari 60° C, akan menyala apabila terjadi kontak dengan api, percikan api atau sumber nyala lain pada tekanan udara 760 mmHg.
 - b) Bukan berupa cairan, yang pada temperatur dan tekanan standar dapat menyebabkan kebakaran melalui gesekan, penyerapan uap air, atau perubahan kimia secara spontan dan apabila terbakar dapat menyebabkan kebakaran yang terus-menerus. Limbah yang bertekanan yang mudah terbakar dan merupakan limbah pengoksidasi.
- 3) **Reaktif:** Yang dimaksud dengan reaktif adalah sebagai berikut:
 - a) Pada keadaan normal tidak stabil dan dapat menyebabkan perubahan tanpa peledakan.
 - b) Dapat bereaksi hebat dengan air, apabila bercampur air berpotensi menimbulkan ledakan, menghasilkan gas, uap atau asap beracun dalam jumlah yang membahayakan bagi kesehatan manusia dan lingkungan.
 - c) Limbah sianida, sulfida, atau amoniak yang pada kondisi pH antara 2 dan 12.5 dapat menghasilkan gas, uap atau asap beracun dalam jumlah yang membahayakan bagi kesehatan manusia dan lingkungan.
 - d) Bahan yang mudah meledak atau bereaksi pada suhu dan tekanan standar (25°C, 760 mmHg).
 - e) Menyebabkan kebakaran karena melepas atau menerima oksigen atau limbah organik peroksida yang tidak stabil dalam suhu tinggi.
- 4) **Beracun:** Limbah yang mengandung bahan pencemar yang bersifat racun bagi manusia atau lingkungan yang dapat menyebabkan kematian atau sakit yang serius apabila masuk kedalam tubuh melalui pernapasan, kulit, atau mulut.
- 5) **Infeksius:** Limbah laboratorium medis, atau limbah lainnya yang terinfeksi kuman penyakit yang dapat menular.
- 6) **Korosif:** Limbah yang memiliki dari salah satu sifat berupa: menyebabkan iritasi (terbakar) pada kulit, menyebabkan proses pengkaratan pada lempeng

baja dan mempunyai pH sama atau kurang dari 2 untuk limbah bersifat asam dan sama atau lebih besar dari 12.5 untuk yang bersifat basa.

- 7) **Bersifat Iritasi:** Bahan baik padatan maupun cairan yang jika terjadi kontak secara langsung secara terus menerus dengan kulit atau selaput lendir akan menyebabkan peradangan pada kulit.
- 8) **Berbahaya bagi Lingkungan:** Bahaya yang ditimbulkan oleh suatu bahan yang dampaknya dapat merusak lapisan ozon misalnya CFC, persisten di lingkungan misalnya PCB_s, atau bahan tersebut dapat merusak lingkungan.
- 9) **Karsinogenik (*carcinogenic*):** Sifat bahan penyebab sel kanker yang diakibatkan sel liar yang merusak jaringan pada tubuh.
- 10) **Teratogenik (*Teratogenic*):** Sifat bahan yang dapat mempengaruhi pembentukan dan pertumbuhan embrio.
- 11) **Mutagenik (*Mutagenic*):** sifat bahan yang menyebabkan perubahan kromosom yang berarti dapat merubah genetika.

b. Sumber Limbah B3

Menurut PP No. 85 tahun 1999, limbah B3 diklasifikasi menurut sumbernya antara lain:

- 1) Sumber spesifik: adalah limbah B3 yang berasal dari sisa proses suatu industri atau kegiatan yang secara spesifik dapat ditentukan berdasarkan kajian ilmiah.
- 2) Sumber tidak spesifik: adalah limbah B3 yang berasal bukan dari proses utamanya, tetapi berasal dari kegiatan pemeliharaan alat pencucian, pencegahan korosi (*inhibitor corrosion*), pelarut kerak dan pengemasan.

c. Pengelolaan Limbah B3

1) Definisi Pengelolaan Limbah B3

Menurut PP No. 85 tahun 1999 pasal 2, tujuan pengelolaan limbah B3 adalah untuk mencegah dan menanggulangi pencemaran dan/atau kerusakan lingkungan yang diakibatkan oleh limbah B3 serta melakukan pemulihan kualitas lingkungan yang sudah tercemar sehingga sesuai fungsinya kembali. Menurut Wentz (1995) tujuan dari pengolahan limbah B3 adalah menurunkan kadar kontaminan yang terdapat dalam limbah, sehingga kualitas limbah mendekati tingkat kelayakan untuk dibuang ke lingkungan. Pengelolaan limbah B3 adalah rangkaian kegiatan yang mencakup reduksi, penyimpanan, pengumpulan, pengangkutan, pemanfaatan, pengolahan, dan penimbunan limbah B3.

Reduksi limbah B3 dapat dilakukan melalui upaya menyempurnakan penyimpanan bahan baku dalam kegiatan proses (*house keeping*), substitusi bahan, modifikasi proses, serta upaya reduksi limbah B3 lainnya. Setiap kemasan limbah B3 wajib diberi simbol dan label yang menunjukkan karakteristik dan jenis limbah B3.

Dalam melaksanakan kegiatannya, pengangkut tidak diperkenankan untuk limbah B-3 tanpa disertai dokumen lengkap mengenai limbah yang akan diangkut. Sebelum dilakukan pengangkutan, pengangkut harus menandatangani dokumen tersebut dan menyerahkan 1 lembar ketiga berwarna hijau kepada penghasil limbah. Dokumen tersebut harus menyertai limbah ke tempat yang dituju (Bapedal, 1995)

2) Prosedur Pengelolaan Limbah B3

Pengolahan dan atau penimbunan limbah B3 dapat dilakukan sendiri oleh penghasil limbah B3 atau dapat diserahkan kepada pihak ketiga yaitu pengolah dan atau penimbun limbah B3 (PP No. 85 tahun 1999). Prosedur pengelolaan limbah dijelaskan sebagai berikut:

a) Reduksi Limbah

Reduksi Limbah adalah kegiatan untuk mengurangi jumlah dan mengurangi sifat bahaya dan beracun limbah B3 sebelum dihasilkan (Peraturan Pemerintah No 85 tahun 1999).

b) Pengemasan

Menurut Peraturan Pemerintah No 74 tahun 2001, persyaratan umum pengemasan limbah B3 adalah sebagai berikut:

- (1) Setiap penghasil/pengumpul limbah B3 harus mengetahui karakteristik bahaya dari limbah B3 yang dihasilkan/dikumpulkannya. Apabila ada keragu-raguan dengan karakteristik limbah B3 yang dihasilkan atau dikumpulkannya, maka limbah B3 tersebut harus dilakukan pengujian karakteristik di laboratorium yang telah mendapat persetujuan Bapedal dengan prosedur dan metode pengujian yang ditetapkan oleh Bapedal.
- (2) Bagi penghasil limbah B3 yang sama secara terus menerus, maka pengujian karakteristik masing-masing limbah B3 dapat dilakukan sekurang-kurangnya satu kali. Apabila dalam perkembangannya terjadi perubahan kegiatan yang diperkirakan mengakibatkan berubahnya karakteristik limbah B3 yang dihasilkan, maka terhadap masing-masing limbah B3 hasil kegiatan perubahan tersebut harus dilakukan pengujian kembali terhadap karakteristiknya.

- (3) Bentuk kemasan dan bahan kemasan dipilih berdasarkan kecocokannya dengan jenis dan karakteristik limbah yang akan dikemasnya.
- (4) Kemasan untuk limbah B3 harus dalam kondisi baik, tidak rusak dan bebas dari pengkaratan serta kebocoran.
- (5) Bentuk, ukuran dan bahan kemasan limbah B3 disesuaikan dengan karakteristik Limbah B3 yang akan dikemasnya dengan mempertimbangkan segi keamanan dan kemudahan dalam penanganannya.
- (6) Kemasan dapat terbuat dari bahan plastik (HDPE, PP atau PVC) atau bahan logam (teflon, baja karbon, SS304, SS316 atau SS440) dengan syarat bahan kemasan yang dipergunakan tersebut tidak bereaksi dengan limbah B3 yang disimpannya.
- (7) Terhadap kemasan yang telah berisi limbah harus diberi tanda sesuai dengan ketentuan yang berlaku dan disimpan dengan memenuhi ketentuan tentang tata cara dan persyaratan bagi penyimpanan dan pengumpulan limbah B3 (lihat **Gambar 24 & 25**) :
 - (a) Simbol yang dipasang pada kemasan limbah B3 harus sesuai dengan karakteristik limbah yang dikemas.
 - (b) Simbol yang dipasang pada kemasan limbah B3 harus mempunyai ukuran minimum adalah 10 cm x 10 cm atau lebih besar.
 - (c) Simbol yang dipasang pada kemasan limbah B3 harus terbuat dari bahan yang tahan terhadap goresan atau bahan kimia yang mungkin mengenainya dan harus melekat kuat pada permukaan kemasan.
 - (d) Simbol yang dipasang pada kemasan limbah B3 harus dipasang pada sisi-sisi kemasan yang tidak terhalang oleh kemasan lain dan mudah terlihat (lihat **Gambar 26**)
 - (e) Simbol yang dipasang pada kemasan limbah B3 tidak boleh terlepas, atau dilepas dan diganti dengan simbol lain sebelum kemasan dikosongkan dan dibersihkan dari sisa-sisa limbah B3.
 - (f) Simbol yang dipasang pada kemasan limbah B3 yang kemasanya telah dibersihkan dan akan dipergunakan kembali untuk pengemasan limbah B3 harus diberi label “KOSONG”
 - (g) Label harus dipasang pada kemasan limbah B3 yang berfungsi untuk memberikan informasi dasar mengenai kualitatif dan kuantitatif dari suatu limbah B3 yang dikemas (lihat **Gambar 27**).



**Gambar 24. Simbol di Area Workshop
(PT. Pama Persada Nusantara District TCM, 2015)**



Gambar 25. Tanda Simbol pada TPS (PT. Pama Persada Nusantara District TCM, 2015)



**Gambar 26. Simbol pada Tangki Penyimpanan Oli Bekas
(PT. TCM, 2015)**



Gambar 27. Simbol pada Pewadahan Oli Bekas (PT. TCM, 2015)

3) Penyimpanan Limbah B3

Penyimpanan limbah B3 adalah kegiatan menyimpan sementara limbah B3 yang dilakukan oleh penghasil, pengumpul, pemanfaat, pengolah dan penimbun limbah B3. Karena karakteristik dan bahayanya, limbah B3 wajib disimpan dengan baik (lihat **Gambar 28**). Tujuannya adalah menghindarkan bahaya limbah B3 terhadap lingkungan sekitar sebelum diolah.



Gambar 28. Pewadahan Filter Bekas (PT. TCM, 2015)

4) Persyaratan Pengangkutan Limbah B3

Persyaratan yang harus dipenuhi dalam proses pengangkutan limbah B3 adalah sebagai berikut :

- a) Memiliki rekomendasi dan izin pengangkutan.
- b) Jenis dan karakteristik limbah yang diangkut sesuai dengan izin.
- c) Dilengkapi dokumen limbah B3 / Manifest.
- d) Persyaratan alat angkut: Alat angkut dan kemasan harus sesuai dengan karakteristik limbah; Alat angkut harus dalam kondisi baik; Simbol dan label harus sesuai dengan peraturan Bapedal.
- e) Operator harus terlatih.
- f) Memiliki *emergency response system* (lihat **Gambar 29**).
- g) Memiliki SOP berupa bongkar muat, route/tujuan pengangkutan, dan jadwal.
- h) Melakukan Pelaporan pengangkutan limbah B3.



Gambar 29. Emergency Response System (PT. TCM, 2015)

5. Pengelolaan Kualitas Udara Tambang

Kegiatan tambang batubara umumnya menghasilkan partikel debu dengan ukuran yang bervariasi antara kurang dari 1,0 (satu) μm sampai lebih dari 100 μm . Kegiatan operasi penambangan seperti pengupasan tanah, penambangan, pengangkutan dan pengolahan merupakan sumber dari partikel tersebut. Indikator kualitas udara dapat dilihat dari nilai TSP (*Total Suspended Particulate*). Tolok ukur dampak kualitas udara adalah tergantung nilai TSP di udara ambien. Baku mutu lingkungan menurut PP No. 41 Tahun 1999 yaitu kurang dari 0,26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Harfani (2007), mengatakan bahwa parameter lingkungan yang dipantau adalah parameter kualitas debu udara ambien (TSP) mengacu pada Peraturan

Pemerintah Republik Indonesia No. 41 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara.

a. Pengelolaan Lingkungan untuk Pengurangan Penyebaran Debu

Pengelolaan lingkungan untuk pengurangan penyebaran debu dapat dilakukan seperti prosedur berikut ini (Harfani, 2007):

- 1) Melakukan penyiraman jalan lintas produksi dari lokasi tambang hingga ke lokasi *crushing plant*. Terutama areal yang berdekatan dengan pemukiman penduduk dengan dengan *water truck* atau *water sprayer* yang memanfaatkan air yang berasal dari sungai yang ada di sekitar tambang (lihat **Gambar 30**).



Gambar 30. Penyiraman Jalan Tambang dengan Menggunakan Water Truck (KPC, 2013)

- 2) Memperlambat laju kendaraan terutama pada saat melewati jalur yang dekat dengan pemukiman penduduk, dengan kecepatan maksimal 15 km/jam.
- 3) Melakukan revegetasi di kiri-kanan jalan tambang dan jalan angkut, maupun di areal rencana penambangan yang berfungsi sebagai *biofilter* terhadap debu-debu yang beterbangan (lihat **Gambar 31**).



Gambar 31. Penanaman Pohon di Kiri Kanan Jalan Tambang (PT.TCM, 2015)

- 4) Pengguna sarana K3 berupa masker/penutup mulut bagi karyawan yang akan terkena dampak langsung seperti operator alat berat di lokasi pembuatan jalan angkut dan sopir *truck*.
- 5) Selain itu dilakukan juga penanaman pohon cepat tumbuh pada sebelah kiri-kanan ruas jalan akses dengan sistem posisi tanam *zig -zag*.
- 6) Melakukan pengerasan jalan.
- 7) Membatasi tinggi penimbunan 4 – 6 m.
- 8) Mengatur jalan pengangkutan dengan membuat rambu-rambu dan “polisi tidur”.
- 9) Melakukan pengujian/pengukuran emisi udara dan debu.

b. Pengelolaan Lingkungan untuk Mengurangi Tingkat Kebisingan

Pengelolaan lingkungan untuk mengurangi tingkat kebisingan, dapat dilakukan dengan langkah-langkah berikut ini (Harfani, 2007):

- 1) Membuat daerah *buffer zone* selebar 50 m dan melakukan penanaman dengan tingkat kerapatan yang cukup sebagai penahan angin.
- 2) Karyawan diberi *ear plug* dan bagi operator mesin diberikan *ear muff*.
- 3) Merawat dan mengontrol peralatan yang menimbulkan suara bising.
- 4) Melakukan pengujian/pengukuran kebisingan.
- 5) Menyediakan sarana kesehatan dan tenaga medis.

c. Pengelolaan Lingkungan untuk Mengurangi Kadar Debu Ambien

Pengelolaan lingkungan untuk mengurangi kadar debu ambien dapat dilakukan dengan langkah-langkah berikut (Harfani, 2007):

- 1) Melakukan penanaman pohon dengan tingkat kerapatan yang cukup disekeliling areal penumpukan (*stockpile*) sebagai penahan angin dan zona penyangga (*buffer zone*) selebar 50 meter.
- 2) Mengatur ujung *conveyor* sedekat mungkin dengan permukaan material di atas ponton atau memasang *telescopic chute* pada ujung *conveyor*.
- 3) Melakukan penyemprotan dengan kabut air pada daerah/bagian terlepasnya debu atau menutupi sekeliling *belt conveyor* dengan selubung, sehingga menghalangi hembusan angin dan terlepasnya debu.
- 4) Melakukan penyemprotan berupa kabut air pada permukaan tumpukan batubara terutama yang sedang didorong dengan *bulldozer*.

6. Rangkuman

Ada banyak hal yang harus diperhatikan dalam penanganan kualitas dan kesehatan di lingkungan pertambangan. Seperti penanganan batuan penutup yang bisa dilakukan dengan metode penutup kering (*Dry Cover Method*) dengan melakukan proses enkapsulasi, *In-Pit Disposal*, *Mixing Disposal*. Selain itu juga bisa dilakukan dengan metode penutup basah (*Wet Cover Method*). Pengelolaan Umum Batuan Penutup juga perlu dilakukan untuk menghindari terjadinya pembentukan air asam tambang yang akan merusak lingkungan perairan seperti air tanah dan air permukaan. Oleh karena itu sangat dibutuhkan perencanaan dan konstruksi daerah timbunan.

Selain itu pengelolaan air limbah tambang dapat dilakukan dengan pembuatan kolam pengendapan seperti: Kolam pengendap berdasarkan topografi area, kolam pengendap berdasarkan umur rencana dan perhitungan dimensi *settling pond*. Untuk pengendalian air pada kolam pengendap dibutuhkan sistem pemompaan air dari *pit* ke kolam pengendapan dengan sistem seri dan paralel.

Untuk menetralkan keasaman air pada kolam-kolam tambang, maka perlu dilakukan pemberian bahan kimia penetral/pengkapuran dengan sistem perlakuan aktif dan sistem perlakuan pasif. Untuk mengetahui apakah daerah tambang bebas dari asir asam tambang, maka indikator yang perlu dikontrol secara berkala adalah: Derajat keasaman (pH), *Total Suspended Solid* (TSS), Besi, Mangan (Mn). Pengelolaan limbah bahan berbahaya dan beracun (B3), diperlukan suatu usaha untuk memahami tentang apa saja yang tergolong ke dalam limbah B3 dan sumber limbah B3. Dalam mengelola limbah B3, sangat diperlukan pengkategorian limbah B3 itu sendiri, bagaimana prosedur pengelolaannya dan persyaratan pengangkutan limbah B3.

Selain itu pengelolaan kualitas udara tambang diperlukan usaha-usaha untuk pengelolaan lingkungan untuk pengurangan penyebaran debu, pengelolaan lingkungan untuk mengurangi tingkat kebisingan, pengelolaan lingkungan untuk mengurangi kadar debu ambien.

C. Aktivitas Pembelajaran

Aktivitas pembelajaran yang ada pada kegiatan pembelajaran mengenai siklus geologi batuan, diantaranya yaitu:

1. Mengamati

Mengamati kondisi di lapangan tentang terjadinya pencemaran lingkungan yang diakibatkan oleh aktivitas penambangan.

2. Menanya

Mengkondisikan situasi belajar untuk membiasakan mengajukan pertanyaan secara aktif dan mandiri bagaimana menangani kasus-kasus pencemaran lingkungan di kawasan tambang.

3. Mengumpulkan data

Mengumpulkan data lapangan dari berbagai sumber tentang kasus-kasus kesehatan lingkungan yang berkaitan dengan aktivitas penambangan, seperti data pH, total dissolved solid (TDS), Total suspended Solid (TSS), kadar logam berat dan limbah B3.

4. Mengasosiasi/ Mengolah Informasi

Mengkategorikan data dan menentukan hubungan antara kegiatan-kegiatan penambangan yang akan mengakibatkan kerusakan lingkungan dan kesehatan lingkungan.

5. Mengkomunikasikan

Menyampaikan hasil konseptualisasi tentang penanganan aspek kesehatan lingkungan di kawasan penambangan.

D. Umpan Balik dan Tindak Lanjut

Untuk mendapatkan umpan balik setelah mempelajari modul pembelajaran 3 ini, guru-guru diminta untuk mengisi rubrik umpan balik ini dan memberikan masukan yang konstruktif yang disediakan pada **Tabel 20**.

Tabel 20. Rubrik Umpan Balik Isi Modul Pembelajaran 3

No	Pokok Bahasan	Ranah pengetahuan	Jawaban Guru dan Tindak Lanjut
1.	Penanganan Batuan Penutup	Jelaskan bagaimana cara melakukan pengamanan batuan penutup pada proses penambangan, sehingga tidak terbentuk air asam tambang. (C2)	
		Bagaimana cara melakukan penanganan batuan penutup dengan metode enkapsulasi (C3)	
		Bagaimana cara merancang pengelolaan batuan penutup (C6).	
2.	Air Asam Tambang	Bagaimana cara merancang kolam pengendapan untuk pengelolaan air asam tambang (C6)	
3.		Apabila dalam pengelolaan air asam tambang menggunakan sistem pemompaan, bagaimana cara saudara merencanakan sistem pemompaannya (C6)	
4.	Limbah B3	Bagaimana cara saudara mendesain sistem pengelolaan limbah B3 di daerah tambang (P5)	

5.	Reklamasi Lahan Bekas Tambang	Coba saudara rumuskan, bagaimana cara melakukan reklamasi lahan bekas tambang (C6)	
----	-------------------------------	--	--

E. Latihan

Soal Esey:

1. Uraikan langkah-langkah yang harus diperhatikan dalam pembuatan timbunan batuan penutup?
2. *Settling pond* (kolam pengendapan) mempunyai 4 zona. Jelaskan Fungsi dari ke 4 zona dari *settling pond* tersebut?
3. Sebutkan parameter dasar pemilihan pompa secara teknis lapangan?
4. Jelaskan pengertian dan fungsi tanaman *cover crop*?
5. Jelaskan pengelolaan-pengelolaan lingkungan yang dapat untuk mengurangi penyebaran debu?

Soal Pilihan Berganda:

1. Apabila keterdapatan NAF sangat terbatas dan tidak memiliki ketersediaan lempung, maka cara apakah yang digunakan untuk model menutupi lapisan PAF?
 - A. Pembungkusan dengan material NAF bebas
 - B. Pembungkusan dengan material NAF kompak setebal 2 meter
 - C. Pencampuran material PAF dan NAF
 - D. Pembungkusan dengan material NAF kompak setebal 10 meter
2. Berapakah Total Suspensi Solid (TSS) yang dianjurkan pemerintah untuk kadar baku mutu air limbah kegiatan penambangan batubara berdasarkan Kepmen LH No.113 Thn 2003 ?
 - A. 300 mg/l
 - B. 200 mg/l
 - C. 400 mg/l
 - D. 100 mg/l
3. Manakah diantara tanaman berikut ini yang tidak termasuk tanaman *fast groing*?
 - A. Sengon
 - B. Meranti
 - C. Jabon
 - D. Duo banga

4. Manakah berikut ini yang tidak termasuk bahan kemasan limbah B3?
 - A. HDPE
 - B. PVC)
 - C. Teflon
 - D. Alluminium
5. Berapakah TSP (*Total Suspended Particulate*) yang dianjurkan pemerintah untuk kadar baku mutu lingkungan menurut PP No. 41 Tahun 1999?
 - A. $< 0,26 \mu\text{g}/\text{m}^3$
 - B. $< 0,16 \mu\text{g}/\text{m}^3$
 - C. $< 0,24 \mu\text{g}/\text{m}^3$
 - D. $< 0,037 \mu\text{g}/\text{m}^3$

F. Kunci Jawaban

1. Jawaban Soal No. 1:

- a. Penentuan prinsip cara penimbunan yang digunakan (dari bawah ke atas atau sebaliknya).
- b. Menentukan titik atau pasak dari lingkaran luar daerah timbunan.
- c. Penempatan material NAF di sisi luar daerah timbunan.
- d. Penempatan material PAF berbarengan dengan langkah c.
- e. Pemadatan lereng.
- f. Penempatan top soil (tanah pucuk).
- g. Pembuatan tanggul drainase dan konstruksi awal untuk timbunan atas selanjutnya.

2. Jawaban Soal No.2:

- a. Zona masukan yaitu tempat masuknya aliran lumpur ke dalam kolam pengendapan dengan anggapan campuran padatan cairan yang masuk terdistribusi secara seragam.
- b. Zona pengendapan yaitu tempat partikel akan mengendap
- c. Zona endapan lumpur, yaitu tempat partikel padatan mengalami sedim dan terkumpul di bagian bawah kolam pengendapan
- d. Zona keluaran, yaitu tempat keluarnya cairan yang jernih

3. Jawaban Soal No. 3:

- a) Kecepatan air yang dipompakan.
- b) Tinggi angkatan dari bak penampung ke pembuangan.
- c) Tekanan head pada titik pembuangan.
- d) Ketinggian tempat pengoperasian pompa.
- e) Tinggi pompa di atas permukaan air yang akan dipompakan.

- f) Ukuran pipa yang akan digunakan.
- g) Jumlah, ukuran, jenis sambungan dan katup.

4. Jawaban Soal No. 4:

Tanaman *cover crop* adalah jenis tanaman yang cepat merambat sebagai tanaman yang digunakan untuk melindungi kualitas unsur hara dari *top soil* serta mengurangi pengikisan *top soil*.

5. Jawaban:

- a) Melakukan penyiraman jalan lintas produksi dari lokasi tambang hingga ke lokasi *crushing plant*,
- b) Memperlambat laju kendaraan dengan kecepatan maksimal 15 km/jam.
- c) Melakukan revegetasi baik di kiri-kanan jalan tambang dan jalan angkut.
- d) Pengguna sarana K3 berupa masker/penutup mulut bagi karyawan
- e) Selain itu dilakukan juga penanaman pohon cepat tumbuh pada sebelah kiri-kanan ruas jalan.
- f) Melakukan pengerasan jalan dengan menghamparkan material slit stone/tanah merah.
- g) Membatasi tinggi penimbunan 4 – 6 m.
- h) Mengatur jalan pengangkutan dengan membuat rambu-rambu dan “polisi tidur”.
- i) Melakukan pengujian/pengukuran emisi udara dan debu.

6. **B**

7. **C**

8. **B**

9. **D**

10. **A**

V. KEGIATAN PEMBELAJARAN 4

A. Tujuan Pembelajaran

Modul pembelajaran 4 ini disusun berdasarkan kompetensi profesional yang menyangkut alat-alat untuk peledakan seperti: Detonator, Detonator Non-Electric (Nonel), sumbu dan penyambung pada peledakan serta tipe dan jenis penyambung pada peledakan yang digunakan untuk pemberaian batuan pada saat mau melakukan proses penambangan.

B. Uraian Materi Pembelajaran

1. Detonator

Detonator adalah alat pemicu awal yang menimbulkan inisiasi dalam bentuk letupan (ledakan kecil) sebagai bentuk aksi yang memberikan efek kejut terhadap bahan peledak peka detonator atau primer. Detonator disebut dengan *blasting capsule* atau *blasting cap*. Pengelompokkan jenis detonator didasarkan atas sumber energi pemicunya, yaitu: api, listrik dan benturan (*impact*) yang mampu memberikan energi panas di dalam detonator, sehingga detonator meletup dan rusak. Spesifikasi fisik dari detonator adalah sebagai berikut (KJL, 2004):

- Bentuk : Tabung Silinder
- Diameter : 6 – 8 mm
- Tinggi : 50 – 90 mm
- Bahan selubung luar : Alumunium, tembaga
- Jenis detonator biasa : Salah satu ujung tabung terbuka
- Jenis detonator listrik : Salah satu ujung tabung terdapat dua kawat
- Jenis detonator nonel : Salah satu ujung tabung terdapat sumbu *non-electric* (nonel) terbuat dari plastik.
- Muatan detonator : Semua jenis detonator berisi bahan peledak kuat (*high explosive*) dengan jumlah tertentu yang menentukan kekuatannya dan bahan penimbul panas.

Ada dua jenis muatan bahan peledak di dalam detonator. Fungsinya adalah:

- **Isian utama (*primary charge*):** Berupa bahan peledak kuat yang sensitif. Fungsinya menerima efek panas dengan sangat cepat dan meledak sehingga menimbulkan gelombang kejut (Lihat **Gambar 32**).

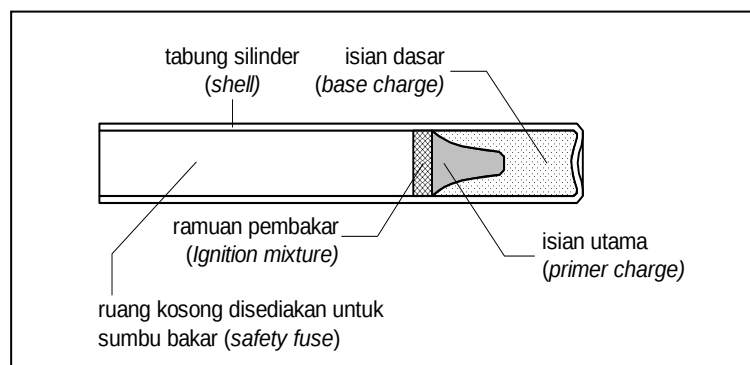
- **Isian dasar (*base charge*):** Disebut juga isian sekunder, berupa bahan peledak kuat dengan VoD tinggi. Fungsinya menerima gelombang kejut dan meledak dengan kekuatan tergantung pada berat isian dasarnya (Lihat **Gambar 32**).

a. Detonator Biasa (*Plain Detonator*)

Detonator biasa merupakan detonator pertama kali dipergunakan untuk keperluan peledakan industri dan militer. Diameter tabung detonator biasa 6,40 mm dan panjang 42 mm dengan bagian-bagian sebagai berikut (KJL, 2004):

- 1) Ramuan pembakar (*ignition mixture*), terbuat dari bahan mudah terbakar, berfungsi untuk meneruskan api dari sumbu bakar.
- 2) Isian utama berupa bahan peledak kuat dengan kepekaan tinggi, biasanya ASA, yaitu campuran *lead azide* atau *lead stypnate* dan aluminium, sehingga seketika setelah menerima panas dari ramuan pembakar, maka isian utama ini akan meledak dan menimbulkan gelombang kejut.
- 3) Isian dasar berupa bahan peledak kuat dengan VoD tinggi yang akan terinisiasi oleh gelombang kejut isian primer. Karena isian dasar ini mempunyai VoD tinggi, mampu meledakkan bahan peledak peka detonator sebagai primer. Kandungan isian dasar berupa PETN atau TNT (*Tri Nitro Toluene*).
- 4) Tabung silinder terbuat dari bahan tembaga atau aluminium yang mudah rusak apabila terkena ledakan.
- 5) Ruang kosong, menempati lebih dari setengah panjang detonator, disediakan untuk menyisipkan sumbu bakar atau sumbu api (*safety fuse*).

Model detonator biasa lengkap dengan bagian-bagiannya, dapat dilihat **Gambar 32**:



Gambar 32. Sketsa Penampang Detonator Biasa

Untuk menjamin keselamatan kerjanya, maka penanganan detonator harus mengikuti langkah-langkah berikut (KJL, 2004):

- 1) Detonator tidak boleh diperlakukan kasar, misalnya dilempar atau dipukul.
- 2) Periksa apakah ada benda masuk ke dalam atau menyumbat detonator.
- 3) Isian detonator tidak boleh dikorek atau dipadatkan.
- 4) Dilarang memanaskan detonator. Biarkan detonator di dalam kotaknya dan hanya diambil pada saat akan disambung dengan sumbu api (**Gambar 33**).
- 5) Hindarkan detonator agar tidak kemasukan air.



Gambar 33. Kemasan detonator biasa (ICI Explosives, 1988)

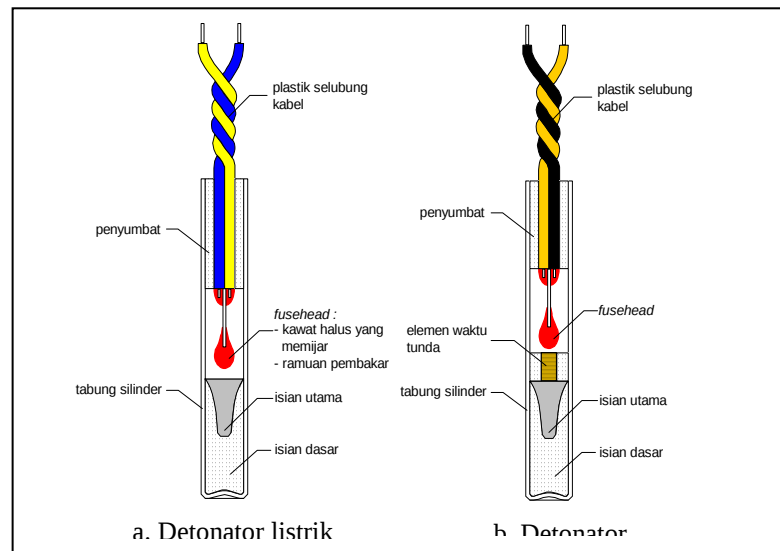
b. Detonator Listrik (*Electric Detonator*)

Kandungan isian pada detonator listrik sama dengan pada detonator biasa. Perbedaannya adalah energi panas yang dihasilkan. Detonator listrik selalu dilengkapi dengan dua kawat (*leg wire*) yang merupakan bagian tidak terpisahkan dari detonator tersebut. Ujung kedua kawat di dalam detonator listrik dihubungkan dengan kawat halus (*bridge wire*) yang akan memijar setelah ada hantaran listrik. **Gambar 34** memperlihatkan bahwa kawat halus diselubungi oleh ramuan pembakar (*fusehead*). Apabila pijar dari kawat halus terbentuk, maka ramuan pembakar langsung terbakar dan menimbulkan energi panas dalam ruang detonator. Mekanisme peledakan selanjutnya sama seperti pada detonator biasa. Keuntungan pemakaian detonator listrik adalah:

- 1) Jumlah lubang yang dapat diledakkan sekaligus relatif lebih banyak.
- 2) Dengan adanya elemen tunda dalam detonator, pola peledakan menjadi lebih bervariasi dan arah serta fragmentasi peledakan dapat diatur dan diperbaiki.
- 3) Penanganan lebih mudah dan praktis.

Sedangkan kelemahannya bila dipandang dari sudut keselamatan kerja peledakan adalah:

- 1) Tidak boleh digunakan pada cuaca mendung yang disertai kilat. Karena kilatan dapat mengaktifasi aliran listrik, sehingga terjadi peledakan *premature*.
- 2) Pengaruh gelombang radio, televisi, arus liar atau *stray currents* dan listrik statis (*static electricity*) dari dalam bumi, serta arus listrik lainnya dapat mengaktifasi aliran listrik pada detonator.
- 3) Membutuhkan peralatan peledakan khusus listrik, yaitu sumber arus listrik, alat penguji tahanan, dan peralatan listrik lainnya.



Gambar 34. Sketsa Penampang Detonator Listrik (KJL, 2004).

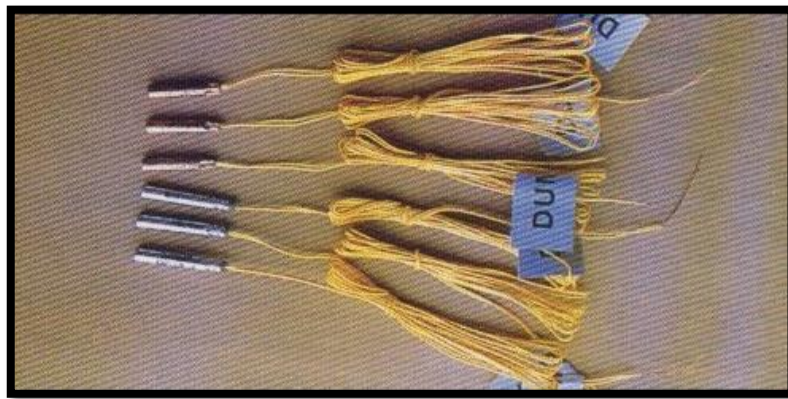
Tahanan listrik setiap detonator bervariasi sesuai dengan panjang *leg wire* yang dimilikinya (KJL, 2004), yaitu: sekitar 1,5 ohm untuk panjang *leg wire* 1,8 m dan sekitar 2,0 ohm untuk panjang *leg wire* 3,6 m. Kekuatan arus minimal yang harus dihantarkan untuk meledakkan detonator berkisar antara 1–1,5 amper, sehingga apabila terdapat arus liar yang kekuatannya kurang dari batasan arus tersebut menyebabkan detonator tidak meledak. Ditinjau dari tenggang waktu peledakan setelah arus menimbulkan pijar maksimum, maka detonator listrik dikelompokkan pada detonator listrik langsung (*instantaneous detonator*) dan detonator listrik tunda (*delay detonator*).

1) Detonator Listrik Langsung (*Instantaneous Detonator*)

Bagian dalam dari detonator listrik langsung buatan **ICI Explosives** dapat dilihat pada **Gambar 34.a dan Gambar 35**. Dari **Gambar 34.a** terlihat mekanisme peledakan detonator setelah terjadi kontak listrik. Seketika setelah pijar terbentuk, maka energi panas akan membakar ramuan

pembakar, sehingga *fusehead* menjadi merah membara dan memanasi ruang detonator yang tersisa. Energi panas dari ruang tersebut menjadi pemicu meledaknya isian utama, kemudian isian dasar dan secara keseluruhan detonator meledak. Urutan proses tersebut di atas berlangsung sangat cepat seolah-olah tidak ada jeda waktu antara dari kawat halus berpijar sampai isian dasar atau detonator meledak.

Detonator listrik langsung umumnya dipakai untuk pola peledakan yang hanya satu baris dan jumlah primer di dalam kolom ruang ledak hanya ada satu primer saja.



Gambar 35. Detonator listrik langsung (ICI Explosives, 1988)

2) Detonator Listrik Tunda (*Delay Detonator*)

Gambar 36 memperlihatkan detonator listrik tunda buatan *Ireco* salah satu anggota *Dyno Explosives Group*. Mekanisme pembentukan energi panas mulai dari memijarkan kawat halus sampai ramuan pembakar terbakar dan *fusehead* membara sama dengan proses detonator langsung. **Gambar 34.b** menunjukkan bahwa energi panas di dalam ruang detonator yang tersisa tidak langsung memicu peledakan isian utama, tetapi energi panas tersebut dirambatkan beberapa saat melalui media elemen tunda (*delay element*) sampai akhirnya menyentuh isian utama. Selanjutnya proses peledakan detonator sama seperti pada detonator listrik langsung.

Elemen tunda bisa berbentuk media logam penghantar panas yang waktunya sudah terukur. Panjang-pendeknya elemen tunda menentukan harga waktu tundanya dan sekaligus memberi kenampakan fisik detonator secara menyeluruh, yaitu ada detonator yang lebih panjang atau lebih pendek dari lainnya.



Gambar 36. Detonator Listrik Tunda (ICI Explosives, 1988)

Terdapat tiga macam waktu tunda dalam detonator listrik, yaitu *halfsecond*, *quarter second* dan *millisecond*. Tabel 21 menunjukkan bahwa interval waktu terkecil dalam peledakan adalah 25 ms, sehingga selang waktu menjadi 25, 50, 75, 100, 125 ms dan seterusnya. Setiap produsen memberikan ciri khusus untuk membedakan masing-masing sistem waktu tundanya. Misal: dengan warna, nama seri atau nama khusus. Demikian juga dengan interval harga waktu tunda dari tiap sistem, hanya dibedakan dengan menggunakan warna label penunjuk waktu tunda (*delay tag color*) dan pemberian strip atau garis dengan warna yang berbeda pada detonatornya. *Halfsecond* dan *quartersecond* diistilahkan juga sebagai *Long Period* atau (LP) sedangkan *millisecond* sebagai MS.

Tabel 21. Interval Waktu Tunda Pada Detonator

<i>Halfsecond</i>	<i>Quartersecond</i>	<i>Millisecond (ms)</i>
$\frac{1}{2}$ sekon = 500 ms	$\frac{1}{4}$ sekon = 250 ms	$\frac{1}{1000}$ sekon = 1 ms
1 sekon = 1000 ms	$\frac{1}{2}$ sekon = 500 ms	$\frac{25}{1000}$ sekon = 25 ms
$1\frac{1}{2}$ sekon = 1500 ms	$\frac{3}{4}$ sekon = 750 ms	$\frac{50}{1000}$ sekon = 50 ms
2 sekon = 2000 ms	1 sekon = 1000 ms	$\frac{100}{1000}$ sekon = 100 ms
dan seterusnya	dan seterusnya	dan seterusnya

Umumnya harga waktu tunda nominal tidak disebutkan, tapi yang ditunjukkan pada *delay tag* hanya nomor, misalnya nomor 0, 1, 2, 3, dan seterusnya. Untuk menterjemahkan nomor tersebut lihat dahulu sistem waktu tunda yang terdapat pada detonator atau kotak detonator. Apabila sistem waktu tundanya ms, maka nomor 0 artinya langsung (*instantaneous*), nomor 1 = 25 ms, nomor 2=50 ms, dan seterusnya. Kadang-kadang tidak

tepat benar kelipatannya, misalnya nomor 10 seharusnya sama dengan 250 ms, tetapi ada produsen menulisnya 300 ms. Hal tersebut jangan menjadi masalah karena nilai yang tertulis merupakan hasil uji mereka sebelum didistribusikan ke pengguna akhir. **Tabel 22** dan **23** memperlihatkan contoh waktu tunda dan nilai nominalnya.

Tabel 22. Nomor Waktu Tunda dan Nilai Nominal Waktu Tunda untuk Tambang Batubara (Du Pont, 1980)

<i>No. Delay</i>	<i>Nominal Delay Time (ms)</i>	<i>Delay Tag Color</i>	<i>Band Color</i>	<i>Leg wire Insulation Colors</i>
1	25		<i>Black</i>	<i>White</i>
2	100		<i>Pink</i>	<i>Pink</i>
3	175		<i>Blue</i>	<i>Light Blue</i>
4	250		<i>Orange</i>	<i>Orange</i>
5	325		<i>Green</i>	<i>Medium Green</i>
6	400		<i>Gold</i>	<i>Gold</i>
7	500		<i>Red</i>	<i>Red</i>
8	600		<i>Light Green</i>	<i>Light Green</i>
9	700	<i>White</i>	<i>White</i>	<i>Pink and White</i>
10	800	<i>White</i>	<i>White</i>	<i>Pink and White</i>
11	900	<i>White</i>	<i>White</i>	<i>Pink and White</i>
12	1000	<i>White</i>	<i>White</i>	<i>Pink and White</i>

Tabel 23. Nomor Waktu Tunda dan Nilai Nominal Waktu Tunda

<i>ICI Explosives (1988)</i>				<i>Du Pont ms Delay Series (1980)</i>	
<i>No. Delay</i>	<i>"L" Series Short Delays (ms)</i>	<i>Carrick Delays (ms)</i>	<i>Half Second Delays (ms)</i>	<i>Nominal Delay Time (ms)</i>	<i>Delay Tag Color</i>
0	5	5	0	0	--
1	30	30	500	25	<i>Black</i>
2	55	55	1000	50	<i>Red</i>
3	80	80	1500	75	<i>Blue</i>
4	105	135	2000	100	<i>Lilac</i>
5	130	165	2500	125	<i>Green</i>
6	155	195	3000	150	<i>Orange</i>
7	180	230	3500	175	<i>White</i>
8	205	265	4000	200	<i>Olive</i>
9	230	300	4500	250	<i>Brown</i>
10	255	410	5000	300	<i>Buff</i>
11	280	480	5500	350	<i>White</i>
12	305	560		400	<i>White</i>
13	335	650		450	<i>White</i>

14	365			500	White
15	395			600	White
16	425			700	White
17	455			800	White
18	485			900	White
19	515			1000	White
20	545				
21	575				
22	605				
23	635				
24	665				
25	695				
26	725				
27	755				
28	785				
29	815				
30	845				

c. Detonator Nonel

Detonator nonel (*non-electric*) dirancang untuk mengatasi kelemahan yang ada pada detonator listrik yang dipengaruhi oleh arus listrik liar, statis, dan kilat serta air. Pada detonator nonel, proses transmisi signal energi rendah gelombang kejut menuju detonator tanpa mempengaruhi bahan peledak yang digunakan. Transmisi signal terjadi di dalam suatu sumbu (*tube*) berdiameter 2 – 3 mm terbuat dari semacam lapisan plastik yang pada bagian dalamnya dilapisi dengan material reaktif yang sangat tipis (KJL, 2004). Ketika inisiasi dilakukan, signal energi rendah tersebut bergerak di sepanjang sumbu yang kecepatan propagasinya enam kali kecepatan suara (2000 m/s). Fenomena gelombang kejut tersebut, sama dengan ledakan debu pada tambang batubara bawah tanah, dimana rambatan gelombang menjalar kesegala arah, saling membentur dan menikung di bagian dalam sumbu. Bagian luar sumbu tidak rusak oleh gerakan gelombang kejut yang tidak beraturan tadi karena jumlah reaktif material didalamnya hanya sedikit (satu lapis).

1) Cara Menginisiasi Sumbu Nonel

Satu ruas sumbu nonel (*nonel tube*) atau sumbu signal terinisiasi secara langsung (*instantaneous*), kecuali sudah dipasang detonator tunda oleh pabrik pembuatnya. Ada beberapa cara yang dapat dilakukan untuk menginisiasi atau menyulut sumbu nonel, yaitu (KJL, 2004):

- a) Menggunakan satu detonator, baik detonator biasa atau listrik.
- b) Menggunakan sumbu ledak (*detonating cord*), atau

c) Menggunakan *starter non-electric* yang dinamakan *shotgun* atau *shotfirer*.

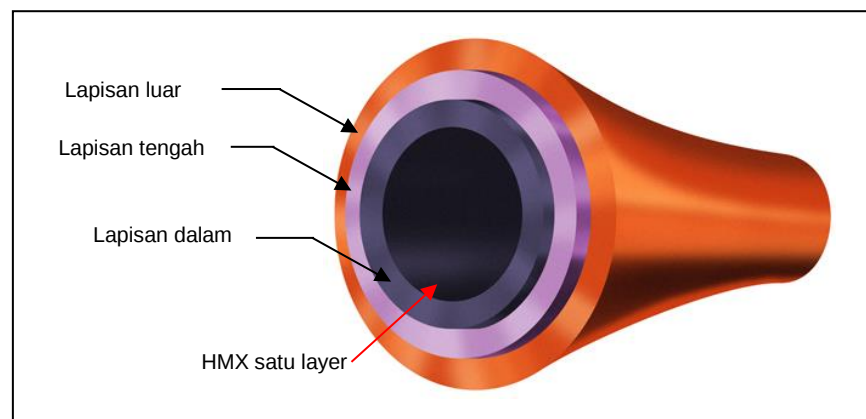
2) Komponen Utama Satu Set Detonator Nonel

Detonator nonel yang diterima konsumen sudah lengkap dengan sumbu signalnya yang merupakan satu kesatuan yang tidak terpisahkan (KJL, 2004). Komponen utama satu set detonator nonel terdiri dari:

a) Sumbu Nonel

Sumbu nonel berfungsi sebagai saluran signal energi menuju detonator tunda (lihat **Gambar 37**). Sumbu ini mempunyai panjang yang berbeda, sehingga pemilihannya harus disesuaikan dengan kedalaman lubang ledak. Pada bagian ujung sumbu dipres atau ditutup dengan *ultrasonic seal*. Jangan coba-coba memotong *ultrasonic seal* ini karena uap air akan masuk kedalam sumbu dan dapat menyebabkan gagal ledak. Sumbu nonel terdiri dari tiga lapisan, yaitu lapisan luar, lapisan tengah dan lapisan dalam yang masing-masing berfungsi sebagai:

- (1) Lapisan luar: untuk ketahanan terhadap goresan dan perlindungan terhadap ultra violet
- (2) Lapisan tengah: untuk daya regang dan ketahanan terhadap zat kimia
- (3) Lapisan dalam: menahan bahan kimia reaktif, yaitu jenis HMX atau octahydrotetranitrotetrazine dan aluminium pada tempatnya. HMX bersuhu stabil dan memiliki densitas serta kecepatan detonasi yang tinggi.



Gambar 37. Bagian-bagian sumbu nonel (Dyno Nobel, 2001)

b) Detonator Nonel

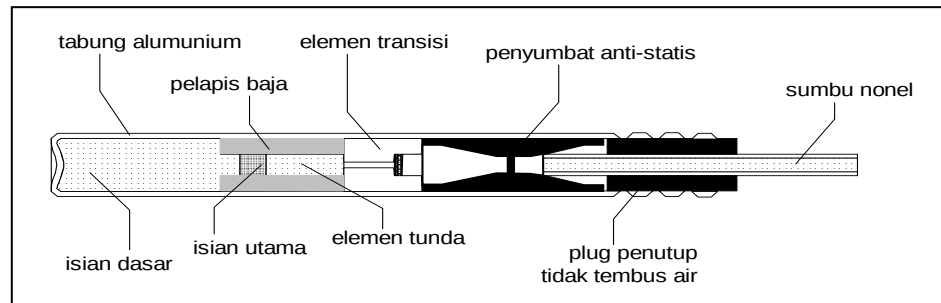
Komponen utama dalam detonator nonel sama dengan detonator listrik. Perbedaannya hanya pada mekanisme pembentukan energi panasnya (lihat **Gambar 38**).

c) Label Tunda

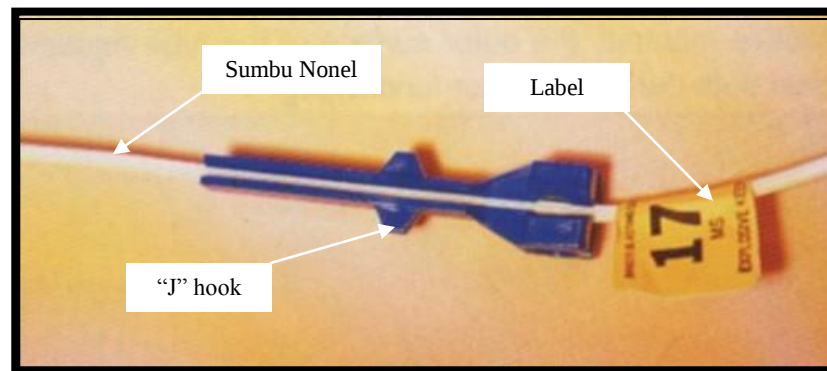
Label tunda yaitu label dengan warna tertentu yang menandakan tipe priode tunda *half second*, *quarter second*, atau *milli second* dan waktu nominal ledaknya (lihat **Gambar 39**).

d) “J” Hook

“J” hook adalah alat untuk menyisipkan *detonating cord*. Fasilitas ini tidak selalu ada atau modelnya yang berbeda (lihat **Gambar 39**).



Gambar 38. Bagian Dalam Detonator Nonel



Gambar 39. “J” Hook dan Label Tunda pada Detonator Nonel (ICI Explosives, 1988)

3) Waktu Tunda Detonator Nonel

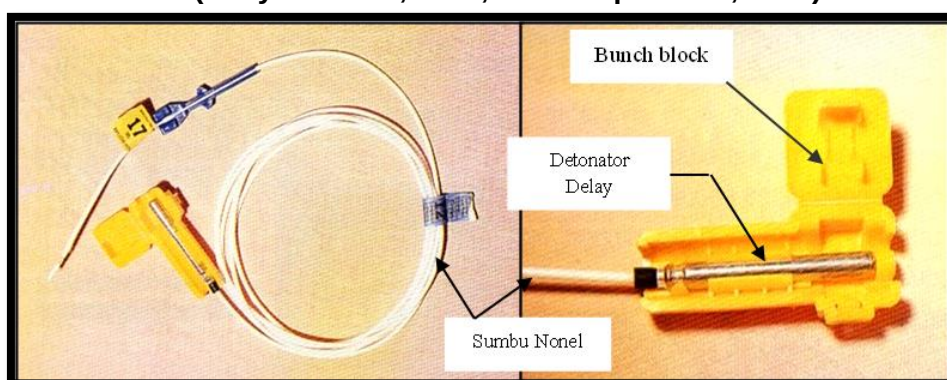
Penentuan waktu tunda detonator nonel lebih bervariasi karena pemasangannya dapat dilakukan di dalam lubang ledak dan di permukaan (KJL, 2004). Di dalam lubang ledak disebut *in-hole delay* atau waktu tunda dalam lubang, yaitu sekuen waktu meledaknya bahan peledak dari setiap lubang ledak. Sedangkan di permukaan disebut *trunkline delay* atau waktu tunda permukaan, yaitu sekuen waktu tunda antar lubang di permukaan.

Oleh sebab itu, produsen bahan peledak membuat detonator nonel khusus untuk di permukaan maupun di dalam lubang ledak. Bentuk detonator nonel di dalam lubang ledak tidak dilengkapi dengan slot penjepit, sedangkan untuk di permukaan dilengkapi dengan slot penjepit yang berfungsi sebagai

menyambung antar sumbu nonel atau dengan sumbu ledak. Perbedaan tersebut dapat dilihat pada **Gambar 40** dan **Gambar 41**.



Gambar 40. Detonator Nonel Dalam Lubang Ledak atau *In-Hole Delay* (a. Dyno Nobel, 2001, b. ICI Explosives, 1988)



Gambar 41. Detonator Nonel di Permukaan atau *Trunkline Delay* (ICI Explosives, 1988)

Waktu tunda detonator di permukaan lebih kecil dibanding detonator di dalam lubang ledak. Artinya detonator di permukaan harus meledak terlebih dahulu untuk mengirim signal ke detonator di dalam lubang. Contoh waktu tunda detonator nonel terlihat pada **Tabel 24**.

Tabel 24. Waktu Tunda Detonator Nonel

Periode Tunda	<i>Dyno Nobel</i>		<i>ICI Explosives</i>	
	Waktu Tunda		Waktu Tunda	
	MS	LP ¹⁾	MS	LP
0	--	25	0	0
1	25	500	25	200
2	50	800	50	400
3	75	1100	75	600
4	100	1400	100	1000
5	125	1700	125	1200
6	150	2000	150	1400

7	175	2300	175	1800
8	200	2700	200	2000
9	225	3100	250	2400
10	250	3500	300	3000
11	275	3900	350	3800
12	300	4400	400	4600
13	325	4900	450	5500
14	350	5400	500	6400
15	375	5900	600	7400
16	400	6500		8500
17	425	7200		9600
18	450	8000		
19	475			
20	500			
21	550			
22	600			
23	650			
24	700			
25	750			
26	800			
27	900			
28	1000			

2. Sumbu dan Penyambung pada Peledakan

a. Tipe dan Jenis Sumbu pada Peledakan

1) Sumbu Api (*Safety Fuse*)

Sumbu api adalah alat yang berfungsinya untuk merambatkan api dengan kecepatan tetap. Perambatan api tersebut dapat menyalakan ramuan pembakar (*ignition mixture*) di dalam detonator biasa, sehingga dapat meledakkan isian primer dan isian dasarnya.

Bagian inti dari sumbu api berupa *black powder* atau *gun powder* yang tergolong bahan peledak lemah (*low explosive*) dan dibungkus oleh tekstil serta dilapisi material kedap air, seperti aspal dan plastik. Fungsi dari pembungkus tersebut adalah (KJL, 2004):

- Menjaga *black powder* dari air, minyak atau zat lain yang dapat mempengaruhi laju pembakarannya.
- Menjaga sumbu dari kerusakan mekanis agar tetap dapat mempertahankan fleksibilitasnya.
- Untuk menjaga agar energi tidak berubah akibat pengaruh dari luar sumbu hingga api sampai ke bahan peledak dalam detonator .

Apabila terdapat kerusakan pada pembungkus, lapisan kedap air dan semua zat lain yang masuk ke dalam inti, maka kinerja sumbu api jadi rusak.

a) Kecepatan Rambatan

Sumbu api terbakar dengan kecepatan rambat yang terkontrol, sehingga panjang sumbu api yang telah ditentukan ekuivalen dengan interval waktu tertentu pula. Penting untuk diingat bahwa sumbu terbakar pada bagian intinya, yaitu tempat *black powder* berada dan tidak dengan pembungkusnya. Pembungkus mungkin saja terbakar tanpa terlebih dahulu bagian inti terbakar (KJL, 2004).

ICI Explosive (1988), memproduksi sumbu api dengan beberapa spesifikasi yang berbeda disesuaikan dengan kecocokan lokasinya sebagai berikut :

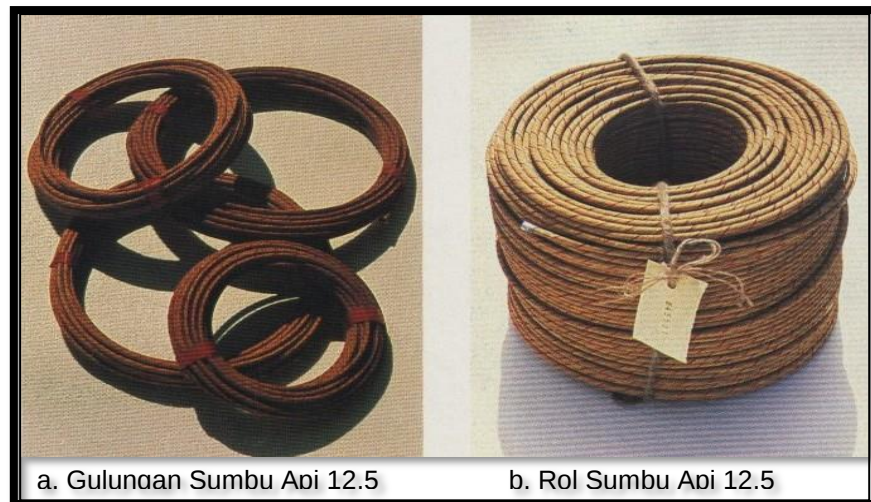
- (1) *Red Label* memiliki kecepatan rambat 95,00 – 98,49 detik/meter.
- (2) *Green Label* memiliki kecepatan rambat 98,50 – 101,49 detik/meter.
- (3) *Yellow Label* memiliki kecepatan rambat 101,50 – 104,49 detik/meter.

Sumbu api berkecepatan rambat tinggi, yaitu *Yellow Label*, digunakan pada penambangan terbuka dan *quarry* serta segala kegiatan peledakan di permukaan. Untuk tambang bijih disarankan untuk memakai sumbu api baik *Red* maupun *Green Label*.

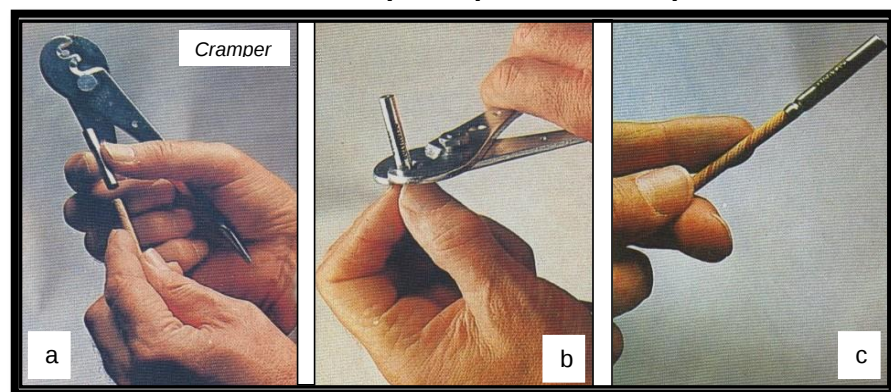
b) Pemasangan Sumbu Api pada Detonator Biasa

Sumbu api dirancang untuk melengkapi detonator biasa dan berfungsi sebagai penyuplai energi panas. Tahapan pemasangan sumbu api dilakukan seperti urutan berikut ini (lihat **Gambar 43**):

- (1) Potong sumbu api pada gulungannya secara tegak lurus sesuai dengan panjang yang diperlukan (lihat **Gambar 42**).
- (2) Ambil detonator secara hati-hati dari kotaknya.
- (3) Sisipkan ujung sumbu api yang baru dipotong. Pemotongan dilakukan sedalam mungkin hingga sampai menyentuh bagian dalam detonator dengan cara mendorong. Tapi jangan sekali-kali ditekan atau diputar (**Gambar 43.a**).
- (4) Jepit mulut detonator dengan *cramper* yang akan mengurung sumbu api dengan sempurna (**Gambar 43.b**) dan hasilnya terlihat pada **Gambar 43.c**.
- (5) Celupkan seluruh detonator dan sumbu api sepanjang 25 mm ke dalam larutan penyebab kedap air (*waterproofing compound*).
- (6) Hindarkan dari tekanan atau terkena panas pada ujung detonator yang tertutup.

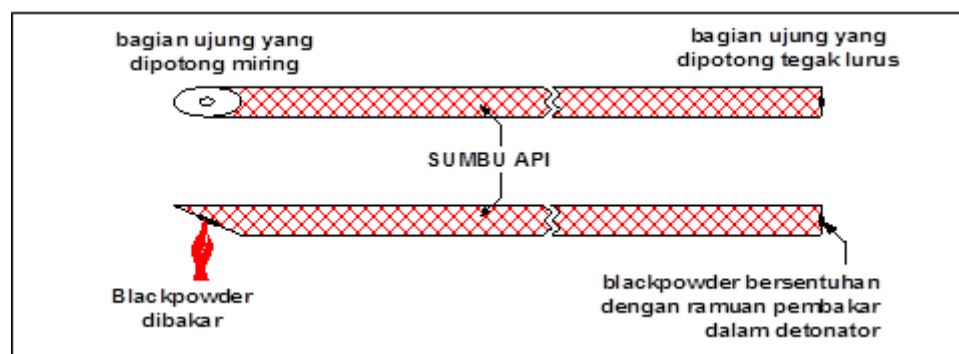


Gambar 42. Gulungan Sumbu Api 12,5 m dan Dalam Kemasan Rol 250 m (ICI Explosives, 1988)



Gambar 43. Cara Pemasangan Sumbu Api ke Detonator Biasa

Cara pemotongan sumbu api harus benar, yaitu pada salah satu ujung dipotong miring dan ujung yang lainnya tegak lurus (**Gambar 44**). Ujung yang dipotong tegak lurus masuk ke dalam detonator dan diusahakan *black powder* bersentuhan dengan ramuan pembakar agar transfer rambatan api berjalan baik. Sementara pada ujung sumbu api yang dipotong miring akan mempermudah penyulutan (KJL, 2004).



Gambar 44. Cara Pemotongan dan Penyulutan Sumbu Api

c) Cara Penyulutan Sumbu Api

Apabila sumbu api dinyalakan akan terlihat pancaran api yang dikenal dengan nama *ignition flame*, hal ini menandakan bahwa sumbu terbakar dan berfungsi normal. Pembakaran akan merambat terus sepanjang sumbu api sampai pada ujung yang lainnya, yaitu yang telah dipasang di dalam detonator biasa (**Gambar 43**). Api akan menyalakan ramuan pembakar di dalam detonator dan seterusnya menginisiasi bahan peledak utama atau *priming charge*, sehingga detonator akan meledak (KJL, 2004).

Penyulutan sumbu api dapat dilakukan dengan memakai *hot wire fuse lighter*, *full wire fuse lighter*, *lead splitter fuse lighter*, korek api, dan *ignitor cord*. *Hot wire fuse lighter* dan *full wire fuse lighter* bentuknya seperti kembang api. Apabila dibakar akan menimbulkan percikan api dan kawat didalamnya akan membara, sehingga mempermudah penyulutan sumbu api. *Lead splitter fuse lighter* dipasarkan dalam bentuk gulungan panjang sumbu api digunakan sebagai sumbu utama pada peledakan menggunakan detonator biasa. *Ignitor cord* merupakan penyambung khusus untuk system peledakan dengan sumbu api dan detonator biasa dan akan diuraikan kemudian. **Gambar 45** memperlihatkan salah satu jenis alat penyulut sumbu api.



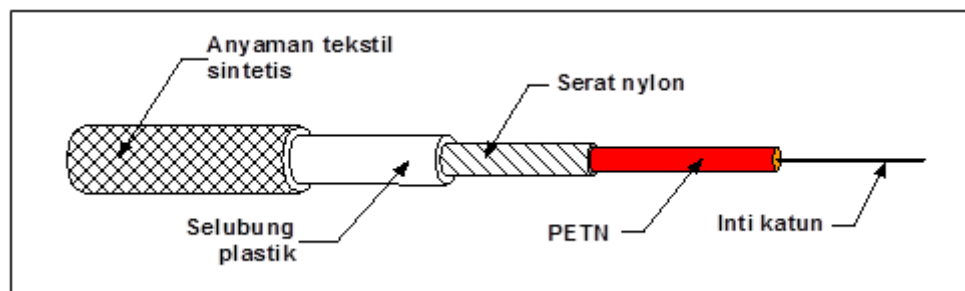
2) Sumbu Ledak (*Detonating Cord*)

Berbagai nama untuk sumbu ledak yang dikenal di lapangan antara lain *detonating cord*, *detonating fuse*, atau *cordtex*. Sumbu ledak adalah sumbu yang pada bagian intinya terdapat bahan peledak PETN, yaitu salah satu jenis

bahan peledak kuat dengan kecepatan rambat sekitar 6000 – 7000 m/s. Komposisi PETN bervariasi dari 3,6 – 70 gr/m. Tetapi yang sering digunakan adalah sumbu ledak dengan isian PETN 3,6 gr/m atau 5 gr/m, karena akan mengurangi kerusakan *stemming* dan bahan peledak serta pengaruh *air blast* (KJL, 2004).

a) Bagian-Bagian dan Tipe Sumbu Ledak

Bagian-bagian dari sumbu ledak terdiri dari lapisan pembungkus dan pelindung PETN berupa serat *nylon*, plastik dan anyaman parafin atau plastik seperti terlihat pada **Gambar 46**. Serat *nylon* dan plastik akan meningkatkan ketahanan terhadap air, gaya tarik, abrasi dan memudahkan pengikatan (KJL, 2004).



Gambar 46. Bagian-Bagian Sumbu Ledak

Walaupun sumbu ledak dirancang relatif tidak sensitif terhadap gesekan, benturan, arus liar, dan listrik statis, tetap saja harus diperlakukan sesuai dengan perlakuan terhadap bahan peledak, diantaranya jangan dibanting, dilempar, atau dibakar.

Sumbu ledak juga diproduksi untuk keperluan khusus oleh beberapa pabrik, diantaranya ICI Explosives memproduksi seri sumbu ledak dengan merk dagang sebagai berikut (lihat **Gambar 47**):

- (1) *Sliderline* 3,5 gr/m, digunakan di dalam lubang ledak bersama sistem primer sliderdeck.
- (2) *Trunkcord* 5 gr/m, dapat digunakan di permukaan atau di dalam lubang ledak pada bahan galian yang relative tidak keras.
- (3) *Powercord* 5 gr/m, dapat digunakan di permukaan atau di dalam lubang ledak pada bahan galian yang keras.
- (4) *Redcord* 10 gr/m, dapat digunakan pada tambang terbuka maupun bawah tanah.
- (5) *Flexicord* 10 gr/m, digunakan pada tambang terbuka dan bawah tanah bila stabilitas diprioritaskan.
- (6) *Tuffcord* 10 gr/m, untuk operasi pada batuan yang abrasif dimana kuat tarik yang tinggi diperlukan.

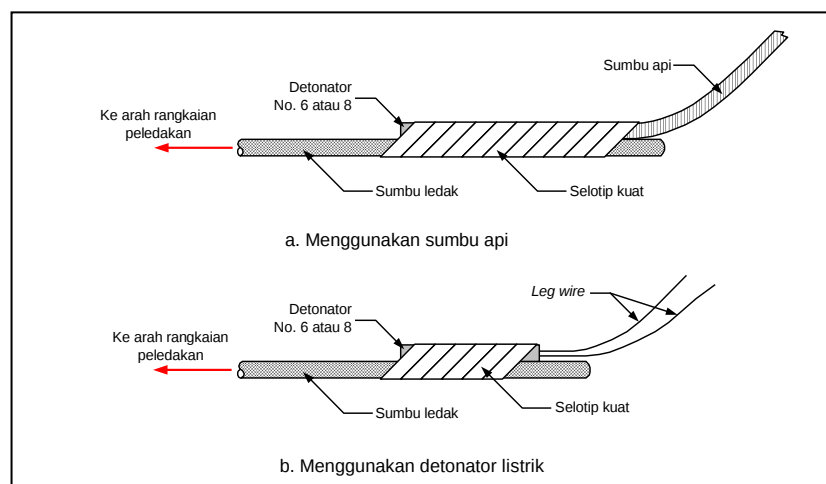
- (7) *Geoflex* 20 gr/m dan 40 gr/m, untuk survey seismic baik di darat maupun di laut.
- (8) *Shearcord* 70 gr/m, khusus untuk pengisian pada *presplitting*, *smoothblasting* dan pekerjaan demolisi.



Gambar 47. Seri Sumbu Ledak Buatan (ICI Explosive, 1988)

b) Cara Menyalakan Sumbu Ledak

Sumbu ledak akan terinisiasi oleh detonator standar atau no. 8. Caranya adalah dengan menempelkan detonator ke sumbu ledak kemudian diikat kuat atau diselotip (lihat **Gambar 48**). Apabila detonator meledak, maka sumbu ledak ikut meledak dengan suara keras dan seluruh pembungkusnya ikut hancur. Untuk mengurangi suara ledakan dari sumbu ledak, disarankan agar menimbun sumbu ledak menggunakan serpihan batu hasil pemboran atau material yang ada setebal 10 – 20 cm (KJL, 2004).



Gambar 48. Cara Meledakkan Sumbu Ledak

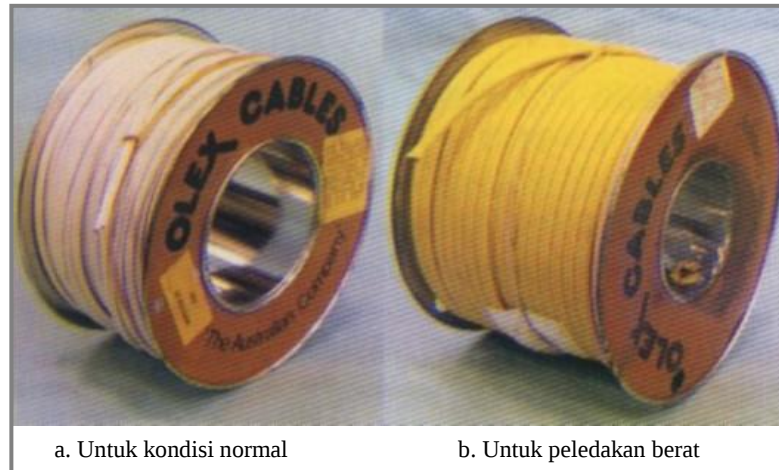
b. Tipe dan Jenis Penyambung pada Peledakan

Penyambung diperlukan untuk menghubungkan kawat listrik atau sumbu peledakan antar lubang ledak. Tujuannya adalah (KJL, 2004): (1) Menyambung *leg wire* antar lubang memakai kawat penyambung pada peledakan dengan detonator listrik. (2) Menyambung sumbu nonel antar lubang dan sekaligus mengeset waktu tunda permukaan (*surface* atau *trunkline delay*). (3) Menyambung sumbu ledak antar lubang dan sekaligus mengeset waktu tunda permukaan dan (4) Menyambung sumbu api antar lubang pada peledakan dengan detonator biasa.

1) Kawat Penyambung pada Peledakan Listrik

Ada beberapa jenis kawat penyambung pada rangkaian peledakan listrik, masing-masing mempunyai fungsi yang berbeda diantaranya adalah (KJL, 2004):

- a) *Connecting wire*, adalah kawat yang diperlukan untuk menyambung *leg wire* antar lubang. Pada kondisi udara normal dan kering digunakan kawat tembaga berukuran 20 AWG yang diisolasi dengan plastik PVC. Apabila digunakan untuk menyambung sampai ke dalam lubang, karena *leg wire* terlalu pendek, dan kondisi basah, dapat dipakai kawat tembaga berdiameter antara 21 – 23 AWG yang diselimuti plastik PVC.
- b) *Bus wire*, adalah kawat tembaga tanpa isolasi atau kawat terbuka berukuran 10, 12 atau 14 AWG yang diperlukan untuk hubungan paralel atau seri-paralel di dalam peledakan terowongan dan pembuatan sumuran vertikal (*shaft*). Kawat aluminium **dilarang** dipakai karena dikhawatirkan terjadi oksidasi yang dapat menimbulkan resistensi tinggi dalam rangkaian.
- c) *Lead wire* atau *lead lines* atau *firing line* atau kawat utama, berfungsi menghubungkan rangkaian peledakan listrik dengan alat pemicu ledak listrik *blasting machine*. Untuk peledakan pada kondisi normal menggunakan kawat tembaga ganda berukuran 23/0,076, diisolasi dengan plastik PVC dengan tahanan 5,8 ohms per 100 m. Selain itu dapat juga digunakan kawat tembaga ganda berukuran 24/0,20 mm dengan tahanan 4,6 ohms per 100 m. Untuk pekerjaan peledakan yang berat (*heavy duty*) dipakai kawat tembaga berukuran 70/0,76 mm dengan isolasi plastik PVC berwarna kuning (buatan ICI Explosives) mempunyai tahanan 1,8 ohms/100 m. Atau dapat dipakai kawat tembaga 50/0,25 mm dengan tahanan 1,4 ohms/100 m. Untuk melihat gambar *lead wire* terdapat pada **Gambar 49**.



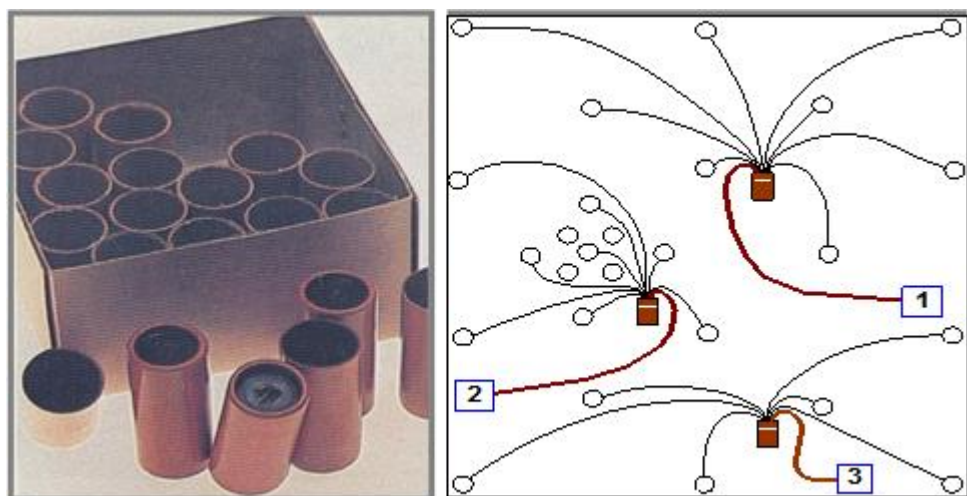
Gambar 49. Kawat Utama (Lead Wire) untuk Peledakan Listrik (ICI Explosives, 1988)

2) Penyambung Sumbu Api

Ada 2 tipe penyambung sumbu api dengan bentuk dan fungsi yang berbeda. Diantaranya adalah *Multiple Fuse Ignitor* dan *Bean-hole Connectors*.

a) *Multiple Fuse Ignitor* (MFI)

Multiple fuse ignitor adalah alat bantu penyulut sumbu api silinder terbuat dari tembaga atau alumunium. Bagian dalamnya terdapat ramuan pembakar. Diameter silinder dirancang sesuai dengan jumlah sumbu api yang bisa dimasukkan, umumnya sekitar delapan sumbu dan sebuah sumbu pokok. Sumbu pokok atau *master fuse* adalah sumbu yang menghantarkan rambatan api ke dalam silinder MFI untuk menyulut delapan sumbu lainnya secara bersamaan melalui ramuan pembakaran (lihat **Gambar 50**) (KJL, 2004):



Gambar 50. Multiple Fuse Ignitor dan Pemasangannya

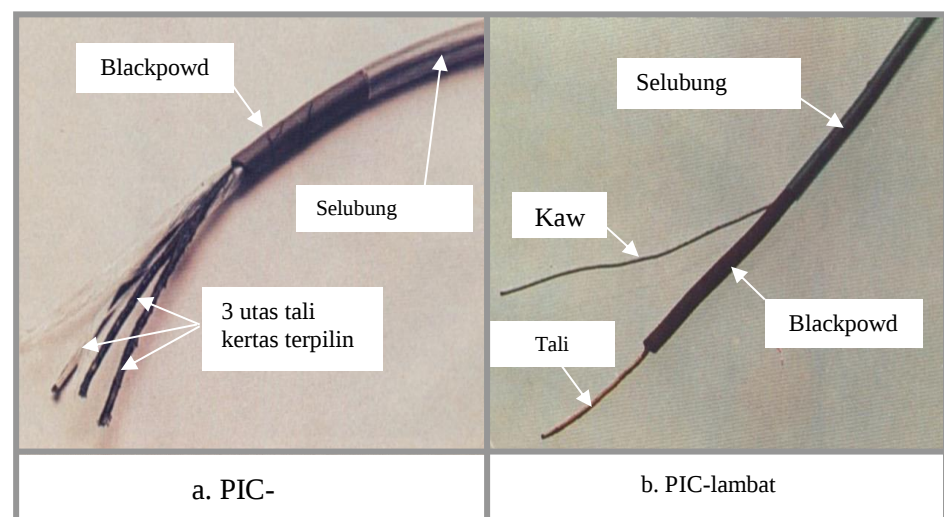
b) *Plastic Ignitor Cord (PIC)*

Plastic ignitor cord adalah alat bantu penyulut beberapa sumbu api berbentuk sumbu panjang bagian luarnya diselubungi plastik. Ada dua jenis PIC, yaitu PIC-cepat dan PIC-lambat. PIC-cepat mempunyai kecepatan nominal rambatan api 30 cm/detik, sedangkan PIC-lambat hanya 3 cm/detik (KJL, 2004).

Komposisi utama PIC adalah *black powder* yang dilelehkan. Ciri khusus dari kedua jenis PIC ini adalah (KJL, 2004):

- (1) Pada PIC-cepat terdapat tiga utas tali terbuat dari kertas khusus yang dipilin sebagai inti daripada PIC, kemudian diselubungi oleh *blackpowder* yang dilelehkan dan akhirnya ditutup oleh plastik. Susunan lapisan tersebut membuat PIC berdiameter sekitar 3 mm (lihat **Gambar 51.a**)
- (2) Pada PIC-lambat terdapat kawat kawat dan seutas tali kertas di bagian intinya, kemudian diselubungi oleh *blackpowder* yang dilelehkan dan akhirnya ditutup oleh plastic, sehingga diameter totalnya sekitar 2 mm. Kawat akan terlihat apabila PIC habis terbakar (lihat **Gambar 51.b**).

PIC-cepat dirancang untuk digunakan pada tambang terbuka dan quarry, sedangkan PIC-lambat digunakan pada penambangan bawah tanah. Cara menyambung PIC dengan sumbu api menggunakan alat bantu penyambung *bean-hole* dan *slot* (KJL, 2004).



Gambar 51. *Plastic Ignitor Cord (PIC)*

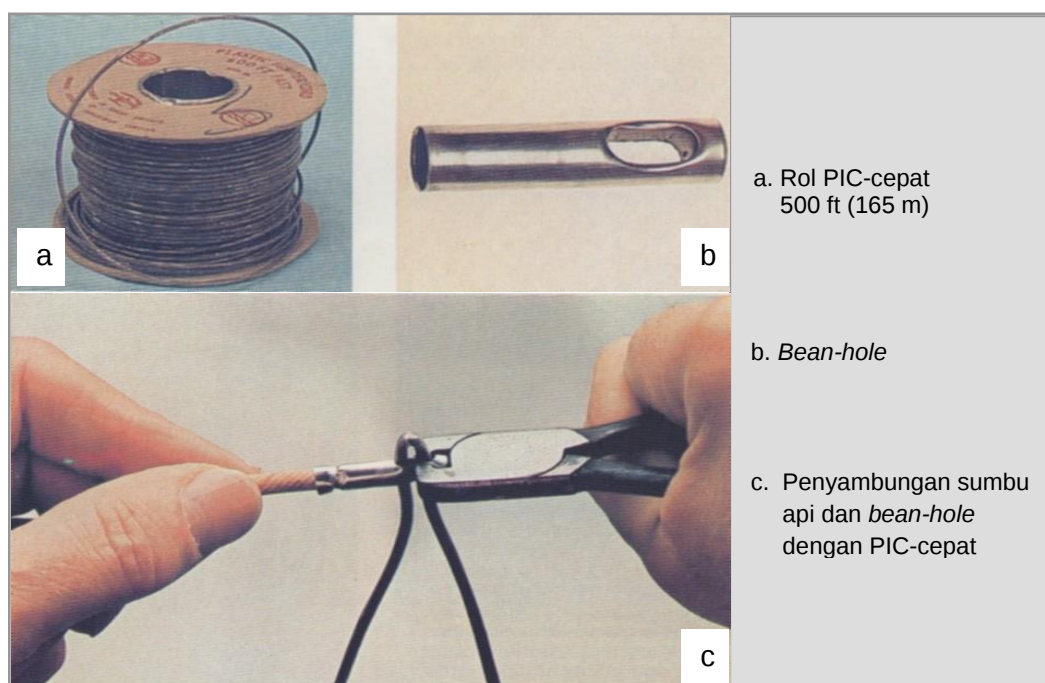
c) *Penyambung Bean-Hole*

Penyambung *bean-hole* berupa bantu penyambung PIC-cepat dengan sumbu api dan sekaligus sebagai penyulut sumbu api. Penyambung *bean-hole* berbentuk silinder dengan diameter sekitar 6,50 mm dan panjang 40

mm, serta mempunyai lubang oval pada salah satu ujungnya. Lubang oval ini tempat menyisipkan PIC-cepat (**lihat Gambar 52.b**).

Cara pemasangan sumbu api dan PIC-cepat pada penyambung *bean-hole* adalah sebagai berikut (KJL, 2004):

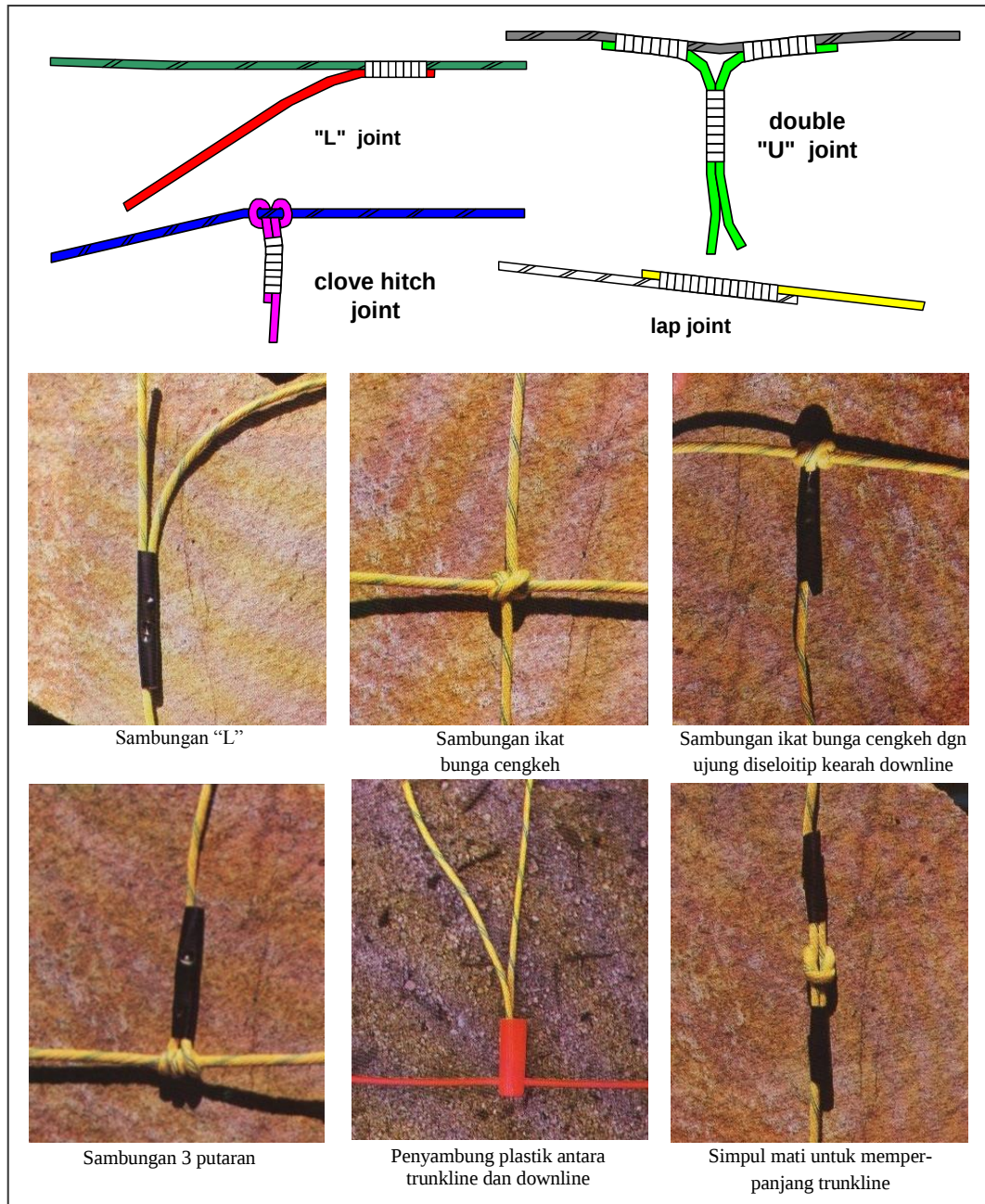
- (1) Sumbu api yang sudah dipotong rata dimasukkan ke dalam lubang penyambung *bean-hole* sampai batas lubang oval kemudian diklem menggunakan *crimper*. Sebaiknya pemasangan sumbu api dengan penyambung *bean-hole* ini sudah disiapkan dari gudang, artinya keduanya sudah diklem sebelum dibawa ke lokasi tambang.
- (2) Lengkungkan PIC-cepat dan sisipkan ke dalam lubang oval (**Gambar 52.c**).
- (3) Klem lubang oval agar PIC-cepat terjepit kuat



Gambar 52. Penyambungan PIC-Cepat dengan Sumbu Api Menggunakan Penyambung *Bean-Hole*

3) Penyambung Sumbu Ledak

Penyambungan sumbu ledak bisa dilakukan secara langsung antar sumbu ledak atau menggunakan alat bantu penyambung dengan waktu tunda. Penyambungan di permukaan (*trunkline*) yaitu sumbu ledak sepanjang sisi lubang ledak, sedangkan ke arah lubang ledak disebut *branch* atau *downline*. **Gambar 53** memperlihatkan aneka sambungan langsung antar sumbu ledak.



Gambar 53. Aneka Sambungan Sumbu Ledak

Adapun sambungan sumbu ledak dengan waktu tunda dimaksudkan untuk memberikan waktu tunda antar lubang ledak atau antar baris dalam suatu rangkaian peledakan. Oleh sebab itu diperlukan suatu alat bantu yang mampu menahan detonasi beberapa saat. Alat yang biasa dipakai adalah *Detonating Relay Connectors (DRC)* dan *MS Connector*.

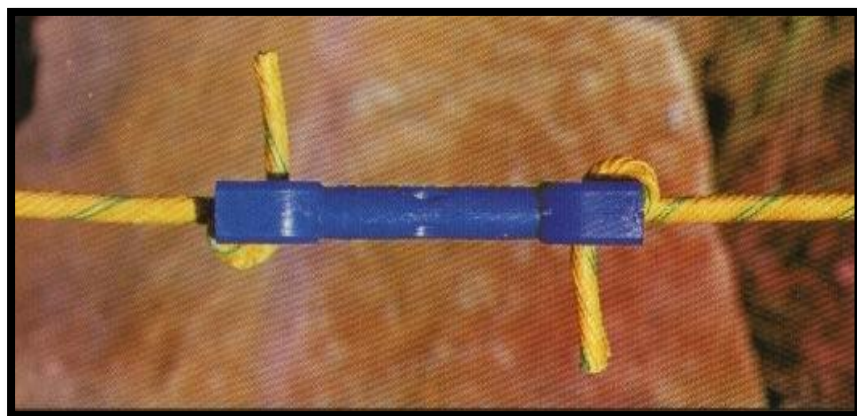
a) *Detonating Relay Connectors (DRC)*

Detonating relay connectors merupakan alat penyambung sumbu ledak yang dilengkapi dengan interval waktu tunda yang bagian luarnya

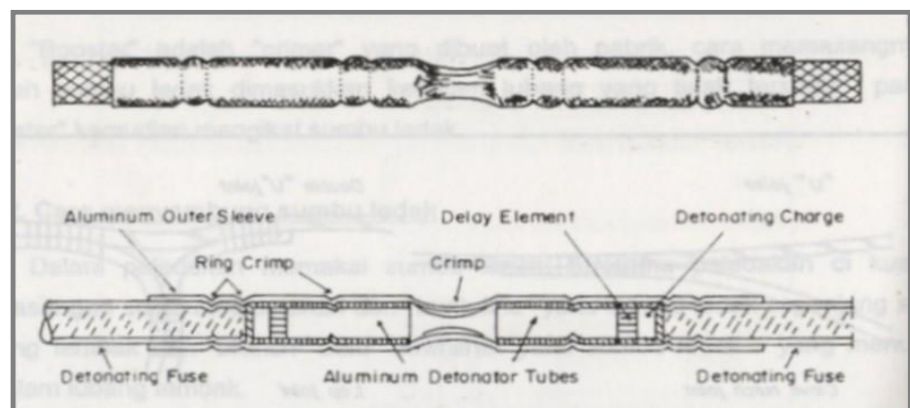
terbuat dari plastik berwarna, sedangkan bagian dalamnya terdapat dua detonator tunda yang identik (lihat **Gambar 54 dan 55**). Warna plastik luar menunjukkan waktu tunda nominal seperti contoh DRC buatan ICI Explosive pada **Tabel 25**.

Tabel 25. Waktu Tunda Nominal DRC Buatan ICI-Explosive

Waktu Tunda Nominal	Kode Warna	
15 ms	Hitam (<i>black</i>)	
25 ms	Biru (<i>blue</i>)	
35 ms	Kuning (<i>gold</i>)	
45 ms	Hijau (<i>green</i>)	
60 ms	Merah (<i>red</i>)	



Gambar 54. Cara Pemasangan Sumbu Ledak pada DRC

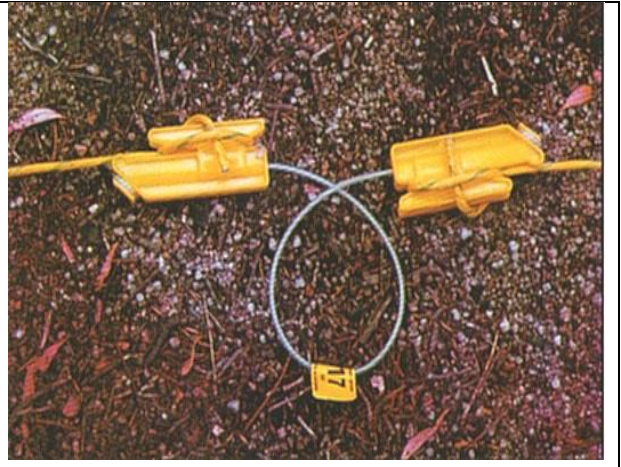


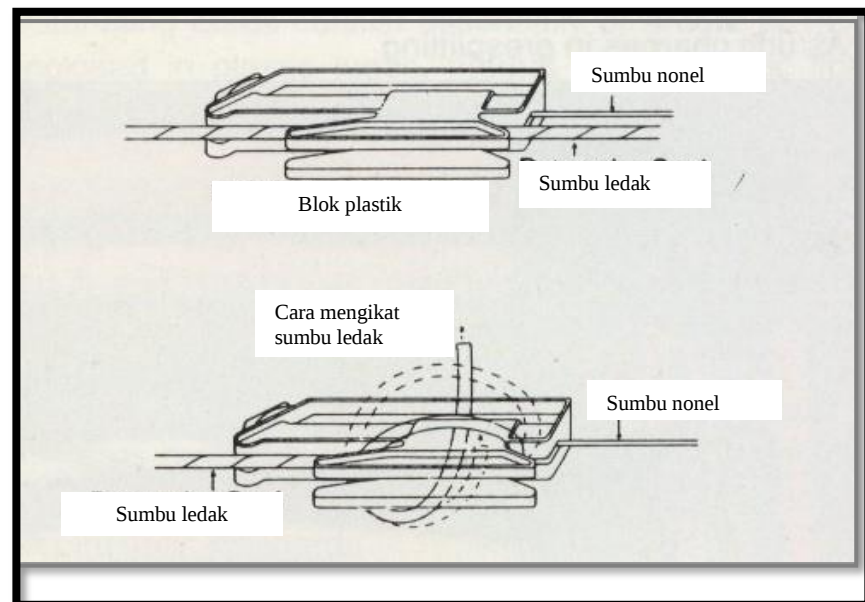
Gambar 55. Bagian Dalam DRC (Dyno Nobel, 2001)

b) MS-Connector

MS-connector merupakan alat penyambung sumbu ledak dengan waktu tunda sangat pendek. Alat ini cocok digunakan sebagai penyambung sumbu ledak *trunkline* pada tambang terbuka, quarry dan pekerjaan teknik sipil. *MS- Connector* dilengkapi dengan dua blok plastik berwarna dan berbentuk khusus agar sumbu ledak dapat diikat kuat pada blok tersebut (lihat gambar **Tabel 26** dan **Gambar 56**). Di dalam salah satu blok plastik terdapat detonator tunda. Warna blok plastik menunjukkan waktu tundanya seperti pada **Tabel 6**.

Tabel 26. Waktu Tunda Nominal *MS-Connector* Buatan ICI-Explosive

Waktu Tunda Nominal	Kode Warna	
9 ms	Hijau	
17 ms	Kuning	
25 ms	Merah	
35 ms	Hitam	
64 ms	Biru	
100 ms	Hitam	



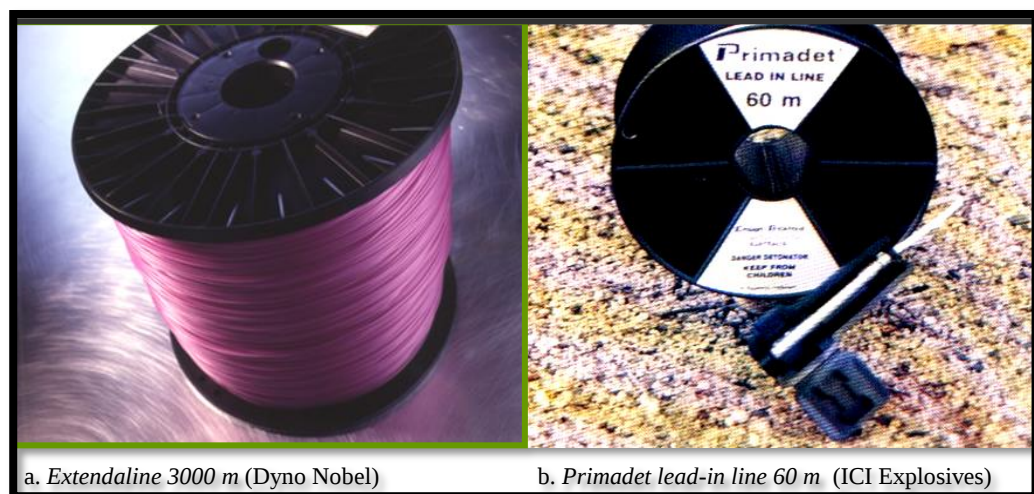
Gambar 56. Cara Mengikat Sumbu Ledak pada Blok *MS Connector*

Penghubung dua blok plastik menggunakan sumbu nonel yang panjangnya sekitar 1 m. Prinsip kerja *MS-Connector* adalah sebagai berikut (KJL, 2004):

- (1) Detonasi sumbu ledak datang dari arah kiri dan mengaktifasi sumbu nonel pada salah satu blok plastik.
- (2) Signal gelombang kejut dalam sumbu nonel akan meledakkan detonator pada blok plastik berikutnya setelah menunda beberapa millisekon sesuai dengan waktu tunda dalam detonator tersebut.
- (3) Setelah detonator terinisiasi, maka sumbu ledak berikutnya akan meledak.

4) **Lead-In Line** atau **Extendaline**

Lead-in line adalah alat penyambung yang dirancang untuk menghubungkan rangkaian sistem peledakan nonel dengan alat pemicu ledak. *ICI-Explosives* menamakannya *Primadet Lead-in Line*, sedangkan *Nitro Nobel* menyebutnya *Extendaline* atau sumbu nonel utama (Lihat **Gambar 57**).



Gambar 57. Lead-In Line atau Extendaline

Bentuk *lead-in line* sama dengan sumbu nonel dan berfungsi sebagai penginisiasi utama rangkaian peledakan. Salah satu ujung *lead-in line* dihubungkan ke pemicu ledak nonel (*shotgun*), sedangkan ujung lainnya dilengkapi dengan detonator nonel *instantaneous* yang terletak didalam blok plastik. Penyambung ini **dilarang** digunakan untuk menyambung antar lubang (*trunkline*) atau sebagai sumbu di dalam lubang (*downline*). Spesifikasi umum *lead-in line* atau *extendaline* adalah sebagai berikut (KJL, 2004):

- a) Sumbu : Sumbu nonel standar untuk permukaan
- b) Diameter sumbu : 3 mm (eksternal)

- c) Panjang sumbu : 100 m – 3000 m (dikemas dalam rol)
- d) Kecepatan detonasi : 2100 ± 300 m/s

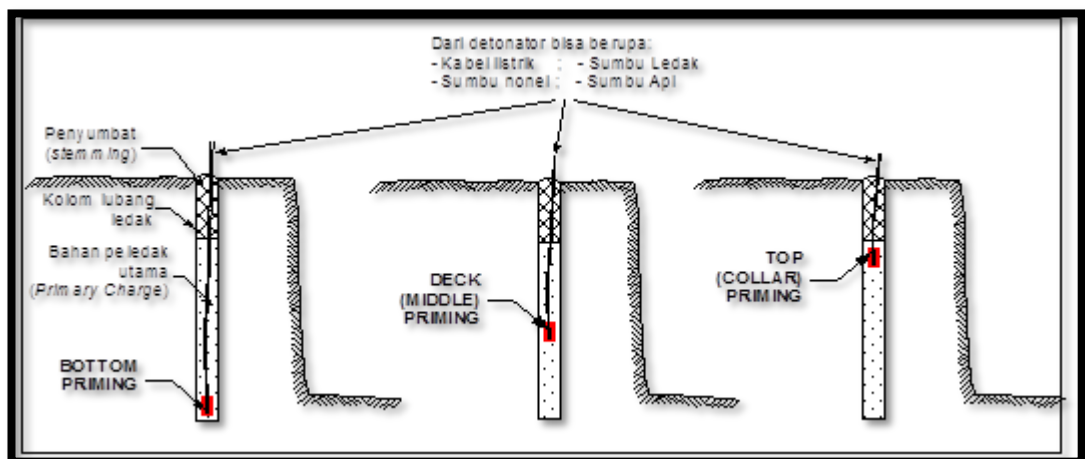
3. Primer dan Booster

a. Perbedaan Primer dan Booster

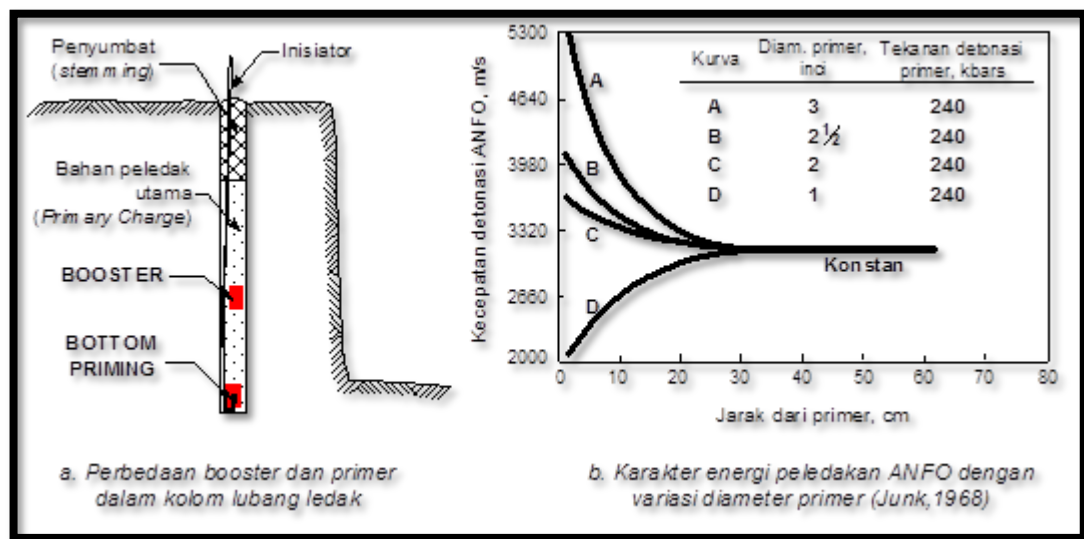
Primer adalah istilah yang diberikan pada bahan peledak peka detonator, yaitu bahan peledak berbentuk *cartridge* berupa pasta, yang sudah dipasang detonator yang diletakkan di dalam kolom lubang ledak. Proses peledakan di dalam kolom lubang ledak adalah: (1) Setelah alat pemicu ledak menginisiasi detonator, maka *cartridge* akan meledak. (2) meledaknya **cartridge** atau **primer** akan memberikan energi cukup kuat untuk menginisiasi bahan peledak utama disepanjang kolom lubang ledak.

Ada tiga titik untuk meletakkan primer di dalam kolom lubang ledak (lihat **Gambar 58**), yaitu: (1) bagian **dasar** bahan peledak dalam kolom lubang ledak, disebut *bottom priming*. (2) bagian **tengah** bahan peledak dalam kolom lubang ledak, disebut *deck* atau *middle priming* dan (3) bagian **atas** bahan peledak dalam kolom lubang ledak, disebut *top* atau *collar priming*.

Energi peledakan cenderung menurun seiring dengan semakin jauhnya jarak propagasi energi tersebut dengan titik lokasi primer (lihat **Gambar 59.b**). Untuk mempertahankan energi tetap pada kekuatan maksimum dapat ditambahkan booster di dalam kolom lubang ledak. Booster tersebut akan terinisiasi oleh ledakan bahan peledak utama yang melaluinya, sehingga bahan peledak utama yang belum terinisiasi di bagian atasnya akan meledak dengan kekuatan energi relatif sama dengan bahan peledak sekitar primer. Dengan demikian booster dapat didefinisikan sebagai bahan peka detonator yang dimasukkan ke dalam kolom lubang ledak berfungsi sebagai penguat energi ledak (**Gambar 59.a**).



Gambar 58. Posisi Primer di Dalam Kolom Lubang Ledak



Gambar 59. Perbedaan booster dan primer serta karakter energi ledak ANFO

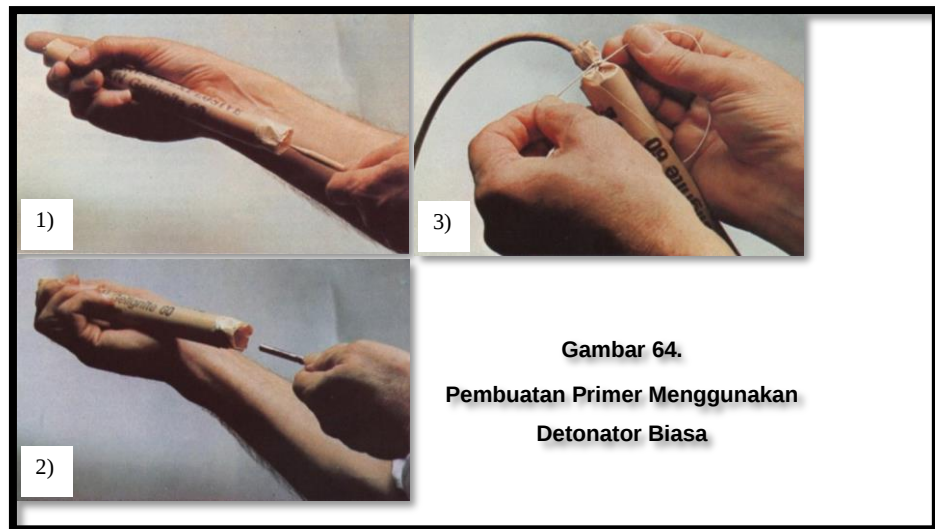
b. Pembuatan Primer

Pembuatan primer dilakukan dengan cara memasang detonator atau sumbu ledak ke dalam *cartridge* bahan peledak kuat atau bahan peledak peka detonator. Cara pembuatannya dilakukan manual atau sudah disiapkan dari pabrik pembuat bahan peledak. Detonator yang digunakan untuk membuat primer bisa detonator biasa, listrik atau nonel (KJL, 2004).

1) Pembuatan Primer Menggunakan Detonator Biasa

Detonator biasa yang dipakai adalah detonator yang telah dipasang sumbu api. Langkah-langkahnya adalah sebagai berikut (lihat **Gambar 60**) (KJL, 2004):

- Ambil *cartridge* bahan peledak kuat atau bahan peledak peka detonator dan buka pembungkus pada salah satu ujungnya, kemudian buatlah lubang kira-kira sedalam 6 cm di tengah-tengah *cartridge* yang telah dibuka pembungkusnya memakai penusuk kayu.
- Sisipkan detonator biasa yang sudah dilengkapi sumbu api ke dalam lubang sedemikian rupa sehingga detonator terbenam seluruhnya ke dalam *cartridge*
- Tutup kembali pembungkusnya seperti semula dan ikat dengan benang atau tali plastik.



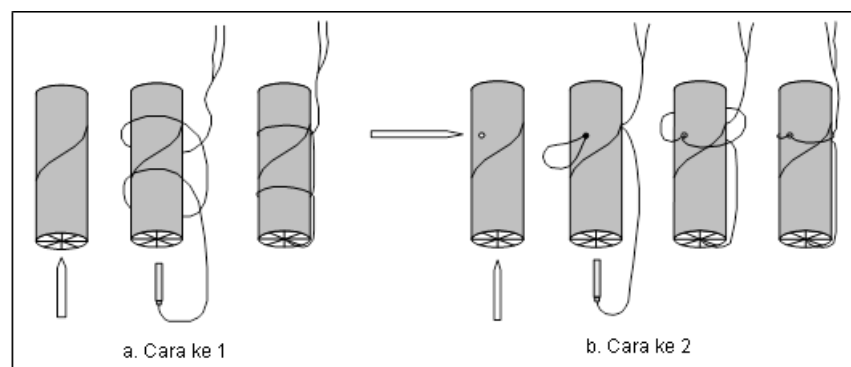
Gambar 64.
Pembuatan Primer Menggunakan
Detonator Biasa

Gambar 60. Pembuatan Primer Menggunakan Detonator Biasa

2) Pembuatan Primer Menggunakan Detonator Listrik

Ada dua cara yang disajikan untuk membuat primer dengan detonator listrik. Cara ke 1 dan ke 2 seperti terlihat pada **Gambar 61**. Langkah-langkah cara ke 1 adalah sebagai berikut (**Gambar 61.a**) (KJL, 2004):

- Ambil *cartridge* bahan peledak kuat atau bahan peledak peka detonator, kemudian buatlah lubang kira-kira sedalam 6 cm di tengah-tengah *cartridge* dengan atau tanpa dibuka pembungkusnya memakai penusuk kayu.
- Sisipkan detonator listrik ke dalam lubang sedemikian rupa sehingga detonator terbenam seluruhnya ke dalam *cartridge*.
- Lingkarkan *legwire* sekali atau dua kali ke sekitar *cartridge*, lalu kencangkan dan siap dimasukkan ke dalam lubang ledak.
- Kedua ujung kawat detonator yang mengarah ke atas harus digabungkan untuk menghindari pengaruh arus listrik liar atau listrik statis.



Gambar 61. Pembuatan Primer Menggunakan Detonator Listrik

Untuk cara ke 2, pada prinsipnya sama dengan cara ke 1, perbedaannya terletak pada lubang tembus yang dibuat pada bagian samping *cartridge*. Melalui lubang ini disisipkan *legwire*, kemudian dilingkarkan ke badan *cartridge* dan dikencangkan oleh bagian *legwire* yang menuju ke atas (lihat **Gambar 65.b**). Setelah kencang primer siap dimasukkan ke dalam lubang ledak dan jangan lupa menggabungkan kedua ujung *legwire* yang mengarah ke atas (KJL, 2004).

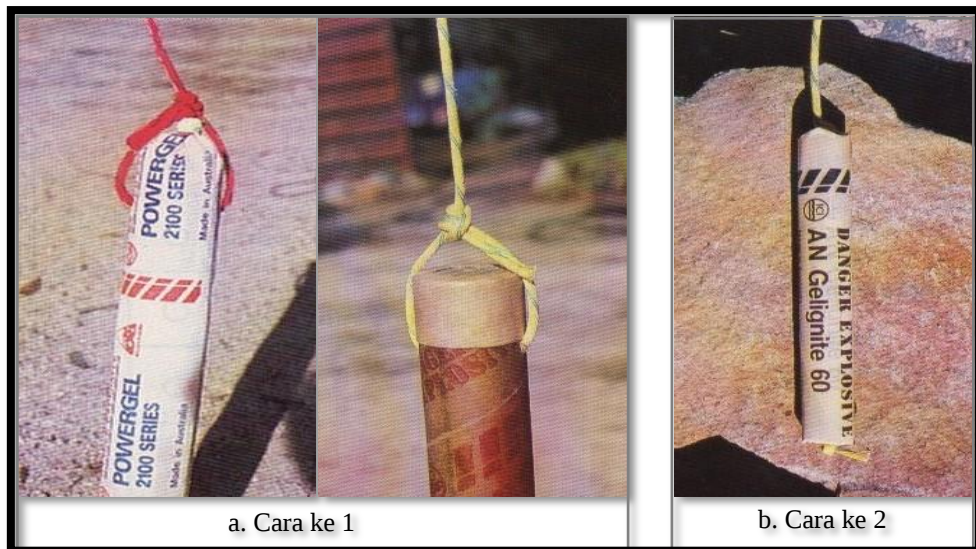
3) Pembuatan Primer Menggunakan Sumbu Ledak

Membuat primer dengan sumbu ledak **tidak** diperlukan detonator sama sekali karena sumbu ledak bermuatan bahan peledak kuat PETN. Sumbu ledak yang sering digunakan untuk keperluan peledakan pada penambangan bahan galian mengandung PETN 3,6 gr/m atau 5 gr/m. Terdapat dua cara yang umum digunakan untuk membuat primer dengan sumbu ledak, yaitu seperti terlihat pada **Gambar 62**. Cara ke 1 sebagai berikut (**Gambar 62.a**) (KJL, 2004):

- a) Ambil *cartridge* bahan peledak kuat atau bahan peledak peka detonator, kemudian buatlah lubang tembus di bagian samping *cartridge* memakai penusuk kayu
- b) Sisipkan sumbu ledak ke dalam lubang, kemudian ikatlah dengan cara pengikatan bunga cengkeh atau dapat pula diikat kuat menggunakan selotip dan siap dimasukkan ke dalam lubang ledak.

Cara ke 2 adalah sebagai berikut (**Gambar 62.b**) (KJL, 2004):

- a) Ambil *cartridge* bahan peledak kuat atau bahan peledak peka detonator, kemudian buatlah lubang tembus sepanjang badan *cartridge* dari atas ke bawah memakai penusuk kayu yang agak panjang.
- b) Sisipkan sumbu ledak ke dalam lubang, kemudian buatlah tali simpul di bagian bawah *cartridge* untuk menahan *cartridge* tidak jatuh. Primer siap dimasukkan ke dalam lubang ledak.

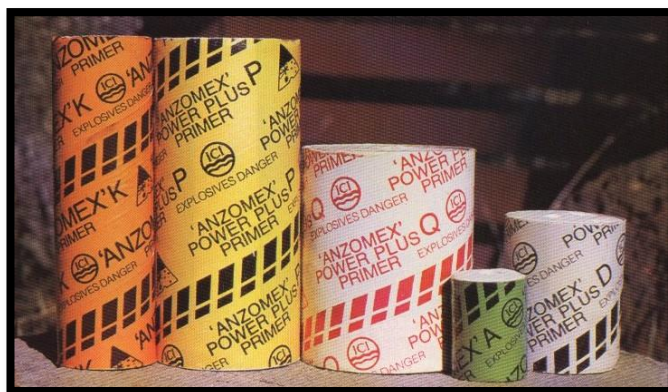


Gambar 62. Pembuatan Primer Menggunakan Sumbu Ledak

4) Primer Rancangan Pabrik

Pabrik pembuat bahan peledak ada pula yang merancang bahan peledak khusus untuk primer dengan merk dagang tertentu dengan bentuk sebagai berikut (KJL, 2004):

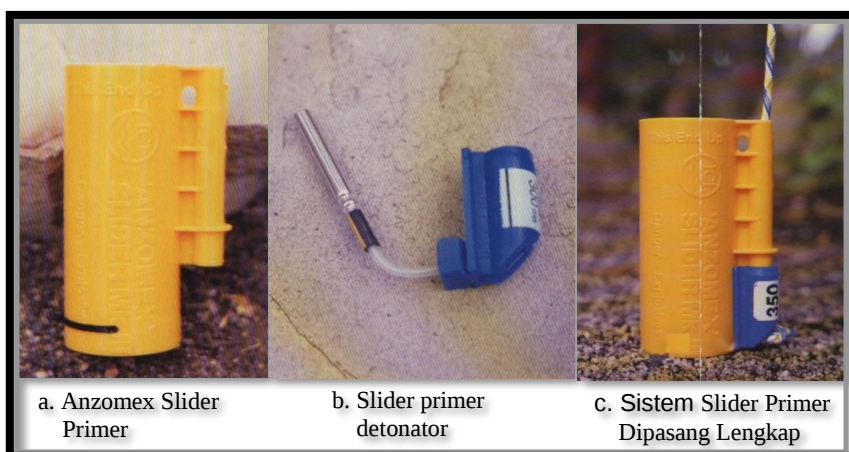
- 1) Berupa *cartridge* padat (*solid*), biasanya berwarna putih seperti *gypsum*, yang sudah disiapkan lubang untuk detonator atau sumbu ledak. Contoh:
 - a) *Anzomex primers* buatan ICI Explosive (**Gambar 63**) dengan spesifikasi seperti pada **Tabel 27**.
 - b) *HDP Boosters* atau *Cast Boosters* buatan Nitro Nobel
- 2) ICI Explosives memproduksi primer sistem *sliderdeck*, yaitu terdiri dari:
 - a) *Anzomex primer* yang berat 400 gr dibungkus plastik warna kuning berkekuatan tinggi yang dicetak lengkap dengan selongsong atau lubang untuk menyisipkan sumbu ledak (lihat **Gambar 64.a**).
 - b) *Slider Primer Detonator* merupakan detonator tunda nonel digabung dengan plastik warna biru dicetak khusus dan dilengkapi lubang untuk menyisipkan sumbu ledak (lihat **Gambar 64.b**).
 - c) Gabungan *Anzomex primer* dan *Slider Primer Detonator* adalah sistem *sliderdeck* yang lengkap (lihat **Gambar 64.c**).



Gambar 63. Seri Anzomex Primers Buatan ICI Explosive (1988)

Tabel 27. Spesifikasi Anzomex primers buatan ICI Explosive (1988)

Tipe	Diamt. nominal, mm	Panjang nominal, mm	Berat nominal, gr	Jumlah lubang	Jumlah per kotak	Warna	Efektif untuk diamt. lubang ledak, mm
ANZOMEX A	28	35	26	1	600	Hijau	32 - 65
ANZOMEX Power Plus D	44	55	120	2	175	Abu-abu	65 - 150
ANZOMEX K	35	118	175	2	136	Oranye	50 - 150 (peledakan tunda)
ANZOMEX Power Plus P	54	118	390	2	60	Kuning	150 - 380 (peledakan tunda)
ANZOMEX Power Plus Q	64	79	400	2	60	Putih	150 - 380



Gambar 64. Primer Sistem Sliderdeck dari ICI Explosives

4. Rangkuman

Untuk merencanakan sistem peledakan batuan pada daerah tambang, diperlukan alat yang disebut dengan detonator. Alat ini terdiri dari detonator biasa (*Plain Detonator*) dan detonator listrik (*Electric Detonator*) yang dibagi atas detonator listrik langsung (*Instantaneous Detonator*) dan detonator listrik tunda (*Delay Detonator*). Selain itu juga dikenal dengan detonator Nonel, komponen utamanya adalah: Sumbu Nonel, Detonator Nonel, Label Tunda, “J” Hook dan waktu tunda Detonator Nonel. Tipe dan jenis sumbu pada peledakan atau sumbu api (*Safety Fuse*), memiliki spesifikasi tentang kecepatan rambatan, cara pemasangan sumbu api pada detonator biasa dan cara penyulutan sumbu api. Sedangkan sumbu ledak (*Detonating Cord*), memiliki bagian - bagian dan tipe sumbu ledak tersendiri dan memiliki cara menyalakan sumbu ledak berbeda dengan yang electric. Tipe dan jenis penyambung pada peledakan, memiliki kawat penyambung pada peledakan listrik, yang terdiri dari penyambung sumbu api seperti: *Multiple Fuse Ignitor* (MFI), *Plastic Ignitor Cord* (PIC) dan penyambung *Bean-Hole*. Sedangkan penyambung sumbu ledak terdiri dari: *Detonating Relay Connectors* (DRC), *MS-Connector* dan *Lead-In Line* atau *Extendaline*.

C. Aktivitas Pembelajaran

Aktivitas pembelajaran yang dilakukan pada kegiatan pembelajaran mengenai peralatan peledakan ini adalah:

1. Mengamati

Mengamati prinsip-prinsip kerja dari peralatan peledakan.

2. Menanya

Mengkondisikan situasi belajar untuk membiasakan mengajukan pertanyaan secara aktif dan mandiri tentang perlengkapan peledakan yang mencakup detonator biasa, detonator electric dan detonator non-electrik.

3. Mengumpulkan data

Mengumpulkan data, mempertanyakan dan menentukan sumber (melalui benda konkret, dokumen, buku, eksperimen) untuk menjawab pertanyaan yang diajukan tentang proses peledakan batuan dasar untuk proses penambangan.

4. Mengasosiasi/ Mengolah Informasi

Mengkategorikan data dan menentukan hubungannya, selanjutnya disimpulkan dengan urutan dari yang paling sederhana sampai pada yang lebih kompleks tentang mekanisme penentuan bahan peledak, peralatan peledak, pemboran lubang ledak, dan fragmentasi batuan hasilpeledakan.

5. Mengkomunikasikan

Menyampaikan hasil konseptualisasi tentang pemecahan batuan hasil peledakan.

D. Umpan Balik dan Tindak Lanjut

Untuk mendapatkan umpan balik setelah mempelajari modul pembelajaran 4 ini, guru-guru diminta untuk mengisi rubrik umpan balik ini dan memberikan masukan yang konstruktif yang disediakan pada **Tabel 28**.

Tabel 28. Rubrik Umpan Balik Isi Modul Pembelajaran 4

No	Pokok Bahasan	Ranah pengetahuan	Jawaban Guru dan Tindak Lanjut
1.	Detonator	Jelaskan apa yang sudah diketahui tentang Detonator (C2)	
		Bisakah saudara membandingkan antara detonator Listrik dengan Detonator Non-listrik?(C5)	
2	Detonator Nonel	Jelaskan Komponen Utama dalam satu set detonator Nonel (C2)	
		Bisakah saudara menentukan Tipe dan Jenis Sumbu pada Peledakan (P5)	
3	Sumbu dan Penyambung pada Peledakan	Bisakah saudara mengoperasikan pemasangan sumbu api pada detonator Biasa (P5)	

E. Latihan/Kasus/Tugas

SOAL ESSEY:

1. Gambarkan detonator biasa lengkap dengan bagian-bagiannya?
2. Jelaskan keuntungan memakai detonator listrik dibandingkan detonator biasa?
3. Sebutkan beberapa fungsi pembungkus pada sumbu api?
4. Bagaimana cara pemotongan sumbu api harus benar, agar rambatan api berjalan lancar?
5. Apa perbedaan primer dan booster menurut fungsinya?

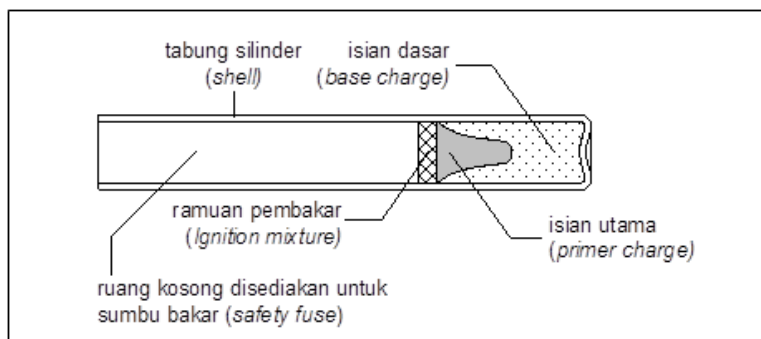
SOAL PILIHAN GANDA

6. Berapakah ukuran tabung pada detonator biasa ?
 - A. Diameter 5,40 mm dan panjang 32 mm
 - B. Diameter 6 mm dan panjang 40 mm
 - C. Diameter 6,40 mm dan panjang 42 mm

- D. Diameter 7,30 mm dan panjang 50 mm
7. Berapakah kekuatan arus minimal yang harus dihantarkan untuk meledakkan detonator?
- 1 – 1,5 ampera
 - 3 - 4 ampera
 - 0,5 - 1 ampera
 - 0.8 ampera
8. Apakah nama penutup bagian ujung sumbu nonel?
- Plastik Nylon
 - Ultrasonic Seal*
 - HMX*
 - Octahydrotetranitrotetrazine
9. Apa warna *leg wire* untuk delay nominal waktu tunda 250 ms pada tambang batubara?
- Red
 - Blue
 - Green
 - Orange
5. Apakah bagian inti dari sumbu api yang berfungsi sebagai bahan peledak?
- TNT
 - Emulsi
 - Blackpowder*
 - Detonator

F. Kunci Jawaban

1. Kunci Jawan No. 1:



2. Kunci Jawan No. 2:

Keuntungan pemakaian detonator listrik dibanding detonator biasa adalah:

- a. Jumlah lubang yang dapat diledakkan sekaligus relatif lebih banyak.
- b. Dengan adanya elemen tunda dalam detonator, pola peledakan menjadi lebih bervariasi dan arah serta fragmentasi peledakan dapat diatur dan diperbaiki.
- c. Penanganan lebih mudah dan praktis.

3. Kunci Jawan No. 3:

- a. Menjaga *blackpowder* dari air, minyak, atau zat lain yang dapat mem-pengaruhi laju pembakarannya,
- b. Menjaga sumbu dari kerusakan mekanis agar tetap dapat mempertahankan fleksibilitasnya,
- c. Untuk menjaga energi tidak berubah akibat pengaruh dari luar sumbu hingga api sampai ke bahan peledak dalam detonator.

4. Kunci Jawan No. 4:

Cara pemotongan sumbu api harus benar, yaitu pada salah satu ujung dipotong miring dan ujung yang lainnya tegak lurus. Ujung yang dipotong tegak lurus masuk ke dalam detonator dan diusahakan *blackpowder* bersentuhan dengan ramuan pembakar agar transfer rambatan api berjalan baik.

5. Kunci Jawan No. 5:

Primer diletakkan di dalam kolom lubang ledak berfungsi untuk menginisiasi bahan peledak utama disepanjang kolom lubang ledak. Sedangkan booster berfungsi sebagai penguat energi ledak yang posisinya berada di atas primer.

6. Kunci Jawan No. 6:

Jawaban : C

7. Kunci Jawan No. 7:

Jawaban : A

8. Kunci Jawan No. 8:

Jawaban : B

9. Kunci Jawan No. 9:

Jawaban : D

10. Kunci Jawan No. 10:

Jawaban : C

VI. KEGIATAN PEMBELAJARAN 5

A. Tujuan Pembelajaran

Modul pembelajaran 5 ini disusun berdasarkan kompetensi profesional yang menyangkut proses: Pemboran lubang ledak, Faktor-raktor yang mempengaruhi kinerja pemboran, Pola pemboran pada lubang terbuka dan peralatan pemboran. Oleh karena itu penulisan pembelajaran 5 ini bertujuan untuk:

1. Memberikan pengetahuan tentang pemboran lubang ledak
2. Memberikan pengetahuan tentang faktor-faktor apa saja yang mempengaruhi kinerja pemboran.
3. Memberikan pengetahuan tentang pola pemboran pada tambang terbuka.
4. Memberikan pengetahuan tentang peralatan-peralatan yang digunakan dalam pemboran.

B. Uraian Materi

1. Pemboran Lubang Ledak

Pemboran merupakan kegiatan awal yang dilakukan dalam operasi peledakan batuan. Kegiatan ini bertujuan untuk membuat sejumlah lubang ledak yang akan diisi dengan sejumlah bahan peledak untuk diledakkan. Selain itu, tujuan pemboran adalah untuk meletakkan bahan peledak pada posisi yang sudah direncanakan berdasarkan geometri pemboran dan peledakan (Koesnaryo, 2001).

Kegiatan pemboran untuk lubang ledak pada saat ini umumnya dilakukan dengan mesin sistem mekanik (perkusif, rotari, dan rotari-perkusif) dengan berbagai ukuran dan kemampuan, tergantung pada kapasitas produksi yang diinginkan berdasarkan pada pertimbangan teknik dan ekonomi. Sistem pemboran secara mekanik lebih *applicable* dari pada sistem pemboran yang lain (Koesnaryo, 2001).

2. Faktor yang Mempengaruhi Kinerja Pemboran

Kinerja sebuah mesin bor dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti: sifat batuan yang dibor, *rock drillability*, geometri pemboran, umur dan kondisi mesin bor, dan ketrampilan operator (Koesnaryo, 2001).

a. Sifat Batuan

Sifat batuan berpengaruh pada penetrasi pemboran meliputi: kekerasan, kekuatan, elastisitas, plastisitas, abrasivitas, tekstur, struktur, dan karakteristik pembongkaran.

1) Kekerasan Batuan

Kekerasan batuan adalah daya tahan permukaan batuan terhadap goresan. Batuan keras akan memerlukan energy yang besar untuk

menghancurkannya. Pada umumnya batuan keras mempunyai kekuatan yang besar pula (lihat **Tabel 29**). Kekerasan batuan diklasifikasikan dengan skala Fredrich Van Mohs (1882) dalam (Koesnaryo, 2001).

Tabel 29. Kekerasan Batuan dan Kekuatan Batuan Fredrich Van Mohs (1882)

Klasifikasi	Skala Mohs	Kuat Tekan Batuan (MPa)
Sangat Keras	+ 7	+ 200
Keras	6 – 7	120 - 200
Kekerasan Sedang	4.5 – 6	60 - 120
Cukup Lunak	3 – 4.5	30 - 60
Lunak	2 - 3	10 - 30
Sangat Lunak	1 - 2	- 10

2) Kekuatan (*Strength*)

Kekuatan mekanik sebuah batuan merupakan daya tahan batuan terhadap gaya dari luar, baik bersifat statik maupun dinamik. Kekuatan batuan dipengaruhi oleh komposisi mineralnya. Batuan yang kuat memerlukan energi yang besar untuk menghancurkannya.

3) Bobot Isi/Berat Jenis

Bobot isi (*density*) batuan merupakan berat batuan per satuan volume. Batuan dengan bobot isi yang besar, memerlukan energy yang besar pula untuk membongkarnya.

4) Kecepatan Rambat Gelombang Seismik

Batuan masif mempunyai kecepatan rambat gelombang yang besar. Umumnya batuan yang mempunyai kecepatan rambat gelombang besar akan mempunyai bobot isi dan kekuatan yang besar pula, sehingga sangat mempengaruhi proses pemboran.

5) Abrasivitas

Abrasivitas adalah sifat batuan yang dapat digores oleh batuan lain yang lebih keras. Sifat ini dipengaruhi oleh kekerasan butiran batuan, bentuk butir, ukuran butir, porositas batuan dan sifat heterogenitas batuan.

6) Tekstur

Tekstur batuan dipengaruhi oleh struktur butiran mineral yang menyusun batuan tersebut. Ukuran butir mempunyai pengaruh yang sama dengan bentuk batuan, porositas batuan dan sifat-sifat batuan lainnya. Semua aspek ini berpengaruh dalam keberhasilan operasi pemboran.

7) Elastisitas

Sifat elastisitas batuan dinyatakan dengan modulus elastisitas atau Modulus Young (E). Modulus elastisitas batuan bergantung pada komposisi mineral dan porositasnya. Umumnya batuan dengan elastisitas tinggi memerlukan energi yang besar untuk menghancurkannya.

8) Plastisitas

Plastisitas batuan merupakan perilaku batuan yang menyebabkan deformasi permanen setelah tegangan dikembalikan ke kondisi awal, dimana batuan tersebut belum hancur. Sifat ini sangat dipengaruhi oleh komposisi mineral penyusunya, terutama kuarsa. Batuan yang plastisitasnya tinggi memerlukan energi yang besar untuk menghancurkannya.

Tabel 30. Sifat Fisik Dan Mekanik dari Batuan Sedimen

Batuan Sedimen	Modulus Elastisitas $10^4 \times (\text{MPa})$	Nisbah Poisson	Porositas
Dolomit	1,96 – 8,24	0,08 – 0,2	0,27 – 4,10
Limestone	0,98 – 7,85	0,1 – 0,2	0,27 – 4,10
Sandstone	0,49 – 8,43	0,066 – 0,125	1,62 – 26,40
Shale	0,8 – 3,0	0,11 – 0,54	20,0 – 50,0

9) Struktur Geologi

Struktur geologi seperti sesar, kekar dan bidang perlapisan akan berpengaruh terhadap peledakan batuan. Adanya rekahan dan rongga di dalam massa batuan akan menyebabkan terganggunya perambatan gelombang energy akibat peledakan. Namun adanya rekahan-rekahan tersebut juga sangat menguntungkan untuk mengetahui bidang lemahnya, sehingga pemboran akan dilakukan berlawanan arah dengan bidang lemahnya.

b. Drilabilitas Batuan (*Drillability of Rock*)

Drilabilitas batuan adalah kecepatan penetrasi rata-rata mata bor terhadap batuan. Nilai drilabilitas diperoleh dari hasil pengujian terhadap *toughness* berbagai tipe batuan oleh Sievers dan Furby. Hasil pengujian mereka memperlihatkan kesamaan nilai *penetration speed* dan *net penetration rate* untuk tipe batuan yang sejenis.

c. Umur dan Kondisi Mesin Bor

Kemampuan mesin bor akan menurun sejalan dengan pertambahan umur mesin dan jam kerjanya. Sehingga sangat berpengaruh pada kemampuan dan kecepatan pemboran. Umur mata bor dan stang bor ditentukan oleh kedalaman yang dicapai dalam melakukan pemboran. Untuk menilai kondisi alat bor dapat dilakukan dengan mengetahui empat tingkat ketersediaan alat, yaitu:

1) Ketersediaan Mekanik (*Mechanical Availability, MA*)

Ketersediaan mekanik adalah suatu cara untuk mengetahui kondisi mekanik yang sesungguhnya dari alat yang digunakan. Ketersediaan mekanik (MA) dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$MA = W \times R \times 100\%$$

Dimana: **W** adalah jumlah jam kerja alat dan **R** jumlah jam perbaikan.

2) Ketersediaan Fisik (*Physical Availability, PA*)

Ketersediaan fisik menunjukkan kesiapan alat untuk beroperasi dalam seluruh waktu kerja yang tersedia dan dapat dihitung dengan persamaan:

$$PA = S \times (W+R+S) \times 100\%$$

Dimana: **S** adalah jumlah jam siap atau jumlah jam alat yang tidak dipergunakan padahal alat tersebut siap beroperasi dan **(W+R+S)** adalah jumlah jam tersedia yaitu jumlah seluruh jam jalan atau jumlah jam kerja yang tersedia dimana alat dijadwalkan untuk beroperasi.

3) Penggunaan Efektif

Penggunaan efektif menunjukkan berapa persen waktu yang dipergunakan oleh alat untuk beroperasi pada saat alat tersebut dapat digunakan. Penggunaan efektif sebenarnya sama dengan pengertian efisiensi kerja. Persamaan yang digunakan adalah:

$$EU = MA \times PA \times 100\%$$

4) Pemakaian Ketersediaan (*Use of Availability, UA*)

Ketersediaan penggunaan menunjukkan berapa persen waktu yang dipergunakan oleh alat untuk beroperasi pada saat alat tersebut dapat digunakan. Penggunaan efektif EU sebenarnya sama dengan pengertian efisiensi kerja. Persamaan yang digunakan adalah:

$$UA = MA \times PA \times 100\%$$

Penilaian Ketersediaan alat bor dilakukan untuk mengetahui kondisi dan kemampuan alat bor untuk menyediakan lubang ledak. Ketersediaan alat

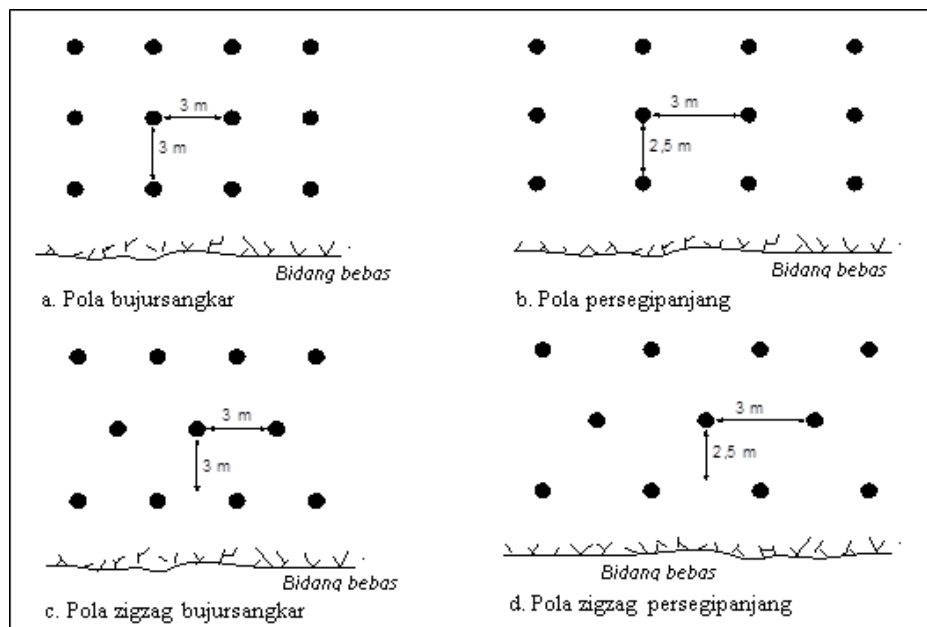
dikatakan sangat baik jika nilainya $\geq 90\%$, dikatakan sedang jika nilainya berkisar antara 70%-80%, dikatakan buruk (kecil) jika nilainya $\leq 70\%$ (Koesnaryo, 2001).

3. Pola Pemboran pada Tambang Terbuka

Pada tambang terbuka selalu dibuat minimal dua bidang bebas, yaitu: (1) dinding bidang bebas dan (2) puncak jenjang (*top bench*). Selanjutnya terdapat tiga pola pengeboran yang mungkin dibuat secara teratur, yaitu (KJL, 2004):

- Pola bujursangkar (*square pattern*), yaitu jarak burden dan spasi sama
- Pola persegi panjang (*rectangular pattern*), yaitu jarak spasi dalam satu baris lebih besar dibanding burden.
- Pola zig-zag (*staggered pattern*), yaitu antar lubang bor dibuat zig-zag yang berasal dari pola bujursangkar maupun persegi panjang.

Sketsa pola pemboran pada tambang terbuka dapat dilihat pada Gambar 65.



Gambar 65. Sketsa Pola Pemboran pada Tambang Terbuka (KJL, 2004)

4. Dasar Pemilihan Alat Bor

a. Diameter Lubang Ledak

Pemilihan diameter lubang ledak dipengaruhi oleh besarnya laju produksi yang direncanakan. Makin besar diameter lubang akan diperoleh laju produksi yang besar pula dengan persyaratan alat bor dan kondisi batuan yang sama. Faktor yang membatasi diameter lubang ledak adalah (KJL, 2004):

- 1) Ukuran fragmentasi hasil peledakan.

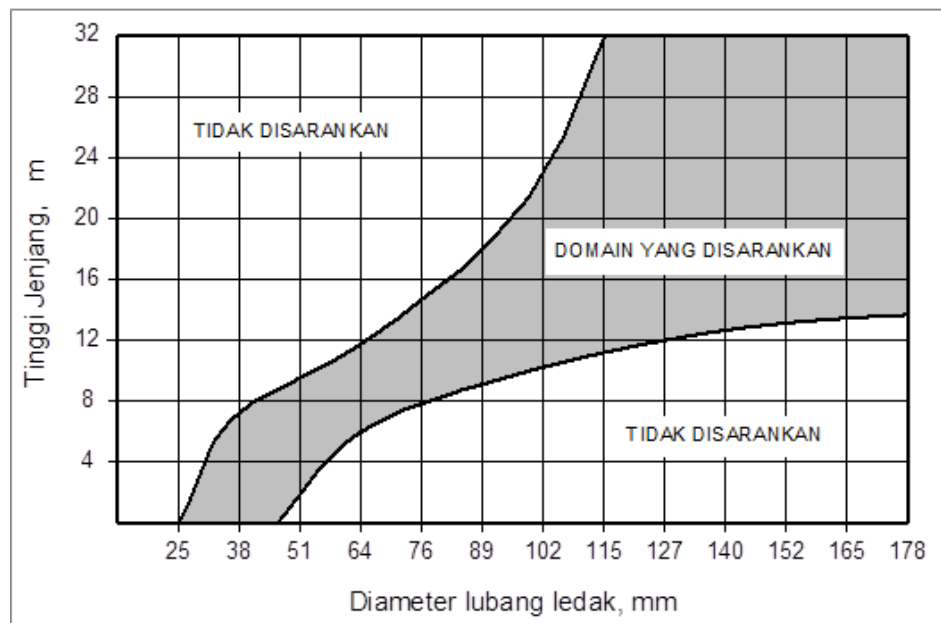
- 2) Isian bahan peledak utama harus dikurangi atau lebih kecil dari perhitungan teknis karena pertimbangan vibrasi bumi atau ekonomi.
- 3) Keperluan penggalian batuan secara selektif.

Pada kondisi batuan solid, ukuran fragmentasi batuan cenderung meningkat apabila perbandingan kedalaman lubang ledak dan diameter kurang dari 60. Oleh sebab itu, upayakan hasil perbandingan tersebut melebihi 60 atau $\frac{L}{d} \geq 60$.

Misalnya digunakan diameter lubang 4 inci, maka: $\frac{L}{4} \geq 60$ dimana $L \geq (60 \times 4) = 240$ inci atau 6 m. Jadi kedalaman lubang ledak seharusnya dibuat di atas 6 m.

b. Tinggi Jenjang

Tinggi jenjang berhubungan erat dengan parameter geometri peledakan. Tinggi jenjang maksimum biasanya dipengaruhi oleh kemampuan alat bor dan ukuran *bucket* serta tinggi jangkauan alat muat (KJL, 2004). Tinggi jenjang pada peledakan di quarry dan tambang terbuka berkisar antara 10 – 15 m dengan mempertimbangkan kestabilan jenjang. Dengan demikian, jenjang yang pendek memerlukan diameter lubang yang kecil, sementara untuk diameter lubang besar dapat diterapkan pada jenjang yang lebih tinggi. Hubungan antara diameter lubang ledak dengan tinggi jenjang dapat dilihat pada **Gambar 66**.



Gambar 66. Hubungan Variasi Diameter Lubang Ledak dengan Tinggi Jenjang (Naapuri, 1988)

c. Fragmentasi

Fragmentasi adalah istilah umum untuk menyatakan ukuran bongkah batuan hasil peledakan. Untuk tujuan tertentu ukuran fragmentasi yang besar seperti *boulder* sangat diperlukan untuk *barrier* ditepi jalan tambang. Tetapi, kebanyakan diinginkan ukuran fragmentasi yang kecil karena penanganan selanjutnya akan lebih mudah.

Beberapa ketentuan umum tentang hubungan fragmentasi dengan lubang ledak adalah: Ukuran lubang ledak yang besar akan menghasilkan bongkahan fragmentasi, oleh sebab itu harus dikurangi dengan menggunakan bahan peledak yang lebih kuat. Perlu diperhatikan bahwa dengan menambah bahan peledak akan menghasilkan lemparan yang jauh. Pada batuan dengan intensitas retakan tinggi dan jumlah bahan peledak sedikit dikombinasikan dengan jarak spasi pendek akan menghasilkan fragmentasi kecil. Penyimpangan dari ketentuan umum ukuran fragmentasi di atas dapat terjadi karena perbedaan yang spesifik dari kualitas batuan dan bahan peledak.

5. Peralatan Pemboran

Komponen dan peralatan pemboran yang diperlukan untuk kegiatan pemboran lubang ledak adalah (Koesnaryo, 2001):

a. Mesin Bor

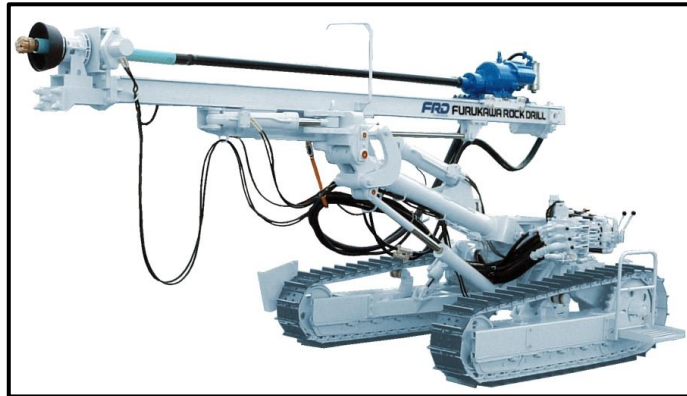
Beberapa hal penting yang harus dipertimbangkan dalam pemilihan mesin bor untuk pemboran lubang ledak adalah: Tipe/ model mesin bor; Diameter lubang; Sliding stroke; Berat mesin bor; Power unit; Kemampuan rotasi/ tumbuk per satuan waktu; Hoisting capacity (kapasitas) dan Dimensi (panjang x lebar x tinggi) (Koesnaryo, 2001). Pada pemboran mekanik ada 3 jenis mesin bor yang sering digunakan:

1) Mesin Bor Tumbuk (*Percussive Drilling Machine*)

Mesin bor tumbuk (*cable tool* atau *spudder rig*) dioperasikan dengan cara mengangkat dan menjatuhkan alat bor secara berulang-ulang ke dalam lubang bor. Mata bor akan memecahkan batuan terkosolidasi menjadi kepingan kecil. Kepingan tersebut bercampur dengan lumpur dan fragmen batuan dari dasar lubang bor.

Bila kecepatan laju pemboran sangat lambat, *slurry* diangkat ke permukaan dengan menggunakan *bailer* atau *sand pump*. Faktor-faktor yang mempengaruhi kecepatan laju pemboran pada pemboran tumbuk adalah: diantaranya adalah: Kekerasan lapisan batuan; diameter lubang bor; jenis mata bor; kecepatan dan jarak tumbuk dan beban pada alat bor (Koesnaryo,

2001). Berikut ini adalah bagian-bagian atau komponen peralatan dari bor tumbuk (lihat **Gambar 67**) (Koesnaryo, 2001):



Gambar 67. Furukawa-PCR2002 Rock Drill

a) Tenaga Penggerak

Tenaga penggerak biasanya berupa mesin dan listrik. Pada mesin penggerak terdapat *spindle*. Dengan perantaraan handel, kabel-kabel dapat diatur. Pada saat proses penumbukan, kabel akan digulung, pahat dengan sendirinya terangkat. Setelah cukup tinggi, handel rem dilepaskan dan pahat akan jatuh dan menumbuk batuan di bawahnya.

b) Menara

Menara bor tumbuk terdiri dari atas satu tiang (*single pole*) yang menjadi satu dengan kendaraannya. Untuk mendirikan dan merobohkannya cukup dengan handel saja. Pada waktu pemboran sebaiknya *swivel* dan meja putar dikesampingkan agar tidak terkena tumbukan.

c) Kabel

Kabel baja digulung pada klos-klos mesin penggerak. Dengan bantuan kerekan. Selanjutnya kabel dihubungkan dengan pahat. Diameter kabel biasanya 25 mm dan panjangnya 50 m atau lebih.

d) Pahat

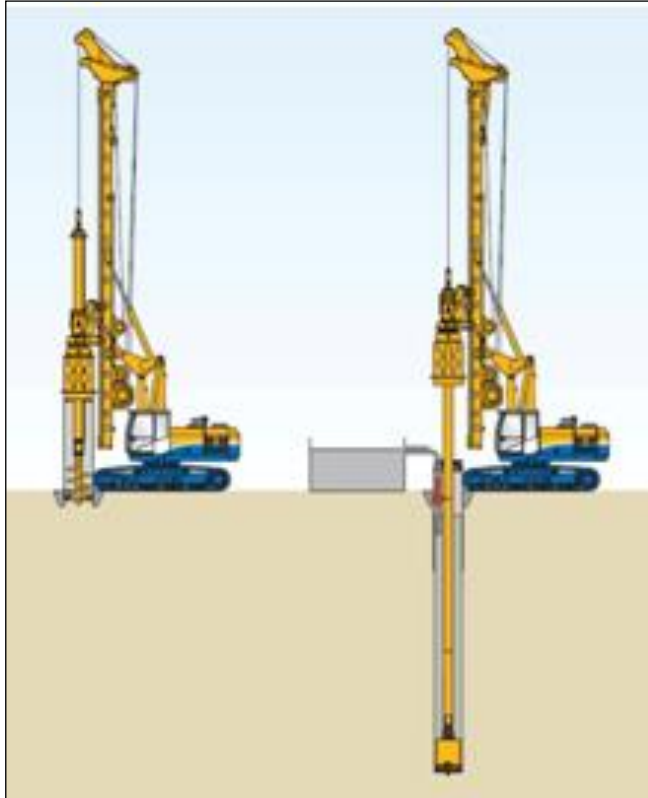
Pahat atau mata bor dipilih sesuai dengan kebutuhan. Model pahat bisa berbentuk barel atau dipilih sesuai dengan kebutuhan.

e) Pipa Pelindung (Casing)

Casing berfungsi untuk menjaga agar lubang bor yang telah terbentuk tidak runtuh dan untuk mencegah terjadinya aliran liar melalui bidang-bidang lemah. Selain itu juga berfungsi untuk mengatasi *sand loose* dan *swelling clay*.

2) Mesin Bor Putar (*Rotary Drilling Machine*)

Mesin bor putar adalah metode pemboran yang menggunakan sistem putar atau *rotary* yang disertai dengan pembebanan untuk melakukan penetrasi. Metode *rotary* terdiri dari 2 metode yaitu; system *tricone* dan *drag bit*, yang akan menghasilkan gerusan dan keluar berbentuk *cutting* (serbuk pemboran). Model mesinnya dapat dilihat pada **Gambar 68**.



Gambar 68. Simulasi Pemboran dengan Mesin Bor Putar

Secara umum prinsip kerja mesin bor putar dapat dijabarkan sebagai berikut (Koesnaryo, 2001):

- Lubang pada formasi dibuat berdasarkan gerakan putar dari pahat untuk menggerus batuan dan menembus dengan suatu rangkaian stang bor yang berlobang.
- Rangkaian pipa bor disambungkan pada mesin penggerak dengan berbagai macam alat transmisi, seperti *kelly*, *rotary table* dan *chuck*.
- Sumber penggeraknya adalah mesin bensin, diesel dan motor listrik.
- Lumpur bor dipompakan lewat pipa, keluar lewat pahar bor kembali lewat lobang bor di luar pipa (*casing*).
- Pompa digunakan sebagai penggerak/penekan lumpur boe.
- Pipa dan stang bor diatur dengan menggantungkannya pada suatu menara (*derrick*) dengan sistem katrol.

- g. Untuk memperdalam lubang bor, rangkaian pipa bor ditekan secara hidrolik atau mekanik maupun dengan bebannya sendiri.
- h. Contoh batuan hasil pemboran berbentuk serbuk (*drill-cuttings*) yang dibawa ke permukaan oleh lumpur bor.
- i. Untuk pengambilan inti (*core*) mata bor yang digunakan mempunyai lubang di tengahnya, sehingga batuan berbentuk cilinder masuk ke dalamnya dan ditangkap oleh *core barrel*.
- j. *Core barrel* diangkat ke permukaan dicabut dengan mengangkat seluruh rangkaian stang bor ke permukaan. Ketika seluruh *core barrel* terisi kemudian dengan tali kawat (*wireline*) melalui lubang pipa dengan kabel.
- k. *Casing* digunakan untuk menahan runtuhnya dinding lubang bor, dipasang pada kedalaman tertentu. Salah satu model bor utar dapat dilihat pada **Gambar 69**.



Gambar 69. Xuzhou Xugong XR150D Rock Drill

3) Mesin Bor Tumbuk - Putar (*Rotary – Percussive Drilling Machine*)

Rotary-percussive drilling adalah metode pemboran yang menggunakan kombinasi sistem tumbuk dengan sistem putar (*rotary*). Metode ini terbagi menjadi dua (Koesnaryo, 2001):

a) Top Hammer

Pada metode ini, aksi putaran dan tumbukan dihasilkan diluar lubang bor yang kemudian ditransmisikan melalui batang bor yang menuju mata bor. Contoh mesin bor *Top Hammer* Sandvik DI600, dapat dilihat pada **Gambar 70**.



Gambar 70. Sandvik ID600 Rock Drill

b) *Down The Hole Hammer*

Pada metode ini, aksi tumbukan dihasilkan di dalam lubang bor yang dialirkan langsung ke mata bor, sedangkan aksi putarannya dihasilkan di luar mata bor yang kemudian ditransmisikan melalui batang bor menuju mata bor. Contoh mesin bor *Down The Hole Hammer* Sandvik DP1500, dapat dilihat pada **Gambar 71**.



Gambar 71. Sandvik DP1500 Rock Drill

Kegiatan pemboran pada *rotary-percussive drilling* terbagi menjadi 4 bagian, yaitu:

a) *Percussion*

Energi pukulan dihasilkan dari *shock wave* yang menggerakkan piston secara berulang-ulang kemudian ditransmisikan dari *hammer* ke mata bor melalui batang bor.

b) Rotation

Gerakan mesin menghasilkan putaran mata bor diantara energi pukulan berulang-ulang. Gerakan ini mengakibatkan terjadinya tumbukan mata bor dengan batuan pada posisi yang berbeda-beda.

c) Feed or Thrust Load

Thrust Load adalah energi yang dihasilkan oleh *pull down* motor untuk menggerakkan hammer dan kemudian diteruskan ke mata bor sehingga terjadi kontak permanen dengan batuan. *Feed* adalah komponen dari *rotary-percussive rock drill* yang menggerakkan *pneumatic* maupun *hydraulic hammers* maju mundur.

d) Flushing

Flushing adalah semburan udara, air atau busa ke dalam lubang bor untuk mengeluarkan *cutting* dari dalam lubang bor serta bertujuan untuk membersihkan lubang bor.

b. Kompresor

Udara bertekanan tinggi yang dihasilkan oleh Kompresor merupakan sumber tenaga bagi alat bor, seperti *Jack Hammer* dan *Crawl Rock Drill* (CRD). Selain sebagai sumber tenaga untuk menggerakkan rangkaian alat bor, udara bertekanan tinggi tersebut juga berfungsi untuk membersihkan lubang bor, mengangkat cutting, dan mendinginkan mata bor (Koesnaryo, 2001).

Kapasitas kompresor dinyatakan dalam *Cubik Feet* per Menit (CFM), yaitu udara bebas yang dihisap dan ditekan oleh kompresor merupakan udara pada kondisi tekanan udara bebas atau atmosfer (1 ATM), yang berada pada batas permukaan air laut. Proses penekanan udara tersebut ada 2 macam (Koesnaryo, 2001):

- 1) Kompresi Adiabatik, yaitu proses penekanan udara dimana tekanannya tetap.
- 2) Kompresi Isotermik, yaitu proses penekanan udara dimana suhunya tetap.

Menurut tipenya kompresor dibagi menjadi 2 macam berdasarkan tekanan yang dihasilkan yaitu (Koesnaryo, 2001):

- 1) Perpindahan Dinamik (*Dynamic Displacement*), dimana peningkatan tekanan dicapai dengan cara akselerasi udara dengan suatu elemen rotasi dan aksi posterior dari sebuah *diffuser*. Kompresor sentrifugal dan aksial masuk dalam kelompok ini.

- 2) Perpindahan Positif (*Positive Displacement*), jenis ini yang dipakai untuk mesin bor, dimana tekanan tinggi diperoleh dengan cara menekan gas dalam ruang tertutup, mengurangi volume dengan gerakan satu atau beberapa elemen. Kompresor temper atau bolak-balik termasuk dalam kelompok ini. Jenis yang paling banyak dipakai untuk pemboran adalah kompresor piston (*resiprocating*), jika ia adalah *stasioner*, dan jenis sliding-vane atau *rotary screw (helical)* untuk model *portable*.

c. Stang Bor

Stang bor merupakan pipa yang terbuat dari baja, dimana bagian ujung-ujung pipa terdapat ulir yang berfungsi sebagai penghubung antara dua buah stang bor. Dalam kegiatan pemboran, stang bor berfungsi sebagai berikut (Koesnaryo, 2001): Mentransmisikan putaran, tekanan dan tumbuka yang dihasilkan oleh mesin bor menuju mata bor dan sebagai jalan keluar–masuknya fluida bor. Panjang stang bor yang umum digunakan dalam operasi pemboran adalah 10 ft (3 m) dan 30 ft (9 m), tetapi hal ini bisa berubah tergantung dengan tujuan dan efisiensi pemboran.

Adapun rangkaian stang bor yang digunakan dalam operasi pemboran tergantung pada mekanisme pemboran yang diterapkan, yaitu:(Koesnaryo, 2001):

1) Rangkaian Stang Bor pada Mesin Bor Putar

Stang bor yang dipakai pada pemboran mempunyai banyak ukuran, hal ini berkaitan dengan diameter luar, diameter dalam, jenis ulir dan sebagainya. Setiap pabrik biasanya memiliki klasifikasi yang berbeda.

2) Rangkaian Stang Bor pada Mesin Bor Tumbuk

Rangkaian stang bor pada mesin bor tumbuk terdiri dari:

- a) Mata bor pahat.
- b) *Drill stem*, sebagai pemberat dan pelurus lubang.
- c) *Drilling jars*, sepasang batang baja yang bertaut yang dimasukkan untuk melepaskan bit jika terjepit dengan sentakan ke atas.
- d) *Swivel socket*, adalah penghubung antara sling dan alat bor, diperlukan untuk meneruskan putaran kabel ke alat bor. Rangkaian peralatan pada bor tumbuk dapat dilihat pada **Gambar 72**.



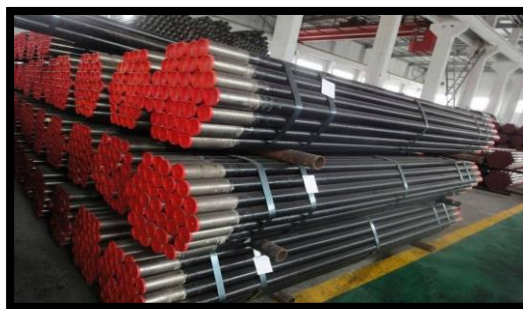
Gambar 72. Rangkaian Stang Bor pada Mesin Bor Tumbuk

d. Pipa Casing

Didalam operasi pemboran pipa casing berfungsi untuk menjaga lubang bor dari colaps (keruntuhan) dan peralatan pemboran lain dari gangguan–gangguan. Ada dua tipe untuk menghubungkan pipa casing, yaitu (Koesnaryo, 2001):

- 1) Tipe *Flash Joint*, dimana penghubungan antara pipa satu dengan pipa lainnya dilakukan secara langsung.
- 2) Tipe *Flash Coupled*, dimana penghubungan antara pipa menggunakan sebuah *coupling*.

Beberapa komponen yang terdapat dalam casing, diantaranya adalah *Casing Swivel*; *Casing Head*; *Casing Shoe*; *Casing Cutter* dan *Casing Band* (Koesnaryo, 2001). Di dalam praktikkum pemboran yang dilakukan, casing yang digunakan adalah *tipe flash joint*, dimana penghubungan antara pipa yang satu dengan yang lainnya dilakukan secara langsung. Untuk contoh pipa casing dapat dilihat pada **Gambar 73**.



Gambar 73. Pipa Casing

e. Mata Bor (Bit)

Mata bor merupakan salah satu komponen dalam pemboran yang digunakan khususnya sebagai alat pembuat lubang (*hole making tool*). Gaya yang bekerja pada bit agar bit dapat bekerja sesuai dengan yang diharapkan secara garis besar terbagi atas dua macam, yaitu gaya dorong dan gaya putar.

Faktor- faktor yang harus diperhatikan dalam pemilihan *bit* adalah (Koesnaryo, 2001): Ukuran dan bentuk mata bor; Ukuran gigi mata bor; Berat mata bor; Kekerasan matriks. Sedangkan jenis-jenis mata bor dapat dilihat di bawah ini:

- 1) Mata Bor Rotasi: Mata Bor Pisau, *Air Coring Bits* dan *Roller Bits*.
- 2) Mata Bor Tumbuk: *Cross Bit*, *Button Bit* dan *Chisel Bit*.
- 3) Mata Bor Auger: Tipe *Kelly* dan Tipe *Auger*.
- 4) Mata Bor pada Pengeboran Kabel: Mata Bor Tabung dan Mata Bor *Chisel*.
- 5) Mata Bor Intan: Mata Bor Formasi Lunak, *Surface Set Bits* dan *Impregnated Bits*

Gambar 74 menampilkan beberapa bentuk dan tipe mata bor.



Gambar 74. Mata Bor (Koesnaryo, 2001)

6. Rangkuman

Dalam melakukan pemboran lubang ledak untuk pemberaian batuan, harus memperhatikan beberapa faktor, diantaranya: Faktor sifat batuan, kekerasan batuan, kekuatan (*strength*), bobot isi/berat jenis, kecepatan rambat gelombang seismik, abrasivitas, tekstur, elastisitas, plastisitas dan struktur geologi. Drilabilitas batuan adalah kecepatan penetrasi rata-rata mata bor terhadap batuan. Nilai drilabilitas ini diperoleh dari hasil pengujian terhadap *toughness* berbagai tipe batuan oleh Sievers dan Furby. Hasil pengujian mereka memperlihatkan kesamaan nilai *penetration speed* dan *net penetration rate* untuk tipe batuan yang sejenis. Peralatan pemboran yang digunakan tergantung dari umur dan kondisi mesin bor. Oleh karena itu perludi pertimbangkan: Ketersediaan mekanik (*Mechanical Availability*, MA); ketersediaan fisik (*Physical Availability*, PA); penggunaan efektif, pemakaian ketersediaan (*Use of Availability*, UA). Hal resebut menjadi dasar dalam pemilihan

alat bor karena berkaitan dengan: Diameter lubang ledak, tinggi jenjang dan fragmentasi

C. Aktivitas Pembelajaran

Aktivitas pembelajaran yang dilaksanakan kegiatan pembelajaran mengenai peralatan pemboran lubang ledak ini adalah:

F. Mengamati

Mengamati prinsip-prinsip pemboran lubang ledak dan aspek-aspek yang berhubungan dengan proses pemboran.

G. Menanya

Mengkondisikan situasi belajar untuk membiasakan mengajukan pertanyaan secara aktif dan mandiri tentang faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja pemboran.

H. Mengumpulkan data

Mengumpulkan data untuk dipertanyakan dan menentukan sumber (melalui benda konkret, dokumen, buku, eksperimen) untuk menjawab pertanyaan yang diajukan tentang pola pemboran pada tambang terbuka.

I. Mengasosiasi/ Mengolah Informasi

Mengkategorikan data dan menentukan hubungannya, selanjutnya disimpulkan dengan urutan dari yang paling sederhana sampai pada yang lebih kompleks tentang rencana pemboran pada tambang terbuka termasuk pemilihan peralatan pemboran yang tepat.

J. Mengkomunikasikan

Menyampaikan hasil konseptualisasi tentang proses pemboran, peralatan pemboran, dan spesifikasi pemboran.

D. Umpan Balik dan Tindak Lanjut

Untuk mendapatkan umpan balik setelah mempelajari modul pembelajaran 5 ini, guru-guru diminta untuk mengisi rubrik umpan balik ini dan memberikan masukan yang konstruktif yang disediakan pada **Tabel 31**.

Tabel 31. Rubrik Umpan Balik Isi Modul Pembelajaran 5

No	Pokok Bahasan	Pertanyaan Umpan Balik	Jawaban Guru dan Tindak Lanjut
1	Pemboran lubang ledak dan faktor-faktor yang mempengaruhinya	Apakah saudara bisa Mengimplementasikan kaidah pemboran lubang ledak di lapangan? (C3)	
		C2 Jelaskan faktor-faktor apa saja	

		yang mempengaruhi kinerja pemboran (C2)	
2	Pola pemboran lubang ledak pada tambang terbuka	Buatlah rancangan atau desain pola pemboran lubang ledak (P5)	
3	Fragmentasi	Jelaskan apa yang dimaksud dengan fragmentasi, dan apa pengaruh pola pemboran lubang ledak dengan fragmentasi (C3).	

E. Latihan

SOAL ESSEY:

1. Sebutkan sifat-sifat batuan yang berpengaruh pada penetrasi dan sebagai konsekuensi pada pemilihan metode pemboran?
2. Bagaimana kriteria penilaian ketersediaan alat bor untuk mengetahui kondisi dan kemampuan alat bor untuk menyediakan lubang ledak?
3. Jelaskan ketentuan umum mengenai hubungan fragmentasi hasil ledakan dengan lubang ledak?
4. Jelaskan perbedaan metoda *Top Hammer* dengan *Down The Hole Hammer* ?
5. Apakah fungsi stang bor kegiatan pemboran lubang ledak?

SOAL PILIHAN GANDA

6. Berapa kuat tekan batuan untuk kekuatan batuan yang dikategorikan “keras”?
 A. 60 – 120 Mpa
 B. 120 – 200 MPa
 C. > 200 Mpa
 D. 100 – 120 MPa
7. Berapakah kedalaman lubang ledak untuk diameter lubang ledak 5 inci?
 A. 7 m
 B. > 6.8 m
 C. 7.5m
 D. >7,62 m
8. Apa yang terjadi apabila ditambahkan volume *slurry* dengan jumlah tertentu sejalan dengan kemajuan pemboran tumbuk?
 A. Mengurangi daya tumbuk bor
 B. Manambah kecepatan pemboran
 C. Manambah daya tumbuk bor
 D. Memambah PA (*Physical Availability*)
9. Apakah nama alat pada kompresor yang berfungsi melumasi mesin bor dimana oli ditambahkan ke dalam udara bertekanan?
 A. Flexible Hose
 B. Vacuum Filters
 C. Lubrikator
 C. Water Separator
10. Pada pemboran sistem putar, apa nama metode yang hasil penetrasinya berupa potongan (*cutting*)?
 A. *Hammer*
 B. *Drag bit*
 C. *Tricone bit*
 D. *Monocone bit*

D. Kunci Jawaban

1. Jawaban Soal No. 1

Kekuatan batuan, kekerasan, bobot isi, kecepatan gelombang seismik, elastisitas, plastisitas, abrasivitas, tekstur, struktur, dan karakteristik pembongkaran.

2. Jawaban Soal No. 2

- a. Ketersediaan alat (UA) dikatakan sangat baik jika persen UA $\geq 90\%$,
- b. Ketersediaan alat (UA) dikatakan sedang jika persen UA berkisar antara 70%-80%.
- c. Ketersediaan alat (UA) dikatakan buruk (kecil) jika persen UA $\leq 70\%$.

3. Jawaban Soal No. 3

- a. Ukuran lubang ledak yang besar akan menghasilkan bongkahan fragmentasi, oleh sebab itu harus dikurangi dengan menggunakan bahan peledak yang lebih kuat
- b. Perlu diperhatikan bahwa dengan menambah bahan peledak akan menghasilkan lemparan yang jauh
- c. Pada batuan dengan intensitas retakan tinggi dan jumlah bahan peledak sedikit dikombinasikan dengan jarak spasi pendek akan menghasilkan fragmentasi kecil.

4. Jawaban Soal No. 4

Pada metoda *Top Hammer*, aksi putaran dan tumbukan dihasilkan diluar lubang bor yang kemudian ditransmisikan melalui batang bor yang menuju mata bor. Sedangkan pada metoda *Down The Hole Hammer* aksi tumbukan dihasilkan didalam lubang bor yang dialirkan langsung ke mata bor, sedangkan aksi putarannya dihasilkan diluar mata bor yang kemudian ditransmisikan melalui batang bor menuju mata bor.

5. Jawaban Soal No. 5

Dalam kegiatan pemboran, batang bor berfungsi sebagai Menstranmisikan putaran, tekanan, dan tumbukan yang dihasilkan oleh mesin bor menuju mata bor. Jalan keluar – masuknya fluida bor.

6. Jawaban Soal No. 6

Jawaban : B

7. Jawaban Soal No. 7

Jawaban : D

8. Jawaban Soal No. 8

Jawaban : A

9. Jawaban Soal No. 9

Jawaban: C

10. Jawaban Soal No. 10

Jawaban : B

VII. KEGIATAN PEMBELAJARAN 6

A. Tujuan

Modul pembelajaran 6 ini disusun berdasarkan kompetensi profesional yang menyangkut pengetahuan tentang: Penyusunan lay out peta geologi serta komponen-komponen yang berhubungan dengan peta geologi. Oleh karena itu penulisan pembelajaran 6 ini bertujuan untuk:

1. Memberikan pengetahuan tentang definisi peta geologi, jenis-jenis peta geologi dan peranan peta geologi dalam bidang pertambangan.
2. Memberikan pengetahuan tentang makna stratigrafi dalam peta geologi.
3. Memberikan pengetahuan cara membuat penampang geologi.
4. Persyaratan teknis kelengkapan peta geologi.

B. Uraian Materi

1. Peta Geologi

a. Definisi Peta Geologi

Peta geologi adalah bentuk ungkapan data dan informasi geologi suatu daerah atau wilayah atau sebuah kawasan dengan tingkat kualitas berdasarkan skala. Peta geologi menggambarkan informasi sebaran batuan, jenis batuan, sifat batuan, umur batuan, stratigrafi, struktur, tektonik, fisiografi dan sumberdaya mineral serta energi. Peta geologi disajikan berupa gambar dengan warna, simbol dan corak atau gabungan ketiganya. Penjelasan berisi informasi, misalnya situasi daerah, tafsiran dan rekaan geologi, dapat diterangkan dalam bentuk keterangan pinggir atau legenda peta (BSN, 1998).

b. Jenis Peta Geologi

Berdasarkan data yang disajikan, peta geologi dapat dibedakan atas peta geologi sistematik dan peta geologi tematik (BSN, 1998).

1) Peta Geologi Sistematik

Peta geologi sistematik adalah peta geologi yang menyajikan data dasar geologi dengan nama dan nomor lembarnya mengacu pada SK Ketua Bakosurtanal No.019.2.2/1/1975 atau SK Penggantinya.

2) Peta Geologi Tematik

Peta geologi tematik adalah peta geologi yang menyajikan data geologi untuk tujuan tertentu, misalnya peta geologi teknik, peta geologi kuarter dan peta hidrogeologi. Sedangkan berdasarkan skalanya, peta

geologi dibedakan menjadi peta geologi skala besar dan kecil (BSN, 1998).

a. Peta Geologi Skala Besar

Peta geologi skala besar yaitu peta geologi berskala 1:250.000 dan yang lebih besar (1:100.000, 1:50.000 dan seterusnya). Peta ini bertujuan menyediakan informasi geologi yang lebih rinci. Peta geologi berskala 1:50.000 menyajikan informasi yang lebih rinci dari peta geologi berskala 1:100.000 dan seterusnya.

b. Peta Geologi Skala Kecil

Peta geologi skala kecil yaitu peta geologi berskala 1:500.000 dan yang lebih kecil (1:1.000.000; 1:2.000.000 dan 1:5.000.000). Peta ini bertujuan menyajikan tataan geologi regional dan sintesisnya.

c. Peranan Peta Geologi di Bidang Pertambangan

Dalam industri pertambangan, seseorang yang berprofesi sebagai ahli geologi adalah orang yang bertugas untuk mencari, menghitung nilai ekonomis cadangan bahan galian atas dasar informasi geologi yang dikumpulkannya baik data permukaan bumi maupun bawah permukaan bumi. Informasi geologi ini adalah data dasar yang sangat penting selain untuk mencari dan menghitung cadangan, juga sangat penting dalam perencanaan tambang itu sendiri.

Dalam proses pertambangan, pada tahapan studi literatur, survey dan pemetaan dan eksplorasi detail, informasi - informasi geologi sangat diperlukan untuk memecahkan persoalan eksplorasi bahan galian, persoalan lingkungan maupun persoalan keteknisan lainnya. Informasi-informasi tersebut awalnya diperoleh dari peta geologi regional dari daerah pertambangan yang akan dieksplorasi.

Dengan bantuan peta geologi dapat ditentukan persebaran minyak bumi, batubara dan bahan galian lainnya berdasarkan formasi dan umur batuan. Selain itu, peta geologi juga memberikan informasi mengenai ada tidaknya letusan gunung api, gerakan tanah, longsor dan bencana alam lainnya yang mengancam keselamatan manusia khususnya di daerah pertambangan.

2. Stratigrafi Dalam Peta Geologi

a. Definisi Stratigrafi

Stratigrafi yaitu suatu ilmu yang mempelajari tentang lapisan-lapisan batuan serta hubungan lapisan batuan itu dengan lapisan batuan lainnya yang

bertujuan untuk mendapatkan pengetahuan tentang sejarah bumi berdasarkan umur batuan. Stratigrafi ialah cara menggambarkan (*description*) urutan lapisan-lapisan sedimen ke arah vertikal di suatu daerah tertentu dengan mempergunakan asas Stratigrafi dan memperhubungkannya dengan waktu.

Asas Stratigrafi berbunyi sebagai berikut: "pada suatu urutan lapisan-lapisan batuan endapan, maka lapisan-lapisan yang ada di bawah selalu lebih tua daripada yang ada di atasnya". Urutan-urutan Stratigrafi di berbagai kerak bumi harus dibandingkan dan harus diketahui bagian-bagian yang terbentuk dalam waktu yang bersamaan (Noor, 2009).

b. Fungsi Stratigrafi Dalam Peta Geologi

Fungsi stratigrafi dalam peta geologi adalah untuk memberikan informasi mengenai urutan perlapisan formasi batuan ke arah vertikal di suatu daerah tertentu berdasarkan umur batuan atau sejarah terbentuknya bumi. Stratigrafi di dalam peta geologi menyajikan urutan formasi batuan berdasarkan umurnya yang disajikan dalam bentuk gambar dengan warna, simbol dan corak atau gabungan ketiganya serta keterangan umur batuan dan anggota dari formasi batuan.

3. Cara Membuat Penampang Geologi

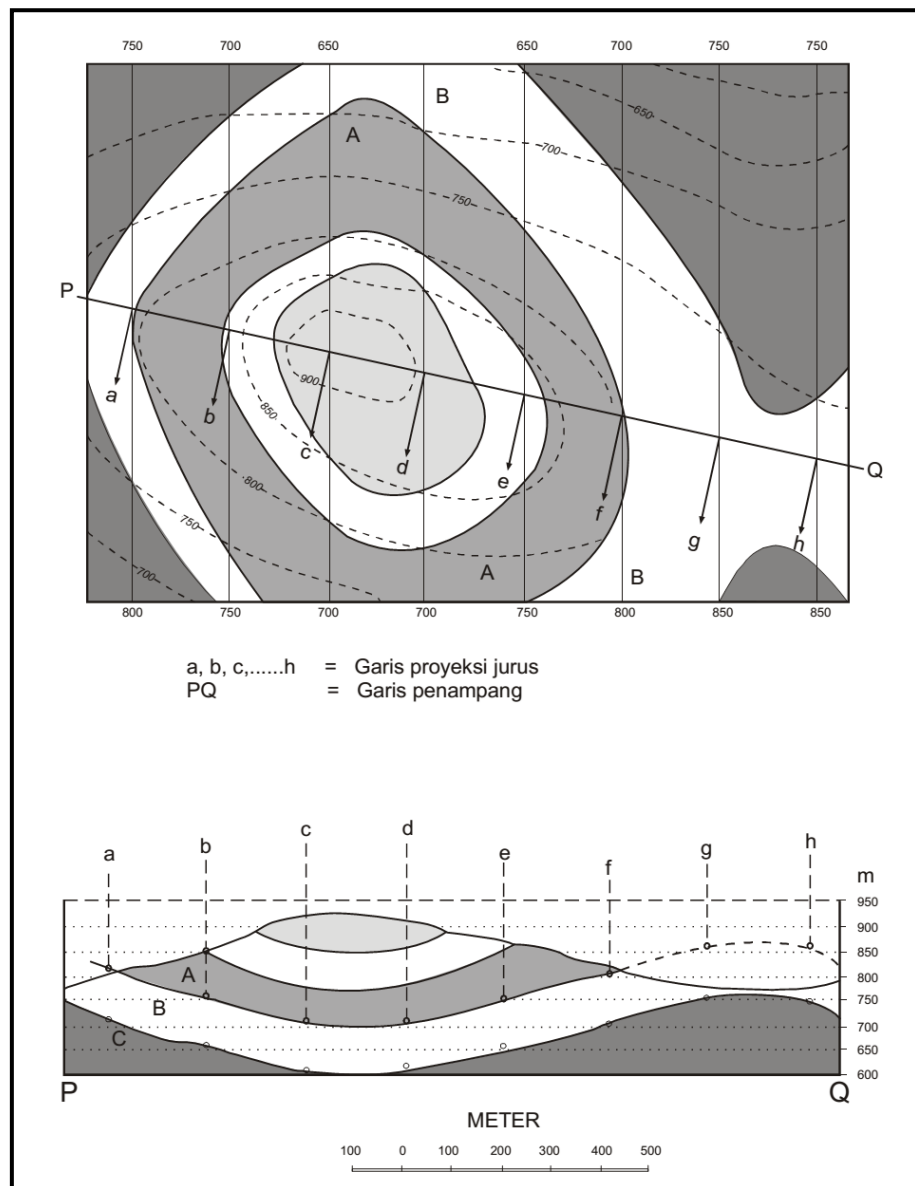
Penampang geologi merupakan suatu gambaran yang memperlihatkan keadaan geologi secara vertical, sehingga diketahui hubungan satu dengan lainnya. Dalam pembuatan penampang geologi dipilih suatu jalur tertentu sedemikian rupa, sehingga dapat memperlihatkan dengan jelas semua keadaan geologinya secara vertical.

Biasanya penampang geologi dipilih atau dibuat suatu jalur yang arahnya tegak lurus terhadap jurus umum lapisan batuan, sehingga dalam penampang akan tergambarkan keadaan kemiringan lapisan yang asli (*true dip*). Namun pembuatan penampang terkadang juga melalui jalur yang tidak tegak lurus terhadap jurus lapisan batuan maka disini penggambaran besar kemiringan lapisannya adalah merupakan kemiringan lapisan semu (*apparent dip*) yang besarnya sesuai dengan arah sayatan terhadap jurus lapisan batuan (Sapiie, 2008).

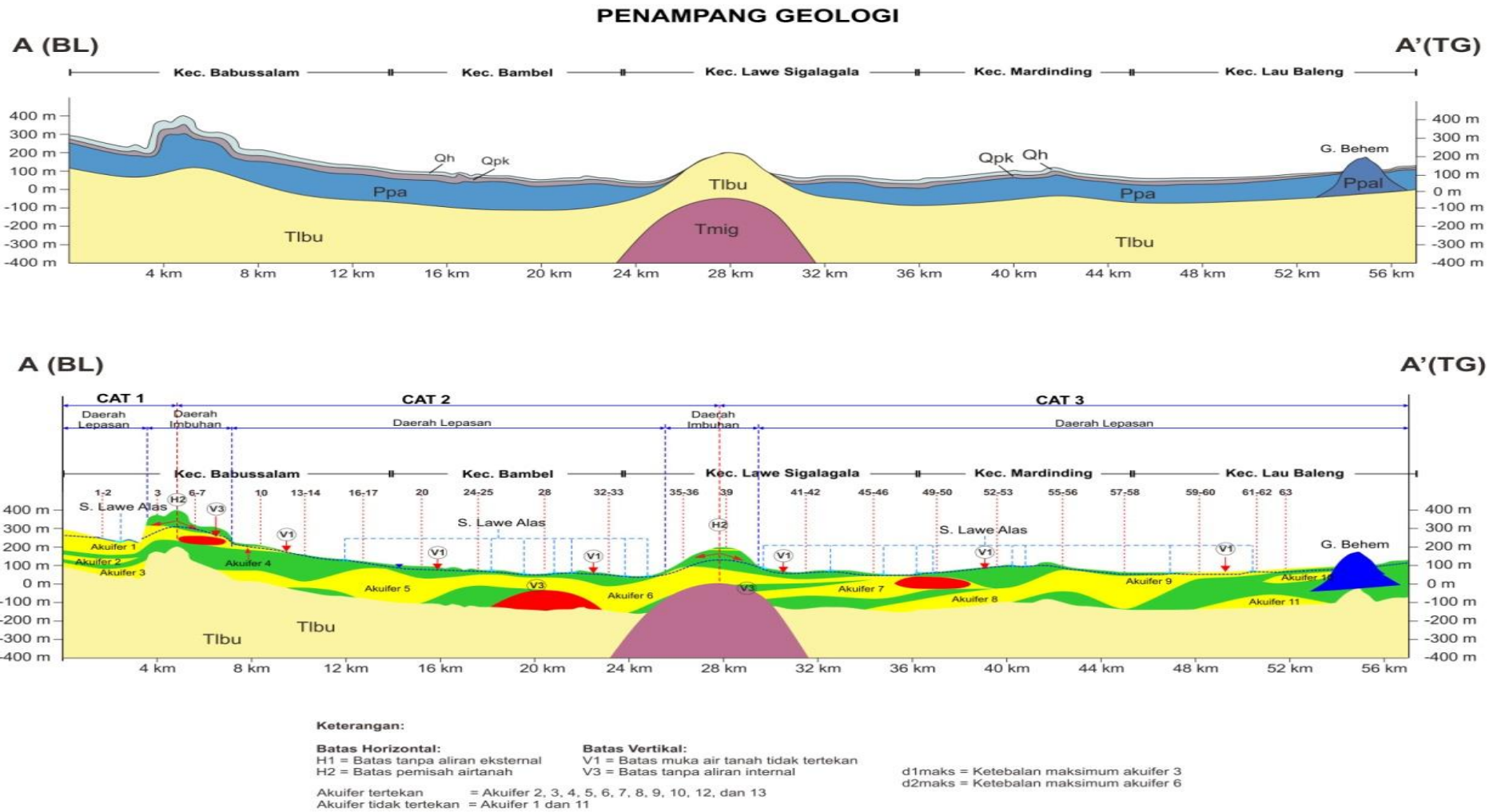
Berikut langkah-langkah rekonstruksi penampang geologi dalam peta geologi (Sapiie, 2008):

- a. Perhatikan arah sayatan penampang terhadap jurus umum lapisan (tegak lurus atau tidak) (lihat **Gambar 75**).

- b. Buat "*base line*" yang panjangnya sama dengan panjang garis penampang peta geologi.
- c. Buat "*end line*" dan berikan angka – angka yang menunjukkan ketinggian sesuai dengan skalanya.
- d. Buat "*profile line*" dengan cara mengeplot ketinggian garis kontur yang terpotong garis penampang dan kemudian hubungkan (kolerasikan) (lihat **Gambar 75**).
- e. Gambarkan keadaan geologinya, meliputi batas lapisan, batas struktur, corak, warna dan simbol dari formasi batuan yang terpotong oleh garis penampang (lihat contoh **Gambar 76 dan 77**).

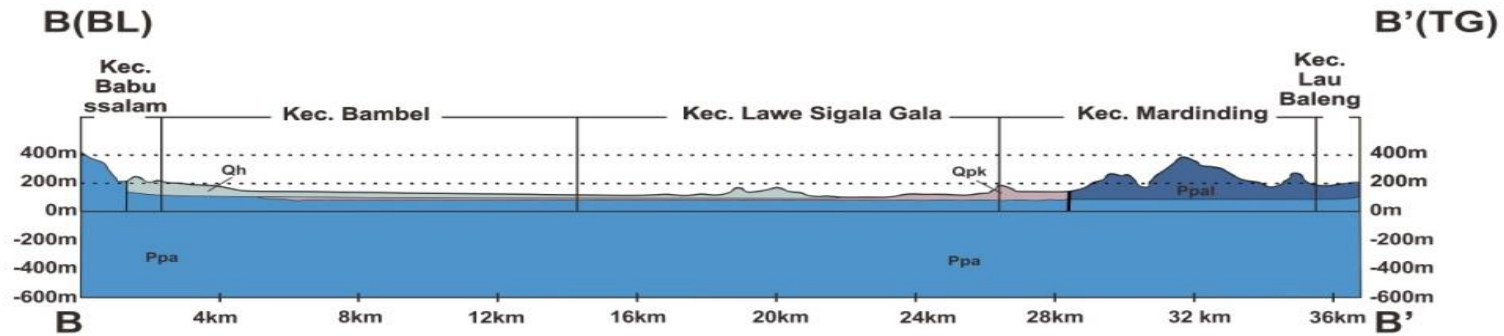


Gambar 75. Cara Membuat Penampang dengan Batuan Garis Jurus (Sapiie, 2008)

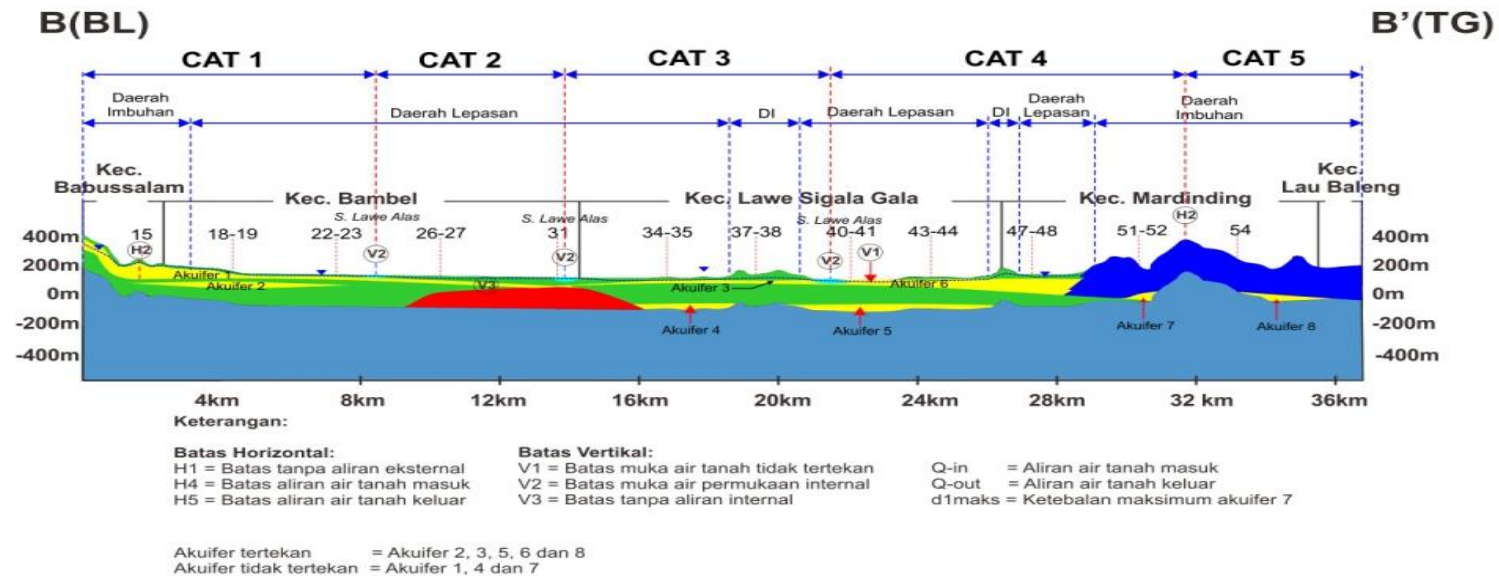


Gambar 76. Contoh Penampang Geologi A-A' (Badan Geologi, 2015)

PENAMPANG GEOLOGI



PENAMPANG HIDROGEOLOGI



Gambar 77. Contoh Penampang Geologi B-B' (Badan Geologi, 2015)

4. Persyaratan Teknis Kelengkapan Peta Geologi

a. Stratigrafi

Satuan stratigrafi dalam peta geologi ditampilkan dalam bentuk gambar, dimana formasi atau satuan batuan yang terdapat pada lembar peta dikelompokkan ke dalam endapan permukaan, batuan sedimen, batuan gunungapi, batuan malihan, batuan beku atau terobosan dan tektonit. Setiap satuan dinyatakan dengan kotak berlambang huruf dan disusun sesuai dengan kedudukan stratigrafinya (lihat **Gambar 78**). Kolom satuan stratigrafi dibuat dengan format disarankan seperti pada **Gambar 79** (BSN, 1998).

b. Formasi Batuan

Syarat penyusunan setiap formasi batuan dalam peta geologi adalah sebagai berikut (BSN, 1998):

- 1) Kotak satuan atau formasi berisi simbol huruf dan warna.
- 2) Didepan kotak dituliskan nama satuan atau formasi dengan huruf besar.
- 3) Didepan nama diikuti titik dua (:) dan diuraikan macam batuan yang dimulai dari yang paling banyak menguasai. Keterangan berikutnya menerangkan :
 - a) Informasi tebal lapisan dan atau runtunan satuan/formasi.
 - b) Fosil petunjuk, umur dan lingkungan pengendapan.
 - c) Hubungan antar satuan.
 - d) Sumberdaya mineral dan energi.
 - e) Unsur penting yang akan menunjang kelengkapan data.

c. Simbol

Simbol merupakan tanda yang dipakai untuk menggambarkan sesuatu pada peta geologi, berupa singkatan huruf, warna, simbol dan corak, atau gabungannya.

1) Singkatan Huruf

Satuan kronostratigrafi pada peta geologi ditunjukkan dengan singkatan huruf (lihat **Gambar 78**). Sebagai dokuman/acuan satuan kronostratigrafi adalah tabel (*chart*) yang dibuat oleh Elsevier (1989) atau revisinya. Adapun persyaratan penulisan huruf untuk satuan kronostratigrafi pada peta geologi, yaitu sebagai berikut (BSN, 1998):

- a) Huruf pertama (huruf besar) menyatakan jaman, misalnya **P** untuk Perem, **TR** untuk Trias, **T** untuk Tersier.
- b) Huruf kedua (huruf kecil) menyatakan seri, misalnya **Tm** berarti kala Miosen dalam jaman Tersier.

- c) Hurup ketiga (hurup kecil) menyatakan nama formasi atau satuan litologi, misalnya **Tmc** berarti Formasi Cipluk berumur Miosen.
- d) Huruf Keempat (hurup kecil) menyatakan jenis litologi atau satuan peta yang lebih rendah (anggota), misalnya **Tmcl** berarti anggota batugamping Formasi Cipluk yang berumur Miosen.
- e) Huruf kelima digunakan hanya untuk batuan yang mempunyai kisaran umur panjang, misalnya **Tpokc** berarti Anggota Cawang Formasi Kikim berumur Paleosen-Oligosen.
- f) Huruf **pT** (**p** kecil sebelum **T** besar) digunakan untuk singkatan umur batuan sebelum Tersier yang tidak diketahui umur pastinya.
- g) Untuk batuan yang mempunyai kisaran umur panjang, urutan singkatan umur berdasarkan dominasi umur batuan, misalnya **QT** untuk batuan berumur Tersier hingga Kuartar yang didominasi batuan berumur Quarter; **JK** untuk batuan berumur Jura hingga Kapur yang didominasi batuan berumur Jura.
- h) Batuan beku dan malihan yang tak terperinci susunan dan umurnya cukup dinyatakan dengan satu atau dua buah hurup, misalnya **a** untuk andesit, **b** untuk basal, **gd** untuk granodiorit, **um** untuk ultramafik atau ofiolit dan **s** untuk sekis.
- i) Batuan beku dan malihan yang diketahui umurnya menggunakan lambang hurup jaman, misalnya **Kg** berarti granit berumur Kapur.
- j) Pada peta geologi skala kecil, himpunan batuan cukup dinyatakan dengan hurup di belakang lambang era, jaman atau sub-jaman; misalnya **Pzm** berarti batuan malihan berumur Paleozoikum, **Ks** berarti sedimen berumur Kapur, **Tmsv** berarti klastika gunungapi berumur Miosen, **Tpv** berarti batuan gunung api berumur Paleogen, **Tni** berarti batuan terobosan berumur Neogen. Satuan bancuh dinyatakan dengan notasi **m**.

2) Tata Warna

Warna dipakai untuk membedakan satuan peta geologi, dipilih berdasarkan jenis batuan, umur satuan dan satuan geokronologi. Adapun persyaratan pemberian warna untuk satuan kronostratigrafi pada peta geologi, yaitu sebagai berikut (BSN, 1998):

- a) Warna dasar yang digunakan adalah kuning, magenta (merah) dan sian (biru) serta gabungannya. Setiap warna dinyatakan dengan sandi 0, 1, 3, 5, 7 dan x, yaitu sandi derajat kekuatan warna atau prosentase penyaringan pada proses kartografi.

- b) Warna yang dipilih untuk membedakan satuan batuan sedimen dan endapan permukaan sepenuhnya menganut sistem warna berdasarkan jenis dan umur. Untuk membedakan beberapa satuan seumur dapat digunakan corak (lihat **Gambar 78**).
- c) Batuan malihan dibedakan berdasarkan (1) derajat dan fasies serta (2) umur nisbi batuan pra-malihan dan litologi. Tata warna batuan malihan sama dengan batuan sedimen atau menggunakan bakuan warna khusus. Corak untuk membedakan litologi tertera pada **Tabel 32**.
- d) Warna batuan beku menyatakan susunan kimianya : asam, menengah, basa dan ultrabasa. Untuk membedakannya dipilih warna yang berdekatan, dan singkatan hurup seperti tercantum dalam uraian 1) atau menurut kunci warna yang sudah dibakukan (lihat **Tabel 32**). Bila diperlukan, dapat digunakan corak dengan bakuan khusus.
- e) Batuan gunungapi yang berlapis dan diketahui umurnya, mengikuti tata warna untuk batuan sedimen. Perbedaan litologi untuk lahar, breksi gunungapi dan tuf dinyatakan dengan corak (lihat **Tabel 32**). Beberapa satuan batuan gunungapi pada suatu lembar peta geologi dapat dibedakan berdasarkan susunan kimianya, dengan bakuan warna khusus.
- f) Satuan tektonit dinyatakan dengan corak khusus.

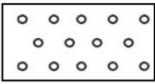
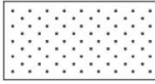
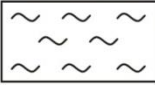
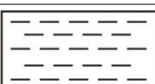
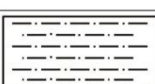
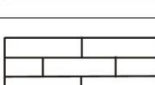
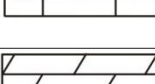
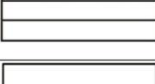
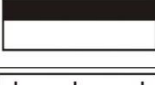
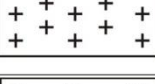
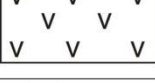
3) Simbol dan Corak Geologi

Simbol dan notasi (corak) yang tertera pada peta geologi harus tertera pada legenda dan sebaliknya. Bentuk dan ukurannya harus sama (lihat **Gambar 79**). Sedangkan untuk melihat simbol dan corak yang digunakan dalam penyusunan peta geologi, dapat dilihat pada **Tabel 32 & 33** (BSN, 1998).



**Gambar 79. Contoh Penyusunan Formasi Batuan dalam Peta Geologi
(Rock, et.al., 1983)**

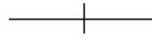
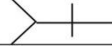
Tabel 32. Corak yang Digunakan pada Peta Geologi (Sapiie, 2008)

No	Corak	Nama Batuan	Warna
1		Konglomerat	Jingga / Coklat
2		Breksi	Jingga / Coklat
3		Batupasir	Kuning
4		Napal (marl)	Biru muda
5		Lempung	Hijau
6		Serpih (shale)	Kelabu
7		Lanau (silt)	Kuning muda
8		Batugamping	Biru
9		Dolomit	Biru tua
10		Evaporit	Merah muda
11		Batubara	Hitam
12		Batuan beku	Merah
13		Tuff	Coklat / ungu
14		Batu Metamorf	Ungu / jingga

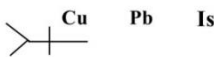
Tabel 33. Simbol yang Digunakan pada Peta Geologi (BSN, 1998)

1		KONTAK	Garis terputus-putus bila letaknya diperkirakan garis titik-titik, bila tertutup
2		ANTIKLIN	Menunjukkan arah penunjaman
3		SINKLIN	Menunjukkan arah penunjaman
4		SESAR, MENUNJUKKAN KEMIRINGAN	Garis terputus-putus bila letaknya diperkirakan garis titik-titik bila tertutup
5		SESAR NAIK	Garis terputus-putus bila letaknya diperkirakan; garis titik-titik bila tertutup, Gerigi pada lempeng atas.
6		SESAR-GESER JURUS	Garis terputus-putus bila letaknya diperkirakan; garis titik-titik bila tertutup, Panah menunjukkan arah gerak relatif
7		JURUS DAN KEMIRINGAN LAPISAN	
8		LAPISAN MENDATAR	
9		JURUS DAN KEMIRINGAN LAPISAN TERBALIK	
10		$1^{\circ} - 9^{\circ}$ $10^{\circ} - 29^{\circ}$ $30^{\circ} - 49^{\circ}$ $50^{\circ} - 69^{\circ}$ $70^{\circ} - 89^{\circ}$ 90° Terbalik	JURUS DAN KEMIRINGAN LAPISAN DARI LAPORAN TERDAHULU
11		JURUS DAN KEMIRINGAN KEKAR	
12		JURUS DAN KEMIRINGAN KEKAR TEGAK	
13		JURUS DAN KEMIRINGAN PERDAUNAN	
14		JURUS DAN KEMIRINGAN PERDAUNAN TEGAK	

Tabel 33. Simbol yang Digunakan pada Peta Geologi (BSN, 1998)
(lanjutan)

16		JURUS DAN KEMIRINGAN BELAH TEGAK	
17		JURUS DAN KEMIRINGAN STRUKTUR ALIRAN DALAM BATUAN VOLKANIK	
18		JURUS DAN KEMIRINGAN STRUKTUR ALIRAN TEGAK DALAM BATUAN VOLKANIK	
19		SINGKAPAN YANG DILEBIHKAN	
20		FOSIL VERTEBRATA	
21		FOSIL BUKAN VERTEBRATA	
22		FOSIL TUMBUHAN	
23		KELURUSAN	
24		KALDERA ATAU TEPI KAWAH	
25		KERUCUT SAMPING	
26		MAR	
27		LAPISAN BATUBARA	
28		URAT	
29		URAT TEGAK	
30		GUA BATUGAMPING	
31		LUBANG TAMBANG MIRING	
32		LUBANG TAMBANG TEGAK	
33		TOROWONGAN	
34		TEROWONGAN RUNTUH	

Tabel 33. Simbol yang Digunakan pada Peta Geologi (BSN, 1998) (lanjutan)

36		BEKAS SUMUR PENGGAJIAN KERIKIL, PASIR ATAU LEMPUNG	
37		TAMBANG TERBUKA atau PENGAJIAN	
38		BEKAS TAMBANG TERBUKA atau PENGGAJIAN	
39		SUMUR MINYAK	
40		SUMUR GAS	
41		MATA AIR	
42		MATA AIR PANAS	
43		MATA AIR PANAS BERSULFIDA HIDROGEN	
44		FUMAROLA	
45		REMBESAN MINYAK	
46		POTON	
47		LOKASI BAHAN GALIAN	
48		CONTOH GEOKIMIA ENDAPAN SUNGAI, PANTAI	

5. Penyusunan Layout Peta Geologi

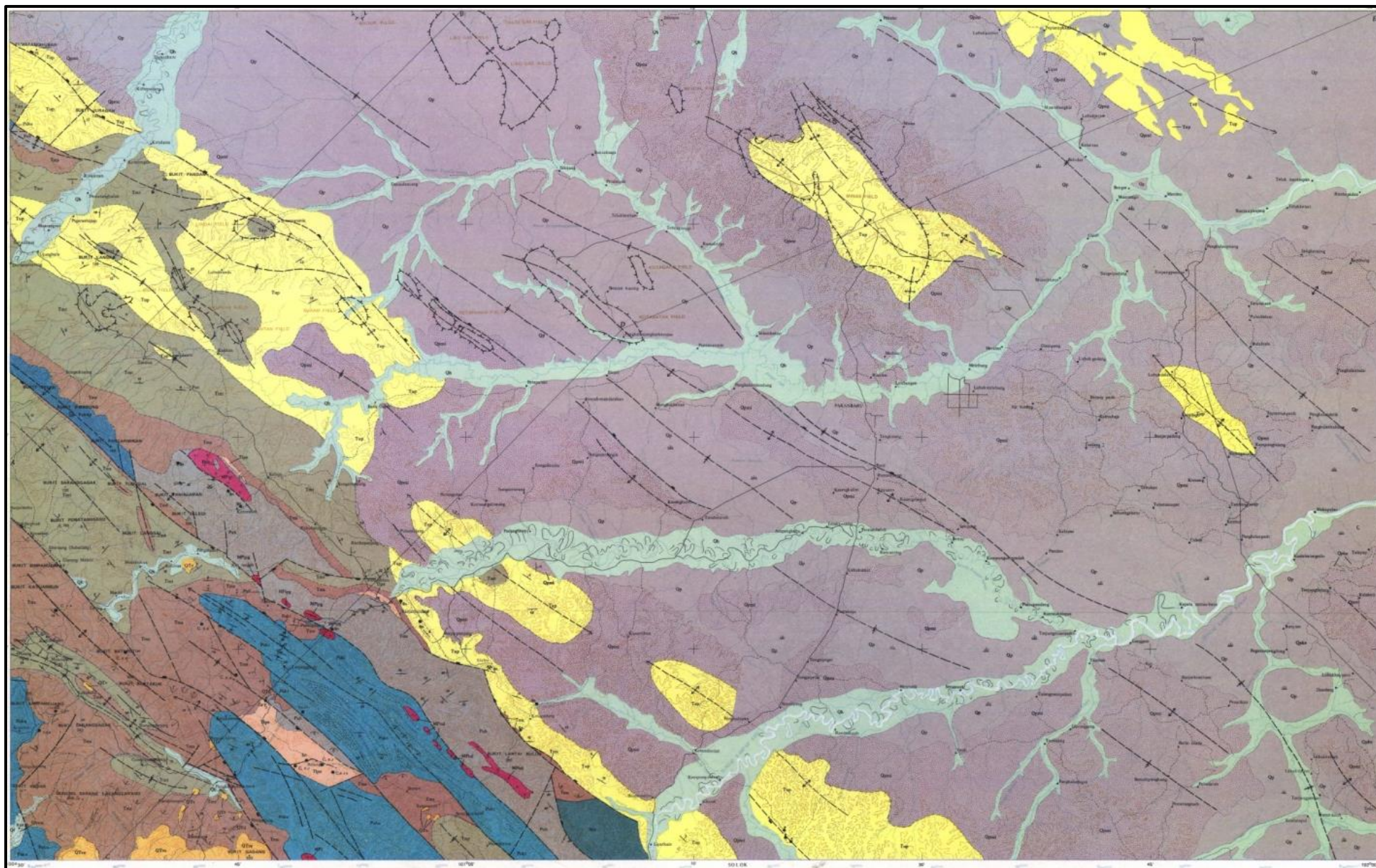
a. Defenisi layout

Layout adalah tata letak dari suatu element desain peta geologi yang berupa gambar dan teks sehingga hasil menjadi lebih baik dan mudah untuk dipahami pembaca. Layout bermanfaat untuk memperjelas peta dan memperindah secara tampilan. Selain itu tujuan yang lebih penting mengenai layout peta adalah sebagai atribut pelengkap yang mampu menjelaskan isi peta yang merupakan isi-isi penting dari peta tersebut.

Tanpa adanya layout, sebuah peta tidak akan berarti apa-apa karena sistem peletakan desain peta ada di layout. Tanpa layout peta akan sulit dimengerti dan sukar untuk dipahami, sehingga akan bermakna seperti gambar biasa. Untuk itu, perlu dilakukan pelatihan untuk meningkatkan pengetahuan dan keterampilan layout yang baik. Pengetahuan tentang layout ini sangat diperlukan untuk meningkatkan pengetahuan dan keterampilan dalam desain peta. Untuk melihat contoh peta geologi dengan layout yang benar, dapat dilihat pada **Gambar 80 dan 81**.



Gambar 80. Contoh Peta Geologi Lembar Lubuksikaping, Sumatera (Rock et.al., 1983)



Gambar 81. Contoh Peta Geologi Lembar Pekanbaru, Sumatera (Clarke et.al., 1982)

b. Komponen Layout Peta Geologi

Komponen layout peta geologi adalah sebagai berikut (Noor, 2009):

1) Judul Peta

Judul peta merupakan nama dari peta tersebut yang berorientasi pada guna dan isi dari peta tersebut. Judul peta juga dapat diartikan sebagai isi cerminan dan tipe dari peta tersebut untuk suatu wilayah/kawasan tertentu. Judul peta contohnya adalah peta geologi lembar Pekanbaru, Sumatera. Penulisan judul peta geologi biasanya pada bagian bawah.

2) Skala Peta

Skala peta merupakan perbandingan jarak yang berada dipeta dengan jarak yang sebenarnya , contohnya 1 : 50.000 jadi dapat dilihat bahwa 1 cm secara horizontal ataupun vertikal pada peta berjarak 50.000 km di keadaan sebenarnya.

3) Orientasi/Arah Mata Angin

Arah ini sangat penting karena tanpa adanya arah, peta tidak dapat diketahui mana utaranya, selatan barat ataupun timur. Oleh karena itu, tanpa adanya arah mata angin peta malah memberikan informasi yang salah.

Letak orientasi/arah ini berada ditempat yang sesuai jika ada garis lintang dan bujur ataupun kordinat sebagai penunjuk arah, Penunjuk arah ini biasanya disimbolkan dengan huruf N yang merupakan arah utara pada suatu peta.

Komponen penunjuk arah sering juga disebut dengan mata angin dan orientasi. penunjuk arah sebagai salah satu komponen kelengkapan peta merupakan komponen yang harus ada dalam peta. Sesuai namanya fungsi dari arah peta adalah memberikan informasi tentang letak utara dari peta. Biasanya simbol arah tidak perlu lengkap arahnya seperti N,S,W,E melainkan hanya cukup dengan huruf N saja.

4) Koordinat/Grid

Fungsi dari koordinat pada peta adalah untuk menentukan letak atau keberadaan suatu wilayah/kawasan yang ditampilkan pada peta geologi. Tanpa adanya koordinat, sebuah peta tidak akan berarti apa-apa karena informasi-informasi yang ditampilkan tidak diketahui keberadaannya.

Sistem koordinat yang biasa digunakan adalah *Universal Transverse Mercator* (UTM) dan sistem koordinat geografis yang menunjukkan suatu titik di bumi berdasarkan garis lintang dan bujur. Koordinat/grid ini biasanya digambarkan dengan derajat (°), strip satu (') dan strip dua (").

5) **Legenda**

Legenda adalah keterangan dari simbol-simbol yang merupakan kunci dari pemahaman peta. Bagian ini adalah komponen yang sangat vital karena kita akan jadi buta dalam membaca peta jika tidak ada legendanya. Legenda peta geologi berupa simbol, huruf, warna dan corak untuk menjelaskan formasi batuan, umur batuan, batas endapan, sesar, jurus dan lain-lain.

6) **Simbol Peta**

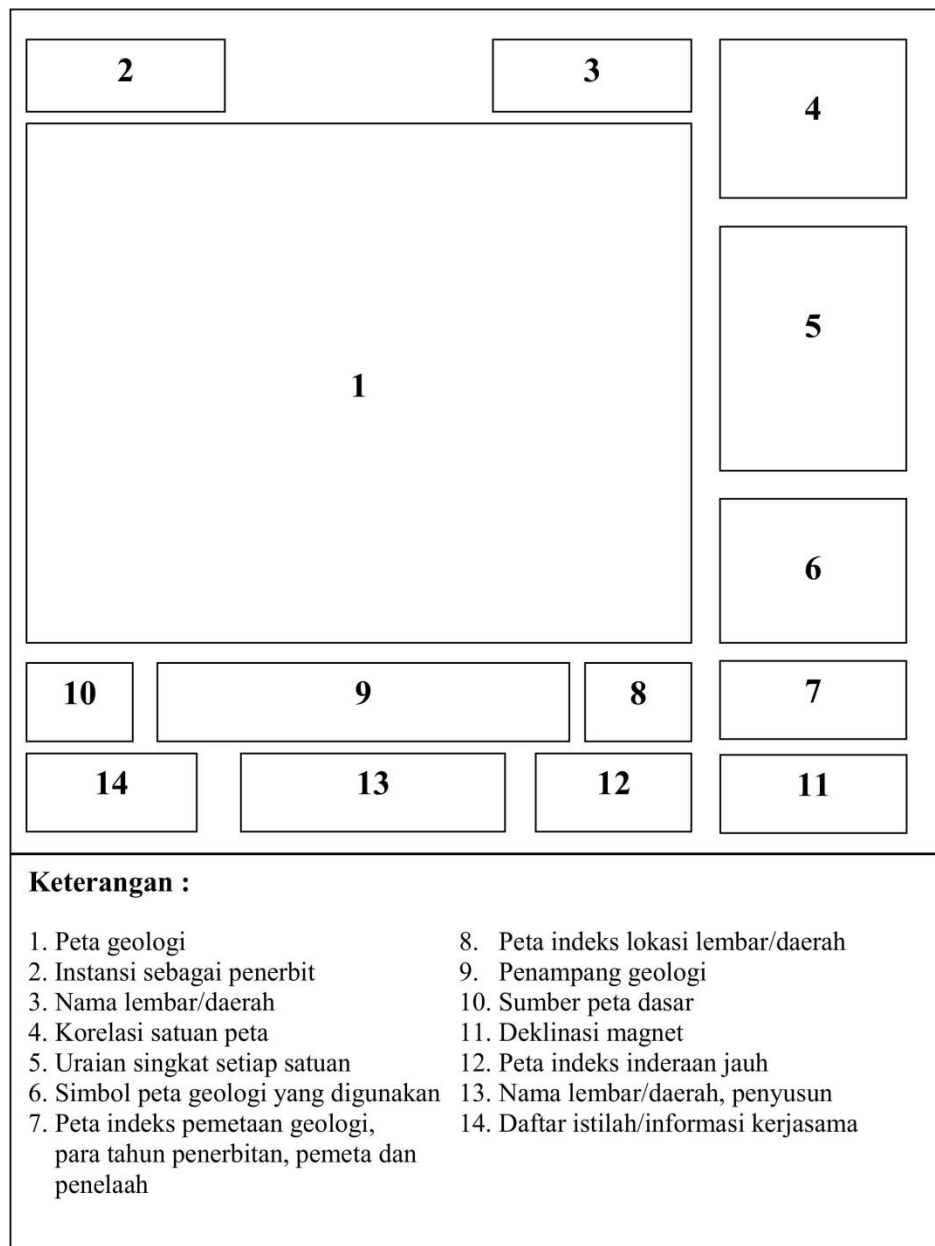
Simbol peta adalah tanda atau gambar yang mewakili kenampakan yang ada dipermukaan bumi yang terdapat pada peta kenampakannya.

7) **Peta Indeks**

Peta Indeks merupakan peta kecil yang disisipkan di dalam peta utama atau dibagian bawah dari peta utama (lihat **Gambar 83**), macam macam peta indeks berdasarkan fungsinya, antara lain :

- a) Peta indeks sebagai penunjuk lokasi, berfungsi untuk menunjukkan letak suatu daerah yang belum diketahui dan dikenali.
- b) Peta indeks sebagai penjelas, berfungsi untuk memperbesar daerah yang kita anggap penting.
- c) Peta indeks sebagai penyambung, berfungsi untuk menyambungkan daerah yang terpotong pada peta utama.

Layout atau tata letak komponen dari peta geologi berdasarkan SNI 13-4691-1998 ICS 07.060 mengenai penyusunan peta geologi dapat dilihat pada **Gambar 82**.



Gambar 82. Tata Letak Keterangan Pinggir pada Peta Geologi (BSN, 1998)

6. Rangkuman

Peta geologi merupakan peta penting dalam kegiatan penambangan, terutama untuk mengetahui komposisi bawah permukaan pada daerah tambang. Untuk itu diperlukan peta geologi yang sistematis. Untuk itu peta geologi harus didelineasi. Kita mengenal beberapa jenis peta geologi yaitu: Jenis peta geologi sistematis, peta geologi tematik, peta geologi skala besar dan peta geologi skala kecil. Penamaan peta geologi di bidang pertambangan sangat penting karena sebagai dasar untuk

melakukan kegiatan eksplorasi. Peta geologi yang dibuat harus memenuhi persyaratan kelengkapan peta geologi, stratigrafi, formasi batuan dan simbol-simbol, seperti singkatan huruf, tata warna, simbol dan corak geologi. Adapun komponen layout peta yang merupakan persyaratan yang harus dipenuhi meliputi: Judul peta, skala peta, orientasi/arah mata angin, koordinat/grid, legenda, simbol peta dan peta indeks.

C. Aktivitas pembelajaran

Aktivitas pembelajaran yang dilakukan pada kegiatan pembelajaran mengenai pembuatan peta geologi, membuat penampang dan layout peta adalah:

1. Mengamati

Mengamati prinsip-prinsip peta geologi, penggambaran penampang geologi dan stratigrafi.

2. Menanya

Mengkondisikan situasi belajar untuk membiasakan mengajukan pertanyaan secara aktif dan mandiri tentang bagaimana memahami konsep pemutahiran peta geologi.

3. Mengumpulkan data

Mengumpulkan data untuk dipertanyakan dan menentukan sumber (melalui benda konkret, dokumen, buku, eksperimen) untuk menjawab pertanyaan yang diajukan tentang bagaimana menyusun layout sebuah peta.

4. Mengasosiasi/Mengolah Informasi

Mengkategorikan data dan menentukan hubungannya, selanjutnya disimpulkan dengan urutan dari yang paling sederhana sampai pada yang lebih kompleks tentang penentuan lokasi di lapangan dan menentukan titik pengamatan tersebut ke dalam peta geologi, kemudian membuat simbol-simbol yang relevan dengan peta geologi.

5. Mengkomunikasikan

Menyampaikan hasil konseptualisasi tentang kegunaan peta geologi dan menentukan stratigrafi dan penampang geologi.

D. Umpan Balik dan Tindak Lanjut

Untuk mendapatkan umpan balik setelah mempelajari modul pembelajaran 6 ini, guru-guru diminta untuk mengisi rubrik umpan balik ini dan memberikan masukan yang konstruktif yang disediakan pada **Tabel 34**.

Tabel 34. Rubrik Umpan Balik Isi Modul Pembelajaran 6

No	Pokok Bahasan	Pertanyaan Umpan Balik	Jawaban Guru dan Tindak Lanjut
1	Peta geologi	Coba saudara jelaskan apa yang saudara pahami tentang geologi (C2)	
		Apakah saudara mampu menelaah isi dari peta geologi dan apa implikasinya pada bidang pertambangan (C4)	
2	Statigrafi	Bisa saudara menafsirkan stratigrafi dari sebuah peta geologi (C5)	
3	Penampang geologi	Buatlah sebuah garis penampang pada peta geologi, kemudia saudara mendesain penampang geologi pada garis yangtelah saudara buat (P5)	
4	Penyusunan lay out peta geologi	Ambilah sebuah kegiatan pemetaan di daerah tambang, kemudia saudara diminta untuk memproduksi sebuah peta geologi lengkap (P5)	

E. Latihan

SOAL ESSEY

1. Jelaskan jenis peta geologi berdasarkan skala ukurannya?
2. Sebutkan bunyi asas stratigrafi?
3. Uraikan langkah-langkah rekonstruksi penampang geologi dalam peta geologi dan gambarkan contoh penampang yang baik dan benar?
4. Jelaskan pengertian layout pada peta dan jelaskan mengapa layout itu penting?

SOAL PILHAN GANDA

5. Apakah singkatan huruf untuk umur batuan sebelum zaman Tersier yang tidak diketahui umur pastinya?
 - A. Tc
 - B. pT
 - C. QT
 - D. Pzm
6. Singkatan huruf **Tmsv** dalam peta geologi menyatakan apa?
 - A. Klastika gunungapi berumur Miosen
 - B. Sedimen berumur Kapur
 - C. Batuan gunung api berumur Paleogen
 - D. Batuan Andesit berumur Jura



7. Apa nama batuan untuk corak pada gambar di atas?
 - A. Batu gamping
 - B. Napal
 - C. Dolomit
 - D. Evaporit
8. **3** Simbol disamping menandakan apa dalam peta geologi?
 - A. Bekas sumur penggalian kerikil
 - B. Bekas tambang terbuka
 - C. Mar
 - D. Kaldera
9. Manakah yang tidak termasuk fungsi dari peta indeks di dalam sebuah peta geologi?
 - A. Sebagai penentu arah dan jurus
 - B. Sebagai penunjuk lokasi
 - C. Sebagai penyambung
 - D. Sebagai penjelas

F. Kunci Jawaban

1. Kunci Jawaban Soal No. 1.

- a. Peta Geologi Skala Besar : Peta geologi skala besar yaitu peta geologi berskala 1:250.000 dan yang lebih besar (1:100.000, 1:50.000 dan seterusnya). Peta ini bertujuan menyediakan informasi geologi yang lebih rinci.
- b. Peta Geologi Skala Kecil : Peta geologi skala kecil yaitu peta geologi berskala 1:500.000 dan yang lebih kecil (1:1.000.000; 1:2.000.000 dan 1:5.000.000). Peta ini bertujuan menyajikan tataan geologi regional dan sintesisnya.

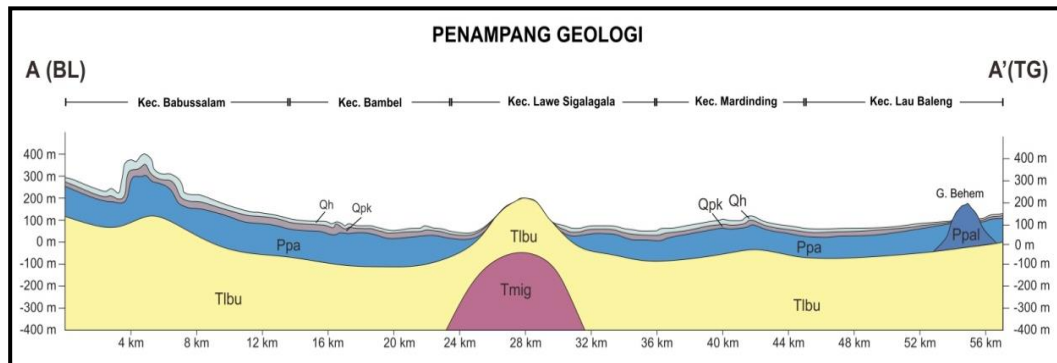
2. Kunci Jawaban Soal No. 2.

Pada suatu urutan lapisan-lapisan batuan endapan, maka lapisan-lapisan yang ada di bawah selalu lebih tua daripada yang ada di atasnya.

3. Kunci Jawaban Soal No. 3.

- a. Perhatikan arah sayatan penampang terhadap jurus umum lapisan (tegak lurus atau tidak).
- b. Buat "*base line*" yang panjangnya sama dengan panjang garis penampang peta geologi.

- c. Buat "*end line*" dan berikan angka – angka yang menunjukkan ketinggian sesuai dengan skalanya.
- d. Buat "*profile line*" dengan cara mengeplot ketinggian garis kontur yang terpotong garis penampang dan kemudian hubungkan (kolerasikan).
- e. Gambarkan keadaan geologinya, meliputi batas lapisan, batas struktur, corak, warna dan simbol dari formasi batuan yang terpotong oleh garis penampang.



4. Kunci Jawaban Soal No. 4.

Layout adalah tata letak dari suatu element desain peta geologi yang berupa gambar dan teks sehingga hasil menjadi lebih baik dan mudah untuk dipahami pembaca. Tanpa adanya layout, sebuah peta tidak akan berarti apa-apa karena sistem peletakan desain peta ada di layout. Tanpa layout peta akan sulit dimengerti dan sukar untuk dipahami, sehingga akan bermakna seperti gambar biasa.

5. Kunci Jawaban Soal No. 5.

Jawaban : B

6. Kunci Jawaban Soal No. 6.

Jawaban : A

7. Kunci Jawaban Soal No. 7.

Jawaban : C

8. Kunci Jawaban Soal No. 8.

Jawaban : B

9. Kunci Jawaban Soal No. 9.

Jawaban : A

VIII. KEGIATAN PEMBELAJARAN 7

A. Tujuan

Modul pembelajaran 7 ini disusun berdasarkan kompetensi profesional yang menyangkut pengetahuan tentang: Pengambilan contoh untuk uji sifat fisik batuan dan sifat mekanik batuan guna merancang dan menganalisis kemantapan lereng. Oleh karena itu tujuan dari kegiatan pembelajaran 7 ini adalah:

1. Memberikan pengetahuan tentang cara pengambilan contoh (sampling) batuan untuk pengujian sifat fisik dan sifat mekanik batuan.
2. Memberikan pengetahuan tentang pengujian kuat tekan, kuat geser dan uji triaksial.
3. Memberikan pengetahuan dan menganalisis untuk merancang kemantapan lereng

B. Uraian Materi

1. Pengambilan Contoh (*Sampling*)

Dalam pekerjaan geoteknik pengambilan contoh batuan (*sampling*) merupakan salah satu bagian yang sangat penting. Sampling dilakukan dalam rangka mendapatkan data atau parameter-parameter, baik yang berupa sifat-sifat fisik maupun sifat-sifat mekanik batuan di laboratorium. Parameter-parameter yang diperoleh dari test laboratorium tersebut harus tetap mewakili keadaan sebenarnya di lapangan. Karena itu dalam pengambilannya harus diikuti suatu prosedur tertentu sehingga contoh yang diambil tidak terganggu (*undisturbed*) dan mewakili batuan di lapangan (posisi, kedalaman, penyebaran dan jumlah) (Rai, et.al, 2012).

Untuk mencegah terjadinya perubahan struktur pada batuan contoh, maka diusahakan contoh langsung dimasukkan ke dalam wadah yang kuat (tidak mudah mengalami deformasi) dari bahan-bahan yang terpilih (kotak baja, tabung baja atau plastik tebal), terutama untuk contoh tanah atau batuan lapuk. Selain itu proses pengambilan (pemotongannya) juga harus dilakukan dengan baik dan hati-hati lihat **Gambar 83**). Sedangkan untuk mencegah penguapan, segera setelah contoh terlepas dari tempatnya dilakukan perlindungan penguapan dengan cara menutup bagian terbukanya dengan lilin panas (*wax*) (Rai, et.al, 2012).

Selanjutnya contoh-contoh tersebut harus diberi label yang menyatakan lokasi kedalaman, jenis tanah, tanggal pengambilan dan nomor kode (lihat **Gambar 84**). Catatan tersebut juga harus ada pada lagban atau catatan lapangan, di mana dijelaskan juga cara pengambilan serta petugas yang bersangkutan (Rai, et.al, 2012).

Cara pengambilan contoh tak terganggu antara lain adalah (Rai, et.al, 2012):

- a. Pada pemboran inti, sampel dimasukkan ke dalam tabung khusus (*thin walled sampler/shelby tube*). Pada saat pengambilan, rod tidak boleh diputar dan tabung ditekan pelan-pelan. Untuk batuan keras (*rock*), sampel harus segera dimasukkan ke dalam tabung dan ditutup dengan lilin.
- b. Pada test pit contoh umumnya diambil dalam bentuk blok 30 x 30 x 30 cm³ atau lebih, kemudian dimasukkan ke dalam wadah dan ditutup dengan lilin pada bagian yang terbuka.



Gambar 83. Proses Pengambilan Contoh Geoteknik dari Core Barrel



Gambar 84. Penyimpanan Contoh Geoteknik di Dalam Core Box

2. Uji Sifat Fisik Batuan Utuh

Sifat fisik batuan utuh geoteknik adalah bobot isi asli (*natural density*), bobot isi jenuh (*saturated density*), bobot isi kering (*dried density*), berat jenis sejati (*true specific gravity*), berat jenis semu (*apparent specific gravity*), kadar air asli (*natural water content*), kadar air jenuh (*saturated water content*), derajat kejenuhan (*degree of saturation*), porositas (*porosity*) dan *void ratio* (Rai, et.al, 2012). Penentuan sifat fisik batuan memerlukan peralatan sebagai berikut (Rai, et.al, 2012):

- a. Oven yang mampu mempertahankan temperatur pada suhu 105° C selama 24 jam (lihat **Gambar 85**).
- b. Wadah terbuat dari material tidak korosif dan kedap udara.
- c. Desikator dengan ukuran secukupnya (lihat **Gambar 86**).
- d. Pompa vakum yang bertekanan 800 Pa (lihat **Gambar 86**).

- e. Wadah berukuran secukupnya untuk merendam contoh batuan utuh.
- f. Timbangan dengan ketelitian 0.001% (lihat **Gambar 87**).



Gambar 85. Oven



Gambar 86. Desikator Dan Vakum

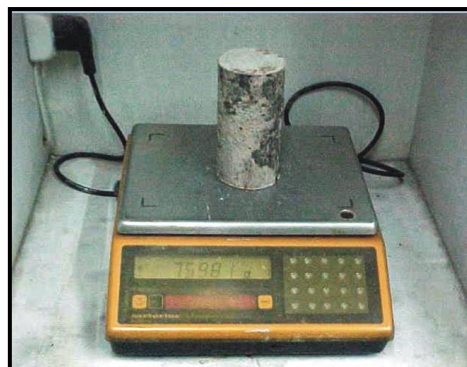


Gambar 87. Timbangan

a. Penimbangan Berat Contoh

Penimbangan berat contoh (lihat **Gambar 88**) tujuannya untuk menentukan nilai yang dibutuhkan sebagai data masukan perhitungan sifat fisik batuan. Ada 6 parameter yang diperlukan pada penimbangan berat contoh (Rai, et.al, 2012):

- 1) Berat contoh asli (natural) : **W_n**.
- 2) Berat contoh jenuh (sesudah dijenuhkan dengan air selama 24 jam): **W_w**.
- 3) Berat contoh jenuh di dalam air : **W_s**.
- 4) Berat contoh kering: **W_o**.
- 5) Volume contoh tanpa pori-pori : **W_o - W_s**.
- 6) Volume contoh total : **W_w - W_s**.



Gambar 88. Penimbangan Contoh Batuan

b. Perhitungan penentuan Sifat Fisik Batuan

Persamaan yang digunakan untuk menghitung parameter sifat batuan adalah:

- 1) Bobot isi asli (*natural density*) =
$$\frac{W_n}{W_w - W_s}$$
- 2) Bobot isi kering (*dry desity*) =
$$\frac{W_o}{W_w - W_s}$$

- 3) Bobot isi jenuh (*saturated density*) = $\frac{W_s}{W_w - W_s}$
- 4) *Apparent specific gravity* = $\frac{W_o}{W_w - W_s}$ / bobot isi air
- 5) *True specific gravity* = $\frac{W_o}{W_o - W_s}$ / bobot isi air
- 6) Kadar air asli (*natural water content*) = $\frac{W_n - W_o}{W_o} \times 100\%$
- 7) *Saturated water content (absorption)* = $\frac{W_w - W_o}{W_o} \times 100\%$
- 8) Derajat kejenuhan = $\frac{W_n - W_o}{W_w - W_o} \times 100\%$
- 9) Porositas (*n*) = $\frac{W_w - W_o}{W_w - W_s} \times 100\%$
- 10) Void ratio (*e*) = $\frac{n}{1 - n}$

3. Uji Sifat Mekanik Batuan

a. Pengujian Kuat Tekan (*Unconfined Compressive Strength Test*)

Uji kuat tekan bertujuan untuk mengetahui kekuatan dan karakteristik batuan utuh. Hasil uji ini menghasilkan beberapa informasi seperti: kurva tegangan dan regangan, kuat tekan uniaksial, modulus young, nisbah poisson, fraktur energi dan spesifik energi (Rai, et.al, 2012). Alat untuk mengujinya dapat dilihat pada **Gambar 89 dan 90**.



Gambar 89. Mesin Kuat Tekan Control (1300 kN)



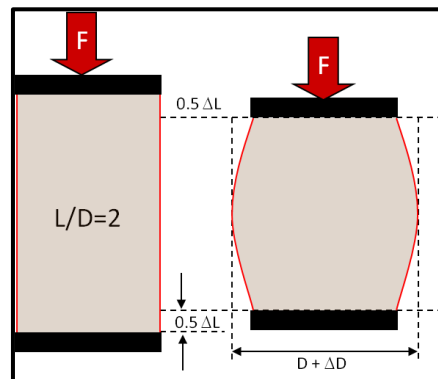
Gambar 90. Mesin Kuat Tekan Hungta (2000 kN)

1) Persyaratan Kualitas Contoh Batuan untuk Uji UCS dan Uji Triaksial

Menurut ISRM (1981), contoh batu uji berbentuk silinder dengan L/D bervariasi dari 2,5 hingga 3,0. Sebaiknya diameter (D) contoh batu uji paling tidak berukuran ± 54 mm dengan perbandingan paling tidak 10:1.

Ketika penekanan dilakukan, contoh batu uji akan mengalami pemendekan pada sisi aksial dengan penggelembungan pada sisi lateral, seperti ditunjukkan

pada **Gambar 91**, sehingga secara ideal bentuk akhir contoh uji seperti gentong (Rai, et.al, 2012).

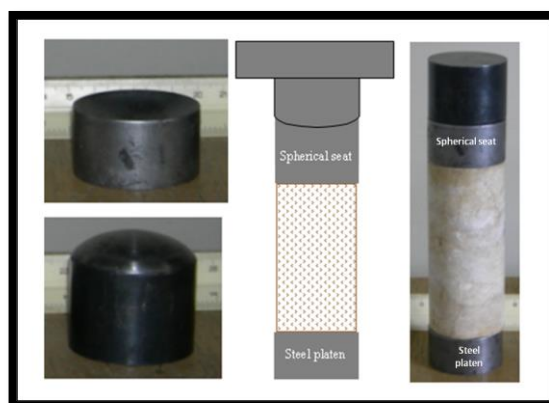


Gambar 91. Perubahan Bentuk Contoh Pada Batuan Pada Uji Kuat Tekan (UCS)

Diameter (D) contoh batu uji harus diukur tegak lurus sumbu silinder di tiga tempat, yaitu di atas, tengah dan bawah dengan ketelitian 0,1 mm. Tinggi contoh batu uji diukur dengan ketelitian 1,0 mm. Contoh batu uji harus disimpan tidak lebih dari 30 hari dan harus diupayakan kandungan airnya tidak berubah sampai pengujian dilakukan (Rai, et.al, 2012).

2) Persyaratan Susunan Contoh Uji dengan Pelat Penekan

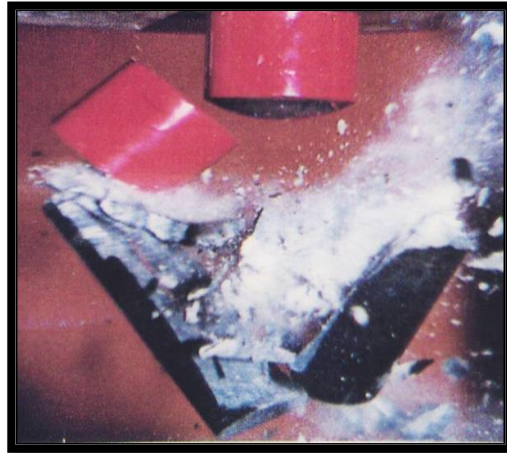
Agar pengujian kuat tekan menghasilkan distribusi tegangan yang merata di sepanjang tubuh contoh batu silinder maka trajektori tegangan vertikal harus selalu diupayakan tegak lurus terhadap plat penekan (lihat **Gambar 92**). Kedua pelat baja penekan harus memenuhi persyaratan ($D+2$ mm). Ketebalan pelat baja penekan paling tidak 15 mm atau sama dengan $D/3$. Kedua muka plat baja harus halus dan rata dengan kekasaran tidak lebih besar dari pada 0,005 mm (Rai, et.al, 2012).



Gambar 92. Susunan Contoh Batu Uji Dengan Pelat Baja Penekan dan Spherical Seat

3) Mekanisme Pecah Contoh Batu Uji

Mekanisme pecahnya batuan getas dengan kondisi kekakuan mesin tekan yang tidak terlalu besar akan bersifat *violent* dan disebut sebagai fraktur getas (*brittle fracture*), contohnya dapat dilihat pada **Gambar 93** (Rai, et.al, 2012).

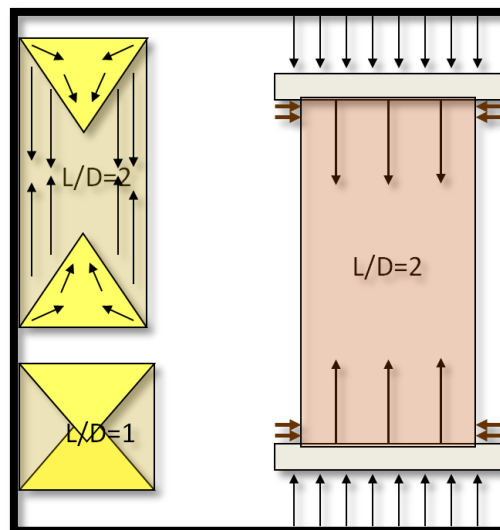


Gambar 93. Fraktur Getas Contoh Batu Uji (Kramadibrata, 1990)



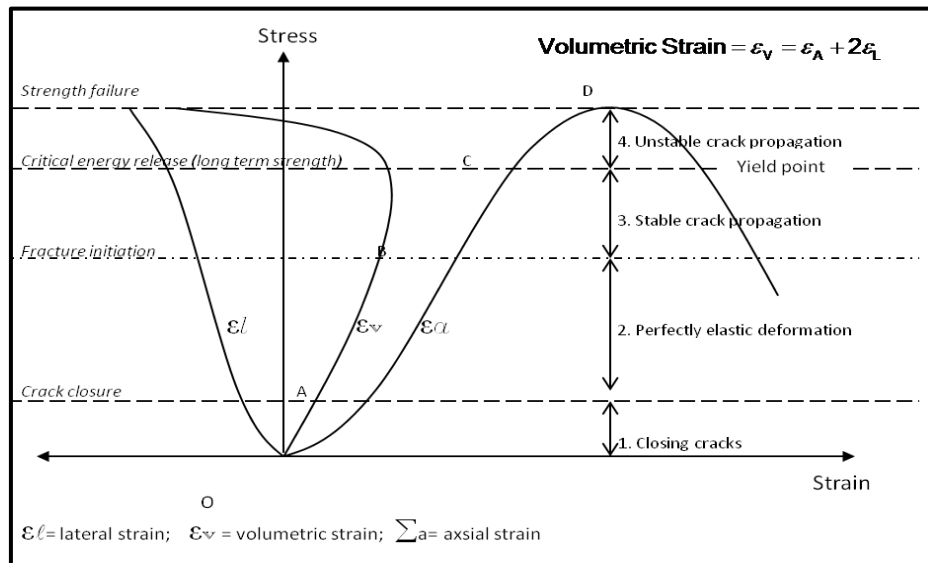
Gambar 94. Rekahan Aksial (Axial Spilting)

Menurut Griffith (1921), arah retakan dari sebuah material getas akan sesuai dengan tegangan utama maksimumnya. Sehingga bila persyaratan kondisi ideal pengujian telah dipenuhi, maka contoh uji batuan getas akan pecah secara vertikal yang searah dengan pembebanan maksimumnya. Hal ini ditunjukkan pada **Gambar 94**.



Gambar 95. Bentuk Pecahan Kerucut dan Distribusi Tegangan di Dalam Contoh Batuan di Dalam Uji UCS.

Dalam prakteknya sering dijumpai bahwa arah tegangan dalam contoh uji tidak 100% searah dengan gaya yang diberikan pada contoh uji. Hal ini disebabkan pengaruh dari plat penekan mesin tekan yang menghimpit contoh batu. Sehingga bentuk pecahan tidak berbentuk bidang pecah yang searah dengan gaya, melainkan berbentuk kerucut (lihat **Gambar 95**). Hasil pengujian kuat tekan uniaksial yang meliputi pengukuran beban, perpindahan aksial dan lateral serta dengan memperhitungkan luas kontak dan panjang contoh batuan, maka diperoleh kurva tegangan regangan seperti pada **Gambar 96** (Rai, et.al, 2012).



Gambar 96. Kurva Tegangan Regangan Uji Kuat Tekan Uniaksial (UCS)

4) Modulus Young

Persamaan untuk mencari modulus young adalah sebagai berikut (Rai, et.al, 2012):

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\epsilon_a}$$

Dimana: E adalah modulus young (MPa), $\Delta\sigma$ beda tegangan (MPa) dan $\Delta\epsilon_a$ beda regangan aksial (%). Ada 3 cara untuk menentukan modulus young (lihat **Gambar 98**) seperti yang dijelaskan berikut (Rai, et.al, 2012):

a) *Tangent Young's Modulus (E_t)*

Diukur pada tingkat tegangan = 50% σ_c kurva (lihat **Gambar 97.a**). Dimana:

$$E_t = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\epsilon_a}$$

b) Average Young's Modulus (E_{av})

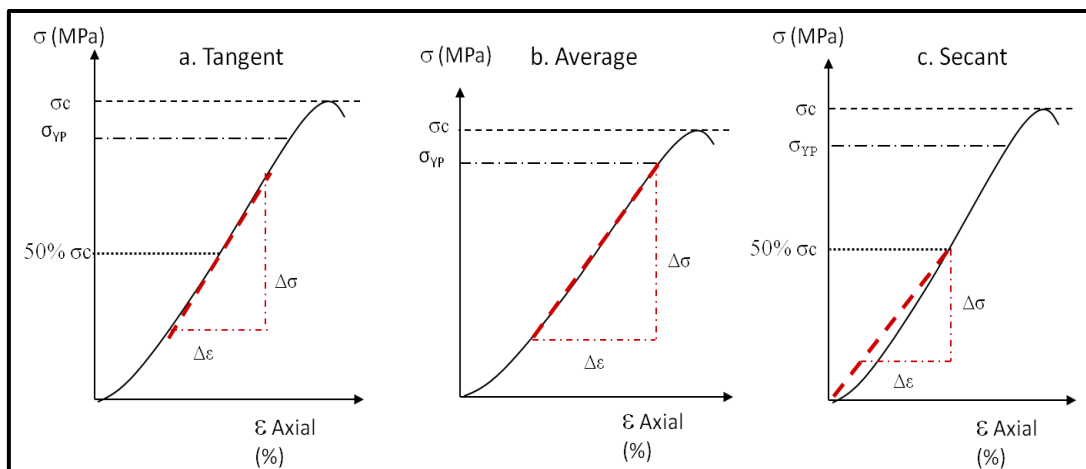
E_{av} diukur dari rata-rata kemiringan kurva atau bagian linier yang terbesar dari kurva (lihat **Gambar 97.b**).

$$E_{av} = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\epsilon_a}$$

c) Secant Young's Modulus (E_s)

Nilai E_s di dapat dari mengukur tegangan = 0 sampai nilai tegangan tertentu, yang biasanya = 50% σ_c kurva (lihat **Gambar 97.c**). Dengan persamaan:

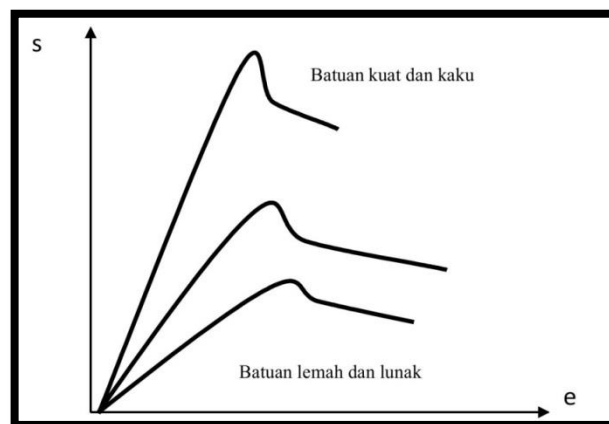
$$E_s = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\epsilon_a}$$



Gambar 97. Penentuan Modulus *Tangent*, *Average* dan *Secant*

5) Nisbah Poisson

Nisbah Poisson (ν) adalah nilai mutlak dari perbandingan antara regangan lateral terhadap regangan aksial. Dalam deformasi elastik mekanik, kecenderungan material untuk mengerut atau mengembang dalam arah tegak lurus terhadap arah pembebanan dikenal sebagai **efek poisson**.



Gambar 98. Kurva Tension Regangan untuk Kekuatan dan Deformabilitas

Jika sebuah contoh batu silinder diberikan tekanan pada arah aksialnya, maka contoh akan mengalami regangan baik ke arah aksial maupun ke arah lateral (lihat kurva tegangan regangan pada **Gambar 98**). Persamaan nisbah poisson adalah sebagai berikut (Rai, et.al, 2012):

$$\nu = \frac{\epsilon_{lateral}}{\epsilon_{aksial}}$$

Dimana ν adalah Nisbah Poisson, $\epsilon_{lateral}$ regangan lateral dan ϵ_{aksial} regangan aksial.

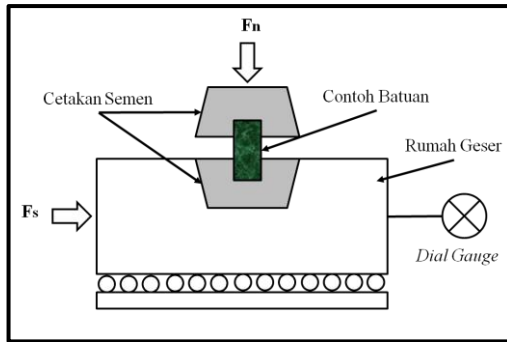
b. Uji Kuat Geser

Semua massa batuan memiliki bidang-bidang diskontinu seperti kekar, bidang perlapisan dan sesar. Pada kedalaman yang tertentudimana tegangan yang bekerja sangat rendah, deformasi terjadi pada batuan utuh dan massa batuan lebih banyak dikendalikan oleh luncuran bidang diskontinu dan sifat butiran batuan utuh. Contoh dari kasus ini adalah pembuatan lereng pada tambang terbuka. Oleh karena itu, sebelum mendesain lereng tambang, kita perlu mengetahui parameter kuat geser batuan, yaitu sudut geser dalam (ϕ) dan kohesi (C) yang diperoleh dengan melakukan uji kuat geser di laboratorium (Rai, et.al, 2012). **Gambar 99** menunjukkan longsoran lereng pada batuan sedimenter di tambang batubara. Ilustrasi pergeseran material lereng ditunjukkan oleh gambaran mekanisme uji geser langsung yang digunakan di laboratorium (lihat **Gambar 100 & 101**)



Gambar 99. Longsoran di Tambang Batubara Adaro (Saptono, 2008)

Untuk mengetahui kuat geser batuan pada tegangan normal tertentu diperlukan uji kuat geser yang menggunakan contoh uji paling sedikit 4 contoh batu uji. Masing-masing contoh dikenakan gaya normal (F_n) tertentu yang diaplikasikan tegak lurus terhadap permukaan bidang diskontinu dan gaya geser atau horizontal (F_s) dikenakan untuk menggeser contoh batu uji sampai pecah (lihat **Gambar 100**).

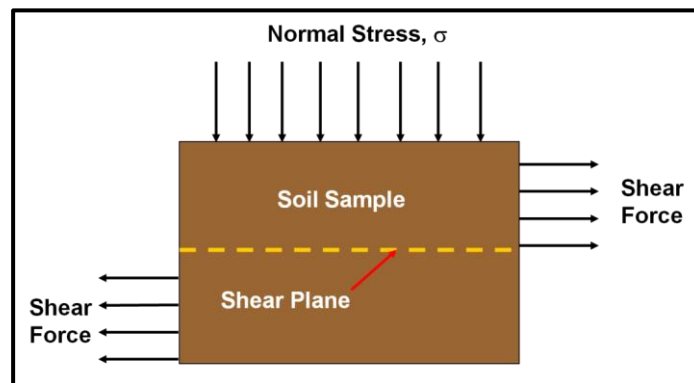


Gambar 100. Ilustrasi Mekanisme Uji Geser Langsung



Gambar 101. Peralatan Uji Geser Langsung di Laboratorium

Hubungan antara gaya perpindahan horinzontal terhadap tegangan geser di tunjukkan pada **Gambar 102**. Pada perpindahan yang relatuf kecil, batuan akan mengikuti perilaku elastis. Hal ini ditandai dengan hubungan linear antara tegangan geser dan perpindahan.



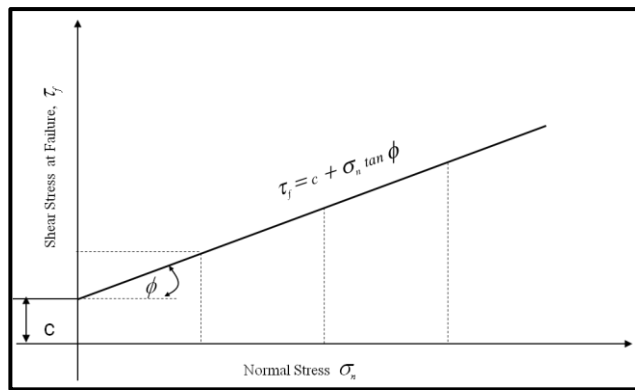
Gambar 102. Ilustrasi Arah Tegangan Pada Uji Geser Langsung

Kuat geser batuan sangat berguna sebagai parameter rancangan kestabilan lereng dan kriteria keruntuhan geser. Kriteria yang sering digunakan adalah Mohr-Coulomb yang ditulis dalam persamaan berikut (Rai, et.al, 2012):

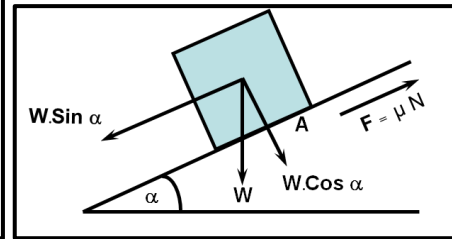
$$\tau = c + \sigma_n \tan \phi$$

Hasil pengujian triaksial kemudian diplot kedalam kurva Mohr-Coulomb (lihat **Gambar 103**). Parameter-parameter kekuatan batuan yang diperoleh adalah:

- 1) Kurva intrinsik
- 2) Kuat geser (τ)
- 3) Kohesi (C)
- 4) Tegangan Normal (σ_n)
- 5) Sudut geser dalam (ϕ)



Gambar 103. Garis kekuatan Mohr-Coulomb



Gambar 104. Balok pada Permukaan Bidang Miring

Untuk memahami sudut geser dalam (ϕ), bayangkan sebuah balok dengan berat (W) berada pada permukaan sebuah bidang miring yang licin, seperti pada **Gambar 104**. Gaya penggerak balok akibat beratnya sendiri adalah $W \sin \alpha = \tan \phi$, gaya normal N dan koefisien μ menghasilkan gaya gesek F_s . Koefisien gesek μ merupakan faktor internal yang besarnya sama dengan $\tan \phi$. Pada saat balok akan tergelincir, maka besarnya gaya penahan sama dengan gaya penggerak sehingga diperoleh persamaan sebagai berikut (Rai, et.al, 2012):

$$\begin{aligned} \frac{W \sin \alpha}{\tan \alpha} &= \frac{W \cos \alpha \tan \phi}{\tan \phi} \\ \alpha &= \phi \end{aligned}$$

Pada kondisi seperti ini, sudut kemiringan bidang tersebut sama dengan sudut gesek dalam (ϕ) dengan catatan kohesi sama dengan nol.

c. Uji Triaksial

Uji triaksial digunakan untuk menentukan kekuatan batuan di bawah 3 komponen tegangan melalui persamaan kriteria keruntuhan. Pengujian dilakukan dengan 5 buah contoh. Kemudian diberi tekanan penempatan (σ_3) yang berbeda-beda (Rai, et.al, 2012). Kekuatan batuan pada kondisi tegangan triaksial berguna untuk merancang lereng pada tambang terbuka. Kriteria yang digunakan dalam pengolahan data uji triaksial adalah kriteria Mohr-Coulomb yang ditulis dalam persamaan berikut (Rai, et.al, 2012):

$$\tau = c + \sigma_n \tan \phi$$

Hasil pengujian triaksial kemudian diplot kedalam kurva Mohr-Coulomb, sehingga dapat ditentukan parameter kekuatan batuan seperti: Kurva intrinsik; Kuat geser (τ); Kohesi (C); Tegangan Normal (σ_n) dan Sudut geser dalam (ϕ)

Pada uji ini, contoh batuan dimasukkan ke dalam sel triaksial, diberi tekanan penempatan (σ_3) dan dibebani secara aksial (σ_1) sampai runtuh. Tegangan menengah dianggap sama dengan tekanan penempatannya ($\sigma_2 = \sigma_3$).

1) Tipe Deformasi Batuan pada Hasil Uji Triaksial

Berdasarkan deformasi yang terjadi sebelum contoh batuan runtuh, dapat dibedakan menjadi 2 golongan, yaitu fraktur getas dan keruntuhan duktil. Serdengecti & Boozer (1961), menyebutkan bahwa contoh batuan runtuh akibat pembebanan triaksial tergantung pada tekanan pemampatan, temperatur dan kecepatan deformasi. Fraktur getas terjadi pada tekanan pemampatan yang rendah, temperatur yang rendah dan laju deformasi yang besar. Sebaliknya, keruntuhan duktil lebih sering terjadi pada tekanan pemampatan yang tinggi dan laju deformasi yang rendah. Griggs & Handin (1960), menjelaskan ada lima (5) tipe deformasi yang terjadi pada contoh batuan saat diberi tekanan pemampatan yang tinggi dalam uji triaksial tersebut:

a) Tipe 1

Tipe ini menunjukkan deformasi getas yang ditandai oleh bentuk runtuh atau pecah yang berupa *splitting*. (lihat **Gambar 105**).



Gb. 105



Gb. 106



Gb. 107

Gambar 105. Hasil Uji Triaksial Tipe 1.

Gambar 106. Hasil Uji Triaksial Tipe 2.

Gambar 107. Hasil Uji Triaksial Tipe 3.

b) Tipe 2

Tipe ini masih menunjukan deformasi getas. Tetapi sudah terlihat adanya deformasi plastik sebelum contoh batuan runtuh (lihat **Gambar 106**).

c) Tipe 3

Pada tipe ini sudah mulai menunjukan transisi dari getas ke duktil. Penambahan tekanan pemampatan menyebabkan contoh batuan runtuh

dalam geser. Keruntuhan geser. Keruntuhan geser terjadi ketika butiran yang terikat berpindah sepanjang bidang geser (lihat **Gambar 107**).

d) Tipe 4

Pada tipe ini pemampatan semakin naik, contoh batuan mulai terdeformasi secara duktil (laju deformasi semakin menurun) dan contoh batuan sudah mulai bersifat plastis (lihat **Tabel 35**).

e) Tipe 5

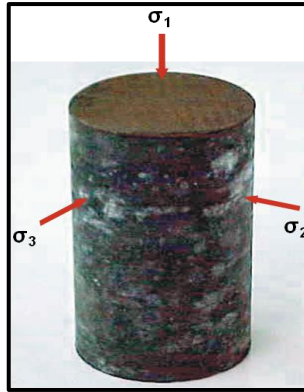
Pada tipe ini tekanan pemampatan dinaikkan kembali, contoh batuan akan bersifat sangat plastis dan akan sukar untuk mendapatkan kekuatan puncaknya (lihat **Tabel 35**).

Tabel 35. Diagram Skematik Berbagai Tipe Deformasi Batuan pada Pengujian Triaksial (Griggs & Handin, 1960)

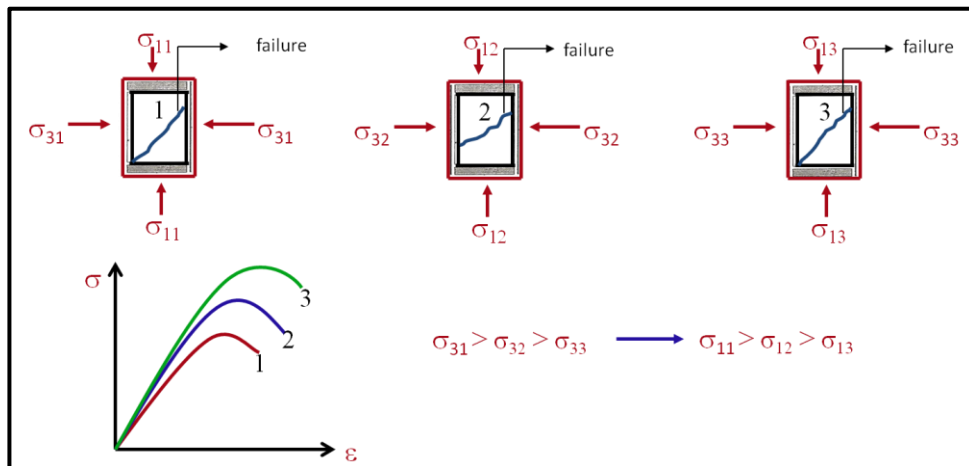
Rock Type	1	2	3	4	5
Strain before failure (%)	< 1	1 - 5	2 - 8	5 - 10	> 10
Component $\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3$					
Tension $\sigma_1 < \sigma_2 = \sigma_3$					
Typical stress strain curve					

2) Uji Triaksial Konvensional

Menurut Hoek (2000), untuk menentukan sifat mekanik batuan dapat dilakukan melalui uji triaksial konvensional. Untuk itu diperlukan sekurang-kurangnya 5 contoh batuan. Uji triaksial dilakukan dengan cara memasukan contoh batuan ke dalam sel triaksial, diberi tekanan pemampatan (σ_3) yang konstan. Selama pengujian dibebani dalam arah aksial (σ_1) secara kontinyu sampai batuan tersebut runtuh (lihat **Gambar 108 & 109**). Pengujian diulangi kembali sampai minimal 5 contoh batuan diuji dengan 5 tekanan pemampatan yang berbeda-beda.

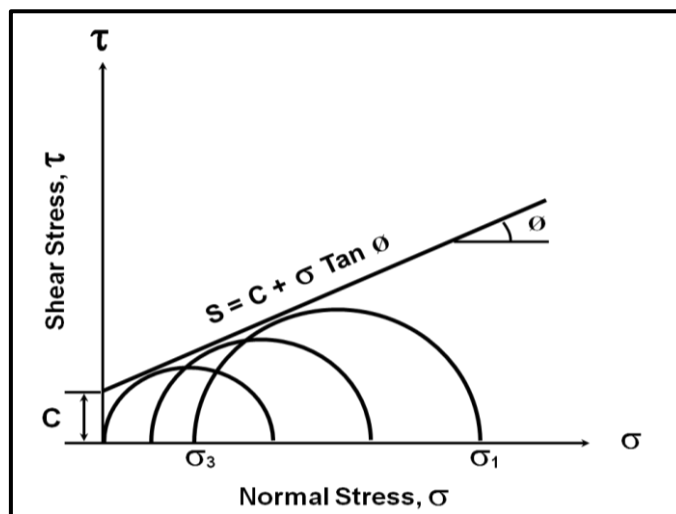


Gambar 108. Arah Tekanan Pemampatan pada Uji Triaksial



Gambar 109. Tahapan Prosedur Uji Triaksial Metoda Konvensional (Rai, et.al, 2012)

Setelah diperoleh nilai (σ_n) dari 5 uji triaksial, selanjutnya hasil pengujian triaksial kemudian diplot kedalam kurva Mohr-Coulomb (lihat **Gambar 110**). Pada kurva ini hasil pengujian kuat geser (τ) sebagai sumbu Y dan hasil pengujian triaksial (σ_n) sebagai sumbu X.

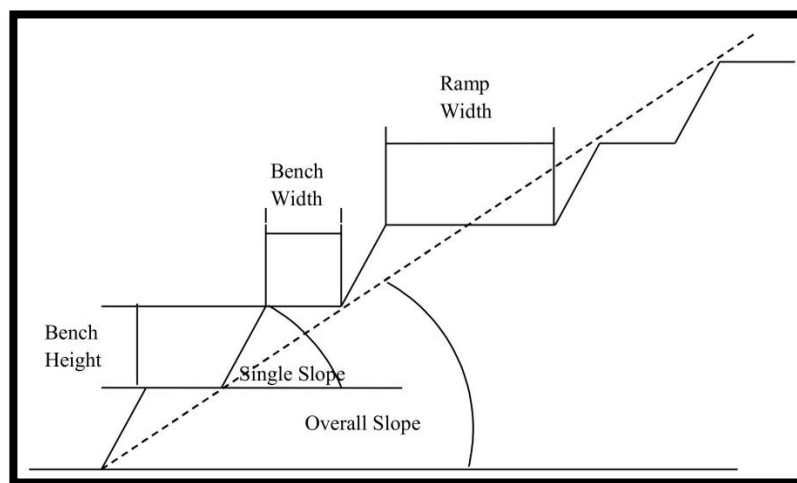


Gambar 110. Kurva lingkaran Mohr-Coulomb untuk Penentuan Hasil Uji Triaksial (Rai, et.al, 2012)

4. Rancangan dan Analisis Kemantapan Lereng

a. Pendahuluan

Pada saat studi kelayakan sebuah tambang terbuka (*open pit* maupun *open cut*), terlebih harus dilakukan estimasi geometri lereng yang aman untuk perhitungan *stripping ratio* dan untuk tata letak *pit* penambangan. Besarnya sudut lereng akhir bergantung pada kategori dan kondisi lereng yang diterapkan. Rancangan lereng merupakan suatu proses untuk menentukan sudut optimum sebagai data masukan ke dalam rancangan lereng tambang. Ada tiga hal penting dalam merancang lereng pada tambang terbuka, yaitu: konfigurasi jenjang, sudut lereng tunggal (*single slope*) dan sudut lereng keseluruhan (*overall slope*) (lihat **Gambar 111**) (Saptono, 2009).



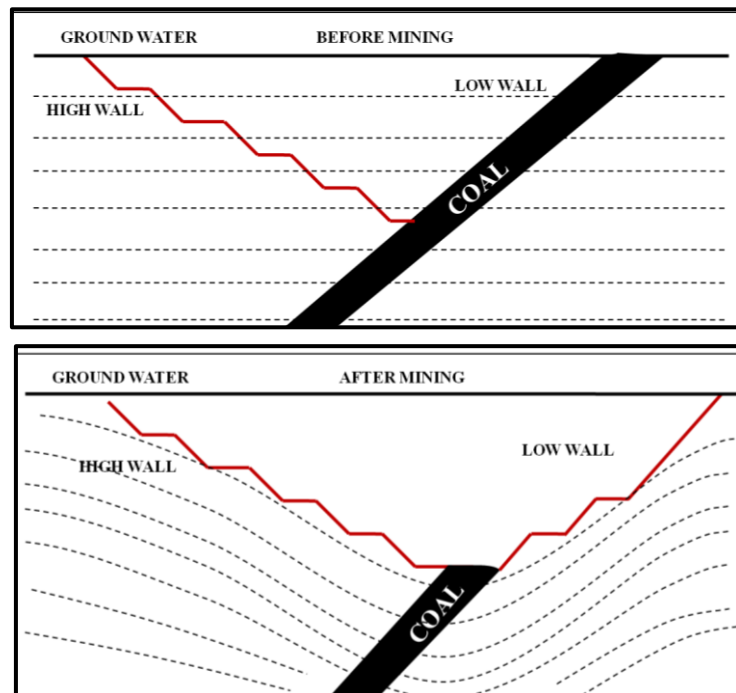
Gambar 111. Cross Section Rancangan Lereng Tambang

Lereng yang tidak aman dapat mengganggu proses penambangan. Minimal ada tiga hal yang perlu diperhatikan (Saptono, 2009) yaitu: dapat menimbulkan hilangnya nyawa manusia, hilangnya harta benda dan terganggunya kegiatan produksi.

b. Latar Belakang Geomekanik

Proses penggalian overburden akan menyebabkan: terjadinya distribusi tegangan baru di sekitar lereng; membuka rekahan dan kekar-kekar; tegangan vertikal menjadi berkurang; menurunnya nilai gaya kohesi (C) dan sudut geser dalam (ϕ) dan air tanah akan masuk pada bidang rekahan sehingga menurunkan tegangan normal efektif pada bidang. Masalah-masalah tersebut akan berpotensi meruntuhkan dinding lereng daerah tambang. Sebagai gambaran terjadi perubahan

distribusi tegangan horizontal akibat penggalian tambang, dapat dilihat pada **Gambar 112** (Saptono, 2009).



Gambar 112. Ilustrasi Distribusi Tegangan Horizontal Akibat Penggalian di Tambang Batubara

c. Rancangan Lereng Tambang

Rancangan lereng diawali dengan mengumpulkan data yang berhubungan dengan karakteristik sebuah lereng. Data yang diperlukan adalah (Saptono, 2009):

- 1) Sifat fisik batuan
- 2) Geomekanika batuan, seperti hasil uji kuat tekan uniaksial (UCS), triaksial dan kuat geser.
- 3) kekar dan bidang diskontinu lainnya.
- 4) Struktur-struktur mayor.
- 5) Data pemboran inti.
- 6) Data hidrogeologi.

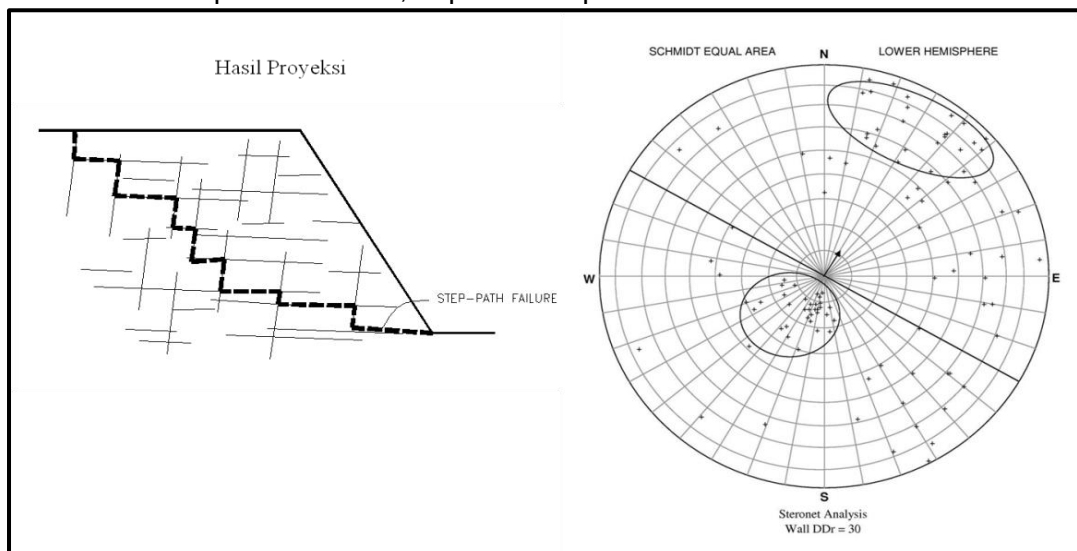
Setelah data di atas terkumpul, maka langkah berikutnya adalah (Saptono, 2009):

- 1) Menentukan sektor-sektor rancangan.
- 2) Melakukan analisis rancangan jenjang untuk menentukan sudut maksimum antar lereng, tinggi lereng, lebar lereng dan lebar Ramp (jalan tambang).
- 3) Melakukan analisis rancangan untuk sudut lereng tunggal (*single slope*) dan sudut lereng keseluruhan (*overall slope*).

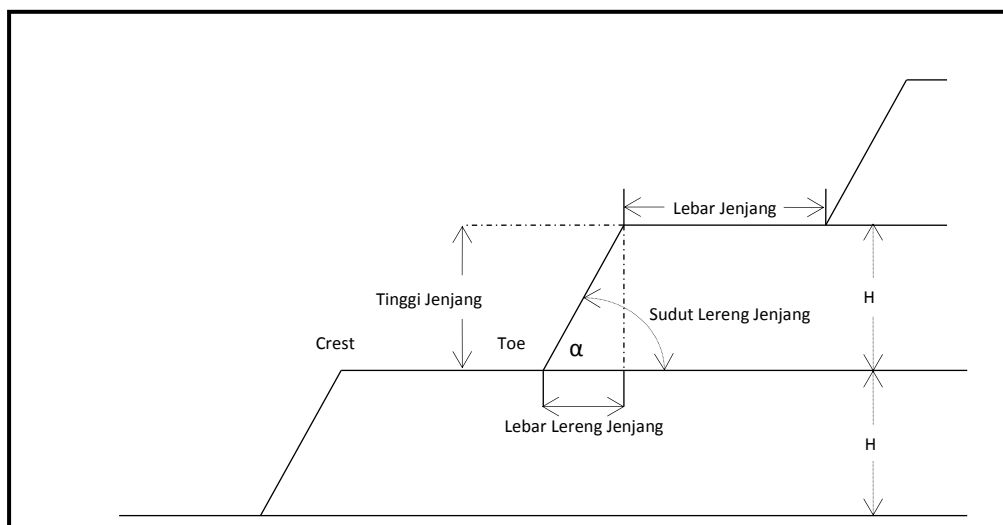
- 4) Mengevaluasi hasil lereng total untuk menentukan potensi kestabilan dan modifikasi bila diperlukan.

Rancangan sudut lereng dalam suatu tambang terbuka dipengaruhi oleh: kekuatan batuan, struktur geologi, kondisi hidrogeologi, arah dinding tambang (*pit wall*), tinggi lereng, distribusi penyebaran bahan galian, dan kondisi operasional di lapangan. Parameter tersebut bervariasi antara satu lokasi dengan lokasi lainnya dalam suatu lokasi tambang.

Untuk setiap sektor dalam pit, orientasi cacat bawaan batuan dan struktur mayor dapat diplotkan pada proyeksi steronet. Berdasarkan hasil steronet ini dapat ditentukan bidang lemah yang terjadi dan memilih metode analisis yang akan digunakan. Untuk melihat contoh analisis kelongsoran dengan analisis steronet oleh PT. Freeport Indonesia, dapat dilihat pada **Gambar 113**.



Gambar 113. Contoh analisis proyeksi steronet oleh PT. Freeport Indonesia (Nicholas, 2009)



Gambar 114. Bagian-Bagian dari Jenjang

Proses perancangan jenjang merupakan suatu proses analisis kestabilan lereng untuk menentukan sudut jenjang yang masih dapat ditambang, memilih lebar jenjang dan tinggi jenjang dengan mempertimbangkan peraturan-peraturan yang berlaku. Bagian-bagian dari jenjang, dapat dilihat pada **Gambar 114** (Saptono, 2009).

d. Rancangan Geometri Lereng Penambangan dan Lereng Timbunan Dengan Menggunakan Program Slide

1) Lereng Tunggal

Pendekatan yang digunakan dalam analisis kemantapan lereng tunggal, adalah (Arif, 2003):

- Variasi material dianggap homogen dan mempunyai kekuatan geser semu (C_{semu} , ϕ_{semu}).
- Kondisi batuan jenuh (ρ_{sat}).
- Tinggi muka air tanah dianggap mengikuti tinggi lereng.

Contoh parameter batuan yang digunakan untuk analisis lereng tunggal merupakan hasil uji laboratorium Geomekanika (lihat **Tabel 37**). Jika Uji dilakukan lebih dari satu kali untuk suatu jenis batuan maka parameter kekuatan yang digunakan adalah kohesi yang terkecil dan densiti batuan yang terbesar.

Tabel 37. Data Material yang Digunakan untuk Analisis Kemantapan Lereng Tunggal

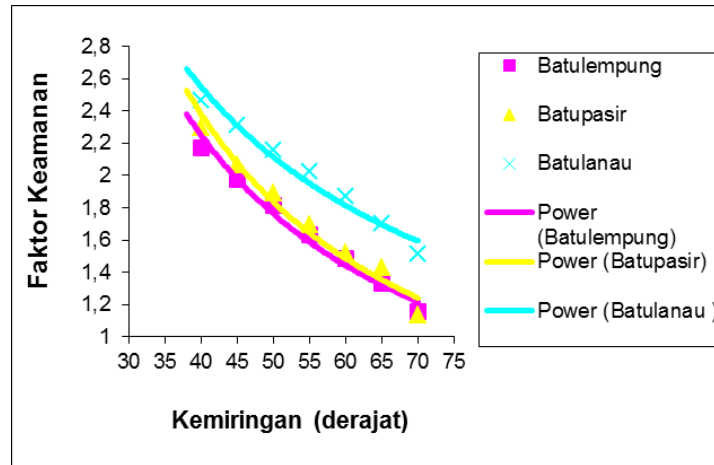
Jenis Material	C_{semu} (MPa)	ϕ_{semu} (°)	ρ_{sat} (gr/cm ³)
Batu Lempung	0.050	37.14	2.36
Batu Lanau	0.074	23.53	2.40
Batubara	0.182	42.71	1.29
Batu Pasir	0.050	42.80	2.50

Tabel 38. Hasil Analisis Kemantapan Lereng Tunggal (Arif, 2003)

Sudut	Batubara	Batu lempung	Batu pasir	Batu lanau
40°	14.514	2.171	2.295	2.466
45°	14.099	1.972	2.066	2.308
50°	13.480	1.817	1.890	2.154
55°	12.850	1.635	1.694	2.024
60°	12.224	1.482	1.521	1.870
65°	11.743	1.330	1.427	1.702
70°	11.059	1.157	1.138	1.513

Perhitungan kemantapan lereng tunggal dilakukan pada tiap jenis material pembentuk lereng (batu lempung, batu lanau, batubara, dan batu pasir). Ketinggian lereng tunggal yang dianalisis adalah 10 m untuk material batu lempung, batu lanau, dan batupasir. Untuk batubara ketinggian yang

dianalisis adalah 6 m, disesuaikan dengan ketebalan maksimum batubara. Variasi sudut lereng yang dianalisis adalah 40°, 45°, 50°, 55°, 60°, 65°, dan 70°. Hasilnya dapat dilihat pada **Tabel 38** (Arif, 2003).



Gambar 115. Grafik antara FK Lereng Tunggal dan Kemiringan Lereng

Berdasarkan hasil analisis di atas (**Gambar 115** dan **Tabel 38**), maka kemiringan lereng tunggal maksimum yang masih aman dengan faktor keamanan minimum 1,3 adalah 65° untuk material batu lempung dan batupasir sedangkan untuk material batu lanau dan batubara adalah 70° (Arif, 2003).

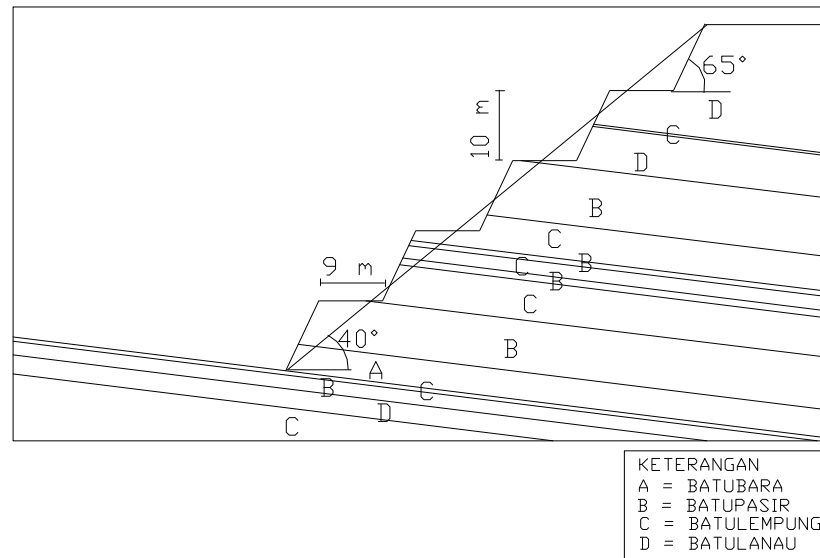
2) Lereng Keseluruhan (*Overall Slope*)

Pendekatan yang digunakan dalam analisis kemantapan lereng keseluruhan adalah (Arif, 2003):

- Analisis kemantapan lereng keseluruhan dilakukan pada penampang yang memotong lubang bor geoteknik dan relatif tegak lurus terhadap jurus batubara (lihat **Gambar 116**)
- Karakteristik batuan yang digunakan adalah karakteristik hasil uji laboratorium dari batuan yang dijumpai pada penampang tersebut.
- Variasi material dianggap homogen dan mempunyai kekuatan geser puncak (C_{puncak} dan ϕ_{puncak}).
- Tinggi muka air tanah dianggap mengikuti tinggi permukaan lereng (lereng dalam keadaan jenuh).

Parameter batuan yang digunakan berasal dari lubang bor seperti pada **Tabel 39**. Jika uji laboratorium dilakukan lebih dari satu kali untuk satu jenis batuan pada penampang tersebut maka kekuatan batuan yang digunakan

untuk analisis adalah kohesi yang terkecil dan densiti yang terbesar (Arif, 2003).



Gambar 116. Bentuk Lereng Keseluruhan (Arif, 2003)

Tabel 39. Data Material yang Digunakan untuk Analisis Kemantapan Lereng Keseluruhan (Arif, 2003)

Jenis Material	C_{puncak} (MPa)	ϕ_{puncak} ($^{\circ}$)	ρ_{sat} (gr/cm 3)
Batu lempung	0.109	42.05	2.32
Batu lanau	0.121	39.76	2.36
Batubara	0.836	48.33	1.29
Batu pasir	0.119	48.62	2.4

Model lereng dua dimensi dengan memperlihatkan kondisi air tanah dan perlapisan batuan dapat dilihat pada **Gambar 116**. Penentuan tinggi dan sudut lereng keseluruhan ini, dilakukan dengan mengikuti kemiringan lapisan batubara ke arah *down dip*. Besarnya faktor keamanan yang diperoleh dari hasil analisis untuk kombinasi sudut dan ketinggian seperti disebutkan di atas dapat dilihat pada **Tabel 40**.

Dengan menggunakan batasan Faktor Keamanan 1,5 untuk lereng keseluruhan maka geometri lereng *hanging wall* untuk pit penambangan adalah tinggi 60 m dan kemiringan 40° (Arif, 2003).

Tabel 40. Hasil Analisis Kemantapan Lereng Keseluruhan (Arif, 2003)

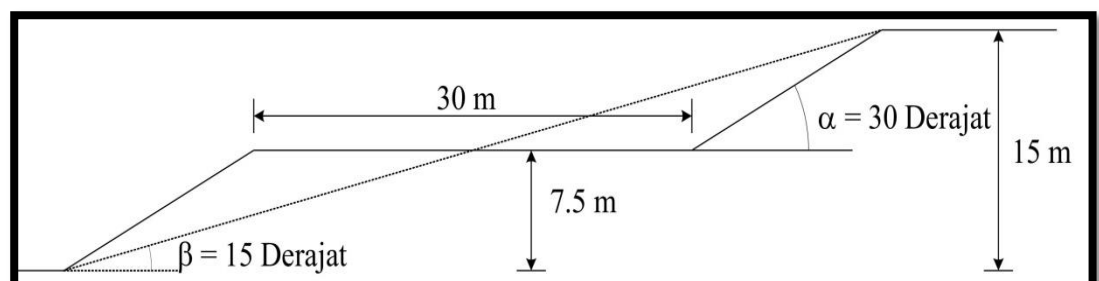
Kedalaman (m)	Sudut (°)	FK
60	50	1.176
	45	1.360
	40	1.574
	35	1.785
50	50	1.249
	45	1.421
	40	1.623
	35	1.884
40	60	1.185
	55	1.377
	50	1.540
30	65	1.272
	60	1.448
	55	1.629
	50	1.830

3) Lereng Timbunan

Pendekatan yang digunakan dalam analisis kemantapan lereng timbunan, adalah (Arif, 2003):

- Data karakteristik material sama dengan material lereng penambangan.
- Diasumsikan material telah terganggu selama proses penambangan. Karakteristik batuan yang digunakan untuk analisis lereng timbunan adalah 50% dari nilai kohesi semu (C_{semu}) dan sudut geser dalam semu (ϕ_{semu}), serta 75% dari nilai densitas jenuh (ρ_{sat}) seperti pada **Tabel 41**.
- Lereng timbunan dianggap berada dalam keadaan jenuh

Perhitungan faktor keamanan dilakukan pada model geometri lereng dengan sudut 15° dan 30° (**Gambar 117**) dan dengan variasi tinggi lereng berbeda yaitu: 10 m, 15 m, 20 m, dan 25 m (Arif, 2003).



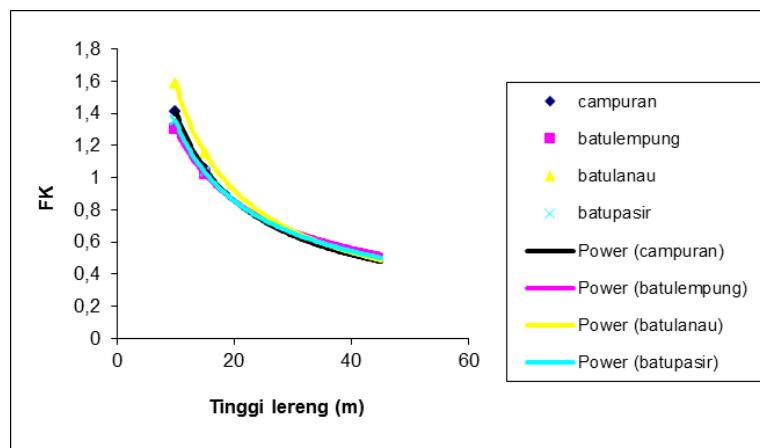
Gambar 117. Geometri Lereng Timbunan (Arif, 2003)

Tabel 41. Karakteristik Material yang Digunakan untuk Analisis Lereng Timbunan

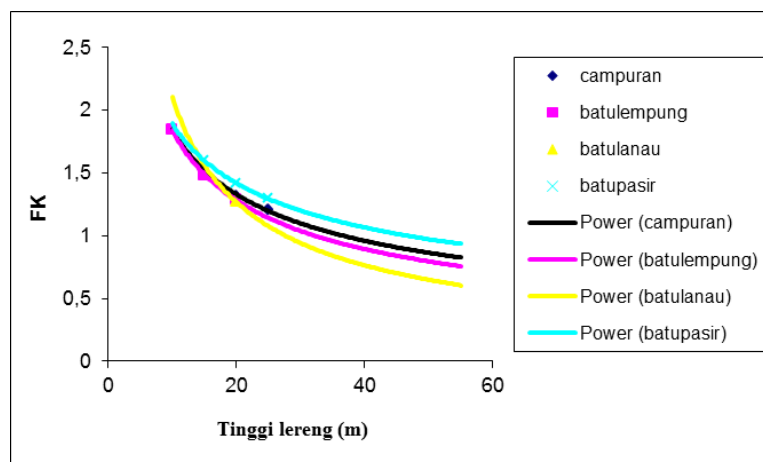
Jenis Material	C_{semu} (MPa)	ϕ_{semu} (°)	ρ_{sat} (gr/cm ³)
Batu Lempung	0.025	18.570	1.770
Batu Lanau	0.037	11.765	1.800
Batu Pasir	0.025	21.400	1.875
Campuran	0.029	17.245	1.815

Metode yang digunakan untuk menentukan geometri lereng timbunan adalah sebagai berikut (Arif, 2003):

- Buat kurva FK dengan tinggi lereng (h) dari setiap material timbunan dan material campuran.
- Ambil bagian terluar dari kurva FK vs tinggi lereng (h) material yang dijumpai untuk penentuan dimensi lereng tunggal timbunan dan kurva material campuran untuk penentuan dimensi lereng keseluruhan timbunan dengan melakukan interpolasi pada faktor keamanan 1,5 (lihat **Tabel 42**)



Gambar 118. Grafik FK terhadap Tinggi Lereng dengan Sudut 30°



Gambar 119. Grafik FK terhadap Tinggi Lereng dengan Sudut 15°

Tabel 42. Hasil Perhitungan FK Lereng Timbunan

Material	Sudut (°)	Faktor Keamanan		Perbedaan (%)
		Galena	Slide	
Batubara	65	11.901	11.743	-0.014
	70	11.462	11.059	-0.035
Batu lanau	60	1.964	1.870	-4.786
	65	1.852	1.702	-8.099
	70	1.552	1.545	-0.451
Batu lempung	55	1.636	1.635	-0.061
	60	1.472	1.482	0.679
	65	1.387	1.33	-4.110
	70	1.157	1.157	0.000
Batu pasir	60	1.547	1.521	-1.681
	65	1.523	1.427	-6.303
	70	1.233	1.138	-7.705

Seperti terlihat pada **Tabel 42** serta kurva FK dengan tinggi lereng (**Gambar 118 dan 119**), maka geometri lereng timbunan di luar pit yang memenuhi syarat untuk daerah penambangan adalah:

- Lereng tunggal : Sudut lereng = 30° ; tinggi lereng = 7,5 m; $FK \geq 1,500$
- Lereng keseluruhan : Sudut lereng = 15° , tinggi lereng = 15 m

5. Rangkuman

Untuk Merancang geometri lereng tunggal (single slope) dan lereng keseluruhan (overall slope) yang aman, diperlukan data sepesifik tentang batuan di sekitarnya, terutama data masukan properties material hasil pengujian geomekanika (sifat fisik dan sifat mekanika batuan). Untuk itu diperlukan proses pengambilan contoh batuna yang bersifat undisturbed. Batuan sampling di bawa ke laboatorium untuk dilakukan uji sifat fisik yaitu dengan cara menimbang berat contoh dan melakukan perhitungan penentuan sifat fisik batuan. Sedangkan uji mekanika batuan meliputi: pengujian kuat tekan (*Unconfined Compressive Strength Test*), persyaratan kualitas contoh batuan untuk uji UCS dan uji triaksial, persyaratan susunan contoh uji dengan pelat penekan, mekanisme pecah contoh batu uji, nisbah poisson. Selain itu juga dilakukan proses uji kuat geser dan uji triaksial serta menentukan tipe deformasi batuan pada hasil uji triaksial. Data yang diperoleh dari hasil pengujian tersebut digunakan untuk merancangan dan analisis kemantapan lereng. Rancangan geometri lereng penambangan dan lereng timbunan dengan menggunakan program Slide. Kemudian untuk analisis kemantapan lereng, perlu dianalisis faktor keamanan, Analisis geometri lereng dengan menggunakan metoda grafis dan metoda bishop

C. Aktivitas Pembelajaran

Aktivitas pembelajaran yang dilakukan pada kegiatan pembelajaran sifat mekanika batuan dan analisis kestabilan lereng ini diantaranya adalah:

1. Mengamati

Mengamati prinsip-prinsip pengambilan sampel batuan untuk pengujian uji fisika batuan batuan.

2. Menanya

Mengkondisikan situasi belajar untuk membiasakan mengajukan pertanyaan secara aktif dan mandiri tentang uji kuat tekan, uji kuat geser dan uji triaksial.

3. Mengumpulkan data

Mengumpulkan data untuk dipertanyakan dan menentukan sumber (melalui benda konkret, dokumen, buku, eksperimen) untuk menjawab pertanyaan yang diajukan tentang rancangan dan analisis kemantapan lereng.

4. Mengasosiasi/ Mengolah Informasi

Mengkategorikan data dan menentukan hubungannya, selanjutnya disimpulkan dengan urutan dari yang paling sederhana sampai pada yang lebih kompleks tentang rancangan geometri lereng penambangan dan lereng timbunan dengan menggunakan program slide.

5. Mengkomunikasikan

Menyampaikan hasil konseptualisasi tentang analisis geometri lereng dan faktor keamanan lereng.

D. Umpan Balik dan Tindak Lanjut

Untuk mendapatkan umpan balik setelah mempelajari modul pembelajaran 7 ini, guru-guru diminta untuk mengisi rubrik umpan balik ini dan memberikan masukan yang konstruktif yang disediakan pada **Tabel 43**.

Tabel 43. Rubrik Umpan Balik Isi Modul

No	Pokok Bahasan	Pertanyaan Umpan Balik	Jawaban Guru dan Tindak Lanjut
1	Pengambilan Contoh sampling	Saudara diminta merancang pengambilan contoh batuan untuk dilakukan uji parameter fisik batuan. (C6)	
2	Pengujian parameter fisik batuan	Ambil sebuah sampel batuan undisturbe, saudara diminta untuk Melakukan atau melaksanakan pengujian parameter fisik batuan seperti berat isi dan kadar air batuan (P2)	

3	Uji Sifat mekanik Batuan	Lakukan perancangan untuk menguji sifat mekanika batuan sampel yang di ambil dari lapangan (C6)	
		Saudara diminta untuk mengoperasikan alat-alat uji sifat mekanik batuan (P5)	

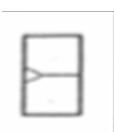
E. Latihan

SOAL ESSEY

1. Apakah yang dimaksud dengan *undisturbed sample* dalam preperasi sampel contoh geotek?
2. Sebutkan 6 parameter yang diperlukan pada penimbangan berat contoh?
3. Apakah persyaratan pelat baja penekan pada uji mekanik batuan?
4. Sebutkan parameter kekuatan batuan yang ditentukan pada saat uji triaksial dan uji kuat geser.
5. Apa saja langkah-langkah dalam merancang lereng tambang?

SOAL PILIHAN GANDA

6. Berapakah temperatur oven untuk mengeringkan contoh batuan pada uji sifat fisik?
 - A. 80°
 - B. 105°
 - C. 90°
 - D. 120°
7. Berapakah perbandingan tinggi contoh batuan (L) dengan diameter contoh batuan (D) yang disyaratkan untuk uji mekanik batuan?
 - A. $L/D = 2,5 - 3$
 - B. $L/D = > 3$
 - C. $L/D = 1,5 - 2$
 - D. $L/D = 2 - 3$
8. Uji kuat tekan dilakukan pada tanah lempung lunak jenuh, sampel dari tanah tak terganggu dengan diameter 42 mm dan tinggi 78 mm. Beban maksimum saat runtuh 40 N dan perpindahan vertikal 12,2 mm. Berapakah nilai kuat tekan bebasnya?
 - A. 22, 78 kN/m²
 - B. 26, 86 kN/m²
 - C. 21, 68 kN/m²
 - D. 25, 47 kN/m²
9. Manakah gambar yang menunjukkan nilai *strain before failure* 2 – 8?

- A. 
- B. 
- C. 
- D. 

10. Berapakah sudut lereng tunggal untuk material batulanau menurut Arif (2003)?

- A. 60°
 B. 70°
 C. 57°
 D. 65°

F. Kunci Jawaban

1. Jawaban Soal No. 1

Yang dimaksud dengan *undisturbed sample* adalah contoh tanah/batuan yang tetap dalam keadaan semula, artinya tidak terganggu baik susunan, struktur dalam maupun kandungan airnya.

2. Jawaban Soal No. 2

- Berat contoh asli (natural) : W_n .
- Berat contoh jenuh (sesudah dijenuhkan dengan air selama 24 jam): W_w .
- Berat contoh jenuh di dalam air : W_s .
- Berat contoh kering (sesudah dimasukkan ke dalam oven selama 24 jam dengan temperatur kurang lebih 90°C) : W_o .
- Volume contoh tanpa pori-pori : $W_o - W_s$.
- Volume contoh total : $W_w - W_s$.

3. Jawaban Soal No. 3

Kedua pelat baja penekan harus memenuhi persyaratan ($D+2 \text{ mm}$). Ketebalan pelat baja penekan paling tidak 15 mm atau sama dengan $D/3$. Kedua muka plat

baja harus halus dan rata dengan kekasaran tidak lebih besar dari pada 0,005 mm.

4. Jawaban Soal No. 4

- a. Kurva intrinsik
- b. Kuat geser (τ)
- c. Kohesi (C)
- d. Tegangan Normal (σ_n)
- e. Sudut geser dalam (ϕ)

5. Jawaban Soal No. 5

- a. Menentukan sektor-sektor rancangan.
- b. Melakukan analisis rancangan jenjang untuk menentukan sudut antar lereng maksimum, tinggi lereng, lebar lereng dan lebar Ramp (jalan tambang).
- c. Melakukan analisis rancangan untuk sudut lereng tunggal (*single slope*) dan sudut lereng keseluruhan (*overall slope*).
- d. Mengevaluasi hasil lereng total untuk menentukan potensi kestabilan dan modifikasi bila perlu.

6. Jawaban Soal No. 6

Jawaban: C

7. Jawaban Soal No. 7

Jawaban: A

8. Jawaban Soal No. 8

Jawaban: B

9. Jawaban Soal No. 9

Jawaban: C

10. Jawaban Soal No. 10

Jawaban: B

IX. PENUTUP

Dengan selesainya penulisan modul Pasca Diklat Uji Kompetensi Gururu (UKG) ini, diharapkan para guru-guru SMK Pertambangan, dapat menambah ilmu pengetahuan dan menggali lebih dalam tentang: (1) Ilmu pedagogik khususnya kaidah-kaidah pengembangan instrument pembelajaran dan mengembangkan kisi-kisi evaluasi proses dan hasil belajar; (2) Ilmu keprofesionalan dibidang pertambangan yang mencakup: Teknik preparasi fosil foraminifera kecil atau mikro forum, penanganan kasus-kasus lingkungan di daerah pertambangan; peralatan untuk proses peladakan; proses peledakan lubang ledak; pengenalan peta geologi dan menganalisis tentang kemantapan lereng daerah pertambangan.

Pada bagian akhir setiap bab dari modul ini juga dilengkapi dengan latihan-latihan, kunci jawaban dan umpan balik sesuai dengan kompetensi yang diharapkan, guna melatih para guru untuk mendalami isi modul.

Akhir kata dari penulis, semoga modul ini bermanfaat untuk mengembangkan keprofesionalan anak bangsa terutama kepada para guru SMK untuk diajarkan kepada siswa-siswa SMK.

A. Evaluasi

Soal-Soal

1. Sebutkan karakteristik batuan yang mengandung fosil dan berikan contoh batuannya?
2. Apakah tujuan dilakukannya pelarutan contoh batuan ke dalam larutan H_2O_2 (*hydrogen peroksida*)?
3. Bagaimanakah karakteristik/persyaratan metoda *in-pit disposal* dalam penimbunan batuan penutup?
4. Apakah fungsi dari saluran terbuka/drainase di disposal area?
5. Apakah yang dimaksud dengan *total suspensi solid* (TSS)?
6. Jelaskan apa itu reklamasi dan apa tujuan dilakukannya reklamasi?
7. Bagaimana cara menentukan evaluasi tingkat keberhasilan pertumbuhan tanaman pada lahan bekas tambang ?
8. Bagaimanakah mekanisme pembentukan energi panas oleh detonator listrik tunda?
9. Apakah fungsi dari *firing line* pada proses perangkaian peledakan?
10. Apakah yang dimaksud dengan *multiple fuse ignitor* (MFI) sebagai bahan perlengkapan peledakan?
11. Bagaimanakah prosedur penggunaan alat pemicu ledak nonel?
12. Apakah fungsi dari Stratigrafi dalam peta geologi?

13. Apakah tujuan terpenting dari lay out dalam sebuah peta ?
14. Sebutkan data apa saja yang diperlukan sebelum melakukan rancangan lereng ?
15. Mengapa kebanyakan analisis kemantapan lereng dilakukan dalam keadaan lereng jenuh?

Kunci Jawaban

1. Batuan yang berukuran butir halus, batuanannya lunak dan merupakan batuan insitu. Contohnya antara lain lempung (*clay*), serpih (*shale*), napal (*marl*), tufa napalan (*marly tuff*) dan batu gamping bioklastik.
2. Untuk memisahkan butiran batuan yang mengandung fosil dari contoh batuan tempat fosil melekat atau dengan kata lain untuk menguraikan conto batuan secara keseluruhan.
3. Metoda ini dilakukan pada lokasi pit yang luas dan berdekatan dengan aktivitas penambangan. Metode ini memanfaatkan areal di dalam pit yang telah digunakan tetapi mencukupi untuk dijadikan areal pembuangan.
4. Fungsinya adalah untuk mengalirkan dan mengarahkan air permukaan ke luar disposal, untuk mengurangi pengikisan material disposal dan mencegah terjadi erosi/longsoran pada disposal area.
5. TSS (residu) adalah bahan yang tersisa setelah air sampel mengalami evaporasi dan pengeringan pada suhu tertentu. Residu dianggap sebagai kandungan total bahan terlarut dan tersuspensi dalam air.
6. Reklamasi merupakan upaya penataan kembali daerah bekas tambang dengan cara melakukan penimbunan batuan penutup serta kegiatan revegetasi agar bisa menjadi daerah yang bermanfaat dan berdayaguna. Selain itu tujuan dilakukannya reklamasi adalah untuk mengembalikan sedemikian rupa bentuk rona awal daerah penambangan dan melestarikan atau mendatangkan kembali flora dan fauna setempat.
7. Untuk mengevaluasi tingkat keberhasilan pertumbuhan tanaman pada lahan bekas tambang, dapat ditentukan dari persentasi daya tumbuhnya, persentasi penutupan tajuknya, pertumbuhannya, perkembangan akarnya, penambahan spesies pada lahan tersebut, peningkatan humus, pengurangan erosi, dan fungsi sebagai filter alam.
8. Mekanisme pembentukan energi panas mulai dari memijarkan kawat halus sampai ramuan pembakar terbakar dan *fusehead* membara. Selanjutnya energi panas di dalam ruang detonator yang tersisa tidak langsung memicu peledakan isian utama,

tetapi energi panas tersebut dirambat-kan beberapa saat melalui media elemen tunda (*delay element*) sampai akhirnya menyentuh isian utama.

9. *Firing line* berfungsi menghubungkan rangkaian peledakan listrik dengan alat pemacu ledak listrik yang dinamakan *blasting machine*.
10. *Multiple fuse ignitor* adalah suatu alat bantu penyulut beberapa sumbu api berupa silinder terbuat dari tembaga atau aluminium dan didalamnya terdapat ramuan pembakar.
11. Prosedurnya yaitu dengan menyisipkan *lead-in line* atau *extendaline* atau “sumbu nonel utama” ke dalam lubang yang tersedia pada alat pemacu ledak nonel dan masukkan *shot shell primer* ke dalam lubang yang tersedia, kemudian tutup oleh *striker* dan siap diledakkan.
12. Fungsi stratigrafi dalam peta geologi adalah untuk memberikan informasi mengenai urutan pelapisan formasi batuan ke arah vertikal di suatu daerah tertentu berdasarkan umur batuan atau sejarah terbentuk bumi dengan menyajikan urutan formasi batuan berdasarkan umurnya dalam bentuk gambar dengan warna, simbol dan corak atau gabungan ketiganya serta keterangan umur batuan dan anggota dari formasi batuan.
13. Tujuan penting mengenai layout peta adalah sebagai atribut pelengkap yang mampu menjelaskan isi peta yang merupakan isi-isi penting dari peta tersebut, sehingga mudah untuk dipahami pembaca.
14. Data yang diperlukan sebelum melakukan rancangan lereng adalah data uji sifat fisik batuan, data uji geomekanika batuan, seperti data uji kuat tekan uniaksial (UCS), uji triaksial dan uji kuat geser, data cacat bawaan, seperti pemetaan kekar dan bidang diskontinu lainnya data pemetaan struktur-struktur mayor, data pemboran inti dan data hidrogeologi.
15. Hal ini dilakukan untuk mengantisipasi kemungkinan terburuk yaitu pada saat curah hujan sangat tinggi sehingga mengakibatkan lereng dalam keadaan jenuh, yang artinya muka air tanah mengikuti permukaan lereng.

B. Glosarium

Continous sampling : Percontaan kontinyu (berkesinambungan), yaitu pengambilan conto dari setiap titik-titik yang berurutan dan pada jarak yang sama sepanjang jalur pengolahan dan pemuatan batubara kedalam gerbong atau keatas kapal.

Core barrel: tabung conto inti/core yang dimasukkan kedalam bor untuk menangkap dan menyimpan core selama pengeboran. Tabung dilengkapi dengan alat penahan danpenjepit mencegah jatuhnya core.

Detonator: alat pengejut yang dimasukkan ke dalam bahan peledak utama. Detonator sebenarnya juga merupakan bahan peledak karena ia berisi sedikit bahan peledak yang menghasilkan getaran pengejut yang diperlukan untuk meledakkan bahan peledak utama.detonator secara umum dibagi dua, detonator yang bekerja dengan aliran listrik dan yang disulut dengan sumbu api. Detonator modern sering dikenal dengan detonator yang dapat diperlambat (delay detonator) (lihat delay).

Environmental impact: dampak lingkungan yakni hasil atau akibat dari kegiatan atau proses tertentu. Dapat diartikan sebagai perubahan lingkungan, yang bersifat menguntungkan (positif) atau merugikan (negatif).

Formasi: kelompok batuan-batuan yang memiliki ciri tertentu yang diberi nama khusus sebagai unt untuk keperluan pemetaan, penjelasan atau untuk bahan acuan.

Mine drainage: penyaliran atau penirisan tambang (pengeluaran air dari tambang) dan adakalanya diartikan dengan sempit sebagai pengeringan tambang. Pengaliran termasuk pekerjaan pembuatan saluran pembuangan, penyediaan pompa, pemompaan air keluar tambang atau kolam penampungan dan atau kolam endap.

Natural slope : lereng alami, yaitu sudut maksimal dari tanah atau tumpukan material dimana tidak terjadi gelindingan. Sudut ini umumnya minimal 30° dan maksimal 39° tergantung sifat material, kelembaban dan bentuk partikel material. Lereng alami ini disebut juga angle of repose (sudut mantap). Untuk batubara berbutir halus hasil penggerusan danpenyaringan terutama dalam keadaan lembab sudut mantap pada tumpukan dari jatuhan ban berjalan dapat melebihi 39°.

Pasca tambang: keadaan setelah suatu penambangan dihentikan utamanya karena batubara atau bahan galian lainnya yang layak tambang sudah habis atau secara teknologi dan ekonomi tidak layak ditambang,.

Pencemaran: penurunan mutu lingkungan karena kegiatan penambangan atau kegiatan lainnya dan kegiatan manusia.penurunan mutu lingkungan hidup termasuk perubahan kimia, fisik ataupun biologi yang terjadi atas tanah, udara, air misalnya perubahan warna, bentuk, rasa, bau, kekeruhan, suhu, jumlah dan sebagainya yang akhirnya berdampak terhadap kesehatan serta keselamatan manusia, fauna dan flora.

Pond: badan air atau kolam yang sengaja dibuat untuk menampung air hujan atau air permukaan lainnya untuk diolah dan digunakan ataupun untuk diolah sebelum dialirkan keperairan umum.

Pola peledakan: titik-titik yang akan diisi bahanpeledak yang terukur baik jarak antara lubang isian, jarak antara baris lubang ledak maupun jarak antara garis lubang ledak dengan dinding teras yang akan diledakkan pola peledakan terutama tergantung kepada sifat batuan yang akan diledakkan, ukuran lubang bor, jenis bahan peledak dan arah peledakan.

Reclamation: pekerjaan pengaturan tanah yang terganggu oleh pertambangan atau kegiatan lainnya dengan tujuan untuk menjadikan tanah bermanfaat, produktif, tidak tercemar dan baik secara estetika. Pekerjaan ini tidak harus berarti mengembalikan tanah yang terganggu sehingga memperoleh sifat fisika dan kondisi semula.

Reklamasi: sama dengan reclamation (lihat reclamation).

Reclamation kontemporer: pelaksanaan reklamasi yangdapat dilakukan secepat mungkin terutama penghijauan dan pemantapan tanah untuk pertumbuhan yang baik.

Reklamasi tambang:reklamasi bekas lahan tambang pada saat sebagian tambang masih beroperasi atau pasca-tambang. Reklamasi tambang adalah bagian dari kewajiban perusahaan tamabang untuk melestarikan lahan bekas pertambangan sesuai dokumen AMDAL.

Revegetation : revegetasi, yakni kegiatan menanami dan menumbuhkan tanaman di areal yang terganggu oleh operasi penambangan. Tanaman yang dipilih adlah jenis-jenis lokal tetapi dapat juga tanaman lainnya khususnya jenis-jenis pohon yang sesuai pada awal revegetasi, misalnya tanaman yang cepat tumbuh.

C. Daftar Pustaka

- Anas Sudijono, 2013. Pengantar Evaluasi Pendidikan, Rajawali Pers, Jakarta.
- Alerts, G dan Santika, S.S, 1987. *Metoda Penelitian Air*, Usaha Nasional. Surabaya.
- Alimano, M, 2011, *Konsep Pedoman Pengelolaan Penimbunan Batuan Penutup di Pertambangan Mineral Indonesia*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral dan Batubara, Bandung, Halaman 8-9, 37-43.
- Anon, 2013, *Laporan Keberlanjutan 2013*, PT. Kaltim Prima Coal, Kalimantan Timur.
- Anonim, 1980, *Blasters' Handbook*, Du Pont, 16th ed, Sales Development Section, Explosives Products Division, E.I. du Pont de Nemours & Co.(Inc), Wilmington, Delaware, pp. 87 – 142.

- Anonim, 1988, *Blasting Explosives and Accessories*, ICI Explosive Australia Operation, Pty. Ltd. Explosive Division, pp. 1 – 17.
- Anonim, 2001, *Technical Information*, Dyno Nobel.
- Ayu, P.D, 2008, *Analisis Pencemaran Air Permukaan dan Pengendalian Polutan Air Asam Tambang Pada Penambangan Batubara*, Tesis program Magister Teknik UPN Yogyakarta.
- Arif, Irwandy, 2003. " *Rancangan Geometri Lereng Penambangan dan Lereng Timbunan dengan Menggunakan Program Slide*", Departemen Teknik Pertambangan ITB. Bandung.
- Baiquni, H, 2007, *Mengelola Drainase Asam dan Logam*, Praktek Unggulan Program Pembangunan Berkelanjutan Untuk Industri Pertambangan, *Department of Industry Tourism and Resources*.
- Boyd, C.E. 1988. *Water Quality in Warmwater Fish Pond*. Forth Printing. Alabama, USA : Agricultural Experiment Station, Auburn University.
- Badan Geologi, 2015. *Penampang Geologi dan Konfigurasi Akuifer*, Pusat Sumber Daya Air Tanah dan Geologi Lingkungan. Bandung.
- Clarke et.al., 1982. *Peta Geologi Lembar Pekanbaru, Sumatera*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi. Bandung.
- Christanto, H. 2010, *Pemilihan Kolam Pengendap di Daerah Tambang*, PERHAPI PT.Kaltim Prima Coal. Kalimantan Timur.
- Esvandiar, 2008. *Smart Fisika SMA*. Jakarta, Puspa Swara.
- Goodman, R.E, 1989. "*Introduction to rock mechanics*", 2nd edition, John Willey & Sons, New York.
- Griffith, A.A, 1921. "*The theory of rupture*". Proceeding of the 1st International Congress of Applied Mechanics, p. 56-63.
- Griggs and Handin, 1960. "*Observations on fracture and a hypothesis of earthquakes*", In: D. Griggs and J. Handin, Editors, *Rock Deformation*, Mem.Geol. soc. Am. 79. Pp. 347-364. 11960D.
- Haslam, S. M. 1995. *River Pollution, an Ecological Perspective*. London UK: Belhaven Press.
- Hefni Effendi. 2003. *Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan*. Penerbit Kanisius, Yogyakarta.
- Herlina, 2004. *Melongok Aktivitas Pertambangan Batu Bara Di Tabalong, Reklamasi 100 Persen Mustahil*. Banjarmasin Post, Banjarmasin.
- Hoek, E and Bray, J.W, 1981. "*Rock Slope Engineering*", revised 3rd ed, The Institute of Mining and Metallurgy, London.
- Hoek, E, 2000. "*Practical Rock Engineering*", Chapter 4, <http://www.rocscience.com>.
- Karliansyah, M.R., 2001. *Aspek Lingkungan Dalam AMDAL Bidang Pertambangan*. Pusat Pengembangan dan Penerapan AMDAL. Jakarta.
- KPP Konservasi, 2006. *Ensiklopedi Bahan Galian Indonesia*, Seri Batugamping, Pusat Sumber Daya Geologi, Bandung.
- Kramadibrata, S, 1990. " *The influence of specimen size on strength of intact rock*", Western Australian Conference on Mining Geomechanics, WASM Kargoorlie, Western Australian.

- Kursus Juru Ledak (KJL), 2004, *Perlengkapan Peledakan*, Modul 2, Departemen Energi dan Sumberdaya Mineral R.I, Badan Pendidikan dan Pelatihan Energi dan Sumberdaya Mineral, Pusdiklat Teknologi Mineral dan Batubara, Bandung.
- Mackereth, F.J.H., Heron, J. and Talling, J.F. 1989. *Water Analysis*, Freshwater Biological Association, Cumbria, UK.
- Koesnaryo, S, 2001, *Pemboran untuk Penyediaan Lubang Ledak*, Jurusan Teknik Pertambangan UPN "VETERAN" Yogyakarta. Yogyakarta.
- Kursus Juru Ledak (KJL), 2004, *Perlengkapan Peledakan*, Modul 2, Departemen Energi dan Sumberdaya Mineral R.I, Badan Pendidikan dan Pelatihan Energi dan Sumberdaya Mineral, Pusdiklat Teknologi Mineral dan Batubara, Bandung.
- Multiflo Pump Products Catalogue, 1976, Handbook Multiflo Australia, Australia.
- Multiflo Pump Products Catalogue, 1976, Handbook Multiflo Australia, Australia.
- Naapuri, J, 1988, *Surface Drilling and Blasting*, Tamrock, pp. 31 – 226.
- Noor, D, 2012, *Pengantar Geologi*, BAB 9, Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Pakuan. Bogor.
- Noor, D, 2009. *Bahan Kuliah Pengantar Geologi*, Bagian 12. Program Studi Teknik Geologi, Universitas Pakuan, Bogor.
- Purwanto, 2014. *Evaluasi Hasil Belajar*, Yogyakarta: Pustaka Pelajar, Jakarta
- Pringgoprawiro, H., 1984, *Buku Panduan Pratikum Mikropaleontologi*, Laboratorium Mikropaleontologi Jurusan Teknik Geologi ITB, Bandung.
- Prodjosumarto, S, 1983. "*Pompa dan Kompresor*", Pradnya Paramita, Jakarta.
- Rahmawaty, 2002. *Restorasi Lahan Bekas Tambang berdasarkan Kaidah Ekologi*, Fakultas Pertanian, Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Republik Indonesia, 1995. *Keputusan Kepala Bapedal No. 5 Tahun 1995 Tentang Simbol dan Label Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun*. Badan Pengendalian Dampak Lingkungan. Jakarta.
- Republik Indonesia, 1999. *Peraturan Pemerintah No. 18 Tahun 1999 Tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun*. Sekretaris Negara. Jakarta.
- Republik Indonesia, 1999. *Peraturan Pemerintah No. 85 Tahun 1999 Tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun*. Sekretaris Negara. Jakarta.
- Republik Indonesia, 2001. *Peraturan Pemerintah No. 74 Tahun 2001 Tentang Pengelolaan Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun*. Sekretaris Negara. Jakarta.
- Republik Indonesia, 2003. [KepMen LH No. 113 Tahun 2003 tentang Baku Mutu Air Limbah bagi usaha dan atau kegiatan Pertambangan Batubara](#). Menteri Negara Lingkungan Hidup. Jakarta.
- Ridwan, M., 2007. *Tanaman Jarak di Bekas Tambang Batu Bara*, Harian Umum Sore Sinar Harapan.

- Rohmana, Djunaedi, E.K., dan Pohan, M.P., 2007. Inventarisasi Bahan Galian Pada Bekas Tambang di Pulau Bintan Provinsi Kepulauan Riau, Pusat Sumber Daya Geologi, Bandung.
- Rusli, H, 2012, *Materi Kuliah Hidrogeologi Mengenai Pencemaran Air Tanah Oleh Product Air Asam Tambang*, Jurusan Teknik Pertambangan, Universitas Negeri Padang.
- Rai, Made Astawa, et.al, 2012, "*Mekanika Batuan*", Laboratorium Geomekanika Departemen Teknik Pertambangan ITB. Bandung.
- Republik Indonesia, 1998. "*Penyusunan Peta Geologi*". SNI 13-4691-1998 ICS 07.060. Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Rock et.al., 1983. *Peta Geologi Lembar Lubuksikaping, Sumatera*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi. Bandung.
- Saptono, Singgih, 2009. "*Bahan Kuliah Geoteknik*", Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik Mineral UNP "Veteran". Yogyakarta.
- Serdengecti, S and Boozer, G.D, 1991. "*The effect of strain rate and temperature on the behavior of rock subject to triaxial compression*", Proc 4th USS-RM:83-94.
- Sudjana, Nana. 1989. Penilaian Hasil Proses Belajar. Bandung: PT. Remaja.
- Sary, 2006. Bahan Kuliah Manajemen Kualitas Air. Politeknik vedca. Cianjur.
- Suprpto, S.J, 2006. *Tinjauan Reklamasi Lahan Bekas Tambang dan Aspek Konservasi Bahan Galian*. Kelompok Program Penelitian Konservasi – Pusat Sumber Daya Geologi.
- Suharsimi Arikunto, 2012. Dasar-Dasar Evaluasi Pendidikan, ed. 2, Bumi Akasara.
- Sapiie, B., dan Harsolumakso, A. H., 2008, *Prinsip Dasar Geologi Struktur*, Laboratorium Geologi Dinamik, Program Studi Teknik Geologi ITB, Bandung.
- Sudijono, Anas. 2013. Pengantar Evaluasi Pendidikan. Jakarta: Rajawali Pers.
- Sudarmo, G.D., 2010, *Mikropaleontologi (Genus Foraminifera)*, Jurusan Teknik Geologi, Universitas Diponegoro, Semarang.
- Sudrajat, Akhmad. Penilaian Hasil Belajar. <http://akhmadsudrajat.files.wordpress.com/200808> Penilaian Hasil Belajar. Diakses Tanggal 20 September 2014.
- Tain, Z., Sutrisno, dan Suprpto, S.J., 2005. *Pemantauan dan Evaluasi Konservasi Sumber Daya Mineral di Kabupaten Halmahera Utara, Provinsi Maluku Utara*, Direktorat Inventarisasi Sumber Daya Mineral, Bandung.
- Taylor, J, Pape, S & Murphy, N, 2005, '*A Summary of Passive and Active Treatment Technologies for Acid and Metalliferous Drainage*,' C Bell (ed.) Proceedings of the Fifth Australian Workshop on Acid Drainage, Fremantle, Western Australia.
- Wahyudin. 2006. Evaluasi Pembelajaran Sekolah Dasar. Bandung: UPI Press.
- Wardhana, W.A., 2004. *Dampak Pencemaran Lingkungan*, Edisi Revisi, Penerbit Andi Yogyakarta.