

**RANCANGAN PELEDAKAN KEGIATAN PRODUKSI PADA MASSA
BATUAN KELAS III TAMBANG BAWAH TANAH CIURUG PT. ANEKA
TAMBANG (PERSERO) TBK. UBPE PONGKOR, JAWA BARAT**

SKRIPSI

*Diajukan sebagai Salah Satu Syarat dalam Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada Jurusan Teknik Pertambangan Universitas Negeri Padang*



Oleh :
ARIF MUNANDAR
1203141/2012

**JURUSAN TEKNIK PERTAMBANGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2017**

LEMBAR PERSETUJUAN SKRIPSI

**RANCANGAN PELEDAKAN KEGIATAN PRODUKSI PADA MASSA
BATUAN KELAS III TAMBANG BAWAH TANAH CIURUG PT ANEKA
TAMBANG (PERSERO) TBK. UBPE PONGKOR JAWA BARAT.**

Nama : Arif Munandar
NIM/BP : 12013141/2012
Program Studi : S1 Teknik Pertambangan
Jurusan : Teknik Pertambangan
Fakultas : Teknik

Padang, 11 Agustus 2017

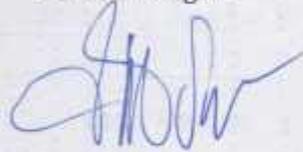
Disetujui Oleh:

Pembimbing I



Drs. Raimon Kopa, M.T
NIP: 19580313 198303 1 001

Pembimbing II



Ansosrv, S.T, M.T
NIP: 19730520 200012 1 001

Mengetahui,

**Ketua Jurusan Teknik Pertambangan
Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang**



Drs. Raimon Kopa, M.T
NIP: 19580313 198303 1 001

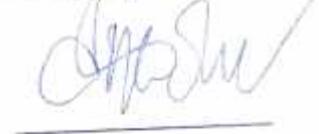
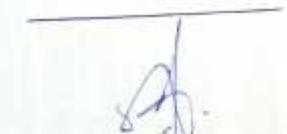
LEMBAR PENGESAHAN

Dinyatakan Lulus setelah mempertahankan Skripsi di depan Tim Penguji
Skripsi Program studi S1 Teknik Pertambangan
Jurusan Teknik Pertambangan Fakultas Teknik
Universitas Negeri Padang

Judul : Rancangan Peledakan Kegiatan Produksi Pada
Massa Batuan Kelas III Tambang Bawah Tanah
Ciurug PT. Aneka Tambang (Persero) Tbk UBPE
Pongkor Jawa Barat.
Nama : Arif Munandar
NIM/BP : 1203141/2012
Program Studi : S1 Teknik Pertambangan
Jurusan : Teknik Pertambangan
Fakultas : Teknik

Padang, 11 Agustus 2017

Tim Penguji

	Nama		Tanda Tangan
1. Ketua	: Drs. Raimon Kopa, M.T	1.	
2. Sekretaris	: Ansosry, S.T, M.T	2.	
3. Anggota	: Dr. Rijal Abdullah, M.T	3.	
4. Anggota	: Dedi Yulhendra, S.T., M.T	4.	
5. Anggota	: Adree Octova, S.Si, M.T	5.	



SURAT PERNYATAAN TIDAK PLAGIAT

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Arif Murandar
NIM/TM : 120314113012
Program Studi : S-1 Teknik Pertambangan
Jurusan : Teknik Pertambangan
Fakultas : FT UNP

Dengan ini menyatakan, bahwa Tugas Akhir/Proyek Akhir saya dengan Judul :

Rancangan Peledakan Kegiatan Produksi pada
Massa Batuan kelas III Tambang Bawah Tanah
Ciurug PT. Aneka Tambang (IBK) URPE Pangkor
Jawa Barat

Adalah benar merupakan hasil karya saya dan bukan merupakan plagiat dari karya orang lain. Apabila suatu saat terbukti saya melakukan plagiat maka saya bersedia diproses dan menerima sanksi akademis maupun hukum sesuai dengan hukum dan ketentuan yang berlaku, baik di Institusi Universitas Negeri Padang maupun di masyarakat dan negara.

Demikianlah pernyataan ini saya buat dengan penuh kesadaran dan rasa tanggung jawab sebagai anggota masyarakat ilmiah.

Padang, 11 Agustus 2017

Diketahui oleh,
Ketua Jurusan Teknik Pertambangan

Drs. Raimon Kopa, M.T.
NIP. 19580313 198303 1 001

at pernyataan,

Arif Murandar



Management
System
ISO 9001:2008

RINGKASAN

RANCANGAN PELEDAKAN KEGIATAN PRODUKSI PADA MASSA BATUAN KELAS III TAMBANG BAWAH TANAH CIURUG PT. ANEKA TAMBANG (TBK). UBPE PONGKOR JAWA BARAT.

Arif Munandar

PT. ANTAM Tbk. UBPE Pongkor pada tahun 2016 menargetkan produksi bijih sebesar 1200 ton/hari atau 36.000 ton/bulan. Pada realisasi target produksi bijih tahun 2015 PT. ANTAM UBPE Pongkor mencapai produksi sebanyak 82,03%. Pencapaian tersebut belum memenuhi target produksi. Salah satu faktor yang berpengaruh terhadap pencapaian target produksi yaitu aktivitas peledakan. Suatu desain peledakan yang tepat sangat diperlukan untuk meningkatkan indikator keberhasilan peledakan. Adapun indikator keberhasilan peledakan ialah kemajuan tambang, fragmentasi dan *powder factor*.

Berdasarkan pengamatan dan pengukuran di lapangan, pada kegiatan produksi didapatkan nilai untuk massa batuan kelas III berdasarkan uji *Rock Mass Rating* dengan dengan parameter kuat tekan, RQD, kondisi dikontinuitas, jarak kekar, air tanah dan arah orientasi badan bijih. Kemajuan peledakan yang dihasilkan dari kegiatan peledakan aktual adalah 85%. Angka ini belum mencapai standar kemajuan yang ditetapkan oleh perusahaan, yaitu 90% dari kedalaman lubang ledak. Sementara PF yang dihasilkan adalah 1,32 kg/ton dengan persentase fragmentasi kecil (< 4,4 cm) adalah 34,16% dan persentase fragmentasi optimum (25-40 cm) hanya 8,85%, kemajuan tambang yang diperoleh dari hasil pemboran ialah 85% dan kemajuan peledakan ini belum mencapai standar perusahaan yaitu 95%.

Rancangan peledakan yang digunakan dalam penelitian ini dihitung berdasarkan formula pada buku *Drilling and Blasting of Rocks* (Jimeno, et al, 1995: 217-230). Berdasarkan analisis terhadap hasil uji coba rancangan peledakan, dapat diketahui bahwa parameter keberhasilan peledakan produksi dapat ditingkatkan dari parameter hasil kegiatan peledakan aktual dengan menerapkan rancangan peledakan usulan yang dibuat dengan hasil uji coba rancangan peledakan usulan antara lain, kemajuan peledakan 95%, PF 1,18 kg/ton, fragmentasi P80=24 cm.

Kata kunci: Rancangan Peledakan, Peledakan produksi, *Powder factor*.

ABSTRACT

BLASTING DESIGN OF PRODUCTION ACTIVITY IN ROCKS MASS CLASS III UNDERGROUND MINE CIURUG PT. ANEKA TAMBANG (TBK). UPBE PONGKOR JAWA BARAT

Arif Munandar

In 2016 PT. ANTAM Tbk. UBPE Pongkor has a target to produce ore for 1.200 ton/ day or 36.000 ton/ month. In realisation target the production of ore in 2015 PT ANTAM UBPE Pongkor reach the production for 82.03%. That number did not achieve the target production. One of the factors that were influence the yield of the production target was blasting activity. A blasting design that was appropriate was needed for increasing the indicator of successful in blasting. Then, the indicators of blasting success were mine advance, fragmentation, and powder factor.

Based on observation and measuring in field, in production activity obtained the score for rocks mass class III by using Rock Mass Rating with the parameter strength of intact rock material, RQD, condition of discontinuities, spacing of discontinuities, ground water and effect of discontinuity strike and dip orientation of tunneling. The advance of blasting activity that was produced by actual blasting activity was 85%. This number did not achieve the standard of advance that was setting by company that was 90% from the deep of blast hole. In temporary, PF that produced was 1,32 kg/ton with tiny fragmentation percentage (<4,4cm) was 34, 16% and optimum fragmentation percentage (25-40cm) only 8, 85%. The tiny fragmentation related with the score of PF that was overload, and mine advance that was gained from drilling was 85% and this mine advance did not achieve the standard of company that was 90%.

Blasting design that is used in this research is calculated based on formula in drilling and blasting of rocks (Jimeno, et al, 1995: 217-230). The analysis result toward trial and error blasting design, it is known that the parameter of successful production could increase from parameter of actual blasting activity by applying proposed blasting that is made by result of trial and error design proposed blasting, there are advance explode 95%, fragmentation P80=24 cm, and powder factor 1,18kg/ton.

Keywords: Blasting Design, Production Blasting, Powder Factor

KATA PENGANTAR

Puji syukur tidak henti-hentinya penulis ucapkan kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul “*Rancangan Peledakan Kegiatan Produksi Pada Massa Batuan Kelas III Tambang Bawah Tanah PT. Antam (Persero) Tbk UBPE Pongkor, Jawa Barat*”. Skripsi ini ditulis sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana pada Jurusan Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.

Penulis dalam pelaksanaan dan penyusunan Skripsi ini mendapatkan banyak bantuan, dukungan dan bimbingan dari berbagai pihak, Oleh karena itu penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Ibunda Pia Erni dan Ayahanda Drs. Juanda tercinta yang telah menjadi semangat dan motivasi bagi penulis dalam setiap langkah dan adik tersayang yang sangat peduli satu sama lain.
2. Bapak Drs. Raimon Kopa, M.T., Ketua Jurusan Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang sekaligus Dosen Pembimbing I.
3. Bapak Ansosry, S.T, M.T. selaku Dosen Pembimbing II.
4. Seluruh staff pengajar di Jurusan Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.
5. Bapak Arwin Yurison, S.T., selaku pembimbing lapangan dan *Assistant Manager Mine Production B*.

6. Pada kesempatan ini, Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada Seluruh karyawan, serta mitra-mitra yang tergabung di PT Antam (Persero), Tbk UBPE Pongkor.
7. Sahabat-sahabatku, seluruh teman teman, serta senior-senior yang telah membantu dan memberikan dukungan kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa masih terdapat kekurangan dalam Skripsi ini. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun dari pembaca sangat diharapkan.

Akhir kata penulis berharap semoga Skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua, khususnya bagi Penulis dan bagi Jurusan Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang serta pembaca dan pihak yang terkait dengan Skripsi ini.

Padang, Agustus 2017

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERSETUJUAN.....	iii
SURAT TIDAK PLAGIAT	iv
BIODATA.....	v
RINGKASAN	vi
<i>ABSTRACT</i>	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang	1
B. Identifikasi Masalah	3
C. Batasan Masalah	4
D. Rumusan Masalah	4
E. Tujuan Penelitian	5
F. Manfaat Penelitian	5
BAB II KAJIAN PUSTAKA.....	6
A. Deskripsi Perusahaan	6
B. Batuan	16
C. Sifat Bahan Peledak	27
D. Interaksi Bahan Peledak dengan Batuan.....	36
E. Konstanta Batuan	38
F. Indikator Keberhasilan Peledakan.....	41
G. Merencanakan Geometri Peledakan	43
H. Kerangka Konseptual	52
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	53
A. Jenis Penelitian	53
B. Tahapan Penelitian.....	54

C. Lokasi Penelitian.....	59
D. Teknik Analisis Data.....	60
E. Jadwal Penelitian	62
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	63
A. Data Hasil Pengamatan	63
B. Uji Coba Rancangan Peledakan Usulan.....	74
C. Pembahasan.....	91
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	98
A. Kesimpulan	98
B. Saran	99
DAFTAR PUSTAKA	100
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Formasi Batuan di Gunung Pongkor dan Banten Selatan (Dept. Quality Control PT. Antam (persero), Tbk UBPE Pongkor, 2016)	14
Tabel 2.2 Klasifikasi Kuat Tekan Batuan (Bieniawski, 1973)	18
Tabel 2.3 Urutan Pembongkaran Menurut Kuat Tekan Uniaksial (Kramadibrata, 1998)	18
Tabel 2.4 Klasifikasi Parameter dan Pembobotan (Bieniawski, 1989).....	19
Tabel 2.5 Peubah Bobot Orientasi Diskontinuitas (Bieniawski, 1989)	19
Tabel 2.6 Kelas Massa Batuan Menurut Bobot Total (Bieniawski, 1989) .	19
Tabel 2.7 Hubungan RQD dengan Frekuensi Diskontinuitas per Meter (Hobbs,1975)	21
Tabel 2.8 Klasifikasi Jarak Antar bidang Diskontinuiti (Attewell, 1993) ..	22
Tabel 2.9 Deskripsi Pemisahan Bidang Lemah (ISRM <i>Suggested method</i> , 1981)	23
Tabel 2.10 Klasifikasi Kemenerusan (ISRM, 1978)	23
Tabel 2.11 Deskripsi Tingkat Pelapukan Batuan (ISRM <i>Suggested method</i> , 1981)	24
Tabel 2.12 Pengaruh Orientasi kekar Dalam Pembuatan Terowongan	26
Tabel 3.1 Rencana Jadwal Kerja Penelitian	26
Tabel 4.1 Pola Rancangan.....	67
Tabel 4.2 Kedalam Pemboran dan Kemajuan Tambang.....	70
Tabel 4.3 Volume dan PF	70
Tabel 4.4 Fragmentasi Hasil Peledakan Aktual	73
Tabel 4.5 Kemajuan Usulan.....	88

Tabel 4.6 PF Usulan.....	88
Tabel 4.7 Fragmentasi uji coba	89
Tabel 4.8 Tinjauan Fragmentasi Uji Coba	92
Tabel 4.9 Kemajuan Peledakan.....	92
Tabel 4.10 PF Peledakan Aktual dan Usulan.....	95
Tabel 4.11 Fragmentasi Aktual dan Usulan	96
Tabel 4.12 Ringkasan Penelitian.....	97

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Tampak Atas Daerah Tambang Tambang Pongkor (Dept. Quality Control PT. Antam (persero), Tbk UBPE Pongkor,2016)	7
Gambar 2.2 Tampak Atas Daerah Tambang Tambang Pongkor (Dept.Quality Control PT. Antam (persero), Tbk UBPE Pongkor,2016)	9
Gambar 2.3 Stratigrafi Tambang Pongkor (Dept.Quality Control PT. Antam (persero), Tbk UBPE Pongkor, 2016).....	11
Gambar 2.4 Profil Kekerasan.....	25
Gambar 2.5 Orientasi Bidang Diskontinuitas	26
Gambar 2.6 Bidang <i>Chapman-jouguet</i>	35
Gambar 2.7 Proses Pecahnya Batuan	38
Gambar 2.8 Pembagian Muka Terowongan	45
Gambar 2.9 Dimensi Cut.....	48
Gambar 3.1 Peta Kesampaian Daerah.....	59
Gambar 3.2 Lay out lokasi Penambangan	60
Gambar 4.1 Pola Pemboran Aktual	68
Gambar 4.2 Geometri Usulan RMR kelas III	75
Gambar 4.3 Perbandingan Kemajuan Usulan dengan Aktual	92
Gambar 4.4 Perbandingan <i>Powder Factor</i>	95
Gambar 4.5 Perbandingan Hasil Peledakan Aktual dan Usulan	97

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A Geometri Peledakan Aktual.....	102
LAMPIRAN B Kedalaman Lubang Ledak.....	105
LAMPIRAN C Kemajuan Peledakan Uji Coba.....	106
LAMPIRAN D Rancangan Usulan.....	107
LAMPIRAN E Rock Mass Rating Lokasi Penelitian.....	108
LAMPIRAN F Peta Lokasi Penelitian.....	109

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

PT. ANTAM (persero), Tbk adalah salah satu Badan Usaha Milik Negara (BUMN) berada dibawah Kementrian Negara BUMN Republik Indonesia yang melakukan eksplorasi dan eksploitasi mineral logam di Indonesia. PT. ANTAM (persero), Tbk memiliki beberapa unit produksi, salah satunya adalah Unit Bisnis Penambangan Emas (UBPE) Pongkor, yang terletak di Gunung Pongkor, Desa Bantar Karet, Kecamatan Nanggung, Kabupaten Bogor, Provinsi Jawa Barat. Proyek PT. ANTAM (persero), Tbk UBPE Pongkor mulai dibuka tahun 1991-1992 dan mulai produksi pada tahun 1994 dengan luas wilayah eksplorasi 6.047 Hektar yang di dalamnya terdapat kawasan Taman Nasional, Perhutani, Perkebunan Teh Nirmala, dan pemukiman masyarakat. Oleh karena itu sistem penambangan PT. ANTAM (persero), Tbk UBPE Pongkor menggunakan sistem penambangan bawah tanah (*Underground Mining*).

Berdasarkan laporan tahunan PT. Aneka Tambang Tbk. UBPE Pongkor dari tahun 2012 hingga tahun 2015, produksi bijih belum mencapai target produksi. Pada realisasinya produksi bijih tahun 2012 sebesar 93%, tahun 2013 sebesar 91%, tahun 2014 sebesar 93,6% dan tahun 2015 mencapai 82% dari target produksi yang ditetapkan. (*annual report*). Salah satu faktor yang berpengaruh terhadap pencapaian target produksi yaitu aktivitas peledakan. Suatu desain peledakan yang tepat sangat diperlukan sehingga fragmentasi batuan hasil peledakan tidak melebihi ukuran standar dari *crusher*. Adapun

ukuran maksimum dari fragmentasi hasil peledakan yang dapat diolah oleh *crusher* ialah batuan dengan ukuran kurang dari 40 cm. Timbulnya fragmentasi batuan yang melebihi ukuran *crusher* akan menghambat pencapaian target karena diperlukan *secondary blasting* pada batuan yang melebihi ukuran tersebut yang akan membutuhkan tambahan waktu penanganan disamping akan merugikan dari segi ekonomi (*cost*).

Selain itu, penerapan kegiatan pemboran produksi yang kurang baik mengakibatkan geometri pemboran menjadi kurang tepat dan hasil peledakan yang kurang optimal. Titik-titik pemboran dibuat hanya berdasarkan perkiraan dan pengalaman operator alat bor tanpa dilakukan pengukuran atau pembuatan garis bantu terlebih dahulu. Tidak diterapkannya pengukuran geometri titik-titik pemboran pada area produksi tersebut mempengaruhi indikator-indikator keberhasilan peledakan, antara lain kemajuan peledakan, *powder factor* (PF), dan fragmentasi hasil peledakan.

Berdasarkan pengamatan dan pengukuran di lapangan, kemajuan peledakan yang dihasilkan dari kegiatan peledakan aktual adalah 83%. Angka ini belum mencapai standar kemajuan yang ditetapkan oleh perusahaan, yaitu 90% dari kedalaman lubang ledak. Sementara PF yang dihasilkan adalah 1,20 kg/ton dengan persentase fragmentasi kecil (< 4,4 cm) adalah 34,16% dan persentase fragmentasi optimum (25-40 cm) hanya 8,85%. Fragmentasi yang kecil berkaitan dengan nilai PF yang terlalu besar. Menurut Dessureault (2004: 82), PF yang semakin tinggi akan menghasilkan fragmentasi yang halus. Sementara PF yang semakin rendah akan menghasilkan fragmentasi yang lebih

kasar. PF standar yang ditetapkan oleh perusahaan untuk peledakan produksi adalah 0,6 kg/ton. Berdasarkan kurva hubungan antara luas *heading* dan diameter lubang ledak (Jimeno, 1995: 225), nilai PF untuk produksi sekitar 0,79 kg/ton. Selain itu, dari grafik hubungan antara konstanta batuan dengan RMR (Febry, 2012: 55), untuk RMR 46,29 diperoleh konstanta batuan 0,82 kg/ton.

Berdasarkan permasalahan diatas, penulis melakukan penelitian mengenai rancangan peledakan yang ditujukan untuk kegiatan peledakan produksi dengan judul **“Rancangan Peledakan Kegiatan Produksi Pada Massa Batuan Kelas III Tambang Ciurug PT. Aneka Tambang (Persero) Tbk. UBPE Pongkor, Jawa Barat.”**

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas dapat diidentifikasi beberapa masalah, antara lain:

1. Realisasi target produksi PT. ANTAM UBPE Pongkor belum tercapai.
2. Belum adanya rancangan peledakan produksi untuk masa batuan kelas III.
3. Hasil peledakan menggunakan rancangan pemboran dan peledakan aktual berdasarkan parameter kemajuan, PF dan fragmentasi belum optimal.
4. Penerapan kegiatan pemboran dilakukan dengan pengukuran titik-titik pemboran pada heading produksi dan menyebabkan indikator keberhasilan peledakan yang kurang optimal, antara lain: kemajuan peledakan yang belum maksimal, tingginya angka PF dan fragmentasi hasil peledakan yang kecil.

C. Batasan Masalah

Penelitian dilakukan dengan memberikan batasan terhadap masalah yang akan diteliti. Adapun batasan yang ditentukan oleh penulis adalah sebagai berikut:

1. Penelitian hanya dilakukan pada lokasi tambang Ciurug PT. ANTAM (persero) Tbk. UBPE Pongkor, Jawa Barat.
2. Penelitian hanya dilakukan pada massa batuan kelas III berdasarkan RMR.
3. Penelitian hanya membahas dari sisi teknik peledakan.
4. Evaluasi kegiatan peledakan hanya dilakukan pada parameter fragmentasi, kemajuan tambang dan *powder faktor*.

D. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dibuat agar mengetahui fokus pada penelitian untuk dapat mencari jawaban dari pertanyaan-pertanyaan yang dimunculkan. Adapun pertanyaan-pertanyaan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimakah pola pemboran dan peledakan aktual yang diterapkan pada kegiatan peledakan produksi di tambang Ciurug PT. ANTAM (persero) Tbk. UBPE Pongkor?
2. Bagaimanakah rancangan peledakan yang sesuai untuk massa batuan kelas III Pada tambang Ciurug PT. ANTAM (persero) Tbk. UBPE Pongkor?
3. Bagaimana hasil peledakan dari rancangan yang dibuat?

E. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pola pemboran dan peledakan aktual yang diterapkan pada kegiatan peledakan pada tambang Ciurug PT. ANTAM (persero) Tbk. UBPE Pongkor.
2. Mengetahui rancangan peledakan yang sesuai dengan massa batuan kelas III agar dapat meningkatkan indikator keberhasilan peledakan pada tambang Ciurug PT. ANTAM (persero) Tbk. UBPE Pongkor.
3. Memperoleh hasil peledakan dari rancangan yang dibuat terhadap indikator keberhasilan peledakan.

F. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan masukan dan saran kepada perusahaan mengenai rancangan peledakan tambang Ciurug PT. ANTAM (persero) Tbk. UBPE Pongkor untuk kelas III massa batuan berdasarkan klasifikasi RMR sebagai acuan dalam standarisasi geometri pemboran dan peledakan untuk mendapatkan hasil yang optimal.
2. Penelitian ini dapat dijadikan sebagai referensi untuk penelitian lebih lanjut mengenai standar pola pemboran dan peledakan tambang Ciurug PT. ANTAM (persero) Tbk. UBPE Pongkor.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

A. Deskripsi Perusahaan

1. Kondisi Geologi

Jawa dan Sumatera terbentuk dari batas kontinental Sunda – Banda bagian Barat, yang berkembang sepanjang batas Utara lempeng subduksi India – Australia, yang diikuti dengan tumbukan lempeng Eurasia sepanjang zaman Kenozoic. Kedua lempeng yang bertabrakan memiliki blok kontinental litosfer yang rigid yang berumur Precambrian. Pada umumnya terkubur diantara batuan yang berumur infrakambrian, yang terangkat ke Utara dari batas Utara Australia. Subduksi ini mengakibatkan volkanisme *calc-alkaline* yang masih aktif dan banyak. Beberapa pengarang (Van Bemmelen dkk., 1970; dalam Prasetyo, 2010) yang didapat dari PT. ANTAM Tbk. UBPE Pongkor menunjukkan bahwa volkanisme di seluruh Jawa berpindah dengan seiringnya waktu dari Selatan ke Utara. Akan tetapi lava daerah Jawa Barat hanya tersisa *calc-alkaline* hingga sekarang.

Menurut Marcoux dan Milesi (1994) dari PT. ANTAM Tbk.. UBPE Pongkor menyatakan bahwa Geologi daerah Pongkor terdiri dari tiga unit vulkanik utama yang berumur *Miosen-Pliosen*. Unit yang lebih bawah mempunyai karakteristik endapan andesit *calc-alkalin* bawah laut yang tergradasi secara lateral menjadi endapan *epiklastik*. Unit tengah dicirikan oleh banyaknya batuan vulkanik dasitik letusan subaerial yang

disusun oleh lapili tuff yang ditumpangi lapili, blok tuff, tuff piroklastik berbutir halus dan batuan epiklastik. Unit atas terbentuk dari aliran lava andesit dengan struktur meniang (columnar). Peta geologi daerah Pongkor dapat dilihat pada gambar 2.1 dibawah ini.



Gambar 2.1 Tampak Atas Daerah Tambang Tambang Pongkor (Dept. Quality Control PT. Antam (persero), Tbk UBPE Pongkor, 2016)

a. Topografi dan Morfologi

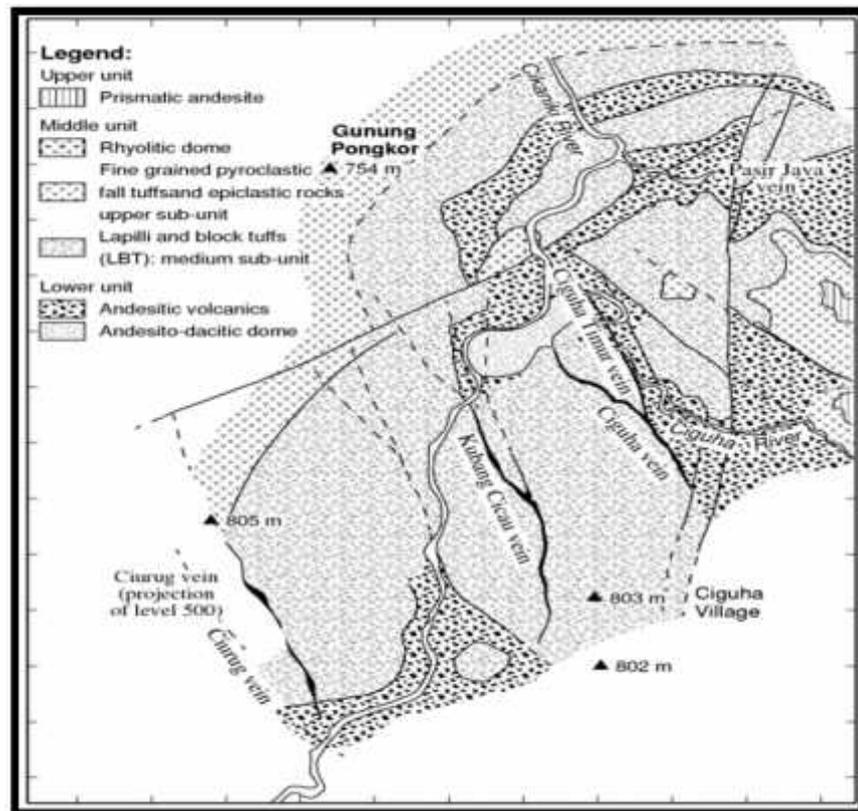
Topografi daerah aktivitas pertambangan PT. ANTAM dan sekitarnya merupakan suatu daerah perbukitan sedang sampai dengan terjal dengan komposisi 15% daerah datar berombak, 60% daerah berombak berbukit dan 25% daerah berbukit bergunung. Beberapa gunung yang terdapat pada daerah tersebut antara lain Gunung Halimun (1929 m), Gunung Salak (2211 m), Kendeng (1764 m).

Tambang emas Pongkor terletak pada elevasi 500-700 m dari permukaan laut dengan kemiringan lereng 40-60%. Puncak tertinggi gunung Pongkor berada pada elevasi 754 m. Tanah di atas daerah penambangan merupakan tanah yang subur dengan ketebalan lapisan humusnya kurang lebih 1-2,5 m.

Pada daerah sekitar PT. ANTAM, mengalir dua sungai utama yaitu Sungai Cikaniki dan Sungai Ciguha yang terdapat di sebelah Timur dan Utara lokasi penambangan. Sungai Cikaniki memiliki beberapa anak sungai antara lain sungai Cisarua, Sungai Cikaret, Sungai Cimanganten, Sungai Ciparay, Sungai Cisaninten dan Sungai Cipagiri. Sungai Cikaniki mengalir ke arah Tenggara-Timur Laut dan bermuara ke Sungai Cisadane, yang berada pada sisi Timur Laut. Lembah-lembah Sungai Cikaniki umumnya sempit dan curam, namun pada beberapa tempat ditemukan juga lembah sungai yang agak lebar dan landai.

b. Struktur Geologi

Geologi daerah Pongkor merupakan bagian dari jalur gunung api yang masih aktif memanjang dari Barat ke Timur selebar 30 – 40 km dengan ketinggian 500 – 2.200 m di atas permukaan laut dan umumnya masih tertutup hutan primer. Pada bagian Selatan terutama di sepanjang Sungai Cikaniki terdapat satuan batuan tufa breksi yang disusun oleh tufa, tufa lapili, tufa breksi, aglomerat, dan sisipan lempung (Gambar 2.2). Satuan ini diterobos dan terpotong oleh urat kuarsa yang mengandung emas.



Gambar 2.2 Tampak Atas Daerah Tambang Tambang Pongkor (Dept. Quality Control PT. Antam (persero), Tbk UBPE Pongkor, 2016

Struktur Geologi yang berkembang terdiri dari kekar dan sesar. Sesar dengan arah N 190 E dan N 225 E dengan sudut kemiringan (dip) hampir tegak yang telah terisi oleh urat kuarsa terutama ditemukan dilokasi L-500 Pasir Jawa. Sesar yang ditemukan dicirikan oleh adanya pergeseran antara 2-5 m ke arah vertikal pada lapisan batuan lempung.

c. Zona Fisiografi Daerah Penelitian

Daerah Gunung Pongkor termasuk kedalam Zona Bogor, terletak di sisi Timur Laut Kubah Bayah, 80 km di Barat Daya kota Jakarta. Daerah ini memanjang dari Barat-Timur melalui kota Bogor, Purwakarta menerus ke Bumiayu di Jawa Tengah, dengan lebar maksimum sekitar 40 km. Pada

umumnya, zona ini mempunyai morfologi berbukit-bukit yang memanjang pada arah Barat-Timur di sekitar kota Bogor, sedangkan pada daerah sebelah Timur Purwakarta perbukitan ini membelok ke Selatan, membentuk perlengkungan di sekitar kota Kadipaten. Perbukitan ini dinamakan antiklinorium dengan lapisan terlipat kuat berumur Neogen.

Terjadi beberapa kali intrusi pada zona ini yang membentuk morfologi baru, yaitu Gunung Sanggabuana di Purwakarta dan Gunung Kromong di Cirebon. Relief dari morfologi ini lebih terjal dibanding dengan tubuh intrusi di Zona Bandung yang berada di sebelah Selatannya. Sungai-sungai utama di daerah ini tidak jarang yang berbentuk aliran antiseden, seperti Sungai Cimanuk terhadap struktur Baribis dan sebagian lagi superimpos, seperti Sungai Ciliwung terhadap struktur batuan yang ada. Aliran utama dominan berarah dari Selatan ke Utara. Anak-anak sungai di daerah yang terlipat umumnya bersifat subsekuen terhadap jurus perlipatan. Di beberapa tempat, khususnya di daerah Krawang Selatan, sungai membentuk pola dendritik, disebabkan sifat batuan yang dilaluinya, yakni Formasi Subang yang tidak berlapis dan homogen.

d. Stratigrafi Daerah Pongkor

UMUR		SATUAN BATUAN	KESEBANDINGAN Lembar Jawa Barat Effendi , 1998
KUATER	HOLOSEN	Qa	
	PLEISTOSEN	Qppt	Batuan gunung api G. Gede Aliran lava, breksi tufaan, lahar, breksi bongka andesit
		K. Gunung Singa Qpslv Qpsbl K. Gunung Dahu Qpdnt Qpdtb Qpdt Qpdbx	Batuan gunung api G. Selak Aliran lava, andesit basalt, tuf, batu apung lapitan, breksi tufaan.
TERSIER	PLIOSEN	K. Gunung Astana Tpalb K. Gunung Wnu - Masigit Tpmxb Tpmnt Tpmwb	Bahan gunung api (batuan gunung api tua) Breksi, breksi tuf, batuapung aliran lava, batu pasir tufaan
	MIOSEN	K. Gunung Pongkor Tmptl Tmpbv Tmpbl Tmpt Tmpbx Tmptg	Formasi Bentang Formasi Bojongmenik Batu pasir, tuf batuapung, batu gamping, batu lempung dengan lempung obumen, dan sisipan lignit

Gambar 2.3 Stratigrafi Tambang Pongkor (Dept.Quality Control PT. Antam (persero), Tbk UBPE Pongkor, 2016)

Pongkor adalah bagian dari busur kontinental Sunda-Banda yang berumur Neogen yang berkembang di batas Selatan dari lempeng Eurasia yang menunjam ke arah Utara dari lempeng Hindia-Australia. Bagian

Barat dari Jawa merupakan host dari endapan logam mulia epitermal yang berumur Kenozoik yang berasosiasi dengan vulkanisme aktif *calc-alkalin*. Endapan ini terdiri dari dua tipe utama yaitu endapan Au-(Sn) tipe Cirotan dan endapan Au-(Mn) tipe Pongkor. Pongkor berlokasi di sayap Timur Laut dari Kubah Bayah, 80 km Barat Daya Jakarta. Singkapan geologi seluas 40 x 80 km terdiri dari serpih berumur Paleozoik akhir dan basement batupasir yang ditumpangi oleh sentral sabuk vulkanik yang berumur Oligosen-Miosen awal, berkomposisi batuan vulkaniklastik berbutir kasar, dengan perselingan batugamping dan batupasir. Batuan intrusi menerobos batuan berumur Paleogen dan Miosen Awal.

Daerah Pongkor termasuk ke dalam Formasi Cimapag berumur akhir Miosen Awal, merupakan breksi atau konglomerat yang terendapkan pada lingkungan laut–darat. Karakteristik sedimentasi ini dicirikan oleh endapan aliran gravitasi, dominan tersusun oleh fragmen batuan beku dan sedimen, seperti andesit, basalt, tufa dan gamping. Ketebalan keseluruhan secara pasti sulit ditentukan, tetapi diperkirakan lebih dari 7000 m.

Litologi pada daerah Pongkor berupa breksi andesit berwarna abu-abu, memiliki fragmen andesit dalam matrik tufaan, terdapat perselingan batulempung hitam dengan ketebalan lebih dari 15 cm dengan struktur sedimen gelembur gelombang. Terdapatnya foraminifera mengindikasikan batuan diendapkan pada lingkungan laut. Breksi Andesit dikorelasikan dengan Formasi Andesit Tua berumur Miosen Awal.

Tufa lapili berwarna kecoklatan sampai kehijauan dengan perselingan breksi hitam, yang dapat dikorelasikan dengan Formasi Cimapag berumur Miosen Awal. Batuan terobosan andesit tersingkap di bagian Timur dan Barat Gunung Pongkor dan di lembah-lembah sungai sekitarnya. Berdasarkan korelasi, batuan terobosan andesit ini diinterpretasikan berumur Miosen Tengah.

Breksi vulkanik tersingkap di sebelah Tenggara daerah Gunung Pongkor. Terbentuk pada akhir tersier, menutup secara tidak selaras batuan Formasi Bojongmanik dan terobosan Andesit, diinterpretasikan berumur Plio-Pleistosen. Daerah Gunung Pongkor merupakan suatu kaldera volkano-tektunik dengan batuan penyusun bersifat andesitik, telah teralterasi dan terpotong oleh urat kuarsa dan karbonat yang sebagian besar membawa mineral. Urat-urat yang memotong batuan di daerah tersebut terbentuk akibat rekahan yang terjadi pada saat pembentukan kaldera maupun diakibatkan oleh sesar-sesar berarah NW-SE hingga NE-SW yang memotong daerah Gunung Pongkor. Berdasarkan data sekunder, kaldera tersebut terbentuk akibat rekahan yang diikuti oleh proses magmatisme, sehingga akibatnya menimbulkan peristiwa alterasi dan mineralisasi di daerah tersebut.

Tabel 2.1 Formasi Batuan di Gunung Pongkor dan Banten Selatan (Dept. Quality Control PT. Antam (persero), Tbk UBPE

UMUR			Gn. PONGKOR AREA (Agung Basuki, 1994)	SATUAN	AKTIVITAS INTRUSI	AKTIVITAS TEKTONIK	ALTERASI DAN MINERALISASI
MASA	ZAMAN	KALA					
Kuartar	Holosen		Aluvium				
	Platosen		Andesitic rocks		Platosen		
Miosen			Carbonaceous sandstone				
	Tengah		Mudstone tuff, breccia tuff Carbonaceous sandstone		Miosen - Pliosen		
			Tuff / lapili tuff Polyimic breccia				
Tersier	Awal		Sandstone Limestone		Oligosen - Miosen		
			Conglomerate				
Eosen			Shale				
			Andesite Granodiorite				

2. Sejarah Perusahaan

Sejarah keberadaan Tambang Emas Pongkor dimulai dengan dilakukannya eksplorasi logam dasar (Pb dan Zn) di bagian Utara Gunung Pongkor oleh para Geologian Aneka Tambang pada tahun 1974 sampai 1981. Survey pendahuluan yang dilakukan pada tahun 1981 di daerah Pongkor menemukan endapan urat Kwarsa (quartz vein) berkadar 4 gpt (gram per ton) emas dan 126 gpt (gram per ton) perak. Karena Aneka Tambang sedang memfokuskan pada kegiatan eksplorasi di sekitar Tambang Cikotok, maka antara tahun 1983 – 1988 kegiatan eksplorasi di Pongkor ditangguhkan, baru pada tahun 1988 – 1991 dilanjutkan kembali dengan lebih sistematis dan lengkap. Studi kelayakan kemudian dibuat dan Kuasa Pertambangan Eksploitasi yang pertama dengan nomor KP.DU 893/Jabar seluas 4.058 Ha diperoleh pada tahun 1991. Jalan masuk ke Pongkor sepanjang 12,5 km dibangun pada tahun 1992 bekerjasama dengan ABRI dalam Program/Proyek AMD (ABRI Masuk Desa). Pada

tahun 1993 dibangun pabrik yang pertama dengan kapasitas 2,5 ton emas/tahun. Pada tahun yang sama dibangun pula Tailing Dam.

Pada tahun 1994 dilakukan *Commisioning* Pabrik Pengolahan Emas dan kemudian Proyek Tambang Emas Pongkor resmi menjadi Unit Pertambangan Emas Pongkor. Tahun 1997 dilakukan pengembangan tambang di daerah Ciurug, penambangan disini dilakukan dengan sistem mekanis. Pabrik yang kedua dibangun sehingga kapasitas produksi menjadi 5 ton emas/tahun.

Tahun 1998 terjadi rusuh massa yang dipicu oleh para Penambang Tanpa Ijin (PETI), pada peristiwa ini beberapa aset perusahaan dibakar dan operasi perusahaan terhenti selama 10 hari. Tambang Ciurug mulai produksi tahun 2000 dan pada tanggal 1 Agustus 2000 diperoleh kuasa pertambangan Eksploitasi yang baru dengan nomor KW 98 PP 0138 seluas 6.047 Ha. Pada tahun 2000 sejalan dengan restrukturisasi Aneka Tambang Unit Pertambangan Emas Pongkor berubah menjadi Unit Bisnis Pertambangan Emas Pongkor. Perubahan ini menandai beralihnya fungsi unit-unit produksi dari *cost center* (pusat biaya) menjadi *profit center* (pusat laba).

Pada tahun yang sama yaitu tahun 2000 diperoleh sertifikat ISO 9002 yang berkaitan dengan Manajemen Mutu serta dilakukannya Pembangunan Tunnel di Level 600 – 700 Ciurug, pada tahun 2001 dimulai proses sertifikat ISO 14000 yang berkaitan dengan sistem manajemen lingkungan, dan pada tanggal 14 Oktober 2002 sertifikat ISO 14001

berhasil diraih oleh UBP Emas Pongkor. Selain itu, tahun 2004 – Peluncuran Standar Etika Perusahaan dan tahun 2005 – Implementasi SMUK (Sistem Manajemen Untuk Kerja).

Salah satu keunikan dari Tambang Emas Pongkor adalah keberadaannya yang bersebelahan dengan Taman Nasional Gunung Halimun dan Hutan Produksi, sehingga memerlukan persyaratan yang lebih berat untuk perijinannya antara lain diperlukannya rekomendasi Menteri Kehutanan, Menteri Lingkungan Hidup, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) serta dari Tim Pengarah yang beranggotakan Instansi terkait.

B. Batuan

1. Karakteristik Batuan Utuh

Pengklasifikasian kondisi massa batuan yang biasanya digunakan adalah metode Rock Mass Rating (RMR) lihat tabel 2.6, atau yang dikenal juga dengan Geomechanics Classification (Bieniawski, 1989). Metode RMR ini memperhatikan 5 parameter utama dan 1 parameter fungsi aplikasi untuk membagi kelas massa batuan. Karakteristik batuan yang mempengaruhi kemampuboran dan kemampuledakan suatu massa batuan pada dasarnya dibagi menjadi dua kategori, yaitu sifat fisik dan sifat mekanik.

a. Sifat Fisik

Sifat-sifat fisik batuan yang mempengaruhi peledakan yaitu bobot isi, porositas dan kandungan air. Batuan berbobot isi kecil sangat mudah dideformasi dan memerlukan energi peledakan yang rendah untuk pemecahannya (Hagan 1977). Banyaknya jumlah pori dalam batuan dinyatakan oleh porositas. Batuan dengan porositas tinggi akan meningkatkan jumlah retakan batuan dan mengurangi tekanan gas dalam retakan itu. Air yang terdapat didalam rongga batuan akan menyerap energi yang digunakan untuk menghancurkan batuan sehingga energinya akan berkurang.

b. Sifat Mekanik

Sifat-sifat mekanik batuan yang diuji dalam laboratorium meliputi kuat tekan, kuat tarik, modulus elastis dan Nisbah Poisson. Pada proses penghancuran batuan, kuat tarik sangat berpengaruh dibandingkan kuat geser maupun kuat tekan yang terjadi dalam massa batuan. Ukuran kemampuan suatu batuan untuk tetap pada bentuknya atau tidak disebut dengan modulus young. Semakin rendah modulus young maka energi peledakan yang dibutuhkan juga akan semakin rendah. Nisbah Poisson menyatakan perbandingan antara regangan lateral dengan regangan aksial pada suatu pembebanan aksial dalam daerah elastiknya.

Tabel 2.2 Klasifikasi Kuat Tekan Batuan (Bieniawski, 1973)

Klasifikasi	Kuat Tekan (MPa)
Sangat keras	250-700
Keras	100-250
Keras sedang	50-100
Lunak	25-50
Sangat lunak	1-25

Menurut Bieniawski (1973), klasifikasi kekerasan suatu batuan dapat dideskripsikan berdasarkan nilai kuat tekannya. Klasifikasi tersebut dapat dilihat dalam Tabel 2.2 di atas.

Urutan pembongkaran batuan sesuai dengan nilai kuat tekan uniaksial (Kramadibrata, 2000) dapat dilihat dalam Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Urutan Pembongkaran Batuan Menurut Kuat Tekan Uniaksial (Kramadibrata, 1998)

Metode	UCS (MPa)	Alat
<i>Free digging</i>	1 – 10	<i>Shovel/loader/BWE</i>
<i>Ripping</i>	10 – 25	<i>Ripper</i>
<i>Rock cutting</i>	10 – 50	<i>Rockcutter</i>

2. Massa Batuan

Karakteristik batuan yang ada dilapangan merupakan parameter yang harus diketahui dalam merencanakan suatu peledakan. Karakteristik batuan dapat diklasifikasian dengan menggunakan metode Rock Mass Rating (RMR). Metode Rock Mass Rating (RMR) ini memperhatikan 5 parameter utama yang harus diperhatikan (Bieniawski, 1989). lihat Tabel 2.4, Tabel 2.5, dan Tabel 2.6.

Tabel 2.4 Klasifikasi Parameter dan Pembobotan (Bieniawski, 1989)

1	Parameter		Selang Nilai					
	Kuat tekan	PLI (MPa)	> 10	4- 10	2- 4	1- 2	Untuk kuat tekan rendah perlu UCS	
batuan utuh	UCS (MPa)	> 250	100- 250	50- 100	25- 50	5-25	1-5	<1
Bobot		15	12	7	4	2	1	0
2	ROD (%)		90- 100	75- 90	50- 75	25- 50	< 25	
Bobot		20	17	13	8	3		
3	Jarak diskontinuiti		> 2 m	0.6-2 m	0.2-0.6 m	0.06-0.2 m	< 0.06 m	
Bobot		20	15	10	8	5		
4	Kondisi diskontinuiti		sangat kasar, tdk menerus, tdk ada pemisahan, dinding batu tdk lapuk	agak kasar, pemisahan < 1 mm, dinding agak lapuk	agak kasar, pemisahan < 1 mm, dinding sangat lapuk	Slicken-sided /tebal gouge < 5 mm, atau pemisahan 1-5 mm, menerus	Gouge lunak tebal > 5 mm, atau pemisahan > 5 mm, menerus	
Bobot		30	25	20	10	0		
5	Air tanah	Aliran/10 m panjang terowongan (Lt/min)	None	< 10	10- 25	25- 125	> 125	
		Tekanan air kekar/Maks Tegangan utama	0	< 0.1	0.1- 0.2	0.2- 0.5	> 0.5	
	Kondisi umum	Kering	Lembab	Basah	Menetes	Mengalir		
Bobot		15	10	7	4	0		

Tabel 2.5 Peubah Bobot Orientasi Diskontinuitas (Bieniawski, 1989)

Jurus & kemiringan orientasi diskontinuiti		Sangat menguntungkan	Menguntungkan	Sedang	Tidak menguntungkan	Sangat tidak menguntungkan
Bobot	Terowongan	0	- 2	- 5	- 10	- 12
	Fondasi	0	- 2	- 7	- 15	- 25
	Lereng	0	- 5	- 25	- 50	- 60

Tabel 2.6 Kelas Massa Batuan Menurut Bobot Total (Bieniawski, 1989)

Bobot	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 20
No. Kelas	I	II	III	IV	V
Description	Batuan sangat baik	Batuan baik	Batuan sedang	Batuan buruk	Batuan sangat buruk

Metode RMR ini memperhatikan 5 parameter utama dan 1 parameter fungsi aplikasi untuk membagi kelas massa batuan yaitu

a. Kuat Tekan Batuan Utuh (PLI atau UCS)

Kekuatan batuan merupakan kemampuan batuan untuk menahan gaya yang dikenakan kepadanya. Batuan akan melemah terhadap tarikan, tetapi kuat terhadap tekanan. Peledakan akan menghasilkan tekanan yang akan meremukkan atau menghancurkan batuan disekitar lubang ledak, kemudian terbias sampai kebidang bebas dan dipantulkan menjadi gelombang tarik.

b. *Rock Quality Designation*

Dengan adanya bidang diskontinuitas pada massa batuan menyebabkan buruknya sifat mekanik dari batuan tersebut. Salah satu cara untuk menggambarkan kualitas batuan adalah dengan digunakan nilai *Rock Quality Designation* (RQD) (Deere, 1964), yang dapat diperoleh dari pengeboran inti.

Bor inti dari batuan lunak harus diberi bobot RQD sama dengan nol (Bieniawski, 1989). RQD dihitung dari prosentase bor inti yang diperoleh dengan panjang minimum 10 cm dan dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$RQD = \frac{\sum \text{panjang potongan core} \geq 10 \text{ cm}}{\text{Total panjang core}} \times 100\% \dots \dots \dots (2.1)$$

Bila bor inti tidak tersedia, RQD dapat dihitung secara tidak langsung dengan melakukan pengukuran orientasi dan jarak

antarbidang diskontinuitas pada permukaan massa batuan. Priest dan Hudson (1976) mengajukan sebuah persamaan untuk menentukan RQD dari data *scanline* sebagai berikut:

$$\text{RQD (\%)} = 100 \exp^{-0.1 (f + 1)} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dengan, f = frekuensi diskontinuitas per meter

Selain itu Hobbs (1975) juga memberikan suatu cara untuk menentukan nilai RQD dengan memanfaatkan data jarak antar bidang diskontinuitas yang diwujudkan dalam suatu tabel klasifikasi. Klasifikasi tersebut memberikan hubungan antara nilai RQD dengan frekuensi diskontinuitas tiap meter seperti yang tertera dalam Tabel 2.7

Tabel 2.7 Hubungan RQD dengan Frekuensi Diskontinuitas per Meter (Hobbs,1975)

Deskripsi	RQD (%)	Frekuensi diskontinuitas (m ⁻¹)
Sangat buruk	0 - 25	> 15
Buruk	25 - 50	15 - 8
Sedang	50 - 75	8-5
Baik	75 - 90	5-1
Sangat baik	90 - 100	<1

c. Spasi Bidang Lemah

Jarak antar bidang lemah atau kekar adalah jarak tegak lurus antara dua bidang lemah yang berurutan sepanjang sebuah garis pengamatan (*scanline*) dan dinyatakan sebagai *intact length*. Semakin dekat jarak antarbidang lemah maka semakin besar

frekuensi bidang lemah. Spasi bidang lemah atau disebut diskontinuitas merupakan bentuk-bentuk ketidakmenerusan masa batuan, seperti kekar, sesar minor atau bidang lemah lainnya. Spasi bidang diskontinuitas adalah jarak antar bidang yang diukur secara tegak lurus dengan bidang diskontinuitas. Klasifikasi jarak bidang lemah menurut Attewell dapat dilihat pada Tabel 2.8.

Tabel 2.8 Klasifikasi Jarak bidang Diskontinuiti (Attewell, 1993)

Pemisahan	Deskripsi	Istilah
<0.01 mm	Sangat tertutup	<i>Closed</i>
0.1 – 0.25 mm	Ketat	
0.25 – 0.5 mm	Terbuka sebagian	
0.5 – 2.5 mm	Terbuka	<i>Gapped</i>
2.5 – 10 mm	Sangat terbuka	
>10 mm	Lebar	
1 – 10 cm	Sangat lebar	<i>Open</i>
10 – 100 m	Ekstrim terbuka	
>1 m	Terbuka <i>(cavenous)</i>	

d. Kondisi Bidang Lemah

Kondisi bidang lemah merupakan parameter yang terdiri dari beberapa sub-sub parameter meliputi pemisahan (*separation*), tingkat pelapukan dari permukaan diskontinuitas (*weathering*), kemenerusan bidang (*persistance*), material pengisi bidang

diskontinuitas (*filling material*), dan kekasaran permukaan bidang lemah (*roughness*).

Pemisahan merupakan lebar celah pada bidang lemah yang dapat terisi material ataupun tidak. Deskripsi pemisahan dapat dilihat pada Tabel 2.9.

Tabel 2.9 Deskripsi Pemisahan Bidang Lemah
(ISRM *Suggested method*, 1981)

Deskripsi	Struktur Bidang Diskontinuitas	Jarak (mm)
Spasi sangat lebar	Perlapisan sangat tebal	>2000
Spasi lebar	Perlapisan tebal	600 – 2000
Spasi moderat lebar	Perlapisan sedang	200 – 600
Spasi dekat	Perlapisan tipis	60 – 200
Spasi sangat dekat	Perlapisan sangat tipis	20 – 60
Spasi ekstrim dekat	Laminasi tipis (sedimentasi)	<20

Kemenerusan merupakan panjang bidang lemah pada permukaan batuan yang tersingkap. Semakin panjang kemenerusan bidang lemah maka semakin besar pengaruh bidang lemah tersebut terhadap kekuatan massa batuan.

Tabel 2.10 Klasifikasi Kemenerusan (ISRM, 1978)

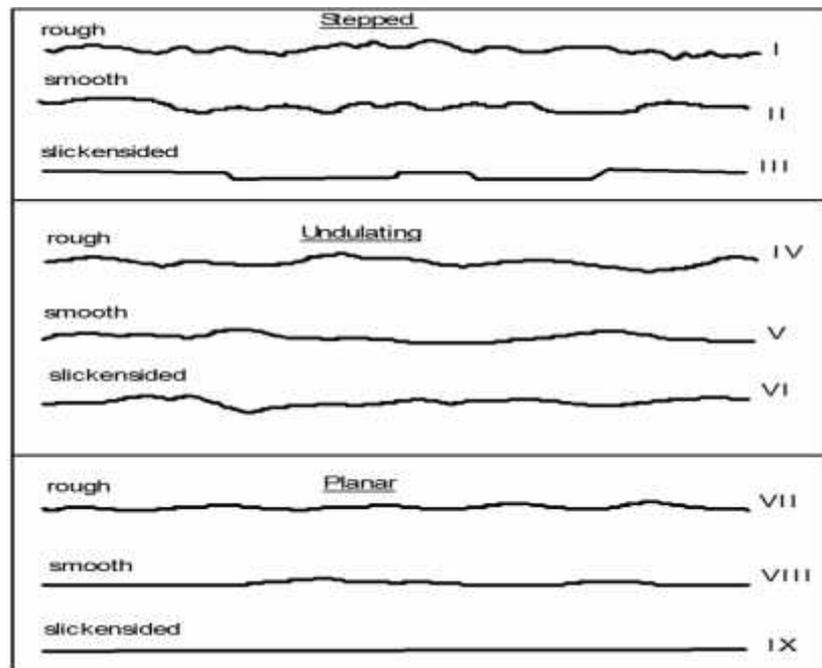
Deskripsi	Panjang bidang lemah
Persistensi sangat rendah	<1 m
Persistensi rendah	1 – 3 m
Persistensi sedang	3 – 10 m
Persistensi tinggi	10 – 20 m
Persistensi sangat tinggi	>20 m

Tingkat pelapukan adalah penggolongan bagaimana bidang lemah telah terlapukkan sedemikian rupa sehingga akan mengurangi kekuatan massa batuan. Material pengisi merupakan material yang mengisi diantara 2 dinding bidang lemah. Deskripsi tingkat pelapukan dapat dilihat pada Tabel 2.11.

Tabel 2.11 Deskripsi Tingkat Pelapukan Batuan (ISRM *Suggested method*, 1981)

Istilah	Keterangan	Kelas
Segar	Tidak ada perubahan warna pada batuan atau sedikit perubahan warna pada permukaan bidang lemah.	I
Sedikit lapuk	Terjadi perubahan warna pada butiran batuan dan permukaan bidang lemah. Batuan terdekomposisi dan atau terintegrasi menjadi tanah. Batuan segar atau yang hanya mengalami perubahan warna masih tetap ada.	II
Pelapukan menengah	Kurang dari setengah pada butiran batuan terdekomposisi dan atau terintegrasi menjadi tanah. Batuan segar dan atau yang masih mengalami perubahan warna masih tetap ada.	III
Pelapukan tinggi	Lebih dari setengah pada material batuan terdekomposisi dan atau terintegrasi menjadi tanah. Batuan segar dan atau yang mengalami perubahan warna masih tetap ada.	IV
Pelapukan lengkap	Seluruh material batuan terdekomposisi dan atau terintegrasi menjadi tanah. Struktur massa batuan yang asli masih tetap ada.	V
Tanah residu	Seluruh material batuan berubah menjadi tanah. Ada perubahan volume tetapi tanah tidak tertransportasi.	VI

Profil tentang kekasaran dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Profil Kekasaran (*roughness*) (ISRM, 1981)

e. Kondisi Air Tanah

Kondisi air tanah ditentukan dengan mengamati atap dan dinding terowongan, dan selanjutnya dapat dinyatakan dengan keadaan umum yaitu kering, lembab, basah, air menetes dan mengalir. Kondisi air pada muka kerja akan berpengaruh terhadap pemilihan bahan peledak yang akan digunakan karena setiap bahan peledak memiliki sifat kimia masing-masing dan ketahanan terhadap air.

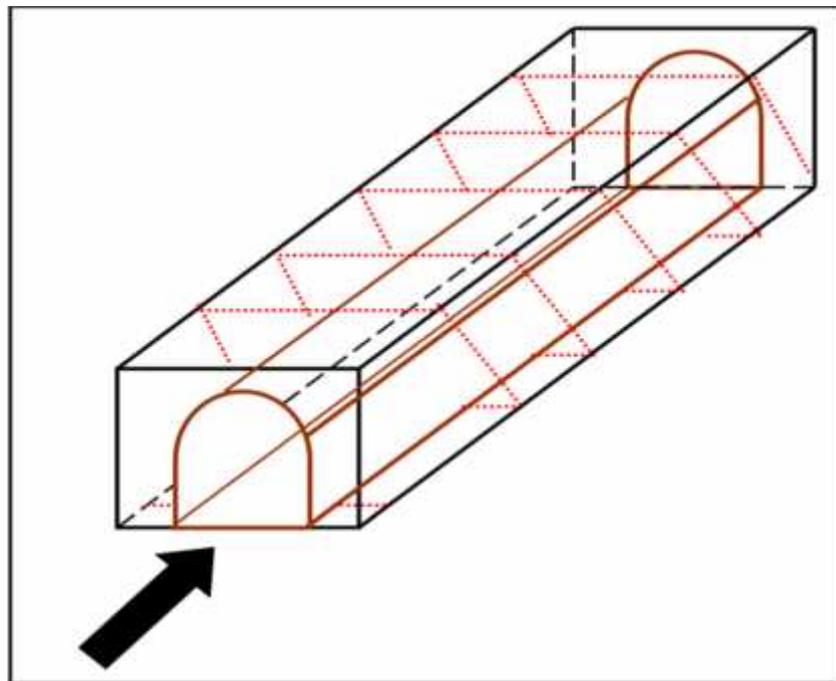
f. Orientasi Jurus dan Kemiringan Bidang Lemah

Orientasi jurus dan kemiringan bidang lemah diperlukan untuk menilai kedudukan sumbu terowongan. Bidang lemah dianggap menguntungkan jika orientasi jurus tegak lurus terhadap

sumbu terowongan dengan arah galian searah kemiringan (Gambar 2.5) dan akan merugi jika jurus sejajar terhadap sumbu terowongan. Pembobotan orientasi jurus dan kemiringan bidang lemah terhadap arah terowongan dapat dilihat pada Tabel 2.12.

Tabel 2.12 Pengaruh Orientasi Kekar Dalam Pembuatan Terowongan (Bieniawski,1989)

1 Pengaruh jurus & kemiringan kekar untuk penerowongan						
Jurus tegak lurus sumbu terowongan				Jurus paralel sumbu terowongan		Dip $C = 20^\circ$ Tdk tergantung jurus
Galian searah kemiringan		Galian melawan kemiringan				
kemiringan $45-90^\circ$	$\alpha = 20-45^\circ$	$\alpha = 45-90^\circ$	$\alpha = 20-45^\circ$	$\alpha = 45-90^\circ$	$\alpha = 20-45^\circ$	
Sangat menguntungkan	Menguntungkan	Sedang	Tidak menguntungkan	Sangat tdk menguntungkan	Sedang	Tdk menguntungkan



Gambar 2.5 Orientasi Bidang Diskontinuitas (Kramadibrata, 2010)

C. Sifat Bahan Peledak

Bahan peledak adalah bahan atau zat yang terbentuk padat, cair, gas atau campurannya, yang apabila dikenai suatu aksi berupa panas, benturan atau gesekan akan berubah secara kimiawi menjadi zat-zat lain yang sebagian besar atau seluruhnya berbentuk gas dan perubahan tersebut berlangsung dalam waktu yang singkat. Secara garis besar sifat-sifat tersebut ialah sebagai berikut:

1. Sifat Fisik

a. *Density*

Massa jenis bahan peledak merupakan faktor yang sangat penting dalam menentukan efek ledakan. Makin tinggi massa jenis makin terpusat energi dalam bahan peledak tersebut sehingga makin besar efek ledakannya.

Density bahan peledak mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap energi tiap meter isian lubang ledak, semakin tinggi bobot isinya maka energi yang dihantarkan akan semakin besar pula. Alasan utama untuk menentukan jenis bahan peledak dengan bobot isi tertentu adalah mengontrol jumlah total energi peledakan yang tepat untuk berbagai kondisi dari batuan dan hasil yang diharapkan.

Densitas secara umum adalah angka yang menyatakan perbandingan berat per volume. Pernyataan densitas pada bahan peledak dapat mengekspresikan beberapa pengertian, yaitu:

- 1) Densitas bahan peledak adalah berat bahan peledak per unit volume dinyatakan dalam satuan gr/cc

- 2) Densitas pengisian (*loading density*) adalah berat bahan peledak per meter kolom lubang tembak (kg/m)

b. Sensitivitas

Sensitivitas adalah sifat yang menunjukkan tingkat kemudahan inisiasi bahan peledak atau kemudahan bagi suatu reaksi kimia bahan peledak yang terjadi dalam lubang ledak untuk menjalar melalui seluruh muatan. Sifat sensitif bahan peledak bervariasi tergantung pada komposisi kimia bahan peledak, diameter, dan temperatur.

c. Ketahanan Air

Ketahanan bahan peledak terhadap air adalah ukuran kemampuan suatu bahan peledak untuk melawan air disekitarnya tanpa kehilangan sensitivitas atau efisiensi. Apabila suatu bahan peledak larut dalam air dalam waktu yang pendek (mudah larut), berarti bahan peledak tersebut dikategorikan mempunyai ketahanan terhadap air yang buruk atau *poor*, sebaliknya bila tidak larut dalam air disebut sangat baik atau *excellent*. Contoh bahan peledak yang mempunyai ketahanan air buruk adalah ANFO, sedangkan untuk bahan peledak jenis emulsi, *watergel* atau *slurries* dan bahan peledak berbentuk *cartridge* sangat baik daya tahannya terhadap air. Apabila di dalam lubang ledak terdapat air dan akan digunakan ANFO sebagai bahan peledaknya, umumnya digunakan selubung plastik khusus untuk membungkus ANFO tersebut sebelum dimasukkan ke dalam lubang ledak.

Lebih lanjut air juga dapat mengakibatkan kerusakan bahan peledak. Dikenal ada lima tingkat ketahanan terhadap air (Koesnaryo S 1988), yaitu:

- 1) Sempurna : Jika tahan terhadap air lebih dari 12 jam
- 2) Sangat bagus : Jika tahan terhadap air 8 – 12 jam
- 3) Bagus : Jika tahan terhadap air 4 – 8 jam
- 4) Cukup : Jika tahan terhadap air kurang dari 4 jam
- 5) Buruk : Jika tidak tahan terhadap air

d. Kestabilan Kimiawi

Kestabilan kimia bahan peledak adalah kemampuan untuk tidak berubah secara kimia dan tetap mempertahankan sensitivitasnya selama dalam penyimpanan di dalam gudang dengan kondisi tertentu.

Faktor-faktor yang mempercepat ketidakstabilan kimiawi antara lain panas, dingin, kelembaban, kualitas bahan baku, kontaminasi, pengepakan, dan fasilitas gudang bahan peledak. Tanda-tanda kerusakan bahan peledak dapat berupa kenampakan kristalisasi, penambahan viskositas, dan penambahan densitas. Gudang bahan peledak bawah tanah akan mengurangi efek perubahan temperatur.

e. Karakteristik Gas

Detonasi bahan peledak akan menghasilkan *fume* yaitu gas-gas, baik yang tidak beracun (*non-toxic*) maupun yang

mengandung racun (*toxic*). Gas-gas hasil peledakan yang tidak beracun seperti uap air (H_2O), karbondioksida (CO_2), dan nitrogen (N_2), sedangkan yang beracun adalah nitrogen monoksida (NO), nitrogen oksida (NO_2), dan karbon monoksida (CO). Pada peledakan di tambang bawah tanah gas-gas tersebut perlu mendapat perhatian khusus, yaitu dengan sistem ventilasi yang memadai; sedangkan di tambang terbuka kewaspadaan ditingkatkan bila gerakan angin yang rendah.

2. Karakteristik Detonasi Bahan Peledak

Karakter detonasi menggambarkan perilaku suatu bahan peledak ketika meledak untuk menghancurkan batuan. Beberapa karakter detonasi yang penting diketahui meliputi:

a. Kekuatan (*strength*) bahan peledak

Kekuatan bahan peledak berkaitan dengan energi yang mampu dihasilkan oleh suatu bahan peledak dan merupakan ukuran kemampuan bahan peledak tersebut untuk melakukan kerja biasanya dinyatakan dalam persen (%). Pada hakikatnya kekuatan suatu bahan peledak tergantung pada campuran kimiawi yang mampu menghasilkan energi panas ketika terjadi inisiasi. Terdapat dua jenis sebutan kekuatan bahan peledak komersial yang selalu dicantumkan pada spesifikasi bahan peledak oleh pabrik pembuatnya, yaitu kekuatan absolut dan relatif.

Ada dua macam ukuran kekuatan yang dipakai untuk menilai bahan peledak komersial yaitu *weight strength* yang membandingkan kekuatan bahan peledak dengan dasar berat yang sama, dan *catridge* atau *bulk strength* yang membandingkan kekuatan bahan peledak dengan dasar volume yang sama.

Energi dari pengukuran teknik-teknik diatas ditunjukkan dalam bentuk berat atau volume dari bahan peledak. Hal ini dikenal sebagai *Absolute Weight Strength* (AWS) dan *Absolute Bulk Strength* (ABS) dari bahan peledak tersebut. AWS adalah ukuran dari jumlah energi *absolute* (Joule) yang tersedia dalam tiap gram dari bahan peledak, sedangkan ABS adalah ukuran dari jumlah energi *absolute* (Joule) yang tersedia dalam tiap centimeter kubik dan bahan peledak ABS diperoleh dengan mengalikan AWS dengan densitas dari bahan peledak.

Energi juga dapat ditunjukkan dalam bentuk *Relative Weight Strength* (RWS), dan *Relative Bulk Strength* (RBS) dari bahan peledak. RWS dari bahan peledak adalah ukuran dari tiap gram bahan peledak dibandingkan berat yang sama dari ANFO menurut (Koesnaryo S 1988).

Berikut ini diuraikan tentang kekuatan bahan peledak dan cara perhitungannya.

$$RWSe = \frac{AWSe}{AWSa} \times 100\% \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan:

RWSe : RWS dari bahan peledak (%)

AWSe : AWS dari bahan peledak (MJ/kg)

AWSa : AWS dari ANFO (MJ/kg)

RBS adalah ukuran energi yang tersedia per volume dari bahan peledak tertentu dibandingkan dengan volume yang sama dari ANFO pada densitas 0,8 gr/cc.

$$RBSe = \frac{RWSe \times \text{Densitas bahan peledak}}{\text{Densitas ANFO}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan :

RBSe : RBS dari bahan peledak (%)

Secara umum dapat dikatakan bahwa semakin besar bobot isi dan kecepatan detonasi suatu bahan peledak maka kekuatannya juga semakin besar. Dua macam bahan peledak yang mempunyai keekuatan sama tetapi kecepatan detonasinya berbeda, maka cara kerjanya juga akan berbeda. Ini membuktikan bahwa kekuatan saja tidak dapat dipakai sebagai parameter untuk menentukan cara kerja bahan peledak.

b. Kecepatan detonasi (*detonation velocity*)

Kecepatan detonasi disebut juga dengan *velocity of detonation* atau VOD merupakan sifat bahan peledak yang sangat penting. Secara umum dapat diartikan sebagai laju rambatan gelombang detonasi sepanjang bahan peledak dengan satuan

meter per sekon (m/s) atau *feet per second* (fps). Kecepatan detonasi diukur dalam kondisi terkurung (*confined detonation velocity*) atau tidak terkurung (*unconfined detonation velocity*).

Kecepatan detonasi terkurung adalah ukuran kecepatan gelombang detonasi (*detonation wave*) yang merambat melalui kolom bahan peledak di dalam lubang ledak atau ruang terkurung lainnya. Sedangkan kecepatan detonasi tidak terkurung menunjukkan kecepatan detonasi bahan peledak apabila bahan peledak tersebut diledakkan dalam keadaan terbuka. Karena bahan peledak umumnya digunakan dalam keadaan derajat pengurangan tertentu, maka harga kecepatan detonasi dalam keadaan terbuka menjadi lebih berarti.

Kecepatan detonasi bahan peledak harus melebihi kecepatan suara massa batuan (*impedance matching*), sehingga akan menimbulkan energi kejut (*shock energy*) yang mampu memecahkan batuan. Untuk peledakan pada batuan keras dipakai bahan peledak yang mempunyai kecepatan detonasi tinggi (sifat *shattering effect*) dan pada batuan lemah dipakai bahan peledak yang kecepatan detonasinya rendah (sifat *heaving effect*). Kecepatan detonasi bahan peledak ANFO (bentuk butiran) akan menurun seiring dengan bertambahnya air karena ANFO dapat larut terhadap air.

Kecepatan detonasi bahan peledak tergantung pada (koesnaryo S 1988):

- 1) Jenis bahan peledak (ukuran butir, bobot isi)
- 2) Diameter dodol atau diameter lubang ledak
- 3) Derajat pengurangan
- 4) Penyalaan awal

Tes yang dilakukan oleh beberapa pabrik membuktikan bahwa kecepatan detonasi dalam keadaan tidak terkurung (*unconfined*) lebih rendah 20 – 30 % daripada kecepatan dalam keadaan terkurung (*confined*). Penyalaan awal yang sempurna akan meningkatkan kesempurnaan ledakan. Energi yang dihasilkan oleh reaksi bahan peledak dipengaruhi oleh kecepatan detonasi dan bobot isiannya dapat dinyatakan dalam persamaan energi relative (RE) menurut (Cook 1962) sebagai berikut :

$$RE = SG \times Ve^2 \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan:

RE : Relatif energi (J/kg)

SG : Berat jenis bahan peledak

Ve : Kecepatan reaksi atau kecepatan detonasi (m/s)

Energi yang dihasilkan oleh suatu bahan peledak ternyata lebih dipengaruhi oleh perubahan kecepatan detonasi daripada oleh perubahan berat jenisnya.

c. Tekanan detonasi (*detonation pressure*)

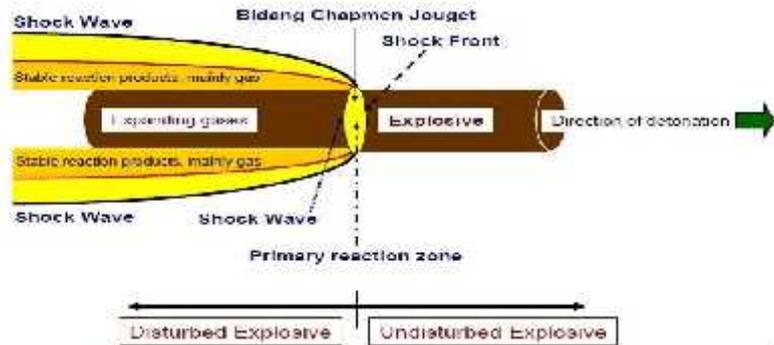
Tekanan detonasi adalah tekanan yang terjadi disepanjang zona reaksi peledakan hingga terbentuk reaksi kimia seimbang sampai ujung bahan peledak yang disebut dengan bidang *Chapman-Jouguet (C-J plane)* seperti terlihat pada Gambar 2.6. Tekanan ini merupakan fungsi dari kecepatan detonasi dan densitas bahan peledak. Menurut Bhandari (1997: 39), tekanan detonasi bisa diperkirakan dengan menggunakan rumus berikut:

$$PD = 2,5 \times \rho_e \times VOD^2 \times 10^{-6} \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana: PD = tekanan detonasi(kPa)

ρ_e = densitas handak (gr/cc)

VOD = kecepatan detonasi (m/s)



Gambar 2.6 Bidang *Chapman-Jouguet* (Kramadibrata, 2010)

d. Tekanan pada lubang ledak (*borehole pressure*)

Gas hasil detonasi bahan peledak akan memberikan tekanan terhadap dinding lubang ledak dan terus berekspansi menembus media untuk mencapai keseimbangan. Keseimbangan tekanan gas

tercapai setelah gas tersebut terbebaskan, yaitu ketika telah mencapai udara luar. Biasa tekanan gas pada dinding lubang ledak sekitar 50% dari tekanan detonasi. Akan tetapi, terdapat persetujuan lain mengenai tekanan lubang ledak aktual. Menurut Dessureault (2004: 35), tekanan setelah detonasi di dalam lubang ledak diestimasikan kurang dari 30% dari tekanan detonasi teoritik.

$$P_e = 0.5 PD \dots\dots\dots(2.7)$$

Dengan, P_e = tekanan lubang tembak (MPa)

D. Interaksi Batuan Dengan Bahan Peledak

Proses pemecahan batuan hasil peledakan terdiri dari beberapa tahap yaitu pecahan akibat proses detonasi, rekahan alami oleh energi peledakan dan kombinasi dari rekahan dari rekahan akibat peledakan dan rekahan alami. Proses pemecahan batuan sesuai dalam buku Supervisory Teknik Peledakan terdiri dari beberapa tahap yaitu:

1. Proses Pemecahan Tahap I

Gelombang kejut dari proses peledakan yang meninggalkan lubang ledak merambat dan mengakibatkan tegangan tangensial yang menimbulkan rekahan radial yang menjalar dari daerah lubang ledak.

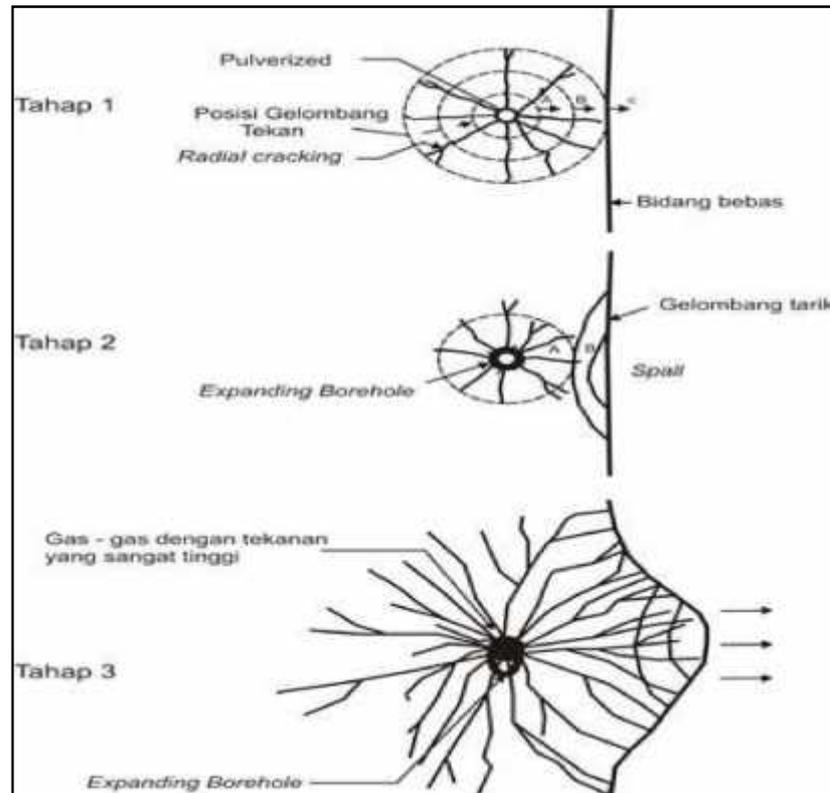
2. Proses Pemecahan Tahap II

Gelombang kejut yang meninggalkan lubang ledak bila menemui bidang bebas gelombang tersebut akan dipantulkan. Bersamaan dengan itu tekanannya akan turun dengan cepat dan akan menimbulkan gelombang

tarik (tension wave). Gelombang tarik ini kemudian merambat kembali ke batuan, oleh karena kuat tarik batuan lebih kecil dibandingkan kuat tekan, maka akan terjadi rekahan-rekahan karena tegangan tarik yang cukup kuat sehingga menyebabkan spalling pada bidang bebas. Energi pada proses pemecahan tahap I dan II digunakan untuk mempersiapkan kondisi batuan dalam proses pemecahan tahap akhir.

3. Proses Pemecahan Tahap III

Di bawah pengaruh tekanan yang sangat tinggi dari gas-gas hasil peledakan maka rekahan radial akan diperbesar secara cepat oleh efek kombinasi dari tegangan tarik. Massa batuan yang gagal mempertahankan posisinya dan bergerak ke depan maka tegangan tekan tinggi yang berada dalam batuan akan dilepas. Akibat pelepasan tegangan tekan ini menimbulkan energi tarik yang besar dalam massa batuan. Energi tarik inilah yang melengkapi proses pemecahan batuan pada tahap II yang mempersiapkan rekahan-rekahan untuk membantu fragmentasi pada pola peledakan.



Gambar 2.7 Proses Pecahnya Batuan (Supervisory Teknik Peledakan, 1992).

E. Konstanta Batuan dan Sistem Pemboran Mekanik

1. Konstanta Batuan

Konstanta batuan (c) merupakan jumlah bahan peledak yang diasumsikan untuk meledakkan 1 m³ batuan. Struktur geologi memegang peranan penting dalam peledakan, namun belum ada yang mampu membuat struktur geologi ini menjadi faktor pendekatan yang biasa digunakan dalam perhitungan isian bahan peledak (Holmberg dan Persson, 1994). Konstruksi terowongan di korea dengan hasil analisa mempergunakan 23 kumpulan data sehingga memperoleh nilai c dengan menggunakan RMR adalah sebagai berikut:

$$c = (5,73 \times 10^{-3} \times RMR) + 0,057 \dots\dots\dots(2.8)$$

2. Sistem Pemboran Mekanik

Dalam suatu operasi peledakan batuan, kegiatan pemboran merupakan pekerjaan yang pertama kali dilakukan dengan tujuan untuk membuat sejumlah lubang ledak dengan geometri dan pola yang sudah tertentu pada massa batuan, yang selanjutnya akan diisi dengan sejumlah bahan peledak untuk diledakkan.

Menurut Jimeno, 1995 berdasarkan energi mekaniknya, sistem pemboran mekanik dibagi menjadi 3, yaitu:

a. Metode Rotari

Pemboran yang menggunakan aksi putaran untuk melakukan penetrasi terhadap batuan. Pada metode ini ada 2 jenis mata bor, yaitu *tricone bit* dengan hasil penetrasinya berupa gerusan dan *drag bit* dengan hasil penetrasinya berupa potongan. Sistem yang pertama digunakan untuk batuan sedang hingga lunak, sedangkan system yang kedua digunakan untuk batuan lunak.

b. Metode Perkusif

Pada pemboran perkusif, energi dari mesin bor diteruskan oleh batang bor ke mata bor untuk meremukkan batuan. Komponen utama dari mesin bor ini ialah piston yang mendorong dan menarik tangkai batang bor. Energi kinetik piston diteruskan ke batang bor dalam bentuk gelombang kejut yang bergerak sepanjang batang bor dengan kecepatan ± 5000 m/detik. Pada pemboran perkusif yang terjadi ialah proses

peremukan permukaan batuan oleh mata bor. Frekuensi impak normal untuk *rockdrill* ialah ± 50 tumbukan/detik, yang berarti jarak antara gelombang kejut ialah ± 100 m.

c. Metode Rotari - Perkusif

Pemboran yang menggunakan aksi tumbukan yang dikombinasikan dengan aksi putaran, sehingga terjadi proses peremukan dan penggerusan batuan. Metode ini dibagi menjadi dua, yaitu:

1) *Top Hammer*

Pada metode ini aksi putaran dan tumbukan dihasilkan diluar lubang bor yang kemudian ditransmisikan melalui *shank adaptor* dan batang bor menuju mata bor.

2) *Down The Hole Hammer*

Pada metode ini 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.

Perlengkapan metode rotari – perkusif dibedakan menjadi dua, yaitu *integral drill steels* dan *extension drill steels*. *Integral drill steels* terdiri dari *shank adaptor*, batang bor, dan mata bor yang telah terpasang menjadi satu, sedangkan *extension drill steels* terdiri dari *shank adaptor*, batang bor, *coupling* dan mata bor yang dapat dipisahkan satu sama lain. *Integral drill*

steels umumnya digunakan pada kedalaman yang relatif rendah dengan diameter lubang bor antara 22 – 41 mm, sedangkan *extension drill steels* digunakan untuk mendapatkan kedalaman yang diinginkan

F. Indikator Keberhasilan Peledakan

1. *Powder factor* (PF)

Menurut Jimeno, dkk (1995: 188), *Powder factor* (PF) merupakan parameter yang diketahui sebagai jumlah bahan peledak yang dibutuhkan untuk memecahkan satu satuan volume (m^3) atau berat (ton) batuan. PF dapat dinyatakan dalam satuan kg/m^3 atau kg/ton . Untuk mengetahui nilai PF dari suatu kegiatan peledakan, maka dapat dilakukan perhitungan dengan menggunakan rumus berikut.

$$PF = \frac{W_{handak}}{V} \quad \text{atau} \quad PF = \frac{W_{handak}}{W_{Batuan}}$$

PF = *Powder factor* (kg/m^3), (kg/ton)

W_{handak} = Berat bahan peledak (kg)

V = Volume (m^3)

W_{Batuan} = Berat batuan hasil peledakan (ton)

PF biasanya telah ditetapkan oleh perusahaan karena merupakan hasil dari beberapa penelitian sebelumnya dan juga karena berbagai pertimbangan. Tolak ukur dalam menetapkan angka PF adalah sebagai berikut:

- a. Ukuran fragmentasi hasil peledakan yang memuaskan, artinya tidak banyak bongkahan atau terlalu kecil. Ukuran fragmentasi harus

sesuai dengan proses selanjutnya, antara lain ukuran *bucket* atau ukuran *feed* mesin pengolahan.

- b. Keselamatan kerja peledakan terhadap karyawan dan masyarakat disekitarnya harus terjamin.
- c. Dampak negatif terhadap lingkungan harus dikurangi, seperti getaran yang berlebihan, gegaran yang menyakitkan telinga dan suara yang mengejutkan.

2. Fragmentasi

Menurut Jimeno, dkk (1995: 326), fragmentasi merupakan istilah yang umum digunakan untuk menunjukkan dan menjelaskan distribusi ukuran dari material yang diledakkan. Ukuran fragmen tergantung pada proses selanjutnya. Untuk tujuan tertentu ukuran fragmentasi yang besar atau *boulder* diperlukan untuk penghalang (*barrier*) di tepi jalan tambang. Namun kebanyakan diinginkan ukuran fragmentasi yang kecil karena penanganan selanjutnya akan lebih mudah. Ukuran fragmentasi terbesar biasanya dibatasi oleh dimensi mangkok alat gali yang akan memuatnya ke dalam alat angkut dan oleh ukuran *feed* pada pabrik pengolahan.

Beberapa ketentuan umum tentang hubungan fragmentasi dengan lubang ledak:

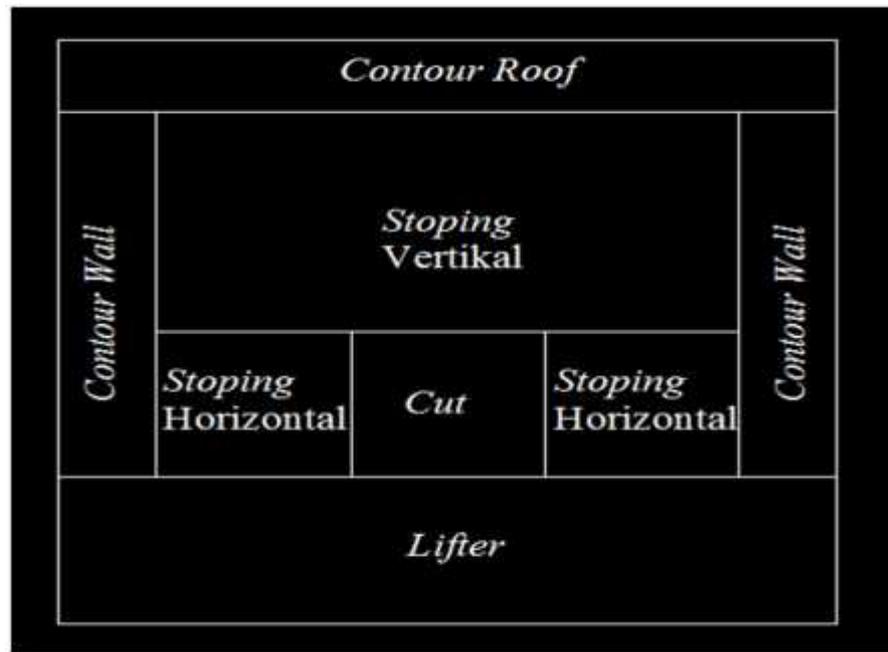
- a. Ukuran lubang ledak yang besar akan menghasilkan bongkahan fragmentasi, oleh sebab itu harus dikurangi dengan menggunakan bahan peledak yang lebih kuat.

- b. Perlu diperhatikan bahwa dengan menambah bahan peledak akan menghasilkan lemparan yang jauh.
- c. Pada batuan dengan intensitas rekahan tinggi dan jumlah bahan peledak sedikit dikombinasi dengan jarak spasi pendek akan menghasilkan fragmentasi kecil.

G. Merencanakan Geometri Peledakan Tambang Bawah Tanah

Burn cut atau disebut juga dengan *cylindrical cut* merupakan salah satu jenis *cut* yang umum dipakai saat ini, terdiri dari satu atau lebih lubang kosong yang berdiameter besar dan dikelilingi oleh lubang-lubang berdiameter kecil berisi muatan bahan peledak yang diatur dalam segi empat yang mengelilingi bukaan. Lubang kosong yang terdapat pada *cut* dibuat sebagai bidang bebas mini agar pelepasan tegangan gelombang kompresi menjadi tarik dapat berlangsung efektif. Selain itu, lubang kosong berperan sebagai ruang terbuka tempat fragmentasi batuan terlempar dari lubang yang bermuatan bahan peledak.

Untuk mempermudah perhitungan geometri pemboran dan peledakan pada terowongan maka terowongan dibagi menjadi beberapa bagian (lihat Gambar 2.8).



Sumber : *Drilling and Blasting of Rock*

Gambar 2.8 Pembagian Muka Terowongan (Jimeno, 1995)

Berdasarkan perhitungan yang terdapat pada buku *Drilling and Blasting of Rocks* (Jimeno, C.L., Jimeno, E.L., and Carcedo, F.J.A., 1995: 217 – 230), maka formula untuk perhitungan geometri peledakan tambang bawah tanah dapat dihitung dengan formula berikut:

1. Muatan Bahan Peledak

Penentuan jumlah muatan bahan peledak harus dilakukan dengan hati-hati, jika muatan bahan peledak dalam lubang ledak sedikit atau kurang maka mungkin tidak akan memecah batuan atau membongkar batuan, sedangkan bila muatan bahan peledak terlalu banyak pada bagian *cut* akan mengakibatkan terjadinya *blow out* melalui lubang kosong sehingga terjadi pemadatan kembali batuan yang telah terpecahkan dan

efisiensi kemajuan rendah dan pada bagian *contour* akan mengakibatkan *overbreak*.

Bahan peledak dalam *catridge* memiliki diameter dan densitas bahan peledak yang berbeda-beda sehingga muatan bahan peledaknya berbeda-beda. Untuk menentukan muatan bahan peledak dalam *catridge*, dapat digunakan persamaan berikut (Jimeno 1995):

$$q_l = 7,85 \times 10^{-4} \times e \times D_1^2 \dots\dots\dots(2.9)$$

Keterangan :

q_l : Muatan bahan peledak dalam *catridge* (kg/m)

e : Densitas bahan peledak dalam *catridge* (gr/cm³)

D_1 : Diameter *catridge* (mm)

2. Dimensi *Cut*

Berbeda dengan peledakan tambang terbuka, dalam peledakan tambang bawah tanah diperlukan bidang bebas kedua yang diperoleh dengan membuat *cut* pada muka terowongan (Jimeno 1995).

1) Segiempat Pertama

Merupakan segi empat yang sebagai bidang bebas dan tempat lemparan fragmen hasil peledakan awal.

$$D_2 = D_2' \times \sqrt{n} \dots\dots\dots(2.10)$$

$$B = 1,7 \times D_2 \dots\dots\dots(2.11)$$

$$B_1 = B - E_p \dots\dots\dots(2.12)$$

$$Ah_1 = \sqrt{2} \times B_1 \dots\dots\dots(2.13)$$

Bahan peledak yang dibuat atau dihasilkan pabrik jenisnya terbatas sehingga tidak dapat memenuhi konsentrasi muatan yang sesuai dengan perhitungan.

Untuk keadaan seperti tersebut maka konsentrasi muatan ditentukan terlebih dahulu sesuai dengan bahan peledak yang tersedia, kemudian burden dihitung dengan persamaan (Jimeno 1995):

$$q_l = (55 \times D_1 \times (B/D_2)^{1.5} \times (B - (1/2 D_2)) \times (c/0,4)) / RWSe \dots (2.14)$$

Keterangan:

D_2 : Diameter lubang samaran (m)

D_2' : Diameter lubang kosong (m)

n : Jumlah lubang kosong

B : *Burden* lubang *cut* pertama (m)

B_1 : *Burden* lubang *cut* pertama terkoreksi (m)

Ah_1 : Spasi lubang *cut* pertama (m)

D_1 : Diameter lubang ledak (m)

c : Konstanta batuan

$RWSe$: $RWSe$ dari bahan peledak (%)

2) Segiempat Kedua

Merupakan lobang ledak selanjutnya setelah segi empat pertama meledak dan segi empat kedua dapat di cari dengan persamaan berikut.

$$Ah_1' = \sqrt{2} \times (B_1 - E_p) \dots (2.15)$$

$$B' = 0,088 \times \frac{Ah' \times q_l \times RWSe}{D_1 \times c} \dots (2.16)$$

$$B2 = B' - Ep \dots\dots\dots(2.17)$$

$$Ah2 = \sqrt{2} \times (B2 + \frac{1}{2} Ah1) \dots\dots\dots(2.18)$$

Ada batas yang harus dikenakan terhadap B2, yaitu $B2 \geq (2 \times B)$.

Keterangan:

Ah1' : Spasi lubang *cut* pertama terkoreksi (m)

B' : *Burden* lubang *cut* kedua (m)

B2 : *Burden* lubang *cut* kedua terkoreksi (m)

Ah2 : Spasi lubang *cut* kedua (m)

3) Segiempat Ketiga

Merupakan lobang ledak ketiga, spasi dan *burden* segiempat ketiga dapat dicari dengan persamaan berikut.

$$Ah2' = \sqrt{2} \times ((B2 + \frac{1}{2} Ah1) - Ep) \dots\dots\dots(2.19)$$

$$B'' = 0,088 \times \frac{Ah2' \times ql \times RWSe}{D1 \times c} \dots\dots\dots(2.20)$$

$$B3 = B'' - Ep \dots\dots\dots(2.21)$$

$$Ah3 = \sqrt{2} \times (B3 + \frac{1}{2} Ah2) \dots\dots\dots(2.22)$$

Keterangan:

Ah2' : Spasi lubang *cut* kedua terkoreksi (m)

B'' : *Burden* lubang *cut* ketiga (m)

B3 : *Burden* lubang *cut* ketiga terkoreksi (m)

Ah3 : Spasi lubang *cut* ketiga (m)

4) Segiempat Keempat

Merupakan lobang ledak selanjutnya setelah lobang ledak ketiga, spasi dan *burden* nya dapat dihitung dengan persamaan:

$$Ah3' = \sqrt{2} \times ((B3 + \frac{1}{2} Ah2) - Ep) \dots\dots\dots(2.23)$$

$$B''' = 0,088 \times \sqrt{\frac{Ah3' \times ql \times RWSe}{D1 \times c}} \dots\dots\dots(2.24)$$

$$B4 = B''' - Ep \dots\dots\dots(2.25)$$

$$Ah4 = \sqrt{2} \times (B4 + \frac{1}{2} Ah3) \dots\dots\dots(2.26)$$

Menurut Jimeno, 1995 lubang *cut* berhenti sampai $Ahx = \sqrt{0,95} \times L$

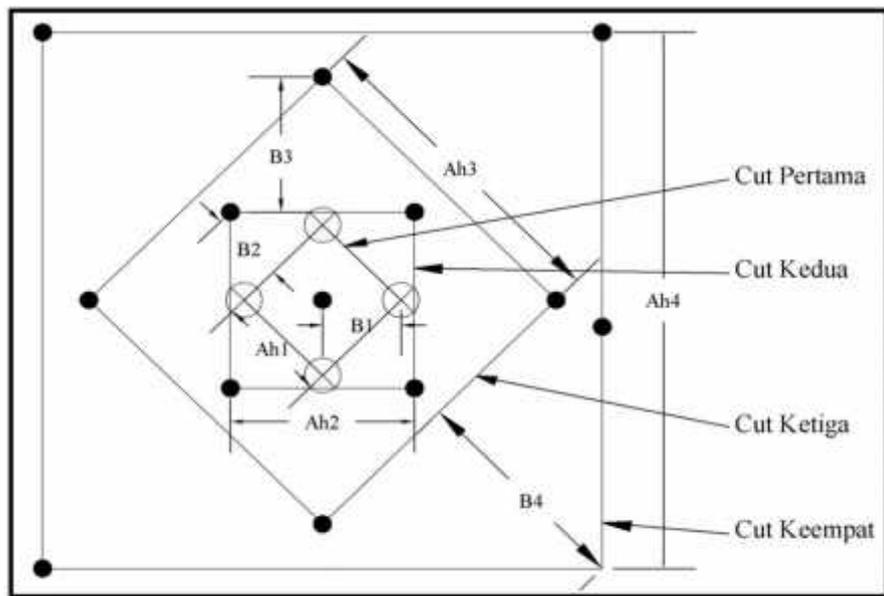
Keterangan :

Ah3' : Spasi lubang *cut* ketiga terkoreksi (m)

B''' : *Burden* lubang *cut* keempat (m)

B4 : *Burden* lubang *cut* keempat terkoreksi (m)

Ah4 : Spasi lubang *cut* keempat (m)



Sumber : *Drilling and Blasting of Rock*

Gambar 2.9 Dimensi *Cut* (Jimeno, 1995)

3. Dimensi *Lifter*

Lifter adalah Lobang ledak yang berada pada posisi lantai terowongan, untuk mencari nilai spasi dan burden pada daerah *Lifter* dapat menggunakan rumus (Jimeno 1995) seperti berikut ini.

$$C = c + 0,05 \dots \dots \dots (2.27)$$

$$f = 1,45 \dots \dots \dots (2.28)$$

$$S/B = 1 \dots \dots \dots (2.29)$$

$$B = 0,9 \frac{q_l.RWSe}{C \times f(S/B)} \dots \dots \dots (2.30)$$

$$NB = \frac{AT + (2L \sin \gamma)}{B} + 2 \dots \dots \dots (2.31)$$

$$Sz = \frac{AT + (2L \sin \gamma)}{NB - 1} \dots \dots \dots (2.32)$$

$$Sz' = Sz - (L \sin \gamma) \dots \dots \dots (2.33)$$

$$Bz = B - (L \sin \gamma) - Ep \dots \dots \dots (2.34)$$

Keterangan:

C : Konstanta batuan terkoreksi

f : Faktor fiksasi

B : *Burden* maksimum *lifter* (m)

NB : Jumlah lubang ledak

AT : Panjang yang ditempati *lifter* (m)

γ : *Look out* ($^{\circ}$)

Sz : Spasi dengan pengecualian lubang-lubang sudut (m)

Sz' : Spasi untuk lubang-lubang sudut (m)

4. Dimensi *Contour*

Dimensi *Contour* adalah daerah *Roof* dan *Wall*, untuk mencari nilai spasi dan burden *Contour* dapat menggunakan rumus (Jimeno 1995) sebagai berikut.

$$f = 1,2 \dots\dots\dots(2.35)$$

$$S/B = 1,25 \dots\dots\dots(2.36)$$

$$B = 0,9 \frac{ql.RWSe}{Cx f(S/B)} \dots\dots\dots(2.37)$$

$$Ba = B - (L \times \sin 3^0) - Ep \dots\dots\dots(2.38)$$

$$S = 1,25 \times B \dots\dots\dots(2.39)$$

$$NB = \frac{AT}{S} + 2 \dots\dots\dots(2.40)$$

$$Sa = \frac{AT}{NB-1} \dots\dots\dots(2.41)$$

Keterangan :

B : *Burden* maksimum (m)

Ba : *Burden* terkoreksi (m)

NB : Jumlah lubang ledak

S : Spasi maksimum (m)

AT : Panjang yang ditempati (m)

Sa : Spasi terkoreksi (m)

Perhitungan untuk dimensi *contour*, baik pada *roof* maupun *wall* adalah sama yang membedakan hanya panjang yang ditempati (AT).

5. Dimensi *Stoping*

Dimensi *Stoping* yaitu *Stoping* Vertikal (Tegak Lurus) dan *Stoping* Horizontal (Mendatar) dapat dicari nilai spasi dan burden nya dengan persamaan (Jimeno 1995) sebagai berikut.

$$S/B = 1,25 \dots\dots\dots(2.42)$$

$$B = 0,9 \frac{qf.RWSe}{C \times f(S/B)} \dots\dots\dots(2.43)$$

$$Br = B - Ep \dots\dots\dots(2.44)$$

$$S = 1,25 \times B \dots\dots\dots(2.45)$$

$$NB = \frac{AT}{S} + 2 \dots\dots\dots(2.46)$$

$$Sr = \frac{AT}{NB-1} \dots\dots\dots(2.47)$$

Keterangan :

B : *Burden* maksimum (m)

Br : *Burden* terkoreksi (m)

NB : Jumlah lubang ledak

S : Spasi maksimum (m)

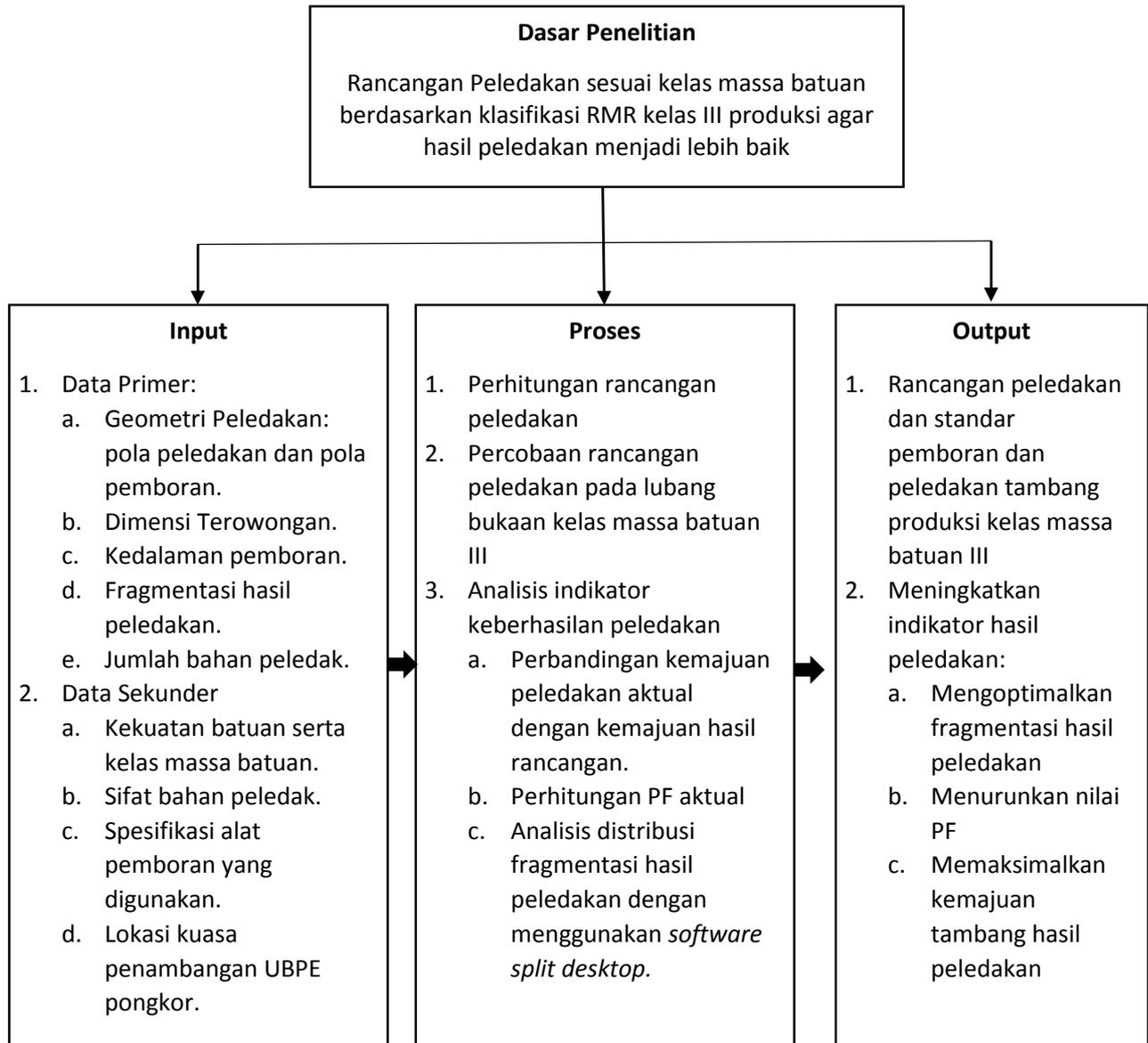
AT : Panjang yang ditempati (m)

Sr : Spasi terkoreksi (m)

Perhitungan untuk dimensi *stopping*, baik pada horizontal maupun vertikal adalah sama yang membedakan hanya panjang yang ditempati (AT) dan nilai f. Pada toping horizontal, nilai f adalah 1,45, sedangkan pada *stopping* vertikal, nilai f adalah 1,2.

H. Kerangka Konseptual

Agar penelitian ini lebih terarah sesuai dengan rumusan masalah dan tujuan yang telah ditentukan, maka dapat disusun kerangka konseptual sebagai berikut:



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil uji coba rancangan peledakan dan pembahasan pada bab sebelumnya dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Pola pemboran dan peledakan yang diambil dari data lapangan menunjukkan bahwa burden dan spasi yang digunakan memiliki ukuran yang kurang beraturan. Hal ini disebabkan oleh penentuan titik-titik pengeboran yang tidak diukur atau tidak ditandai terlebih dahulu. Burden dan spasi dibuat dengan rentang nilai 0,45 – 1,02 m. Geometri yang cenderung rapat dan kurang beraturan tersebut mempengaruhi indikator keberhasilan peledakan, antara lain:
 - a. Kemajuan rata-rata yang dihasilkan dari kegiatan peledakan aktual adalah 83% dari kedalaman lubang yang dibor.
 - b. PF rata-rata hasil peledakan aktual adalah 1,32 kg/ton.
 - c. Fragmentasi yang kecil, yaitu sebanyak 80% berukuran kecil dari 20 cm yang mengindikasikan bahwa belum optimalnya distribusi fragmentasi hasil peledakan.
2. Rancangan peledakan yang lebih sesuai untuk diterapkan pada kegiatan peledakan produksi massa batuan kelas III tambang emas bawah tanah PT ANTAM menggunakan konstanta batuan (c) 0,75 kg/ton dan konstanta

batuan terkoreksi (c') 0,75 kg/ton. Burden dan spasi yang diterapkan untuk kegiatan pengeboran dengan diameter 0,038 m.

3. Hasil percobaan rancangan peledakan usulan diketahui dapat meningkatkan indikator keberhasilan peledakan dengan data sebagai berikut:
 - a. Kemajuan rata-rata hasil percobaan peledakan adalah 95% dari kedalaman lubang ledak yang terukur. Angka ini mengalami kenaikan jika dibandingkan dengan angka kemajuan rata-rata peledakan aktual 83%.
 - b. PF rata-rata dari hasil uji coba rancangan peledakan usulan adalah 1,18 kg/ton.
 - c. Ukuran 80% fragmentasi hasil peledakan meningkat dari 20 cm menjadi 24 cm.
 - d. Fragmentasi optimum mengalami kenaikan dari 9,90% menjadi 18,00% dan fragmentasi halus berkurang dari 35,01% menjadi 25,66%.

B. Saran

Adapun saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai rancangan peledakan untuk agar mendapatkan parameter keberhasilan peledakan yang lebih baik.
2. Direkomendasikan menggunakan geometri pemboran dan peledakan usulan karena dapat mengoptimalkan parameter hasil peledakan, kemajuan, PF dan fragmentasi.
3. Membuat titik bantu sebelum kegiatan pemboran dilakukan agar *drillhole* hasil pemboran sesuai dengan rancangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Attewell, P.B. (1995). *Tunneling Contracts and Site Investigation*. London: E & FN Spon
- Bhandari, Sushil. (1997). *Engineering Rock Blasting Operations*. Brookfield: A.A. Balkema.
- Bieniawski, Z.T. (1989). *Engineering Rock Mass Classification: A Complete Manual for Engineers and Geologists in Mining, Civil and Petroleum Engineering*. Canada: John Wiley & Sons, Inc.
- Bieniawski, Z.T. (1973). *Geomechanics Classification*, Canada
- Dessureault, Sean. (2004). *Rock Excavation*. Arizona: Mining and Geological Engineering University of Arizona.
- Febry (2012). *Blasting Design*. Institut Teknologi Bandung, Bandung:
- Hagan (1977) *Rock breakage by explosives*. Journal Nat. Symp. Rock Fragmentation, Adelaide, pp1-17
- Hagan TN. *Rock breakage by explosives*. Acta Astronaut 1979; 6(3): 329-340
- Hawkes, P, 1998. *Using Simulation to Assess the Impact of Improvements in Drill and Blast on Down Stream Processes*, in Proceedings Mine to Mill 1998, pp 209-217 (The Australasian Institute of Mining and Metallurgy: Melbourne).
- Holmberg-person, Roger, etc, 1994, *Rock Blasting and Explosives Engineering*, CRC Press, Florida.
- Husnuzan, A (2015). Rancangan Peledakan Area *Development Decline* Cibitung dan Cikoneng Tambang Bawah Tanah PT. Cibaliung Sumberdaya. Banten
- Jimeno. (1995). *Drilling and Blasting of Rock*. Rotherdam: A.A. Balkema.
- Kerjasama Tim Pengelola IWPL Pertambangan Umum dengan Lembaga Pengabdian pada Masyarakat – ITB dan Jurusan Teknik Pertambangan FTM – ITB, (1992). “*Diklat: Supervisory Teknik Peledakan Angkatan IV, Prampus, Kalimantan Timur*”