

**RANCANGAN PELEDAKAN AREA *DEVELOPMENT DECLINE*
CIBITUNG DAN CIKONENG TAMBANG BAWAH TANAH
PT CIBALIUNG SUMBERDAYA, BANTEN**

TUGAS AKHIR

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



Oleh
AFDHAL HUSNUZAN
NIM. 1102364

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK PERTAMBANGAN
JURUSAN TEKNIK PERTAMBANGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2016**

PERSETUJUAN TUGAS AKHIR

Rancangan Peledakan Area *Development Decline* Cibitung dan Cikoneng Tambang Bawah Tanah PT Cibaliung Sumberdaya, Banten

Nama : Afdhal Husnuzan
NIM/BP : 1102364/2011
Program Studi : S1-Teknik Pertambangan
Jurusan : Teknik Pertambangan
Fakultas : Teknik

Padang, 05Februari 2016

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Pembimbing I



Drs. Raimon Kopa, MT.
NIP. 19580313 198303 1 001

Pembimbing II



Drs. Bambang Heriyadi, MT.
NIP. 19641114 198903 1 002

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Pertambangan
Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang



Drs. Raimon Kopa, MT
NIP. 19580313 198303 1 001

LEMBAR PENGESAHAN TIM PENGUJI

Dinyatakan Lulus Setelah Dipertahankan di Depan Tim Penguji Tugas Akhir
Program Studi S1 Teknik Pertambangan Jurusan Teknik Pertambangan Fakultas
Teknik Universitas Negeri Padang

Judul : Rancangan Peledakan Area *Development Decline*
Cibitung dan Cikoneng Tambang Bawah Tanah
PT Cibaliung Sumberdaya, Banten

Nama : Afdhal Husnuzan

Program Studi : S1 Teknik Pertambangan

Jurusan : Teknik Pertambangan

Fakultas : Fakultas Teknik

Padang, 05 Februari 2016

Tim Penguji

Tanda Tangan

1. Drs. Raimon Kopa, M.T.

1. (



2. Drs. Bambang Heriyadi, M.T.

2. (



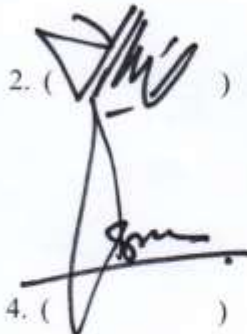
3. Drs. Syamsul Bahri, M.T.

3. (



4. Mulya Gusman, S.T., M.T.

4. (



5. Adree Octova, S.Si, M.T.

5. (





KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
FAKULTAS TEKNIK

JURUSAN TEKNIK PERTAMBANGAN

Jl. Prof Dr. Hamka Kampus UNP Air Tawar Padang 25131

Telephone: FT: (0751)7055644, 445118 Fax: 7055644

Homepage: <http://pertambangan.ft.unp.ac.id> E-mail: mining@ft.unp.ac.id

SURAT PERNYATAAN TIDAK PLAGIAT

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : **AFDHAL HUSNUZAN**
NIM/TM : **1102364 / 2011**
Program Studi : **SI - TEKNIK PERTAMBANGAN**
Jurusan : Teknik Pertambangan
Fakultas : FT UNP

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

**" RANCANGAN PELEDAKAN AREA DEVELOPMENT DECLINE CIBITUNG
DAN CIKONENG TAMBANG BAWAH TANAH PT. CIBALIUNG
SUMBERDAYA, BANTEN "**

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, 04 FEBRUARI 2016

yang membuat pernyataan,

Diketahui oleh,
Ketua Jurusan Teknik Pertambangan

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



AFDHAL HUSNUZAN



Management
System
ISO 9001:2008

Website: www.tuv-rheinland.com
ID: 510204040

BIODATA



I. Data Diri

Nama Lengkap : Afdhal Husnuzan
No. Buku Pokok : 1102364
Tempat / Tanggal lahir : Sulit Air / 07 Juli 1992
Jenis Kelamin : Laki-laki
Nama Bapak : Suharman
Nama Ibu : Yusniwati
Jumlah Bersaudara : 7
Alamat tetap : Jln. Tengah No. 148 Koto Tuo, Nagari Sulit
Air, Kec. X Koto Diatas, Kab. Solok, 27355

II. Data Pendidikan

Sekolah Dasar : SDN 04 X Koto Diatas
Sekolah Lanjutan Pertama : MTsM “disamakan” X Koto Diatas
Sekolah Lanjutan Atas : SMAN 1 X Koto Diatas
Perguruan Tinggi : Universitas Negeri Padang

III. Tugas Akhir

Tempat Penelitian : PT. Cibaliung Sumberdaya
Tanggal Penelitian : 21 Maret 2015 – 11 Mei 2015
Tanggal Sidang Tugas Akhir : 04 Februari 2016

Padang, 05 Februari 2016

Afdhal Husnuzan

NIM/TM: 1102364/2011

ABSTRAK

RANCANGAN PELEDAKAN AREA *DEVELOPMENT DECLINE* CIBITUNG DAN CIKONENG TAMBANG BAWAH TANAH PT CIBALIUNG SUMBERDAYA, BANTEN

Afdhal Husnuzan

Belum terdapatnya rancangan peledakan untuk massa batuan kelas III *development decline* Cibitung (CBT_DC) dan *decline* Cikoneng (CKN_DC) tambang bawah tanah PT. Cibaliung Sumberdaya (PT. CSD) disertai dengan implementasi kegiatan pengeboran lubang ledak dengan geometri yang kurang teratur menyebabkan tingkat keberhasilan peledakan menjadi tidak maksimal. Parameter dari hasil kegiatan peledakan aktual antara lain kemajuan peledakan yang kurang optimal (79,34%), *powder faktor*/PF yang tinggi (1,43 ton/kg), fragmentasi yang kecil (P80=20 cm) dan *overbreak* yang besar (33%). Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui geometri pemboran dan pola peledakan yang diterapkan kemudian membuat suatu rancangan peledakan yang sesuai dengan massa batuan kelas III agar dapat mengoptimalkan parameter keberhasilan peledakan.

Rancangan peledakan yang digunakan dalam penelitian ini dihitung berdasarkan formula pada buku *Drilling and Blasting of Rocks* (Jimeno, et al, 1995: 217-230). Salah satu parameter dasar yang paling mempengaruhi hasil perhitungan rancangan peledakan adalah konstanta batuan (c). Berdasarkan kurva hubungan antara bobot RMR dengan c, maka nilai c untuk lokasi penelitian diperkirakan 0,7 kg/ton hingga 0,75 kg/ton. Rancangan peledakan kemudian divalidasi melalui tahapan uji coba.

Uji coba rancangan peledakan dilakukan terhadap massa batuan kelas III dengan rentang bobot 42-47. Berdasarkan analisis terhadap hasil uji coba rancangan peledakan, dapat diketahui bahwa parameter keberhasilan peledakan area *development decline* dapat ditingkatkan dari parameter hasil kegiatan peledakan aktual dengan menerapkan rancangan peledakan II yang dibuat dengan nilai c = 0,7 kg/ton. Hasil uji coba rancangan peledakan II antara lain, kemajuan peledakan 93,10%, PF 0,81 kg/ton, fragmentasi P80=24 cm dan *overbreak* 8,20%.

Kata Kunci: Rancangan peledakan, *development*, Jimeno, konstanta batuan

ABSTRACT

RANCANGAN PELEDAKAN AREA DEVELOPMENT DECLINE CIBITUNG DAN CIKONENG TAMBANG BAWAH TANAH PT CIBALIUNG SUMBERDAYA, BANTEN

Afdhal Husnuzan

There are two problems that caused unoptimum blasting result parameters for the III rock mass class of development in the underground gold mine PT Cibaliung Sumberdaya (PT CSD). First, there is no blasting design specified for the III rock mass class of Cibitung decline (CBT_DC) and Cikoneng decline (CKN_DC) development. Second, bad implementation of blasthole drilling activity with irregular burden and spacing. The actual blasting activity result parameters are unoptimal blasting advance (79,34%), high powder factor/PF (1.43 kg/ton), fine fragmentation ($P_{80}=20$ cm) and high overbreak percentage (33%). The purpose of this research are to observe the actual drilling geometry and blasting pattern, and to make a blasting design to optimize the blasting result parameters.

The blasting design used for this research was calculated by the equations from the book of “Drilling and Blasting of Rocks” (Jimeno, et al, 1995: 217-230). One of the most important parameters for the calculation result is rock constant (c). As reflected from the relationship figure between Rock Mass Rating and c, the c range value referred to the research location is 0,7-0,75 kg/ton. The blasting design was validated through some trials.

Blasting design trials was applied to the III rock mass with range of 42 – 47. The result shows that the blasting result parameters can be enhanced from the actual blasting result by apllying the blasting design II ($c=0,7$ kg/ton). The enhanced parameters are 93.10% blasting advance, 0.81 kg/ton of PF, coarser fragmentation ($P_{80} = 24$ cm) and smaller overbreak percentage (8.20%).

Keywords: Blasting design, development, Jimeno, rock constant

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis haturkan kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan kesempatan kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “*Rancangan Peledakan Area Development Decline Cibitung dan Cikoneng Tambang Bawah Tanah PT Cibaliung Sumberdaya, Banten*”. Tugas akhir ini dibuat sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana dan disusun untuk dipertahankan dalam ujian siding kesarjanaan pada jurusan Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini penulis mendapatkan banyak bantuan, dukungan dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibunda tercinta yang telah menjadi semangat dan motivasi bagi penulis dalam setiap langkah dan telah memberikan dukungan moril dan materil.
2. Abangku Zulfikar dan Uni Nike Sri Wahyuni, S.Pd. yang telah banyak membantu dan memberikan dukungan moril dan materil kepada penulis.
3. Bapak Drs. Raimon Kopa, MT. selaku Ketua Jurusan Teknik Pertambangan sekaligus Dosen Pembimbing I.
4. Bapak Drs. Bambang Heriyadi, MT. selaku Dosen Pembimbing II.
5. Seluruh staff pengajar di Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.
6. Bapak Sri Sugiyarto, ST. selaku Pembimbing Lapangan selama penulis berada di perusahaan.
7. Seluruh staff dan karyawan PT Cibaliung Sumberdaya, khususnya *miner crew* Departemen Mining.

8. Kakak-kakakku Mira Nila Wati, Yudi Rahmanda, Diana Melina, Mawaddah Warrahmah dan adikku Robi Ilham Fadhil yang telah memberikan bantuan dan dukungan moril dan materil kepada penulis.
9. Keluarga besar Rumah Gadang Air Camar sebagai keluarga kedua bagi penulis.
10. Sahabat-sahabatku Hasnan Fiqri, Edo Febrianto, Ade Adriana, Elsa Agustira dan Riri Lidya Fathira yang selalu berbagi suka dan duka bersama penulis.
11. Seluruh teman-teman Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang yang telah membantu dan memberikan dukungan kepada penulis.
12. Pihak-pihak yang tulisannya penulis kutip dalam Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa dalam proses penulisan, Tugas Akhir ini masih belum sempurna. Oleh karena itu, penulis terbuka terhadap kritik dan saran yang sifatnya membangun dalam pembahasan dan tinjauan pustaka Tugas Akhir ini. Akhir kata, penulis berharap semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi penulis maupun pembaca dan pihak terkait dalam Tugas Akhir ini.

Padang, 05 Februari 2016

Penulis

Afdhal Husnuzan

DAFTAR ISI

PERSETUJUAN TUGAS AKHIR	Error! Bookmark not defined.
LEMBAR PENGESAHAN TIM PENGUJI	ii
SURAT PERNYATAAN TIDAK PLAGIAT	iii
BIODATA	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Identifikasi Masalah	4
C. Batasan Masalah.....	4
D. Rumusan Masalah	5
E. Tujuan Penelitian.....	5
F. Manfaat Penelitian.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
A. Stratigrafi Daerah Mangkualam PT CSD.....	7
B. Dasar-Dasar Peledakan Bawah Tanah	10
C. Posisi <i>Cut</i>	11

D. Indikator Keberhasilan Peledakan.....	12
E. Proses Pemecahan Batuan.....	15
F. Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Peledakan	17
G. Merencanakan Geometri Peledakan Tambang Bawah Tanah.....	24
H. Kerangka Konseptual	35
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	36
A. Desain Penelitian.....	36
B. Lokasi Penelitian	41
C. Teknik Analisis Data	43
D. Jadwal Penelitian.....	46
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	47
A. Data Hasil Pengamatan	47
1. Klasifikasi Massa Batuan Area <i>Development</i>	47
2. Pola Pemboran dan Peledakan Aktual.....	47
3. Indikator Keberhasilan Peledakan Aktual	51
B. Uji Coba Rancangan Peledakan I.....	59
1. Konstanta Batuan.....	59
2. Perhitungan Rancangan Peledakan I	60
3. Proses Pengeboran Rancangan Peledakan I	61
4. Hasil Uji Coba Rancangan Peledakan I.....	63
5. Evaluasi Hasil Peledakan	67
C. Uji Coba Rancangan Peledakan II	68
1. Konstanta Batuan.....	68

2. Perhitungan Rancangan Peledakan II	69
3. Proses Pengeboran Rancangan Pemboran II	70
4. Hasil Uji Coba Rancangan Peledakan II	73
D. Pembahasan	76
1. Kemajuan Peledakan	77
2. PF Peledakan	80
3. Fragmentasi Peledakan	81
4. <i>Overbreak dan Underbreak</i> Peledakan	83
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	88
A. Kesimpulan.....	88
B. Saran.....	89
DAFTAR PUSTAKA.....	91
LAMPIRAN.....	92

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Klasifikasi Kuat Tekan Batuan	18
Tabel 2. Terminologi Pemisahan Diskontinuiti	19
Tabel 3. Klasifikasi Geomekanik Massa Batuan – RMR System	20
Tabel 4. <i>Density</i> Untuk Berbagai Bahan Peledak	21
Tabel 5. Rencana Jadwal Kerja Penelitian	46
Tabel 6. Detail <i>Drill Pattern Jumbo drill</i>	48
Tabel 7. Geometri Peledakan Aktual <i>Heading Development</i>	50
Tabel 8. Kedalaman Pemboran dan Kemajuan Peledakan.....	52
Tabel 9. Volume dan PF Hasil Peledakan.....	52
Tabel 10. Fragmentasi Hasil Peledakan Aktual	55
Tabel 11. <i>Overbreak</i> dan <i>Underbreak</i> Hasil Peledakan Aktual.....	58
Tabel 12. Fragmentasi Hasil Uji Percobaan Peledakan 1	66
Tabel 13. Kelas Massa Batuan <i>Heading</i> Uji Coba Rancangan Peledakan II.....	68
Tabel 14. Kemajuan Peledakan Uji Coba Rancangan Peledakan II	73
Tabel 15. <i>Powder factor</i> Hasil Percobaan Peledakan II	73
Tabel 16. Fragmentasi Hasil Uji Coba Rancangan Peledakan II	74
Tabel 17. Tinjauan Fragmentasi Hasil Uji Coba Rancangan Peledakan II.....	74
Tabel 18. <i>Overbreak/Underbreak</i> Sebelum Peledakan.....	75
Tabel 19. <i>Overbreak/Underbreak</i> Setelah Peledakan.....	75
Tabel 20. Ringkasan Hasil Peledakan Penelitian	76
Tabel 21. Kemajuan Peledakan Aktual dan Hasil Uji Coba Rancangan Peledakan	77

Tabel 22. PF Peledakan Aktual dan Hasil Uji Coba Rancangan Peledakan.....	81
Tabel 23. Fragmentasi Peledakan Aktual dan Hasil Uji Coba Rancangan Peledakan.....	82

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Stratigrafi Daerah Mangkualam	9
Gambar 2. Zona-Zona pada Peledakan Terowongan.....	10
Gambar 3. <i>Look Out</i>	11
Gambar 4. Letak <i>Cut</i> pada Muka Terowongan.....	12
Gambar 5. Sketsa Dimensi Terowongan.....	15
Gambar 6. Proses Pecahnya Batuan.....	17
Gambar 7. <i>Four Section of Cuts</i>	26
Gambar 8. Grafik Hubungan Antara Diameter Lubang Kosong & Burden	26
Gambar 9. Geometri <i>Lifter</i>	31
Gambar 10. Kerangka Konseptual Penelitian	35
Gambar 11. Diagram Alir Metode Penelitian	40
Gambar 12. Peta Lokasi Tambang Emas PT CSD.....	41
Gambar 13. Layout 3D Tambang Bawah Tanah PT CSD	42
Gambar 14. Lokasi Penelitian CBT_DC dan CBT_XC8_ACC	42
Gambar 15. Lokasi Penelitian CKN_DC	43
Gambar 16. Dialog <i>Box Scale Image</i>	44
Gambar 17. Dialog <i>Box Find Particles</i>	45
Gambar 18. <i>Drill Pattern Jumbo drill</i>	48
Gambar 19. <i>Jumbo drill (DR06) Atlas Copco Boomer 282</i>	49
Gambar 20. Geometri Pemboran Aktual pada <i>Heading</i> CKN_DC (16 Februari 2015).....	51

Gambar 21. Pengukuran Kedalaman Lubang Hasil Pemboran Menggunakan <i>Loading Stick</i>	51
Gambar 22. <i>Input</i> Gambar Digital Fragmen Peledakan CBT_DC (27-02-2015) .	56
Gambar 23. Deliniasi Fragmen Peledakan CBT_DC (27-02-2015)	56
Gambar 24. Contoh <i>Output</i> Analisis Fragmentasi Menggunakan <i>Split Dekstop 2.1</i>	57
Gambar 25. Sketsa Dimensi Terowongan.....	58
Gambar 26. Grafik Hubungan Antara Konstanta Batuan (c) dengan RMR	59
Gambar 27. Geometri Peledakan <i>Development</i> ($c = 0.75$), <i>Jumbo drill</i>	61
Gambar 28. Uji Coba Rancangan Peledakan 1 pada <i>Heading</i> CKN_DC Kelas III (RMR 47)	62
Gambar 29. Volume Hasil Uji Coba Rancangan Peledakan I (16 April 2015)	65
Gambar 30. Fragmentasi Peledakan CKN_DC (06-04-2015)	66
Gambar 31. Perbandingan Fragmentasi Hasil Uji Coba Rancangan Peledakan I (06 April 2015).....	67
Gambar 32. Geometri Peledakan <i>Development</i> ($c = 0.7$), <i>Jack leg</i>	70
Gambar 33. <i>Top Drilling</i> Uji Coba Rancangan Peledakan II	71
Gambar 34. <i>Bottom Drilling</i> Uji Coba CKN_DC (17 April 2015).....	71
Gambar 35. <i>Bottom Drilling</i> Uji Coba CKN_DC (19 April 2015).....	72
Gambar 36. <i>Bottom Drilling</i> Uji Coba CKN_XC8_ACC (23 April 2015).....	72
Gambar 37. <i>Bottom Drilling</i> Uji Coba CBT_DC (25 April 2015)	72
Gambar 38. Perbandingan Kemajuan Peledakan Aktual dengan Hasil Uji Coba Rancangan Peledakan.....	78

Gambar 39. Hubungan Kemajuan Peledakan dengan <i>Powder Factor</i>	81
Gambar 40. Perbandingan Kemajuan Peledakan Aktual dengan Hasil Uji Coba Rancangan Peledakan.....	83
Gambar 41. <i>Bottom drilling</i> CBT_XC8_ACC (23 April 2015).....	86

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A. Peta Geologi PT Cibaliung Sumberdaya	92
Lampiran B. Peta Topografi PT Cibaliung Sumberdaya	93
Lampiran C. Klasifikasi Massa Batuan <i>Development</i> Cikoneng dan Cibitung	94
Lampiran D. Spesifikasi Bahan Peledak.....	95
Lampiran E. Spesifikasi Jumbo Drill Atlas Copco Boomer 282	100
Lampiran F. Geometri Peledakan Aktual.....	104
Lampiran G. Kedalaman Lubang Ledak Aktual	107
Lampiran H. Volume Peledakan Aktual Area <i>Development Decline</i>	108
Lampiran I. Distribusi Ukuran dan Deliniasi Fragmentasi Aktual Hasil Peledakan <i>Development Decline</i>	112
Lampiran J. Perhitungan Rancangan Peledakan 1 ($c = 0,75$)	116
Lampiran K. Perhitungan Rancangan Peledakan II ($c = 0,7$)	129
Lampiran L. <i>Note Discussion</i>	142
Lampiran M. Laporan Hasil Pemetaan Geoteknik.....	143
Lampiran N. Kemajuan Peledakan Hasil Uji Coba Rancangan Peledakan	147
Lampiran O. Informasi Survey Departemen Kendali Mutu (Maret 2015)	148
Lampiran P. Informasi Survey Departemen Kendali Mutu (April 2015)	149
Lampiran Q. Volume Peledakan Uji Coba Rancangan Peledakan II <i>Development Decline</i>	150
Lampiran R. BAP Uji Coba Rancangan Peledakan	152
Lampiran S. Distribusi Ukuran dan Deliniasi Fragmentasi Hasil Uji Coba Rancangan Peledakan <i>Development Decline</i>	157

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

PT Cibaliung Sumberdaya (PT CSD) merupakan perusahaan yang bergerak di bidang industri pertambangan emas bawah tanah berlokasi di desa Mangkualam, Cimanggu, Pandeglang, Banten, dengan *ore* berbentuk *vein* yang disebut dengan *vein* Cikoneng dan *vein* Cibitung. PT CSD menerapkan sistem penambangan bawah tanah dengan metode *cut and fill*, dan untuk pembongkaran material pada penambangan bawah tanah dilakukan dengan kegiatan peledakan.

Kegiatan peledakan pada penambangan bawah tanah PT CSD memiliki dua tujuan utama, yaitu (1) meledakkan batuan untuk mengambil material/bijih sebagai input pengolahan yang dilaksanakan oleh team produksi dan (2) meledakkan batuan dengan tujuan menghasilkan ruangan *development* untuk gudang, jalan, saluran, terowongan pipa dan lubang bukaan yang dilaksanakan oleh team *development*.

Peledakan pada area *development decline* merupakan salah satu kegiatan peledakan utama untuk membuat akses jalan menuju *ore* yang akan ditambang. Kegiatan ini haruslah terencana dengan baik karena akses jalan dibuat untuk pemanfaatan dalam jangka waktu yang panjang. Oleh karena itu, diperlukan rancangan peledakan yang sesuai dengan klasifikasi massa batuan pada area peledakan.

Massa batuan yang dijumpai pada area *development* tambang bawah tanah PT CSD berada pada kelas III dan IV berdasarkan sistem klasifikasi

RMR (*Rock Mass Rating*) yang dikembangkan oleh Bieniawski (1989). Bobot RMR rata-rata yang diperoleh adalah 46,29 dan termasuk ke dalam rentang nilai klasifikasi massa batuan pada kelas III (40-60). Kelas ini merupakan batuan dengan kekuatan sedang atau menengah pada sistem klasifikasi RMR.

Standar pola pengeboran dan peledakan untuk area *development* telah ditetapkan oleh Departemen Kendali Mutu PT CSD. Akan tetapi standar tersebut dibuat tanpa adanya rancangan peledakan dan tidak disesuaikan dengan klasifikasi massa batuan tertentu, sehingga ditujukan untuk penerapan pada massa batuan secara keseluruhan. Karena massa batuan area *development* memiliki kelas yang tidak sama pada setiap titik, maka diperlukan rancangan peledakan yang sesuai dengan kelas dan karakteristik massa batuan agar peledakan yang dilakukan lebih efisien.

Selain itu, penerapan kegiatan pemboran *heading development* yang kurang baik mengakibatkan geometri pemboran menjadi kurang beraturan 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 *development* tersebut mempengaruhi indikator-indikator keberhasilan peledakan, antara lain kemajuan, *powder factor* (PF), fragmentasi hasil peledakan dan *overbreak*.

Berdasarkan pengamatan dan pengukuran di lapangan, kemajuan peledakan yang dihasilkan dari kegiatan peledakan aktual adalah 79,33%. Angka ini belum mencapai standar kemajuan yang ditetapkan oleh perusahaan,

yaitu 90% dari kedalaman lubang ledak. Sementara PF yang dihasilkan adalah 1,45 kg/ton dengan persentase fragmentasi kecil ($< 4,4$ cm) adalah 32,16% dan persentase fragmentasi optimum (25-50 cm) hanya 9,85%.

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 *development decline* adalah 0,6 kg/ton. Berdasarkan kurva hubungan antara luas *heading* dan diameter lubang ledak (Jimeno, 1995: 225), nilai PF untuk area *development* 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 pengamatan di lapangan, dimensi yang dihasilkan dari kegiatan peledakan *development* memiliki ukuran yang berbeda dibandingkan dengan dimensi yang direncanakan pada desain. Pada umumnya, dimensi yang dihasilkan tersebut lebih besar (*overbreak*). Hal ini dapat disebabkan oleh beberapa hal, seperti deviasi pengeboran, faktor geologi batuan pada *heading* dan pengisian bahan peledak yang berlebih pada lubang ledak kontur.

Berdasarkan permasalahan diatas, penulis ingin melakukan penelitian mengenai rancangan peledakan yang ditujukan untuk kegiatan peledakan *development* dengan judul **“Rancangan Peledakan Area *Development Decline* Cibitung dan Cikoneng Tambang Bawah Tanah PT Cibaliung Sumberdaya, Banten”**

B. Identifikasi Masalah

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

1. Belum adanya rancangan peledakan *development decline* untuk massa batuan kelas III.
2. Tidak dilakukan pengukuran titik-titik pemboran pada *heading development* 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 *development* CKN_DC dan CBT_DC.
2. Penelitian hanya membahas dari sisi teknis peledakan.
3. Penelitian dilakukan pada massa batuan *development decline* dengan kelas III (RMR 40-60).
4. Pemilihan alat bor tergantung kepada ketersediaan alat.

D. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dibuat agar mengetahui fokus pada penelitian untuk dapat mencari jawaban dari pertanyaan-pertanyaan yang dimunculkan dengan maksud sebagai batasan dari kegiatan penelitian agar kegiatan di lapangan lebih terorganisir dan efisien.

Adapun pertanyaan-pertanyaan yang dimunculkan sebagai batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimakah pola pemboran dan peledakan aktual yang diterapkan pada kegiatan peledakan area *development*?
2. Bagaimanakah rancangan peledakan yang sesuai untuk massa batuan kelas III area *development decline*?
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 area *development*.
2. Mengetahui rancangan peledakan yang sesuai dengan massa batuan kelas III agar dapat meningkatkan indikator keberhasilan peledakan area *development decline* tambang bawah tanah PT CSD.
3. Mengetahui 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 kepada perusahaan mengenai rancangan peledakan area *development decline* Cikoneng dan Cibitung untuk kelas III massa batuan berdasarkan klasifikasi RMR.
2. Penelitian ini dapat dijadikan sebagai referensi untuk penelitian lebih lanjut mengenai standar pola pemboran dan peledakan *development decline* PT CSD.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Stratigrafi Daerah Mangkualam PT CSD

PT CSD merupakan daerah perbukitan dengan ketinggian antara 300 hingga 620 meter dpl dengan kemiringan lereng 7-20%. Perbukitan tertinggi terletak di sebelah barat daerah KP. Eksplorasi Cibaliung, yakni Gunung Honje dengan ketinggian 620 m di atas permukaan laut dan termasuk dalam kawasan Taman Nasional Ujung Kulon. Sungai utama yang mengalir di daerah ini adalah Sungai Citeluk, Sungai Cikoneng, dan Sungai Cibeber, yang mengalir dari utara ke selatan dan umumnya membentuk pola pengaliran rectangular.

Sejarah geologi daerah penelitian dimulai dengan terendapkannya Formasi Honje yang diperkirakan berumur Miosen Akhir. Formasi ini terdiri dari lava andesit dan breksi volkanoklastik dengan beberapa sisipan sedimen tufaan. Kemudian, intrusi andesit sampai diorit dan terkadang granodiorit menerobos Formasi Honje. Peta Geologi daerah penelitian dapat dilihat pada Lampiran A. Menurut Muchlis (2014: 61), stratigrafi daerah Mangkualam dapat disusun dari tua ke muda adalah sebagai berikut:

1. Satuan Lava Honje

Satuan lava Honje merupakan batuan tertua yang terdapat di daerah penelitian. Struktur yang umum dijumpai pada batuan adalah masif, vesikuler-scoria, amigdaloidal, dan kekar (*sheeting joint*). Tekstur hipokristalin, afanitik-fanerik sedang (0,5-1 mm), bentuk butir mineral penyusun anhedral subhedral, relasi inequigranular vitroferik, komposisi mineral tersusun atas

hornblende (20%), piroksen (10%), kuarsa (5%), plagioklas (20%), $\pm$ klorit-epidot (10%), mineral opak (5%), dan massa dasar gelas (30%).

2. Satuan Breksi Honje

Satuan breksi Honje tersusun atas batuan sedimen piroklastik yaitu breksi dengan fragmen utama berupa litik andesit. Merupakan batuan hasil dari aktivitas gunungapi yang memuntahkan material yang berasal dari pipa vulkanik (*volcanic vent*). Satuan breksi andesit ini termasuk dalam Formasi Honje dan mempunyai umur yang sama dengan satuan lava Honje.

Tekstur pada breksi andesitik ini mempunyai ukuran butir pasir sedang-bongkah (0,25-256 mm), derajat pembundaran angular, terpilah buruk, kemas tertutup. Komposisinya tersusun atas fragmen berupa litik andesit, matriks terdiri dari pecahan-pecahan andesit dan kuarsa berukuran pasir halus, sedangkan semen berupa silika.

3. Satuan Tufa Cipacar

Tersusun atas litologi berupa tufa dan sebagian kecil berupa tuf lapili. Merupakan satuan produk dari aktivitas vulkanik kuartar dan menutupi hampir sebagian besar batuan yang ada di daerah telitian.

Kenampakan di lapangan pada satuan tufa Cipacar adalah berwarna putih pada batuan yang masih segar dan berwarna putih kekuningan pada batuan yang sudah mengalami pelapukan. Menunjukkan struktur yang masif, tekstur *glassy*, dengan ukuran butir $< 2 \text{ mm} - 4 \text{ mm}$. Susunan komposisi mineral sialis berupa kuarsa, komposisi mineral tambahan berupa

mineral opak dengan kehadiran keduanya adalah setempat-setempat pada batuan.

4. Endapan Aluvial

Komposisi material endapan aluvial beragam terdiri atas pecahan andesit, basalt, rijang, kayu terkersikkan (*silicified wood*), kuarsa, kalsedon, breksi, tufa dan material organik. Material ini mudah diidentifikasi dan menempati daerah dataran limpah banjir (*flood plain*) dan daerah gosong sungai (*point bar*) Sungai Citeluk. Bentuk dari material endapan aluvial bervariasi dari membundar hingga menyudut, sedangkan kondisi material segar-terlapukkan kuat.

UMUR GEOLOGI		SATUAN BATUAN	TEBAL	SIMBOL SATUAN BATUAN	PEMERIAN	FASIES LINGKUNGAN PEMBENTUKAN (Bogie & Mackenzie, 1996)
HOLOSEN	KUARTER	Endapan Aluvial	2,5 m		Endapan Aluvial (Qa), terdiri atas material tidak terkonsolidasi berukuran lempung - bongkah, hasil pengendapan batuan asal yang mengalami pelapukan dan erosi. Material berupa pecahan andesit, breksi, rijang, serpih kayu, kuarsa, tufa, dan batuan pum.	Distal
PLISTOSEN						
PLIOSEN	AKHIR	Satuan tufa Cipacar	70 m		Satuan tufa Cipacar (Tpic), terdiri atas vitrik tuf dan lapili tuf. Vitrik tuf tersusun atas dominasi debu vulkanik, lapili tuf tersusun atas litik andesit, batuapung, dan mineral opak, serta tidak mengalami alterasi. Tergolong dalam batuan <i>post-mineralization</i> .	Medial
	AWAL					
MIOSEN	AKHIR	Satuan breksi Honje	300 - 425 m		Satuan breksi Honje (Tmbh), tersusun atas breksi vulkanik dengan fragmen litik andesit dengan matriks batupasir berukuran sedang. Struktur masif dan kompak. Sebagian besar telah terahensi propilitik dan secara setempat terahensi argilik. Merupakan salah satu <i>hostrock</i> endapan hijrih dan tergolong batuan <i>pre-mineralization</i> .	Central - Proximal
				Satuan lava Honje (Tmhl), tersusun atas andesit. Pada beberapa titik pengamatan menunjukkan tekstur aliran dan <i>shilling joint</i> . Struktur masif, sikora, nemigaleksal, dan autobreksi. Merupakan <i>hostrock</i> dari endapan hijrih di daerah telitian. Terahensi propilitik dan argilik. Termasuk batuan <i>pre-mineralization</i> .		

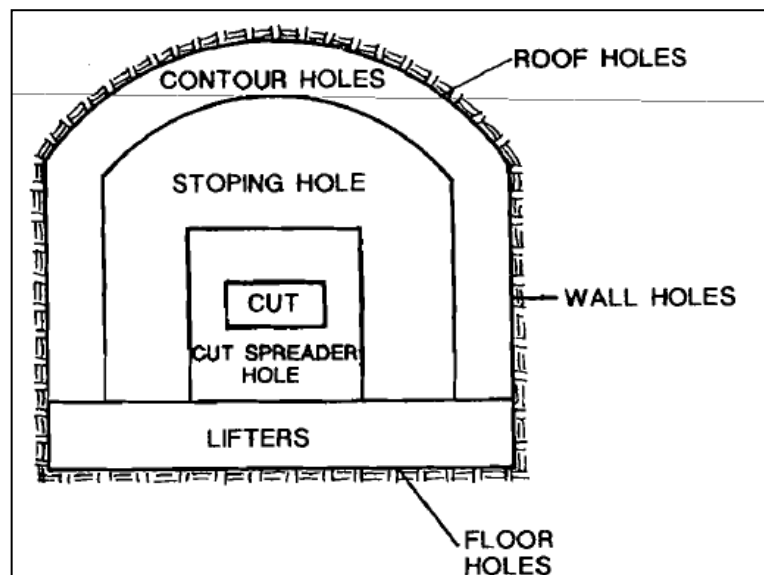
Sumber: Muchlis, 2014: 62

Gambar 1. Stratigrafi Daerah Mangkualam

B. Dasar-Dasar Peledakan Bawah Tanah

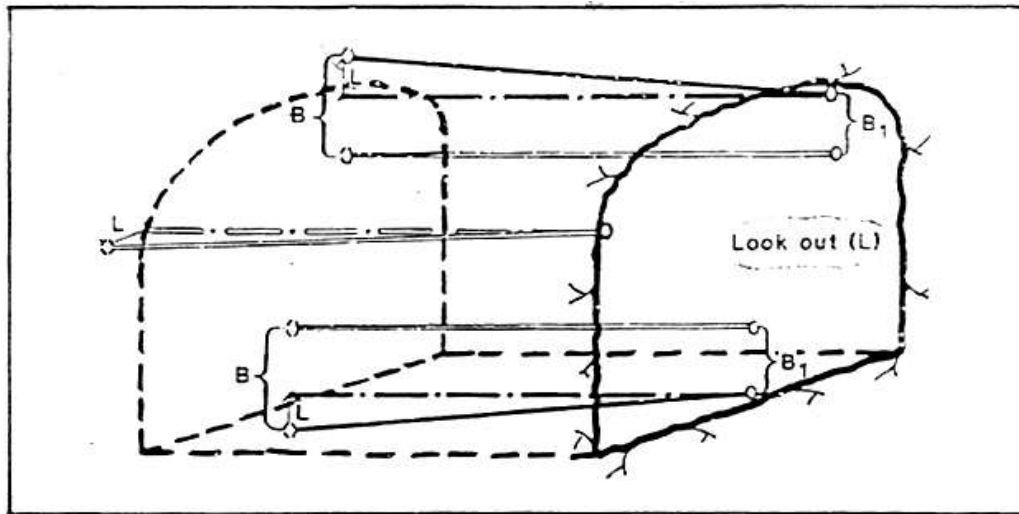
Peledakan bawah tanah merupakan suatu kegiatan meledakkan batuan dengan tujuan untuk menghasilkan ruangan untuk *storage* atau mengambil material hasil peledakan. Peledakan terowongan dilakukan dengan daur waktu kerja pemboran, pemuatan, peledakan, pembersihan asap (*ventilating*), *scaling*, dan pengangkutan.

Dalam pembuatan terowongan, bidang bebas kedua diperoleh dengan membuat *cut* pada permukaan terowongan. *Cut* yang digunakan dalam membuat terowongan adalah *parallel hole cut*, *V-Cut*, *fan cut*, dan lain-lain. Setelah pembuatan bukaan *cut*, maka *stopping* ke arah *cut* dimulai. Lubang kontur yang terdiri atas lubang atap (*roof hole*), lubang dinding (*wall hole*) dan lubang lantai (*floor hole*) dibuat agak disorongkan keluar dari kontur (disebut *look out*), sehingga terowongan yang dihasilkan mempunyai bentuk seperti yang direncanakan.



Sumber: *Drilling and Blasting of Rocks*, 1995

Gambar 2. Zona-Zona pada Peledakan Terowongan



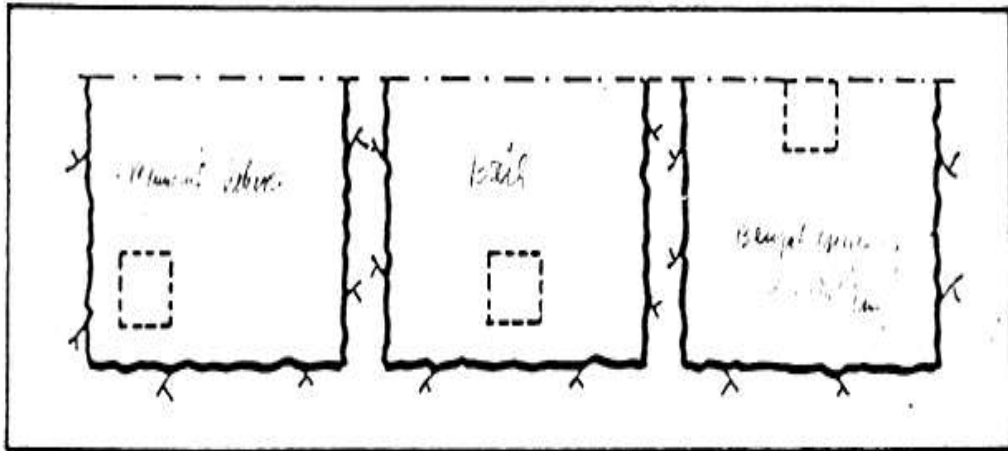
Sumber: *Supervisory Teknik Peledakan*, 1992

Gambar 3. Look Out

C. Posisi Cut

Cut dapat diletakkan pada sembarang muka terowongan, tetapi harus dipertimbangkan bahwa letak *cut* mempengaruhi lemparan, konsumsi bahan peledak, dan jumlah lubang ledak dalam *round*. Berikut adalah efek penempatan *cut* pada kegiatan peledakan (Gambar 4).

1. Letak *cut* dekat dengan dinding mungkin dapat mengurangi jumlah lubang tembak dalam *round*, tetapi ada kelemahan-kelemahan lainnya.
2. Posisi *cut* di tengah penampang dan agak ke bawah dapat mengakibatkan arah peledakan ke depan dan tumpukan di tengah, lemparan yang dekat dan konsumsi bahan peledak yang lebih sedikit karena semua *stopping* mengarah ke bawah.
3. Posisi *cut* yang tinggi akan memberikan kemudahan pemuatan hasil peledakan, tetapi konsumsi bahan peledak akan lebih banyak karena *stopping* ke arah atas.



Sumber: Supervisory Teknik Peledakan, 1992

Gambar 4. Letak Cut pada Muka Terowongan

D. 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.

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

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.

3. *Overbreak*

Overbreak diperoleh dengan membandingkan antara selisih luas bukaan yang dihasilkan dengan luas bukaan sebelum dilakukan peledakan. Ilustrasi dimensi terowongan dapat dilihat pada Gambar 5. Menurut Febry (2012: 41), persentase *overbreak* secara matematis dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$A = \frac{(W' \times H') - (W \times H)}{(W \times H)} \times 100\%$$

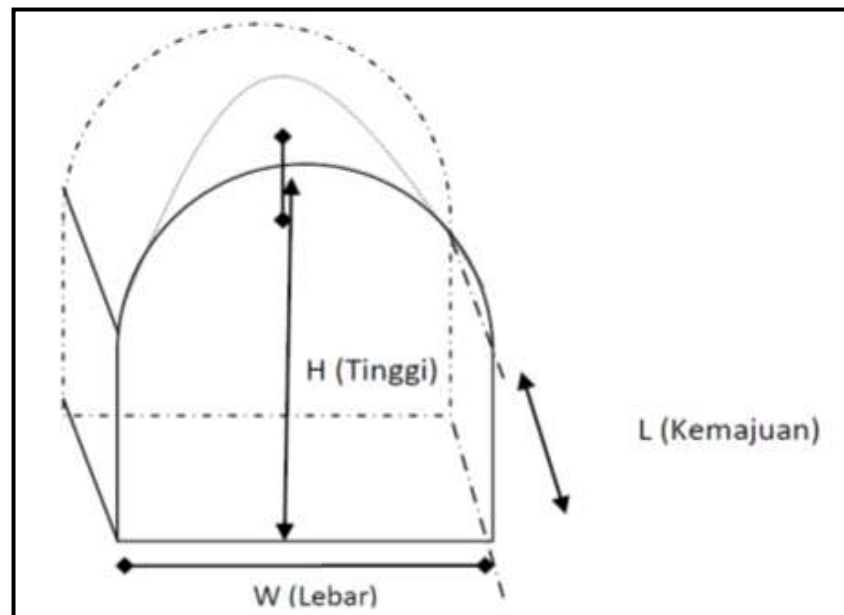
A = Persentase *overbreak*

W' = Lebar bukaan setelah peledakan (m)

H' = Tinggi bukaan setelah peledakan (m)

W = Lebar bukaan sebelum peledakan (m)

H = Tinggi bukaan sebelum peledakan (m)



Sumber: Febry, 2012:42

Gambar 5. Sketsa Dimensi Terowongan

E. Proses Pemecahan Batuan

Menurut teori yang dijelaskan pada *Supervisory Teknik Peledakan* (1992:1), proses pemecahan batuan dibagi menjadi tiga tahap antara lain.

1. Proses Pemecahan Tahap I

Pada saat bahan peledak meledak, tekanan tinggi yang ditimbulkan akan menghancurkan batuan di daerah sekitar lubang tembak. Gelombang kejut yang meninggalkan lubang tembak merambat dengan kecepatan 9.000-17.000 ft/dt akan mengakibatkan tegangan tangensial yang meninggalkan rekahan radial yang menjalar dari daerah lubang tembak.

2. Proses Pemecahan Tahap II

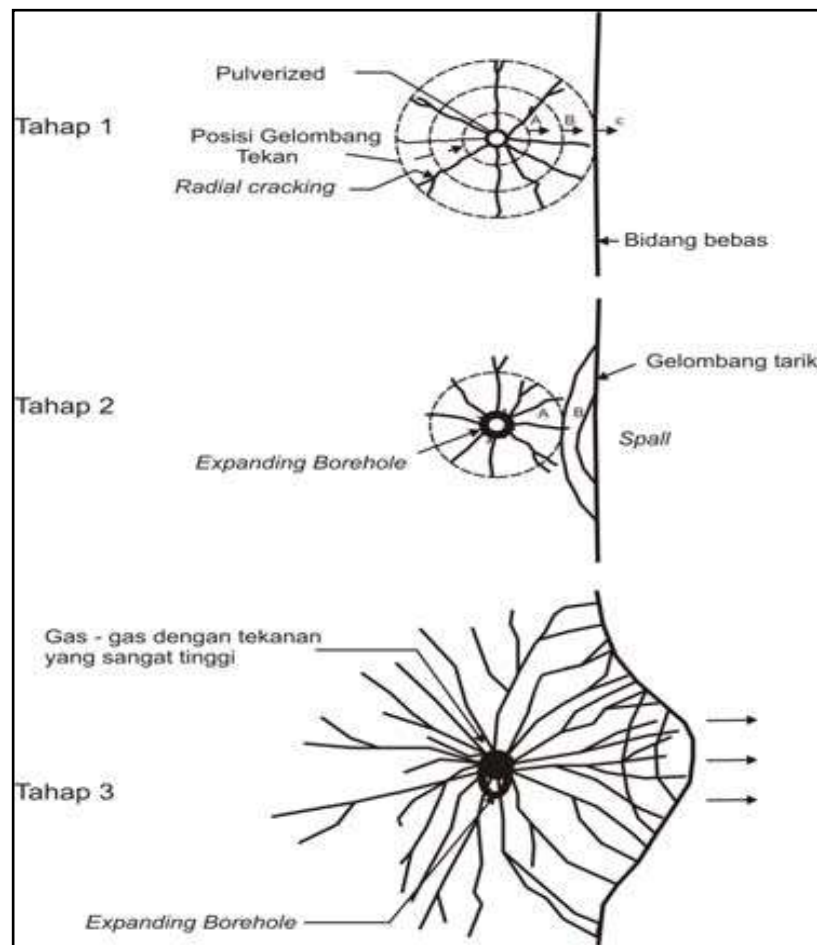
Gelombang kejut yang meninggalkan lubang ledak bila menemui bidang bebas gelombang tersebut akan dipantulkan. Bersamaan dengan itu tekanannya akan turun dengan cepat dan berubah menjadi negatif serta

menimbulkan gelombang tarik. Gelombang tarik ini kemudian merambat kembali di dalam batuan. Oleh karena batuan lebih kecil tahanannya terhadap tarikan daripada tekanan, maka akan terjadi rekahan-rekahan karena tegangan tarik yang cukup kuat sehingga menyebabkan terjadinya *scabbing* atau *spalling* pada bidang bebas.

3. Proses Pemecahan Tahap III

Di bawah pengaruh tekanan yang sangat tinggi dari gas-gas hasil peledakan maka rekahan radial utama (tahap II) akan diperbesar secara cepat oleh efek kombinasi dari tegangan tarik yang disebabkan kompresi radial dan *pneumatic wedging* (pembajian).

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 akan menimbulkan tegangan tarik yang besar di dalam massa batuan. Tegangan tarik inilah yang melengkapi proses pemecahan batuan yang sudah dimulai pada tahap II.



Sumber: Supervisory Teknik Peledakan, 1992

Gambar 6. Proses Pecahnya Batuan

F. Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Peledakan

Adapun parameter-parameter yang harus diketahui dalam merencanakan peledakan, yaitu:

1. Karakteristik Batuan

Karakteristik batuan yang ada di lapangan merupakan parameter yang harus diketahui dalam merencanakan suatu peledakan. Karakteristik batuan dapat diklasifikasi dengan menggunakan metode *Rock Mass Rating*

(RMR). Metode *Rock Mass Rating* (RMR) ini memperhatikan 5 parameter utama yang harus diperhatikan (Bieniawski, 1989), yaitu:

a. Kuat Tekan Batuan Utuh (PLI atau UCS)

Kuat tekan batuan merupakan kemampuan batuan untuk menahan gaya yang dikenakan kepadanya. Apabila batuan mendapatkan tekanan maka batuan tersebut mengalami reaksi. Disaat batuan tersebut mengalami reaksi maka didapatkanlah nilai kuat tekan batuan tersebut. Adapun klasifikasi kuat tekan batuan dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 1. Klasifikasi Kuat Tekan Batuan

Klasifikasi	Kuat Tekan (MPa)
<i>Very High Strenght</i>	200 – 400
<i>High Strength</i>	100 – 200
<i>Medium Strength</i>	50 – 100
<i>Low Strength</i>	25 – 50
<i>Very Low Strength</i>	1 – 25

(Sumber: Bienawski, 1989:8)

b. Rock Quality Designation (RQD)

Bidang diskontinuitas pada suatu massa batuan dapat menyebabkan buruknya sifat mekanik dari batuan tersebut. *RQD* merupakan suatu cara untuk menggambarkan kualitas dari suatu massa batuan. Dengan metode ini kita dapat mengetahui kualitas dari massa batuan. Biasanya metode *RQD* didapat dari pemboran ini. Bor inti dari batuan lunak harus diberi bobot *RQD* sama dengan nol (Bieniawski, 1989).

c. Spasi Bidang Lemah / Kekar

Jarak antarbidang 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. Klasifikasi jarak bidang lemah dapat dilihat pada Tabel 2 dibawah ini:

Tabel 2. Terminologi Pemisahan Diskontinuiti

<i>Discontinuities</i>	<i>Planar Structures</i>	<i>Spacing (mm)</i>
<i>Very widely spaced</i>	<i>Very thickly bedded</i>	>2000
<i>Widely spaced</i>	<i>Thickly bedded</i>	600 – 2000
<i>Moderately widely spaced</i>	<i>Medium bedded</i>	200 – 600
<i>Closely spaced</i>	<i>Thinly bedded</i>	60 – 200
<i>Very closely spaced</i>	<i>Very thinly bedded</i>	20 – 60
	<i>Thickly laminated (sedimently)</i>	6 – 20
	<i>Narrow (metamorphic & igneous)</i>	
	<i>Follated, cleaved, flow-banded etc (metamorphic)</i>	
<i>Extremely closely spaced</i>	<i>Thinly laminated (sedimentary)</i>	<20
	<i>Very closely follated, cleaved, flow-banded etc (metamorphic & igneous)</i>	<6

(Sumber: Attewell, 1995: 93)

d. Kondisi Bidang Lemah

Kondisi bidang lemah terdiri dari beberapa parameter meliputi pemisahan (*separation*), tingkat pelapukan (*weathering*), kemenerusan (*persistance*), material pengisi (*filling material*), dan kekerasan permukaan bidang lemah (*roughness*). Pemisahan merupakan lebar celah pada bidang lemah yang dapat terisi material ataupun tidak (*Bieniawski, 1989*).

e. Kondisi Air Tanah

Kondisi air tanah merupakan hal yang sangat penting diperhatikan dalam merencanakan peledakan. Kondisi air tanah dapat ditentukan

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

Tabel 3. Klasifikasi Geomekanik Massa Batuan – RMR System

1	Parameter		Selang Nilai						
	Kuat Tekan Batuan Utuh	PLI (MPa)	>10	4-10	2-4	1-2	UCS		
		UCS (MPa)	>250	100-250	50-100	25-50	5-25	1-5	<1
Bobot			15	12	7	4	2	1	0
2	RQD (%)		90-100	75-90	50-75	25-50	<25		
Bobot			20	17	13	8	3		
3	Jarak Kekar (m)		>2	0,6-2	0,2-0,6	0,06-0,2	<0,06		
Bobot			20	15	10	8	5		
4	Kondisi Kekar		Sangat kasar, tidak menerus, tidak ada pemisahan, dinding batu tidak 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)	-	<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		

(Sumber: Bieniawski, 1989: 54)

2. Sifat Bahan Peledak

Sifat dari bahan peledak merupakan faktor yang mempengaruhi dalam merencanakan peledakan. Sifat-sifat bahan peledak tersebut antara lain:

a. Massa Jenis Bahan Peledak (*Density*)

Massa jenis bahan peledak merupakan faktor yang sangat penting dalam menentukan efek ledakan yang ditimbulkan pada peledakan. Makin tinggi massa jenis maka semakin terpusat energi yang ada didalam bahan peledak tersebut sehingga semakin besar efek ledakan yang

ditimbulkan pada suatu peledakan. Density berbagai macam bahan peledak dapat dilihat pada Tabel 4 berikut:

Tabel 4. *Density Untuk Berbagai Bahan Peledak*

Bahan Peledak	Qv (MJ/kg)	V (m ³ /kg)	sLFB	RWS	Berat Jenis (kg/m ³)
Dynamite	5	0.850	1	1.19	1.45
Dynamex M	4.7	0.88	0.94	1.13	1.40
ANFO5.1	4	0.863	0.84	1	0.90
TNT	5.1	0.610	0.97	1.15	1.64
Nabit	4.42	0.904	0.91	1.08	1.20
Gurit A	3.8	0.400	0.71	0.85	1.00
NG	6.27	0.716	1.19	1.42	1.59
Emulite 150	4.1	0.84	0.85	1.42	1.20
Iremite 62	3.75	0.852	0.79	0.94	1.18
Iregel RX	2.68	0.941	0.63	0.75	1.20
Dynex 205	4	0.863	0.84	1	1.17
"Powergel"	3.29	0.810	0.71	0.84	1.15
Kimit 80	4.1	0.74	0.89	1.06	1.10
Emulite 20	2.4	1.12	0.61	0.73	0.22
PETN	6.38	0.717	1.2	1.43	1.67

(Sumber: Holmberg-Persson, 1994: 140)

Keterangan:

sLFB = *Relative weight strength* bahan peledak terhadap bahan peledak acuan *dynamite*

Qv = Panas peledakan 1kg bahan peledak yang dinilai, MJ

Qv₀ = Panas akibat peledakan 1 kg LFB (kekuatan bahan peledak) *dynamite* (5MJ)

V = Volume gas yang dilepaskan 1 kg bahan peledak yang dinilai pada STP, m³

V₀ = Volume gas yang dilepaskan 1 kg FLB *dynamite* pada suhu dan tekanan standar (0.85 m³)

RWS = *Relative weight strength* bahan peledak terhadap bahan peledak acuan ANFO

b. Kekuatan (*Strength*) Bahan Peledak

Kekuatan bahan peledak merupakan faktor penting dalam melakukan peledakan. Kekuatan bahan peledak berkaitan dengan energi yang mampu dihasilkan oleh suatu bahan peledak. Semakin besar kekuatan bahan peledak yang dihasilkan maka akan semakin besar energi yang dikeluarkan oleh suatu bahan peledak terhadap batuan yang ingin diledakkan. Berikut ini merupakan perhitungan *relative weight strenght* dari bahan peledak (SLFB).

$$sLFB = \frac{5}{6} \frac{Q_v}{Q_{v0}} + \frac{1}{6} \frac{V}{V_0}$$

Dimana:

Q_v = Panas akibat peledakan 1 kg bahan peledak yang dinilai, MJ

Q_{v0} = Panas akibat peledakan 1 kg LFB (kekuatan bahan peledak)
dynamite (5MJ)

V = Volume gas yang dilepaskan 1 kg bahan peledak yang dinilai
pada STP, m³

V_0 = Volume gas yang dilepaskan 1 kg FLB *dynamite* pada suhu dan tekanan standar (0.85 m³)

Dengan melihat Tabel 4, maka *relative weight strength* bahan peledak terhadap ANFO bisa dihitung dengan persamaan (*Supervisory Teknik Peledakan*, 1992:19)

$$RWS = \frac{sLFB \text{ bahan peledak yang dipakai}}{sLFB \text{ ANFO}}$$

c. 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*).

d. 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-Jouquet (C-J plane)*. Tekanan ini merupakan fungsi dari kecepatan detonasi dan densitas bahan peledak. Menurut Bhandari (1997: 39), tekanan detonasi bisa diperkirakan dengan menggunakan rumus berikut:

$$PD = 2,5 \times \rho \times VOD^2 \times 10^{-6}$$

Dimana

PD = Tekanan detonasi (kPa)

ρ = Densitas Bahan Peledak (gr/cm³)

VOD = Kecepatan detonasi (m/s)

e. 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 ter-bebaskan, yaitu ketika telah mencapai udara luar. Biasanya 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.

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.

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. *Cut*

Jimeno dalam bukunya membagi *cut* dalam empat bujursangkar yang masing-masingnya terdapat empat lubang ledak dan satu lubang kosong pada bujursangkar pertama. Jika *cut* terdiri dari dua atau lebih lubang kosong pada bujursangkar pertama, maka formula yang sama dapat digunakan untuk perhitungan dengan mengganti formula diameter lubang kosong menjadi diameter lubang samaran

$$D_2 = D'_2 \times \sqrt{NB}$$

dimana : D_2 = Diameter Lubang Samaran (mm)

D'_2 = Diameter Lubang Kosong (mm)

NB = Jumlah Lubang Kosong (Buah)

a. Bujursangkar Pertama

1) Jarak antara lubang ledak dan lubang kosong (B')

Burden maksimum merupakan jarak maksimum yang diperbolehkan antara diameter lubang kosong (D_2) dengan lubang ledak (D_1).

$$B' = 1,7 \times D_2$$

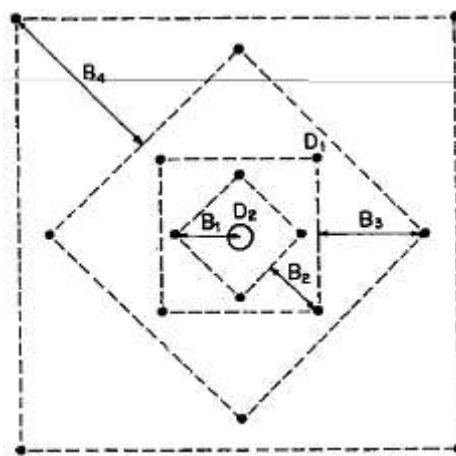
Dimana:

B' = Burden Maksimum (m)

D_2 = Diameter Lubang Kosong (m)

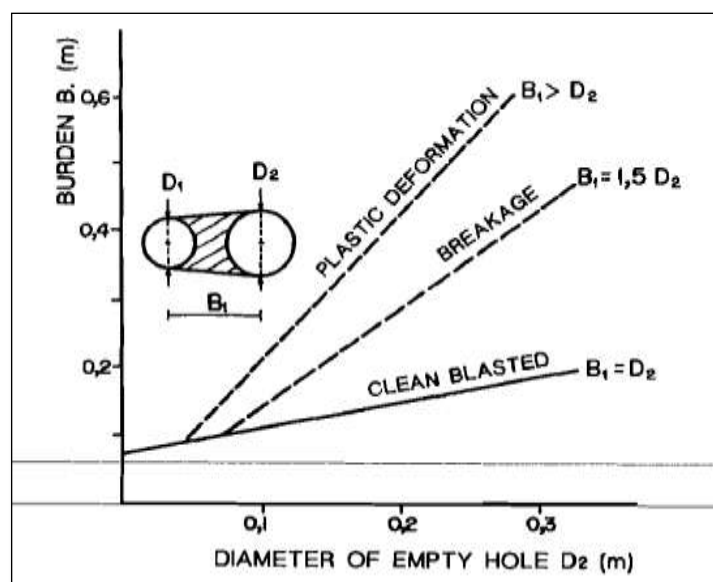
Agar peledakan yang diharapkan mendapatkan hasil yang baik, maka perlu diperhatikan jarak antara lubang ledak dan lubang kosong. Agar mencapai *cleaned blasting* pada *cut* maka jarak burden

antara lubang tembak dan lubang kosong tersebut tidak boleh melebihi 1,5 dari diameter lubang kosong. Apabila jarak burden tersebut melebihi dari 1,5 diameter lubang kosong maka akan terjadi *breakage*, apabila jarak burden antar lubang tersebut lebih kecil dari 1,5 diameter lubang kosong maka adanya kemungkinan kedua lubang akan bertemu.



Sumber: *Drilling and Blasting of Rocks*, 1995

Gambar 7. Four Section of Cuts



Sumber: *Drilling and Blasting of Rocks*, 1995

Gambar 8. Grafik Hubungan Antara Diameter Lubang Kosong & Burden

2) Deviasi Maksimum Lubang Tembak (E_p)

Penyimpangan maksimum yang diizinkan dalam lubang tembak dinamakan deviasi maksimum lubang tembak (E_p). Dimana deviasi maksimum lubang tembak dapat dicari dengan persamaan:

$$E_p = \alpha \times L + e'$$

Dimana:

E_p = Deviasi Maksimum Lubang Tembak (m)

α = Angular Deviasi (mm)

L = Kedalaman Pemboran (m)

e' = Colarring Deviasi (mm/m)

3) Burden Pertama (B_1)

Jarak tegak lurus antara lubang kosong (Empty Hole) dengan lubang tembak dalam segiempat pertama.

$$B_1 = B' - E_p$$

Dimana:

B_1 = Burden Pertama (m)

B' = Jarak antara lubang ledak dan lubang kosong (m)

E_p = Deviasi Maksimum Lubang Tembak (m)

4) Konsentrasi Pengisian

Konsentrasi yang diperlukan untuk pengisian bahan peledak untuk lubang ledak di dalam *cut* dapat diketahui dengan persamaan berikut:

$$q = 55D_1 \left[\frac{B}{D_2} \right]^{1,5} \times \left[B - \frac{D_2}{2} \right] \times \left[\frac{c}{0,4} \right] \times \frac{1}{PRP_{ANFO}}$$

Dimana:

q = Konsentrasi pengisian (kg/m)

D_1 = Diameter lubang ledak (m)

D_2 = Diameter lubang kosong/samaran (m)

B = burden (m)

c = konstanta batuan

PRP_{ANFO} = Relative weight strength BP terhadap ANFO

5) Jarak Lubang Ledak Segiempat Pertama (W_1')

Jarak antara lubang ledak pada segiempat pertama dapat dicari dengan persamaan dibawah ini:

$$W_1' = B_1 \sqrt{2}$$

6) Panjang Yang Tidak Diisi Bahan Peledak/ Stemming (T)

Besarnya panjang yang tidak diisi bahan peledak dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$T = 10 \times D_1$$

b. Bujursangkar Kedua

1) Bukaannya Segiempat Kedua (W_2)

$$W_2 = (B_1 - E_p) \sqrt{2}$$

2) Burden Maksimum Kedua (B'')

$$B'' = 8,8 \times 10^{-2} \times \sqrt{\frac{W_2 \times q \times PRP_{ANFO}}{D_1 \times c}}$$

3) Burden Kedua (B_2)

$$B_2 = B' - E_p$$

4) Jarak Lubang Ledak Dalam Segiempat Kedua (W_2')

$$W_2' = \left(B_2 + \left(\frac{W_1'}{2} \right) \right) x \sqrt{2}$$

c. Bujursangkar Ketiga

1) Bukaannya Segiempat Ketiga (W_3)

$$W_3 = \left(B_2 + \left(\frac{W_1'}{2} \right) - E_p \right) \sqrt{2}$$

2) Burden Maksimum Ketiga (B''')

$$B''' = 8,8 \times 10^{-2} x \sqrt{\frac{W_3 \times q \times PRP_{ANFO}}{D_1 \times c}}$$

3) Burden Ketiga (B_3)

$$B_3 = B''' - E_p$$

4) Jarak Lubang Ledak Dalam Segiempat Ketiga (W_3')

$$W_3' = \left(B_3 + \left(\frac{W_2'}{2} \right) \right) x \sqrt{2}$$

d. Bujursangkar Keempat

1) Bukaannya Segiempat Keempat (W_4)

$$W_4 = \left(B_3 + \left(\frac{W_2'}{2} \right) - E_p \right) \sqrt{2}$$

2) Burden Maksimum Ketiga (B'''')

$$B'''' = 8,8 \times 10^{-2} x \sqrt{\frac{W_4 \times q \times PRP_{ANFO}}{D_1 \times c}}$$

3) Burden Keempat (B_4)

$$B_4 = B'''' - E_p$$

4) Jarak Lubang Ledak Dalam Segiempat Keempat (W_4')

$$W_4' = \left(B_3 + \left(\frac{W_3'}{2} \right) \right) \times \sqrt{2}$$

2. Lifter

Untuk perhitungan *lifter*, konsentrasi pengisian bisa dipilih dari berbagai jenis konsentrasi pengisian bahan peledak yang tersedia.

a. Burden Maksimum

$$B \text{ Max} = 0,9 \times \sqrt{\frac{q \times PRP_{ANFO}}{C f (S/B)}}$$

Dimana:

Q = konsentrasi pengisian (kg/m)

C = *corrected rock constant* (0.45)

f = fixation factor *lifter* (1.45)

S/B = 1

b. Jumlah Lubang Ledak Lifter

$$NB = \text{Integer of } \left\lceil \frac{\text{Tunnel Width} + 2 L \sin \gamma}{B \text{ Max}} + 2 \right\rceil$$

c. Spacing (S)

$$SL = \frac{\text{Tunnel Width} + 2 L \sin \gamma}{NB - 1}$$

d. Spasi Lifter, dengan lubang ledak diujung

$$S' = S - L \sin \gamma$$

e. Partical Burden Lifter (BL)

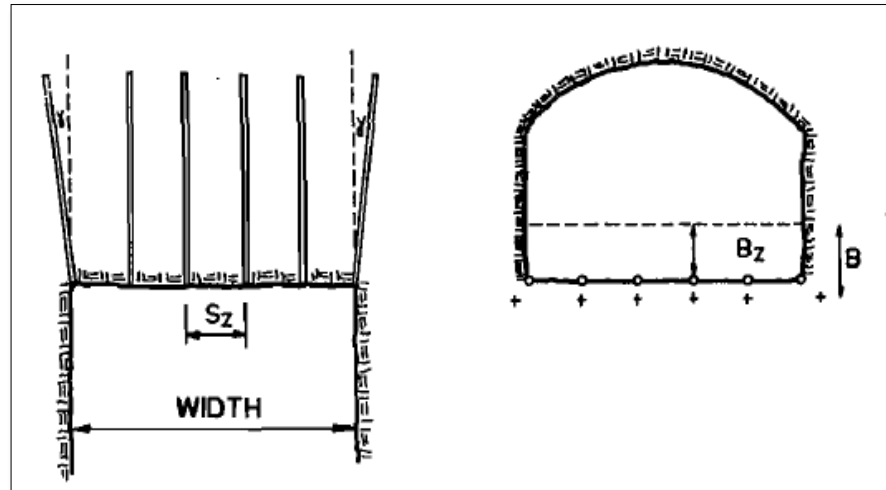
$$BL = B \text{ Max} - (L \times \sin \gamma - Ep)$$

f. Panjang Isian Dasar (Lb)

$$L_b = 1,25 BL$$

g. Panjang Isian Column (Lc)

$$L_c = L - L_b - T$$



Sumber: *Drilling and Blasting Of rock*, 1995

Gambar 9. Geometri *Lifter*

3. Roof

Jika peledakan kontur *roof* menggunakan profil smooth blasting, maka perhitungan burden dan spasinya adalah sebagai berikut:

a. Spacing Maksimum (S Max)

$$S_{Max} = 15 \times D1$$

b. Burden Maksimum (B)

$$B_{Max} = \frac{S_{Max}}{0,8}$$

c. Burden (B)

$$B = B_{Max} - L \sin \gamma - E_p$$

d. Konsentrasi Muatan Roof (q)

$$q = 90 \times D1^2$$

e. Jumlah Lubang Ledak Roof

$$NB = \text{integer of } \left\lceil \frac{\text{Panjang Arch}}{S \text{ Max}} + 2 \right\rceil$$

f. Spasi (S)

$$S = \frac{\text{Panjang Arch}}{NB - 1}$$

4. Wall

Untuk memulai perhitungan burden dan spasi untuk zona *wall*, maka perlu dihitung *available space* terlebih dahulu:

a. Available space of Wall

Spasi yang tersedia untuk zona *wall* merupakan selisih antara tinggi abutment dengan burden *roof* dan burden *lifter*.

b. Burden Maksimum (B Max)

$$B \text{ Max} = 0,9 \times \sqrt{\frac{q \times PRP_{ANFO}}{C f (S/B)}}$$

Dimana:

q = konsentrasi pengisian (kg/m)

C = *corrected rock constant* (0.45)

f = *fixation factor wall* (1.2)

S/B = 1.25

c. Spasi Maksimum (S Max)

$$S = 1.25 \times B \text{ Max}$$

d. Burden Wall (B)

$$B = B - L \sin \gamma - E_p$$

e. Jumlah Lubang (NB)

$$NB = \text{Integer of } \left| \frac{\text{Abutment} - BR - BL}{S \text{ Max}} + 2 \right|$$

f. Spasi wall (S)

$$Sw = \frac{\text{Abutment} - BR - BL}{N - 1}$$

5. Stopping

a. Stopping Horizontal

1) Available space

Sebelum perhitungan dilakukan, perlu diketahui lebar tunnel yang tersedia untuk mengetahui jarak burden yang mungkin tersedia. Spasi yang tersedia merupakan selisih antara lebar tunnel dengan jarak lubang ledak pada bujursangkar terakhir dan burden *wall*.

$$\text{Available space} = \text{Tunnel Width} - (2 \times Bw) - W'$$

2) Burden Maksimum

$$B \text{ Max} = 0,9 \sqrt{\frac{q \times PRP_{ANFO}}{C F (S/B)}}$$

Dimana:

q = konsentrasi pengisian (kg/m)

C = *corrected rock constant* (0.45)

f = *fixation factor wall* (1.45)

S/B = 1.25

3) Burden (B)

$$B = B \text{ Max} - Ep$$

Nilai yang diperoleh dari perhitungan kemudian dibandingkan dengan spasi yang tersedia. Jika burden lebih besar daripada spasi yang tersedia, maka nilai yang dipakai adalah nilai yang lebih kecil.

4) Spasi (S)

$$S = W'4$$

Nilai spasi yang digunakan pada *stoping* horizontal adalah jarak antar lubang ledak pada bujursangkar *cut* terluar yang digunakan.

b. *Stoping Downwards*

Spasi yang tersedia untuk burden *stoping downwards* adalah sebagai berikut:

$$\text{Available space} = \text{Tunnel Height} - BL' - BR' - W'3 - \text{Lookout}$$

1) Burden Maksimum (B Max)

$$B \text{ Max} = 0,9 \sqrt{\frac{q \times PRP_{ANFO}}{C F (S/B)}}$$

Dimana:

q = konsentrasi pengisian (kg/m)

C = *corrected rock constant* (0.45)

f = *fixation factor wall* (1.2)

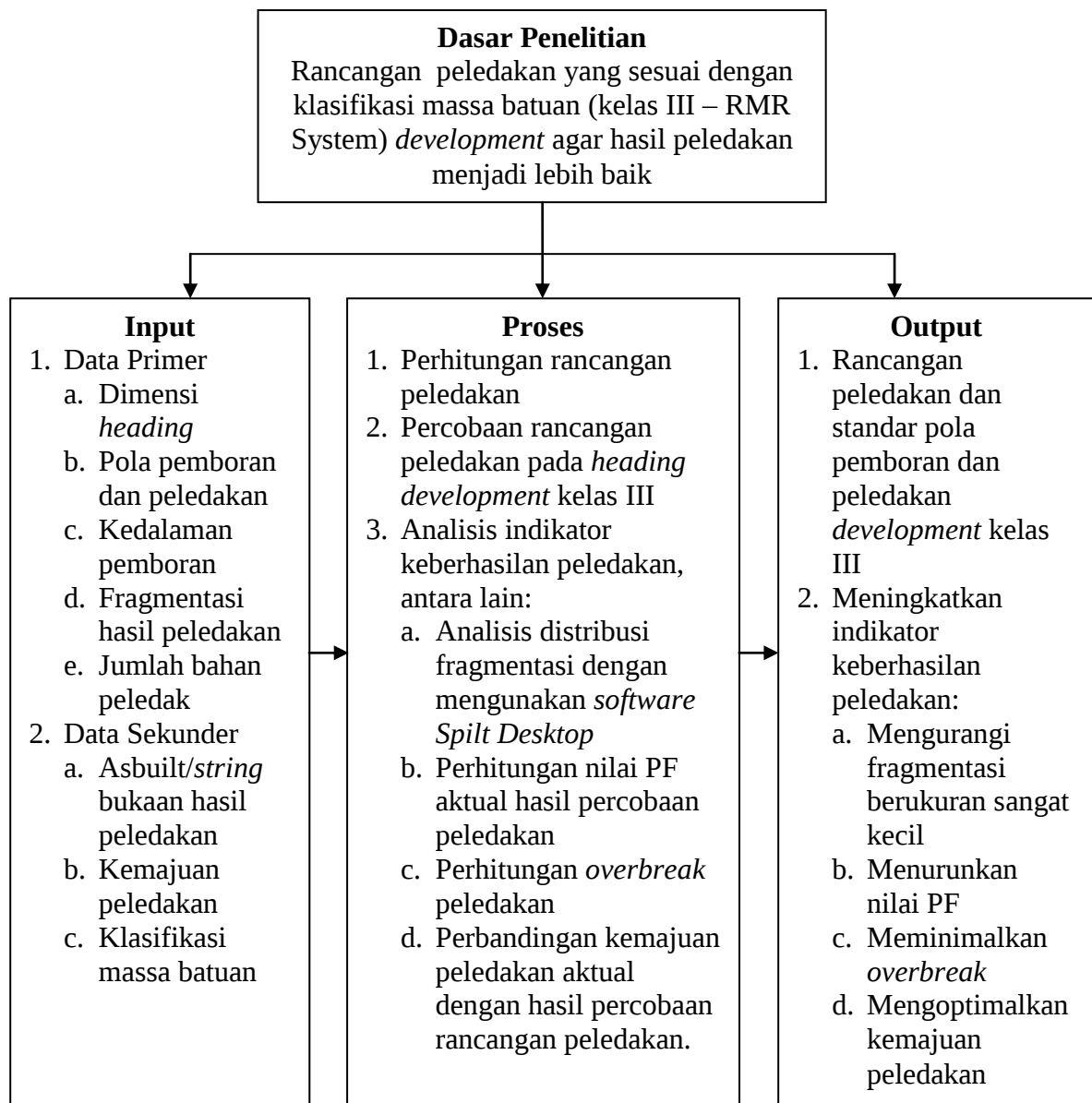
S/B = 1.25

2) Burden (B)

$$B = B \text{ Max} - E_p$$

H. Kerangka Konseptual

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



Gambar 10. Kerangka Konseptual Penelitian

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan uji coba rancangan peledakan dan pembahasan yang telah dilakukan 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 79,29% dari kedalaman lubang yang dibor.
 - b. PF rata-rata hasil peledakan aktual adalah 1,43 kg/ton.
 - c. Fragmentasi yang kecil, yaitu sebanyak 80% berukuran kecil dari 20 cm.
 - d. *Overbreak* sebesar 33% dari dimensi yang direncanakan.
2. Rancangan peledakan yang lebih sesuai untuk diterapkan pada kegiatan peledakan *development* massa batuan kelas III tambang emas bawah tanah PT CSD dihitung menggunakan konstanta batuan (c) 0,7 kg/ton dan konstanta batuan terkoreksi (c') 0,75 kg/ton. Burden dan spasi yang diterapkan untuk kegiatan pengeboran 42 lubang ledak dengan diameter 0,038 m yang dibuat dengan alat bor *jack leg* adalah 0,7 – 1 m.

3. Hasil percobaan rancangan peledakan II diketahui dapat meningkatkan indikator keberhasilan peledakan dengan data sebagai berikut:

- a. Kemajuan rata-rata hasil percobaan peledakan adalah 93,10% dari kedalaman lubang ledak yang terukur. Angka ini mengalami kenaikan jika dibandingkan dengan angka kemajuan rata-rata peledakan aktual 79,29%.
- b. PF rata-rata dari hasil uji coba rancangan peledakan II adalah 0.81 kg/ton. Hasil percobaan menunjukkan bahwa rancangan peledakan II mampu menurunkan angka PF yang diperoleh dari data lapangan, yaitu 1,45 kg/ton.
- c. Ukuran 80% fragmentasi hasil peledakan meningkat dari 20 cm menjadi 24 cm.
- d. Fragmentasi optimum mengalami kenaikan dari 7,35% menjadi 14,51% dan fragmentasi halus berkurang dari 35,01% menjadi 25,66%.
- e. *Overbreak* dapat diturunkan dari 33% menjadi 8,2%.

B. Saran

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

1. Diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai rancangan peledakan untuk pemboran menggunakan alat *jumbo drill* dan *jack leg*.
2. Kegiatan *mucking waste* pada *heading* atau lokasi lain yang dapat mempengaruhi kenaikan debit air tanah lokasi pengeboran sebaiknya tidak dilakukan. Jika kinerja ataupun jumlah pompa yang digunakan tidak

optimal, maka ketinggian debit air tanah dapat mengganggu aktivitas pengeboran terutama pengeboran lubang ledak *lifter*. Selain itu, tingginya debit air akan mengakibatkan lubang lantai tidak bisa dibersihkan dari material sisa pemboran dan kegiatan charging lubang ledak lantai tersebut akan sulit dilakukan. Jika lubang lantai tidak diisi, maka peledakan yang dilakukan tidak akan membongkar batuan pada lubang lantai tersebut sehingga terjadi *underbreak* atau *bootleg*.

3. Deviasi pada pemboran lubang perimeter agar lebih diperhatikan dengan baik agar *overbreak* dapat dikurangi.

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.
- Dessureault, Sean. (2004). *Rock Excavation*. Arizona: Mining and Geological Engineering University of Arizona
- Febry Setiawan. (2012). “Rancangan Pola Peledakan Produksi Sesuai Kelas Massa Batuan di Ciurug, UBPE Pongkor, PT Aneka Tambang, Tbk., Jawa Timur”. *Laporan Penelitian*. ITB
- Hustrulid, W.A. (1982). *Underground Mining Methods Handbook*. New York: The American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers, Inc.
- 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*”
- Muchlis Setiawan. (2014). “Geologi dan Mineralisasi Endapan Epitermal Sulfidasi Rendah Daerah Mangkualam dan Sekitarnya, Kecamatan Cimanggu, Kabupaten Pandeglang, Provinsi Banten”. *Laporan Penelitian*. UPN “Veteran”.
- Ramiro, Yvonne Visser De. (1995). *Drilling and Blasting of Rocks* (Jimeno, C.L., E.L. Jimeno, & F.J.A. Carcedo. Terjemahan). Brookfield: A.A. Balkema. Buku asli diterbitkan tahun 1987.
- Rustan, Agne (ed). (1998). *Rock Blasting Terms and Symbols*. Brookfield: A.A. Balkema.