

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Tambang Bawah Tanah

Sistem penambangan bawah tanah merupakan suatu proses penambangan yang segala aktivitasnya dilakukan di bawah permukaan bumi dan tempat kerjanya tidak berhubungan langsung dengan udara luar. Tambang bawah tanah dilakukan karena keterbatasan sistem tambang terbuka dalam hal teknis maupun ekonomis.

Sistem penambangan bawah tanah memiliki beberapa metode sesuai dengan karakteristik endapan atau badan bijih yang akan ditambang. Metode-metode tersebut secara umum terbagi berdasarkan sistem penyanggannya yakni:

1. Swa-sangga, yakni terowongan tidak disangga
2. Penyangga buatan, yakni terowongan disangga dengan metode tertentu
3. Ambrukan, yakni badan bijih diruntuhkan dengan memanfaatkan gaya gravitasi dan berat badan bijih tersebut

Sedangkan contoh pedoman untuk penentuan metode penambangan bawah tanah berdasarkan kekuatan bijih dan batuan disekitarnya serta geometri cadangan menurut Hartman (1987) dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1
Pemilihan Metode Penambangan Bawah tanah Berdasarkan Kekuatan Bijih dan Batuan Serta Geometri Cadangan

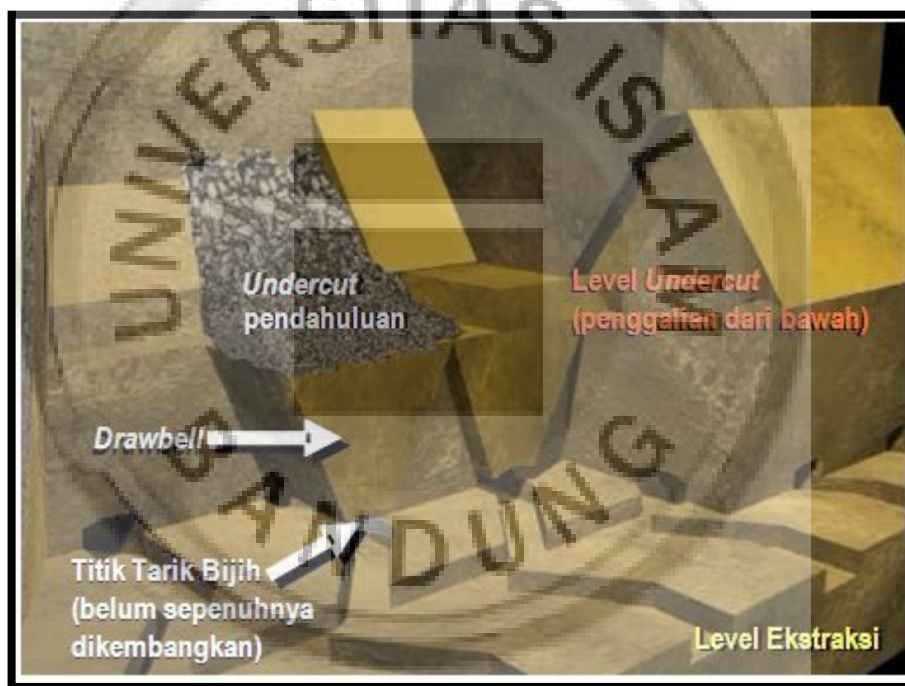
Kekuatan bijih dan batuan	Klasifikasi sistem penambangan	Geometri cadangan	Metode Penambangan
Bijih : kuat sampai moderat Batuan : kompeten (tidak runtuh meski tidak disangga)	Swa – Sangga Self – Supported	Tabular, datar, tipis, ukuran besar	<i>Room & Pillar</i>
		Tabular, datar, tebal, ukuran besar	<i>Stope & Pillar</i>
		Tabular, miring, tipis, ukuran sembarang	<i>Shrinkage Stopping</i>
		Tabular, miring, tebal, ukuran besar	<i>Sub-level Stopping</i>
Bijih: Moderat sampai lemah Batuan: <i>Incompeten</i> (runtuh jika tidak disangga) Bijih : Moderat sampai lemah	Penyangga buatan <i>Artificially supported</i>	Bentuk tak teratur, miring, tipis, ukuran sembarang	<i>Cut & Fill Stopping</i>
		Tabular, miring, tipis, ukuran kecil	<i>Stull Stopping</i>
		Bentuk, kemiringan ukuran sembarang, tebal	<i>Square Set Stopping</i>
		Tabular, datar, tipis, ukuran besar	<i>Longwall</i>
Batuan : <i>cavable</i> (dapat ambruk)	Ambrukan (<i>Caving</i>)	Tabular atau masif, miring,	<i>Sub-level caving</i>
		Masif, miring, tebal, ukuran besar	<i>Block Caving</i>

Sumber : Hartman, 1987

Di Indonesia tepatnya Provinsi Papua memiliki cadangan bijih dengan geometri yang massif, tebal dan berukuran besar. Karakteristik cadangan seperti ini tepatnya ditambang dengan metode *block caving* dan hal ini telah diterapkan oleh PT Freeport Indonesia sampai saat ini. Metode *block caving* dianggap merupakan metode penambangan bawah tanah yang lebih murah dari metode lainnya namun memiliki kesulitan tertentu pada proses penerapannya. Berikut akan dijelaskan lebih dalam mengenai metode penambangan *block caving*.

3.1.1 Metoda *Block Caving*

Block caving atau runtuh blok adalah metoda penambangan dengan memotong besaran area luas penampang bagian bawah dari blok bijih untuk meruntuhkan bijih di atas *level undercut*. Dengan metode ini akan terbentuk gua-gua ambrukan (*cave*) yang nantinya akan menyebabkan perambatan ambrukan (*cave propagation*) pada bijih akibat tekanan dari atas yang mempunyai beban dari bijih itu sendiri, dan sifat batuan yang berada di daerah *cave* yang mudah ambruk karena adanya gaya gravitasi



(Sumber : PT Freeport Indonesia)

Gambar 3.1
Level Drift Penambangan Dengan Metode Block Caving

Secara garis besar level inti dari metode ini adalah level *undercut* dan level *extraction*. Level *undercut* merupakan panel pemotongan badan bijih sebagai inisiasi kehancuran keseluruhan badan bijih yang akan diruntuhkan. Level *extraction* merupakan level penarikan *ore* yang telah dihancurkan di level *undercut*. Penarikan dilakukan pada titik *drawpoint* yang menampung *ore* hasil ambrukan dari level

undercut. Terdapat level penunjang lainnya pada metode penambangan ini seperti level produksi dimana level ini menyediakan titik pemuatan *ore* yang disalurkan dari level *extraction*.

Metoda ini diterapkan terutama pada blok badan bijih yang besar dan massa batuan dengan ukuran tinggi dengan tingkat produksi yang tinggi pula. Bidang pada massa batuan dengan ukuran yang telah ditentukan diledakkan pada tahap *undercutting*, sehingga massa batuan yang terdapat di atasnya akan runtuh. Penarikan bijih hasil runtuhan pada bagian bawah kolom bijih menyebabkan proses runtuh akan berlanjut ke atas sampai semua bijih di atas level *undercut* runtuh dan ditarik (*mucking*) pada *drawpoint* untuk proses selanjutnya.

Block caving dapat di terapkan pada cadangan bijih yang tebal (>30 m). Keberhasilan operasi penambangan *block caving* sangat dipengaruhi oleh karakteristik bijih, yang diantaranya adalah pola retakan yang sesuai. Harus tersedia bidang horizontal yang cukup untuk berkembangnya *undercut* sehingga dimulai proses runtuh.

3.1.2 Prinsip Dasar yang diterapkan Pada Metode *Block Caving*

Penerapan atau konsep metoda *block caving* memperhatikan beberapa hal, terutama keadaan bijih yang sesuai yaitu :

- 1 Kekuatan bijih lemah sampai medium (25 – 100 MPa), dengan batas bijih dan batuan jelas.
- 2 Kekuatan bijih lemah sampai kuat (25 – 250 MPa), diutamakan massa bijih rapuh yang mempunyai retakan atau kekar sehingga dapat runtuh dengan sendirinya.
- 3 Untuk urat yang lebar dan lapisan yang tebal, cebakan *massive* yang homogen yang terletak dibawah *overburden* bersifat segera runtuh.

- 4 Penunjaman sudut cadangan (*deposit dip*) curam (>600) atau vertikal, datar jika sangat tebal.
- 5 Bentuk cadangan badan bijih yang akan ditambang mempunyai area horizontal yang sangat luas dengan ukuran tebal bijih lebih dari 30 m (100 ft).
- 6 Kadar bijih rendah dan seragam.
- 7 Kadar bijih seragam dan pemilihan kadar tidak dapat dilakukan. Bijih harus disangga pada saat *development* tetapi akan segera hancur ketika peronggaan telah di mulai.
- 8 Kedalaman sedang (lebih dari 2000 ft dan kurang dari 4000 ft atau lebih dari 600 m dan kurang 1200 m), kedalaman harus cukup untuk menimbulkan tekanan dari *overburden* dimana melebihi kekuatan batuan.

Syarat-syarat penggunaan metode *block caving* :

- a. Mudah runtuh/pecah, dapat dipisahkan dari blok-blok sebelahnya atau *country rock* yang sebelahnya. Juga *Overburden* dan (*capping*) yang harus mudah pecah, akan tetapi dengan ukuran yang kecil dan mudah dibedakan batasnya pada "*draw point*".
- b. Kemiringan endapan bijih tidak menjadi soal, akan tetapi kalau berbentuk *vein* maka dip harus lebih besar dari 65° .
- c. Memiliki cadangan yang besar (jutaan m³), tetapi tidak begitu tinggi nilainya.
- d. Ketebalan harus lebih besar dari 3 meter, ketebalan vertikal 25 meter, tetapi yang baik 35 meter.
- e. Tidak mudah bereaksi dengan udara (bukan mineral sulfida).
- f. Tidak memungkinkan adanya *Selective Mining*.

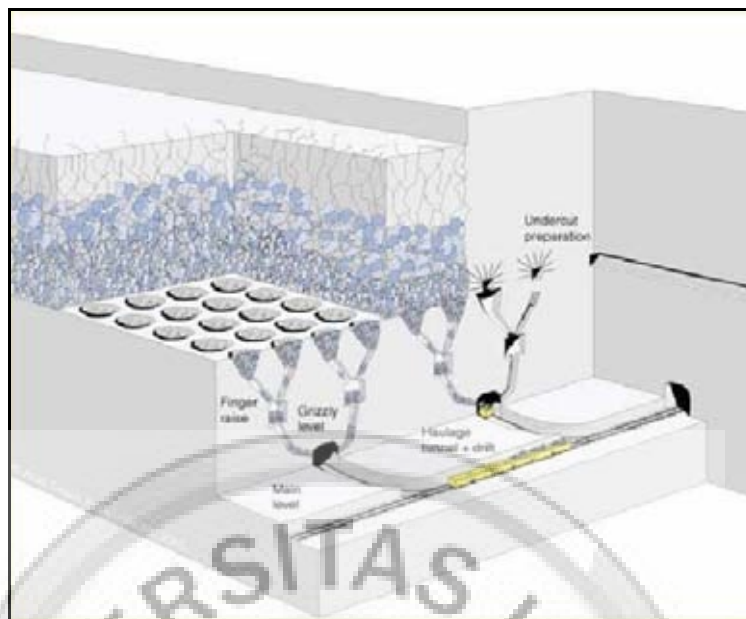
Undercutting dilakukan pada rangkaian jalur paralel di level *undercut* dimana serangkaian pemboran dilakukan. Jika lubang bor diisi bahan peledak dan

diledakkan, maka bijih akan hancur dan runtuh. Batuan yang telah diledakkan diambil melalui *drawpoint* dan menyebabkan bijih pada kolom bijih di atasnya mulai jatuh karena gaya gravitasi. Pengambilan bijih secara bertahap menurunkan keseluruhan bijih yang terdapat pada kolom bijih.

Area dan volume dari bijih yang dipindahkan pada bagian bawah blok pada saat *undercutting* harus seluas mungkin untuk memulai terjadinya peronggaan masa batuan di atasnya, dan akan terus berlangsung dengan sendirinya. Penarikan bijih hancur pada bagian bawah blok memberikan tempat untuk bijih hancur terkumpul dan menyebabkan proses peronggaan berlanjut ke atas sampai semua bijih pada blok batuan runtuh dan ditarik.

Bijih yang telah ditarik selanjutnya akan dicurahkan melalui *grizzly* ke level truck haulage yang berada tepat di bawah level ekstraksi. Selanjutnya bijih akan diangkut dengan truck untuk di hancurkan menjadi fragmentasi yang lebih kecil di crusher. Hasil *crushing* kemudian di transportasikan menggunakan ban berjalan (*belt conveyor*) menuju ke *stockpile* dan selanjutnya dilakukan *concentrating* di pabrik pengolahan hingga di dapatkan konsentrat mineral yang diinginkan.

Menurut Pillar (1981) dan Tobie (1982) metode penambangan *block caving* merupakan metode tambang bawah tanah dengan biaya produksi/ton termurah jika penerapannya tepat. Salah satu hal penting yang menentukan keberhasilan penerapan metode *block caving* adalah proses *undercutting* yang merupakan proses awal penambangan bijih. Metode yang digunakan untuk melakukan penambangan bawah tanah, di mana blok-blok besar bijih bawah tanah dipotong dari bawah sehingga bijih runtuh akibat gaya beratnya sendiri. Setelah runtuh, bijih yang dihasilkan "ditarik" dari *drawpoint* (titik tarik) dan diangkut menuju alat penghancur.



(Sumber : Redpath Mining Contractors and Engineering)

Gambar 3.2
Ilustrasi Penambangan *Block Caving*

3.1.3 Sistem Produksi

Seperti pada penambangan bawah tanah untuk batuan keras lainnya, daur *development* dan produksi terpisah dengan jelas. Masing-masing menggunakan mekanisasi tinggi tetapi peralatan yang digunakan sesuai dengan fungsinya sendiri-sendiri. Produksi pada tambang *block caving* terdiri dari :

1. Pemboran (daerah *undercut*), menggunakan Alat pneumatic dan rotary–percussion.
2. Peledakan (daerah *undercut*).Bahan peledak yang digunakan umumnya adalah *Emulssion*.
3. Pemuatan (dari *drawbell* atau *orepass*). Peralatan yang digunakan adalah *Loader*.
4. Pengangkutan (pada level utama). Peralatan yang digunakan adalah LHD, *Truck*, *belt conveyor*.

Level *undercut* terdapat diatas level produksi. *Undercutting* di lakasanakan pada jalur paralel di level *undercut* yang mana biasa disebut dengan daerah *drill drift*, pada level ini dilakukan serangkaian kegiatan pemboran yang bertujuan membuat lubang ledak

3.2 Parameter Batuan Terhadap Proses Peledakan

Proses peledakan yang berlangsung bergantung besar pada karakteristik batuan yang dihancurkan oleh bahan peledak tersebut. Karakteristik batuan yang menjadi parameter proses peledakan tersebut ialah :

- a. Densitas
- b. Struktur geologi
- c. Kekuatan dinamis dari batuan
- d. Karakteristik elastis
- e. Kecepatan rambat gelombang pada batuan

3.2.1 Densitas Batuan

Densitas batuan ialah kerapatan batuan yang dinyatakan dengan berat batuan untuk setiap volume batuan. Densitas batuan mempengaruhi kekuatan energi bahan peledak dan pemilihan untuk bahan peledaknya, biasanya untuk sifat batuan yang lebih keras memerlukan *powder factor* yang besar.

3.2.2 Struktur Geologi

Struktur geologi mengambil peran penting dalam proses peledakan. Bagus atau jeleknya hasil peledakan dapat dilihat dari struktur geologi yang terdapat pada area proses peledakan. Struktur geologi yang berpengaruh pada kegiatan peledakan adalah struktur *joint*/rekahan (kekar) dan struktur foliasi/perlapisan batuan. Kekar merupakan rekahan-rekahan dalam batuan yang terjadi karena tekanan atau tarikan yang disebabkan oleh gaya-gaya yang bekerja dalam kerak bumi atau pengurangan

bahkan kehilangan tekanan, di mana pergeseran dianggap sama sekali tidak ada. Dengan adanya struktur rekahan ini maka energi gelombang tekan dari bahan peledak akan mengalami penurunan yang disebabkan adanya gas-gas hasil reaksi peledakan yang menerobos melalui rekahan, sehingga mengakibatkan penurunan daya tekan terhadap batuan yang akan diledakkan. Penurunan daya tekan ini akan berdampak terhadap batuan yang diledakkan sehingga dapat mengakibatkan terjadinya bongkah pada batuan hasil peledakan bahkan batuan hanya mengalami keretakan

Beberapa aspek geologi dari peledakan bawah tanah, yaitu :

- a. Orientasi dari joint set yang dekat atau foliasi dari batuan metamorphic akan membantu peledakan. Posisi *joint*/foliasi yang paling menguntungkan adalah sejajar permukaan bidang kerja.
- b. Munculnya batuan beku dengan kandungan kwarsa yang tinggi (quartzite) akan menyebabkan abrasivitas yang tinggi pada mata bor dan kecepatan pemborannya menjadi lambat.
- c. Munculnya *overbreak* sebagian besar dikontrol oleh *joint*/bedding. Dengan demikian *overbreak* dapat dengan mudah dikurangi jika pemboran dan peledakan dilakukan di daerah yang masif.
- d. *Joint* yang terbuka atau sebagian terisi akan menyebabkan *cut off*.
- e. Batuan yang relatif lemah atau berpori memerlukan densitas bahan peledak yang lemah.

3.2.3 Kekuatan Dinamis dari Batuan

Kekuatan batuan ialah kemampuan batuan terhadap gaya yang diterimanya. Batuan akan melemah terhadap tarikan, tetapi kuat terhadap tekanan. Peledakan akan menghasilkan tekanan yang menghancurkan batuan sekitar lubang tembak, kemudian terbias sampai ke bidang bebas dan dipantulkan menjadi gelombang tarik.

Kuat tekan biasanya memiliki kekuatan yang lebih besar 5-10 kali dari kuat tarik. Kuat tarik ini digunakan sebagai variabel dalam menentukan kekuatan pecahnya batuan. (Oucetrlony, 1997).

$$K_{Ic} = \sigma_t \times \sqrt{\text{Crack Length} \times 3.14}$$

Dimana :

K_{Ic} = Ketahanan pecah batuan ($\text{Pa} \cdot \text{m}^{0.5}$)

σ_t = Kuat Tarik (Pa)

Crack length = Dimensi lubang bukaan (m)

3.2.4 Karakteristik Elastis

Elastisitas batuan umumnya disebut Modulus Young (E), Elastisitas batuan ditunjukkan dengan perbandingan antara tegangan axial dan regangan axial. Elastisitas material dalam tegangan dan regangan merupakan ukuran ketahanan batuan sebelum batuan tersebut jatuh. Untuk batuan yang memiliki elastisitas rendah cenderung menyerap energi peledak sehingga jarak kritikal menjadi kecil, sedangkan batuan yang memiliki elastisitas besar maka akan memperbesar jarak kritikal. Dengan diketahui elastisitas dari batuan maka dapat diketahui jarak kritikal antara lubang kosong dan lubang ledak pada area *cut*.

3.2.5 Kecepatan Rambat Gelombang Pada Batuan

Setiap batuan memiliki kecepatan rambat gelombang yang berbeda untuk proses pecahnya batuan. Kecepatan gelombang ini akan menyebar ke seluruh batuan dan akan menyebabkan pecahnya batuan secara radial di setiap lubang ledak, sehingga jarak antar lubang ledak dalam pembuatan pola peledakan dapat ditentukan. Kecepatan gelombang tiap batuan dapat dilihat pada Tabel 3.2

Tabel 3.2
Kecepatan gelombang Batuan

Rock Type	Velocity (ft/s)	Velocity (m/s)
<i>Granite Gneiss</i>	18350	5593.08
<i>Diorite</i>	18800	5730.24
<i>Granite</i>	15900	4846.32
<i>Basalt</i>	21700	6614.16
<i>Gabro</i>	23100	7040.88
<i>Sandstone</i>	6900	2103.12
<i>Quartzite</i>	16000	4876.8
<i>Taonite</i>	18800	5730.24
<i>Limestone</i>	16300	4968.24
<i>Marble</i>	22000	6705.6
<i>Dolomite</i>	16400	4998.72
<i>Skarn</i>	17600	5364.48
<i>Water</i>	4600-4900	1402.08
<i>Air</i>	1000	304.8

(Sumber: DOZ Feability Study, Call & Nicholas, Inc., Tucson, Arizona, USA)

3.3 Parameter Bahan Peledak

Bahan peledak merupakan bahan atau zat yang berbentuk 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 adalah kekuatan, kecepatan detonasi, kepekaan, bobot isi bahan peledak, ketahanan terhadap air, dan sifat-sifat gas beracun.

3.3.1 Kekuatan Bahan Peledak

Kekuatan dari bahan peledak yang digunakan tergantung dari energi yang dimiliki oleh bahan peledak tersebut. Energi bahan peledak ini dijadikan ukuran kemampuan bahan peledak untuk melakukan kerja atau inisiasi. Ada dua macam ukuran kekuatan yang dipakai untuk menilai bahan peledak komersial yaitu : "*weight strength*" adalah membandingkan kekuatan bahan peledak dengan dasar berat yang sama dan "*cartridge*" atau "*bulk strength*" membandingkan kekuatan bahan peledak dengan dasar volume yang sama.

Energi dari pengukuran teknik-teknik di atas 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* (J) yang tersedia dalam tiap gram dari bahan peledak, sedangkan ABS adalah ukuran dari jumlah energi *absolute* (J) yang tersedia dalam tiap kubik centimeter 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 energi yang tersedia dari tiap gram bahan peledak dibandingkan berat yang sama dari ANFO (%)

$$RWS_e = \frac{AWS_e}{AWS_a} \times 100\%$$

Dimana :

- 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 *Ammonium Nitrate Fuel Oil* (ANFO) pada *density* 0.8 gr/cc. RBS dihitung dengan membagi ABS dari bahan peledak dengan ABS dari ANFO dikalikan 100

$$RBS = \frac{RWS_e \times \rho_{handak}}{\rho_{Anfo}} \times 100\%$$

Dimana :

- RBS = Relatif Bulk Strength
 ρ_{handak} = Density Bahan Peledak yang digunakan (g/cc)
 ρ_{ANFO} = Density ANFO (g/cc)

3.3.2 Kecepatan Detonasi (*Velocity of Detonation*)

Kecepatan detonasi adalah kecepatan gelombang detonasi yang menerobos sepanjang kolom isian handak, dinyatakan dalam meter/detik. Kecepatan detonasi untuk bahan peledak komersial adalah 5.000 – 25.000 fps atau 1.500 – 8.000 m/s. Kecepatan detonasi bahan peledak tergantung pada :

1. Jenis bahan peledak (ukuran butir, bobot isi)
2. Diameter dodol atau diameter lubang ledak
3. Derajat pengurungan (*degree of confinement*)
4. Penyalaan awal (*initiating*)

Tes yang dilakukan oleh beberapa pabrik membuktikan bahwa kecepatan detonasi dalam keadaan tak terkurung (*unconfined*) lebih rendah 20 – 30 % dari pada kecepatan dalam keadaan terkurung (*confined*). Penyalaan awal yang sempurna akan meningkatkan kesempurnaan ledakan. *Blasting Agent* tidak dapat dinyalakan dengan detonator No.8 sebagai pedoman, jumlah primer yang diperlukan kurang

lebih dari jumlah isian. Energi yang dihasilkan oleh reaksi bahan peledak dipengaruhi oleh kecepatan detonasi dan bobot isiannya.

3.3.3 Density Bahan Peledak

Density atau bobot isi bahan peledak ialah perbandingan antara berat dan volume bahan peledak yang dinyatakan dengan gr/cm^3 . Bobot isi 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.

Berikut ialah jenis-jenis bahan peledak dengan bobot isi dan ukuran diameter minimum dari bahan peledak yang digunakan seperti pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3
Density dan Ukuran Diameter Minimum Pahan Peledak

Jenis Bahan Peledak	Bobot Isian/ Density (gr/cm^3)	Diameter Minimum Yang Direkomendasikan (mm)
<i>Loose Poured ANFO</i>	0.8	76
<i>Pneumatically Charged ANFO</i>	0.95	25
<i>Powerbulk 2500 UB</i>	1.2	76
<i>Powerbulk 2500 UBX</i>	1.2	45
<i>Pneumatically Charged Impact Series</i>	0.3 – 0.6	32
<i>Loose Poured Impact Series</i>	0.18 – 0.48	76
<i>Magnum</i>	1.18 – 1.25	25
<i>Powershear</i>	1.18	23
<i>Powergel Trimex</i>	1.1	19
<i>Pulsar</i>	1.18	25
<i>Anzomex</i>	1.7	28
<i>Magnapex</i>	1.2	32

(Sumber: Orica Explosive safe and Efficient Blasting In Underground Metal Mine Hal.9)

Dibawah ini adalah *senatel powerfrag* atau yang biasa disebut magnapex. Magnapex merupakan produk dari perusahaan pengembang bahan peledak ORICA (Gambar 3.3).



Sumber : Technical Data Sheet ORICA Mining Services

Gambar 3.3
Senatel Powerfrag/Magnapex

Magnapex ini merupakan bahan peledak kuat dengan sensitifitas tinggi terhadap detonator. Magnapex merupakan bahan peledak yang tahan air dengan kemasan yang telah didesain untuk penggunaan peledakan sebagai primer. Magnapex memiliki panjang 200 mm sampai 400 mm dan lebar 25 mm hingga 60 mm. Magnapex yang digunakan dalam penelitian berdiameter 32 mm dengan panjang 300 mm. Berikut ialah spesifikasi *senatel powerfrag* atau magnapex (Tabel 3.4).

Tabel 3.4
Spesifikasi Bahan Peledak Senatel Powerfrag

Nominal Density	1.21g/cc
Relative Effective Energy¹	
Relative Weight Strength	121%
Relative Bulk Strength	
▪ to ANFO @ 0.8g/cc	183%
▪ to ANFO @ 0.95g/cc	139%
Minimum Velocity of Detonation²	3.4km/s
CO₂³	184 kg/tne

Sumber : Technical Data Sheet Orica Mining Services

¹ Relative Effective Energi terhadap Anfo dengan densitas 0.8g/cc. Anfo memiliki energi efektif 2.3 MJ/kg.

² Nilai VOD akan bergantung pada densitas bahan peledak yang digunakan, diameter lubang ledak, temperature.

³ Hasil CO₂ dihitung berdasarkan asumsi peledakan yang ideal

3.3.4 Kepekaan Bahan Peledak (*Sensitivity*)

Kepekaan adalah ukuran besarnya impuls yang diperlukan oleh bahan peledak untuk mulai bereaksi dan menyebarkan reaksi peledakan keseluruhan isian. Kepekaan bahan peledak tergantung pada komposisi kimia, ukuran butir, bobot isi, pengaruh kandungan air, dan temperatur.

Ada beberapa macam kepekaan, yaitu :

- a. Kepekaan terhadap benturan
- b. Kepekaan terhadap gesekan
- c. Kepekaan terhadap panas
- d. Kepekaan terhadap ledakan bahan peledak lain dari jarak tertentu

Kepekaan penting dipertimbangkan untuk pengukuran kekuatan awal yang dibutuhkan untuk terjadinya peledakan dari bahan peledak dan keamanan dari suatu produk bahan peledak.

3.3.5 Ketahanan Terhadap Air (*Water Resistance*)

Ketahanan terhadap air adalah kemampuan bahan peledak itu dalam menahan rembesan air dalam waktu tertentu tanpa merusak, merubah atau mengurangi kepekaannya, dinyatakan dalam jam. Lebih lanjut air juga dapat mengakibatkan kerusakan bahan peledak. Dikenal ada lima tingkat ketahanan terhadap air yaitu :

- a. Sempurna (*excellent*) jika tahan terhadap air lebih dari 12 jam
- b. Sangat bagus (*very good*) jika tahan terhadap air 8 – 12 jam
- c. Bagus (*good*) jika tahan terhadap air 4 – 8 jam

- d. Cukup (*fair*) jika tahan terhadap air kurang dari 4 jam
- e. Buruk (*poor*) jika tidak tahan terhadap air

3.3.6 Gas Beracun Hasil Peledakan (*Fumes*)

Bahan peledak menghasilkan dua kemungkinan jenis gas, yaitu : *smoke* dan *fumes*. *Smoke* yang tidak berbahaya terdiri dari uap atau asap yang berwarna putih sedangkan *fumes* menghasilkan uap atau asap yang berwarna kuning karena sifatnya beracun. *Fumes* terdiri dari karbon-monoksida (CO) dan oksida-nitrogen (Nox).

Berdasarkan besarnya konsentrasi gas-gas beracun yang ditimbulkan oleh suatu bahan peledak, terdapat pembagian (klasifikasi) gas beracun berdasarkan *Institute of Makers of Explosive* sebagai berikut :

- a. Kelas 1 : 0,0 – 4,4 m³ noxious gases/200 gr bahan peledak
- b. Kelas 2 : 4,4 – 9,2 m³ noxious gases/200 gr bahan peledak
- c. Kelas 3 : 9,2 – 18,6 m³ noxious gases/200 gr bahan peledak

Hanya bahan peledak yang tergolong kelas 1 yang boleh dipakai untuk peledakan bawah tanah. Terjadinya gas beracun dalam setiap peledakan dapat ditekan dengan cara penyimpanan bahan peledak secara benar, pengangkutan yang baik sesuai dengan prosedur dan penyalaan yang sempurna pada waktu menggunakannya.

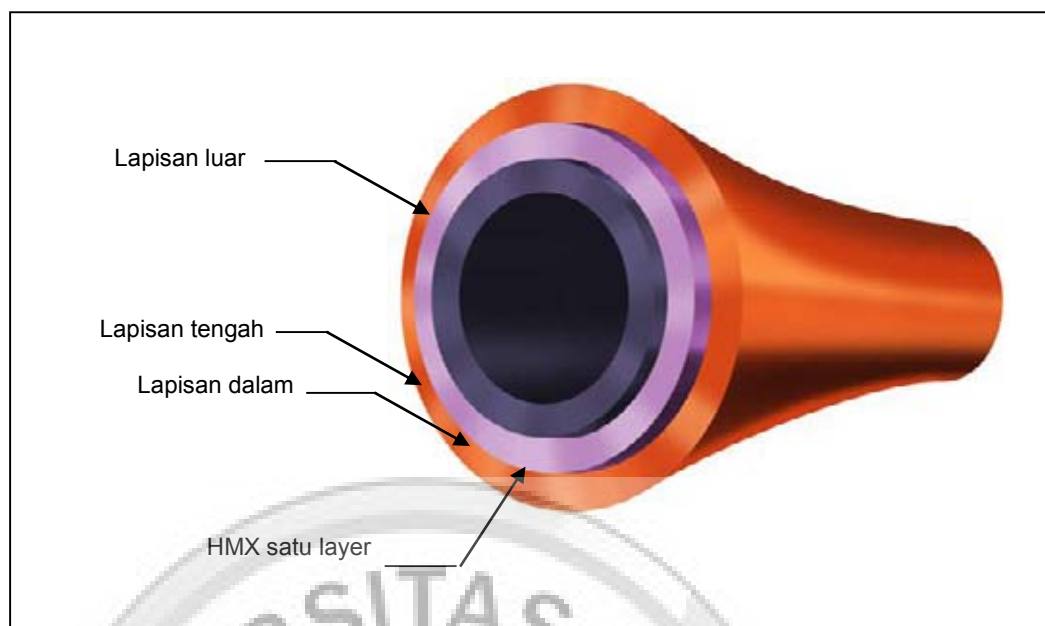
3.4 Detonator Non-Elektrik

Detonator nonel (*non-electric*) dirancang untuk mengatasi kelemahan yang ada pada detonator listrik, yaitu dipengaruhi oleh arus listrik liar, statis, dan kilat serta air. Akhirnya ditemukan suatu proses transmisi signal energi rendah gelombang kejut menuju detonator tanpa mempengaruhi bahan peledak yang digunakan. Transmisi signal terjadi di dalam suatu sumbu (*tube*) berdiameter 2 – 3 mm terbuat

dari semacam lapisan plastik yang pada bagian dalamnya dilapisi dengan material reaktif yang sangat tipis. Ketika inisiasi dilakukan, signal energi rendah tersebut bergerak disepanjang sumbu yang kecepatan propagasinya enam kali kecepatan suara (2000 m/s). Fenomena gelombang kejut tersebut, yang sama dengan ledakan debu pada tambang batubara bawah tanah, merupakan rambatan gelombang kesegala arah, saling membentur dan menikung di bagian dalam sumbu. Bagian luar sumbu tidak rusak oleh gerakan gelombang kejut yang tidak beraturan tadi karena jumlah reaktif material didalamnya hanya sedikit (satu lapis).

Komponen utama satu set detonator nonel adalah sebagai berikut:

- 1) **Sumbu nonel**, berfungsi sebagai saluran signal energi menuju detonator tunda. Sumbu ini mempunyai panjang yang berbeda, sehingga pemilihannya harus disesuaikan dengan kedalaman lubang ledak. Pada bagian ujung sumbu dipres atau ditutup yang disebut dengan *ultrasonic seal*. Jangan coba-coba memotong *ultrasonic seal* ini karena uap air akan masuk kedalam sumbu dan dapat menyebabkan gagal ledak. Sumbu nonel terdiri dari tiga lapisan, yaitu lapisan luar, lapisan tengah, dan lapisan dalam yang masing-masing berfungsi sebagai berikut (lihat Gambar 3.5):
 - a. Lapisan luar: untuk ketahanan terhadap goresan dan perlindungan terhadap ultra violet
 - b. Lapisan tengah: untuk daya regang dan ketahanan terhadap zat kimia
 - c. Lapisan dalam: menahan bahan kimia reaktif, yaitu jenis HMX atau octahydotetranitrotetrazine dan aluminium, pada tempatnya. HMX ber-suhu stabil dan memiliki densitas serta kecepatan detonasi yang tinggi.

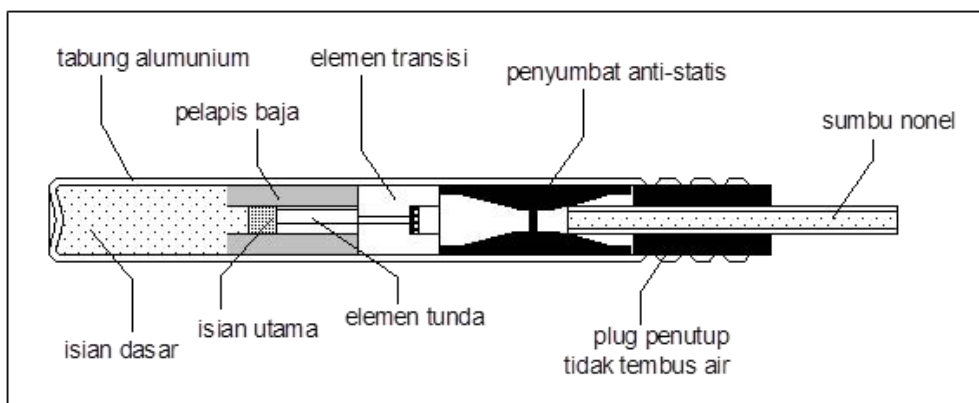


Gambar 3.4
Bagian-bagian sumbu nonel (Dyno Nobel)

Secara keseluruhan sumbu nonel terbuat dari plastik dengan kualitas terseleksi, sehingga:

- tidak sensitif terhadap energi listrik dan transmisi radio,
- tidak terinisiasi oleh api, pukulan atau gesekan,
- gelombang kejut dengan gas yang panas diperlukan untuk inisiasi,
- sumbu dapat saling menyilang tanpa menginisiasi atau merusak sumbu lainnya

- 2) **Detonator nonel**, yang berkekuatan nomor 8. Komponen utama dalam detonator nonel sama dengan detonator listrik yang membedakannya hanya pada mekanisme pembentukan energi panasnya (lihat Gambar 3.5).
- 3) **Label tunda**, yaitu label dengan warna tertentu yang menandakan tipe priode tunda *halfsecond*, *quartersecond*, atau *millisecond* dan waktu nominal ledaknya (lihat Gambar 3.6).
- 4) **“J” hook**, adalah alat untuk menyisipkan *detonating cord*. Fasilitas ini tidak selalu ada atau modelnya yang berbeda



Sumber : Modul Kursus Juru Ledak

Gambar 3.5
Bagian Dalam Detonator Nonel



(Sumber : Dyno Nobel, 2002; b. ICI Explosives, 1988)

Gambar 3.6
Detonator nonel dalam lubang ledak atau *in-hole delay*

Detonator yang digunakan dalam penelitian ialah detonator nonel dari produk Orica. Jenis detonator nonel ialah *TDS EXEL Long Periode Detonator* dengan spesifikasi sebagai berikut.

Tabel 3.5
Spesifikasi TDS EXEL Long Periode Detonator

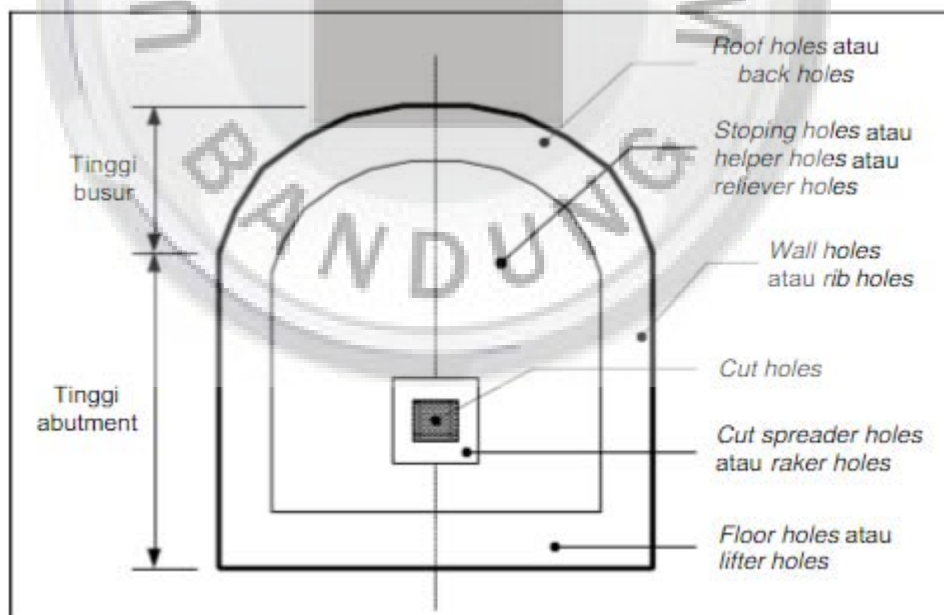
Signal Tube:	Yellow Exel™
Outer Diameter	3 mm
Nominal tensile strength	45 kg
Standard Lengths	3.6, 4.9 & 6.1 m
Detonator PETN Charge	790mg (8* strength)

Sumber : Technical Data Sheet Orica Mining Services

3.5 Pola Pemboran dan Peledakan

3.5.1 Pola Pemboran

Untuk membuat lubang maju dalam tambang bawah tanah atau terowongan perlu diciptakan suatu bidang bebas yang disebut dengan *cut hole*. *Cut hole* adalah suatu lubang buka yang diciptakan pada suatu *face* yang tidak mempunyai *free face* berupa lubang bor sedalam kemajuan yang diperoleh.

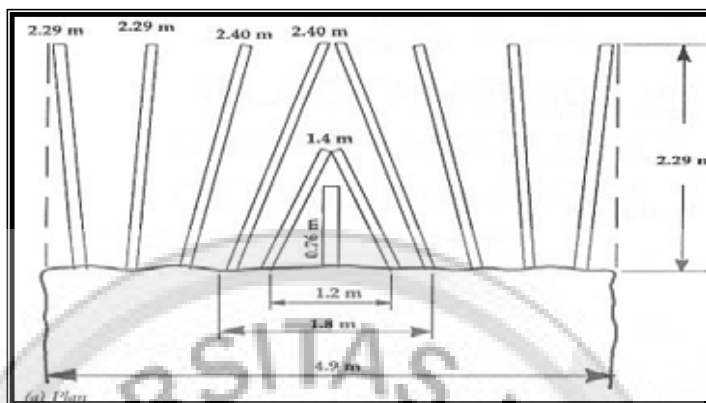


Sumber : (Swedish Blasting Technique by Rune Gutafsson)

Gambar 3.7
Pembagian Lubang Ledak Pada Pemuka Kerja

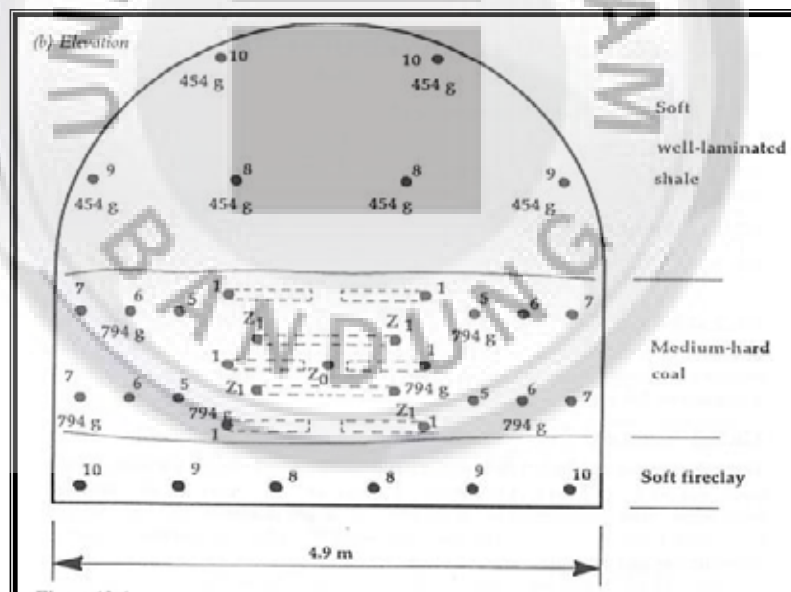
Pola pemboran *cut hole* yang sering digunakan dalam peledakan tambang bawah tanah :

1. *Wedge Cut* atau *V – Cut*, yaitu pembuatan lubang tembak yang membentuk sudut $\pm 60^\circ$ terhadap bidang bebas (*free face*). Pola pemboran tersebut cocok untuk segala jenis batuan akan tetapi kurang efektif untuk batuan yang keras.



Sumber : *The Modern Technique of Blasting* by U. Langefors

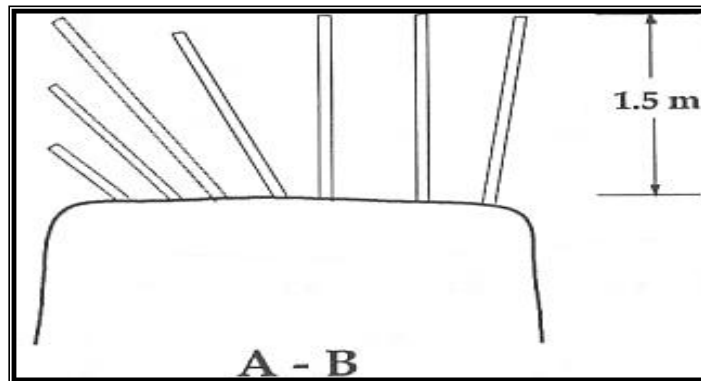
Gambar 3.8
Penampang Atas Pemboran V - Cut



Sumber : *The Modern Technique of Blasting* by U. Langefors

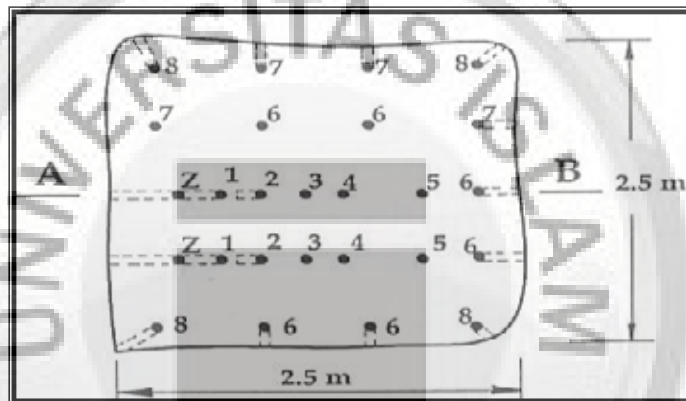
Gambar 3.9
Penampang Muka Pemboran V – Cut

2. *Fan Cut*, yaitu pola pengeboran yang merupakan setengah dari *wedge cut*. Pola ini sangat baik digunakan pada *vein* yang tipis. Pola ini juga digunakan pada belokan terowongan.



Sumber : *The Modern Technique of Blasting* by U. Langefors

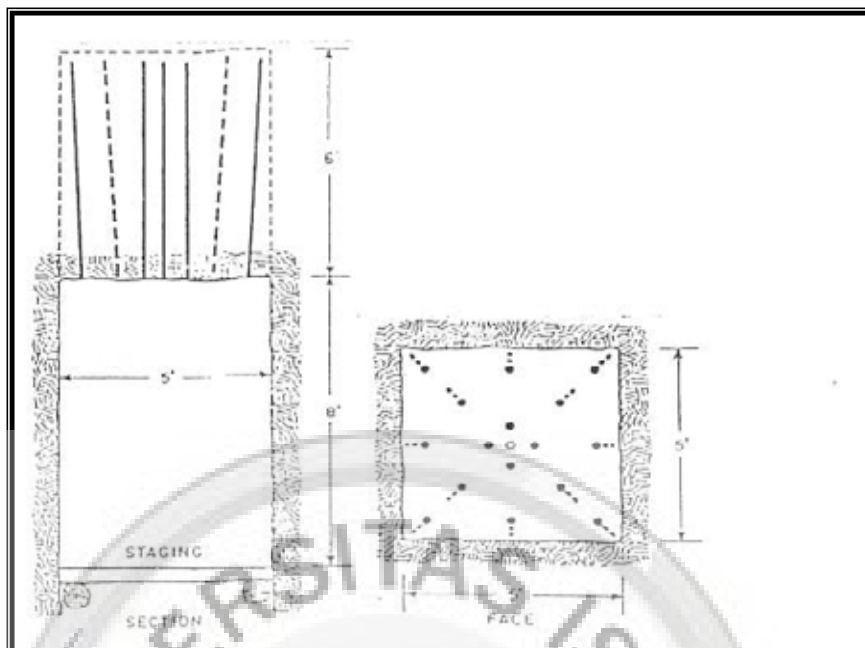
Gambar 3.10
Penampang Atas Pemboran *Fan Cut*



Sumber : *The Modern Technique of Blasting* by U. Langefors

Gambar 3.11
Penampang Muka Pemboran *Fan Cut*

3. *Burn Cut*, yaitu pola peledakan dimana lubang ledak tegak lurus terhadap bidang vertikal atau pada *free face*, selain itu lubang tertentu dikosongkan untuk memperoleh *free face* tambahan, sehingga proses pelepasan gelombang kompresi menjadi lebih efektif.



Sumber : *The Modern Technique of Blasting by U. Langefors*

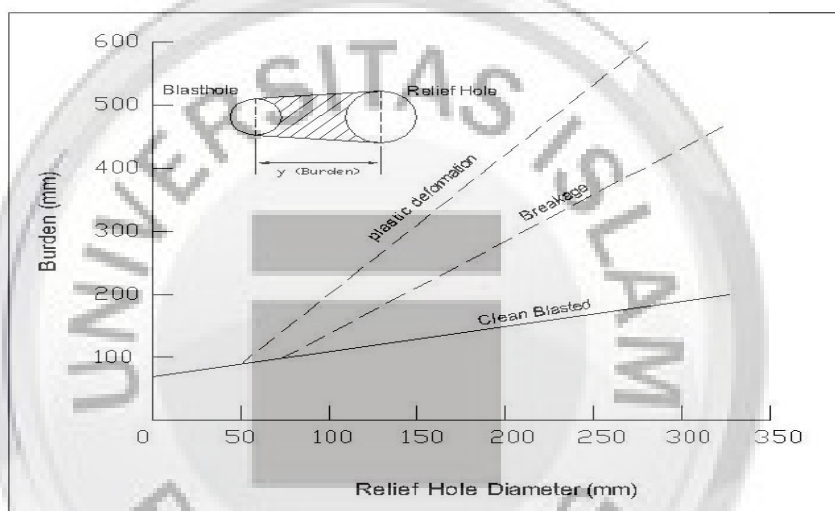
Gambar 3.12
Penampang Pemboran Burn Cut

Penentuan desain lubang bukaan pertama-tama dilakukan perhitungan *void ratio* yaitu perbandingan antara volume dari relief hole dengan volume daerah cut. *Void ratio* standar adalah antara 10 - 15 % (*Orica Technical Services, 1998*). Apabila *void ratio* yang dihasilkan lebih kecil dari *void ratio* standar maka dapat terjadi *frozen* atau batuan setelah meledak tidak akan hancur dan runtuh ke bawah tetapi batuan akan memadat kembali. Sedangkan apabila *void ratio* yang dihasilkan lebih besar dari *void ratio* standar maka kemungkinan peledakan pada daerah cut tersebut berhasil karena volume dari total lubang kosong yang ada mampu untuk menampung jumlah dari penambahan volume batuan.

Menurut *Langefors* dan *Kihlstrom* grafik di bawah menunjukkan hasil peledakan berdasarkan perbandingan rasio antara burden dan diameter lubang kosong (lihat Gambar 3.13). Grafik tersebut menunjukkan bahwa:

Jarak antara lubang kosong dengan lubang ledak pertama harus tidak melebihi $1,5 \times$ diameter lubang kosong jika ingin mendapatkan hancuran batuan yang memuaskan dan hasil peledakan yang bersih (*clean blast*).

- Untuk lubang ledak yang berada lebih dari $2 \times$ diameter lubang kosong, hasil yang sering terjadi adalah pecahan plastis atau hanya blow up saja..
- Idealnya jarak burden untuk lubang ledak pertama adalah kurang dari $1,7 \times$ diameter relief hole.



Sumber : Langelors U. and Kihlstrom B. 1981

Gambar 3.13

Grafik Jarak antara Lubang Ledak dan Lubang Kosong

Lubang bukaan biasanya diledakkan dengan menggunakan teknik burn cut dan beberapa prinsip umum yang sama dengan teknik pembuatan dan kemajuan terowongan. Dalam perancangan pola pemboran dan peledakan faktor-faktor yang perlu diperhatikan adalah karakteristik batuan pada daerah pengamatan, karakteristik bahan peledak yang digunakan, peralatan yang tersedia (ukuran bit dan reamer serta mesin bor) dan operator/crew yang ada.

3.5.2 Perancangan Daerah Cut

Dari hasil peledakan diperoleh bahwa jarak maksimum kemampuan bahan peledak memecahkan batuan (*critical separation*) dipengaruhi oleh karakteristik massa batuan dan jenis bahan peledak. Pada pola pemboran dan dalam penentuan persentase lubang *void*, jarak antar lubang dalam area *burn cut*, mempunyai kaitan erat dengan Modulus Elastisitas (*Modulus Young*). Batuan dengan Modulus Elastisitas yang rendah memiliki kecenderungan menyerap energi peledakan sehingga jarak antara lubang kosong dengan lubang ledak di daerah *cut* perlu dikurangi.

Jenis bahan peledak juga berpengaruh terhadap jarak antar lubang maksimum, sehingga Holmberg menambahkan faktor RWE (*Relative Weight Energi*) dari bahan peledak dengan tujuan untuk perhitungan jenis bahan peledak yang lebih kuat.

Persamaan yang menunjukkan hubungan di atas dapat dinyatakan dalam bentuk formula dibawah ini (*Sumber "Optimal Drill and Blast Techniques For Underground Mining" Dyno Nobel, Atlas Copco*) :

$$\text{Critical Separation}(CR) = 2x\Phi_{\text{eff. relief hole}} \times \frac{E}{E_0} \times \frac{1}{REE}$$

$$\Phi_{\text{eff. relief hole}} = \Phi_{\text{hole}} \sqrt{n}$$

Dimana:

$\Phi_{\text{eff. relief hole}}$ = diameter efektif dari lubang kosong (mm)

Φ_{hole} = diameter lubang (mm)

E = modulus Young batuan (GPa)

E_0 = *Reference* modulus Young = 50 (GPa)

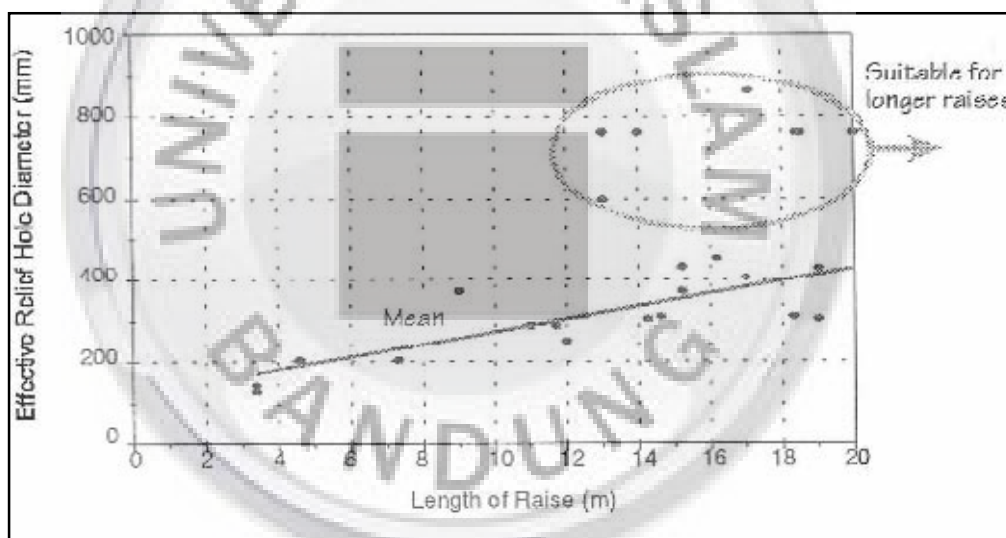
REE = *Relative effective energi* dari bahan peledak

(Anfo = 100)

n = Jumlah *relief hole*

Dari perhitungan jarak *critical separation*, jarak terdekat lubang kosong dan lubang ledak yang dapat digunakan adalah $0,5 \times \text{critical separation}$. Sedangkan jarak terjauh lubang kosong dan lubang ledak yang dapat digunakan adalah $0,75 \times \text{critical separation}$.

Menurut Holmberg hubungan antara diameter efektif dari lubang kosong dengan panjang atau kedalaman *raise* digambarkan oleh grafik di bawah ini (Gambar 3.14.):



Sumber : Holmberg, 1987

Gambar 3.14
Grafik Hubungan antara Diameter Efektif Lubang Kosong dengan Panjang Raise

Holmberg memberikan persamaan untuk menjelaskan hubungan antara panjang raise dengan diameter rata-rata dari satu lubang kosong, tanpa memerlukan alternatif lubang kosong lebih. Persamaan ini hanya berlaku untuk perhitungan dengan diameter lubang kosong yang kecil dan panjang raise tertentu. Persamaan tersebut dinyatakan dalam bentuk:

Diameter rata-rata lubang kosong = $110 + 15.4 \times (\text{panjang lubang bukaan})$

Untuk pembuatan raise tertentu, misalnya modulus young batuan dan REE bahan peledak adalah 50 Gpa dan 105 %, serta diameter efektif lubang kosong dari 4 buah lubang kosong dengan ukuran 165 mm adalah 330 mm (berdasarkan persamaan diameter efektif relief hole diatas):

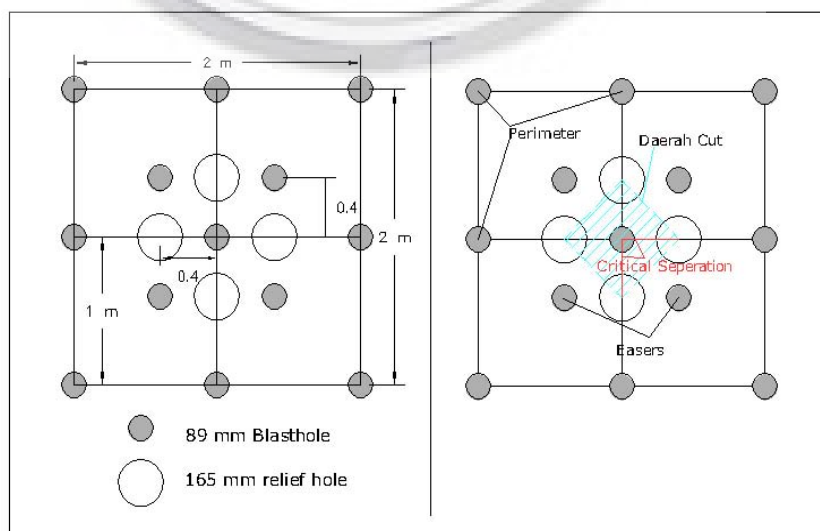
$$\Phi \text{ Effective Relief Hole} = \sqrt{4 \times 165} = 330 \text{ mm}$$

Kemudian jarak *Critical separation* diperoleh hasil perhitungan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Critical separation} &= 2 \times \phi_{\text{effRH}} \times \left[\frac{E}{E_0} \right] \times \left[\frac{1}{\text{REE}} \right] \\ &= 2 \times 330 \times \left[\frac{50}{50} \right] \times \left[\frac{1}{1.05} \right] \\ &= 630 \text{ mm} \end{aligned}$$

maka diperoleh jarak *critical separation* antara lubang kosong dengan lubang ledak sebesar 630 mm.

Dari hasil perhitungan tersebut maka dapat digunakan jarak *critical separation* untuk menghasilkan peledakan bersih (*clean blasting*) sebesar 400 mm atau 0,4 m pada daerah *cut*. Dimana nilai ini berada antara $\frac{1}{2}$ dan $\frac{3}{4}$ dari nilai *critical separation* (lihat Gambar 3.15.).



Gambar 3.15
Hubungan antara Daerah Cut, Easers dan Perimeter

3.5.3 Perancangan Peledakan Berdasarkan *Radius Crack*

Radius crack propagation merupakan jarak maksimal dimana batuan dapat dipecahkan oleh bahan peledak, sehingga dengan penentuan dari *radius crack propagation* tersebut dapat ditentukan letak dari lubang ledak serta jarak antara lubang ledak yang terdapat pada daerah *easer* dan *perimeter*.

Menurut Oucetlony (1997) yang berdasarkan basis data dari test vanga yang dikembangkan olehnya, persamaan yang digunakan untuk menentukan besarnya *radius crack propagation* yang dapat digunakan adalah:

$$Rco = 0.5 \times \Phi h \times \left(P_h / P_{h,crack} \right)^2 \left[3 \left(D/c \right)^{0.25} - 1 \right]$$

$$P_{h,crack} = 3.30 Klc / \sqrt{\Phi_h}$$

$$P_h = \gamma^\gamma / (\gamma + 1)^{(\gamma+1)} \rho_e D^2 \left(\Phi_e / \Phi_h \right)^{2.2}$$

$$\gamma = \sqrt{1 + D^2/Q}$$

Dimana:

Rco = *Radius Crack* (m)

Φ_e = *Charge diameter* (m)

Φ_h = *Diameter lubang* (m)

D = *VOD bahan peledak* (m/s)

Q = *Explosion energi* (J/Kg)

ρ_e = *Densitas bahan peledak* (Kg/m³)

c = *Kecepatan gelombang dalam batuan* (m/s)

Klc = *Ketahanan pecah dari batuan* (Pa.m^{0.5})

γ = Eksponen dari ekspansi adiabatic

P_h = Tekanan lubang ledak (Pa)

$P_{h,Crack}$ = Tekanan lubang ledak dengan *crack* (Pa)

Berikut ialah contoh perhitungan *radius crack propagation* berdasarkan rumus yang telah dijelaskan sebelumnya.

Densitas bahan peledak (emulsi):

$$\rho_e : 0,8 \text{ g/cm}^3$$

Kekuatan Batuan

$$K_{lc} : 10778501,6 \text{ Pa}\cdot\text{m}^{0,5}$$

$$c : 5349,24 \text{ m/s}$$

Diameter lubang ledak :

$$\phi_e = \phi_h : 0,076 \text{ m}$$

VOD bahan peledak :

$$D : 3000 \text{ m/s}$$

Expansion exponent :

$$\begin{aligned} \gamma &= \sqrt{(1 + D^2 / Q)} \\ &= \sqrt{(1 + (3000^2)/1677600)} \\ &= 2,52 \end{aligned}$$

Explosion energi bahan peledak:

$$Q : E_{\text{eff}} \text{ Anfo} \times 10^6 \times \text{REE}_{\text{WS}}$$

$$2,33 \times 10^6 \times 0,76 = 1677600 \text{ J/Kg}$$

Tekanan lubang ledak

$$\begin{aligned} P_h &= \gamma^\gamma / (\gamma + 1)^{(\gamma + 1)} \cdot \rho_e \cdot D^2 \cdot (\phi_e / \phi_h)^{2,2} \\ &= 2,52^{2,52} / (2,52 + 1)^{(2,52 + 1)} \times 0,8 \times 3000^2 \times (0,076 / 0,076)^{2,2} \\ &= 880272691 \text{ Pa} \end{aligned}$$

Tekanan lubang ledak dengan *crack*

$$\begin{aligned}
 P_{h,crack} &= 3.30K_{Ic} / \sqrt{\phi_h} \\
 &= 3.30 \times 10778501.6 / \sqrt{0.076} \\
 &= 128853092 \text{ Pa}
 \end{aligned}$$

Radial crack

$$\begin{aligned}
 R_{CO} &= 0.5 \cdot \phi_H \cdot (P_h / P_{h,crack})^{2.3(D/c)^{0.25} - 1} \\
 &= 0.5 \times 0.076 (880272691/128853092)^{2.3(3000/5349.24)^{0.25} - 1} \\
 &= 0.45 \text{ m}
 \end{aligned}$$

3.5.4 Stemming

Stemming adalah kolom material penutup lubang ledak di atas atau di bawah kolom isian bahan peledak. *Stemming* yang terlalu pendek dapat mengakibatkan batu terbang (*flyrock*) dan suara ledakan yang keras sedangkan *stemming* terlalu panjang akan mengakibatkan retakan kebelakang jenjang dan bongkah di sekitar dinding jenjang. Panjang dari *stemming* berpengaruh pada tekanan detonasi peledakan, dimana semakin bagus *stemming* maka tekanan detonasi yang dilepaskan semakin maksimal (C. J Konya, 1990).

$$T = 0.45 \times \Phi_h \times \left(\frac{Stv}{\rho_r}\right)^{0.33}$$

Dimana:

- T = Panjang *stemming* (ft)
- Φ_h = Diameter lubang ledak (inch)
- Stv = *Relative Bulk Strength* (ANFO = 100)
- ρ_r = Densitas batuan (g/cm³)

3.5.5 Powder Factor

Powder factor merupakan satuan yang menunjukkan berapa jumlah bahan peledak yang dibutuhkan (kg) untuk menghancurkan satu ton batuan. Perhitungan *powder factor* ini dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$PF = \frac{W_e}{W_r}$$

Dimana:

PF = *Powder factor* (kg/ton)

$W_e = Q \times n \times \text{panjang lubang isian}$ = Berat bahan peledak (kg)

$W_r = \rho_r \times V_r$ = Berat batuan (ton)

Q = *Charge concentration* (kg/m)

n = Jumlah lubang ledak

V_r = Volume batuan terbongkar (m^3)

ρ_r = Densitas batuan (ton/m^3)

3.5.6 Prediksi Ukuran Fragmentasi

Tingkat fragmentasi batuan yang diinginkan dapat diperoleh dari percobaan di lapangan dengan mengevaluasi terhadap perubahan variabel-variabel peledakan. Variabel yang dimaksud adalah sifat-sifat batuan, pola peledakan dan jumlah pengisian bahan peledak. Berikut adalah persamaan untuk memprediksikan ukuran fragmentasi hasil peledakan menurut Cunningham (1987).

$$X_m = A (PF)^{-0.8} \cdot Qe^{1/6} \left(\frac{115}{E} \right)^{19/30}$$

Dimana: X_m = Ukuran rata – rata fragmentasi (cm)

A = Faktor batuan

E = *Relative Weight Strength (RWS)*
(bahan peledak ANFO = 100)