

BAB III

LANDASAN TEORI

Penggunaan bahan peledak untuk keperluan tertentu dengan metode sesuai prosedur disebut dengan teknik peledakan. Kegiatan peledakan yaitu suatu upaya pembeeraan batuan dari batuan induk menggunakan bahan peledak. Menurut kamus pertambangan umum bahan peledak adalah senyawa kimia yang dapat bereaksi dengan cepat apabila diberikan suatu perlakuan, menghasilkan sejumlah gas bersuhu dan bertekanan tinggi dalam waktu yang sangat singkat.

Peledakan memiliki daya rusak bervariasi tergantung jenis bahan peledak yang digunakan dan tujuan digunakannya bahan peledak tersebut. Peledakan dapat dimanfaatkan untuk berbagai kepentingan baik itu positif maupun negatif seperti untuk memenuhi tujuan politik, ideologi, keteknikan, industri dan lain-lain. Sebagai contoh bahan galian logam serta bahan galian batuan seperti andesit dan gamping sering kali menggunakan peledakan untuk memperoleh bahan galian tersebut, apabila dianggap lebih ekonomis dan efisien dari pada penggalian bebas (*Free digging*) maupun penggaruan (*ripping*).

Suatu operasi peledakan dinyatakan berhasil dengan baik pada kegiatan penambangan apabila (Koesnaryo, 2001; 1-2) :

1. Target produksi terpenuhi (dinyatakan dalam ton/hari atau ton/bulan).
2. Penggunaan bahan peledak efisien yang dinyatakan dalam jumlah batuan yang berhasil dibongkar per kilogram bahan peledak (disebut *powder factor*).
3. Diperoleh dinding batuan yang stabil dan rata (tidak ada *overbreak*, *overhang*, retakan-retakan).

4. Diperoleh fragmentasi batuan berukuran merata dengan sedikit bongkah (kurang dari 15 % dari jumlah batuan yang terbongkar per peledakan).
5. Aman.
6. Dampak terhadap lingkungan kecil.

3.1 Faktor yang mempengaruhi Fragmentasi Batuan

Faktor yang berpengaruh dalam pemboran dan peledakan ada yang bersifat tidak dapat dikendalikan, dikarenakan prosesnya terjadi secara alamiah. Faktor-faktor tersebut adalah sebagai berikut.

3.1.1 Faktor Yang Tidak dapat dikendalikan

1. Sifat Fisik Batuan

a. *Specific Gravity Influence (SGI)*

SGI adalah sifat batuan terkait berat jenis dan porositasnya, Batuan dengan bobot isi kecil pada umumnya lebih mudah mengalami deformasi dan memerlukan energi peledakan yang rendah untuk pemecahannya.

Sedangkan porositas menyatakan banyaknya jumlah pori dalam batuan.

Porositas batuan yang besar mengindikasikan banyaknya ruang antar butir dalam batuan. Peningkatan porositas akan menghambat penjalaran gelombang kejut didalam massa batuan, menghambat terbentuknya rekahan-rekahan baru, dan secara dominan menghasilkan bongkah-bongkah berukuran besar.

2. Bidang Lemah Massa Batuan.

a. *Rock Mass Description (RMD)*

RMD merupakan parameter yang digunakan untuk menunjukkan kualitas massa batuan dengan melakukan pengamatan terhadap struktur batuan dan hancurannya (*muckpile*). *RMD* dapat dikategorikan

ke dalam 3 kelas, yaitu rapuh (*powdery/friable*), struktur blok terkekarkan (*blocky*), dan sangat pejal (*totally massive*).

b. *Joint Plane Spacing (JPS)*

JPS adalah jarak tegak lurus antar dua bidang lemah yang berurutan. *Attewell* mengklasifikasikan jarak antar bidang lemah seperti terlihat pada Tabel 3.2. Semakin jauh jarak antar bidang lemah (> 2000 mm) batuan dapat dikatakan memiliki perlapisan yang sangat tebal. Sedangkan bila jarak antar bidang lemah kecil (< 20 mm), maka batuan dikatakan terdiri dari laminasi tipis atau sedimentasi. Dari nilai *RQD* dapat ditentukan jarak antar bidang lemah dengan menghitung nilai frekuensi bidang lemah per meter (λ) menggunakan persamaan dari Priest & Hudson.

Tabel 3.1
Klasifikasi Jarak Antar Bidang Lemah

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

Sumber : Attewell, 1993

c. *Joint Plane Orientation (JPO)*

Dalam operasi peledakan, orientasi bidang lemah pada massa batuan dapat mengakibatkan hal-hal seperti berikut :

- *Horizontal* (orientasi bidang diskontinuitas sejajar bidang bebas), menghasilkan kemantapan lereng dan arah lemparan yang terkontrol.
- *Dip out of face* (orientasi bidang ke arah pit), menyebabkan ketidakmampuan lereng dan menghasilkan *backbreak* berlebih.

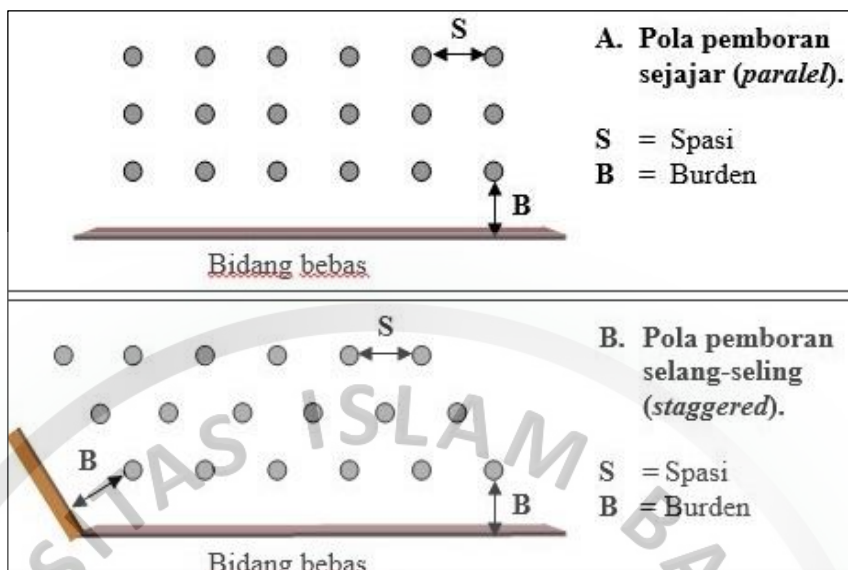
- *Strike normal to face* (orientasi bidang diskontinuitas menyudut terhadap bidang bebas), akan menghasilkan muka jenjang berblok-blok dan terjadi hancuran yang berlebih
- *Dip into face* (orientasi bidang diskontinuitas ke arah massa batuan), menyebabkan *toe* tidak hancur dan potensi batuan akan menggantung (Hustrulid, 1996; 107).

3.1.2 Faktor Yang dapat dikendalikan

1. Pola Pemboran

Kegiatan pemboran lubang ledak merupakan suatu hal yang sangat penting diperhatikan sebelum kegiatan pengisian bahan peledak. Kegiatan pemboran lubang ledak dilakukan dengan menempatkan lubang-lubang ledak secara sistematis, sehingga membentuk suatu pola. Berdasarkan letak lubang bor maka pola pemboran dibagi menjadi dua pola dasar, yaitu :

- a. Pola pemboran sejajar (*parallel patern*), apabila lubang-lubang ledak ditempatkan sejajar pada setiap kolomnya.
- b. Pola pemboran selang-seling (*Staggered patern*), apabila lubang-lubang ledak ditempatkan secara selang-seling pada setiap kolomnya. Jika pola pengeboran untuk pembuatan lubang ledak menggunakan pola *Staggered*, maka nilai keseragaman n akan meningkat sebesar 10%. Dalam pola *Staggered (zig-zag)*, distribusi energi peledakan antar lubang akan lebih terdistribusi secara merata daripada pola bukan *Staggered*.



Sumber : Koesnaryo, 2001

Gambar 3.1
Pola Pemboran

2. Geometri Peledakan

R.L.Ash (1967) membuat suatu pedoman perhitungan geometri peledakan jenjang berdasarkan pengalaman empirik yang diperoleh di berbagai tempat dengan jenis pekerjaan dan batuan yang berbeda-beda. Sehingga R.L. Ash berhasil mengajukan rumusan-rumusan empirik yang dapat digunakan sebagai pedoman dalam rancangan awal suatu peledakan batuan.

a. *Burden*

Adalah jarak tegak lurus antara *free face* dengan lubang ledakan yang berdekatan dimana arah pemindahan akan terjadi. Besarnya *burden* tergantung dari karakteristik batuan dan karakteristik bahan peledak. Burden diturunkan berdasarkan diameter lubang tembak, serta dipengaruhi oleh batuan dan bahan peledak yang digunakan, untuk mencari nilai burden digunakan persamaan di bawah ini.

$$B = \frac{K_b \text{ terkoreksi} \times d_e}{12} \dots\dots\dots(3.1)$$

Tabel 3.2
KB Standar

KB = 30	<i>average condition--first approximation</i>
KB = 25	<i>for low density explosive</i>
KB = 35	<i>for dense explosive, such as slurries and gelatin</i>

Sumber : Ash.R.L, 1967

Dan untuk mencari Kb terkoreksi digunakan persamaan

$$Kb \text{ terkoreksi} = Kb \text{ standart} \times \sqrt{\frac{SG \cdot Ve^2}{SGstd \cdot VeStd^2}} \times \sqrt{\frac{de}{destd}} \dots\dots\dots(3.2)$$

Keterangan :

- B = *Burden* (Ft)
 Kb = *Burden ratio*
 de = diameter lubang ledak (inch)
 SG = *Density* bahan peledak yang digunakan (gr/cc)
 Ve = Kecepatan detonasi bahan peledak yang digunakan (fps)
 SGstd = *Density* bahan peledak standar (1,2 gr/cc)
 Vestd = Kecepatan detonasi bahan peledak standar (12.000 fps)
 de = *Density* batuan yang diledakkan (lb/cuft)
 destd = *Density* batuan standar (160 lb/cuft)

b. Kedalaman lubang bor

Kedalaman lubang ledak biasanya disesuaikan dengan tingkat produksi dan pertimbangan geoteknik, menurut R.L Ash kedalaman lubang ledak berdasarkan pada *hole depth ratio* (Kh) yang harganya berkisar antara 1,5

– 4. Hubungan *hole depth* dengan *burden* adalah sebagai berikut

$$H = Kh \times B \dots\dots\dots(3.3)$$

Keterangan :

- H = *Hole Depth*
 Kh = *Hole Depth ratio* (1,5 – 4)
 B = *Burden* (m)

c. *Subdrilling*

Bagian dari lubang bor yang menembus di bawah permukaan lantai diharapkan akan terjadinya *full face*. Lantai yang tidak rata disebabkan oleh tonjolan-tonjolan yang terjadi setelah dilakukan peledakan yang dapat menyulitkan peledakan selanjutnya, hubungan *subdrilling* dengan *burden* dapat dilihat pada persamaan berikut :

$$J = K_j \times B \dots\dots\dots(3.4)$$

Keterangan :

J = *Subdrilling* (m)

K_j = *Subdrilling ratio* (0,3 – 0,5)

d. *Stemming*

Stemming ini disebut juga *collar*. *Stemming* ini sangat menentukan kemantapan dalam lubang bor fungsi lainnya adalah untuk mengurung gas yang timbul. Persamaan yang digunakan dapat dilihat di bawah ini :

$$T = K_t \times B \dots\dots\dots(3.5)$$

Keterangan :

T = *Stemming* (m)

K_t = *Stemming ratio* (0,5 – 1)

e. *Spacing*

Adalah jarak antara lubang-lubang yang dipakai dalam satu baris dan diukur sejajar dengan *pit wall*. Biasanya *spacing* tergantung kepada *burden*, kedalaman *burden*, letak *primer delay* dan srstruktur bidang batuan prinsip dalam penentuan *spacing* adalah :

- Apabila lubang-lubang bor dalam satu baris diledakkan “*sequence delay*” maka dibuat $S = B$

- Apabila lubang-lubang bor dalam satu baris diledakkan simultan maka dibuat $S = 2B$
- Yang perlu diperhatikan adalah interaksi antara *charge* yang berdekatan.
- Untuk mendapatkan fragmentasi yang kecil R.L ash menggunakan $S = 1,25 B$.

$$S = K_s \times B \dots\dots\dots(3.6)$$

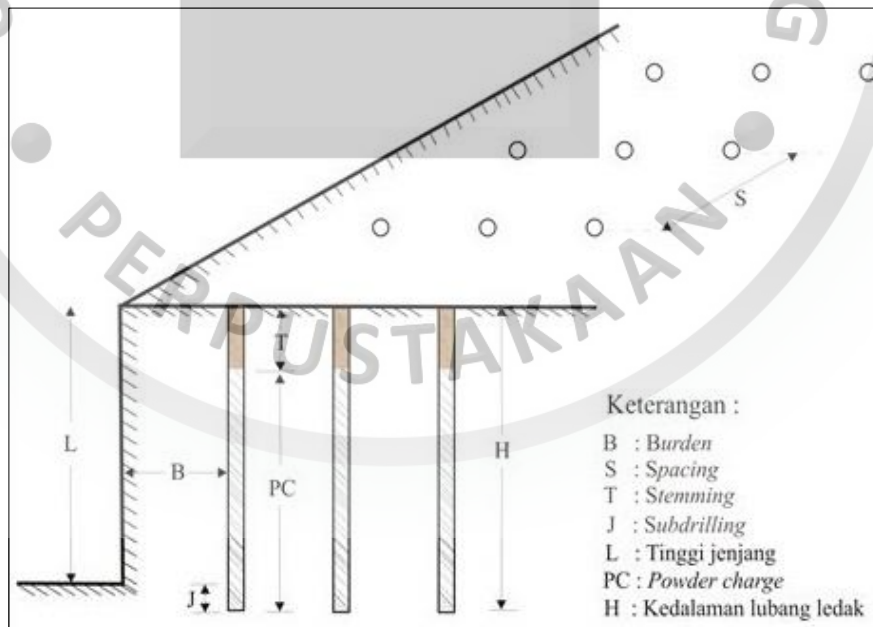
Keterangan :

S = Spacing (m)

K_s = Spacing ratio (1 – 2)

f. Free face

Bidang bebas bagian dari permukaan batuan dimana tidak ada bagian yang menghalangi runtuhnya batuan apabila diledakkan.



Sumber : Koesnaryo, 2001

Gambar 3.2
Geometri Peledakan

3.2 Proses Pecahnya Batuan Oleh Peledakan

Proses pecahnya batuan oleh adanya peledakan dibagi dalam tiga tahap :

1. Tahap Pertama

Pada saat meledaknya bahan peledak, tekanan tinggi akan menghancurkan batuan disekitar daerah lubang ledak. Gelombang kejut (*shock wave*) merambat dengan kecepatan 3.000 sampai 5.000 meter per detik menyebabkan tangensial stress yang menimbulkan '*radial crack*' yang menjalar dari daerah lubang ledak dan menyebar disekitar lubang ledak.

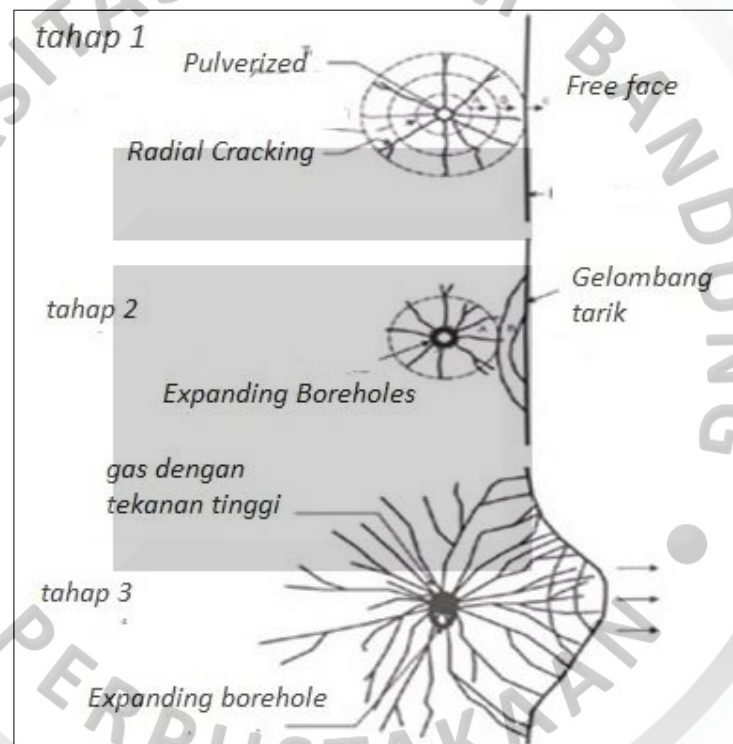
2. Tahap Kedua

Tekanan yang berhubungan dengan terbentuknya gelombang kejut pada tahap pertama sifatnya adalah positif. Jika gelombang kejut mencapai bidang bebas maka akan dipantulkan sebagai gelombang pantul, tetapi dengan demikian tekanan akan turun dengan cepat sampai nilainya negatif sehingga tegangan tarik (*tensile stress*) akan terbentuk. Tegangan tarik ini akan merambat kembali pada batuan dan karena material kurang tahan terhadap tarikan daripada tekanan, *failure crack* utama akan terbentuk akibat dari '*tensile stress*' dari gelombang pantul. Jika *tensile stress* cukup kuat maka akan terbentuk *scabbing* atau *spalling* pada bidang bebas. Gelombang kejut tidak menghancurkan batuan secara langsung, tetapi memberikan kondisi awal untuk proses penghancuran tahap akhir.

3. Tahap Ketiga

Pada tahap akhir ini pengaruh sebenarnya dari batuan adalah suatu aksi yang lamban. Di bawah pengaruh tekanan yang sangat tinggi dari ledakan gas, '*radial crack*' utama diperbesar secara cepat oleh kombinasi dari pengaruh terbentuknya '*tensile stress*' oleh *radial compression* dan pembajian (*pneumatic wedging*) ketika massa batuan pada bagian depan dari lubang

ledak tidak tahan dan bergerak ke depan. *Compression stress* yang tinggi akan melepas batuan seperti pegas kawat spiral yang secara mendadak pengaruh dari pelepasan tersebut akan menghasilkan tegangan tarik (*tensile stress*) yang tinggi dalam massa batuan yang akan melanjutkan proses pecahnya batuan yang diawali sejak tahap kedua. Retakan-retakan kecil dan retakan-retakan awal yang ditimbulkan pada tahap kedua berfungsi sebagai daerah lemah untuk memulai reaksi fragmentasi.



Sumber : Koesnaryo, 2001

Gambar 3.3
Tahap Pecahnya Batuan Oleh Peledakan

3.3 Pola Peledakan

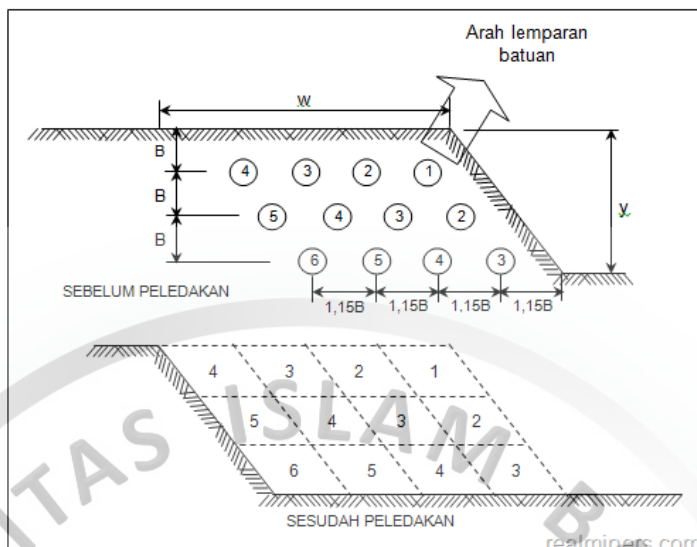
Secara umum pola peledakan menunjukkan urutan waktu tunda ledakan dari sejumlah lubang ledak. Pola kegiatan peledakan komersial biasanya menggunakan beberapa lubang tembak. Disini yang perlu diperhatikan adalah dalam memperkirakan spasi yaitu ada interaksi antara isian (*charge*) yang berdekatan. Bila

masing-masing lubang diledakkan sendiri-sendiri dengan interval waktu yang lama maka tidak akan terjadi interaksi gelombang energi diantara lubang-lubang tembak. Kalau lubang tembak diledakkan serentak maka akan terjadi interaksi sehingga menyebabkan efek yang kompleks yaitu kemungkinan terjadinya ledakan udara yang besart, getaran yang kuat, lemparan batuan dan lainnya. Adanya urutan peledakan berarti terdapat jeda waktu ledakan diantara lubang-lubang ledak tersebut dengan waktu tunda.

Peledakan dengan menggunakan waktu tunda (*detonator delay*) seorang *blaster* dapat membagi ledakan menjadi beberapa bagian yang lebih kecil tiap ledakannya. Fragmentasi yang bagus dapat diperoleh bila saat peledakan dari masing-masing kolom isian ada cukup waktu setelah ada bidang bebas tambahan (sebelum isian bahan peledak yang lain sempat meledak).

1. *Corner cut*

Pola persegi panjang biasanya dibuat dengan sistem penempatan waktu tunda peledakan secara selang seling untuk mendapatkan distribusi bahan peledak dengan baik. Dengan pola ini baris demi baris lebih cocok dengan pola peledakan pojok seperti apa yang digambarkan seperti pada Gambar 3.3 Cara ini juga sering dipakai untuk memotong lapisan penutup dimana lemparan maksimal diperlukan.

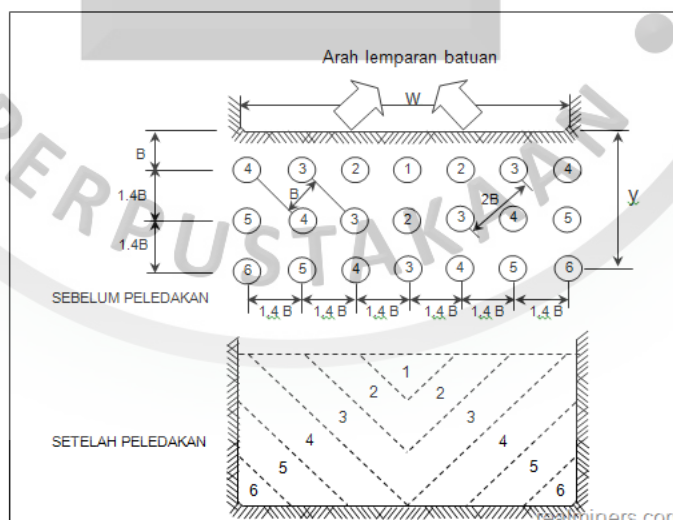


Sumber : koesnaryo,2001

Gambar 3.4
Pola Peledakan Corner Cut

2. V-Cut

Perlu diperhatikan dalam pemilihan kombinasi dari pemboran dan pola peledakan dengan waktu tunda untuk mendapatkan fragmentasi atau arah lemparan yang diinginkan. Pada umumnya maka pada pola pengeboran bujur sangkar digunakan dengan kombinasi V untuk waktu tunda (Gambar 3.5).



Sumber : koesnaryo,2001

Gambar 3.5
Pola Peledakan V Cut

3.4 Waktu Tunda Peledakan

Mengingat area peledakan pada tambang terbuka cukup luas, maka peranan pola peledakan menjadi penting sehingga dalam penentuan urutan peledakan tidak logis. Urutan peledakan yang tidak logis bisa disebabkan oleh

1. Penentuan waktu tunda terlalu dekat atau terlalu panjang.
2. Penentuan urutan ledak yang salah
3. Dimensi geometri peledakan tidak tepat
4. Bahan peledak yang kurang atau tidak sesuai dengan perhitungan.

Terdapat beberapa kemungkinan sebagai acuan dasar penentuan pola peledakan waktu tunda pada tambang terbuka :

1. Peledakan tunda antar baris
2. Peledakan tunda antar beberapa lubang
3. Peledakan tunda antar lubang.

Waktu tunda peledakan bisa diperoleh dari detonator yang dipakai, beberapa keuntungan yang diperoleh dengan menggunakan yang diperoleh dengan waktu tunda pada sistem peledakan :

1. Mengurangi getaran
2. Mengurangi batu terbang (fly rock)
3. Mengurangi kebisingan akibat ledakan udara
4. Mengarahkan fragmentasi batuan
5. Dapat memperbaiki ukuran fragmentasi batuan hasil peledakan.
6. Mengurangi muatan yang meledak secara bersamaan
7. Memberi kesempatan kepada material dekat bidang bebas untuk meledak secara sempurna
8. Menyediakan ruang atau bidang bebas baru bagi lubang tembak berikutnya

Peledakan jenjang terutama dalam peledakan lubang tembak banyak, hal yang paling penting adalah baris dan juga lubang tembak secara individu dari lubang tembak yang sama harus ditunda dengan benar. Fragmentasi yang paling baik dicapai apabila muatan mempunyai waktu yang cukup untuk secara efektif menghancurkan massa batuan sebelum massa berikutnya meledak. Tingkat fragmentasi dan pelemparan dipengaruhi oleh kesediaan bidang bebas. Jika suatu bidang bebas tidak tersedia, peledakan lubang tembak bagian belakang bisa tersembur ke atas dan menghasilkan fragmentasi yang jelek.

Apabila waktu tunda antar baris terlalu singkat, beban pada muatan dalam baris depan masih dalam posisi awalnya ketikan muatan dalam baris belakangnya meledak. Jika jumlah baris cukup banyak, lubang tembak pada baris belakang akan memberikan fragmentasi yang tidak dapat diterima dan pergerakan batuan tidak mampu ke arah depan, karena muatan hanya mampu membongkar ke arah tegak lurus. Tumpukan yang dihasilkan akan menumpuk tinggi, masalah tonjolan dan kesulitan penggaliannya untuk pemuatan akan timbul, disamping itu kemungkinan terjadinya batu terbang (*flyrock*) menjadi cukup besar.

Apabila waktu tunda antar baris terlalu panjang, fungsi penahan dari lubang tembak yang diledakkan terdahulu akan hilang, sehingga pemindahan atau pelemparan batuan akan terlalu besar antar baris dan menambah kemungkinan terjadinya pelemparan.

Waktu tunda antar baris optimum terdapat diantara waktu dimana fragmentasi dan pergerakan batuan baik pada setiap beban. Untuk menghasilkan fragmentasi batuan yang baik dan mengurangi getaran tanah diperlukan jarak waktu penyalaan bahan peledak.

Jarak waktu tunda yang dibutuhkan dalam setiap peledakan untuk mendapatkan fragmentasi yang baik adalah sebagai berikut :

1. Waktu Tunda Antar Lubang Tembak

Waktu tunda antar lubang tembak bertujuan untuk memastikan pengaruh mekanisme retakan lubang pertama tidak diperbesar oleh pengaruh dari lubang kedua.

Untuk menghitung besarnya jarak waktu antar lubang tembak dalam satu baris dapat mempergunakan persamaan di bawah ini,

$$t_h = T_h \times S \dots\dots\dots(3.7)$$

Keterangan :

- t_h = waktu tunda antar lubang, (ms)
- T_h = konstanta waktu tunda antar lubang
- S = Spasi (ft)

Tabel 3.3
Waktu Tunda Antar Lubang Tembak

Tipe Batuan	T_h konstanta (ms/ft)
Pasir lempung, marl, Batubara	1,8 – 2,1
Batugamping, batuan garam, Shales	1,5 – 1,8
Marmer Kompak, Granit, Basalt	1,2 – 1,5
Diabas, Gneiss, dan Magnetit	0,9 – 1,2

Sumber : Sitanggang, 2008

2. Interval tunda antar baris

Untuk menentukan interval tunda antar baris adalah antara 2 ms/ft hingga 6 ms/ft dari ukuran *burden*. Untuk menentukan besar jarak waktu tunda dapat menggunakan persamaan di bawah ini :

$$t_R = T_R \times B \dots\dots\dots(3.8)$$

Keterangan :

- t_R = Waktu tunda antar baris, (ms)
- T_R = Konstanta waktu antar baris
- B = *Burden*, (ft)

Tabel 3.4
Interval Waktu Tunda Antar Baris

Tr Konstanta	Hasil
2	Ledakan udara berlebihan, banyak cekungan
2 - 3	Tumpukan runtuh tinggi, ledakan udara sedang
3 - 4	Tumpukan cukup, ledakan udara cukup, cekungan cukup
4 - 6	Tumpukan berpecah, cekungan minimum
7 - 14	bagus

Sumber : Sitanggang, 2008

3.5 Tingkat Fragmentasi Batuan

Fragmentasi adalah bentuk material hasil peledakan berdasarkan ukuran tertentu. Analogi dengan mekanisme penggerusan, energi diteruskan pada batuan oleh bahan peledak dan terjadi pemantulan gelombang kejut berkali-kali yang melibatkan serangkaian interaksi dalam individual blok. Hal tersebut mengakibatkan blok tersebut pecah menjadi ukuran yang lebih kecil dan terbentuklah permukaan-permukaan baru. Proses ini berlangsung kontinyu selama energi yang tersedia dalam batuan masih mampu untuk memecahkan batuan.

Empat metode pengukuran fragmentasi peledakan (Hustrulid, 1999 : 38-42) adalah sebagai berikut :

1. Pengayakan (*Sieving*)

Metode ini menggunakan ayakan dengan ukuran saringan berbeda untuk mengetahui persentase lolos fragmentasi batuan hasil peledakan.

2. *Boulder Counting (Production Statistic)*

Metode ini mengukur hasil peledakan melalui proses berikutnya, apakah terdapat kendala dalam proses tersebut, misalnya melalui pengamatan '*Digging rate*', '*secondary breakage*' dan produktivitas '*crusher*'.

3. *Image analysis (Photographic)*

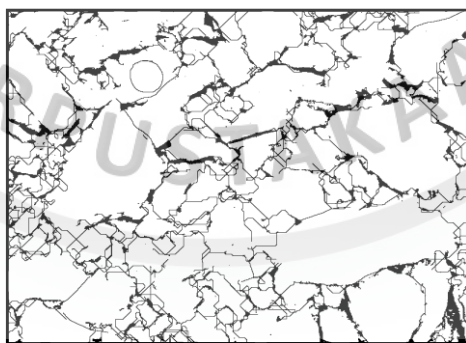
Metode ini menggunakan perangkat lunak (*software*) dalam melakukan analisis fragmentasi. *Software* tersebut antara lain *FragSize*, *Split Engineering*, *gold size*, *power sieve*, *Fragscan*, *WipFrag*, dll.

4. Manual (*Measurement*)

Dilakukan pengamatan dan pengukuran secara manual di lapangan, dalam satuan luas tertentu yang dianggap mewakili (*representatif*).

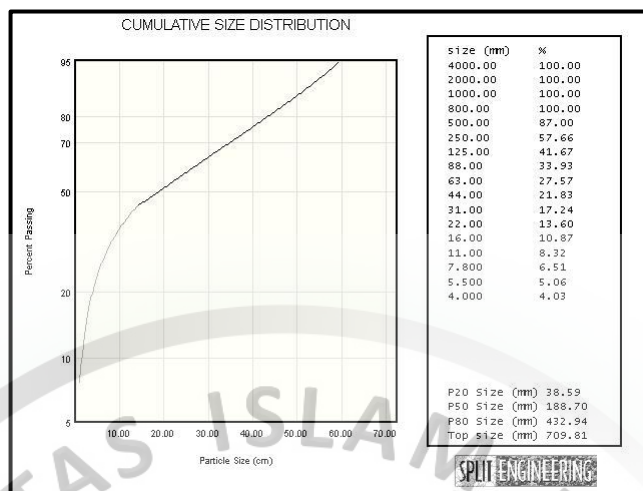
3.5.1 Fragmentasi Batuan Berdasarkan *Split Desktop*

Split Desktop V-2 adalah program computer untuk menganalisa suatu gambar fragmen batuan serta menghitung distribusi ukuran fragmen-fragmen batuan dengan menganalisa suatu gambar yang dapat dibaca dengan bentuk *grayscale*. Langkah perhitungan distribusi ukuran fragmen dengan *split desktop V-2*, secara garis besar terdiri dari penentuan gambar, mencari partikel, memperbaiki hasil pencarian partikel, melakukan perhitungan ukuran dan menampilkan grafik dan hasil. Grafik tersebut akan menampilkan distribusi persentase ukuran pada selang ukuran tersebut, contoh grafik dapat dilihat pada Gambar 3.7



Sumber : *split desktop*

Gambar 3.6
Pencarian Fragmentasi menggunakan *Split Desktop*



Sumber : split desktop

Gambar 3.7
Distribusi Ukuran hasil Split Desktop

3.5.2 Fragmentasi Peledakan Metode Kuz - Ram

Tingkat fragmentasi batuan merupakan tingkat pecahan material dalam ukuran tertentu sebagai hasil dari proses peledakan, untuk menentukan distribusi fragmentasi batuan hasil peledakan secara teori yang paling umum digunakan adalah model Kuz-Ram (Cunningham 1982) , model Kuz-Ram merupakan gabungan dari dua persamaan, yaitu persamaan Kuznetsov untuk menentukan ukuran rata – rata fragmentasi dan persamaan Rossin – Ramler untuk menentukan presentase material yang tertahan pada ukuran ayakan tertentu, persamaan Kuznetsov sebagai berikut:

$$X_m = A \times (Pf)^{-0,8} \times Q_e^{0,1667} \times \left(\frac{E}{115}\right)^{-0,63} \dots\dots\dots(3.9)$$

Keterangan :

X_m = Ukuran rata - rata fragmentasi (cm)

A = Faktor batuan

Q_e = Massa bahan peledak per lubang ledak (kg)

PF = Powder factor (kg/m³)

E = Relative weight strength (RWS) bahan peledak (RWS ANFO =100)

Lilly (1986) memberikan suatu cara penentuan factor batuan yang relative lebih presisi daripada penggolongan factor batuan yang ditentukan dari massa batuan, oleh Lilly (1986) nilai factor batuan didapatkan dari indeks kemampuledakan (*blastability index*) batuan bersangkutan. Persamaan yang memberikan hubungan Antara factor batuan dengan indeks kemampuledakan adalah sebagai berikut :

$$RF = 0,15 \times BI \dots\dots\dots (3.10)$$

Keterangan :

RF = Faktor Batuan

BI = Indeks Kemampuledakan (*blastability index*)

Nilai dari indeks kemampuledakan ditentukan dari bobot nilai lima parameter utama yaitu *Rock Mass Description (RMD)*, *Joint Plane Spacing (JPS)*, *Joint Plane Orientation (JPO)*, *Specific Gravity Influence (SGI)*, dan *Hardness (H)*. hubungan kelima parameter tersebut dengan indeks kemampuledakan tertera dalam persamaan berikut :

$$BI = 0,5 \times (RMD + JPS + JPO + SGI + H) \dots\dots\dots (3.11)$$

Bobot nilai setiap parameter indeks kemampuledakan ditentukan dari tabel yang diberikan Lilly (1986) seperti Tabel 3.5 berikut.

Tabel 3.5
Bobot Nilai Parameter *Blastability Index*

Parameter	Pembobotan
1. Rock Mass Description (RMD)	
• Powdery / Friable	10
• Blockly	20
• Totally massive	50
2. Joint Mass Description (JPS)	
• Close (Spasi < 0,1 m)	10
• Intermediete (Spasi 0,1 – 1 m)	20
• Wide (Spasi > 1 m)	50
3. Joint Plane Orientation	
• Horizontal	10
• Dip out face	20
• Strike normal to face	30
• Dip into face	40
4. Specific Gravity Influence (GSI)	
SGI = 25 x SG – 50	
5. Hardness	1 – 10

Sumber : Lilly, 1986.

Untuk menentukan distribusi fragmentasi batuan hasil peledakan digunakan persamaan Rossin – Ramler, yaitu :

$$R = e^{\left(-\frac{x}{x_c}\right)^n} \dots\dots\dots (3.12)$$

Keterangan :

X_c = karakteristik ukuran (cm)

X = ukuran ayakan (cm)

N = indeks keseragaman

R merupakan persentase material yang tertahan pada ayakan, sedangkan untuk persamaan karakteristik ukuran (X_c) pada persamaan berikut :

$$X_c = \frac{X_m}{0,693^n} \dots\dots\dots (3.13)$$

Indeks keseragaman menentukan kemungkinan keseragaman fragmentasi, jika nilai n semakin kecil maka fragmentasi yang dihasilkan tidak terkontrol, dimana distribusi fragmentasi tidak merata atau dominan pada salah satu ukuran saja, persamaan indeks keseragaman sebagai berikut :

$$n = \left(2,2 - \frac{14 \times B}{d}\right) \times \sqrt{\frac{1+S}{B}} \times \left(1 - \frac{W}{B}\right) \times \left(\frac{|L_b - L_c|}{L_{tot}} + 0,1\right)^{0,1} \times \frac{L}{H} \dots\dots\dots (3.14)$$

Keterangan :

B = *Burden* (m)

d = diameter lubang ledak (mm)

S = *Spacing* (m)

W = Standar deviasi keakuratan lubang bor

L_b = *Bottom Charge Length* (m)

L_c = *Column charge length* (m)

L = *Charge Length* (m)

H = *Bench Height* (m)

3.6 *Digging Time Excavator*

Excavator adalah alat gali - muat untuk pemindahan tanah, alat ini sesuai untuk dipergunakan pada material penutup , baik lapisan tipis ataupun tebal, terutama yang berupa tanah atau lempung, pasir maupun serpih yang lunak, excavator merupakan salah satu alat gali – muat yang memiliki siklus.

Siklus pada excavator terdiri dari waktu yang dibutuhkan untuk memindahkan material ke alat angkut dalam sekali pemuatan, siklus tersebut terdiri dari waktu gali (*digging time*), waktu *swing* isi, waktu dumping, waktu *swing* kosong. Faktor yang mempengaruhi siklus tersebut ialah karakteristik material, tipe alat gali – muat, dan kemampuan operator, siklus waktu (*cycle time*) excavator ini akan berpengaruh pada tingkat produksi yang dimilikinya

Salah satu waktu yang dipengaruhi oleh kondisi material ialah *digging time*, *digging time* didefinisikan sebagai waktu yang dibutuhkan oleh alat gali – muat dari saat *bucket* kontak ke batuan sampai *bucket* terisi dan posisi mulai terangkat. Pengaruh kondisi material terhadap alat gali – muat ialah tahanan gali (*digging resistance*), merupakan tahanan yang dialami oleh alat gali pada waktu melakukan penggalian material baik itu tanah maupun batuan penutup. Tahanan ini disebabkan oleh :

1. Gesekan antara alat gali dan material. Pada umumnya semakin besar kekasaran dan kelembapan butiran material maka semakin besar pula gesekan yang terjadi.
2. Kekasaran material umumnya bersifat menahan masuknya alat gali saat menembus material.
3. Kekasaran dan ukuran butir tanah
4. Adhesi dan kohesi (Tarik menarik antar butir) antara material dengan alat gali.

5. Berat jenis, hal ini sangat berpengaruh terutama pada alat gali yang berfungsi sebagai alat muat.

Produktivitas alat gali – muat dipengaruhi salah satunya oleh cycle time alat itu sendiri, produktivitas merupakan kemampuan suatu alat untuk melakukan produksi dalam satuan waktu dan perunit, Untuk menghitung produktivitas alat gali – muat dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut :

$$P_m = \frac{(E_m \times 60 \times H_m \times FF \times SF)}{C_{Tm}} \dots\dots\dots(3.15)$$

Keterangan :

P_m = Produktivitas alat gali-muat (BCM/jam/unit)

E_m = Efisiensi kerja alat gali-muat (%)

H_m = Kapasitas *bucket* teoritis alat muat (LCM)

FF = *Fill factor* alat gali-muat (%)

SF = *Swell factor* alat gali-muat (%)

C_{Tm} = Waktu edar alat gali-muat (menit)