

**SKRIPSI**

**ANALISIS PENGGUNAAN METODE *DOUBLE DECK PRIMER*  
PADA PEMBONGKARAN *OVERBURDEN* DI BLOK KANANAI  
PT MADHANI TALATAH NUSANTARA**

**Disusun dan diajukan oleh**

**FIKRI**

**D111171008**



**PROGRAM STUDI TEKNIK PERTAMBANGAN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2022**

**LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI**

**ANALISIS PENGGUNAAN METODE *DOUBLE DECK PRIMER* PADA  
PEMBONGKARAN *OVERBURDEN* DI BLOK KANANAI  
PT MADHANI TALATAH NUSANTARA**

**Disusun dan diajukan oleh**

**FIKRI**

**D111171008**

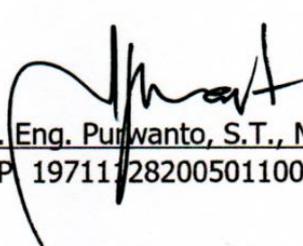
Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 13 Juni 2022

dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan.

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,

  
Dr. Eng. Purwanto, S.T., M.T.  
NIP. 197111282005011002

  
Nirmana Figra Qaidahiyani, S.T., M.T.  
NIP. 199304222019032018

Ketua Program Studi,



  
Dr. Eng. Purwanto, S.T., M.T.  
NIP. 197111282005011002

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Fikri  
NIM : D111171008  
Program Studi : Teknik Pertambangan  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

*Analisis Penggunaan Metode Double Deck Primer pada Pembongkaran  
Overburden di Blok Kananai PT Madhani Talatah Nusantara*

adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa Skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan Skripsi ini hasil karya orang lain maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 13 Juni 2022

Yang menyatakan  
  
Fikri

## ABSTRAK

PT Madhani Talatah Nusantara merupakan perusahaan kontraktor pertambangan yang bergerak pada pembongkaran atau pengupasan lapisan tanah penutup pada proses penambangan batubara. Pembongkaran lapisan batuan penutup pada Blok Kananai menggunakan metode peledakan. Material hasil peledakan menghasilkan fragmentasi yang berukuran >50 cm sebesar 34,24% dikarenakan kondisi batuan memiliki nilai kekuatan batuan berbeda-beda di setiap lapisan batuan. Tindakan teknis yang sedang dicobakan salah satunya adalah penerapan peledakan teknik *double deck primer* yang berbeda dari *single deck primer* dalam hal geometri peledakan, di mana *single deck primer* memiliki satu kolom isian bahan peledak sedangkan *double deck primer* memiliki dua kolom isian bahan peledak dalam satu lubang ledak. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis persentase fragmentasi hasil peledakan, menganalisis tingkat keberhasilan kegiatan peledakan teknik *double deck primer*, dan memberikan rekomendasi nilai *powder factor* yang tepat digunakan dalam metode *double deck primer* dengan menggunakan metode analisis Kuz-Ram dan perangkat lunak *Split desktop 2.0*. Hasil penelitian sebanyak 5 kali peledakan diperoleh fragmentasi lolos ayakan ukuran 50 cm menggunakan metode Kuz-Ram sebanyak 80,33% dengan *boulder* sebesar 19,67%, dengan menggunakan metode perangkat lunak *Split Desktop 2.0*, diperoleh 92,97% dengan *boulder* sebesar 7,03%. Fragmentasi hasil peledakan dengan *double deck primer* lebih baik daripada hasil peledakan *single deck primer*. Jumlah *boulder* rata-rata ukuran >50cm pada peledakan teknik *double deck primer* sebesar 7,03%, sedangkan jumlah *boulder* rata-rata pada peledakan teknik *single deck primer* sebesar 34,24%. Hasil fragmentasi peledakan yang dihasilkan tersebut telah memenuhi target yang diharapkan oleh perusahaan sehingga didapatkan rekomendasi nilai optimal *powder factor* yaitu 0,18 kg/BCM.

**Kata kunci:** peledakan, *double deck primer*, fragmentasi, *powder factor*

## **ABSTRACT**

*PT Madhani Talatah Nusantara is a mining contractor company engaged in clearing or stripping overburden in the coal mining process. Excavation of the overburden layer in the Kananai Block using the blasting method. The material resulting from the blasting method obtained in fragmentation measuring >50 cm by 34.24% because the rock conditions had different strength values in each rock. One of the technical actions being tested is the application of a primary double deck blasting technique which is different from the primary single deck in terms of blasting geometry, where the primary single deck has one explosive charge column the primary double deck has two explosive charge columns in one blast hole. The purpose of this study is to analyze the percentage of fragmentation resulting from blasting, analyze the success rate of the primary double deck blasting technique, and provide recommendations for the appropriate powder factor value used in the primary double deck method using the Kuz-Ram analysis method and Split Desktop 2.0 software. The results of the study for 5 blasting operation obtained fragmentation passing through a 50 cm sieve using the Kuz-Ram method as much as 80.33% with a boulder of 19.67%, using the Split Desktop 2.0 software method, obtained 92.97% with a boulder of 7.03%. The fragmentation of the blasting with a primary double deck is better than that of a single deck primary blasting method. The average number of boulder sizes >50cm in primary double deck blasting is 7.03%, while the average number of boulders in primary single deck technique blasting is 34.24%. The obtaining blast fragmentation results meet the target expected by the company so that the recommendation for the optimal powder factor value is 0.18 kg/BCM.*

**Keyword:** *blasting, double deck primer, fragmentation, powder factor.*

## KATA PENGANTAR

*Assalamualaikum warahmatullahi wabarakatuh.*

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala nikmat, rahmat serta hidayahNya sehingga skripsi dengan judul "analisis penggunaan metode *double deck primer* pada pembongkaran *overburden* di Blok Kananai PT Madhani Talatah Nusantara" dapat terselesaikan. Skripsi ini merupakan syarat terakhir yang harus ditempuh untuk menyelesaikan pendidikan pada jenjang Strata Satu (S1) pada Departemen Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin, Kota Makassar.

Dalam kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada Bapak Azhar Abdul Rasyid, S.T, selaku pembimbing penelitian yang dilakukan di PT Madhani Talatah Nusantara, seluruh karyawan PT Madhani Talatah Nusantara pada setiap departemen yang telah banyak membantu dan memberikan dukungan dalam melakukan penelitian ini.

Terima kasih kepada Bapak Dr. Eng. Purwanto, S.T, M.T selaku pembimbing utama dan Ibu Nirmana Fiqra Qaidahiyani, S.T., M.T., selaku pembimbing pendamping yang senantiasa meluangkan waktu, mengarahkan, membimbing, memberi masukan, serta semangat dalam proses penyusunan skripsi. Terima kasih kepada Ibu Dr. Aryanti Virtanti Anas, S.T., M.T. dan Bapak Dr. Eng. Ir. Muhammad Ramli, M.T. selaku dosen penguji yang telah memberikan kritikan serta masukan dalam penyusunan laporan ini. Terima kasih kepada bapak/ibu dosen Departemen Teknik Pertambangan, Universitas Hasanuddin yang telah mengajar dan memberikan materi selama perkuliahan. Terima kasih kepada staf administrasi Departemen Teknik Pertambangan, Universitas Hasanuddin yang telah membantu penulis dalam pengurusan administrasi selama pelaksanaan penelitian ini.

Ucapan terima kasih yang tak kalah besarnya kepada saudara-saudari *Continuity* Teknik Pertambangan Unhas angkatan 2017, teman-teman anggota Laboratorium Riset Geomekanika, kanda-kanda serta adik-adik yang selama ini telah bersama-sama melewati suka, duka, canda dan tawa yang memberikan warna tersendiri di bangku perkuliahan. Ucapan terima kasih penulis ucapkan khusus kepada Bapak Yusri dan Ibu Harmia selaku orang tua penulis yang senantiasa mendoakan dan memotivasi penulis dalam menyelesaikan penelitian ini.

Terakhir, penulis hendak menyapa setiap nama yang tidak dapat penulis cantumkan satu per satu, terima kasih atas doa yang senantiasa mengalir tanpa sepengetahuan penulis. Terima kasih sebanyak-banyaknya kepada orang-orang yang turut bersuka cita atas keberhasilan penulis menyelesaikan skripsi ini. *Alhamdulillah*.

Semoga skripsi ini berguna dan bermanfaat bagi penulis maupun para pembaca pada umumnya.

Makassar, Juni 2022

Fikri

## DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK .....	iv
<i>ABSTRACT</i> .....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	x
DAFTAR TABEL .....	xii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Manfaat Penelitian .....	3
1.5 Tahapan Kegiatan Penelitian .....	3
BAB II PELEDAKAN, <i>DOUBLE DECK PRIMER</i> , DAN FRAGMENTASI .....	6
2.1 Metode Peledakan .....	6
2.2 Mekanisme Pecahnya Batuan Akibat Peledakan .....	6
2.3 Pola Pengeboran .....	8
2.4 Pola Peledakan .....	10
2.5 Geometri Peledakan .....	11
2.6 Bahan Peledak .....	17
2.7 Pengisian Lubang Ledak .....	22
2.8 Fragmentasi .....	24
2.9 Analisis Regresi Linear Sederhana .....	33
BAB III METODE PENELITIAN .....	35

3.1	Kondisi Lokasi Penelitian .....	35
3.2	Pengambilan Data .....	36
3.3	Pengolahan dan Analisis Data .....	40
3.4	Diagram Alir Penelitian .....	47
BAB IV	ANALISIS PENGGUNAAN METODE <i>DOUBLE DECK PRIMER</i> PADA PEMBONGKARAN <i>OVERBURDEN</i> .....	49
4.1	Karakteristik Batuan .....	49
4.2	Geometri Peledakan .....	50
4.3	Karakteristik Bahan Peledak .....	54
4.4	Perhitungan <i>Blastability Index dan Rock Factor</i> .....	54
4.5	Perhitungan Indeks Keseragaman .....	56
4.6	Perhitungan Fragmentasi .....	58
4.7	Analisis Fragmentasi .....	69
4.8	Analisis <i>Powder Factor</i> .....	72
4.9	Kelebihan Penggunaan Metode <i>Double Deck Primer</i> .....	75
BAB V	PENUTUP .....	76
5.1	Kesimpulan .....	76
5.2	Saran .....	76
DAFTAR	PUSTAKA .....	77
LAMPIRAN	.....	79

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Proses pecahnya batuan akibat peledakan (Torbica and Lapcevic, 2014)....	8
2.2 Pola Pengeboran (Ash, 1990).....	9
2.3 Pola peledakan berdasarkan sistem inisiasi (Hustrulid, 1999) .....	10
2.4 Geometri Peledakan Jenjang (Konya, 1995) .....	12
2.5 Geometri peledakan <i>single deck primer</i> (Ipmawati dkk , 2018).....	22
2.6 Pengisian <i>top priming</i> (Ipmawati dkk, 2018).....	23
2.7 Pengisian <i>bottom priming</i> (Ipmawati dkk, 2018).....	23
2.8 Geometri Peledakan <i>double deck primer</i> (Ipmawati dkk, 2018) .....	24
3.1 Kondisi lokasi penelitian .....	36
3.2 Rancangan geometri <i>single deck primer</i> .....	38
3.3 Proses <i>scaling tool</i> pada obyek bola.....	42
3.4 Menu <i>Scale image</i> .....	43
3.5 Tampilan menu <i>find particels</i> .....	44
3.6 Delinasi otomatis pada fragmentasi batuan oleh <i>perangkat lunak</i> .....	44
3.7 Tampilan hasil <i>edting binary images</i> .....	45
3.8 Tampilan menu calculate size disribution.....	46
3.9 Grafik comulative size distribution .....	47
3.10 <i>Flow Chart</i> Penelitian .....	48
4.1 Rancangan geometri <i>double deck primer</i> .....	50
4.2 Fragmentasi Metode Kuz-Ram.....	62
4.3 Fragmentasi hasil peledakan pertama tanggal 15 Januari 2021.....	63
4.4 Distribusi fragmentasi hasil peledakan pertama dengan <i>Split Desktop</i> .....	64
4.5 Fragmentasi hasil peledakan kedua tanggal 20 Januari 2021.....	64

4.6 Distribusi fragmentasi hasil peledakan kedua dengan <i>Split Desktop</i> .....	65
4.7 Fragmentasi hasil peledakan ketiga tanggal 26 Januari 2021.....	65
4.8 Distribusi fragmentasi hasil peledakan ketiga dengan <i>Split Desktop</i> .....	66
4.9 Fragmentasi hasil peledakan keempat tanggal 03 Februari 2021.....	66
4.10 Distribusi fragmentasi hasil peledakan keempat dengan <i>Split Desktop</i> ....	67
4.11 Fragmentasi hasil peledakan kelima tanggal 09 Februari 2021.....	67
4.12 Distribusi fragmentasi hasil peledakan kelima dengan <i>Split Desktop</i> .....	68
4.13 Rata-rata distribusi fragmentasi.....	69
4.14 Grafik perbandingan fragmentasi hasil peledakan.....	70
4.15 Grafik hubungan <i>powder factor</i> dengan fragmentasi hasil peledakan.....	73
4.16 Grafik analisis linear hubungan <i>powder factor</i> dengan fragmentasi hasil peledakan .....	74

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1 Penentuan Spasi Geometri Peledakan (Konya, 1995).....	13
2.2 Potensi yang Terjadi Akibat Variasi <i>Stiffness Ratio</i> (Konya, 1995) .....	16
2.3 <i>Powder Factor</i> peledakan beberapa jenis batuan (Bandhari, 1997) .....	21
2.4 Pembobotan Masa Batuan untuk Peledakan (Lily, 1986) .....	29
2.5 Tingkat keeratan hubungan dua variabel berdasarkan nilai koefisien korelasi (Sunyoto, 2012).....	34
4.1 Nilai karakteristik batuan di lokasi penelitian.....	49
4.2 Geometri rancangan peledakan <i>double deck primer</i> .....	51
4.3 Geometri aktual peledakan pertama .....	51
4.4 Geometri aktual peledakan kedua.....	52
4.5 Geometri aktual peledakan ketiga.....	52
4.6 Geometri aktual peledakan keempat.....	53
4.7 Geometri aktual peledakan kelima .....	53
4.8 Karakteristik bahan peledak .....	54
4.9 Hasil pembobotan batuan di lokasi penelitian .....	55
4.10 Nilai <i>blastability index</i> dan <i>rock factor</i> .....	56
4.11 Nilai indeks keseragaman .....	57
4.12 Ukuran Rata-rata Hasil Peledakan.....	59
4.13 Karakteristik ukuran .....	61
4.14 Persentase distribusi fragmentasi .....	61
4.15 Persentase rata-rata fragmentasi.....	68
4.16 Perbandingan fragmentasi .....	69
4.17 Perbandingan <i>powder factor</i> .....	72

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

PT Madhani Talatah Nusantara merupakan perusahaan kontraktor pertambangan yang bergerak pada pembongkaran atau pengupasan lapisan tanah penutup pada proses penambangan batubara. Pengupasan tanah penutup dilakukan dengan dua cara yaitu dengan menggunakan alat mekanis dan peledakan. Pengupasan tanah penutup dengan menggunakan alat mekanis hanya dilakukan pada material lunak sedangkan pengupasan dengan cara peledakan dilakukan jika alat mekanis tidak dapat mengupas material penutup dalam kondisi yang sebenarnya (*bank*)/material keras.

Lapisan tanah penutup pada Blok Kananai terdiri dari pada batuan sedimen seperti, batuan lempung, batuan lempung pasiran dan batuan pasir. Berdasarkan sifat mekanis batuan pada Blok Kananai memiliki nilai kuat tekan batuan (*Uniaxial Compressive Strength*) 1–25 MPa sehingga digolongkan sebagai batuan sedang-lunak (Selby, 1993). Rekomendasi metode pembongkaran batuan dengan nilai UCS 1–25 MPa, sebaiknya dilakukan dengan metode *ripping*. Namun pembongkaran lapisan batuan penutup pada Blok Kananai menggunakan metode peledakan, hal tersebut dilakukan dengan tujuan meningkatkan produksi dimana aktivitas penggalian tanah penutup menggunakan alat gali.

Salah satu indikator keberhasilan dari peledakan adalah fragmentasi. Terdapat beberapa cara yang bisa dilakukan untuk memprediksi ukuran fragmentasi dari hasil peledakan yang dilakukan seperti perhitungan fragmentasi model Kuz-Ram, metode pengukuran langsung, analisis gambar tumpukan material dengan *split* desktop, dan lain lain (Bamford *et al.*, 2021). Dengan adanya upaya untuk mengetahui ukuran fragmentasi

batuan hasil peledakan, maka kegiatan peledakan selanjutnya dapat dilakukan dengan baik.

Berdasarkan data yang didapatkan dari perusahaan fragmentasi hasil peledakan yang berukuran >50 cm sebesar 34,24%, dikarenakan kondisi batuan memiliki nilai kekuatan batuan berbeda-beda disetiap lapisan batuan sehingga mengakibatkan *digging time* alat gali mengalami fluktuasi yang mempengaruhi produktivitasnya.

Tindakan teknis yang sedang dicobakan pada peledakan batuan yang memiliki nilai kekuatan batuan yang berbeda-beda, salah satunya adalah penerapan peledakan teknik *double deck primer*, di mana *double deck primer* adalah metode pengisian bahan peledak (*charging*) kedalam lubang ledak dengan susunan dua kolom atau dua tingkat bahan peledak yang dipisahkan oleh material *stemming* antar kedua bahan peledak tersebut. Pada metode *double deck primer*, susunan bahan peledak pada setiap lubang ledak yaitu detonator dengan ikatan *Booster*, ANFO, *stemming* dalam, detonator dengan *booster* lagi, ANFO lagi, dan *stemming* luar (Ipmawati dkk, 2018).

Berdasarkan tinjauan di atas, dibutuhkan analisis mengenai penerapan peledakan metode *double deck primer* di PT Madhani Talatah Nusantara. Analisis ini memperhitungkan geometri *double deck primer*, fragmentasi hasil peledakan, *powder factor* hasil peledakan, dan potensi penghematan yang dilakukan oleh perusahaan.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Penerapan metode *single deck primer* menghasilkan fragmentasi yang buruk sehingga mengakibatkan waktu gali alat gali muat mengalami fluktuasi. *Double deck primer* merupakan salah satu metode yang dilakukan oleh *Drill and Blast Department* untuk mengurangi persentase bongkah hasil fragmentasi peledakan tanpa menaikkan standar nilai *powder factor* yang diterapkan perusahaan. Oleh karena itu, rumusan masalah yang dikaji dalam penelitian ini adalah.

1. Fragmentasi yang dihasilkan pada aktivitas peledakan tidak sesuai dengan standar yang ditetapkan perusahaan.
2. Penggunaan metode *single deck primer* tidak cocok digunakan dalam aktivitas peledakan yang memiliki nilai kekuatan batuan yang berbeda-beda.
3. Nilai *powder factor* yang digunakan sesuai dengan standar dari perusahaan sehingga tidak mengakibatkan kenaikan *cost*.

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Berdasarkan rumusan masalah penelitian yang ada, penelitian ini terdiri atas beberapa tujuan penelitian berupa.

1. Menganalisis persentase fragmentasi hasil peledakan menggunakan metode *double deck primer*.
2. Menganalisis tingkat keberhasilan kegiatan peledakan teknik *double deck primer* dibandingkan dengan teknik *single deck primer*.
3. Memberikan rekomendasi nilai *powder factor* yang tepat digunakan dalam metode *double deck primer*.

### **1.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah memberikan rekomendasi penggunaan *double deck primer* sehingga didapatkan fragmentasi hasil peledakan yang sesuai dengan standar perusahaan.

### **1.5 Tahapan Kegiatan Penelitian**

Penelitian dilakukan dalam beberapa tahapan yaitu: studi literatur, perumusan masalah, pengambilan data, pengolahan dan analisis data serta penyusunan skripsi.

1. Studi literatur

Studi literatur bertujuan untuk mencari bahan-bahan yang berhubungan dengan penelitian, di antaranya adalah yang berhubungan dengan permasalahan peledakan. Studi literatur ini dilakukan dengan mempelajari beberapa buku, diktat kuliah, jurnal penelitian, dan media lainnya.

2. Perumusan masalah

Perumusan masalah bertujuan untuk menentukan masalah-masalah yang akan dibahas atau dikaji pada penelitian. Oleh karena itu, rumusan masalah yang dikaji dalam penelitian ini adalah bagaimana menganalisis fragmentasi batuan hasil peledakan menggunakan metode *double deck primer*.

4. Pengambilan data

Data penelitian dapat terbagi atas data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh langsung sebagai hasil dari pengamatan lapangan dan analisis menggunakan perangkat pembantu. Adapun data primer penelitian ini terdiri dari geometri peledakan yaitu burden, spasi, kedalaman lubang ledak, panjang isian, panjang *stemming*, isian *double deck*, fragmentasi peledakan berdasarkan pengamatan foto, dan penggunaan bahan peledak, baik untuk peledakan *single deck primer* maupun peledakan *double deck*. Data sekunder merupakan data yang tidak langsung diambil di lapangan, berasal dari dokumen dan arsip yang telah ada sebelumnya yang terdiri atas data bor geoteknik, *blast report*, dan disiapkan oleh perusahaan atau sumber lainnya berupa *blast map*, *inventory blasting map*, peta topografi, geologi, serta data lithologi.

5. Pengolahan dan analisis data

Pengolahan Kegiatan pengolahan data dilakukan untuk menghitung dan mengkaji data-data yang ada untuk kemudian dapat dianalisis. Analisis data dilakukan untuk menyelesaikan masalah dan menarik kesimpulan dari

permasalahan yang ada. Metode analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode Kuz-Ram dan *image analysis (Split Desktop)*.

6. Penyusunan Laporan Tugas Akhir

Penyusunan tugas akhir dilakukan sesuai dengan kaidah penulisan yang tertera pada Buku Pedoman Tugas Akhir Mahasiswa Prodi Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin. Tugas akhir yang telah rampung dipresentasikan dalam seminar hasil.

## **BAB II**

### **PELEDAKAN, *DOUBLE DECK PRIMER*, DAN FRAGMENTASI**

#### **2.1 Metode Peledakan**

Metode peledakan yaitu suatu metode pemberaian batuan dari batuan induk dengan menggunakan bahan peledak. Menurut kamus pertambangan umum, bahan peledak adalah senyawa kimia yang dapat bereaksi dengan cepat apabila diberikan suatu perlakuan sehingga menghasilkan sejumlah gas bersuhu dan bertekanan tinggi dalam waktu yang sangat singkat (Bamford *et al.*, 2021).

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

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 faktor*).
3. Diperoleh fragmentasi batuan berukuran merata dengan sedikit bongkah (kurang dari 15% dari jumlah batuan yang terbongkar per peledakan).
4. Diperoleh dinding batuan yang stabil dan rata (tidak ada *overbreak*, *overhang*, retakan–retakan).
5. Dampak terhadap lingkungan (*fly rock*, getaran, kebisingan, gas beracun, debu) minimal.

#### **2.2 Mekanisme Pecahnya Batuan Akibat Peledakan**

Suatu batuan yang pecah akibat dari bahan peledak akan mengalami beberapa tingkat dalam prosesnya, dimana proses tersebut dibagi menjadi 3 tingkat, yaitu (Torbica and Lapcevic, 2014):

a. Proses pemecahan tahap I

Ketika bahan peledak yang berada di dalam lubang ledak meledak, maka akan menimbulkan tekanan yang tinggi di sekitar lubang ledak. Gelombang kejut yang dihasilkan dari peledakan tersebut akan merambat dengan kecepatan 3000–5000 m/s, sehingga akan mengakibatkan tegangan yang memiliki arah tegak lurus dengan dinding lubang ledak. Dari tegangan tersebut maka akan menimbulkan rekahan radial yang merambat di sekitar lubang tembak. Rekah menjari pertama terjadi dalam waktu 1–2 ms.

b. Proses pemecahan tahap II

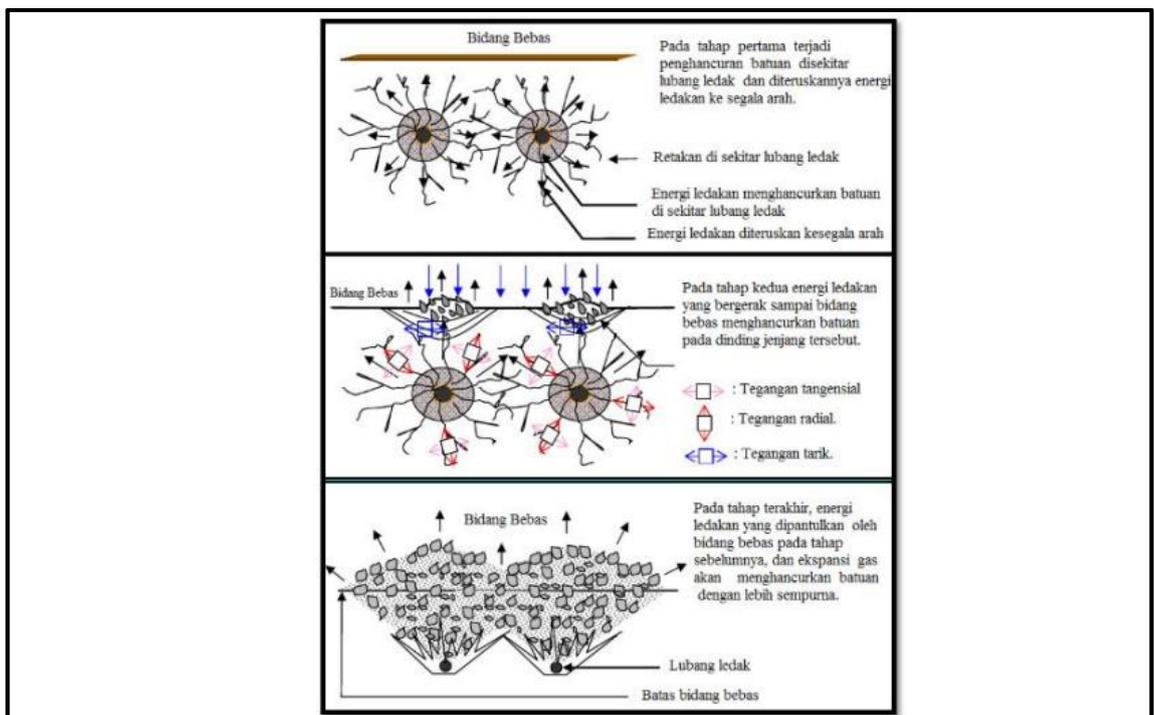
Tekanan sehubungan dengan gelombang kejut yang meningkatkan lubang ledak pada proses pemecahan tingkat I adalah positif. Apabila mencapai bidang bebas akan dipantulkan, tekanan akan turun dengan cepat, kemudian berubah menjadi negatif dan timbul gelombang tarik. Gelombang tarik ini merambat kembali di dalam batuan. Oleh karena batuan lebih kecil ketahanannya terhadap tarikan daripada tekanan, maka akan terjadi rekahan-rekahan primer disebabkan karena tegangan tarik dari gelombang yang dipantulkan. Apabila regangan cukup kuat akan menyebabkan *slambling* atau *spalling* pada bidang bebas. Dalam proses pemecahan tingkat I dan tingkat II fungsi dari gelombang kejut adalah menyiapkan batuan dengan sejumlah rekahan-rekahan kecil. Secara teoritis energi gelombang kejut jumlahnya antara 5%–15% dari energi total bahan peledak. Gelombang kejut menyediakan kesiapan dasar untuk proses pemecahan tingkat akhir.

c. Proses pemecahan tahap III

Dibawah pengaruh tekanan yang sangat tinggi dari gas-gas hasil peledakan maka rekahan *radial primer* (tingkat III) akan di perlebar secara cepat oleh kombinasi efek dari tegangan tarik disebabkan kompresi radial dan pembajian (*pneumatic wedging*). Apabila massa batuan di depan lubang ledak gagal dalam mempertahankan posisinya

bergerak ke depan maka tegangan tekanan tinggi yang berada dalam batuan akan dilepaskan (*unloaded*) seperti spiral kawat yang di tekan kemudian di lepaskan. Efek dari terlepasnya batuan (*unloading*) adalah menyebabkan tegangan tarik tinggi dalam massa batuan yang akan melanjutkan pemecahan hasil yang telah terjadi pada proses pemecahan tingkat II. Retakan hasil dalam pemecahan tingkat II menyebabkan bidang-bidang lemah untuk memulai reaksi-reaksi fragmentasi utama pada proses peledakan.

Proses pembersihan batuan dari beberapa tingkatan dapat dilihat pada Gambar 2.1.



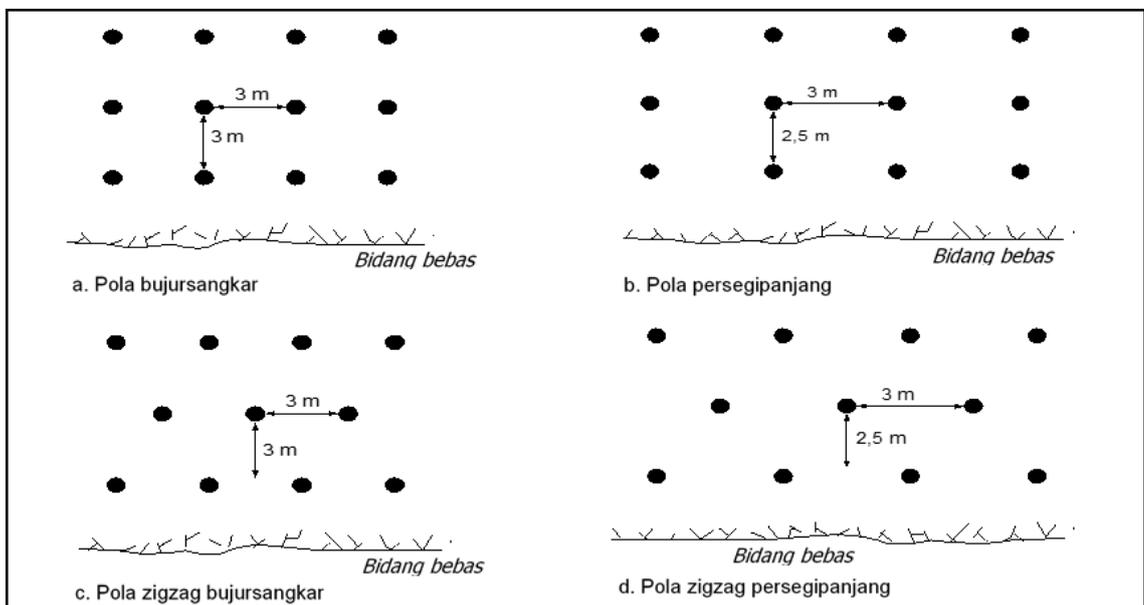
Gambar 2. 1 Proses pecahnya batuan akibat peledakan (Torbica and Lapcevic, 2014)

### 2.3 Pola Pengeboran

Pengeboran adalah kegiatan yang dilakukan dalam operasi peledakan yang bertujuan dalam membuat sejumlah lubang ledak yang akan diisi dengan bahan peledak. Suatu keberhasilan pada peledakan sangat dipengaruhi oleh kegiatan Pengeboran.

Geometri pengeboran dan pola pengeboran dirancang secara terpadu dalam rancangan peledakan. Geometri pengeboran meliputi diameter lubang bor, kedalaman lubang tembak, kemiringan lubang tembak, tinggi jenjang, dan juga pola pengeboran. Penambangan suatu bahan galian yang keras dan kompak, pemberaiannya dilakukan dengan cara pengeboran dan peledakan. Keberhasilan salah satunya terletak pada ketersediaan bidang bebas (*free face*) yang mencukupi (Xiao *et al.*, 2019)

Kegiatan pengeboran lubang ledak merupakan suatu hal yang sangat penting diperhatikan sebelum kegiatan pengisian bahan peledak. Kegiatan pengeboran lubang ledak dilakukan dengan menempatkan lubang-lubang ledak secara sistematis sehingga membentuk suatu pola. Gambar 2.2 menunjukkan pola pengeboran untuk kegiatan peledakan.



Gambar 2.2 Pola Pengeboran (Ash, 1990)

Berdasarkan letak lubang bor, maka pola Pengeboran dibagi menjadi dua pola dasar yaitu (Frianto dkk, 2014):

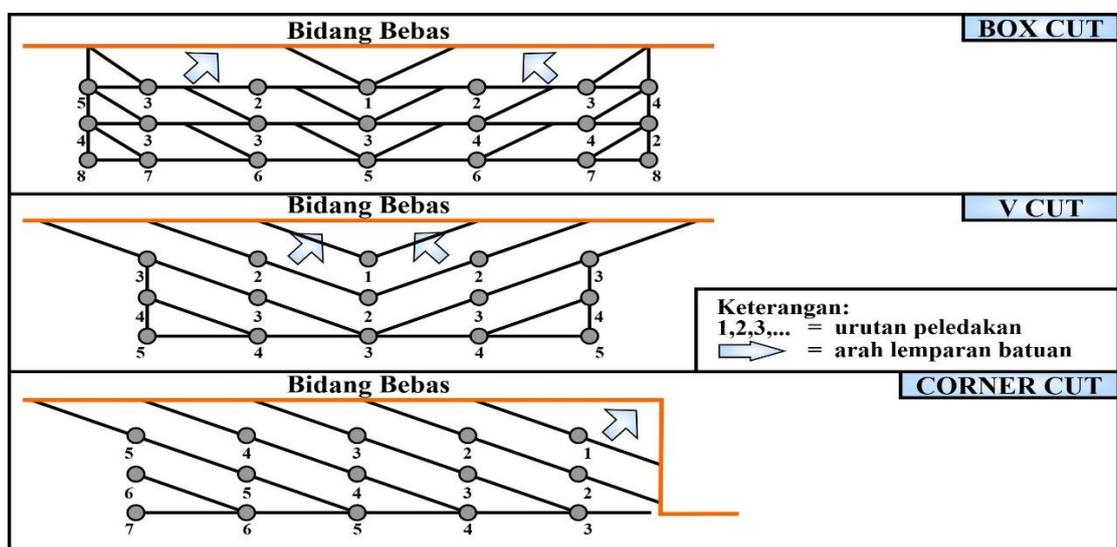
1. Pola Pengeboran sejajar (*parallel pattern*), terdiri dari dua macam, yaitu:
  - a. Pola bujur sangkar (*square pattern*), yaitu jarak burden dan spasi yang sama.

- b. Pola persegi panjang (*rectangular pattern*), yaitu jarak spasi dalam satu baris lebih besar dibandingkan dengan burden.
2. Pola Pengeboran selang seling (*staggered pattern*), adalah pola Pengeboran yang lubang ledaknya ditempatkan secara selang seling pada setiap kolom. Pada pola ini distribusi energi peledakan antar lubang akan lebih merata daripada pola bukan *staggered*.

## 2.4 Pola Peledakan

Pola peledakan merupakan urutan waktu peledakan antara lubang–lubang bor dalam satu baris dengan lubang bor pada baris berikutnya ataupun antara lubang bor yang satu dengan lubang bor yang lainnya. Pola peledakan ini ditentukan berdasarkan urutan waktu peledakan serta arah runtuh material yang diharapkan. Urutan waktu peledakan juga sangat memengaruhi arah dan ukuran material yang terledakkan.

Umumnya jika menggunakan masa tenggang urutan waktu (*delay*) batuan yang terledakkan memiliki distribusi ukuran fragmen yang lebih beragam atau dapat dikatakan persentase *boulder* lebih kecil. Beberapa contoh pola peledakan berdasarkan sistem inisiasi dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Pola peledakan berdasarkan sistem inisiasi (Hustrulid, 1999)

Berdasarkan arah runtuh batuan, pola peledakan diklasifikasikan sebagai berikut (Hustrulid, 1999).

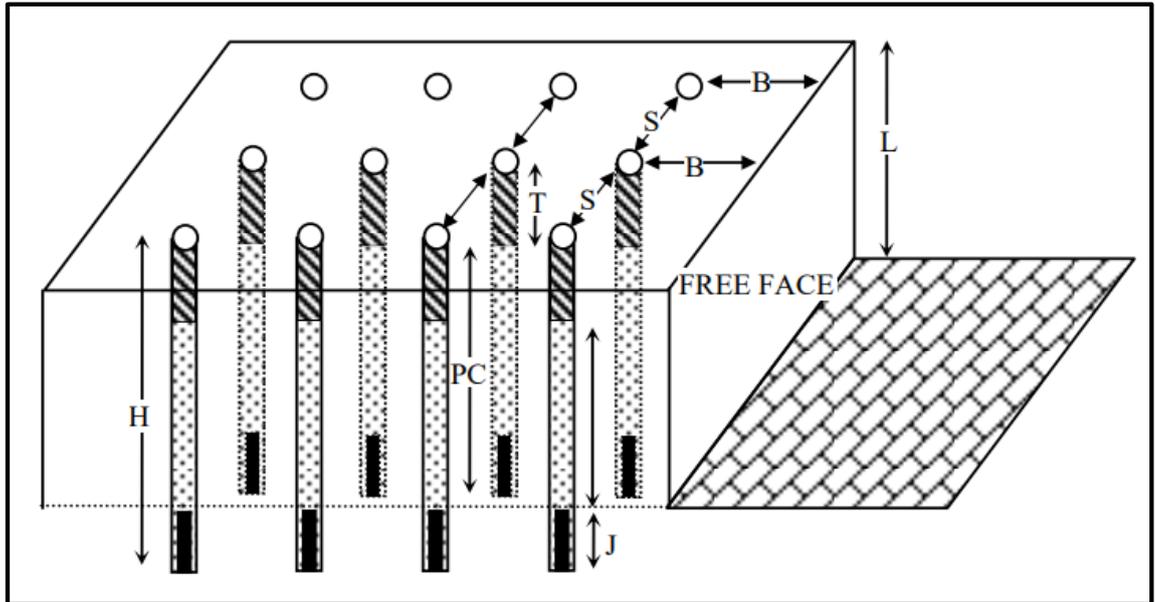
1. *Box cut*, yaitu pola peledakan yang arah runtuh batuan ke depan dan membentuk kotak.
2. *Echelon cut*, yaitu pola peledakan yang arah runtuh batuan ke salah satu sudut dari bidang bebasnya.
3. *V-cut*, yaitu pola peledakan yang arah runtuh batuan ke depan dan membentuk huruf V.

Secara umum pola peledakan menunjukkan urutan atau sekuensial ledakan dari sejumlah lubang ledak. Adanya urutan peledakan berarti terdapat jeda waktu ledakan di antara lubang-lubang ledak yang disebut dengan waktu tunda atau *delay time*. Beberapa keuntungan yang diperoleh dengan menerapkan waktu tunda pada sistem peledakan antara lain adalah:

1. mengurangi getaran;
2. mengurangi *overbreak* dan batu terbang (*flyrock*);
3. mengurangi getaran dan suara;
4. dapat mengarahkan lemparan fragmentasi batuan; dan
5. dapat memperbaiki ukuran fragmentasi batuan hasil peledakan.

## **2.5 Geometri Peledakan**

Perencanaan peledakan diperlukan untuk memperoleh hasil pembongkaran batuan sesuai yang diinginkan. Hal utama yang perlu diperhatikan adalah besaran-besaran geometri peledakan karena keberhasilan dari suatu proses peledakan ditentukan dari perencanaan geometri peledakan yang baik. Gambar 2.4 menunjukkan geometri peledakan menurut (Konya, 1995).



Gambar 2.4 Geometri Peledakan Jenjang (Konya, 1995)

Terminologi dan simbol yang digunakan pada geometri peledakan seperti terlihat pada Gambar 2.4 yang artinya sebagai berikut:

- B = *burden*
- L = kedalaman kolom lubang ledak
- S = spasi
- T = *stemming*
- H = tinggi jenjang
- PC = isian utama
- J = *subdrilling*

Berikut merupakan penjelasan mengenai geometri peledakan (Konya, 1995).

### 2.5.1 *Burden* (B)

*Burden* yaitu jarak tegak lurus terpendek antara muatan bahan peledak dengan bidang bebas yang terdekat atau ke arah mana pelepasan batuan akan terjadi. Apabila *burden* terlalu kecil, hasil bongkaran terlalu hancur dan tergeser dari dinding jenjang serta kemungkinan terjadinya *flyrock* sangat besar, sedangkan apabila *burden* terlalu besar, fragmentasi yang dihasilkan kurang baik (gelombang tekan yang mencapai bidang

bebas menghasilkan gelombang tarik yang sangat lemah di bawah kuat tarik batuan). Besarnya *burden* tergantung dari karakteristik batuan, karakteristik bahan peledak, dan diameter lubang ledak. Ukuran *burden* dapat diperoleh menggunakan Persamaan 2.1

$$B = 3,15 \times d_e \times \sqrt[3]{\left(\frac{\rho_e}{\rho_r}\right)} \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan:

B = *burden* (ft),

$d_e$  = diameter bahan peledak (inci),

$\rho_e$  = berat jenis bahan peledak,

$\rho_r$  = berat jenis batuan

### 2.5.2 Spacing (S)

Spasi adalah jarak di antara lubang ledak dalam satu garis yang sejajar dengan bidang bebas. Jarak spasi yang terlalu besar menyebabkan fragmentasi tidak baik dan dinding akhir yang ditinggalkan relatif tidak rata. Jarak spasi terlalu kecil menyebabkan tekanan sekitar *stemming* yang lebih besar dan mengakibatkan gas hasil ledakan dihamburkan ke atmosfer diikuti dengan suara bising dan *flyrock* (Konya & Walter, 1990).

Tabel 2.1 Penentuan Spasi Geometri Peledakan (Konya, 1995)

Sistem Penyalaan	H/B < 4	H/B > 4
Serentak	$S = \frac{H + 2B}{3}$	S = 2B
Tunda	$S = \frac{H + 7B}{8}$	S = 1,4 B

### 2.5.3 Stemming (T)

*Stemming* disebut juga *collar*. *Stemming* berfungsi untuk mengurung gas yang timbul dan mendapatkan *stress balance*, maka ukuran *stemming* sama dengan ukuran

*burden* (Zhang *et al.*, 2021). Ukuran *stemming* untuk batuan masif dapat diperoleh menggunakan Persamaan 2.2.

$$T = B \dots\dots\dots(2.2)$$

Ukuran *stemming* batuan berlapis dapat diperoleh menggunakan Persamaan 2.3.

$$T = 0,7B \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan:

B = *burden* (ft),

T = *stemming* (ft),

#### 2.5.4 Kedalaman Lubang Ledak (L)

Kedalaman lubang ledak merupakan kedalaman lubang yang akan diledakkan yang merupakan penjumlahan antara tinggi jenjang dengan *subdrilling*. Kedalaman lubang ledak yang dibuat tidak boleh lebih kecil dari *burden* karena bertujuan untuk menghindari terjadinya *overbreak*. Kedalaman lubang ledak dapat ditentukan berdasarkan geometri peledakan atau dapat juga disesuaikan dengan ketinggian jenjang yang ada. Penentuan kedalaman lubang ledak biasanya disesuaikan dengan tingkat produksi (kapasitas alat gali muat) dan pertimbangan geoteknik (Konya & Walter, 1990).

#### 2.5.5 Panjang Kolom Isian (PC)

Panjang kolom isian adalah panjang kolom pada lubang ledak yang akan diisi bahan peledak. Persamaan untuk menghitung panjang kolom isian (*powder coloum*) adalah sebagai berikut:

$$PC = H - T \dots\dots\dots(2.4)$$

di mana:

PC = Panjang kolom isian (m)

H = Kedalaman lubang ledak (m)

T = *Stemming* (m)

### 2.5.6 *Subdrilling* (J)

*Subdrilling* merupakan tambahan kedalaman dari lubang bor di bawah rencana lantai jenjang. *Subdrilling* berfungsi supaya batuan dapat meledak secara *full face* sebagaimana yang diharapkan. Lantai yang tidak rata disebabkan oleh tonjolan-tonjolan yang terjadi setelah dilakukan peledakan akan menyulitkan waktu pemuatan dan pengangkutan. Tingginya *subdrilling* tergantung dari struktur dan jenis batuan dan arah lubang bor. ukuran *subdrilling* dapat diperoleh menggunakan Persamaan 2.4.

$$J = 0,3 B \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan:

B = *burden* (ft),

J = *subdrilling* (ft),

### 2.5.7 Penentuan Diameter Lubang dan Tinggi Jenjang

Penentuan diameter lubang dan tinggi jenjang mempertimbangkan beberapa aspek, yaitu efek ukuran lubang ledak terhadap fragmentasi, *airblast*, *flyrock*, dan getaran tanah, serta biaya pengeboran.

Dalam menyusun perencanaan geometri lubang ledak untuk proses peledakan, tinggi jenjang (H) dan *burden* (B) sangat erat hubungannya. Rasio perbandingan antara tinggi jenjang dengan *burden* H/B (*stiffness ratio*) yang bervariasi memberikan respon berbeda yang ditimbulkan setiap proses peledakan. Fragmentasi distribusi ukuran material yang dihasilkan, *airblast*, *flyrock*, getaran tanah yang besaran dan dampak yang akan ditimbulkan harus sesuai dengan standar aman yang telah ditetapkan dari pemerintah. Hal tersebut haruslah menjadi perhatian penting karena memiliki potensi seperti terlihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Potensi yang Terjadi Akibat Variasi *Stiffness Ratio* (Konya, 1995)

<i>Stiffness Ratio</i>	Fragmentasi	Ledakan udara	Batu terbang	Getaran tanah	Komentar
1	Buruk	Besar	Banyak	Besar	Banyak muncul <i>back-break</i> di bagian <i>toe</i> . Jangan dilakukan dan rancang ulang
2	Sedang	Sedang	Sedang	Sedang	Bila memungkinkan, rancang ulang
3	Baik	Kecil	Sedikit	Kecil	Kontrol dan fragmentasi baik
4	Memuaskan	Sangat kecil	Sangat sedikit	Sangat kecil	Tidak akan menambah keuntung-an bila <i>stiffness ratio</i> di atas 4

Adanya dampak yang akan muncul memungkinkan untuk dilakukan evaluasi secara bertahap pada proses peledakan yang dilakukan. Penentuan diameter lubang ledak untuk proses peledakan dapat ditentukan secara sederhana dengan menerapkan aturan lima (*rule of five*), yaitu menentukan ketinggian jenjang lima kali dari diameter lubang ledaknya.

1. Tinggi Jenjang (L)

Secara spesifik tinggi jenjang maksimum ditentukan oleh peralatan lubang bor dan alat muat yang tersedia. Tinggi jenjang berpengaruh terhadap hasil peledakan seperti fragmentasi batuan, *airblast* (ledakan udara), *flyrock* (batu terbang), *ground vibration* (getaran tanah). Persamaan untuk menentukan ukuran tinggi jenjang adalah sebagai berikut (Konya, 1995):

$$L = H-J \dots\dots\dots (2.6)$$

di mana:

L = Tinggi jenjang (ft)

H = Kedalaman lubang ledak (ft)

J = *Subdrilling* (ft)

## 2.6 Bahan Peledak

Bahan peledak adalah suatu bahan kimia yang berupa senyawa tunggal atau campurannya yang berbentuk padat atau cair, apabila dikenai suatu aksi panas, benturan, gesekan atau ledakan awal dapat bereaksi dengan kecepatan tinggi dan berubah menjadi bahan yang lebih stabil yang sebagian atau seluruhnya berbentuk gas dan disertai dengan panas dan tekanan yang sangat tinggi (Dick *et al.*, 1995).

### 2.6.1 Karakteristik Bahan Peledak

Bahan peledak merupakan salah satu komponen penting dalam kegiatan peledakan. Pada kegiatan peledakan ada beberapa karakteristik bahan peledak yang perlu untuk diperhatikan seperti kekuatan, kecepatan detonasi, kepekaan, bobot isi, tekanan detonasi, sifat gas beracun, dan ketahanan bahan peledak terhadap air (Kabwe, 2019).

#### a. Kekuatan

Sifat kekuatan merupakan ukuran yang digunakan untuk mengukur energi yang terkandung pada bahan peledak dan kerja yang dapat dilakukan oleh bahan peledak. Tes yang digunakan untuk mengukur kekuatan adalah *Ballistic Mortar Test*. Pada umumnya semakin besar bobot isi dan kecepatan detonasi suatu bahan peledak maka kekuatannya juga akan semakin besar. Kekuatan bahan peledak dapat dinyatakan dalam beberapa jenis seperti berikut:

1. Kekuatan berat absolut (*absolute weight strength atau AWS*), yaitu energi panas maksimum bahan peledak teoritis didasarkan pada campuran bahan kimianya.

2. Kekuatan berat relatif (*relative weight strength* atau *RWS*), yaitu kekuatan bahan peledak (dalam berat) dibandingkan dengan ANFO.

b. Kecepatan detonasi

Kecepatan detonasi merupakan kecepatan gelombang detonasi yang melalui bahan peledak yang dinyatakan dalam meter per detik atau *feet* per detik. Ada beberapa faktor yang memengaruhi kecepatan detonasi yaitu bobot isi bahan peledak, diameter bahan peledak, derajat pengurangan, ukuran partikel dari bahan penyusunnya, bahan-bahan yang terdapat dalam bahan peledak.

Ukuran butir yang semakin kecil memungkinkan terjadinya kontak permukaan antar partikel semakin besar sehingga dapat meningkatkan kecepatan reaksi.

c. Kepekaan (*sensitivity*)

Kepekaan adalah ukuran besarnya sifat peka bahan peledak untuk mulai bereaksi dan menyebarkan reaksi peledakan ke seluruh kolom isian bahan peledak. Kepekaan dipengaruhi oleh ukuran butir dari kristal-kristalnya, kerapatan bahan peledak, pengaruh air dan temperatur.

Penyerapan air dan terlapisnya kristal-kristal oleh zat lilin cenderung mengurangi kepekaan, sedangkan peningkatan temperatur dapat meningkatkan kepekaan. Jika diameter bahan peledak cukup besar, maka perambatan reaksinya akan lebih mudah karena permukaan bahan peledak lebih luas. Tingkat kerapatan yang tinggi cenderung akan memusatkan tenaga reaksinya mengarah di sepanjang kolom isian dan menghindari penyebaran tenaga reaksi.

d. Bobot isi bahan peledak

Sifat ini merupakan salah satu sifat terpenting bahan peledak yang dinyatakan dalam satuan  $\text{gr/cm}^3$ . Umumnya bahan peledak yang mempunyai bobot isi tinggi akan menghasilkan kecepatan detonasi dan tekanan yang tinggi.

e. Tekanan detonasi

Tekanan detonasi adalah penyebaran tekanan gelombang ledak dalam kolom isian bahan peledak yang dinyatakan dalam kilobar (kb). Tekanan detonasi bahan peledak komersial umumnya antara 5–150 kb.

f. Ketahanan terhadap air

Ketahanan terhadap air merupakan kemampuan bahan peledak untuk menahan rembesan air dalam waktu tertentu dan masih dapat diledakkan dengan baik. Ketahanan ini dinyatakan dalam satuan jam. Untuk sebagian besar jenis bahan peledak, adanya air dalam lubang ledak dapat mengakibatkan penambahan unsur H dan O sehingga memerlukan panas yang lebih banyak untuk menguapkannya menjadi uap air. Disamping itu air dapat melarutkan sebagian kandungan bahan peledak sehingga menyebabkan bahan peledak rusak.

2.6.2 Pengisian Bahan Peledak

Ukuran fragmentasi sebagai salah satu parameter keberhasilan sebuah kegiatan peledakan sangat bergantung pada jumlah bahan peledak yang digunakan. Parameter yang perlu diperhatikan dalam pengisian bahan peledak yaitu (Konya & Walter, 1990):

1. *Loading Density* ( $d_e$ )

*Loading density* (densitas pengisian) adalah jumlah pemakaian bahan peledak dalam satu meter yang dinyatakan dalam kg/m. *Loading density* dihitung untuk mengetahui banyaknya bahan peledak yang digunakan dalam satu lubang ledak.

*Loading density* dapat dihitung dengan persamaan (Nobel, 2011):

$$d_e = 0,000785 \times S_{Ge} \times (D_e)^2 \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana:

$D_e$  = *Loading density* (kg/m)

$S_{Ge}$  = Berat jenis bahan peledak (g/cm<sup>3</sup>)

$D_e$  = Diameter lubang ledak (mm)

2. Jumlah Pemakaian Bahan Peledak (E)

Banyaknya bahan peledak yang akan digunakan dapat dicari dengan menggunakan persamaan (Nobel, 2011):

$$E = PC \times de \times n \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana:

E = Jumlah pemakaian bahan peledak (kg)

PC = Panjang kolom isian bahan peledak (m)

de = *Loading density* (kg/m)

n = Jumlah lubang ledak

### 3. *Volume* Peledakan (V)

Volume peledakan merupakan volume material yang akan diledakkan dalam suatu perencanaan peledakan. Persamaan untuk menghitung volume peledakan adalah sebagai berikut (Nobel, 2011):

$$V = B \times S \times L \times n \dots\dots\dots (2.9)$$

di mana:

V = Volume peledakan (m<sup>3</sup>)

B = *Burden* (m)

S = *Spacing* (m)

L = Tinggi jenjang (m)

n = Jumlah lubang ledak

### 4. *Powder factor* (PF)

*Powder factor* (PF) adalah bilangan yang menyatakan jumlah bahan peledak yang digunakan untuk meledakkan sejumlah batuan (Tabel 2.3). Dua cara untuk menyatakan PF dari suatu peledakan adalah sebagai berikut (Frianto dkk, 2014):

1. Berat bahan peledak per volume batuan yang diledakkan (kg/m<sup>3</sup>)
2. Berat bahan peledak per berat batuan yang diledakkan (kg/ton)

Persamaan untuk menghitung *powder factor* adalah sebagai berikut:

$$PF = \frac{E}{V} \dots\dots\dots (2.10)$$

Dimana:

PF = *Powder factor* (kg/m<sup>3</sup>)

E = Jumlah pemakaian bahan peledak (kg)

V = Volume peledakan (m<sup>3</sup>)

Nilai *powder factor* biasanya sudah ditetapkan oleh perusahaan. Umumnya jika berpegang pada aspek teknis hasil dari perhitungan matematis akan diperoleh nilai *powder factor* yang besar yang menurut penilaian secara ekonomi masih dapat dihemat. Pengalaman di beberapa tambang terbuka, nilai *powder factor* (PF) yang ekonomis berkisar antara 0,20–0,30 kg/m<sup>3</sup> (Nobel, 2011).

Tabel 2.3 *Powder Factor* peledakan beberapa jenis batuan (Bandhari, 1997)

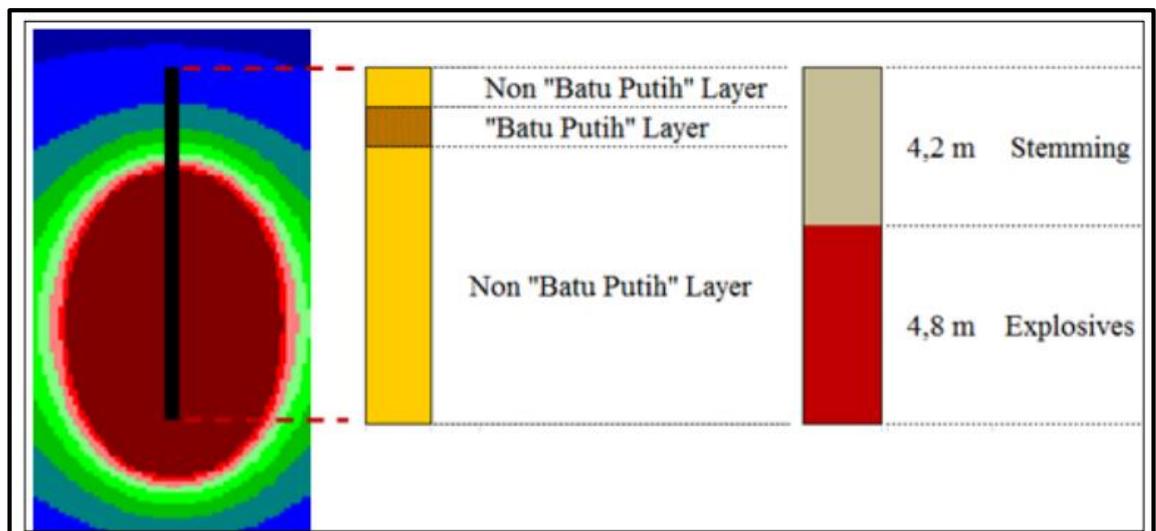
No	Batuan	PF–kg/m <sup>3</sup>
1	<i>Fast soft clay, morainic clay, slate clay</i>	0,35 – 0,50
2	<i>Marl, brown coal, gypsum, tuff, pumice stone, anthracite, soft limestone, diatomite</i>	0,35 – 0,55
3	<i>Clayey sandstone, conglomerate, hard clay shale, marly limestone, anhydrite, micaceous shale</i>	0,45 – 0,60
4	<i>Granite, gneisses, synites, limestone, sand stone, siderite, magnesite, dolomite, marble</i>	0,60 – 0,70
5	<i>Coarse-grained granite, serpentine, audisite and basalt, weathered gneiss, trachyte</i>	0,70 – 0,75
6	<i>Hard gneiss, porphyryte, granite-gneiss, diorite, quartz</i>	0,85
7	<i>Andesite, basalt, hornfels, hard diabase, diorite, gabbro</i>	0,90

## 2.7 Pengisian Lubang Ledak

Ada beberapa cara pengisian bahan peledak kedalam lubang ledak yaitu *single deck primer* (*top priming* dan *bottom priming*) dan *double deck primer*.

### 2.7.1 Single Deck Primer

*Single deck primer* adalah metode pengisian bahan peledak (*charging*) kedalam lubang ledak dengan susunan berupa ikatan detonator dengan booster (*primer*), ANFO selanjutnya diisi dengan *cutting* bor di sekitar lubang ledak yang disebut dengan *stemming*. Gambar 2.5 menunjukkan geometri peledakan *single deck primer*.

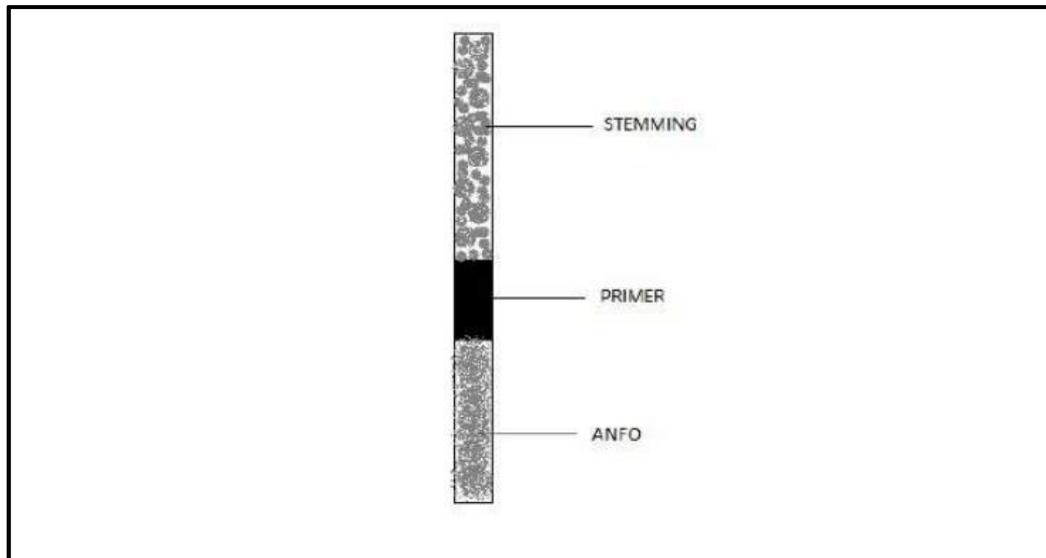


Gambar 2.5 Geometri peledakan *single deck primer* (Ipmawati dkk , 2018)

Hal yang perlu diperhatikan dalam pengisian lubang lubang ledak dengan metode *single deck primer* yaitu letak primernya. Terdapat dua cara meletakkan *primer*, yaitu *bottom priming*, dan *collar* atau *top priming*, yang diuraikan sebagai berikut:

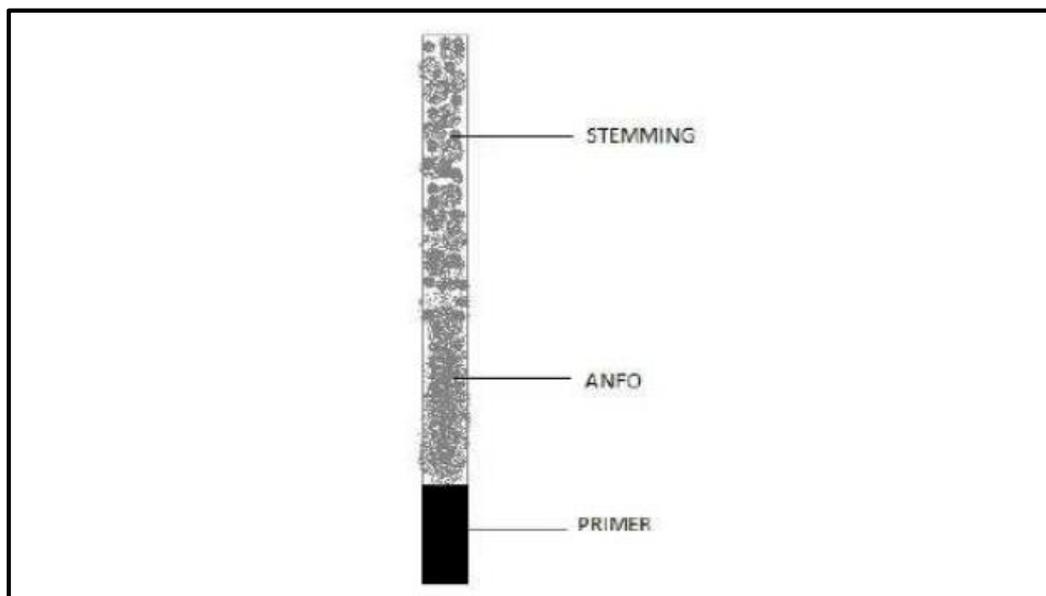
1. *Top priming* merupakan cara pengisian bahan peledak dimana *primer* ditempatkan pada bagian atas dari bahan peledak. Diawali dengan memasukkan bahan peledak utama sampai sekitar 30–50 cm dari batas isian utama. Setelah itu memasukkan *primer*, dilanjutkan isian utama sampai batas yang

direncanakan, kemudian diakhiri dengan memuat penyumbat. Pengisian *top priming* dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Pengisian *top priming* (Ipmawati dkk, 2018)

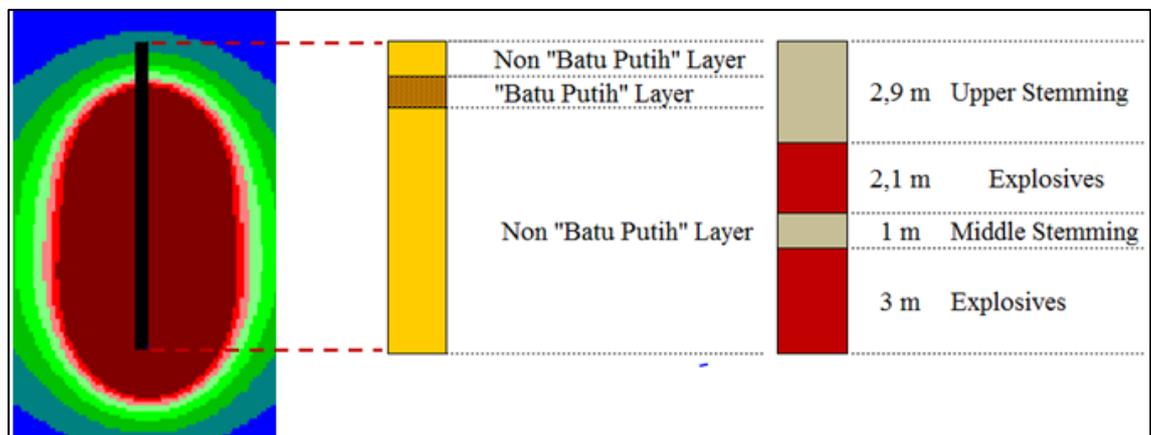
2. *Bottom priming* merupakan cara pengisian bahan peledak dimana *primer* ditempatkan pada bagian bawah dari kolom pengisian. Urutan pengisian dimulai dari memasukkan bahan peledak sepanjang sekitar 50 cm, dilanjutkan dengan *primer*, kemudian isian utama, dan diakhir dengan penyumbat (*stemming*). Pengisian *bottom priming* dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Pengisian *bottom priming* (Ipmawati dkk, 2018)

### 2.7.2 Double Deck Primer

*Double deck primer* adalah metode pengisian bahan peledak (*charging*) kedalam lubang ledak dengan susunan dua kolom atau dua tingkat bahan peledak yang dipisahkan oleh material (*stemming*) antar kedua bahan peledak tersebut. Pada metode *Double deck primer*, susunan bahan peledak pada setiap lubang ledak yaitu detonator dengan ikatan *power gel (primer)*, ANFO, *stemming* dalam, Detonator dengan *Booster (primer)* lagi, ANFO lagi, dan *stemming* luar. Penggunaan *double deck primer* didasarkan pada prinsip tumbukan gelombang kejut. Ketika dua gelombang kejut bertemu dengan gelombang kejut yang lain, tekanan akhir lebih besar dari jumlah dua tekanan awal. (Zhang, 2014). Gambar 2.8 menunjukkan geometri peledakan *double deck primer*.



Gambar 2.8 Geometri Peledakan *double deck primer* (Ipmawati dkk, 2018)

## 2.8 Fragmentasi

Suatu metode pembongkaran batuan dapat dilakukan dengan cara peledakan berdasarkan pendekatan dari pengukuran sifat karakteristik massa batuan sebagai acuan diberlakukannya metode pembongkaran batuan dengan metode tersebut. Hasil akhir dari peledakan batuan adalah fragmentasi.

Fragmentasi adalah istilah yang digunakan sebagai petunjuk ukuran setiap bongkah batuan setelah peledakan. Keberhasilan suatu proses peledakan dapat

dilakukan dengan menganalisis distribusi ukuran fragmentasi bongkah batuan. Fragmentasi yang optimal berkaitan dengan peningkatan produktivitas, berkurangnya tingkat keausan alat muat, dan berkurangnya perbaikan alat mesin pengolahan di pabrik. Di samping itu, untuk memperoleh fragmen hasil peledakan yang optimal juga memerlukan biaya dalam pengeboran dan peledakan yang lebih tinggi dibandingkan dengan pembongkaran batuan dalam bentuk bongkah-bongkah.

Tingkat ukuran fragmentasi diukur berdasarkan batuan hasil pembongkaran yang akan di tambang. Hal tersebut berkaitan dengan tingkat keekonomian baik dalam penggunaan alat angkut serta perawatan yang digunakan dalam mengangkut material hasil peledakan. Hal tersebut berkaitan dengan seberapa berhasilnya proses peledakan yang dilakukan sehingga mendapatkan ukuran fragmentasi dengan perencanaan peledakan baik berdasarkan geometri lubang ledak, hingga bahan peledak yang akan digunakan (Aubertin *et al*, 2021). Adapun faktor-faktor yang memengaruhi fragmentasi adalah karakteristik batuan, kelurusan lubang ledak, properti bahan peledak, pemuatan lubang ledak, spesifikasi isian, sistem pembakaran (Nainggolan dkk, 2018).

#### 2.8.1 Metode Pengukuran Fragmentasi

Metode pengukuran fragmentasi hasil peledakan dapat dilakukan dengan berbagai cara meliputi (Bamford *et al.*, 2021):

1. Metode Perhitungan *Boulder*

Hasil pembongkaran batuan terkadang menghasilkan *oversize* atau *boulder* yang tidak menguntungkan dalam proses produksi selanjutnya terutama mempengaruhi spesifikasi alat muat yang digunakan dan khususnya alat-alat peremuk. Selain itu, semakin banyak *boulder* yang terbentuk akan membuat penambahan biaya perbaikan alat-alat produksi yang digunakan seperti alat-alat peremuk dan risiko kecelakaan dalam proses pemuatan hingga proses

pengangkutan menuju ke area pengolahan untuk melalui tahapan proses pengolahan lebih lanjut.

Metode ini mengukur hasil peledakan melalui proses berikutnya, apakah terdapat kendala dalam proses tersebut, misalnya melalui pengamatan yang dapat dilakukan dengan pemantauan alat muat dan angkut dengan mengamati *digging rate*, *secondary breakage*, dan produktivitas *crusher*.

## 2. Pemantauan Alat Muat dan Ekskavator

Pengawasan dan pengamatan secara bertahap terhadap alat muat dan *excavator* ini akan menentukan indeks penggalian (*dig ability index*) sebagai perhitungan fragmentasi batuan yang terbongkar.

## 3. Analisis Fotografi

Menganalisis tumpukan material hasil pembongkaran batuan dapat dengan menggunakan foto yang sudah didigitasi dan disimpan di dalam komputer. Digitasi foto merupakan proses dalam komputer dengan menggunakan bantuan perangkat lunak *split-dekstop* untuk menganalisis ukuran fragmen dari tumpukan material hasil pembongkaran batuan. Data foto yang diambil haruslah mewakili material yang akan diukur ukuran fragmennya. Perangkat lunak tersebut antara lain *Fragsize*, *Split Engineering*, *gold size*, *power sieve*, *fragscan*, dan *wipfrag*.

### 2.8.2 Perhitungan Kuz-Ram

Suatu perencanaan peledakan pada dasarnya juga memperhatikan letak dan posisi serta keadaan bidang diskontinu. Hal ini juga akan menentukan seberapa optimal fragmentasi yang akan terbentuk sebagai hasil dari proses peledakan. Sebagai prinsip umum pembongkaran batuan yang lebih efektif dicapai dengan menempatkan lubang ledak pada blok padatan yang dibatasi oleh bidang diskontinu daripada mencoba untuk mentransfer energi peledakan ke area yang akan diledakkan.

Optimalisasi ukuran fragmentasi dari proses peledakan memang menjadi perhatian utama dari keberhasilan proses peledakan tersebut terhadap biaya produksi. Hal tersebut dapat dilakukan dengan meningkatkan jumlah dan kualitas bahan peledak yang digunakan dengan meningkatkan densitas dan komposisi bahan peledakan yang akan diledakkan. Untuk memperkirakan fragmentasi dari hasil peledakan dapat digunakan rumusan yang dikemukakan oleh Kuznetsov (1973):

$$\bar{X} = A \left( \frac{V_0}{Q} \right)^{0,8} \times Q^{1/6} \dots\dots\dots (2.11)$$

Keterangan:

$\bar{X}$  = ukuran rata-rata fragmentasi batuan, cm

A = faktor batuan, 7 untuk batuan menengah

10 untuk batuan keras dan banyak kekar

13 untuk batuan sangat keras dan sedikit kekar

$V_0$  = volume batuan yang terbongkar, m<sup>3</sup>

Q = berat bahan peledak tiap lubang ledak, kilogram

E = *relative weight strength* (TNT = 115)

Jika menentukan massa TNT dengan RWS TNT = 115, maka:

$$Q = \frac{Q_e \times E}{115} \dots\dots\dots (2.12)$$

Kuznetsov (1973) melakukan pengembangan modifikasi persamaan dengan menggunakan ketetapan angka yang memasukkan bahan peledak ANFO kedalam persamaan yang baru sehingga persamaan menjadi:

$$\bar{X} = A \times \left( \frac{V_0}{Q_e} \right)^{0,8} \times Q_e^{1/6} \times \left( \frac{E}{115} \right)^{-19/30} \dots\dots\dots (2.13)$$

Keterangan:

$\bar{X}$  = ukuran rata-rata fragmentasi batuan, cm

A = *Rock Factor* (RF), dihitung dengan menggunakan *Blastability Index*.

$V_0$  = volume batuan yang terbongkar, m<sup>3</sup>

$Q_e$  = berat bahan peledak tiap lubang ledak, kg

$E$  = *relative weight strength* (ANFO = 100; TNT = 115)

Modifikasi persamaan model Kuz-Ram dengan faktor koreksi berkisar 0,06 sampai dengan 0,073 yang termasuk dalam prediksi material pembongkaran dari perhitungan fragmentasi yang dilakukan pada proses peledakan.

Persamaan yang digunakan untuk memprediksi seberapa kemungkinan ukuran fragmen rata-rata yang akan di hasilkan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\bar{X} = [(0,06 \text{ to } 0,073) \times BI] \times \left(\frac{V_o}{Q_e}\right)^{0,8} \times Q_e^{1/6} \times \left(\frac{E}{115}\right)^{-19/30} \dots\dots\dots (2.14)$$

Keterangan:

$\bar{X}$  = ukuran rara-rata fragmentasi batuan, (cm)

$V_o$  = volume batuan yang terbongkar, (m<sup>3</sup>)

$Q_e$  = berat bahan peledak tiap lubang ledak, (kg)

$E$  = *relative weight strength* (ANFO=100; TNT=115)

Salah satu data masukan untuk model Kuz-Ram adalah faktor batuan yang diperoleh dari indeks kemampuledakkan. Indeks kemampuledakan atau sering dikatakan dengan *Blastability Index*. Nilai BI ditentukan dari penjumlahan bobot lima parameter yang diberikan oleh Lily (dalam Hustrulid, 1999), yaitu:

1. *Rock mass description* (RMD),
2. *Joint plane spacing* (JPS),
3. *Joint plane orientation* (JPO),
4. *Specific gravity influence* (SGI), dan
5. *Moh's hardness* (H).

Dari kelima parameter dalam perhitungan besar nilai indeks kemampuledakan atau *blastability index* (BI) mempunyai beberapa penilaian dan karakteristik yang bergantung pada sifat dari batuan yang akan dilakukan proses peledakan dan sangat

berbeda antara suatu wilayah dengan wilayah lainnya sehingga parameter-parameter tersebut kenyataannya sangat bervariasi seperti keadaan jenis batuan dan kondisi geologi yang mendukung terjadinya variabilitas jenis batuan.

Bobot parameter dapat ditentukan berdasarkan tabel pembobotan indeks kemampusedakan (BI) dan faktor batuan dimasukkan pembobotan dari faktor batuan, geometri peledakan, dan jumlah bahan peledak yang digunakan untuk memprediksi distribusi fragmen batuan hasil peledakan. Secara lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Pembobotan Masa Batuan untuk Peledakan (Lily, 1986)

No.	Parameter	Pembobotan
1	<b><i>Rock Mass Description (RMD)</i></b>	
	<i>Powdery/Friable</i>	10
	<i>Blocky</i>	20
	<i>Totally Massive</i>	50
2	<b><i>Joint Mass Description (JPS)</i></b>	
	<i>Close (Spasi &lt; 0,1m)</i>	10
	<i>Intermediet (Spasi 0,1 - 1 m)</i>	20
	<i>Wide (Spasi &gt; 1 m)</i>	50
3	<b><i>Joint Plane Orientation (JPO)</i></b>	
	<i>Horizontal</i>	10
	<i>Dip out of face</i>	20
	<i>Strike normal to face</i>	30
	<i>Dip into face</i>	40
4	<b><i>Specific Gravity Influence (SGI)</i></b>	$SGI = 25 \times SG - 50$
5	<b><i>Hardness (H)</i></b>	1-10

Hubungan antara kelima parameter tersebut terhadap *Blastability index* (BI) dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$BI = 0,5 \times (RMD+JPS+JPO+SFI+H) \dots\dots\dots (2.15)$$

Persamaan yang memberikan hubungan antara faktor batuan dengan indeks kemampusedakkan atau *blastability index* (BI) yang dikemukakan oleh Lily (1986) sebagai berikut:

$$A = 0,12 \times (BI) \dots\dots\dots (2.16)$$

$$n = \left(2,2 - \frac{14B}{d}\right) \left(1 - \frac{W}{B}\right) \left[\frac{(1+A)}{2}\right]^{1/2} \left(\frac{PC}{H}\right) \dots\dots\dots (2.17)$$

Untuk menentukan distribusi fragmen batuan hasil peledakan menggunakan persamaan *Rossin–Rammler*, yaitu:

$$Rx = e^{-\left(\frac{X}{Xc}\right)^n} \dots\dots\dots (2.18)$$

Keterangan:

- R = Persentase massa batuan yang lolos dengan ukuran X (cm)
- Xc = Karakteristik ukuran (cm)
- X = Ukuran Ayakan (cm)
- n = Indeks Keseragaman

### 2.8.3 Perangkat Lunak *Split Desktop*

Program *Split Desktop* merupakan program yang berfungsi untuk menganalisis ukuran fragmen batuan. *Split Desktop* adalah program analisis gambar yang dikembangkan oleh Universitas Arizona, Amerika Serikat. Pada penelitian ini program *Split Desktop* digunakan untuk membantu menganalisis gambar fragmen material hasil peledakan, hasilnya berupa grafik presentasi lolos material dan ukuran fragmen rata-rata yang dihasilkan dalam suatu peledakan.

Kelebihan program *Split Desktop* adalah sebagai berikut.

1. Dapat membaca file gambar dengan format: *TIF, JPEG* atau *Windows BMP*.
2. Mengambil gambar dari video (*video capture*) dengan *Scion Framegrabber*.
3. *Digital Video Capture* dengan IEEE 1394 (*fireware*).

4. Kelebihan dalam memproses gambar standar (*Scaling, filtering, dan sebagainya*).
5. Peralatan edit gambar (*image editing tools*).
6. Digitasi otomatis partikel batuan.
7. Identifikasi otomatis partikel halus.
8. Menggunakan ukuran ayakan yang bisa disesuaikan (standar ISO, US, UK).
9. Hasil berupa grafik distribusi ukuran butir yang bisa disesuaikan.
10. Basis pelaporan dalam *HTML* dan *Text*.
11. Menggunakan perhitungan algoritma untuk menggabungkan dua gambar yang berbeda skala.
12. Kalkulasi otomatis parameter dengan pendekatan metode distribusi *Rossin-Ramler* atau *Schumann*.

Program *split desktop* mempunyai beberapa tahap untuk dapat memperoleh hasil berupa grafik persentase lolos, yaitu sebagai berikut:

1. Akuisisi/memperoleh gambar (*image acquisition*)

Program *split desktop* dirancang agar dapat mengatur skala pada berbagai akuisisi gambar. Untuk gambar yang menggunakan satu maupun dua objek pembanding, menggunakan peralatan editing interaktif (*interactif scaling tool*).

Banyak cara untuk memperoleh gambar di lapangan dan melakukan penyekalaan. Agar lebih mudah dilakukan foto pada saat pencahayaan bagus, yaitu siang hari yang cerah dengan posisi membelakangi matahari untuk meniadakan bayangan yang akan mengganggu pada gambar yang diambil, sehingga ukuran aktual gambar tidak terganggu. Program *Split Desktop* menggunakan objek sebagai alat bantu dalam penyekalaan.

Tiga skala gambar yang direkomendasikan dalam pengambilan gambar menggunakan program *split desktop*, yaitu gambar skala besar (6x6 m), skala sedang (3x3 m), dan skala kecil (0,5x0,5 m).

## 2. Digitasi Fragmentasi (*Fragmentation and Delineation*)

Setelah gambar diskalakan, langkah berikutnya adalah penggambaran batuan atau disebut dengan digitasi gambar dengan menggunakan perhitungan algoritma otomatis yang telah ada pada program *split desktop*. Keberhasilan optimum untuk setiap gambar ditentukan oleh pengguna.

Hasil dari deliniasi otomatis berupa *binary image* (gambar *gray levels*, hitam putih) yang menggambarkan partikel yang berwarna putih dan latar belakan berwarna hitam, merupakan *binary image* hasil dari deliniasi gambar *muck pile*. Area gelap pada gambar tersebut adalah gambar partikel ukuran sangat halus untuk di digitasi dan tidak memiliki ruang antar patikel. Area gelap ini sangat berpengaruh dalam perhitungan jumlah persentase lolos.

Pada kebanyakan gambar *muck pile* dan pada banyak sumber gambar lain seperti *haul truck* atau *leach piles*, ada kejadian dimana algoritma penggambaran otomatis dalam *split desktop* tidak menggambar fragmen dengan baik ini disebabkan karena pencahayaan yang kurang baik, terdapat kelebihan material halus dalam gambar, kualitas gambar terlalu buruk dan alasan lain. Dalam kasus ini gambar duplikat yang mengandung gambar fragmen memerlukan perbaikan dengan menggunakan peralatan *editing tools* yang tersedia, *split desktop* dapat melakukan: *paint bucket filling of fines*, *erasing unwanted delineations*, dan *identifying non-rock fewatures*.

## 3. Analisa Ukuran (*Size Analysis*)

Setelah gambar telah di digitasi, langkah selanjutnya adalah melakukan pendekatan distribusi untuk material halus. Dua pilihan untuk distribusi tersedia pada *split desktop*, yaitu distribusi Schuman dan Rosin-Rammler

## 4. Hasil (*Result and Output*)

Setelah uluran partikel telah dikalkulasi, *split desktop* dapat menyajikan informasi dalam 4 cara: *linear-linear plot*, distribusi ukuran juga ditampilkan dalam 3 format yaitu

standar ISO, Standar UK, dan standar sendiri. Selain itu juga dapat diketahui ukuran persentase lolos ayakan  $P_{20}$ ,  $P_{50}$ ,  $P_{80}$  dan ukuran *top size*. Distribusi ukuran dan persentase lolos material juga dapat di simpan ke dalam hardisk dalam bentuk text

#### 5. Keakuratan (*Accuracy*)

Kesalahan (*error*) jika menggunakan *split desktop* adalah tidak lebih dari 10%, dengan rata-rata eror 5%. Kesalahan (*error*) dalam penggunaan *split desktop* biasa disebabkan oleh berbagai hal, diantaranya adalah (Essen and Bligen, 2005):

- a. Kesalahan pengguna, seperti kesalahan menganalisis *noise*, sehingga lebih banyak fragmen batuan yang tidak sesuai ukuran aslinya.
- b. Kesalahan pengambilan gambar, misalnya banyak bayangan pada gambar yang menyebabkan banyaknya noise.
- c. Kesalahan lain yang terkait dengan penggunaan *split desktop*.

## 2.9 Analisis Regresi Linear Sederhana

Analisis regresi sederhana merupakan analisis statistik yang mempelajari hubungan antara dua variabel atau lebih. Dalam analisis regresi linear diasumsikan berlakunya bentuk hubungan linear dalam parameter. Analisis regresi linear yang paling sederhana adalah regresi linear dengan satu variabel independen (*independent variable*).

Analisis regresi ini digunakan untuk memprediksi seberapa jauh perubahan nilai variabel terikat, bila variabel independen dimanipulasi atau diubah. Persamaan umum regresi linear sederhana dinyatakan dalam persamaan 2.16 (Sugiyono, 2017).

$$Y = a + bX \dots\dots\dots (2.19)$$

Keterangan:

y = garis regresi/ *variable response*

a = konstanta (garis perpotongan dengan sumbu vertical)

b = konstanta regresi (*slope*)

X = variabel bebas/*predictor*

Besarnya konstanta a dan b dapat ditentukan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$a = \frac{(\sum y)(\sum x^2) - (\sum x)(\sum xy)}{n\sum x^2 - (\sum x)^2} \dots\dots\dots (2.20)$$

$$b = \frac{n\sum xy - (\sum x)(\sum y)}{n\sum x^2 - (\sum x)^2} \dots\dots\dots (2.21)$$

Koefisien korelasi (r) merupakan nilai yang menunjukkan keeratan nilai hubungan antara dua variabel yang saling berpengaruh. Persamaan umum koefisien korelasi adalah sebagai berikut.

$$r = \frac{n\sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{(n\sum x^2 - (\sum x)^2)((n\sum y^2) - (\sum y)^2)}} \dots\dots\dots (2.22)$$

Rentang nilai koefisien korelasi antara -1 sampai 1. Nilai koefisien korelasi yang positif menunjukkan kedua variabel memiliki hubungan yang searah atau berbanding lurus, sedangkan nilai koefisien korelasi negatif menunjukkan hubungan antara kedua variabel berlawanan arah atau berbanding terbalik. Rentang nilai ini dibagi berdasarkan tingkat keeratan hubungan dari dua variabel. Tabel 2.5 menunjukkan tingkat keeratan hubungan berdasarkan nilai koefisien korelasi (Sunyoto, 2012).

Tabel 2.5 Tingkat keeratan hubungan dua variabel berdasarkan nilai koefisien korelasi (Sunyoto, 2012).

Nilai koefisien korelasi	Tingkat hubungan
0,51–1,00	Kuat positif
0,01–0,50	Lemah positif
0	Tidak ada
(-0,01) – (-0,50)	Lemah negatif
(-0,51) – (-1,00)	Kuat negatif