

SKRIPSI

**ANALISIS *FLYROCK* UNTUK MENENTUKAN RADIUS
AMAN ALAT PADA AKTIVITAS PELEDAKAN
OVERBURDEN DI *PIT E* BANKO TENGAH
PT BUKIT ASAM TBK**

Disusun dan diajukan oleh:

**SYUKUR ALKURDI
D111 19 1012**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK PERTAMBANGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

ANALISIS *FLYROCK* UNTUK MENENTUKAN RADIUS AMAN ALAT PADA AKTIVITAS PELEDAKAN *OVERBURDEN* DI *PIT* E BANKO TENGAH PT BUKIT ASAM TBK

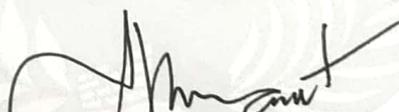
Disusun dan diajukan oleh

Syukur Alkurdi
D111 19 1012

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Pada tanggal 04 Oktober 2024 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

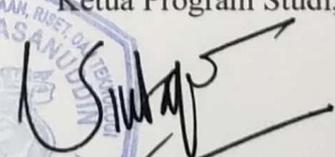
Menyetujui,

Pembimbing Utama,



Dr. Eng. Purwanto, S.T., M.T.
NIP 19711282005011002

Ketua Program Studi,



Dr. Aryanti Virianti Anas, S.T., M.T.
NIP 197010052008012026

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini;

Nama : Syukur Alkurdi
NIM : D111191012
Program Studi : Teknik Pertambangan
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

{ Analisis *Flyrock* Untuk Menentukan Radius Aman Alat Pada Aktivitas Peledakan *Overburden* Di *Pit E Banko Tengah Pt Bukit Asam Tbk* }

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.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 04 Oktober 2024



Syukur Alkurdi

ABSTRAK

SYUKUR ALKURDI. ANALISIS FLYROCK UNTUK MENENTUKAN RADIUS AMAN ALAT PADA AKTIVITAS PELEDAKAN OVERBURDEN DI PIT E BANKO TENGAH PT BUKIT ASAM TBK (dibimbing oleh Dr. Eng. Purwanto, S.T., M.T)

Peledakan dapat menimbulkan beberapa bahaya, tetapi industri pertambangan menganggap peledakan sebagai suatu aktivitas penting untuk menunjang operasional penambangan. Bahaya yang dapat ditimbulkan dari aktivitas peledakan antara lain lemparan batuan (*flyrock*) yang dimana itu dapat membahayakan keselamatan manusia dan merusak alat / fasilitas yang masuk pada radius tidak aman dari peledakan lokasi peledakan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui jarak lemparan maksimum *flyrock* pada aktivitas peledakan di Pit E Banko Tengah, menganalisis perbandingan antara lemparan maksimum *flyrock* aktual dan teori dan menentukan jarak aman evakuasi alat yang optimal dan keuntungannya, yang mana diharapkan dapat mengurangi dampak yang ditimbulkan dari evakuasi unit pada jarak aman peledakan yang terlalu jauh serta meningkatkan efisiensi biaya operasional penambangan. Teknik analisis yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu dengan menggunakan metode *Richard* dan *Moore* dan *Ebrahim Ghasemi* untuk menentukan jarak lemparan maksimum *flyrock* dari data yang telah didapatkan dan diolah secara manual dengan rumus yang telah ditentukan sehingga didapatkan jarak lemparan maksimum secara teori yang dimana menjadi perbandingan dari jarak lemparan maksimum secara aktual. Dari 25 kali peledakan, didapatkan lemparan rata-rata *flyrock* aktual 19 m dengan lemparan maksimum 31,3 m dan secara teori perhitungan prediksi jarak lemparan *flyrock* maksimum dengan menggunakan teori *Ebrahim Ghasemi* yaitu 21,5 m untuk hasil dari teori *Richard* dan *Moore* mekanisme *face burst* yaitu 41,35 m untuk mekanisme *cratering* yaitu 65,17 m. Berdasarkan data jarak lemparan *flyrock* secara teori yang telah dihitung, penerapan jarak aman evakuasi alat yang baru menggunakan teori *richard* dan *moore* dengan penerapan *safety zone* 2.0 yaitu 130,34 m, dimana keuntungan yang didapatkan setelah pengurangan jarak aman alat pada aktivitas peledakan yaitu sebesar 37,24% baik dari efisiensi waktu maupun biaya dari penambangan.

Kata Kunci: Peledakan, *Flyrock*, Radius aman alat.

ABSTRACT

SYUKUR ALKURDI. ANALISIS FLYROCK UNTUK MENENTUKAN RADIUS AMAN ALAT PADA AKTIVITAS PELEDAKAN OVERBURDEN DI PIT E BANKO TENGAH PT BUKIT ASAM TBK (dibimbing oleh Dr. Eng. Purwanto, S.T., M.T)

Blasting can pose several hazards, but the mining industry considers blasting as an essential activity to support mining operations. Hazards that can arise from blasting activities include rock throws (flyrock) which can endanger human safety and damage equipment / facilities that enter an unsafe radius from the blasting location. This study aims to determine the maximum flyrock throw distance in blasting activities at Pit E Banko Tengah, analyze the comparison between the actual and theoretical maximum flyrock throws and determine the optimal safe evacuation distance for equipment and its benefits, which are expected to reduce the impact caused by unit evacuation at a safe blasting distance that is too far and increase the efficiency of mining operational costs. The analysis technique used in this study is by using the Richard and Moore and Ebrahim Ghasemi methods to determine the maximum flyrock throw distance from the data that has been obtained and processed manually with a predetermined formula so that the maximum theoretical throw distance is obtained which is a comparison of the actual maximum throw distance. From 25 blastings, the average actual flyrock throw was 19 m with a maximum throw of 31.3 m and theoretically the calculation of the maximum flyrock throw prediction distance using Ebrahim Ghasemi's theory is 21.5 m for the results of Richard and Moore's theory of the face burst mechanism, namely 41.35 m for the cratering mechanism, namely 65.17 m. Based on the theoretical flyrock throw distance data that has been calculated, the application of the new safe evacuation distance for equipment using the Richard and Moore theory with the application of safety zone 2.0 is 130.34 m, where the benefits obtained after reducing the safe distance of equipment in blasting activities are 37.24% both in terms of time efficiency and mining costs.

Keywords: Blasting, Flyrock, Radius safe tools.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
KATA PENGANTAR	x
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian/Perancangan.....	2
1.4 Manfaat Penelitian/Perancangan.....	2
1.5 Ruang Lingkup/Asumsi perancangan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Peledakan	4
2.2 Geometri Peledakan	4
2.3 Pola Pemboran	10
2.4 Arah Pengeboran.....	12
2.5 Pola Peledakan	14
2.6 Bahan Peledakan.....	15
2.7 Pengisian Bahan Peledakan.....	16
2.8 Bahaya Operasi Peledakan.....	18
2.9 Batu Terbang (<i>Flyrock</i>).....	19
2.10 Faktor Pengaruh Terjadinya <i>Flyrock</i>	20
2.11 Perhitungan Lemparan Maksimum <i>Flyrock</i>	23
BAB 3 METODE PENELITIAN/PERANCANGAN	31
3.1 Lokasi Penelitian.....	31
3.2 Alat.....	32
3.3 Teknik Pengumpulan Data.....	31
3.4 Teknik Analisis.....	35
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	41
4.1 Data Pengukuran <i>Flyrock</i> Aktual	41
4.2 Data Geometri Aktual Peledakan	42
4.3 Data Pengukuran Waktu Evakuasi Jarak Tempuh Alat.....	43
4.4 Lemparan Teoritis Geometri Aktual.....	45
4.3 Analisis dan Pembahasan Data.....	46
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN.....	55
5.1 Kesimpulan	55
DAFTAR PUSTAKA	56

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Pola bujur sangkar.....	11
Gambar 2 Pola persegi panjang.....	11
Gambar 3 Pola <i>zig-zag</i>	12
Gambar 4 Lubang ledak tegak	13
Gambar 5 Lubang ledak miring	14
Gambar 6 Pola rangkaian <i>V-Cut</i>	14
Gambar 7 Pola rangkaian <i>Box Cut</i>	15
Gambar 8 Pola rangkaian <i>Corner Cut</i>	15
Gambar 9 Jarak <i>burden</i> yang pendek (Bhandari,1997)	20
Gambar 10 Jarak <i>burden</i> yang terlalu pendek (Bhandari, 1997)	21
Gambar 11 Bahan peledak yang berlebihan (Bhandari, 1997)	22
Gambar 12 <i>Stemming</i> sebagai penyebab <i>flyrock</i> (Bhandari, 1997)	23
Gambar 13 Pengaruh waktu <i>delay</i> terhadap potensi <i>flyrock</i> (Bhandari, 1997).....	23
Gambar 14 Lemparan maksimum <i>flyrock</i> sebagai.....	24
Gambar 15 Diagram representasi dari <i>cratering</i>	25
Gambar 16 Lemparan maksimal terhadap <i>boulder</i>	26
Gambar 17 Tiga jenis terjadinya <i>flyrock</i> ((Richard and Moore, 2005)	26
Gambar 18 Lintasan <i>flyrock</i> dari lokasi	28
Gambar 19 Lemparan maksimal dan rekomendasi jarak aman	29
Gambar 20 Peta Wilayah Izin Usaha Pertambangan PT Bukit Asam Tbk.....	31
Gambar 21 Aktivitas pengeboran.....	34
Gambar 22 Kegiatan pengukuran jarak <i>burden</i> awal aktual.....	34
Gambar 23 Kegiatan pengukuran kedalaman lubang aktual.....	35
Gambar 24 Kegiatan pengukuran <i>burden</i> dan spasi aktual.....	35
Gambar 25 Perlengkapan peledakan yang digunakan	36
Gambar 26 Proses charging bahan peledak	36
Gambar 27 Proses perangkaian peledakan (<i>Tie Up</i>)	37
Gambar 28 Kegiatan pengecekan akhir	38
Gambar 29 Pemasangan karung sebagai titik monitor.....	38
Gambar 30 Kegiatan pengamatan <i>flyrock</i> menggunakan drone	39
Gambar 31 Diagram alir penelitian.....	40
Gambar 32 Perbandingan <i>flyrock</i> aktual dan teoritis.....	46
Gambar 33 Standar deviasi prediksi dengan aktual.....	47
Gambar 34 Persen <i>error</i> prediksi dengan aktual.....	47
Gambar 35 Korelasi <i>burden</i> terhadap <i>flyrock</i>	48
Gambar 36 Korelasi spasi terhadap <i>flyrock</i>	49
Gambar 37 Korelasi <i>burden face</i> terhadap <i>flyrock</i>	49
Gambar 38 Korelasi <i>stemming</i> terhadap <i>flyrock</i>	50
Gambar 39 Korelasi <i>powder factor</i> terhadap <i>flyrock</i>	50
Gambar 40 Korelasi lubang ledak terhadap <i>flyrock</i>	51

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Potensi yang terjadi akibat variasi <i>stiffness ratio</i>	9
Tabel 2 <i>Powder factor</i> peledakan beberapa jenis batuan.....	17
Tabel 3 Lemparan maksimum <i>flyrock</i> aktual.....	41
Tabel 4 Geometri aktual peledakan.....	42
Tabel 5 Pengukuran waktu evakuasi jarak tempuh alat.....	44
Tabel 6 Lemparan teoritis geometri aktual.....	45
Tabel 7 Perhitungan efisiensi alat.....	52
Tabel 8 Perhitungan waktu tempuh alat.....	53

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Parameter Lemparan <i>Flyrock</i> Rumus Ebrahim Ghasemi	58
Lampiran 2 Perhitungan Prediksi Jarak Lemparan <i>Richard and Moore</i>	59
Lampiran 3 Tabel Perhitungan Standar Deviasi Teori <i>Richard dan Moore dan Ebrahim Ghasemi</i>	68
Lampiran 4 Tabel Perhitungan Persen Error Teori <i>Richard dan Moore dan Ebrahim Ghasemi</i>	69

KATA PENGANTAR

Assalamua'laikum Warohmatullahi wabarokatuh.

Puji syukur kita panjatkan atas kehadiran Allah *Subhanahu Wata'ala*, karena atas limpahan rahmat, nikmat, dan karunia-Nyalah, kita masih diberikan kesehatan dan kesempatan sehingga Skripsi dengan judul “Analisis *Flyrock* Untuk Menentukan Radius Aman Alat Pada Aktivitas Peledakan *Overburden* Di *Pit E Banko Tengah* Pt Bukit Asam Tbk” dapat terselesaikan.

Dalam penelitian ini bukanlah usaha yang dilakukan sendiri, melainkan merupakan hasil kerja sama, dukungan, dan bimbingan dari berbagai pihak. Melalui skripsi ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada PT Bukit Asam Tbk yang telah memberikan kesempatan juga bimbingan kepada penulis untuk melaksanakan penelitian di lokasi PT Bukit Asam. Terima kasih kepada Bapak Dr. Eng. Purwanto, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, panduan, dan dorongan selama proses penelitian ini. Terima kasih kepada dosen penguji yang telah memberikan saran dan masukan perbaikan tugas akhir ini. Terima kasih kepada seluruh Dosen dan staff administrasi Departemen Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin yang telah melaksanakan tugasnya dengan tulus dan baik. Terima kasih kepada semua teman-teman “IGNEOUZ” (Teknik Pertambangan Angkatan 2019) yang telah memberikan bantuan dan saran kepada penulis selama pelaksanaan penelitian. Terima kasih kepada teman-teman LBE GEOMEKANIKA yang telah memberikan sumbangsi tenaga dan pikirannya kepada penulis dalam penyelesaian tugas akhir ini. Tidak lupa tentunya ucapan terimakasih yang tak terhingga kepada kedua orang tua saya atas segala doa, nasihat dan arahan, serta semangat yang. Penulis juga ingin menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan kontribusi, baik dalam bentuk dukungan, saran, maupun data-data yang diperlukan dalam penelitian ini. Semua dukungan ini sangat berarti dan membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian ini.

Semoga Skripsi ini dapat bermanfaat dalam pengembangan wawasan dan juga terhadap pengetahuan mengenai ilmu teknik pertambangan terutama terkhusus

pada aspek aktivitas peledakan yang dilakukan pada industri penambangan batubara.

Gowa, 04 Oktober 2024

Syukur Alkurdi

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam kegiatan penambangan sering dijumpai batuan relatif keras dan tidak dapat digali menggunakan alat gali. Salah satu metode yang sering digunakan untuk dapat memberai batuan yang relatif keras yaitu dengan metode pemboran dan peledakan. Tujuan dari kegiatan pemboran dan peledakan adalah untuk memecah dan memberai batuan sehingga dapat dengan mudah digali dengan alat gali dan dapat masuk ke dalam crusher (Bhandari, 1997). Peledakan sendiri masih merupakan metode paling efektif untuk melakukan kegiatan pembongkaran massa batuan dengan volume yang besar.

Peledakan dapat menimbulkan beberapa bahaya, tetapi industri pertambangan menganggap peledakan sebagai suatu aktivitas penting untuk menunjang operasional penambangan dikarenakan peledakan merupakan proses penting dalam pembukaan *overburden* berupa batuan keras yang tidak bisa digali menggunakan alat gali sehingga pengambilan batubara dapat terganggu. Bahaya yang dapat ditimbulkan dari aktivitas peledakan antara lain lemparan batuan (*flyrock*). Lemparan batuan (*flyrock*) merupakan lemparan yang tidak terkontrol dari batuan hasil peledakan, dan dapat membahayakan keselamatan manusia dan merusak alat / fasilitas yang masuk pada radius tidak aman dari peledakan lokasi peledakan.

Aktivitas peledakan mempunyai dampak yang sangat besar terhadap kegiatan produksi di area sekitarnya. Disaat pelaksanaan peledakan dilakukan semua kegiatan produksi dalam radius tidak aman harus berhenti dan di evakuasi. Dari 2 tahapan evakuasi peledakan yaitu evakuasi unit dan evakuasi manusia, evakuasi unit merupakan tahapan yang membutuhkan waktu yang paling lama. Berdasarkan KEPMEN 1827K 30 MEM 2018 halaman 79, dijelaskan bahwa jarak aman unit adalah 300 meter dan jarak aman manusia adalah 500 m dari batas terluar peledakan. Beberapa dampak yang ditimbulkan dari evakuasi unit pada jarak aman peledakan yang terlalu jauh, antara lain waktu produksi yang terbuang, *lifetime undercarriage* berkurang, dan konsumsi bahan bakar bertambah. Oleh karena itu, penulis bermaksud untuk melakukan penelitian mengenai jarak lemparan *flyrock*

terjauh pada aktivitas peledakan yang dilakukan selama kurun waktu tertentu sehingga dapat diperoleh jarak minimal yang aman untuk alat tersebut.

Dengan adanya upaya untuk mengurangi jarak aman alat pada aktivitas peledakan ini diharapkan dapat mengurangi dampak yang ditimbulkan dari evakuasi unit pada jarak aman peledakan yang terlalu jauh dan meningkatkan efisiensi biaya operasional penambangan

1.2 Rumusan Masalah

1. Berapa jarak lemparan *flyrock* aktual pada aktivitas peledakan di Pit E banko Tengah?
2. Berapa perbandingan antara lemparan maksimum *flyrock* aktual dan teori?
3. Bagaimana rekomendasi jarak aman evakuasi alat yang optimal dan keuntungannya jika diterapkan?

1.3 Tujuan Penelitian/Perancangan

1. Mengetahui jarak lemparan maksimum *flyrock* pada aktivitas peledakan di Pit E Banko Tengah.
2. Menganalisis perbandingan antara lemparan maksimum *flyrock* aktual dan teori.
3. Menentukan jarak aman evakuasi alat yang optimal dan keuntungannya.

1.4 Manfaat Penelitian/Perancangan

Penelitian ini berguna untuk memberikan informasi terkait jarak aman alat pada aktivitas peledakan secara aktual dan teori serta memberikan saran rekomendasi jarak aman evakuasi alat yang optimal dan keuntungannya jika diterapkan. Hasil dari penelitian ini dapat menjadi referensi bagi perusahaan untuk mengevaluasi jarak aman evakuasi alat yang digunakan sehingga mampu mengurangi biaya operasional penambangan dan efisiensi dari penambangan.

1.5 Ruang Lingkup/Asumsi perancangan

Ruang lingkup pada penelitian ini akan menggambarkan batasan-batasan yang akan diterapkan. Dalam hal ini fokus pada analisis adalah lemparan maksimum *flyrock*

secara aktual dan juga lemparan maksimum *flyrock* secara teori dengan menggunakan geometri aktual dan geometri perencanaan. Dimana data yang digunakan berupa jarak lemparan maksimum *flyrock* aktual, geometri aktual dan perencanaan dan data penggunaan bahan bakar pada alat tambang. Kemudian akan dilakukan analisis hasil data antara lemparan maksimum *flyrock* aktual dan secara teori dengan menggunakan dua geometri untuk melihat standar deviasi atau perbandingan dari kedua hasil tersebut dan memberikan rekomendasi jarak aman. Hasil dari penelitian akan memberikan rekomendasi jarak aman alat pada peledakan yang lebih menguntungkan, baik dari efisiensi waktu maupun biaya dari penambangan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Peledakan

Peledakan yaitu memecah atau membongkar lapisan menutup (*overburden*) batuan padat atau material berharga yang bersifat kompak dari batuan induknya menjadi material yang sesuai untuk proses produksi. Tujuan peledakan pada batuan yaitu untuk menghasilkan batuan lepas, yang dinyatakan dalam derajat fragmentasi sesuai dengan tujuan yang akan dicapai. Hasil peledakan ini sangat mempengaruhi produktivitas dan biaya operasi berikutnya. Dalam suatu operasi peledakan pada pertambangan dilakukan pemboran terlebih dahulu untuk membuat lubang ledak. Lubang ledak sendiri akan diisi oleh bahan peledak.

Operasi peledakan pada kegiatan penambangan dinyatakan berhasil apabila (Roy, 2005):

1. Pemilihan jenis bahan peledak yang tepat sesuai dengan kondisi yang ada di lapangan.
2. Dampak buruk terhadap aspek lingkungan dan di aspek keamanan (*flyrock, vibration, overbreak* dan *backbreak*, serta debu) minimal.
3. Diperoleh fragmentasi yang baik, *muckpile displacement* yang cukup, dan *powder factor* yang optimal.

Maka dari itu kegiatan pemboran dan peledakan harus dilakukan dengan seefisien dan seefektif mungkin agar parameter keberhasilan tersebut tercapai.

2.2 Geometri Peledakan

Suatu pedoman yang dibuat R.L.Ash berupa perhitungan geometri peledakan jenjang berdasarkan pengalaman empirik yang diperoleh diberbagai 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 (Sunaryadi, 2011).

Burden (B) adalah jarak tegak lurus antara lubang tembak dengan bidang bebas yang panjangnya tergantung pada karakteristik batuan yang bisa dilihat pada Persamaan 1.

$$Burden (B) = \frac{Kb \times De (inch)}{12} \quad (1)$$

Dimana;

B = *Burden*

Kb = Konstanta *burden*

De = Diameter lubang ledak (*inch*)

Konstanta *burden* ditentukan berdasarkan perkalian antara *Kb* standar dengan nilai *AF1* dan *AF2* yang telah di dapatkan bisa dilihat pada Persamaan 2, 3 dan persamaan 4

$$AF1 = \sqrt[3]{\left(\frac{\text{Energi potensial bahan peledak yang dipakai}}{\text{Energi potensial bahan peledak standar}}\right)} \quad (2)$$

Dimana;

Energi potensial = SG bahan peledak x VOD² ; VOD dalam fps

Energi potensial standar = 1,2 x 120002

$$AF2 = \sqrt[3]{\left(\frac{\text{Densitas batuan Standar}}{\text{Densitas batuan yang akan diledakkan}}\right)} \quad (3)$$

Dimana;

Densitas batuan standar = 160 lb/cuft

$$Kb = Kb \text{ standar} \times AF1 \times AF2 \quad (4)$$

Dimana;

Kb = Konstanta *burden*

Kb Standar = Konstanta yang bergantung pada jenis batuan dan juga pada bahan peledak

AF1 = *Adjustment Factor* untuk bahan peledak yang dipakai

AF2 = *Adjustment Factor* untuk batuan yang diledakan

Spasi (S) adalah jarak antar lubang ledak satu dengan lubang ledak yang lain dirangkai dalam satu baris dan diukur sejajar terhadap bidang bebas yang bisa dilihat pada Persamaan 5.

$$S = Ks \times B \quad (5)$$

Dimana;

S = Spasi

Ks = *spacing ratio* (1.0 – 2.0)

B = *burden* (m)

Stemming (T) merupakan panjang isian lubang ledak yang tidak diisi bahan peledak, tetapi diisi material seperti tanah liat atau material hasil pemboran (*cutting*) yang bisa dilihat pada Persamaan 6.

$$T = K_t \times B \quad (6)$$

Dimana;

T = *Stemming* (m)

K_t = *Stemming ratio* (0.5 – 1.0)

B = *Burden* (m)

Subdrilling (J) merupakan kelebihan panjang lubang ledak pada bagian bawah lantai jenjang yang bisa dilihat pada Persamaan 7.

$$J = K_j \times B \quad (7)$$

Dimana;

J = *Subdrilling* (m)

K_j = *Subdrilling ratio* (0.3 – 0.5)

B = *Burden* (m)

Kedalaman lubang ledak (H) merupakan penjumlahan dari panjang *stemming* dengan panjang kolom isian (PC) bahan peledak yang bisa dilihat pada Persamaan 8.

$$H = K_h \times B \quad (8)$$

Dimana;

H = Kedalaman lubang ledak (m)

K_h = *Hole depth ratio* (1.5 – 4)

B = *Burden* (m)

Panjang Kolom Isian (PC) merupakan hasil pengurangan dari kedalaman lubang ledak dengan panjang *stemming* yang bisa dilihat pada Persamaan 9.

$$PC = H - T \quad (9)$$

Dimana;

PC = Panjang kolom isian (m)

H = Kedalaman lubang ledak (m)

T = *Stemming* (m)

Perhitungan geometri peledakan menurut Konya tidak hanya mempertimbangkan faktor bahan peledak, sifat batuan dan diameter lubang ledak

tetapi juga memperhatikan faktor koreksi terhadap posisi lapisan batuan, keadaan struktur geologi serta koreksi terhadap jumlah lubang ledak yang diledakkan (Sunaryadi, 2011).

Burden (B) adalah jarak tegak lurus antara lubang ledak terhadap bidang bebas yang terdekat dan merupakan arah pemindahan batuan (*displacement*) akan terjadi yang bisa dilihat pada Persamaan 10.

$$B = 3,15 \times De \times \sqrt[3]{\frac{\rho_e}{\rho_r}} \quad (10)$$

Dimana;

B = *Burden* (ft)

De = diameter lubang ledak (*inch*)

ρ_e = densitas bahan peledak

ρ_r = densitas batuan

Spasi (S) adalah jarak terdekat antara dua lubang ledak yang berdekatan di dalam satu baris (*row*) yang bisa dilihat pada Persamaan 11, 12, 13 dan 14.

1. Serentak tiap baris lubang ledak.

a. Untuk tinggi jenjang rendah (*low benches*)

$$H < 4B, S = (H + 2B) / 3 \quad (11)$$

b. Untuk tinggi jenjang yang besar (*high benches*)

$$H = 4B, S = 2B. \quad (12)$$

2. Beruntun dalam tiap baris lubang ledak.

a. Untuk tinggi jenjang rendah (*low benches*)

$$H < 4B, S = (H + 7B) / 8 \quad (13)$$

b. Untuk tinggi jenjang yang besar (*high benches*)

$$H = 4B, S = 1,4B \quad (14)$$

Dimana;

H = Kedalaman lubang ledak

B = *Burden*

S = Spasi

Stemming (T) adalah tempat material penutup di dalam lubang ledak, yang letaknya di atas kolom isian bahan peledak yang bisa dilihat pada Persamaan 15.

$$T = 0.7 \times B \quad (15)$$

Dimana;

$T = \text{Stemming (m)}$

$B = \text{Burden (m)}$

Subdrilling (J) adalah tambahan kedalaman pada lubang bor di bawah lantai jenjang yang dibuat dengan maksud agar batuan dapat terbongkar sebatas lantai jenjangnya yang bisa dilihat pada Persamaan 16.

$$J = 0.3 \times B \quad (16)$$

Dimana;

$J = \text{Subdrilling (m)}$

$B = \text{Burden (m)}$

Kedalaman Lubang Ledak (H) merupakan jumlah total antara tinggi jenjang dengan besarnya *subdrilling* yang bisa dilihat pada Persamaan 17.

$$H = PC + T \quad (17)$$

Dimana;

$H = \text{Kedalaman lubang ledak (m)}$

$PC = \text{Panjang kolom isian (m)}$

$T = \text{Stemming (m)}$

Panjang Kolom Isian (PC) merupakan panjang kolom lubang ledak yang akan diisi bahan peledak yang bisa dilihat pada Persamaan 18.

$$PC = H - T \quad (18)$$

Dimana;

$PC = \text{Panjang kolom isian (meter)}$

$H = \text{Kedalaman lubang ledak (meter)}$

$T = \text{Stemming (meter)}$

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 1.

Tabel 1 Potensi yang terjadi akibat variasi *stiffness ratio*

<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 keuntungan bila <i>stiffness ratio</i> di atas 4

Sumber: Fikri (2022)

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.

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) yang bisa dilihat pada Persamaan 19 (Fikri, 2022).

$$L = H - J \quad (19)$$

Dimana;

L = Tinggi jenjang (ft)

H = Kedalaman lubang ledak (ft)

J = *Subdrilling* (ft)

Salah satu cara merancang geometri peledakan dengan “coba-coba” atau *trial and error* atau *rule of thumb* yang akan diberikan adalah dari ICI Explosives. Tinggi jenjang (H) dan diameter lubang ledak (d) merupakan pertimbangan pertama yang akan disarankan. Jadi cara ini menitikberatkan pada alat yang tersedia atau yang akan dimiliki, kondisi batuan setempat, peraturan tentang batas maksimum ketinggian jenjang yang diizinkan pemerintah, serta produksi yang dikehendaki. Selanjutnya untuk menghitung parameter lainnya sebagai berikut:

1. *Burden* (B) menurut teori ICI Explosives menggunakan Persamaan 20.

$$B = 25d - 40d \quad (20)$$

2. *Spasi* (S) teori ICI Explosives menggunakan Persamaan 21.

$$S = 1B - 1,5B \quad (21)$$

3. *Stemming* (T) teori ICI Explosives menggunakan Persamaan 22.

$$T = 20d - 30d \quad (22)$$

4. *Subdrilling* (J) teori ICI Explosives menggunakan Persamaan 23.

$$J = 8D - 12D \quad (23)$$

5. Tinggi Jenjang (H) teori ICI Explosives menggunakan Persamaan 24

$$H = 60d - 140d \quad (24)$$

6. *Powder Factor* (PF) teori ICI Explosives menggunakan Persamaan 25.

$$PF = \frac{\text{Berat bahan peledak}}{\text{Volume batuan}} = \frac{(\text{Berat}) \times (\text{Panjang Isian})}{(B \times S \times H)} \quad (25)$$

2.3 Pola Pemboran

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 (Susanto dkk, 2020).

Geometri pengeboran dan pola pengeboran dirancang secara bersamaan dalam rancangan peledakan. Geometri pengeboran antara lain diameter lubang bor, kedalaman lubang ledak, kemiringan lubang ledak, tinggi jenjang, dan juga pola pengeboran. Penambangan suatu bahan galian yang keras dan kompak, pemberaiannya dilakukan dengan cara pengeboran dan peledakan. Keberhasilan dapat dilihat pada ketersediaan terhadap bidang bebas (*free face*) yang mencukupi.

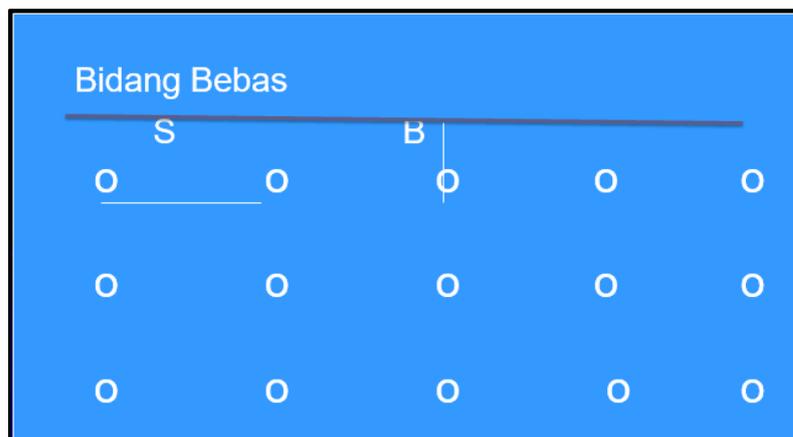
Kegiatan pengeboran lubang ledak merupakan suatu hal yang sangat penting diperhatikan sebelum kegiatan pengisian bahan peledak. Kegiatan pengeboran lubang ledak dilakukan dengan menempatkan lubang–lubang ledak secara sistematis sehingga membentuk suatu pola. gambar di bawah menunjukkan pola pengeboran untuk kegiatan peledakan. Pola pemboran pada tambang terbuka umumnya terdapat 3 macam yaitu:

1. Pola bujur sangkar (*square pattern*) yaitu jarak *burden* dan juga spasi sama ($S=B$) seperti pada Gambar 1.



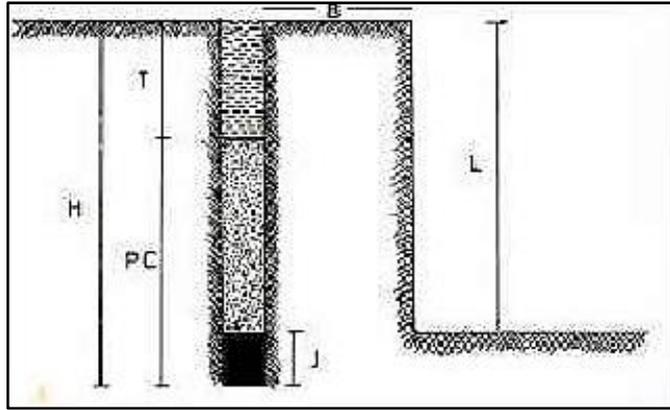
Gambar 1 Pola bujur sangkar

2. Pola persegi panjang (*rectangular system*), yaitu jarak spasi dalam satu baris lebih besar dibanding *burden* ($S>B$) seperti pada Gambar 2.



Gambar 2 Pola persegi panjang

3. Pola zig-zag (*staggered pattern*), yaitu adalah antara lubang bor dibuat zig-zag yang berasal dari pola bujur sangkar maupun persegi panjang jarak *burden* dan spasi sama atau spasi lebih besar dibandingkan *burden* ($S=B$) dan ($S>B$) seperti pada Gambar 3.



Gambar 4 Lubang ledak tegak

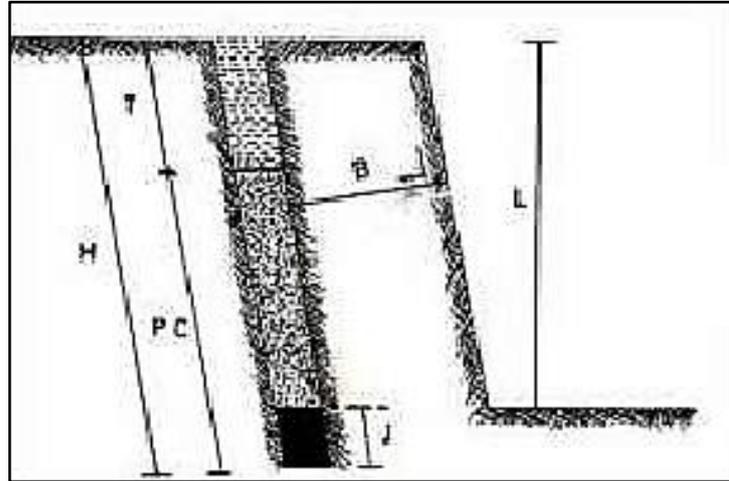
2. Lubang miring, merupakan arah pengeboran yang lubang bornya dibuat dengan sudut tertentu terhadap bidang *horizontal* (Fikri, 2022). Pada pola ini bidang bebas akan menerima gelombang ledak yang dipantulkan dari lantai dasar jenjang lebih besar, sedangkan gelombang tekan yang diteruskan pada bagian bawah lantai jenjang lebih kecil seperti pada Gambar 5. Berikut merupakan keuntungan dari arah pengeboran miring, yaitu:

- a. Fragmentasi seragam dan tumpukan hasil peledakan lebih baik, karena dapat mengurangi terjadinya bongkahan-bongkahan besar.
- b. Mengurangi terjadinya tonjolan pada jenjang.
- c. Mengurangi terjadinya *back break*, permukaan jenjang lebih rata dan stabil sehingga memperkecil terjadinya longsor yang dimana akan mengganggu kegiatan penambangan.
- d. Memperkecil *subdrilling* sehingga dapat mengurangi terjadinya proses cekungan akibat pemecahan batuan berlebih di lantai jenjang.

Sedangkan kerugian yang dimiliki pada arah lubang miring yaitu:

- a. Pada ketinggian jenjang yang sama dengan lubang bor tegak, memiliki kedalaman lubang bor yang lebih panjang.
- b. Waktu pengeboran lebih lama.
- c. Kemungkinan pelembaran batuan hasil peledakan lebih besar serta lebih banyak gelombang tekan yang digunakan untuk membongkar batuan.
- d. Daya ledak hampir seluruhnya dapat tersalurkan secara penuh, namun dalam pengerjaannya terdapat beberapa kesulitan dalam pembuatannya, seperti: kesulitan dalam pengisian bahan peledak, juga masalah dengan

struktur geologi seperti bidang perlapisan dan kekar, dibutuhkan juru bor yang berpengalaman, juga sulit dilakukan pengeboran secara akurat sebab dapat terjadi penyimpangan kemiringan.

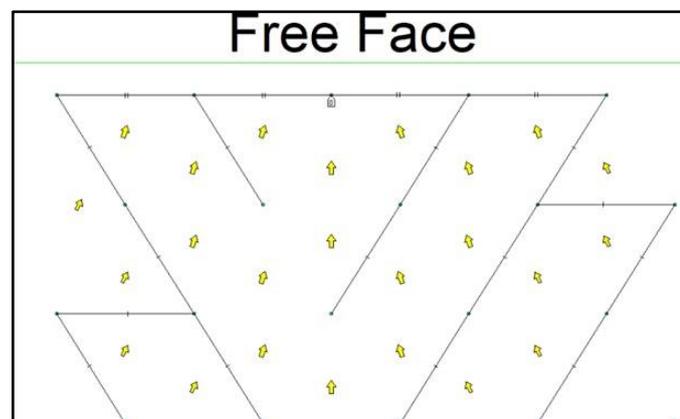


Gambar 5 Lubang ledak miring

2.5 Pola Peledakan

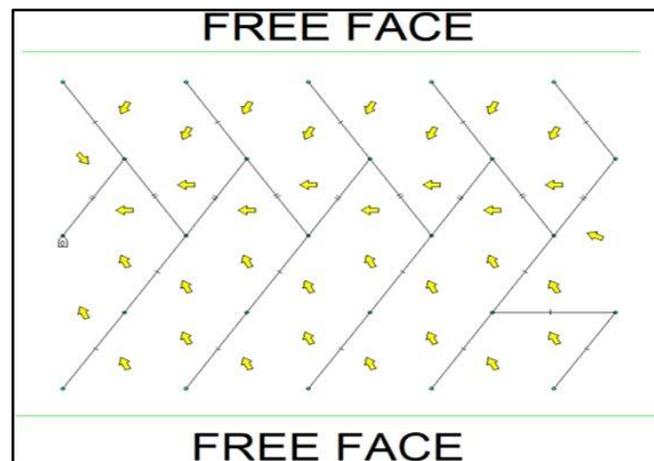
Pola peledakan merupakan urutan waktu peledakan antara lubang tembak dalam satu baris dan antara satu dengan yang lainnya. Pola peledakan ditentukan tergantung arah mana pergerakan material yang diharapkan (Yuhendra, 2017). Setiap baris lubang tembak yang akan diledakkan harus memiliki ruang yang cukup di muka bidang bebas yang sejajar dengan lubang tembak untuk terdesak, pecah, mengembang dan tidak terlontar keatas. Berdasarkan sistem inisiasinya dan arah runtuhannya, pola peledakan *hole by hole* dibagi menjadi tiga macam, yaitu:

1. *V-cut*, yaitu pola peledakan yang arah runtuhannya batuan menuju ke salah satu titik dan membentuk pola "v" seperti pada Gambar 6.



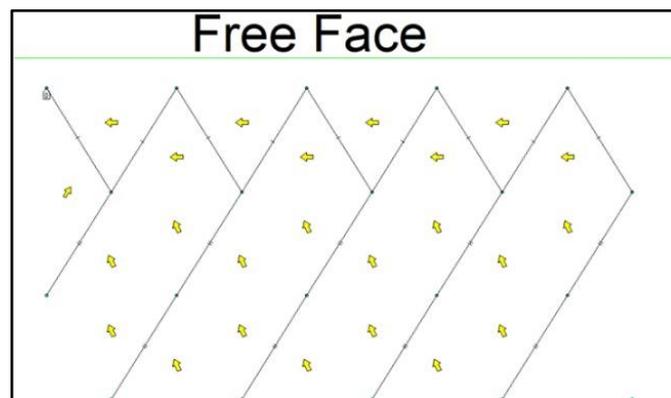
Gambar 6 Pola rangkaian V-Cut

2. *Box Cut*, yaitu pola peledakan yang arah runtuh batuanmu menuju ke arah bidang bebas dan membentuk kotak seperti pada Gambar 7.



Gambar 7 Pola rangkaian *Box Cut*

3. *Corner Cut/ Echelon Cut*, yaitu pola peledakan yang dimana arah runtuhan batuanmu ke salah satu sudut dari bidang bebasnya seperti pada Gambar 8.



Gambar 8 Pola rangkaian *Corner Cut*

Ada macam-macam pola peledakan berdasarkan urutan peledakan di antaranya pola peledakan yang lubang-lubang tembaknya diledakkan dengan waktu penundaan atau beruntun dalam satu baris (*hole by hole*) dan pola peledakan serentak (*row by row*) dalam satu baris dan beruntun antara baris satu dengan baris yang lain.

2.6 Bahan Peledakan

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).

2.7 Pengisian Bahan Peledakan

Parameter yang perlu diperhatikan dalam pengisian bahan peledak yaitu:

1. *Loading Density* (de) (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 26.

$$de = 0,000785 \times SGe \times (De)^2 \quad (3.7) \quad (26)$$

Dimana;

De = *Loading density* (kg/m)

SGe = Berat jenis bahan peledak (g/cm^3)

De = Diameter lubang ledak (mm)

2. Jumlah Pemakaian Bahan Peledak (E) banyaknya bahan peledak yang akan digunakan dapat dicari dengan menggunakan persamaan 27.

$$E = PC \times de \times n \quad (27)$$

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) merupakan volume material yang akan diledakkan dalam suatu perencanaan peledakan dapat dihitung menggunakan Persamaan 28.

$$V = B \times S \times L \times n \quad (28)$$

Dimana;

V = Volume peledakan (m^3)

B = *Burden* (m)

S = Spasi (m)

L = Tinggi jenjang (m)

n = Jumlah lubang ledak

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

a. Berat bahan peledak per volume batuan yang diledakkan (kg/m^3)

b. Berat bahan peledak per berat batuan yang diledakkan (kg/ton)

untuk menghitung *powder factor* bisa dilihat pada Persamaan 29.

$$PF = \frac{\text{Berat Bahan Peledak}}{\text{Volume Batuan}} = \frac{(\text{Berat}/\text{m} \times (\text{Panjang isian}))}{(B \times S \times H)} \quad (29)$$

Dimana;

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

E = Jumlah pemakaian bahan peledak (kg)

V = Volume peledakan (m^3)

Nilai *powder factor* biasanya sudah ditetapkan oleh perusahaan pertambangan itu sendiri. Umumnya nilai dari *powder factor* jika berpegang pada aspek teknis hasil dari perhitungan matematis akan diperoleh nilai *powder factor* yang besar dimana menurut penilaian yang dilakukan secara ekonomi masih dapat dihemat. Pengalaman di beberapa perusahaan pada tambang terbuka, nilai *powder factor* (PF) yang ekonomis berkisar antara 0,20–0,30 kg/m^3 yang dimana nilai tersebut dikatakan ekonomis bisa dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 *Powder factor* peledakan beberapa jenis batuan

No	Batuan	PF– kg/m^3
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

No	Batuan	PF-kg/m ³
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

Sumber: Triananda dkk (2018)

2.8 Bahaya Operasi Peledakan

Bahaya yang ditimbulkan oleh operasi peledakan dapat disebabkan oleh banyak faktor. Semua bahaya yang ditimbulkan sangatlah penting. Terdapat beberapa bahaya operasi peledakan seperti di bawah ini (Gokhale, 2011):

1. *Missfires* atau *missed fire*. Terjadi ketika lubang ledak yang telah diisi tidak meledak atau ketika bagian dari kolom bahan peledak di dalam lubang ledak belum meledak bersama dengan lubang ledak lainnya. Jika bahaya misfire diabaikan dan kegiatan penambangan dilanjutkan, bahan peledak di lubang ledak dapat tiba-tiba meledak selama kegiatan tersebut. Hal ini dapat menjadi bencana bagi lingkungan yang dapat menyebabkan kerugian yang besar serta kematian. Oleh karena itu, dalam setiap ledakan, seorang blaster harus sangat berhati-hati agar tidak terjadi misfire. Setelah ledakan, blaster harus memastikan bahwa misfire yang benar-benar terjadi dan jika benar-benar terjadi seorang blaster harus mengambil tindakan korektif sebelum kegiatan penambangan dilanjutkan.
2. *Ground vibrations* atau getaran tanah. Ketika bahan peledak diledakkan di lubang ledak, reaksi kimia melibatkan sejumlah energi besar. Awalnya, intensitas energi sangat tinggi sehingga material di dekat dinding lubang ledak dapat dihancurkan dan dipindahkan ketika intensitas energi berkurang, energi terus merambat melalui batuan sebagai getaran tanah elastis. *Ground vibration* adalah dampak dari operasi peledakan yang menghasilkan energi getar yang besar dan merambat ke dalam tanah dengan radius yang jauh.
3. *Air blast* atau disebut juga *air overpressure*. Terjadi karena adanya pergerakan massa batuan yang cepat dan juga penyemburan gas di bawah tekanan yang sangat tinggi sehingga menyebabkan gelombang tekanan dengan

meningkatkan dan menurunkan tekanan udara atmosfer secara berturut-turut.

4. *Flyrock* atau batu terbang merupakan fragmentasi batuan yang terlempar akibat operasi peledakan. Fragmentasi batuan yang terlempar melebihi jarak aman dapat menyebabkan kematian, cedera serius pada manusia, kerusakan peralatan, bangunan, properti, dll. Arah lemparan *flyrock* sangatlah tidak terduga. Namun, dapat dikatakan bahwa *flyrock* biasanya bergerak dari lubang ledakan di baris pertama menuju *free face*.
5. *Air pollution* atau polusi udara merupakan bahaya pertambangan yang paling merusak. Namun, tidak pernah dianggap demikian karena efek polusi udara tidak langsung seperti *air blast*, *flyrock* dan *ground vibration*. Gas yang dihasilkan proses kegiatan operasi peledakan mengandung dua kemungkinan gas yaitu *smoke* atau *fumes*. *Smoke* tidak berbahaya karena hanya terdiri dari uap atau asap yang berwarna putih sedangkan *fumes* berwarna kuning dan berbahaya karena sifatnya yang beracun, terdiri dari karbon monoksida, nitrogen oksida, nitrogen dioksida. *Fumes* dapat terjadi apabila bahan peledak yang digunakan tidak memiliki keseimbangan oksigen, bahan peledak kadaluarsa selama penyimpanan, atau karena komposisi campuran bahan peledak yang berupa *Amonium Nitrate* dan *Fuel Oil* yang tidak sesuai. Selain itu, biasanya terdapat asap berwarna hitam dari hasil operasi peledakan yang disebabkan oleh kelebihan atau kekurangan *fuel oil* dan letak lubang ledak yang terlalu dekat dengan lapisan batubara.
6. *Environmental changes*, bahaya pengeboran dan khususnya peledakan memiliki efek jangka panjang terhadap lingkungan sekitar. Tidak hanya mempengaruhi populasi manusia tetapi juga mempengaruhi semua jenis hewan dan tumbuhan. Ketika proyek pertambangan akan dimulai, area yang luas diakuisisi oleh pihak berwenang. Luasnya mencapai beberapa ribu hektar. Area yang begitu luas diperlukan untuk lokasi penambangan, pabrik pengolahan, tempat tinggal pekerja tambang, dll. Saat proyek pertambangan berlangsung, tanaman hijau berkurang karena pohon dan semak ditebang. Selain itu, terik matahari dan pergerakan alat berat di tanah yang kering membuat lingkungan sekitar sangat berdebu sehingga warna sekitarnya

dengan cepat berubah menjadi warna lapisan debu. Suara dari mesin alat berat dan operasi peledakan juga mengganggu lingkungan dan permukiman warga sekitar daerah tambang. Setiap proyek pertambangan, baik milik pemerintah maupun swasta, harus mengambil langkah-langkah yang diperlukan untuk melestarikan atau memulihkan lingkungan.

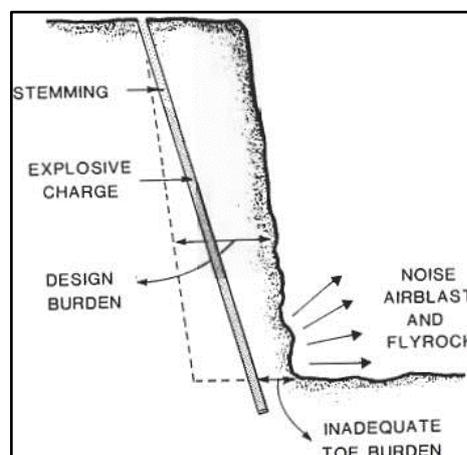
2.9 Batu Terbang (*Flyrock*)

Flyrock (batu terbang) adalah lemparan batuan ke segala arah secara tidak terduga dari kegiatan peledakan yang berdampak paling berbahaya bagi keselamatan manusia, alat, dan bangunan (Bhandari, 1997). Berdasarkan KEPMEN ESDM 1827K 30 MEM 2018 halaman 79, dijelaskan bahwa jarak aman peledakan bagi alat dan fasilitas pertambangan 300 (tiga ratus) meter serta bagi manusia 500 (lima ratus) meter dari batas terluar peledakan diukur pada jarak *horizontal* dan / atau berdasarkan kajian teknis.

2.10 Faktor Pengaruh Terjadinya *Flyrock*

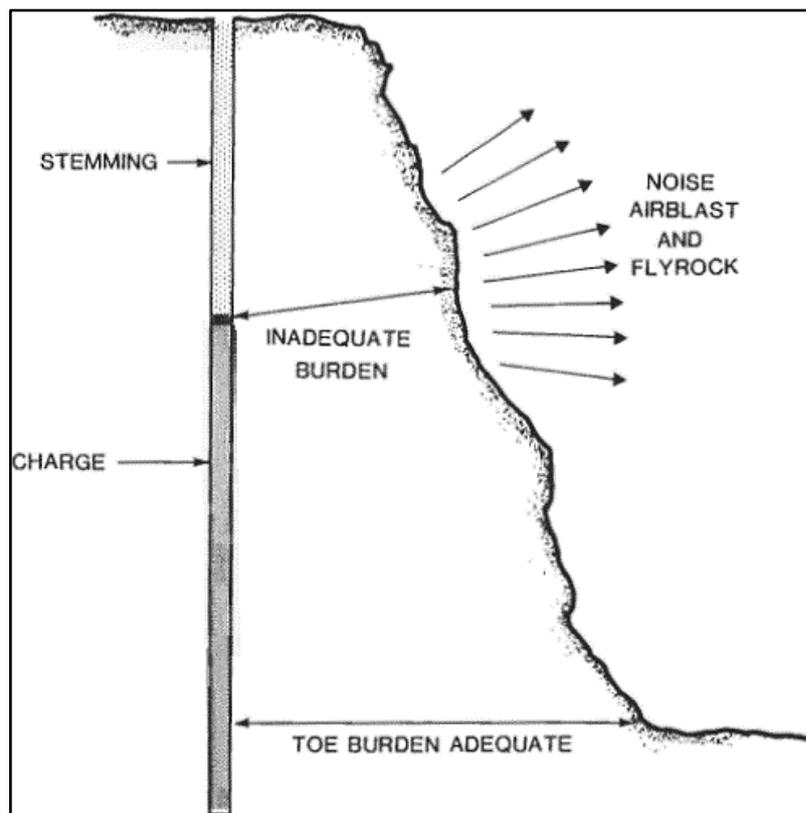
Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi *flyrock* sebagai salah satu bahaya operasi peledakan diantaranya, sebagai berikut (Bhandari, 1997) :

1. Ketidaksesuaian *burden* dan spasi, parameter peledakan seperti *burden* dan spasi harus diperhitungkan dengan memperhatikan diameter lubang ledak, karakteristik batuan dan perkiraan hasil fragmentasi yang diinginkan. *Burden* yang terlalu kecil dapat menyebabkan isian bahan peledak akan keluar melalui *free face* dari lubang ledaknya seperti pada Gambar 9.



Gambar 9 Jarak *burden* yang pendek (Bhandari,1997)

Penggunaan lubang vertikal biasanya menyebabkan variasi dalam beban di bagian atas dan bawah jenjang. Baris pertama biasanya dekat dengan *crest*. Hal ini yang dapat menyebabkan *blow out* dan mengakibatkan *flyrock*. Kondisi ini yang seharusnya dikontrol agar tidak terjadinya lemparan *flyrock* yang berpencar ke arah yang tidak diinginkan, dikarenakan pembuatan lubang ledak dilakukan sebelum operasi peledakan sehingga dapat diantisipasi dalam pembuatan lubang ledaknya seperti pada Gambar 10.

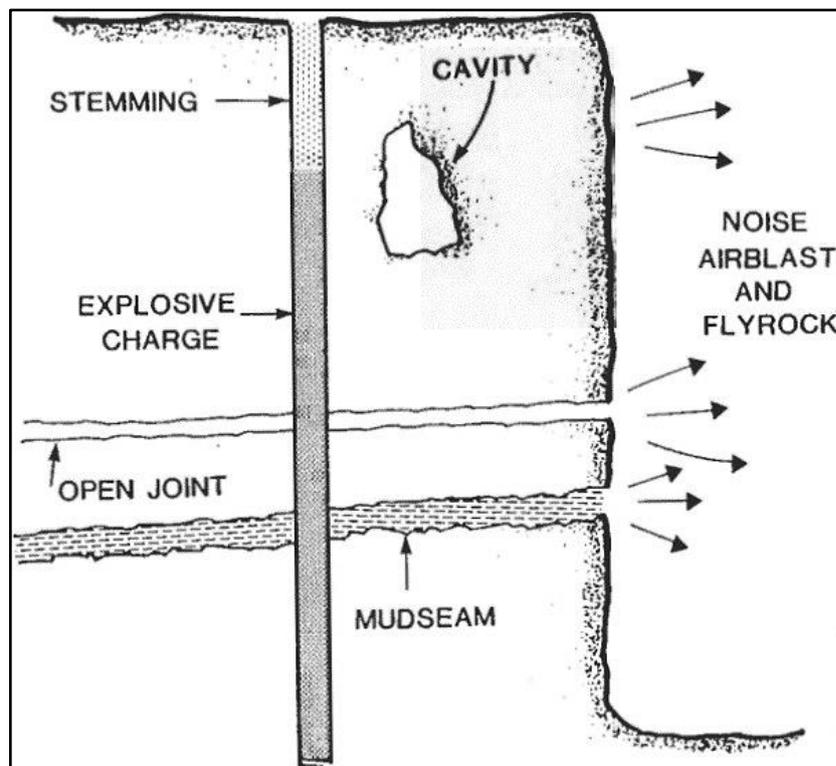


Gambar 10 Jarak burden yang terlalu pendek (Bhandari, 1997)

Spasi yang lebih kecil dari *burden* akan menyebabkan energi antar lubang dalam satu baris akan terkumpul dan menyebabkan energi ke arah *free face* berkurang. Sehingga batuan akan cenderung terlempar ke atas dan berpotensi menyebabkan *flyrock*.

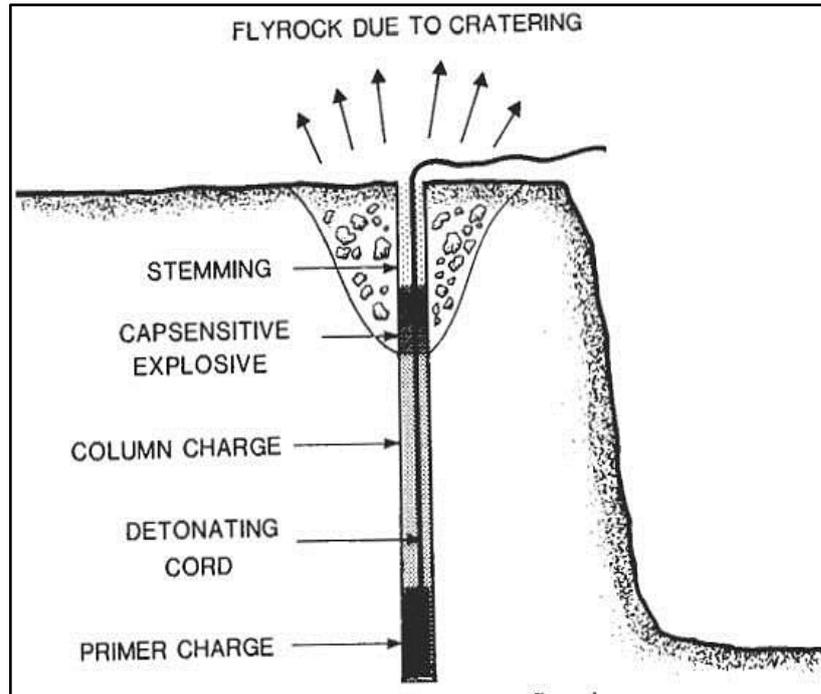
- Kelebihan bahan peledak, jarak yang ditempuh *flyrock* akan tergantung pada *specific charge*. Jumlah *specific charge* yang tinggi akan menyebabkan lemparan *flyrock* ke jarak yang lebih jauh daripada jumlah *specific charge* yang rendah. Jika terdapat rongga pada lubang ledak atau kelalaian pekerja dalam pengisian bahan peledak, bahan peledak akan dimuat secara

berlebihan sehingga peledakan tersebut dapat mengakibatkan *flyrock* yang berlebihan seperti pada Gambar 11.



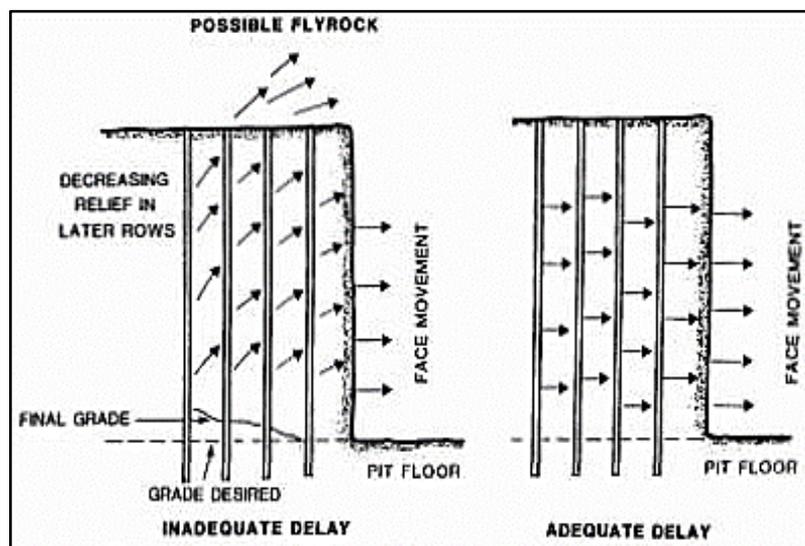
Gambar 11 Bahan peledak yang berlebihan (Bhandari, 1997)

3. Kondisi geologi, zona lemah dan berongga yang terdapat pada massa batuan dalam area peledakan akan menyebabkan kondisi *flyrock* lebih mungkin terjadi pada kondisi tersebut. Bahan peledak yang terisi pada bagian batuan tersebut dapat menyebabkan *blow out* dan kemudian hal tersebut lah yang menjadi penyebab terjadinya *flyrock*.
4. Ketidaksesuaian pengeboran, ketepatan jarak burden dan spasi pada saat pengeboran yang sesuai dengan perencanaan akan menghasilkan ukuran fragmentasi material hasil peledakan yang baik.
5. Ketidaksesuaian *stemming*, lubang ledak yang terisi dengan stemming yang terlalu panjang akan menyebabkan energi yang dihasilkan untuk memecahkan batuan tidak cukup. Akan tetapi, isian stemming yang terlalu pendek juga akan sangat berpotensi menyebabkan *flyrock*. Dalam hal ini perlu dilakukannya penyesuaian ukuran stemming dan pengisiannya agar kekuatan ledakan pada bidang lemah batuan dapat dikontrol seperti pada Gambar 12.



Gambar 12 *Stemming* sebagai penyebab *flyrock* (Bhandari, 1997)

6. Penentuan waktu tunda (delay) dan pola inisiasi yang kurang tepat dalam peledakan sangat berpengaruh terhadap hasil peledakan dan pergerakan energi dalam proses pemecahan batuan. Penentuan waktu tunda yang tepat akan membuat pergerakan energi ke arah *free face* sesuai dengan urutan peledakan. Penentuan waktu tunda yang kurang tepat akan mengakibatkan energi hasil peledakan akan bergerak ke segala arah dan dapat berpotensi mengakibatkan *flyrock*, *ground vibration* dan *air blast* seperti pada Gambar 13.

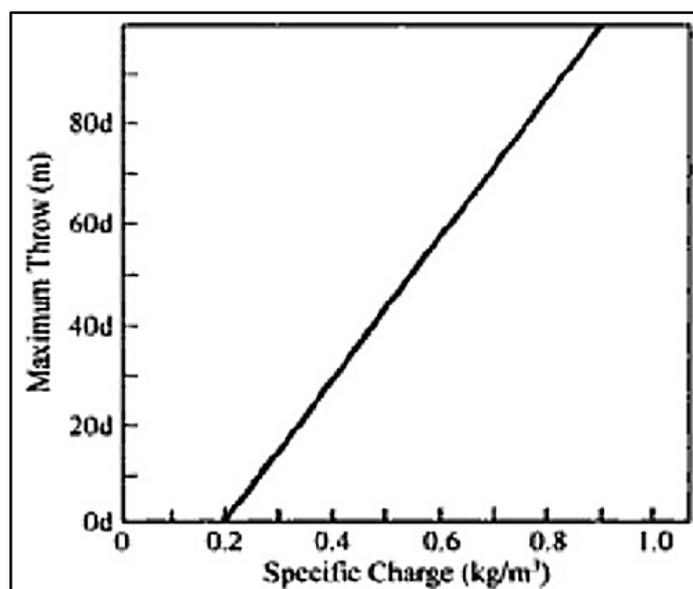


Gambar 13 Pengaruh waktu *delay* terhadap potensi *flyrock* (Bhandari, 1997)

2.11 Perhitungan Lemparan Maksimum *Flyrock*

Beberapa penelitian telah dilakukan dalam usaha menentukan mekanisme terjadinya *flyrock*. Sebagian penelitian tersebut telah dilakukan oleh Swedish Detonic Research Foundation, *Richard* dan *Moore*, *Ebrahim Ghasemi* dan Skala Pengisian yang dikembangkan oleh PT *Orica Mining Service*. Penelitian tersebut bertujuan untuk menentukan jarak yang aman dari bahaya *flyrock* serta mengontrol/meminimalisir jarak lemparan *flyrock*. Berikut penjabaran terkait perhitungan perkiraan lemparan maksimum *flyrock* dari masing – masing penelitian tersebut:

1. Berdasarkan penelitian di *Swedish Detonatic Research Foundation (Sve De Vo)*, *lundborg* mengembangkan persamaan perhitungan semi-empiris untuk memprediksikan lemparan maksimal *flyrock* serta ukuran optimal *boulder flyrock*. Persamaan tersebut ditentukan berdasarkan pengalaman dan pengamatan di lapangan. Ketika *specific charge* atau *powder factor* (q), $q \leq 0,2 \text{ kg/m}^3$ maka lemparan *flyrock* dianggap tidak ada (Suyadi & Ko, 2019). Sedangkan perhitungan dari q untuk lemparan maksimal dinyatakan sebagai berikut lihat Gambar 14.



Gambar 14 Lemparan maksimum *flyrock* sebagai fungsi *specific charge* (Suryadi & Kopa, 2019)

Perhitungan lain dari q untuk lemparan maksimum bisa dilihat pada Persamaan 30.

$$L = 143 d (q - 0,2) \quad (30)$$

Dimana;

L : Lemparan Maksimal (m)

d : Diameter Lubang Ledak (*inch*)

q : *Specific Charge* (kg/m³)

Untuk perhitungan ukuran optimal boulder dari *flyrock* bisa dilihat pada Persamaan 31.

$$\Phi = 0,1 d^{2/3} \quad (31)$$

Keterangan :

Φ : Diameter *Boulder* (m)

d : Diameter lubang ledak (*inch*)

Sedangkan pada kondisi burden dan *stemming* tidak sesuai menyebabkan terjadinya *cratering* seperti pada Gambar 15 yang sebenarnya lebih berbahaya dari lemparan ke arah depan, sehingga lemparan maksimal dari *boulder* optimal bisa dilihat pada Persamaan 32.

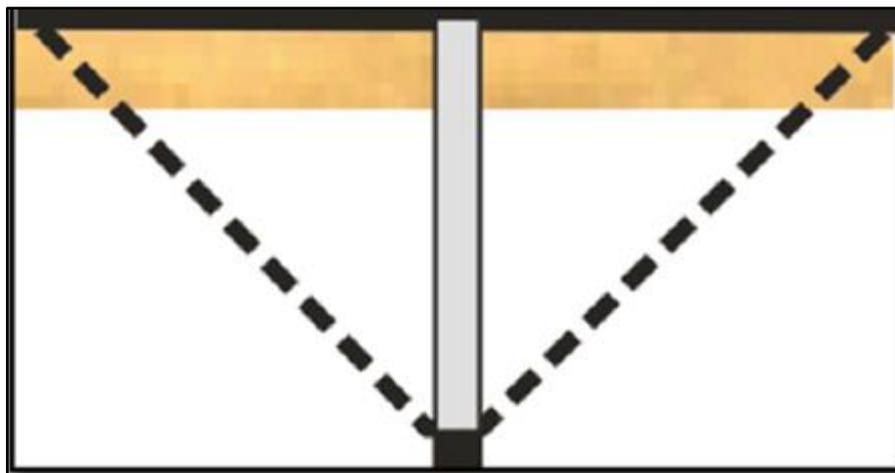
$$L_{\max} = 260 d^{2/3} \quad (32)$$

Dimana;

L_{\max} : lemparan maksimal (m)

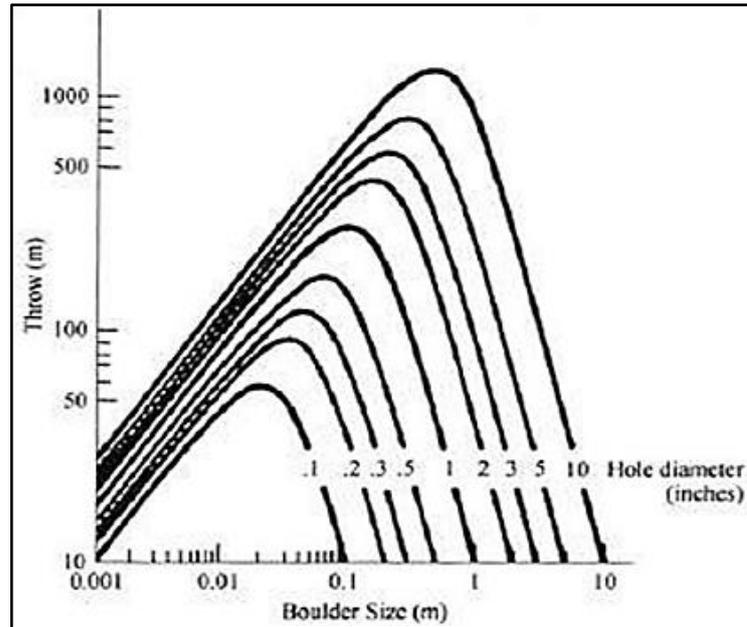
q : *specific charge* (kg/m³)

d : diameter lubang ledak (*inch*)



Gambar 15 Diagram representasi dari *cratering*

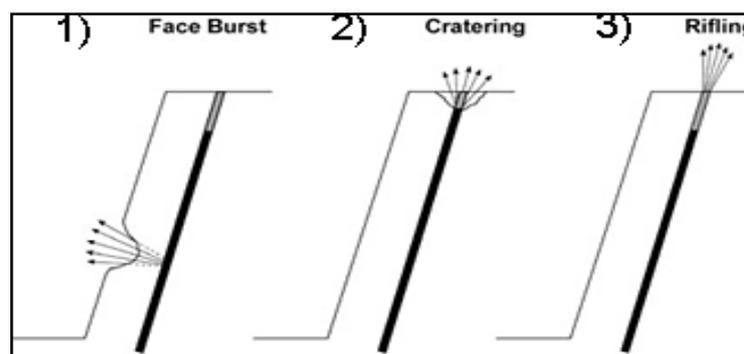
Di samping itu, dengan adanya range berbagai macam ukuran diameter lubang ledak terhadap ukuran *boulder* seperti pada Gambar 16 mengharuskan dilakukannya evakuasi dengan jarak yang sangat jauh untuk mencegah terjadinya kecelakaan.



Gambar 16 Lemparan maksimal terhadap *boulder* berdasarkan variasi diameter lubang

Perhitungan *Lundborg* berguna untuk mengetahui lemparan maksimal *flyrock* yang dapat terlempar sebagai akibat dari pengerjaan kegiatan peledakan yang tidak terkontrol.

2. Perkiraan lemparan maksimum *flyrock* menurut *Richard* dan *Moore*, Menurut pengujian yang telah dilakukan *Adrian J. Moore* dan *Alan B. Richard* ada 3 faktor utama yang memengaruhi terjadinya *flyrock* seperti pada Gambar 17 pada saat kegiatan peledakan (*Richard and Moore, 2005*) yaitu :



Gambar 17 Tiga jenis terjadinya *flyrock* ((*Richard and Moore, 2005*))

- a. *Face Burst*, kondisi *burden* dapat mengontrol lemparan batuan ke depan jenjang. Jarak *burden* pada baris depan peledakan di lapangan yang terkadang terlalu dekat dapat menyebabkan potensi *flyrock* secara *face burst* semakin besar (Lihat Gambar 17) bisa dilihat pada Persamaan 33.

$$L = \frac{k^2}{g} \left(\frac{\sqrt{m}}{B} \right)^{2.6} \quad (33)$$

Dimana;

L : Lemparan maksimal (m)

K : Konstanta untuk overburden batubara (13,5)

g : Percepatan gravitasi (9,8 m/s)

m : Berat isian bahan peledak per meter (kg/m)

B : Burden (m)

b. *Cratering* ialah kondisi *flyrock* diakibatkan dari tinggi *stemming* yang terlalu pendek serta terdapatnya bidang lemah pada lubang ledak. Bidang lemah tersebut biasanya merupakan material *broken* dari hasil peledakan sebelumnya. Berdasarkan kondisi tersebut maka *flyrock* dapat terlempar ke segala arah dari lubang ledak yang diinisiasi (Lihat Gambar 17) bisa dilihat pada Persamaan 34.

$$L = \frac{k^2}{g} \left(\frac{\sqrt{m}}{SH} \right)^{2.6} \quad (34)$$

Dimana;

L : Lemparan maksimal (m)

k : Konstanta untuk *overburden* batubara (13,5)

g : Percepatan gravitasi (9,8 m/s)

m : Berat isian bahan peledak per meter (kg/m)

SH : *Stemming Height* (m)

c. *Rifling* ialah kondisi di mana isian *stemming* sudah sesuai untuk mencegah *flyrock* secara *cratering* namun material *stemming* yang digunakan kurang baik. *Flyrock* yang disebabkan lebih cenderung dari kemiringan lubang ledak karena jika pada lubang ledak tegak *flyrock* diasumsikan akan kembali pada titik semula (Lihat Gambar 17) bisa dilihat pada Persamaan 35.

$$L = \frac{k^2}{g} \left(\frac{\sqrt{m}}{SH} \right)^{2.6} \times \sin 2 \theta \quad (35)$$

Dimana;

L : Lemparan maksimal (m)

k : Konstanta untuk *overburden* batubara (13,5)

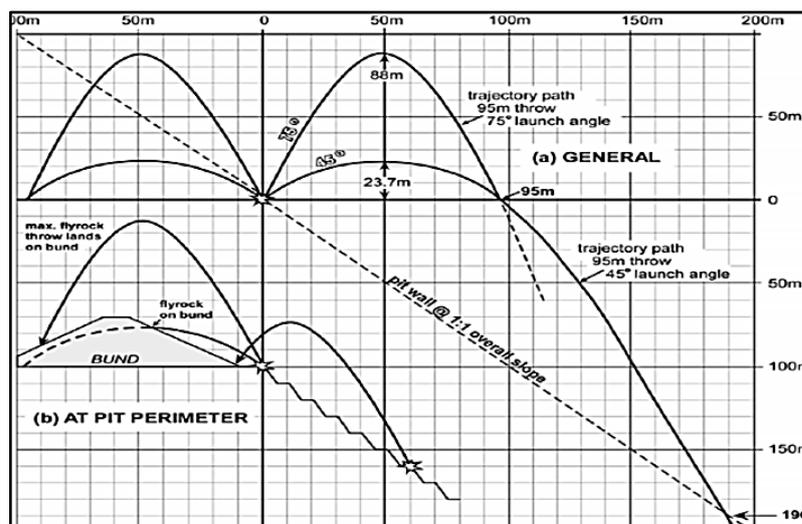
g : Percepatan gravitasi (9,8 m/s)

m : Berat isian bahan peledak per meter (kg/m)

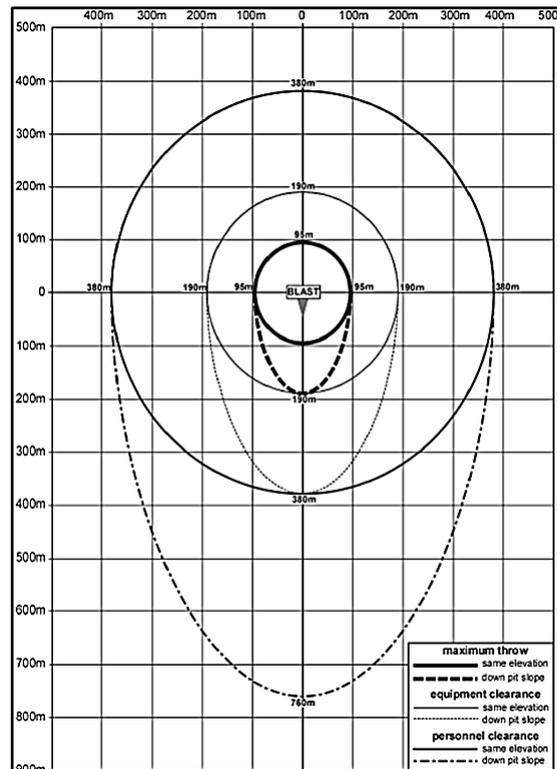
SH : *Stemming Height* (m)

Konstanta untuk *overburden* batubara didapatkan $k = 13,5$ berasal dari data hasil investigasi yang dilakukan *Alan B. Richard* dan *Adrian J. Moore* pada kondisi peledakan untuk *overburden* batubara atau batuan lunak. Investigasi dibantu dengan data yang akurat tentang kondisi muka jenjang serta penanganan stemming yang baik. Sedangkan $k = 17,5$ untuk komponen batuan keras, seperti basal atau granit.

Richard dan *Moore* menentukan daerah jatuhnya lemparan *flyrock* untuk setiap lokasi peledakan atau disebut juga *exclusion zone*, berdasarkan penelitian di Super Pit Gold Mine, Australia. Penentuan *exclusion zone* ditetapkan dari lemparan aktual *flyrock* yang diperoleh dari hasil pengamatan kegiatan peledakan. Berdasarkan Gambar 18 dan 19 dibawah lemparan maksimum *flyrock* untuk elevasi yg sama adalah 95 m, sedangkan prediksi lemparan *flyrock* untuk elevasi yang lebih rendah adalah 190 m, di mana 190 m adalah 2 kali lemparan maksimum aktual, dari lemparan aktual *flyrock* dibuat rekomendasi *safety factor*. Penentuan *exclusion zone* minimum ditentukan oleh penerapan *safety factor* dimana *safety factor* 2.0 untuk alat dan *safety factor* 4.0 untuk manusia seperti pada Gambar 18 dan Gambar 19.



Gambar 18 Lintasan *flyrock* dari lokasi peledakan
(*Richard and Moore*, 2005)



Gambar 19 Lemparan maksimal dan rekomendasi jarak aman ((Richard and Moore, 2005)

Analisa dimensi merupakan metode penelitian untuk dapat menyimpulkan informasi lebih lanjut terkait fenomena tertentu yang bergantung pada postulat bahwa fenomena apapun dapat menjelaskan melalui persamaan dimensi homogen. Dengan kata lain, analisis dimensi adalah teknik untuk mengubah dimensi asli dari variabel suatu masalah ke dalam produk tanpa dimensi (Deswijaya, 2022). *Flyrock* diasumsikan sebagai fungsi dari parameter peledakan yang dapat dikontrol seperti yang bisa dilihat pada Persamaan 36.

$$F_d = a(B, S, St, H, D, P, Q) \quad (36)$$

Dimana;

F_d = Jarak lemparan *flyrock* (m)

B = *Burden* (m)

S = Spasi (m)

St = Panjang kolom *stemming* (m)

H = Tinggi jenjang (m)

D = Diameter lubang (m)

P = *Powder factor* (kg/m^3)

Q = Jumlah isian rata-rata per lubang (kg)

3. *Ebrahim Ghasemi* membuat persamaan untuk memprediksi jarak *flyrock* dengan menggunakan metode analisis dimensi berdasarkan parameter peledakan yang dapat di kontrol yang bisa dilihat pada Persamaan 37 (Deswijaya, 2022).

$$F_d = a(B^{b_1} S^{b_2} St^{b_3} H^{b_4} D^{b_5} (P/Q)^{1/3 * (b_1+b_2+b_3+b_4+b_5)}) \quad (37)$$

Dimana;

F_d = Jarak lemparan *flyrock* (m)

a = Faktor pengali

b_1 = Nilai koefisien *burden*

b_2 = Nilai koefisien *spacing*

b_3 = Nilai koefisien *stemming*

b_4 = Nilai koefisien kedalaman lubang

b_5 = Nilai koefisien diameter lubang