

Analisis Flyrock Handling Dalam Kegiatan Peledakan Untuk Mendapatkan Radius Aman Alat Pada Quarry Bukit Karang Putih PT. Semen Padang Sumatera Barat

Jeffry Albadri^{1,*}, Dedi Yulhendra²

¹Departemen Teknik Pertambangan Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang

*jeffryalbadri88@gmail.com

*dediyulhendra@ft.unp.ac.id

Abstract. PT. Semen Padang is a mining company that uses the open pit mining method, namely Quarry Side Hill mining, which is mining method carried out to excavate deposits of industrial minerals or non-metallurgical minerals. The rock to be transported to the crusher must be blasted first. The quality of the blasting results will determine the success of the blasting activity. Explosives release a large amount of energy during an explosion, only 20-30% is used to crush and move rocks and the rest is wasted in the form of environmental side effects. One of the impacts of blasting activities on the environment in the area around mining is a flyrock. At 15:15 location PT. Semen Padang, precisely on front 5, is located close to one of the generator units which is also a spotlight, this unit is 63 m from the blasting location. The author finds several flyrock throwing directions that are not in accordance with the freeface direction, but sideways or in an unwanted direction and produce excess flyrock that can hit the generator unit or equipment behind or beside the blasting area which was thought to be safe before. Flyrock throwing distance analysis will be carried out using the Richard & Moore empirical model and Ebrahim Ghasemi dimensional analysis model.

Keywords: *Blasting, Flyrock, Safety Distance, Richar & Alan J. Moore, Ebrahim Ghasemi.*

1 Pendahuluan

Penambangan adalah proses penggalian mineral dari tanah atau batuan dengan menggunakan peralatan khusus. Untuk memperoleh mineral, perlu untuk menggali lapisan penutup yang terdiri dari berbagai lapisan batuan yang berbeda dalam urutan tertentu. Ketika bekerja di sektor pertambangan, hard rock sering dijumpai; namun, jenis batuan ini tidak dapat langsung diekstraksi karena mengurangi efisiensi instrumen penggalian dan pemuatan yang digunakan. Oleh karena itu, prosedur peledakan yang melibatkan penghamburan batuan yang ada menjadi solusi dari permasalahan tersebut.

PT. Semen Padang adalah perusahaan semen nasional yang memiliki Izin Usaha Pertambangan (IUP) Batu gamping di Bukit Karang Putih, Indarung, Padang, Sumatera Barat. Produksi semen sangat bergantung pada batu kapur sebagai sumber bahan baku utamanya. Operasi penambangan Karang Putih untuk batu kapur di Bukit Karang Putih. Proses Quarry digunakan di seluruh produksi Semen Padang. Operasi peledakan adalah apa yang bertanggung jawab untuk pembuatan batu kapur sendiri. Derajat fragmentasi batuan yang terjadi sebagai akibat langsung dari peledakan digunakan sebagai ukuran efektivitas tindakan peledakan. Salah satu dari sekian banyak penanda keberhasilan proses peledakan itu sendiri adalah persentase batuan berukuran boulder dan jarak flyrock. Persentase ini dan jarak ini keduanya diukur setelah proses peledakan.

Flyrock merupakan salah satu masalah lingkungan yang mungkin timbul akibat kegiatan peledakan di lokasi

penambangan. Istilah "*flyrock*" mengacu pada fragmen batu yang didorong secara tidak menentu sebagai akibat dari kekuatan dorong eksplosif. Selama proses peledakan, jika pecahan batuan yang dilempar lebih besar dari kriteria yang diperbolehkan, berpotensi merusak peralatan mekanik, serta menyebabkan cedera tubuh atau bahkan kematian personel. Setiap tindakan yang melibatkan peledakan harus menjadikan ini sebagai salah satu prioritas utamanya.

Segera setelah semua unit dan orang dapat meninggalkan area tersebut, keberadaan flyrock tentu tidak lagi menjadi perhatian yang signifikan. Namun apabila terdapat kondisi atau permasalahan yang mengakibatkan unit, fasilitas, atau manusia tidak mampu atau sulit untuk dievakuasi (misalnya crusher dan posisi tembak), maka petugas bahan peledak dituntut untuk dapat mengambil langkah antisipasi apabila terjadi hal tersebut. keadaan darurat, seorang petugas bahan peledak harus memiliki kemampuan untuk mengantisipasi apa yang akan terjadi.

Pada lokasi 15:15 PT. Semen Padang tepatnya pada front 5 memiliki jarak yang berdekatan dengan salah satu unit genset yang sekaligus merupakan lampu sorot, unit ini berjarak 63 m dari lokasi peledakan. Penulis mendapatkan beberapa arah lemparan flyrock yang tidak sesuai dengan arah freeface, melainkan kesamping ataupun kearah yang tidak diinginkan dan menghasilkan excess flyrock yang dapat mengenai unit genset ataupun alat yang berada dibelakang ataupun disamping area peledakan yang sudah dikira aman sebelumnya.

Dengan kemajuan penambangan mengarah keatas, tentu ini menjadi masalah serius untuk penempatan unit genset tersebut karena posisi genset yang harus selalu dibelakang area peledakan. Hal ini karena genset akan selalu digunakan pada malam hari kegiatan pemboran lubang ledak dan pekerja tidak memindahkan unit tersebut sampai penambangan dilakukan di area berikutnya.

Hal ini tentu menjadi masalah serius akan safety dari alat dan juga para pekerja disekitar area peledakan. Maka dari itu diperlukan kajian analisis flyrock demi mengetahui maupun meminimalisir arah lemparan flyrock yang berakibat fatal (flyrock handling).

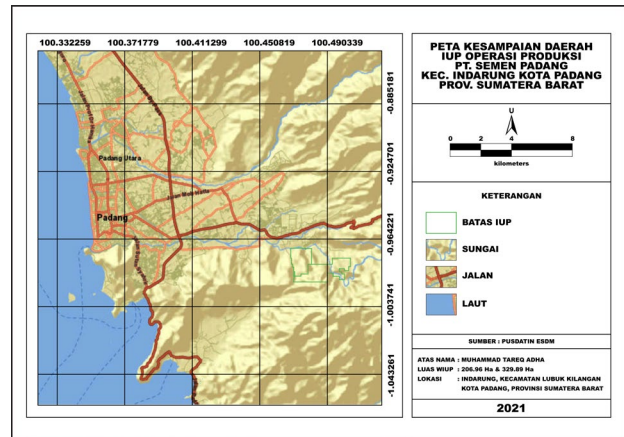
Contoh gambar pengukuran jarak lemparan terjauh *flyrock* dapat dilihat pada gambar 1



Gambar 1. Pengukuran jarak *flyrock*

2 Lokasi Penelitian

Tempat penambangan yang disebut sebagai PT. Semen Padang dapat ditemukan di Bukit Karang Putih yang berada di kawasan Indarung Kecamatan Lubuk Kilangan Kota Padang Provinsi Sumatera Barat. Lokasi ini berjarak kurang lebih 15 kilometer ke arah timur Kota Padang dan berada pada ketinggian 350 meter di atas permukaan laut. Desa Karang Putih merupakan lokasi Semen Padang. Desa Karang Putih adalah sebuah desa kecil yang dapat ditemukan kurang dari dua kilometer di selatan Indarung. Koordinatnya adalah sebagai berikut: 0 derajat 56 menit 51,56 detik lintang selatan; 100 derajat 26 menit 51,76 derajat bujur timur; dan 0 derajat 57 menit 50,56 detik bujur selatan. Lokasi penambangan batu kapur dapat diakses melalui kendaraan umum atau mobil milik PT Semen Padang, karena terhubung dengan jalan beton. Pabrik utama PT terletak sekitar 1600 meter dari tambang batu kapur ini. Semen Padang.



Gambar 2. Kesampaian Lokasi IUP PT. Semen Padang

Zona pegunungan Bukit Barisan adalah tempat daerah penelitian dapat ditemukan. Secara umum topografi wilayah sekitar Bukit Karang Putih terdiri dari perbukitan dan karst dengan kemiringan berkisar antara 20 derajat sampai 65 derajat. Medan Bukit Karang Putih dicirikan oleh medan berbukit yang terjal dan berada pada ketinggian yang berkisar antara 150 hingga 560 meter di atas permukaan laut rata-rata. Ukurannya kurang lebih 1 x 1,5 km², didominasi oleh litologi batu lempung yang mengalami perubahan menjadi tufa (batulempung kersikan).

Berikut adalah daftar litologi yang dapat ditemukan di Bukit Karang Putih, diurutkan dari yang tertua hingga yang termuda:

- Batugamping – Meta sedimen

Batugamping adalah batuan sedimen metarock yang berwarna abu-abu tua sampai abu-abu muda, mengkristal, dan berukuran besar. Ukuran butir batuan ini cukup kecil (kurang dari satu sentimeter).

- Batulempung Tufaan (Batu Silika)

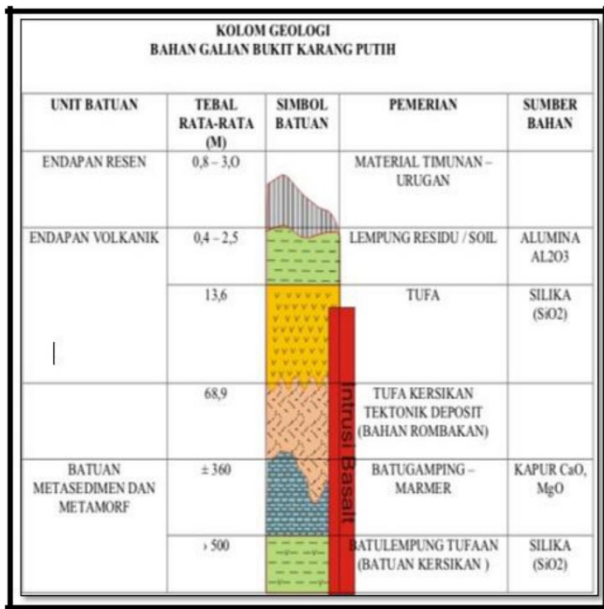
Batuan ini dapat ditemukan di sudut timur-tenggara lokasi penelitian, di titik tertinggi bukit Karang Putih, serta di tebing dan di daerah longsor yang membentang di sepanjang lembah selatan. Batulempung tufaan ini telah mengalami pelipatan yang intens, yang dapat dilihat pada strukturnya.

- Batu teobosan

Di daerah yang diselidiki, batuan beku yang memiliki komposisi basaltik ditemukan sebagai batuan terobosan.

- Endapan Aluvial

Endapan aluvial, yang merupakan singkapan termuda yang ditemukan di daerah yang diteliti, terdiri dari berbagai jenis batuan.



Sumber: PT. Semen Padang
 Gambar 3. Stratigrafi Bukit Karang Putih [3]

3 Kajian Teori

3.1. Rancangan Geometri Peledakan

Geometri peledakan sangat berpengaruh terhadap akibat peledakan, antara lain fragmentasi batuan yang diledakkan dan dampak peledakan (flyrock). Hasil peledakan dapat lebih terkontrol jika perhitungan dilakukan sebelum dan selama proses peledakan. Studi telah dilakukan oleh para profesional untuk menentukan geometri peledakan yang optimal untuk peledakan sesuai dengan kondisi lapangan dan bahan peledak yang digunakan. Istilah "beban", "spasi", "stemming", dan "subdrilling" adalah bagian dari geometri peledakan, seperti halnya ketinggian tangga, kedalaman lubang ledakan, dan panjang Kolom Serbuk.

Jumlah batuan yang terfragmentasi setelah ledakan merupakan indikator yang baik tentang seberapa sukses ledakan itu. Oleh karena itu, penyesuaian geometri peledakan dapat dilakukan untuk mendapatkan ukuran fragmentasi yang sesuai. Pencarian desain geometris dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa strategi yang berbeda, yaitu sebagai berikut:

3.1.1 Geometri Peledakan Menurut C.J Konya

Menurut C.J. Konya, geometri adalah suatu cara untuk mendapatkan hasil fragmentasi batuan sesuai dengan yang kita inginkan. Untuk mencapai hasil fragmentasi batuan sesuai dengan yang kita inginkan, penting untuk mengatur ledakan dengan tetap memperhatikan geometri ledakan.

3.1.1.1 Burden

Jarak dari lubang ledakan ke permukaan bebas berikutnya diukur dalam arah tegak lurus dikenal sebagai beban. Kualitas batu, bahan peledak, dan diameter

lubang semuanya berperan dalam menentukan seberapa besar beban yang akan ada. Menurut C.J. Konya, rumus berikut dapat digunakan untuk menentukan beban sesuatu:

$$B = 3.15 \times de \times \sqrt[3]{\frac{\rho_e}{\rho_r}} \quad (1)$$

Keterangan :

- B = Burden (ft)
- de = Diameter Bahan Peledak (in)
- ρ_e = Berat Jenis Bahan Peledak (gr/cc)
- ρ_r = Berat Jenis Batuan (ton/bcm)

3.1.1.2 Spacing

Spacing ditentukan dari waktu tunda yang telah direncanakan.

Tabel 2. Penentuan Spasi Geometri Peledakan Menurut C.J Konya

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

3.1.1.3 Stemming

stemming merupakan lapisan untuk menutupi lubang ledak yang telah diisi bahan peledak.

$$T = K_s \times B \quad (3)$$

- Batuan massif, $ks = 1$
- Batuan berlapis, $ks = 0,7$

3.1.1.4 Subdrilling

Tingginya subdrilling tergantung struktur, jenis batuan, dan arah lubang bor. Berikut rumus mencari nilai subdrilling:

$$J = 0.3 \times B \quad (4)$$

Keterangan :

- J = Subdrilling (m)
- Kj = Koefisien Subdrilling
- B = Burden (m)

3.1.1.5 Kolom Isian

Kolom isian merupakan tinggi kedalaman lubang ledak yang akan diisi dengan bahan peledak.

$$PC = L - T \quad (5)$$

Keterangan :

- PC = Kolom Isian (m)
- L = Kedalaman Lubang Ledak (m)
- T = Panjang Stemming (m)

3.1.2 Geometri Peledakan Menurut R.L Ash

Rumusan empiris tersebut berfungsi sebagai panduan untuk desain awal kegiatan peledakan batuan. Formulasi ini didasarkan pada pengalaman empiris yang dikumpulkan di berbagai lokasi dengan karya dan batuan yang bervariasi.

3.1.2.1. Burden

Burden merupakan jarak tegak lurus dari lubang ledak dengan bidang bebas yang terdekat. Maka untuk mencari nilai *burden* dengan metode R. L Ash ialah :

$$B = \frac{Kb \text{ koreksi} \times De}{12} \quad (10)$$

3.1.2.2. Spacing

Besar *spacing* dapat ditentukan dengan rumus sebagai berikut :

$$S = B \times Ks \quad (11)$$

Keterangan :

S = *Spacing* (meter)

B = *Burden* (meter)

Ks = *Spacing ratio*

3.1.2.3. Stemming

Stemming adalah zat yang menutupi bahan peledak di dalam lubang bor sebelum diledakkan. Berfungsi untuk menjaga keseimbangan, membantu menahan gas yang dihasilkan oleh ledakan, dan memiliki kekuatan untuk menghancurkan batu dengan kekuatan yang mengesankan.

$$T = Kt \times B \quad (12)$$

Keterangan :

Kt = *Stemming ratio*

T = *Stemming* (meter)

B = *Burden* (meter)

3.1.2.4. Subdrilling

Subdrilling adalah proses penambahan kedalaman lubang bor ke tingkat yang dihasilkan untuk memastikan bahwa tingkat terbatas pada lantai dan tetap rata.

$$J = Kj \times B \quad (13)$$

Keterangan :

Kj = *Subdrilling ratio*

J = *Subdrilling* (meter)

B = *Burden* (meter)

3.1.2.5. Kedalaman Lubang Ledak

Kedalaman Lubang ditetapkan dengan mempertimbangkan kapasitas produksi dan kapasitas alat muat.

$$L = Kh \times B \quad (14)$$

Keterangan :

Kh = *Hole depth ratio*

L = Kedalaman lubang ledak (meter)

B = *Burden* (meter)

3.1.2.6. Powder Column

$$PC = L - T \quad (14)$$

Keterangan :

PC = Panjang *Powder Column* (meter)

L = Kedalaman lubang ledak (meter)

T = *Stemming* (meter)

3.2 Produksi Peledakan (*Powder Factor*)

Ketika mengacu pada produksi peledakan, faktor bubuk (PF) dari massa batuan yang telah disebarluaskan sebagai akibat langsung dari proses peledakan biasanya digunakan.

Bahan peledak yang digunakan akan berdampak signifikan terhadap distribusi ukuran fragmen yang dibongkar, selain berdampak pada kegiatan penambangan yang akan datang.

Kuantitas bahan peledak yang dikemas ke dalam panjang pengisi tertentu disebut sebagai densitas pemuatan. Untuk menghitung densitas pembebanan, persamaan berikut harus digunakan:

$$de = SG_{\text{Handak}} \times d^2 \times (\pi/4) \times 1000 \quad (15)$$

Keterangan :

de = Loading Density (kg/m)

SG_{handak} = Berat Jenis Bahan Peledak (gr/cc)

d = Diameter Lubang Bor (m)

Menentukan banyaknya bahan peledak dalam setiap lubang, sebagai berikut:

$$E = PC \times de \quad (16)$$

Keterangan:

E = Jumlah Bahan Peledak (kg)

PC = Tinggi Kolom Isian (m)

de = *Loading Density* (kg/m)

Maka didapat nilai *powder factor* (PF) sebagai berikut:

$$PF = \frac{E}{\text{tonase batuan terberai}} \text{ (kg/ton)} \quad (17)$$

3.3 Flyrock

Flyrock pecahan batu yang terlempar secara tak terduga dari lokasi ledakan karena kekuatan pendorong bahan peledak.

3.3.1 Faktor yang Menyebabkan Flyrock

Dikutip pada buku Engineering Rock Blasting Operations, Bhandari 1997, faktor yang mempengaruhi terjadinya flyrock sebagai berikut:

- Ketidaksesuaian Burden dan Spacing
- Kondisi Geologi

- Ketidaksesuaian Pegeboran
- Ketidaksesuaian *Stemming*
- Penentuan *delay time* dan Inisiasi yang tidak tepat
- Penyebab Lainnya

3.3.2 Penyebab Terjadinya Flyrock

Menurut (Richard dan Moore, 2005) mengatakan bahwa “Flyrock saat peledakan dihasilkan oleh tiga mekanisme utama yang disebabkan kurangnya pengurangan energi pada kolom peledakan” (Gambar 19). Mekanisme terjadinya flyrock menurut Richard & Moore:

- *Face Burst*

Flyrock yang dipengaruhi oleh jarak *burden face* geometri peledakan

$$L_{Max} = \frac{k^2}{g} \left(\frac{\sqrt{m}}{B} \right)^{2,6} \quad (18)$$

- *Createring*

Flyrock yang dipengaruhi oleh jarak *stemming* geometri peledakan

$$L_{Max} = \frac{k^2}{g} \left(\frac{\sqrt{m}}{SH} \right)^{2,6} \quad (19)$$

- *Rifling*

Flyrock yang dipengaruhi oleh jarak kemiringan lubang ledak geometri peledakan

$$L_{Max} = \frac{k^2}{g} \left(\frac{\sqrt{m}}{SH} \right)^{2,6} \sin 2\theta \quad (20)$$

Keterangan :

L_{Max} = Lemparan maksimal *flyrock* (m)

k = Konstanta material

g = Percepatan gravitasi (m/s²)

B = Burden awal (m)

SH = Panjang *stemming* (m)

θ = Kemiringan lubang ledak (°)

m = Berat isian bahan peledak per meter/loading density (kg/m)

Dengan mengetahui jarak lemparan maksimal aktual dan menggunakan persamaan diatas, maka didapatkan persamaan k sebagai berikut :

$$K = \sqrt{\frac{L \times g}{\left(\frac{\sqrt{m}}{SH} \right)^{2,6}}} \quad (21)$$

3.4 Analisis Statistik

3.4.1 Analisis Korelasi

Sebuah scatterplot dapat dianggap sebagai representasi dari hubungan yang ada antara dua variabel. Representasi ini berbentuk korelasi, yaitu hubungan yang terjalin antara satu variabel dengan variabel lainnya, dimana koefisien korelasi (ρ) mempunyai nilai $-1 \leq \rho \leq 1$.

3.4.2 Koefisien Determinasi

Keragaman variabel bebas bertanggung jawab untuk menjelaskan keragaman variabel terikat (Y), yang meliputi koefisien determinasi (R^2) sebagai komponen keragaman tersebut (X). Berikut interpretasi nilai koefisien determinasi pada Tabel 4.

Tabel 4. Interpretasi nilai Koefisien Determinasi (R^2).^[10]

R^2	Interpretasi
0,00 – 0,25	Tidak ada hubungan/hubungan lemah
0,26 – 0,50	Hubungan sedang
0,51 – 0,75	Hubungan kuat
0,76 – 1,00	Hubungan sangat kuat/sempurna

3.4.3. Regresi

Regresi dapat digunakan untuk menjelaskan hubungan antara dua atau lebih jenis variabel yang berbeda, terutama hubungan antara variabel terikat dan variabel bebas.

4 Metode Penelitian

4.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang dilakukan di sini dikenal sebagai penelitian terapan. Tujuan utama dari penelitian terapan adalah untuk mencari jalan keluar (solusi) yang berkaitan dengan masalah tertentu sehingga informasi ini dapat langsung diterapkan untuk mengatasi masalah yang sedang dihadapi saat ini.^[11]

4.2 Teknik Pengumpulan Data

Metode berikut digunakan untuk memperoleh data untuk penelitian ini:

1. Penelitian tentang kegiatan peledakan dan flyrocking dilakukan melalui pembacaan dan internet.
2. Pengamatan di lapangan, yang mungkin termasuk atau tidak termasuk tindakan termasuk peledakan.
3. Wawancara dengan individu yang diakui sebagai pemimpin di industri masing-masing..

Data-data yang dikumpulkan selama penelitian terbagi atas dua data, yaitu :

4.2.1. Data Primer

- Geometri aktual peledakan
- Titik jatuhnya *flyrock*
- Jarak *flyrock* dengan *free face*

4.2.2 Data Sekunder

- Gambaran daerah penelitian
- Data hasil peledakan sebelumnya
- Data Geologi
- *Hand Book* peralatan yang digunakan di area penelitian
- Karakteristik Bahan Peledak (DABEX)

4.3. Teknik Pengolahan Data

Adapun pengolahan data-data yang diperlukan dalam penelitian ini meliputi :

1. Menganalisis pengaruh geometri peledakan terhadap jarak aktual *flyrock* dari hasil geometri peledakan aktual.
2. Perhitungan lemparan *flyrock* berdasarkan model empirik Richard & Moore. Merupakan metode pengukuran *Flyrock* berdasarkan 3 pengaruh, diantaranya jarak *Burden* awal peledakan, ketinggian *stemming*, dan kemiringan lubang ledak.
3. Perhitungan lemparan *flyrock* didasarkan pada analisis dimensi Ebrahim Ghasemi. Jarak lemparan *flyrock* sebenarnya dibandingkan dengan dimensi parameter peledakan yang dapat dikontrol, seperti beban, jarak, *stemming*, kedalaman lubang, panjang muatan, faktor serbuk, diameter lubang ledakan, dan pengisian lubang ledakan. Metode analisis lemparan batu layang ini didasarkan pada dimensi parameter peledakan.
4. Perhitungan nilai konstanta batuan di area peledakan untuk mengetahui apakah batuan di area 15:15 PT.Semen Padang berpengaruh terhadap *flyrock* hasil peledakan.
5. Perhitungan prediksi *flyrock* hasil geometri usulan menggunakan *safety factor*.

5 Hasil dan Pembahasan

5.1 Kegiatan Peledakan

5.1.1 Data Geometri Peledakan Aktual

Di wilayah Pit Limit PT, pengamatan dilakukan sebanyak 20 semburan. Semen Padang pada tanggal 2 Desember 2020 sampai dengan 25 Februari 2021. Penulis memanfaatkan data geometri peledakan aktual yang terdapat pada Lampiran 1 untuk melakukan kegiatan peledakan.

Tabel 5. Data geometri peledakan aktual

No	BA	B	S	H	T	PC
1	0,83	3,51	3,72	10,00	3,74	6,26
2	0,45	3,22	3,58	10,09	3,38	6,71
3	1,23	3,46	4,00	10,38	3,77	6,61
4	0,55	3,26	4,25	5,00	2,96	2,04
5	2,25	3,53	4,12	10,58	4,33	6,25
6	0,74	3,84	4,89	4,69	2,94	2,19
7	1,12	3,12	4,55	9,51	3,80	5,71
8	2,27	3,00	4,25	10,62	4,21	6,41
9	0,74	3,48	4,12	9,09	3,64	5,45
10	1,77	3,27	3,52	6,43	3,12	3,31
11	1,18	3,80	3,92	8,82	3,31	5,51
12	1,48	3,34	3,54	9,50	3,69	5,81
13	1,92	3,19	4,29	8,29	3,56	4,73
14	1,19	3,00	3,43	10,00	4,27	5,73
15	0,68	3,27	4,25	9,80	3,66	6,14
16	0,72	3,15	3,78	10,00	3,79	6,21
17	1,34	3,50	4,56	11,00	3,58	7,42
18	2,28	3,65	4,83	10,00	4,35	5,65
19	0,65	3,39	4,27	10,00	3,77	6,23
20	1,03	4,15	4,92	10,01	3,69	6,32

5.1.2 Flyrock

Kegiatan yang meliputi observasi dan pengumpulan data dimulai pada pukul 15.15 WIB di Area untuk lemparan *flyrock* terjauh sebanyak 20 kali. Tabel berikut memberikan gambaran lengkap tentang kegiatan peledakan Semen Padang, yang dirinci berdasarkan lokasi pengamatan.

Tabel 6. Jarak Terjauh Lemparan Flyrock Aktual Lokasi PLB

No	Tanggal	Jarak Flyrock Aktual (m)
1	02/12/2020	88,19
2	03/12/2020	97,58
3	04/12/2020	84,73
4	07/12/2020	94,28
5	08/12/2020	76,91
6	12/12/2020	95,49
7	19/12/2020	84,33
8	07/01/2021	78,84
9	11/01/2021	84,37
10	12/01/2021	85,79
11	13/01/2021	94,81
12	27/01/2021	87,65
13	01/02/2021	85,64
14	02/02/2021	78,75
15	09/02/2021	89,27
16	16/02/2021	86,91
17	20/02/2021	93,49
18	23/02/2021	74,33
19	24/02/2021	82,84
20	25/02/2021	84,88

8 terlihat bahwa jarak lemparan *flyrock* aktual terjauh secara horizontal selama penelitian di area 15:15 PT. Semen Padang berkisar antara 74,33 m hingga 97,58 m yang keduanya terjadi di lokasi PLB. Dimana dari 20 pengamatan lemparan *flyrock* terjauh sebenarnya selama investigasi, jarak lemparan *flyrock* di setiap titik pengamatan rata-rata panjangnya 86,53 meter. Pada tanggal 3 Desember 2020, *flyrock* terlempar dengan jarak terjauh sepanjang waktu selama penelitian. Dengan jarak lemparan rata-rata tersebut dan jarak terjauh tidak sampai 100 m maka dengan kajian ini jarak aman *flyrock* dapat dikurangi menjadi 150 m.

5.3 Analisis Statistik Hubungan Geometri Peledakan Terhadap Flyrock Aktual

Untuk mengetahui parameter geometri peledakan apa saja yang memiliki hubungan yang kuat terhadap lemparan *flyrock* pasca peledakan, maka dilakukan analisis regresi linear sederhana dari masing-masing parameter geometri peledakan terhadap jarak lemparan *flyrock*. Parameter geometri peledakan yang penulis analisis sesuai dengan faktor-faktor yang mempengaruhi

lemparan flyrock yaitu *burden, spacing, stemming, hole depth, charge length, powder factor, dan burden face*.

Tabel 7. Hasil Analisis Statistik Pengaruh Geometri Peledakan Terhadap Fragmentasi Peledakan

No	Parameter	R ²	Interpretasi Koefisien Determinasi
1	Burden Awal	0,4298	Hubungan Sedang
2	Burden	0,027	Hubungan Lemah
3	Spacing	0,0059	Hubungan Lemah
4	Stemming	0,724	Hubungan Kuat
5	Depth	0,1883	Hubungan Lemah
6	Powder Column	0,0051	Hubungan Lemah
7	Powder Factor	0,4317	Hubungan Sedang

5.4 Perhitungan Jarak Flyrock Maksimum Richard & Moore

Menurut model empiris yang dikembangkan oleh Richard dan Moore (2005), prediksi lemparan flyrock maksimum dapat dipecah menjadi tiga kategori yang berbeda. Kategori tersebut adalah sebagai berikut: face burst, kawah, dan rifling. Perhitungan yang diturunkan dari model empiris Richard dan Moore dapat dilihat pada Lampiran 3, dan hasil perhitungan perkiraan lemparan flyrock berdasarkan pengamatan sebelumnya terhadap aktivitas peledakan dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil Prediksi Lemparan Flyrock Menggunakan Model Empirik Richard & Moore

No	Flyrock Aktual	Prediksi Lemparan		
		Face Burst	Cratering	Rifling
1	88,19	721,17	112,45	64,43
2	97,58	1320,84	146,29	83,83
3	84,73	431,34	110,13	63,11
4	94,28	1110,57	206,56	118,36
5	76,91	162,00	76,83	44,02
6	95,49	822,21	210,24	120,46
7	84,33	491,97	107,59	61,65
8	78,84	159,44	82,66	47,36
9	84,37	822,21	121,00	69,33
10	85,79	245,45	180,14	103,22
11	94,81	457,53	154,47	88,51
12	87,65	327,22	116,45	66,73
13	85,64	214,00	127,83	73,25
14	78,75	452,12	79,67	45,65
15	89,27	900,75	118,95	68,16
16	86,91	847,29	108,63	62,24
17	93,49	380,58	125,98	72,19
18	74,33	158,17	75,92	43,50
19	82,84	943,95	110,13	63,11
20	84,88	550,70	116,45	66,73

Deviasi dan % error dihitung dengan membandingkan hasil model empiris lemparan batu layang Richard dan Moore dengan jarak lempar batu layang aktual terpanjang. Model ini dikembangkan oleh Richard dan Moore.

Tabel 9. Deviasi dan Persentase Kesalahan Prediksi Lemparan Flyrock Model Empirik Richard & Moore

Prediksi Metode Empirik Richard & Moore	Deviasi (m)	Persentase Kesalahan (%)
Face Burst	605,128	552%
Cratering	51,556	42%
Rifling (35°)	23,447	26%

Berdasarkan tabel diatas dapat dijelaskan bahwa deviasi perhitungan prediksi model empirik Richard dan Moore untuk face burst terhadap lemparan flyrock aktual sebesar 605,128 m yang berarti terdapat perbedaan 605,128 m antara prediksi dengan aktual. Persentase kesalahan dalam perhitungan face burst adalah sebesar 552%, yang berarti prediksi perhitungan face burst tidak akurat dalam memprediksi lemparan flyrock aktual pada area 15:15 PT. Semen Padang. Hal ini dikarenakan pada analisa model empiric Richard & Moore face burst berpengaruh terhadap burden awal pada geometri peledakan. Dimana pada geometri peledakan area 15:15 PT. Semen Padang memiliki ukuran burden awal yang sangat kecil dari standar Richard & Moore, yaitu setara ukuran burden.

Sedangkan untuk prediksi cratering memiliki deviasi sebesar 51,556 m dengan persentase kesalahan prediksi lemparan flyrock 42% dan Rifling memiliki deviasi 23,447 m dengan persentase kesalahan prediksi 26% yang berarti prediksi perhitungan rifling cukup akurat dalam memprediksi lemparan flyrock aktual pada area 15:15 PT. Semen Padang, karena kebenaran dari hitungan cratering dan rifling masing-masing sebesar 58% dan 74%

5.5 Perhitungan Jarak Flyrock Maksimum Ebrahim Ghasemi

Berdasarkan data penelitian di area 15:15 PT. Semen Padang, dengan menggunakan model analisis dimensi dan persamaan non-linear berganda. Sehingga didapatkan rumus empirik prediksi jarak lemparan flyrock yang berlaku pada lokasi penelitian sebagai berikut.

$$Fd=9013,81$$

$$\left[B^{-9,721} S^{-9,657} St^{-0,915} H^{-9,465} D^{1,746} \left(\frac{PF}{Q} \right)^{-9,671} \right]$$

Maka didapatkan hasil analisa sebagai berikut :

Tabel 10. Hasil Prediksi Lemparan Flyrock Menggunakan Model Analisis Dimensi Ebrahim Ghasemi

No	Jarak Flyrock Aktual (m)	Ebrahim Ghasemi (m)
1	88,19	76,23
2	97,58	84,10
3	84,73	76,39
4	94,28	82,34
5	76,91	67,52
6	95,49	81,25
7	84,33	74,93
8	78,84	69,93
9	84,37	76,84
10	85,79	82,41
11	94,81	82,80
12	87,65	76,51
13	85,64	77,25
14	78,75	67,99
15	89,27	77,85
16	86,91	75,74
17	93,49	81,14
18	74,33	66,49
19	82,84	75,95
20	84,88	76,83

Penyimpangan sebesar 10,51 meter, yang menunjukkan adanya ketidaksesuaian antara prediksi dan aktual sebesar 10,51 meter. Hal ini didasarkan pada prediksi lemparan flyrock menggunakan model analisis dimensi Ebrahim Ghasemi dengan jarak terjauh dari lemparan flyrock sebenarnya. Terdapat perbedaan 11% antara prediksi lemparan flyrock dan lemparan sebenarnya, yang menunjukkan bahwa ada kemungkinan 89% bahwa prediksi lemparan flyrock akurat dalam meramalkan lemparan yang sebenarnya.

5.6 Kegiatan Uji Coba Peledakan

Tujuan dilakukannya kegiatan uji peledakan adalah untuk memperoleh temuan mengenai kegiatan peledakan yang membuat jarak flyrock lebih pendek. Salah satu cara yang dapat dilakukan adalah dengan mengubah geometri peledakan. Pengujian perlu dilakukan pada geometri peledakan yang berbeda untuk mencapai jarak yang lebih pendek dari pelemparan batu. Stemming dan beban awal adalah dua parameter yang membentuk geometri peledakan yang dimodifikasi. Hal ini dilakukan karena secara statistik stemming memiliki kaitan yang sangat kuat dengan jarak lempar batu, dan beban awal memiliki kesalahan terbesar dalam penelitian yang penulis lakukan, khususnya analisis Richard & Moore. Akibatnya, melakukan ini perlu. Selain itu, stemming dan beban awal berperan penting dalam mengunci energi di lubang ledakan sehingga optimal dalam menyebarkan material ke samping dan meminimalkan potensi energi yang keluar dari lubang ledakan yang dapat menyebabkan flyrock. Hal ini karena energi terkunci di lubang ledakan saat optimal dalam

menyebarkan material ke samping dan saat optimal mengunci energi di lubang ledakan.

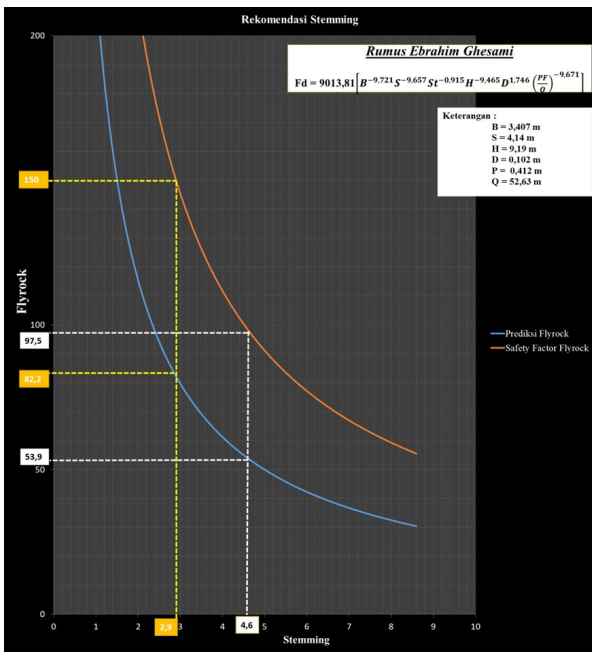
5.6.1 Rancangan Rekomendasi Geometri Uji Coba Peledakan

untuk mengurangi jarak yang akan ditempuh oleh flyrock selama aksi peledakan berikutnya. Penulis menawarkan desain geometri peledakan yang lebih efektif untuk tujuan pengelolaan lemparan flyrock. Rancangan geometri peledakan dilakukan dengan mengubah stemming dan beban awal pada desain geometri peledakan yang diterapkan perusahaan. Rancangan stemming yang diberikan adalah stemming minimum dan beban awal maksimum sesuai standar yang ditetapkan Richard & Moore pada kedalaman lubang ledak yang berbeda.

Perhitungan stemming dilakukan dengan model analisis dimensi Ebrahim Ghasemi dimana analisis model ini memiliki penyimpangan yang lebih kecil dibanding model empiric Richard & Moore, sedangkan perhitungan beban awal dilakukan dengan model empiric Richard & Moore karena model ini merupakan model yang sangat memperhitungkan geometri beban awal dalam peledakan tambang, yaitu analisa face burst. Dengan menggunakan rumus Ebrahim Ghasemi diperoleh grafik hubungan jarak antar spasi, jarak antar beban, tinggi stemming, kedalaman lubang, powder factor dan rata – rata isian perlubang ledak terhadap lemparan maksimum flyrock seperti terlihat di Gambar 35.

Dari grafik tersebut penulis akan menentukan safety factor berdasarkan tinggi stemming minimum dan jarak terjauh lemparan flyrock. Untuk tinggi stemming minimum angkanya adalah 2,94 m. Untuk jarak terjauh lemparan flyrock adalah 97,58 m. Menurut aplikasi yang dilakukan oleh Alan B. Richard dan Adrian J. Moore (2005), radius aman alat ini didasarkan pada dua kali perkiraan lemparan flyrock untuk menangani hal-hal yang tidak terduga. Maka dari itu penulis menetapkan radius flyrock untuk safety factor diangka 150 m

Apabila kedua nilai ini dimasukkan ke dalam grafik, maka didapatkan safety factor 1,8. Safety factor 1,8 inilah yang akan penulis pakai sebagai safety factor maksimum untuk melakukan perhitungan radius aman alat.



Gambar 4. Analisa Safety Factor

Berdasarkan Gambar 4, dengan menarik garis dari sumbu y pada lemparan penanggulangan maksimum 150 m ke kurva merah, yaitu safety factor 1,8 m, maka didapatkan tinggi stemming minimum 2,94 m. Dengan lemparan penanggulangan maksimum 150 m, maka lemparan aktual 97,58m setelah memperhitungkan safety factor didapatkan stemming minimum sebesar 4,6 m. Kemudian untuk mempermudah penentuan jarak burden awal pada lokasi yang memiliki free face sebagai gantinya dapat digunakan tinggi stemming minimum yaitu 4,6 m.

5.6.2 b. Prediksi Lemparan Flyrock Berdasarkan Simulasi Geometri Peledakan

Jarak prediksi lemparan batuan dihitung menggunakan model analisis dimensi Ebrahim Ghasemi, seperti berikut ini:

Tabel 11. Perbandingan Flyrock Sebelum dan Sesudah Perbaikan Stemming

No	Jarak Flyrock Aktual (m)	Face Burst, Richard & Moore (m)	Hasil Perbaikan Face Burst, Richard & Moore (m)
1	88,19	721,17	65,65
2	97,58	1320,84	65,65
3	84,73	431,34	65,65
4	94,28	1110,57	65,65
5	76,91	162,00	65,65
6	95,49	822,21	65,65
7	84,33	491,97	65,65
8	78,84	159,44	65,65
9	84,37	822,21	65,65
10	85,79	245,45	65,65
11	94,81	457,53	65,65
12	87,65	327,22	65,65
13	85,64	214,00	65,65
14	78,75	452,12	65,65
15	89,27	900,75	65,65
16	86,91	847,29	65,65
17	93,49	380,58	65,65
18	74,33	158,17	65,65
19	82,84	943,95	65,65
20	84,88	550,70	65,65

Sedangkan untuk perbaikan burden awal dapat dilakukan dengan analisis dengan model empiric Richard & Moore, lebih tepatnya analisa face burst yang digunakan untuk analisa burden awal. Jarak prediksi lemparan batuan dihitung menggunakan persamaan model empiric Richard & Moore (Face Burst), seperti berikut ini:

Tabel 12. Perbandingan Flyrock Sebelum dan Sesudah Perbaikan Burden Awal

	Prediksi Metode Empirik Richard & Moore	Deviasi (m)	Persentase Kesalahan (%)
Sebelum	Face Burst	605,128	552%
Sesudah	Face Burst	22,29	24%

6 Penutup

6.1 Kesimpulan

1. Geometri ledakan sebenarnya pada 15:15 (PT). Perusahaan menemukan bahwa jarak lempar flyrock sebenarnya untuk Semen Padang bervariasi dari 74,33 m hingga 97,58 m, dengan rata-rata 86,45 m. Varians ini tidak terlalu besar dibandingkan dengan desain yang telah diperhitungkan oleh perusahaan.
2. Sedangkan prediksi model analisis dimensional Ebrahim Ghasemi memiliki deviasi 10,51 meter dan persentase error 11%, hasil prediksi lemparan flyrock menggunakan model empiris Richard dan Moore pada prediksi face burst, kawah, dan rifling masing-masing memiliki deviasi sebesar 6414,09 meter, 23,98 meter, dan 37,14 meter dengan persentase kesalahan 4391%; 18% dan 40%.
3. Lebih mudah untuk mengantisipasi lemparan flyrock asli di zona waktu 15:15 jika seseorang memprediksi arah di mana flyrock akan dilempar. Model analisis dimensional Ebrahim Ghasemi adalah yang digunakan oleh Semen Padang. Hal ini dikarenakan deviasi dan persentase kesalahan prediksi dengan real memiliki disparitas yang lebih kecil.
4. Menurut hasil penelitian statistik, stemming memiliki hubungan yang sangat kuat dengan arah di mana flyrock sebenarnya dilempar di area 15:15 PT. 73,27 persen varians dapat dipertanggungjawabkan oleh nilai R2 Semen Padang..
5. Diketahui juga bahwa konstanta batuan di area 15:15 PT. Semen Padang juga mempengaruhi arah lemparan flyrock karna memiliki nilai 2 kali lebih besar dari standar, yaitu 17,2. Hal ini bisa terjadi karna adanya kondisi batuan yang jauh lebih lemah atau bervariasi jenis batuan di area peledakan.
6. Perancangan geometri peledakan untuk pengendalian flyrock adalah dengan panjang 4,6 meter, yang didasarkan pada rekomendasi panjang batang dan beban awal terkecil.

6.2 Saran

1. Ada studi tambahan yang dilakukan di area tersebut pada pukul 15:15 Waktu Pasifik. Implementasi desain ini di lapangan oleh Semen Padang, yang

tampaknya sedikit tidak sesuai dengan data perencanaan yang dibutuhkan, dapat digunakan sebagai model untuk proyek desain masa depan.

2. Sebelum memulai operasi pengeboran, zona peledakan harus diratakan. Ini akan membantu mengurangi jumlah flyrock yang dihasilkan dari batu yang dilemparkan selama proses peledakan.
3. Saat mengebor lubang sembur sebaiknya dilakukan pengendalian proses agar kedalaman dan kemiringan lubang sembur sesuai dengan rencana dan pemboran sesuai titik. Ini akan membantu membatasi kemungkinan flyrock diproduksi.
4. Menjaga kontrol stuffing dan stemming selalu diperlukan untuk memastikan bahwa lubang ledakan terisi penuh dengan batu kapur selama pemotongan, pengeboran, dan penghancuran..
5. Kontrol terhadap burden awal sangat diperlukan agar energy di bagian face area peledakan dapat dikontrol dengan baik sehingga tidak menimbulkan excess flyrock.

Kecamatan Lareh Sago Halaban, Kabupaten Lima Puluh Kota, Sumatera Barat. *Bina Tambang*, 3(3), 1163-1173.

- [10] Fikri, M. A., Heriyadi, B., & Prabowo, H. (2018). ANALISIS STABILITAS LERENG PADA PIT TAMBANG AIR LAYA BARAT SECTION C-C'PT BUKIT ASAM (PERSERO) TBK., SUMATERA SELATAN. *Bina Tambang*, 3(2), 835-849.
- [11] Heriyadi, B., Prengki, I., & Prabowo, H. (2019, November). Analysis of Collapse Load and Open Hole Evaluation Based on Rock Mass Rating (RMR) Method in Underground Mining. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1387, No. 1, p. 012104). IOP Publishing.
- [12] Septian, R., Heriyadi, B., & Prabowo, H. (2018). Analisis kestabilan lereng jalan tambang di pt. Sumbar calcium pratama jorong atas halaban, nagari halaban, kecamatan lareh sago halaban, kabupaten lima puluh kota, provinsi sumatera barat. *Bina Tambang*, 3(2), 893-903.

Daftar Pustaka

- [1] Ghasemi, E., Sari, M., & Ataei, M. (2012). "Development of an Empirical Model for Predicting the Effects of Controllable Blasting Parameters on *Flyrock* Distance in Surface Mines." *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 52. 163-170.
- [2] Havis, A., Singgih, S., & Bagus, W. (2015). "Analisis *Flyrock* untuk Mengurangi Radius Aman Alat pada Peledakan Overburden Penambangan Batubara." In *Proceeding, Seminar Nasional Kebumiharian Ke-8 Academia-Industry Linkage 15-16 Oktober 2015; Grha Sabha Pramana*. 120-127.
- [3] Kepmen, E. S. D. M. No. 1827. (2018). *Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang Baik*. Indonesia.
- [4] Koesnaryo, S. (2001). *Teknik Peledakan*. Bandung: Pusdiklat Teknologi Mineral dan Batubara.
- [5] Konya, C. J., & Walter, E. J. (1990). *Surface Blast Design*. USA: Prentice-Hall.
- [6] Kursus Juru Ledak Kelas II. (2004). Modul. Bandung: Pusdiklat Teknologi Mineral dan Batubara.
- [7] Sugiyono. (2008). *Metode Penelitian Pendidikan: (Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif dan R & D)*. Bandung: Alfabeta. Suryadi, S., & Kopa, R. (2019). "Analisis Geometri Peledakan untuk Meminimalisir Jarak Lemparan Batuan (*Flyrock*) pada Peledakan Tambang Terbuka PT Ansar Terang Crushindo II Pangkalan Sumatera Barat dengan Visualisasi Menggunakan Drone DJI Phantom 4". *Jurnal Bina Tambang*. 4(3). 175-186.
- [8] Taylor, R. (2010). "Macraes Phase III Vibration and Air Blast Assessment." *Orica Mining Services*. New Zealand.
- [9] Rinaldo, R., Heriyadi, B., & Prabowo, H. (2018). Analisis Pengaruh Parameter Geomekanika Batuan Terhadap Kegiatan Peledakan Pada Front Penambangan Blok A2 di CV. Triarga Nusatama,