



Analisis Pengaruh *Powder Factor* terhadap *Flyrock* dengan Metode Richard & Moore di PT. Sims Jaya Kaltim Kabupaten Paser Kalimantan Timur

Intan Wulandari^{1*}, Lucia Litha Respati², Henny Magdalena³, Tommy Trides⁴,
Ardhan Ismail⁵

¹⁻⁵Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman, Indonesia

Email : intanw2204@gmail.com¹, luciarespati@ft.unmul.ac.id²

*Penulis Korespondensi : intanw2204@gmail.com

Abstract. One of the risk impacts of blasting activities is flyrock. The impact of flyrock can be minimized by evaluate the factors that influence flyrock such as blasting geometry. Flyrock cannot be completely eliminated but flyrock distance can be reduced to prevent damage. This study aims to determine the actual maximum flyrock distance in the field and the factors that influence the flyrock distance. This study was conducted at PT. Sims Jaya Kaltim, Paser Regency, East Kalimantan Province. This research was conducted 31 times and the average throwing distance was 79.8 meters, the actual maximum flyrock throwing distance was 134.3 meters and the minimum throw was 40.5 meters. In the flyrock throw prediction, the Richard & Moore calculation method was used with a face burst mechanism of 121.3 meters and cratering of 232.2 meters and the Ebrahim Ghasemi dimensional analysis method of 104.5 meters. From both methods, the Ebrahim Ghasemi method was found to be closest to the actual flyrock with a standard deviation of 29.49 meters and an error percentage of 2.90%. From the results of the correlation between the blasting parameters and the actual flyrock, it was found that the factors that influence the occurrence of flyrock are powder factors, so an analysis was carried out to obtain a maximum flyrock throwing distance of 90 meters so that the safe radius of the tool is 180 meters, then the maximum powder factor used is 0.14 kg/m³.

Keywords: Actual Flyrock; Blast Design; Powder Factor; Safe Radius; Theoretical Flyrock Prediction.

Abstrak. Salah satu dampak resiko dari kegiatan peledakan yaitu *flyrock*. Dampak *flyrock* yang ditimbulkan dapat di minimalisis dengan memperhatikan faktor-faktor yang mempengaruhi *flyrock* dengan memperhatikan geometri peledakan. *Flyrock* tidak dapat sepenuhnya dihilangkan namun tentunya jarak lemparannya dapat diperkecil hingga mencapai tingkat keamanan untuk mencegah kerusakan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui jarak lemparan maksimum aktual di lapangan dan faktor yang mempengaruhi jarak lemparan *flyrock*. Penelitian ini dilakukan di PT. Sims Jaya Kaltim, Kabupaten Paser, Provinsi Kalimantan Timur. Penelitian ini dilakukan sebanyak 31 kali dan diperoleh jarak lemparan rata-rata yaitu 79,8 meter, jarak lemparan maksimum *flyrock* aktual sebesar 134,3 meter dan lemparan minimum yaitu 40,5 meter. Pada prediksi lemparan *flyrock* maka digunakan metode perhitungan Richard & Moore dengan mekanisme *face burst* yaitu 121,3 meter dan *cratering* yaitu 232,2 meter dan metode analisis dimensi Ebrahim Ghasemi yaitu 104,5 meter. Dari kedua metode maka didapatkan metode Ebrahim Ghasemi yang mendekati *flyrock* aktual dengan standar deviasi 29,49 meter dan persentase kesalahan yaitu 2,90%. Dari hasil korelasi antara parameter peledakan dengan *flyrock* aktual maka didapatkan faktor yang mempengaruhi terjadinya *flyrock* yaitu *powder factor*, sehingga dilakukan analisis untuk mendapatkan jarak lemparan *flyrock* maksimum 90 meter agar radius jarak aman alat 180 meter, maka penggunaan *powder factor* maksimum yang digunakan yaitu 0,14 kg/m³.

Kata Kunci: Desain Peledakan; Faktor Serbuk; *Flyrock* Aktual; Prediksi *Flyrock* Teoretis; Radius Aman.

1. LATAR BELAKANG

Peledakan adalah kegiatan melepaskan batuan dari batuan asalnya atau induknya supaya menjadi fragmentasi yang lebih kecil sehingga lebih mudah diangkut menggunakan alat mekanis, kegiatan yang mempunyai dampak resiko yang tinggi. Salah satu dampak resiko dari kegiatan peledakan yaitu *flyrock*. Dampak *flyrock* yang ditimbulkan dapat di minimalisis dengan memperhatikan faktor-faktor yang mempengaruhi *flyrock* dengan memperhatikan

geometri peledakan *Flyrock* tidak dapat sepenuhnya dihilangkan namun tentunya jarak lemparannya dapat diperkecil hingga mencapai tingkat keamanan untuk mencegah kerusakan. Oleh karena itu, penelitian ini akan dilakukan analisis geometri peledakan terhadap jarak lemparan maksimum *flyrock*, menganalisis faktor terbesar yang menyebabkan *flyrock*.

Fenomena *flyrock* umumnya disebabkan oleh kombinasi beberapa faktor seperti desain geometri peledakan yang kurang tepat, jumlah bahan peledak (powder factor), kondisi geologi batuan, serta kesalahan dalam proses stemming dan pemboran. Menurut Sari et al. (2022), kesalahan dalam perencanaan burden dan spacing dapat meningkatkan potensi lontaran batuan secara signifikan karena energi peledakan tidak terdistribusi secara optimal. Selain itu, studi oleh Putra dan Wijaya (2023) menunjukkan bahwa nilai powder factor yang terlalu tinggi cenderung meningkatkan energi berlebih yang menyebabkan jarak lemparan *flyrock* semakin jauh dan berbahaya bagi lingkungan sekitar tambang.

Selain faktor teknis, pengendalian *flyrock* juga dapat dilakukan dengan pendekatan prediktif menggunakan model empiris dan teoritis untuk menentukan radius aman (safe radius). Penelitian oleh Nugroho et al. (2024) menyatakan bahwa penggunaan model prediksi seperti theoretical *flyrock* prediction mampu membantu dalam menentukan zona aman sehingga risiko kecelakaan kerja dapat diminimalkan. Dengan demikian, kombinasi antara perencanaan geometri peledakan yang tepat dan penggunaan metode prediksi yang akurat menjadi kunci utama dalam pengendalian *flyrock* secara efektif dan berkelanjutan.

2. KAJIAN TEORITIS

Prediksi Lemparan *Flyrock* Menurut Richard & Moore

Perhitungan prediksi adanya 3 faktor yang mempengaruhi terjadinya *flyrock* menggunakan rumus Moore & Richards (2005), yaitu :

a. Face Burst

Face burst adalah jarak yang terjadi saat burden pada baris depan peledakan di lapangan yang terlalu dekat sehingga menyebabkan terjadinya potensi *flyrock*. Adapun rumus yang digunakan untuk menghitung jarak lemparan *flyrock* dan mencari nilai K sebagai berikut:

$$K = \sqrt{\frac{L \times g}{\left(\frac{\sqrt{LD}}{B}\right)^{2,6}}} \quad (1)$$

$$L = \frac{K^2}{g} \left(\frac{\sqrt{LD}}{B}\right)^{2,6} \quad (2)$$

Keterangan :

L : Lemparan Maksimal (m)

K : *Konstanta* Untuk *Overburden* Batubara

g : Percepatan Gravitasi (9,8 m/s²)

LD: *Loading Density* (kg/m)

B : *Burden* Awal (m)

b. *Cratering*

Cratering adalah kondisi tinggi *stemming* yang terlalu pendek serta terdapat bidang lemah pada lubang ledak sehingga dapat menyebabkan terjadinya *flyrock* yang dapat terlempar ke segala arah dari lubang ledak yang diinisiasi. Adapun rumus yang digunakan untuk menghitung jarak lemparan *flyrock* dan mencari nilai konstanta (K) dapat dilihat pada persamaan 3 dan persamaan 4.

$$K = \sqrt{\frac{L \times g}{\left(\frac{\sqrt{LD}}{SH}\right)^{2,6}}} \quad (3)$$

$$L = \frac{k^2}{g} \left(\frac{\sqrt{LD}}{SH}\right)^{2,6} \quad (4)$$

Keterangan :

L : Lempar maksimal

K : *Konstanta* untuk *overburden* batubara

g : Percepatan gravitasi (9,8 m/s²)

LD : *Loading density* (kg/m)

SH : Tinggi *stemming* (m)

c. *Rifling*

Rifling adalah kondisi dimana material *stemming* yang akan digunakan kurang baik dan biasanya disertai dengan *noise* (bunyi) ledakan yang tinggi. Pada saat kondisi seperti ini *flyrock* disebabkan oleh ludang ledak miring karena apabila lubang ledak tegak *flyrock* diasumsikan akan kembali pada titik semula. Adapun rumus yang digunakan untuk menghitung jarak lemparan *flyrock* pada persamaan 5.

$$L = \frac{k^2}{g} \left(\frac{\sqrt{LD}}{SH}\right)^{2,6} \sin 2\theta \quad (5)$$

Keterangan :

L : Lemparan maksimal (m)

k : *Konstanta* untuk overburden batubara

g : Percepatan gravitasi (9,8 m/s²)

LD: *Loading density* (kg/m)

SH : Tinggi *stemming* (m)

θ : Kemiringan lubang ledak

Prediksi Lemparan *Flyrock* Menurut Ebrahim Ghasemi

Persamaan dalam memprediksi lemparan maksimum *flyrock* yang dikembangkan oleh Ebrahim Ghasemi (2012) menggunakan analisis dimensi dari parameter peledakan yang dapat dikontrol dari *burden* (B), *spacing* (S), *stemming* (T), *hole depth* (H), diameter lubang ledak (De), isian bahan peledak per lubang (Qe), dan *powder factor* (PF).

$$Fd = \left(\frac{PF}{Q}\right)^{\frac{1}{3}} = a + b \ln \left[B \left(\frac{PF}{Q}\right)^{\frac{1}{3}} \right] + c \ln \left[S \left(\frac{PF}{Q}\right)^{\frac{1}{3}} \right] + d \ln \left[St \left(\frac{PF}{Q}\right)^{\frac{1}{3}} \right] + e \ln \left[H \left(\frac{PF}{Q}\right)^{\frac{1}{3}} \right] + f \ln \left[D \left(\frac{PF}{Q}\right)^{\frac{1}{3}} \right] \quad (6)$$

Sehingga, rumus empiris yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$Fd = \alpha \left[B^b, S^c, St^d, H^e, D^f, \left(\frac{PF}{Q}\right)^x \right] \quad (7)$$

Keterangan:

FD : *Flyrock distance* (m)

B : *Burden* (m)

S: *Spacing* (m)

St : *Stemming* (m)

H : *Hole Depth* (m)

D : Diameter lubang ledak (m)

Pf : *Power factor* (kg/m)

Q : Isian bahan peledak per lubang (kg)

ln : Logaritma natural

α : *Konstanta*

b,c,d,e,f,x : Koefisien dari persamaan non linear

$$x : \left[\frac{(b+c+d+e+f)-1}{3} \right]$$

3. METODE PENELITIAN

Pada tahap pengambilan data primer adalah data yang diperoleh secara langsung di lapangan dan pengambilan data sekunder adalah data yang sudah ada sebelumnya yang berasal dari perusahaan.

Pengumpulan Data

Data primer yang diambil langsung dilapangan yaitu koordinat *flyrock* aktual berupa data awal koordinat oleh tim survey PT. Sims Jaya Kaltim dan pengambilan titik koordinat jatuhnya *flyrock* menggunakan GPS RTK dan geometri peledakan aktual yang dilakukan pengukuran langsung dilapangan menggunakan *roll* meter, data yang diambil yaitu *burden* awal, *burden*, *spacing*, dan kedalaman lubang ledak. Data sekunder berupa jenis bahan peledak, data koordinat awal lokasi peledakan, *blast report*, *blast design* dan data *loading sheet*.

Pengolahan Data

Perhitungan jarak lemparan *flyrock* aktual dilakukan berdasarkan koordinat titik awal dan titik terjauh jatuhnya *flyrock*, sedangkan jarak lemparan teoritis dihitung menggunakan teori Richard & Moore. Analisis standar deviasi dan persentase kesalahan digunakan untuk mengetahui penyimpangan serta menentukan metode yang paling mendekati jarak lemparan maksimum aktual. Selanjutnya, dilakukan analisis korelasi antara geometri peledakan dan jarak lemparan *flyrock* aktual untuk mengidentifikasi parameter yang paling berpengaruh.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil pengamatan yang telah dilakukan sebanyak 31 kali, diperoleh jarak lemparan maksimum *flyrock* aktual di lapangan berada pada kisaran 40–135 m tanpa adanya *subdrill*.

Tabel 1. Jarak Lemparan *Flyrock* Aktual.

No	Tanggal	Lokasi	Kondisi Lubang	Material	Jumlah Lubang	Jenis Bahan Peledak	Isian Bahan Peledak	St (m)	PC (m)	Hole Depth (m)	Free Face	Jarak <i>Flyrock</i> Act (m)
1	03/11/25	SM-B1	88% Kering 12% Basah	Sd	25	ANFO	97.4	2.5	4.3	6.8	ü	72.1
2	05/11/25	SM-B1	80% Kering 20% Basah	Cl	204	<i>Emulsion</i>	104.7	4.5	2.4	6.9	ü	80.6
3		SM-B2	25% Kering 75% Basah	Cl	62	<i>Emulsion</i>	109.4	4.5	2.7	7.2	ü	65.7
4	06/11/25	SM-B1	65% Kering 35% Basah	Cl	210	<i>Emulsion & ANFO</i>	90.2	3.4	2.7	6.1	ï	100.9
5		SM-B2	70% Kering 30% Basah	Cl	128	<i>Emulsion</i>	78.9	3.9	1.8	5.7	ï	90.0
6	07/11/25	SM-B1	80% Kering 20% Basah	Cl	82	<i>Emulsion</i>	62.7	3.1	3.7	6.8	ï	70.9
7		SM-B1	100% Kering	Cl	64	<i>Emulsion & ANFO</i>	100.9	3.8	0.3	4.1	ü	105.2
8		SM-B2	88% Kering 12% Basah	Cl	168	<i>Emulsion & ANFO</i>	97.7	3.9	2.6	6.5	ï	130.9
No	Tanggal	Lokasi	Kondisi Lubang	Material	Jumlah Lubang	Jenis Bahan Peledak	Isian Bahan Peledak	St (m)	PC (m)	Hole Depth (m)	Free Face	Jarak <i>Flyrock</i> Act (m)
9	10/11/25	SM-B2	90% Kering 10% Basah	Cl	101	<i>Emulsion & ANFO</i>	75.5	3.7	1.4	5.1	ï	58.0
10		SM-B2	95% Kering 5% Basah	Cl	92	<i>Emulsion</i>	61.3	2.9	3.3	6.2	ï	60.4

26		SM-B1	60% Kering	Cl	275	<i>Emulsion & ANFO</i>	98.7	3.8	2.8	6.6	ü	86.4
	20/11/25		40% Basah									
27		SM-B2	88% Kering	Cl	45	<i>Emulsion</i>	78.5	3.3	1.9	5.2	ï	107.8
			12% Basah									
28		SM-B1	50% Kering	Sd	137	<i>Emulsion</i>	91.4	3.7	2.3	6	ï	102.8
	21/11/25		90% Basah									
29		SM-B2	10% Kering	Sd	103	<i>Emulsion</i>	104	3.9	3	6.9	ü	98.7
			100% Basah									
30	24/11/25	SM-B1	100% Kering	Cl	71	<i>Emulsion</i>	77.6	3.5	2	5.5	ï	47.9
31	25/11/25	SM-B2	100% Kering	Cl	66	<i>Emulsion</i>	51.6	2.7	1.4	4.1	ï	86.8
Rata-Rata											79.8	
Lemparan Maksimum											134.3	
Lemparan Minimum											40.5	

*Sd = Sandstone

*Cl = Clastone

Dari hasil pengamatan sebanyak 31 kali diperoleh rata-rata lemparan maksimum *flyrock* aktual yaitu 79,8 m, lemparan maksimum *flyrock* yaitu 134,3 m dan lemparan minimum *flyrock* yaitu 40,5 m.

Flyrock Teoritis dan Aktual

Pada pengamatan ini dilakukan perhitungan jarak lemparan *flyrock* aktual dan prediksi menggunakan metode Richard & Moore dapat dilihat pada tabel.2.

Tabel 2. Flyrock Teoritis dan Flyrock Aktual.

No	Tanggal	Lokasi	Prediksi Jarak lemparan <i>Flyrock</i> Teoritis		Jarak <i>Flyrock</i> Act (m)
			Richard & Moore		
			<i>Face Burst</i> (m)	<i>Cratering</i> (m)	
1	03/11/25	SM-B2	59,5	131,2	72,1
2	05/11/25	SM-B1	100,8	40,5	80,6
3		SM-B2	84,7	40,5	65,7
4	06/11/25	SM-B1	60,3	76,1	100,9
5		SM-B2	78,0	58,8	90,0

6		SM-B1	99,7	96,5	70,9
7	07/11/25	SM-B1	84,7	62,9	105,2
8		SM-B2	78,2	54,3	130,9
9	10/11/25	SM-B2	89,9	54,9	58,0
10		SM-B2	78,0	127,1	60,4
11	11/11/25	SM-B1	52,8	84,0	134,3
12		SM-B2	100,8	72,4	41,9
13	12/11/25	SM-B1	66,6	55,1	62,4
14		SM-B1	121,3	98,4	40,5
15	13/11/25	SM-B1	64,8	69,1	68,1
16		SM-B1	100,8	232,2	83,2
17	15/11/25	SM-B1	85,7	62,6	45,6
18		SM-B2	78,0	90,8	95,7
19	16/11/25	SM-B1	73,3	132,4	78,6
20		SM-B2	121,3	168,8	71,5
21	18/11/25	SM-B1	64,8	118,5	85,2
22		SM-B2	72,0	67,4	98,2
23		SM-B1	110,4	77,9	82,5
24	19/11/2025	SM-B1	66,6	58,8	78,2
25		SM-B2	84,7	139,2	41,8
26	20/11/2025	SM-B1	95,0	59,3	86,4
27		SM-B2	84,7	90,8	107,8
28	21/11/2025	SM-B1	78,0	67,4	102,8
29		SM-B2	100,8	58,8	98,7
30	24/11/25	SM-B1	84,7	77,9	47,9
31	25/11/2025	SM-B2	61,8	153,0	86,8
Rata-Rata			83,3	89,6	79,8
Lemparan Maksimum			121,3	232,2	134,3
Lemparan Minimum			52,8	40,5	40,5

Dari hasil perhitungan secara teoritis untuk 31 kali pengamatan di lapangan, tidak ada lemparan *flyrock* yang mencapai 200 meter begitupun aktual di lapangan. Berdasarkan metode Richard & Moore prediksi lemparan maksimum untuk *face burst* yaitu 121,3 meter dan *cratering* 232,2 meter.

Standar Deviasi dan Presentase Kesalahan

Dapat dilihat tabel. 3 hasil perhitungan standar deviasi dan presentase kesalahan dari jarak lemparan *flyrock* teoritis dan aktual :

Tabel 3. Nilai Standar Deviasi dan % Error.

<i>Flyrock</i> Toritis dan Aktual		Standar Deviasi (m)	% Error
Richard & Moore	<i>Face Burst</i>	34,89	13,74
	<i>Createring</i>	51,71	23,22

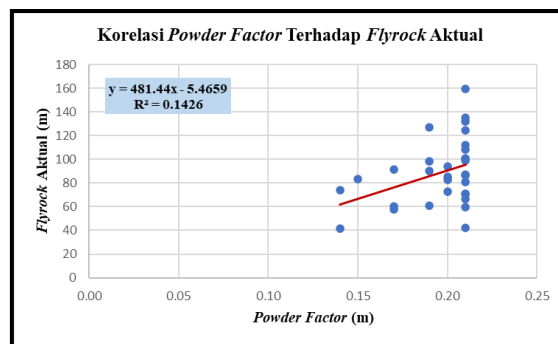
Dari tabel diatas didapatkan nilai standar deviasi pada *face burst* yaitu 34,89 meter dan *createring* yaitu 51,71 meter dan pada presentase kesalahan pada *face burst* yaitu 13,74% dan *createring* 23,22%.

Faktor-Faktor Penyebab Flyrock

Ada beberapa faktor penyebab *flyrock* diantaranya jarak *burden* dan *spacing*, jarak *burden* awal ke *freeface*, tinggi *stemming*, kedalaman lubang ledak, jumlah bahan peledak yang digunakan dan *powder factor* dengan dilakukan korelasi terhadap *flyrock* aktual dan dapat dilihat pada tabel.4

Tabel 4. Korelasi Parameter Peledakan Terhadap *Flyrock*.

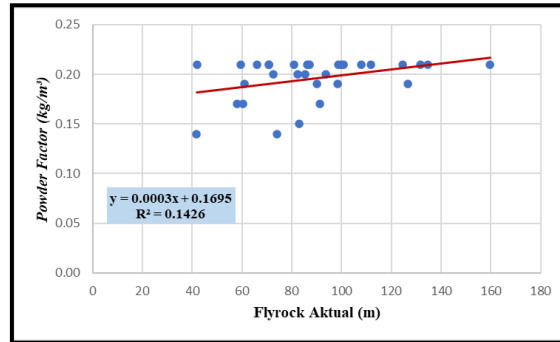
No	Parameter	Koefisien Determinasi (R ²)	Determinasi (%)	Koefisien Korelasi (R)	Interpretasi
1	<i>Burden</i>	0,089	0,89%	0,3	Lemah
2	<i>Spacing</i>	0,0157	1,57%	0,13	Lemah
3	<i>Burden Awal</i>	0,0862	8,62%	0,29	Lemah
4	<i>Stemming</i>	0,0062	0,62%	0,08	Lemah
5	Kedalaman Lubang ledak	0,0171	1,71%	0,13	Lemah
6	Jumlah Bahan Peledak	0,1286	12,86%	0,36	Sedang
7	<i>Powder factor</i>	0,1426	14,26%	0,38	Sedang



Gambar 1. Hasil Korelasi Powder Factor.

Dari gambar.1 diatas dapat dilihat bahwa *powder factor* memiliki hubungan yang sedang terhadap penyebab lemparan *flyrock* dilapangan.

Evaluasi Faktor Terbesar Pengaruh Flyrock



Gambar 2. Grafik Nilai *Flyrock* Aktual Terhadap *Powder Factor*.

Pada analisis untuk mengurangi *powder factor* terhadap jarak lemparan aktual sudah menunjukkan jarak aman terhadap alat 200 m. Mengacu pada teori Richard & Moore (2005) untuk jarak aman alat yaitu 2 kali jarak lemparan maksimum radius, sehingga untuk mencapai jarak aman alat radius 270 meter maka jarak lemparan maksimum *flyrock* aktual yaitu 135 meter. Pada gambar.2 didapat persamaan untuk memprediksi besarnya penggunaan *powder factor* dengan jarak lemparan *flyrock* aktual tertentu sebagai berikut:

$$y = 0,0003x + 0,1695$$

$$PF = 0,0003(135) + 0,1695$$

$$PF = 0,21 \text{ kg/m}^3$$

Maka dari hasil persamaan pada gambar.2 untuk mendapatkan jarak aman alat untuk radius 270 meter dengan jarak maksimum 135 meter maka untuk penggunaan *powder factor* yaitu 0,21 kg/m³.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian sebanyak 31 kali pengamatan di lapangan, diperoleh rata-rata lemparan *flyrock* aktual yaitu 79,8 m, lemparan maksimum *flyrock* 134,3 m, dan lemparan minimum *flyrock* yaitu 40,5 m dan diperoleh faktor terbesar yang menyebabkan terjadinya *flyrock* adalah *powder factor* dengan koefisien korelasi (R) sebesar 0,38 dimana berdasarkan angka tersebut *powder factor* memiliki hubungan yang sedang terhadap jarak lemparan maksimum *flyrock* aktual di lapangan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Saya ucapkan terimakasih kepada orang tua serta kaka saya yang selalu menjadi penyemangat serta berterimakasih kepada dosen pembimbing saya yang selalu membimbing saya serta memberikan saran terkait penulisan karya ilmiah dan saya ucapkan terimakasih

kepada PT. Sims Jaya Kaltim yang telah memberikan wadah untuk pengambilan data serta memberikan saran terkait penelitian ini.

DAFTAR REFERENSI

- Aprilia Rande, S., Yulianti, A., & Institut Teknologi Nasional Yogyakarta. (2021). Analisis flyrock untuk mengurangi radius aman alat pada peledakan batuan andesit di Kecamatan Margaasih, Kabupaten Bandung, Provinsi Jawa Barat. *Promine*, 9(1), 23–28. <https://doi.org/10.33019/promine.v9i1.2025>
- Ash, R. L. (1963). The mechanics of rock breakage (Part 2): Standards for blasting design. *Pit & Quarry Magazine*.
- Bhandari, S. (1997). *Engineering rock blasting operations*.
- Frianto, R., Nurhakim, & Riswan. (2014). Kajian teknis geometri peledakan pada keberhasilan pembongkaran overburden berdasarkan fragmentasi hasil peledakan. *Jurnal Fisika Flux*, 11(1), 56–67.
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2012.03.011>
- Hidayatullah, R., & Salmani. (2019). *Teknik peledakan*. Politeknik Negeri Banjarmasin.
- Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. (2018). *Pedoman pelaksanaan kaidah pertambangan yang baik* (KEPMEN No. 1827).
- Konya, C. J., & Walter, E. J. (1991). *Rock blasting and overbreak control* (FHWA-HI-92-001; NHI-13211). National Highway Institute.
- Maramon, A., Sundari, W., & Krisnasiwi, I. F. (2023). Analisis pengaruh geometri peledakan terhadap flyrock hasil peledakan di PT. Batutua Tembaga Raya Pulau Wetar Kabupaten Maluku Barat Daya. *Jurnal Teknologi*, 17(2).
- Marlina, R., Zakri, R. S., & Novrianto. (2020). Analisis pengaruh geometri peledakan terhadap flyrock hasil peledakan di PT. Bintang Sumatra Pacific Kecamatan Pangkalan Kabupaten Lima Puluh Kota Provinsi. *Jurnal Sains dan Teknologi*, 20(2), 238–245. <https://doi.org/10.36275/stsp.v20i2.306>
- Moore, A. J., & Richards, A. B. (2005). *Golden Pike cut-back flyrock control and calibration of a predictive model*. Terrock Consulting Engineers Pty Ltd.
- Nimsi, Y., Nugroho, W., Oktaviani, R., Trides, T., & Respati, L. L. (2023). Penentuan tinggi stemming dan crest burden berdasarkan jarak flyrock di Pit Inul Middle Panel 3 PT. Kaltim Prima Coal Kalimantan Timur. *Journal of Comprehensive Science (JCS)*, 2(10), 1651–1661. <https://doi.org/10.59188/jcs.v2i10.526>
- Ningsih, S. A., Wijaya, D. A. K., & Indrajaya, F. (2024). Analisis jarak lemparan flyrock akibat kegiatan peledakan di CV Kalimantan Makmur Kota Palangka Raya. *Jurnal Teknika*, 8(1), 51–59.
- Nugroho, A., Prasetyo, B., & Rahman, F. (2024). Analisis prediksi jarak aman flyrock pada kegiatan peledakan tambang terbuka. *Jurnal Teknologi Pertambangan*, 10(2), 85–94.

- Putra, D. R., & Wijaya, A. (2023). Pengaruh powder factor terhadap jarak lontaran flyrock pada kegiatan peledakan batuan. *Jurnal Rekayasa Pertambangan*, 8(1), 45–53.
- Putri, N. G. (2022). *Analisis flyrock untuk mengurangi jarak aman minimum alat pada operasi peledakan overburden PT. Antareja Mahada Makmur site PT. Multi Harapan Utama Kalimantan Timur* (Skripsi).
- Ramadhan, R., & Yulhendra, D. (2020). Kajian potensi flyrock peledakan terhadap radius aman alat peremuk crusher di CV Tekad Jaya Halaban Kabupaten Lima Puluh Kota Sumatera Barat. *Bina Tambang*, 5.
- Rustan, A. (1998). *Rock blasting terms and symbols*. Lulea University of Technology. <https://doi.org/10.1201/9781466571785>
- Sari, N. P., Kurniawan, E., & Hidayat, T. (2022). Analisis pengaruh geometri peledakan terhadap flyrock pada tambang terbuka. *Jurnal Geosains dan Teknologi*, 6(3), 120–129.
- Sokisha, S., Respati, L. L., Oktaviani, R., Trides, T., & Pontus, A. J. (2023). Analisis jarak lemparan flyrock untuk meminimalisir radius aman alat pada Panel L0-K1 PT. Harmoni Panca Utama Jobsite DTA Kabupaten Kutai Kartanegara Kalimantan Timur. *Journal of Comprehensive Science*, 2(10). <https://doi.org/10.59188/jcs.v2i10.527>
- Sujiman, H. I., & Putra, A. (2014). Kajian geometri peledakan terhadap fragmentasi batuan hasil peledakan di Pit 4 TUC PT. Mega Prima Persada Kecamatan Loa Kulu Kutai Kartanegara Kalimantan Timur. *Jurnal Geologi Pertambangan*, 2(16), 1–13.