

## **Analisis Flyrock Untuk Mengurangi Jarak Evakuasi Alat Menjadi 200 Meter Pada Peledakan *Overburden* Di Kecamatan Marangkayu, Kalimantan Timur**

### ***Flyrock Analysis to Reduce Equipment Evacuation Distance to 200 Meters in Overburden Blasting in Marangkayu District, East Kalimantan***

Putri Juwita Oktaviani<sup>1\*</sup> Aditya Denny Prabawa<sup>1</sup>, Muhammad Ikrar Lagowa<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Pertambangan, Universitas Jambi

\* Korespondensi E-mail: [putrijuwitaoktaviani28@gmail.com](mailto:putrijuwitaoktaviani28@gmail.com)

#### **Abstrak**

Penerapan radius aman alat sebesar 300 m pada peledakan *overburden* yang dilakukan setiap hari meningkatkan frekuensi *Internal Operational Delay* (IOD), yang berdampak negatif terhadap efisiensi operasional dan meningkatkan konsumsi bahan bakar alat saat melakukan perpindahan menuju radius aman. Analisis *Flyrock* dilakukan menggunakan batuan berukuran  $\geq 10$  cm, dengan pengambilan data menggunakan GPS dan pengamatan arah lemparan *flyrock* melalui video *drone* dan pengamatan visual. Estimasi jarak lintasan *flyrock* maksimum ditentukan berdasarkan metode Richard dan Moore (2005), dengan memperoleh konstanta ( $k$ ) yang disesuaikan dengan karakteristik batuan di lokasi. Nilai prediksi *flyrock* paling mendekati nilai aktual terjadi pada *cratering*, dengan persen error terkecil 18,33% dan penyimpangan 12,65 m. Faktor utama yang mempengaruhi jarak lemparan *flyrock* aktual adalah *stemming* dengan nilai sebesar 81,50%. Penentuan pengurangan jarak evakuasi alat menjadi radius aman 200 m menggunakan teori *exclusion zone* oleh Richard dan Moore (2005) dan penentuan skala kedalaman menggunakan teori (SDOB), menghasilkan standar nilai variabel tinggi *stemming* minimal 3,3 m pada kedalaman 7,80 m.

**Kata kunci:** *flyrock, richard dan moore, peledakan*

#### **Abstract**

*Applying an equipment safety radius of 300 m to overburden blasting that is carried out every day increases the frequency of internal operational delay (IOD), which negatively impacts operational efficiency and increases the equipment fuel consumption when moving to a safe radius. Flyrock analysis was carried out using rocks measuring  $\geq 10$  cm, with data collection using GPS and observation of flyrock throwing direction through drone videos and visual observations. The estimated maximum flyrock trajectory distance was determined based on the method of Richard and Moore (2005) by obtaining a constant ( $k$ ) adjusted to the characteristics of the rock at the location. The predicted flyrock value was closest to the actual value at the cratering, with the smallest percent error of 18,33% and a deviation of 12,65 m. The main factor affecting the actual flyrock throwing distance is stemming with a value of 81,50%. Determination of the reduction of the equipment evacuation distance to a safe radius of 200 m using the exclusion zone theory by Richard and Moore (2005) and determination of the depth scale using the theory (SDOB), resulting in a variable value standard of a minimum stemming height of 3,3 m at a depth of 7,80 m.*

**Keywords:** *flyrock, richard dan moore, blasting*

### **1. Pendahuluan**

Salah satu aktivitas yang dilakukan sebagai upaya pengambilan cadangan batubara adalah pembongkaran *overburden*, yaitu dengan memberaikan lapisan *overburden* melalui metode pengeboran dan peledakan. Hal ini bertujuan untuk mempermudah proses pembongkaran *overburden* oleh alat gali muat (Suryadi, 2019).

Meskipun kegiatan peledakan memberikan banyak keuntungan, namun terdapat juga efek negatif yang dapat berdampak pada kegiatan penambangan. Salah satu dampaknya adalah *flyrock*. *Flyrock* merupakan istilah yang digunakan untuk menggambarkan satu atau beberapa fragmen batuan yang terlontar dari

permukaan ledakan dan bergerak dibawah pengaruh gas eksplosif bertekanan tinggi. Fragmen tersebut dapat terlontar lebih jauh dari jarak yang direncanakan atau ditetapkan (Harsiga, 2024). *Flyrock* adalah fragmen batuan yang tidak memenuhi syarat dalam hal bentuk dan jarak, serta dapat bergerak ke segala arah dalam radius 360° (Raina, 2024). Inilah yang menjadikan *flyrock* sebagai salah satu perhatian utama dalam kegiatan peledakan, terutama dalam penentuan jarak aman (Abducrahman, dkk, 2015).

Penerapan jarak aman peledakan sebesar 300 meter untuk alat, sesuai dengan KEPMEN 1827, pada kegiatan peledakan *overburden* yang dilakukan setiap hari menyebabkan

tingginya frekuensi peledakan. Hal ini mengakibatkan terjadinya *Internal Operasional Delay* (IOD) dalam proses penambangan. Proses perpindahan alat berat dari lokasi peledakan menuju radius aman memerlukan waktu yang cukup lama, yang berdampak pada pengurangan waktu produksi dan peningkatan konsumsi bahan bakar saat alat menuju jarak aman, lalu kembali ke titik pemuatan (*loading point*). Sebagai solusi, inovasi dilakukan dengan tujuan meningkatkan efisiensi operasional penambangan dan meminimalisir biaya operasional, yaitu dengan mengurangi jarak aman dari 300 m menjadi 200 m.

Menurut Ghasemi, dkk, (2012), *flyrock* dengan ukuran  $\geq 10$  cm memiliki potensi untuk merusak peralatan secara signifikan, serta menimbulkan risiko cedera serius hingga kematian pada manusia. Selain itu, ukuran *flyrock* ini memungkinkan pengamatan yang lebih jelas terhadap arah dan jarak lemparannya selama kegiatan peledakan, sehingga memudahkan dalam proses monitoring dan analisis *flyrock* di lapangan.

Menurut pengujian yang dilakukan oleh Richard dan Moore (2005), terdapat tiga faktor utama yang mempengaruhi terjadinya *flyrock* akibat kegiatan peledakan, yaitu *face burst*, *cratering*, dan *rifling*. Mekanisme *flyrock* secara *face burst* terjadi ketika *burden* pada baris depan peledakan terlalu dekat dengan *free face*. Mekanisme *cratering* terjadi ketika tinggi *stemming* terlalu pendek, dan adanya bidang lemah yang biasanya berasal dari material *broken* dari hasil peledakan sebelumnya. Berdasarkan kondisi tersebut maka *flyrock* dapat terlempar ke segala arah dari lubang ledak yang diinisiasi. Sementara itu, mekanisme *rifling* terjadi ketika tinggi *stemming* sudah sesuai untuk mencegah *flyrock* secara *cratering*, namun material *stemming* yang digunakan kurang baik. Selain itu, *flyrock* cenderung lebih sering terjadi pada lubang ledak yang miring, karena pada lubang ledak yang tegak lurus, *flyrock* diasumsikan akan kembali ke titik semula.

Metode empiris oleh Richard & Moore (2005) digunakan untuk memprediksi lemparan *flyrock* dengan menggunakan pendekatan konstanta ( $k$ ) *site* yang sesuai dengan kondisi karakteristik batuan di lapangan. Untuk optimasi geometri peledakan, analisis statistik dilakukan terhadap lemparan *flyrock* guna menentukan parameter yang memberikan pengaruh signifikan. Evaluasi parameter yang berpengaruh ini dilakukan menggunakan teori *Scaled Depth of Burial* (skala pengisian) yang dikembangkan oleh PT Orica Mining Service untuk mendapatkan

rancangan parameter peledakan yang optimal, sehingga dapat mengurangi lemparan *flyrock* dan menghasilkan peledakan yang lebih efektif (Taylor, 2010). Dengan penerapan metode ini, kegiatan peledakan selanjutnya dapat direncanakan dengan lebih baik, sehingga radius aman alat dapat dikurangi.

Dengan melakukan analisis terhadap jarak lemparan batu terbang (*flyrock*) aktual, parameter-parameter yang mempengaruhinya dapat diidentifikasi. Hasil analisis ini akan digunakan untuk melakukan perhitungan prediksi lemparan *flyrock* berdasarkan parameter yang paling berpengaruh. Dari perhitungan tersebut, parameter yang paling berpengaruh akan diusulkan untuk mereduksi jarak aman alat menjadi 200 meter, dengan mempertimbangkan faktor keamanan (*safety factor*) yang ditetapkan dua kali jarak maksimum lemparan *flyrock*, sesuai dengan teori *exclusion zone* yang dikemukakan oleh Richard dan Moore (2005).

## 2. Metode

Metode penelitian yang digunakan adalah menggunakan metode penelitian deskriptif dengan pendekatan kuantitatif. Tata cara yang digunakan pada penelitian ini didasarkan pada perhitungan aktual lapangan yang bertujuan untuk mendapatkan hasil yang berhubungan langsung dengan permasalahan penelitian. Tahapan metodologi yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

### 1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mempelajari berbagai sumber guna memperoleh informasi tambahan yang relevan dengan bidang penelitian. Sumber-sumber ini meliputi buku, referensi jurnal, laporan perusahaan atau referensi dari perusahaan. Informasi ini akan digunakan sebagai dasar teori atau tinjauan pustaka.

### 2. Tahap Observasi Lapangan

Tahap ini meliputi pengamatan langsung di lapangan terhadap kondisi kerja yang sedang berlangsung dan permasalahan yang akan dianalisis.

### 3. Tahap Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan setelah studi literatur dan observasi lapangan selesai dilaksanakan. Data yang diambil berupa data primer dan sekunder. Data primer adalah data yang langsung diperoleh berdasarkan pengukuran dan pengamatan di lapangan antara lain: kondisi lokasi peledakan, berupa kondisi lubang ledak (kering/basah), kondisi geologi pada lubang ledak (rongga/tidak), titik koordinat lokasi peledakan, titik koordinat jatuhnya lemparan maksimum *flyrock* yang diambil

menggunakan GPS, parameter-parameter *flyrock* yaitu, *burden* (m), *face burden* (m), spasi (m), *stemming* (m), kedalaman lubang ledak (m), diameter lubang ledak (m) yang diukur menggunakan meteran, serta mekanisme terjadinya *flyrock* di setiap lokasi peledakan. Data sekunder adalah data-data pendukung antara lain : Foto *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) lokasi penelitian, koordinat lubang ledak aktual, peta topografi, jenis bahan peledak, video *drone* peledakan dan sifat fisik dan mekanik batuan.

#### 4. Pengolahan dan Analisis Data

Pengolahan dan analisis data dilakukan dengan metode empiris dan statistik, yaitu melalui pengamatan dan percobaan terhadap kondisi aktual di lapangan. Hasil dari analisis ini bertujuan untuk mencapai beberapa aspek berikut:

- a. Hasil pengukuran parameter-parameter peledakan aktual menggunakan meteran dan pengukuran jarak lemparan maksimum *flyrock* dengan GPS.
- b. Perhitungan statistik berupa analisis korelasi antara masing-masing parameter dengan jarak *flyrock* aktual. Koefisien korelasi ini digunakan untuk mengukur derajat hubungan antara dua variabel yang datanya berbentuk interval dan rasio. Koefisien determinasi diperoleh dari kuadrat koefisien korelasi, yang disimbolkan dengan R dan R<sup>2</sup>.
- c. Perhitungan pemodelan (*train*) untuk perkiraan lemparan maksimum *flyrock* berdasarkan Richard dan Moore (2005) yang telah diubah konstantanya. Serta menggunakan teori *exclusion zone* untuk menentukan radius jarak aman alat (*safety factor*) yang merupakan dua kali lemparan maksimum *flyrock*.

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### Analisis Parameter-parameter *Flyrock*

Parameter-parameter peledakan yang diterapkan untuk menganalisis faktor penyebab *flyrock* meliputi *burden*, spasi, *stemming*, kedalaman lubang ledak, *powder factor*, isian rata-rata lubang ledak, dan *face burden* (*burden* awal ke bidang *free face*) (Tabel 1).

Analisis lemparan *flyrock* aktual pada peledakan dilakukan melalui pengamatan visual yang divalidasi menggunakan rekaman video *drone* (Gambar 1), serta dibantu dengan penempatan patok sebagai acuan radius untuk menentukan jarak lemparan maksimum *flyrock*.

Pada Tabel 1, hasil pengukuran *flyrock* aktual sebanyak 30 kali di lapangan menunjukkan bahwa semua kejadian *flyrock* terjadi melalui mekanisme *cratering*. Seperti yang terlihat pada Tabel 1, tidak ada lemparan *flyrock* yang mencapai jarak aman alat yang telah ditentukan sebesar 300 m. Jarak lemparan maksimum *flyrock* adalah 131,31 m, dengan diameter lubang 200 mm dan berat isian bahan peledak 37,15 kg/m.

Berdasarkan jarak lemparan *flyrock* maksimum yaitu 131,31 m, dan menggunakan teori *exclusion zone* dari Richard dan Moore (2005), diperoleh *safety factor* atau jarak radius aman alat sebesar dua kali jarak lemparan maksimum *flyrock*, yaitu 262,62 m. Oleh karena itu, diperlukan analisis lebih lanjut untuk mengurangi jarak lemparan *flyrock*, dengan mempertimbangkan pengurangan jarak aman alat menjadi 200 m.

Berdasarkan data yang disajikan pada Tabel 2, dapat diketahui bahwa parameter yang memiliki pengaruh terbesar terhadap lemparan maksimum *flyrock* di lokasi penelitian adalah *stemming*. Dengan nilai koefisien korelasi (R) sebesar -0,9027, dapat diartikan bahwa lemparan maksimum *flyrock* memiliki korelasi negatif dengan tingkat hubungan yang sangat kuat dengan *stemming*. Sedangkan untuk koefisien determinasi (R<sup>2</sup>) sebesar 0,8150 atau 81,50% menunjukkan besarnya pengaruh naik turunnya *stemming* terhadap lemparan *flyrock* maksimum, sedangkan sisanya 18,50% disebabkan oleh faktor lain. Hasil penelitian ini juga sesuai dengan penelitian (Eko, dkk, 2023) bahwa parameter yang paling mempengaruhi lemparan maksimum *flyrock* secara signifikan adalah *stemming*.

#### Faktor-faktor Lain Yang Mempengaruhi *Flyrock*

Selain parameter peledakan, terdapat juga faktor-faktor lain yang mempengaruhi lemparan *flyrock* di lokasi penelitian, antara lain: kondisi *stemming* yang berlumpur. Dalam kondisi lapangan, material *stemming* yang digunakan berupa hasil *cutting* pengeboran yang dipadatkan cukup efektif untuk menahan energi peledakan pada kondisi lubang kering. Namun, pada kondisi lubang basah, penggunaan material *cutting* pengeboran menjadi tidak efektif karena material tersebut berubah menjadi lumpur dan sulit dipadatkan, sehingga penutupan lubang ledak tidak dapat dilakukan secara rapat dan energi ledak tidak terkunci dengan baik yang menyebabkan peningkatan jarak lemparan *flyrock* (Gambar 2.a).

Selain itu, ditemukan adanya penurunan ketinggian *stemming* pada kondisi lubang

basah, yang disebabkan oleh material lumpur yang runtuh dan jatuh ke dalam lubang ledak saat selang pengisian bahan peledak (*charging hose*) memasukkan bahan peledak ke dalam lubang tersebut (Gambar 2.b). Kondisi ini menyebabkan *flyrock* terjadi secara mekanisme *cratering*, serta derajat pengungkungan (*degree of confinement*) menurun, sehingga meningkatkan potensi terjadinya *flyrock*, dikarenakan energi peledakan yang tidak terkonfinen keluar dari lubang (*ejection*) dan menyebabkan batuan terlempar ke atas (Marlina, dkk, 2020).

Ditemukan juga adanya lubang berongga atau zona lemah (Gambar 2.c), yang dapat menyebabkan *flyrock* karena bahan peledak yang terisi di zona lemah akan meningkatkan risiko terjadinya *blow out* (Bhandari, 1997).

Persiapan lokasi peledakan yang kurang optimal juga dapat meningkatkan potensi *flyrock*. Hal ini disebabkan oleh *spoil* atau sisa hasil peledakan yang tidak dibersihkan atau disingkirkan selama persiapan, sehingga material tersebut dapat terlempar saat ledakan dan berpotensi menjadi *flyrock* (Gambar 2.d).

#### **Analisis Prediksi Lemparan *Flyrock***

Analisis prediksi lemparan *flyrock* menggunakan metode Richard dan Moore (2005) yang mana dilakukan perhitungan secara mekanisme *face burst* dan *cratering*. Perhitungan secara mekanisme *rifling* tidak dilakukan karena di lokasi penelitian menggunakan lubang ledak tegak lurus dengan sudut 90° dalam hal ini *flyrock* akan jatuh kembali ke lokasi peledakan.

Perhitungan nilai konstanta (k) dilakukan dengan memasukkan jarak lemparan *flyrock* aktual dari hasil pengamatan (m), konstanta gravitasi (9,8 m/s<sup>2</sup>), berat isian bahan peledak (37,15 kg/m), serta *face burden* rata-rata (m) untuk konstanta (k) pada mekanisme *face burst*, dan tinggi *stemming* rata-rata (m) untuk konstanta (k) pada mekanisme *cratering*. Tujuannya adalah untuk memperoleh nilai konstanta (k) yang mendekati hasil aktual di lapangan (Tabel 1).

Pada Tabel 3 nilai deviasi dan error terkecil terjadi pada mekanisme *cratering*. Oleh karena itu, pendekatan nilai konstanta (k) *site* berdasarkan mekanisme *cratering* dipilih, karena hasil pengamatan di lapangan juga menunjukkan bahwa *flyrock* terjadi melalui mekanisme *cratering*. Nilai konstanta (k) *site* maksimum pada mekanisme *cratering* sebesar 13,72 dipilih sebagai rumus empiris untuk prediksi lemparan *flyrock* di lokasi penelitian, karena menghasilkan prediksi lemparan *flyrock* terjauh.

#### **Analisis Pengurangan Jarak Aman Alat Menjadi 200 m**

Pengurangan radius aman alat dari 300 meter menjadi 200 meter dilakukan melalui perubahan parameter peledakan yang paling berpengaruh. Berdasarkan hasil pengamatan di lapangan, diketahui bahwa *stemming* merupakan parameter yang paling signifikan terhadap perubahan jarak lemparan *flyrock*. Oleh karena itu, parameter *stemming* diusulkan sebagai acuan utama. Penentuan usulan *stemming* juga didasarkan pada perhitungan jarak aman alat (*safety factor*), yaitu dua kali jarak lemparan maksimum *flyrock*. Berdasarkan rumus empiris, dengan menggunakan konstanta (k) sebesar 13,72, konstanta gravitasi (9,8 m/s<sup>2</sup>), berat isian bahan peledak (37,15 kg/m), serta tinggi *stemming* sebesar 3,3 meter, diperoleh prediksi jarak lemparan maksimum *flyrock* sebesar 94,52 meter. Dengan demikian, jarak aman alat (*safety factor*) adalah dua kali jarak lemparan *flyrock*, yaitu sebesar 189,04 meter.

Hasil peledakan dapat divisualisasikan menggunakan perhitungan empiris *Scaled Depth of Burial* (SDoB), yang didasarkan pada skala kedalaman pengurangan energi peledakan. Dengan memasukkan parameter *stemming* (3,3 meter), *powder column* (3,8 meter), dan *loading density* (37,15 kg/m), pada kedalaman lubang 7,80 meter, diperoleh nilai SDoB sebesar 1,02. Nilai ini termasuk dalam kategori *controlled energy*, yang mengindikasikan bahwa hasil peledakan akan menghasilkan energi yang terkendali, fragmentasi yang baik, volume material yang terbongkar besar, serta getaran (*vibration*), ledakan udara (*airblast*), dan lemparan batu (*flyrock*) yang masih dapat diterima.

Dalam usulan parameter peledakan, menggunakan parameter yang paling berpengaruh yaitu tinggi *stemming*. Nilai *stemming* minimum digunakan untuk menghasilkan lemparan *flyrock* yang maksimum, karena terdapat hubungan berbanding terbalik antara *stemming* dan lemparan *flyrock* (Rande & Yulianti, 2021). Oleh karena itu, untuk mereduksi jarak aman alat menjadi 200 m, dirancang parameter peledakan dengan *stemming* minimum sebesar 3,3 m, pada minimal kedalaman 7,80 m. Rancangan ini dapat memprediksi lemparan *flyrock* kurang dari 100 meter, sehingga dengan faktor keamanan (*safety factor*) dua kali lemparan *flyrock* tetap berada di bawah 200 meter. Dengan demikian, pengurangan jarak evakuasi alat menjadi 200 meter dapat diberlakukan secara aman.

Table 1. Geometri Peledakan dan Pengamatan Radius *Flyrock*

No	B (m)	S (m)	T (m)	H (m)	PF (m)	Q (m)	FB (m)	Konstanta (K)		L Teoritis (m)		L Aktual (m)
								Face Burst	Crate ring	Face Burst	Crate ring	
1	8,9	10,1	3,0	8,1	0,3	189,4	3,6	16,6	12,9	62,0	76,2	110,7
2	9,5	10,6	3,1	9,9	0,3	252,1	3,2	11,4	10,9	84,2	68,7	71,2
3	9,3	10,8	3,1	10,2	0,3	262,2	3,4	12,9	11,5	71,4	67,0	77,4
4	9,3	10,3	3,4	10,2	0,3	253,6	3,8	12,8	10,8	52,4	54,4	55,7
5	9,3	10,2	3,3	10,2	0,3	257,0	3,1	10,1	10,9	88,4	56,6	58,6
6	9,2	10,1	3,1	9,1	0,3	222,1	4,1	16,7	11,6	43,6	66,5	78,7
7	9,2	10,2	3,0	8,6	0,3	207,6	3,5	13,8	11,4	69,2	74,9	84,9
8	9,7	10,9	3,2	10,1	0,2	256,6	3,6	12,8	11,0	61,5	61,7	65,4
9	9,7	10,5	4,3	12,1	0,2	289,6	4,5	8,3	7,8	34,3	28,5	15,2
10	9,8	10,7	3,5	11,2	0,2	286,7	3,4	10,9	11,3	73,6	50,0	56,1
11	9,5	10,6	4,4	11,0	0,2	246,2	4,5	7,5	7,2	35,1	28,0	12,9
12	9,1	10,1	3,2	9,2	0,3	221,7	3,8	13,7	11,1	53,9	60,3	65,0
13	9,5	10,3	4,4	11,1	0,2	249,9	4,5	7,5	7,3	35,7	27,7	13,1
14	9,5	10,9	3,3	11,3	0,3	295,6	4,2	14,3	10,6	41,5	55,7	54,7
15	9,7	10,7	3,2	10,7	0,3	275,5	3,6	13,1	11,6	63,8	60,7	71,1
16	9,5	10,9	3,7	11,3	0,2	281,5	3,8	10,8	10,3	52,4	42,7	39,4
17	9,6	10,5	3,4	10,7	0,3	272,9	3,6	11,6	10,4	60,2	54,8	52,2
18	9,7	9,9	3,3	10,0	0,3	247,7	3,5	11,7	10,8	66,2	57,5	58,7
19	8,9	10,6	3,2	9,2	0,3	223,2	3,8	13,5	10,7	52,4	62,2	62,1
20	9,5	10,7	3,9	11,1	0,2	267,7	4,3	11,2	9,8	38,8	37,5	31,7
21	9,6	10,8	3,6	11,4	0,2	290,4	3,4	9,5	10,2	73,6	46,5	42,7
22	9,2	10,1	3,0	7,6	0,2	172,7	3,1	12,4	11,6	88,4	75,6	88,6
23	9,6	10,6	2,9	9,9	0,3	258,4	3,6	12,3	10,9	59,8	57,0	85,3
24	9,5	10,1	3,3	9,8	0,3	241,0	3,7	14,7	11,1	61,1	79,0	58,8
25	9,0	9,6	2,9	6,9	0,2	147,0	3,5	17,7	13,7	64,8	79,7	131,3
26	8,9	9,1	2,9	6,4	0,3	130,3	3,5	13,4	10,6	68,7	81,1	80,0
27	9,0	9,9	3,2	7,1	0,2	144,8	4,5	16,7	10,7	34,7	62,2	62,3
28	9,7	10,9	4,0	11,9	0,2	293,7	3,9	10,2	10,7	51,4	34,6	34,8
29	9,0	10,8	3,4	10,8	0,3	276,3	3,9	12,8	10,7	52,1	54,8	55,2
30	9,8	10,7	3,5	11,2	0,2	287,8	3,8	12,1	10,6	53,1	51,2	50,2

Keterangan:

B = *Burden*

S = *Spasi*

T = *Stemming*

H = *Kedalaman Lubang*

PF = *Powder Factor*

Q = *Isian Rata-rata Per lubang Ledak*

FB = *Face Burden*

L = *Jarak Lemparan Maksimum Flyrock*

Tabel 2. Hasil Analisis Regresi Geometri Peledakan dengan Lemparan Maksimum Flyrock Aktual

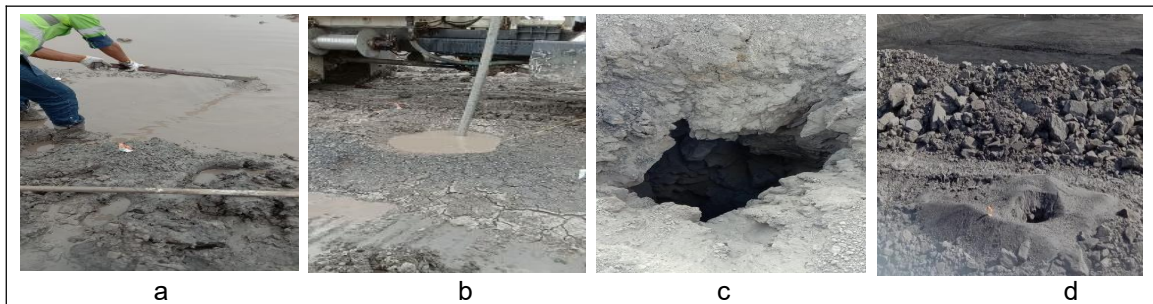
No.	Parameter	Koefisien Korelasi (R)	Tingkat Hubungan	Koefisien Determinasi (R <sup>2</sup> )	Determinasi (%)
1.	<i>Burden</i>	-0,5371	Sedang	0,2885	28,85
2.	<i>Spasi</i>	-0,4708	Sedang	0,2217	22,17
3.	<i>Kedalaman Lubang Ledak</i>	-0,7624	Kuat	0,5814	58,14
4.	<i>Stemming</i>	-0,9027	Sangat Kuat	0,8150	81,50
5.	<i>Powder Factor</i>	0,5519	Sedang	0,3046	30,46
6.	<i>Isian Rata-rata Lubang Ledak</i>	-0,6181	Kuat	0,3821	38,21
7.	<i>Face Burden</i>	-0,5824	Sedang	0,3393	33,93

Tabel 3. Perhitungan Nilai Deviasi dan Error

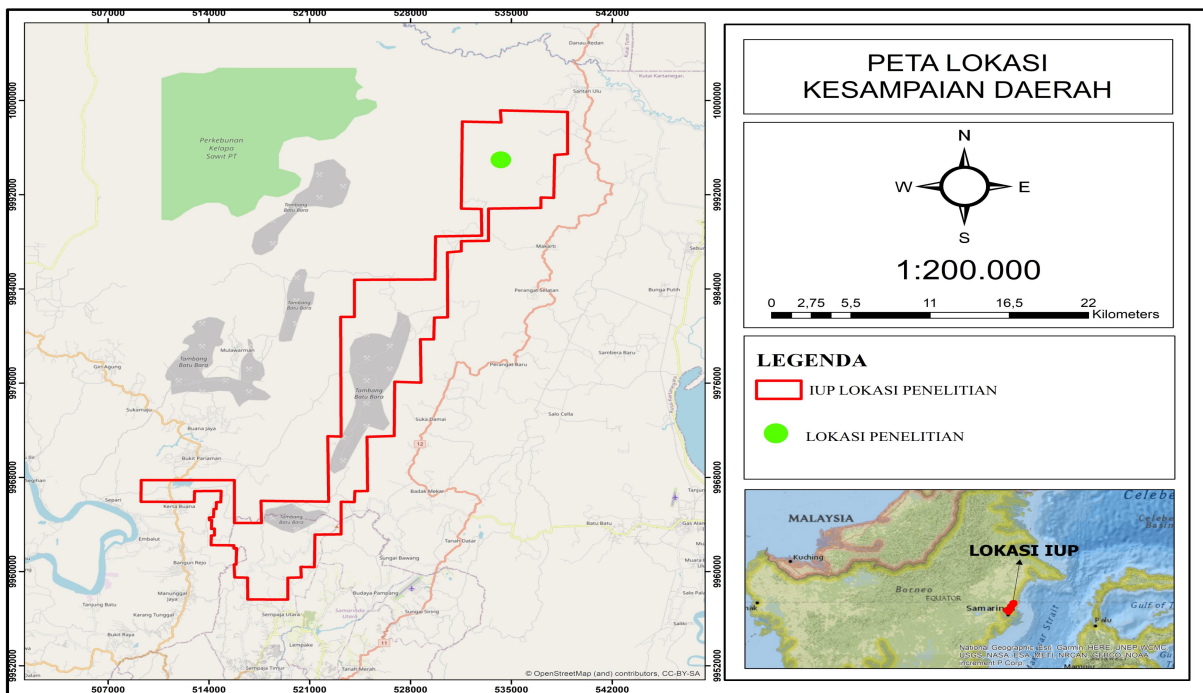
Aktual	Penyimpangan (m)	Error (%)
<i>Face Burst</i>	21	37,33
<i>Cratering</i>	12,64	18,33



Gambar 1. Arah Jatuhnya Lemparan *Flyrock*



Gambar 2. Faktor-faktor Lain yang Mempengaruhi *Flyrock*: (a) *stemming* berlumpur, (b) *stemming* pendek pada lubang basah, (c) lubang berongga, dan (d) *spoil*.



Gambar 3. Peta Lokasi Penelitian

#### 4. Kesimpulan

Dari hasil pengamatan parameter yang paling mempengaruhi lemparan *flyrock* adalah *stemming* dengan besar 81,50%. Metode empiris teori Richard dan Moore (2005) secara mekanisme *cratering* memiliki keakuratan paling tinggi dengan nilai penyimpangan 12,64 m dan error 18,33%. Berdasarkan parameter yang paling berpengaruh yaitu *stemming* yang dijadikan parameter usulan dengan jarak aman alat (*safety factor*) 2 untuk mengurangi jarak *flyrock*  $\leq 100$  m, didapat *stemming* minimum 3,3 m pada kedalaman lubang minimal 7,80 m, dapat mereduksi jarak aman alat dari 300 m menjadi 200 m.

#### Ucapan Terimakasih

Ucapan terima kasih saya sampaikan kepada UNJA terkhususnya pada HMTP yang telah mendukung penelitian ini.

#### Daftar Pustaka

- Abdurrachman, H., Saptono, S., dan Wiyono, B., 2015. Analisis *Flyrock* Untuk Mengurangi Radius Aman Alat Pada Peledakan *Overburden* Penambangan Batubara. Prosiding Seminar Nasional Kebumihan Ke-8. Yogyakarta: Yogyakarta.
- Bhandari, S., 1997. *Engineering Rock Blasting Operation (Hardbound)*. A. A. Balkema.
- Eko, M., R., Haris, R., H., Lubis, J., and Deri, N. P., 2023. *Study of Flyrock to Reduce Safe Radius from 500 m to 300 m on Blasting Quarry at PT Vale Indonesia, Sorowako, Luwu Timur, South Sulawesi. International Conference on Mining and Environmental Technology Journal*, 3.
- 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*, 165.
- Harsiga, E., & Tono, E. P. S. B. T. 2024. *Technical study of blasting geometry to reduce the level of fragmentation at the Air Laya mine site pt. Bukit Asam, Tbk. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 1419, No. 1, p. 012076)*. IOP Publishing.
- Marliana, R., Zakri, S., R., dan Novrianto., 2020. Analisis Pengaruh Geometri Peledakan Terhadap *Flyrock* Hasil Peledakan di PT. Bintang Sumatra Pacific Kec. Pangkalan Kab. Lima Puluh Kota Provinsi Sumatera Barat. *Jurnal Sains dan Teknologi*, 20(2), 4.
- Raina, A. 2024. *Flyrock in Surface Mining Milton Park, Abingdon, Oxon, OX14 4RN: CRC*

Press is an imprint of Taylor & Francis Group, LLC.

- Rande, A., S., dan Yulianti, A., 2021. Analisis *Flyrock* Untuk Mengurangi Radius Aman Alat Pada Peledakan Batuan Andesit di Kecamatan Margaasih, Kabupaten Bandung, Provinsi Jawa Barat. *Promine Journal*, 9(1), 3.
- Richard, A., B., and Moore, A., J., 2005. *Golden Pike Cut Back Fly Rock Control and Calibration of a Predictive Model*. Terrock Consulting Engineers. Australia.
- Suryadi, 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), 4.
- Taylor, R., 2010. *Macraes Phase III Vibration and Air Blast Assessment*. PT Orica Mining Service, Oceana Gold Limited. New Zealand.