

Analisis Jarak Lemparan *Flyrock* Terhadap Radius Aman Alat 150 Meter Di *Pit 40* Sentuk PT Multi Harapan Utama, Kecamatan Loa Kulu, Kabupaten Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur

Desi Permatasari¹, Tommy Trides², Shalaho Dina Devy³, Revia Oktaviani⁴, Lucia Litha Respati⁵

¹ Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman

Korespondensi : desipermatasr1218@gmail.com

ABSTRAK

Flyrock adalah fragmentasi batuan yang terlempar ke segala arah akibat dari kegiatan peledakan. Ukuran *flyrock* yang cukup besar dan melewati batas aman yang ditentukan akan menimbulkan kerusakan bagi alat, bangunan sekitar, maupun cedera pada manusia. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui jarak *flyrock* maksimum, parameter yang paling berpengaruh serta evaluasi dari parameter terbesar penyebab *flyrock*. Untuk memprediksi lemparan *flyrock* teoritis menggunakan teori Richard & Moore dan Ebrahim Ghasemi. Hasil penelitian didapatkan jarak *flyrock* maksimum berdasarkan perhitungan aktual yaitu 119,42 meter, berdasarkan perhitungan teoritis menurut Richard & Moore mekanisme *face burst* yaitu 241,42 meter, mekanisme *cratering* yaitu 105,51 meter dan teori Ebrahim Ghasemi yaitu 83,03 meter. Teori Ebrahim Ghasemi memiliki keakuratan paling tinggi di antara metode lainnya dengan nilai RMSE sebesar 23,58 meter dan MAPE sebesar 36,53%. Faktor terbesar penyebab jauhnya lemparan *flyrock* yaitu *powder factor*, sehingga dilakukan analisis untuk mendapatkan jarak lemparan *flyrock* maksimum 75 meter agar radius aman alat 150 meter, maka penggunaan *powder factor* maksimum yang digunakan yaitu 0,24 kg/m³.

Kata kunci: *Flyrock* Aktual, *Flyrock* Teoritis, *Powder Factor*

ABSTRACT

Flyrock is rock fragmentation that is thrown in all directions as a result of blasting activities. The size of *flyrock* that is large enough and exceeds the specified safe limits will cause damage to equipment, surrounding buildings, or injury to humans. Therefore, this research was conducted to determine the maximum *flyrock* distance, the most influential parameters and an evaluation of the biggest parameters that cause *flyrock*. To predict theoretical *flyrock* throws using the theory of Richard & Moore and Ebrahim Ghasemi. The research results showed that the maximum *flyrock* distance based on actual calculations was 119,42 meters, based on theoretical calculations according to Richard & Moore, the *face burst* mechanism was 241,42 meters, the *cratering* mechanism was 105,51 meters and Ebrahim Ghasemi's theory was 83,03 meters. Ebrahim Ghasemi's theory has the highest accuracy among other methods with an RMSE value of 23,58 meters and a MAPE of 36,53%. The biggest factor causing the *flyrock* throwing distance is *powder factor*, so an analysis was carried out to obtain a maximum *flyrock* throwing distance of 75 meters so that the safe radius of the tool is 150 meters, so the maximum *powder factor* used was 0.24 kg/m³.

Keyword : Actual *flyrock*, theoretical *flyrock*, *powder factor*

PENDAHULUAN

Peledakan adalah kegiatan pemecahan material menggunakan bahan peledak dengan tujuan untuk memenuhi jumlah *overburden* terbongkar dan batubara tertambang. Salah satu dampak negatif dari kegiatan peledakan yaitu *flyrock*. *Flyrock* adalah fragmentasi batuan yang terlempar ke segala arah akibat dari kegiatan peledakan. Ukuran *flyrock* yang cukup besar dan melewati batas aman yang ditentukan akan menimbulkan kerusakan bagi alat, bangunan sekitar, maupun cedera pada manusia. Berdasarkan KEPMEN 1827 tahun 2018 menetapkan standar radius aman peledakan bagi alat dan fasilitas pertambangan 300 meter serta bagi manusia 500 meter dari batas terluar peledakan diukur pada jarak horizontal dan/atau berdasarkan kajian teknis [3]. Namun, perpindahan alat menuju jarak aman peledakan sejauh 300 meter pada area kerja PT MHU tidak efektif sehingga perusahaan membuat kajian teknis untuk mengurangi radius aman alat menjadi 150 meter. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui apakah peledakan dengan standar radius aman alat 150

meter aman dengan mengetahui jarak maksimum lemparan *flyrock* aktual di lapangan dan menganalisis parameter-parameter geometri peledakan yang menyebabkan terjadinya *flyrock*.

Prediksi Lemparan *Flyrock* Menurut Richard & Moore

Flyrock akibat peledakan dapat disebabkan oleh tiga mekanisme utama akibat kurangnya pelekangan energi dalam kolom isian bahan peledak. *Flyrock* dapat terjadi jika *burden* pada diameter lubang ledak tidak mencukupi atau terdapat zona batuan lemah di permukaannya [5].

1. *Face Burst*

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

Keterangan:

- L = Lemparan maksimal (m)
- k = Konstanta untuk *overburden* batubara (13,5)
- g = Percepatan gravitasi (9,8 m/s²)
- LD = *Loading density* (kg/m)
- B = *Burden* awal (m)

2. *Cratering*

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

Keterangan:

- L = Lemparan maksimal (m)
- k = Konstanta untuk *overburden* batubara (13,5)
- g = Percepatan gravitasi (9,8 m/s²)
- LD = *Loading density* (kg/m)
- T = Tinggi *stemming* (m)

3. *Rifling*

$$L = \frac{k^2}{g} \left(\frac{\sqrt{LD}}{T} \right)^{2,6} \sin 2\theta \quad (3)$$

Keterangan:

- L = Lemparan maksimal (m)
- k = Konstanta untuk *overburden* batubara (13,5)
- g = Percepatan gravitasi (9,8 m/s²)
- LD = *Loading density* (kg/m)
- T = Tinggi *stemming* (m)
- θ = *Launch angle* (°)

Prediksi Lemparan *Flyrock* Menurut Ebrahim Ghasemi

Persamaan untuk memprediksi lemparan maksimum *flyrock* yang dikembangkan oleh Ebrahim Ghasemi (2012), menggunakan analisis dimensi dari parameter peledakan yang dapat dikontrol yaitu *burden* (B), *spacing* (S), *stemming* (T), *hole depth* (H), diameter lubang ledak (D), isian bahan peledak per lubang (Q), dan *powder factor* (PF) [1].

$$Fd = \left(\frac{PF}{Q} \right)^{1/3} = a + b \ln \left[B \left(\frac{PF}{Q} \right)^{1/3} \right] + c \ln \left[S \left(\frac{PF}{Q} \right)^{1/3} \right] + d \ln \left[T \left(\frac{PF}{Q} \right)^{1/3} \right] + e \ln \left[H \left(\frac{PF}{Q} \right)^{1/3} \right] + f \ln \left[D \left(\frac{PF}{Q} \right)^{1/3} \right] \quad (4)$$

Sehingga rumus empirik yang digunakan sebagai berikut:

$$F_d = \left[B^b \cdot S^c \cdot T^d \cdot H^e \cdot D^f \cdot \left(\frac{PF}{Q} \right)^x \right] \quad (5)$$

Nilai koefisien x dapat dicari dengan cara berikut:

$$x = \frac{(b+c+d+e+f)-1}{3} \quad (6)$$

Keterangan:

F_d	= <i>Flyrock distance</i> (m)
B	= <i>Burden</i> (m)
S	= <i>Spacing</i> (m)
T	= <i>Stemming</i> (T)
H	= <i>Hole depth</i> (m)
D	= <i>Diameter lubang ledak</i> (m)
PF	= <i>Powder factor</i> (kg/m ³)
Q	= <i>Isian bahan peledak per lubang ledak</i> (kg)
\ln	= <i>Logaritma natural</i>
a	= <i>Konstanta</i>
b, c, d, e, f, x	= <i>Koefisien dari persamaan non linear</i>

Koefisien Korelasi

Nilai korelasi berkisar antara -1 sampai 1. Nilai r dapat dideskripsikan dalam tabel berikut [4]:

Tabel 1. Nilai Koefisien Korelasi Kirk (2008) dalam Kusuma (2016)

Interval Koefisien Korelasi (r) (Positif/Negatif)	Tingkat Hubungan
$\geq 0,90$	Sangat Kuat
0,70 – 0,89	Kuat
0,3 – 0,69	Sedang
0,3	Lemah

Root Mean Square Error (RMSE) dan Mean Absolute Percentage Error (MAPE)

Root mean square error atau yang biasa disebut akar rata-rata kuadrat kesalahan digunakan untuk menjelaskan galat atau *error* pada suatu prediksi. Sementara *mean absolute percentage error* merupakan nilai kesalahan persentase absolut rata-rata antara nilai suatu prediksi terhadap nilai aktualnya [2].

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (F_{d_{Ai}} - F_{d_{Pi}})^2 \right]^{0,5} \quad (7)$$

$$MAPE = \left[\frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|F_{d_{Ai}} - F_{d_{Pi}}|}{F_{d_{Ai}}} \right] \quad (8)$$

Keterangan:

$RMSE$	= <i>Root mean square error</i> (m)
$MAPE$	= <i>Mean absolute percentage error</i> (%)
N	= <i>Jumlah data</i>
$F_{d_{Ai}}$	= <i>Jarak flyrock aktual</i> (m)
$F_{d_{Pi}}$	= <i>Jarak flyrock prediksi</i> (m)

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di *pit* 40 sentuk PT Cipta Kridatama *site* PT Multi Harapan Utama. Pengambilan dilakukan pada bulan Januari-Februari 2024 dengan pengumpulan data sebanyak 30 data.



Gambar 1. Lokasi Penelitian *Pit 40 Sentuk*

Metode penelitian dilakukan dengan pengumpulan data primer yang didapat langsung dari lapangan dan data sekunder yang diperoleh dari perusahaan. Data primer berupa pengukuran koordinat awal dari *boundary* terluar area peledakan, pengukuran koordinat jatuh *flyrock*, dan pengukuran geometri peledakan aktual. Data sekunder berupa data *loading sheet*, *blast report* dan jenis bahan peledakan. Semua data tersebut diolah menggunakan *Microsoft Excel*. Data koordinat awal *boundary* terluar area peledakan dan koordinat jatuh *flyrock* dihitung untuk mendapatkan jarak lemparan *flyrock* aktual. Kemudian data *flyrock* aktual dan geometri peledakan dihitung untuk mendapatkan prediksi lemparan *flyrock* menggunakan teori Richard & Moore dan Ebrahim Ghasemi. Selanjutnya data *flyrock* aktual dan *flyrock* teoritis dianalisis dengan RMSE dan MAPE. Data geometri peledakan aktual, data *loading sheet*, dan data jenis bahan peledak serta data *blast report* digunakan untuk mencari parameter terbesar penyebab *flyrock*. Setelah itu dilakukan evaluasi terhadap parameter terbesar penyebab jauhnya jarak lemparan *flyrock* dengan menggunakan grafik persamaan linear.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Jarak Lemparan *Flyrock*

Tabel 2. Data Jarak *Flyrock* Maksimum

<i>Flyrock</i> Maksimum	Jarak <i>Flyrock</i> (meter)
<i>Flyrock</i> Aktual	119,42
Prediksi <i>Face Burst</i> Richard & Moore	241,45
Prediksi <i>Cratering</i> Richard & Moore	105,51
Prediksi <i>Flyrock</i> Ebrahim Ghasemi	83,12

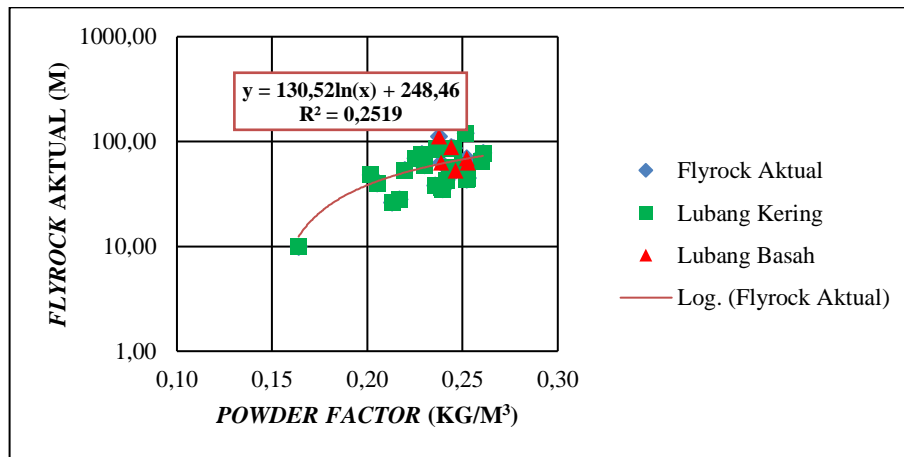
Berdasarkan 30 kali pengambilan data didapatkan jarak aktual *flyrock* maksimum yaitu 119,42 meter. Kemudian dilakukan perhitungan teoritis menurut Richard & Moore mekanisme *face burst* yaitu 241,42 meter, mekanisme *cratering* yaitu 105,51 meter dan teori Ebrahim Ghasemi yaitu 83,03 meter.

Sesuai kajian teknis dari perusahaan menetapkan pengurangan radius aman alat dari 300 meter ke 150 meter untuk *excavator big digger*. Menurut Richard and Moore (2005), jarak aman alat yaitu 2 kali jarak lemparan *flyrock* terjauh dari lokasi peledakan. Dari hasil pengamatan di lapangan didapatkan jarak aktual *flyrock* maksimum yaitu 119,42 meter, sehingga radius aman alat menjadi 238,84 meter. Hal ini termasuk dalam kondisi tidak aman untuk jarak aman alat. Sehingga perlu dilakukan analisis terhadap geometri peledakan untuk mengetahui faktor yang paling berpengaruh terhadap jarak lemparan *flyrock*.

2. Analisis Parameter Penyebab *Flyrock*

Tabel 3. Korelasi Parameter Geometri Peledakan Terhadap *Flyrock* Aktual

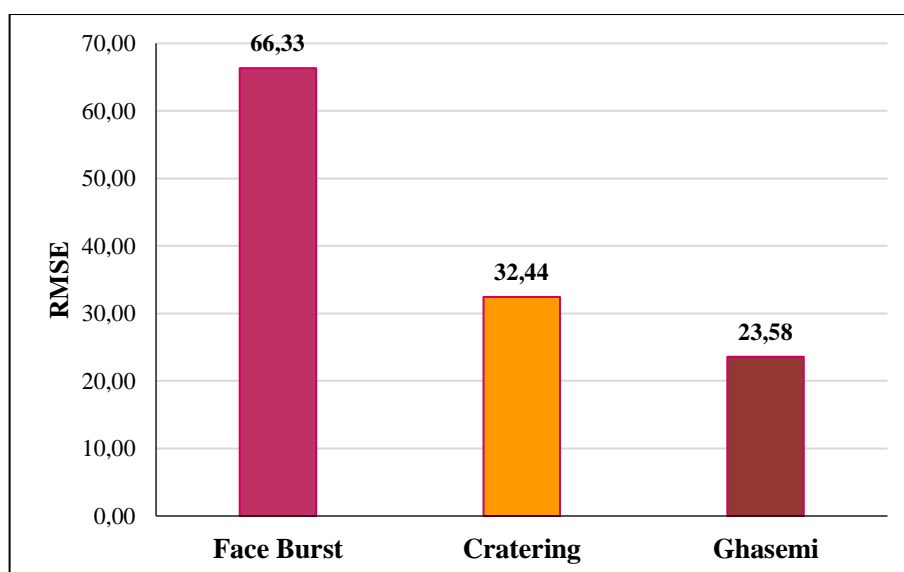
No	Parameter Geometri Peledakan	Koefisien Korelasi (r)	Tingkat Hubungan
1	Burden Awal ke <i>Freeface</i>	0,381	Sedang
2	Burden	-0,190	Lemah
3	Spasi	-0,351	Sedang
4	Kedalaman Lubang Ledak	0,197	Lemah
5	<i>Stemming</i>	0,081	Lemah
6	<i>Powder Factor</i>	0,502	Sedang
7	Isian Rata-Rata Bahan Peledak Dabex	0,277	Lemah



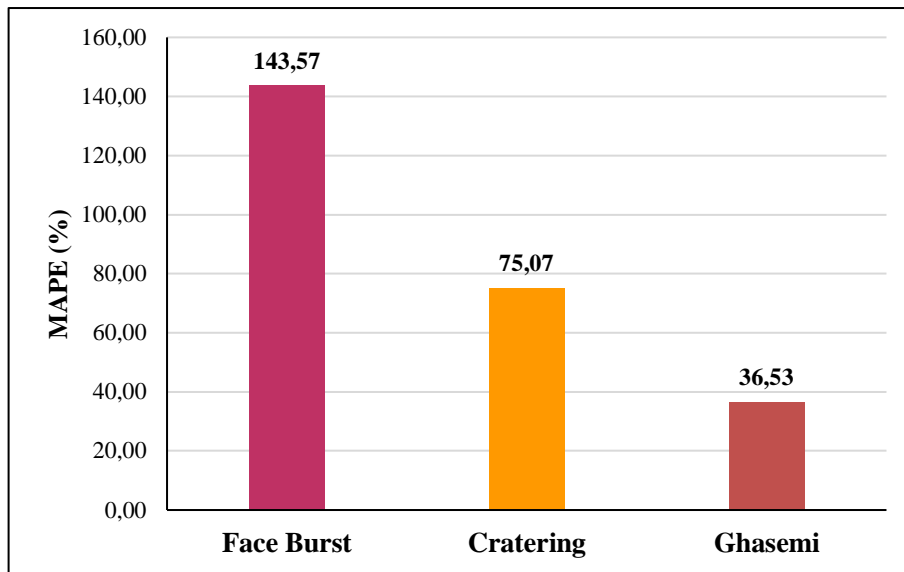
Gambar 2. Grafik Korelasi *Powder Factor* Terhadap *Flyrock* Aktual

Berdasarkan tabel 3 dapat disimpulkan bahwa *powder factor* memiliki pengaruh yang paling besar terhadap jauhnya jarak lemparan *flyrock* aktual. *Powder factor* memiliki korelasi positif yang artinya semakin besar nilai *powder factor* maka *flyrock* yang dihasilkan akan semakin jauh. Sehingga perlu dilakukan analisis untuk mengetahui seberapa besar penggunaan *powder factor* untuk mendapatkan jarak lemparan *flyrock* tertentu, terutama untuk mendapatkan jarak lemparan *flyrock* sejauh 75 meter.

3. Analisis Hasil Prediksi Lemparan *Flyrock*



Gambar 3. Grafik Perbandingan Nilai RMSE Teori Prediksi *Flyrock*

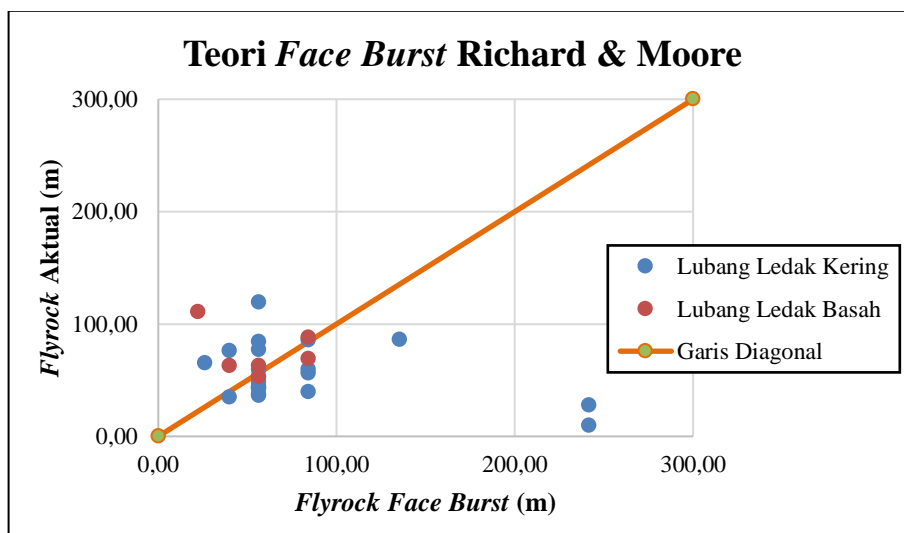


Gambar 4. Grafik Perbandingan Nilai MAPE Teori Prediksi *Flyrock*

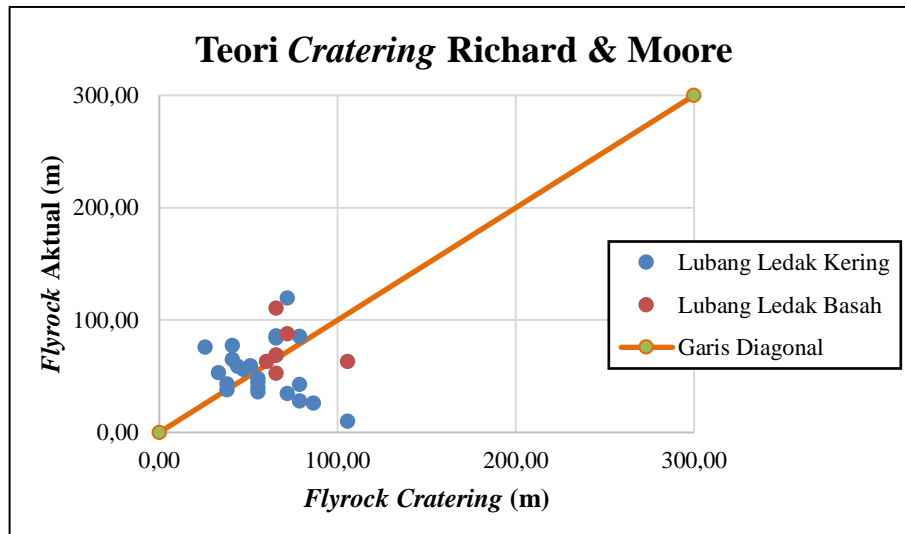
Berdasarkan gambar 3 dan 4 dapat dilihat bahwa prediksi teori Ebrahim Ghasemi memiliki penyimpangan dan *persentase error* yang paling kecil dibanding dengan metode lain dengan nilai RMSE 23,58 meter dan MAPE 36,53%. Sehingga apabila dilakukan uji coba pada rancangan usulan geometri peledakan selanjutnya untuk memprediksi jarak lemparan *flyrock* di lapangan dapat menggunakan prediksi teori Ebrahim Ghasemi.

4. Pengaruh Lubang Ledak Basah

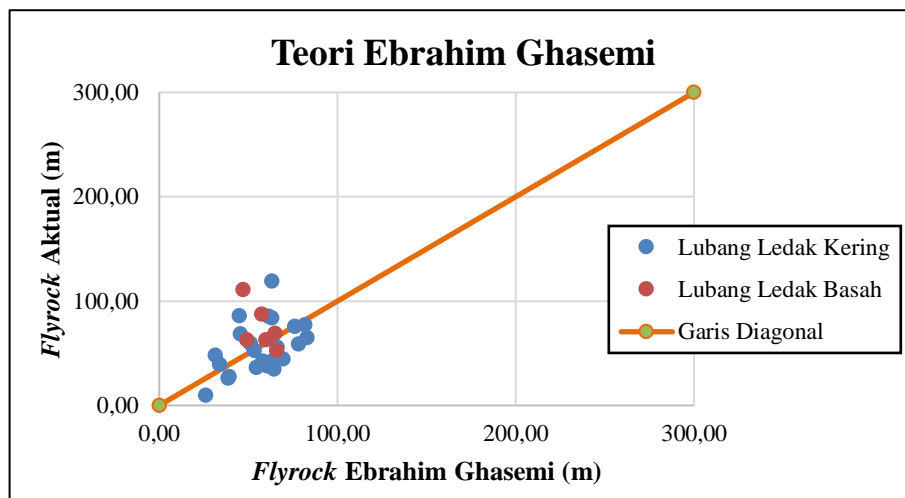
Pada lokasi peledakan terdapat kondisi lubang ledak basah dan lubang ledak kering. Kondisi lubang ledak basah ini dapat disebabkan terdapatnya air pada lubang ledak yang berasal dari air tanah maupun air hujan. Keberadaan lubang ledak basah dapat mempengaruhi jarak lemparan *flyrock*. Pengaruh lubang ledak basah dan lubang ledak kering terhadap jarak lemparan dapat dilihat pada grafik dibawah ini.



Gambar 5. Grafik Kondisi Lubang Ledak Teori *Face Burst* Richard & Moore



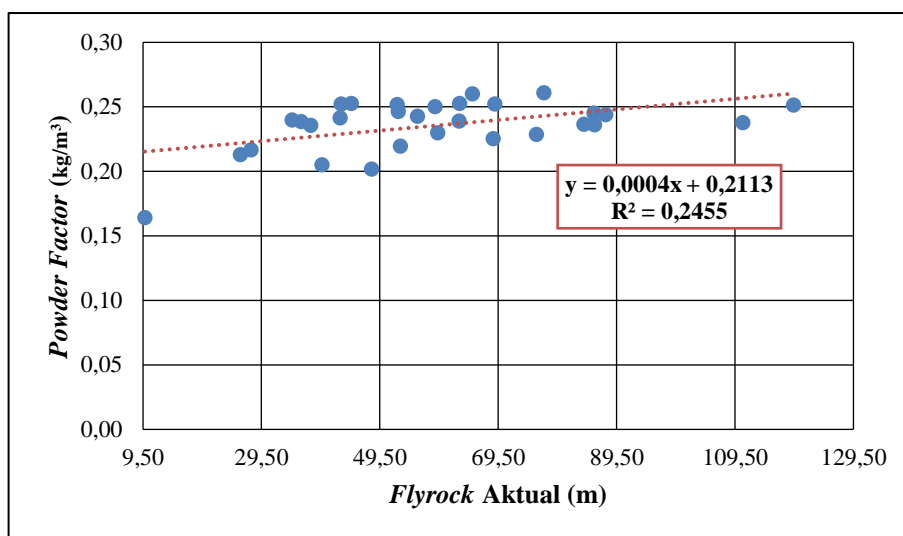
Gambar 6. Grafik Kondisi Lubang Ledak Teori *Cratering* Richard & Moore



Gambar 7. Grafik Kondisi Lubang Ledak Teori Ebrahim Ghasemi

Berdasarkan ketiga gambar diatas dapat dilihat bahwa lubang ledak basah umumnya mempengaruhi jauhnya jarak lemparan *flyrock*. Hal ini disebabkan pada lubang ledak basah material *stemming* yang digunakan yaitu material *ripping* dari *excavator*. Material ini berupa bongkahan-bongkahan batuan yang ketika dimasukkan kedalam lubang ledak akan menyebabkan terciptanya rongga-rongga pada material penutup sehingga energi dari bahan peledakan akan lebih besar dan menyebabkan lemparan *flyrock* yang lebih jauh. Sementara apabila menggunakan material hasil *cutting* pengeboran akan menyebabkan material menjadi lumpur sehingga penutupan *stemming* tidak terpadatkan dengan baik menyebabkan lemparan *flyrock* yang jauh.

5. Evaluasi Faktor Terbesar Penyebab *Flyrock*



Gambar 8. Grafik Nilai *Flyrock* Aktual Terhadap *Powder Factor*

Sesuai dengan kajian teknis perusahaan menetapkan untuk jarak aman alat *excavator big digger* yaitu 150 meter dari area terluar lokasi peledakan. Mengacu pada teori Richard & Moore (2005), untuk jarak aman alat yaitu 2 kali jarak lemparan maksimum *flyrock*. Sehingga untuk mendapatkan radius aman alat 150 meter maka lemparan maksimum *flyrock* aktual yaitu 75 meter. Dari gambar 8 didapat persamaan untuk memprediksi seberapa besar penggunaan *powder factor* untuk mendapatkan jarak lemparan *flyrock* 75 meter sebagai berikut:

$$y = 0,0004x + 0,2113$$

$$y = 0,0004 (75 \text{ meter}) + 0,2113$$

$$y = 0,24 \text{ kg/m}^3$$

Dapat disimpulkan bawah untuk mendapatkan jarak lemparan *flyrock* maksimum 75 meter, maka penggunaan *powder factor* maksimum yang digunakan yaitu $0,24 \text{ kg/m}^3$. Berdasarkan aktual di lapangan penggunaan *powder factor* maksimum yang digunakan oleh perusahaan yaitu $0,26 \text{ kg/m}^3$. Hal tersebut melebihi dari perhitungan teoritis besaran penggunaan *powder factor* sehingga menyebabkan jauhnya jarak lemparan *flyrock*.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan untuk jarak *flyrock* maksimum berdasarkan perhitungan aktual yaitu 119,42 meter, berdasarkan perhitungan teoritis menurut Richard & Moore mekanisme *face burst* yaitu 241,42 meter, mekanisme *cratering* yaitu 105,51 meter dan teori Ebrahim Ghasemi yaitu 83,03 meter. Teori Ebrahim Ghasemi memiliki keakuratan paling tinggi di antara metode lainnya dengan nilai RMSE sebesar 23,58 meter dan MAPE sebesar 36,53%. Faktor terbesar penyebab jauhnya lemparan *flyrock* yaitu *powder factor* dengan nilai koefisien korelasi (r) sebesar 0,502. Sehingga dilakukan analisis untuk mendapatkan jarak lemparan *flyrock* maksimum 75 meter agar radius aman alat 150 meter (Richard & Moore, 2005), maka penggunaan *powder factor* maksimum yang digunakan yaitu $0,24 \text{ kg/m}^3$.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Bapak dan Ibu dosen yang telah membimbing, mengarahkan serta memberi saran kepada penulis dalam penyusunan jurnal ini. Terima kasih juga kepada PT Multi Harapan Utama yang telah mewadahi penulis selama melaksanakan penelitian serta kepada semua pihak yang telah membantu yang tidak dapat penulis disebutkan satu persatu.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ghasemi, E., Sari, M., dan Ataei, M., 2021, *Development of an Empirical Model for Predicting the Effects of Controllable Blasting Parameters on Flyrock Distance in Surface Mines*, International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, Vol. 52, Page 163-170.
- [2] Jamei, M., Hasanipanah, M., Karbasi, M., Ahmadianfar, I., dan Taherifar, S., 2021, *Prediction of Flyrock Induced by Mine Blasting Using a Novel Kernel-Based Extreme Learning Machine*, Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, 13 (6), 1438-1451,
- [3] KEPMEN 1827, 2018, Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan Yang Baik, Menteri Energi dan Sumberdaya Mineral Republik Indonesia.
- [4] Kusuma, L.T.W.N., dan Andriani, D.P., 2016, Pengantar Statistik Industri, UB Press, Malang. ISBN: 978-602-203-983-9.
- [5] Richard, A.B., dan Moore, A.J., 2005, *Golden Pick Cut – Back Flyrock Control and Calibration of a Predictive Model*, Terrock Consulting Engineer. A.B.N. 99 005 784 841.