

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*

Suryadi^{1*}, RaimonKopa¹

¹ Jurusan Teknik Pertambangan FT Universitas Negeri Padang

*suryadimine@gmail.com

Abstract. *Flyrock is the fragmentation of rocks that are thrown due to result of blasting. Fragmentation of rocks thrown over a safe radius can cause damage to mechanical devices, injuries, and even death to humans. This is what causes the effects of flyrock to be one of the main concerns in every blasting activity. This study aims to analyze the better of geometry in order to reduce the distance of flyrock. The study was conducted on 11 blasting blocks, by comparing the distance of flyrock before and after the geometric changes of the blasting, including seven blasting without simulation and four blasting with the simulation. Observation of the distance of flyrock in detail using DJI Phantom 4 drones and plotting coordinates with GPS (Global Positioning System). Theoretically the distance of rock throws according to the empirical method with the theories of Richard and Moore (2005) is 65 m, and Lundborg (1981) 107.25 m. Whereas according to the method of dimensional analysis with the theory of Ebrahim Ghasemi (2012) it is 110.53 m. Of the seven blasting activities obtained the average distance of rock throws (flyrock) is 143 m with the farthest distance of 160 m. Thus Ebrahim Ghasemi's theory is more representative in predicting the distance of rock throws because it has a smaller difference (22%). Simulation of blasting activities is carried out by changing geometry in stemming depth, because statistically stemming has a very strong relationship to the distance of flyrock ($R^2 = 0.84$), where stemming can control energy in the hole so it is not released upwards in giving rocks to the side. Besides that the increase in stemming causes hole depth to also increase. From the four blasting simulation activities carried out, the average flyrock distance was 53.95 m with the furthest distance 63.2 m. This means that with the simulation the distance of flyrock can be minimized by 89.05 m or about 62.27%.*

Keywords: *Blastability Geometry, Flyrock*

1. Pendahuluan

Flyrock adalah fragmentasi batuan yang terlempar akibat hasil ledakan. Fragmentasi batuan yang terlempar melebihi radius aman dapat mengakibatkan kerusakan terhadap alat mekanis, cedera, bahkan kematian untuk manusia. Hal inilah yang menyebabkan efek dari *flyrock* menjadi salah satu perhatian utama pada setiap kegiatan peledakan. PT Ansar Terang Crushindo (PT ATC) adalah perusahaan yang bergerak di bidang industri pertambangan batu andesit dengan system tambang terbuka dan metode penambangan *open pit*. Kegiatan pemberaian batuan didominasi oleh peledakan dengan area operasional berada pada dua *pit* yaitu ATC I dan ATC II.

Salah satu efek kegiatan peledakan terhadap lingkungan di sekitar area penambangan adalah *flyrock* (batu terbang). Jarak lemparan maksimum dari kegiatan peledakan tersebut berkisar antara 100 s.d. 300 meter, sementara jarak wilayah penambangan dengan jalan lintas hanya 500 meter, dengan kebun milik masyarakat 150-300 meter. Sehingga saat ini permasalahan *flyrock* menjadi perhatian khusus bagi perusahaan.

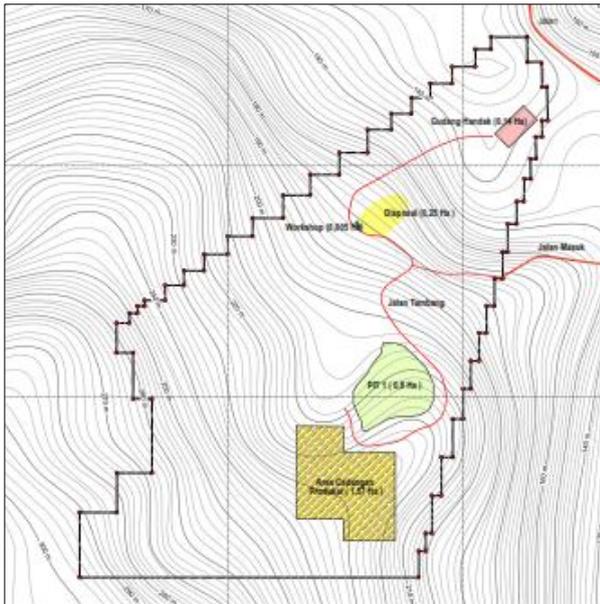
Berdasarkan data pengaduan di sekitar area penambangan terdapat tujuh kejadian lemparan batuan yang mencapai lahan kebun milik masyarakat selama enam bulan terakhir. Laporan menjelaskan bahwa

lemparan batuan berada pada radius 100 hingga 300 meter dari sumber ledakan. Lemparan batuan tersebut menyebabkan kerusakan pada beberapa tanaman dan pondok yang berada di kebun milik masyarakat yang tidak bersedia lahannya dibebaskan oleh pihak perusahaan, sehingga muncullah beberapa pengaduan. Kejadian ini tentunya menyebabkan beberapa kerugian baik dari segi waktu maupun biaya perbaikan. Kondisi tersebut menjadi perhatian khusus yang perlu penyelesaian sesegera mungkin untuk meminimalisir kerugian yang akan terjadi di masa mendatang.

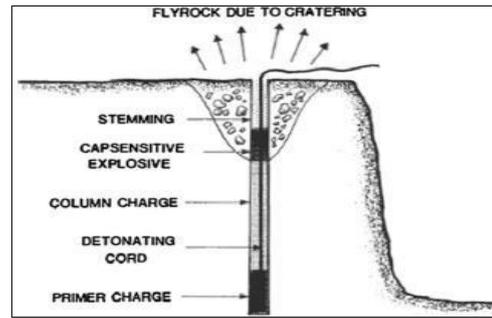
2. Kajian Pustaka

2.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di PT Ansar Terang Crushindo II yang secara administrasi berada di Lubuk Jantan, Nagari Manggilang, Kecamatan Pangkalan Koto Baru, Kabupaten Lima Puluh Kota, Provinsi Sumatera Barat. Peta Lokasi Penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta Lokasi Penambangan PT ATC II



Gambar 2. Burden yang Besar dan Top Priming Penyebab Flyrock

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Fragmentasi Peledakan

Batu terbang (*flyrock*) yaitu batu yang terlempar secara liar pada saat terjadi peledakan. *Flyrock* disebabkan oleh beberapa hal^[1,2], diantaranya:

- a. Ukuran aktual *burden* dan spasi yang tidak sesuai dengan ukuran rancangan pemboran
- b. Jumlah isian bahan peledak yang terlalu banyak
- c. Pengaruh struktur geologi, seperti kekar, retakan, dan sebagainya
- d. Penempatan lubang bor yang tidak tepat
- e. *Stemming* yang tidak cukup, baik itu panjang maupun ukuran material *stemming*
- f. Kesalahan pola penyalan (*tie-up*) dan waktu tunda
- g. Lantai jenjang yang tidak rata

Richard and Moore (2005)

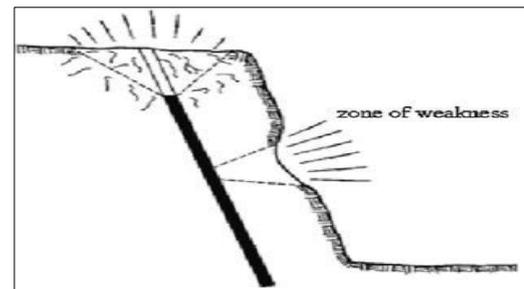
Menurut pengujian yang telah dilakukan Richard dan Moore (2005), terdapat tiga faktor utama yang mempengaruhi terjadinya *flyrock* pada kegiatan peledakan^[1,2], yaitu:

1) *Rifling*

Rifling terjadi saat *stemming* sudah sesuai untuk mencegah *flyrock* secara *cratering*, namun material *stemming* yang digunakan kurang baik, dan biasanya disertai dengan *noise* (bunyi) ledakan yang tinggi. *Flyrock* disebabkan lubang ledak cenderung lebih miring karena bila pada lubang ledak tegak *flyrock*

2) *Cratering*

Cratering terjadi saat tinggi *stemming* yang terlalu pendek serta terdapatnya bidang lemah pada lubang ledak. Bidang lemah tersebut biasanya merupakan material *broken* dari hasil peledakan sebelumnya. Berdasarkan kondisi tersebut maka *flyrock* dapat terlempar ke segala arah dari lubang ledak. Gambar 3 memperlihatkan bidang lemah yang berpotensi menimbulkan *flyrock*.



Gambar 3. Efek Crater sebagai Penyebab Flyrock

3) *Face Bursting*

Face Bursting terjadi saat jarak *burden* pada baris depan peledakan di lapangan yang terkadang terlalu dekat sehingga menimbulkan potensi *flyrock*. Rumus untuk mencari jarak lemparan batuan menurut Richard dan Moore (2005) seperti berikut:

a) *Rifling*

$$L = \frac{k^2}{g} \left(\frac{\sqrt{m}}{SH} \right)^{2,6} \sin 2\theta \tag{1}$$

b) *Cratering*

$$L = \frac{k^2}{g} \left(\frac{\sqrt{m}}{SH} \right)^{2,6} \tag{2}$$

c) *Face Bursting*

$$L = \frac{k^2}{g} \left(\frac{\sqrt{m}}{B} \right)^{2,6} \tag{3}$$

Dengan:

- L = Jarak lemparan batuan (m)
- k = Konstanta material
- g = Percepatan gravitasi (m/s²)
- B = *Burden* (m)
- SH = *Stemming Height* (m)
- θ = Kemiringan Lubang (°)
- m = berat isian bahan peledak (Kg/m)

Lundborg (1981)

Lundborg et al. (1981) mengemukakan teorinya dalam menghitung jarak maksimum *flyrock* pada fragmentasi batuan saat kondisi optimum^[4]. Gambar 4 memperlihatkan hubungan antara jarak maksimum lemparan batuan dengan *specific charge* (q) dengan rumusan sebagai berikut:

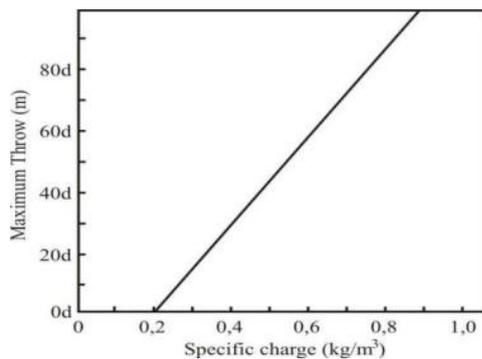
$$L=143 d (q-0,2) \tag{4}$$

Dengan:

Lmax= Jarak lemparan maksimum(m)

D = Diameter Lubang Ledak (inch)

q = *Specific charge* (kg/m³)



Gambar 4. Hubungan Jarak Lemparan Batuan dengan *Specific Charge*

Ebrahim Ghasemi (2012)

Perhitungan jarak lemparan batuan menggunakan metode analisis dimensi berdasarkan parameter peledakan yang dapat dikontrol. Diantaranya *burden*, spasi, *stemming*, kedalaman lubang ledak, diameter lubang ledak, isian bahan ledak per *delay*, dan *powder factor*^[11].

$$Fd = 0.993 \times B^{21.993} \times S^{4.490} \times St^{-2.808} \times H^{0.673} \times D^{0.310} \times \frac{P^{7.86}}{Q}$$

Dengan:

Fd = *Flyrock Distance*(m)

B = *Burden*(m)

S = Spasi

St = *Stemming*(m)

H = Kedalaman Lubang Ledak

P = *Powder Factor* (kg/m³)

D = Diameter Lubang Ledak (m)

Q = Isian Handak/Lubang (kg)

2.2.2 Analisis Statistik

Analisis statistik dilakukan dengan korelasi dan regresi linier untuk melihat hubungan antara geometri peledakan terhadap jarak lemparan batuan (*flyrock*)^[5].

1. Korelasi

Korelasi adalah hubungan antara satu variabel dengan variabel lainnya dalam bentuk diagram pencar (*scatter plot*) yang menunjukkan hubungan antara kedua

variabel tersebut, dimana koefisien korelasi (ρ) mempunyai nilai $-1 \leq \rho \leq 1$. Perhitungan koefisien korelasi pada dasarnya dapat dikelompokkan menjadi tiga kelompok besar yaitu:

- a. **Korelasi Positif Kuat**
Korelasi positif kuat apabila hasil perhitungan korelasi mendekati +1 atau sama dengan +1. Ini berarti bahwa setiap kenaikan nilai pada variabel X akan diikuti dengan kenaikan nilai variabel Y. Sebaliknya, jika variabel X mengalami penurunan, maka akan diikuti dengan penurunan variabel Y.
- b. **Korelasi Negatif Kuat**
Korelasi negatif kuat apabila hasil perhitungan korelasi mendekati -1 atau samadengan-1. Ini berarti bahwa setiap kenaikan nilai pada variabel X akan diikuti dengan penurunan skor/nilai variabel Y.
- c. **Tidak Ada Korelasi**
Tidak ada korelasi, apabila hasil perhitungan korelasi mendekati 0 atau sama dengan 0. Hal ini berarti bahwa naik turunnya nilai satu variabel tidak mempunyai kaitan dengan naik turunnya nilai variabel yang lainnya. Apabila nilai variabel X naik tidak selalu diikuti dengan naik atau turunnya nilai variabel Y, demikian juga sebaliknya.

2. Koefisien Determinasi (R²)

Koefisien *determinasi* (R²) adalah bagian dari keragaman total variabel terikat (Y) yang dapat diterangkan oleh keragaman variabel bebas (X)^[5]. Adapun interpretasi nilai koefisien determinasi menurut Colon dalam Hastono (2006: 131) dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Interpretasi Koefisien Determinasi (R²)

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

3. Regresi

Analisis regresi digunakan untuk memberikan penjelasan hubungan antara dua jenis variabel atau lebih yaitu hubungan antara variabel dependen atau variabel kriteria dengan variabel independen atau variabel predictor^[5]

Regresi Sederhana

Analisis hubungan antara dua variabel disebut sebagai analisis regresi sederhana jika hanya melibatkan satu variabel independen. Hubungan antara variabel dependen (Y) dengan variabel independen (X) dituliskan dalam model linier umum:

$$Y = i + Xi \tag{5}$$

Dengan $i = 1, 2, \dots, n$ adalah koefisien regresi yang berarti besarnya perubahan pada, jika X_i bertambah satu satuan dan variabel yang lain konstan, adalah *intercept*.

Regresi Berganda

Regresi linier berganda hampir sama dengan regresi linier sederhana, hanya saja pada regresi linier berganda variabel bebasnya lebih dari satu variabel penduga. Secara umum model regresi linier berganda untuk populasi adalah sebagai berikut:

$$Y' = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_kX_k \quad (6)$$

Dengan:

$i = 1, 2, \dots, n$, $k =$ variabel bebas, yaitu X_1, \dots, X_k .

3. Hasil dan Pembahasan

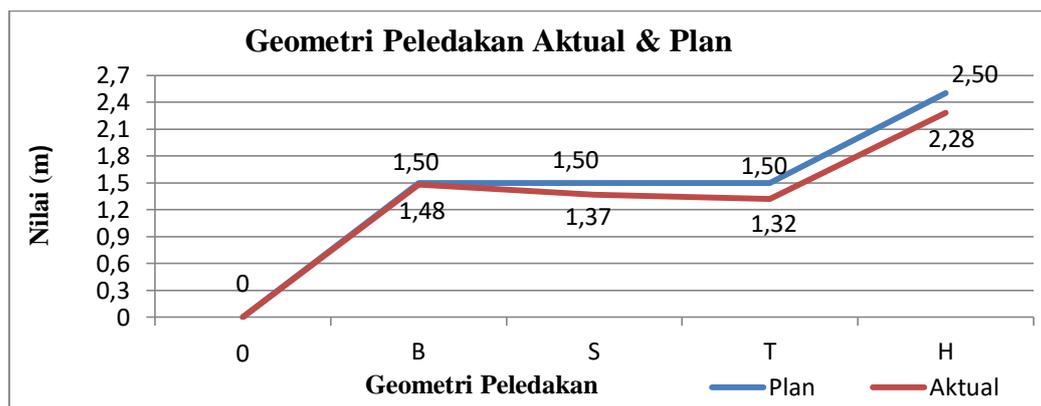
3.1 Kegiatan Peledakan Aktual

Geometri Peledakan Aktual

Data rekapitulasi hasil pengamatan pada 6 blok peledakan dapat dilihat pada Tabel 2. Dari Tabel 2 terlihat bahwa secara rata-rata geometri peledakan di lapangan memiliki perbedaan yang tidak terlalu signifikan dari rencana yang telah ditetapkan. Geometri rencana didapatkan dari data sekunder perusahaan. Untuk persentase perbedaan terbesar terlihat pada parameter *stemming* yaitu sebesar 10,9 % . Secara grafis perbedaan antara geometri aktual terhadap *plan* dapat dilihat pada Gambar 5.

Tabel 2. Geometri Peledakan Aktual di Lapangan

No	Tanggal	Kondisi Lubang Ledak	Geometri Peledakan (m)				
			B	S	T	H	PC
1	19-Jan-2019	berair pada area dekat dengan slope	1.60	1.50	1.30	2.30	1.00
2	21-Jan-2019	berair (90 %)	1.60	1.40	1.40	2.40	1.00
3	24-Jan-2019	berair pada area dekat dengan slope	1.50	1.40	1.30	2.10	0.80
4	30-Jan-2019	berair pada area dekat dengan slope	1.40	1.30	1.40	2.30	0.90
5	4-Feb-2019	berair (100 %)	1.50	1.41	1.31	2.28	0.97
6	23-Feb-2019	kering	1.39	1.28	1.31	2.31	1.00
7	24-Feb-2019	berair (70 %)	1.45	1.35	1.25	2.30	1.05
Rata-Rata Aktual			1.50	1.38	1.34	2.28	0.94
Plan			1.50	1.50	1.50	2.50	1.00
Perbedaan Aktual terhadap Plan			0.1%	7.9%	10.9%	8.8%	5.6%



Gambar 5. Perbedaan Geometri Peledakan Aktual terhadap *Plan*

Jarak Aktual Lemparan Batuan

Jarak lemparan batuan (*flyrock*) sebelum dilakukannya penelitian berkisar antara 150-200 m. Lemparan batuan tersebut menyebabkan rusaknya pondok kebun milik warga yang berada dekat dengan area penambangan. Sementara jarak lemparan batuan (*flyrock*) selama melakukan kegiatan penelitian dapat dilihat pada Tabel 3.

Pengamatan terhadap jarak lemparan batuan akibat kegiatan peledakan ini dilakukan dengan mengambil video menggunakan *drone DJI Phantom 4*, dengan posisi vertikal *drone* pada ketinggian 40 hingga 50 meter dari *front blasting*. Pengamatan video *drone* dan pengeplotan GPS. Untuk pengolahan data GPS dilakukan dengan *Google Earth Pro*.

Tabel 3. Jarak Lemparan Batuan (*Flyrock*) Aktual

No	Tanggal	Jarak Lemparan Batuan Aktual (m)	Dimensi Batuan (cm x cm x cm)
1	19-Jan-2019	134	13 x 7.5 x 4
2	21-Jan-2019	146	10 x 5 x 2,5
3	24-Jan-2019	155	7 x 3.2 x 2.1
4	30-Jan-2019	110	18 x 8 x 2.5
5	04-Feb-2019	158	10 x 5 x 2.2
6	23-Feb-2019	135	9 x 6.2 x 3.2
7	24-Feb-2019	160	7 x 5.5 x 3.2
Rata-Rata Aktual		143	

Dari Tabel 3 terlihat bahwa jarak horizontal lemparan batuan (*flyrock*) aktual rata-rata adalah 143 m, sementara secara vertikal dari pengamatan video *drone* tidak ada batuan yang terlempar melebihi posisi *drone*, dengan berarti jarak vertikal lemparan batuan pada radius di bawah 50 meter.

Jarak Prediksi Lemparan Batuan

Prediksi jarak lemparan batuan (*flyrock*) dilakukan dengan metode empirik dan analisis dimensi. Metode empirik dihitung menggunakan persamaan Richard dan Moore (2005) dan Lundborg (1981), sementara metode analisis dimensi menggunakan persamaan Ebrahim Ghasemi (2012).

Richard dan Moore (2005)

Menurut Richard dan Moore terdapat tiga persamaan untuk menghitung jarak lemparan batuan (*flyrock*)

1). *Rifling*

Rifling terjadi apabila material *stemming* yang digunakan kurang baik. Persamaan *rifling* adalah sebagai berikut:

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

Diketahui:

- k = konstanta material = 21,65
- g = percepatan gravitasi = 9,8 m/s²
- m = berat isian handak = 0.34 x SG x De
- m = 0.34 x 0.83 x 3² = 2,5 kg/m
- SH = *stemming height* = 1,5 m
- θ = kemiringan lubang ledak = 90°

Perhitungan *rifling* tidak dilakukan karena lubang ledak yang ada di PT ATC II adalah lubang ledak tegak dan perhitungan *rifling* hanya untuk lubang ledak miring.

2). *Cratering*

Cratering terjadi apabila *stemming* yang digunakan terlalu pendek atau adanya material *broken* dari hasil *blasting* sebelumnya. Persamaan untuk mencari *cratering* adalah sebagai berikut:

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

$$L = \frac{21,65^2}{9,8} \left(\frac{\sqrt{2,5}}{1,5} \right)^{2,6}$$

$$L = 65 \text{ m}$$

Dari persamaan Richard dan Moore (2005) dengan teori *cratering* didapatkan prediksi jarak lemparan batuan (*flyrock*) adalah 65 meter.

3). *Face Bursting*

Face bursting terjadi apabila jarak *burden* pada baris peledakan terlalu dekat. Persamaan untuk mencari *face bursting* adalah sebagai berikut:

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

$$L = \frac{21,65^2}{9,8} \left(\frac{\sqrt{2,5}}{1,5} \right)^{2,6}$$

$$L = 65 \text{ m}$$

Dari persamaan Richard dan Moore (2005) dengan teori *face bursting* didapatkan prediksi jarak lemparan batuan (*flyrock*) adalah 65 meter.

Lundborg (1981)

Persamaan yang digunakan Lundborg untuk menghitung jarak lemparan maksimum batuan (*flyrock*) adalah sebagai berikut:

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

Diketahui:

- d = diameter lubang ledak = 3 inch
- q = *specific charge* = 0,45 kg/m³

Sehingga,

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

$$L = 143 \times 3 (0,45 - 0,2)$$

$$L = 107,25 \text{ m}$$

Dari persamaan Lundborg (1981) didapatkan prediksi jarak lemparan batuan (*flyrock*) maksimum sebesar 107,25 m.

Ebrahim Ghasemi (2012)

Menurut Ebrahim Ghasemi prediksi jarak lemparan batuan (*flyrock*) menggunakan metode analisis dimensi dengan persamaan berikut:

$$Fd = 0.993 \times B^{21.993} \times S^{4.490} \times St^{-2.808} \times H^{0.673} \times D^{0.310} \times \frac{P^{7.86}}{Q}$$

Diketahui:

- B = Burden = 1,5 m
- H = Kedalaman Lubang Ledak = 2,5 m
- S = Spasi = 1,5 m
- D = Diameter Lubang Ledak = 0,076 m
- St = Stemming = 1,5 m
- P = Powder Factor = 0,45 kg/m³
- Q = Isian rata-rata/lubang = 2,5 kg

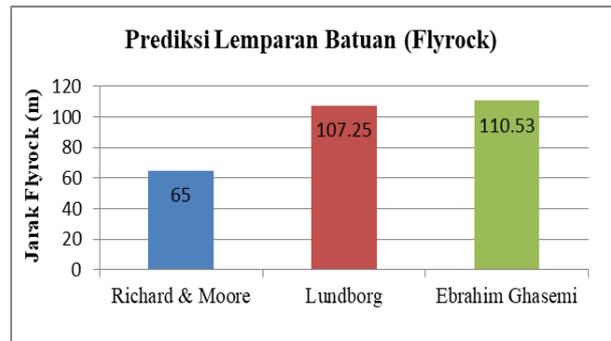
Sehingga,

$$Fd = 0.993 \times B^{21.993} \times S^{4.490} \times St^{-2.808} \times H^{0.673} \times D^{0.310} \times \frac{P^{7.86}}{Q}$$

$$Fd = 0.993 \times 1,5^{21.993} \times 1,5^{4.490} \times 1,5^{-2.808} \times 2,5^{0.673} \times 0,076^{0.310} \times \frac{0,45^{7.86}}{2,5}$$

$$Fd = 110.53 \text{ m}$$

Dari persamaan Ebrahim Ghasemi (2012) didapatkan prediksi jarak lemparan batuan sebesar 110.53 m. Secara grafis perbedaan prediksi jarak lemparan batuan dari ketiga teori tersebut dapat dilihat pada Gambar 6.



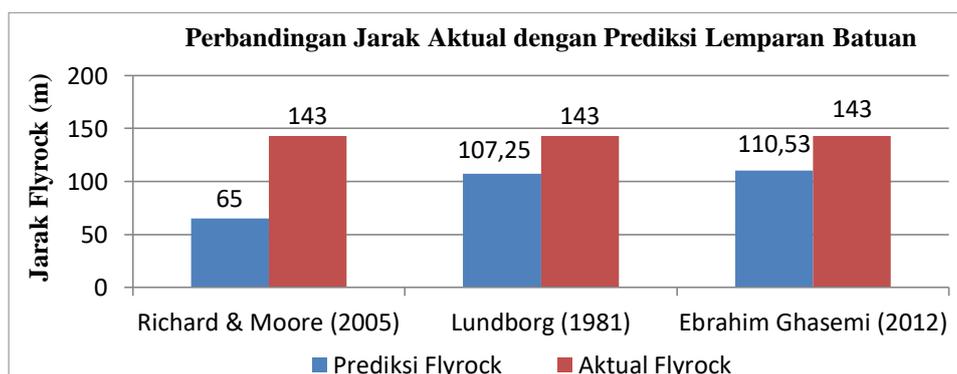
Gambar 6. Perbedaan Prediksi Jarak Lemparan Batuan

Perbedaan Jarak Aktual dengan Prediksi Lemparan Batuan

Perbedaan antara jarak aktual terhadap jarak prediksi lemparan batuan (*flyrock*) menurut metode empirik dan analisis dimensi dapat dilihat pada Tabel 4. Dari Tabel 4 terlihat bahwa metode analisis dimensi menurut Ebrahim Ghasemi lebih representatif dalam memprediksi jarak lemparan batuan (*flyrock*) karena memiliki perbedaan yang lebih kecil terhadap kondisi aktual yaitu sebesar 32.47 cm dengan persentase perbedaan sebesar 22 %. Secara grafis perbandingan antara prediksi jarak lemparan batuan dengan aktual di lapangan dapat dilihat pada Gambar 7.

Tabel 4. Perbandingan Jarak Prediksi dengan Aktual Lemparan Batuan

Prediksi Flyrock	Nilai (m)	Aktual Flyrock (m)	Perbedaan Aktual terhadap Plan (m)	Persentase Perbedaan
Metode Empiris				
Richard & Moore (2005)	65	143	78	54 %
Lundborg (1981)	107.25	143	35.75	25 %
Metode Analisis Dimensi				
Ebrahim Ghasemi	110.53	143	32.47	22 %

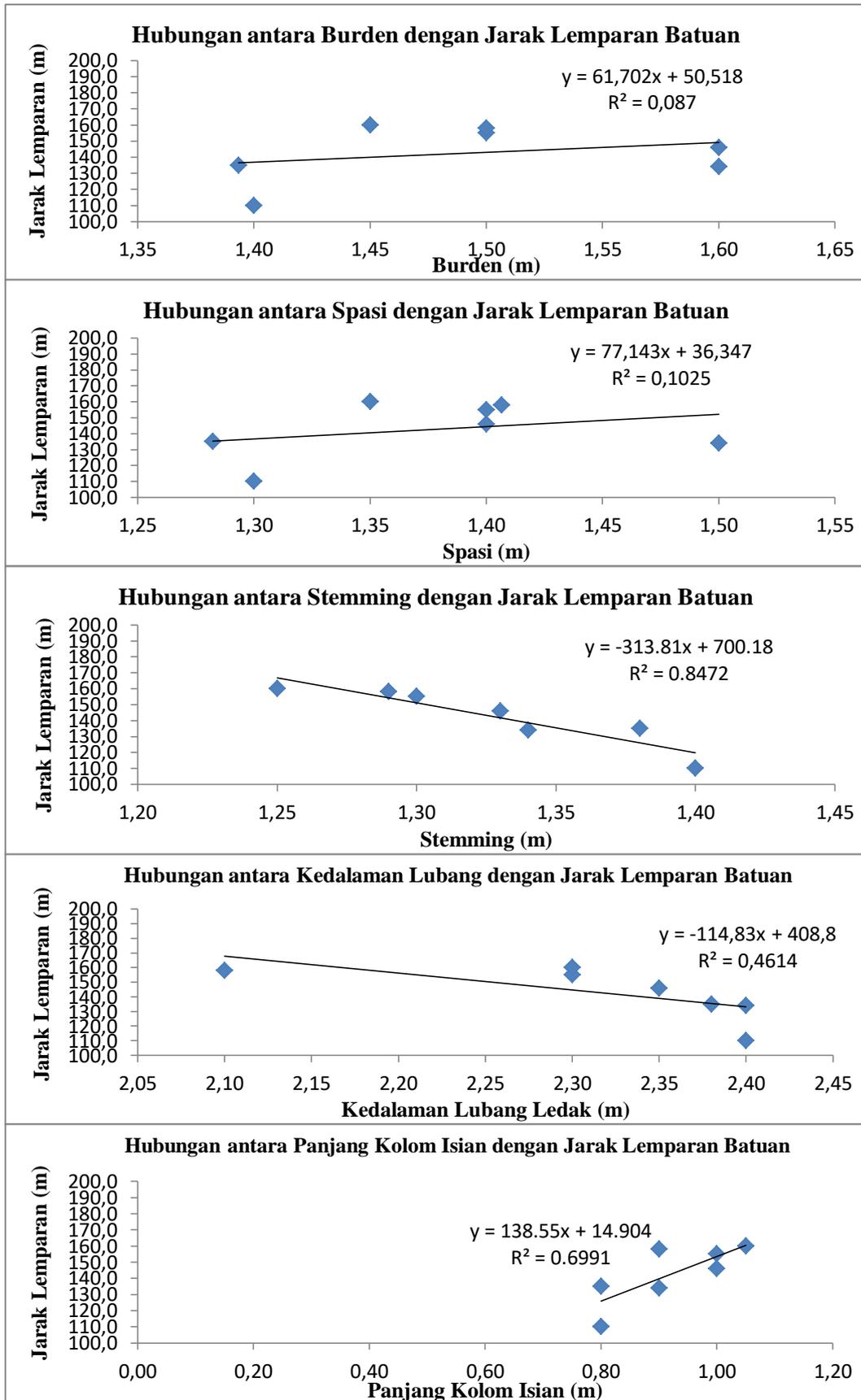


Gambar 7. Perbandingan antara Prediksi dan Aktual Flyrock

Analisis Statistik Hubungan Geometri Peledakan dengan Jarak Lemparan Batuan (Flyrock)

Analisis statistik dilakukan dengan korelasi dan regresi untuk melihat parameter geometri peledakan yang memiliki hubungan paling besar terhadap jarak lemparan batuan (*flyrock*) serta mendapatkan persamaan

garis regresi. Analisis dilakukan dengan regresi sederhana. Bentuk korelasi dan regresi sederhana dilakukan untuk melihat hubungan parameter *burden*, *spasi*, *stemming*, kedalaman lubang ledak, dan panjang kolom isian terhadap jarak lemparan batuan (*flyrock*). Pengolahan data dilakukan dengan Ms. Excel untuk mendapatkan garis regresi dan nilai R², secara *detail* dapat dilihat pada Gambar 8



Gambar 8. Analisis Regresi Linier Sederhana

Dari Gambar 8 terlihat bahwa parameter geometri peledakan yang memiliki hubungan sangat kuat terhadap jarak lemparan batuan adalah *stemming*. Selanjutnya hubungan kuat terhadap panjang kolom isian, hubungan sedang terhadap kedalaman lubang ledak, dan hubungan lemah terhadap *burden* dan spasi. Hubungan antar variabel tersebut dilihat dari besaran

nilai R^2 (koefisien determinasi), semakin besar nilai R^2 maka semakin kuat hubungan antara variabel tersebut. Secara lengkap dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hubungan Korelasi antara Geometri Peledakan dengan Jarak Lemparan Batuan

No	Parameter	Hubungan Korelasi
1	Burden	Lemah, 8.70 %
2	Spasi	Lemah, 10.25 %
3	Stemming	Sangat Kuat, 84.72 %
4	Kedalaman Lubang Ledak	Sedang, 46.14 %
5	Panjang Kolom Isian	Kuat, 69.91 %

3.2 Kegiatan Uji Coba Peledakan

Kegiatan uji coba peledakan dilakukan untuk mendapatkan kesimpulan mengenai kegiatan peledakan yang menghasilkan jarak lemparan batuan (*flyrock*) yang lebih kecil. Ada beberapa rencana untuk meminimalisir jarak lemparan batuan di lapangan, yaitu menutup lubang ledak dengan karet bekas *belt conveyor* setelah dilakukannya penutupan *stemming* dengan *gravel*, kemudian perubahan geometri peledakan.

Penutupan lubang ledak dengan karet bekas *belt conveyor* sudah pernah dilakukan percobaan dan mendapatkan hasil jarak lemparan batuan yang lebih kecil yaitu 80-100 meter dari *front blasting*, namun kegiatan ini dinilai tidak efektif dikarenakan pengerjaan penutupan lubang ledak dengan karet bekas *belt conveyor* yang membutuhkan waktu sehingga membuat kegiatan peledakan lebih lama dari biasanya. Hal ini juga berdampak kepada kegiatan *loading hauling* material yang dimulai lebih lama setelah *rest time*.

Perubahan geometri peledakan perlu dilakukan uji coba untuk menghasilkan jarak lemparan batuan yang lebih kecil. Parameter geometri peledakan yang diubah adalah *stemming*. Hal ini dilakukan karena secara statistik *stemming* memiliki hubungan yang sangat kuat terhadap jarak lemparan batuan. Selain itu secara teoritis *stemming* juga memegang peranan penting untuk mengunci energi di dalam lubang ledak agar optimal dalam memberai material ke arah samping dan memperkecil potensi energi keluar dari lubang ledak yang dapat menimbulkan *flyrock*.

Kegiatan simulasi peledakan perlu dilakukan untuk mendapatkan geometri peledakan yang lebih sesuai untuk menghasilkan jarak lemparan batuan yang lebih kecil. Parameter geometri peledakan yang diubah adalah *stemming*. Hal ini dilakukan karena secara statistik *stemming* memiliki hubungan sangat kuat terhadap jarak lemparan batuan. Secara teoritis *stemming* juga memegang peranan penting untuk mengunci energi di

dalam lubang ledak agar optimal dalam memberai material ke arah samping dan memperkecil potensi energi keluar dari lubang ledak yang dapat menimbulkan *flyrock*.

Rencana Geometri Uji Coba Peledakan

Persamaan yang didapatkan dari analisis statistik hubungan *stemming* terhadap jarak lemparan batuan adalah sebagai berikut:

$$Y = -313.81 X + 700.18$$

$$\begin{aligned} \text{Dengan } Y &= \text{Jarak Lemparan Batuan (m)} \\ X &= \text{Stemming (m)} \end{aligned}$$

Target jarak lemparan batuan yang akan diminimalisir adalah 50 %. Data jarak aktual lemparan batuan saat ini di PT ATC II adalah 143 m, sehingga dengan adanya simulasi perubahan *stemming* tersebut diharapkan jarak lemparan batuan menjadi ± 70 m. Maka, dengan persamaan tersebut dapat diketahui angka *stemming* yang harus diubah adalah sebagai berikut:

$$Y = -313.81 X + 700.18$$

$$70 \text{ m} = -313.81 X + 700.18$$

$$X = \frac{700.18 - 70}{313.81} = 2 \text{ m}$$

Dari persamaan tersebut didapatkan panjang *stemming* yang diperlukan untuk meminimalisir jarak lemparan batuan sebesar 50 % adalah 2 m. Data geometri peledakan simulasi dapat dilihat pada Tabel 6. Dari Tabel 8 terlihat bahwa geometri peledakan simulasi yang berubah adalah *stemming* sebesar 0.5 meter, dengan bertambahnya *stemming* sebesar 0.5 meter maka kedalaman lubang ledak juga bertambah sebesar 0.5 meter. Sementara panjang kolom isian, *burden*, dan spasi tetap sama dengan geometri peledakan aktual saat ini.

Adanya penambahan kedalaman *stemming* dan lubang ledak menyebabkan adanya penambahan biaya kegiatan pemboran. Untuk biaya kegiatan peledakan tidak mengalami kenaikan dikarenakan jumlah bahan peledak yang digunakan tetap sama (panjang kolom isian tidak

berubah). Adapun rincian penambahan biaya kegiatan pemboran adalah sebagai berikut (Tabel 7).

Tabel 6. Data Geometri Peledakan Simulasi

No	Parameter	Geometri Peledakan (m)	
		Aktual	Simulasi
1	Burden	1.50	1.50
2	Spasi	1.50	1.50
3	Stemming	1.50	2.00
4	Kedalaman Lubang Ledak	2.50	3.00
5	Panjang Kolom Isian	1.00	1.00

Tabel 7. Biaya Kegiatan Pemboran/Jam

No	Biaya Kegiatan	Jumlah	Satuan
Kegiatan Peledakan Aktual			
1	Pemboran/200 jam	75.000.000	IDR
2	Jumlah lubang ledak	7	Lubang/jam
3	Jumlah lubang ledak/200 jam	1.400	Lubang
4	Biaya pemboran	53.571	IDR/Lubang
5	Volume Material	7.875	BCM
Kegiatan Peledakan Uji Coba			
6	Jumlah lubang ledak	6	Lubang/jam
7	Jumlah lubang ledak/200 jam	1.200	Lubang
8	Biaya pemboran	62.500	IDR/Lubang
9	Volume Material	8.100	BCM
Selisih Biaya Pemboran		8.929	IDR/Lubang
Selisih Material		225	BCM

Dari Tabel 7 terlihat bahwa penambahan kedalaman *stemming* dan lubang ledak menyebabkan penambahan biaya kegiatan pemboran. Biaya pemboran/lubang pada peledakan aktual adalah Rp. 53.571 dan pada uji coba peledakan menjadi Rp. 62.500. Dari angka tersebut didapatkan selisih biaya pemboran/lubang pada kegiatan peledakan aktual dan uji coba sebesar Rp. 8.929. Adanya penambahan biaya ini tidak berpengaruh terhadap angka keuntungan yang diperoleh perusahaan dari kegiatan peledakan tersebut, dikarenakan penambahan biaya pemboran diikuti oleh penambahan jumlah material. Jumlah material pada peledakan aktual adalah 7.875 BCM dan pada uji coba peledakan 8.100 BCM, dengan demikian terdapat penambahan jumlah material sebesar 225 BCM.

Jarak Prediksi Lemparan Batuan pada Rencana Geometri Uji Coba Peledakan

Jarak prediksi lemparan batuan dihitung menggunakan persamaan Ebrahim Ghasemi (2012), seperti berikut ini:

$$Fd = 0.993 \times B^{21.993} \times S^{4.490} \times St^{-2.808} \times H^{0.673} \times D^{0.310} \times \frac{P^{7.86}}{Q}$$

Diketahui:

$$B = \text{Burden} = 1,5 \text{ m}$$

$$H = \text{Kedalaman Lubang Ledak} = 3 \text{ m}$$

$$S = \text{Spasi} = 1,5 \text{ m}$$

$$D = \text{Diameter Lubang Ledak} = 0,076 \text{ m}$$

$$St = \text{Stemming} = 2 \text{ m}$$

$$P = \text{Powder Factor} = 0,45 \text{ kg/m}^3$$

$$Q = \text{Isian rata-rata/lubang} = 2,5 \text{ kg}$$

Sehingga,

$$Fd = 0.993 \times B^{21.993} \times S^{4.490} \times St^{-2.808} \times H^{0.673} \times D^{0.310} \times \frac{P^{7.86}}{Q}$$

$$Fd = 0.993 \times 1,5^{21.993} \times 1,5^{4.490} \times 2^{-2.808} \times 3^{0.673} \times 0,076^{0.310} \times \frac{0,45^{7.86}}{2,5}$$

$$Fd = 68 \text{ m}$$

Dari persamaan Ebrahim Ghasemi (2012) didapatkan jarak prediksi lemparan batuan sebesar 68 m.

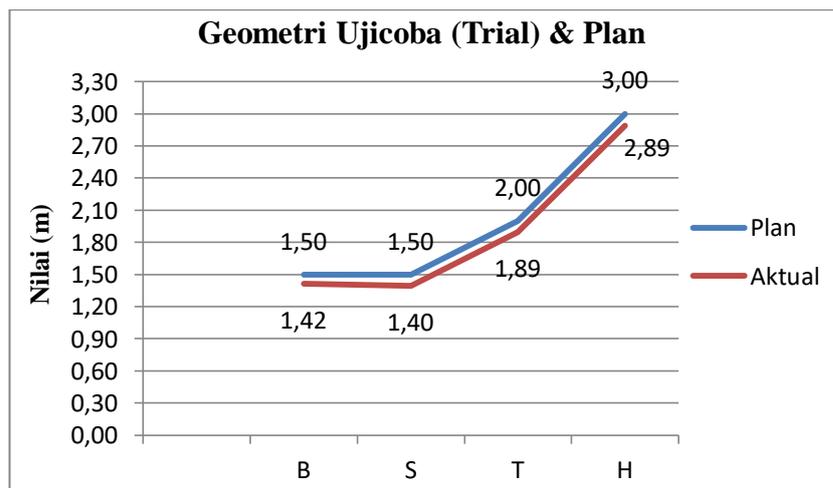
Geometri Uji Coba Peledakan

Data geometri peledakan aktual dari uji coba yang dilakukan dapat dilihat pada Tabel 8. Dari Tabel 8 terlihat bahwa secara rata-rata geometri peledakan di

lapangan memiliki perbedaan 8 cm dari rencana yang telah ditetapkan dengan persentase perbedaan terbesar 7 % pada parameter spasi. Perbedaan tersebut memiliki nilai yang lebih kecil dari kondisi aktual sebelumnya, dengan artian bahwa pelaksanaan simulasi peledakan berjalan dengan baik dan maksimal. Secara grafis dapat dilihat pada Gambar 9.

Tabel 8. Geometri Peledakan Aktual pada Kegiatan Uji Coba

No	Tanggal	Kondisi Lubang Ledak	Geometri Peledakan (m)				
			B	S	T	H	PC
1	9-Feb-2019	berair (50 %)	1.38	1.39	2.09	2.95	0.86
2	27-Feb-2019	berair (97 %)	1.49	1.41	1.93	2.90	0.97
3	3-Mar-2019	berair (50 %)	1.34	1.38	1.79	2.85	1.06
4	5-Mar-2019	berair (60 %)	1.41	1.41	1.84	2.83	0.99
Rata-Rata Aktual			1.42	1.40	1.89	2.89	0.99
Plan			1.50	1.50	2.00	3.00	1.00
Perbedaan Aktual terhadap Plan			5.6%	7.0%	5.3%	3.7%	0.5%



Gambar 9. Perbedaan Geometri Simulasi Aktual dan Plan

Jarak Lemparan Batuan pada Uji Coba Peledakan

Jarak aktual lemparan batuan pada kegiatan simulasi peledakan yang dilakukan dapat dilihat pada Tabel 9. Dari Tabel 9 dapat dilihat secara rata-rata jarak lemparan batuan adalah 53.95 m dan maksimum 63.2 m.

adanya perubahan geometri peledakan pada *stemming* dan kedalaman lubang ledak (penambahan 0.5 meter) jarak lemparan batuan dapat diminimalisir dari 143 m menjadi 53.95 m. Dengan demikian jarak lemparan batuan dapat diminimalisir sebesar 89.05 m atau sekitar 62.27 % (lebih besar dari target reduksi jarak lemparan batuan yang direncanakan).

Tabel 9. Jarak Aktual Lemparan Batuan (*Flyrock*) pada Uji Coba Peledakan

No	Tanggal	Jarak Lemparan Batuan Aktual (m)	Dimensi Batuan (cm x cm x cm)
1	9-Feb-2019	56.9	10 x 10 x 3
2	27-Feb-2019	63.2	9 x 9 x 2.5
3	3-Mar-2019	48.4	12 x 10 x 3.2
4	5-Mar-2019	47.3	13 x 9 x 2.2
Rata-Rata Aktual		53.95	

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Geometri aktual secara rata-rata di lapangan memiliki perbedaan sebesar 14 cm atau sekitar 10,9 % terhadap rencana yang telah ditetapkan dengan jarak rata-rata aktual lemparan batuan sebesar 143 m.
2. Jarak prediksi lemparan batuan menurut metode empirik adalah 65 m (Richard dan Moore) dan 107,25 m (Lundborg), dan metode analisis dimensi sebesar 110.53 m (Ebrahim Ghasemi).
3. Prediksi jarak lemparan batuan (*flyrock*) lebih baik menggunakan metode analisis dimensi menurut Ebrahim Ghasemi (2012) karena memiliki perbedaan yang lebih kecil dari jarak aktual lemparan batuan di lapangan. Perbedaannya adalah 32.47 cm atau sekitar 22 %.
4. Analisis statistik memperlihatkan bahwa *stemming* memiliki hubungan yang sangat kuat dengan jarak lemparan batuan (*flyrock*), kemudian panjang kolom isian memiliki hubungan kuat, kedalaman lubang ledak memiliki hubungan sedang, sedangkan *burden* dan spasi memiliki hubungan yang lemah terhadap jarak lemparan batuan (*flyrock*)
5. Geometri rencana untuk kegiatan simulasi peledakan ditetapkan dari persamaan regresi hasil analisis statistik yaitu dengan penambahan terhadap *stemming* sehingga kedalaman lubang ledak juga bertambah (T = 2 m, H = 3 m), sedangkan parameter geometri lainnya tetap sama.
6. Dari kegiatan simulasi peledakan yang dilakukan dengan penambahan *stemming* dan kedalaman lubang ledak maka jarak aktual lemparan batuan (*flyrock*) dapat diminimalisir sebesar 89,05 m atau sekitar 62.27 % (lebih besar dari target reduksi yang direncanakan)

4.2 Saran

1. Untuk mendapatkan jarak lemparan batuan yang lebih kecil sebaiknya melakukan penambahan kedalaman lubang ledak dan *stemming* sebesar 0.5 m
2. Untuk menghindari potensi terjadinya lemparan batuan yang berasal dari lantai *front blasting* sebaiknya melakukan pembersihan area (*clean up*) dengan baik sebelum melakukan kegiatan pemboran

Daftar Pustaka

[1] Arief Usman, Sudarsono, Indah Setyawati. 2015. *Kajian Radius Aman Alat Gali Muat terhadap*

Flyrock Peledakan pada Pit 4500 Blok 12 PT Trubaindo Coal Mining Kutai Barat Kalimantan Barat. Jurnal Teknologi Pertambangan Volume 1 Nomor 1 Periode Maret – Agustus 2015

- [2] Havis Abdurrachman, dkk. 2015. *Analisis Flyrock ntuk Mengurangi Radius Aman Alat pada Peledakan Overburden Penambangan Batubara*. Proceeding Seminar Nasional Kebumian Ke-8 Academia-Industry Linkage 15-16 Oktober 2015 Graha Sabha Pramana
- [3] Richard and Moore. 2005. *Golden Pike Cut Back Fly Rock Control and Calibration of a Predictive Model*. Terrock Consulting Engineers Eltham Vic 3095 A.B.N. 99 005 784 841
- [4] Lundborg N. 1974. The Hazard of Flyrock in Rock Blasting. Swedish Detonic Research Foundation Report DS 12, Stockhdm
- [5] Hastono, Susanto Priyo. 2006. *Analisis Data SPSS*. Jakarta: Universitas Indonesia
- [6] Amini, Hasel dkk. 2011. *Evaluation of Flyrock Phenomenan Due to Blasting Operation by Support Vector Machine*, Neural Comput & Applic DOI 10.1007/S 00521-011-0631-5
- [7] Bajpayee, Verakis, and Lobb. 2003. *An Analysis and Prevention of Flyrock Accidents in Surface Blasting Operation*
- [8] Bhandari, Sushil. 1997. *Engineering Rock Blasting Operation*. India: Department Of Mine Engineer J.N.V University Jodhpur
- [9] Bhat, Suresh K. Dkk. 2003. *Fatal Accident Due to Flyrock and Lack of Blast Area Security and Working Practices In Mining*. Pennsylvania: National Institute for Occupational Safety and Health Pittsburgh, USA
- [10] Daniel Jahed Armaghani. 2013. *A Simulation Approach to Predict Blasting-Induced Flyrock and Size of Thrown Rocks*. EJGE Vol. 18 (2013), Bund
- [11] Dhekne P.Y. 2015. *Environmental Impacts of Rock Blasting and Their Mitigation*. International Journal of Chemical, Environmental & Biological Science (IJCEBS) Volume 3, Issue 1 (2015) ISN 230-4087
- [12] Ghasemi, Ibrahim. 2012. *Development of Model for Predicting The Effect of Controlable Blasting Parameters on Flyrock Distance in Surface Mines*. International Journal of Rock Mechanuc and Mining Sciences, p. 163-170
- [13] Hustrulid, William. 1999. *Blasting Principal for Open Pit Mining. Vol 1*. General Design Concept A.A. Balkema Rotterdam, Brookfield

- [14] Konya, C.J. 1991. *Rock Blasting and Overbreak Control; Precision Blasting Services*. U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration, Contract No. DTFH61-90R-00058, (NTIS No. PB 97-186548)
- [15] Mishra and Rout. 2011. *Fly Rocks-Detection and Mitigation at Construction Site in Blasting Operation*. World Environment: 2011; 1 (1) : 1-5 DOI: 10.5923/J.env.201110101.01
- [16] Mohammad, Edy Tonnizom. 2012. *Prediction of Flyrock in Boulder Blasting by Using Artificial Neural Network*. Article in Electronic Journal of Geotechnical Engineering EJGE Vo. 17 (2012), Bund. R
- [17] Putri, Himmatul Aulia, dkk. 2017. *Analisis Arah dan Jarak Lemparan Fly Rock Akibat Kegiatan Peledakan di PT Dahana Jobsite PT Adaro Indonesia, Kabupaten Tabalong, Provinsi Kalimantan Selatan*. Prosiding Teknik Pertambangan ISSN: 2460-6499
- [18] Roth, Julius. 1979. *A Model for the Determination of Fly Rock Range as a Function of Shot Condition*. Pennsylvania: United States Department of the Interior Bureau of Mines.
- [19] Tim IWPL. 1996. *Supervisory Teknik Peledakan Diklat Angkatan IV Karimun Granite Riau*: Bandung
- [20] Usman, Arief, dkk. 2015. *Kajian Radius Aman Alat Gali Muat terhadap Flyrock Peledakan pada Pit 4500 Blok 12 PT Trubaindo Coal Mining Kutai Barat Kalimantan Timur*. Jurnal Teknologi Pertambangan Vol. 1 No. 1 Periode Maret-Agustus 2015
- [21] Nazir, Moh. 1985. *Metode Penelitian*. Jakarta: Ghalia Indonesia
- [22] Sukardi. 2003. *Metodologi Penelitian Pendidikan*. Yogyakarta: Bumi Aksara