

Kajian Teknis Lemparan *Flyrock* pada *Pit* 303 Jembayan PT Pamapersada Nusantara Distrik Baya Kabupaten Kutai Kartanegara Kalimantan Timur

Asep Triyanda^{1*}, Raimon Kopa¹

¹Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang, Indonesia

*asep.triyanda.at@gmail.com

Abstract. To consider the safe distance of the tool when blasting requires analysis and prediction of flyrock throw. Methods for predicting flyrock throws are Richard & Moore's empirical method and Ebrahim Ghasemi's dimensional analysis. The observation results of the blasting activity were 36 times, and the farthest was 98.87 m of flyrock. The research objective is to analyze the blasting geometry design to better control the flyrock throw, so that the target safe radius of the tool can be reduced from 200 m to 100 m. Prediction of actual flyrock throw using the empirical method Richard & Moore obtained a face burst deviation of 32.68 m, 25.43 m cratering, and 15.12 m rifling, with an error percentage of 69.93%, 30.38%, and 30.64% . Meanwhile, the deviation of Ebrahim Ghasemi's dimensional analysis method is 6.23 m with an error percentage of 9.85%. Based on statistical analysis, stemming has a very strong effect on flyrock throwing, namely 71.40%. Ebrahim Ghasemi's dimensional analysis method is better to predict the actual flyrock throw. To control the actual flyrock throw, a minimum stemming is recommended according to the diameter and depth of the blast hole based on the scaled depth of burial equation, and considering the prediction of a maximum flyrock throw of 50 m and a powder factor not to exceed 0.17 kg / m³. By using these recommendations the safe radius of the tool can be reduced to 100 m with the resulting flyrock safety factor not approaching or exceeding the safe radius of the target, which is 100 m.

Keywords: *Flyrock, Scaled Depth of Burial, Safe Radius, Stemming*

1. Pendahuluan

PT Pamapersada Nusantara (PAMA) merupakan salah satu perusahaan swasta yang bergerak di bidang kontraktor pertambangan (*mining contractor*) khususnya pada tambang batubara. Saat ini PAMA memiliki 17 *jobsites* yang sedang berjalan salah satunya adalah Distrik Baya yang berlokasi di Kecamatan Tenggarong Seberang, Kabupaten Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur.

Sistem penambangan yang diterapkan oleh PAMA pada Distrik Baya adalah sistem tambang terbuka (*surface mining*) dengan metode *open pit mining*. Dimana dalam penerapannya untuk pembongkaran tanah penutup (*overburden*) merupakan salah satu aktivitas yang harus dilakukan sebagai upaya pengambilan cadangan batubara. Pembongkaran *overburden* dilakukan dengan menggunakan metode pengeboran dan

peledakan untuk membraikan lapisan *overburden*, agar mempermudah proses pembongkaran *overburden* oleh alat gali muat, yang dilaksanakan oleh Departemen *Drill & Blast*.

Salah satu dampak kegiatan peledakan terhadap lingkungan di sekitar penambangan yaitu batu terbang (*flyrock*). *Flyrock* adalah pecahan batuan yang terlempar secara tidak terduga dari lokasi peledakan karena kekuatan ledakan^[1-7]. Jika pecahan batuan terlempar melebihi batas yang diizinkan saat peledakan dapat mengakibatkan kerusakan untuk alat mekanis dan dapat mengakibatkan cedera bahkan kematian untuk manusia^[1-11]. Hal inilah yang menyebabkan efek *flyrock* menjadi salah satu perhatian utama pada setiap kegiatan peledakan.

Departemen *Drill & Blast* selalu melakukan inovasi-inovasi dengan tujuan meminimalisir biaya kapital dan biaya operasional. Salah satu inovasi yang dilakukan oleh Departemen *Drill & Blast* PAMA Distrik Baya adalah mengurangi radius aman alat saat peledakan dari 200 m menjadi 100 m. Sesuai dengan KEPMEN 1827K 30 MEM halaman 79, dijelaskan bahwa jarak aman unit adalah 300 m dan jarak aman manusia adalah 500 m dari batas terluar peledakan. Namun didalamnya juga dijelaskan bahwa jarak aman dapat berubah jika sudah dilakukan kajian teknis. Salah satu cara untuk mempertimbangkan jarak aman alat saat peledakan adalah dengan adanya kajian terhadap lemparan *flyrock* dari kegiatan peledakan tersebut.

Hasil pengamatan sebanyak 36 kali kegiatan peledakan pada Pit 303 Jembayan yaitu jarak lemparan *flyrock* maksimal 98,87 m dengan rata-rata 41,40 m. Berdasarkan data yang didapat menunjukkan bahwa jarak *flyrock* masih berada dibawah 100 m sehingga memungkinkan untuk dilakukan peninjauan kembali untuk mengurangi radius aman alat menjadi 100 m. Oleh karena itu, perlu adanya suatu permodelan prediksi lemparan *flyrock* yang mendekati lemparan aktual di lapangan dan optimasi geometri peledakan untuk meningkatkan faktor keamanan dan hasil peledakan (*fragmentasi*, *ground vibration*, dan *airblasts*).

Untuk memprediksi lemparan *flyrock* aktual di lapangan menggunakan 2 metode yaitu metode empirik Richard & Moore (2005) dan metode analisis dimensi Ebrahim Ghasemi (2012). Sedangkan untuk optimasi geometri peledakan akan dianalisis secara statistik terhadap lemparan *flyrock* untuk mendapatkan pengaruh yang kuat terhadap lemparan *flyrock*. Pengaruh yang kuat tersebut akan dievaluasi menggunakan teori *scaled depth of burial* (skala pengisian) yang dikembangkan oleh PT *Orica Mining Service* untuk mendapatkan rancangan geometri yang baik terhadap lemparan *flyrock* dan hasil peledakan. Sehingga kegiatan peledakan selanjutnya dapat dilakukan perencanaan yang baik, agar radius aman alat dapat dikurangi.

2. Kajian Pustaka

2.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian terletak antara diantara 5 desa, yang meliputi Desa Separi Mahakam, Desa Bhuana Jaya, Desa Pariaman, Desa Sukamaju, dan Desa Mulawarman. Secara geografis terletak pada koordinat 000 24' 46,00" – 000 26' 59,40" LS dan 1170 03' 55,00" – 1160 47' 37,20" BT. Lokasi penambangan PAMA Distrik Baya berdasarkan penelusuran menggunakan Software Google Earth Pro dapat di lihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Penambangan PAMA Distrik Baya

2.2 Dasar Teori

2.2.1. Peledakan

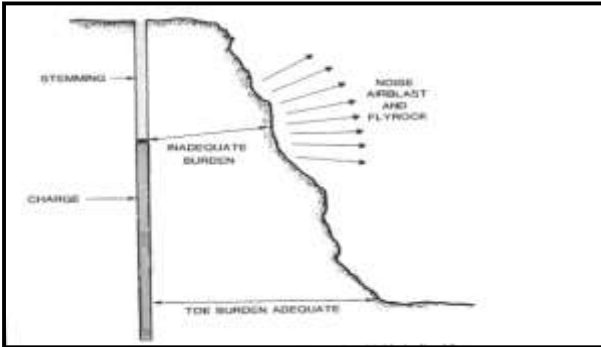
Kegiatan peledakan adalah kegiatan pemecahan material dengan menggunakan bahan peledak. kegiatan peledakan bertujuan untuk memberai atau melepaskan batuan dari batuan induknya^[8]. Peledakan memiliki daya rusak bervariasi tergantung jenis bahan peledak yang digunakan dan tujuan penggunaan bahan peledak tersebut.

2.2.2. Flyrock

Flyrock didefinisikan sebagai pecahan batuan yang terlempar secara tidak terduga dari lokasi peledakan karena kekuatan ledakan. *Flyrock* merupakan salah satu dampak lingkungan pada area penambangan yang sangat berbahaya. *Flyrock* dapat disebabkan oleh beberapa faktor pada saat operasi peledakan, diantaranya sebagai berikut^[11]:

2.2.2.1 Ketidaksesuaian Burden dan Spacing

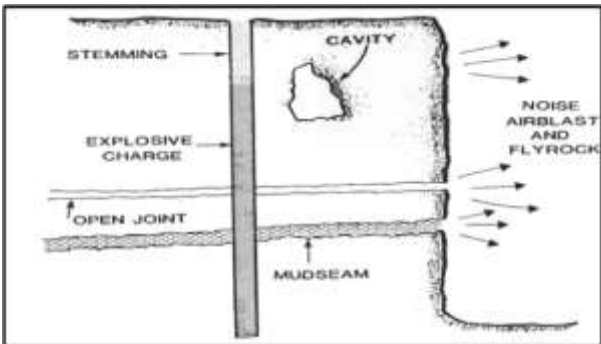
Ukuran aktual *burden* dan *spacing* yang tidak sesuai dengan ukuran rancangan pemboran. dimana ukuran *burden* dan *spacing* tidak mempertimbangkan diameter lubang ledak, karakteristik batuan, dan persyaratan fragmentasi.



Gambar 2. Jarak Burden yang Tidak Memadai^[11]

2.2.2.2 Kondisi Geologi

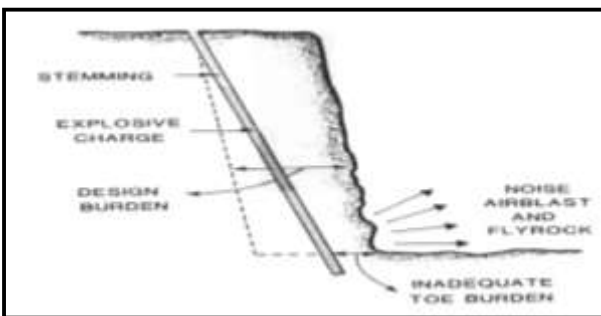
Kondisi geologi seperti bidang diskontinu (kekar, retakan dan rongga pada lubang ledak) menjadi salah satu penyebab terjadinya *flyrock*.



Gambar 3. Bidang Diskontinu Menyebabkan Keluarnya Gas Hasil Peledakan^[11]

2.2.2.3 Ketidaksesuaian Pengeboran

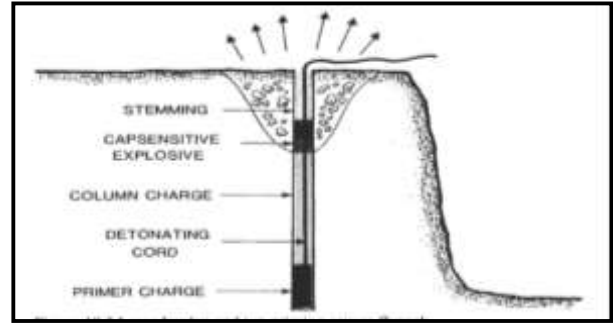
Pengeboran yang tidak akurat akan menghasilkan *burden* dan *spacing* yang tidak tepat, hal ini berpotensi terjadinya *flyrock*. Dimana terjadi deviasi dari posisi yang telah diperhitungkan dan jarak *crest burden* dan *toe burden* tidak sama



Gambar 4. Ketidaksesuain Pengeboran^[11]

2.2.2.4 Ketidaksesuaian Stemming

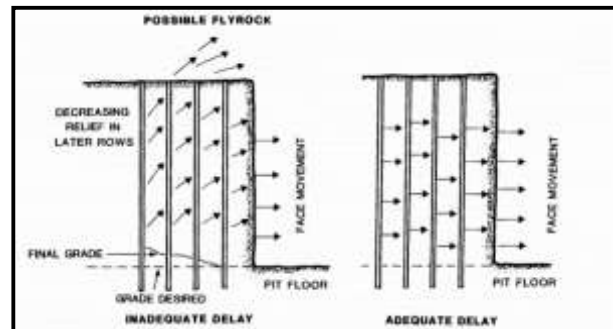
Fungsi dari *stemming* itu sendiri adalah untuk mengoptimalkan pemecahan batuan secara efektif dan membatasi gas-gas di lubang ledak. Jika *stemming* tidak memadai dalam membatasi gas ledakan, gas ledakan keluar dengan kecepatan tinggi sehingga menyebabkan jarak lemparan *flyrock* ke arah yang lebih jauh.



Gambar 5. Ketidaksesuaian Stemming^[11]

2.2.2.5 Penentuan Waktu Tunda Dan Urutan Inisiasi Yang Kurung Tepat

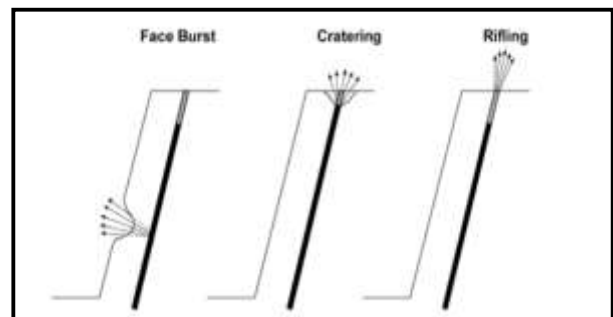
Penentuan waktu tunda sangat mempengaruhi pergerakan energi untuk memecahkan batuan. Penentuan waktu tunda yang tepat akan mengakibatkan energi bergerak ke arah *free face* sesuai dengan urutan. Sedangkan penentuan waktu tunda yang tidak tepat akan menyebabkan energi hasil ledakan akan bergerak ke segala arah dan berpotensi terjadinya *flyrock*.



Gambar 6. Pengaruh Waktu Tunda Terhadap Flyrock^[11]

2.2.3. Mekanisme Terjadinya Flyrock

Flyrock saat peledakan dihasilkan oleh tiga mekanisme utama yang disebabkan kurangnya pengurangan energi pada kolom peledakan^[2]. Tiga mekanisme terjadi *flyrock* tersebut yaitu sebagai berikut:



Gambar 7. Mekanisme Terjadinya Flyrock^[7]

2.2.3.1 Face Burst

Face Burst merupakan kondisi yang terjadi saat jarak *burden* pada baris depan peledakan di lapangan yang terlalu dekat dengan *free face* sehingga menimbulkan potensi *flyrock*.

2.2.3.2 Cratering

Cratering merupakan kondisi di saat stemming yang terlalu pendek serta terdapat 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.

2.2.3.3 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 pada lubang ledak cenderung lebih miring karena bila pada lubang ledak tegak flyrock diasumsikan akan kembali pada titik semula.

2.2.4. Teori Prediksi Lemparan Flyrock

2.2.4.1 Metode Empirik Alan B. Richard dan Adrian J. Moore

Menurut pengujian yang telah dilakukan Richard dan Moore (2005) membagi perhitungan maksimum lemparan flyrock berdasarkan mekanisme terjadi flyrock seperti telah dijelaskan sebelumnya.

• Face Burst

$$L_{Max} = \frac{k^2}{g} \left(\frac{\sqrt{m}}{B}\right)^{2.6}$$

• Cratering

$$L_{Max} = \frac{k^2}{g} \left(\frac{\sqrt{m}}{SH}\right)^{2.6}$$

• Rifling

$$L_{Max} = \frac{k^2}{g} \left(\frac{\sqrt{m}}{SH}\right)^{2.6} \sin 2 \theta$$

Dimana:

- L_{max} = Lemparan maksimal flyrock (m)
- k = Konstanta material (overburden batubara 13,5)
- g = Percepatan Gravitasi (m/s^2)
- B = Burden awal (m)
- SH = Panjang stemming (m)
- θ = Kemiringan lubang ledak ($^\circ$)
- m = Berat isian bahan peledak per meter/loading density (kg/m)

2.2.4.2 Metode Analisis Dimensi Ebrahim Ghasemi^[6]

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 (S_t), hole depth (H), diameter lubang ledak (D), isian bahan peledak per lubang (Q), dan powder factor (PF). Dari analisis dimensi parameter peledakan tersebut Ebrahim Ghasemi menghubungkannya menjadi persamaan non-linear. Persamaan non-linear ini yang

akan digunakan untuk menentukan persamaan empiris yang paling tepat untuk memprediksi lemparan maksimum flyrock.

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

Sehingga, rumus empiric yang digunakan adalah sebagai berikut:

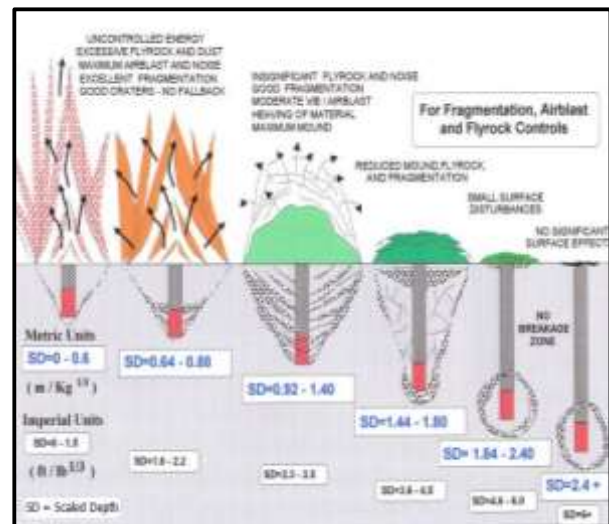
$$Fd = a \left[B^b \cdot S^c \cdot St^d \cdot H^e \cdot D^f \cdot \left(\frac{PF}{Q}\right)^x \right]$$

Dimana:

- Fd = Flyrock distance (m)
- B = Burden (m)
- S = Spacing (m)
- S_t = Stemming (m)
- H = Hole depth (m)
- D = Diameter lubang ledak (m)
- PF = Powder factor (kg/m³)
- Q = Isian bahan peledak per lubang (kg)
- ln = Logaritma natural
- a = Konstanta
- b,c,d,e,f,x = Koefisien dari persamaan non linear
- $x = \left[\frac{(b+c+d+e+f)-1}{3} \right]$

2.2.5. Scaled Depth of Burial

Scaled depth of burial merupakan nilai skala pada hasil peledakan, khususnya ground vibration, airblast, flyrock dan juga fragmentasi^[12].



Gambar 8. Scaled Depth of Burial

Tabel 1. Scaled Depth of Burial

Skala	Hasil
0 – 0,6	Energi tidak terkontrol, <i>flyrock</i> tidak terkendali, <i>airblast</i> bising, banyak debu, fragmentasi sangat halus, membentuk kawah yang baik dan tidak ada sisa <i>fallback</i> pada kawah.
0,64 – 0,88	Energi tidak terkontrol, <i>flyrock</i> merusak, <i>airblast</i> bising, banyak debu, fragmentasi moderat, membentuk kawah yang baik dan ada sisa <i>fallback</i> pada kawah.
0,92 – 1,40	Energi terkontrol, fragmentasi baik, volume yang terbongkar besar, <i>vibration</i> , <i>airblast</i> dan <i>flyrock</i> masih dapat diterima.
1,44 – 1,80	Energi sangat terkontrol, fragmentasi buruk dan <i>flyrock</i> sangat pendek.
1,84 – 2,40	Sedikit permukaan yang terberai.
2,4 >	Permukaan tidak terberai

Perhitungan *scaled depth of burial* oleh Richard Taylor dalam *Macraes Phase III Vibration and Air Blast Assessment* adalah sebagai berikut:

$$SD = \frac{D}{W^{1/3}} \rightarrow SD = \frac{Stemming (m) + [0,5 \times (10 \times Diameter Lubang) (m)]}{\{[10 \times Diameter Lubang (m)] \times loading density (kg/m)\}^{1/3}}$$

Dimana:

SD = *Scaled Depth of Burial*

D = Jarak dari *stemming* ke pusat kawah yang ditentukan

W = Berat peledak yang hanya dibagian atas kolom peledakan, setara dengan 10 diameter lubang bor

2.2.6. Metode Analisis Statistik

2.2.6.1 Korelasi

Korelasi merupakan suatu hubungan antara satu variabel dengan variabel lainnya dalam bentuk diagram pencar (*scatterplot*) yang menunjukkan hubungan antara kedua variabel tersebut, dimana koefisien korelasi (ρ) mempunyai nilai $-1 \leq \rho \leq 1$ ^[13].

Perhitungan Koefisien korelasi dapat dinyatakan dengan persamaan^[13] di bawah ini:

$$\rho = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu_x)(y_i - \mu_y)}{\sigma_x \sigma_y}$$

Dimana:

ρ : Koefisien Korelasi

n : Jumlah Data

x_1, \dots, x_n : Nilai Variabel x

y_1, \dots, y_n : Nilai Variabel y

μ_x : Mean Variabel x

μ_y : Mean Variabel y

σ_x : Simpangan Baku Variable x

σ_y : Simpangan Baku Variable y

2.2.6.2 Koefisien Determinasi

Koefisien determinasi (R^2) adalah bagian dari keragaman total variabel terikat (Y) yang dapat diterangkan oleh keragaman variabel bebas (X). Koefisien ini dihitung dengan mengkuadratkan koefisien korelasi.

Tabel 2. Interpretasi nilai Koefisien Determinasi (R^2)^[13]

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

2.2.6.3 Regresi Linear Berganda

Regresi linier berganda adalah analisis regresi yang menjelaskan hubungan antara peubah respon (*variable dependen*) dengan faktor-faktor yang mempengaruhi lebih dari satu predictor (*variabel independen*)^[13]. Secara umum bentuk model regresi linier berganda adalah sebagai berikut:

$$Y' = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_kX_k$$

$$Y'_i = b_0 + b_1X_{1i} + b_2X_{2i} + \dots + b_kX_{ki}$$

2.2.6.4 Deviasi dan Presentase Kesalahan

Deviasi merupakan suatu ukuran yang menunjukkan tinggi rendahnya perbedaan data yang diperbolehkan dari rata-ratanya. Ukuran penyimpangan digunakan untuk mengetahui luas penyimpangan data atau homogenitas data. Dua variabel data yang memiliki mean sama belum tentu memiliki kualitas yang sama, tergantung dari besar atau kecil ukuran penyebaran datanya. Ada beberapa macam ukuran penyebaran data, namun yang umum digunakan adalah standar deviasi. Rumus perhitungan standar deviasi adalah sebagai berikut:

$$\text{Standar Deviasi} = \sqrt{\frac{\sum (y - \bar{y})^2}{n - 1}}$$

Dimana :

y = nilai aktual

\bar{y} = nilai perkiraan

n = jumlah data

Persentase kesalahan merupakan persentase perbedaan antara nilai perkiraan/prediksi dan nilai yang tepat/diketahui, dibagi dengan nilai yang diketahui, dikalikan dengan 100%. Tujuan dari perhitungan persentase kesalahan adalah untuk mengukur seberapa dekat nilai yang di prediksi dengan nilai yang sebenarnya. Rumus umum dari persentase kesalahan adalah sebagai berikut:

$$\% \text{ Kesalahan} = \frac{|\text{Nilai diketahui} - \text{Nilai prediksi}|}{\text{Nilai diketahui}} \times 100\%$$

3. Metode Penelitian

Jenis penelitian ini termasuk jenis penelitian kuantitatif, dikarenakan penelitian berlandaskan terhadap filsafat positivisme dalam meneliti sampel dan populasi penelitian, teknik pengambilan sampel umumnya dilakukan dengan acak atau random sampling. Pengumpulan data dilakukan dengan cara menggunakan serangkaian instrument penelitian. Data yang digunakan adalah data aktual selama penelitian yang bertujuan untuk mendapatkan hasil yang sesuai dengan keadaan yang sebenarnya. Analisis data yang digunakan bersifat kuantitatif atau bisa diukur dengan tujuan untuk menguji hipotesis yang ditetapkan sebelumnya^[14].

Penelitian dilakukan di selama bulan Agustus sampai dengan Oktober 2019 di penambangan batubara PAMA Distrik Baya pada area operasional Pit 303 Jembayan Desa Separi, Kecamatan Tenggarong Seberang, Kabupaten Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur.

Data yang digunakan yaitu data primer dan data sekunder. Dimana data primer yang digunakan seperti, koordinat lokasi peledakan aktual dan lembaran *Flyrock* aktual, geometri peledakan aktual, dokumentasi

peledakan. Data sekunder yang digunakan yaitu, koordinat lokasi peledakan aktual PAMA, *blasting report*, *Report* kedalaman lubang ledak, Peta area penambangan, Spesifikasi bahan peledakan, Geologi daerah penelitian.

4. Hasil dan Pembahasan

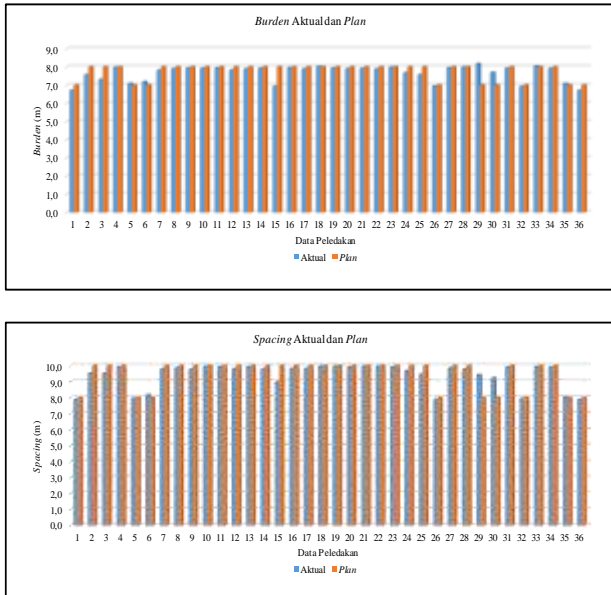
4.1 Geometri Peledakan

Geometri peledakan yang telah diterapkan selama penelitian di Pit 303 Jembayan tergantung dari diameter lubang ledak. Rancangan geometri peledakan yang ditetapkan untuk diameter lubang ledak $6\frac{3}{4}$ inch adalah *burden* 7 m dan *spacing* 8 m. Sedangkan diameter lubang ledak $7\frac{7}{8}$ inch adalah *burden* 8 m dan *spacing* 10 m. Ketentuan itu berlaku untuk semua kedalaman lubang ledak seperti expose batubara maupun *floor*. Berdasarkan tiga puluh enam kali pengukuran geometri peledakan di *Pit* 303 yang telah diterapkan dapat di lihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Data Geometri Peledakan Aktual *Pit* 303 Jembayan

No	Tanggal	ID Blast	Lokasi	Diameter (m)	Burden (m)	Spacing (m)	Stemming (m)	Hole Depth (m)	Charge Length (m)	Burden Face (m)
1	24-Aug	2372	Timur	0,17	6,71	7,89	4,25	4,25	4,25	4,25
2	28-Aug	2376	Tengah	0,20	7,57	9,53	3,70	3,70	3,70	3,70
3		2377	Tengah	0,20	7,32	9,53	3,50	3,50	3,50	3,50
4		2378	Tengah	0,20	7,98	9,93	3,77	3,77	3,77	3,77
5	29-Aug	2382	Timur	0,17	7,10	7,97	4,82	4,82	4,82	4,82
6		2383	Timur	0,17	7,19	8,18	2,40	2,40	2,40	2,40
7	31-Aug	2387	Barat	0,20	7,81	9,80	3,30	3,30	3,30	3,30
8		2388	Barat	0,20	7,90	9,87	2,82	2,82	2,82	2,82
9	1-Sep	2388	Tengah	0,20	7,94	9,77	2,63	2,63	2,63	2,63
10		2389	Tengah	0,20	7,93	9,96	3,74	3,74	3,74	3,74
11	2-Sep	2390	Tengah	0,20	7,95	9,95	3,60	3,60	3,60	3,60
12		2391	Barat	0,20	7,82	9,80	3,50	3,50	3,50	3,50
13	3-Sep	2392	Tengah	0,20	7,90	9,95	3,74	3,74	3,74	3,74
14		2393	Barat	0,20	7,93	9,79	3,44	3,44	3,44	3,44
15	4-Sep	2394	Barat	0,20	6,93	8,98	3,07	3,07	3,07	3,07
16		2395	Tengah	0,20	7,97	9,83	3,73	3,73	3,73	3,73
17	5-Sep	2396	Tengah	0,20	7,89	9,83	4,20	4,20	4,20	4,20
18		2397	Barat	0,20	8,02	9,97	5,02	5,02	5,02	5,02
19	7-Sep	2402	Tengah	0,20	7,94	9,97	3,44	3,44	3,44	3,44
20		2403	Tengah	0,20	7,90	9,93	3,44	3,44	3,44	3,44
21	8-Sep	2404	Tengah	0,20	7,92	9,98	3,25	3,25	3,25	3,25
22		2405	Tengah	0,20	7,89	9,98	2,40	2,40	2,40	2,40
23		2406	Tengah	0,20	7,98	9,93	3,35	3,35	3,35	3,35
24	9-Sep	2407	Barat	0,20	7,68	9,70	3,90	3,90	3,90	3,90
25		2409	Barat	0,20	7,57	9,47	4,76	4,76	4,76	4,76
26		2411	Timur	0,17	6,95	7,90	2,89	2,89	2,89	2,89
27	11-Sep	2414	Barat	0,20	7,96	9,85	3,30	3,30	3,30	3,30
28		2415	Tengah	0,20	8,00	9,78	3,53	3,53	3,53	3,53
29	12-Sep	2417	Timur	0,17	8,18	9,44	4,86	4,86	4,86	4,86
30		2418	Timur	0,17	7,70	9,23	3,33	3,33	3,33	3,33
31	7-Oct	2467	Timur	0,20	7,93	9,93	3,58	3,58	3,58	3,58
32	8-Oct	2468	Barat	0,17	6,93	7,96	3,14	3,14	3,14	3,14
33	9-Oct	2471	Timur	0,20	8,05	9,95	3,00	3,00	3,00	3,00
34	10-Oct	2474	Timur	0,20	7,92	9,91	3,10	3,10	3,10	3,10
35	11-Oct	2477	Barat	0,17	7,09	8,05	3,20	3,20	3,20	3,20
36	12-Oct	2480	Barat	0,17	6,71	7,89	2,95	2,95	2,95	2,95
Rata-rata				0,19	7,67	9,43	3,60	6,59	2,77	3,52
Minimum				0,17	6,71	7,89	2,19	4,00	1,66	2,40
Maksimum				0,20	8,18	9,98	4,29	7,74	3,90	5,02

Dari Tabel 3 terlihat bahwa geometri peledakan yang telah diterapkan di lapangan memiliki perbedaan yang tidak terlalu signifikan dari rencana yang telah ditetapkan pada Pit 303 Jembayan. Secara grafis perbedaan antara geometri peledakan aktual terhadap *plan* dapat di lihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Perbedaan Geometri Peledakan Aktual terhadap *Plan*

4.2 Powder Factor

Selama penelitian *powder factor* yang digunakan berkisar antara 0,12 kg/m³ hingga 0,18 kg/m³ dengan rata-rata isian bahan peledak per lubang ledak berkisar antara 69,21 kg hingga 104,10 kg. Secara lengkap nilai *powder factor* dan isian bahan peledak per lubang yang digunakan selama penelitian dapat di lihat pada Tabel 4.

Tabel 4. *Powder Factor* dan Isian Bahan Peledak Per Lubang Ledak Aktual Pit 303 Jembayan

No	Tanggal	ID Blast	Lokasi	Powder Factor (Kg/m ³)	Charge Weight per Blastholes (Kg)
1	24-Aug	2372	Timur	0,15	56,33
2	28-Aug	2376	Tengah	0,13	70,69
3		2377	Tengah	0,15	75,51
4		2378	Tengah	0,12	70,09
5	29-Aug	2382	Timur	0,14	50,10
6		2383	Timur	0,13	34,01
7	31-Aug	2387	Barat	0,15	83,17
8		2388	Barat	0,14	80,25
9	1-Sep	2388	Tengah	0,15	53,54
10		2389	Tengah	0,13	75,96
11	2-Sep	2390	Tengah	0,12	69,51
12		2391	Barat	0,14	49,98
13	3-Sep	2392	Tengah	0,13	72,07
14		2393	Barat	0,14	77,82
15	4-Sep	2394	Barat	0,16	64,33
16		2395	Tengah	0,12	68,83
17	5-Sep	2396	Tengah	0,17	55,26

18		2397	Barat	0,14	83,91
19	7-Sep	2402	Tengah	0,14	71,18
20		2403	Tengah	0,14	78,81
21	8-Sep	2404	Tengah	0,14	88,68
22		2405	Tengah	0,15	47,52
23		2406	Tengah	0,13	77,41
24	9-Sep	2407	Barat	0,15	85,25
25		2409	Barat	0,17	58,05
26		2411	Timur	0,16	67,60
27	11-Sep	2414	Barat	0,15	87,87
28		2415	Tengah	0,15	90,87
29	12-Sep	2417	Timur	0,16	72,46
30		2418	Timur	0,13	38,22
31	7-Oct	2467	Timur	0,18	104,10
32	8-Oct	2468	Barat	0,15	62,65
33	9-Oct	2471	Timur	0,17	103,26
34	10-Oct	2474	Timur	0,13	77,62
35	11-Oct	2477	Barat	0,17	56,28
36	12-Oct	2480	Barat	0,13	32,49
Rata-rata				0,14	69,21
Minimum				0,12	32,49
Maksimum				0,18	104,10

4.3 Jarak Terjauh Lemparan *Flyrock*

Untuk mengukur jarak lemparan *flyrock* aktual terjauh dari lokasi peledakan, menggunakan data koordinat lemparan *flyrock* terjauh dan *boundary* lokasi peledakan. Dimana data koordinat tersebut dimasukkan kedalam *software* AutoCAD 2020 untuk menghitung nilai dari jarak lemparan *flyrock* aktual.



Gambar 10. Pengamatan Lemparan *Flyrock* Pasca Peledakan di Pit 303 Jembayan (1 September 2019)

Kegiatan pengamatan dan pengambilan data terhadap lemparan *flyrock* terjauh selama 36 kali kegiatan peledakan, secara lengkap dapat di lihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Jarak Terjauh Lemparan *Flyrock* Aktual Pit 303 Jembayan

No	Tanggal	ID Blast	Lokasi	Jarak Terjauh Lemparan <i>Flyrock</i> Aktual (m)
1	24-Aug	2372	Timur	25,49
2	28-Aug	2376	Tengah	23,90
3		2377	Tengah	29,87
4		2378	Tengah	24,14
5	29-Aug	2382	Timur	21,94
6		2383	Timur	50,25
7	31-Aug	2387	Barat	40,68
8		2388	Barat	36,07

9	1-Sep	2388	Tengah	68,54
10		2389	Tengah	25,88
11	2-Sep	2390	Tengah	23,84
12		2391	Barat	64,99
13	3-Sep	2392	Tengah	28,56
14		2393	Barat	29,64
15	4-Sep	2394	Barat	40,74
16		2395	Tengah	28,05
17	5-Sep	2396	Tengah	98,87
18		2397	Barat	41,76
19	7-Sep	2402	Tengah	28,31
20		2403	Tengah	33,13
21	8-Sep	2404	Tengah	37,69
22		2405	Tengah	75,72
23		2406	Tengah	28,47
24	9-Sep	2407	Barat	23,59
25		2409	Barat	78,63
26		2411	Timur	30,51
27	11-Sep	2414	Barat	30,62
28		2415	Tengah	28,52
29	12-Sep	2417	Timur	88,13
30		2418	Timur	57,54
31	7-Oct	2467	Timur	79,65
32	8-Oct	2468	Barat	26,39
33	9-Oct	2471	Timur	51,73
34	10-Oct	2474	Timur	29,29
35	11-Oct	2477	Barat	32,94
36	12-Oct	2480	Barat	26,51
Rata-rata				41,40
Minimum				21,94
Maksimum				98,87

Dimana dari 36 kali pengamatan lemparan *flyrock* aktual terjauh selama penelitian jarak lemparan *flyrock* rata-rata adalah 41,40 m. Jarak terjauh lemparan *flyrock* selama penelitian terjadi pada *idblast* 2396 tanggal 5 September 2019. Dimana perusahaan akan menarget radius aman alat menjadi 100 m. Karena dari hasil pengamatan masih terdapat lemparan *flyrock* aktual yang hampir mencapai 100 m.

4.4 Jarak *Flyrock* Maksimum Richard dan Moore

Perhitungan prediksi lemparan *flyrock* maksimum menurut metode empirik Richard dan Moore (2005) dibagi menjadi 3 jenis, yaitu: *face burst*, *cratering*, dan *rifling*. Hasil perhitungan prediksi lemparan *flyrock* pada pengamatan kegiatan peledakan sebelumnya dapat di lihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Prediksi Lemparan Flyrock Menggunakan Metode Empirik Richard dan Moore

No	Tanggal	ID Blast	Lokasi	Jarak Terjauh Lemparan Flyrock Aktual (m)	Prediksi Lemparan Flyrock (m)		
					Face Burst	Cratering	Rifling Sin2(35°)
1	24-Aug	2372	Timur	25,49	20,68	23,64	13,57
2	28-Aug	2376	Tengah	23,90	44,27	30,40	17,45

3		2377	Tengah	29,87	51,15	34,21	19,64
4		2378	Tengah	24,14	42,26	32,14	18,45
5	29-Aug	2382	Timur	21,94	14,91	28,24	16,21
6		2383	Timur	50,25	91,37	64,24	36,87
7	31-Aug	2387	Barat	40,68	59,60	39,15	22,47
8		2388	Barat	36,07	90,05	37,30	21,41
9	1-Sep	2388	Tengah	68,54	107,17	114,75	65,87
10		2389	Tengah	25,88	43,00	32,48	18,64
11	2-Sep	2390	Tengah	23,84	47,53	31,47	18,06
12		2391	Barat	64,99	51,15	92,52	53,11
13	3-Sep	2392	Tengah	28,56	43,00	33,15	19,03
14		2393	Barat	29,64	53,38	38,56	22,13
15	4-Sep	2394	Barat	40,74	72,12	45,07	25,87
16		2395	Tengah	28,05	43,25	31,01	17,80
17	5-Sep	2396	Tengah	98,87	31,84	166,64	95,65
18		2397	Barat	41,76	20,00	40,32	23,15
19	7-Sep	2402	Tengah	28,31	53,38	41,23	23,67
20		2403	Tengah	33,13	53,38	39,09	22,44
21	8-Sep	2404	Tengah	37,69	62,01	38,21	21,93
22		2405	Tengah	75,72	136,41	167,72	96,27
23		2406	Tengah	28,47	57,32	34,82	19,99
24	9-Sep	2407	Barat	23,59	38,60	30,20	17,34
25		2409	Barat	78,63	22,96	105,89	60,78
26		2411	Timur	30,51	56,42	23,97	13,76
27	11-Sep	2414	Barat	30,62	59,60	33,25	19,09
28		2415	Tengah	28,52	49,90	31,12	17,86
29	12-Sep	2417	Timur	88,13	14,61	99,70	57,23
30		2418	Timur	57,54	38,89	116,21	66,71
31	7-Oct	2467	Timur	79,65	48,11	56,68	32,53
32	8-Oct	2468	Barat	26,39	45,43	21,58	12,39
33	9-Oct	2471	Timur	51,73	76,36	48,87	28,05
34	10-Oct	2474	Timur	29,29	70,12	36,80	21,12
35	11-Oct	2477	Barat	32,94	43,25	50,88	29,20
36	12-Oct	2480	Barat	26,51	53,43	48,40	27,78
Rata-rata				41,40	52,97	53,89	30,93
Minimum				21,94	14,61	21,58	12,39
Maksimum				98,87	136,41	167,72	96,27

Berdasarkan hasil prediksi lemparan *flyrock* metode empirik Richard dan Moore dengan jarak terjauh lemparan *flyrock* aktual, maka dilakukan perhitungan deviasi dan *persentase* kealahan. Standar deviasi merupakan salah satu cara untuk mengukur tingkat penyimpangan/deviasi dari suatu nilai variabel. Hasil deviasi dan *presentase* kesalahan dari jarak lemparan *flyrock* aktual dengan prediksi metode empirik Richard dan Moore dapat di lihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Deviasi dan Persentase Kesalahan Prediksi Lemparan *Flyrock* Metode Empirik Richard dan Moore

Prediksi Metode Empirik Richard dan Moore	Deviasi (m)	Persentase Kesalahan (%)
<i>Face Burst</i>	32,68	69,93%
<i>Cratering</i>	25,43	30,38%
<i>Rifling Sin 2 (35°)</i>	15,12	30,64%

4.5 Jarak *Flyrock* Maksimum Ebrahim Ghasemi

Perhitungan prediksi lemparan *flyrock* maksimum yang di kembangkan oleh Ebrahim Ghasemi (2012),

menggunakan metode analisis dimensi berdasarkan parameter peledakan yang dapat di kontrol (*burden, spacing, stemming, hole depth, charge length, powder factor*, diameter lubang ledak, isian handak per lubang ledak) terhadap jarak lemparan *flyrock* aktual, untuk mendapatkan rumus empirik dalam memprediksi lemparan *flyrock*. Rumus empirik prediksi jarak lemparan *flyrock* yang berlaku pada lokasi penelitian sebagai berikut.

$$F_d = 99858174,76 \left[B^{5,941} S^{1,118} St^{-3,777} H^{6,619} D^{5,079} \left(\frac{PF}{Q} \right)^{4,660} \right]$$

Dari rumus empirik tersebut maka didapatkan hasil prediksi lemparan *flyrock* pada pengamatan kegiatan peledakan sebelumnya yang dapat di lihat pada Tabel 8.

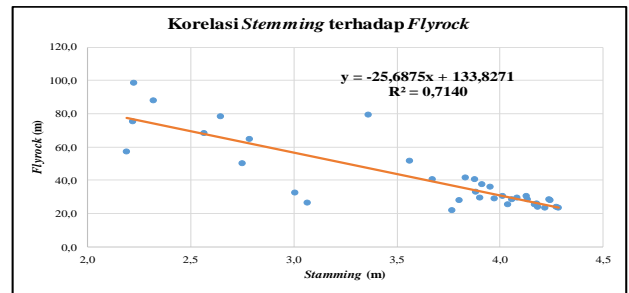
Tabel 8. Hasil Prediksi Lemparan *Flyrock* Menggunakan Metode Analisis Dimensi Ebrahim Ghasemi

No	Tanggal	ID Blast	Lokasi	Jarak Terjauh Lemparan <i>Flyrock</i> Aktual (m)	Prediksi Lemparan <i>Flyrock</i> (m)
1	24-Aug	2372	Timur	25,49	22,35
2	28-Aug	2376	Tengah	23,90	26,54
3		2377	Tengah	29,87	30,63
4		2378	Tengah	24,14	25,99
5	29-Aug	2382	Timur	21,94	24,81
6		2383	Timur	50,25	39,02
7	31-Aug	2387	Barat	40,68	37,58
8		2388	Barat	36,07	34,12
9	1-Sep	2388	Tengah	68,54	70,68
10		2389	Tengah	25,88	27,70
11	2-Sep	2390	Tengah	23,84	24,97
12		2391	Barat	64,99	51,46
13	3-Sep	2392	Tengah	28,56	27,28
14		2393	Barat	29,64	36,24
15	4-Sep	2394	Barat	40,74	42,03
16		2395	Tengah	28,05	25,24
17	5-Sep	2396	Tengah	98,87	103,85
18		2397	Barat	41,76	41,23
19	7-Sep	2402	Tengah	28,31	29,30
20		2403	Tengah	33,13	34,15
21	8-Sep	2404	Tengah	37,69	36,44
22		2405	Tengah	75,72	85,61
23		2406	Tengah	28,47	30,74
24	9-Sep	2407	Barat	23,59	26,24
25		2409	Barat	78,63	72,01
26		2411	Timur	30,51	27,13
27	11-Sep	2414	Barat	30,62	29,83
28		2415	Tengah	28,52	28,60
29	12-Sep	2417	Timur	88,13	92,74
30		2418	Timur	57,54	55,92
31	7-Oct	2467	Timur	79,65	58,74
32	8-Oct	2468	Barat	26,39	22,08
33	9-Oct	2471	Timur	51,73	48,71
34	10-Oct	2474	Timur	29,29	31,84
35	11-Oct	2477	Barat	32,94	48,50
36	12-Oct	2480	Barat	26,51	30,12
Rata-rata				41,40	41,12

Minimum	21,94	22,08
Maksimum	98,87	103,85

Berdasarkan prediksi lemparan *flyrock* metode analisis dimensi Ebrahim Ghasemi dengan jarak terjauh lemparan *flyrock* aktual didapatkan hasil deviasi sebesar 6,23 m. Presentase kesalahan prediksi lemparan *flyrock* dengan aktual sebesar 9,85% yang berarti 90,15% prediksi lemparan *flyrock* dapat dikatakan akurat dalam memprediksi lemparan aktual.

4.6 Hubungan Parameter Peledakan Terhadap *Flyrock* Aktual



Gambar 11. Analisis Regresi Sederhana Parameter Peledakan Terhadap Lemparan *Flyrock*

Dari Gambar 11 dapat di lihat bahwa parameter peledakan yang memiliki hubungan sangat kuat terhadap lemparan *flyrock* adalah stemming, dengan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,714 artinya pengaruh naik turun stemming terhadap lemparan *flyrock* adalah 71,4% sedangkan 28,6% disebabkan oleh faktor lain. Dimana penyimpangan data lemparan *flyrock* aktual terhadap garis regresinya sebesar 11,41 m. Selanjutnya hubungan parameter peledakan yang tidak terlalu berpengaruh besar terhadap lemparan *flyrock* secara berurutan berdasarkan tingkat koefisien determinasinya adalah *powder factor, burden, spacing, charge length, burden face*, dan diameter, secara lengkap dapat di lihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Hubungan Parameter Peledakan terhadap Lemparan *Flyrock*

No	Parameter	R^2	Penyimpangan Garis Regresi (m)	Interpretasi Koefisien Determinasi
1	<i>Burden</i>	0,0748	20,23	Hubungan Lemah
2	<i>Spacing</i>	0,0398	20,61	Hubungan Lemah
3	<i>Stemming</i>	0,7140	11,25	Hubungan Kuat
4	<i>Hole Depth</i>	0,4194	16,03	Hubungan Sedang
5	<i>Charge Length</i>	0,0334	21,68	Hubungan Lemah
6	<i>Powder Factor</i>	0,2676	18,00	Hubungan Sedang
7	<i>Diameter</i>	0,0016	21,02	Hubungan Lemah
8	<i>Burden Face</i>	0,0109	61,01	Hubungan Lemah

4.7 Perhitungan *Scaled Depth of Burial* pada Peledakan Aktual

Nilai dari *scaled depth of burial* digunakan untuk mengetahui bagaimana hasil peledakan dari kegiatan

peledakan sebelumnya. Hasil dari perhitungan *scaled depth of burial* pada peledakan sebelumnya dapat di lihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Hasil Perhitungan *Scaled Depth Of Burial* pada Peledakan Sebelumnya

No	Tanggal	ID Blast	Lokasi	Jarak Terjauh Lemparan Flyrock Aktual (m)	Scaled Dept of Burial ($m/kg^{1/3}$)
1	24-Aug	2372	Timur	25,49	1,52
2	28-Aug	2376	Tengah	23,90	1,40
3		2377	Tengah	29,87	1,35
4		2378	Tengah	24,14	1,38
5	29-Aug	2382	Timur	21,94	1,43
6		2383	Timur	50,25	1,12
7	31-Aug	2387	Barat	40,68	1,30
8		2388	Barat	36,07	1,32
9	1-Sep	2388	Tengah	68,54	0,95
10		2389	Tengah	25,88	1,37
11	2-Sep	2390	Tengah	23,84	1,39
12		2391	Barat	64,99	1,01
13	3-Sep	2392	Tengah	28,56	1,36
14		2393	Barat	29,64	1,30
15	4-Sep	2394	Barat	40,74	1,24
16		2395	Tengah	28,05	1,39
17	5-Sep	2396	Tengah	98,87	0,86
18		2397	Barat	41,76	1,28
19	7-Sep	2402	Tengah	28,31	1,28
20		2403	Tengah	33,13	1,30
21	8-Sep	2404	Tengah	37,69	1,31
22		2405	Tengah	75,72	0,85
23		2406	Tengah	28,47	1,34
24	9-Sep	2407	Barat	23,59	1,40
25		2409	Barat	78,63	0,97
26		2411	Timur	30,51	1,51
27	11-Sep	2414	Barat	30,62	1,36
28		2415	Tengah	28,52	1,39
29	12-Sep	2417	Timur	88,13	0,98
30		2418	Timur	57,54	0,94
31	7-Oct	2467	Timur	79,65	1,16
32	8-Oct	2468	Barat	26,39	1,56
33	9-Oct	2471	Timur	51,73	1,21
34	10-Oct	2474	Timur	29,29	1,32
35	11-Oct	2477	Barat	32,94	1,20
36	12-Oct	2480	Barat	26,51	1,21
Rata-rata				41,40	1,26
Minimum				21,94	0,85
Maksimum				98,87	1,56

Berdasarkan Tabel 10 terlihat bahwa rata-rata nilai *scaled depth of burial* pada peledakan sebelumnya adalah 1,26 $m/kg^{1/3}$. Berarti peledakan yang telah diterapkan sudah termasuk ke dalam kategori peledakan *controlled energy* (energi terkontrol). Hal ini dibuktikan dengan lemparan *flyrock* aktual yang dihasilkan rata-rata hanya 41,40 m. Namun masih terdapat nilai *scaled depth of burial* kategori peledakan *uncontrolled energy* (energi

tidak terkontrol) yang berada di antara nilai 0 - 0,88 $m/kg^{1/3}$. Hal ini dibuktikan oleh data 17 dan 22 yang memiliki lemparan *flyrock* terjauh yaitu 98,87 m dan 75,72 m.

4.8 Rancangan Geometri Peledakan

Geometri peledakan yang telah diterapkan di *Pit 303* Jembayan selama penelitian masih terdapat lemparan *flyrock* hampir mencapai target radius aman alat yaitu 100 m. Untuk meminimalisir jarak lemparan *flyrock* yang akan terjadi pada kegiatan peledakan selanjutnya. Untuk itu perlu rancangan geometri peledakan dalam meminimalisir lemparan *flyrock*, sehingga radius aman alat dapat dikurangi menjadi 100 m.

Rancangan geometri peledakan dilakukan dengan perubahan stemming. Perubahan stemming di analisis berdasarkan perhitungan *scaled dept of burial*, agar rancangan geometri peledakan selanjutnya termasuk dalam peledakan *controlled energy*. Perubahan stemming juga mempertimbangkan prediksi lemparan *flyrock* tidak melebihi dari 50 m, dan *powder factor* yang telah ditetapkan perusahaan yang tidak melebihi 0,17 kg/m^3 .

Dimana akan menghasilkan *flyrock* yang pendek, fragmentasi yang bagus, vibration yang kecil dan airblast yang kecil. Rekomendasi panjang *stemming* untuk kegiatan peledakan *expose* batubara maupun *floor* dapat di lihat pada Tabel 11.

Tabel 11. Rekomendasi Panjang Stemming minimum pada Kegiatan Peledakan Selanjutnya

Rekomendasi		Burden dan Spacing (m)	Hole Depth (m)	Stemming (m)	Charge Length (m)	Powder Factor (kg/m^3)	Prediksi Lemparan Flyrock (m)
Diameter $6\frac{3}{4}$ inch	Expose	7 x 8	7,50	3,79	3,71	0,17	33,20
	Floor		4,00	2,47	1,53	0,13	49,09
Diameter $7\frac{7}{8}$ inch	Expose	8 x 10	7,50	3,71	3,79	0,17	42,57
	Floor		4,00	2,58	1,42	0,12	49,05

Berdasarkan rekomendasi panjang *stemming* minimum pada Tabel 11 dan juga hasil prediksi lemparan *flyrock* yang dihasilkan. Penulis melakukan penentuan *safety factor* untuk penentuan jarak aman alat. Sesuai dengan penerapan yang telah dilakukan Alan B. Richard & Adrian J. Moore (2005), radius aman alat dilakukan berdasarkan 2 kali prediksi lemparan *flyrock* untuk penanggulangan terhadap hal-hal yang tidak terduga. Sehingga dari rekomendasi tersebut dapat digunakan dalam meminimalisir lemparan *flyrock* dan radius aman alat dapat dikurangi menjadi 100 m. Karena prediksi lemparan *flyrock* berada dibawah 50 m dengan *safety factor* tidak akan mencapai radius 100 m.

5. Penutup

5.1 Kesimpulan

1. Geometri peledakan aktual pada *Pit 303* Jembayan memiliki perbedaan yang tidak terlalu signifikan

terhadap rancangan yang telah ditetapkan oleh perusahaan dengan jarak lemparan *flyrock* aktual berkisar antara 21,94 m hingga 98,87 m dan rata-rata 41,40 m.

2. Hasil prediksi lemparan *flyrock* menggunakan metode empirik Richard dan Moore pada prediksi *face burst*, *cratering*, dan *rifling* secara berurutan memiliki deviasi sebesar 32,68 m; 25,43 m dan 15,12 m dengan persentase kesalahan 69,93%; 30,38% dan 30,64%, sedangkan prediksi metode analisis dimensi Ebrahim Ghasemi memiliki deviasi sebesar 6,23 m dengan persentase kesalahan 9,85%.
3. Prediksi lemparan *flyrock* yang lebih baik untuk memprediksi lemparan *flyrock* aktual di *Pit 303* Jembayan menggunakan metode analisis dimensi Ebrahim Ghasemi, karena penyimpangan dan persentase kesalahan prediksi dengan aktual memiliki perbedaan yang lebih kecil.
4. Analisis statistik memperlihatkan bahwa *stemming* memiliki hubungan yang sangat kuat terhadap lemparan *flyrock* aktual di *Pit 303* Jembayan dengan koefisien determinasi (R^2) sebesar 71,40%.
5. Berdasarkan rekomendasi panjang *stemming* minimum didapatkan rancangan desain geometri peledakan dalam mengontrol *flyrock* yang tidak melebihi 50 m, yaitu:
 - Diameter $6\frac{3}{4}$ inch dengan pola *burden* dan *spacing* 7×8 m dengan kedalaman *floor* 7,5 m, *stemming* 3,79 m, *charge length* 3,71 m, *powder factor* $0,17 \text{ kg/m}^3$, dan prediksi lemparan *flyrock* 33,20 m
 - Diameter $6\frac{3}{4}$ inch dengan pola *burden* dan *spacing* 7×8 m dengan kedalaman *expose* batubara 4,00 m, *stemming* 2,47 m, *charge length* 1,53 m, *powder factor* $0,13 \text{ kg/m}^3$, dan prediksi lemparan *flyrock* 49,09 m
 - Diameter $7\frac{7}{8}$ inch dengan pola *burden* dan *spacing* 8×10 m dengan kedalaman *floor* 7,5 m, *stemming* 3,71 m, *charge length* 3,79 m, *powder factor* $0,17 \text{ kg/m}^3$, dan prediksi lemparan *flyrock* 42,57 m
 - Diameter $7\frac{7}{8}$ inch dengan pola *burden* dan *spacing* 8×10 m dengan kedalaman *expose* batubara 4,00 m, *stemming* 2,58 m, *charge length* 1,42 m, *powder factor* $0,12 \text{ kg/m}^3$, dan prediksi lemparan *flyrock* 33,20 m
 sehingga radius aman alat dikurangi menjadi 100 m, karena berdasarkan prediksi dan *safety factor* terhadap lemparan *flyrock* yang dihasilkan tidak mendakati atau melebihi radius aman target yaitu 100 m.

5.2 Saran

1. Adanya penelitian lebih lanjut pada *Pit 303* Jembayan, yang menerapkan rancangan ini di lapangan agar terlihat kekurangan dari data rancangan yang diolah dan dapat digunakan untuk rancangan kedepannya.

2. Sebelum kegiatan pemboran sebaiknya lokasi peledakan diratakan untuk meminimalisir terjadinya *flyrock* akibat batu yang sudah terberai ikut terlempar.
3. Saat pengeboran lubang ledak sebaiknya lebih dikontrol, agar kedalaman lubang ledak sesuai dengan *plan* dan pemboran sesuai dengan titik untuk mengurangi potensi *flyrock*.
4. Kontrol terhadap isian *stemming* harus selalu dilakukan agar lubang ledak benar terisi penuh. oleh *cutting* pemboran dengan campuran kerikil.

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 Kebumihan Ke-8 Academia-Industry Linkage 15-16 Oktober 2015 Graha Sabha Pramana
- [3] Syeban, Nadhif. 2019. Kajian Batu Terbang (Fly Rock) Untuk Mengurangi Radius Aman Pada Peledakan Penambangan Granodiorit PT Total Optima Prakarsa Peniraman Kecamatan Sungai Pinyuh Kabupaten Mempawah Kalimantan Barat. Journal Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Tanjungpura Pontianak. Vol 6. No.3
- [4] Suryadi. 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 Vol. 4 No.3. ISSN: 2302-3333
- [5] 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.
- [6] Ghasemi, Ibrahim. 2012. Development of an Empirical Model for Predicting The Effect of Controlable Blasting Parameters on Flyrock Distance in Surface Mines. International Journal of Rock Mechanic and Mining Sciences, p. 163-170.
- [7] 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.
- [8] Koesnaryo, S. 2011. "Teknik Peledakan Batuan Buku I dan II". Program Studi Teknik Pertambangan. Fakultas Teknologi Mineral. Universitas Pembangunan Nasional "Veteran". Yogyakarta.

- [9] Kursus Juru Ledak Kelas II. 2004. Modul. Bandung. Pusdiklat Teknologi Mineral dan Batubara
- [10] Konya C.J., Walter E.J. 1990. "Surface Blast Design". Prestice Hall. USA
- [11] Bhandari, Sushil. 1997. Engineering Rock Blasting Operation. India: Department Of Mine Engineer J.N.V University Jodhpur.
- [12] Taylor, Richard. 2010. *Macraes Phase III Vibration and Air Blast Assessment*. New Zealaand.
- [13] Hastono, Susanto Priyo. 2006. Analisis Data SPSS. Jakarta: Universitas Indonesia.
- [14] Sukardi. 2003. *Metodologi Penelitian Pendidikan*. Yogyakarta: Bumi Aksara