

ANALISIS JARAK LEMPARAN *FLYROCK* AKIBAT KEGIATAN PELEDAKAN DI CV KALIMANTAN MAKMUR KOTA PALANGKA RAYA

Sonia Ayu Ningsih

Jurusan/Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Palangka Raya
Jln. Hendrik Timang, Palangka Raya
e-mail: soniaayuningsih@gmail.com

Doddy Ariyantho Kusma Wijaya

Jurusan/Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Palangka Raya
Jln. Hendrik Timang, Palangka Raya
e-mail: doddywijaya@mining.upr.ac.id

Fahrul Indrajaya

Jurusan/Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Palangka Raya
Jln. Hendrik Timang, Palangka Raya
e-mail: fahrulindrajaya@mining.upr.ac.id

Abstract: The mining method used by CV Kalimantan Makmur is blasting. One of the impacts of blasting is flying rocks (flyrock). At the quarry and crusher locations at CV Kalimantan Makmur, they are close together, and sometimes geometric mismatches or excessive explosives cause excessive flyrock throwing and the direction of the flyrock is not in accordance with estimates. For this reason, a prediction model for the throw distance is needed that is close to the actual distance to optimize the geometry to increase safety from the impact of blasting. The research method uses a quantitative descriptive method. Data collection uses direct measurement methods, tracker software, and theories. The study obtained the results of 8 actual field observations of the flyrock distance, one of which reached 311 meters, and other observations at a distance of 40-60 meters. From the evaluation results, it was due to excessive explosive filling in one of the holes. While based on the flyrock tracker software, the furthest is 63.03 meters, and the other is 40-70 meters, the percentage difference is -9.98%, almost close to the actual. Predictions according to Richard & Moore obtained 140.37 meters of face busting, 92.63 meters of cratering, and 64.2 meters of rifling. The percentage is close to the actual face bursting, it is recommended to pay attention to the burden distance to reduce the distance of the flyrock throw. While the prediction of parabolic motion, the furthest distance is 92.63 meters, approaching a quarter of the actual flyrock distance. The conclusion from the results obtained, it is recommended to control the flyrock stemming length or the material used.

Keywords: flyrock, tracker, richard & moore, parabolic motion

Abstrak: Metode penambangan yang digunakan oleh CV Kalimantan Makmur yaitu peledakan. Salah satu dampak hasil dari peledakan ialah batu terbang (flyrock). Pada lokasi quarry dan crusher di cv kalimantan makmur memiliki jarak berdekatan, dan terkadang ketidaksesuaian geometri ataupun bahan peledak berlebihan menyebabkan lemparan flyrock berlebihan dan arah flyrock tidak sesuai dengan perkiraan. Untuk itu diperlukan model prediksi jarak lemparan yang mendekati jarak sebenarnya untuk mengoptimalkan geometri agar meningkatkan keamanan dari dampak peledakan. Metode penelitian menggunakan metode deskriptif kuantitatif. Pengambilan data menggunakan metode pengukuran langsung, software tracker, dan teori-teori. Pada penelitian didapatkan hasil 8 kali pengamatan lapangan aktual jarak flyrock, salah satunya mencapai 311 meter, dan pengamatan lainnya pada jarak 40-60 meter. Dari hasil evaluasi, dikarenakan pengisian bahan peledak berlebihan disalah satu lubang. Sedangkan berdasarkan software tracker flyrock terjauh 63,03 meter, dan lainnya 40-70 meter, persentase selisih -9.98%, hampir mendekati aktual. Prediksi menurut richard & moore didapat 140,37 meter face busting, 92,63 meter cratering, dan 64,2 meter rifling. Persentase mendekati aktualnya face bursting, disarankan memperhatikan jarak burden untuk memperkecil jarak lemparan flyrock. Sedangkan prediksi gerak parabola, jarak terjauh 92,63 meter, mendekati seperempat jarak flyrock aktual. Kesimpulan dari hasil yang didapatkan, maka disarankan agar mengontrol flyrock panjang stemming ataupun material yang digunakan.

Kata kunci: : flyrock, tracker, richard & moore, gerak parabola

PENDAHULUAN

CV. Kalimantan Makmur adalah perusahaan tambang batu andesit di Kelurahan Kereng Bangkirai Kecamatan Sabangau Kota Palangka Raya, Kalimantan Tengah. Penambangan batu andesit menggunakan sistem tambang terbuka, termasuk jenis quarry, dan menggunakan peledakan untuk membongkar batuan. Tujuan kegiatan peledakan yaitu untuk memecahkan batuan dan kebutuhan bahan peledak dalam jumlah besar. Bahan peledak melepaskan energi saat meledak 20-30% untuk menghancurkan batu, sisanya menjadi efek samping/dampak terhadap lingkungan.

Salah satu dampak hasil dari aktivitas peledakan ialah batu terbang (*flyrock*). *Flyrock* ialah sebuah pecahan batu/fragmen batu yang terlempar dari titik lokasi peledakan yang dikarenakan kekuatan hasil ledakan tersebut. Bila pecahan batu dari peledakan terlempar melebihi jarak batas yang telah ditentukan/diizinkan saat meledak, dapat menyebabkan kerusakan terhadap alat mekanik ataupun cedera hingga kematian pada manusia.

Pada lokasi *quarry* dan unit *crusher* di CV Kalimantan Makmur memiliki jarak berdekatan, dan terkadang ketidaksesuaian pada geometri peledakan ataupun jumlah bahan peledak yang digunakan tidak sesuai/berlebihan dapat menyebabkan tenaga yang dikeluarkan memicu lemparan *flyrock* yang berlebihan dan arah *flyrock* tidak sesuai dengan rencana/perkiraan. Untuk itu diperlukan suatu model yang memprediksi jarak lemparan yang mendekati jarak lemparan sebenarnya di lapangan agar geometri ledakan dapat dioptimalkan untuk meningkatkan keamanan dari dampak hasil peledakan.

Penelitian terdahulu, Adinugraha, W., & Fikri, A. (2022), menyatakan pada kondisi peledakan di lokasi peledakan, teori Richard and Moore tipe cratering paling akurat dalam memprediksi lemparan flying rock dengan nilai standar deviasi sebesar 33,40 m. Rekomendasi geometri peledakan air decking yang tepat untuk memenuhi syarat dalam pengurangan radius aman alat mekanis dari 300 m menjadi 200 yaitu jarak burfen awal minimal 3,25 m dan maksimal 4 m, ketinggian stemming ditambah 0,65 m dari

ketinggian aktual, dan ketinggian air deck dikurangi 0,65 m dari ketinggian air deck aktual.

Agung, M. A. S. (2022), menyatakan berdasarkan hasil penelitian aktual yang dilakukan pada LWS 1 menggunakan aplikasi Tracker didapatkan jarak lemparan flyrock terjauh yaitu 104,86 meter, sedangkan LWS 2 menggunakan aplikasi Tracker didapatkan jarak lemparan flyrock terjauh yaitu 19,4 meter, sedangkan LWS 3 menggunakan aplikasi Tracker didapatkan jarak lemparan flyrock terjauh yaitu 73,3 meter dan LWS 4 menggunakan aplikasi Tracker didapatkan jarak lemparan flyrock terjauh yaitu 8,6. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa jarak lemparan flyrock sebenarnya tidak lebih dari 200 meter. Berdasarkan hasil perhitungan prediksi jarak lemparan flyrock menggunakan metode gerak parabola pada LWS 1 didapatkan jarak lemparan flyrock terjauh yaitu 95,76 meter dan lemparan tertinggi yaitu 46,43 meter, sedangkan LWS 2 didapatkan jarak lemparan flyrock terjauh yaitu 17,56 meter dan lemparan tertinggi yaitu 12,38 meter, sedangkan LWS 3 didapatkan jarak lemparan flyrock terjauh yaitu 81,40 meter dan lemparan tertinggi yaitu 39,47 meter dan LWS 4 didapatkan jarak lemparan flyrock terjauh yaitu 74,45 meter dan lemparan tertinggi yaitu 36,10 meter. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa prediksi jarak lemparan flyrock tidak lebih dari 200 meter. Persentase akurasi hasil prediksi jarak terbang menggunakan persamaan gerak parabola diperoleh nilai akurasi rata-rata sebesar 11,64% dari hasil pengukuran di lapangan. Penyebab peledakan yang tidak terkendali adalah beban dan stemming tidak sesuai, material stemming, kondisi lokasi peledakan, dan kedalaman lubang ledak. Penggunaan waktu tunda yang tepat akan berpengaruh terhadap arah lemparan dari flyrock. Selain itu adanya bidang bebas juga akan mempengaruhi arah lemparan flyrock akan terlempar. Sedangkan jarak lemparan terjauh dari flyrock dapat disebabkan karena terlalu pendek jarak beban awal, dan terlalu pendeknya isian stemming.

Novrianto (2020), radius lemparan Rhicard, dan Moore memperoleh radius lemparan flyrock 204 meter untuk peledakan pertama, 194 m untuk peledakan ke dua, dan 107 untuk peledakan ke tiga. Sesuai peraturan Menteri ESDM, khusus radius aman untuk peralatan 300 m dan radius aman 500 m untuk manusia. Oleh karena itu

telah ditetapkan radius aman di PT. Bintang Sumatera Pacifik masih dalam masalah. Bagaimana cara menentukan radius aman dari flyrock yaitu dua kali lemparan terjauhnya. Geometri ideal untuk mendapatkan flyrock dalam radius aman pada PT. Bintang Sumatera Pacific yaitu berdasarkan C.J Konya diperoleh nilai burden 2 m, spasi 2,28 m, stemming 2 m, kedalaman lubang 6 m, isian 4,4 m, dan diameter lubang ledak 3 inch. Radius aman flyrock berdasarkan geometri yang usulan yaitu stemming 2 m, dan burden awalnya 2 m diperoleh nilai radius aman sebesar 195,72 m.

Nababan, S. V. A., Santoso, E., & Kartini, K. (2022), menyatakan hasil pengujian kadar air adalah sebesar 15,09 %, berat jarak lemparan flyrock terjauh selama periode penelitian adalah 180 m di lokasi pit Rama 36,B42 43 to RLM30. Membandingkan flyrock sebenarnya dengan teori Alan & Moore dan Ebrahim Ghasemi memiliki jarak standar deviasi cratering sebesar 30,16, face burst 419,04 dan 14,77 untuk Ghasemi. Parameter geometri peledakan yang paling berpengaruh terhadap flyrock adalah tinggi stemming minimum dan jarak burden face minimum dengan nilai korelasi sebesar 54,96 % dan 57.72 %. Panjang yang direkomendasikan pada sampel pola burden spasi 8 x 9, kedalaman 3 m dengan 2,31 m, kedalaman 4 m dengan 2,64 m, kedalaman 5 m dengan 2,78 m dan kedalaman 6 m dengan 2,79 m. Pola burden spasi 8 x 9,5 kedalaman 5 m dengan 2,8 m.

Analisis data pada penelitian ini menggunakan teori persamaan Richard & Moore (2005) dan teori metode gerak parabola menggunakan data geometri aktual sebagai data prediksi, dan data aktual didapatkan pengukuran langsung antar titik koordinat di lapangan serta pemantauan rekaman video yang diolah dalam software tracker, maka analisis penelitian ini berfokus pada analisis jarak lemparan flyrock.

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut, mengetahui jarak lemparan flyrock aktual akibat kegiatan peledakan di CV Kalimantan Makmur dengan mengukur jarak titik koordinat IP dengan lemparan flyrock terjauh. Mendapatkan hasil pemantauan langsung jarak lemparan flyrock menggunakan software tracker. Mendapatkan hasil prediksi jarak lemparan flyrock berdasarkan persamaan Richard & Moore dan

metode gerak parabola dengan geometri aktual di CV. Kalimantan Makmur.

TINJAUAN PUSTAKA

Flyrock

Flyrock merupakan pecahan/fragmen batu yang terlempar secara tidak terduga dari lokasi kegiatan peledakan yang disebabkan oleh energi yang dihasilkan. Jarak aman unit dan manusia dalam kegiatan peledakan telah diatur dalam KEPMEN ESDM RI No. 1827K/30/MEM /2018 tentang pelaksanaan kaidah teknik pertambangan yang baik, bahwa jarak aman unit (alat dan fasilitas tambang) adalah 300 meter dan jarak aman bagi manusia 500 meter dari batas luar area peledakan (Putri, N. G., 2022).

Software tracker

Tracker adalah *software* yang dapat digunakan pada pengolahan video eksperimen. Dimana bisa menampilkan data hasil yang jika dilakukan secara langsung tidak dapat melihatnya secara detail. *Tracker* memungkinkan untuk penelitian kinematika yang lengkap. Software ini menggunakan metode analisis video peristiwa alam, terutama yang berkaitan dengan kelajuan, kecepatan, percepatan, gaya, medan gravitasi, konversi dan konservasi energi. Melalui pengamatan/pemantauan yang dilakukan, pengukuran yang dihasilkan dan dikalibrasi dalam *software*, proses perancangan percobaan dalam analisis video, interpretasi data yang dihasilkan dalam bentuk grafik dan tabel data untuk memberikan kesimpulan berdasarkan data statistik yang dihasilkan oleh pemantauan menggunakan software tracker (Agung, M. A. S., 2022).

Teori persamaan richard & moore

Penentuan prediksi jarak lemparan *flyrock* secara teoretis dalam menentukan perkiraan jarak lemparan *flyrock*, salah satunya teori *Terrock Consulting Engineers* oleh Richard & moore (2005). Berikut teori prediksi jarak lemparan *flyrock* akibat kegiatan peledakan. Menurut pengujian yang dilakukan oleh Richard dan Moore, terdapat 3 faktor utama yang

mempengaruhi terjadinya *flyrock* pada kegiatan peledakan, yaitu (Putri, N. G., 2022):

Face Bursting, yaitu terjadi ketika jarak *burden* pada baris pertama terlalu dekat sehingga berpotensi terjadinya *flyrock*. Berikut persamaan yang digunakan (Putri, N. G., 2022):

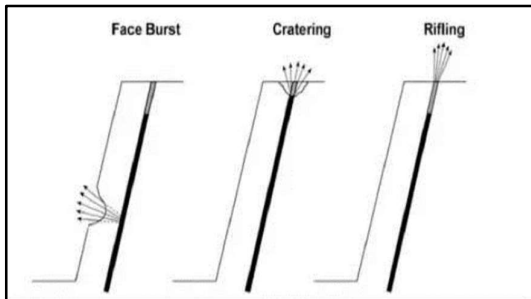
$$L = \frac{K^2}{g} \left(\frac{\sqrt{m}}{B} \right)^{2,6}$$

Cratering, yaitu faktor yang terjadi ketika tinggi terlalu pendek dan terdapat bidang lemah pada lubang ledak. Bidang lemah adalah material *broken* dari hasil peledakan sebelumnya, dari kondisi ini *flyrock* dapat terlempar ke segala arah dari lokasi ledakan. Berikut persamaan yang digunakan (Putri, N. G., 2022):

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

Rifling, yaitu yang terjadi jika material yang digunakan kurang baik disertai dengan munculnya *noise* (bunyi) ledakan yang tinggi. Lubang ledak yang miring memungkinkan terjadinya *flyrock* karena apabila lubang ledak tegak diperkirakan titik lemparannya akan kembali ke posisi semula. Berikut persamaan yang digunakan (Putri, N. G., 2022):

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



Sumber: Albadri, J., 2021

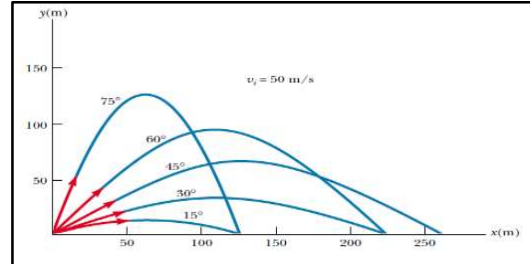
Gambar 1. Mekanisme Terjadinya Flyrock Teori Richard & Moore

Metode gerak parabola

Gerak parabola menurut Halliday, Resnick & Walker (2010) merupakan gabungan gerak lurus beraturan (GLB) yang dianalisis dari pemisahan sumbu x (horizontal) dan gerak lurus berubah beraturan (GLBB) yang dianalisis dari penguraian sumbu y (vertikal), dalam penguraian gaya hambat udara diabaikan, sehingga akan berbeda dengan kenyataan.

Perhatikan hubungan antara jarak yang ditempuh dengan sudut elevasi, grafik lintasan benda dengan sudut elevasi berbeda dan benda dengan kecepatan awal yang sama adalah sebagai berikut (Agung, M. A. S., 2022).

Sumber: Agung, M. A. S., 2022.



Gambar 2. Grafik Lintasan Gerak Parabola

Berdasarkan grafik lintasan parabola di atas terlihat bahwa benda dapat menempuh jarak terjauh dengan sudut elevasi 45°, benda yang bergerak dengan sudut komplementer (30° dan 60°, 15° dan 75°) akan menempuh jarak terjauh yang sama dan ketinggian yang berbeda. Rumus umum lintasan untuk memprediksi lemparan horizontal maksimum flyrock ke titik terjauh adalah (Agung, M. A. S., 2022),

$$L = \frac{v_0^2 \sin 2a}{g} \dots \dots \dots (2.7)$$

Keterangan :

- v_0 = Kecepatan Awal (m/s)
- a = Sudut Lemparan (°)
- L = Lemparan Maxsimal (m)
- g = Percepatan Gravitasi (9.8 m/s)

Lemparan maksimum ketika $2 a = 1$ atau $a = 45^\circ$, penyederhanaan yaitu:

$$L_{max} = \frac{v_0^2}{g} \dots \dots \dots (2.8)$$

Rumusnya lebih rumit untuk menentukan lemparan ke titik dengan ketinggian berbeda, tetapi kasus sederhana cukup tepat untuk digunakan. Teori lintasan umum mengabaikan faktor-faktor seperti ukuran dan bentuk batuan, kerapatan, hambatan udara, dan angin, tetapi cukup akurat untuk metode ini pada jarak yang aman. Pada jarak lebih dari 200–300 meter (600–900 kaki), ukuran dan bentuk batu menjadi semakin penting untuk lemparan maksimum karena momentum dan hambatan udara menjadi lebih besar dari seberapa jauh batu bergerak. Kecepatan awal (Agung, M. A. S., 2022):

$$V_0 = k \left(\frac{\sqrt{m}}{SH} \right)^{1,3} \dots \dots \dots (2.9)$$

Kecepatan awal dihubungkan dengan rumus,
 $V_0 = k \left(\frac{\sqrt{m}}{SH} \right)^{1.3} \sin 2 a \dots \dots \dots (2.10)$

Ketinggian maksimum yang dicapai *flyrock* di puncak lintasannya adalah:
 $H = \frac{v_0^2 \sin^2 a}{2g} \dots \dots \dots (2.11)$

Keterangan :
 k = Kostanta
 m = Isian Bahan Peledak (kg/m)
 a = Sudut Lemparan ($^\circ$)
 SH = *Stemming High* (m)
Sumber: Halliday, Resnick & Walker (2008).

METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Kegiatan penelitian berlokasi di CV Kalimantan Makmur secara administratif terletak di Kelurahan Kereng Bangkirai, Kecamatan Sabangau, Kota Palangka Raya, Provinsi Kalimantan Tengah.

Untuk mencapai lokasi penelitian, dapat ditempuh melalui jalur darat. Dari pusat Kota Palangka Raya melalui jalur darat dari jalan Yos Sudarso ke jalan Mahir Mahar, selanjutnya dari jalan Mahir Mahar ke jalan Anggrek, kemudian dari Jalan Anggrek ke jalan Manduhara, dan dari jalan Manduhara menuju CV Kalimantan Makmur yang terletak di Desa Kereng Bangkirai, Kecamatan Sabangau, Kota Palangka Raya, Provinsi Kalimantan Tengah, dengan total waktu tempuh ± 26 menit dengan jarak ± 14 Km.

Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian, yaitu kamera, buku tulis, alat tulis, alat pelindung diri (APD), meteran, GPS, terpal, timbangan, tripod, laptop untuk mengolah data menggunakan excel.

Pengumpulan Data

Waktu penelitian dilaksanakan pada bulan Juni-Agustus 2023 pada perusahaan CV Kalimantan makmur Desa Kereng Bangkirai, Kecamatan

Sabangau, Kota Palangka Raya, Provinsi Kalimantan Tengah. Jenis data yang dikumpulkan yaitu data primer dan data sekunder.

Data primer yang dikumpulkan dilakukan dengan pengukuran langsung dilapangan seperti geometri aktual, isian bahan peledak, volume, powder factor, koordinat lubang ledak awal, koordinat flyrock, ukuran, massa, berat, dan bentuk flyrock, dan video dokumentasi. Sedangkan data sekunder berupa profil perusahaan, peta geologi, peta kesampaian, peta situasi, data curah hujan, karakteristik batuan yang ditambang, spesifikasi alat dan jenis bahan peledak yang digunakan, dan data jarak lokasi penambangan dengan bangunan, evakuasi alat, dan manusia.

Pengolahan Data

Pengolahan data penelitian ini bertujuan untuk mengetahui prediksi jarak lemparan flyrock secara teoretis yang pengolahannya menggunakan software Microsoft Excel.

Metode pengolahan data penelitian ini dilakukan dengan pengukuran langsung dilapangan yaitu *intination point* (X1Y1) dan koordinat lemparan *flyrock* terjauh (X2Y2). Menganalisis hasil video dekomendasi menggunakan *software tracker*, prediksi lemparan *flyrock* dengan teori Richard & Moore (2005), dan Prediksi dengan metode rumus gerak parabola.

Analisis Data

Analisis data dilakukan dengan melakukan beberapa perhitungan yang telah ditetapkan menjadi rangkaian perhitungan. Analisis data pada penelitian ini menggunakan teori persamaan Richard & Moore (2005) dan teori metode gerak parabola menggunakan data geometri aktual sebagai data prediksi, dan data aktual didapatkan pengukuran langsung antar titik koordinat di lapangan serta pemantauan rekaman video yang diolah dalam software tracker, maka analisis penelitian ini berfokus pada analisis jarak lemparan flyrock.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran *flyrock*

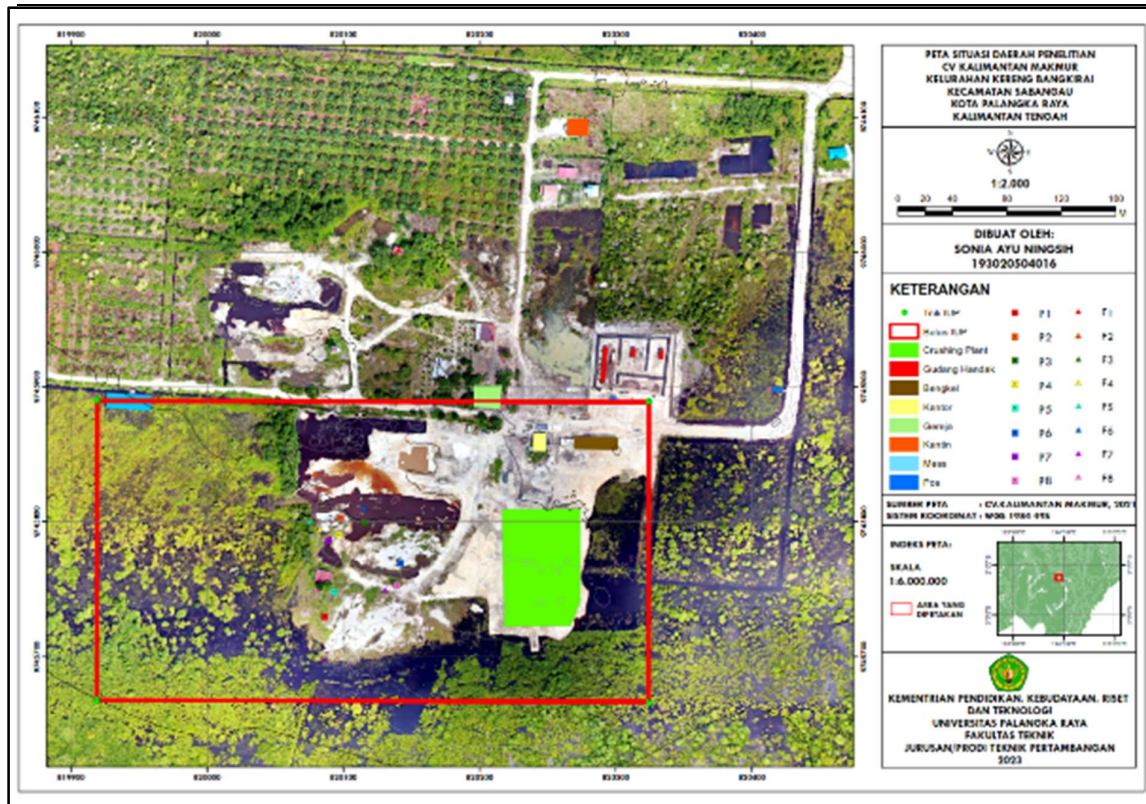
Pada hasil pengukuran *flyrock* aktual pada kegiatan peledakan di CV. Kalimantan Makmur yang dilakukan sebanyak 8 kali dalam satu bulan, data penelitian yang diambil terdiri dari koordinat lubang ledak awal (*Initiation point*), koordinat lemparan *flyrock* terjauh, ukuran, massa, berat, dan bentuk *flyrock* yang terlempar jauh. Dapat dilihat pada tabel 4.3.1.



Gambar 3. Pengukuran Koordinat IP dan Flyrock terjauh

Tabel 1. Koordinat dan Jarak Lemparan Terjauh *Flyrock*

No	Titik Koordinat IP		Flyrock		Jarak Lemparan Terjauh (m)
	latitudo	longtitude	latitudo	longtitudo	
1	820084	9745697	820140	9746003	311
2	820096	9745772	820074	9745805	40.04
3	820112	9745769	820088	9745722	53.78
4	820095	9745727	820080	9745765	40.39
5	820089	9745716	820072	9745770	57.02
6	820137	9745736	820113	9745780	49.43
7	820086	9745756	820127	9745717	56.92
8	820136	9745719	820079	9745719	57



Gambar 4. Peta Situasi Daerah Penelitian

Tabel 2. Hasil Analisis dengan *Software Tracker*

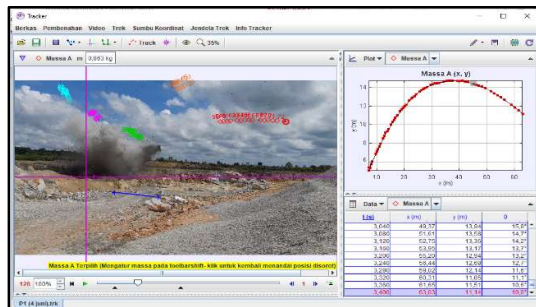
No	Diameter (mm)	Massa (kg)	Berat (N)	Bentuk
1	100x100	0.763	7.4774	Cobble (berangkal)
2	100x90	0.808	7.9184	Cobble (berangkal)
3	60x50	0.056	0.5488	Pubble (kerakal)
4	100x100	0.849	8.3202	Cobble (berangkal)
5	90x90	0.506	4.9588	Cobble (berangkal)
6	80x90	0.667	6.5366	Cobble (berangkal)
7	70x60	0.181	1.7738	Cobble (berangkal)
8	110x70	0.326	3.1948	Cobble (berangkal)

Tabel 3. Ukuran, Massa, Berat, Bentuk *Flyrock*

Nama	Waktu	Jarak	Ketinggian	Sudut
P1	3.4	63.03	24.76	36.8
P2	4.2	41.73	20.32	51.1
P3	4.4	52.23	22.67	47.8
P4	2.5	42.8	12.07	74.7
P5	2.1	55.92	15.5	45.6
P6	5.1	49.36	30.76	128.7
P7	5.3	54.11	34	173.3
P8	4.2	56.76	20.03	32

Berdasarkan 8 kali pengamatan lapangan aktual *flyrock* ada yang mencapai 300 m dari lokasi peledakan. Jarak lemparan *flyrock* terjauh pada P1 yaitu 311 meter, dan pengamatan lainnya berada pada jarak 40-60 meter. Pada data diatas diameter terbesar 100 x 100 mm, massa 0.849 kg, berat 8.3202 N, dan berbentuk *cobble* (berangkal). Membuktikan bahwa semakin dekat jarak *flyrock* maka semakin besar *flyrock* yang diterlempar, semakin jauh jarak *flyrock* semakin kecil *flyrock* yang terlempar.

Pemantauan jarak lemparan *flyrock* menggunakan *software tracker*



Gambar 5. Video Analisis *Software Tracker*

Analisis pemantauan video peledakan menggunakan *software tracker* adalah sebagai alat bantu pengukuran dan prediksi arah lemparan batu jatuh, dengan media video yang dianalisis pada *software* ini yang menggunakan

prinsip metode gerak parabola, serta menggunakan patokan panjang jalan angkut.

Dari pengukuran langsung dilapangan jarak jalur jalan tambang 10 meter sebagai pembanding, maka dilakukannlah metode video analisis menggunakan *software tracker* untuk mendapatkan jarak lemparan *flyrock*.

Hasil nilai hasil tracker yang didapatkan memiliki sedikit selisih terhadap jarak *flyrock* aktual, ini disebabkan karena keterbatasan jarak kamera, jarak titik patokan, atau pun kualitas video yang dihasilkan dapat mempengaruhi sedikit perbedaan dengan aktual. Dan juga dari hasil selisih rata-rata aktual dan tracker 9,98%, sehingga berkemungkinan hasil tracker dan aktual memiliki selisih yang kecil dalam memprediksi jarak.

Prediksi Jarak Lemparan Flyrock dengan Teori Persamaan Alan B.Richard & Adrian J.Moore dan Metode Gerak Parabola

1) Teori Persamaan Alan B.Richard & Adrian J.Moore

Perhitungan jarak lemparan *flyrock* dengan menggunakan rumus Richard & Moore ini ada 3 jenis, *cratering*, *faceburst*, dan *riffling*. Perhitungan jarak lemparan *flyrock* menurut Richard & Moore dengan menggunakan *stemming*, *burden face*, dan kemiringan lubang ledak dengan ketentuan nilai k adalah 27.2 menurut acuan rumus teori.

Tabel 4. Hasil Nilai Prediksi Jarak Lemparan Flyrock dengan Teori Richard & Moore

No	Flyrock aktual rata-rata	Richard & Moore		
		Face Bursting	Cratering	Rifling
P1	311	141.63	67.03	13.94

P2	40.04	102.19	88.08	17.71
P3	53.78	52.27	58.99	22.10
P4	40.39	41.69	76.52	18.51
P5	57.02	58.99	76.52	17.47
P6	49.43	76.52	66.97	18.46
P7	56.92	76.52	76.52	19.55
P8	57	46.57	71.53	9.46

2) Metode Gerak Parabola

Menggunakan persamaan 2.9 dalam mencari nilai V_0 , persamaan 2.10 mencari V_0 terhadap sudut lemparan, persamaan 2.7 dan 2.8 mencari jarak lemparan maksimum, dan persamaan 2.11 mencari tinggi lemparan maksimum (Lampiran J), maka didapatkan nilai prediksi lemparan *flyrock* sebagai berikut.

Tabel 5. Hasil Nilai Prediksi Jarak dan Tinggi lemparan Flyrock dengan Metod Gerak Parabola

Nama	V0	Xmaks	Ymaks
P1	25.63	67.03	32.51
P2	29.39	88.16	42.75
P3	24.06	59.05	28.63
P4	27.4	76.6	37.14
P5	27.4	76.6	37.14
P6	25.63	67.03	32.51
P7	27.4	76.6	37.14
P8	25.63	67.03	32.51

Dapat dilihat hasil selisih antara jarak aktual dan prediksi parabola. Ini membuktikan dengan rumus metode gerak parabola mendekati hampir seperempat jarak *flyrock* aktual. Sesuai rumus metode gerak parabola yang paling mempengaruhi hasil perkiraan jarak *flyrock* adalah stemmingnya. Baik dari segi panjang stemming maupun bahan yang digunakan dapat mempengaruhi lemparan jarak *flyrock* tersebut.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengukuran langsung sebanyak 8 kali antara titik awal peledakan (Initiation point), dengan titik *flyrock* terjauh didapatkan jarak lemparan *flyrock* aktual pada P1 sejauh 311 meter, P2 sejauh 40.40 meter, P3 sejauh 53.78 meter, P4 40.39 meter, P5 sejauh 57.02 meter, P6 sejauh 49.43 meter, P7 sejauh 56.92, dan P8 sejauh 57 meter. Dan mendapatkan 1 kali peledakan yang melewati

batas jarak aman yaitu lebih dari 300 meter pada peledakan pertama (P1), dari hasil pengamatan dan evaluasi, ini dikarenakan pengisian bahan peledak yang berlebihan di salah satu lubang. Namun, apabila bahan peledak kurang, hasil peledakan banyak berupa boulder.

Hasil pemantauan menggunakan software tracker dengan media video yang dianalisis pada software ini serta menggunakan patokan panjang jalan angkut 10 meter. Didapatkan jarak *flyrock* P1 sejauh 63.03 meter, P2 sejauh 41.73 meter, P3 sejauh 52.23 meter, P4 sejauh 42.8 meter, P5 55.92 meter, P6 sejauh 49.36 meter, P7 sejauh 54.11 meter, dan P8 sejauh 56.76 meter. Dengan Persentase selisih aktual dan hasil tracker rata-ratanya sekitar -9.98%, hampir mendekati aktual. Dan untuk perbedaan disebabkan keterbatasan jarak kamera, jarak titik patokan, atau pun kualitas video.

Hasil analisis prediksi jarak lemparan *flyrock* dengan persamaan Richard & Moore sejauh 140,37 meter untuk face busting, 92,63 meter cratering, dan 64,2 meter rifling, dan didapatkan rata-rata persentasi yang paling mendekati prediksi terhadap aktualnya, yaitu pada face bursting, maka disarankan dalam perencanaan geometri agar lebih memperhatikan jarak burden sehingga dapat memperkecil jarak lemparan *flyrock*. Dan hasil analisis metode gerak parabola terjauh berada pada 92,63 meter, hasil selisih aktual dan prediksi parabola memiliki rata-rata persentase mendekati sekitar 32.91%. Ini membuktikan dengan rumus metode gerak parabola seperempat dari jarak *flyrock* aktual, maka berdasarkan metode parabola agar mengontrol stemmingnya baik panjang ataupun material yang digunakan.

SARAN

Dilakukannya pemantauan saat pembuatan lubang ledak agar burden dan kemiringan lubang bisa disesuaikan dengan tepat dan maksimal sesuai geometri rancangan serta arah peledakan. Pada saat pengisian ANFO ke dalam lubang ledak agar lebih dikontrol sehingga tinggi stemming sesuai dengan geometri rancangan. Untuk evakuasi alat, dalam memperkecil radius aman disarankan berada pada jarak 2x dari jarak *flyrock* aktual atau agar lebih aman jarak disesuaikan dengan aturan perundang-undang.

Bila akan memperkecil jarak lemparan flyrock, sebaiknya memperhatikan kesesuaian kedalaman lubang, pengisian bahan peledak, arah peledakan, kemiringan lubang, dan tinggi stemming.

Sebaiknya dilakukan penelitian lebih lanjut bersifat terus menerus dan mendetail sehingga memperoleh hasil prediksi flyrock atau rumus yang lebih akurat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih teruntuk CV. Kalimantan Makmur yang telah mengizinkan lokasinya sebagai tempat penelitian. Ucapan terimakasih kepada Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya yang bersedia menerima jurnal ini. Ucapan terimakasih kepada dosen-dosen yang telah turut membimbing selama penelitian ini. Ucapan terimakasih juga untuk seluruh kawan-kawan, kakak-kakak, rekan-rekan, saudara, orang tua hingga orang yang saya cintai dan sayangi yang selalu memberikan motivasi, dukungan, semangat, referensi, ide-ide yang mendukung, apresiasi baik dalam support dana, perizinan, dan menemani dalam penyusunan jurnal ini. Dan terimakasih untuk semua pihak-pihak terkait.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdurrachman, Havis, Singgih Saptono, and Bagus Wiyono. (2015). "Analisis Flyrock Untuk Mengurangi Radius Aman Alat Pada Peledakan Overburden Penambangan Batubara." *Proceeding Seminar Nasional Kebumihan Ke-8* 1(1): 120–27.
- Albadri, Jeffry, and Dedi Yulhendra. (2020). "Analisis Flyrock Handling Dalam Kegiatan Peledakan Untuk Mendapatkan Radius Aman Alat Pada Quarry Bukit Karang Putih PT. Semen Padang Sumatera Barat." *Jurnal Bina Tambang* 7(3): 14–23.
- Agung, M. A. S. (2022). *Prediksi Lemparan Flyrock dengan Metode Gerak Parabola dan Pemantauan Menggunakan Aplikasi Tracker pada Operasi Peledakan Overburden Tambang Terbuka Batubara*. Universitas Lambung Mangkurat.
- ESDM, Menti. (2018). "Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan Yang Baik." 1–370.
- Marlina, R., Zakri, R. S., & Novrianto. (2020). *Analisis Pengaruh Geometri Peledakan Terhadap Fly Rock Hasil Peledakan Di Pt. Bintang Sumatra Pacific Kec. Pangkalan Kab. Lima Puluh Kota Provinsi*. *Jurnal Sains Dan Teknologi*, 20(2), 238–245.
- Novrianto, Riam Marlina A, and Rizto Salia Zakri. (2020). "Analisis Pengaruh Geometri Peledakan Terhadap Fly Rock Hasil Peledakan Di PT. Bintang Sumatera Pacific Kec. Pangkalan Kab. Lima Puluh Kota Provinsi Sumatera Barat." *Jurnal Sains Dan Teknologi Keilmuan Dan Aplikasi Teknologi Industri* 20(2): 1–9.
- Nababan, Shanty V.A., Eko Santoso, and Kartini Kartini. (2022). "Analisis Prediksi Jarak Lemparan Flyrock Pada Kegiatan Peledakan Di PT Darma Henwa." *Jurnal Himasapta* 7(2): 79.
- Nuriyah, Hanifah Shinta, and Helen Syabila Ariananda. 2022. 1 Teknik Pertambangan "Pengamatan Aktivitas Pengeboran Dan Peledakan Tambang Batu Andesit Pada CV Kalimantan Makmur Desa Kereng Bangkirai Kecamatan Sebangau Kota Palangka Raya Provinsi Kalimantan Tengah." Universitas Palangka Raya.
- Putri, N. G. (2022). *Analisis flyrock untuk mengurangi jarak aman minimum alat pada operasi peledakan overburden pt. antareja mahada makmur site pt. multi harapan utama kalimantan timur* [Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah].
- Rajikin. (2022). *Analisis Tingkat Keberhasilan Peledakan Pada Pembongkaran Overburden di Pit MYG PT. Marunda Grahamineral Kecamatan Laung Tuhup Kabupaten Murung Raya Provinsi Kalimantan Tengah*. In *Teknik Pertambangan* (Vol. 1, Issue 1). Universitas Palangka Raya.
- Syeban, Nadhif, Marsudi, and Khalid M Syafrianto. (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." *Jurnal PWK, Laut, Sipil, Tambang* 6(3): 1–7.
- Toba, R. (2020). *Teknis pengelolaan bahan peledak komersial* (H. Rahmadhani, A. D. Nabila, & A. Y. Wati (eds.); 1st ed.). Deepublish Cv Budi Utama.