

Analisis Pengaruh Lemparan *Flyrock* pada Aktivitas Peledakan di *Pit E* Utara Banko Tengah PT Bukit Asam, Tbk.

Aisya Mulyanti*, Riam Marlina A., Dedi Yulhendra, Mulya Gusman

Departemen Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang

* aisyamlyt@gmail.com

Abstrak. *Flyrock* merupakan salah satu potensi bahaya utama dalam kegiatan peledakan tambang terbuka yang dapat mempengaruhi keselamatan dan kelancaran operasional pertambangan. Penelitian ini dilakukan di *Pit E* Utara Banko Tengah PT Bukit Asam Tbk, untuk menganalisis jarak lemparan *flyrock* baik secara aktual maupun teoritis serta menilai pengaruh metode *airdeck* melalui pendekatan *Scaled Depth of Burial (SDOB)*. Hasil pengamatan menunjukkan jarak aktual *flyrock* berkisar 5,17–61 m dengan rata-rata 28,76 m. Perhitungan teoritis menggunakan metode Ebrahim Ghasemi menghasilkan rata-rata 22,78 m, sedangkan metode Richard & Moore memberikan nilai bervariasi yaitu *face burst* 51,14 m, *cratering* 26,47 m, dan *riffling* 9,05 m. Deviasi hasil menunjukkan bahwa kategori *cratering* paling mendekati kondisi lapangan. Nilai rata-rata *SDOB* sebesar 1,56 m/kg^{1/3} mengklasifikasikan energi ledakan pada kategori very controlled energy, yang menandakan distribusi energi ledakan sangat terkendali dan risiko *flyrock* minim. Temuan ini menunjukkan bahwa penerapan metode *airdeck* berperan penting dalam menjaga kestabilan energi ledakan dan menekan potensi bahaya *flyrock*.

Kata kunci : *flyrock*, prediksi teoritis, *airdeck*, *SDOB*, peledakan

Abstract. *Flyrock* is one of the major hazards in open-pit blasting operations, potentially affecting both safety and operational continuity in mining activities. This study was conducted at Pit E North Banko Tengah, PT Bukit Asam Tbk, to analyze *flyrock* distances both in actual field conditions and through theoretical predictions, as well as to evaluate the effect of the *airdeck* method using the *Scaled Depth of Burial (SDOB)* approach. Field observations recorded actual *flyrock* distances ranging from 5.17 to 61 m, with an average of 28.76 m. Theoretical calculations using the Ebrahim Ghasemi method produced an average of 22.78 m, while the Richard & Moore method yielded varying results: *face burst* 51.14 m, *cratering* 26.47 m, and *riffling* 9.05 m. The deviation analysis indicated that the *cratering* category provided the closest prediction to actual field data. The average *SDOB* value of 1.56 m/kg^{1/3} classified the blasting energy as very controlled energy, indicating that the energy distribution was highly contained and the risk of *flyrock* was minimal. These findings demonstrate that the application of the *airdeck* method plays a crucial role in maintaining blasting energy stability and reducing the potential hazards of *flyrock*.

Keywords: *flyrock*, theoretical prediction, *airdeck*, *SDOB*, blasting

Tanggal Diterima: 19/08/2025; Tanggal Direvisi: 25/09/2025; Tanggal Disetujui: 01/12/2025; Tanggal Dipublikasi: 10/12/2025

1. Pendahuluan

Kegiatan pertambangan batubara memiliki peran penting dalam penyediaan energi nasional. PT Bukit Asam Tbk, sebagai bagian dari Holding BUMN MIND ID, mengoperasikan tambang terbuka di Tanjung Enim, Sumatera Selatan, termasuk *Pit E* Utara Banko Tengah yang menjadi lokasi penelitian ini. Pada tambang terbuka, pembongkaran lapisan tanah penutup dilakukan melalui pemboran dan peledakan, peledakan merupakan proses mekanis di mana energi bahan peledak yang dilepaskan secara cepat mengakibatkan pembentukan gelombang kejut, ekspansi gas, dan tegangan tarik yang bekerja untuk memecahkan batuan [1].

Salah satu permasalahan utama pada peledakan adalah terjadinya *flyrock*, yakni lemparan batuan yang tidak terkendali. Fenomena ini dipengaruhi oleh parameter teknis desain peledakan, material *stemming*, kondisi geologi, hingga distribusi energi bahan peledakan [3], [6]. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa analisis korelasi parameter geometri terhadap jarak *flyrock* penting

dilakukan untuk mengidentifikasi faktor apa yang berpengaruh [7].

Berbagai pendekatan telah dikembangkan, di antaranya metode prediksi Richard & Moore, serta analisis dimensi Ebrahim Ghasemi. [6] Richard & Moore menjelaskan bahwa *flyrock* pada saat peledakan terjadi akibat ketidakseimbangan energi dalam kolom bahan peledak, yang dipicu oleh tiga mekanisme utama, yaitu *face burst*, *cratering*, serta *riffling* yang terjadi akibat penggunaan material *stemming* yang kurang baik. [3] Ebrahim Ghasemi menambahkan bahwa *flyrock* juga dapat disebabkan oleh ketidaktepatan parameter desain peledakan, seperti *stemming* yang tidak mencukupi, waktu tunda yang tidak sesuai, serta kondisi geologi yang tidak mendukung.

Airdeck merupakan istilah yang digunakan untuk ruang kosong yang terdapat pada lubang ledak yang sengaja diciptakan untuk berbagai macam tujuan, yaitu mengurangi penggunaan bahan peledak, mengurangi *ground vibration* dan *flyrock*. Data lapangan di *Pit E* Utara menunjukkan jarak *flyrock* maksimum 61 meter, jauh lebih kecil dibandingkan jarak aman alat berat (300 m) dan

manusia (500 m) sebagaimana diatur dalam KEPMEN ESDM No.1827 K/30/MEM/2018 [5]. Oleh karena itu, penelitian ini fokus pada penghitungan jarak lemparan *flyrock* melalui metode empiris Richard & Moore, Analisis Dimensi Ebrahim Ghasemi, serta penerapan metode *airdeck* dengan pendekatan *SDOB* (*Scaled Depth of Burial*).

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada Wilayah Izin Usaha Pertambangan PT Bukit Asam Tbk dengan koordinat UTM 3°40'30" LS - 3°46'24.8" LS dan 103°44'18.4" BT - 103°48'3.9" BT. Lokasi penelitian dapat dijangkau menggunakan transportasi darat dari kota Padang menuju lokasi perusahaan dengan jarak ±784 km, yang memakan waktu sekitar 25 jam tergantung pada kondisi lalu lintas dan cuaca.



Gambar 1. Peta Kesampaian Daerah Penelitian

2.2 Peledakan

Peledakan merupakan proses pemecahan atau pembongkaran lapisan penutup (*overburden*) maupun material bernilai ekonomis yang bersifat *compact* dari batuan induknya, sehingga berubah menjadi *fragment* yang lebih sesuai untuk menunjang tahapan produksi selanjutnya. Parameter yang perlu diperhatikan dalam kegiatan peledakan adalah karakteristik batuan yang akan diledakan, geometri peledakan, bahan peledak, serta metode peledakan yang akan digunakan.

2.3 Flyrock

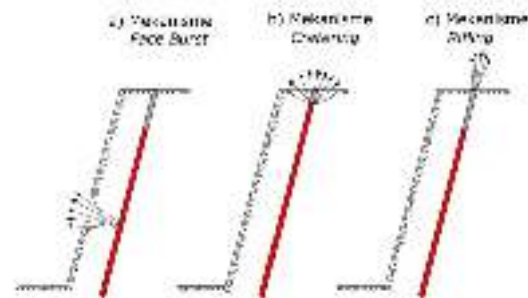
Ketika operasi peledakan dilakukan, batuan menjadi terfragmentasi dan material yang terfragmentasi tersebut dipindahkan ke depan untuk membuat *mucking mass* yang terfragmentasi lebih mudah. Biasanya proyektil batuan yang tidak terduga ini disebut sebagai *flyrock* [3].

Flyrock (batu terbang) adalah lemparan batuan ke segala arah secara tidak terduga dari kegiatan peledakan yang berdampak paling berbahaya bagi keselamatan manusia, alat, dan bangunan. Terjadinya *flyrock* tidak terduga dan lemparannya dapat mencapai jarak yang jauh

sehingga dapat membahayakan manusia maupun lingkungan.

Metode Empiris Alan B. Richard dan Adrian J. Moore

Menurut pengujian yang telah dilakukan [6], *Flyrock* dari peledakan dapat dihasilkan dari tiga mekanisme utama karena kurangnya pengungkungan energi di kolom bahan peledak. Tiga mekanisme terjadinya *flyrock* tersebut yaitu, sebagai berikut:



Gambar 2. Mekanisme Terjadinya Flyrock [6]

a. 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*.

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

Keterangan:

- L_{max} : Lemparan maksimal *flyrock* (m)
 k : Konstanta material (*overburden* batubara 13,5)
 g : Percepatan gravitasi (m/s^2)
 m : Berat isian bahan peledak per-meter/*loading density* (kg/m)
 B : *Burden* awal (m)

b. 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.

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

Keterangan:

- L_{max} : Lemparan maksimal *flyrock* (m)
 k : Konstanta material (*overburden* batubara 13,5)
 g : Percepatan gravitasi (m/s^2)
 m : Berat isian bahan peledak per-meter/*loading density* (kg/m)
 SH : Panjang *stemming* (m)

c. 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.

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

Keterangan:

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

d. Konstanta

Konstanta untuk *overburden* batubara didapatkan $k = 13,5$ berasal dari data hasil investigasi yang dilakukan Alan B. Richard dan Adrian J. Moore pada kondisi peledakan untuk *overburden* batubara atau batuan lunak. Sedangkan $k = 17,5$ untuk komponen batuan keras, seperti basal atau granit. Untuk penelitian pada tempat dengan litologi yang berbeda maka nilai dari k (konstanta untuk *overburden*) perlu untuk dicari terlebih dahulu dengan merata-rata dari nilai k yang didapat.

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

Keterangan:

L : Lemparan maksimal *flyrock* (m)
 K : Konstanta
 g : Percepatan gravitasi (m/s^2)
 m : *Loading density* (kg/m)
 SH : Panjang *stemming* (m)

4.1 Analisis Dimensi Ebrahim Ghasemi

[3] Melakukan penelitian di Tambang Tembaga Sungun, Iran, telah mengembangkan suatu model persamaan untuk memprediksi jarak lemparan *flyrock*. Tujuan dari pengembangan model ini adalah untuk mengidentifikasi hubungan antara jarak *flyrock* dan parameter-parameter peledakan yang dapat dikendalikan. Dalam penelitian tersebut, telah didapatkan data dari 150 kegiatan peledakan yang mencakup parameter-parameter seperti *burden*, *spasi*, tinggi *stemming*, kedalaman dan diameter lubang ledak, *powder factor*, serta rata-rata isian bahan peledak per lubang.

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

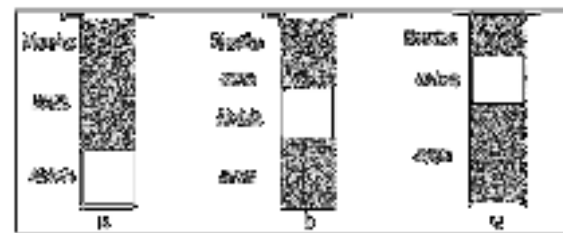
Keterangan:

Fd : *Flyrock distance* (m)
 B : *Burden* (m)
 S : *Spacing* (m)
 St : *Stemming* (m)
 H : *Hole depth* (m)
 D : Diameter lubang ledak (m)
 PF : *Powder factor* (kg/m^3)
 Q : Isian rata-rata bahan peledak per lubang (kg)
 A : Konstanta
 b, c, d, e, f, x = Koefisien dari persamaan non-linear

$$x = \left\lceil \frac{(a + b + c + d + e + f) - 1}{3} \right\rceil$$

2.4 Metode Airdeck

Konsep *airdeck* pertama kali diperkenalkan oleh Pat Mc Laughlin pada tahun 1893 [2]. Analisis penggunaan teknik *airdeck* dalam peledakan memiliki peran penting dalam menentukan jarak lemparan *flyrock*, yang berdampak langsung pada penentuan radius aman peledakan. Semakin pendek jarak lemparan *flyrock*, maka semakin kecil pula radius aman yang diperlukan, sehingga konsumsi bahan bakar alat mekanis selama proses evakuasi dapat diminimalkan [2]



Gambar 3. Metode Penerapan Airdeck

a. Top Airdeck

Teknik penempatan ruang kosong di bagian atas lubang bor, antara kolom bahan peledak dan stemming. Teknik ini bertujuan untuk mengurangi tekanan gas yang diarahkan ke permukaan, sehingga mengurangi risiko terjadinya *flyrock*.

b. Middle Airdeck

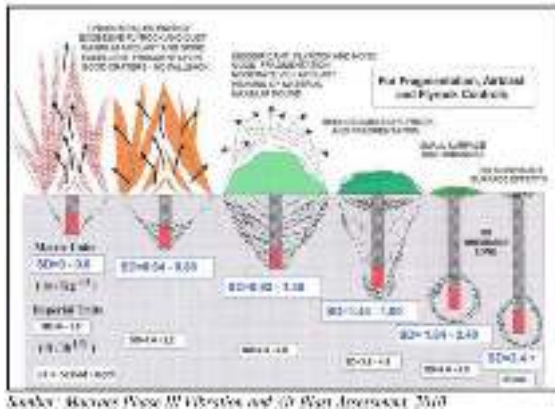
Middle airdeck adalah teknik yang melibatkan penempatan ruang kosong di bagian tengah lubang bor, di antara dua kolom bahan peledak. Ruang kosong ini memungkinkan distribusi energi peledakan yang lebih merata sepanjang kolom bor.

c. Bottom Airdeck

Merupakan teknik penempatan ruang kosong di bagian dasar lubang bor, yang terletak antara dasar lubang bor dan bahan peledak. Tujuan dari penempatan ini adalah untuk mengurangi tekanan gas di area bawah, sehingga energi ledakan dapat terfokus ke bagian atas.

2.5 Scaled Depth of Burial (SDOB)

Scaled Depth of Burial merupakan nilai skala pada hasil peledakan, khususnya *ground vibration*, *airblast*, *flyrock* dan juga fragmentasi (Gambar 4). Layanan pengembangan Orica telah membangun sebuah model berdasarkan proses analisis regresi linear statistik. Analisis data digunakan untuk untuk membuat informasi yang dapat digunakan untuk memprediksi parameter peledakan, menetapkan aturan peledakan, dan memberikan kemampuan untuk memprediksi hasil dari peledakan [11].



Gambar 4. Scaled Depth of Burial

Perhitungan *Scaled Depth of Burial* [11] adalah sebagai berikut:

$$SD = \frac{T(m) + [0,5 \times (10 \times De)](m)}{[10 \times De](m) \times Ld(kg/m)^{1/3}}$$

Keterangan:

De : Diameter Lubang (m)

Ld : Loading Density (kg/m)

T : Stemming (m)

SD : Scaled Depth of Burial (m/kg^{1/3})

Berdasarkan konsep distribusi energi [8], rancangan *pocket charge* sejalan dengan prinsip pengendalian energi seperti *airdeck* dan SDOB. Ketiga pendekatan ini bertujuan menahan energi agar bekerja di dalam batuan, sehingga meminimalkan potensi *flyrock*.

3. Metodologi Penelitian

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan orientasi pada pengukuran, pengolahan, dan analisis data numerik secara sistematis. Pendekatan ini dipilih karena mampu memberikan hasil yang objektif dan terukur dalam menjawab permasalahan penelitian terkait fenomena *flyrock* pada aktivitas peledakan di Pit E Utara Banko Tengah PT Bukit Asam Tbk.

3.2 Objek Penelitian

Objek penelitian ini adalah kegiatan peledakan pada lapisan penutup (*overburden*) di Pit E Utara Banko Tengah PT. Bukit Asam Tbk, yang merupakan salah satu area produksi tambang

batubara dengan sistem tambang terbuka (*open pit mining*). Penelitian terkonsentrasi pada fenomena lemparan batuan (*flyrock*) yang terjadi akibat aktivitas peledakan, karena parameter ini memiliki kaitan langsung dengan aspek keselamatan kerja dan efisiensi operasional tambang. Kondisi geologi pada lokasi penelitian didominasi oleh litologi *claystone* dan *sandstone*, dengan karakteristik kekerasan dan kerapuhan berbeda.

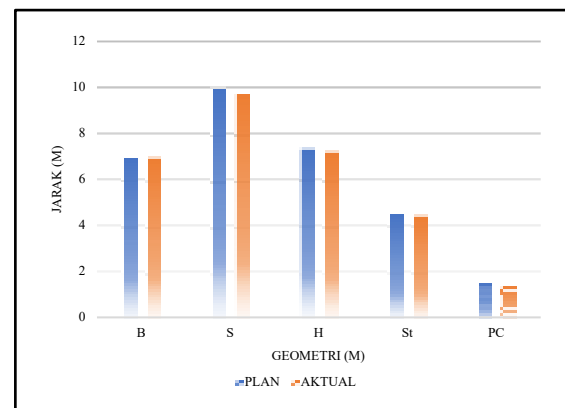
4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Hasil Penelitian

Penelitian ini dilakukan berdasarkan hasil pengukuran dan pengamatan lemparan *flyrock* akibat kegiatan peledakan dengan rancangan dan pola rangkaian peledakan yang telah diterapkan di bulan Oktober hingga Desember 2024 di Pit E Utara Banko Tengah, PT Bukit Asam Tbk.

4.1.1 Geometri Peledakan

Rancangan geometri peledakan yang ditetapkan pada Pit E Utara Banko Tengah dengan diameter lubang ledak $7\frac{7}{8}$ inch adalah *burden* 7 meter dan *spasi* 10 meter. Pada kondisi aktual di lapangan geometri yang digunakan terdapat perbedaan yang tidak terlalu signifikan dengan geometri *plan*.



Gambar 5. Perbandingan Geometri Plan dan Aktual

4.1.2 Jarak Lemparan Flyrock

Jarak lemparan aktual didapatkan dari pengukuran di lapangan menggunakan *Handy GPS* dan *Video Tracker*. Data yang digunakan untuk jarak lemparan adalah jarak dari titik terluar lubang ledak ke batu yang jatuh terjauh.

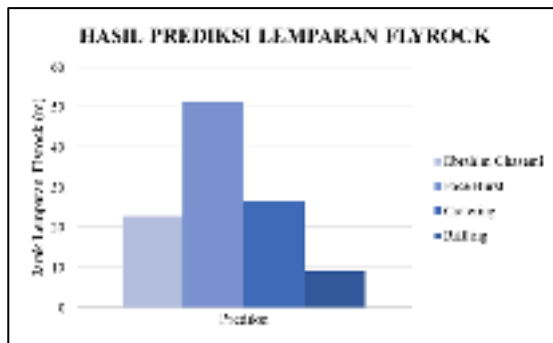


Gambar 6. Pengamatan Lemparan *Flyrock*

Dari 26 data hasil pengamatan lemparan *flyrock* aktual selama penelitian dengan rata-rata 28,76 meter dengan jarak lemparan terjauh 61 meter pada tanggal 24 Oktober 2024 di lokasi peledakan ke tiga, dan jarak lemparan terdekat 5,17 meter pada tanggal 25 November 2024 di lokasi peledakan pertama.

4.1.3 *Prediksi Jarak Lemparan Flyrock Secara Teoritis*

Perhitungan prediksi jarak lemparan *flyrock* yang penulis gunakan ialah metode Ebrahim Ghasemi dan Richard & Moore.

**Gambar 7.** Hasil Prediksi Lemparan *Flyrock*

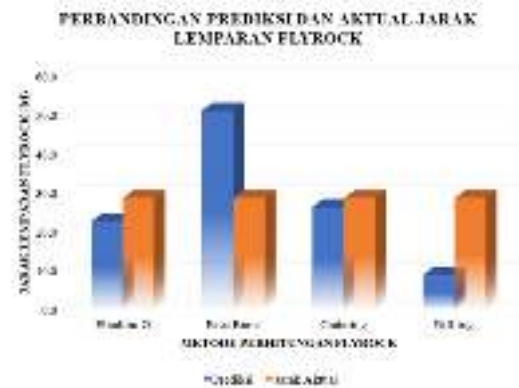
Berdasarkan hasil perhitungan teoritis jarak lemparan *flyrock* pada Pit E Utara Banko Tengah menunjukkan adanya perbedaan signifikan antara metode Ebrahim Ghasemi dan metode Richard & Moore dalam memperkirakan jarak lemparan secara teoritis. Dari hasil analisis, metode Ebrahim Ghasemi didapatkan rata-rata 22,78 meter sedangkan metode Richard & Moore pada *face burst* dengan rata-rata 51,14 meter, *cratering* 26,47 meter, dan *riffling* 9,05 meter.

4.1.4 Penghitungan *Scaled Depth of Burial (SDOB)*

Nilai perhitungan *Scaled Depth of Burial* digunakan sebagai acuan untuk menilai efektivitas hasil peledakan sebelumnya. Dari total 26 kali pengamatan peledakan di lapangan, diperoleh nilai rata-rata sebesar $1.56 \text{ m/kg}^{1/3}$

Nilai tersebut menunjukkan bahwa kegiatan peledakan yang dilakukan berada pada kategori *very controlled energy* (energi sangat terkontrol). Dengan demikian, rancangan geometri peledakan yang diterapkan dapat dinilai efektif karena berada dalam rentang “*very controlled energy*” sesuai kriteria yang telah ditetapkan:

- *Flyrock* sangat kecil
- Fragmentasi cukup bagus
- Volume batuan yang terberai mendekati maksimum
- *Vibrasi* dan *airblast* masih dapat diterima
- Pengangkatan batuan dan tumpukan batu yang menggunakan cukup bagus

4.1.5 *Perbandingan Prediksi dan Aktual***Gambar 8.** Grafik Perbandingan *Flyrock* Teoritis dan Plan

Berdasarkan grafik di atas, terlihat bahwa setiap metode memberikan hasil prediksi jarak *flyrock* yang berbeda jika dibandingkan dengan jarak sebenarnya di lapangan. Metode Ebrahim Ghasemi memprediksi jarak *flyrock* sebesar 22,78 meter, sedangkan jarak aktualnya adalah 28,76 meter, yang berarti prediksi ini sedikit lebih rendah dari kondisi sebenarnya. Sementara itu, metode Richard and Moore pada *Face burst* justru menggambarkan jarak yang sangat jauh, yaitu 51,14 meter, hampir dua kali lipat dari jarak sebenarnya, sehingga dinilai terlalu jauh dengan kondisi aktualnya. Metode *Cratering* menghasilkan prediksi 26,47 meter, yang paling mendekati hasil aktual dan bisa dikatakan cukup akurat. Di sisi lain, metode *Riffling* hanya memprediksi jarak 9,05 meter, yang terlalu rendah jika dibandingkan dengan jarak aktual, sehingga tidak cocok dijadikan acuan karena bisa membahayakan jika digunakan dalam menentukan area aman. Dari keempat metode tersebut, *Cratering* menjadi metode yang paling sesuai dengan kondisi lapangan dan lebih aman untuk dipakai dalam merencanakan jarak aman alat berat dari titik ledakan.

4.2 Pembahasan

4.2.1 *Jarak Lemparan Secara Teoritis*

Prediksi teoritis menggunakan metode Richard & Moore dan Ebrahim Ghasemi menunjukkan hasil yang berbeda. Rata-rata hasil metode Ebrahim Ghasemi adalah 22,78 meter, sedangkan metode Richard & Moore menghasilkan tiga kategori nilai yaitu: *face burst* 51,14 meter, *cratering* 26,47 meter, dan *riffling* 6,92 meter. Deviasi dari nilai aktual menunjukkan bahwa metode Richard & Moore kategori *cratering* lebih akurat, dengan deviasi 7,95% dibandingkan 20,8% untuk Ghasemi, namun nilai Ghasemi cenderung underpredict dari aktual. Maka, secara keseluruhan metode Richard & Moore tipe *cratering* lebih lebih sesuai dengan kondisi lemparan *flyrock* yang terjadi di lapangan.

4.2.2 Pengaruh Metode Airdeck dengan Lemparan Flyrock Berdasarkan Nilai SDOB

Nilai rata-rata *Scaled Depth of Burial* (SDOB) dari hasil pengolahan data yang diperoleh sebesar $1,56 \text{ m/kg}^{1/3}$. Berdasarkan klasifikasi, nilai tersebut termasuk dalam kategori *very controlled energy*, yang menunjukkan bahwa energi peledakan relatif terkunci di dalam lubang dan tidak menghasilkan pelepasan energi yang berlebihan. Kondisi ini juga berimplikasi pada minimalnya potensi *flyrock* yang terjadi.

Penerapan metode *airdeck* pada kolom bahan peledak berkontribusi dalam pengaturan distribusi energi. Adanya ruang kosong (*airdeck*) memungkinkan sebagian energi ledakan dipantulkan kembali ke dalam kolom isian bahan peledak, sehingga distribusi energi menjadi lebih merata. Dampaknya, fragmentasi batuan yang dihasilkan tetap baik, sementara fenomena *flyrock* dapat diminimalkan. Hal ini sejalan dengan kategori SDOB yang menunjukkan bahwa energi peledakan berada dalam kondisi *very controlled energy*.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

- Jarak *flyrock* aktual di Pit E Utara Banko Tengah tercatat antara 5,17–61 m dengan rata-rata 28,76 m, masih berada pada batas aman berdasarkan standar acuan.
- Prediksi teoritis menunjukkan perbedaan hasil, dimana metode Richard & Moore (kategori *cratering*) dengan rata-rata 26,47 m paling mendekati kondisi aktual dibanding metode Ghasemi dan kategori lainnya.
- Nilai rata-rata SDOB sebesar $1,56 \text{ m/kg}^{1/3}$ menegaskan bahwa energi peledakan berada pada kategori *very controlled energy*, yang berarti energi ledakan relatif terkendali dan tidak menimbulkan *flyrock* berlebihan.
- Penerapan metode *airdeck* terbukti membantu mengatur distribusi energi dalam kolom peledakan, sehingga mendukung fragmentasi batuan yang baik dengan risiko *flyrock* yang rendah.

5.2 Saran

- Penggunaan metode Richard & Moore kategori *cratering* dapat dijadikan acuan dalam memperkirakan jarak aman *flyrock* pada kondisi geologi serupa.
- Nilai SDOB sebaiknya terus dimonitor sebagai parameter evaluasi kualitas peledakan, khususnya dalam kaitannya dengan keamanan dan stabilitas energi ledakan.
- Studi lanjutan disarankan untuk menambahkan variabel geoteknik dan kualitas stemming guna memperkuat model prediksi *flyrock* secara komprehensif.

Referensi

- [1] Bhandari, S. *Engineering rock blasting operations*. p. 388. (1997)
- [2] Fikri, A., Moralista, E., & Yuliadi. Analisis Peledakan *Air Decking* terhadap Jarak Lemparan *Flyrock* guna Memperkecil Jarak Evakuasi. 5(2), 1–8. (2019)
- [3] Ghasemi, E., Sari, M., & Ataei, M. *Development of an empirical model for predicting the effects of controllable blasting parameters on flyrock distance in surface mines*. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 52, 163–170. (2012).
- [4] Jang, H., Hong, S., & Hwang, S. *Determining the Pocket Charge Design for Effective Fragmentation of Caprock in Surface Mine Blast Operations*. *Journal of the Korean Society of Mineral and Energy Resources Engineers*, 60(4), 211–222. (2023).
- [5] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 1827 K/30/MEM/2018 tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang Baik. Kementerian ESDM. (2018).
- [6] Moore, A. J., & Richards, A. B. *Golden Pike Cut-Back Flyrock Control and Calibration of a Predictive Model*. Terrock Consulting Engineers Pty Ltd, November 2005, 38. (2005).
- [7] Nababan, S. V. A., Santoso, E., & Kartini, K. Analisis prediksi jarak lemparan *flyrock* pada kegiatan peledakan di PT Darma Henwa. *Jurnal Himasapta*, 7(2), 79. (2022).
- [8] Putri, N. G. Analisis *flyrock* untuk mengurangi jarak aman minimum alat pada operasi peledakan overburden PT. Antareja Mahada Makmur site PT. Multi Harapan Utama kalimantan timur. 1–199. (2022).
- [9] Site, K., North, C., Azzahra, S., Samanlangi, A. I., & Faizah, A. Al. Kajian Teknis Geometri Peledakan terhadap *Flyrock* Hasil Peledakan di PT . Petrosea Kbl Site CCM Kalimantan Utara *Technical Study of Blasting Geometry on Flyrock Blast Results at PT . Petrosea*. 2023(1), 9–16. (2023).
- [10] Taruna, P. T., Tama, N., Syafa, A. B., & Yulhendra, D. Analisis Prediksi Jarak *Flyrock* Menggunakan Metode Richard & Moore, PT Taruna Nusa Tama. 9(2), 126–133. (2024).
- [11] Taylor, R. *Macraes Phase III Vibration and Air Blast Assessment*. (2010).
- [12] Triyanda, A., & Kopa, R.). Kajian Teknis Lemparan *Flyrock* pada Pit 303 Jembayan PT Pamapersada Nusantara Distrik Baya Kabupaten Kutai Kartanegara Kalimantan Timur. *Jurnal Bina Tambang*, 6(2), 145–156. (2021)