JURNAL SAINS DAN TEKNOLOGI
KEILMUAN DAN APLIKASI TEKNOLOGI INDUSTRI
E-ISSN : 2615-2827 P-ISSN : 1412-5455
Volume 26, Nomor 1 Tahun 2026
https://ejurnalsttind.id/index.php/SainsdanTeknologi

Integrasi Pengukuran Drone dan Model Empiris Dalam Evaluasi dan Prediksi *Flyrock* pada Peledakan *Quarry*

Riam Marlina A[1)*], M. Giatman[2)]

[1,2] Universitas Negeri Padang, Padang, Indonesia.

riammarlina@ft.unp.ac.id*; mgiatman@ft.unp.ac.id

ABSTRAK

Kegiatan peledakan dalam operasi penambangan terbuka perlu dikendalikan secara aman dan efektif, khususnya dalam pengelolaan *flyrock* yang merupakan salah satu bahaya utama pada aktivitas peledakan. Penelitian ini dilaksanakan di Bukit Tapuan *Quarry* PT Bukit Asam, Tbk. Penelitian ini bertujuan untuk menilai efektivitas rancangan peledakan *existing* serta memperkirakan jarak lemparan *flyrock* dengan menggunakan metode empiris Ebrahim Ghasemi (2012) dan Richard & Moore (2005). Data jarak aktual diperoleh melalui rekaman *video drone* yang dianalisis menggunakan perangkat lunak *Video Tracker,* sedangkan parameter teknis peledakan dikumpulkan melalui observasi langsung di lapangan dan dokumentasi perusahaan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jarak *flyrock* aktual mencapai rata-rata 64 meter, melebihi batas aman perusahaan yang ditetapkan sebesar 35 meter. Hasil prediksi dengan metode Ghasemi menunjukkan jarak rata-rata 69 meter, sementara metode Richard & Moore pada parameter *cratering* menghasilkan nilai sebesar 38 meter. Berdasarkan analisis regresi, parameter *stemming* menunjukkan pengaruh paling besar terhadap jarak *flyrock* dengan nilai R^2 sebesar 0,8128 (81,28%). Rata-rata *Scaled Depth of Burial (SDoB)* sebesar 1,32 menunjukkan bahwa energi peledakan berada dalam kategori terkontrol, meskipun kondisi aktual di lapangan masih memperlihatkan adanya *flyrock* yang melebihi batas aman. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa desain peledakan perlu dioptimalkan, terutama pada aspek stemming, powder column, dan kondisi lubang ledak, agar radius aman peledakan sesuai dengan standar yang ditetapkan oleh PT Bukit Asam, Tbk.

Kata kunci: *Flyrock, Stemming, Scaled Depth of Burial*, Metode Ebrahim Ghasemi, Richard & Moore.

ABSTRACT

Blasting activities in open-pit mining operations must be controlled safely and efficiently, particularly in managing flyrock, which is one of the main hazards in blasting activities. This reserch was conducted at the Bukit Tapuan Quarry of PT Bukit Asam, Tbk. The study aims to evaluate the effectiveness of the existing blasting design and estimate the flyrock throw distance using the empirical methods of Ebrahim Ghasemi (2012) and Richard & Moore (2005). Actual flyrock distances data were obtained from drone video recording analyzed using Video Tracker software, while technical blasting parameters werw collected through direct field observations and company documentation. The results show that the actual flyrock distance reached an averange of 64 meters, exceeding the company's safety limit of 35 meters. Prediction results using the Ghasemi method showed an averange distance of 69 meters, while the Richard & Moore method for the cratering parameter produced a value of 38 meters. Based on regression analysis, the stemming parameter had the greatest influence on flyrock distance, with an R^2 value of 0.8128 (81.28%). The average Scaled Depth of Burial (SDoB) value of 1.32 indicates that blasting energy was within the controlled category, although actual field conditions still showed flyrock exceeding the safe limit. The finding of this study indicate that the blasting design needs to be optimized, particularly in terms of stemming, powder coloumn, and blast hole conditions, so that the blasting safety radius complies with the standards established by PT Bukit Asam, Tbk.

Keywords: *flyrock, stemming, Scale Depth of Burial, Ebrahim Ghasemi Method, Richard & Moore.*

Copyright (c) 2026 Riam Marlina A, M. Giatman
DOI: https://doi.org/10.36275/zk0gaf31

PENDAHULUAN

Kegiatan peledakan pada penambangan terbuka merupakan tahapan krusial dalam pemanfaatan sumber daya mineral yang memiliki nilai ekonomi tinggi. Aktivitas ini harus dijalankan dengan keseimbangan antara efisiensi operasional, keselamatan pekerja, dan dampak lingkungan. Salah satu aspek keselamatan yang menjadi perhatian utama adalah fenomena *flyrock*, yaitu batuan yang terlempar akibat peledakan, yang dapat menimbulkan risiko terhadap pekerja, peralatan, dan kelancaran proses produksi (Ayu et al., 2024). Oleh karena itu, desain peledakan perlu di optimalkan agar tidak hanyan efisien secara teknis, tetapi juga aman dan berkenjutan.

Flyrock dipengaruhi oleh interaksi kompleks parameter teknis peledakan, seperti *burden, stemming, powder coloumn,* dan kondisi lubang ledak, dengan karakteristik geologi batuan (Aprilia & Yulianti, 2021; Azzahra et al., 2023). Dampak *flyrock* tidak hanya berupa ancaman keselamatan, tetapi juga dapat menurunkan efektivitas proses berikutnya, pemuatan dan penghancuran batuan. Berbagai pendekatan telah digunakan untuk memprediksi jarak lemparan flyrock. Metode empiris Richard & Moore (2005) dan model analisis dimensi Ghasemi (2012) sering diterapkan sebagai acuan awal, sedangkan penggunaan *scaled depth of burial (SDoB)* terbukti dapat meningkatkan akurasi evaluasi desain peledakan (Al Qudusi et al., 2024). Di sisi lain, pendekatan berbasis komputasi, termasuk *machine learning*, mulai menunjukkan kemampuan tinggi dalam memprediksi *flyrock* dengan memperhitungkan hubungan *nonlinier* antar parameter peledakan (Babaeian et al., 2023; Ding et al., 2023; Mishra et al., 2023).

Di PT Bukit Asam, Tbk, pengendalian *flyrock* menjadi fokus utama untuk memastikan radius aman peledakan sesuai kebutuhan operasional alat *Kleemaan Mobiscreen MSS 802 Evo.* Meskipun upaya pengurangan radius aman dari 64 m menjadi 35 m telah dilakukan, pengamatan di *Quarry* Bukit Tapuan menunjukkan jarak lemparan *flyrock* rata-rata masih mencapai 64 m, melebihi target yang ditetapkan. Hal ini menunjukkan adanya parameter teknis yang belum optimal, baik terkait *stemming*, kemiringan lubang, waktu delay, maupun kondisi lubang ledak itu sendiri (Ayu et al., 2024; Azzahra et al., 2023).

Meski berbagai metode prediksi *flyrock* telah digunakan, masih terdapat kesenjangan antara jarak lemparan aktual dan hasil prediksi, khususnya pada kondisi lapangan yang spesifik, seperti batuan andesit di Bukit Tapuan. Analisis komprehensif mengenai pengaruh setiap parameter teknis terhadap jarak *flyrock,* serta perbandingan akurasi antara metode empiris Ghasemi dan Richard & Moore, belum banyak dilakukan. Penelitian sebelumnya jugajarang mengintegrasikan data observasi lapangan, rekaman drone, adan analisis statistik parameter peledakan untuk menilai efektivitas desain existing secara menyeluruh.

Penelitian ini bertujuan untuk menilai efektivitas rancangan peledakan yang diterapkan saat ini di Quarry Bukit Tapuan, PT Bukit Asam, Tbk, serta memperkirakan jarak lemparan *flyrock* menggunakan metode empiris Ebrahim Ghasemi (2012) dan Richard & Moore (2005). Evaluasi ini diharapkan dapat mengidentifikasi faktor dominan yang mempengaruhi *flyrock* dan memberikan rekomendasi optimasi desain peledakan agar radius aman sesuai standar perusahaan.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif untuk menganalisis fenomena *flyrock* dan faktor teknis yang mempengaruhinya. Data dikumpulkan melalui observasi lapangan dan dokumentasi perusahaan, mencakup geometri peledakan aktual (*burden, spasi*, kedalaman dan diameter lubang, *stemming, powder factor*, dan isian per lubang), kondisi fisik lubang ledak, proses pengeboran, pengisian bahan peledak, rangkaian peledakan, serta hasil peledakan. Jarak lemparan *flyrock* diukur menggunakan rekaman video drone dan dianalisis dengan perangkat lunak Video Tracker, sedangkan data sekunder meliputi desain peledakan (*blast design*) dan

spesifikasi bahan peledak. Penelitian dilaksanakan di Bukit Tapuan Quarry, PT Bukit Asam, Tbk, Tanjung Enim, Sumatera Selatan, yang memiliki karakteristik batuan andesit sesuai objek studi.

Analisis data dilakukan secara berurutan. Pertama, seluruh parameter teknis dan hasil pengukuran jarak flyrock dimasukkan ke dalam perangkat lunak numerik. Kedua, persamaan empiris Richard & Moore (2005) dan Ghasemi (2012) diaplikasikan untuk memprediksi jarak lemparan flyrock. Ketiga, hasil prediksi dibandingkan dengan data aktual untuk mengevaluasi akurasi desain peledakan yang diterapkan. Selanjutnya, analisis statistik dilakukan untuk menilai pengaruh masing-masing parameter teknis, termasuk *stemming, burden*, kedalaman lubang, dan *powder factor,* terhadap jarak *flyrock*. Pendekatan ini memberikan gambaran komprehensif mengenai faktor dominan yang memengaruhi *flyrock* sekaligus menilai efektivitas rancangan peledakan *existing.*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis jarak lemparan *flyrock* di *Quarry* Bukit Tapuan menunjukkan bahwa rata-rata *flyrock* aktual mencapai 64 meter, jauh melebihi batas aman perusahaan sebesar 35 meter. Prediksi jarak lemparan *flyrock* menggunakan metode Ebrahim Ghasemi menunjukkan rata-rata 69 meter, sedangkan metode Richard & Moore menghasilkan jarak 38 meter untuk parameter *cratering* dan 0 meter untuk *riffling*, karena kemiringan lubang belum diukur (Tabel 1). Hasil ini mengindikasikan bahwa desain peledakan *existing* belum optimal dalam menahan flyrock agar tetap dalam radius aman.

Tabel 1. Prediksi Jarak Lemparan *Flyrock Existing*

Tanggal	Lokasi	Metode Ebrahim Ghasemi	Metode Richard and Moore		Jarak *Flyrock* Aktual (*Video Tracker*)
			Cratering	*Riffling*	
		m	m	m	m
05/02/25	*Quarry*	69	37,7	0,0	65
06/02/25	*Quarry*	70	37,7	0,0	64
10/02/25	*Quarry*	69	37,7	0,0	63
12/02/25	*Quarry*	69	37,7	0,0	61
25/02/25	*Quarry*	69	37,7	0,0	65
Rata-rata		**69**	**38**	**0,0**	**64**

Analisis *Scaled Depth of Burial (SDoB)* menunjukkan bahwa peledakan masih termasuk kategori *controlled energy*, dengan rata-rata *SDoB* sebesar 1,32 (Tabel 2). Meskipun energi peledakan tergolong terkendali, jarak *flyrock* aktual masih melampaui batas aman, menunjukkan perlunya optimasi desain peledakan.

Tabel 2. **Nilai *SDoB* Terhadap *Stemming* Data *Existing***

Tanggal	Lokasi	Stemming plan	Stemming aktual	Nilai SDoB	
		m	m	Aktual	Plan
05/02/25	*Quarry*	2,5	2,5	1,30	1,32
06/02/25	*Quarry*	2,5	2,3	1,24	1,32
10/02/25	*Quarry*	2,5	2,1	1,29	1,32
12/02/25	*Quarry*	2,5	2,5	1,15	1,32
25/02/25	*Quarry*	2,5	2,5	1,31	1,32
Rata-rata		2,5	2,5	1,26	1,32

Analisis regresi terhadap pengaruh parameter geometri terhadap *flyrock* menunjukkan bahwa *stemming* merupakan faktor dominan dengan nilai R^2 sebesar 0,8128. Untuk validasi

signifikansi model, dilakukan uji F dan uji t. Hasil uji F untuk model regresi *stemming* menunjukkan F-hitung > F-tabel, dan uji t untuk parameter *stemming* signifikan pada $p < 0,05$, menunjukkan bahwa pengaruhnya terhadap jarak *flyrock* benar-benar signifikan secara statistik. Parameter lain seperti *powder column* ($R^2 = 0,4736$) dan kedalaman lubang ($R^2 = 0,2286$) memiliki pengaruh sedang, sedangkan spasi ($R^2 = 0,0824$) dan burden ($R^2 = 0,0526$) menunjukkan pengaruh rendah dan sebagian tidak signifikan (Tabel 3).

Tabel 3. **Analisis Regresi Geometri Peledakan Existing dengan Flyrock dan Uji Statistik**

Parameter	r	R^2	Determinasi (%)	Uji t (p-value)	Signifikansi	Uji F (F-hitung)
Burden	0,2293	0,0526	5,26	0,342	Tidak signifikan	0,10
Spasi	0,2871	0,0824	8,24	0,276	Tidak signifikan	0,12
Stemming	0,9016	0,8128	81,28	5,32	Siginifikan	28,4
Kedalaman Lubang	0,4781	0,2286	22,86	1.92	Siginifikan	3,68
Powder Coloumn	0,6882	0,4736	47,36	3,04	Siginifikan	9,24

Visualisasi scatter plot dengan garis regresi untuk masing-masing parameter menunjukkan dominasi *stemming* terhadap jarak *flyrock*, diikuti oleh *powder column* dan kedalaman lubang, sedangkan *spasi* dan *burden* memiliki pengaruh lebih rendah. Dominasi *stemming* sebagai faktor utama sejalan dengan penelitian Aprilia & Yulianti (2021) dan Azzahra et al. (2023) yang menekankan pentingnya panjang dan kualitas *stemming* untuk mencegah keluarnya gas peledak sebelum energi digunakan secara optimal. Nilai SDoB rata-rata 1,32 mendukung temuan Al Qudusi et al. (2024) bahwa SDoB dapat menjadi indikator efektivitas desain peledakan.

Perbandingan metode prediksi *flyrock* menunjukkan bahwa metode Ghasemi cenderung melebih-lebihkan jarak dibanding data aktual, sedangkan metode Richard & Moore lebih konservatif, sesuai dengan literatur yang menyatakan bahwa metode empiris sensitif terhadap parameter geometri dan kondisi lubang (Babaeian et al., 2023; Ding et al., 2023). *Powder column* dan kedalaman lubang menunjukkan pengaruh sedang terhadap *flyrock*, menandakan perlunya pengaturan distribusi energi peledak. *Spasi* dan *burden* memiliki pengaruh minimal, meskipun tetap harus diperhatikan untuk menghindari konsentrasi energi berlebih.

Secara keseluruhan, optimasi desain peledakan, khususnya *stemming, powder column,* dan kedalaman lubang, sangat penting untuk menurunkan jarak *flyrock* agar memenuhi standar PT Bukit Asam, Tbk. Integrasi data lapangan, rekaman *drone*, dan analisis statistik memberikan evaluasi komprehensif terhadap faktor dominan yang memengaruhi *flyrock.*

SIMPULAN

Penelitian di *Quarry* Bukit Tapuan menunjukkan bahwa rancangan peledakan *existing* belum sepenuhnya efektif dalam menahan *flyrock*, dengan jarak aktual rata-rata 64 m, melebihi target aman 35 m. Prediksi menggunakan metode Ghasemi cenderung mendekati jarak aktual (rata-rata 69 m), sedangkan Richard & Moore lebih konservatif (38 m), meskipun kurang representatif bila data kemiringan lubang belum tersedia. Analisis regresi menegaskan bahwa *stemming* paling dominan memengaruhi jarak *flyrock* ($R^2 = 0,8128$; uji t = 5,32; F-hitung = 28,4). *Powder column* memberikan pengaruh sedang ($R^2 = 0,4736$), kedalaman lubang rendah ($R^2 = 0,2286$), sedangkan *spasi* dan *burden* paling kecil. Secara operasional, PT Bukit Asam disarankan menjaga *stemming* minimal 2,5 m dan mempertahankan SDoB ≥ 1,32 untuk memastikan radius aman, serta melakukan evaluasi *powder column* dan kondisi lubang ledak

sebelum pengisian bahan peledak. Keterbatasan penelitian mencakup jumlah sampel yang terbatas dan belum adanya pengukuran sudut kemiringan lubang. Penelitian selanjutnya disarankan memperluas sampel, mengukur kemiringan lubang, serta mempertimbangkan variabel tambahan seperti kualitas material *stemming*, distribusi energi, dan kondisi geologi untuk meningkatkan akurasi prediksi *flyrock*.

DAFTAR PUSTAKA

Alkurdi, S. (2025). ANALISIS FLYROCK UNTUK MENENTUKAN RADIUS AMAN ALAT PADA AKTIVITAS PELEDAKAN OVERBURDEN DI PIT E BANKO TENGAH PT BUKIT ASAM TBK (Doctoral dissertation, Universitas Hasanuddin).

Al Qudusi, S., Prabawa, D. & Yulanda, Y., 2024. Kajian teknis flyrock hasil peledakan berdasarkan persamaan empiris dan teori scaled depth of burial di PT Semen Padang. *Jurnal Geosapta*, 10(1). Available at: http://dx.doi.org/10.20527/jg.v10i1.16152

Andani, A., Hasriyanti, H., & Yatjong, I. (2025). Analisis Biaya Produksi Penambangan Batu Gamping Pada PT. Diamond Alfa Propertindo Kabupaten Buton Tengah Provinsi Sulawesi Tenggara. Mining Science And Technology Journal, 4(3), 131-145.

Aprilia, S. & Yulianti, A., 2021. Analisis flyrock untuk mengurangi radius aman alat pada peledakan batuan andesit di Kecamatan Margaasih, Kabupaten Bandung, Provinsi Jawa Barat. *Promine*, 9(1). https://doi.org/10.33019/promine.v9i1.2025

Ayu, N., Ariyanto, D. & Indrajaya, F., 2024. Analisis jarak lemparan flyrock akibat kegiatan peledakan di CV Kalimantan Makmur Kota Palangkaraya. *Jurnal Teknologi*, 8(1), pp. 51–59. https://doi.org/10.36873/jt.v8i1.10972

Azzahra, S., dkk., 2023. Kajian teknis geometri peledakan terhadap flyrock hasil peledakan di PT Petrosea KBL Site CCM Kalimantan Utara. *Jurnal Ekonomi dan Bisnis Energi (JEBE)*. Available at: https://journal.unibos.ac.id/jebe

Babaeian, M., Sereshki, F., Ataei, M., Nehring, M. & Mohammadi, S., 2023. Application of soft computing, statistical and multi-criteria decision-making methods to develop a predictive equation for prediction of flyrock distance in open-pit mining. *Mining*, 3, pp. 304–333. https://doi.org/10.3390/mining3020019

Ding, X., Jamei, M., Hasanipanah, M., Abdullah, R.A. & Le, B., 2023. Optimized data-driven models for prediction of flyrock due to blasting in surface mines. *Sustainability*, 15, 8424. https://doi.org/10.3390/su15108424

Ghasemi, E., Sari, M., & Ataei, M. 2012. Development of an emprical model for predicting the effect of controllable blasting parameters on flyrock distance in surface mines. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 52, 163 - 170. https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2012.03.011

Mishra, T., Mishra, R., Mishra, A.K. & Choudhary, B., 2023. High-speed motion analysis-based machine learning models for prediction and simulation of flyrock in surface mines. *Applied Sciences*, 13, 9906. https://doi.org/10.3390/app13179906

Nugraha, T. R., & Ashari, Y. (2025, August). Kajian Teknis Dampak Kegiatan Peledakan (Flyrock) Studi Kasus di PT Silva Andia Utama Kecamatan Batujajar, Kabupaten Bandung Barat, Provinsi Jawa Barat. In Bandung Conference Series: Mining Engineering (Vol. 5, No. 2, pp. 311-318).

Nopiadie, E., Saismana, U., Hakim, R.N. & Aditya, M., 2018. Kajian teknis geometri peledakan lapisan batubara di PT Pamapersada Nusantara District PT Adaro Indonesia, Kabupaten Tabalong Kalimantan Selatan. *Jurnal Geosapta*, 4(2). https://doi.org/10.20527/jg.v4i2.5168

Prihatini, K., & Marmer, D. (2025). Pengaruh Flyrock Hasil Peledakan terhadap Sarana Prasarana Bendungan Tiga Dihaji. Jurnal Riset Teknik Pertambangan, 29-38.

Richards, A.B. & Moore, A.J., 2005. Golden Pike cut-back flyrock control and calibdation of a predictive model. Terrock Consulting Engineers Report No. KCG-0503, Victoria, Australia. https://superpit.com.au/wp-content/uploads/2015/05/Terrock-Golden-Pike-Flyrock-Modelling-Report.pdf?utm_source=chatgpt.com

Rifai, A., Wijaya, R. A. E., & Pandita, H. (2025). Prediksi Jarak Lemparan Flyrock pada Aktivitas Peledakan Overburden Tambang Batubara di PIT 110 IUP PT. Kemilau Rindang Abadi. Jurnal Geosains dan Teknologi, 8(2), 85-92.