

Kajian Teknis Dampak Kegiatan Peledakan (*Flyrock*) Studi Kasus di PT Silva Andia Utama Kecamatan Batujajar, Kabupaten Bandung Barat, Provinsi Jawa Barat

Taufik Ripan Nugraha *, Yunus Ashari, Solihin

Prodi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Islam Bandung, Indonesia.

*rpnnugraha@gmail.com, yunus_ashari@yahoo.com, solihin@unisba.ac.id

Abstract. Flyrock is one of the most hazardous impacts of blasting activities, posing a significant threat to the safety of workers and nearby communities around mining areas. This study aims to examine the influence of blasting geometry parameters—such as burden, spacing, stemming, powder factor, and explosive charge—on the throw distance of flyrock, as well as to compare actual field data with predicted results. Primary data were collected directly from the field, while secondary data were obtained from literature reviews and mining permit (IUP) maps. The analysis was carried out using multiple linear regression to identify the relationship between blasting parameters and flyrock distance, accompanied by normality testing and predictive model comparison. The results indicate that the actual flyrock distance ranged from 11.2 to 147.1 meters, with an average of 52.23 meters. The parameters of powder factor, stemming, burden, and spacing were found to have significant influence, with a coefficient of determination (R^2) value of 0.825, indicating a strong model fit. Technical recommendations include adjusting the stemming length and explosive volume to effectively control flyrock and enhance operational safety.

Keywords: *Blasting, Flyrock, Blasting Geometry.*

Abstrak. Flyrock merupakan salah satu dampak berbahaya dari aktivitas peledakan yang dapat mengancam keselamatan pekerja dan masyarakat sekitar tambang. Penelitian ini bertujuan mengkaji pengaruh parameter geometri peledakan seperti burden, spacing, stemming, powder factor, dan isian bahan peledak terhadap jarak lemparan flyrock, serta membandingkan antara data aktual dan hasil prediksi. Data primer dikumpulkan dari lapangan, sedangkan data sekunder diperoleh dari literatur dan peta IUP. Analisis dilakukan menggunakan regresi linear berganda untuk mengetahui hubungan antara parameter peledakan dengan jarak flyrock, disertai uji normalitas dan perbandingan model prediksi. Hasil menunjukkan bahwa flyrock aktual berkisar antara 11,2–147,1 meter dengan rata-rata 52,23 meter. Parameter powder factor, stemming, burden, dan spacing memiliki pengaruh signifikan, dengan nilai R^2 sebesar 0,825. Rekomendasi teknis mencakup pengaturan ulang panjang stemming dan volume bahan peledak guna mengendalikan flyrock secara efektif.

Kata Kunci: *Peledakan, Flyrock, Geometri Peledakan.*

A. Pendahuluan

Peledakan merupakan kegiatan pemberaian massa batuan secara kimia dengan menggunakan bahan peledak. Proses peledakan ini merupakan salah satu metode yang paling sering digunakan dalam pemberaian batuan keras sehingga operasi penambangan dapat berjalan secara produktif dan efisien. Namun, dengan meningkatnya intensitas kegiatan peledakan, akan menimbulkan berbagai dampak salah satunya yaitu terjadinya *flyrock*. Penerapan teknik peledakan yang tidak tepat dapat menyebabkan terjadinya *flyrock* yang berpotensi merusak infrastruktur, mencederai pekerja, serta mengganggu kenyamanan masyarakat di sekitar area tambang.

PT Silva Andia Utama merupakan perusahaan yang bergerak di bidang pertambangan dengan bahan galian andesit. PT Silva Andia Utama yang terletak di Kecamatan Batujajar, Kabupaten Bandung Barat, Provinsi Jawa Barat ini melakukan kegiatan penambangan untuk menggali bahan galian dengan menggunakan kegiatan peledakan. di mana peledakan menjadi bagian dari kegiatan pemberaian batuan. Dalam industri pertambangan sering dijumpai sifat batuan yang relatif keras, sehingga tidak dapat digali secara langsung karena dapat berpengaruh pada alat gali muat. Namun dengan masih sering terjadinya *flyrock* dari kegiatan peledakan tersebut sehingga menimbulkan dampak, baik itu untuk alat gali muat angkut maupun infrastruktur yang berada di sekitar area pertambangan. Maka dari itu *flyrock* tersebut perlu untuk dikaji agar dapat dianalisis sebab dan bagaimana penanggulangannya.

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji dampak kegiatan peledakan, khususnya *flyrock*, di PT Silva Andia Utama Batujajar, Kabupaten Bandung Barat. Berdasarkan Keputusan Menteri ESDM No. 1827 Tahun 2018 jarak aman minimum lemparan adalah 300 meter sedangkan jarak yang didapatkan kurang dari minimum. Akan tetapi perlunya kajian teknis dilakukan dengan mengidentifikasi geometri serta lemparan maksimum *flyrock* prediksi dan aktual peledakan di lokasi penelitian. Faktor penyebab tersebut kemudian dikaji serta dianalisis sehingga didapatkan rekomendasi terkait bagaimana sistem pengendalian *flyrock* pada PT. Silva Andia Utama.

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka perumusan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut: “Bagaimana pengaruh parameter geometri peledakan terhadap arah dan jarak lemparan batuan?”, “Bagaimana perbandingan lemparan maksimum *flyrock* aktual dan prediksi?”, “Bagaimana rekomendasi *stemming* dan *powder factor* untuk meminimalkan jarak lemparan *flyrock*?”. Selanjutnya, tujuan dalam penelitian ini diuraikan dalam pokok-pokok sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh geometri peledakan terhadap terjadinya *flyrock*.
2. Mengetahui perbandingan lemparan maksimum *flyrock* aktual dan prediksi.
3. Mengetahui rekomendasi *stemming* dan *powder factor* yang ideal untuk meminimalkan terjadinya *flyrock*.

B. Metode

Metodologi penelitian yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian karakteristik batubara berdasarkan analisis abu batubara ini meliputi beberapa tahapan, yaitu sebagai berikut:

1. Teknik pengambilan data

Teknik pengambilan data yang dilakukan dengan mengambil data sekunder dan data primer

- a. Data primer didapat dari hasil pengamatan dan pengambilan data lapangan secara langsung dan belum di publikasikan sebelumnya. Adapun data yang didapatkan meliputi : Geometri peledakan aktual meliputi kedalaman lubang, *burden*, *spacing*, *Stemming*, *Pf*, serta rangkain yang digunakan.
- b. Data sekunder berupa data yang telah ada sebelumnya dan telah dipublikasikan, data ini dapat diperoleh dengan membaca buku, jurnal dan literatur yang ada. Adapun data yang didapatkan meliputi : Peta IUP PT. Silva Andia Utama, Kondisi iklim dan cuaca

2. Teknik Pengolahan Data

Pengolahan data yaitu dengan menghitung *flyrock* aktual dan *flyrock* prediksi, faktor yang dapat mempengaruhi terjadinya *flyrock* serta standard deviasi dari setiap variable.

3. Teknik Analisis Data

Analisis data yang dilakukan dengan menganalisis hubungan geometri peledakan terhadap jarak lemparan *flyrock* dengan regresi linear sederhana dan *Multivariat Linear Regression (MLR)*.

C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Korelasi Geometri Peledakan Terhadap *Flyrock*

Berdasarkan hasil analisis korelasi yang ditampilkan pada **Tabel 1**, terdapat hubungan yang kuat bahkan sangat kuat antara beberapa parameter geometri dengan jarak *flyrock*. Dua parameter yang paling berpengaruh adalah powder factor dan stemming, masing-masing dengan nilai koefisien korelasi sebesar 0,842 dan 0,843. Nilai ini termasuk dalam kategori hubungan sangat kuat, yang berarti perubahan kecil pada kedua variabel tersebut dapat berdampak besar terhadap *flyrock*. Selain itu, parameter seperti *burden* (0,774), *spacing* (0,752), dan tinggi jenjang (0,748) juga menunjukkan korelasi yang kuat terhadap *flyrock*. Sementara itu, kedalaman lubang menunjukkan korelasi cukup dengan nilai 0,530.

Secara teknis, nilai *powder factor* yang tinggi berarti jumlah bahan peledak per volume batuan semakin besar, sehingga menghasilkan energi ledak yang lebih besar pula. Jika energi ini tidak dikendalikan dengan baik, maka potensi *flyrock* akan meningkat. Dalam hal ini, *stemming* berperan penting sebagai penahan tekanan gas ledak di bagian atas lubang. Bila *stemming* yang digunakan terlalu tipis energi ledak akan keluar ke permukaan dan menyebabkan batuan terlempar ke arah luar.

Selain itu, data juga menunjukkan bahwa jumlah bahan peledak per lubang (*charge per hole*) memiliki hubungan yang cukup kuat terhadap *flyrock* dengan nilai korelasi sebesar 0,784. Artinya, semakin besar bahan peledak yang digunakan dalam satu lubang, semakin besar kemungkinan batuan terlempar lebih jauh jika tidak diimbangi dengan desain geometri yang tepat.

Tabel 1. Hubungan Geometri Peledakan Terhadap *Flyrock*

Geometri Peledakan	Koefisien Korelasi	Hubungan
Tinggi Jenjang (m)	0.748	Kuat
Kedalaman Lubang (m)	0.530	Cukup
<i>Burden</i> (m)	0.774	Kuat
<i>Spacing</i> (m)	0.752	Kuat
<i>Stemming</i>	0.843	Sangat Kuat
Penggunaan Bahan Peledak kg)	0.784	Kuat
<i>Powder Factor</i> (kg/m ³)	0.842	Sangat Kuat

Sumber : Data Pengolahan Hasil Penelitian, 2025

Standard Deviasi

Nilai standar deviasi digunakan untuk mengukur seberapa besar penyebaran atau variasi hasil prediksi dari suatu model terhadap nilai rata-ratanya. Dalam konteks evaluasi model prediktif, standar deviasi yang lebih kecil menunjukkan bahwa hasil prediksi model relatif konsisten sehingga model dianggap lebih representatif. Sebaliknya, standar deviasi yang lebih besar menunjukkan adanya fluktuasi yang tinggi dalam hasil prediksi, yang menandakan bahwa model kurang stabil, oleh karena itu, standar deviasi menjadi salah satu indikator penting dalam membandingkan seberapa besar tingkat keakuratan dan konsistensi antar model prediksi.

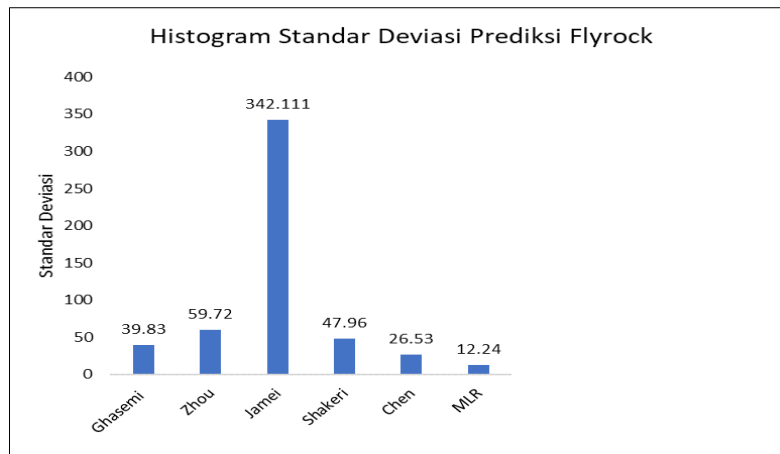
Untuk mengetahui jarak lemparan *flyrock* secara teoritis yaitu menggunakan beberapa persamaan menurut *Ghasemi*, *Chen*, *jamei*, *shakeri*, *zhou* dan pendekatan dengan metode *MLR*. Variabel yang digunakan untuk mengetahui lemparan *flyrock* secara teoritis yaitu *burden*, *spacing*, *stemming*, *hole depth*, *diameter lubang*, *isian handak*, dan *powder factor*. Dari hasil persamaan tersebut kemudian akan didapatkan nilai standar deviasi dari setiap variable yang digunakan.

Tabel 2. Standard Deviasi

Teori	Standard Deviasi
<i>Ghasemi</i>	39.83
<i>Zhou</i>	59.72
<i>Jamei</i>	342.111
<i>Shakeri</i>	47.96

Teori	Standard Deviasi
Chen	26.53
MLR	12.24

Sumber : Data Pengolahan Hasil Penelitian, 2025

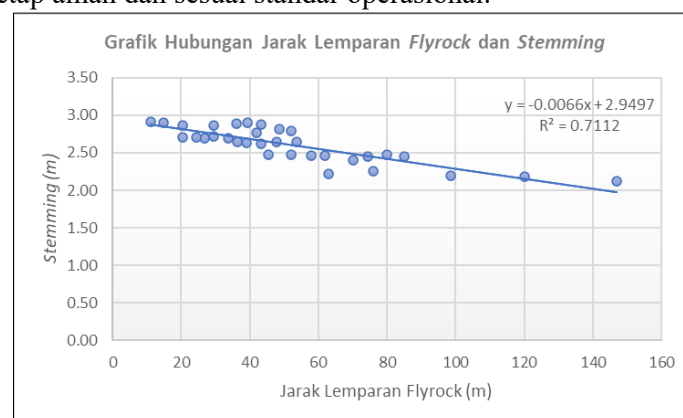


Gambar 1. Histogram Standard Deviasi *Flyrock*

Pengaruh *Stemming* Terhadap *Flyrock* Aktual

Berdasarkan Grafik hubungan jarak *flyrock* aktual dan *stemming* tersebut menunjukkan bahwa terdapat hubungan negatif antara kedua variabel tersebut. Dari grafik terlihat bahwa terdapat kecenderungan hubungan negatif (berbanding terbalik) antara kedua variabel tersebut. Hal ini diperkuat oleh persamaan regresi linear sederhana yang ditampilkan pada grafik, yaitu: $y = -0,0066x + 2,9497$, dengan nilai $R^2 = 0,7112$. Artinya, setiap peningkatan jarak *flyrock* sebesar 1 meter cenderung diikuti oleh penurunan *stemming* sekitar 0,0066 meter. Dengan kata lain, semakin pendek *stemming* yang digunakan, semakin besar kemungkinan *flyrock* terjadi dengan jarak yang lebih jauh. Sebaliknya, jika *stemming* lebih panjang, maka lemparan batuan cenderung lebih terkendali.

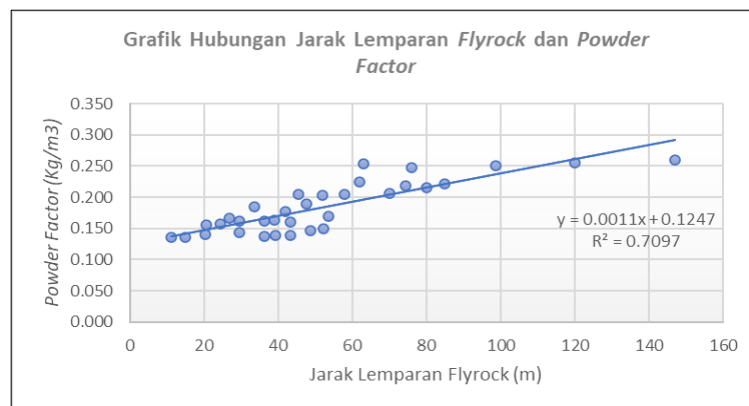
Nilai R^2 sebesar 0,7112 menunjukkan bahwa sekitar 71,12% variasi *flyrock* dapat dijelaskan oleh variabel *stemming*, yang berarti hubungan antar keduanya cukup kuat secara statistik. Hal ini menunjukkan bahwa *stemming* merupakan salah satu parameter penting dalam mengendalikan efek *flyrock*. Dari hasil ini bisa disimpulkan bahwa penggunaan *stemming* yang memadai dapat membantu meredam tekanan gas ledakan dan mengurangi risiko terjadinya *flyrock* berlebihan. Oleh karena itu, panjang *stemming* perlu dirancang secara proporsional terhadap parameter peledakan lainnya agar kegiatan peledakan tetap aman dan sesuai standar operasional.



Gambar 2. Grafik Hubungan Jarak Lemparan *Flyrock* dan *Stemming*

Pengaruh Powder Factor Terhadap *Flyrock* Aktual

Berdasarkan grafik hubungan antara jarak lemparan flyrock dan powder factor, dapat diinterpretasikan bahwa terdapat hubungan positif antara kedua variabel tersebut. Persamaan regresi linear yang diperoleh adalah $y=0.0011x+0.1247$ dimana $y=0.0011x+0.1247$, yaitu nilai koefisien regresi sebesar 0.0011 menunjukkan bahwa setiap peningkatan jarak lemparan flyrock sebesar 1 meter akan diikuti oleh kenaikan powder factor sebesar 0.0011 kg/m³. Nilai koefisien determinasi $R^2 = 0.7097$ dimana nilai tersebut mengindikasikan bahwa sekitar 70.97% variasi jarak lemparan flyrock yang terjadi dapat dijelaskan oleh pengaruh powder factor. Hasil ini menunjukkan bahwa nilai powder factor memiliki pengaruh yang signifikan terhadap flyrock yang dihasilkan, sehingga perlu diperhatikan dalam evaluasi efisiensi bahan peledak dan upaya mitigasi risiko flyrock pada kegiatan peledakan. Korelasi positif ini juga menegaskan bahwa semakin besar nilai powder factor, maka semakin besar juga kemungkinan terjadinya flyrock.

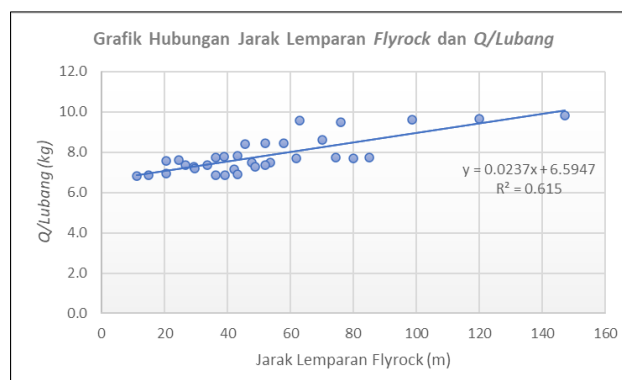


Gambar 3. Grafik Hubungan Jarak Lemparan *Flyrock* dan *Powder Factor*

Pengaruh Isian *Q/Lubang* Terhadap *Flyrock* Aktual

Berdasarkan analisis *regresi linear* pada grafik hubungan antara jarak lemparan *flyrock* dan *Q/lubang*, diperoleh persamaan $y=0.0237x+6.5947$ dimana $y=0.0237x+6.5947$. Nilai koefisien regresi sebesar 0.0237 menunjukkan adanya hubungan positif antara kedua variabel, di mana setiap peningkatan jarak lemparan *flyrock* sebesar 1 meter akan diikuti oleh kenaikan beban bahan peledak per lubang (*Q/lubang*) sebesar 0.0237 kg. Hal ini mengindikasikan bahwa semakin jauh jarak lemparan *flyrock*, semakin besar pula jumlah bahan peledak yang digunakan per lubang. Koefisien determinasi $R^2 = 0.615$ yang menandakan bahwa 61.5% variasi jarak lemparan dapat dijelaskan oleh berat isian/lubang.

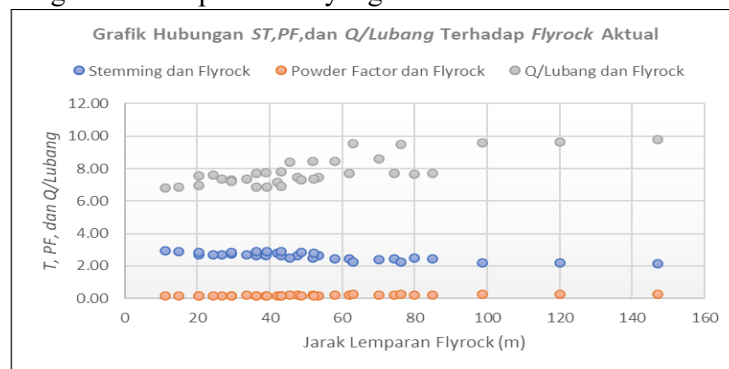
Hasil ini menunjukan bahwa berat isian per lubang memiliki pengaruh yang cukup signifikan terhadap jarak lemparan *flyrock* yang dihasilkan. Dalam konteks kegiatan peledakan, temuan ini dapat menjadi acuan untuk mengevaluasi efisiensi penggunaan bahan peledak serta mengoptimalkan desain peledakan guna meminimalkan risiko *flyrock*. Korelasi positif antara kedua variabel juga mengisyaratkan perlunya pertimbangan yang matang dalam penentuan *Q/lubang* agar tidak hanya mencapai fragmentasi yang diinginkan, tetapi juga menjaga keselamatan dengan mengendalikan jarak lemparan *flyrock*.



Gambar 4. Grafik Hubungan Jarak Lemparan *Flyrock* dan *Q/Lubang***Analisis Pengaruh *Stemming* (T), *Powder Factor* (PF), *isian/Lubang* (Q/Lubang) Terhadap Jarak *Flyrock* Aktual**

Berdasarkan gabungan 3 variabel geometri peledakan terhadap jarak lemparan *flyrock* dapat dilihat bahwa ditemukan ada kondisi di mana *flyrock* masih terlempar cukup jauh meskipun *stemming* yang digunakan tergolong tebal. Sementara itu, di beberapa kondisi tertentu justru *flyrock* tidak terlempar jauh walaupun *stemming*-nya relatif tipis. Hal ini menunjukkan bahwa ketebalan *stemming* bukan satu-satunya faktor yang memengaruhi jarak lemparan *flyrock*. Dalam pelaksanaan peledakan, ada banyak faktor yang saling berkaitan dan memengaruhi hasil akhirnya, seperti nilai *Powder Factor* (PF), jumlah bahan peledak per lubang (Q), serta kondisi geologi di sekitar lubang ledak.

Pada prinsipnya, *stemming* yang tebal bertujuan untuk menahan tekanan gas agar tidak langsung keluar ke permukaan sehingga diharapkan dapat mengurangi resiko terjadinya *flyrock*. Namun, pada kenyataannya kondisi di lapangan tidak selalu sesuai dengan teori. Jika material *stemming* tidak dipadatkan dengan baik, terlalu basah, atau tidak sesuai secara teknis, maka gas peledakan tetap bisa lolos ke permukaan dan menyebabkan lemparan batuan yang cukup jauh. Sebaliknya, pada beberapa data dapat dilihat, meskipun *stemming* tipis, jika kombinasi antara PF dan Q sudah cukup optimal dan batuan memiliki karakteristik yang mendukung, maka *flyrock* bisa lebih terkendali dan tidak melampaui jarak yang membahayakan. Kondisi ini menunjukkan bahwa *flyrock* merupakan hasil dari hubungan berbagai variabel peledakan, bukan hanya satu faktor tunggal seperti *stemming*. Oleh karena itu, evaluasi terhadap potensi *flyrock* harus dilakukan secara menyeluruh dengan mempertimbangkan semua parameter yang ada.

**Gambar 5.** Grafik Hubungan *ST*, *PF*, dan *Q/Lubang* Terhadap *Flyrock* Aktual**Analisis Pengaruh Kemiringan Lubang Ledak Terhadap *Flying Rock***

Flyrock dapat juga disebabkan oleh kemiringan lubang ledak. Karakteristik batuan perlu untuk ditinjau dan diketahui, karena akan berhubungan dengan arah pengeboran. Adapun arah pengeboran dengan kemiringan biasanya menyebabkan variasi di bagian atas dan bawah jenjang. Ketika dekat dengan crest, hal tersebut dapat menyebabkan “blow out” dan mengakibatkan *flyrock*. Sedangkan pada arah pengeboran vertikal, maka akan menyebabkan energi antar lubang dalam satu baris terkumpul dan menyebabkan penyebaran energi ke arah free face berkurang. Batuan akan cenderung bergerak dan terlempar ke arah atas dan berpotensi menyebabkan *flyrock*.

D. Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan dalam penelitian ini, peneliti menyimpulkan beberapa hasil penelitian sebagai berikut:

Geometri peledakan sangat berpengaruh terhadap terjadinya *flyrock*, dimana *stemming* dan *powder factor* menjadi variabel utama dalam terjadinya *flyrock*. Dari data dapat dilihat bahwa nilai R^2 *stemming* sebesar 0,7112 dan *powder factor* 0,7097 yang dimana dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa 70% lebih terjadinya *flyrock* adalah pengaruh dari kedua variabel tersebut.

Berdasarkan perbandingan antara jarak *flyrock* aktual dan prediksi menunjukkan bahwa sebagian besar hasil pengamatan masih berada dalam batas aman dengan lemparan rata-rata yaitu 52,23 m, berdasarkan kepmen 1827/K/30/MEM/2018 ditetapkan bahwa jarak aman minimum yaitu 300 meter sehingga jarak lemparan tersebut masih memenuhi regulasi yang ditetapkan. Pendekatan

prediktif menggunakan model *Multiple Linear Regression (MLR)* menunjukkan tingkat akurasi tertinggi dengan *standar deviasi* terkecil (12,24), sehingga model ini dinilai paling sesuai untuk digunakan dalam memprediksi risiko *flyrock* di area tambang tersebut.

Berdasarkan simulasi penggunaan *stemming* dan *powder factor*, maka dapat direkomendasikan bahwa *stemming* yang ideal untuk digunakan yaitu 2,7 m dengan *powder factor* 0,174 kg/m³. Sehingga *flyrock* dapat terkontrol dan meminimalkan potensi terjadinya *flyrock*.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Yunus Ashari, M.T. Selaku Ketua Prodi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik Universitas Islam Bandung Sekaligus Dosen Pembimbing Skripsi Penyusun Yang Selalu Membimbing dan Senantiasa Mengarahkan Dalam Proses Penyusunan Skripsi.
2. Bapak Ir. Zaenal, M.T. Selaku Koordinator Skripsi Yang Senantiasa Mengarahkan Dalam Kelancaran Pelaksanaan Kegiatan Skripsi.
3. Bapak Noor Fauzi Isniarno., S.SI., M.T. Selaku Sekretaris Prodi Teknik Pertambangan.
4. Bapak Dr. Solihin, Ir., M.T Selaku Dosen Co Pembimbing Skripsi Penulis
5. Ibu Sriyanti S.T., M.T. Selaku Dosen Wali Penulis Yang Senantiasa Mengarahkan Serta Membimbing Dalam Proses Perkuliahan.
6. Seluruh Bapak/Ibu Dosen Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Islam Bandung.

Daftar Pustaka

- Alif Dhito Renaldhy, Sri Widayati, & M.Rahman Ardhiansyah. (2024). Desain Teknis Pemanfaatan Lahan Bekas Tambang PT. Gunung Kulalet. *Jurnal Riset Teknik Pertambangan*, 143–150. <https://doi.org/10.29313/jrtp.v4i2.5216>
- Arif Mangkusagara, Zaenal, & Noor Fauzi Isniarno. (2024). Kajian Geometri Jalan Angkut dari Lokasi Loading Point Menuju Lokasi Dumping. *Jurnal Riset Teknik Pertambangan*, 109–116. <https://doi.org/10.29313/jrtp.v4i2.5144>
- Rosdiana, H., Ashari, Y., & Fauzi Isniarno, N. (2025). *Pengaruh Intensitas Curah Hujan terhadap Kegiatan Pemompaan pada Sump Berdasarkan Water Balance di PT XYZ A B S T R A K*. <https://journal.sbpublisher.com/index.php/minetech>
- Al Zhahra, D., Wiyono, B., & Anton, S. (2022). *PREDIKSI JARAK LEMPARAN FLYROCK DENGAN METODE ANALISIS DIMENSI SERTA RICHARD DAN MOORE AKIBAT KEGIATAN PELEDAKAN PADA TAMBANG BIJIH EMAS*. <https://doi.org/10.36986/impj.v4i2.74> 145
- Bhandari, S.1997. *Engineering Rock Blasting Operations*. Rotterdam: A.A. Balkema.
- Chen, Y., Wang, M., Yin, H., & Zhang, T. (2023). Prediction of flyrock distance induced by blasting using particle swarm optimization and multiple regression analysis: an engineering perspective. *Acta Geophysica*, 66. <https://doi.org/10.1007/s11600-023-01247-6>
- Ghasemi, E., Sari, M., & Ataei, M. (2012). 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. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2012.03.011>
- Hasanipanah, M., Shirani, R., Danial, F., & Armaghani, J. (2017). Development of a precise model for prediction of blast-induced flyrock using regression tree technique. *Environmental Earth Sciences*. <https://doi.org/10.1007/s12665-016-6335-5>
- Jamei, M., Hasanipanah, M., Karbasi, M., Ahmadianfar, I., & Taherifar, S. (2021). Prediction of flyrock induced by mine blasting using a novel kernel-based extreme learning machine. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 13(6), 1438–1451.

<https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2021.07.007>

Jimeno, C. L. 1995. Drilling and Blasting of Rocks. S.A Company, USA.

Kecojevic, V., & Radomsky, M. (2005). Flyrock phenomena and area security in blasting-related accidents. *Safety Science*, 43(9), 739–750. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2005.07.006>

Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Republik Indonesia Nomor 1827 K/30/MEM/2018 tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang Baik.

Lundborg, N. (1974). The hazards of flyrock in rock blasting. *Swedish Detonic Research Foundation, Reports DS, 12*.

Richards, A. B., & Moore, A. J. (2005). Golden Pike Cut-Back Flyrock Control and Calibration of a Predictive Model. *TERROCK Ceonsulting Engineers, November 2005*, 1–19.

Shakeri, J., Khoshalan, H. A., Dehghani, H., Bascompta, M., & Onyelowe, K. (2022). Developing New Models for Flyrock Distance Assessment in Open-Pit Mines. *Journal of Mining and Environment*, 13(2), 377–391. <https://doi.org/10.22044/jme.2022.11805.2170>

Singh, P. K., & Roy, M. P. (2005). *Blasting in Underground Coal Mines*. Taylor & Francis.

T. S. Bajpayee, Harry C. Verakis, and T. E. L., & Abstract. (2002). *An Analysis and Prevention of Flyrock Accidents in Surface Blasting Operations by T. S. Bajpayee, Harry C. Verakis, and Thomas E. Lobb*.

Trivedi, R., Singh, T. N., & Raina, A. K. (2014). Prediction of blast-induced flyrock in Indian limestone mines using neural networks. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 6(5), 447–454. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2014.07.003>

Zhou, J., Aghili, N., Ghaleini, E. N., Bui, D. T., Tahir, M. M., & Koopialipour, M. (2020). A Monte Carlo simulation approach for effective assessment of flyrock based on intelligent system of neural network. *Engineering with Computers*, 36(2), 713–723. <https://doi.org/10.1007/s00366-019-00726-z>