

Prediksi Tingkat *Airblast* terhadap Peledakan Di CV Panghegar Purwakarta Studi Kasus Pemukiman di Sekitar CV Panghegar

Dhyaz Kresna Palangan *, Yuliadi, Sriyanti

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

*dhyazkresnapalangan20085@gmail.com, yuliadi@unisba.ac.id, sriyanti.tambang@yahoo.com

Abstract. Blasting is a common and efficient method for breaking hard rock in quarry mining operations. However, it also produces unwanted effects such as airblast—air pressure waves that can disturb surrounding communities and damage infrastructure. Managing and predicting airblast levels is crucial to ensure they remain below the acceptable limit of 120 dB, as regulated by SNI 7570:2023. This study was conducted at CV Panghegar, an andesite quarry located near residential areas in Purwakarta, West Java. A total of 55 blasting events were monitored, the highest recorded airblast was 85.7 dB, which is below the regulatory threshold. The objectives of the study were to: Determine the actual airblast levels near residential areas. Predict airblast using parameters such as distance, explosive weight, and blast geometry. Evaluate the prediction accuracy of Multiple Linear Regression (MLR) and Artificial Neural Network (ANN) methods. The MLR method yielded the following equation for airblast prediction: $Y = -0.172 \times \text{Distance} + 0.545 \times \text{MC} + 64.856$. In parallel, the ANN model—using inputs like burden, spacing, stemming, explosive weight, and distance—showed higher prediction accuracy than traditional empirical formulas. The study concludes that ANN offers better accuracy in predicting airblast and is suitable for supporting safer and more environmentally friendly blasting operations.

Keywords: *Airblast, Quarry, Blasting, Blast Geometry, Blasting Parameters, SNI 7570:2023, MRL, ANN.*

Abstrak. Peledakan merupakan metode umum dalam kegiatan penambangan batuan keras seperti andesit. Namun, selain menghasilkan fragmentasi batuan, kegiatan ini juga menimbulkan efek samping yang merugikan seperti airblast, yaitu gelombang tekanan udara yang dapat mengganggu lingkungan dan masyarakat sekitar. Oleh karena itu, prediksi dan pengelolaan airblast menjadi penting agar tidak melebihi ambang batas yang ditentukan, yaitu 120 dB sesuai SNI 7570:2023. Penelitian ini dilakukan di CV Panghegar, sebuah tambang kuari batu andesit yang berdekatan dengan pemukiman warga. Pengukuran dilakukan terhadap 55 data peledakan aktual untuk memperoleh nilai airblast maksimum. Hasilnya menunjukkan bahwa nilai airblast tertinggi adalah 85,7 dB, yang masih berada di bawah ambang batas. Tujuan utama dari penelitian ini adalah mengetahui dan menentukan prediksi airblast berdasarkan parameter peledakan seperti jarak, berat bahan peledak, geometri lubang ledak, dan lain-lain serta menganalisis dan membandingkan metode Regresi Linear Berganda (MRL) dan Artificial Neural Network (ANN) dalam memprediksi airblast. Dengan metode yang digunakan meliputi: Regresi Linear Berganda, menghasilkan persamaan prediksi: $Y = -0,172 \times \text{Jarak} + 0,545 \times \text{MC} + 64,856$. Metode Artificial Neural Network (ANN) dengan input variabel geometri dan peledakan. Rekomendasi dari penelitian ini adalah optimasi geometri peledakan agar lebih efisien tanpa menimbulkan dampak kebisingan berlebih. MRL dan ANN terbukti sebagai metode yang sangat potensial untuk implementasi monitoring dan perencanaan peledakan.

Kata Kunci: *Airblast, Quarry, Peledakan, Parameter Peledakan, Geometri Peledakan, SNI 7570:2023, MRL, ANN.*

A. Pendahuluan

Peledakan merupakan cara yang paling efisien dan umum untuk memecah batuan keras dimana batu diledakan menjadi ukuran-ukuran kecil dalam operasi penambangan batu, atau menjadi bongkah-bongkah besar untuk beberapa aplikasi teknik pertambangan. Dalam kegiatan peledakan, setiap dilakukan ledakan terhadap bahan peledak dapat menghasilkan airblast dan fenomena sementara ini berlangsung selama beberapa detik.

Airblast merupakan nilai yang tidak diinginkan dari kegiatan peledakan yang terkait dengan beberapa parameter seperti desain peledakan. Airblast dihasilkan oleh gelombang kejut besar dari titik ledakan ke permukaan bebas. Airblast yang merambat terdiri dari suara frekuensi tinggi yang terdengar dan suara frekuensi rendah yang tidak terdengar.

Berdasarkan parameter-parameter yang berpengaruh pada airblast, banyak upaya yang telah dilakukan untuk menetapkan korelasi untuk prediksi airblast. Menetapkan hubungan empiris antara airblast dan dua parameter yaitu jarak dan berat bahan peledak yang merupakan variabel paling penting pada airblast. Oleh karena itu, perlu adanya upaya yang lebih serius dalam mengelola dan mengurangi risiko yang terkait dengan fenomena airblast yang terjadi di sekitar area penambangan tersebut yang dapat dikaji dengan dasar pada Standar Nasional Indonesia (SNI 7570:2023) yaitu penggunaan bahan peledak terhadap airblast yang perlu diatur agar kurang dari 120 dB yang dihasilkan.

Dampak airblast sangat perlu diperhatikan karena dapat menyebabkan kerugian terhadap kenyamanan masyarakat sekitar dan berdampak juga pada infrastruktur yang terdapat di dekat lokasi penambangan yang mengakibatkan terjadinya konflik antara manajemen tambang dan mereka yang terkena dampak dari kegiatan peledakan ini, sehingga penelitian ini diajukan untuk mengurangi dampak negatif airblast yang dihasilkan, airblast dari kegiatan peledakan di CV Panghegar masih dibawah nilai ambang batas yaitu 85,7 dB sehingga dapat dilakukan optimasi penggunaan bahan peledak yang nantinya geometri peledakan dapat berubah.

Terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi terhadap tingkat udara akibat dari kegiatan peledakan menurut (Permana et al., 2019).

1. Pola Peledakan

Pola peledakan yang digunakan akan mempengaruhi nilai getaran yang dihasilkan karena pola peledakan akan mempengaruhi jumlah lubang ledak yang meledak bersamaan. Pola peledakan yang dapat memastikan tidak adanya lubang yang meledak secara bersamaan merupakan pola hole by hole.

2. Jumlah Muatan Bahan Peledak per Waktu Tunda

Besarnya nilai getaran dapat dipengaruhi oleh jumlah muatan berat total bahan peledak per waktu tunda. Besar kecilnya intensitas getaran peledakan bergantung kepada jumlah berat bahan peledak maksimum yang meledak secara bersamaan pada interval waktu.

3. Jarak dari Lokasi Peledakan

Jarak pada titik peledakan akan memberikan pengaruh yang besar terhadap getaran yang dihasilkan, sama halnya dengan muatan maksimal bahan peledak per waktu tunda. Semakin dekat jarak antara titik peledakan dengan pengukuran getaran, maka getaran yang terukur akan semakin besar.

Energi yang dihasilkan dari bahan peledak akan ditransmisikan ke massa batuan, dimana energi tersebut berbentuk gelombang yang menghancurkan massa batuan di sekitar lubang ledak. Gelombang tersebut mempunyai karakteristik yang menentukan besarnya energi yang dihasilkan yaitu amplitudo, frekuensi, dan durasi. Nilai amplitudo yang dihasilkan ditunjukkan dengan percepatan, kecepatan, dan perpindahan partikel, sedangkan frekuensi ditentukan dengan jarak simpangan gelombang (Canima et al., 2019).

Dengan tidak adanya pemantauan atau monitoring, penggunaan Scaled Distance adalah metode lain untuk memprediksi AOp atau Airblast Overpressure yaitu sebuah hubungan antara jarak dan berat muatan peledakan per delay yang digunakan melalui nilai Scaled Distance dimana SD dirumuskan dengan persamaan 3.6 sebagai berikut:

$$SD = DW^{-0.33} \quad (1)$$

Keterangan:

SD : Scaled Distance

D : Jarak (m)

W : Berat muatan bahan peledak (kg)

Untuk membangun hubungan antara nilai Airblast Overpressure (AOp) dan scaled distance (SD) jika data yang cukup tersedia. Dalam kata lain, dijelaskan bahwa jika data AOp dan SD yang cukup diperoleh dari lokasi peledakan, maka dapat dibuat sebuah persamaan matematis yang dapat memprediksi nilai AOp pada lokasi peledakan lainnya dengan jarak tertentu. Untuk membangun persamaan tersebut, digunakan teknik analisis statistik seperti analisis regresi least squares. Hasil analisis tersebut kemudian digunakan untuk mengembangkan rumus attenuasi AOp yang dapat disesuaikan untuk kondisi lokasi yang spesifik. Pembentukan rumus attenuasi AOp spesifik untuk lokasi tertentu ini berguna dalam melakukan prediksi terhadap dampak suara peledakan di lokasi yang sama dan untuk merencanakan tindakan mitigasi untuk meminimalkan dampak suara tersebut. (White TJ 1993, Rosenthal MF 1997, Cengiz K 2008)

Untuk memprediksi tingkat intensitas gelombang tekanan airblast (Airblast Overpressure/AOp) dari suatu operasi peledakan berdasarkan faktor jarak terukur (scaled distance factor/SD) dan faktor kemiringan atau kecuraman lereng tempat peledakan (site factor/H) dengan persamaan 3.7 menurut M.Hajihassani sebagai berikut :

$$AOp = H(SD) - \beta \quad (2)$$

Keterangan:

AOp: Airblast level (dB)

H: Site Faktor

B: Site Faktor

SD: Scaled Distance

Dalam persamaan tersebut, H dan B adalah parameter tetap yang bergantung pada kondisi tertentu lokasi peledakan. Persamaan ini didasarkan pada asumsi bahwa AOp menurun secara matematis dengan meningkatnya jarak dan kemiringan tempat peledakan. SD memperhitungkan kedua variabel tersebut dan memberikan faktor pengali untuk H dalam persamaan.

Dalam konteks teknik peledakan, persamaan ini dapat digunakan sebagai alat bantu untuk memprediksi tingkat dampak akustik suatu peledakan dan merencanakan tindakan untuk meminimalkan dampak tersebut (Tabel 1). Penentuan nilai parameter H dan B untuk kondisi tertentu biasanya dilakukan melalui eksperimen lapangan dan kajian literatur sebelum dilakukan sebuah operasi peledakan.

Tabel 1. Site factors, H and b for different blasting conditions

Source	Description	H	B
USBM	Quarry blasts, behind face	622	0,515
	Quarry blasts, direction of initiation	19010	1,12
	Quarry blasts, front of face	22182	0,966
ISEE	Confined blasts for AOp suppression	1906	1,1
	Blasts with average burial of the charge	19062	1,1
Hustrulid	Detonations in air	185000	1,2
	Quarry blasts in competent rock	261,54	0,706
Kuzu et al	Quarry blasts in weak rock	1833,8	0,981
	Overburden removal	21014	1,404

Sumber: (Richards & Moore, 2005)

Analisis regresi adalah teknik statistika yang mencari hubungan fungsional linear antara variabel prediktor dan variabel respons. Namun, analisis korelasi adalah jenis analisis yang digunakan untuk mengukur seberapa kuat hubungan dua variabel. Kata “variabel” mengacu pada atribut dari subjek yang diteliti. Dalam analisis regresi, ada dua jenis variabel: variabel respons, atau variabel dependen (Y), dan variabel prediktor, atau variabel independen (X). Variabel respons (Y) disebut sebagai variabel yang dipengaruhi, dan variabel prediktor (X) disebut sebagai variabel yang mempengaruhi. Analisis regresi linier sederhana hanya melihat satu variabel prediktor, sedangkan analisis regresi linier berganda melihat dua atau lebih variabel prediktor. Analisis regresi adalah jenis analisis statistik yang menyelidiki bagaimana dua atau lebih variabel kuantitatif berinteraksi satu sama lain sehingga mungkin untuk meramalkan atau memprediksi salah satu variabel Table 3.4. Nilai korelasi Nilai-nilai koefisien ini bervariasi dari -1 sampai +1. Koefisien korelasi sebesar -1

menunjukkan korelasi negatif sempurna, sedangkan +1 menunjukkan korelasi positif sempurna.

Tabel 2. Korelasi dan Kekuatan Korelasi

Nilai Korelasi (r)	Tingkat Korelasi
0,00-0,199	Sangat Lemah
0,200-0,399	Lemah
0,400-0,599	Cukup
0,600-0,799	Kuat
0,800-1	Sangat Kuat

Sumber: (Yuliadarwati et al., 2020)

Multiple Linear Regression (MLR) digunakan sebagai salah satu alat statistik umum untuk menentukan persamaan linier antara lebih dari satu variabel bebas dan satu variabel terikat. Model ini banyak digunakan oleh peneliti untuk memecahkan berbagai masalah Teknik. (Rezaei M et al 2011, Tripathy A et al 2015)

Regresi linier berganda adalah metode statistik yang digunakan untuk memprediksi nilai variabel dependen dengan menggunakan dua atau lebih variabel independen. Model regresi linier berganda dapat dinyatakan pada persamaan 3.8 sebagai berikut:

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_kX_k \quad (3)$$

Dimana:

Y : variabel dependen

a : konstanta

b₁, b₂, ..., b_k : koefisien regresi

X₁, X₂, ..., X_k : variabel independen

Ketentuan-ketentuan dalam pengujian Multiple Linear Regression:

1. Jumlah data harus lebih besar dari jumlah variabel independen ditambah 2;
2. Variabel dependen harus memiliki variansi yang konstan;
3. Variabel independen tidak boleh memiliki korelasi yang tinggi;
4. Koefisien determinasi (R²) harus cukup tinggi.

Menurut Nayeibi, 2020 dalam analisis Multiple Linear Regression diperlukan beberapa asumsi untuk dapat melakukan uji hipotesis penelitian dengan uji asumsi klasik seperti uji normalitas data, untuk melihat asumsi bahwa model regresi terdistribusi secara normal.

Artificial Neural Network (ANN) adalah salah satu metode dalam kecerdasan buatan yang terinspirasi dari cara kerja otak manusia dalam memproses informasi. ANN terdiri dari sekumpulan neuron buatan yang tersusun dalam beberapa lapisan (layers), dan bekerja secara paralel untuk mengenali pola serta membangun hubungan kompleks antar data. Metode ini sangat efektif dalam menyelesaikan permasalahan non-linear, termasuk dalam bidang geoteknik dan pertambangan, di mana hubungan antar variabel tidak selalu dapat dijelaskan secara linier. Dalam konteks kegiatan peledakan di tambang, salah satu dampak lingkungan yang paling signifikan adalah airblast atau ledakan udara, yang dapat menimbulkan gangguan terhadap masyarakat sekitar dan berpotensi merusak struktur bangunan jika melebihi ambang batas. Besarnya tekanan udara dari airblast dipengaruhi oleh berbagai variabel seperti jumlah bahan peledak per delay, kedalaman lubang ledak, burden dan spacing, jenis batuan, serta jarak pengukuran dari sumber ledakan. Kompleksitas hubungan antar parameter ini menjadikan ANN sebagai salah satu pendekatan yang sangat tepat untuk memprediksi tingkat kebisingan dan tekanan udara (dB) akibat peledakan.

Keunggulan utama ANN dalam prediksi airblast adalah kemampuannya untuk belajar dari data historis, mengenali pola tersembunyi, dan melakukan generalisasi terhadap data baru tanpa perlu

mengetahui bentuk persamaan matematis eksplisit dari fenomena yang dipelajari. Dibandingkan dengan pendekatan empiris tradisional seperti USBM dan ISEE, ANN cenderung menghasilkan akurasi prediksi yang lebih tinggi, ditunjukkan oleh nilai koefisien determinasi (R^2) yang lebih besar serta nilai deviasi standar yang lebih kecil dalam berbagai studi.

Dengan mempertimbangkan potensi risiko dan pentingnya pengendalian dampak lingkungan dari peledakan, penerapan ANN dalam sistem prediksi airblast tidak hanya meningkatkan ketepatan estimasi, tetapi juga mendukung perencanaan peledakan yang lebih aman, efisien, dan ramah lingkungan.

B. Metode

Penelitian ini dilakukan pada CV Panghegar. Pengambilan data berdasarkan dari data primer yang dimana data tersebut didapat dari lokasi penelitian dengan berbagai kegiatan dalam pengambilan data nya seperti data geometri peledakan, data airblast hasil peledakan, jenis bahan peledak, peta situasi aera peledakan, dan koordinat titik pengamatan dan titik peledakan.

Data yang sudah didapat berupa data primer dan data sekunder kemudian diolah menjadi sebuah peta untuk menentukan nilai titik koordinat pengukuran nilai airblast. Nilai prediksi airblast dihitung menggunakan parameter jarak peledakan aktual yang diperoleh dan penggunaan bahan peledak aktual. Selanjutnya menghitung nilai standar deviasi pada perhitungan empiris dengan nilai airblast aktual.

Data yang sudah diolah maka dianalisis dengan cara melihat parameter yang berpengaruh terhadap besarnya nilai airblast dan jarak pengukuran dari hasil analisis regresi linear. Menganalisis hubungan nilai airblast peledakan dengan jarak pengukuran.

C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

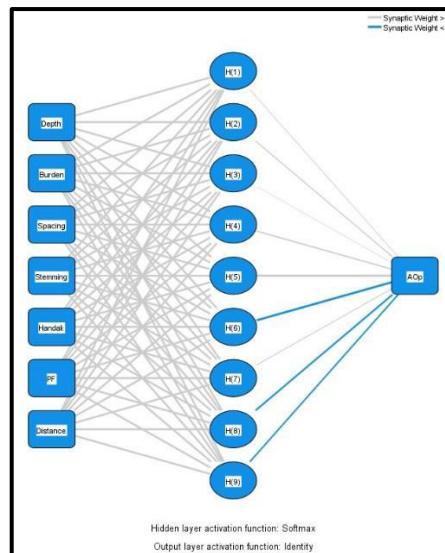
Dengan melihat beberapa asumsi atau persyaratan yang perlu dipenuhi dalam pengujian model regresi berdasarkan hasil perhitungan dengan multiple regression linear diperoleh koefisien. Kemudian dari hasil koefisien tersebut disubstitusikan pada persamaan yang telah di tentukan. Sehingga diperoleh persamaan untuk dapat mengetahui prediksi airblast pada lokasi penelitian. Dari hasil koefisien multiple linear regression diperoleh C1, C2, dan C3, berturut-turut sebesar -0.172; 0.545; dan 64.856.

Nilai -0.172 (koefisien untuk jarak) Ini menunjukkan bahwa ada hubungan negatif antara jarak dan airblast. Artinya, semakin jauh jaraknya, semakin kecil nilai airblast. Selain itu 0.545 (koefisien untuk MC) Ini menunjukkan ada hubungan positif antara variabel MC dan airblast. Artinya, semakin besar nilai MC, semakin besar pula nilai airblast. Dan untuk 64.856 (konstanta) Ini adalah nilai dasar atau intercept dari persamaan.

$$Y = (C1 \times X1) + (C2 \times X2) + C3 \quad (4)$$

$$Y = (-0.172 \times Jarak) + (0.545 \times MC) + 64.856$$

Berikut merupakan hasil analisis prediksi airblast menggunakan metode Artificial Neural Network (ANN). Model ANN ini dirancang untuk mengevaluasi hubungan kompleks antara berbagai parameter peledakan seperti kedalaman lubang (Depth), burden, spacing, stemming, jumlah bahan peledak (Handak), powder factor (PF), dan jarak terhadap titik pengukuran (Distance) dengan nilai hasil pengukuran airblast (AOp). Arsitektur jaringan terdiri dari satu lapisan tersembunyi dengan sembilan neuron yang menggunakan fungsi aktivasi Softmax, serta satu neuron output dengan fungsi aktivasi Identity. Visualisasi jaringan menunjukkan bobot sinaptik antara input, hidden layer, dan output, dengan garis abu-abu menunjukkan bobot positif dan biru untuk bobot negatif (Gambar 4.8). Analisis ini bertujuan untuk memprediksi besar nilai airblast yang dihasilkan dari parameter-parameter yang ada, serta membantu dalam proses evaluasi risiko terhadap lingkungan sekitar akibat aktivitas peledakan.



Gambar 1. Analisis Prediksi Airblast menggunakan metode Artificial Neural Network (ANN)

Standar deviasi dapat digunakan untuk mengetahui ukuran dari penyebaran suatu data atau untuk mengetahui penyimpangan data dari prediksi airblast. Dari hasil standar deviasi (Tabel 4.8) simpangan yang paling dekat yaitu dengan metode Artificial Neural Network dan multiple linear regression dengan nilai standar deviasi secara berturut-turut sebesar 3,81 dan 3,98, maka dari itu untuk dapat mengoptimalkan prediksi airblast dengan simulasi multiple regression linear dapat digunakan rumus persamaan yang ada.

Tabel 3. Standar Deviasi Prediksi Airblast

USBM	Quarry Blasts, Behind Face	48,55
ISEE	Confined blasts for AOp suppression	24,50
	Hustrulid	4178,65
Kuzu et al	Quarry blasts in competent rocks	43,29
	MLR	3,98
	ANN	3,81

D. Kesimpulan

Airblast yang dihasilkan terbesar yaitu sebesar 85,7 dB dengan jarak 50 m sehingga dengan nilai tersebut untuk jarak aman dengan pemukiman di sekitar area penambangan masih dianggap aman apabila digunakan teori SNI 7570:2023 dengan pemukiman tersebut masih dibawah nilai ambang batas yaitu 120 dB.

Pengoptimalisasian bahan peledak didasarkan pada target produksi dan dampak negatif yang dihasilkan. Terdapat bahan peledak yang optimal dalam mengurangi tingkat airblast dan memperhatikan nilai ambang batas baku tingkat kebisingan pada kegiatan tambang terbuka terhadap bangunan kelas 2 yaitu 50,92 kg dengan jarak terdekat dari lokasi peledakan menuju pemukiman sekitar 224,74 meter. Pada penggunaan bahan peledak untuk mengurangi airblast dilakukan perhitungan prediksi airblast yang dimana untuk nilai prediksi yang didapat masih dibawah nilai ambang batas yaitu 53.99 dB.

Berdasarkan hasil analisis dan pemodelan empiris, penelitian ini berhasil menetapkan

hubungan yang signifikan antara jarak terhadap titik ledakan dan berat bahan peledak dengan tingkat airblast yang dihasilkan. Model empiris yang dikembangkan menunjukkan bahwa peningkatan berat bahan peledak dan penurunan jarak secara signifikan dapat meningkatkan tingkat airblast. Persamaan yang dihasilkan memiliki koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,7147 atau 71,47 %, yang menunjukkan tingkat keakuratan prediksi yang kuat. Dengan demikian, model ini dapat digunakan sebagai acuan awal untuk memperkirakan tingkat airblast dan membantu perancangan peledakan yang lebih aman, khususnya dalam kegiatan peledakan yang berdekatan dengan area sensitif seperti pemukiman.

Ucapan Terimakasih

Alhamdulillah, puji syukur kehadirat Allah SWT Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang dan atas segala limpahan rahmat, karunia, serta hidayah-Nya sehingga penyusun dapat menyelesaikan Skripsi ini. Terima kasih kepada kedua orang tua yang telah memberikan segala upaya dan jerih payah yang tiada tara kepadaku anakmu ini. Terima kasih kepada keluarga besar yang menyemangati penyusun dari awal hingga akhir masa perkuliahan. Dan terima kasih kawan seperjuangan yang telah menemani dan menyemangati penyusun dari awal hingga akhir masa perkuliahan. Dimanapun kalian berada jangan pernah saling melupakan dan tetap menjadi keluarga tambang 2020, dan terimakasih untuk mu sudah kembali datang untuk menepati janjimu and I can do that.

Daftar Pustaka

- Awliya, U. T., Zaenal, N., & Fauzi, I. (2025). *Analisis Investasi dan Kelayakan Ekonomi Penambangan Batubara pada PT XYZ*. <https://journal.sbpubliher.com/index.php/minetech>
- Hardantyo, W., Army, E. K., Jasipto, A., Fadhilah, R., & M. Nur Muharmy. (2025). Analisis Pengaruh Getaran Peledakan terhadap Bangunan Warga PT Bukit Asam Tbk. *Jurnal Riset Teknik Pertambangan*, 39–50. <https://doi.org/10.29313/jrtp.v5i1.6933>
- Indra Karna Wijaksana, A. M. R., & Faisal, M. I. (2025). Implementasi Shotcrete pada Heading Terowongan Batuan Lemah di Underground Kencana. *Jurnal Riset Teknik Pertambangan*, 59–70. <https://doi.org/10.29313/jrtp.v5i1.7215>
- Armaghani, D. J., Hajihassani, M., Mohamad, E. T., Marto, A., & Noorani, S. A. (2014). Blasting-induced Airblast and ground vibration prediction through an expert artificial neural network based on particle swarm optimization. *Arabian Journal of Geosciences*, 7(12), 5383–5396. <https://doi.org/10.1007/s12517-013-1174-0>
- Chen, Y., Wang, M., Yin, H., & Zhang, T. (2023). Prediction of airblast 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>
- Farnanda, A. N., & Pratama, F. H. (2020). *Proyek Kereta Cepat Jakarta Bandung* (Nomor 03111740000102).
- Ghasemi, E., Sari, M., & Ataei, M. (2012). Development of an empirical model for predicting the effects of controllable blasting parameters on Airblast 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>
- Gokhale, B. V. (2010). Rotary Drilling and Blasting in Large Surface Mines. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:113517915>
- Hasanipanah, M., Shirani, R., Danial, F., & Armaghani, J. (2017). Development of a precise model for prediction of blast-induced Airblast 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

- Airblast 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>
- Kecojevic, V., & Komljenovic, D. (2006). Impact of Burden and Spacing on Fragment Size Distribution and Total Cost in Quarry Mining Other activities View project Risk-Informed Decision-Making in Management of Industrial Assets View project. March. <https://www.researchgate.net/publication/261061905>
- Kuznetsov, V. M. (1973). The mean diameter of the fragments formed by blasting rock. *Soviet mining science*, 9(2), 144–148. <https://doi.org/10.1007/BF02506177>
- Lundborg, N. (1974). The hazards of airblast in blasting. Swedish Detonic Research Foundation, Reports DS, 12.
- McKenzie, C. K. (2009). airblast range and fragment size prediction. *Proceedings of the 35th annual conference on explosives and blasting technique*, 2.
- Nayebi, H. (2020). Advanced statistics for testing assumed casual relationships. <http://www.springer.com/series/14538%0Ahttp://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-54754-7>
- Raina, A. K. (2023). Airblast in Surface Mining. In *Airblast in Surface Mining*. <https://doi.org/10.1201/9781003327653>
- Raina, A. K., Murthy, V. M. S. R., & Soni, A. K. (2014). Airblast in bench blasting: a comprehensive review. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 73(4), 1199–1209. <https://doi.org/10.1007/s10064-014-0588-6>
- Richards, A. B., & Moore, A. J. (2005). Golden Pike Cut-Back Airblast 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 Airblast Distance Assessment in Open-Pit Mines. *Journal of Mining and Environment*, 13(2), 377–391. <https://doi.org/10.22044/jme.2022.11805.2170>
- Trivedi, R., Singh, T. N., & Gupta, N. (2015). Prediction of Blast-Induced Airblast in Opencast Mines Using ANN and ANFIS. *Geotechnical and Geological Engineering*, 33(4), 875–891. <https://doi.org/10.1007/s10706-015-9869-5>
- Yuliadarwati, N. M., Agustina, M., Rahmanto, S., & Septyorini, S. (2020). Gambaran Aktivitas Fisik Berkorelasi Dengan Keseimbangan Dinamis Lansia. *Jurnal Sport Science*, 10(2), 107. <https://doi.org/10.17977/um057v10i2p107-112>
- Zhou, J., Aghili, N., Ghaleini, E. N., Bui, D. T., Tahir, M. M., & Koopialipoor, M. (2020). A Monte Carlo simulation approach for effective assessment of Airblast based on intelligent system of neural network. *Engineering with Computers*, 36(2), 713–723. <https://doi.org/10.1007/s00366-019-00726-z>