



DOI: <https://doi.org/10.38035/rj.v8i2>
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Implementasi *Artificial Neural Network* (ANN) untuk Prediksi Tingkat Getaran Tanah pada Aktivitas Peledakan Tambang

Alio Jasipto¹, Derry Sinu Winadi²

¹Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Sumatera, Institut Teknologi Sumatera, Lampung Selatan, Indonesia, alio.jasipto@ta.itera.ac.id

²Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknologi Sumatera, Institut Teknologi Sumatera, Lampung Selatan, Indonesia, derry.119370072@student.itera.ac.id

Corresponding Author: alio.jasipto@ta.itera.ac.id¹

Abstract: *Blasting activities in mining are intended to fragment and displace rock masses, but they also generate environmental impacts in the form of ground vibration. Ground vibration measurement is required to predict allowable vibration limits. This study aims to predict ground vibration levels caused by blasting activities using the Artificial Neural Network method at the open pit coal mine. The research employed an applied research method using primary data consisting of ground vibration levels, blasting distance, and explosive charge weight obtained through direct field measurements. Data processing and the determination of model architecture and parameters were conducted using Matlab software with the backpropagation learning method. Model training and testing were carried out using blasting data from two blasting location. The results indicate that the Artificial Neural Network model with three input variables, ten hidden neurons, one output neuron, and one output layer was able to predict ground vibration levels with root mean square error values of 0.18 and 0.63. The prediction accuracy for peak particle velocity reached 93.24 percent at Pit 1 and 89.55 percent at Pit TSBC. These results demonstrate that the Artificial Neural Network method is effective for predicting ground vibrations caused by blasting activities, allowing blasting geometry planning to be better controlled to minimize environmental impacts.*

Keyword: *Artificial Neutral Network (ANN), Blasting, Ground Vibration Prediction*

Abstrak: Kegiatan peledakan pada pertambangan bertujuan untuk membongkar dan memindahkan massa batuan, namun kegiatan ini juga menimbulkan dampak lingkungan berupa getaran tanah. Getaran tanah perlu diukur untuk memprediksi batas aman getaran yang diizinkan. Penelitian ini bertujuan untuk memprediksi tingkat getaran tanah akibat kegiatan peledakan dengan menggunakan metode Jaringan Saraf Tiruan pada tambang batubara. Metode penelitian yang digunakan adalah penelitian terapan dengan data primer berupa tingkat getaran tanah, jarak peledakan, dan jumlah bahan peledak yang diperoleh melalui pengukuran langsung di lapangan. Pengolahan data serta penentuan arsitektur dan parameter model dilakukan menggunakan perangkat lunak Matlab dengan metode pembelajaran propagasi balik. Proses pelatihan dan pengujian model dilakukan menggunakan data peledakan dari dua lokasi peledakan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model Jaringan Saraf Tiruan dengan arsitektur

tiga masukan, sepuluh neuron tersembunyi, satu neuron keluaran, dan satu lapisan keluaran mampu memprediksi tingkat getaran tanah dengan nilai kesalahan kuadrat rata-rata sebesar 0,18 dan 0,63. Tingkat akurasi prediksi kecepatan partikel puncak mencapai 93,24 persen pada Pit 1 dan 89,55 persen pada Pit TSBC. Hasil ini menunjukkan bahwa metode Jaringan Saraf Tiruan efektif digunakan untuk memprediksi getaran tanah akibat kegiatan peledakan, sehingga perencanaan geometri peledakan dapat lebih terkontrol agar tidak memberikan dampak lingkungan.

Kata Kunci: ANN, Peledakan, Prediksi Getaran Tanah

PENDAHULUAN

Peledakan adalah kegiatan yang umum digunakan dalam pertambangan batu bara, karena metode ini mampu membenturkan massa batuan secara efektif dan efisien. Meskipun demikian, kegiatan peledakan tidak hanya menghasilkan fragmentasi batuan, tetapi juga menimbulkan energi sisa yang tidak dimanfaatkan (*waste energy*) yang dapat berdampak negatif terhadap manusia dan infrastruktur di sekitarnya (Santoso, Hakim, & Bimantoro, 2021). Dampak energi sisa peledakan antara lain berupa batu terbang, ledakan udara, asap, serta getaran tanah (*ground vibration*) yang berpotensi menimbulkan gangguan lingkungan (Hustrulid, 1999). Getaran tanah yang melebihi ambang batas tertentu dapat menyebabkan kerusakan pada bangunan dan fasilitas di sekitar area tambang, seperti perkantoran, perumahan karyawan, dan permukiman masyarakat, serta memengaruhi stabilitas lereng yang dapat memicu terjadinya longsor (Rudini, 2012).

Di wilayah operasional PT Bukit Asam Tbk, aktivitas peledakan sering menimbulkan keluhan dari masyarakat sekitar karena getaran yang dirasakan hingga ke permukiman dan menyebabkan keretakan pada bangunan rumah. Kondisi ini menunjukkan bahwa bahaya yang ditimbulkan oleh aktivitas peledakan tidak dapat diabaikan dan perlu dikendalikan secara cermat agar kegiatan peledakan dapat berjalan optimal tanpa menimbulkan dampak merugikan bagi lingkungan dan masyarakat sekitar. Oleh karena itu, pengendalian getaran tanah menjadi sangat penting untuk memenuhi baku mutu lingkungan sesuai dengan Standar Nasional Indonesia SNI 7571 Tahun 2023.

Getaran tanah merupakan gelombang yang merambat melalui media padat akibat adanya sumber energi, baik dari fenomena alam maupun aktivitas manusia seperti peledakan. Gelombang seismik yang dihasilkan dari peledakan dapat dirasakan sebagai getaran karena material batuan bersifat elastis dan akan kembali ke kondisi semula setelah tegangan berhenti (Maryura, Toha, & Sudarmono, 2013).

Besarnya getaran tanah dipengaruhi oleh faktor yang dapat dikendalikan, seperti jumlah bahan peledak, jarak pengamatan, dan waktu tunda peledakan, serta faktor yang tidak dapat dikendalikan, seperti kondisi geologi dan geomekanik batuan (Bandhari, 1997). Parameter yang umum digunakan untuk mengevaluasi getaran tanah adalah *Peak Particle Velocity (PPV)*, yang menunjukkan kecepatan maksimum partikel tanah akibat peledakan dan berkaitan erat dengan jarak serta jumlah bahan peledak per waktu tunda (Sundoyo & Lande, 2018). Selain itu, pendekatan *Scaled Distance* digunakan untuk menggambarkan hubungan antara jarak dan muatan bahan peledak terhadap intensitas getaran (Marmer, Simangunsong, & Suwandhi, 2018).

Rumus dapat dituliskan sebagai berikut

$$(SD) = D/(\sqrt{W}) \quad (1)$$

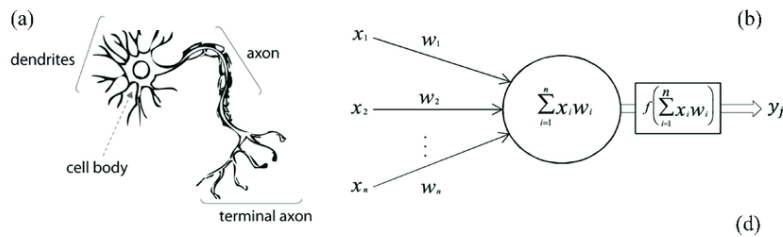
$$PPV = K (SD) \quad (2)$$

$$PPV = K(D/\sqrt{\omega})^{(-n)} \quad (3)$$

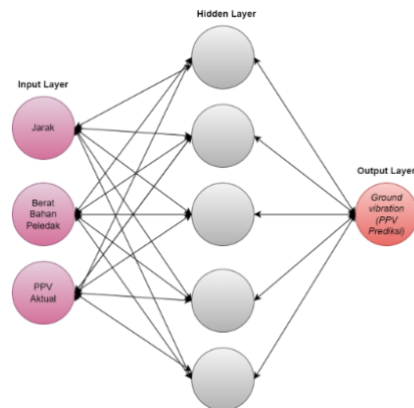
Keterangan:

- D : Jarak dari *recorder* (lokasi pengamatan) ke Lokasi peledakan (meter)
 W : Total berat bahan peledak per minimum delay (Kg)
 K, n : Konstanta yang harganya tergantung dari kondisi local dan kondisi peledakan

Seiring berkembangnya teknologi, pendekatan berbasis *Artificial Neural Network (ANN)* atau jaringan saraf tiruan mulai banyak digunakan untuk memodelkan hubungan kompleks antara berbagai parameter peledakan dan getaran tanah. *ANN* merupakan sistem komputasi yang terinspirasi dari sistem saraf biologis manusia dan mampu mempelajari pola data secara adaptif melalui proses pembelajaran terawasi menggunakan algoritma *backpropagation* (Meng, Hu, & Ancey, 2020) (Mustafidah, Hakim, & Sugiyanto, 2013).



Gambar 1. Sistem Jaringan Saraf pada Tubuh Manusia dan Arsitektur ANN



Gambar 2. Struktur Jaringan Model ANN

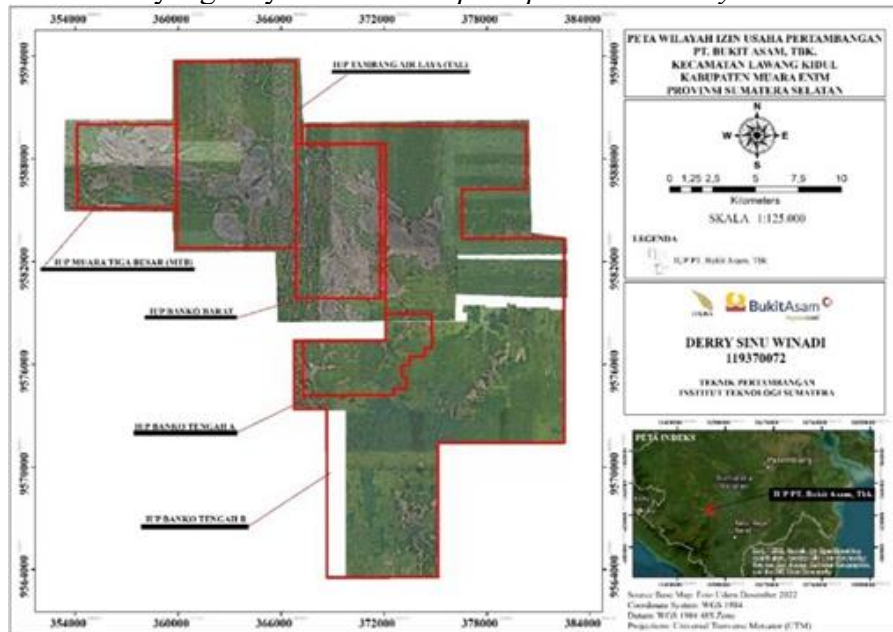
Keunggulan metode ini terletak pada kemampuannya dalam mengolah data dalam jumlah besar dan memprediksi nilai keluaran secara cepat dan akurat, sehingga sesuai untuk diterapkan dalam analisis getaran tanah akibat peledakan.

The screenshot shows a software application titled 'Artificial Neural Network Prediksi Ground Vibration Peledakan Tambang Batubara'. It features three main data entry tables: 'List Input Prediction' (with columns for Jarak (m) and Jumlah Isian (kg) Scaled Distance (m/kg*0.5)), 'List Output Prediction' (with a column for PPV Prediction By ANN), and 'PPV Prediction' (with a column for PPV Prediction (mm/s)). Below these tables are buttons for 'Input Data', 'Calculate', 'Convert To Binar', 'Exit', and 'PPV Prediction'. A legend indicates '1 = Aman' and '0 = Tidak Aman'. The application is identified as 'Neural Network Fitting App'.

Gambar 3. Aplikasi ANN Prediksi Ground Vibration

METODE

Penelitian ini merupakan penelitian terapan (*applied research*) yang bertujuan untuk memprediksi tingkat getaran tanah akibat kegiatan peledakan pada tambang batubara terbuka PT Bukit Asam Tbk. Data penelitian diperoleh dari kegiatan peledakan yang dilakukan di dua lokasi, yaitu Pit 1 Banko Barat dan Pit Townsite Basecamp yang berlokasi di Tanjung Enim, Sumatera Selatan. Data yang digunakan merupakan data primer hasil pengukuran lapangan yang meliputi jarak pengukuran, jumlah bahan peledak per waktu tunda, nilai *scaled distance*, dan nilai getaran tanah yang dinyatakan dalam *peak particle velocity*.



Gambar 4. Batas Wilayah Perusahaan Tambang

Pemodelan prediksi getaran tanah dilakukan menggunakan metode *Artificial Neural Network* dengan algoritma *backpropagation*. Algoritma ini dipilih karena data yang dilatih melalui empat tahap dalam satu siklus latihan dan siklus ini diulang ribuan kali (*epoch*) sampai prediksi mendekati nilai aktual di lapangan. Pengolahan dan analisis data dilakukan menggunakan perangkat lunak Matlab versi R2013a. Sebelum pemodelan, data terlebih dahulu dipraproses melalui penataan ulang dan normalisasi agar sesuai dengan kebutuhan masukan jaringan. Data kemudian dibagi menjadi data pelatihan dan data pengujian untuk mengevaluasi kinerja model.

Model *Artificial Neural Network* dirancang dengan menentukan jumlah variabel masukan, lapisan tersembunyi, dan neuron keluaran yang optimal. Proses pelatihan dilakukan hingga diperoleh bobot jaringan dengan tingkat kesalahan minimum. Selanjutnya, model digunakan untuk memprediksi tingkat getaran tanah, dan hasil prediksi dianalisis dengan membandingkan nilai prediksi dan nilai aktual guna menilai tingkat akurasi dan keandalan model dalam memprediksi getaran tanah akibat kegiatan peledakan.

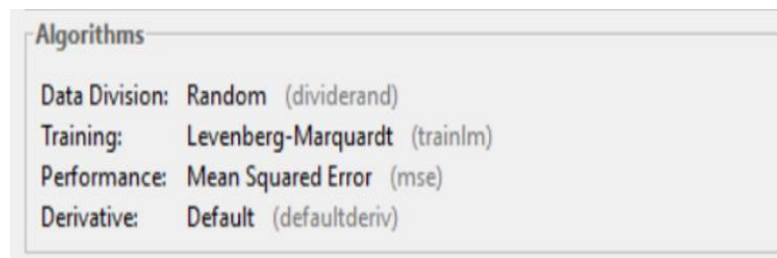
HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menggunakan data peledakan dari dua lokasi tambang batubara terbuka PT Bukit Asam Tbk, yaitu Pit 1 Banko Barat dan Pit Townsite Basecamp, dengan jumlah data masing-masing 35 dan 38 sampel. Data meliputi jarak pengukuran, jumlah bahan peledak per waktu tunda, nilai *scaled distance*, dan nilai getaran tanah berupa *peak particle velocity*. Ringkasan statistik data peledakan ditampilkan pada Tabel 1 dan menunjukkan variasi nilai getaran tanah yang dipengaruhi oleh perbedaan parameter peledakan di masing-masing lokasi.

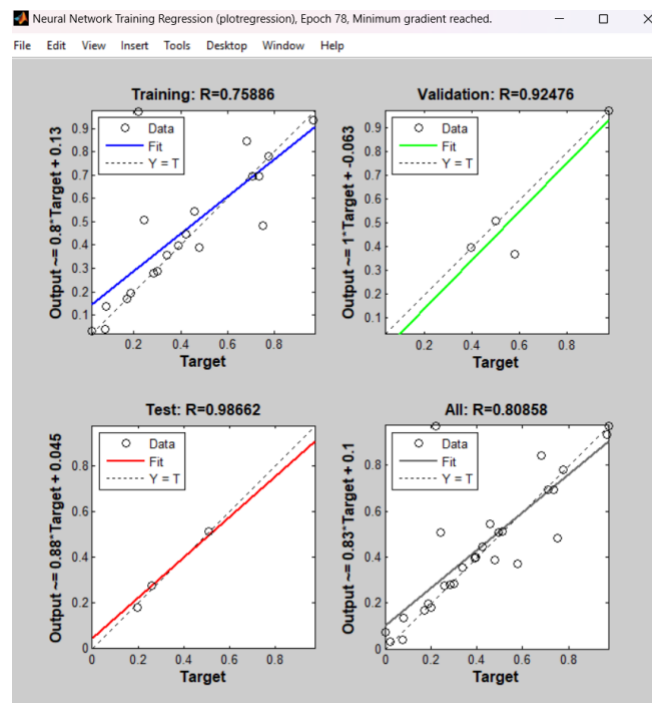
Tabel 1. Data Peledakan PIT 1 Banko Barat dan PIT TSBC

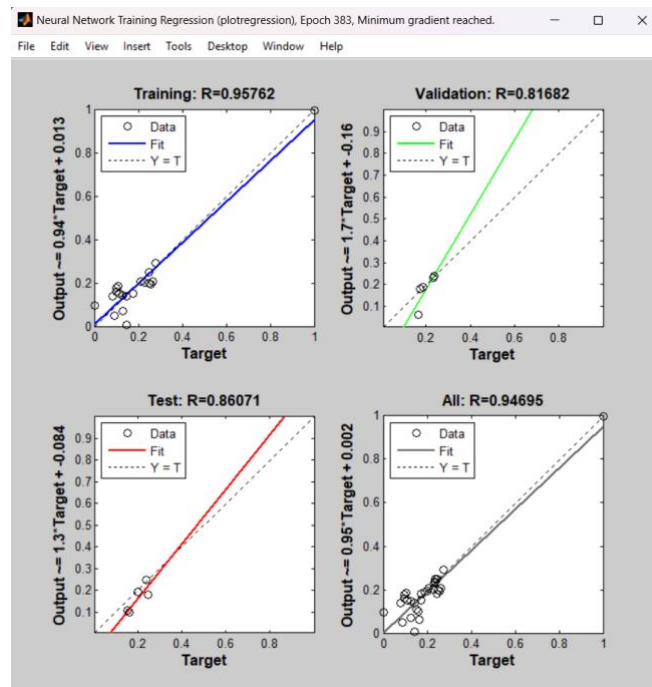
	Jarak (m)		Bahan (kg)		Peladak SD (m/kg)		PPV (mm/s)	
	Pit 1	Pit TSBC	Pit 1	Pit TSBC	Pit 1	Pit TSBC	Pit 1	Pit TSBC
Valid	35	38	35	38	35	38	35	38
Std. dev	56	370	1.9	5.9	17.5	53	0.28	1.1
Min	611	500	11.5	25.7	155	76	0.55	0.21
Max	820	1835	17.9	46.4	224	283	1.57	6.75

Pemodelan prediksi getaran tanah dilakukan menggunakan metode *Artificial Neural Network* dengan algoritma *backpropagation*. Data dibagi menjadi data pelatihan dan data pengujian dengan rasio 8:2.


Gambar 5. Algoritma Pembelajaran Model Arsitektur ANN

Hasil pelatihan menunjukkan nilai koefisien korelasi sebesar 0,80 pada Pit 1 Banko Barat dan 0,94 pada Pit Townsite Basecamp, yang menandakan kesesuaian yang baik antara nilai aktual dan nilai prediksi. Grafik regresi hasil pelatihan dan pengujian memperlihatkan pola prediksi yang mengikuti tren data actual


Gambar 6. Hasil Plot Training Regression Prediksi PIT 1 Banko Barat



Gambar 7. Hasil Plot Training Regression Prediksi PIT TSBC

Hasil pengujian menunjukkan bahwa model mampu memprediksi nilai *peak particle velocity* dengan tingkat kesalahan yang relatif kecil. Nilai *Root Mean Square Error* yang diperoleh masing-masing sebesar 0,18 untuk Pit 1 Banko Barat dan 0,63 untuk Pit Townsite Basecamp. Tingkat akurasi prediksi mencapai 93,24 persen pada Pit 1 Banko Barat dan 89,55 persen pada Pit Townsite Basecamp. Hasil ini menunjukkan bahwa dengan *Artificial Neural Network* dapat memprediksi getaran tanah peledakan yang sangat akurat. Perbedaan akurasi antara kedua lokasi adalah 3,69%, hasil ini dikarenakan nilai standar deviasi data pada Pit 1 Banko Barat lebih baik.

Tabel 2. Hasil Perhitungan Tingkat Akurasi ANN

Lokasi	Aktual	ANN	Akurasi (%)	RMSE
Pit 1	1.00	0.99	93.24	0.18
Pit TSBC	1.64	1.00	89.55	0.63

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa metode *Artificial Neural Network* dengan arsitektur 3–10–1–1 dapat digunakan untuk memprediksi tingkat getaran tanah akibat kegiatan peledakan pada tambang batubara terbuka PT Bukit Asam Tbk. Model yang dibangun mampu memberikan hasil prediksi *peak particle velocity* yang mendekati nilai aktual pada kedua lokasi penelitian, yaitu Pit 1 Banko Barat dan Pit Townsite Basecamp. Kinerja model ditunjukkan oleh nilai *Root Mean Square Error* sebesar 0,18 pada Pit 1 Banko Barat dan 0,63 pada Pit Townsite Basecamp, dengan tingkat akurasi prediksi masing-masing sebesar 93,24 persen dan 89,55 persen. Nilai tersebut menunjukkan bahwa model memiliki tingkat ketelitian yang cukup baik dalam merepresentasikan hubungan antara parameter peledakan dan getaran tanah. Secara umum, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan *Artificial Neural Network* dapat menjadi alternatif metode prediksi getaran tanah selain metode empirik.

REFERENSI

- Abbaszadeh Shahri, A., & Asheghi, R. (2018). Optimized developed artificial neural network-based models to predict the blast-induced ground vibration. *Innovative Infrastructure Solutions*, 3(1), 34.
- Azimi, Y., Khoshrou, S. H., & Osanloo, M. (2019). Prediction of blast induced ground vibration (BIGV) of quarry mining using hybrid genetic algorithm optimized artificial neural network. *Measurement*, 147, 106874.
- Bandhari, S. (1997). *Engineering Rock Blasting Operation*.
- Das, A., & Chakraborty, P. (2021). Artificial neural network and regression models for prediction of free-field ground vibration parameters induced from vibroflotation. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 148, 106823.
- Santoso, E., Hakim, R. N., Pariama, J., Km, J. A. Y., & Selatan, K. (2022). Implementation Artificial Neural Network Untuk Memprediksi Tingkat Getaran Tanah Akibat Operasi Peledakan Pada Tambang Terbuka Batubara. *Prosiding Seminar Nasional Lingkungan Lahan Basah* (Vol. 7).
- Fang, L., Yao, J., & Xia, H. (2019). Prediction on soil-ground vibration induced by high-speed moving train based on artificial neural network model. *Advances in Mechanical Engineering*, 11(5).
- Hidayat, R., Cahyadi, T. A., Winarno, E., Saptono, S., & Koesnaryo, S. (n.d.). *Review : Teknik Artificial Intelligent dalam Prediksi Ground Vibration pada Peledakan*. 187–193.
- Hustrulid, W. (1999). Blasting Principles for Open Pit Mining. Dalam W. Hustrulid, *Volume 2 - Theoretical Foundations* (hal. 382).
- Lawal, A. I., Kwon, S., Hammed, O. S., & Idris, M. A. (2021). Blast-induced ground vibration prediction in granite quarries: An application of gene expression programming, ANFIS, and sine cosine algorithm optimized ANN. *International Journal of Mining Science and Technology*, 31(2), 265–277.
- Marmer, D., Simangunsong, G., & Suwandhi, A. (2018). Peledakan Di Tambang Terbuka Di Indonesia. 1-15.
- Maryura, R., Toha, M., & Sudarmono, D. (2013). Kajian Pengurangan Tingkat Getaran Tanah (Ground Vibration Level) Pada Operasi Peledakan Interburden B2C Tambang Batubara Air Laya PT. Bukit Asam (PERSERO) Tbk Tanjung Enim. *Jurnal Ilmu Teknik Sriwijaya*, 1-8.
- Meng, Z., Hu, Y., & Ancey, C. (2020). Using a Data Driven Approach to Predict Waves Generated by Gravity Driven Mass Flows. . *Water*, 600.
- Mustafidah, H., Hakim, D. K., & Sugiyanto, S. (2013). Tingkat Keoptimalan Algoritma Pelatihan Pada Jaringan Syaraf Tiruan (Studi Kasus Prediksi Prestasi Belajar Mahasiswa). *Juita*, 159-166.
- Nguyen, H., Drebenstedt, C., Bui, X.-N., & Bui, D. T. (2020). Prediction of Blast-Induced Ground Vibration in an Open-Pit Mine by a Novel Hybrid Model Based on Clustering and Artificial Neural Network. *Natural Resources Research*, 29(2), 691–709.
- Nguyen, H., Bui, X.-N., Tran, Q.-H., Le, T.-Q., Do, N.-H., & Hoa, L. T. T. (2019). Evaluating and predicting blast-induced ground vibration in open-cast mine using ANN: a case study in Vietnam. *SN Applied Sciences*, 1(1), 125.
- Paneiro, G., Durão, F. O., Costa e Silva, M., & Falcão Neves, P. (2018). Artificial neural network model for ground vibration amplitudes prediction due to light railway traffic in urban areas. *Neural Computing and Applications*, 29(11), 1045–1057.

- Rudini. (2012). Analisis Ground Vibration Pada Peledakan Overburden Di Panel 4 Pit J PT. Kaltim Prima Coal, Sanggata, Kalimantan Timur. *Vibration Ground Velocity, Peak Particle*, 1-10.
- Santoso, E., Hakim, R. N., & Bimantoro, F. A. (2021). Kajian Prediksi Fragmentasi Batuan Hasil Kegiatan Peledakan Menggunakan Artificial Neural Network. *Jurnal GEOSAPTA*, 145.
- Sundoyo, & Lande, K. (2018). Analisis Ground Vibration Pada Kegiatan Peledakan Batuan Penutup Yang Aman Terhadap Bangunan Pada PT. Rinjani Kartanegara Site Bakungan Kecamatan Loa Janan Provinsi Kalimantan Timur. *Jurnal Geologi Pertambangan (JGP)*, 20-30.
- Taheri, K., Hasanipahan, M., Golzar, S. B., & Majid, M. Z. A. (2017). A hybrid artificial bee colony algorithm-artificial neural network for forecasting the blast-produced ground vibration. *Engineering with Computers*, 33(3), 689–700.
- Yin, C., Rosendahl, L., & Luo, Z. (2003). Methods to improve prediction performance of ANN models. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 11(3–4), 211–222.