

Aplikasi Artificial Neural Network untuk Memprediksi Tingkat Lemparan Batuan Akibat Operasi Peledakan pada Tambang Terbuka Batubara

Application of Artificial Neural Networks for Prediction of Blasting Flyrock Range in Coal Open Pit Mine

Eko Santoso^{*1}, Romla Noor Hakim², Riswan³, Muhammad Guruh Azzauqy⁴

¹⁻⁴ Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat

Corr Author: ^{1*}eko@ulm.ac.id, ²romla@ulm.ac.id, ³riswan@ulm.ac.id

ABSTRAK

Frekuensi dan skala penggunaan metode peledakan pada pembongkaran material overburden pada tambang terbuka batubara di Kalimantan Selatan terus meningkat seiring waktu. Pada saat kegiatan penambangan memiliki keterbatasan area, *flyrock* dapat muncul sebagai potensi bahaya yang besar pada suatu proses peledakan. Telah dikembangkan sebelumnya beberapa pendekatan empiris guna memprediksi tingkat lemparan batuan. Tingkat keakuratan masih menjadi kendala pada metode empiris karena kompleksitas pada analisis *flyrock*. Sebuah pendekatan baru, yaitu aplikasi *Artificial Neural Network* (ANN) guna memprediksi tingkat lemparan batuan digunakan pada penelitian ini. Metode ANN ini digunakan untuk memprediksi dan mengontrol *flyrock* hasil dari kegiatan peledakan pada tambang terbuka batubara. Pemanfaatan model *back propagation* pada metode *artificial neural network* untuk memprediksi nilai jarak lemparan *flyrock* pada kegiatan peledakan memanfaatkan program *Matrix Laboratory* (MATLAB) terhadap 91 data eksperimental. Dengan model arsitektur 8-8-1-1 (8 input- 8 hidden layer- 1 output layer-1output), hasil prediksi jarak lemparan *flyrock* dari ANN didapatkan nilai *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) sebesar 41%, sedangkan untuk prediksi *flyrock* dari pendekatan rumus empiris *Richard & Moore* didapatkan nilai MAPE sebesar 94%. Semakin kecil nilai MAPE maka tingkat prediksi yang dihasilkan akan semakin akurat. Dan penelitian ini menunjukkan hasil prediksi *flyrock* dengan ANN lebih baik jika di bandingkan pendekatan rumus empiris

Kata-kata kunci: Peledakan, Tambang terbuka batubara, *Artificial Neural Network*, *Flyrock*

ABSTRACT

Frequency and scale of the blasting events are increasing in coal open pit mine in South of Kalimantan. When mining activities have a limited area, *flyrock* can appear as one of the most hazardous events in blasting operation of surface mines. There are several empirical methods to predict *flyrock*. The level of accuracy is still an obstacle in the empirical method because of the complexity of the *flyrock* analysis. A new approach, using an artificial neural network (ANN) method has been applied to predict the distance covered by the *flyrock* induced by blasting in this paper. This ANN method has been made to predict and control *flyrock* in blasting operation in open pit coal mines. The use of the back propagation model in the artificial neural network method to predict the *flyrock* range in blasting activities using the *Matrix Laboratory* (MATLAB). The use of 8 input models, 8 hidden layers, 1 output layer and 1 output on 91 experimental data, gives *flyrock* prediction results with a Mean Absolute Percentage Error (MAPE) of 41% using the ANN method and 94% from the empirical method (*Richard & Moore* formula). The smaller the MAPE value, the more accurate the prediction. And this study shows the results of *flyrock* predictions with ANN are better when compared to the empirical formula approach

Keywords: Blasting, Open pit mine, Artificial Neural Network, Flyrock

Submitted: 06-10-2022; Revised: 13-10-2022; Accepted: 26-10-2022; Available Online: 26-10-2022

Published by: Mining Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Lambung Mangkurat

This is an open access article under the CCBY license <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

PENDAHULUAN

Metode peledakan merupakan salah satu metode penggalian yang umum dilakukan pada proses penambangan untuk memberaikan batuan pada tambang terbuka batubara [8]. Selain memberikan efek pemberaian pada batuan melalui tingkat fragmentasinya, kegiatan peledakan juga menimbulkan energi yang kurang menguntungkan bagi manusia dan infrastruktur pada lingkungan sekitar [3]. Contoh dari dampak negatif yang dihasilkannya adalah energi sisa peledakan seperti adanya *air blast*, *fly rock*, *fumes* dan *ground vibration* atau getaran tanah [4].

Kegiatan peledakan dilaksanakan secara luas dan kontinu oleh beberapa industri pertambangan

batubara di Kalimantan Selatan. Oleh sebab itu, secara tidak langsung juga akan menghasilkan banyak data-data yang berkaitan dengan kegiatan peledakan. Data-data dari blast desain, kondisi massa batuan hingga pada data-data *blast result*, seperti tingkat fragmentasi, biaya, serta data dari dampak negatif peledakan yang ditimbulkan.

Flyrock adalah fragmentasi batuan yang terlempar akibat hasil peledakan. Fragmentasi batuan ini apabila terlempar melebihi radius aman dapat mengakibatkan kerusakan untuk alat mekanis dan dapat mengakibatkan cedera bahkan kematian untuk manusia. Hal inilah yang menyebabkan efek *fly rock* menjadi salah satu perhatian utama pada setiap kegiatan peledakan. Akan tetapi *fly rock* tidak dapat sepenuhnya dihilangkan, namun jarak

lemparannya dapat diperkecil hingga mencapai tingkat keamanan untuk mencegah kerusakan.

Metode yang sering digunakan dalam perhitungan prediksi lemparan *fly rock* [5] yaitu dengan pendekatan teori Lundborg (1981), Richard dan Moore (2005), teori American model (1979) dan teori Swedish model (1975). Terdapat beberapa parameter yang membedakan antara teori-teori tersebut antara lain seperti nilai *burden*, *stemming height*, *diameter*, *ukuran fragmentasi batuan*, *massa jenis* dan *powder factor*.

Berangkat dari adanya *big data* (banyak data) yang dapat dikumpulkan pada kegiatan peledakan, maka pendekatan baru melalui sebuah jaringan saraf tiruan (Artificial Neural Network) di aplikasikan pada penelitian ini guna memprediksi tingkat lemparan batuan akibat kegiatan peledakan pada tambang terbuka batubara.

Pada penelitian sebelumnya, [2], [5], [6] dan [10] telah berhasil membuktikan dengan sangat baik penggunaan *Artificial Neural Network* (ANN) untuk memprediksi dampak negatif proses peledakan. Studi kasus pada penelitian ini diambil dari data-data peledakan pada tambang terbuka batubara di Kalimantan Selatan. Aplikasi ANN ini nantinya akan sangat membantu juga dalam memberikan suatu rekomendasi pelaksanaan kegiatan peledakan yang terkontrol dan kegiatan peledakan yang lebih ramah lingkungan. Sesuai dengan kondisi geologi regional dan infrastruktur masyarakat sekitar tambang di Kalimantan Selatan.

METODOLOGI

Penelitian ini dimulai dengan kegiatan pengumpulan data (*collecting data*) pada kegiatan peledakan di tambang terbuka batubara di Kalimantan selatan. Pemanfaatan *model back propagation* pada metode *artificial neural network* untuk memprediksi nilai jarak lemparan *fly rock* pada kegiatan peledakan memanfaatkan program Matrix Laboratory (MATLAB) [7, 8].

Pengumpulan Data

Collecting data pada penelitian ini dilakukan pengambilan data yang sudah ada sebelumnya. Data data yang diambil menyesuaikan dengan kebutuhan peneliti dalam membantu membuat rancangan model dalam proses pengolahan data nantinya, adapun data yang dibutuhkan berupa data input dan data output. Data input dalam penelitian ini ialah geometri peledakan (*burden*, *spasi*, *kedalaman*, *stemming*), *powder factor*, isian lubang ledak, *subdrill*, percepatan gravitasi dan jumlah lubang ledak, sedangkan untuk data output ialah jarak lemparan *fly rock* (Tabel-1).

Pengolahan Data

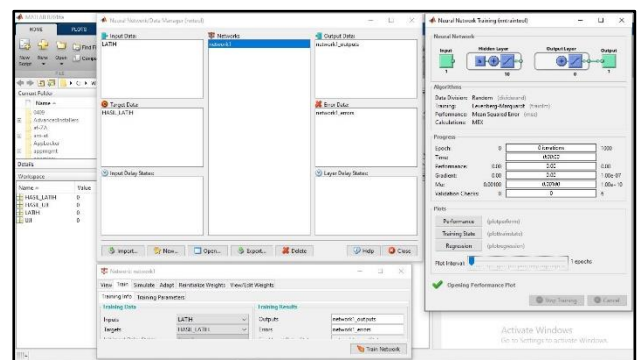
Setelah kegiatan pengumpulan data dilakukan selanjutnya dilakukan proses pemilihan data yang mana saja yang akan digunakan dalam pembuatan model arsitektur ANN dalam proses ini menggunakan Microsoft Excel. Selanjutnya dilakukan proses transformasi data atau pengubahan data dari bilangan asli ke bilangan biner, hal ini dilakukan karena dalam tahap selanjutnya pada aplikasi Matrix Laboratory R2016a disarankan menggunakan bilangan biner atau bipolar.

Tabel-1. Deskriptive Data Penelitian

PARAMETER	N	MIN	MAX	MEAN	STD DEV
Burden	91	7	9	8.09	0.64
Spasi	91	8	10	9.09	0.64
Kedalaman	91	4.3	8.7	6.93	0.92
Stemming	91	4.9	6.3	5.66	0.45
Powder Factor	91	0.1	0.26	0.18	0.04
Isi.Perlubang	91	18	140	82.70	23.79
Jlh.lubang	91	21	350	94.73	51.90
Gravitasi	91	9.8	9.8	9.80	0.00
Subdrill	91	0.5	0.5	0.50	0.00
Fly rock	91	15	53	33.16	5.98

Pembuatan Model ANN

Pembuatan model ANN dalam penelitian ini dikembangkan berdasarkan persamaan empiris, seperti yang telah dilakukan sebelumnya. Pembuatan arsitektur ANN pada penelitian menggunakan bantuan program MATLAB R2016a. Dalam sekian banyak data inputan pada program ANN, dilakukan pengkategorian baik tipe dan rasio terhadap data yang dibuat dalam pembagian rasio 80:20 untuk data latih dan data uji.



Gambar-1. Proses Pembuatan Model ANN

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan Jarak *Fly rock* Menggunakan Rumus Empiris

Perhitungan jarak *fly rock* hasil peledakan secara empiris dilakukan menggunakan rumus empiris Richard & Moore (Createring), adapun dilakukannya perhitungan ini sebagai bahan pembandingan antara jarak lemparan *fly rock* dilapangan (aktual) serta jarak lemparan *fly rock* yang didapat menggunakan metode ANN.

Createring terjadi ketika kondisi dimana tinggi *stemming* terlalu pendek dibandingkan dengan ratio diameter lubang ledak atau kondisi *collar rock* kategori batuan lemah/*weak rock* sehingga batu lemparan dapat terlempar ke segala arah tergantung dari kondisi batuanya.

$$L = \frac{k^2}{g} \left(\frac{\sqrt{m}}{SH} \right)^{2,6} \quad (1)$$

L = Lemparan maksimal (m), g = percepatan gravitasi (9,8 m/s²), m = berat isian bahan peledak per meter (kg/m), SH = *stemming height* (m), k = konstanta batuan.

Desain Model Arsitektur *Artificial Neural Network* Pengolahan Data

Rancangan arsitektur model JST yang akan dibuat akan diubah agar dapat bekerja dengan aplikasi yang akan dibuat. Jaringan dengan beberapa lapisan (jaring multilayer) yang menggunakan metode *backpropagation* dan pendekatan pembelajaran terawasi adalah cara yang bagus untuk secara efektif mengantisipasi *fly rock*, yang membutuhkan data dalam bentuk pola beban atau input yang cukup besar. Pola input dan pola yang diinginkan atau tujuan dikirim ke jaringan, yang merupakan model JST, sebagai sepasang pola. Jaringan ditunjukkan pola-pola ini. Model JST yang akan dibangun adalah JST dengan arsitektur jaringan multilayer yang terdiri dari tiga lapisan untuk memperhitungkan volume data yang akan digunakan dan relatif sulitnya masalah yang perlu ditangani.

Penentuan Data Input dan Data Output

Untuk memastikan data masukan dan data keluaran diubah menjadi tujuan penelitian. Hasil dari jaringan syaraf tiruan tersebut akan dibandingkan dengan perhitungan yang dilakukan menggunakan rumus empiris Richard & Moore dan dengan kondisi lapangan yang sebenarnya.

Adapun data input yang akan digunakan yaitu, burden, spasi, kedalaman, *subdrill*, *stemming*, *powder factor*, jumlah lubang ledak, jumlah bahan peledak per lubang ledak (Q) (Tabel-2) dan data output adalah jarak lemparan *fly rock* (Tabel-3).

Tabel-2. Input Parameter dan Range

PARAMETER	SIMBOL	RANGE
Burden (m)	B	7-9
Spasi (m)	S	8-10
Kedalaman (m)	H	4.3-8.7
<i>Stemming</i> (m)	St	4.9-6.3
<i>Powder Factor</i> (kg/BCM)	P	0.1-0.26
Isian Perlubang (kg)	Q	18-140
Jumlah Lubang Ledak	Hole	21-350

Tabel-3. Output Parameter dan Range

PARAMETER	SIMBOL	RANGE
Jarak Flyrock (m)	Flyrock	15-53

Transformasi Data

Data sekarang mengalami pra-pemrosesan, yang memerlukan *scalling* menggunakan rumus persamaan 1 dan membatasi data input dan output yang kita miliki ke kisaran antara 0 dan 1. Hal ini dilakukan untuk meningkatkan akurasi hasil analisis yang dihasilkan dengan pendekatan yang memanfaatkan *artificial neural network*.

Rumus yang digunakan saat melakukan transformasi data, yang melibatkan modifikasi nilai aktual pada skala mulai dari 0 hingga 1 dengan tujuan mengubahnya menjadi bilangan bulat biner, adalah sebagai berikut. [10]

$$X' = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} * (BA - BB) + BB$$

(2)

Keterangan :

X' = Nilai transformasi

X = Nilai yang akan ditransformasikan

Xmin = Nilai minimum dari semua data

Xmax = Nilai maximum dari semua data

BA = Batas Atas (1)

BB = Bata Bawah (0)

Penentuan Data Training dan Data Testing

Langkah selanjutnya dalam proses ini melibatkan pemilihan data yang akan digunakan untuk pelatihan dan data yang akan digunakan untuk pengujian setelah data diubah. Ini diperlukan untuk memvalidasi *artificial neural network* yang akan kita bangun juga. Ini akan memungkinkan kami untuk mengevaluasi seberapa akurat prediksi yang diberikan oleh *artificial neural network* bawaan. Dari 91 data yang tersedia saat ini, 62 berfungsi sebagai contoh pelatihan dan 29 berfungsi sebagai contoh uji.

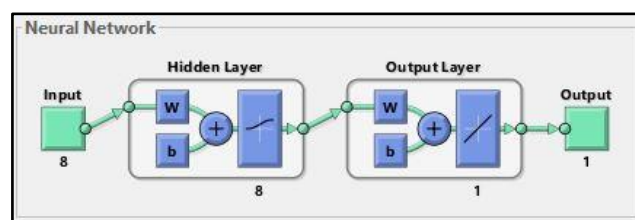
Pembuatan Model Arsitektur *Artificial Neural Network*

Jaringan keluaran atau model *artificial neural network* yang dibuat menggunakan fungsi pelatihan *traincgb* (Training Conjugate Gradient with Beale-Powell Restarts) harus mencapai nilai tujuan. Dengan menggunakan program Matlab R2016a, dibuatlah model arsitektur *artificial neural network*. *Backpropagation* dengan *supervised learning* merupakan algoritma pembelajaran yang digunakan pada model arsitektur *artificial neural network*. Model arsitektur jaringan yang dikembangkan akan melalui pengujian kedua, yang akan melibatkan penghitungan kesalahan yang dibuat. Prakiraan batu *fly rock* masa depan akan didasarkan pada model arsitektur dengan tingkat kesalahan serendah mungkin.

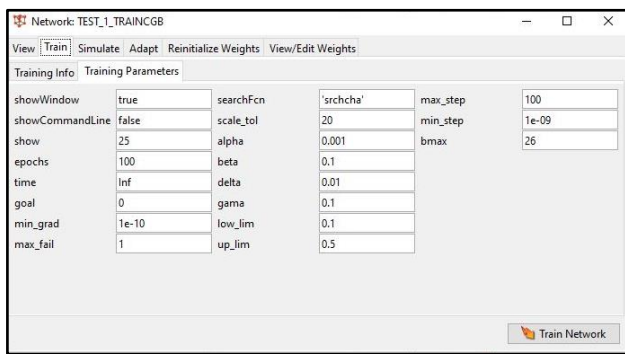
Algorithms	
Data Division:	Random (dividerand)
Training:	Conjugate Gradient with Beale-Powell Restarts (traincgb)
Performance:	Mean Squared Error (mse)
Calculations:	MEX

Gambar-2. Algoritma Pembelajaran Model Arsitektur ANN

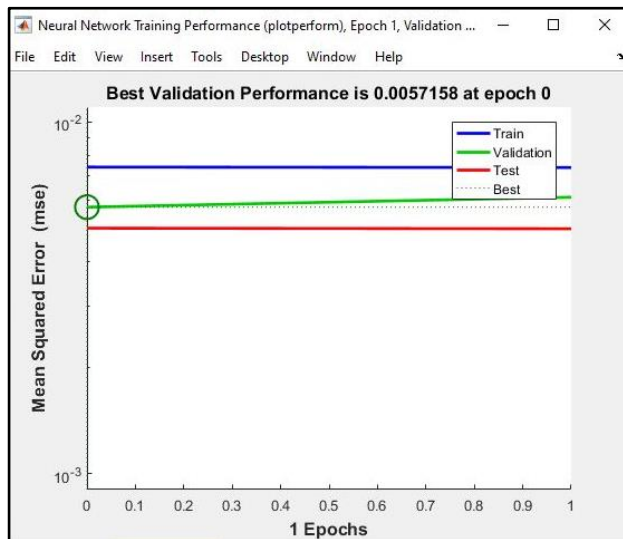
Dalam pengerjaan pembuatan arsitektur penulis mengikuti jurnal sebagai referensi penentuan arsitektur. Adapun dalam penelitian ini arsitektur yang digunakan model arsitektur jaringan syaraf tiruan 8-8-1-1 pada Matlab R2016a adalah sebagai berikut :



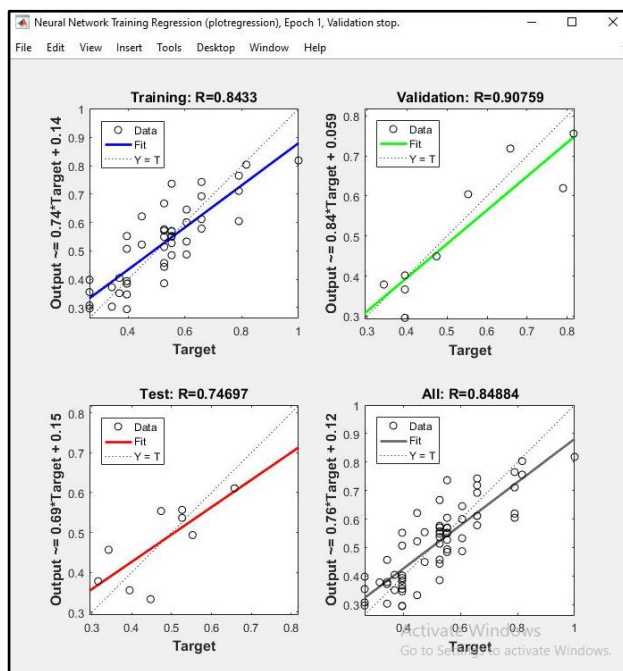
Gambar-3. Model Arsitektur ANN 8-8-1-1



Gambar-4. Training Parameter Model Arsitektur ANN 8-8-1-1



Gambar-5. Training Performance Model Arsitektur ANN 8-8-1-1



Gambar-6. Training Regression Model Arsitektur ANN 8-8-1-1

Hasil Prediksi Menggunakan Artificial Neural Network

Berdasarkan hasil penerapan model arsitektur 8-8-1-1 saat mengembangkan model arsitektur untuk *artificial*

neural network. Proses prediksi kemudian dilakukan dengan menggunakan data pengujian sebagai data input, yang pada akhirnya akan menghasilkan data output yang diperlukan, ketika arsitektur telah terbentuk.

Keluaran hasil prediksi yang diperoleh dari data pengujian pada masing-masing arsitektur dan hasil lemparan *fly rock* hasil pengukuran lapangan akan dibandingkan. Setelah itu akan dilakukan perbandingan antara hasil peramalan JST, perhitungan menggunakan rumus empiris, dan data yang dikumpulkan langsung dari lapangan.

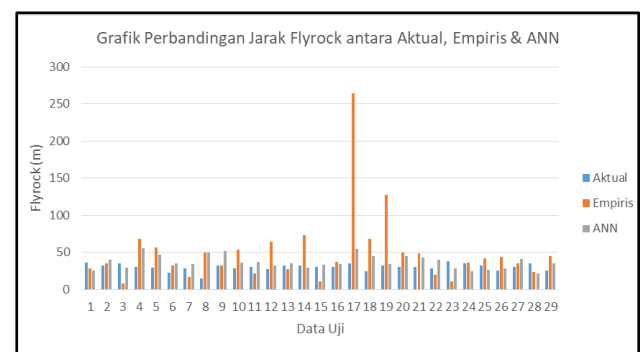
PEMBAHASAN

Pada artikel ini, kami akan membandingkan temuan *artificial neural network* yang digunakan untuk menghitung jarak tempat batu akan jatuh setelah dilempar dengan hasil jarak lempar batu menggunakan rumus empiris Richard & Moore. Tabel berikut menunjukkan temuan perbandingan.

Tabel-4. Hasil Perhitungan Jarak Flyrock

No	Aktual	Empiris	ANN	No	Aktual	Empiris	ANN
1	36	29	25	16	30	38	34
2	32	35	40	17	35	264	54
3	35	8	29	18	24	68	45
4	30	68	55	19	32	128	34
5	29	57	46	20	30	50	45
6	23	32	35	21	30	49	43
7	28	16	34	22	28	20	40
8	15	50	50	23	38	11	28
9	32	33	51	24	35	36	24
10	28	54	36	25	32	42	27
11	30	22	37	26	25	44	29
12	27	64	32	27	30	35	41
13	32	27	35	28	35	24	21
14	32	73	30	29	25	44	35
15	30	11	33				

Berikut adalah gambar grafik hasil perhitungan jarak *fly rock* pada Tabel-4.



Gambar-7. Grafik Hasil Jarak *fly rock*

Hasil perhitungan yang dilakukan langsung di lapangan, perhitungan yang dilakukan dengan menggunakan metode Richard & Moore, dan prediksi yang dilakukan menggunakan *artificial neural network* yang dilengkapi dengan model 8-8-1-1 ditunjukkan pada Tabel-4 dan Gambar-7.

Hasil perhitungan yang dihasilkan di lapangan kemudian akan dievaluasi, dan akan dibandingkan dengan prediksi yang dibuat menggunakan *artificial neural network* yang dilatih pada model 8-8-1-1 dan perhitungan dilakukan dengan menggunakan persamaan empiris untuk menentukan jarak pelemparan batuan *fly rock*..

Tabel-5. Hasil Perhitungan Jarak Flyrock

PEMBANDING	MSE	MAPE (%)
Rumus Empiris	2577.7	94.3
ANN	177.0	40.8

Temuan perbandingan Tabel 5 antara rumus empiris dan JST *versus* perhitungan yang dibuat di tempat mengungkapkan bahwa hasil prediksi yang dibuat oleh *artificial neural network* memiliki persentase kesalahan absolut rata-rata yang lebih rendah sebesar 41%. Hal ini dapat ditunjukkan dengan memeriksa hasil perbandingan antara JST dan rumus empiris. Dengan nilai MAPE diantara 20-50 menurut [2] diinterpretasikan dengan nilai “cukup baik” dalam hal pendugaan atau prediksi.

Bervariasi tingkat akurasi prediksi ANN model dalam memprediksi jarak lemparan *fly rock* pada kegiatan peledakan, menurut [1] dapat disebabkan oleh jumlah ketersediaan data yang didapatkan. Serta menurut [11], [5] tingkat keakurasian dapat dipengaruhi oleh arsitektur ANN yang dibuat, dimana hasil yang lebih baik di dapatkan pada saat membuat ANN dengan input parameter yang lebih banyak. Melalui penelitiannya juga mendapatkan kelemahan tingkat akurasi prediksi jarak lemparan *fly rock* terhadap input parameter yang digunakan [6]. Pada kondisi aktual faktor-faktor seperti: jenis batuan, struktur geologi, bahan peledak yang digunakan, geometri peledakan, kondisi massa batuan dan jenis bahan peledakan dapat mempengaruhi jarak lemparan *fly rock* akibat peledakan.

KESIMPULAN

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membandingkan hasil prediksi *artificial neural network* terhadap perhitungan rumus empiris untuk melihat apakah yang satu lebih akurat dari yang lain. Temuan penelitian ini dapat diringkas sebagai berikut:

1. Model *artificial neural network* terbaik dibuat menggunakan arsitektur 8-8-1-1. Kesalahan kuadrat rata-rata dan kesalahan persentase absolut rata-rata yang dihasilkan oleh *artificial neural network* masing-masing adalah 177 dan 41%.
2. Setiap nomor kesalahan diperoleh dengan menggunakan prediksi JST dan rumus empiris yang dibuat oleh Richard dan Moore setelah perhitungan selesai. Kesalahan persentase absolut rata-rata (MAPE) ditemukan sebesar 41 persen. Ketika menggunakan metodologi empiris yang dibuat oleh Richard dan Moore dalam perhitungan yang menghasilkan angka kesalahan, persentase kesalahan secara keseluruhan adalah 94 persen. Oleh karena itu, masuk akal untuk menyimpulkan bahwa kesalahan persentase absolut rata-rata *artificial neural network* lebih akurat dalam memprediksi jarak yang dilempar *fly rock* dan skor yang dianggap Lewis (1982) “cukup baik”..
3. Adapun hasil akurasi prediksi jarak lemparan *fly rock* yang menggunakan rumus empiris Richard & Moore

didapatkan nilai akurasi rata rata 6% terhadap nilai hasil pengukuran dilapangan. Sedangkan nilai akurasi rata-rata jarak lemparan *fly rock* yang menggunakan ANN didapatkan nilai akurasi rata rata 59% terhadap nilai hasil pengukuran dilapangan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada Universitas Lambung Mangkurat, LPPM dan Fakultas Teknik sebagai sponsor penelitian, atas pendanaan dan kesempatan untuk mempublikasikan artikel ini. Terima kasih kami ucapkan kepada PT. BMB karena telah bersedia sebagai tempat penelitian dan berbagi data selama penelitian ini dilaksanakan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Sayadi, M. Monjezi, and Monaj Khandelwal. (2013). *A Comparative Study On The Application Of Various Artificial Neural Networks To Simultaneous Prediction Of Rock Fragmentation And Backbreak*. CSRME, 318-324.
- [2] Ghasemi, H. Amini, M. Ataei, and R. Khalokakaiei, “Application of artificial intelligence techniques for predicting the flyrock distance caused by blasting operation,” *Arabian Journal of Geosciences*, vol. 7, no. 1, pp. 193–202, 2012.
- [3] Hustrulid W., 1999. *Blasting principles for open pit mining*, vol1. A.A. Balkema, Rotterdam
- [4] Lundborg. N. 1994. *The Hazard of Flyrock in Rock Blasting*. Report DS1974., Swedish Detonic Research Foundation. p 12.
- [5] M. Monjezi, A. Bahrami, A. Yazdian Varjani and Ahmad Reza Sayadi. (2011). *Prediction and Controlling of Flyrock in Blasting Opration using Artificial Neural Network*. Tarbiat Modares University, Iran 421-425.
- [6] Ninnang Tiile, Raymond. 2016. *Artificial Neural Network Approach Predict Blast-induced Ground Vibration, Airblast And Rock Fragmentation*. Missouri University Of Science And Technology, Ghana.
- [7] Santoso, E., Hakim, R. N, dan Bimantoro, F.A. 2021. *Kajian Prediksi Fragmentasi Batuan Hasil Kegiatan Peledakan Menggunakan Artificial Neural Network*. Universitas Lambung Mangkurat, Kalimantan Selatan, Indonesia.
- [8] Santoso, E., Hakim, R. N, dan Juan, P. 2021. *Implementasi Artificial Neural Network Untuk Mempredesi Tingkat Getaran Tanah Akibat Operasi Peledakan Pada Tambang Terbuka Batubara*. Prosiding Seminar Nasional Lahan Basah. Universitas Lambung Mangkurat, Kalimantan Selatan, Indonesia.
- [9] Santoso Eko, Kartini dan Wanaldi Rizky. 2020. *Pembuatan Aplikasi dengan Menggunakan Rumus Empiris untuk Memprediksi Lemparan Batuan (Flying Rock) dari Kegiatan Peledakan*. Universitas Lambung Mangkurat, Kalimantan Selatan, Indonesia.

- [10] Trivedi, R., T. N. Singh, and A. K. Raina, 2014. Prediction of blast-induced flyrock in Indian limestone mines using neural networks. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 6.5, 447-454.