ISSN 2685-0605

APLIKASI *ARTIFICIAL NEURAL NETWORK* (ANN) PADA MODEL PREDIKSI KUAT TARIK BELAH BETON BUSA

Nur Hanif Bakhtiar[1] Mochammad Afifuddin[2] Fachrurrazi[3]
Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala
Jl. Tgk. Syeh Abdul Rauf No. 7, Darussalam Banda Aceh 23111
Email: nurhanif@mhs.unsyiah.ac.id

Abstract

Tensile strength is one of the parameters to determine the strength of concrete. The behavior of concrete is dominated by tensile cracks and the tensile stress propagation cannot be ignored. Artificial neural network (ANN) is a method that can predict the tensile strength of concrete. The purpose of this study was to create an ANN model that can predict the split tensile strength of foam concrete. The modeling is using MATLAB R2021a and consists of two ANN models, namely the ANN – A model which is a modeling for foam concrete without additional additives and the ANN – B model which is a modeling for foam concrete with additional pumice additives. The data used are specific gravity, mix design and split tensile strength data of foam concrete that obtained from research conducted at the Construction and Building Materials Laboratory, Department of Civil Engineering, Syiah Kuala University. The data is divided into 80% for training and 20% for validation. The results of this modeling show the accuracy of predictions seen in the value of mean absolute percentage error (MAPE). The MAPE training values for ANN – A and B models were 2.71% and 1.43%, while the MAPE validation values for ANN – A and B models were 9.72% and 13.01%. The results showed that the developed ANN model can predict the value of the split tensile strength of foam concrete with a good level of accuracy.

Keywords: *tensile strength, prediction, artificial neural network, MATLAB R2021a, MAPE*

Abstrak

Kuat tarik merupakan salah satu parameter untuk menentukan kekuatan beton. Perilaku beton didominasi oleh retakan akibat tarik dan perambatan tegangan tarik tidak dapat diabaikan. *Artificial neural network* (ANN) merupakan metode yang dapat memprediksi kuat tarik pada beton. Penelitian ini bertujuan untuk membuat model ANN yang dapat memprediksi kuat tarik belah beton busa. Pemodelan dilakukan menggunakan *software* MATLAB R2021a dan terdiri dari dua model ANN, yaitu model ANN – A yang merupakan pemodelan untuk beton busa tanpa tambahan aditif dan model ANN – B yang merupakan pemodelan untuk beton busa dengan tambahan aditif batu apung. Data yang digunakan merupakan data *specific gravity*, *mix design* dan kuat tarik belah beton busa yang diperoleh dari penelitian yang dilakukan di Laboratorium Konstruksi dan Bahan Bangunan, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Syiah Kuala. Data dibagi menjadi 80% untuk *training* dan 20% untuk validasi. Hasil dari pemodelan ini menunjukkan ketepatan prediksi yang dilihat pada nilai *mean absolute percentage error* (MAPE). Nilai MAPE *training* pada model ANN – A dan B diperoleh sebesar 2,71% dan 1,43% sedangkan nilai MAPE validasi pada model ANN – A dan B diperoleh sebesar 9,72% dan 13,01%. Hasil penelitian menunjukkan model ANN yang dikembangkan dapat memprediksi nilai kuat tarik belah beton busa dengan tingkat ketepatan yang baik.

Kata kunci: *kuat tarik belah, prediksi, artificial neural network, MATLAB R2021a, MAPE*

1. Pendahuluan

Beton merupakan material utama yang umumnya digunakan dalam industri konstruksi. Penggunaan beton semakin meningkat karena kelebihan yang dimilikinya dibandingkan material lainnya. Material beton dikenal memiliki kuat tekan yang lebih tinggi dibandingkan kuat tariknya [1]. Meskipun dalam desain struktur beton tidak diterapkan beban tarik, namun perambatan tegangan tarik tidak dapat diabaikan dan perilaku beton didominasi oleh retakan akibat tarik. Karenanya, perlu dilakukan pengujian untuk mengetahui nilai kuat tarik pada beton. Pengujian kuat tarik beton biasanya dilakukan dengan mengacu pada ASTM C496 yang digunakan untuk pengujian kuat tarik belah pada benda uji berbentuk silinder [2].

Seiring dengan kemajuan teknologi muncul inovasi untuk memudahkan kehidupan manusia, salah satunya adalah *Artificial Neural Network* (ANN) yang merupakan jenis teknologi yang digolongkan sebagai *Artificial Intelligence* (AI). ANN dapat digunakan untuk membuat model yang dapat memprediksi kekuatan tarik beton berdasarkan data *mix design* yang tersedia.

Banyak peneliti telah menyelesaikan berbagai permasalahan dalam aplikasi Teknik Sipil dengan mengembangkan pemodelan baru menggunakan ANN. ANN sangat membantu dalam memecahkan masalah yang terkait rekayasa struktur dan teknik konstruksi [3]-[7]. ANN merupakan tiruan sistem saraf biologis yang meniru kemampuan otak manusia untuk menyelesaikan permasalahan melalui lapisan *neuron* (*node*) yang saling berhubungan [8]. Kemampuan mempelajari data memungkinkan ANN

untuk memecahkan masalah kompleks berskala besar seperti pengenalan pola, pemodelan nonlinier, klasifikasi, kontrol, dan lain-lain. Keunggulan utama pemodelan ini dibandingkan dengan pemodelan prediksi biasa, seperti regresi linier, terletak pada kemampuan menganalisis hubungan non-linier antara variabel independen dan dependen [9].

Pengujian kuat tarik beton umumnya memakan waktu dan mengeluarkan biaya yang besar, namun dengan menggunakan ANN, nilai kuat tarik beton dapat diprediksi dengan mudah. Penelitian ini mengenai model ANN yang dapat memprediksi nilai kuat tarik belah beton menggunakan ANN berdasarkan parameter-parameter yang digunakan dalam pemodelan serta membandingkan nilai kuat tarik belah yang diperoleh dari pemodelan ANN dengan kuat tarik belah dari hasil pengujian laboratorium.

Masalah yang diangkat pada penelitian ini yaitu membuat model ANN untuk memprediksi kuat tarik belah beton busa serta besar tingkat ketepatan prediksinya. Tujuan penelitian ini adalah membuat model ANN untuk memprediksi kuat tarik belah beton busa serta besar tingkat ketepatan prediksinya. Manfaat penelitian ini yaitu membantu merencanakan komposisi campuran beton sehingga didapatkan kuat tarik belah beton busa yang diinginkan sebelum dilakukan pengujian laboratorium dan mengurangi biaya dan waktu yang dibutuhkan dalam uji kuat tarik beton pada perencanaan *mix design* beton. Adapun batasan masalah pada penelitian ini yaitu *independent variable* yang ditinjau pada pemodelan ANN hanya faktor *specific gravity* dan *mix design* dari beton busa. Pemodelan dilakukan menggunakan *software* MATLAB R2021a.

2. Metodologi penelitian

Analisis yang digunakan merupakan analisis kuantitas data dengan menggunakan metode ANN. Pemodelan dengan ANN dilakukan menggunakan *software* MATLAB R2021a dengan metode *backpropagation* dan algoritma *resilient backpropagation*. Pemodelan terdiri dari dua model ANN, yaitu model ANN – A dan B. Model ANN – A merupakan pemodelan untuk beton busa tanpa tambahan aditif dan model ANN – B merupakan pemodelan untuk beton busa dengan tambahan aditif batu apung. Data yang digunakan merupakan data *specific gravity*, *mix design* dan kuat tarik belah beton busa yang diperoleh dari penelitian sebelumnya yang dilakukan di Laboratorium Konstruksi dan Bahan Bangunan, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Syiah Kuala [10]-[14]. Data tersebut dibagi menjadi 80% untuk *training* dan 20% untuk validasi.

Langkah pertama dalam pengolahan data yaitu melakukan proses transformasi data. Sebelum dilakukan pelatihan, data-data *input* harus ditransformasikan terlebih dahulu. Karena pada fungsi pelatihan *sigmoid*, *range* keluaran fungsi aktivasi *sigmoid* adalah [0,1]. Data dapat ditransformasikan ke interval [0,1] dengan membagi data tersebut dengan nilai maksimum. Kemudian, dilakukan proses pelatihan (*training*) menggunakan arsitektur jaringan ANN dan parameter-parameter pelatihan (*training*) yang telah ditetapkan sebelumnya.

Proses *training* menghasilkan nilai *output* yang kemudian digunakan untuk menghitung nilai kesalahan *output* berdasarkan target yang telah ditentukan pada setiap iterasi dengan metode MSE. Apabila nilai MSE belum tercapai maka harus dilakukan modifikasi pada arsitektur jaringan ANN. Pada pemodelan ini nilai MSE ditetapkan sebesar 0,01. Bobot optimal jaringan pada iterasi-n atau jumlah maksimum iterasi yang ditentukan (maksimum *epoch*) akan disimpan untuk selanjutnya digunakan kembali pada proses validasi.

Selanjutnya, dilakukan proses validasi untuk menguji keakuratan dari model jaringan menggunakan model jaringan yang telah didapatkan dari proses pelatihan (*training*). Setelah diperoleh model ANN yang dapat memprediksi kuat tarik belah beton busa dilakukan analisis dengan membandingkan hasil prediksi yang didapat melalui ANN dan data sebenarnya. Acuan yang dipakai untuk melakukan perbandingan adalah *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE). Pengujian dapat dilakukan dengan persamaan berikut :

$$\text{MAPE} = \sum_{i=1}^{n} \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right| \times 100\% \qquad (2\text{-}1)$$

Keterangan :
y_i = nilai aktual, dan
$\hat{y}_i$ = nilai prediksi ANN

Hasil interpretasi nilai MAPE terdiri dari 4 kategori [15] dan ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Interpretasi nilai MAPE

MAPE (%)	Interpretasi
< 10	Peramalan sangat akurat
10 – 20	Peramalan baik
20 – 50	Peramalan layak
> 50	Peramalan kurang akurat

Sumber: Lewis (1982).

3. Hasil dan pembahasan

Hasil yang didapatkan dari pemodelan akan disajikan dalam bentuk tabel dan juga grafik. Pengolahan data menggunakan ANN dilakukan dengan metode *trial* dan *error* hingga diperoleh model ANN terbaik yang dapat memprediksi nilai kuat tarik belah beton busa. Berdasarkan hasil pemodelan dibuat perbandingan antara nilai kuat tarik belah beton busa hasil penelitian laboratorium dan hasil pemodelan ANN pada tahap *training* dan validasi.

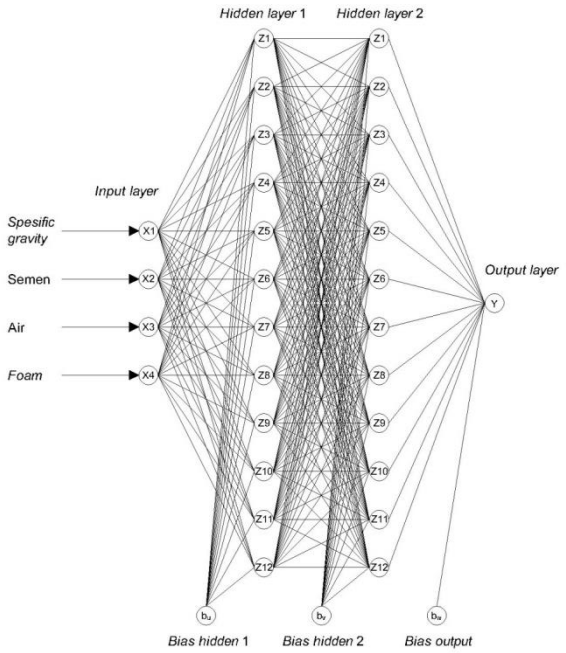
3.1 Hasil *training* ANN

Pada proses *training* ditetapkan pola hubungan antar *neuron* (arsitektur jaringan) dan fungsi aktivasinya beserta parameter pelatihan yang akan digunakan. Digunakan fungsi pelatihan trainrp dan fungsi pembelajaran bobot/bias learngdm. Fungsi aktivasi yang digunakan pada *hidden layer* yaitu fungsi aktivasi *logsig* sedangkan pada *output layer* digunakan fungsi aktivasi *purelin*. Proses *training* dilakukan dengan metode *trial* dan *error*, di mana arsitektur jaringan yang dipilih merupakan arsitektur jaringan yang menghasilkan pemodelan dengan nilai MSE terkecil.

Proses pelatihan (*training*) terhadap data *input* dan target menghasilkan nilai MSE yang dicapai serta *epoch* yang digunakan. Proses ini akan terhenti apabila nilai MSE, *gradient*, atau *epochs* maksimum telah tercapai. Berdasarkan pola pelatihan tersebut dilakukan simulasi yang menghasilkan nilai kuat tarik belah beton busa yang selanjutnya digunakan untuk mengetahui selisih antara hasil penelitian laboratorium dan pemodelan ANN dari data *mix design* beton busa.

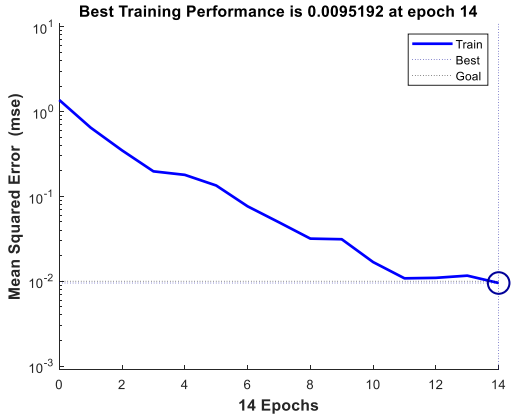
3.1.1 *Training* model ANN – A

Model ANN – A merupakan pemodelan untuk beton busa dengan campuran semen, air, dan *foam* tanpa tambahan aditif. Model ANN dibuat menggunakan *multilayer network*. Arsitektur jaringan model ANN – A dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Arsitektur jaringan model ANN – A

Model ANN ini menghasilkan nilai MSE sebesar 0,00952 pada *epochs* 14. Hal ini menunjukkan bahwa nilai MSE telah tercapai, yaitu 0,01. MSE dan *epochs* maksimum yang tercapai pada model ANN – A dapat dilihat pada Gambar 2 yang berisi hubungan antara jumlah *epochs* (X) dan MSE (Y).



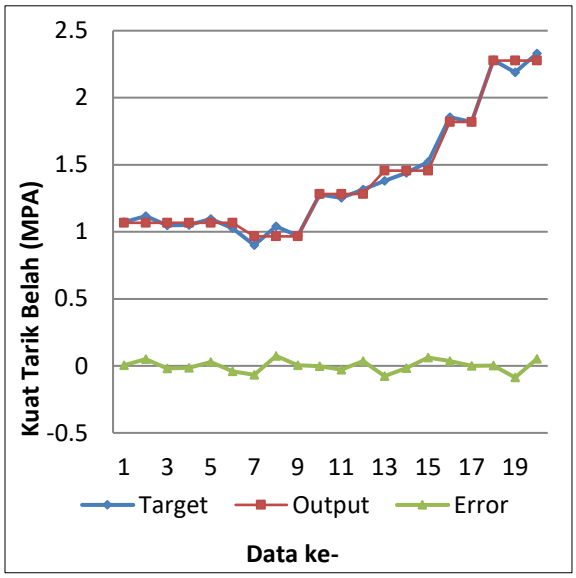
Gambar 2. Grafik *learning performance* pada model ANN – A

Selisih antara hasil penelitian laboratorium dan model ANN – A disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Selisih antara hasil laboratorium (target) dan hasil ANN (*output*) dari *training* model ANN – A.

Data	Kuat Tarik Belah (MPA)		Selisih	Persen Selisih (%)
	Lab	ANN		
1	1.072	1.066	0.006	0.53
2	1.117	1.066	0.051	4.54
3	1.047	1.066	-0.019	1.84
4	1.051	1.066	-0.015	1.44
5	1.095	1.066	0.029	2.65
6	1.027	1.066	-0.039	3.84
7	0.900	0.966	-0.066	7.32
8	1.040	0.966	0.074	7.13
9	0.970	0.966	0.004	0.42
10	1.278	1.281	-0.003	0.24
11	1.253	1.281	-0.028	2.26
12	1.316	1.281	0.035	2.64
13	1.380	1.457	-0.077	5.61
14	1.440	1.457	-0.017	1.21
15	1.520	1.457	0.063	4.11
16	1.855	1.818	0.037	1.99
17	1.819	1.818	0.001	0.04
18	2.280	2.277	0.003	0.13
19	2.190	2.277	-0.087	3.97
20	2.330	2.277	0.053	2.28
MAPE				2.71

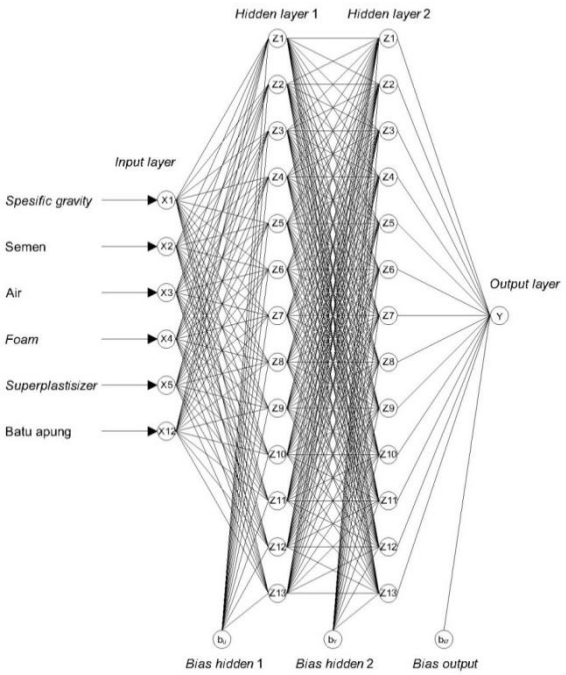
Berdasarkan Tabel 2 dibuat grafik yang menunjukkan target, *output*, dan *error* yang dihasilkan dari *training* model ANN – A yang dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Grafik target, *output,* dan *error* dari *training* model ANN – A

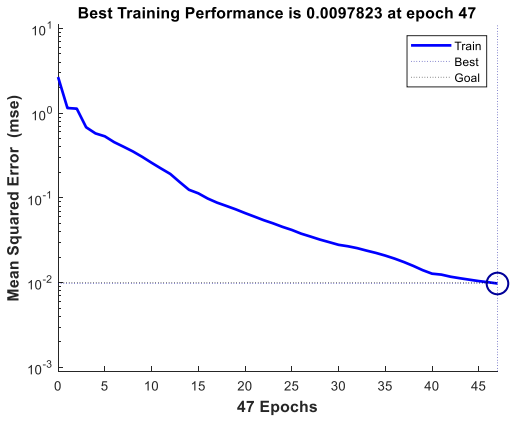
3.1.2 *Training* model ANN – B

Model ANN – B merupakan pemodelan untuk beton busa dengan campuran semen, air, dan *foam* dengan tambahan aditif batu apung. Model ANN dibuat menggunakan *multilayer network*. Arsitektur jaringan model ANN – B dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Arsitektur jaringan model ANN – B

Model ANN ini menghasilkan nilai MSE sebesar 0,00978 pada *epochs* 47. Hal ini menunjukkan bahwa nilai MSE telah tercapai, yaitu 0,01. MSE dan *epochs* maksimum yang tercapai pada model ANN – B dapat dilihat pada Gambar 5 yang berisi hubungan antara jumlah *epochs* (X) dan MSE (Y)..



Gambar 5. Grafik *learning performance* pada model ANN – B

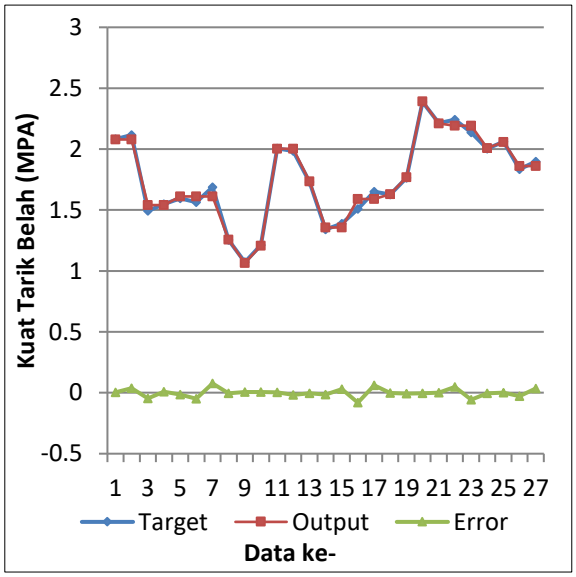
Selisih antara hasil penelitian laboratorium dan model ANN – B disajikan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Selisih antara hasil laboratorium (target) dan hasil ANN (*output*) dari *training* model ANN – B.

Data	Kuat Tarik Belah (MPA)		Selisih	Persen Selisih (%)
	Lab	ANN		
1	2.082	2.078	0.004	0.18
2	2.117	2.078	0.038	1.81
3	1.494	1.542	-0.047	3.18
4	1.550	1.542	0.008	0.51
5	1.596	1.611	-0.015	0.93
6	1.563	1.611	-0.048	3.05
7	1.688	1.611	0.077	4.55
8	1.253	1.257	-0.004	0.36
9	1.072	1.066	0.006	0.60
10	1.213	1.208	0.005	0.43
11	2.006	2.003	0.003	0.17
12	1.985	2.003	-0.018	0.89
13	1.729	1.734	-0.005	0.28
14	1.342	1.358	-0.016	1.19
15	1.388	1.358	0.030	2.17
16	1.509	1.590	-0.081	5.38
17	1.651	1.590	0.061	3.69
18	1.628	1.629	-0.001	0.08
19	1.763	1.770	-0.007	0.41
20	2.388	2.393	-0.005	0.23
21	2.214	2.211	0.002	0.10
22	2.241	2.193	0.048	2.14
23	2.138	2.193	-0.056	2.60
24	2.003	2.008	-0.005	0.27
25	2.060	2.058	0.002	0.10
26	1.834	1.862	-0.028	1.54

27	1.897	1.862	0.035	1.83
MAPE				1.43

Berdasarkan Tabel 3 dibuat grafik yang menunjukkan target, *output*, dan *error* yang dihasilkan dari *training* model ANN – B yang dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6. Grafik target, *output*, dan *error* data *training* model ANN – B

3.2 Hasil validasi ANN

Validasi model ANN dilakukan dengan menggunakan data validasi dan jaringan yang didapatkan pada proses *training*. Berdasarkan hasil yang diperoleh dihitung selisih antara hasil penelitian laboratorium dan pemodelan ANN. Berikut hasil validasi dari setiap model ANN.

3.2.1 Validasi model ANN – A

Selisih antara hasil penelitian laboratorium dan pemodelan ANN pada proses validasi disajikan dalam Tabel 4.

Tabel 4. Selisih antara hasil laboratorium (target) dan hasil ANN (*output*) dari validasi model ANN – A.

Data	Kuat Tarik Belah (MPA)		Selisih	Persen Selisih (%)
	Lab	ANN		
1	1.342	1.539	-0.197	14.65
2	1.686	1.539	0.147	8.74
3	1.654	1.539	0.115	6.97
4	2.057	1.888	0.169	8.23
5	2.098	1.888	0.210	10.02
MAPE				9.72

Berdasarkan Tabel 4 dibuat grafik yang menunjukkan target, *output*, dan *error* yang dihasilkan dari validasi model ANN – A yang dapat dilihat pada gambar 7.

Gambar 7. Grafik target, *output*, dan *error* dari validasi model ANN – A

3.2.2 Validasi model ANN – B

Selisih antara hasil penelitian laboratorium dan pemodelan ANN pada proses validasi disajikan dalam Tabel 5.

Tabel 5. Selisih antara hasil laboratorium (target) dan hasil ANN (*output*) dari validasi model ANN – B.

Data	Kuat Tarik Belah (MPA)		Selisih	Persen Selisih (%)
	Lab	ANN		
1	2.060	1.625	0.435	21.10
2	0.956	1.041	-0.085	8.94
3	1.868	2.039	-0.172	9.19
4	1.411	1.127	0.284	20.16
5	1.943	1.550	0.393	20.22
6	1.359	1.213	0.146	10.77
7	1.862	1.849	0.013	0.71
MAPE				13.01

Berdasarkan Tabel 5 dibuat grafik yang menunjukkan target, *output*, dan *error* yang dihasilkan dari validasi model ANN – B yang dapat dilihat pada gambar 8.

Gambar 8. Grafik target, *output,* dan *error* dari validasi model ANN – B

3.3 Pembahasan

Nilai MSE sebagai parameter pembelajaran pada ANN telah ditetapkan sebelumnya dengan nilai yang ingin dicapai sebesar 0,01. Berdasarkan grafik *learning performance* yang diperlihatkan pada Gambar 2 dan Gambar 5, diketahui nilai MSE yang diinginkan telah tercapai. Nilai MSE tersebut menunjukkan bahwa ANN dapat digunakan untuk memprediksi kuat tarik belah beton, di mana semakin kecil nilai MSE maka semakin kecil pula kesalahan (*error*) pada jaringan. Nilai MSE dapat ditingkatkan performanya dengan menambahkan jumlah data latih.

Nilai kuat tarik belah beton busa yang diperoleh dari pemodelan ANN untuk tahap *training* umumnya tidak jauh berbeda dengan hasil penelitian laboratorium Pada model yang telah dibuat diperoleh nilai MAPE *training* pada model ANN – A sebesar 2,71% dan pada model ANN – B sebesar 1,43%. Ini menunjukkan bahwa ANN telah mulai mengenali pola hubungan antara data *input* dan *output*-nya. Berdasarkan Tabel 1 diinterpretasikan bahwa pada tahap *training* model ANN – A dan B menghasilkan nilai prediksi yang sangat akurat.

Pada tahap validasi diperoleh nilai MAPE pada model ANN – A sebesar 9,72% dan 13,01% pada model ANN – B. Berdasarkan Tabel 1 diinterpretasikan bahwa pada tahap validasi model ANN – A menghasilkan nilai prediksi yang sangat akurat dan model ANN – B menghasilkan nilai prediksi yang baik. Adanya perbedaan hasil antara model ANN dan laboratorium pada proses validasi disebabkan data *input* yang lebih sedikit dibandingkan data *input* pada proses *training*, karena jumlah data *input* yang digunakan mempengaruhi keakuratan prediksi oleh ANN.

Kinerja ANN ditentukan oleh pola hubungan antar *neuron* (arsitektur jaringan), metode untuk menentukan bobot penghubung (metode pelatihan, *learning*, algoritma), dan fungsi aktivasi. Kombinasi yang tepat dari ketiganya akan menghasilkan pembelajaran yang optimal, karenanya perlu dilakukan *trial* dan *error* pada setiap parameter yang ada. Setelah dilakukan pelatihan dan pengujian terhadap pola-pola data, diperoleh hasil bahwa tes terhadap pola-pola tersebut adalah benar (akurat). Model dianggap akurat apabila kombinasi fungsi aktivasi, jenis fungsi pembelajaran, jumlah *neuron*, dan jumlah *hidden layer* memberikan nilai MSE terkecil.

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa model ANN – A dan B dapat digunakan untuk memprediksi kuat tarik belah beton busa, dengan kriteria pengamatan sangat akurat karena *error* yang terjadi di bawah 10 %. Hasil validasi menunjukkan tingkat ketepatan prediksi kuat tarik belah beton busa menggunakan model ANN yang dikembangkan memiliki *error* pada tahap *training* sebesar 2,71% dan 1,43% berturut-turut untuk model ANN – A dan B, sedangkan pada tahap validasi untuk model ANN – A dan B diperoleh persentase *error* rata-rata sebesar 9,72% dan 13,01%.

4.2 Saran

Saran penulis terhadap penelitian selanjutnya, yaitu diperlukan lebih banyak data *input* untuk menghasilkan pemodelan dengan hasil prediksi yang lebih baik. Penelitian ini dapat dilanjutkan oleh peneliti lain, dengan menggunakan ANN untuk memprediksi sifat mekanis beton lainnya.

5. Daftar pustaka

[1] Madandoust, R., M. Kazemmi, dan S. Yousefi. “Analytical Study on Tensile Strength of Concrete”. *Romanian Journal of Materials*, Vol. 47, No. 2, pp. 204-209, 2017.

[2] Wang, C.–K. dan C.G. Salmon. “Disain Beton Bertulang”. Jakarta: Penerbit Erlangga, 1993.

[3] Kocak, Y., E. Gulbandilar, dan M. Akcay. “Predicting the compressive strength of cement mortars containing FA and SF by MLPNN”. *Computers and Concrete: An International Journal*, Vol.15, No.5, pp.759-770, 2015.

[4] Prasad, B.K.R., H. Eskandari, dan B.V.V. Reddy. “Prediction of compressive strength of SCC and HPC with high volume fly ash using ANN”. *Construction and Building Materials*, Vol. 23, pp.117-128, 2009.

[5] Razavi, S.U., M.Z. Jumaat, dan A.H El-Shafie. “Load-deflection Analysis of CFRF strengthened RC slab using focused feedforward time delay neural network”. *Concrete Research Letters*, Vol. 5, No. 3, pp. 858-872, 2014.

[6] Abdallaa, J.A., A. Elsanosib, dan A. Abdelwahab. “Modeling and simulation of shear resistance of R/C beams using artificial neural network”. *Journal of Franklin Institute*, Vol. 344, pp. 741-56, 2007.

[7] Mashrei, M.A., N. Ab"dulrazzaq, T.Y. Abdalla, dan M.S. Rahman. “Neural Networks model and adaptive neuro-fuzzy inference system for predicting the moment capacity of ferrocement members”. *Engineering Structures*, Vol. 32, pp. 1723-1734, 2010.

[8] Sakthivel, P.B., A. Ravichandran, dan N. Alagumurthi. “Modeling and Prediction of Flexural Strength of Hybrid Mesh and Fiber Reinforced Cement-Based Composites Using Artificial Neural Network (ANN)”. *Int. J. Of GEOMATE*, Vol. 10, No. 1, pp. 1623-1635, 2016.

[9] ASCE Task Committee on Application of Artificial Neural Networks in Hydrology. “Artificial Neural Networks in Hydrology. II : Hydrology Applications”. *Journal of Hydrologic Engineering*, Vol. 5, No. 2, 2000.

[10] Fakhrizal. “Pengaruh Penggunaan Abu Cangkang Sawit sebagai Bahan Pengisi Terhadap Sifat Mekanis dan Absorpsi Beton Busa (Foamed Concrete)”. Banda Aceh: Universitas Syiah Kuala, 2015.

[11] Rachmatillah, N.A. “Pengaruh Penambahan Abu Bakar Cangkang Sawit Terhadap Sifat Mekanis dan Absorpsi Beton Busa (Foamed Concrete)”. Banda Aceh: Universitas Syiah Kuala, 2015.

[12] Masrura, D. “Pengaruh Penambahan Fly Ash Terhadap Sifat Mekanis dan Absorpsi Beton Busa (Foamed Concrete)”. Banda Aceh: Universitas Syiah Kuala, 2015

[13] Saputra, F. “Pengaruh Penambahan Batu Apung (Pumice) Terhadap Sifat Mekanis Beton Busa (Foamed Concrete)”. Banda Aceh: Universitas Syiah Kuala, 2010.

[14] Khalis, R. “Pengaruh Penambahan Batu Apung Terhadap Sifat Mekanis Beton Busa (Foamed Concrete)”. Banda Aceh: Universitas Syiah Kuala, 2010.

[15] Lewis, C.D. “Industrial and Business Forecasting Methods”. London: Butterworths, 1982.