

PREDIKSI DEFLEKSI BALOK KAYU TUMPUAN SEDERHANA DENGAN MODEL ADAPTIVE NEURO FUZZY INFERENCE SYSTEM (ANFIS)

oleh :

Novia Hilda Silviani

Teknik Sipil Universitas Mataram

Email : noviahilda.s@gmail.com

Buan Anshari

Teknik Sipil Universitas Mataram

Email : buan.anshari@unram.ac.id

Ngudiyono

Teknik Sipil Universitas Mataram

Email : ngudiyono@unram.ac.id

Abstrak : Defleksi merupakan parameter penting untuk mengontrol elemen struktur balok elemen pada kondisi layan. Beberapa cara untuk menghitung defleksi diantaranya dengan metode matematis seperti luas momen, balok konjugasi, *Castigliano's*, prinsip kerja virtual dan metode numerik seperti metode beda hingga, elemen hingga dan lain lain. Dalam naskah ini, telah dibangun model *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS)*, untuk memprediksi defleksi balok kayu tumpuan sederhana dengan beban terdistribusi merata. Data proses pembelajaran terdiri dari *input* dan *output (target)*. *Input* pada penelitian ini meliputi modulus elastisitas (E), lebar (b), tinggi (h), bentang (L) dan beban terdistribusi merata (W) sedangkan *output* adalah defleksi balok. Hasil analisis menunjukkan bahwa model ANFIS mempunyai tingkat akurasi yang baik, jika dibandingkan dengan teori dimana koefisien korelasi (R^2) untuk data pengujian 0.995 dan *Mean Square Error (MSE)* 0.13 mm. Hal ini menunjukkan bahwa model ANFIS yang dibangun dapat diandalkan untuk memprediksi lendutan balok kayu tumpuan sederhana.

Kata Kunci : ANFIS, Lendutan Balok, Kayu, Balok Tumpuan Sederhana, beban terdistribusi merata

Abstract : Deflection as an important parameter to control serviceability of element beam structures. There are some ways to calculate the deflections including mathematic method such as moment area, conjugate beam, *Castigliano's*, virtual work principle and numerical method finite difference, finite element method etc. In this manuscript, *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS)* model was built for predicting to the deflection of wood simply supported beam under uniform distributed load. In the learning process consists of input and output (target) data. The input in this study includes the modulus of elasticity (E), width (b), height (h), span (L) and uniform distributed load (W) while the output is deflection of the beam. The results of the analysis shown that ANFIS model a good level of accuracy compared with theory, where the correlation coefficient (R^2) for testing data 0.995 and *Mean Square Error (MSE)* 0.13 mm. This shows that the ANFIS model built is reliable to predict deflection of wood simply supported beam.

Keyword : ANFIS, deflection, Wood, Simply Supported Beam, uniform distributed load

Pendahuluan

Saat ini penggunaan material kayu sebagai material konstruksi bangunan sipil

khususnya untuk elemen struktur balok sudah banyak digunakan, hal ini dikarenakan kayu dapat dikategorikan

sebagai material ramah lingkungan (*green building*), dapat diperbarui (*renewable*) dan dapat terurai (*bio-degradable*). Defleksi balok merupakan parameter penting untuk mengontrol struktur pada kondisi layan, umumnya analisis dilakukan dengan berbagai metode matematik seperti prinsip kerja virtual, luas momen, balok konjugasi, Castigliano, dan metode numerik seperti metode beda hingga, elemen hingga dan lain-lain, dimana penurunan persamaan matematiknya memerlukan cukup rumit sehingga diperlukan metode baru untuk menganalisis defleksi balok dengan menggunakan kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*).

Perkembangan *soft computing* terutama dalam bidang kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*), memungkinkan mesin komputer mampu menyelesaikan permasalahan seperti yang dilakukan oleh manusia. Beberapa kecerdasan buatan yang sudah diaplikasikan dibidang teknik sipil adalah jaringan syaraf tiruan (*Artificial Neural Network/ANN*), logika samar (*Fuzzy Logic/FL*) dan gabungan antar ANN dan FL yang disebut dengan *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System/ANFIS* (Neshat dkk., 2011; Mohammadhassani dkk., 2013; Makni dkk., 2013; Kaczmarek dkk., 2016).

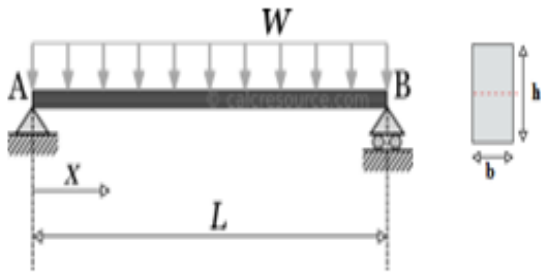
Penelitian pemanfaatan kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*) dengan metode ANN untuk analisis defleksi balok kantilever dengan beban terdistribusi merata telah dilakukan Tuan Ya dkk. (2019), hasil penelitian menunjukkan bahwa hasil analisis dengan model ANN dengan hasil simulasi dengan metode elemen hingga (FEM). Namun demikian penggunaan metode ANN memiliki beberapa kelemahan yakni dibutuhkan iterasi yang banyak dalam proses *training* untuk memproses *neural network* yang besar, sehingga terkadang hasil yang diperoleh menjadi kurang akurat.

Jepriani dkk. (2018) telah memprediksi defleksi balok beton bertulang kantilever dengan menggunakan *inferensi fuzzy sytem* (FIS) atau FL, menyimpulkan bahwa model FL yang telah dibangun sesuai untuk memprediksi lendutan. Sedangkan kelemahan pada metode FL, diperlukan suatu metode optimasi yaitu dengan cara coba-coba (*trial and error*) dalam menentukan fungsi keanggotaan (*membership function*) untuk memperoleh fungsi keanggotaan yang optimal. Oleh karena dengan menggabungkan metode ANN dan FL menjadi metode *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS) dimana fungsi keanggotaan (*membership function*) dan *rule IF THEN* dapat ditentukan dari data masukan (*input*) secara otomatis melalui proses pembelajaran (*leaning*), sehingga model ini diharapkan dapat mengurangi kelemahan dari metode ANN dan FL, agar prediksi yang dihasilkan akan menjadi lebih akurat. Pada penelitian ini metode ANFIS telah digunakan untuk memprediksi defleksi balok tumpuan sederhana dengan beban terdistribusi merata.

Struktur dan Model *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS)

1. Defleksi Balok Sederhana
Balok yang ditumpu sederhana dengan beban terdistribusi merata (Gambar 1) adalah suatu struktur yang ujungnya ditumpu oleh sendi dan roller. Defleksi yang terjadi pada struktur balok tersebut merupakan fungsi jarak x dari ujung A. Jika bahan balok elastis dengan modulus elastisitas (E), momen inersia ($I=1/12.b.h^3$), bentang balok (L), defleksi maksimum (δ_{maks}) pada $x = L/2$, dan dapat dianalisis dengan persamaan:

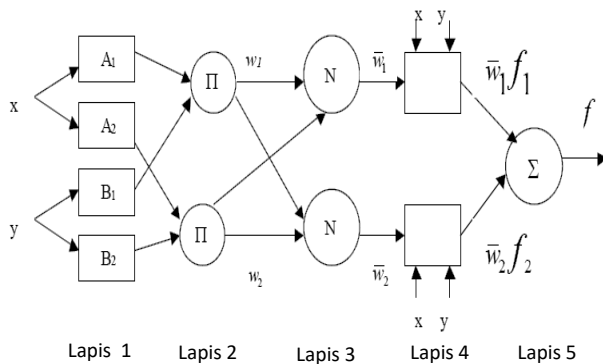
$$\delta_{maks} = (5.W.L.4) / (384.E.I)..... (1)$$



Gambar 1. Balok Tumpuan Sederhana

2. Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS)

Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) pertama kali diperkenalkan oleh Jang (1993), merupakan kombinasi dari Artificial Neural Network (ANN) dan Fuzzy Inference System (FIS) menggunakan model Takagi dan Sugeno. Dengan menggunakan suatu prosedur *hybrid learning* (gabungan metode *Backward-Propagation Gradient Descent* (BPGD) dan *Least-Squares Estimator* (LSE), ANFIS dapat membangun suatu mapping input-output yang keduanya berdasarkan pada pengetahuan manusia dengan aturan *fuzzy IF-THEN*) dengan fungsi keanggotaan (*membership function*) yang tepat. Struktur dasar ANFIS ditunjukkan pada Gambar 2:



Gambar 2. Struktur Dasar ANFIS (Jang, 1993)

Dalam sistem ANFIS terdiri dari lima lapisan jaringan yang menggambarkan jaringan syaraf berlapis-lapis dan memiliki fungsi

yang berbeda tiap lapisnya. Tiap lapis terdiri dari beberapa simpul yang dilambangkan dengan kotak atau lingkaran. Lambang kotak menyatakan simpul adaptif artinya nilai parameternya bisa berubah dengan pembelajaran dan lambang lingkaran menyatakan simpul nonadaptif yang nilainya tetap. Fungsi dan persamaan masing-masing lapisannya dijelaskan sebagai berikut:

Lapisan 1: Lapisan Fuzzyfikasi

Berfungsi untuk membangkitkan derajat keanggotaan. Layer ini disebut layer input. Simpul dari layer ini akan terhubung dengan nilai keanggotaan fuzzy.

$$O_{1.i} = \mu_{A_i}(x) \text{ untuk } i=1,2 \text{ dan}$$

$$O_{1.i} = \mu_{B_i}(y) \text{ untuk } i=3,4 \dots \dots \dots (2)$$

Dengan x dan y adalah input bagi simpul ke i.

Lapisan 2: Lapisan Produk

Tiap output simpul menyatakan derajat pengaktifan (*firing strength*) tiap aturan fuzzy. Fungsi ini dapat diperluas apabila bagian premise memiliki lebih dari dua himpunan fuzzy. Banyaknya simpul pada lapisan ini menunjukkan banyaknya aturan yang dibentuk.

$$O_{2.i} = w_i = \mu_{A_i}(x)\mu_{B_i}(y), \text{ untuk } i = 1,2 \dots \dots (3)$$

Lapisan 3: Lapisan Normalisasi

Menormalkan *firing strength*. Lapisan setiap simpul pada lapisan ini adalah simpul nonadaptif yang menampilkan fungsi derajat pengaktifan ternormalisasi (*normalized firing strength*) yaitu rasio output simpul ke-i pada lapisan sebelumnya terhadap seluruh output lapisan sebelumnya, dengan bentuk fungsi simpul:

$$O_{3.1} = \bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1+w_2}, \text{ untuk } i = 1,2 \dots \dots \dots (4)$$

Lapisan 4: Lapisan Defuzzyfikasi

Menghitung output kaidah berdasarkan parameter *consequent* (p_i , q_i , dan r_i)

$$O_{4.1} = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i (p_i x + q_i y + r_i) \dots \dots \dots (5)$$

Lapisan 5: Lapisan Total Output

Menghitung sinyal output ANFIS dengan menjumlahkan semua sinyal yang masuk.

$$O_{4.1} = \sum_i \bar{w}_i f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i} \dots \dots \dots (6)$$

Metodologi Penelitian

Secara umum proses permodelan ANFIS terbagi menjadi tiga bagian, yaitu proses *training*, *testing*, *checking*. Prinsip dari proses *training* adalah melakukan pembelajaran terhadap data agar diperoleh hasil sesuai dengan target pada data tersebut. Sedangkan proses *testing* adalah proses pengujian ketelitian dari model yang telah diperoleh dari proses *training*. Model prediksi ANFIS dikembangkan dengan menggunakan software ANFIS Tools pada MATLAB Student Version R2014a.

1. Pengumpulan Data

Pengumpulan data harus sudah dilakukan sebelum membuat permodelan. Data yang diperoleh kemudian dikelompokkan menjadi data yang akan menjadi *input* dan *output*. Proses penyusunan data ini akan digunakan dalam proses pembelajaran (*leaning*). Data terdiri dari masukan (*input*) dan target (*output*) pembelajaran. Data disusun membentuk matrik, dengan kolom merupakan jumlah *input* dan baris merupakan jumlah data yang akan dilatih. Pada penelitian ini data diperoleh dari persamaan (1), dimana 147 data (Tabel 1) untuk proses *training* dan 12 data (Tabel 2) untuk proses *testing*. Lima variabel bebas berikut diperlakukan sebagai data *input* yaitu modulus elastisitas (E), lebar (b), tinggi (h), bentang (L) dan beban terdistribusi merata (W) sedangkan *output* (*target*) adalah defleksi maksimum balok.

Tabel 1. Data Training

No	E (MPa)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	W (N/mm)	δ_{theory} (mm)
1	5000	50	100	3000	1.00	50.63
2	5000	50	100	3000	1.25	63.28
3	5000	50	100	3000	1.50	75.94
4	5000	50	100	3000	1.75	88.59
5	5000	50	100	3000	2.00	101.25
....
....
....
143	20000	70	140	4000	1.50	15.62
144	20000	70	140	4000	1.75	18.22
145	20000	70	140	4000	2.00	20.82
146	20000	70	140	4000	2.25	23.43
147	20000	70	140	4000	2.50	26.03

Tabel 2. Data Testing

No	E (MPa)	b (mm)	h (mm)	L (mm)	W (N/mm)	δ_{theory} (mm)
1	10000	50	100	3000	1.00	25.31
2	10000	50	100	3000	1.25	31.64
3	12500	50	100	3000	1.00	20.25
4	12500	50	100	3000	1.25	25.31
5	15000	50	100	3000	1.00	16.88
6	15000	50	100	3000	1.25	21.09
7	10000	70	140	4000	1.00	20.82
8	10000	70	140	4000	1.25	26.03
9	12500	70	140	4000	1.00	16.66
10	12500	70	140	4000	1.25	20.82
11	15000	70	140	4000	1.00	13.88
12	15000	70	140	4000	1.25	17.35

2. Uji Keandalan Model ANFIS

Untuk mengetahui keandalan (tingkat keakuratan) model ANFIS, yaitu dengan menghitung nilai error dengan *Mean Square Error* (MSE) dan koefisien korelasi (R^2) sesuai dengan persamaan (7) dan (8):

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n (t_i - y_i)^2}{n} \dots \dots \dots (7)$$

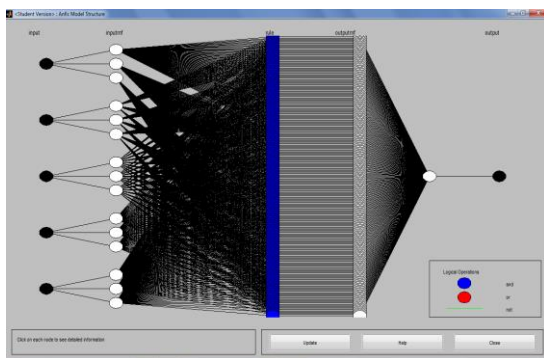
$$R^2 = 1 - \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (t_i - y_i)^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}} \dots \dots \dots (8)$$

dengan:

- t_i : data defleksi ke i hasil analisis teori
- y_i : data defleksi ke i hasil model ANFIS
- \bar{t} : rata-rata defleksi hasil analisis teori
- n : jumlah data

Hasil Dan Pembahasan

1. Model Arsitek (Struktur) Neuron ANFIS. Model arsitek (struktur) neuron ANFIS juga ditentukan secara otomatis berdasarkan data input dan target dari proses pembelajaran seperti yang disajikan pada Gambar 3, dimana model terdiri atas 5 *input* (E, b, h, L dan W) dan 1 *output* (δ_{maks}) dengan 5 lapis (layer). Dalam proses pembelajaran pada model ANFIS hampir sama dengan model ANN, metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode *hybrid* yaitu gabungan propagasi balik (*backpropagation*) dan kuadrat terkecil (*least square*) dengan toleransi *error* dibuat sebesar 0,001 dan jumlah iterasi (*epoch*) maksimum 500.

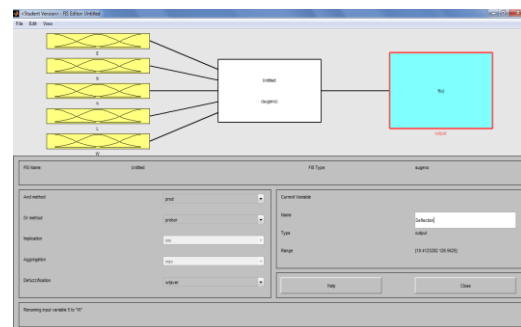


Gambar 3. Mode Arsitek (Struktur) ANFIS

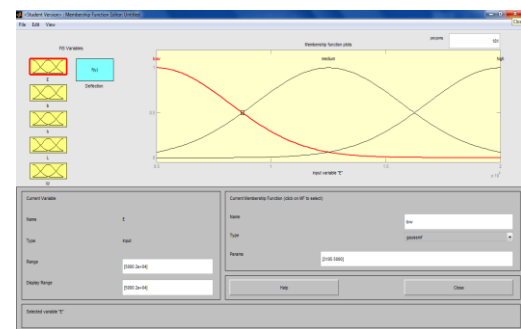
2. Fungsi Keanggotaan (*Membership Function*).

Fungsi Keanggotaan (*Membership Function*) adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik input data ke dalam nilai keanggotaannya (sering juga disebut dengan derajat keanggotaan) yang memiliki interval antara 0 sampai 1. Pada *toolbox* ANFIS program MATLAB *Student Version* menyediakan beberapa fungsi keanggotaan untuk input antara lain Trimf, Trapmf, Gbellmf, Gaussmf, Gauss2mf, Pimf, Dsigmf, dan Psigmf, sedangkan fungsi keanggotaan untuk output adalah konstan dan linier. Pada penelitian ini fungsi keanggotaan ini

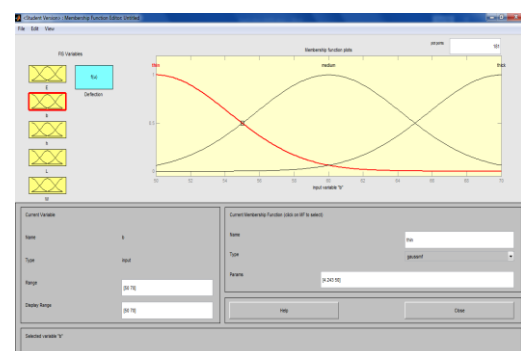
dibangun berdasarkan model *Fuzzy Inference System* (FIS) menggunakan model Takagi-Sugeno (Gambar 4). Fungsi keanggotaan untuk variabel *input* (E, b, h, L dan W) dan 1 *output* (δ_{maks}) adalah Gaussmf disajikan pada Gambar 5 sampai dengan 9, sedangkan fungsi keanggotaan *output* linier.



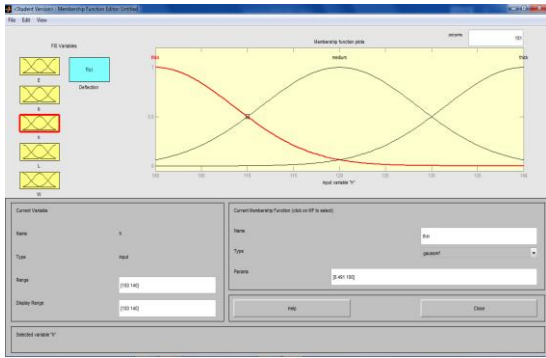
Gambar 4. FIS Model



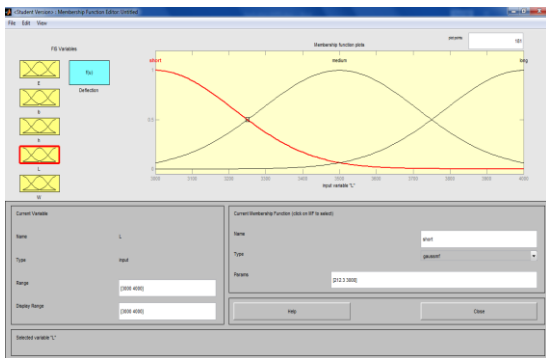
Gambar 5. Membership Function of Modulus Elasticity (E)



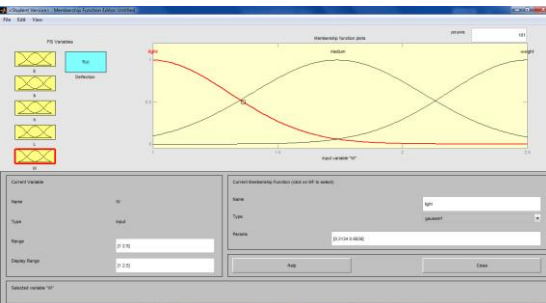
Gambar 6. Membership Function of Width (b)



Gambar 7. Membership Function of Height (h)



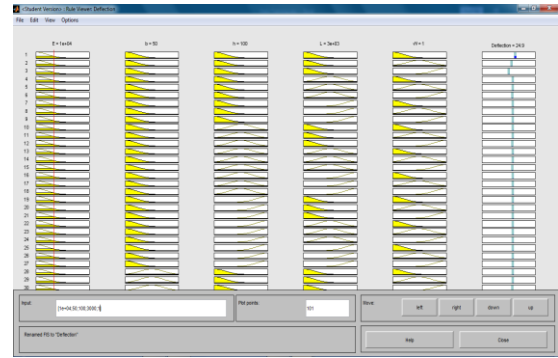
Gambar 8. Membership Function of Span (L)



Gambar 9. Membership Function of Uniform Distribution Load (W)

3. Aturan IF THEN (Rule IF THEN)

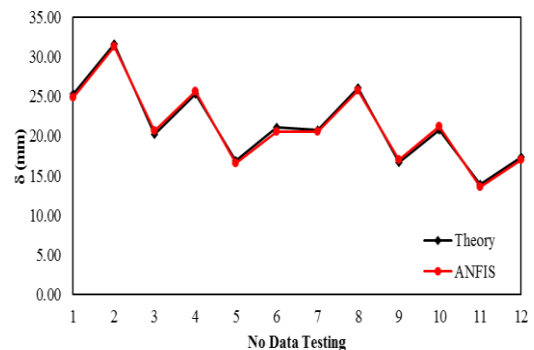
Berbeda dengan model *Fuzzy Inference System* (FIS), pada model ANFIS aturan (Rule) IF THEN ditentukan secara otomatis berdasarkan data *input* dan *target* dari proses pembelajaran seperti yang disajikan pada Gambar 10, yang dapat digunakan untuk memprediksi defleksi maksimum balok, berdasarkan *input* E, b, h, L dan W.



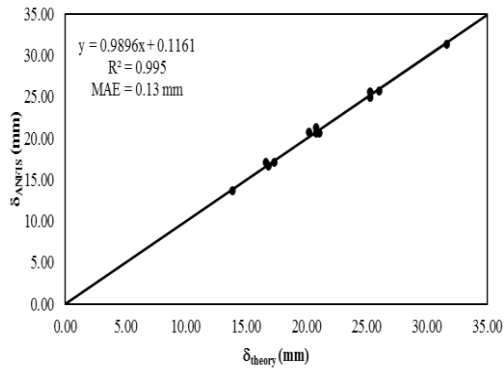
Gambar 10. Aturan IF THEN Model ANFIS

4. Evaluasi Model ANFIS

Untuk menjaga independensi, model ANFIS yang telah dibangun dibandingkan dengan data testing seperti yang disajikan pada Gambar 11, sedangkan tingkat akurasi model ANFIS ditunjukkan pada Gambar 12. Dari Gambar tersebut terlihat bahwa model ANFIS yang telah dibangun menunjukkan tingkat keakuratan yang baik, dimana nilai koefisien korelasi (R^2) 0.995 dengan MSE 0.13 mm. Jika dilihat dari distribusi (penyebaran data) dengan acuan garis diagonal (membentuk sudut 45°) terlihat bahwa penyebaran data yang berada di atas dan bawah garis diagonal hampir sama, ini mengindikasikan bahwa model ANFIS yang telah dibangun cukup handal untuk memprediksi defleksi maksimum balok sederhana dengan beban terdistribusi merata.



Gambar 11. Perbandingan Defleksi Hasil Analisis Teori dan Model ANFIS



Gambar 12. Koefisien Korelasi (R^2) dan MSE Data Testing dengan Model ANFIS

Kesimpulan

Pada penelitian ini dikembangkan model ANFIS untuk memprediksi defleksi balok kayu sederhana, dimana parameter tersebut penting untuk mengontrol kemudahan pada masa layan suatu elemen struktur balok. Dari Hasil analisis menunjukkan bahwa model ANFIS memiliki tingkat akurasi yang baik dibandingkan dengan teori, dimana koefisien korelasi (R^2) 0,995 dengan MSE 0,13 mm. Hal ini menunjukkan bahwa model ANFIS yang dibangun dapat diandalkan untuk memprediksi lendutan balok kayu sederhana dengan beban terdistribusi merata.

Daftar Pustaka

Jang, J.S.R. (1993). ANFIS: Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System, IEEE Transactions on Systems, Man, And Cybernetics, Vol. 23, No. 3.

Jepriani, S., Ibayasid, Wibawa, A.P., Hernandez, L. (2018). Deflection Prediction Of Cantilever Concrete Beam Using Adaptive Fuzzy Inference System. International Journal of Engineering & Technology, 7 (2.2).

Kaczmarek, M., Szymańska, A. (2016). Application Of Artificial Neural Networks To Predict The Deflections Of

Reinforced Concrete Beams. Studia Geotechnica et Mechanica, Vol. 38, No. 2.

Makni, M., Daoud, A., Karray, M. A. (2013). Application of Artificial Neural Network technique in Civil Engineering. Proceedings International Conference on Control. Engineering & Information Technology (CEIT'13), Vol. 2.

Mohammadhassani, M., Pour, H. N., Jumaat, M. Z., Jamel, M., Hakim, S.J. S. (2013). Application of the ANFIS model in Deflection Prediction of Concrete Deep Beam. Structural Engineering and Mechanics, Vol. 45, NO. 3.

MATLAB, (2014). Neuro-Adaptive Learning and ANFIS Model, <https://www.mathworks.com/help/fuzzy/neuro-adaptive-learning-and-anfis.html>.

Neshat, M., Adeli, A., Masoumi, A., Sargolzae, M. (2011). A Comparative Study on ANFIS and Fuzzy Expert Sytem Models for Concrete Mix Design. IJCSI International Journal of Computer Science Issues, Vol. 8, No. 2.

Tuan Ya, T.M.Y.S., Alebrahim, R., Fitri, N., Alebrahim, M. (2019). Analysis of Cantilever Beam Deflection under Uniformly Distributed Load using Artificial Neural Networks. MATEC Web of Conferences 255, EAAI Conference.