

PREDIKSI TINGKAT KINERJA STRUKTUR GEDUNG KANTOR BERDASARKAN MUTU BETON DENGAN METODE JARINGAN SARAF TIRUAN

Beny Setiawan

Mahasiswa Magister Teknik Sipil Universitas Riau
Jalan Subrantas Km 12,5 Pekanbaru, 28293
E-mail : beny.setiawan@student.unri.ac.id

Reni Suryanita

Magister Teknik Sipil Universitas Riau
Jalan Subrantas Km 12,5 Pekanbaru, 28293
E-mail : reni.suryanita@lecturer.unri.ac.id

Zulfikar Djauhari

Magister Teknik Sipil Universitas Riau
Jalan HR. Soebrantas Panam Pekanbaru
E-mail : zulfikar.djauhari@lecturer.unri.ac.id

Abstrak

Gempa adalah fenomena alam yang tidak dapat diprediksi kekuatan, kapan dan dimana akan terjadi, fenomena alam ini menjadi salah satu faktor perusak utama bagi wilayah-wilayah yang dilewati jalur patahan. Kerugian yang diakibatkan gempa sangat besar, mulai dari kerusakan sarana - prasarana infrastruktur, ekonomi dan juga banyak menelan korban jiwa. Penelitian ini akan dilakukan analisis struktur dengan menggunakan analisis riwayat waktu (*time history*) dengan bantuan *software* elemen hingga. Pemodelan berdasarkan struktur bangunan gedung kantor yang direncanakan pada tahun pada tahun 2014, dan standar tingkat kinerja struktur berdasarkan FEMA 356. Pemilihan perencanaan gedung ini dikarenakan perencanaan tersebut tidak memperhitungkan beban gempa dalam analisis strukturnya. Beban gempa yang digunakan adalah gempa *El-Centro* yang akan diskalakan sesuai skala lokasi pembangunan, 0,25g, 0,50g, 0,75g dan 1,00g. Selain itu mutu beton juga divariasikan menjadi 11 mutu beton yang dimulai dari 15 MPa hingga 25 MPa untuk proses pelatihan jaringan saraf tiruan agar dapat memprediksi tingkat kinerja struktur bangunan gedung kantor. Hasil dari penelitian ini pada analisis tingkat kinerja sesuai dengan analisis riwayat waktu dengan gempa yang diskalakan pada lokasi pembangunan adalah *SAVE* atau sangat aman dikarenakan daerah pembangunan merupakan daerah tidak rawan gempa, sedangkan hasil pelatihan JST menghasilkan nilai R^2 sebesar 98,11% dan MSE 0,00025 yang berarti pelatihan JST memiliki tingkat kesalahan sangat kecil dan keterkaitan tiap unsur pelatihan sangat bagus. Hasil dari *testing* JST mendapatkan nilai R^2 sebesar 94,59% dengan nilai MSE 0,00082 yang berarti JST memiliki tingkat validitas tinggi dengan tingkat kesalahan sangat kecil yang hampir mendekati 0 (nol).

Kata Kunci : Bangunan Tingkat Rendah, FEMA 356, Tingkat Kinerja

Abstract

Earthquakes are unpredictable natural phenomena, when and where they will occur, this natural phenomenon becomes one of the major destructive factors for the areas through which the fault lines pass. The losses caused by the earthquake are huge, ranging from damage to infrastructure, economic and also many casualties. This research will be conducted using Time History Analysis with the help of Finite Element software. Modeling based on building structures built in 2014, and FEMA 356 structural level performance standards. The selection of this building because its seismicity structural analysis is not planned. Capacities classified as El-Centro earthquakes will be scaled according to the construction site scale, 0,25 g, 0,50 g, 0,75 g and 1,00 g. In addition, the quality of concrete is also varied to 11 concrete quality starting from 15 MPa to 25 MPa for the training of Artificial Neural Network so that can be measured the performance level of office building structure. The results of this study with scores corresponding to the earthquake being updated at high speed. The range of earthquakes, while the results of training ANN produced R^2 value of 98,11% and MSE 0,00025 which means the training of ANN has a very small error rate and the relevance of each element of training is very good. The result of the ANN test of R^2 is 94,59% with the value of MSE 0,00082 which means the ANN has a high validity level with a very small error rate that is almost close to 0 (zero).

Keywords : *Low Level Building, FEMA 356, Performance Level*

A. PENDAHULUAN

Pada hakikatnya dalam perencanaan suatu pembangunan gedung dengan lantai lebih dari satu, harus memiliki dokumen analisis struktur sebagai faktor pendukung perencanaan agar dapat dilaksanakan sampai tahap pembangunan fisik. Di Bangkinang beberapa perencanaan gedung lantai lebih dari satu harus melampirkan dokumen atau laporan analisis struktur beberapa yang lain tidak, namun analisis ini hanya sebatas analisis menggunakan beban mati atau berat sendiri struktur tanpa diikuti pembebanan yang diakibatkan gempa. Dalam wawancara singkat dengan salah satu perencana di Bangkinang, bangunan dua lantai tidak harus menggunakan gempa sebagai beban yang akan diterima struktur karena intensitas gempa di Kampar tidak sesering Sumatera Barat yang merupakan wilayah rawan gempa. Penelitian ini akan dilakukan analisis

struktur dengan menggunakan analisis riwayat waktu (*time history*) dengan bantuan *software* elemen hingga dengan beban gempa El Centro dengan 5 (lima) skala berbeda. Pemodelan berdasarkan struktur bangunan gedung kantor yang direncanakan pada tahun pada tahun 2014. Pemilihan perencanaan gedung ini dikarenakan perencanaan tersebut tidak memperhitungkan beban gempa dalam analisis strukturnya.

Penelitian ini juga akan menerapkan ilmu Jaringan Saraf Tiruan (JST) sebagai metode untuk memprediksi tingkat kinerja struktur jika perencanaan menggunakan variasi mutu beton yang berbeda dan skala gempa yang berbeda pula. Diharapkan dengan hasil prediksi, perencanaan ini bisa diterapkan dimanapun lokasi pembangunan, berapapun mutu beton dan berapa besar skala gempa di lokasi tersebut.

Tujuan dari penelitian ini ingin mengetahui tingkat akurasi JST dalam

memprediksi tingkat kinerja struktur bangunan sesuai dengan *input* yang sudah ditentukan.

B. TINJAUAN PUSTAKA

1. Gempa Bumi

Gempa bumi terjadi karena fenomena getaran dengan kejutan pada kerak bumi (Schodek D.L., 1999). Gempa bumi merupakan getaran yang terjadi pada permukaan tanah yang dapat disebabkan oleh aktivitas tektonik, vulkanisme, longsor termasuk batu-batu ataupun bahan peledak (Chen W.F., Lui E.M., 2006).

2. ASCE 41-13

Analisis riwayat waktu merupakan suatu cara analisa struktur, dimana suatu model matematik dari struktur dikarenakan riwayat waktu dari gempa-gempa hasil pencacatan atau gempa-gempa tiruan terhadap riwayat waktu dari respon struktur ditentukan. Proses ini akan mengacu pada SNI 1726-2012 dan FEMA 356.

Sebelum menganalisis riwayat waktu, terlebih dahulu harus melakukan peng-skalaan gempa, perhitungkan percepatan tanah puncak yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs (PGA_m) dengan persamaan yang ditetapkan SNI 1726-2012 :

$$PGA_M = F_{PGA} \times PGA \quad (1)$$

Dengan :

PGA_M = Percepatan tanah puncak yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs

PGA = Percepatan tanah puncak terpetakan

F_{PGA} = Koefisien Situs dari tabel 8 pada SNI 1726-2012

Setelah nilai PGA_M diperoleh, kemudian hitung nilai faktor skala

riwayat gempa lokasi pembangunan sesuai nilai PGA_M dengan faktor keutamaan gempa (I) dan koefisien modifikasi respon (R) dengan persamaan :

$$PGA_{M(diskalakan)} = PGA_M \left(\frac{I}{R} \right) \quad (2)$$

Dengan :

I = Nilai faktor keutamaan gempa diperoleh dari tabel 2 pada SNI 1726-2012

R = Nilai koefisien modifikasi respon diperoleh dari tabel 9 pada SNI 1726-2012

3. Tingkat Kinerja (*Performance Levels*)

FEMA 356 menjelaskan tingkat kinerja secara berturut-turut dari respon paling kecil, terdiri atas:

- a. *Fully Operational* (FO) adalah kondisi yang mana bangunan tetap dapat beroperasi langsung setelah gempa terjadi.
- b. *Immediate Occupancy* (IO) adalah kondisi yang mana struktur secara umum masih aman untuk kegiatan operasional segera setelah gempa terjadi.
- c. *Life Safety* (LS) adalah suatu kondisi yang mana struktur bangunan mengalami kerusakan sedang, sehingga diperlukan perbaikan, namun bangunan masih stabil dan mampu melindungi pemakai dengan baik.
- d. *Collapse Prevention* (CP) adalah suatu kondisi yang mana struktur bangunan mengalami kerusakan parah, pada kondisi ini bangunan sudah tidak dapat dipakai lagi.

Sasaran penting dari analisis berbasis kinerja bangunan terhadap gempa dinyatakan secara jelas. Sasaran kinerja terdiri dari kejadian gempa

rencana yang ditentukan (*Earthquake Hazard*), dan taraf kerusakan yang diijinkan atau tingkat kinerja dari bangunan terhadap kejadian gempa tersebut. Pertimbangan perencanaan bangunan terhadap resiko gempa dapat dilakukan dengan menerapkan prinsip berikut :

- a. Gempa ringan, bangunan tidak boleh rusak secara struktural dan arsitektural.
- b. Gempa sedang, komponen struktural (balok dan kolom) tidak diperbolehkan rusak sama sekali tetapi komponen arsitektural diperbolehkan.
- c. Gempa berat, boleh terjadi kerusakan pada komponen struktural tetapi tidak menyebabkan keruntuhan bangunan.

4. Jaringan Saraf Tiruan (JST)

Ilmu mengenai sel saraf biologi didalam otak telah memberikan ide dalam pengembangan sistem komputerisasi yang saat ini di kenal dengan Jaringan Saraf Tiruan (JST). Susunan dan operasi JST dapat digambarkan dalam bentuk model matematis dan simulasi dari model saraf biologi. Dilihat dari fungsi, JST diciptakan untuk merancang sistem komputerisasi yang dapat difungsikan untuk melakukan proses belajar dari suatu contoh kejadian.

Sedangkan dari struktur rancangan, JST merupakan suatu alat hitung yang ditujukan untuk dapat melakukan sesuatu yang serupa dengan cara kerja jaringan biologi otak manusia. Otak manusia memiliki jaringan saraf yang terdiri dari beberapa neuron yang mempunyai hubungan antara satu dengan yang lainnya.

Algoritma penelitian ini menggunakan algoritma *Backpropagation* yang mana pelatihan ini pertama kali dirumuskan oleh

Werbis dan dipopulerkan oleh Rumelhart dan McClellan. Pembelajaran algoritma ini adalah pembelajaran yang terawasi dan biasanya digunakan oleh perceptron dengan banyak lapisan untuk mengubah bobot-bobot yang terhubung dengan neuron-neuron yang ada pada lapisan tersembunyi. Jaringan ini terdiri dari satu *input layer*, satu *output layer* dan satu atau lebih *hidden layer* yang dapat ditentukan oleh orang merancang JST tersebut (Zhao dkk., 1998). Arsitektur jaringan algoritma ini memiliki 3 (tiga) lapisan yang terdiri dari *input*, *hidden*, dan *output*.

Secara garis besar dapat dideskripsikan, ketika jaringan diberikan pola masukan sebagai pola pelatihan maka pola tersebut menuju unit-unit lapisan tersembunyi untuk diteruskan ke unit-unit lapisan keluaran. Setelah proses tersebut unit-unit lapisan keluaran memberikan tanggapan yang disebut dengan keluaran jaringan, saat keluaran jaringan tidak menghasilkan keluaran yang sesuai dengan apa yang diharapkan maka akan menyebar mundur pada lapisan tersembunyi dan diteruskan ke unit lapisan masukan. Oleh sebab itu maka mekanisme ini disebut pelatihan propagasi balik (*backpropagation*).

JST yang sudah dirancang kemudian diperiksa tingkat kesalahan dan tingkat validitas untuk menilai keakuratan hasil prediksi JST tersebut. Tingkat kesalahan JST dinyatakan dalam *Mean Squared Errors* (MSE) yang dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$MSE = 0,5 \left(\frac{T_k}{Y_k} \right)^2 \quad (3)$$

Jika nilai MSE mendekati 0 (nol) maka dalam melakukan prediksi, JST memiliki tingkat kesalahan yang kecil yang berarti JST dapat digunakan jika

nilai R^2 mendekati nilai 1. Nilai R^2 dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$R^2 = 1 - \left[\frac{\sum_k^n (T_k - Y_k)^2}{\sum_k^n (T_k - T_{avg})^2} \right] \quad (4)$$

C. DATA DAN ANALISA DATA

1. Data Struktur

Pemodelan struktur gedung mengacu pada satu perencanaan pembangunan gedung perkantoran 2

lantai di Bangkinang dengan panjang gedung 28 m dan lebar gedung 16 m. Tinggi per lantai 3,6 m. Mutu tulangan yang digunakan pada perencanaan tersebut adalah 240 MPa. Dimensi elemen struktur yang digunakan adalah sebagai berikut:

- a. Kolom type-K1 40x40 cm²
- b. Kolom type-K2 30x60 cm²
- c. Balok type-B1 20x40 cm²
- d. Balok type-B2 25/50 cm²

Variasi mutu beton yang akan digunakan dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Tabel Variasi Mutu Beton

No	Mutu Beton (MPa)	Poisson's Ratio Beton	Modulus Elastisitas (MPa)	Berat Jenis (Kg/m ³)
1	15	0,2	18203,02	2400
2	16	0,2	18800,00	2400
3	17	0,2	19378,60	2400
4	18	0,2	19940,41	2400
5	19	0,2	20486,83	2400
6	20	0,2	21019,04	2400
7	21	0,2	21538,11	2400
8	22	0,2	22044,95	2400
9	24	0,2	23025,02	2400
10	25	0,2	23500,00	2400



Gambar 1. Gedung Perkantoran Kabupaten Kampar

2. Data Beban

Berdasarkan PPIUG (1987), pembebanan pada gedung terdiri dari beban mati, beban hidup dan beban gempa. Berikut beban-beban yang bekerja pada bangunan gedung kantor yang dimodelkan yaitu :

a. Beban mati

- 1). Bekerja pada pelat lantai terdiri atas berat spesi keramik, berat keramik, berat plafond dan berat mekanikal elektrik yang total keseluruhannya adalah 74 Kg/m^2
- 2). Bekerja pada pelat atap terdiri atas berat plafond dan berat mekanikal elektrik, total keseluruhannya adalah 30 Kg/m^2
- 3). Bekerja pada balok yang menahan berat dinding sebesar 80 Kg/m^2

b. Beban hidup

- 1). Bekerja pada pelat lantai untuk gedung perkantoran ditetapkan oleh PPIUG sebesar 250 Kg/m^2
- 2). Bekerja pada pelat atap 100 Kg/m^2

c. Beban gempa

Beban gempa yang digunakan berupa catatan respon riwayat waktu (*time history*) yang penyesuaian skala ditentukan berdasarkan standar

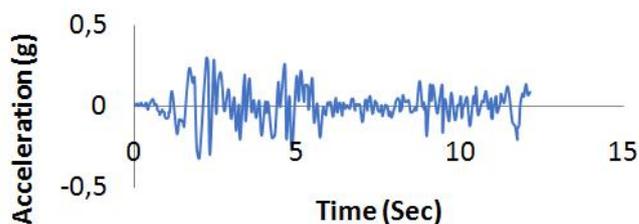
perencanaan ketahanan gempa Indonesia dengan kondisi situs tanah sedang. Data gempa untuk penelitian ini adalah gempa El-Centro dengan 5 variasi skala yaitu skala kelas situs lokasi pembangunan, 0,25g, 0,5g, 0,75g, dan 1,00g.

Lokasi pembangunan gedung kantor terletak pada bujur $0,31966^\circ$, lintang $101,03245^\circ$ yang nilai PGA lokasi tersebut adalah 0,076g. Sesuai dengan tabel 8 pada SNI 1726-2012 maka :

$$\begin{aligned} F_{PGA} &= 1,6 \\ PGA_M &= F_{PGA} \times PGA \\ &= 1,6(0,076) \\ &= 0,1216g \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PGA_M \text{ (diskalakan)} &= PGA_M \left(\frac{I}{R} \right) \\ &= 0,1216 \left(\frac{1}{5} \right) \\ &= 0,02432g \end{aligned}$$

Jadi skala gempa El-Centro pada lokasi rencana pembangunan yang akan digunakan untuk analisis riwayat waktu adalah 0,02432g.



Gambar 2. Riwayat Waktu Gempa El-Centro

3. Tahapan Analisis Riwayat Waktu

Berikut penjelasan tahapan analisis dengan bantuan *software* elemen hingga :

- a. Modelkan struktur dengan data material dan dimensi sesuai dengan data struktur yang sudah terencana. Pemodelan diikuti dengan mendefinisikan material yang digunakan struktur dan setiap elemen

- yang dimulai dari balok, kolom, pelat lantai dan pelat atap.
- b. Masukkan beban sesuai dengan data beban mati dan beban hidup dilanjutkan ke tahap *run* analisis model struktur untuk melihat analisis ragam akibat beban sendiri.
 - c. Defenisikan data gempa El-Centro sebagai data *time history* dimulai dari skala situs lokasi pembangunan. Kemudian defenisikan kasus pembebanan beban mati menjadi *nonlinear*.
 - d. Defenisikan nilai sendi plastis sesuai dengan FEMA 356
 - e. Lakukan analisis perilaku struktur dari hasil analisis riwayat waktu berupa perpindahan, kecepatan dan percepatan.
 - f. Lihat tingkat kinerja stuktur yang diakibatkan beban gempa yang berdasarkan riwayat waktu.
 - g. Lakukan tahapan a hingga f dengan variasi skala gempa 0,25g, 0,50g, 0,75g, dan 1,00g dan juga dengan variasi mutu beton.

4. Tahapan Pelatihan JST

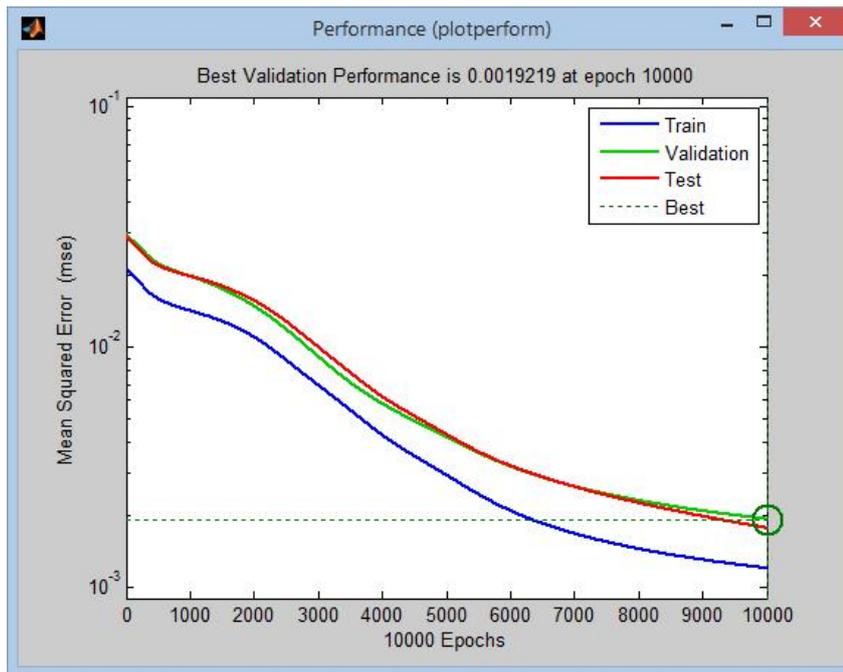
Analisis tingkatan kerusakan struktur pada gedung 2 (dua) lantai ini menggunakan metode JST dengan jenis arsitektur jaringan lapisan banyak *backpropogation*. Parameter yang dipilih sebagai *input* adalah mutu beton (f_c'), respon struktur tersebut yang berupa perpindahan, kecepatan dan percepatan struktur. Sementara parameter *output* yang akan diprediksi adalah tingkat kinerja struktur dalam kategori *Safe*, *Immediate Occupancy* (IO), *Life Safety* (LS) atau dalam kondisi *Collapse Prevention* (CP). Proses prediksi dengan metode jaringan saraf tiruan ini menggunakan bantuan program MATLAB.

Arsitektur jaringan dan fungsi aktivasi serta jumlah lapisan *hidden layer* dapat ditentukan di program ini. Dari data analisis riwayat waktu, digunakan data pelatihan JST berupa hasil analisis riwayat waktu menggunakan mutu beton 15 MPa hingga 24 MPa, sedangkan mutu beton 25 MPa digunakan untuk pengujian JST. Arsitektur jaringan menggunakan jaringan lapisan banyak *backpropogation* dengan 1 *input layer* terdiri dari 10 neuron (mutu beton, perpindahan, kecepatan dan percepatan pada arah x, y, dan z), 1 *hidden layer* dengan 21 neuron, dan 1 *output layer* dengan 4 neuron.

Untuk *output* yang berupa kategori *Safe*, *Immediate Occupancy* (IO), *Life Safety* (LS) atau dalam kondisi *Collapse Prevention* (CP) didefinisikan ke dalam MATLAB sebagai data target prediksi. *Safe* yang merupakan keadaan untuk kategori kerusakan mulai dari tahap awal sampai pada tahap B diberi kode 1, *Immediate Occupancy* (IO) diberi kode 2, *Life Safety* (LS) diberi kode 3 dan *Collapse Prevention* (CP) diberi kode 4.

D. HASIL DAN PEMBAHASAN

Jaringan saraf tiruan yang dibuat memiliki input perpindahan, kecepatan, dan percepatan yang ditinjau dari arah X, Y dan Z. Hasil atau *output* yang akan dihasilkan dari JST yang dibuat adalah tingkat kinerja struktur yang dikategorikan *Safe*, IO, LS dan CP. Pada proses pelatihan JST dilakukan pada model struktur dengan mutu beton 15 MPa hingga 24 MPa yang dibebani oleh gempa El-Centro dengan 5 skala, dari pelatihan tersebut didapat nilai MSE 0,0019219 seperti yang ditunjukkan oleh gambar 3 yang mana nilai MSE mendekati 0.

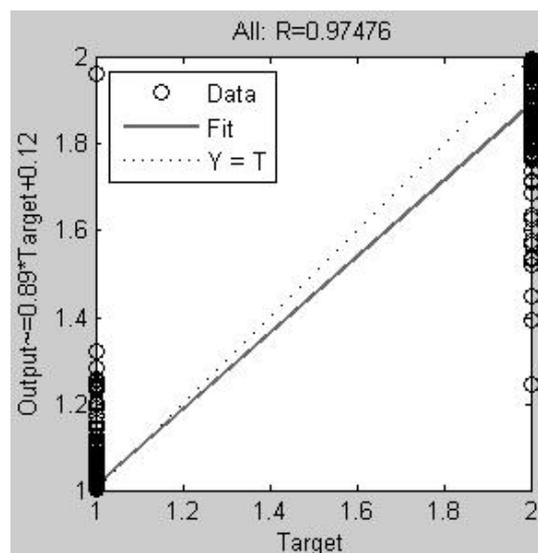


Gambar 3. MSE Jaringan Saraf Tiruan

Pada Gambar 4 di peroleh nilai R untuk JST sebesar 0,97476 yang berarti hasil prediksi memiliki tingkat validasi tinggi yang mana nilai R mendekati 1. Maka dapat disimpulkan JST memiliki tingkat prediksi tinggi.

Setelah proses pelatihan JST dilakukan disimpulkan JST dapat

digunakan untuk memprediksi tingkat kinerja karena nilai MSE 0,0019219 dan nilai R 0,97476. Dikarenakan JST memiliki tingkat kesalahan rendah dan validitas tinggi, maka JST yang sudah dirancang bisa digunakan ketahap *testing* atau uji coba untuk memprediksi tingkat kinerja.



Gambar 4. Grafik R untuk Jaringan Saraf Tiruan

Tabel 2.Pemeriksaan Hasil Prediksi JST

No.	Riwayat Waktu	Waktu (Detik)	Output		Prediksi Training (Y _k)	Target - Prediksi (T _k -Y _k) ²	Target - Nilai Rata* (T _k -T _{avg}) ²	MSE = 0,5 × (T _k - Y _k) ²
			Target (T _k)	Kategori				
1	El Centro - 0,024g	0,00	1	SAFE	1	0,0000000000	0,00097	0,000000000000
2	El Centro - 0,024g	0,05	1	SAFE	1	0,0000000000	0,00097	0,000000000000
3	El Centro - 0,024g	0,10	1	SAFE	1	0,0000000000	0,00097	0,000000000000
4	El Centro - 0,024g	0,15	1	SAFE	1	0,0000000000	0,00097	0,000000000000
5	El Centro - 0,024g	0,20	1	SAFE	1	0,0000000000	0,00097	0,000000000000
6	El Centro - 0,024g	0,25	1	SAFE	1	0,0000000000	0,00097	0,000000000000
7	El Centro - 0,024g	0,30	1	SAFE	1	0,0000000000	0,00097	0,000000000000
8	El Centro - 0,024g	0,35	1	SAFE	1	0,0000000000	0,00097	0,000000000000
9	El Centro - 0,024g	0,40	1	SAFE	1	0,0000000000	0,00097	0,000000000000
10	El Centro - 0,024g	0,45	1	SAFE	1	0,0000000000	0,00097	0,000000000000
.
.
602	El Centro - 1,00g	1,50	2	IO	1,9998	0,0000000400	0,93858	0,000000020000
603	El Centro - 1,00g	1,55	2	IO	1,9994	0,0000003600	0,93858	0,000000180000
604	El Centro - 1,00g	1,60	2	IO	1,9996	0,0000001600	0,93858	0,000000080000
605	El Centro - 1,00g	1,65	2	IO	1,9999	0,0000000100	0,93858	0,000000005000
606	El Centro - 1,00g	1,70	2	IO	1,9998	0,0000000400	0,93858	0,000000020000
607	El Centro - 1,00g	1,75	2	IO	2	0,0000000000	0,93858	0,000000000000
608	El Centro - 1,00g	1,80	2	IO	2	0,0000000000	0,93858	0,000000000000
609	El Centro - 1,00g	1,85	2	IO	2	0,0000000000	0,93858	0,000000000000
Nilai Rata-rata Target (T _{avg})								
								0,00082
$\sum_k^n (T_k - Y_k)^2$						0,99537		
$\sum_k^n (T_k - T_{avg})^2$							18,40722	
$R^2 = 1 - \left[\frac{\sum_k^n (T_k - Y_k)^2}{\sum_k^n (T_k - T_{avg})^2} \right]$						0,94592		

Saat pemeriksaan dari hasil prediksi *testing* JST didapat nilai R² 0,94592 dengan nilai MSE 0,00082. Hasil uji coba ini memiliki tingkat kesalahan sangat kecil dan tingkat validitas sangat bagus, dapat disimpulkan JST sangat akurat dalam melakukan prediksi tingkat kinerja struktur bangunan gedung kantor 2 lantai.

E. KESIMPULAN

Dari hasil analisis riwayat waktu dan prediksi JST pada penelitian ini dapat disimpulkan :

1. Hasil pelatihan JST dengan total data pelatihan ini sebanyak 6054 data yang diperoleh dari model

struktur menggunakan 10 mutu beton (15 MPa hingga 24 MPa) yang dianalisis menggunakan sistem fungsi riwayat waktu gempa El-centro (5 skala), memiliki nilai MSE 0,0019219 dan R 0,97476. Berarti JST yang sudah dirancang memiliki tingkat prediksi yang akurat.

2. Hasil uji coba JST dalam memprediksi tingkat kinerja model struktur gedung kantor 2 lantai dengan mutu beton 25 MPa, menunjukkan tingkat kesesuaian yang tinggi dengan nilai R 0,94592 dan tingkat kesalahan yang sangat rendah dengan nilai MSE 0,00082.

DAFTAR PUSTAKA

Departemen Pekerjaan Umum, 1987,
*Pedoman Pembebanan Untuk
Rumah dan Gedung*, Yayasan
Badan Penerbit PU, Jakarta.

Badan Standarisasi Nasional, 2012,
*Tata Cara Perencanaan
Ketahanan Gempa Untuk
Struktur Bangunan Gedung dan*

Non Gedung SNI-1726-2012,
BSN, Bandung.

Zhao J., Iven J., DeWolf J., 1998,
*Structural Damage Detection
Using Artificial Neural
Networks*, Retrieved From :
<http://doi.org/10.1109/CIMSA.2012.6269593>.