

# PREDIKSI RESPONS STRUKTUR GEDUNG BERDASARKAN RESPONS SPEKTRUM GEMPA INDONESIA MENGGUNAKAN METODE JARINGAN SARAF TIRUAN

**Eki Syahyudi<sup>1)</sup>, Reni Suryanita<sup>2)</sup>, Zulfikar Djauhari<sup>3)</sup>**

<sup>1</sup>Mahasiswa Magister Teknik Sipil, Universitas Riau, Jl. Subrantas KM 12,5 Pekanbaru 28293

Email : [eki.syahyudi@student.unri.ac.id](mailto:eki.syahyudi@student.unri.ac.id)

<sup>2</sup>Dosen Magister Teknik Sipil, Universitas Riau, Jl. Subrantas KM 12,5 Pekanbaru 28293

Email : [reni.suryanita@lecturer.unri.ac.id](mailto:reni.suryanita@lecturer.unri.ac.id)

<sup>3</sup>Dosen Magister Teknik Sipil, Universitas Riau, Jl. Subrantas KM 12,5 Pekanbaru 28293

Email : [zulfikar.djauhari@lecturer.unri.ac.id](mailto:zulfikar.djauhari@lecturer.unri.ac.id)

## Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis respons struktur gedung pada wilayah gempa Indonesia berdasarkan tinjauan *displacement* dan *story drift* dan mengidentifikasi keakuratan metode Jaringan Saraf Tiruan dalam memprediksi respons struktur gedung pada wilayah gempa Indonesia. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai respons struktur gedung terbesar terjadi di Kota Palu dengan nilai *displacement*  $6,36 \times 10^{-2}$  m dan *story drift*  $6,197 \times 10^{-3}$  m pada mutu beton  $f_c' 20$  MPa dengan kondisi tanah lunak. Untuk potensi Jaringan Saraf Tiruan dalam memprediksi respons struktur gedung dengan tingkat akurasi ( $R^2$ ) berkisar antara 96,62% hingga 99,08%, serta nilai *Mean-Squared Errors* (MSE) sebesar  $2,95 \times 10^{-7}$  untuk *training* set data dan  $6,40 \times 10^{-7}$  untuk *testing* set data. Hal ini menyatakan bahwa dengan metode JST sangat mampu memprediksi respons struktur gedung yang ditinjau dengan sangat baik.

**kata kunci** : respons struktur, jaringan saraf tiruan

## Abstract

*This subject purports to examine the response of building structures in the Indonesian quake region based on the displacement and story drift reviews and to identify the accuracy of the neural network method in predicting the structural response of buildings in the Indonesian quake region. The results showed that the largest building structure response value occurred in the Palu City with a displacement value of  $6,36 \times 10^{-2}$  m and story drift  $6,197 \times 10^{-3}$  m at concrete quality of  $f_c' 20$  MPa with soft soil condition. For the potential of artificial neural network in predicting the response of building structure with an accuracy level ( $R^2$ ) ranged from 96,62% to 99,08%, and mean value of Squared Errors (MSE)  $2,95 \times 10^{-7}$  for the training data set and  $6,40 \times 10^{-7}$  for testing data sets. This intimates that the ANN method is really capable of predicting the well-reviewed structure response of the edifice.*

**Keywords**: structural response, artificial neural network

## PENDAHULUAN

Gempa merupakan kejadian unik, tidak bisa ditentukan, baik waktu kejadian, lamanya waktu berlangsung (durasi) maupun kekuatan. Dengan keadaan tersebut gempa bumi tidak bisa dicegah, maka yang dapat dilakukan adalah bagaimana mengatasi atau memperkecil kerusakan yang ditimbulkan akibat gempa bumi. Selain itu gempa bumi dapat mengakibatkan kerugian besar bagi infrastruktur, harta dan jiwa manusia itu sendiri. Beban gempa menjadi aspek penting yang perlu diperhitungkan dalam mendesain bangunan gedung terutama dari segi struktural. Perencanaan gedung bertingkat tahan gempa mestinya disesuaikan dengan standar yang telah ada, untuk perencanaan dapat digunakan standar perencanaan ketahanan gempa untuk

struktur bangunan gedung yang tertuang pada SNI 1726-2012, pada peraturan ini dilakukan spesifikasi pada letak koordinat lokasi yang akan diteliti.

Jaringan Saraf Tiruan merupakan salah satu metode untuk memodelkan cara kerja atau fungsi sistem saraf manusia dalam melaksanakan tugas tertentu. Berdasarkan uraian tersebut maka penelitian ini akan difokuskan untuk mengidentifikasi respons struktur gedung akibat gempa dengan mengacu pada SNI 03-1726-2012 dan tingkat ketelitian Jaringan Saraf Tiruan dalam memprediksi hasil respons struktur gedung di kota Pekanbaru. Selanjutnya prediksi dilakukan pada mutu beton yang digunakan  $f_c' 20$  MPa,

Untuk rumusan masalah penelitian ini diuraikan sebagai berikut :

1. Bagaimana respons struktur gedung di Indonesia berdasarkan peta gempa Indonesia 2010 dengan respons spektrum gempa ditinjau dari *Displacement* dan *Story Drift*.
2. Bagaimana akurasi Jaringan Saraf Tiruan (JST) untuk memprediksi struktur gedung berdasarkan respons spektrum gempa Indonesia.

### Gempa Bumi

Menurut Schodek (1999) gempa bumi terjadi akibat fenomena getaran pada kerak bumi. Gempa ini menjalar dalam bentuk gelombang. Gelombang ini mempunyai suatu energi yang dapat menyebabkan permukaan bumi dan bangunan bergetar. Getaran ini menimbulkan gaya-gaya pada struktur bangunan.

Menurut Chen, W.F dan Lui (2006) gempa bumi merupakan getaran yang terjadi pada permukaan tanah disebabkan oleh aktivitas tektonik, vulkanisme, longsor termasuk batu, bahan peledak. Dari semua penyebab tersebut, guncangan yang disebabkan tektonik merupakan penyebab utama kerusakan struktur dan perhatian utama dalam kajian tentang bahaya gempa.

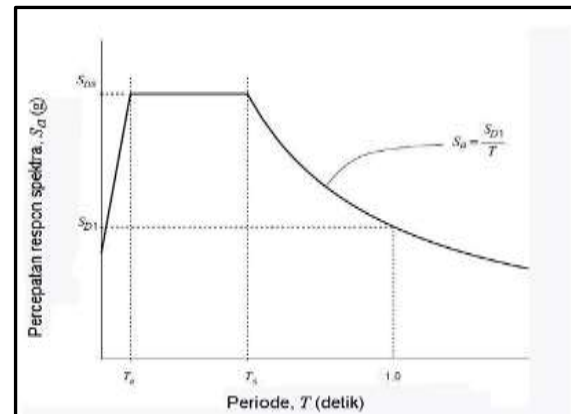
### Analisis Ragam

Analisis ragam (*modal analysis*) adalah analisis yang menentukan gerak struktur pada kondisi getaran bebas, dimana gerakannya hanya dipengaruhi oleh kondisi awal. Kondisi seperti ini jarang dijumpai, namun analisis ini memberikan sifat dinamis yang paling penting dari struktur yaitu periode natural dan pola perubahan bentuk (*mode shapes*).

Analisis Getaran Bebas Struktur Analisis getaran bebas struktur (*free vibration*) adalah analisis linear dinamik yang dilakukan untuk memperoleh pola perpindahan dan frekuensi getar struktur yang bergetar secara alami tanpa pengaruh beban luar (Computer & Structures, Inc, 2013). Analisis getaran bebas disebut juga dengan analisis ragam (*modal analysis*). (Salim, 2016)

### Respons Spektrum Gempa

Respons spektrum adalah grafik yang menyatakan hubungan antara periode getar struktur ( $T$ ) dengan respons struktur maksimum saat mengalami getaran tertentu. Respons spektrum disederhanakan dalam bentuk grafik yang ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Desain Respons Spektrum  
Sumber : SNI1726-2012

Prosedur penentuan grafik respons spektrum gempa adalah sebagai berikut :

1. Menentukan parameter respons spektrum percepatan gempa  $PGA$ ,  $S_s$ ,  $S_1$  pada peta gempa Indonesia 2010.
2. Menentukan kelas situs berdasarkan kondisi jenis tanah.
3. Menentukan faktor amplifikasi  $F_{PGA}$ ,  $F_0$  dan  $F_v$  berdasarkan parameter respons spektrum percepatan gempa ditampilkan pada Tabel 1 dan Tabel 2.
4. Menghitung koefisien percepatan tanah puncak ( $PGA_M$ ), nilai percepatan tanah puncak terpetakan ( $PGA$ ) dan koefisien situs ( $F_{PGA}$ ), berdasarkan Tabel 3 periode pendek ( $S_{Ds}$ ) dan periode 1 detik ( $S_{D1}$ )
5. Menghitung  $T_0$  dan  $T_s$

Tabel 1. Faktor amplifikasi untuk periode 0 detik dan 0,2 detik ( $F_{PGA}/F_0$ )

| Kelas Situs | Parameter respons spectral percepatan gempa (MCER) terpetakan pada perioa pendek, $T=0,2$ detik, $S_s$ |             |              |             |                 |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|--------------|-------------|-----------------|
|             | $S_s \leq 0,25$                                                                                        | $S_s = 0,5$ | $S_s = 0,75$ | $S_s = 1,0$ | $S_s \geq 1,25$ |
| SA          | 0,8                                                                                                    | 0,8         | 0,8          | 0,8         | 0,8             |
| SB          | 1,0                                                                                                    | 1,0         | 1,0          | 1,0         | 1,0             |
| SC          | 1,2                                                                                                    | 1,2         | 1,1          | 1,0         | 1,0             |
| SD          | 1,6                                                                                                    | 1,4         | 1,2          | 1,1         | 1,0             |
| SE          | 2,5                                                                                                    | 1,7         | 1,2          | 0,9         | 0,9             |

Sumber : SNI1726-2012

Tabel 2. Faktor amplifikasi untuk periode 1 detik ( $F_v$ )

| Kelas<br>Situs | Parameter respons spectral<br>percepatan gempa (MCER) terpetakan<br>pada perioa pendek, T=0,2 detik, Ss |             |             |             |             |
|----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                | S1 ≤<br>0,1                                                                                             | S1 =<br>0,2 | S1 =<br>0,3 | S1 =<br>0,4 | S1 ≥<br>0,5 |
| SA             | 0,8                                                                                                     | 0,8         | 0,8         | 0,8         | 0,8         |
| SB             | 1,0                                                                                                     | 1,0         | 1,0         | 1,0         | 1,0         |
| SC             | 1,7                                                                                                     | 1,6         | 1,5         | 1,4         | 1,3         |
| SD             | 2,4                                                                                                     | 2           | 1,8         | 1,6         | 1,5         |
| SE             | 3,5                                                                                                     | 3,2         | 2,8         | 2,4         | 2,4         |

Sumber : SNI1726-2012

| Tabel 3. Koefisien situs, $F_{PGA}$ |            |              |              |              |            |
|-------------------------------------|------------|--------------|--------------|--------------|------------|
| Kelas<br>Situs                      | PGA<br>0,1 | PGA =<br>0,2 | PGA =<br>0,3 | PGA =<br>0,4 | PGA<br>0,5 |
| SA                                  | 0,8        | 0,8          | 0,8          | 0,8          | 0,8        |
| SB                                  | 1,0        | 1,0          | 1,0          | 1,0          | 1,0        |
| SC                                  | 1,2        | 1,2          | 1,1          | 1,0          | 1,0        |
| SD                                  | 1,6        | 1,4          | 1,2          | 1,1          | 1,0        |
| SE                                  | 2,5        | 1,7          | 1,2          | 0,9          | 0,9        |

Sumber : SNI1726-2012

Menurut SNI 1726-2012 periode pendekatan ( $T_a$ ) dalam detik, ditentukan dari persamaan berikut :

$$T_a = C_t (H_n)^x \quad (1)$$

Dimana  $H_n$  adalah ketinggian struktur di atas dasar sampai ketinggian struktur (m) dan koefisien  $C_t$  dan  $x$  ditentukan dari Tabel 4.

Periode fundamental ( $T$ ) tidak boleh melebihi hasil perkalian dari koefisien untuk batasan atas periode yang dihitung ( $C_u$ ) dengan periode fundamental pendekatan ( $T_a$ ). Koefisien  $C_u$  ditentukan dengan Tabel 5.

| Tabel 4. Koefisien $C_t$ dan $x$                    |        |      |
|-----------------------------------------------------|--------|------|
| Tipe Struktur                                       | $C_t$  | $x$  |
| Rangka baja pemikul momen                           | 0,0724 | 0,8  |
| Rangka beton pemikul momen                          | 0,0466 | 0,9  |
| Rangka baja dengan bresing eksentris                | 0,0731 | 0,75 |
| Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk | 0,0731 | 0,75 |
| Semua sistem struktur lainnya                       | 0,0488 | 0,75 |

Sumber : SNI1726-2012

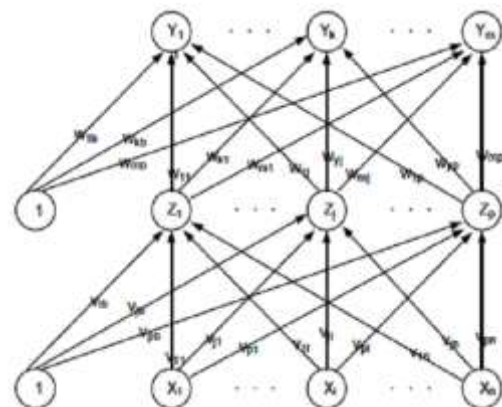
| Tabel 5. Koefisien $C_u$                                               |       |
|------------------------------------------------------------------------|-------|
| Parameter percepatan respons spektral<br>desain pada 1 detik, $S_{DI}$ | $C_u$ |
| Lebih dari atau sama dengan 0,4                                        | 1,4   |
| 0,3                                                                    | 1,4   |
| 0,2                                                                    | 1,5   |
| 0,15                                                                   | 1,6   |
| Kurang dari atau sama dengan 0,1                                       | 1,7   |

Sumber : SNI 1726-2012

## Jaringan Saraf Tiruan

Menurut Suyanto (2014) Jaringan saraf tiruan adalah prosesor tersebar paralel yang sangat besar yang memiliki kecenderungan untuk menyimpan pengetahuan yang bersifat pengalaman dan menyerupai otak manusia dalam dua hal yaitu : Pengetahuan diperoleh jaringan melalui proses belajar dan kekuatan hubungan antar sel saraf (neuron) yang dikenal sebagai bobot – bobot sinaptik digunakan untuk menyimpan pengetahuan.

Model jaringan saraf tiruan salah satunya adalah *Backpropagation*, yaitu algoritma 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. Algoritma backpropagation menggunakan *error output* untuk mengubah nilai bobot-bobotnya dalam arah mundur (*backward*). Untuk mendapatkan *error*, tahap peramban maju (*forward propagation*) harus dikerjakan terlebih dahulu. (Sri, 2004).



Gambar 2. Arsitektur jaringan *backpropagation*  
Sumber : (Jek Siang, 2005)

Ada 2 kriteria tingkat kesalahan suatu prediksi yang dapat ditentukan untuk mengetahui akurasi prediksi, yaitu :

### 1. Mean -Squared Errors (MSE)

Merupakan besarnya tingkat kesalahan hasil prediksi, dimana semakin kecil (mendekati 0) nilai MSE maka hasil prediksi akan semakin akurat. Nilai MSE dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$MSE = 0,5 (T_k - Y_k)^2 \quad (2)$$

Dengan  $T_k - Y_k$  = selisih nilai *output* aktual dan prediksi JST.

## 2. Koefisien Determinasi ( $R^2$ )

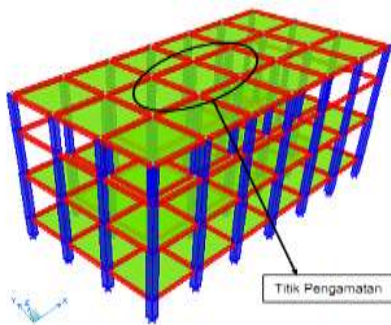
Menurut Supriyadi (2013), nilai  $R^2$  dihitung dengan Persamaan 3, yaitu merupakan fungsi dari selisih *output* prediksi JST ( $Y_k$ ) dengan nilai target ( $T_k$ ). Besaran  $T_{avg}$  adalah nilai rerata dari seluruh nilai target sebanyak  $n$  buah data. Semakin baik prediksi JST terhadap nilai yang sebenarnya (target), maka nilai  $R^2$  mendekati 1.

$$R^2 = 1 - \left[ \frac{\sum_k^n (T_k - Y_k)^2}{\sum_k^n (T_k - T_{avg})^2} \right] \quad (3)$$

## METODOLOGI PENELITIAN

### 1 Data Struktur Gedung

Struktur gedung yang ditinjau adalah Gedung Pusat Informasi Pengembangan Permukiman dan Bangunan (PIP2B) Propinsi Riau. Posisi yang ditinjau berada pada pusat massa lantai atap gedung, yang dinilai mengalami respons struktur terbesar.



Gambar 3. Bentuk struktur gedung PIP2B

1. Material komponen struktur
  - a. Mutu beton  $= f'_c = 20$  MPa
  - b. Modulus elastisitas beton,  $E_c = 4700 \sqrt{20} = 21019,039$  MPa
  - c. Rasio poisson,  $\nu = 0,2$
  - d. Berat jenis,  $W_c = 2400$  kg/m<sup>3</sup>
  - e. Tulangan leleh,  $f_y = 400$  MPa
  - f. Modulus elastisitas baja,  $E_s = 200.000$  MPa
  - g. Rasio poisson,  $\nu = 0,3$
  - h. Massa jenis,  $\rho = 7850$  kg/m<sup>3</sup>

### 2 Respons Spektrum

Dalam penelitian ini, dipilih 34 ibu kota provinsi dan 6 kota besar lainnya di Indonesia dengan 3 (tiga) jenis tanah (tanah keras, tanah sedang dan tanah lunak) sebagai perwakilan lokasi gempa. Grafik respons spektrum dipermukaan tanah untuk setiap jenis tanah dan lokasi gempa dapat ditentukan

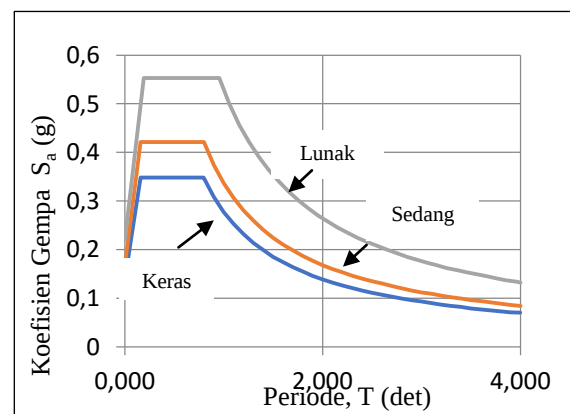
berdasarkan prosedur yang ditetapkan SNI 1726-2012. Adapun grafik respons spektrum dipermukaan tanah untuk kota Pekanbaru dengan jenis tanah keras, sedang dan lunak adalah sebagai berikut.

Selanjutnya ditampilkan Tabel 6 dan Gambar 4, sebagai tahap awal respons spektrum yang digunakan pada Kota Pekanbaru dengan jenis tanah keras, tanah sedang dan tanah lunak.

Tabel 6. Respons spektrum Pekanbaru

| Tanah Keras |       | Tanah Sedang |       | Tanah Lunak |       |
|-------------|-------|--------------|-------|-------------|-------|
| <i>PGA</i>  | 0.214 | <i>PGA</i>   | 0.214 | <i>PGA</i>  | 0.214 |
| <i>SS</i>   | 0.435 | <i>SS</i>    | 0.435 | <i>SS</i>   | 0.435 |
| <i>S1</i>   | 0.273 | <i>S1</i>    | 0.273 | <i>S1</i>   | 0.273 |
| <i>FPGA</i> | 1.186 | <i>FPGA</i>  | 1.371 | <i>FPGA</i> | 1.628 |
| <i>FA</i>   | 1.2   | <i>FA</i>    | 1.452 | <i>FA</i>   | 1.909 |
| <i>FV</i>   | 1.527 | <i>FV</i>    | 1.854 | <i>FV</i>   | 2.908 |
| <i>PSA</i>  | 0.254 | <i>PSA</i>   | 0.294 | <i>PSA</i>  | 0.349 |
| <i>SMS</i>  | 0.522 | <i>SMS</i>   | 0.631 | <i>SMS</i>  | 0.83  |
| <i>SM1</i>  | 0.417 | <i>SM1</i>   | 0.506 | <i>SM1</i>  | 0.794 |
| <i>SDS</i>  | 0.348 | <i>SDS</i>   | 0.421 | <i>SDS</i>  | 0.553 |
| <i>SD1</i>  | 0.278 | <i>SD1</i>   | 0.337 | <i>SD1</i>  | 0.529 |
| <i>T0</i>   | 0.16  | <i>T0</i>    | 0.16  | <i>T0</i>   | 0.191 |
| <i>TS</i>   | 0.799 | <i>TS</i>    | 0.802 | <i>TS</i>   | 0.957 |

Sumber :SNI 1726-2012



Gambar 4. Respons spektrum Pekanbaru sumber : SNI 1726-2012

Setelah dilakukan perhitungan analisis menggunakan *software* elemen hingga, didapatkan nilai *displacement* dan *story drift*. Hal ini dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. *Displacement dan Story Drift*

| $f_c$ '20 MPa | Kota Pekanbaru |          |          |
|---------------|----------------|----------|----------|
|               | Keras          | Sedang   | Lunak    |
| Displ X (m)   | 0.0143         | 0.0174   | 0.0245   |
| Displ Y (m)   | 0.0144         | 0.0175   | 0.0271   |
| Drift X (m)   | 0.001334       | 0.001625 | 0.002281 |
| Drift Y (m)   | 0.001410       | 0.001720 | 0.002638 |

Selanjutnya sebagai data untuk proses jaringan saraf tiruan, diperlukan nilai *displacement* dan *story drift* wilayah gempa Indonesia. Adapaun lokasi kota yang dianalisis terlihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Variasi lokasi data *Training*

| No | Lokasi     | No | Lokasi        |
|----|------------|----|---------------|
| 1  | Banda Aceh | 18 | Mataram       |
| 2  | Medan      | 19 | Kupang        |
| 3  | Padang     | 20 | Pontianak     |
| 4  | Pekanbaru  | 21 | Palangkaraya  |
| 5  | Jambi      | 22 | Samarinda     |
| 6  | Bengkulu   | 23 | Banjarmasin   |
| 7  | Palembang  | 24 | Tanjung Selor |
| 8  | B. Lampung | 25 | Manado        |
| 9  | P. Pinang  | 26 | Gorontalo     |
| 10 | T. Pinang  | 27 | Palu          |
| 11 | Serang     | 28 | Mamuju        |
| 12 | Jakarta    | 29 | Kendari       |
| 13 | Bandung    | 30 | Makassar      |
| 14 | Semarang   | 31 | Ambon         |
| 15 | Yogyakarta | 32 | Sofifi        |
| 16 | Surabaya   | 33 | Jayapura      |
| 17 | Denpasar   | 34 | Manokwari     |

Tabel 9. Variasi lokasi data *Testing*

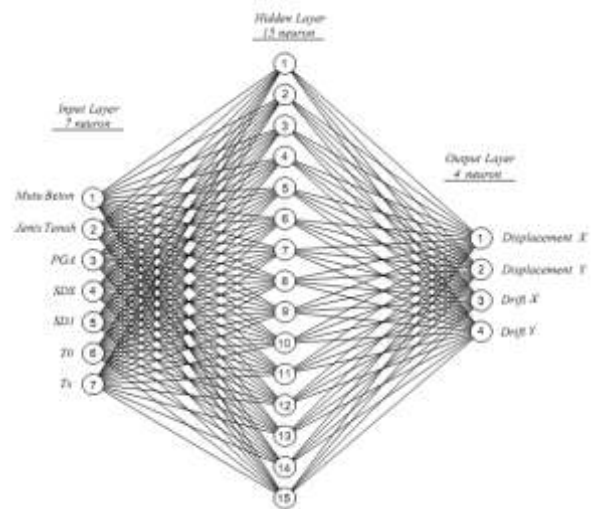
| No | Lokasi      | No | Lokasi       |
|----|-------------|----|--------------|
| 1  | Bukittinggi | 4  | Kotamobagu   |
| 2  | Surakarta   | 5  | Timika       |
| 3  | Balikpapan  | 6  | Selatpanjang |

### 3 Arsitektur Jaringan Saraf Tiruan

Analisis respons struktur gedung PIP2B pada 34 Ibu Kota di Indonesia dan 6 Kota sebagai *testing* memerlukan parameter *input* dan *output*. Adapun parameter *input* dipilih mutu beton, jenis tanah dan parameter gempa (nilai  $PGA$ ,  $S_{DS}$ ,  $S_{DI}$ ,  $T_0$  dan  $T_s$ ), sedangkan untuk parameter *output* dipilih nilai *displacement* dan *story drift* arah X dan Y. Sehingga ringkasan arsitektur JST terdiri dari 1 *input layer* dengan 7 *neuron*, 1 *hidden layer* dengan 15 *neuron* dan 1 *output layer* dengan 4 *neuron*. Adapun bentuk arsitektur JST dilihat pada Gambar 5.

Adapun rincian Ibu Kota Provinsi di Indonesia yang digunakan untuk *training* dan *testing* antara lain.

1. Kota untuk *Training*, Ambon, Banda Aceh, Bandar Lampung, Bandung, Banjarmasin, Bengkulu, Denpasar, Gorontalo, Jakarta, Jambi, Jayapura, Kendari, Tanjung Pinang, Kupang, Makassar, Mamuju, Manado, Manokwari, Mataram, Medan, Padang, Palangkaraya, Palembang, Palu, Pangkal Pinang, Pekanbaru, Pontianak, Samarinda, Semarang, Serang, Sofifi, Surabaya, Tanjung Selor, dan Yogyakarta.
2. Kota untuk *Testing*, Kota Balikpapan, Bukit Tinggi, Kotamobagu, Selatpanjang, Surakarta dan Timika.

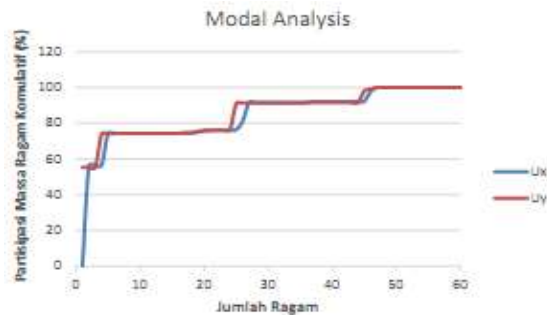


Gambar 5. Arsitektur JST

Untuk mutu beton, digunakan  $f_c$  '20 MPa, sedangkan untuk jenis tanah digunakan simbol 1 adalah tanah keras, 2 adalah tanah sedang dan 3 adalah tanah lunak. Selanjutnya kinerja JST akan diperiksa terhadap koefisien determinasi ( $R^2$ ) sudah lebih besar dari 80%, maka kinerja JST mampu memprediksi *output* dengan baik. Kemudian terhadap data *testing* yang ada akan dilakukan proses JST setelah dilakukan *training* terlebih dahulu terhadap data yang telah ditentukan. Pada proses *testing* akan dianalisis kembali parameter  $MSE$  dan  $R^2$ . JST dianggap sudah mampu dalam memprediksi respons struktur berupa *displacement* dan *story drift* jika hasil  $MSE$  dan  $R^2$  pada proses *testing* sudah memenuhi syarat.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1 Analisis Ragam



Gambar 6. Partisipasi massa ragam kumulatif

Berdasarkan SNI 1726-2002 partisipasi massa dalam menghasilkan respons total harus mencapai sekurang-kurangnya 90%. Dari hasil analisis ragam yang dilakukan terhadap gedung PIP2B didapatkan ragam ke-47 dengan angka 99,99% dan 100% untuk arah X dan Y. dengan demikian maka syarat partisipasi massa ragam kumulatif sudah melebihi ambang batas 90% dan telah memenuhi syarat SNI 1726-2002.

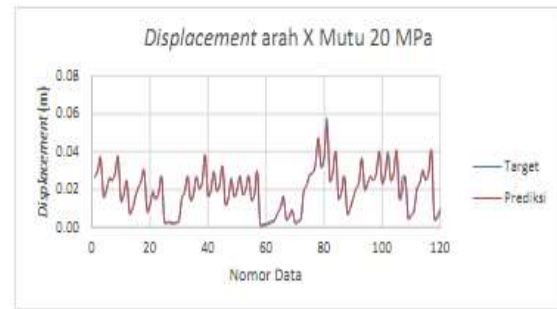
### 2 Analisis Respons Struktur

Setelah melakukan analisis respons struktur pada seluruh wilayah gempa Indonesia, maka didapatkan nilai *displacement* dan *story drift* masing-masing Ibu Kota Propinsi.

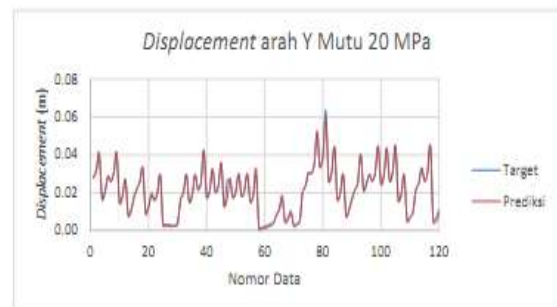
Dari nilai respons struktur yang telah dianalisis, didapatkan untuk nilai *displacement* dan *story drift* terbesar terjadi di Kota Palu dengan nilai 0,0636 m dan 0,006197 m.

### 3 Prediksi Respons Struktur menggunakan JST

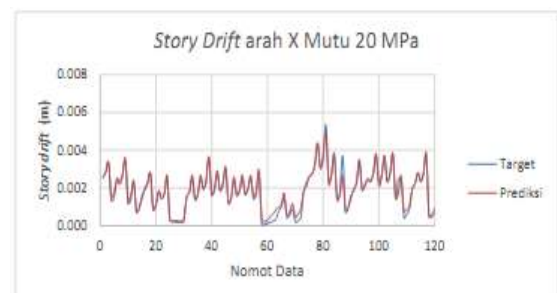
Pada proses ini dilakukan *trial* secara acak pada data *training* tanpa mengurutkan parameter dari terbesar hingga terkecil ataupun sebaliknya, data *training* di acak untuk mengetahui bagaimana akurasi JST dalam memprediksi. Selanjutnya data *training* akan di *trial* dan di ajarkan pada *software* Matlab r2009a. Pada proses training JST, ditetapkan jumlah iterasi sebanyak 10.000 *epochs*. Koefisien *learning rate default* sebesar 0,01 dengan 1 *hidden layer* yang berjumlah 15 *neuron*. Adapun prediksi respons struktur pada *displacement* dan *story drift* ditampilkan pada gambar berikut.



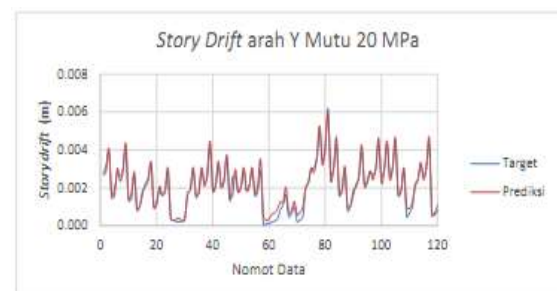
Gambar 7. Hasil prediksi *Displacement* arah X JST dan Target



Gambar 8. Hasil prediksi *Displacement* arah Y JST dan Target



Gambar 9. Hasil prediksi *Story Drift* arah X JST dan Target

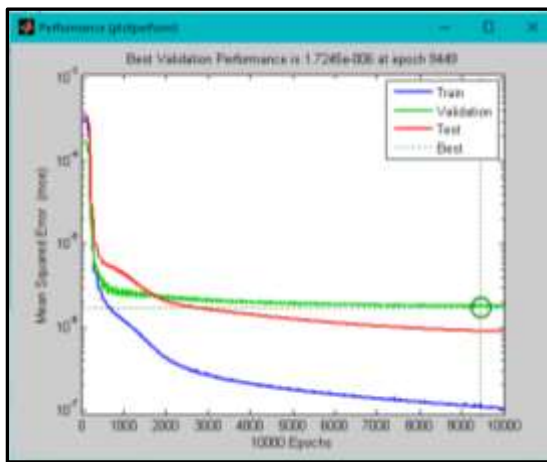


Gambar 10. Hasil prediksi *Story Drift* arah Y JST dan Target

### 4 Nilai *Mean-Squared Errors (MSE)* dan Koefisien Determinasi ( $R^2$ )

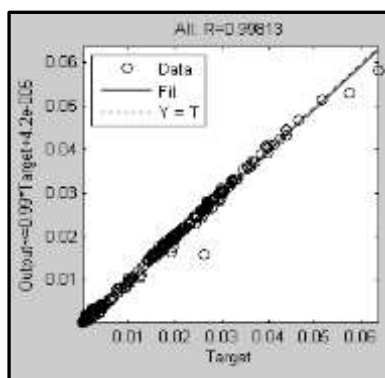
Untuk mengetahui keakuratan dari penggunaan metode jaringan saraf tiruan,

digunakan perhitungan *Mean-Squared Errors (MSE)*, pada proses training jaringan saraf tiruan yang dilakukan dengan *software* Matlab R2009a, didapatkan validasi terbaik terjadi pada iterasi ke 9.449 dari total 10.000 iterasi. Setelah dilakukan proses perhitungan nilai rata-rata *MSE* akhir untuk proses *training* dan *testing*, maka secara berurutan nilai yang dihasilkan adalah 0,000000295 dan 0,0000006402. Dapat diartikan bahwa tingkat akurasi jaringan saraf tiruan adalah sangat baik, karena nilai *MSE* yang dihasilkan sangat mendekati 0.



Gambar 11. Nilai MSE pada proses *training*

Pembuktian selanjutnya bahwa nilai jaringan saraf tiruan yang digunakan telah akurat dengan menggunakan Koefisien Determinasi ( $R^2$ ). Nilai  $R^2$  yang telah dihitung menggunakan *software* Matlab R2009a ditampilkan pada gambar berikut.



Gambar 12. Nilai  $R$  pada proses *training*

Untuk perhitungan nilai  $R^2$  yang semakin mendekati nilai 1 maka dinyatakan bahwa proses prediksi jaringan saraf tiruan sangat baik. Adapun nilai  $R^2$  yang telah didapatkan berkisar antara 96,08% hingga

99,62%, sehingga disimpulkan akurasi dari jaringan saraf tiruan sangat baik.

## KESIMPULAN

1. Dari hasil analisis didapatkan pola nilai *displacement* dan *story drift* di wilayah spektrum gempa Indonesia, mengikuti pola percepatan muka tanah puncak (*PGA*), dengan semakin tinggi nilai (*PGA*) maka nilai *displacement* dan *story drift* akan semakin besar.
2. Respons struktur gedung pada wilayah Indonesia berdasarkan respons spectrum gempa Indonesia SNI 03-1726-2012 menghasilkan respons struktur terbesar di Kota Palu dengan nilai *displacement* arah Y, jenis tanah lunak sebesar 0,0636 m, untuk *story drift* arah Y, jenis tanah lunak sebesar 0,006197 m.
3. *Mean Squared Errors (MSE)* pada *displacement* dan *story drift* pada tahap *training* dan *testing* JST tergolong sangat kecil, dengan nilai rata-rata *MSE* akhir sebesar  $2,95 \times 10^{-7}$  dan  $6,402 \times 10^{-7}$ . Prediksi JST mampu memprediksikan hasil yang sangat baik.
4. Koefisien determinasi ( $R^2$ ) pada *training* dan *testing* JST berkisar 96,08% hingga 99,62% sehingga disimpulkan bahwa akurasi jaringan saraf tiruan sangat baik.

## SARAN

1. Dengan berbasis *software* JST sebagai alat bantu dalam proses pengajaran dan pengujian (*training* dan *testing*), prediksi tidak hanya dapat dilakukan pada *displacement* atau *story drift*, namun respons dapat dilakukan pada gaya dalam, *base shear*, kecepatan, percepatan dan lain sebagainya yang masih berkaitan dengan respons struktur gedung maupun bangunan lainnya.
2. Jumlah lapisan dan neuron pada *hidden layer* dapat divariasikan untuk mendapatkan hasil yang optimum dalam prediksi JST.
3. Metode JST dapat digunakan dalam berbagai proses analisis dalam bidang ilmu Teknik Sipil, tentunya disesuaikan terhadap proses penelitian yang dilakukan.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih dan penghargaan yang sebesarnyakepada :

1. Bapak Prof. Dr. H. Zulkarnain, SE., MM selaku Direktur Program Pasca Sarjana Universitas Riau.
2. Bapak Dr. Zulfikar Djauhari, MT selaku Koordinator Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas Riau.
3. Ibu Dr. Reni Suryanita, MT selaku Ketua Komisi Pembimbing dan Bapak Dr. Zulfikar Djauhari, MT selaku anggota Komisi Pembimbing, yang telah meluangkan waktu untuk membimbing penulis mulai dari awal penelitian hingga selesainya penelitian.
4. Kepada Orang tua, dan adik-adik yang telah dengan sabar dan penuh semangat memberikan motivasi kepada penulis hingga selesai penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Chen, W.F., Lui, E. M. (2006). *Earthquake Engineering for Structural Design*. Florida.
- Jek Siang, J. (2005). Jaringan Syaraf Tiruan Pemrogramannya Menggunakan Matlab. Yogyakarta.
- Salim, V. (2016). Evaluasi Jaringan Saraf Tiruan Dalam Memprediksi Respons Struktur Gedung Bertingkat Berdasarkan Spektra Gempa di Wilayah Indonesia, 3, 1–10.
- Schodek, D. L. (1999). *Struktur Edisi kedua*. Jakarta: Erlangga.
- SNI-1726-2012. (2012). Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung. Retrieved from [www.bsn.go.id](http://www.bsn.go.id)
- Sri, K. (2004). Membangun Jaringan Syaraf Tiruan Menggunakan Matlab & Excel Link. Yogyakarta.
- Supriyadi, D. (2013). Sistem Informasi Penyebaran Penyakit Demam Berdarah Menggunakan Metode Jaringan Syaraf Tiruan Backpropagation, 6–11.
- Suyanto. (2014). *Artificial Intelligence (Searching-Reasoning-Planning-Learning)* (2nd ed.). Bandung.