

Aplikasi Prediksi Respon *Displacement* dan *Story Drift* Bangunan terhadap Spektrum Gempa dengan Metode Backpropagation

Okfalisa¹, Eggy P², Yelvi Fitriani³, Fitri Insani⁴, Novi Yanti⁵, Frica A Ambarwati⁶

^{1,2,3,4,5,6}Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau

⁶Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta

HR Subrantas Street KM. 15, Rimba Panjang, Riau, 28293, Indonesia

H. Djuanda Street No. 95, Cempaka Putih, Ciputat Tangerang Selatan 15412, Banten, Indonesia

corresponding author: okfalisa@gmail.com

Abstrak

Gempa bumi merupakan kejadian unik yang tidak bisa ditentukan, baik waktu kejadian, lamanya waktu berlangsung (durasi) maupun kekuatan. Untuk memprediksi terjadinya gempa tidaklah mudah, maka salah satu cara yang dapat dilakukan adalah bagaimana mengatasi atau memperkecil pengaruh kerusakan yang ditimbulkan akibat gempa tersebut. Beban gempa menjadi aspek penting yang perlu diperhitungkan dalam mendesain bangunan sebuah gedung. Respon bangunan yang tidak aman akan menyebabkan kerusakan bangunan yang selanjutnya mengarah kepada kerugian, baik secara fisik maupun finansial. Guna mencegah terjadinya kecelakaan dan meminimalisir resiko dalam pembangunan, maka penelitian ini memprediksi nilai respon suatu bangunan melalui penerapan konsep Jaringan Syaraf Tiruan Backpropagation Neural Network (BPNN). Prediksi dilakukan pada tipe bangunan displacement dan story drift berupa nilai respon dengan parameter mutu beton, percepatan tanah puncak (PGA), percepatan spectrum desain (SDS), parameter SD1, waktu sebelum getaran (T0), dan waktu setelah getaran (Ts). Untuk simulasi pengujian digunakan 330 data dari 10 provinsi yang ada di Indonesia. Parameter BPNN yang digunakan yaitu nilai epoch 500, nilai learning rate 0.01-0.09, arsitektur 6 neuron input layer, 6 neuron hidden layer dan 1 output. Simulasi perbandingan jumlah data latih dan data uji yang digunakan adalah 90:10, 80:20, 70:30; dan 50:50. Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh nilai akurasi tertinggi pada displacement=93,0446% dan story drift= 94,6599% untuk simulasi 90:10 dan learning rate 0.09. Hasil ini menunjukkan bahwa metode BPNN telah berhasil diterapkan untuk memprediksi respon bangunan terhadap gempa dengan tingkat akurasi yang cukup baik.

Kata kunci: Back propagation Neural Network, Displacement, Story Drift, Jaringan Syaraf Tiruan, Prediksi.

Abstract

An earthquake is a unique event that the time, duration, or strength cannot be determined. Prediction of the earthquake occurrence is not easy. One way that can be done is how to overcome or minimize the damage caused by the earthquake. Earthquake load is an aspect that needs to be considered in designing a building. Unsafe building responses will cause damage to the building which then leads to losses, both physical and financial. In order to prevent accidents and minimize risks in development, this study predicts the response value of a building through the application of the Artificial Neural Network Backpropagation Neural Network (BPNN). Predictions are made based on the displacement-type building and story drift-type building in form of response values with concrete quality parameters, including PGA, SDS, SD1, T0, and Ts. In order to simulation testing, 330 data from 10 provinces in Indonesia are then used. The parameters of BPNN which are applied, including 500 epoch value, 0.01-0.09 learning rate value, 6 neurons input layer, 6 neurons hidden layer and 1 output. The comparison of the training data and testing data as simulation are 90:10, 80:20, 70:30; and 50:50. As the results, the highest accuracy on displacement-type is 93.0446% and story drift-type is 94.6599% with 90:10 simulation and 0.09 learning rate. These results indicate that the BPNN method has been successfully applied to predict the buildings response towards earthquakes with the virtuous level of accuracy.

Keywords: Backpropagation Neural Network, Displacement, Story Drift, Artificial Neural Networks, Prediction.

1. Pendahuluan

Didukung oleh kondisi geografis yang terletak pada dua wilayah jalur gempa pasifik (*Circum Pasific Belt*) dan jalur gempa asia (*Trans Asiatic Earthquake Belt*), wilayah Indonesia menjadi sangat rentan untuk terjadinya gempa. Beberapa kejadian gempa besar yang telah terjadi di Indonesia antara lain gempa Aceh disertai tsunami dengan kekuatan 9,2 *scala richter*

tahun 2004, selanjutnya gempa Nias tahun 2005 kekuatan gempa 8,7 *scala richter*, gempa Yogyakarta tahun 2006 dengan kekuatan 6,3 *scala richter*, gempa Padang tahun 2009 berkekuatan 7,6 *scala richter*, gempa Mentawai tahun 2010 berkekuatan 7,2 *scala richter*, gempa yang terjadi pada Kabupaten Pidie Jaya, Aceh tanggal 07 Desember 2016 dengan skala 6,5 *skala richter* [1]. Gempa ini telah banyak memakan korban jiwa. Guncangan Gempa merupakan aktivitas natural alam yang sulit untuk diprediksi kejadiannya, baik dari segi waktu kejadian, lamanya proses tersebut berlangsung, maupun kekuatan guncangan yang dihasilkan. Kerusakan yang diakibatkan oleh terjadinya gempa juga tidak sedikit yang mengakibatkan kerugian yang cukup besar, baik terhadap pembangunan infrastruktur, harta, maupun jiwa manusia. Akibatnya bagaimana cara mengatasi atau memperkecil pengaruh kerusakan yang ditimbulkan oleh terjadinya gempa menjadi suatu tantangan, terutama terkait dalam proses konstruksi infrastruktur bangunan. Beban gempa menjadi aspek yang sangat penting untuk diperhitungkan dalam mendesain struktural bangunan, baik gedung maupun jembatan. Secara umum bangunan yang memiliki bentuk tidak simetri dan tidak beraturan memiliki tingkat kerentanan yang cukup tinggi terhadap pengaruh spektrum gempa [1]. Begitu juga faktor banyaknya tingkatan yang ada pada bangunan mempengaruhi ketahanan terhadap gempa [2]. Untuk itu, diperlukan suatu perhitungan dan analisis yang lengkap dalam membuat perencanaan bangunan terutama yang bertingkat, disesuaikan dengan standar perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan sebagaimana yang tertuang pada SNI 1726-2002[3]. Berdasarkan peraturan tersebut dijelaskan tujuan perencanaan gempa, seperti menghindari terjadinya korban jiwa manusia oleh runtuhnya gedung akibat gempa yang kuat, membatasi kerusakan gedung akibat gempa ringan sampai sedang, sehingga masih dapat diperbaiki, membatasi ketidaknyamanan penghunian bagi penghuni gedung ketika terjadi gempa ringan sampai sedang, dan mempertahankan setiap saat layanan vital dari fungsi gedung. Selain itu, peraturan tersebut juga mengklasifikasikan gempa berdasarkan beban yang diperolehnya, berupa beban gempa rencana, gempa nominal, gempa sedang dan gempa kuat. Beberapa penelitian terkait struktur bangunan dan spectrum diantaranya adalah Hariyanto [1], yang melakukan kajian terkait dengan analisis kinerja struktur pada bangunan bertingkat tidak beraturan dengan analisis dinamik menggunakan metode analisis respons spektrum. Suryanita [4] juga melakukan penelitian berupa prediksi kerusakan model tiang jembatan beton bertulang berdasarkan mutu beton dengan metode Jaringan Saraf Tiruan. Selain itu, Wijaya [5] juga melakukan prediksi respon struktur jembatan beton Prategang berdasarkan spektrum Gempa Indonesia dengan Metode Jaringan Saraf Tiruan.

Jaringan syaraf tiruan (JST) memanfaatkan model komputasi sebagai penyederhanaan jaringan neuron manusia yang ditransformasikan dalam bentuk informasi yang mampu belajar dari data kejadian sebelumnya [5]. Salah satu model komputasi yang biasa digunakan untuk pembobotan neuron pada JST adalah algoritma backpropagation. Backpropagation mampu melatih jaringan neuron untuk mendapatkan keseimbangan dalam mengenali pola yang digunakan selama pelatihan serta memiliki kelebihan dalam memberikan respon yang benar terhadap pola masukan yang serupa (tapi tak sama) dengan pola yang dipakai selama pelatihan [6]. Beberapa penerapan algoritma backpropagation dalam berbagai kasus prediksi diantaranya adalah Agustin, Salim dan Supriyadi [2, 7, dan 8]. Penelitian ini memanfaatkan penerapan backpropagation dalam memprediksi respon struktur bangunan berdasarkan mutu beton, jenis tanah, dan spektrum gempa terhadap bangunan. Identifikasi respon struktur akibat gempa mengacu pada SNI 03-1726-2012 [9], terutama pada mutu beton dengan kuat tekan beton, $f'_c = 20 \text{ MPa}$, modulus elastisitas, $E_c = 4700\sqrt{20} = 21019,039 \text{ MPa}$, rasio Poisson, $\nu = 0,2$, berat per volume, $W_c = 2400 \text{ kg/m}^3$, tulangan leleh, $f_y = 400 \text{ MPa}$, modulus elastisitas, $E_s = 200000 \text{ MPa}$, Rasio Poisson, $\nu = 0,3$, dan massa jenis, $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$ [10]. Sementara untuk membatasi data pengujian, lokasi yang dipilih untuk pengambilan data respons spektrum gempa adalah 10 kota besar yang ada di sumatra yang meliputi Banda Aceh, Medan, Padang, Pekanbaru, Jambi, Palembang, Bengkulu, Bandar Lampung, Pangkal Pinang, Tanjung Pinang, dengan 11 mutu beton yaitu, $f'_c = 20 \text{ MPa}$, $f'_c = 21 \text{ MPa}$, $f'_c = 22 \text{ MPa}$, $f'_c = 23 \text{ MPa}$, $f'_c = 24 \text{ MPa}$, $f'_c = 25 \text{ MPa}$, $f'_c = 26 \text{ MPa}$, $f'_c = 27 \text{ MPa}$, $f'_c = 28 \text{ MPa}$, $f'_c = 29 \text{ MPa}$ dan $f'_c = 30 \text{ MPa}$, dengan ragam jenis tanah keras, tanah sedang dan tanah lunak yang berjumlah 330 data respons spektrum untuk JST. Dengan melakukan beberapa simulasi perbandingan data latih dan data uji akan dilihat bagaimana akurasi dari setiap perlakuan hingga memperoleh besaran nilai akurasi terbaik. Guna mengotomasi perhitungan JST backpropagation sebuah aplikasi dibangun dengan

menggunakan bahasa pemrograman PHP dan DBMS *mysql*. Pengujian aplikasi dengan blackbox testing, dan User Acceptance Test (UAT) dilakukan guna menunjukkan keberhasilan dan perbandingan perhitungan manual dan komputasi. Sehingga dengan penerapan algoritma backpropagation pada pembangunan aplikasi prediksi respon bangunan terhadap gempa dapat diidentifikasi dengan lebih akurat.

2. Metodologi Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahapan penyelesaian, diantaranya adalah:

1. Mengumpulkan data primer yang diperoleh dari data respon gedung displacement dan story drift beserta targetnya. Data ini diperoleh dari SNI-1726-2002 (2002) [3] dan SNI-1726-2012 (2012) [9], yang berisikan standard mutu beton dan kelayakan bangunan dan ketahanan bangunan terhadap gempa. 11 mutu beton dan 3 jenis tanah diantaranya tanah keras, tanah sedang dan lunak dijadikan inputan awal.
2. Normalisasi data. Hal ini dilakukan untuk menyesuaikan dengan data latih dan data uji yang akan dilakukan pada tahap berikutnya. Normalisasi dilakukan pada range [0,1] dengan menggunakan persamaan :

$$x * = \frac{x - \min}{\max x - \min(x)} \dots\dots\dots(1)$$

3. Algoritma Backpropagation, yang terdiri dari tiga proses perhitungan, yaitu perhitungan maju (*forward*), perhitungan mundur (*backpropagation*) dan perubahan bobot dan bias [11,12]. Pada perhitungan maju, data dimasukkan ke tiap neuron dalam *input layer* dan perhitungan dilanjutkan sampai ke *output layer*. Perbedaan antara nilai *output* yang diprediksi JST dengan nilai *output* yang semestinya (nilai target) disebut tingkat kesalahan (*error*). Nilai *error* tersebut kemudian digunakan untuk memodifikasi faktor bobot JST dalam proses perhitungan mundur dari *output layer* ke *input layer*. Hal ini dilakukan dengan rician sebagai berikut:

- Langkah 0 : Inialisasi semua bobot dengan bilangan acak kecil
- Langkah 1 : Jika kondisi penghentian belum terpenuhi, lakukan langkah 2-9.
- Langkah 2 : Untuk setiap pasang data pelatihan, lakukan langkah 3 – 8,

Fase I : Propagasi maju

- Langkah 3 : Tiap unit masukan menerima sinyal dan meneruskannya ke unit tersembunyi di atasnya.

- Langkah 4 : Hitung semua keluaran di unit tersembunyi z_j ($j = 1, 2, \dots, p$) akan menghitung total sinyal *input* yang telah dikalikan dengan bobotnya (V_{ij}).

$$z_in_j = v_{jo} + \sum_{i=1}^n x_i v_{ij} \dots\dots\dots(2)$$

Hitung sinyal keluaran dengan fungsi aktifasi

$$z_j = f(z_in_j) = \frac{1}{1 + e^{-z_in_j}} \dots\dots\dots(3)$$

- Langkah 5 : Hitung semua keluaran jaringan di unit y_k ($k = 1, 2, \dots, m$) dari total sinyal lapisan tersembunyi yang terbobot (W_{kj}).

$$y_in_k = w_{ko} + \sum_{j=1}^p z_j w_{kj} \dots\dots\dots(4)$$

Hitung sinyal keluaran dengan fungsi aktifasi.

$$y_k = f(y_in_k) = \frac{1}{1 + e^{-y_in_k}} \dots\dots\dots(5)$$

Fase II : Propagasi mundur

- Langkah 6 : Hitung faktor δ unit keluaran berdasarkan kesalahan di setiap unit keluaran y_k ($k = 1, 2, \dots, m$)

$$\delta_k = (t_k - y_k) f'(y_in_k) \dots\dots\dots(6)$$

Menghitung koreksi bobot

$$\Delta w_{kj} = \alpha \delta_k z_j \dots\dots\dots(7)$$

Menghitung koreksi bias

$$\Delta w_{ok} = \alpha \delta_k \dots\dots\dots (8)$$

Mengirim nilai δ_k ke unit pada lapisan tersembunyi

Langkah 7 : Hitung factor δ unit tersembunyi berdasarkan kesalahan di setiap unit tersembunyi z_j ($j = 1, 2, \dots, p$)

$$\delta_{in_j} = \sum_{k=1}^m \delta_k w_{kj} \dots\dots\dots (9)$$

Mengalikan dengan turunan fungsi aktivasi untuk mendapatkan error.

$$\delta_j = \delta_{in_j} f' (z_{in_j}) \dots\dots\dots (10)$$

Hitung suku perubahan bobot v_{ji} (yang akan dipakai nanti untuk merubah bobot v_{ji})

$$\Delta v_{ji} = \alpha \delta_j x_i \dots\dots\dots (11)$$

Menghitung koreksi bias

$$\Delta v_{j0} = \alpha \delta_j \dots\dots\dots (12)$$

Fase III : Perubahan bobot

Langkah 8 : Hitung semua perubahan bobot.

Perubahan bobot garis yang menuju ke unit keluaran :

$$w_{kj} (baru) = w_{kj} (lama) + \Delta w_{kj} \dots\dots\dots (13)$$

Perubahan bobot garis yang menuju ke unit tersembunyi :

$$v_{ji} (baru) = \Delta v_{ji} (lama) + \Delta v_{ji} \dots\dots\dots (14)$$

4. Arsitektur Jaringan Syarat Tiruan (JST) Backpropagation

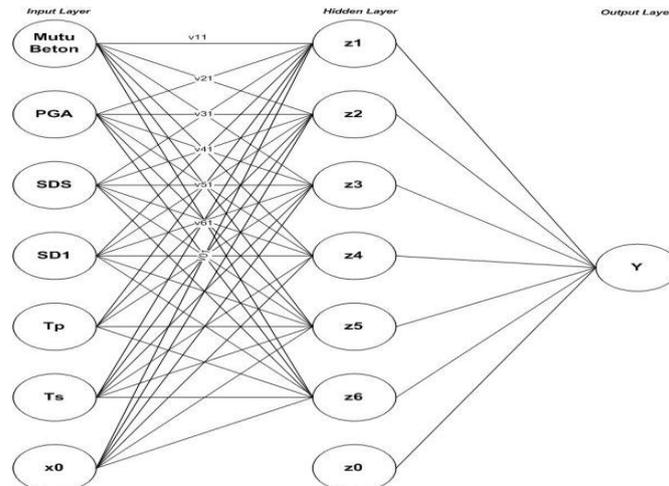
Pelatihan, yang dilakukan dengan menginisialisasi bobot awal dengan bilangan kecil secara random serta menetapkan konfigurasi jaringan syaraf tiruan yang akan digunakan, yaitu jumlah *epoch* yang akan digunakan serta besarnya nilai *learning rate*. Pada penelitian ini *learning rate* digunakan adalah 0.01-0.09 dan nilai *epoch*=500. Selanjutnya ketahap alur maju atau *feedforward* akan dilakukan, kemudian dilanjutkan pada tahap *backpropagation*. Apabila telah selesai dilakukan sebanyak *epoch* yang telah diterapkan, maka pelatihan akan berhenti dan bobot akhir pada proses tersebut akan tersimpan.

5. Pengujian, dilakukan dengan simulasi data percobaan dengan pembagian data latih terhadap data uji 70:30, 80:20, 90:10, 50:50 untuk prediksi displacement dan story drift.

6. Automasi perhitungan JST Backpropagation melalui pembangunan aplikasi sistem. Aplikasi ini dibangun untuk memudahkan perhitungan dengan jumlah data yang banyak. Aplikasi menampilkan semua analisis dan simulasi yang dilakukan. Untuk menguji aplikasi yang dibangun, beberapa teknik pengujian seperti Blackbox testing dan UAT dilakukan.

3. Analisa dan Pembahasan

Sesuai dengan tahapan metodologi yang dilakukan, parameter masukan berdasarkan penentuan respon gedung displacement dan story drift dengan 6 variabel, yang terdiri dari x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 , dan x_6 sebagai parameter nilai mutu beton, nilai tekanan PGA, nilai SDS, nilai SD1, nilai T0 dan nilai Ts sesuai urutan variabel. Data primer yang diperoleh dinormalisasikan sebagai proses transformasi dapat dilihat pada Gambar 2 untuk data di Provinsi Banda Aceh. Berdasarkan hasil perhitungan analisis diperoleh arsitektur jaringan syaraf tiruan backpropagation seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Arsitektur Jaringan Syaraf Tiruan (Backpropagation)

Pada Gambar 1 terdapat x_1 sampai x_6 sesuai lapisan *input*, dimana x_1 sebagai Mutu Beton, x_2 sebagai PGS, x_3 sebagai SDS, x_4 sebagai SD1, x_5 sebagai Tp dan x_6 sebagai Ts. Jaringan terdiri atas 6 unit (neuron) pada lapisan *input* yaitu $x_1, x_2, x_3, \dots, \text{ dan } x_6$, 1 lapisan tersembunyi dengan 6 neuron, yaitu $z_1, z_2, z_3, \dots, \text{ dan } z_6$, serta 1 unit pada lapisan *output* yaitu Y. Bobot yang menghubungkan $x_1, x_2, x_3, \dots, \text{ dan } x_6$ dengan neuron pertama pada lapisan tersembunyi, adalah $v_{11}, v_{21}, v_{31}, \dots, \text{ dan } v_{61}$ (v_{ij} : bobot yang menghubungkan neuron input ke- i ke neuron ke- i pada lapisan tersembunyi). $v_{01}, v_{02}, v_{03}, \dots, \text{ dan } v_{06}$ adalah bobot bias yang menuju ke neuron pertama dan kedua pada lapisan tersembunyi. Bobot yang menghubungkan $z_1, z_2, z_3, \dots, \text{ dan } z_6$ dengan neuron pada lapisan *output*, adalah y_0 dan y_1 . Bobot bias $w_{01}, w_{02}, w_{03}, \dots, \text{ dan } w_{06}$ menghubungkan lapisan tersembunyi dengan lapisan *output*. Fungsi aktivasi yang digunakan antara lapisan *input* dan *output* adalah fungsi aktivasi *linear*. Selanjutnya perhitungan prediksi respon gedung terhadap spektrum gempa menggunakan *learning rate* 0,01 sampai dengan 0,09, dengan maksimal *epoch* yang digunakan adalah 500. Hasil bobot baru yang diperoleh dari perhitungan setelah mencapai maksimal *epoch* dapat dilihat pada Tabel I. Nilai bobot w baru yang diperoleh dari hasil pembelajaran, terdiri dari $w_0, w_1, w_2, w_3, w_4, w_5, \text{ dan } w_6$ dengan bobot -0.331, -0.675, -0.508, -0.472, 0.292, -0.644, dan -0.705 sesuai urutan nilai w . Bobot v baru yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel I.

Pada tahap simulasi pengujian dengan 330 data dari 10 provinsi diperoleh hasil pada Gambar 3. Rekapitulasi nilai akurasi untuk masing-masing perbandingan data dapat dilihat pada Tabel II. Berdasarkan Tabel II diperoleh akurasi tertinggi pada *Displacement* yaitu pada data latih 90% dan data uji 10% di *learning rate* 0,9 dengan nilai 93, 0446% dan akurasi terendah pada perbandingan 50% data latih dan 50% data uji dengan nilai 75, 6678%. Sementara akurasi tertinggi pada *Story Drift* yaitu pada data latih 90% dan data uji 10% di *learning rate* 0,9 dengan nilai 94, 6599% dan akurasi terendah pada perbandingan 50% data latih dan 50% data uji dengan nilai 75, 7908%.

No	Parameter Input					
	Mutu Beton	PG4	SDS	SDI	T0	Ts
	Mpa	(g)	(g)	(g)	Detik	detik
1	20	0,621	0,900	0,556	0,124	0,619
2	20	0,621	0,900	0,642	0,143	0,714
3	20	0,621	0,810	1,027	0,254	1,269
4	21	0,621	0,900	0,556	0,124	0,619
5	21	0,621	0,900	0,642	0,143	0,714
...
...
32	30	0,621	0,900	0,642	0,143	0,714
33	30	0,621	0,810	0,027	0,254	1,269

Transformasi dari Normalisasi 

No	Parameter Input kota aceh					
	Mutu Beton	PG4	SDS	SDI	T0	Ts
	x1	x2	x3	x4	x5	x6
1	0	0,621	0,900	0,556	0,124	0,000
2	0	0,621	0,900	0,642	0,143	0,146
3	0	0,621	0,810	1,027	0,254	1,000
4	0,1	0,621	0,900	0,556	0,124	0,000
5	0,1	0,621	0,900	0,642	0,143	0,146
...
...
32	1	0,621	0,900	0,642	0,143	0,146
33	1	0,621	0,810	0,027	0,254	1,000

Gambar 2. Transformasi dan Normalisasi 33 data di Provinsi Banda Aceh

Gambar 2 merupakan hasil transformasi dari data Provinsi Banda Aceh sebelum di normalisasi menjadi normalisasi. Hasil normalisasi berada pada range 0-1. Hasil nilai normalisasi akan digunakan untuk melakukan proses pelatihan hingga pengujian.

Tabel 1. Bobot nilai v setelah pelatihan dengan epoch maksimal

Persamaan	Hasil
V_{01}	0.91509027705256
V_{02}	0.21635490917363
V_{03}	0.80506165879145
V_{04}	0.59411583536564
V_{05}	0.14596037345832
V_{06}	0.23693935789955
...	...
...	...
V_{61}	0.50305886200703
V_{62}	0.40323187874345
V_{63}	0.40068230006966
V_{64}	0.09710545125432
V_{65}	0.21218726463498
V_{66}	0.80690384757983

Tabel 1 merupakan hasil bobot nilai v setelah dilakukannya pelatihan dengan maksimal epoch yang telah ditentukan. Hasil nilai v akhir ini akan digunakan saat proses pengujian. Berikut adalah hasil bobot baru yang diperoleh dari perhitungan setelah mencapai maksimal epoch

Tabel 2. Bobot W Baru

Bobot (w)	Hasil
W0	-0.33141410412468
W1	-0.675783828608
W2	-0.5083420170517
W3	-0.4726839152224
W4	0.29290291963653
W5	-0.64441778161127
W6	-0.70563715385742

Data Ke	Provinsi	Target	Akurasi																	
			0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15			
1	Banda Aceh	0,0236	0,0243	97,0339	0,0242	97,4576	0,0242	97,4576	0,0241	97,8814	0,0241	97,8814	0,0242	97,5207	0,0241	97,8814	0,0242	97,4576	0,0241	97,8814
2		0,0296	0,0242	77,6860	0,0242	77,6860	0,0241	118,5811	0,0241	77,1784	0,0241	77,1784	0,0242	77,6860	0,0241	77,1784	0,0241	77,1784	0,0241	77,1784
3		0,0292	0,0242	79,3388	0,0241	78,8382	0,0241	117,4658	0,0241	77,1784	0,0242	79,3388	0,0241	78,8382	0,0241	78,8382	0,0241	78,8382	0,0240	78,3333
4	Medan	0,0150	0,0157	95,3333	0,0156	96,0000	0,0157	95,3333	0,0155	96,6667	0,0151	99,3333	0,0155	96,7742	0,0152	98,6667	0,0151	99,3333	0,0155	96,6667
5		0,0174	0,0156	88,4615	0,0156	88,4615	0,0156	88,4615	0,0154	87,0130	0,0151	84,7682	0,0152	85,5263	0,0159	90,5660	0,0152	85,5263	0,0155	87,7419
6		0,0208	0,0156	66,6667	0,0155	65,8065	0,0155	65,8065	0,0155	65,8065	0,0209	99,5192	0,0181	85,0829	0,0182	85,7143	0,0161	70,8075	0,0154	64,9251
7	Padang	0,0220	0,0228	96,3636	0,0227	96,8182	0,0226	97,2727	0,0225	97,7273	0,0223	98,6364	0,0231	95,2381	0,0234	93,6364	0,0234	93,6364	0,0226	97,2727
8		0,0254	0,0227	88,1057	0,0227	88,1057	0,0226	87,6106	0,0226	87,6106	0,0222	85,5856	0,0224	86,6071	0,0259	98,0315	0,0253	99,6047	0,0226	87,6106
9		0,0303	0,0227	66,5198	0,0229	67,6856	0,0225	65,3333	0,0226	65,9292	0,0289	95,1557	0,0224	64,7321	0,0351	84,1584	0,0330	91,0891	0,0225	65,3333
10	Pekanbaru	0,0126	0,0132	95,2381	0,0131	96,0317	0,0130	96,8254	0,0130	96,8254	0,0133	94,4444	0,0125	99,2000	0,0127	99,2063	0,0125	99,2000	0,0130	96,8254
11		0,0152	0,0131	83,9695	0,0131	83,9695	0,0131	83,9695	0,0139	90,6475	0,0134	86,5672	0,0162	93,8272	0,0155	98,0263	0,0159	95,3947	0,0130	83,0769
12		0,0199	0,0131	48,0916	0,0130	46,9231	0,0132	49,2424	0,0155	71,6129	0,0200	99,4975	0,0200	99,5000	0,0200	99,4975	0,0200	99,4975	0,0129	45,7364
13	Jambi	0,0061	0,0064	95,0820	0,0064	95,0820	0,0064	95,0820	0,0066	91,8033	0,0060	98,3333	0,0064	95,0820	0,0068	88,5246	0,0066	91,8033	0,0066	91,8033
14		0,0082	0,0065	73,8462	0,0064	71,8750	0,0065	73,8462	0,0067	77,6119	0,0065	73,8462	0,0071	84,5070	0,0083	98,7805	0,0088	92,6829	0,0067	77,6119
15		0,0127	0,0065	51,1811	0,0075	30,6667	0,0079	39,2405	0,0129	98,4252	0,0128	99,2126	0,0129	98,4496	0,0122	95,9016	0,0129	98,4252	0,0110	84,5455
16	Bengkulu	0,0187	0,0192	97,3262	0,0190	98,3957	0,0190	98,3957	0,0191	97,8610	0,0192	97,3262	0,0179	95,5307	0,0188	99,4652	0,0179	95,5307	0,0189	98,3905
17		0,0215	0,0192	88,0208	0,0193	88,6010	0,0192	88,0208	0,0192	88,0208	0,0191	87,4346	0,0231	93,0736	0,0222	96,7442	0,0200	92,5000	0,0190	86,8421
18		0,0244	0,0191	72,2513	0,0194	74,2268	0,0192	72,9167	0,0192	72,9167	0,0198	76,7677	0,0255	95,6863	0,0255	95,4918	0,0255	95,4918	0,0189	70,8995
19	Palembang	0,0075	0,0080	93,3333	0,0078	96,0000	0,0080	93,3333	0,0082	90,6667	0,0088	82,6667	0,0077	97,4026	0,0077	97,3333	0,0077	97,3333	0,0076	98,6667
20		0,0100	0,0080	75,0000	0,0078	71,7949	0,0082	78,0488	0,0081	76,5432	0,0080	75,0000	0,0075	66,6667	0,0071	59,1549	0,0071	59,1549	0,0078	71,7949
21		0,0155	0,0191	76,7742	0,0123	73,9837	0,0158	98,0645	0,0181	83,2258	0,0156	99,3548	0,0166	93,3735	0,0156	99,3548	0,0166	92,9032	0,0145	93,1034
22	Bandar Lampung	0,0133	0,0138	96,2406	0,0136	97,7444	0,0137	96,9925	0,0136	97,7444	0,0136	97,7444	0,0167	74,4361	0,0136	97,7444	0,0136	97,7444	0,0134	99,2481
23		0,0158	0,0138	85,5072	0,0160	98,7342	0,0137	84,6715	0,0135	82,9630	0,0136	83,8235	0,0152	96,0526	0,0152	96,0526	0,0155	98,0645	0,0150	98,0645
24		0,0217	0,0137	41,6058	0,0161	65,2174	0,0138	42,7536	0,0135	39,2593	0,0135	39,2593	0,0221	98,1900	0,0213	98,1221	0,0210	96,6667	0,0210	96,6667
25	Pangkal Pinang	0,0029	0,0017	29,4118	0,0030	96,5517	0,0018	38,8889	0,0030	96,5517	0,0030	96,5517	0,0030	96,6667	0,0030	96,5517	0,0030	96,5517	0,0030	103,3333
26		0,0022	0,0017	70,5882	0,0029	68,1818	0,0019	84,2105	0,0024	90,9091	0,0033	50,0000	0,0024	91,6667	0,0019	84,2105	0,0024	90,9091	0,0026	115,3846
27		0,0017	0,0016	93,7500	0,0031	17,6471	0,0020	82,3529	0,0018	94,1176	0,0018	94,1176	0,0018	94,4444	0,0018	94,1176	0,0018	94,1176	0,0021	119,0476
28	Tanjung Pinang	0,0015	0,0016	93,3333	0,0016	93,3333	0,0018	80,0000	0,0018	80,0000	0,0022	53,3333	0,0019	78,9474	0,0016	93,3333	0,0017	86,6667	0,0033	154,5455
29		0,0020	0,0016	75,0000	0,0016	75,0000	0,0019	94,7368	0,0025	75,0000	0,0027	65,0000	0,0023	86,9565	0,0025	75,0000	0,0025	75,0000	0,0025	120,0000
30		0,0021	0,0016	68,7500	0,0016	68,7500	0,0019	89,4737	0,0031	52,3810	0,0032	47,6190	0,0031	67,7419	0,0040	93,5238	0,0033	42,8571	0,0031	132,2581
Rata-Rata Akurasi				78,6604		78,852307		83,14629		83,32458		83,84324		88,8469		89,22695		89,3989		93,04461

Gambar 3. Pengujian akurasi prediksi Displacement dengan perbandingan 90:10

Tabel 3. Rekapitulasi nilai akurasi untuk 10 data provinsi.

Displacement				Story Drift			
Data Latih (%)	Data Uji (%)	Learning rate (α)	Akurasi (%)	Data Latih (%)	Data Uji (%)	Learning rate (α)	Akurasi (%)
50	50	0,9	75,6678	50	50	0,9	75,7908
70	30	0,9	84,9121	70	30	0,9	83,2121
80	20	0,9	85,0082	80	20	0,9	86,3789
90	10	0,9	93,0446	90	10	0,9	94,6599

Automasi perhitungan dan prediksi backpropagation dibangun dalam bentuk rancangan aplikasi dengan fungsi sesuai dengan tahapan metodologi yang dijabarkan. Berdasarkan hasil pengujian balckbox testing bahwa semua fungsi dapat berjalan dengan baik, keluaran sesuai dengan masukan. Berdasarkan pengujian UAT dari penyebaran 50 kuesioner terkait dengan fungsi perhitungan dan kemudahan dalam penggunaan aplikasi, 92% responden setuju bahwa aplikasi ini layak digunakan dan dapat dimanfaatkan untuk memprediksi respon displacement dan story drift bangunan terhadap spectrum gempa.

4. Kesimpulan

Kesimpulan dari pengujian penggunaan metode *Backpropagation Neural Network* (BNN) untuk Prediksi Respon Gedung Terhadap Spektrum Gempa, diantaranya adalah:

1. Penerapan metode BPNN memberikan hasil yang baik dalam melakukan prediksi respon gedung terhadap gempa.
2. Pengujian akurasi dilakukan dengan menginputkan 500 *epoch* dan nilai *learning rate*. Nilai *learning rate* yang digunakan yaitu 0,01 hingga 0,09. Pembagian data dilakukan adalah 90%, 80%, 70%, 50% data latih dan 10%, 20%, 30%, 50% data uji. Hasil pengujian akurasi yang tertinggi pada *displacement* yaitu 93,0446% yang berada pada nilai *learning rate* 0,09 dan pada *story drift* yaitu 94,6599 % yang terletak pada nilai *learning rate* 0.09.
3. Nilai akurasi akan semakin tinggi jika data uji memiliki jumlah yang sedikit dengan penginputan nilai *learning rate* yang semakin kecil.
4. Aplikasi automasi perhitungan prediksi respon gedung terhadap gempa telah berhasil dibangun dan dapat digunakan untuk memudahkan perhitungan prediksi untuk data yang besar dengan respon yang terfokus kepada *displacement* dan *story drift*.
5. Diharapkan aplikasi yang dibangun dalam penelitian ini dapat memudahkan semua pihak yang membutuhkan dalam memprediksi respon bangunan terhadap spectrum gempa.

Daftar Pustaka

- [1] Hariyanto, A. (2011). Analisis Kinerja Struktur Pada Bangunan Bertingkat Tidak Beraturan Dengan Analisis Dinamik Menggunakan Metode Analisis Respons Spektrum.
- [2] Agustin, M. (2012). Penggunaan Jaringan Syaraf Tiruan Backpropagation untuk Seleksi Penerimaan Mahasiswa Baru pada Jurusan Teknik Komputer di Politeknik Sriwijaya.
- [3] SNI-1726- 2002. (2002). Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung, (April).
- [4] Suryanita (2015). Prediksi Kerusakan Model Jembatan Beton Bertulang Berdasarkan Mutu Beton dengan Metode Jaringan Saraf Tiruan, 368–375.
- [5] Wijaya, A. (2016). Prediksi Respons Struktur Jembatan Beton Prategang Berdasarkan Spektrum Gempa Indonesia dengan Metode Jaringan Saraf Tiruan.
- [6] Jek Siang, J. (2005). Jaringan Syaraf Tiruan Pemrogramannya Menggunakan Matlab. Yogyakarta.
- [7] Salim, V. (2016). Evaluasi Jaringan Saraf Tiruan Dalam Memprediksi Respons Struktur Gedung Bertingkat Berdasarkan Spektra Gempa di Wilayah Indonesia.
- [8] Supriyadi, D. (2013). Sistem Informasi Penyebaran Penyakit Demam Berdarah Menggunakan Metode Jaringan Syaraf Tiruan Backpropagation.
- [9] SNI-1726-2012. (2012). Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung. Retrieved from www.bsn.go.id
- [10] Schodek, D. L. (1999). *Struktur Edisi kedua*. Jakarta: Erlangga.
- [11] Jaringan Syaraf Tiruan (Neural Network). (2013), 53(9), 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- [12] Suyanto. (2014). *Artificial Intelligence (Searching-Reasoning-Planning-Learning)* (2nd ed.). Bandung