

Aplikasi *Backpropagation Neural Network (BPNN)* dalam Memprediksi Respon Sistem Rangka Baja Bertingkat Berdasarkan Spektra Gempa Indonesia

Ismail Rahmadtulloh¹⁾, Reni Suryanita²⁾, Enno Yuniarto²⁾

¹⁾Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

²⁾Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

Kampus Bina Widya Jl. HR Soebrantas KM 12,5 Simpang Baru Panam,
Pekanbaru 28293

Email : ismail.rahmadtulloh@student.unri.ac.id

Abstrak

The planning of multi-story steel portal frame needs to watch for the resulted structure response due to the planning of earthquake-resistant building is needed in the earthquake-vulnerable area such as Indonesia. One of the method used to predict structure response of multi-story steel portal frame is Artificial Neural Network (ANN). The structure used to get the structure response is 10-story steel portal frame, modeled with the help of a element software and earthquake spectrum response analysis method according to SNI 1726-2012. Analyzing is conducted on each capital city of the 34 provinces with 3 different soil types, resulting in 102 data sets. It is therefore concluded that biggest values of movement response and structure velocity are, respectively, 0,0497 m and 0,0292 m/s in the city of Palu, and then the biggest value of structure acceleration is 2,15932 m/s² on Palu. The accuracy level reaches 99% with 816 training data sets and Mean-Squared Errors (MSE) value is 0,00485. Therefore, it is concluded that ANN can predict multi-story steel portal frame response on all capital cities in Indonesia.

Keyword : Multi-story steel portal frame, structure response, Artificial Neural Network

PENDAHULUAN

Peristiwa gempa bumi merupakan suatu proses endogen yang menyebabkan timbulnya getaran. Getaran yang dihasilkan akan sampai ke permukaan tanah sehingga akan menimbulkan beban dinamik berupa guncangan pada suatu struktur di atasnya.

Indonesia termasuk dalam wilayah rawan bencana gempa bumi. Posisi geografis negara Indonesia merupakan negara berada di daerah pertemuan tiga lempeng besar dunia (Eurasia, Indo-Australia, dan Pasifik). Gempa terbesar Indonesia terjadi di kepulauan Alor (11 November skala 7,5), gempa Papua (26 November skala 7,1) dan gempa Aceh (26 Desember skala 9,2) yang disertai tsunami. Gempa Aceh menjadi gempa terbesar pada abad ini setelah gempa Alaska 1964 (Dewabroto, 2005).

Konsep perencanaan desain gedung mampu memikul beban gempa seperti di negara Indonesia dapat dilakukan dengan menggunakan material baja. Baja merupakan material yang memiliki sifat daktilitas tinggi, sehingga bangunan bertingkat tidak akan tiba-tiba runtuh dalam menerima getaran atau beban dinamik dari gempa bumi, dari sifat tersebut baja sangat cocok digunakan pada daerah rawan gempa.

Merujuk pada penelitian Purnomo, Purwanto, & Supriyadi, (2014) analisis dinamik untuk perancangan struktur tahan gempa dilakukan jika diperlukan evaluasi yang lebih akurat terhadap gaya-gaya gempa yang bekerja pada struktur, serta untuk mengetahui perilaku dari struktur akibat pengaruh gempa. Analisis dinamik untuk perancangan struktur tahan gempa dilakukan jika diperlukan evaluasi yang lebih akurat dari gaya-gaya gempa yang

bekerja pada struktur, serta untuk mengetahui perilaku dari struktur akibat pengaruh gempa (Priyono, Budi, & Suprardi, 2014). Gempa bumi yang menghasilkan beban dinamik pada umumnya dapat diprediksi dengan respons spektrum (*response spectrum method*). Metode respons spektrum merupakan salah satu metode yang biasanya digunakan dalam pendekatan gaya gempa bumi dimana metode ini menggunakan nilai-nilai terbesar pada suatu spektrum respons. Metode ini cukup mudah diterapkan dan dapat digunakan untuk bangunan tinggi yang beraturan. Hasil respons spektrum dapat dikoreksi dengan menggunakan suatu sistem yaitu Jaringan Saraf Tiruan *Backpropagation*.

Jaringan Saraf Tiruan *Backpropagation* ini merupakan suatu sistem meniru pola kerja otak manusia dan mampu menyelesaikan pola-pola yang kompleks, sehingga sistem ini dapat diterapkan dalam perkembangan ilmu teknik sipil khususnya di bidang struktur. *Backpropagation* mampu melatih dan menyelesaikan masalah lebih cepat, teliti dan lebih akurat. Kemudian sistem ini memiliki kelebihan mampu dilatih pada situasi yang telah lampau.

Pada umumnya sistem kerja Jaringan Saraf Tiruan *Backpropagation* ini sama dengan sel saraf biologi neuron yang saling terhubung dengan yang lainnya. Neuron tersebut memiliki komponen seperti dendrit, soma dan akson. Pada Analisis Jaringan Saraf Tiruan *Backpropagation* semakin sederhana suatu metoda analisis berarti parameter yang digunakan sedikit, tetapi semakin banyak parameter yang diperlukan umumnya akan menghasilkan perkiraan hasil yang semakin akurat. Oleh sebab itu penelitian ini memfokuskan pada aplikasi *Backpropagation Neural Network* dalam menganalisis respon spektrum portal baja bertingkat untuk semua ibu kota provinsi Indonesia.

TINJAUAN PUSTAKA

A.1 Respons Spektrum Gempa Indonesia

Respons spektrum adalah grafik yang menyatakan hubungan antara periode getaran struktur (T) dengan respons struktur maksimum saat mengalami getaran gempa tertentu Wijaya et al.,(2016). Berdasarkan standar nasional Indonesia Badan Standarisasi (2012) mengatur tata cara memperoleh grafik spektrum respons desain di seluruh wilayah Indonesia, yaitu dengan prosedur sebagai berikut:

1. Menentukan nilai parameter respon spectral percepatan gempa periode pendek (S_s).
2. Menentukan nilai parameter respon spectral percepatan gempa periode 1,0 detik (S_1).
3. Menentukan jenis tanah pada daerah yang diinginkan.
4. Menghitung parameter spektrum respon percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}).
5. Menghitung nilai parameter spektral desain untuk periode pendek (S_{DS}) dan untuk periode 1 detik (S_{D1}).
6. Menghitung spektrum respon desain dan menggambar grafik respons spektra.

A.2 Analisis Getaran Bebas Struktur

Getaran bebas struktur adalah getaran yang terjadi akibat bekerjanya gaya yang ada dalam struktur itu sendiri tanpa adanya gaya luar. Gaya yang bekerja merupakan gaya bebas gesekan dan berat struktur tersebut. Sistem yang bergetar akan menghasilkan satu atau lebih *frekuensi natural* yang merupakan dinamika dari distribusi massa dan kekakuan struktur.

Getaran juga terjadi akibat rangsangan gaya luar yang disebut juga getaran paksa, jika frekuensi yang diakibatkan oleh rangsangan luar sama dengan *frekuensi natural* maka akan terjadi resonansi yang berbahaya bagi struktur. Perhitungan *frekuensi natural* merupakan hal yang penting dalam suatu perencanaan

agar terhindar dari bahaya keruntuhan akibat frekuensi tersebut Jumlah koordinat bebas struktur yang dibutuhkan untuk menggambarkan gerak sistem disebut derajat kebebasan sistem.

Sistem derajat kebebasan banyak (MDOF) merupakan suatu sistem yang mempunyai koordinat bebas untuk menyatakan kedudukan massa dan perpindahan yang terjadi dua arah atau lebih. Sistem *Multi Degree Of Freedom* ini pada dasarnya transformasi dari *Single Degree Of Freedom*. Penelitian sebelumnya Purnijanto (2007) persamaan diferensial gerakan adalah ungkapan secara matematis yang mendefinisikan perpindahan dinamis dari suatu sistem struktur. Penyelesaian dari persamaan tersebut memberikan suatu gambaran yang lengkap dari respons sistem sebagai fungsi dari waktu

A.3 Jaringan Saraf Tiruan (Artificial Neural Networks)

Jaringan saraf tiruan atau di kenal JST merupakan suatu sistem yang mempunyai kerja seperti otak manusia, sistem ini dapat memodelkan hal yang kompleks antara input dan output untuk menentukan suatu pola tertentu. Penggunaan JST menghasilkan pendekatan yang bagus dalam analisis respon spektrum. Menurut Jingga et al., (2015) JST telah digunakan dalam berbagai disiplin ilmu karena mampu memodelkan perhitungan yang kompleks dengan nonlinearitas tinggi seperti permasalahan yang umumnya dijumpai di alam.

Dilihat dari segi fungsi, JST diciptakan untuk merancang suatu komputer, yang dapat difungsikan untuk melakukan proses belajar dari suatu contoh kejadian. Sedangkan dari struktur rancangan, JST merupakan suatu alat penghitung yang ditujukan untuk dapat melakukan sesuatu yang serupa dengan cara kerja jaringan biologi otak manusia (Wijaya et al., 2016).

Jaringan Saraf Tiruan *Backpropagation*

Jaringan Saraf Tiruan merupakan suatu mesin untuk dapat mengenali pola dan menghasilkan nilai keluaran berdasarkan

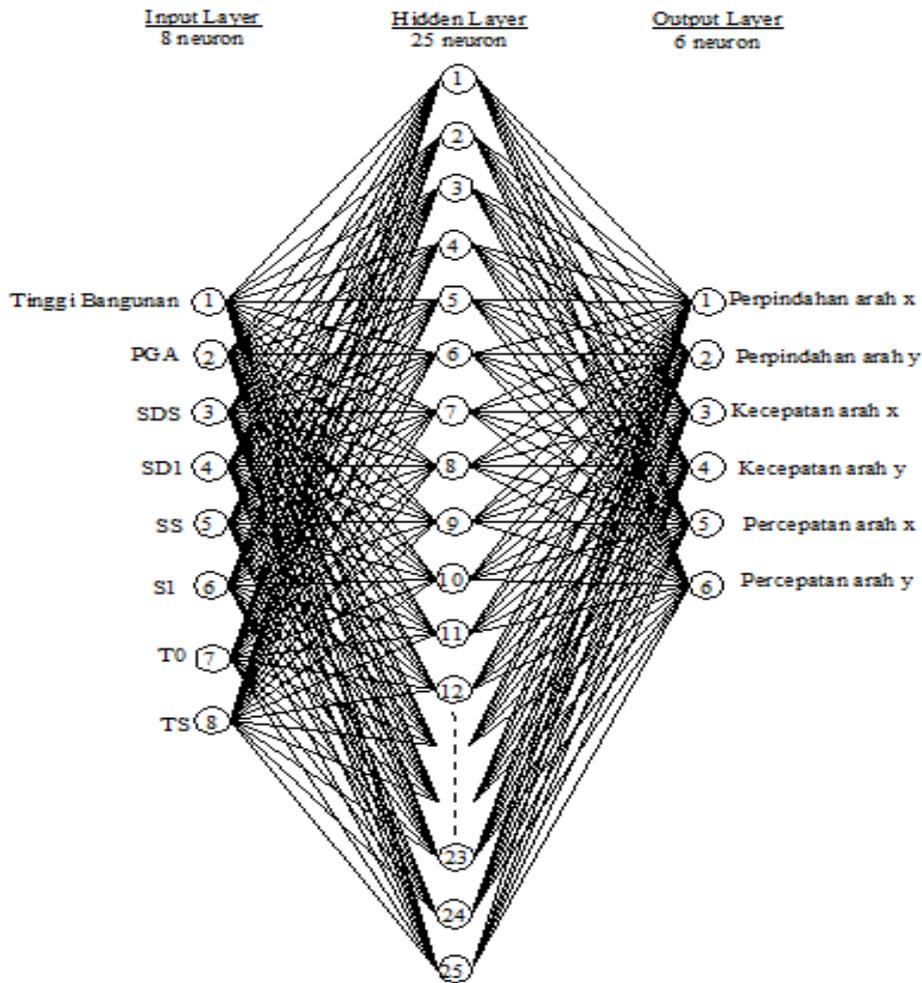
bobot jaringan pada proses belajar. Salah satu metoda Jaringan Saraf Tiruan adalah propagasi balik (*backpropagation*). *Backpropagation* akan dapat memperkirakan kesalahan dengan gradient descent terhadap tiap-tiap jaringan yang berada pada arsitektur Jaringan Saraf Tiruan tersebut. Dari perkiraan yang dihasilkan akan mempengaruhi pola yang akan terjadi. Untuk setiap neuron pada lapisan tersembunyi akan menerima masukan dari neuron lapisan masukan dikalikan dengan bobot jaringan yang memasuki neuron tersebut dan dijumlahkan.

Begitu pula dengan neuron pada lapisan keluaran akan menerima masukan dari neuron lapisan tersembunyi dikalikan bobot jaringan yang memasuki neuron tersebut. Hasil keluaran dilakukan fungsi aktivasi dan menghitung error. Apabila error belum mencapai target, maka dilakukan estimasi error fungsi *Mean Square Error (MSE)* neuron lapisan keluaran. MSE merupakan cost function yang berbentuk kuadratik parabola. Dalam proses perhitungan JST *Backpropagation* terdiri dari tiga proses yaitu perhitungan maju (*forward*), perhitungan mundur (*backpropagation*), dan perubahan bobot dan bias.

Arsitektur Jaringan saraf tiruan

Setiap neuron yang terdapat pada syarat bekerja mempunyai satu masukan atau data input yang kemudian akan diproses dan menghasilkan keluaran berupa hasil yang diinginkan. Neuron merupakan pusat pengolahan rangsangan biologis yang mempunyai tiga komponen yaitu dendrit, badan sel, dan akson. Menurut Jingga et al., (2015) dendrit berfungsi untuk menerima sinyal dari luar (eksternal) atau neuron lain yang terhubung dalam satu jaringan fungsional. Badan sel menerima sinyal dari dendrit dan meneruskannya ke akson. Akson menerima sinyal dari badan sel dan meneruskannya ke sinapsis. Jika sinyal dari badan sel melebihi suatu nilai batas tertentu (*threshold*), maka sinapsis akan membangkitkan sinyal baru ke neuron

berikutnya. Arsitektur dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Arsitektur Jaringan Saraf Tiruan

Analisis Metode Jaringan Saraf Tiruan

Analisis keakuratan dari JST ini menggunakan rumus *Correlation Coefficient (R)*, dimana koefisien korelasi (*R*) merupakan perbandingan antara hasil prediksi dengan nilai yang sebenarnya. Jika nilai *R* mendekati 1 maka prediksi dapat dikatakan sempurna. Nilai *R* dapat dihitung dengan persamaan berikut $R^2 = 1 - \left[\frac{\sum_i^n (T_i - Y_i)^2}{\sum_i^n (T_i - T_{Average})^2} \right]$, dimana T_i = Nilai target, Y_i = Hasil prediksi JST, dan $T_{Average}$ = Nilai rerata dari seluruh nilai target sebanyak *n* buah data.

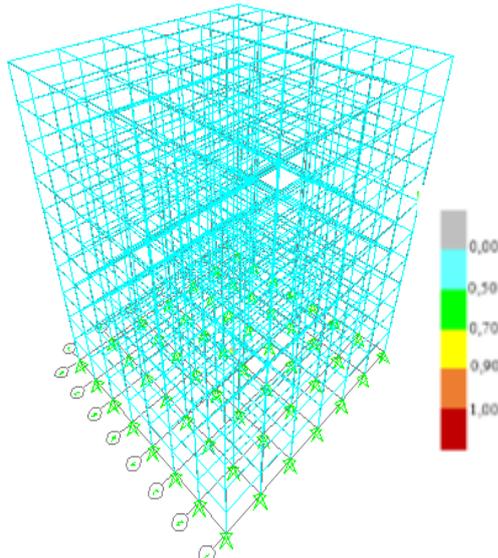
Kemudian prediksi dengan JST juga menggunakan *Mean Square Error (MSE)*. *MSE* merupakan besarnya tingkat kesalahan hasil prediksi, dimana semakin kecil (mendekati 0) nilai *MSE* maka hasil prediksi akan semakin akurat. Nilai *MSE*

dapat dihitung dengan persamaan $MSE = 0,5(T_i - Y_i)^2$, dimana T_i = Nilai target, dan Y_i = Hasil prediksi JST.

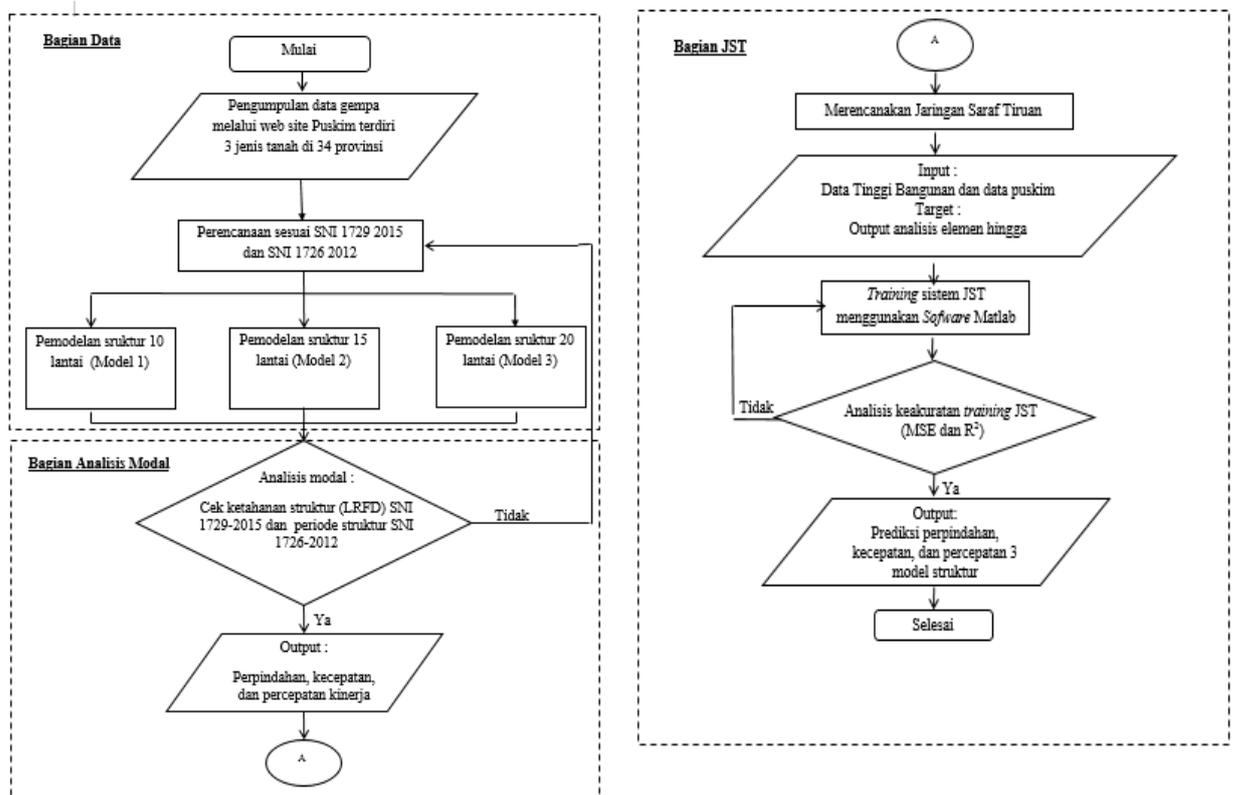
Metodelogi Penelitian

Pada penelitian ini terdapat model bangunan dengan tinggi antar lantai 3,5 m. Struktur gedung ini difungsikan sebagai gedung perkantoran dengan material baja. Pembebanan yang digynakan merujuk pada PPIUG (1983). Penggunaan profil H 350.350.12.19 untuk struktur balok dan H 400.400.13.21 untuk struktur kolom. Secara keseluruhan proses pengerjaan penelitian Tugas Akhir ini dapat dilihat pada Gambar 3.

Pemodelan portal baja bertingkat menggunakan bantuan elemen hingga. Pada Gamabar 2 model portal baja memiliki tinggi 35 m yang telah dilakukan pengecekan kekuatan struktur dengan bantuan elemen hingga.



Gambar 2 Model Portal Baja Bertingkat



Gambar 3 Bagan Alir Penelitian

Analisis Pembahasan

A.1 Analisis Repons Spektrum Ragam Struktur (*Modal Analysis*)

Analisis ragam harus dilakukan terlebih dahulu untuk memperoleh periode getar struktur Hasil analisis respons spektrum ragam struktur untuk arah yaitu

99,50%. Hasil partisipasi model bangunan menggunakan *Ritz-vectors* hingga ragam ke-12, berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 7.9.1 analisis respons ragam sudah terpenuhi.

Kemudian analisis dilakukan dengan pemeriksaan periode getaran bebas struktur (T) yang merupakan produk dari massa

struktur dan kekakuan struktur. Nilai periode model yang dihasilkan dari struktur portal baja 10 lantai yaitu 1,0560 detik. Berikut pengecekan periode getar bebas struktur:

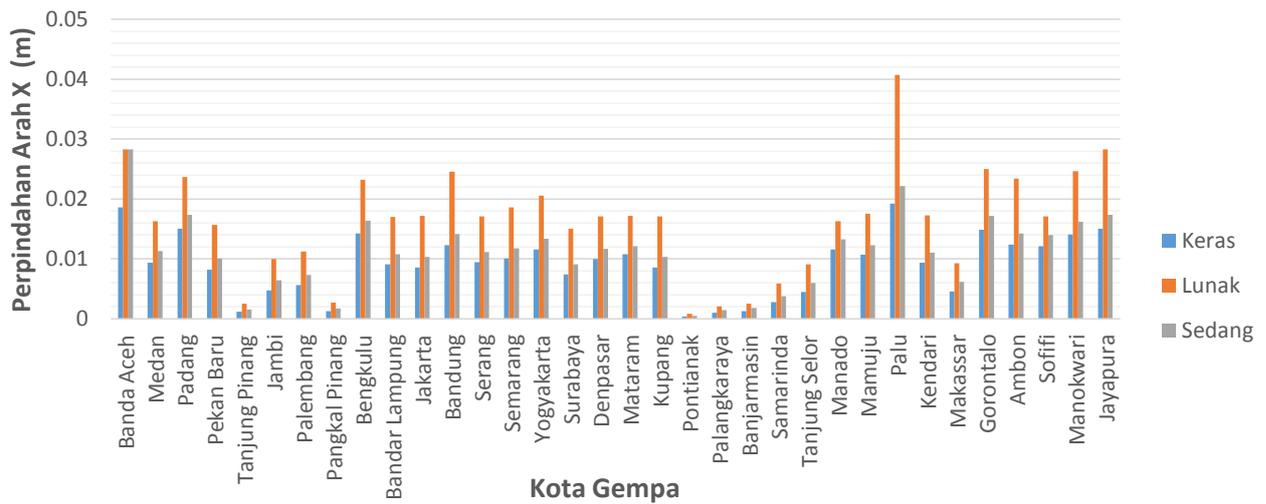
$$T_a = C_t h_n^x = 0,0724(35)^{0,8} = 1,24 \text{ detik}$$

$$C_u T_a = 1,4(1,24) = 1,736 \text{ detik}$$

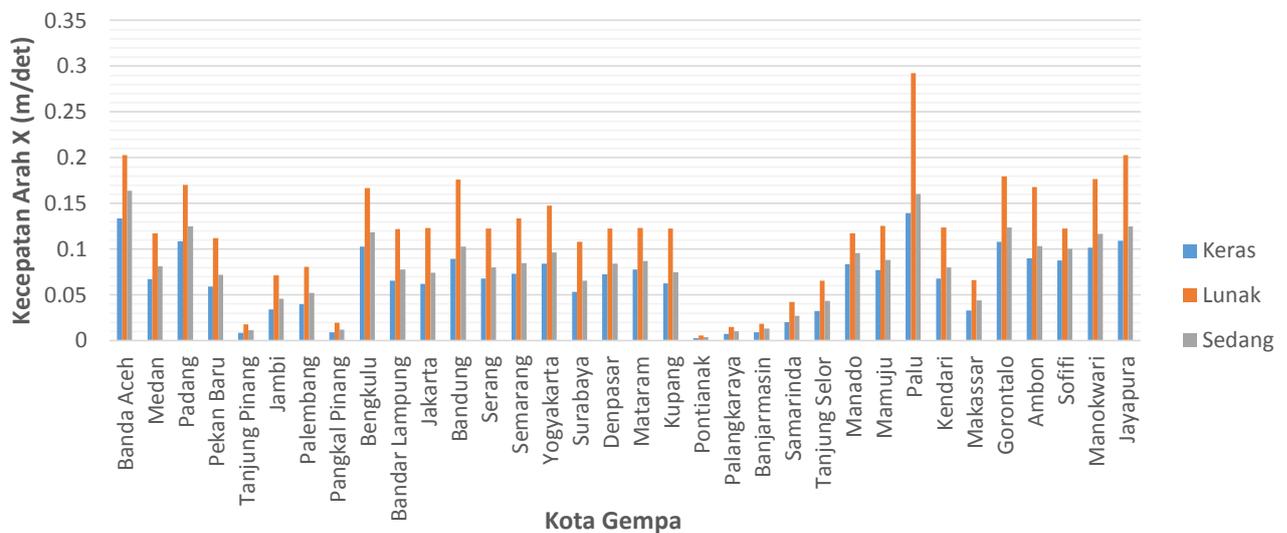
Periode fundamental struktur adalah 1,0560 detik, nilai tersebut lebih kecil dari $C_u T_a = 1,736$ detik, sehingga sudah memenuhi SNI 1726-2012 Pasal 7.9.4.1

A.2 Analisis Spektrum Respons Ragam Struktur

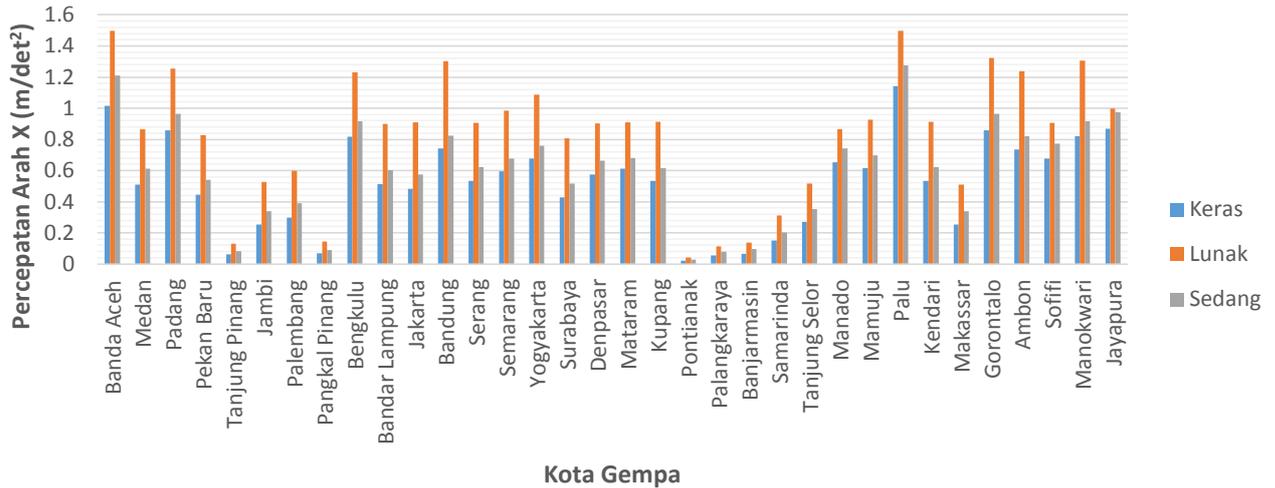
Hasil analisis spektrum respons model bangunan yang digunakan menunjukkan tanah lunak mempunyai nilai yang terbesar baik pada perpindahan, kecepatan, dan percepatan di kota Palu. Pemeriksaan nilai-nilai tersebut pada struktur bagaian atas hal ini dikarenakan struktur bagian atas memiliki nilai maksimum. Berikut hasil perbedaan perpindahan, kecepatan, dan percepatan dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Perbandingan Perpindahan 3 Jenis Tanah



Gambar 5 Perbandingan Kecepatan 3 Jenis Tanah



Gambar 6 Perbandingan Percepatan 3 Jenis Tanah

Prediksi Respons Struktur Metode JST

Berikut parameter yang digunakan dalam data input :

1. Tinggi struktur
2. Peak ground acceleration (PGA)
3. Percepatan spektral desain untuk periode pendek (S_{DS})
4. Percepatan spektral desain untuk periode 1 detik (S_{D1})
5. Percepatan gempa untuk periode pendek (S_s)
6. Percepatan gempa untuk periode 1 detik (S_I)

7. Periode percepatan puncak awal (T_0)
8. Periode percepatan puncak akhir (T_s)

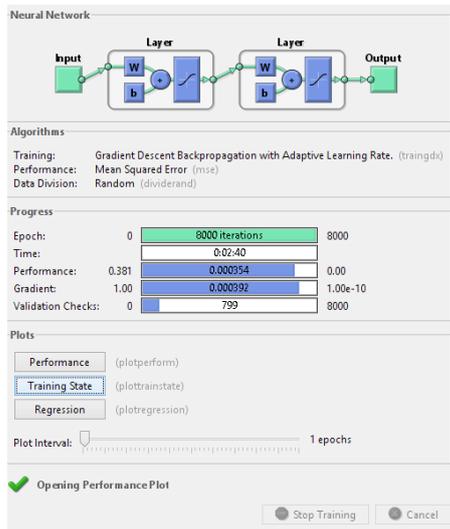
Parameter output yang ditinjau dalam penelitian ini adalah perpindahan, kecepatan, dan percepatan pada titik tinjau.

Pada Tabel 1 menunjukkan set data untuk proses training, testing, dan validation JST yang terdiri dari data parameter percepatan tanah dan nilai perpindahan, kecepatan, dan percepatan dari model struktur.

Tabel 1 Set Data Proses Training Dan Testing

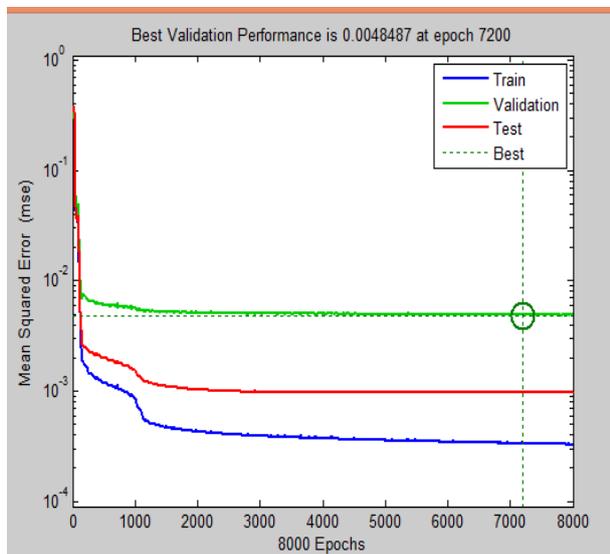
No	LOKASI	JENIS TANAH	Tinggi			INPUT										Target Model 1					
			Model 1	Model 2	Model 3	PGA (g)	SS (g)	S1 (g)	SDS (g)	SD1 (g)	T0 (detik)	TS (detik)	Perpindahan		Kecepatan		Percepatan				
												X (m)	Y (m)	X (m/det)	Y (m/det)	X (m/det ²)	Y (m/det ²)				
1	Banda Aceh	Keras	35	52,5	70	0,621	1,349	0,642	0,900	0,556	0,124	0,619	0,01858	0,00672	0,13350	0,07190	1,01606	0,25658			
		Lunak	35	52,5	70	0,621	1,349	0,642	0,810	1,027	0,254	1,269	0,02827	0,01206	0,20260	0,05830	1,49794	0,35610			
		Sedang	35	52,5	70	0,621	1,349	0,642	0,900	0,642	0,143	0,714	0,0229	0,00977	0,16410	0,04030	1,21129	0,25658			
2	Medan	Keras	35	52,5	70	0,231	0,526	0,332	0,417	0,325	0,156	0,780	0,00940	0,00456	0,06750	0,02160	0,50816	0,22070			
		Lunak	35	52,5	70	0,231	0,526	0,332	0,578	0,592	0,205	1,024	0,01634	0,00660	0,11710	0,03940	0,86477	0,24165			
		Sedang	35	52,5	70	0,231	0,526	0,332	0,483	0,385	0,159	0,796	0,01136	0,00402	0,08150	0,02410	0,61160	0,15152			
3	Padang	Keras	35	52,5	70	0,515	1,398	0,600	0,932	0,520	0,112	0,558	0,01505	0,00543	0,10860	0,03270	0,85661	0,21667			
		Lunak	35	52,5	70	0,515	1,398	0,600	0,839	0,960	0,229	1,144	0,02372	0,00756	0,17000	0,04260	1,25493	0,27450			
		Sedang	35	52,5	70	0,515	1,398	0,600	0,932	0,600	0,129	0,644	0,01737	0,00627	0,12510	0,03770	0,96406	0,24347			
4	Pekan Baru	Keras	35	52,5	70	0,214	0,435	0,273	0,348	0,278	0,160	0,799	0,00824	0,00291	0,05920	0,01740	0,44338	0,10944			
		Lunak	35	52,5	70	0,214	0,435	0,273	0,553	0,529	0,191	0,957	0,01563	0,00554	0,11200	0,03310	0,82754	0,20459			
		Sedang	35	52,5	70	0,214	0,435	0,273	0,421	0,337	0,160	0,802	0,01006	0,00353	0,07220	0,02110	0,54058	0,13276			
5	Tanjung Pinang	Keras	35	52,5	70	0,023	0,053	0,078	0,042	0,088	0,418	2,092	0,00119	0,00051	0,00300	0,00300	0,06204	0,01835			
		Lunak	35	52,5	70	0,023	0,053	0,078	0,088	0,182	0,414	2,068	0,00158	0,00068	0,01130	0,00400	0,08259	0,02443			
		Sedang	35	52,5	70	0,023	0,053	0,078	0,056	0,125	0,443	2,215	0,00249	0,00106	0,01780	0,00630	0,13001	0,03846			
31	Ambon	Keras	35	52,5	70	0,531	1,380	0,490	0,920	0,428	0,093	0,465	0,01237	0,00447	0,08970	0,02710	0,73434	0,18658			
		Lunak	35	52,5	70	0,531	1,380	0,490	0,828	0,784	0,189	0,947	0,02341	0,00818	0,16770	0,04890	1,23910	0,30266			
		Sedang	35	52,5	70	0,531	1,380	0,490	0,920	0,493	0,107	0,536	0,01428	0,00516	0,10320	0,03110	0,81946	0,20747			
32	Sofifi	Keras	35	52,5	70	0,441	1,010	0,476	0,674	0,420	0,125	0,624	0,01216	0,00153	0,08760	0,03720	0,67840	0,93900			
		Lunak	35	52,5	70	0,441	1,010	0,476	0,606	0,762	0,251	1,256	0,01713	0,00606	0,12280	0,03860	0,90624	0,27320			
		Sedang	35	52,5	70	0,441	1,010	0,476	0,738	0,484	0,131	0,655	0,01398	0,00505	0,10060	0,03030	0,77368	0,19552			
33	Manokwari	Keras	35	52,5	70	0,569	1,454	0,561	0,969	0,486	0,100	0,502	0,01409	0,00509	0,10190	0,03070	0,82028	0,20806			
		Lunak	35	52,5	70	0,569	1,454	0,561	0,872	0,898	0,206	1,029	0,02465	0,00630	0,17660	0,03690	1,30463	0,27480			
		Sedang	35	52,5	70	0,569	1,454	0,561	0,969	0,561	0,116	0,579	0,01620	0,00587	0,11680	0,03530	0,91592	0,23224			
34	Jayapura	Keras	35	52,5	70	0,600	1,500	0,600	0,900	0,520	0,104	0,520	0,01506	0,00544	0,10890	0,03280	0,86979	0,22036			
		Lunak	35	52,5	70	0,600	1,500	0,600	0,900	0,960	0,213	1,067	0,02827	0,01206	0,20260	0,07190	1,49600	0,43977			
		Sedang	35	52,5	70	0,600	1,500	0,600	0,900	0,600	0,120	0,600	0,01736	0,00627	0,12510	0,03770	0,97470	0,24659			

Kemudian proses JST yang dilakukan menghasilkan sebanyak 7200 *epoch epoch*, hasil ini merupakan pengulangan JST berkali-kali agar mendapatkan hasil yang terbaik. Proses JST ini merupakan proses dengan angka acak untuk pemahaman dapat dilihat pada Gambar 7 berikut.

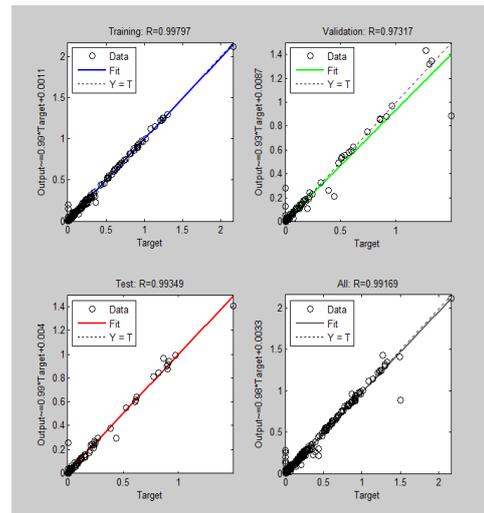


Gambar 7 Proses JST

Proses JST ini menggunakan fungsi Tan-Sigmoid dengan jumlah *hidden layer* 25 neuron, Nilai R yang mendekati 1 menunjukkan prediksi mendekati yang sebenarnya.



Gambar 8 Banyak *epoch* pada JST



Gambar 9 Nilai *MSE* Proses *Training*

Pada Gambar 8 dapat dilihat proses JST setelah dilakukan sebanyak 8000 kali iterasi dan nilai *MSE* akhir yang diperoleh untuk proses *training* adalah sebesar 0,00485. Berdasarkan hasil diatas JST yang telah dilatih sudah mampu memprediksi perpindahan, kecepatan, dan percepatan dengan sangat baik, hal ini ditunjukkan dengan cukup dekatnya antara distribusi titik-titik target dan prediksi ke garis diagonal *R* yaitu 0,9916 dapat dilihat pada Gambar 9.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian tugas akhir ini, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Periode yang dihasilkan bangunan tinggi lebih tinggi dibandingkan bangunan yang lebih rendah. Sehingga perpindahan yang dihasilkan akan berbanding lurus dengan tinggi bangunan.
2. Dari ketiga jenis tanah yang digunakan, jenis tanah lunak mengalami nilai perpindahan, kecepatan, dan percepatan lebih besar.

3. JST yang sudah di-*training* mampu memprediksi perpindahan, kecepatan, dan percepatan dengan baik, yaitu dengan akurasi (R^2) rata-rata 0,999. Hasil tersebut membuktikan bahwa Jaringan Saraf Tiruan *Babackpropagation* mampu memprediksi respon struktur portal baja bertingkat berdasarkan spektra gempa Indonesia.

Saran

1. Jumlah lapisan dan neuron pada *hidden layer* dapat divariasikan lagi untuk meningkatkan kemampuan prediksi JST.
2. Sebaiknya model yang digunakan menggunakan bangunan gedung sebenarnya.
3. Penggunaan parameter untuk data JST lebih di perbanyak sehingga akan mendekati hasil yang lebih baik
4. Model yang digunakan harus dicek keseluruhan sesuai standar mulai dari pondasi hingga ke struktur atasnya sehingga akan mendapatkan hasil sesuai sesuai perencanaan sebenarnya.

Daftar Pustaka

- Badan Standarisasi, N. (2012). *Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung* (JOUR). SNI 1726-2012. ICS 91.120. 25; 91.080 (Vol. 1).
- Bangunan, D. P. M. (1983). *Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung 1983*.
- Dewabroto, W. (2005). Evaluasi Kinerja Struktur Baja Tahan Gempa dengan Analisa Pushover, 1–28.
- Jingga, H., Suryanita, R., & Yuniarto, E. (2015). Respons Struktur Bangunan Berdasarkan Spektra Gempa Indonesia Untuk Ibukota Provinsi Di Pulau Sumatera. In *Annual Civil Engineering Seminar 2015* (pp. 978–979).
- Priyono, A., Budi, A. S., & Suprardi. (2014). Evaluasi Kinerja Struktur Gedung 10 Lantai Dengan Analisis Respons Spektrumditinjau Padadrift Dan Displacementmenggunakan. *E-Jurnal Matriks Teknik Sipil*, 534(2009), 1–8.
- Purnijanto, B. (2007). *Evaluasi Penggunaan Model Bangunan Geser Pada Analisis Dinamik Tiga Dimensi*.
- Purnomo, E., Purwanto, E., & Supriyadi, A. (2014). Analisis Kinerja Struktur Pada Gedung Bertingkat Dengan Analisis Dinamik Respon Spektrum Menggunakan Software Etabs (Studi Kasus : Bangunan Hotel Di Semarang). *E-Jurnal Matriks Teknik Sipil*, 569–576.
- Wijaya, A., Suryanita, R., & Djauhari, Z. (2016). Prediksi Respons Struktur Jembatan Beton Prategang Berdasarkan Spektrum Gempa Indonesia Dengan Metode Jaringan Saraf Tiruan. *JOM FTEKNIK*, 3(1), 1–15.