

PREDIKSI TINGKAT KERUSAKAN PORTAL BAJA BERTINGKAT BERDASARKAN RIWAYAT WAKTU GEMPA PULAU SUMATERA DENGAN METODE *BACKPROPAGATION NEURAL NETWORK* (BPNN)

Vindi Trisatria¹⁾, Reni Suryanita²⁾, Ismeddiyanto²⁾

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 Pekanbaru, Kode 28293

Email : vindi.trisatria@student.unri.ac.id

Abstract

Indonesia one of the countries that prone to earthquakes which is tectonic and volcanic. Earthquake can damage a building, therefore the planning of earthquake resistant building is a requirement for an earthquake prone areas like in Indonesia and that planning must notice to the response of structure. One of the solution to predict the structural response and the damage level of multilevel steel portals is using the Artificial Neural Network (ANN). The structure model that author review is a multilevel steel portals which consisting of 3 models (5 levels, 10 levels and 15 levels). The structure is modeling with the finite element software and receives earthquake loads based on the time history of the Cape Mendocino earthquake that will be scaled on 10 capital of the provinces in Sumatera island. Artificial Neural Network (ANN) with backpropagation method is designed by using MATLAB program which is the input of this ANN is displacement, velocity and acceleration of three models that have been designed. The output that will be generated is damage level of the steel portal in the category of Safe, Immidiate Occupancy (IO), Life Safety (LS) or in conditions of Collapse Prevention (CP). Artificial neural network is trained by 8 earthquake data that owned by the capital of the provinces, and 2 remaining data from Padang City and Pekanbaru City that use for simulation process. Based on the research, the model of artificial neural network has the potential accuracy to predict the damage level of structural between 90% -99%. From the result of simulation by ANN with 702 data from capital provinces of Padang and Pekanbaru City, 98,5% data could be predicted correctly by ANN. These results have shown that ANN is able to predict the damage level of multilevel steel portals in all of capital provinces in Sumatera Island.

Keywords: multilevel steel portals, 3 structural model, structure response, time history, damage level, Artificial Neural Network.

A. PENDAHULUAN

Gempa bumi adalah peristiwa bergetarnya lapisan bumi akibat pelepasan energi di dalam bumi secara tiba-tiba yang ditandai dengan patahnya lapisan batuan pada kerak bumi atau yang lebih dikenal dengan lempeng tektonik. Beberapa negara di dunia sering mengalami gempa bumi yang memiliki skala besar, salah satu nya yaitu Indonesia.

Indonesia juga merupakan salah satu negara yang terletak di cincin api “*Ring of Fire*” dunia. Seluruh daerah pesisir Indonesia dilewati Cincin Api Pasifik (*Pacific Ring Of Fire*), dimana daerah-

daerah yang dilewatinya adalah daerah rawan gempa bumi.

Karakteristik gempa Indonesia yang kuat seperti yang terjadi di Aceh pada 26 Desember 2004 berkekuatan 9,3 SR dan di Kota Padang pada 30 September 2009 dengan kekuatan 7,9 SR sangat membahayakan struktur bangunan yang berdiri di atasnya, khususnya bangunan tinggi (bertingkat banyak). Dimana akhir -akhir ini telah terjadi lagi gempa di Pidie Jaya, Provinsi Nanggroe Aceh Darussalam pada tanggal 7 Desember 2016 berkekuatan 6,4 SR dan juga terjadi di

Rokan Hulu Provinsi Riau pada tanggal 13 Januari 2017 lalu berkekuatan 5,3 SR.

Pembangunan di Indonesia pada saat ini sangat berkembang pesat yang ditunjukkan dengan pembangunan gedung-gedung bertingkat tinggi sebagai tempat aktifitas masyarakat. Semakin tinggi gedung maka cenderung memiliki kekakuan yang lebih rendah sehingga mengalami deformasi yang besar jika dikenakan beban gempa yang kuat. Deformasi yang berlebihan inilah dapat merusak komponen struktural, yaitu terjadinya retak yang berlebihan hingga mencapai keruntuhan yang mendadak, beberapa keruntuhan gedung. Maka dari itu perencanaan sebuah struktur harus sesuai dengan peraturan yang ada, dan di rencanakan dengan baik, agar meminimalkan terjadinya kesalahan.

Dalam Standar Nasional Indonesia (SNI 1726-2012) tentang Tata Cara Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung, pembangunan suatu konstruksi bangunan dapat di rancang dengan baik dan memperhitungkan gempa yang terjadi, saat ini sebagian besar bangunan tahan gempa direncanakan dengan prosedur yang ditulis dalam peraturan perencanaan bangunan (*building codes*).

Dalam penelitian ini, bangunan akan dimodelkan ke dalam program analisis struktur untuk menganalisis perilaku struktur akibat beban gempa. Digunakan analisis riwayat waktu gempa sebagai alternatif perhitungan pembebanan gempa. Analisis riwayat waktu ini merupakan metode analisis struktur yang meninjau respons struktur dari waktu ke waktu terhadap getaran gempa. Model struktur diberikan suatu catatan rekam gempa yang ada dan respons struktur di hitung langkah demi langkah pada interval waktu tertentu. (Andriyanto & Budi, 2014).

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka penelitian kali ini bertujuan untuk:

1. Bagaimana tingkat kerusakan portal baja bertingkat dengan variasi ketinggian berdasarkan analisis

riwayat waktu gempa di wilayah Pulau Sumatera?

2. Bagaimana tingkat kerusakan/damage level yang ada?
3. Bagaimana tingkat keakuratan hasil jaringan saraf tiruan?

B. TINJAUAN PUSTAKA

B.1 Gempa Bumi

Gempa bumi adalah getaran atau guncangan yang terjadi di permukaan bumi akibat pelepasan energi dari dalam secara tiba-tiba yang menciptakan gelombang seismik. Gempa bumi sering terjadi di daerah yang berada dekat dengan gunung berapi dan juga di daerah yang dikelilingi lautan luas.

Ketika gelombang ini mencapai permukaan bumi, getarannya bisa merusak atau tidak tergantung pada kekuatan sumber dan jarak fokus, disamping itu juga mutu bangunan dan mutu tanah dimana bangunan berdiri. Gempa bumi biasa disebabkan oleh pergerakan kerak bumi (lempeng bumi).

Pengukuran besar kekuatan gempa bumi biasanya menggunakan 3 skala, yaitu:

1. Berdasarkan energi yang dilepaskan di pusat gempa.

Magnitude menunjukkan besaran atau jumlah energi yang dilepaskan pada suatu hipocentrum yang dapat diukur dengan *seismograf*. *Magnitude* pertama kali dikemukakan oleh Charles Richter tahun 1935, maka dari itu hingga kini dikenal sebagai Skala Richter.

2. Berdasarkan tingkat kerusakan yang diakibatkan oleh gempa.

Salah satu skala intensitas yang dikenal adalah MMI (*Modified Mercalli Intensity*) digunakan sejak tahun 1956.

3. Berdasarkan Percepatan batuan dasar maksimum / Peak Ground Acceleration (PGA).

Dalam mendesain suatu struktur, data gempa yang diperlukan adalah berupa data PGA ini.

B.2 Analisis Periode Getaran Bebas Struktur

Persyaratan jumlah ragam telah diatur pada Pasal 7.9.1 SNI 1726-2012, dimana jumlah ragam harus cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar paling sedikit 90% dari massa aktual dalam masing-masing.

Berdasarkan SNI 1726-2012 Pasal 7.9.4.1, mengatur mengenai periode fundamental getaran bebas struktur (T) tidak boleh dari $C_u T_a$. Untuk nilai T_a dihitung menggunakan Persamaan 1 sedangkan nilai C_u ditentukan berdasarkan Tabel 2.

$$T_a = C_t h_n^x$$

dimana:

C_t dan x adalah Koefisien yang ditentukan berdasarkan Tabel 1, sedangkan h_n adalah Tinggi keseluruhan struktur dalam satuan meter.

Tabel 1. 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: SNI 1726-2012

Tabel 2. Koefisien C_u

Parameter Percepatan Respons Spektral Desain pada Periode 1 Detik, S_{D1}	C_u
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

Sumber: SNI 1726-2012

B.3 Analisis Riwayat Waktu

Analisis Respons Riwayat Waktu adalah suatu cara analisis dinamik struktur, yang suatu model matematik dari struktur dikenakan riwayat waktu dari gempa-gempa hasil pencatatan atau gempa-gempa tiruan terhadap riwayat waktu dari respons struktur ditentukan.

Menurut SNI 1726-2012, data percepatan permukaan tanah (PGA) berupa akselerogram, yaitu grafik perbandingan percepatan permukaan tanah (PGA) terhadap waktu atau durasi saat terjadinya gempa. Data akselerogram ini akan menjadi parameter gempa masukan untuk suatu perancangan atau analisis struktur. Rumpus dari PGAM dapat dilihat pada Persamaan 2 berikut ini :

$$PGAM = F_{PGA} PGA \quad (2)$$

Keterangan :

PGAM = Percepatan tanah puncak yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs

PGA = Percepatan tanah puncak terpetakan

FPGA = Koefisien situs dari Tabel 3.

Tabel 3. Koefisien Situs, F_{PGA}

Kelas situs	PG	PG	PG	PG	PG
	$A \leq 0,1$	$A = 0,2$	$A = 0,3$	$A = 0,4$	$A \geq 0,5$
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
SF	<i>Lihat 6.9</i>				

Sumber: SNI 1726-2012

SNI-1726-2012 pada Pasal 11.1.4, mengenai parameter respon menetapkan setiap gerak tanah dalam analisis harus dikalikan dengan I/R, sesuai konsep desain kapasitas untuk gempa rencana.

Tabel 4. Faktor Keutamaan Gempa (I)

Kategori resiko	Faktor keutamaan gempa (I)
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,5

Sumber: SNI 1726-2012

Tabel 5. Koefisien Modifikasi Respon (R)

Sistem penahan-gaya seismik	Koefisien modifikasi respon (R)
Rangka baja pemikul momen khusus	8
Rangka batang baja pemikul momen khusus	7
Rangka baja pemikul momen menengah	4,5
Rangka baja pemikul momen biasa	3,5

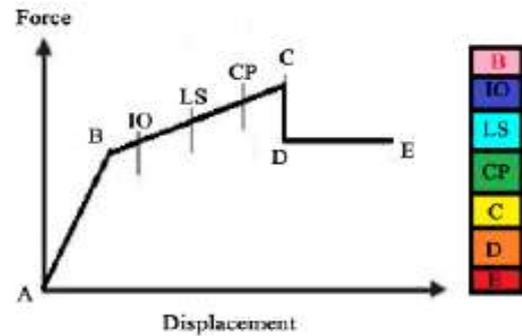
Sumber: SNI 1726-2012

B.4 Tingkat Kinerja Struktur

Berdasarkan FEMA 356, tingkat kinerja struktur bangunan harus berada pada enam tingkat kinerja struktur, yaitu:

1. *Immediate Occupancy* (IO) (S-1), yaitu tidak ada kerusakan yang berarti pada struktur yang kekuatan dan kekakuannya hampir sama dengan kondisi sebelum gempa.
2. *Damage Control* (S-2), pada keadaan ini struktur berada pada level keselamatan pada struktur.
3. *Life Safety* (LS) (S-3), pada keadaan ini terjadi kerusakan komponen struktur, kekakuan berkurang tetapi belum mengalami keruntuhan. Struktur yang berada pada keadaan ini masih dapat dipakai bila telah dilakukan perbaikan.
4. *Limited Safety* (S-4), keadaan ini didefinisikan struktur berada diantara keselamatan penghuni (S-3) struktur dengan pencegahan keruntuhan (S-5). Dalam keadaan ini sudah terjadi banyak kerusakan struktur, karena itu sudah tidak aman lagi untuk dihuni sebab kekuatan struktur sudah terbatas.

5. *Collapse Prevention* (CP) (S-5), Didefinisikan sebagai keadaan kerusakan pasca mengalami keruntuhan. Kerusakan terjadi pada komponen struktur maupun nonstruktur.
6. *Structural Performance not Considered* (S-6), bangunan yang mengalami kerusakan pada bagian non strukturalnya diklasifikasikan pada tingkat kinerja ini.



Gambar 1. Tahapan Keruntuhan Sendi Plastis

Tabel 6. Tingkat Kerusakan Struktur Berdasarkan Terbentuknya Sendi Plastis Pada Software Elemen Hingga

Keterangan	Penjelasan
A	Awal Pembebanan belum ada sendi plastis
B	Menunjukkan batas linier yang kemudian diikuti terjadinya pelelehan pertama pada struktur, warna merah muda
IO	<i>Immediate Occupancy</i> , warna biru tua
LS	<i>Life Safety</i> , warna biru muda
CP	<i>Collapse Prevention</i> , warna hijau
C	Batas maksimum gaya geser yang masih mampu ditahan gedung, warna kuning
D	Terjadinya degradasi kekuatan struktur, warna jingga
E	Runtuh, warna merah

B.5 Jaringan Saraf Tiruan

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. Pengetahuan mengenai sel saraf biologi didalam otak telah mengilhami pengembangan sistem komputasi yang disebut Jaringan Saraf Tiruan (JST). Arsitektur dan operasi JST bisa digambarkan dalam bentuk model matematis dan komputasi untuk klasifikasi data, *cluster* dan regresi *non-parametrik* atau sebagai simulasi dari model saraf biologi.

Pelatihan JST dilakukan untuk mengembangkan kemampuan memorisasi dan generalisasi. Kemampuan memorisasi JST adalah kemampuan untuk mengingat dan mengambil secara sempurna pola yang telah dipelajari. Yang dimaksud dengan kemampuan generalisasi adalah kemampuan JST untuk memberikan respons yang dapat diterima dari data dan pola-pola input yang serupa (tapi tidak identik) terhadap pola yang sebelumnya sudah dipelajari.

Kemampuan JST ini memungkinkan untuk mendapatkan informasi dari sekumpulan data yang rumit dan menyelesaikan permasalahan yang tidak terstruktur dan sulit didefinisikan.

C. METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian ini terdapat tiga model bangunan dengan tinggi yang berbeda-beda. Struktur bangunan ini difungsikan sebagai gedung perkantoran dengan material baja.

C.1 Data Material Struktur

Pembuatan pemodelan portal baja bertingkat mengaju pada persyaratan sesuai SNI 1729-2015 spesifikasi untuk bangunan gedung baja struktural, untuk dimensi balok kolom yang digunakan dapat dilihat pada tabel 7 dibawah ini.

Dimensi elemen struktur yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. Modulus Elastisitas (E_s) 200.000 MPa
2. Modulus Geser (G) 80.000 MPa
3. Angka Poisson (ν) 0,3
4. Berat Jenis Baja (γ_{steel}) 7.850 kg/m³
5. Tegangan Leleh (f_y) 240 Mpa

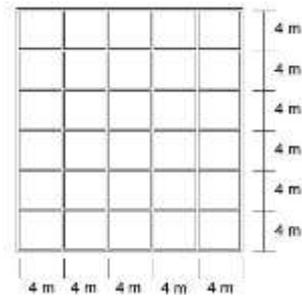
Tabel 7. Dimensi Balok dan Kolom Struktur Portal Baja

Pemodelan	Profil		Total Tinggi Gedung (m)
	Balok	Kolom	
Model 1 (5 Lantai)	WF 300.150. 6,5.9	H 350.350.1 2.19	18
	WF 300.150. 6,5.9	H 400.400.1 3.21 (LT	
Model 2 (10 Lantai)	(LT 1-5) WF 250.125. 6.9 (LT 6-10)	1-5) H 350.350.1 2.19 (LT 6-10)	35,5
	WF 300.150. 6,5.9	H 400.400.1 3.21 (LT	
Model 3 (15 Lantai)	(LT 1-10) WF 250.125. 6.9 (LT 11-15)	1-10) H 350.350.1 2.19 (LT 11-15)	53
	WF 300.150. 6,5.9	H 400.400.1 3.21 (LT	

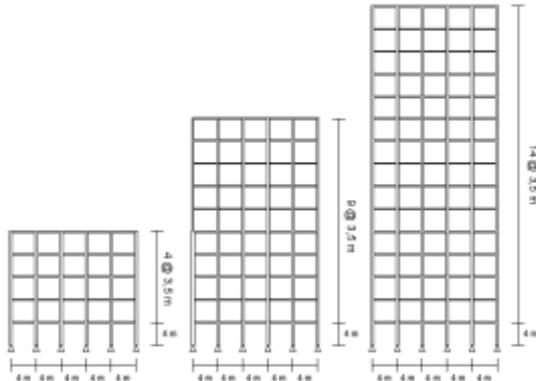
C.2 Data Geometri Struktur

Struktur bangunan yang ditinjau adalah Portal Baja yang memiliki denah lantai sama mulai dari lantai dasar (*base*) hingga lantai atap (*rooftop*), seperti terlihat pada Gambar 3.

Ketinggian antar lantai 4 m untuk lantai dasar dan 3,5 m untuk lantai selanjutnya. Bentuk bangunan beraturan dengan bentang arah X dan Y tidak simetris.



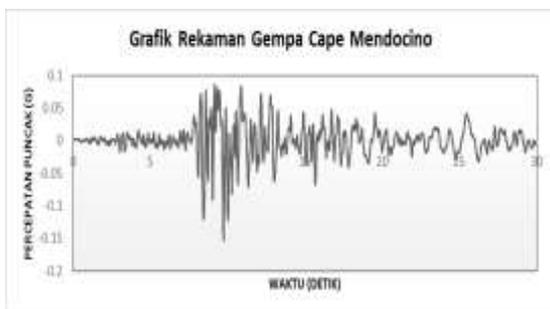
Gambar 3. Denah Lantai Pemodelan Struktur



Gambar 4. Bentuk Struktur

C.3 Data Beban

Beban gempa yang digunakan adalah berupa catatan respon riwayat waktu (*time history*) Gempa Cape Mendocino ($PGA = 0,154g$). Penyesuaian skala yang digunakan ditentukan berdasarkan standar perencanaan ketahanan gempa Indonesia SNI 1726-2012 dengan kondisi tanah sedang. Data Gempa Cape Mendocino dapat dilihat pada Gambar 5. Gempa Cape Mendocino ini akan diskalakan di semua ibukota provinsi yang ada di Pulau Sumatera.

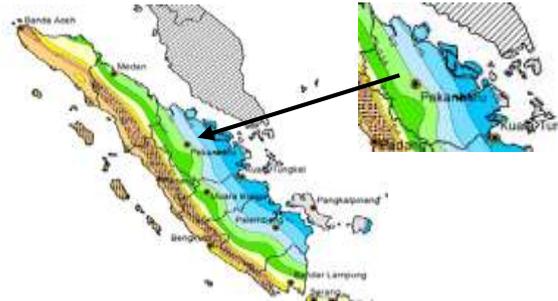


Gambar 5. Gempa Cape Mendocino

Gempa Cape Mendocino ini akan diskalakan di semua ibukota provinsi yang ada di Pulau Sumatera. Dalam perumusan

kriteria desain seismik pada struktur yang berada di permukaan tanah terlebih dahulu ditentukan besaran percepatan gempa puncak dari dasar batuan ke permukaan tanah untuk suatu situs, sehingga situs tersebut harus diklasifikasikan terlebih dahulu.

Sebagai contoh berdasarkan SNI 1726-2012 percepatan tanah puncak di kota Pekanbaru didapatkan sesuai persamaan berikut:



Gambar 6. Percepatan Tanah Puncak Pekanbaru

Sumber: (SNI 1726-2012)

Berdasarkan SNI 1726-2012 nilai PGA Pekanbaru yang berada pada 0,2-0,25 g maka diambil 0,214 g dan nilai F_{PGA} diperoleh dari Tabel 3. Untuk kelas situs SD dan nilai PGA 0,214g maka didapatkan nilai F_{PGA} sebesar 1,371. Sehingga selanjutnya dapat dihitung skala gempa Cape Mendocino untuk kemudian di *input* dalam program elemen hingga.

$$PGA_M = F_{PGA} \times PGA$$

$$PGA_M = 1,371 \times 0,214$$

$$PGA_M = 0,293g$$

Gempa Cape Mendocino

$$PGA_{Gempa} = 0,154g$$

$$PGA_M Pekanbaru = 0,293g$$

$$\text{Faktor Skala} = \frac{0,293}{0,154} = 1,903$$

SNI-1726-2012 pada Pasal 11.1.4, mengenai parameter respon menetapkan setiap gerak tanah dalam analisis harus dikalikan dengan I/R, sesuai konsep desain kapasitas untuk gempa rencana. Sesuai

dengan Tabel 4 dan Tabel 5, nilai faktor keutamaan gempa (I) untuk kategori gedung perkantoran dan nilai koefisien modifikasi respon (R) untuk struktur rangka baja pemikul momen khusus adalah:

$$\begin{aligned} I &= 1 \\ R &= 8 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Skala gempa rencana} &= \text{Faktor skala} \times (I/R) \\ &= 1,903 \times (1/8) \\ &= 0,238 \end{aligned}$$

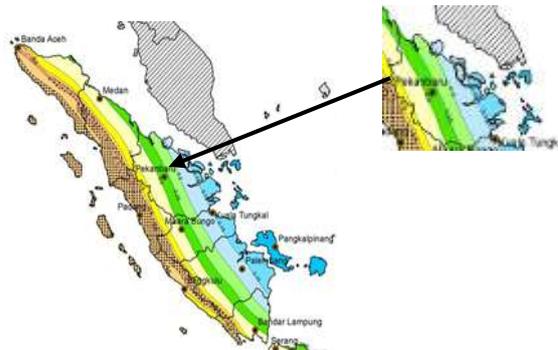
Jadi, skala gempa rencana untuk daerah pekanbaru adalah 0,238

C.4 Analisis Riwayat Waktu

Analisis riwayat waktu gempa dilakukan dengan cara memodelkan struktur gedung sesuai dengan data yang akan digunakan ke dalam *software* elemen hingga. Berikut penjelasan tahapan analisis dengan *software* elemen hingga:

1. Membuat ketiga model bangunan sesuai dengan data struktur berupa data material dan data geometri struktur. Pemodelan dari seluruh komponen struktur mulai dari balok dan kolom dilakukan satu persatu dalam *software* elemen hingga.
2. Memasukkan beban hidup yang akan digunakan sesuai dengan tabel 3.2, yaitu:
3. Melakukan analisis ragam akibat berat sendirinya.
4. Melakukan evaluasi periode alami struktur dari hasil analisis ragam dan simpangan antar lantai sesuai dengan yang ditentukan SNI 1726-2012. Langkah-langkah nya, yaitu:
 1. Menetapkan nilai C_t dan x berdasarkan Tabel 2.3. Oleh karena pemodelan struktur menggunakan sistem rangka pemikul momen khusus baja maka nilai C_t diambil 0,0724 dan x bernilai 0,8.
 2. Menentukan respon spektra pada periode 1,0 detik (S_1) berdasarkan peta gempa Indonesia. Dari

Gambar 7. diperoleh nilai S_1 sebesar 0,273 g.



Gambar 7. Nilai Respon Spektra Periode 1,0 detik (S_1) untuk Kota Pekanbaru
Sumber: (SNI 1726-2012)

3. Menentukan koefisien amplifikasi faktor (F_v). Dengan nilai sebesar 0,27g dan kondisi tanah sedang (SD), maka nilai koefisien adalah 1,850.
4. Menghitung parameter spektrum percepatan menggunakan Persamaan sebagai berikut:

$$S_{M1} = F_v S_1 = 1,850 \times 0,27g = 0,4995g$$

5. Menghitung parameter percepatan spektral desain dengan Persamaan sebagai berikut:

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} = \frac{2}{3} \times 0,4995g = 0,333g$$

6. Menentukan nilai koefisien C_u berdasarkan Tabel 2 yang dipengaruhi oleh nilai S_{D1} . Dengan nilai S_{D1} sebesar 0,333g maka koefisien adalah 1,4
7. Mengitung nilai periode fundamental pendekatan (T_a) dan batasannya ($C_u T_a$). Nilai dihitung menggunakan Persamaan 1.
$$T_a = C_t h_n^x = 0,0724 \times (18)^{0,8} = 0,731 \text{ detik}$$

$$C_u T_a = 1,4 \times 0,731 = 1,02 \text{ detik}$$

8. Periode fundamental Model 1 adalah 0,488 detik, nilai tersebut lebih kecil dari $C_u T_a = 1,02$ detik, sehingga sudah memenuhi SNI 1726-2012 Pasal 7.9.4.1 dan untuk model bangunan selanjutnya dihitung sama dengan langkah 1-7.
9. Memperbaiki model yang digunakan apabila langkah 4 tidak terpenuhi.
10. Memasukkan data riwayat waktu gempa Cape Mendocino sebagai beban gempa sesuai dengan skala di setiap kota.
11. Mendefinisikan nilai sendi plastis (hinges properties). Penelitian ini menggunakan format default yang ada pada *software* elemen hingga dikarenakan *software* tersebut diadopsi berdasarkan FEMA-356.
12. Menganalisis perilaku struktur hasil dari analisis riwayat waktu gempa berupa perpindahan, kecepatan dan percepatan.
13. Menentukan tingkat kerusakan pada struktur dari ketiga model tersebut berupa *Safe (B)*, *Immediate Occupancy (IO)*, *Life Safety (LS)* dan *Collapse Prevention (CP)*.

D. HASIL DAN PEMBAHASAN

D.1 Analisis Ragam

Analisis ragam harus dilakukan terlebih dahulu untuk memperoleh periode getar struktur. Jumlah ragam sangat dipengaruhi oleh terpenuhinya syarat partisipasi massa ragam. Menurut SNI 1726-2012 jumlah ragam yang diambil menghasilkan partisipasi massa ragam melebihi 90% massa aktual arah horizontal tegak lurus dari struktur.

Tabel 8. Partisipasi Massa Ragam Model I

Model	Partisipasi Massa Ragam (%)		Syarat SNI 1726-2012	Keterangan
	Arah X	Arah Y		
I	99,77	99,93	≥ 90	Memenuhi
II	99,51	99,85	≥ 90	Memenuhi
III	99,40	99,74	≥ 90	Memenuhi

D.2 Periode Getaran Bebas Struktur

Tabel 9. Periode Fundamental

Nomor Ragam	Periode Getaran Bebas Struktur		
	Model I	Model II	Model III
1	0,488	0,831	1,203
2	0,425	0,759	1,118
3	0,349	0,506	0,592
4	0,344	0,472	0,529
5	0,237	0,303	0,455
6	0,219	0,266	0,411
7	0,139	0,259	0,336
8	0,131	0,259	0,309
9	0,106	0,155	0,235
10	0,105	0,133	0,209
11	0,059	0,086	0,130
12	0,046	0,077	0,112

Tabel 10. Persyaratan Periode Fundamental

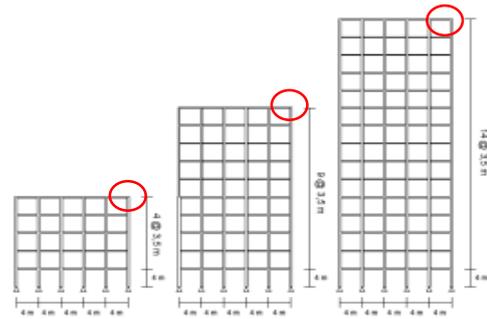
Model Bangunan	Periode Getaran Bebas Struktur Terbesar	Syarat SNI 1726-2012 $< C_u T_a$	Keterangan
Model I	0,488	$< 1,023$	Memenuhi
Model II	0,831	$< 1,762$	Memenuhi
Model III	1,203	$< 2,428$	Memenuhi

Dari Tabel 10, dapat diketahui bahwa periode getaran bebas ketiga model bangunan tersebut telah memenuhi syarat

periode berdasarkan SNI 1726-2012 Pasal 7.9.4.1.

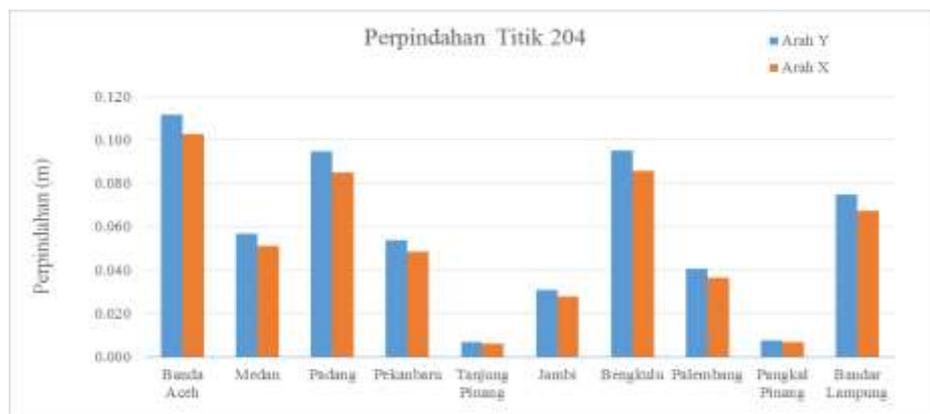
D.3 Analisis Riwayat Waktu Gempa

Analisis riwayat waktu ini menggunakan gempa Cape Mendocino yang di skalakan berdasarkan ibukota provinsi yang ada di Pulau Sumatera. Hasil dari analisis riwayat waktu ini berupa perpindahan, kecepatan dan percepatan pada titik yang ditinjau. Titik ini merupakan posisi yang nanti dipasang sensor yang merupakan alat pembaca perpindahan, kecepatan, dan percepatan sebagai *input* pada program JST yang akan dikembangkan. Dalam kasus ini, titik yang ditinjau adalah titik 204 (Model I), titik 463 (Model II) dan titik 1968 (Model III), seperti terlihat pada Gambar 8.



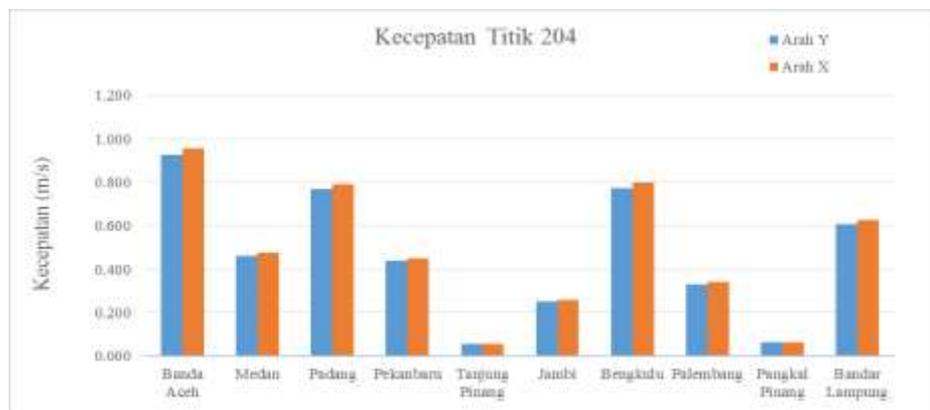
Gambar 8. Titik Tinjauan

Hasil dari analisis riwayat waktu gempa, model I (titik 204) nilai perpindahan terbesar, yaitu dari Kota Banda Aceh sebesar 0,102 m untuk arah X dan 0,112 m untuk arah Y. Nilai perpindahan terkecil yaitu dari Kota Tanjung Pinang sebesar 0,006 m untuk arah X dan 0,007 m untuk arah Y.



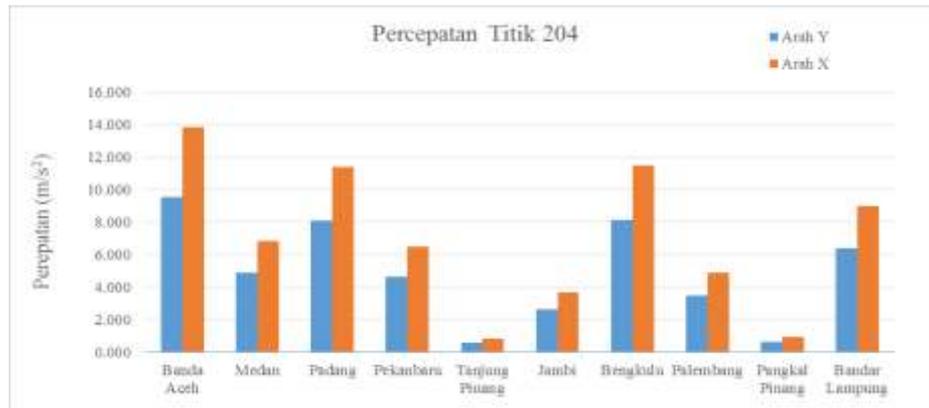
Gambar 9. Perpindahan

Model I (titik 204) nilai kecepatan terbesar, yaitu dari Kota Banda Aceh sebesar 0,957 m/det untuk arah X dan 0,926 m/det untuk arah Y. Nilai perpindahan terkecil yaitu dari Kota Tanjung Pinang sebesar 0,057 m/det untuk arah X dan 0,055 m/det untuk arah Y.



Gambar 10. Kecepatan

Model I (titik 204) nilai percepatan terbesar, yaitu dari Kota Banda Aceh sebesar 13,832 m/det² untuk arah X dan 9,555 m/det² untuk arah Y. Nilai perpindahan terkecil yaitu dari Kota Tanjung Pinang sebesar 0,820 m/det² untuk arah X dan 0,583 m/det² untuk arah Y.

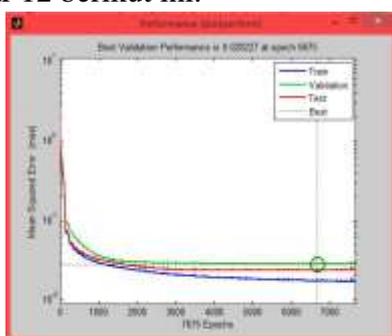


Gambar 11. Percepatan

D.4 Prediksi Hasil JST

Prediksi tingkat kerusakan struktur menggunakan metode *Backpropagation Neural Network* (BPNN) dengan parameter *input* yaitu perpindahan, kecepatan, dan percepatan arah X dan Y. Sementara parameter *output* yang akan diprediksi yaitu *Safe (B)*, *Immidiata Occupancy (IO)*, *Life Safety (LS)* dan *Collapse Prevention (CP)*.

Proses training dilakukan secara keseluruhan agar mempermudah pembelajaran yang dilakukan. Pembelajaran yang diberikan secara berulang dan bertahap dengan 21 *hidden layer*. Setelah melakukan proses JST tersebut maka diperoleh total *epoch* sebanyak 7675 *epoch* dengan menggunakan *Tan Sigmoid*. Untuk memahami hasil prediksi dapat dilihat pada Gambar 12 berikut ini.



Gambar 16. Grafik Nilai MSE Training JST

Setelah dilakukan sebanyak 7675 kali iterasi, Gambar 16 *MSE* akhir yang diperoleh untuk proses *training* adalah sebesar 0,028227. Berdasarkan hasil diatas JST yang telah dilatih sudah mampu memprediksi tingkat kerusakan struktur dengan sangat baik, hal ini ditunjukkan dengan cukup dekatnya antara distribusi titik-titik target dan prediksi ke garis diagonal *R* yaitu 0,98499.

E. KESIMPULAN

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

1. Perpindahan pada suatu struktur akan meningkat seiring bertambahnya ketinggian struktur bangunan tersebut yang diakibat gempa yang terjadi. Hal yang sama juga terjadi untuk kecepatan dan percepatan akan semakin besar seiring bertambahnya tinggi struktur bangunan.
2. Tingkat kinerja suatu struktur dari ketiga model bangunan tersebut berbeda untuk waktu deteksi kerusakannya. Dari 10 Provinsi yang ada di Pulau Sumatera ini, Kota Banda Aceh yang menunjukkan tingkat kerusakan paling besar akibat gempa yang telah diskalakan tersebut dan memiliki perpindahan yang paling besar daripada provinsi yang lainnya yaitu sebesar 0,102 m untuk arah X dan

0,112 m untuk arah Y. Nilai perpindahan terkecil yaitu dari Kota Tanjung Pinang sebesar 0,006 m untuk arah X dan 0,007 m untuk arah Y.

3. Dengan rata-rata nilai R yaitu 0,95573, maka JST yang dirancang sudah memiliki tingkat korelasi dan akurasi yang tinggi.

F. SARAN

1. Sebaiknya model yang digunakan menggunakan bangunan gedung sebenarnya.
2. Untuk penelitian selanjutnya diharapkan menggunakan data gempa asli dari masing-masing daerah agar hasilnya mendekati yang sebenarnya untuk daerah tersebut.
3. Penggunaan data *input* untuk JST seharusnya lebih divariasikan lagi agar mendapatkan hasil yang lebih akurat dan efektif.

G. DAFTAR PUSTAKA

- Andriyanto, F., & Budi, A. S. (2014). Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Bertingkat Dengan Analisis Riwayat Waktu Terhadap Drift Dan Displacement Menggunakan Software Etabs (Studi Kasus : Hotel Di Daerah Karanganyar), 2(1), 124–131.
- CRISP. (2007). Earthquake in Sumatra, Indonesia (page 2). Retrieved July 23, 2017, from https://crisp.nus.edu.sg/coverages/earthquake200709/index_2.html
- FEMA 356. (2000). *Prestandard And Commentary For The Seismic Rehabilitation Of Buildings*.
- Hindarto, P. (2012). Sistem konstruksi baja untuk bangunan tiga lantai. Retrieved from <http://www.astudioarchitect.com/2012/10/sistem-konstruksi-baja-untuk-bangunan.html>
- Jingga, H., Suryanita, R., & Yuniarto, E. (2016). Respons Struktur Bangunan Berdasarkan Spektra Gempa Indonesia Untuk Ibukota Provinsi Di Pulau Sumatera. In *Proceedings ACES (Annual Civil Engineering Seminar)* (Vol. 1, pp. 111–116).
- Mardiyono, Suryanita, R., & Adnan, A. (2012). Intelligent Monitoring System on Prediction of Building Damage Index using Neural-Network. *TELKOMNIKA Indonesian Journal of Electrical Engineering*, 10(1), 155–164.
- Nugroho, L. (2014). Mitigasi Bencana Gempa Bumi. Retrieved from <http://klikgeografi.blogspot.co.id/2015/07/mitigasi-bencana-gempa-bumi.html>
- Pawirodikromo, W. (2012). *Seismologi Teknik & Rekayasa Kegempaan* (Cetakan I). Yogyakarta: Pustaka Pelajar (Anggota IKAPI).
- PPIUG. (1983). *Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung*. Bandung: Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan.
- Rovicky. (2016). Gempa Bumi (Pengertian, Definisi, Jenis-Jenis, dan Dampak yang Ditimbulkan). Retrieved from <http://obatrindu.com/gempa-bumi-pengertian-definisi-jenis-jenis-dan-dampak-yang-ditimbulkan/>
- Samin, C. (2016). Gempa Bumi (Pengertian, Jenis, Penyebab, Akibat, dll). Retrieved from <http://artikelmateri.blogspot.co.id/2016/08/gempa-bumi-adalah-pengertian-jenis-penyebab-akibat-cara-menghadapi.html>
- Setio, H. D., Widarbo, R., & Patta, P. R. (2008). Kontrol Vibrasi Aktif Pada Struktur Yang Mengalami Beban Dinamik Dengan Menggunakan Jaringan Saraf Tiruan Dan Algoritma Genetik. *Dinamika Teknik Sipil*, 8, 137–148.
- SNI 1726-2012. (2012). Tata cara

perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung. Jakarta, Indonesia.

SNI 1729-2015. (2015). Spesifikasi untuk bangunan gedung baja struktural. Jakarta, Indonesia.

Suharjanto. (2013). *Rekayasa Gempa* (Cetakan Pe). Yogyakarta: Penerbit Kepel Press.

Suryanita, R., & Adnan, A. (2010). Application of Artificial Neural Network in Bridges Seismic Monitoring System. *3rd International Graduate Conference on Engineering, Science and Humanities (IGCESH)*, (November).

Zulfakar, M., Suryanita, R., & Yuniarto, E. (2016). Prediksi tingkat kerusakan struktur bangunan beton bertulang berdasarkan riwayat waktu gempa dengan metode jaringan saraf tiruan. *Jom FTEKNIK*, 3(2), 1–15.