

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu wilayah rentan gempa, disebabkan posisinya berada di lintasan titik gempa yang dijuluki Lingkar Api Pasifik (*Pacific Ring of Fire*). Sepanjang jalur Lingkaran Api Pasifik terkandung barisan gunung berapi aktif dan pelat tektonik yang berpindah serta bertumbukan satu sama lain. Hal ini menyebabkan daerah yang dilewati Lingkaran Api Pasifik condong mengalami perpindahan tanah atau gempa yang besar. Menurut Nugroho (2017) Lingkar Api Pasifik adalah daerah yang sering mengalami gempa bumi dan letusan gunung berapi yang mengelilingi cekungan Samudera Pasifik.

Indonesia telah banyak terjadi gempa bumi, salah satunya di Aceh dan Padang. Menurut Meltzner (2006) gempa di Aceh terjadi pada tahun 2004 dengan kekuatan 9,1 sampai dengan 9,3 skala richter. Sedangkan menurut Bothara et al. (2010) kejadian gempa terjadi di Padang pada tahun 2009 memiliki kekuatan 7,5 skala richter. Gempa ini sangat mengancam struktur yang berdiri di atasnya. Keruntuhan struktur diakibatkan oleh gempa umumnya sangat sontak dan rawan bagi prosedur evakuasi bila tidak dirancang secara cermat.

Kinerja struktur sangat dibutuhkan untuk mengetahui kondisi keruntuhan struktur saat terjadi gempa yang bersifat tiba-tiba. Perhitungan kinerja struktur memakai berbagai metode antara lain metode statis dan metode dinamis. Metode dinamis diantaranya adalah metode *time history analysis*. Metode ini

menunjukkan beban gempa yang relevan terhadap waktu sehingga diperoleh kinerja struktur terhadap beban gempa dinamis.

Cara ini membutuhkan rekaman percepatan gempa dan Analisis Respon Spektrum (*Spectrum Response Analysis*), dengan cara ini respons maksimum dari tiap ragam getar yang terjadi didapat dari Spektrum Respons Rencana (*Design Spectra*). Oleh sebab itu, rancangan desain struktur di kawasan Indonesia mesti merujuk kepada metode desain yang telah disyaratkan dalam SNI 1725-2016 dan 2833-2016.

Deteriorasi struktur jembatan selama masa layan akan menyebabkan kerusakan bahkan keruntuhan. Hal ini dapat disebabkan oleh *overloading* beban kendaraan, fatik pada elemen struktur tersebut, terjadinya gempa di luar prediksi perencanaan, dan beban angin yang besar. Pencegahan terjadinya deteriorasi diperlukan suatu metode monitoring di abutmen jembatan agar dapat dilakukan pemeliharaan secara dini. Salah satu metode monitoring untuk menilai kondisi abutmen jembatan adalah dengan menggunakan *artificial neural network*.

Penggunaan metode *artificial neural network* untuk mengetahui tingkat kerusakan struktur abutmen jembatan akibat gempa bumi. Pendeteksian efek gempa bumi terhadap struktur yang ditinjau agar kerusakan bisa diperkirakan dengan cepat. Oleh karena nya, penelitian ini menggunakan *artificial neural network* untuk memprediksi tingkat kerusakan struktur abutmen jembatan yang ditimbulkan akibat efek gempa bumi.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dapat diambil identifikasi masalah sebagai berikut:

1. Indonesia berada di lintasan titik gempa yang dijuluki Lingkar Api Pasifik (*Pacific Ring of Fire*).
2. Indonesia telah banyak terjadi gempa bumi, seperti di Banda Aceh pada tahun 2004 dan Padang pada tahun 2009.
3. Keruntuhan struktur diakibatkan oleh gempa umumnya sangat sontak dan rawan bagi prosedur evakuasi bila tidak dirancang secara cermat.
4. Kinerja struktur sangat dibutuhkan untuk mengetahui kondisi keruntuhan struktur saat terjadi gempa yang bersifat tiba-tiba.

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Objek Penelitian ini adalah abutment jembatan Aek Malau
2. Data yang dipakai dalam penelitian ini adalah data sekunder
3. Mutu beton yang digunakan adalah $f'c$ 30 Mpa dan mutu baja sebesar f_y 420 Mpa
4. Kondisi tanah dasar termasuk lunak

1.4 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dapat diambil rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana proses pelatihan jaringan saraf tiruan yang terbaik untuk memprediksi perilaku seismik bangunan sesuai dengan data *input* (displacement, *periode*, dan *force*) dan *output* (tingkat kerusakan/*damage level*) yang ada?
2. Bagaimana keakuratan prediksi yang dihasilkan jaringan saraf tiruan untuk *output* yang sudah ditentukan?

1.5 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka dapat tujuan penelitian ini adalah

1. Membuat model matematis pelatihan jaringan saraf tiruan memprediksi perilaku seismik bangunan sesuai dengan data input (*displacement*, *periode*, dan *force*) dan output (tingkat kerusakan/*damage level*) yang ada.
2. Mengetahui keakuratan hasil prediksi jaringan saraf tiruan terhadap output yang sudah ditentukan.

1.6 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini adalah untuk memprediksi tingkat kerusakan struktur abutmen berdasarkan efek gempa yang terjadi.

1.7 Sistematika Penulisan

Bab I Pendahuluan, membahas mengenai latar belakang penelitian skripsi ini, rumusan masalah yang dihadapi dalam penelitian, tujuan dilakukan penelitian,

manfaat yang didapatkan dari penelitian, batasan ruang lingkup serta lokasi dilakukan penelitian ini.

Bab II Tinjauan Pustaka, menjabarkan landasan teori yang digunakan dan literatur-literatur yang dijadikan acuan dalam penelitian ini.

Bab III Metodologi Penelitian, menjelaskan mengenai data-data yang diperlukan, cara pengambilan data di lokasi penelitian yang ditentukan serta membahas mengenai metode analisis data yang dipakai sampai menjadi sebuah kesimpulan.

Bab IV Hasil dan Pembahasan, berisikan pembahasan mengenai proses pengolahan data menggunakan SAP2000 serta menampilkan hasil pengolahan data. BAB V, KESIMPULAN DAN SARAN, berisi tentang kesimpulan yang dihasilkan dari penelitian ini beserta sasaran yang dapat diberikan bagi pemangku kepentingan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perencanaan Berbasis Kinerja (*Performance Based Design*)

1. Beban Mati Sendiri (MS)

Beban mati sendiri atau berat sendiri adalah berat bagian tersebut dan elemen-elemen struktural lain yang dipikulnya, termasuk dalam hal ini adalah berat material dan bagian jembatan yang merupakan elemen struktural ditambah dengan elemen nonstruktural yang dianggap tetap. Beban mati sendiri ini sangat dipengaruhi oleh berat volume dari tiap material yang digunakan pada struktur jembatan. Oleh karena itu, dalam perhitungan beban mati sendiri, berat elemen struktur perlu dikalikan dengan berat volume dari jenis material yang digunakan pada elemen tersebut. Faktor beban tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Faktor Beban untuk Beban Mati Sendiri

Tipe beban	Faktor Beban (γ_{MS})			
	Keadaan Batas Layan (γ_{MS}^S)		Keadaan Batas Ultimit (γ_{MS}^U)	
	Bahan		Biasa	Terkurangi
Tetap	Baja	1,00	1,10	0,90
	Aluminium	1,00	1,10	0,90
	Beton pracetak	1,00	1,20	0,85
	Beton cor di tempat	1,00	1,30	0,75
	Kayu	1,00	1,40	0,70

Sumber : SNI 1725-2016 Pembebanan untuk Jembatan

2. Beban Mati Tambahan (MA)

Berbeda dengan beban mati sendiri yang berasal dari berat elemen struktural, berat mati tambahan merupakan beban yang dihasilkan akibat berat

seluruh bahan pada elemen nonstruktural. Beban mati tambahan ini dapat berubah-ubah dari tahun ketahun tergantung pada kondisi jembatan eksisting. Contoh dari beban mati ini terjadi akibat adanya pekerjaan perkerasan pada badan jalan. Sama seperti dalam perhitungan beban mati sendiri, berat bahan pada beban mati tambahan perlu dikalikan dengan berat volume dari jenis material yang digunakan. Menurut SNI 1725-2016 terdapat faktor beban yang digunakan dalam menentukan beban mati tambahan. Faktor beban tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.2 berikut.

Tabel 2.2 Faktor Beban untuk Beban Mati Tambahan

Tipe beban	Faktor Beban (γ_{MA})			
	Keadaan Batas Layan (γ_{MA}^S)		Keadaan Batas Ultimit (γ_{MA}^U)	
	Keadaan		Biasa	Terkurangi
Tetap	Umum	1,00 ⁽¹⁾	2,00	0,70
	Khusus (terawasi)	1,00	1,40	0,80
Catatan ⁽¹⁾ : Faktor beban layan sebesar 1,3 digunakan untuk berat utilitas				

Sumber: SNI 1725-2016 Pembebanan untuk Jembatan

3. Beban Akibat Tekanan Tanah

Koefisien tekanan tanah nominal harus dihitung berdasarkan sifat-sifat tanah. Sifat-sifat tanah (kepadatan, kadar kelembaban, kohesi sudut geser dalam dan lain sebagainya) harus diperoleh berdasarkan hasil pengukuran dan pengujian tanah baik di lapangan ataupun laboratorium. Bila tidak diperoleh data yang cukup maka karakteristik tanah dapat ditentukan sesuai dengan ketentuan pada pasal ini. Tekanan tanah lateral mempunyai hubungan yang tidak linier dengan

sifat-sifat bahan tanah. Tekanan tanah lateral pada keadaan batas daya layan dihitung berdasarkan nilai nominal dari γ_s , c dan ϕ_f .

Tekanan tanah lateral pada keadaan batas dihitung dengan memakai nilai nominal dari γ_s dan nilai rencana dari c serta ϕ_f . Nilai-nilai rencana dari c serta ϕ_f diperoleh dari nilai nominal dengan menggunakan faktor reduksi kekuatan. Kemudian tekanan tanah lateral yang diperoleh masih berupa nilai nominal dan selanjutnya harus dikalikan dengan faktor beban yang sesuai seperti tercantum dalam Tabel 2.3 berikut.

Tabel 2.3 Faktor beban akibat tekanan tanah

Tipe beban	Faktor Beban (γ_{TA})			
	Keadaan Batas Layan (γ_{TA}^S)		Keadaan Batas Ultimit (γ_{TA}^U)	
	Tekanan Tanah		Biasa	Terkurangi
Tetap	Tekanan Tanah vertikal	1,00	1,25	0,80
	Tekanan Tanah lateral			
	- Aktif	1,00	1,25	0,80
	- Pasif	1,00	1,40	0,70
	- Diam	1,00	⁽¹⁾	
Catatan ⁽¹⁾ : Tekanan tanah lateral dalam keadaan diam biasanya tidak diperhitungkan pada keadaan batas ultimit				

Sumber: SNI 1725-2016 Pembebanan untuk Jembatan

4. Beban Lajur “D”

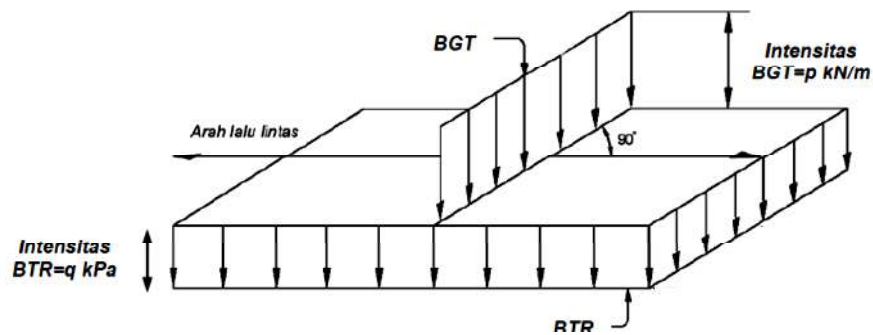
Beban “D” bekerja pada seluruh lebar jalur kendaraan dan menimbulkan pengaruh pada jembatan yang ekuivalen dengan suatu iring-iringan kendaraan yang sebenarnya. Jumlah total beban lajur “D” yang bekerja tergantung pada lebar

jalur kendaraan itu sendiri. Beban lajur “D” terdiri atas beban terbagi rata (BTR) yang digabung dengan beban garis (BGT) seperti terlihat dalam Gambar 2.1 dan untuk faktor beban pakai untuk lajur “D” dapat dilihat di Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Faktor beban untuk lajur “D”

Tipe beban	Jembatan	Faktor Beban (γ_{TD})	
		Keadaan Batas Layan (γ_{TD}^S)	Keadaan Batas Ultimit (γ_{TD}^U)
Tetap	Beton	1,00	1,80
	Boks Girder Baja	1,00	2,00

Sumber: SNI 1725-2016 Pembebanan untuk Jembatan



Gambar 2.1 Beban Lajur “D”

Sumber: SNI 1725-2016 Pembebanan untuk Jembatan

Beban terbagi rata (BTR) mempunyai intensitas q kPa dengan besaran q tergantung pada panjang total yang dibebani L yaitu seperti berikut:

$$\text{Jika } L \leq 30 \text{ m : } q = 9,0 \text{ kPa} \quad \dots (1)$$

$$\text{Jika } L > 30 \text{ m : } q = 9,0 (0,5 + 15 L) \text{ kPa} \quad \dots (2)$$

dengan :

q = intensitas beban terbagi rata (BTR) dalam arah memanjang jembatan (kPa),

L = panjang total jembatan yang dibebani (meter).

Setelah dilakukan perhitungan terkait besarnya intensitas beban yang terjadi, maka selanjutnya intensitas beban tersebut akan dikalikan dengan panjang segmen dari struktur jembatan yang akan direncanakan atau dianalisis.

Beban garis terpusat merupakan sebuah beban yang mempunyai intensitas sebesar p kN/m. Menurut SNI 1725-2016 intensitas p pada beban garis terpusat (BGT) tersebut sebesar sebesar 49,0 kN/m. Beban tersebut ditempatkan tegak lurus terhadap arah lalu lintas pada jembatan. Pada jembatan yang terdiri dari beberapa bentang, beban garis terpusat ditempatkan pada posisi arah melintang jembatan pada tiap bentang. Hal tersebut dilakukan agar mendapatkan momen lentur yang maksimum pada struktur jembatan yang akan ditinjau.

5. Gaya Rem (TB)

Rem dapat mengakibatkan gaya yang menghantam jembatan dalam arah memanjang. Dampak gaya rem dan traksi harus dipertimbangkan di kedua arah arus lalu lintas. Nilai gaya rem adalah 5% dari nilai beban “D”.

6. Beban Angin

Angin rencana dengan kecepatan (VB) 90 sampai 126 km/jam diasumsikan mengakibatkan tekanan angin horizontal. Namun jika tidak adanya

data yang lebih tepat, tekanan angin rencana dalam MPa ditetapkan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$P_D = P_B \left(\frac{V_{DZ}}{V_B} \right)^2 \quad \dots (3)$$

Keterangan:

P_B = Tekanan angin dasar seperti yang ditentukan dalam Tabel 2.5

V_{DZ} = Kecepatan angin rencana pada elevasi rencana, Z (km/jam)

V_B = kecepatan angin rencana 90 sampai 126 km/jam pada elevasi 1000 mm

Adapun nilai tekanan angina dasar tercantum dalam tabel 2.5 sebagai berikut:

Tabel 2.5 Tekanan angin dasar

Komponen bangunan atas	Angin tekan (Mpa)	Angin hisap (Mpa)
Rangka, kolom, dan pelengkung	0,0024	0,0012
Balok	0,0024	N/A
Permukaan datar	0,0019	N/A

Sumber: SNI 1725-2016 Pembebanan untuk Jembatan

7. Beban Gempa

Beban gempa sebagai gaya horizontal yang ditentukan berdasarkan perkalian antara koefisien respons elastic (C_{sm}) dengan berat struktur ekuivalen dengan faktor modifikasi respons (R_d) dengan persamaan sebagai berikut:

$$E_Q = \frac{C_{sm}}{R_d} \times W_t \quad \dots (4)$$

Keterangan :

EQ = Gaya gempa horizontal statis (kN)

C_{sm} = Koefisien respons gempa elastis (didapat dari peta percepatan batuan dasar dan spectra percepatan sesuai daerah gempa)

Rd = Faktor modifikasi respons

Wt = Berat total struktur terdiri dari beban mati dan beban hidup (kN)

Koefisien respons elastik (C_{sm}) diperoleh dari peta percepatan batuan dasar dan spektra percepatan berdasarkan daerah gempa dan periode ulang gempa.

2.2 Perhitungan Respons Spektrum

1. Kelas Situs

Klasifikasi situs pada pasal ini ditentukan untuk lapisan setebal 30 m sesuai dengan yang didasarkan pada korelasi dengan hasil penyelidikan tanah lapangan dan laboratorium. Adapun klasifikasi kelas situ tercantum dalam Tabel 2.6 sebagai berikut:

Tabel 2.6 Kelas Situs

Kelas Situs	\bar{V}_s (m/s)	\bar{N}	\bar{S}_u (kPa)
A. Batuan Keras	$\bar{V}_s \geq 1500$	N/A	N/A
B. Batuan	$750 < \bar{V}_s \leq 1500$	N/A	N/A
C. Tanah Sangat Padat dan Batuan Lunak	$350 < \bar{V}_s \leq 750$	$\bar{N} > 50$	$\bar{S}_u \geq 100$
D. Tanah Sedang	$175 < \bar{V}_s \leq 350$	$15 \leq \bar{N} \leq 50$	$15 \leq \bar{S}_u \leq 50$

Kelas Situs	\bar{V}_s (m/s)	\bar{N}	\bar{S}_u (kPa)
E. Tanah Lunak	$\bar{V}_s < 175$	$\bar{N} < 15$	$\bar{S}_u < 50$
	Atau setiap profil lapisan tanah dengan ketebalan lebih dari 3 m dengan karakteristik sebagai berikut: <ol style="list-style-type: none"> 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$ 2. Kadar air (w) $> 40\%$ dan 3. Kuat geser tak terdrainase $\bar{S}_u < 25$ kPa 		
F. Lokasi yang membutuhkan penyelidikan geoteknik dan analisis respons dinamik spesifik	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik seperti: <ul style="list-style-type: none"> - Rentan dan berpotensi gagal terhadap beban gempa seperti likuifaksi, tanah lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung organik tinggi dan/atau gambut (dengan ketebalan > 3 m) - Plastisitas tinggi (ketebalan $H > 7.5$ m dengan $PI > 75$) - Lapisan lempung lunak/medium kaku dengan ketebalan $H > 35$ m. 		

Catatan : N/A = tidak dapat digunakan

Sumber: SNI 2833-2016

Pengklasifikasian jenis tanah ini sebaiknya menggunakan sedikitnya 2 (dua) jenis penyelidikan tanah yang berbeda. Pada Tabel 2.6 \bar{V}_s , \bar{N} , \bar{S}_u dan adalah nilai rata-rata cepat rambat gelombang geser, hasil uji penetrasi standar, dan kuat geser tak terdrainase dengan tebal lapisan tanah sebagai besaran pembobotnya dan harus dihitung menurut persamaan-persamaan sebagai berikut :

$$\bar{V}_s = \frac{\sum_{i=1}^m t_i}{\sum_{i=1}^m \left(\frac{t_i}{V_{si}} \right)} \quad \dots (5)$$

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^m t_i}{\sum_{i=1}^m \left(\frac{t_i}{N} \right)} \quad \dots (6)$$

$$\bar{S}_u = \frac{\sum_{i=1}^m t_i}{\sum_{i=1}^m \left(\frac{t_i}{S_{ui}} \right)} \quad \dots (7)$$

Keterangan :

t_i adalah tebal lapisan tanah ke-i,

V_{si} adalah kecepatan rambat gelombang geser melalui lapisan tanah ke-i,

N_i adalah nilai hasil uji penetrasi standar lapisan tanah ke-i,

S_{ui} adalah kuat geser tak terdrainase lapisan tanah ke-i,

m adalah jumlah lapisan tanah yang ada di atas batuan dasar.

$$\sum_{i=1}^m t_i = 30 \text{ m}$$

2. Faktor situs

Berdasarkan sifat-sifat tanah pada situs, maka situs diklasifikasikan sebagai kelas situs SA (batuan keras), SB (batuan), SC (tanah keras sangat padat

dan batuan lunak), SD (tanah sedang), SE (tanah lunak) dan SF (tanah khusus yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respon spesifik).

Suatu faktor amplifikasi pada periode nol detik, periode pendek ($T=0,2$ detik) dan periode 1 detik diperlukan untuk penentuan respons spektra di permukaan tanah. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode nol detik (FPGA), faktor amplifikasi periode pendek (Fa) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik (Fv). Adapun nilai-nilai FPGA, Fa, dan Fv untuk berbagai klasifikasi jenis tanah dicantumkan dalam Tabel 2.7, 2.8 dan Gambar 2.2 sebagai berikut:

Tabel 2.7 Faktor amplifikasi untuk periode 0 detik dan 0,2 detik (FPGA/Fa)

Kelas Situs	$PGA \leq 0,1$ $S_s \leq 0,25$	$PGA = 0,2$ $S_s = 0,5$	$PGA = 0,3$ $S_s = 0,75$	$PGA = 0,4$ $S_s = 1,0$	$PGA = 0,5$ $S_s = 1,25$
Batuan Keras (SA)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Batuan (SB)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Tanah Keras (SC)	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
Tanah Sedang (SD)	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
Tanah Lunak (SE)	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
Tanah Khusus (SF)	SS	SS	SS	SS	SS

Catatan : Untuk nilai-nilai antara dapat dilakukan interpolasi linier

Sumber: SNI 2833-2016

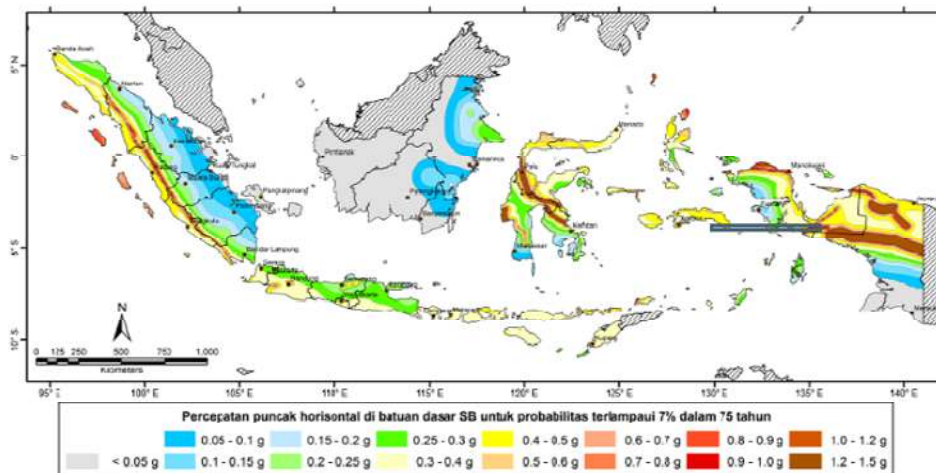
Keterangan:

PGA adalah percepatan puncak batuan dasar mengacu pada Peta Gempa Indonesia 2010 (Gambar 2.2).

Ss adalah parameter respons spektral percepatan gempa untuk periode pendek (T=0.2 detik) mengacu pada Peta Gempa Indonesia 2010.

SS adalah lokasi yang memerlukan investigasi geoteknik dan analisis respons dinamik spesifik.

Adapun pada Peta respons spektra percepatan 0,2 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun tercantum dalam Gambar 2.2 sebagai berikut:



Gambar 2.2 Peta respons spektra percepatan 0,2 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun.

Sumber: SNI 2833-2016

Tabel 2.8 Besarnya nilai faktor amplifikasi untuk periode 1 detik (Fv)

Kelas Situs	$S_1 \leq 0.1$	$S_1 = 0.2$	$S_1 = 0.3$	$S_1 = 0.4$	$S_1 \geq 0.5$
Batuan Keras (SA)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Batuan (SB)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Tanah Keras (SC)	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
Tanah Sedang (SD)	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
Tanah Lunak (SE)	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4

Kelas Situs	$S_1 \leq 0.1$	$S_1 = 0.2$	$S_1 = 0.3$	$S_1 = 0.4$	$S_1 \geq 0.5$
Tanah Khusus (SF)	SS	SS	SS	SS	SS

Catatan : Untuk nilai-nilai antara dapat dilakukan interpolasi linier

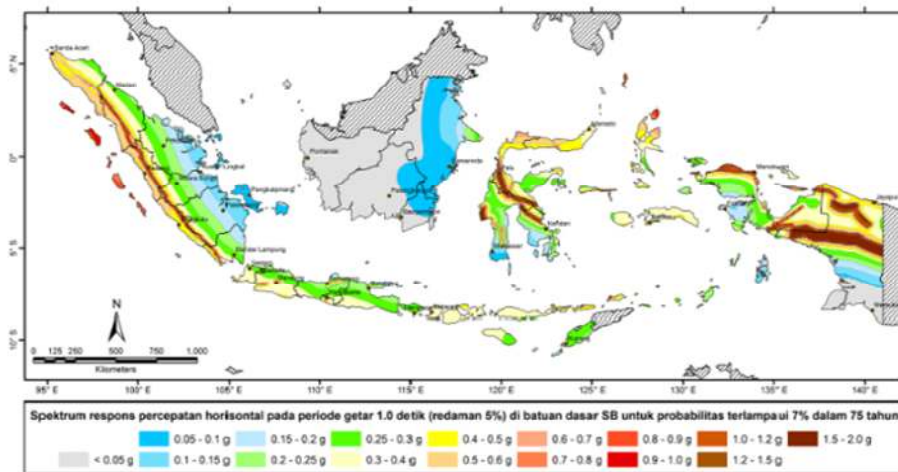
Sumber: SNI 2833-2016

Keterangan:

S_1 adalah parameter respons spektral percepatan gempa untuk periode 1 detik mengacu pada Peta Gempa Indonesia 2010 (Gambar 2.3).

SS adalah lokasi yang memerlukan investigasi geoteknik dan analisis respons dinamik spesifik.

Adapun pada Peta respons spektra percepatan 1 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun tercantum dalam Gambar 2.3 sebagai berikut:



Gambar 2.3 Peta respons spektra percepatan 1 detik di batuan dasar untuk probabilitas terlampaui 7% dalam 75 tahun.

Sumber: SNI 2833-2016

3. Respon Spektrum Rencana

Respon spektra adalah nilai yang menggambarkan respons maksimum dari sistem berderajat-kebebasan-tunggal pada berbagai frekuensi alami (periode alami) teredam akibat suatu goyangan tanah. Untuk kebutuhan praktis, maka respon spektra dibuat dalam bentuk respon spektra yang sudah disederhanakan.

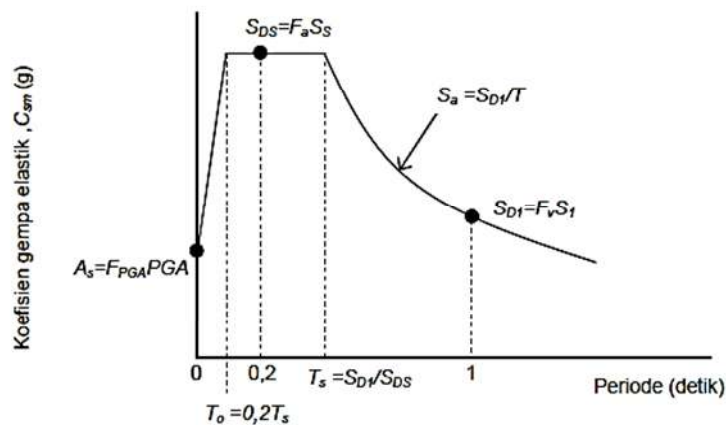
Respon spektrum di permukaan tanah ditentukan dari 3 (tiga) nilai percepatan puncak yang mengacu pada peta gempa Indonesia 2010 (PGA, SS dan S1), serta nilai faktor amplifikasi FPGA, Fa, dan Fv. Perumusan respon spektra adalah sebagai berikut :

$$A_s = F_{PGA} \times PGA \quad \dots (8)$$

$$S_{DS} = F_a \times S_S \quad \dots (9)$$

$$S_{D1} = F_v \times S_1 \quad \dots (10)$$

Adapun bentuk tipikal respon spektra di permukaan tanah tercantum dalam Gambar 2.4 :



Gambar 2.4 Respon Spektra Desain

Sumber: SNI 2833-2016

4. Koefisien Respons Gempa Elastik

Koefisien respons gempa elastik (C_{sm}) untuk periode lebih kecil dari T_0 didapatkan dari persamaan berikut :

$$C_{sm} = (S_{DS} - A_s) \frac{T}{T_0} + A_s \quad \dots (11)$$

Sementara, koefisien respons gempa elastik (C_{sm}) untuk periode lebih besar atau sama dengan T_0 dan lebih kecil atau sama dengan T_s , respons spektra percepatan, C_{sm} adalah sama dengan S_{DS} .

Sedangkan, koefisien respons gempa elastik (C_{sm}) untuk periode lebih besar dari T_s didapatkan dari persamaan berikut :

$$C_{sm} = \frac{S_{D1}}{T} \quad \dots (12)$$

Keterangan:

S_{DS} adalah nilai spektra permukaan tanah pada periode pendek ($T=0.2$ detik).

S_{D1} adalah nilai spektra permukaan tanah pada periode 1.0 detik

$$T_0 = 0.2 T_s$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

Penggunaan masing-masing persamaan dapat membentuk respons spektra di permukaan seperti diperlihatkan pada Gambar 2.4.

1. Klasifikasi Operasional

Pemilik pekerjaan atau pihak yang berwenang harus dapat mengklasifikasikan jembatan ke dalam satu dari tiga kategori sebagai berikut :

- A. Jembatan sangat penting (*critical bridges*),
- B. Jembatan penting (*essential bridges*), atau

C. Jembatan lainnya (*other bridges*)

Jembatan penting harus dapat dilalui oleh kendaraan darurat dan untuk kepentingan keamanan/pertahanan beberapa hari setelah mengalami gempa rencana dengan periode ulang 1000 tahun). Untuk jembatan sangat penting, maka jembatan harus dapat dilalui oleh semua jenis kendaraan (lalu-lintas normal) dan dapat dilalui oleh kendaraan darurat dan untuk kepentingan keamanan/pertahanan segera setelah mengalami gempa dengan periode ulang 1000 tahun. Jembatan lainnya adalah jembatan standar pada umumnya (biasanya menggunakan gempa 500 tahun).

2. Kategori Kinerja Seismik

Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik (S_{D1}) terdapat 4 pembagian zona gempa sebagaimana tercantum dalam Tabel 2.9 berikut:

Tabel 2.9 Zona Gempa

Koefisien percepatan (S_{D1})	Zona gempa
$S_{D1} \leq 0.15$	1
$0.15 < S_{D1} \leq 0.30$	2
$0.30 < S_{D1} \leq 0.50$	3
$S_{D1} > 0.50$	4

Catatan : $S_{D1} = F_v \times S_1$

Keterangan:

S_{D1} adalah nilai spektra permukaan tanah pada periode 1.0 detik

F_v adalah nilai faktor amplifikasi untuk periode 1 detik (F_v)

S1 adalah parameter respons spektra percepatan gempa untuk periode 1.0 detik mengacu pada Peta Gempa Indonesia 2010.

2.3 Tingkat Kinerja Struktur Menurut ATC-40

Setelah dilakukan analisis dengan menggunakan metode pushover analysis maka selanjutnya dapat ditentukan tingkat kinerja dari struktur yang ditinjau. Analisis tersebut akan menunjukkan level kerusakan pada tiap elemen struktur yang terjadi akibat adanya penambahan beban. Evaluasi dan pengelompokan terhadap tingkat kinerja struktur yang ditinjau dari level kerusakan tersebut dapat dilakukan. Terdapat beberapa tingkatan kinerja sesuai dengan ATC-40 yang dapat dilihat pada kurva hubungan antara perpindahan lateral dan besar gaya yang bekerja.

Menurut Applied Technology Council (1996) tersedia enam tingkatan kinerja struktur, yaitu: *Immediate Occupancy*, *Damage Control*, *Life Safety*, *Limited Safety*, *Structural Stability*, *Not Considered*.

Level 1, *Immediate Occupancy* adalah Keadaan kerusakan pasca gempa dimana hanya kerusakan struktural yang sangat terbatas yang terjadi. Sistem penahan gaya vertikal dan lateral dasar bangunan mempertahankan hampir semua karakteristik dan kapasitas sebelum gempa. Risiko cedera yang mengancam jiwa akibat kegagalan struktur dapat diabaikan, dan bangunan harus aman untuk jalan keluar, masuk, dan hunian yang tidak terbatas.

Level 2, *Damage Control*. Istilah ini sebenarnya bukan tingkat tertentu tetapi kisaran status kerusakan pasca gempa yang dapat bervariasi dari level 1 ke

level 3. Ini memberikan tempat penampung untuk banyak situasi di mana mungkin diinginkan untuk membatasi kerusakan struktural di luar tingkat Keselamatan Jiwa, tetapi okupansi bukanlah masalahnya. Contoh pengendalian kerusakan mencakup perlindungan fitur arsitektural penting dari bangunan bersejarah atau konten berharga.

Level 3, *Life Safety* merupakan keadaan kerusakan pasca gempa di mana kerusakan signifikan pada struktur mungkin telah terjadi tetapi masih mempertahankan margin terhadap keruntuhan struktural total atau parsial tetap ada. Tingkat kerusakan lebih rendah daripada level Stabilitas Struktural. Komponen struktural utama belum copot dan jatuh, mengancam keselamatan hidup baik di dalam maupun di luar gedung. Meskipun cedera selama gempa dapat terjadi, risiko cedera yang mengancam jiwa akibat kerusakan struktural sangat rendah. Perbaikan struktur yang ekstensif kemungkinan besar akan diperlukan sebelum menempati kembali bangunan, meskipun kerusakan mungkin tidak selalu dapat diperbaiki secara ekonomis.

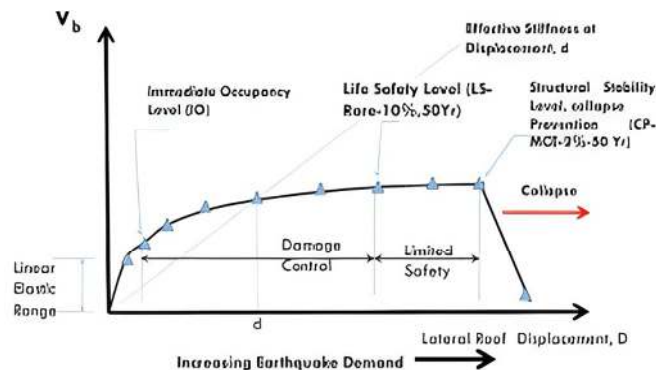
Level 4, *Limited Safety*. Istilah ini sebenarnya bukanlah tingkat spesifik tetapi kisaran kondisi kerusakan pasca gempa yang lebih jelek daripada level 3 (*Life Safety*) dan lebih baik daripada tingkat 5 (*Structural Stability*). Keadaan ini termasuk kasus ketika tingkat *Life Safety* tidak hemat biaya, atau ketika hanya beberapa kekurangan struktural kritis yang dimitigasi.

Level 5, *Structural Stability*. Tingkat ini adalah keadaan kerusakan struktural pasca gempa di mana sistem struktur bangunan berada di ambang kehancuran sebagian atau total. Kerusakan substansial telah terjadi pada struktur,

berpotensi penurunan yang signifikan pada kekakuan dan kekuatan sistem penahan gaya lateral. Namun, semua komponen penting dari sistem penahan beban gravitasi terus memenuhi tuntutan gravitasi mereka. Meskipun bangunan mempertahankan stabilitas keseluruhannya, risiko cedera yang signifikan akibat bahaya jatuh mungkin ada baik di dalam maupun di luar bangunan dan gempa susulan yang signifikan dapat menyebabkan keruntuhan. Diharapkan bahwa perbaikan struktural besar yang signifikan akan diperlukan sebelum menempati kembali. Pada jenis bangunan beton lama yang dibahas dalam dokumen ini, kemungkinan besar kerusakan tersebut tidak dapat diperbaiki secara teknis atau ekonomis.

Level 6, *Not Considered*. Ini bukan tingkat kinerja tetapi menyediakan tempat untuk situasi di mana hanya evaluasi seismik nonstruktural atau retrofit yang dilakukan.

Beberapa tingkatan kinerja sesuai dengan ATC-40 yang dapat dilihat pada kurva hubungan antara perpindahan lateral dan besar gaya yang bekerja dapat dilihat pada tercantum dalam Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Ilustrasi tingkat kinerja struktur

Sumber: ATC-40

Selanjutnya Mahardika (2021) menjelaskan lebih lanjut mengenai level kinerja struktur yang dikeluarkan ATC-40 yang dapat dilihat pada Tabel 2.10 berikut.

Tabel 2.10 Tingkat Kinerja Struktur Menurut ATC-40

Tingkat Kinerja	Kondisi Bangunan
SP-1 <i>Immediate Occupancy</i> (IO)	Bangunan dapat dikatakan aman saat terjadi gempa, risiko kegagalan struktur tidak terlalu berarti, sehingga dapat segera difungsikan kembali.
SP-2 <i>Damage Control</i> (DO)	Merupakan transisi antara <i>Immediate Occupancy</i> (IO) SP-1 dan <i>Life Safety</i> (LS) SP-3. Pada tingkat kinerja ini struktur bangunan masih mampu menahan gempa yang terjadi dan risiko terhadap korban jiwa manusia sangat kecil.
SP-3 <i>Life Safety</i> (LS)	Terjadi kerusakan pada struktur bangunan tetapi tidak diperkenankan mengalami keruntuhan yang menyebabkan korban jiwa manusia (risiko korban jiwa sangat rendah). Setelah terjadi gempa maka bangunan dapat berfungsi kembali setelah dilakukan perbaikan komponen struktural dan non struktural.
SP-4 <i>Limited Safety</i>	Transisi antara SP-3 dan SP-4 dan bukan merupakan tingkatan kinerja struktur. Pada kondisi ini tidak diperhitungkan aspek ekonomis dalam melakukan perbaikan pasca terjadi gempa.
SP-5 <i>Structural Stability</i> (SS)	Struktur mengalami kerusakan hingga diambang keruntuhan total maupun parsial. Komponen struktur penahan beban gravitasi masih bekerja meskipun keseluruhan kestabilan sudah diambang keruntuhan.
SP-6 <i>Not Considered</i>	Bukan merupakan tingkat kinerja struktur, tetapi hanya digunakan dalam melakukan evaluasi seismik non struktural atau <i>retrofit</i> .

Sumber : Mahardika (2021)

ATC-40 memberikan batasan simpangan atau *drift ratio* dalam menentukan tingkat kinerja struktur tersebut. Batasan-batasan tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.11 berikut ini.

Tabel 2.11 Batasan *Drift Ratio* Menurut ATC-40

Parameter	Tingkat Kinerja Struktur			
	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Damage Control</i>	<i>Life Safety</i>	<i>Structural Stability</i>
Maksimum total <i>drift</i>	0,01	0,01-0,02	0,02	0,33 V_i / P_i
Maksimum inelastik <i>drift</i>	0,005	0,005-0,0015	Tidak ada batasan	Tidak ada batasan

Catatan : V_i merupakan gaya geser total pada lantai i dan P_i adalah gaya gravitasi total pada lantai i .

Sumber : ATC-40, 1996

2.4 *Artificial Neural Network*

Menurut Bondarenko (2020) *Artificial Neural Network* adalah alat matematika atau perangkat fisik yang fungsinya mirip dengan sistem saraf biologis. Mereka terdiri dari blok bangunan, yang disebut "neuron buatan", yang menyerupai struktur neuron nyata. Setiap neuron biologis mencakup tiga bagian utama: dendrit, soma, dan akson. Sejalan dengan itu, setiap neuron buatan juga terdiri dari tiga bagian utama: masukan (atau "dendrit"), fungsi transformasi ("soma"), dan keluaran ("akson"). Terminologi yang umumnya digunakan untuk neuron biologis juga sering diterapkan pada neuron buatan.

Artificial Neural Network menggunakan analisis data dan metode statistik non-linier untuk memodelkan hubungan yang kompleks antara masukan dan keluaran atau untuk menemukan pola. Metode inferensi Bayesian, dinamai menurut Thomas Bayes, semakin banyak digunakan. Teori graf dan geometri juga sangat berguna untuk memetakan jaringan saraf, menilai kemampuannya, dan mempelajari klasifikasi pola. *Artificial Neural Network* diterapkan pada berbagai masalah dalam sains, industri, dan keuangan di mana orang harus menarik kesimpulan dan membuat keputusan dari data yang berisik dan tidak lengkap.

Mereka dapat melakukan pengenalan pola dan klasifikasi pola, analisis dan prediksi deret waktu, perkiraan fungsi, dan pemrosesan sinyal. Beberapa jenis ANN dikembangkan untuk masalah spesifik yang dapat mereka temukan solusi terbaiknya. Pengembangan yang paling terkenal di antaranya adalah perceptron tunggal dan multi-lapis; Jaringan saraf Hopfield, dinamai dari John Hopfield; peta Kohonen yang dapat diatur sendiri, dinamai menurut Tuevo Kohonen; dan mesin

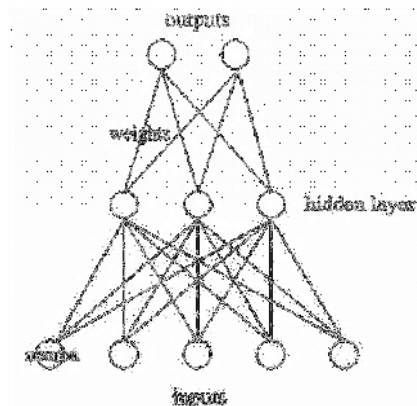
Boltzmann, dinamai menurut distribusi Ludwig Boltzmann. Terlepas dari jenis jaringan neural atau masalah yang dirancang untuk dipecahkan, keluarannya adalah beberapa fungsi matematis dari masukan, sering kali melibatkan distribusi probabilitas.

Menurut Ayodele (2021) *Artificial Neural Networks* (ANN) adalah teknik pembelajaran mesin yang kuat yang dapat digunakan untuk memodelkan hubungan non-linier yang kompleks antara parameter proses dan keluarannya. Tidak seperti desain eksperimental, *Artificial Neural Networks* kurang ketat, tidak memakan waktu, dan hemat biaya. *Artificial Neural Networks* dapat mempelajari kompleksitas suatu proses dan hubungan non-linier berdasarkan masukan awal data sehingga memungkinkan generalisasi dan prediksi model. Konfigurasi *Artificial Neural Networks* yang khas adalah *perceptron multi-layer* yang terdiri dari lapisan masukan, lapisan tersembunyi, dan keluaran berikutnya.

Menurut Wustqa (2023) Artificial neural network merupakan bagian dari *soft computing* yang lebih mengedepankan proses berpikir dengan pendekatan dibandingkan yang eksak. Tidak seperti hard computing tradisional yang lebih mengutamakan pada presisi dan kepastian, serta tidak fleksibel, soft computing toleran terhadap ketidakpresisian, ketidakpastian, dan kebenaran parsial, serta lebih fleksibel. Tujuan utamanya adalah mengeksploitasi toleransi tersebut untuk mencapai daya tarik, ketahanan, kecerdasan mesin tingkat tinggi, dan biaya rendah dalam aplikasi. Neural network dapat memodelkan hubungan linear maupun non linear. Model ANN merupakan alternatif yang banyak menarik perhatian bagi para peneliti karena beberapa alasan. ANN tidak memerlukan

asumsi-asumsi pada data yang seringkali sulit dipenuhi. ANN dalam keadaan ini dipandang sebagai metode statistika non linear dan nonparametrik. Model peramalan biasanya dinyatakan dalam hubungan fungsional antara *input* dan *output*.

Menurut Wang (2003) terdiri dari masukan lapisan neuron (atau node, unit), satu atau dua (atau bahkan tiga) lapisan tersembunyi neuron, dan lapisan akhir *neuron* keluaran. Gambar 2.6 menunjukkan tipikal arsitektur, di mana garis yang menghubungkan neuron juga ditampilkan.



Gambar 2.6 Arsitektur Artificial Neural Network

Sumber: Wang (2003)

Menurut Dawson et. al (2006) Kriteria kinerja digunakan untuk mengevaluasi model peramalan ANN, sehingga dapat memilih yang terbaik. Kriteria berikut akan digunakan: *Mean Absolut Percentage Error* (MAPE).

Adapun rumus MAPE adalah sebagai berikut:

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|P_i - O_i|}{P_i} \cdot 100\% \quad \dots (13)$$

Dimana:

n = jumlah sampel

P_i = nilai angket

O_i = nilai permodelan ANN

2.5 Ulasan Penelitian Sebelumnya

Adapun beberapa contoh prediksi kerusakan yang dihasilkan di jurnal-jurnal ilmiah terdahulu dengan berbagai topik penelitian, antara lain:

Rahmadi (2014) melakukan penelitian tentang evaluasi jembatan yang berjudul “Prediksi Nilai Rating Faktor Jembatan Komposit Baja-Beton dengan Menggunakan *Artificial Neural Network*”. Penelitian ini bertujuan untuk membuat model matematis hubungan antara *rating factor* jembatan komposit dan faktor-faktor yang mempengaruhinya, membuat persamaan empiris prediksi nilai *rating factor* jembatan komposit baja-beton dari model matematis *Artificial Neural Network*, memverifikasi keakuratan hasil prediksi nilai *rating factor* suatu jembatan komposit baja-beton yang dihasilkan oleh persamaan empiris.

Penelitian ini memakai analisis *rating factor* yang menghasilkan nilai *operating rating factor* (ORF) dan *inventory rating factor* (IRF) untuk masing masing variasi bentang jembatan, kedalaman penetrasi korosi, kuat tekan pelat beton dan tegangan leleh gelagar baja. Data *input* dalam simulasi *Artificial Neural Network* adalah bentang jembatan, kedalaman penetrasi korosi, kuat tekan pelat beton dan tegangan leleh gelagar baja. Data *output* dalam simulasi *Artificial Neural Network* adalah *Operating rating factor* kuat geser, *Operating rating factor* kuat lentur, *Inventory rating factor* kuat geser, *Inventory rating factor* kuat lentur.

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah kapasitas jembatan akan semakin menurun seiring dengan bertambahnya kedalaman penetrasi korosi, turunnya nilai kuat tekan pelat beton dan turunnya nilai tegangan leleh gelagar baja. Semua *rating factor* menurun seiring dengan bertambahnya kedalaman penetrasi korosi, turunnya nilai kuat tekan pelat beton dan turunnya nilai tegangan leleh gelagar baja karena besar pembebanan tetap namun kapasitas cenderung menurun.

Sementara Apriani dan Rahmat (2021) melakukan penelitian tentang kerusakan struktur jembatan yang berjudul “Prediksi Kerusakan Model Jembatan Pelengkung dengan Metode Jaringan Syaraf Tiruan”. Penelitian ini bertujuan untuk memperkirakan penilaian kondisi kesehatan struktur jembatan meliputi lokasi dan tingkat kerusakan agar mengevaluasi kondisi struktur akibat beban dinamis sehingga bisa dipakai untuk perencanaan pemeliharaan struktur yang rasional dan ekonomis.

Penelitian ini memakai respon statis dan dinamis struktural sebagai indeks kerusakan untuk pemantauan kesehatan struktur agar bisa memperkirakan kondisi kesehatan jembatan struktur jembatan dengan segera. Kemudian, melakukan validasi memakai metode elemen hingga dengan program SAP 2000. Data yang dihasilkan dari program SAP 2000 berupa waktu, *displacement* dan *acceleration* serta tingkat kerusakan. Data waktu, *displacement* dan *acceleration* digunakan sebagai bahan *input* di jaringan syaraf tiruan. Sedangkan data tingkat kerusakan digunakan sebagai *output* di jaringan syaraf tiruan.

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah perhitungan prediksi persamaan permodelan jaringan saraf tiruan untuk percepatan dan perpindahan mendekati dengan hitungan secara *pushover test* (beban dorong). Verifikasi hasil numerik dengan memakai pengujian beban dorong terhadap model telah menghasilkan kurva ideal yang bisa memberikan informasi perilaku jembatan sebenarnya. Penerapan sistem ini membantu pemakai dalam menentukan status bangunan setiapa kali gempa bumi terjadi.

Sedangkan Suryanita (2015) melakukan penelitian tentang kerusakan struktur jembatan dengan judul “Prediksi Kerusakan Model Tiang Jembatan Beton Bertulang Berdasarkan Mutu Beton dengan Metode Jaringan Syaraf Tiruan”. Penelitian ini bertujuan untuk memperkirakan kerusakan jembatan beton bertulang pada model tiang jembatan berdasarkan variasi mutu beton.

Penelitian ini memakai respons struktur jembatan menyamai perioda dominan gerakan tanah yang disebabkan gempa untuk menentukan karakteristik jembatan. Respons tersebut berasal dari periode fundamental getaran mayoritas jembatan yang umumnya berkisar 0,2 sampai dengan 1,2 detik. Tingkat kinerja struktur jembatan berdasarkan *Federal Emergency Management Agency* (FEMA) 356 bisa disebut sebagai transisi kerusakan operasional dan level kerusakan (*damage level*). Level kerusakan terdiri dari *Immediate Occupancy* (IO), *Life Safety* (LS) dan *Collapse Prevention* (CP). Tingkat kinerja struktur jembatan berasal dari tahap analisis statis non linear (*pushover analysis*) memakai SAP 2000. Data *input* yang dipakai dalam jaringan syaraf buatan adalah mutu beton, perpindahan (*displacement*) dan gaya (*force*). Sementara data *output* berupa

tingkat kerusakan (*damage*) yang ditimbulkan tiang jembatan akibat beban dorong.

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah perhitungan prediksi persamaan permodelan jaringan saraf tiruan percepatan dan perpindahan mendekati dengan hitungan secara *pushover test* (beban dorong). Hasil prediksi mendekati 97,5% terhadap nilai aktualnya. Aplikasi metode Jaringan Saraf Tiruan (JST) pada model struktur jembatan dapat menjadi solusi bagi perencana struktur dalam memprediksi keruntuhan prototip jembatan yang sebenarnya.