

PREDIKSI KERUSAKAN ABUTMEN JEMBATAN AEK MALAU DENGAN METODE ARTIFICIAL NEURAL NETWORK

Farino Pyanto¹, Ahmad Bima Nusa², Darlina Tanjung³, Ronal H. T. Simbolon⁴

^{1,3,4} Jurusan Teknik Sipil, FT Universitas Islam Sumatera Utara, Medan

² Jurusan Teknik Sipil, FT Universitas Harapan, Medan

e-mail: *¹hegemoro1612@gmail.com, ²ahmadbimanusa@gmail.com, ³darlinatanjung@yahoo.com,
⁴ ronal.h.t.simbolon@ft.uisu.ac.id

Abstrak

Indonesia merupakan salah satu wilayah rentan gempa, disebabkan posisinya berada di lintasan titik gempa yang dijuluki Lingkar Api Pasifik. Sepanjang jalur ini terkandung barisan gunung berapi aktif dan pelat tektonik yang berpindah serta bertumbukan satu sama lain. Indonesia telah banyak terjadi gempa bumi, salah satunya di Aceh dan Padang. Gempa sangat mengancam struktur yang berdiri di atasnya. Keruntuhan struktur diakibatkan oleh gempa umumnya sangat sontak dan rawan bagi prosedur evakuasi. Kinerja struktur sangat dibutuhkan untuk mengetahui kondisi keruntuhan struktur saat terjadi gempa. Perhitungan kinerja struktur memakai berbagai metode antara lain metode statis dan dinamis. Cara ini membutuhkan rekaman percepatan gempa dan Analisis Respon Spektrum. Penelitian ini dilakukan pada Abutmen Jembatan Aek Malau yang berlokasi di Kabupaten Samosir. Pada penelitian ini, analisis dilakukan secara non-linier dengan metode pushover analysis. Abutmen Jembatan diberikan beban lateral berupa beban gempa dan beban lainnya pada titik acuan yang sudah ditentukan. Setelah memasukkan beban yang ditentukan, maka dapat diketahui tingkat kinerja struktur yang mengacu pada standar ATC-40 sesuai kurva kapasitas yang terjadi. Setelah itu, tingkat kinerja struktur dianalisis menggunakan Artificial Neural Network. Hasil studi ini diperoleh dari data respon spektrum gempa Kabupaten Samosir. Abutmen dinyatakan dalam keadaan aman. Akurasi dari percobaan adalah 99.99996201% untuk data latih dan 99.99997015% untuk data uji.

Kata kunci— Pushover, Neural, Abutmen

Abstract

Indonesia is one of the most earthquake-prone regions, due to its position on a trajectory of earthquake hotspots dubbed the Pacific Ring of Fire. Along this path are rows of active volcanoes and tectonic plates that move and collide with each other. Indonesia has experienced many earthquakes, including in Aceh and Padang. Earthquakes are very threatening to the structures that stand on them. Structural collapse caused by earthquakes is generally very sudden and prone to evacuation procedures. Structural performance is needed to determine the condition of structural collapse during an earthquake. The calculation of structural performance uses various methods including static and dynamic methods. These methods require earthquake acceleration records and Response Spectrum Analysis. This research was conducted on the Aek Malau Bridge Abutment located in Samosir Regency. In this study, the analysis was carried out non-linearly with the pushover analysis method. Bridge Abutments are given lateral loads in the form of earthquake loads and other loads at predetermined reference points. After entering the specified load, it can be known the level of

structural performance that refers to the ATC-40 standard according to the capacity curve that occurs. After that, the level of structural performance is analyzed using Artificial Neural Network. The results of this study were derived from data with the Samosir Regency earthquake spectrum response. Abutments are declared in a safe state. The accuracy of of experiment is 99.99996201% for Train data and 99.99997015% for test data.

Keywords— *Pushover, Neural, Abutment*

1. PENDAHULUAN

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. Lingkaran Api Pasifik adalah daerah yang sering mengalami gempa bumi dan letusan gunung berapi yang mengelilingi cekungan Samudera Pasifik [1].

Indonesia telah banyak terjadi gempa bumi, salah satunya di Aceh dan Padang. gempa di Aceh terjadi pada tahun 2004 dengan kekuatan 9,1 sampai dengan 9,3 skala richter [2]. Sedangkan kejadian gempa terjadi di Padang pada tahun 2009 memiliki kekuatan 7,5 skala richter [3]. 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 [4] dan 2833-2016 [5].

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.

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

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 [6].

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.

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 [7].

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 setiap kali gempa bumi terjadi.

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 [8].

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.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian Jembatan Aek Malau berada di lokasi Desa Cinta Dame, Kecamatan Simanindo, Kabupaten Samosir, Sumatera Utara. Peta lokasi dari penelitian ini dapat dilihat di Gambar 1 berikut ini.



Gambar 1 Lokasi Penelitian

2.2 Jenis dan Tahapan Penelitian

Penelitian ini terdiri atas tahap diagnosis, analisis dan verifikasi. Tahap diagnosis dan analisis dilakukan memasukkan input data ke dalam program Artificial Neural Network (ANN) dengan memakai bantuan program komputer yaitu Matlab. Desain jaringan syaraf tiruan dibagi dalam dua tahap utama yaitu pelatihan dan pengujian. Sebelumnya dipersiapkan pembagian data untuk data latih dan data uji terlebih dahulu. Output dari proses pelatihan adalah suatu jaringan yang terdiri dari arsitektur beserta bobot-bobot terbaik hasil pembaharuan. Selanjutnya menentukan tingkat akurasi proses pelatihan dengan cara merambatkan maju data latih sehingga diperoleh data keluaran yang kemudian dibandingkan dengan target latih.

Tahap verifikasi dilakukan dengan membandingkan hasil yang diperoleh dari analisis Artificial Neural Network (ANN) dengan program metode elemen hingga (SAP 2000). Berdasarkan data hasil rencana detail jembatan berupa dimensi struktur jembatan, karakteristik material, dapat dilakukan pembuatan model struktur jembatan dengan Finite Element Method.

2.3 Analisis SAP

Kekuatan struktur abutmen jembatan dalam penelitian dianalisis terlebih dahulu menggunakan perangkat lunak SAP 2000. Data yang dimasukkan ke dalam perangkat lunak SAP 2000 adalah berat sendiri, beban mati tambahan, tekanan tanah, beban lajur "D", beban pedestrian, gaya rem, temperatur, beban angin, beban gempa, tekanan tanah dinamis, gesekan.

Analisis dilakukan dengan pushover analysis menggunakan SAP 2000 untuk memperoleh data force, deformation, periode pada jembatan. Data tersebut digunakan sebagai input pada proses training pada pemrograman Matlab. Data target yang dihasilkan berupa tingkat kinerja struktur (performance design) yaitu: B, IO, LS, CP.

Tersedia enam tingkatan kinerja struktur, yaitu: *Immediate Occupancy, Damage Control, Life Safety, Limited Safety, Structural Stability, Not Considered* [9].

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.

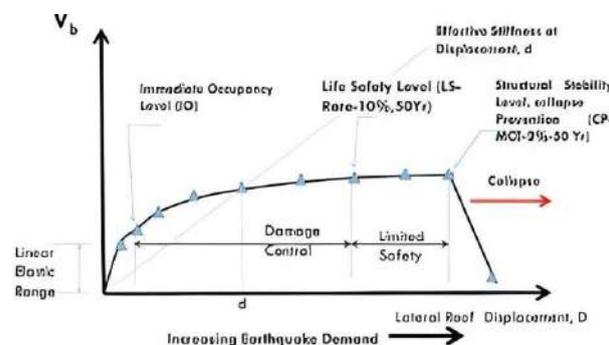
Perbaikan struktur yang ekstensif kemungkinan besar akan diperlukan sebelum menempati kembali bangunan, meskipun kerusakan mungkin tidak selalu dapat diperbaiki secara ekonomis.

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.



Gambar 2 Ilustrasi tingkat kinerja struktur

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 1 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

2.4 Proses Data di Matlab

Data yang telah dikumpulkan kemudian diproses di program Matlab. Pemrosesan dilakukan sebagai berikut:

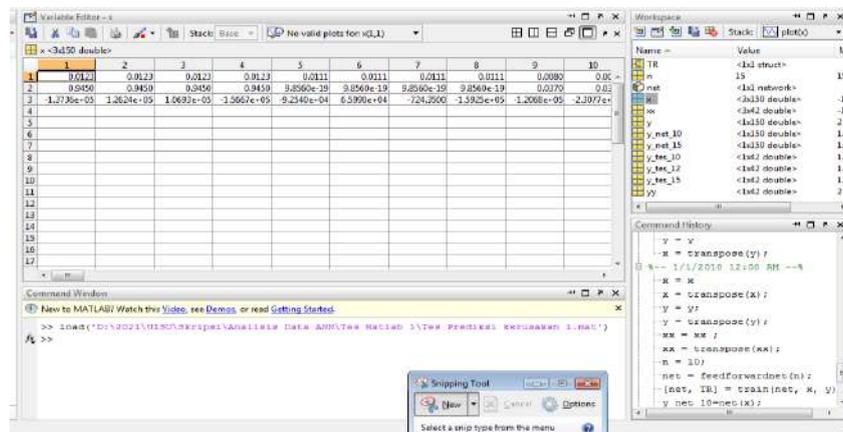
1. Merancang pola data sesuai arsitektur pada metode backpropagation dengan 3 unit input (x_i) dan 1 unit target (y_i). X_1 merupakan nilai *periode*, X_2 merupakan nilai *displacement*, X_3 merupakan nilai *force* dan nilai tingkat kerusakan sebagai y_i .
2. Mengidentifikasi data latih dan uji memakai perbandingan *trial and error* (uji coba).
3. Mentranspose data latih dan uji.
4. Masukkan data *train* dan tes ke Matlab.
5. Data *train* dihitung di program Matlab dengan mengambil bobot terbaik dari pelatihan data. Bobot terbaik diambil dari nilai MSE terkecil.
6. Jalankan program dengan bobot yang sama untuk data tes.
7. Sesudah mendapatkan hasil *Artificial Neural Network*, dilakukan pengujian data memakai *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE).

2.5 Perintah Matlab

Adapun perintah Matlab adalah sebagai berikut:

1. Defenisikan data Train
`x = Input_Train_70;`
`y = Target_Train_70;`

Pendefinisian ini berguna untuk penamaan variabel x dan y di Matlab. Variabel X diambil dari data input yang terdiri dari X_1 sampai dengan X_3 data *Train*. Sedangkan variabel y diambil dari data target Train yang berasal dari tingkat kerusakan. Adapun tampilan pendefinisian ini tercantum di gambar 3.

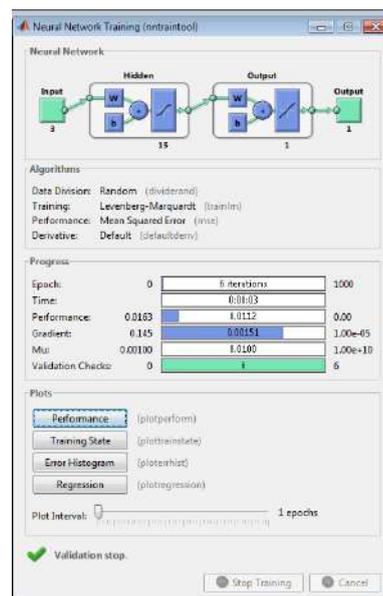


Gambar 3 Pendefinisian Variabel

2. Defenisikan nilai node

```
n = 12;  
net = feedforwardnet (n);
```

Pendefinisian nilai node (n) ini berguna untuk menentukan jumlah jaringan saraf di lapisan tersembunyi. Lalu, jumlah node dimasukkan ke dalam perhitungan ANN (variabelnya disebut net) dengan tiga lapis. Adapun tampilan jaringan saraf tercantum di gambar 4.



Gambar 4 Jaringan Saraf

3. Menghitung data Train

```
[net, TR] = train(net, x, y);
```

Setelah menentukan node, maka perhitungan ANN untuk data *Train* dilakukan dengan memasukkan variabel x dan y.

4. Permodelan ANN dari data *Train*

```
y_net=net(x);
```

Setelah menghitung ANN untuk data *Train*, maka hasil dari perhitungan tersebut dimasukkan ke dalam variabel y_net.

5. Defenisikan data Tes

```
xx = Input_tes_30;  
yy = Target_tes_30;
```

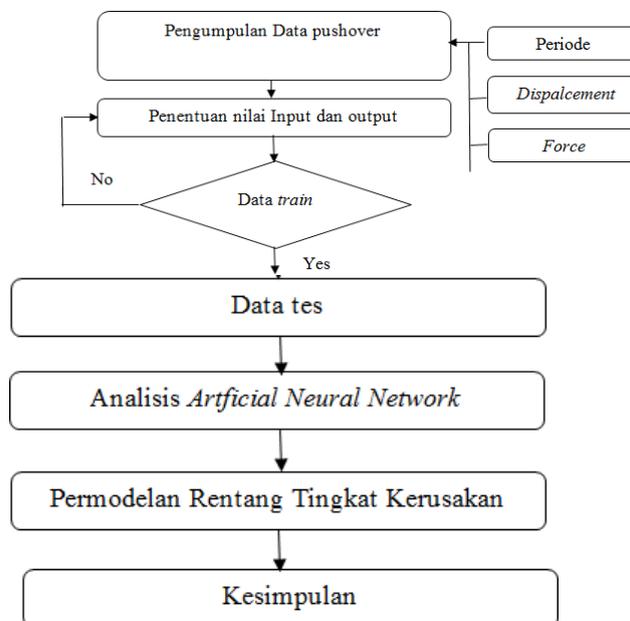
Pendefinisian ini berguna untuk penamaan variabel xx dan yy di Matlab. Variabel xx diambil dari data input yang terdiri dari X1 sampai dengan X3 data Tes. Sedangkan variabel yy diambil dari data target Tes yang berasal dari tingkat kerusakan.

6. Menghitung data Tes

```
y_tes = sim(net, xx);
```

Setelah menghitung ANN untuk data Tes, maka hasil dari perhitungan tersebut dimasukkan ke dalam variabel y_tes.

Adapun bagan alir penelitian ini ditunjukkan di Gambar 5 sebagai berikut:



Gambar 5 Bagan Alir Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Data Hasil Penelitian

Berdasarkan perencanaan didapatkan data struktur abutmen jembatan sebagai berikut.

1. Nama Jembatan	: Aek Malau
2. Lebar jalan (jalur lalu-lintas)	: 3.75 m
3. Lebar trotoar (pejalan kaki)	: 1.20 m
4. Lebar jembatan	: 5.4 m
5. Tebal slab lantai jembatan	: 0.2 m
6. Tebal lapisan aspal	: 0.05 m
7. Jumlah Bentang	: 3
8. Tinggi girder prategang	: 1.25 m
9. Tinggi bidang samping jembatan	: 2.77 m
10. Jarak antara balok prategang	: 1.85 m
11. Panjang bentang jembatan	: 18.6 m
12. Panjang Abutmen	: 5.40 m
13. Tinggi Abutmen	: 5.13 m
14. Lebar abutmen	: 3.00 m
15. Tebal Wing-wall	: 0.5 m
16. Mutu Baja	: BJT S – 420 A
17. Mutu Beton	: $f_c' 30$

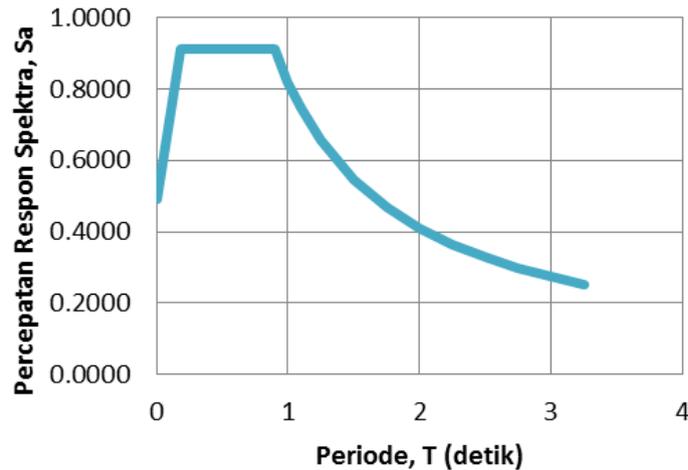
3.2 Respon Spektrum

Pembuatan respon spektrum perlu melakukan beberapa perhitungan parameter gempa berdasarkan lokasi struktur jembatan. Perhitungan tersebut dihitung berdasarkan SNI 2833-

2016. Jembatan Aek Malau diketahui berlokasi di Desa Cinta Dame Kecamatan Simanindo Kabupaten Samosir dengan kelas situs SE atau Tanah Lunak.

Adapun grafik respon spektrum tercantum di gambar 3 sebagai berikut

Grafik Respon Spektrum



Gambar 4 Grafik Respon Spektrum

Berdasarkan kurva di gambar 3 diketahui nilai koefisien seismik elastik pada periode 1,0 detik (SD1) adalah 0,82 g, seperti diperlihatkan pada grafik di atas. Nilai tersebut menunjukkan bahwa kategori kinerja seismik pada lokasi ini berada pada Zona Gempa 4 dan struktur jembatan harus dianalisis sesuai dengan persyaratan minimum yang diatur pada SNI 2833-2016, perancangan jembatan terhadap beban gempa.

3.3 Tingkat Kerusakan Abutmen Jembatan

Adapun hasil analisis pushover dan tingkat kerusakan abutmen jembatan dapat dilihat di Tabel 2.

Tabel 2 Hasil Analisis Pushover

No	Period	Displacement	Force	Max. Drift	Ket.	Skor
1	0.002131	1.108E-14	-90124.3	2.16E-15	Immediate Occupancy	2
2	0.001962	1.018E-15	-112477	1.984E-16	Immediate Occupancy	2
3	0.001962	1.018E-15	-75207.09	1.984E-16	Immediate Occupancy	2
4	0.001962	1.018E-15	-87149.81	1.984E-16	Immediate Occupancy	2
5	0.001962	1.018E-15	-124419.7	1.984E-16	Immediate Occupancy	2
6	0.001924	0.0002638	-133404.8	5.142E-05	Immediate Occupancy	2
7	0.001924	0.0002638	-88769.59	5.142E-05	Immediate Occupancy	2
8	0.001924	0.0002638	-71307.41	5.142E-05	Immediate Occupancy	2
9	0.001924	0.0002638	-115942.6	5.142E-05	Immediate Occupancy	2

No	Period	Displacement	Force	Max. Drift	Ket.	Skor
10	0.01233	0.945	-95178.54	0.1842105	Structural Stability	4

Hasil Tabel 2 menunjukkan bahwa rata-rata nilai maksimum total drift sebesar $< 0,01$ yang berarti tingkat kerusakan abutmen jembatan masuk dalam kategori *Immediate Occupancy*. Kategori *Immediate Occupancy* dikelompokkan ke dalam skor 2 untuk tingkat kerusakan. Kategori *Immediate Occupancy* bisa diartikan bahwa bangunan dapat dikatakan aman saat terjadi gempa, risiko kegagalan struktur tidak terlalu berarti, sehingga dapat segera difungsikan kembali.

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.

3.4 Hasil Analisis Artificial Neural Network

Adapun hasil Analisis Artificial Neural Network tercantum dalam tabel 2 sebagai berikut

Tabel 3 Hasil Analisis Artificial Neural Network

Percobaan	Node	Data Train	Data Test
		Akurasi MAPE	Akurasi MAPE
1	10	99,99996201%	99,99997015%

Berdasarkan Tabel 3 didapat Data *Train* dengan menggunakan node (jaringan saraf tiruan) sebanyak 10 menghasilkan nilai MSE sebesar $2,71848 \times 10^{-12}$. Sedangkan MAPE adalah sebesar $3,7993 \times 10^{-05} \%$. Nilai akurasi prediksi didapat dari $100\% - \text{angka MAPE}$. $100\% - 3,7993 \times 10^{-05} \% = 99,99996201 \%$.

Data *Test* dengan menggunakan node (jaringan saraf tiruan) sebanyak 10 menghasilkan nilai MSE sebesar $2,01273 \times 10^{-12}$. Sedangkan MAPE adalah sebesar sebesar $2,98527 \times 10^{-05} \%$. Nilai akurasi prediksi didapat dari $100\% - \text{angka MAPE}$. $100\% - 2,98527 \times 10^{-05} \% = 99,99997015\%$.

Hasil permodelan dengan akurasi mencapai 99,99997015% dianggap sangat baik dan dapat dipakai sebagai dasar pedoman untuk prediksi tingkat kinerja abutmen jembatan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil analisis *pushover* didapat bahwa nilai maksimum total *drift* sebesar $< 0,01$ yang berarti tingkat kerusakan abutmen jembatan masuk dalam kategori *Immediate Occupancy* / aman.
2. Data ANN memperoleh nilai MAPE yang semakin mendekati 100% dan nilai MSE semakin mendekati 0. Data *input* berupa respon struktur abutmen yang ditinjau yaitu *displacement*, *periode* dan *force* (arah X dan Y). Data *output* berupa skor tingkat kerusakan abutmen jembatan. Nilai MSE adalah sebesar $2,71848 \times 10^{-12}$ untuk data *Train* dan $2,01273 \times 10^{-12}$ untuk data *test*.
3. Nilai akurasi prediksi adalah sebesar 99,99996201% untuk data *Train* dan 99,99997015% untuk data *test*. Hasil ini dianggap sangat baik dan dapat dipakai sebagai dasar pedoman untuk prediksi tingkat kinerja abutmen jembatan.

5. SARAN

Berdasarkan hasil penelitian, maka perlu diberikan beberapa saran antara lain :

1. Perlunya penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh penggunaan profil beton, serta mutu beton yang berbeda. Apakah akan mempengaruhi tingkat pelayanan dan performance point dari struktur.
2. Analisis pushover untuk struktur jembatan dapat digunakan software aplikasi lain seperti Midas Civil sebagai pembading dari nilai yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Nugroho, Sri Cahyadi. 2017. The Easerum Epicentre Pusat Studi Gempa Bumi Di Kabupaten Bantul, D.I Yogyakarta. *Disertasi*. Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
 - [2] Meltzner, Aron J. , Sieh, Kerry , Abrams, Michael , Agnew, Duncan C. , Hudnut, Kenneth W. , Avouac, Jean-Philippe. 2006. Uplift and Subsidence Associated with The Great Aceh-Andaman Earthquake of 2004. *Journal Of Geophysical Research*. Vol. 111.
 - [3] Bothara, J., Beetham, D., Brunson, D., Mike , S., Brown, R., Hyland, C., Lewis, W., Miller, S., Sanders, R., Sulistio, Y. General Observations of Effects of The 30th September 2009 Padang Earthquake, Indonesia. 2010. *Bulletin Of The New Zealand Society For Earthquake Engineering*. Vol. 43 No. 3 : 143-173.
 - [4] SNI 1725-2016. 2016. Pembebanan untuk Jembatan. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
 - [5] SNI 2833-2016. 2016. Perencanaan Jembatan terhadap Beban Gempa. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
 - [6] Rahmadi, Nurbetha H. 2014. Prediksi Nilai Rating Faktor Jembatan Komposit Baja-Beton dengan Menggunakan Artificial Neural Network. *Tesis*. Universitas Gadjah Mada.
 - [7] Apriani, W., Rahmat, H. 2021 .Prediksi Kerusakan Model Jembatan Pelengkung dengan Metode Jaringan Syaraf Tiruan. *Jurnal Teknik*. Vol. 15 No.1 : 49-53.
 - [8] Suryanita, R. 2015. “Prediksi Kerusakan Model Tiang Jembatan Beton Bertulang Berdasarkan Mutu Beton dengan Metode Jaringan Saraf Tiruan”. Annual Civil Engineering Seminar. Pekanbaru.
 - [9] Applied Technology Council (ATC). 1996. ATC-40 Seismic Evaluation and Retrofit Of Concrete Buildings Volume 1. California: Seismic Safety Commission State of California.
-