

Terbit online pada laman web jurnal : <http://jurnal.sttp-yds.ac.id>

SAINSTEK (e-Journal)

| ISSN (Print) 2337-6910 | ISSN (Online) 2460-1039 |



Aplikasi Jaringan Saraf Tiruan dengan Metode Fungsi Tan-Sigmoid dalam Memprediksi Kinerja Struktur Bangunan Gedung

Muhammad Gala Garcya^a, Zulfikar Djauhari^b, Reni Suryanita^c

^aMahasiswa Pascasarjana Teknik Sipil Universitas Riau, Kampus Binawidya Jl. HR. Soebrantas, Pekanbaru 28292, Indonesia

^{b,c}Dosen Pascasarjana Teknik Sipil Universitas Riau, Kampus Binawidya Jl. HR. Soebrantas, Pekanbaru 28292, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Sejarah Artikel:

Diterima Redaksi: 25 Juni 2020

Revisi Akhir: 24 Mei 2021

Diterbitkan Online: 17 Juni 2021

KATA KUNCI

Respons struktur
Prediksi Kinerja Struktur
Transfer function Tan-Sigmoid
Magnitude
Mean Square Error (MSE)

KORESPONDENSI

Telepon: +62-812-751-3783

E-mail: reni.suryanita@eng.unri.ac.id

A B S T R A C T

Gempa bumi merupakan salah satu ancaman terbesar terhadap gedung, sehingga perlu untuk mendesain gedung dengan memperhitungkan pembebanan gempa bumi yang terjadi. Dengan bantuan *software finite element* dapat diperoleh respons struktur berupa *displacement*, *velocity*, dan *acceleration* yang terjadi akibat gempa bumi. Jaringan Saraf Tiruan (JST) merupakan salah satu metode yang dapat memprediksi kerusakan bangunan dengan memanfaatkan data respons struktur dengan waktu analisis yang relatif lebih singkat dibandingkan menganalisis struktur satu per satu. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis data gempa dengan *magnitude* intensitas tinggi yang berbeda-beda. Data input dan output diperoleh melalui *software Finite Element* untuk menghasilkan jumlah data yang diperlukan JST yaitu sebanyak 4489 data. Pada penelitian ini, komposisi yang digunakan untuk *training*, *testing*, dan *validating* adalah 60%, 25%, dan 15% masing – masingnya. Data *input* yang digunakan yaitu waktu, *acceleration* arah x dan y, *velocity* arah x dan y, serta *displacement* arah x dan y. Sedangkan untuk data target yang digunakan yaitu kinerja struktur yang ditentukan oleh FEMA 356 dan simpangan antar lantai arah x dan y. Hasil pengujian menunjukkan analisis oleh JST yang menggunakan *transfer function* Tan-Sigmoid menunjukkan nilai R^2 sebesar 97,542% dan Mean Square Error (MSE) yang dihasilkan yaitu sebesar $1,2449.E-07$. Hal ini menunjukkan analisis JST dengan *transfer function* Tan-Sigmoid dapat digunakan untuk memprediksi kinerja dari struktur dengan cepat dan akurat. Dengan demikian metode ini diharapkan dapat direkomendasikan untuk *Structural Engineer* dan perencana gedung dalam mendesain bangunan gedung bertingkat tahan gempa.

1. PENDAHULUAN

Industri global saat ini telah mengalami peningkatan yang sangat pesat dan menyebabkan munculnya berbagai macam perubahan dalam memudahkan dan memenuhi kebutuhan manusia. Revolusi industri saat ini telah mencapai 4.0, yang mana pada zaman ini manusia telah dapat menggunakan dan menyelesaikan segala permasalahan hidup dengan memanfaatkan teknologi seperti internet dan kecerdasan

buatan yaitu dengan menggunakan AI (*Artificial Intelligence*).

Dengan adanya AI keselamatan dan kemaslahatan hidup manusia juga akan dapat diprediksi dan bencana alam juga dapat dihindari. Berdasarkan data bencana alam, gempa bumi adalah salah satu bencana yang cukup sering terjadi di Indonesia dan merupakan salah satu hal yang paling ditakuti karena tidak dapat diprediksi akan terjadinya.

Menurut Setiawan (2017) gempa tidak dapat diprediksi kekuatan, kapan dan dimana akan terjadi,

fenomena alam ini menjadi salah satu faktor perusak utama bagi wilayah - wilayah yang dilewati jalur patahan. Kerugian yang diakibatkan gempa sangat besar, mulai dari kerusakan sarana - prasarana infrastruktur, ekonomi dan juga banyak menelan korban jiwa.

Struktur bertingkat adalah salah satu bentuk konstruksi yang paling rentan dan memiliki resiko tinggi terhadap gempa bumi, hal ini disebabkan karena gempa bumi dapat menggerakkan tanah sehingga dapat menyebabkan keruntuhan bangunan akibat pergeseran tanah.

Penelitian ini juga akan menggunakan metode Jaringan Saraf Tiruan (JST) untuk memprediksi tingkat kinerja struktur dengan menggunakan berbagai lokasi gempa yang bervariasi. Jaringan saraf tiruan yang dihasilkan dari suatu program menunjukkan data yang dapat dipercaya sebagai data prediksi yang memiliki tingkat kesalahan yang cukup tergolong rendah.

JST juga dapat dilakukan dalam berbagai model bangunan struktur seperti gedung, tower, bahkan pada jembatan. Dengan demikian hasil penelitian ini diharapkan untuk mempermudah dalam mendesain suatu struktur yang tahan gempa.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Analisis Modal

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

Getaran juga terjadi akibat rangsangan gaya luar yang disebut juga getaran paksa, jika frekuensi yang diakibatkan oleh rangsangan luar sama dengan frekuensi natural maka akan terjadi resonansi yang berbahaya bagi struktur. Perhitungan frekuensi natural merupakan hal yang sangat penting dan utama dalam suatu perencanaan agar terhindar dari bahaya keruntuhan akibat frekuensi tersebut.

Analisis ragam (*modal analysis*) adalah analisis yang menentukan gerak struktur pada kondisi getaran bebas, dimana gerakannya hanya dipengaruhi oleh kondisi awal. Kondisi seperti ini jarang dijumpai namun analisis ini memberikan sifat dinamis yang paling penting dari struktur yaitu perioda natural dan pola perubahan bentuknya (*mode shape*).

Persyaratan jumlah ragam telah diatur pada Pasal 7.9.1 SNI 1726-2019 dimana jumlah ragam harus cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar paling sedikit 90% dari massa aktual dalam masing-masing arah horizontal ortogonal dari respon

yang ditinjau oleh model. Apabila belum mencukupi, maka jumlah ragam harus ditambah sampai memenuhi syarat partisipasi massa ragam.

2.2. Analisis Riwayat Waktu

Metode analisis gempa yang digunakan untuk merencanakan bangunan tahan gempa dapat diklasifikasikan menjadi dua, yaitu analisis statik dan analisis dinamik (Chopra, 1995). Dalam menganalisis perilaku struktur yang mengalami gaya gempa, semakin teliti analisis yang dilakukan maka perencanaannya semakin ekonomis dan dapat diandalkan. Untuk bangunan satu tingkat dapat direncanakan hanya dengan menetapkan besarnya beban lateral yang dapat ditahan elemen struktur dan dengan mengikuti ketentuan-ketentuan dalam peraturan.

Secara umum analisis struktur terhadap gempa dibagi menjadi dua macam, yaitu:

1. Analisis beban statik ekuivalen yaitu suatu cara analisis struktur dimana pengaruh gempa pada struktur dianggap sebagai beban statik, horizontal yang diperoleh dengan hanya memperhitungkan respons ragam getar yang pertama. Biasanya distribusi gaya geser tingkat ragam getar yang pertama ini disederhanakan sebagai segitiga terbalik.
2. Analisis dinamik yaitu analisis struktur dimana pembagian gaya geser gempa diseluruh tingkat diperoleh dengan memperhitungkan pengaruh dinamis gerakan tanah terhadap struktur. Analisis dinamik dibagi menjadi 2, yaitu:

Analisis ragam respons spektrum dimana total respons didapat melalui superposisi dari respon masing-masing ragam getar.

Analisis riwayat waktu dimana pada model struktur diberikan suatu catatan rekaman gempa dan respons struktur dihitung langkah demi langkah pada interval tertentu. Pada analisis dinamik riwayat waktu, beban gempa yang dimasukkan dalam pembebanan struktur adalah rekaman gerakan tanah (*ground motion*) dari gempa-gempa yang telah terjadi.

Analisis riwayat waktu ini juga dapat mengakibatkan deformasi pada struktur sebagaimana beban lainnya. Adapun salah satu yang dapat terjadi yaitu simpangan antar lantai atau yang mana dikenal sebagai istilah *story drift*. Pada SNI 1726-2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung mengatur pada Pasal 7.12.1 tentang Batasan Simpang antar lantai tingkat yaitu dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1 Simpangan antar Lantai Ijin Δa (SNI 1726-2019)

Struktur	Kategori Resiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar lantai tingkat	0,025 Δa	0,020 Δa	0,015 Δa
Struktur dinding geser kantilever batu bata	0,010 Δa	0,010 Δa	0,010 Δa
Struktur dinding geser batu bata lainnya	0,007 Δa	0,007 Δa	0,007 Δa
Semua struktur lainnya	0,020 Δa	0,015 Δa	0,010 Δa

2.3. Analisis Jaringan Saraf Tiruan (JST)

Jaringan saraf tiruan (JST) merupakan suatu sistem yang mempunyai kerja seperti otak manusia, sistem ini dapat memodelkan hal yang kompleks antara *input* dan *output* untuk menentukan suatu pola tertentu. Penggunaan JST menghasilkan pendekatan yang bagus dalam analisis respon spektrum.

Dilihat dari segi fungsi, JST diciptakan untuk merancang suatu komputer, yang dapat difungsikan untuk melakukan proses belajar dari suatu contoh kejadian. Sedangkan dari struktur rancangan, JST merupakan suatu alat penghitung yang ditujukan untuk dapat melakukan sesuatu yang serupa dengan cara kerja jaringan biologi otak manusia (Wijaya et al., 2016). Menurut Sutojo et al (2010), kelebihan JST adalah sebagai berikut:

1. Belajar *adaptive*, yaitu kemampuan untuk mempelajari bagaimana melakukan pekerjaan berdasarkan data yang diberikan untuk pelatihan atau pengalaman awal.
2. *Self-organisation*, yaitu JST dapat membuat organisasi sendiri atau representasi dari informasi yang diterimanya selama waktu belajar.
3. *Real time operation*, yaitu perhitungan JST dapat dilakukan secara parallel sehingga perangkat keras yang dirancang dan diproduksi secara khusus dapat mengambil keuntungan dari kemampuan ini.

Jaringan saraf tiruan adalah suatu mesin untuk dapat mengenali pola dan menghasilkan *output* berdasarkan bobot jaringan pada proses *training*. *Backpropagation* adalah salah satu metode jaringan saraf tiruan (JST). *Backpropagation* mampu memperkirakan kesalahan dengan nilai *gradient* terhadap tiap – tiap jaringan yang berada pada arsitektur JST tersebut. Dari perkiraan yang dihasilkan akan mempengaruhi pola yang akan terjadi.

Hasil *output* dikeluarkan dengan fungsi aktivasi dan menghitung besaran *error* yang dihasilkan. Apabila nilai *error* belum mencapai target yang ditentukan, maka dilakukan estimasi *error* fungsi *Mean Square Error* (MSE). MSE merupakan *cost function* yang berbentuk *quadratic* parabola. Karakteristik fungsi aktivasi dari JST *backpropagation* harus kontinu, dapat diferensiasikan, dan monoton tidak turun. Dalam proses perhitungan JST *backpropagation* ada tiga proses diantaranya yaitu

perhitungan maju (*forward*), perhitungan mundur (*backpropagation*), dan perubahan bobot dan bias.

3. METODOLOGI

3.1 Data Beban

Data rekaman gempa diperoleh dari *Website* PEER (Pacific Earthquake Engineering Research). Beban gempa yang digunakan adalah data rekaman gempa dengan *magnitude* dan tipe gempa yang berbeda yaitu gempa Kern (7,36 Reverse), Capemendocino (7,01 Reverse), Trinidad (7,2 Strike Slip), Tabas (7,35 Reverse) dan Landers (7,28 Strike Slip).

3.2 Tahap Analisis Modal

Analisis modal diperlukan dalam merencanakan struktur dari gedung bertingkat. Dengan adanya analisis modal, dapat dilihat seberapa besar suatu bangunan berperan dalam menahan gaya – gaya luar yang terjadi dan dapat melihat karakteristik dari suatu bangunan itu sendiri berdasarkan frekuensi dan perioda alami suatu bangunan tersebut. Pada tahap analisis ini juga memperlihatkan *Mass Participating Ratio* yaitu seberapa besar komponen struktur ikut berperan dalam menahan gaya luar.

Dari hasil analisis modal dengan 12 *mode shape* yang dilakukan, diperoleh nilai frekuensi pertama sebesar 0,567 siklus/det dan periode pertama yaitu sebesar 1,762 detik.

Nilai *Mass Participation Ratio* yang dihasilkan pada penelitian ini sudah mencapai nilai yang dibataskan yaitu 90% dari bangunan ikut berperan dalam menahan gaya luar. Adapun nilai *Mass Participation Ratio* dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2 Nilai Mass Participation Ratio

Output Case	Item Type	Item	Static	Dynamic
			Percent	Percent
MODAL	Acceleration	UX	99.9765	96.704
MODAL	Acceleration	UY	99.9762	97.1253
MODAL	Acceleration	UZ	1.34E-11	3.12E-12

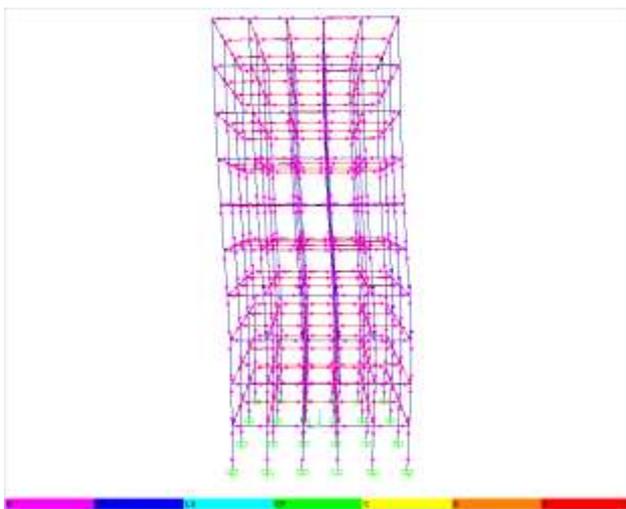
3.3 Tahap Analisis Riwayat Waktu

Tahap analisis ini dengan mendesain struktur terlebih dahulu sesuai standar mulai dari data material, profil balok, profil kolom, dan pelat lantai yang kuat terhadap beban modal. Setelah mendapatkan dimensi struktur yang optimal, beban gempa dimasukkan kedalam program, dan analisis riwayat waktu dimulai. Dari hasil analisis riwayat waktu diperoleh, dapat dikeluarkan hasil analisis non-linier yaitu bagaimana level kinerja dari struktur bangunan tersebut dan *story drift* yang terjadi setelah diberi beban gempa yang diperoleh dari PEER. Data level kinerja struktur dan *story drift* yang terjadi perlu dikumpulkan untuk dapat digunakan sebagai data *output* yang akan di proses dalam *Neural Network Tools* (nntool) dari MATLAB berlisensi.

Berikut ini adalah penjelasan tahap analisis dengan bantuan *software* elemen hingga:

1. Model struktur dengan data material dan dimensi berdasarkan data desain struktur. Pemodelan dilakukan dengan menentukan material yang digunakan pada struktur dan setiap elemen dimulai dari balok, kolom, pelat lantai, hingga atap.
2. Data *input* terdiri dari data beban mati dan beban hidup dilanjutkan dengan *running* analisis model struktur tersebut untuk melihat perubahan bentuk akibat beban itu sendiri.
3. Data analisis riwayat waktu ditentukan dengan memulai dari skala gedung itu dibangun. Lalu menentukan analisis beban menjadi non-linier.
4. Nilai batas plastis ditentukan berdasarkan FEMA 356.
5. Perilaku struktural dari analisis riwayat waktu ditampilkan dalam bentuk perpindahan.
6. Level dari kinerja bangunan dilihat dari penyebab akibat beban gempa berdasarkan riwayat waktu.

Hasil analisis riwayat waktu dapat menampilkan hasil kinerja dari suatu struktur yang dimodelkan. Pada penelitian ini, level dilihat setiap 0,01 detik, yaitu kinerja suatu struktur dilihat setiap 0,01 detik apakah sudah terjadi kerusakan akibat gempa. Analisis riwayat waktu memanfaatkan sendi plastis (*hinges*) untuk menentukan jumlah nilai kerusakan yang ditoleransi oleh FEMA 356 berdasarkan material yang digunakan. Dalam penelitian ini menggunakan nilai indeks kerusakan untuk IO sebesar 0.005, LS sebesar 0.015, dan CP sebesar 0.02. Adapun hasil *output* dari analisis riwayat waktu dapat dilihat pada Gambar 1 berikut ini.



Gambar 1 Hasil kinerja struktur bangunan menggunakan Analisis Riwayat Waktu

3.4 Tahap Analisis Jaringan Saraf Tiruan

JST adalah perangkat yang ditujukan untuk menghitung sebagaimana kinerja proses biologi otak manusia. Otak manusia memiliki jaringan saraf yang banyak dan saling terhubung satu dan lainnya. Arsitektur

algoritma ini memiliki 3 (tiga) lapisan yang terdiri dari *input*, *hidden*, dan *output*.

Dalam metode JST, jaringan diberikan pola *input* sebagai pola pelatihan, pola akan mengarah pada unit lapisan tersembunyi dan diteruskan pada unit lapisan *output*. Setelah proses ini, unit lapisan *output* akan memberi respons yang disebut sebagai jaringan *output* ketika jaringan *output* tidak memproduksi *output* yang dengan apa yang diharapkan akan menyebar mundur ke lapisan tersembunyi dan meneruskan ke unit lapisan *input*. Oleh karena itu mekanisme ini disebut pelatihan *backpropagation*.

Data respon struktur berupa *displacement*, *velocity*, dan *acceleration* yang dikumpulkan akan digunakan sebagai data input. Sedangkan data *target* yang digunakan adalah data kinerja struktur yang dihasilkan oleh *software finite element* berdasarkan nilai *acceptance criteria* yang dikeluarkan oleh FEMA 356 dan *story drift* yang ditetapkan oleh SNI 1726-2019. Dengan bantuan *Neural Network Tools* (nntool) dari MATLAB berlisensi, kinerja struktur dari gedung dapat diprediksi tanpa harus melakukan *running software finite element* dan memasukkan data gempa satu persatu dari awal. Data *output* dari pemrosesan data JST akan di plot pada grafik dan menunjukkan seberapa besar data yang *error* (MSE) dan R^2 yang dihasilkan dari program. Selain itu, hasil dapat dibandingkan dengan hasil yang diperoleh dari *software finite element*.

3.4.1 Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah respons struktur dan kinerja struktur dari model gedung hasil analisis riwayat waktu (*time history*) dengan bantuan *software finite element* yang telah diberi beban gempa tambahan yang mana beban gempa digunakan terlampir pada lampiran. Adapun distribusi data yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Data respon struktur gedung digunakan sebagai data yang akan diperoleh pembobotannya yang menggunakan algoritma *backpropagation*.
2. 60% dari total data digunakan sebagai data pelatihan (*training*) pada algoritma *backpropagation*.
3. 40% dari total data digunakan sebagai data pengujian (*testing*) dan validasi (*validating*) pada algoritma *backpropagation*.
4. Seluruh data digunakan sebagai data *input* data validasi (*validating*) pada algoritma *backpropagation*.

Dari hasil analisis riwayat waktu, dapat dikumpulkan data – data berikut yang dapat digunakan sebagai data *input* berupa data respon struktur dan data *target* pada JST. Secara garis besar, data *input* dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Data Respon Struktur sebagai Data Input

No	Gempa (g)	Waktu (detik)	Acceleration X (g)	Acceleration Y (g)	Velocity X (m/s)	Velocity Y (m/s)	Displacement X (m)	Displacement Y (m)
1	Capemendocino	0	0	0	0	0	-0.09873	-0.0746
2	Capemendocino	0.01	-0.22588	-0.22588	-0.00113	-0.00113	-0.09873	-0.0746
3	Capemendocino	0.02	-0.2271	-0.22711	-0.00339	-0.00339	-0.09876	-0.07463
4	Capemendocino	0.03	-0.23069	-0.23071	-0.00568	-0.00568	-0.0988	-0.07467
5	Capemendocino	0.04	-0.2343	-0.23435	-0.00801	-0.00801	-0.09887	-0.07474
...
315	Kern	0	0	0	0	0	-0.09873	-0.0746
316	Kern	0.01	0.00177	0.00177	0.00001324	0.00001324	-0.09873	-0.0746
317	Kern	0.02	0.00177	0.00177	0.0000309	0.0000309	-0.09873	-0.0746
...
1324	Tabas	0.07	-0.00196	-0.00196	-0.0001359	-0.0001359	-0.09873	-0.0746
1325	Tabas	0.08	-0.00226	-0.00227	-0.000157	-0.0001571	-0.09873	-0.0746
1326	Tabas	0.09	-0.00266	-0.00266	-0.0001816	-0.0001817	-0.09873	-0.0746
...
2816	Trinidad	3.64	-0.38423	-0.23789	-0.01713	-0.0568	-0.10476	-0.07763
2817	Trinidad	3.65	-0.34872	-0.30179	-0.02081	-0.05956	-0.10495	-0.07821
2818	Trinidad	3.66	-0.28667	-0.32481	-0.02404	-0.06279	-0.10518	-0.07882
...
4481	Landers	13.44	0.82446	0.68618	0.04961	0.02599	-0.20635	-0.1129
4482	Landers	13.45	0.71938	0.5557	0.05724	0.0321	-0.20581	-0.1126
4483	Landers	13.46	0.67757	0.53072	0.06421	0.03707	-0.20521	-0.11226
4484	Landers	13.47	0.84128	0.35693	0.07148	0.04147	-0.20453	-0.11186
4485	Landers	13.48	0.99837	0.23605	0.08044	0.04408	-0.20377	-0.11143
4486	Landers	13.49	1.2321	0.11153	0.09075	0.04589	-0.20292	-0.11098
4487	Landers	13.5	1.24031	-0.01258	0.10343	0.04581	-0.20195	-0.11052
4488	Landers	13.51	1.17662	-0.3464	0.11554	0.04391	-0.20085	-0.11007
4489	Landers	13.52	1.10608	-0.4014	0.11934	0.04265	-0.20046	-0.10993

Sedangkan data *target* yang digunakan berdasarkan data kinerja struktur akibat beban gempa hasil analisis riwayat waktu yang mana dapat di train agar dapat mempelajari pola dari analisis tersebut. Secara garis besar, data *target* yang akan digunakan dalam analisis JST berikut dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Data Kinerja Struktur Hasil Analisis Riwayat Waktu & Story Drift (Target)

No	Gempa (g)	Waktu (detik)	Kerusakan	Story Drift (m)	
				Arah X	Arah Y
1	Capemendocino	0	0	0.00268	0.0022
2	Capemendocino	0.01	0	0.00268	0.00219
3	Capemendocino	0.02	0	0.00269	0.0022
4	Capemendocino	0.03	0	0.00268	0.0022
5	Capemendocino	0.04	0	0.00268	0.0022
...
315	Kern	0	0	0.00268	0.0022
316	Kern	0.01	0	0.00268	0.0022
317	Kern	0.02	0	0.00268	0.0022
...
1324	Tabas	0.07	0	0.00268	0.0022
1325	Tabas	0.08	0	0.00268	0.00219
1326	Tabas	0.09	0	0.00268	0.00219
...
2816	Trinidad	3.64	0.001	0.00226	0.0021
2817	Trinidad	3.65	0.001	0.00238	0.00213
2818	Trinidad	3.66	0.001	0.0025	0.00218
...
4481	Landers	13.44	0.001	0.00883	0.00337
4482	Landers	13.45	0.001	0.00873	0.00324
4483	Landers	13.46	0.001	0.00872	0.0031
4484	Landers	13.47	0.001	0.00877	0.00292
4485	Landers	13.48	0.001	0.00886	0.0027
4486	Landers	13.49	0.001	0.00893	0.00244
4487	Landers	13.5	0.001	0.00892	0.00214
4488	Landers	13.51	0.001	0.00878	0.00181
4489	Landers	13.52	0.001	0.00871	0.00189

3.4.2 Algoritma Backpropagation

Dalam penelitian ini algoritma *backpropagation* menggunakan kumpulan data *input* dan *output* yang sama (m atau n sama). Untuk menghasilkan pelatihan *backpropagation* dengan ordo matriks yang baik, maka

struktur jaringan yang akan dibangun harus memiliki m *input* dan n *neuron*.

3.4.3 Pengujian Jaringan

Setelah diperoleh korelasi yang terbaik dengan *error* yang minimal, dilakukan pengujian jaringan dengan data uji. Dari hasil pengujian akan diketahui korelasi antara data *input* uji (data *displacement*, *velocity*, dan *acceleration* struktur) dengan *target* (struktur dalam bentuk IO, LS, dan CP) dan nilai *story drift* yang dihasilkan oleh pemodelan JST menggunakan model yang telah dibentuk pada proses pelatihan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Kinerja Struktur berdasarkan FEMA 356

FEMA 356 telah menetapkan nilai indeks kerusakan yang masih dapat ditoleransi dengan beberapa kategori, yaitu IO, LS dan CP. Adapun nilai – nilainya yaitu IO sebesar 0,005, LS sebesar 0,015, dan CP sebesar 0,02. Analisis ini menghasilkan titik – titik mana yang mengalami kerusakan setelah diberikan beban. Dari analisis ini dapat dilihat pada detik keberapa struktur mengalami kerusakan dan data tersebut disusun dalam tabel sebagai mana yang disusun pada Tabel 5 berikut.

Hasil ini menunjukkan bahwa gempa Capemendocino menyebabkan kerusakan bangunan pada level IO pada detik ke 3,13. Sedangkan gempa lainnya masih dikategorikan aman menurut standar yang ditetapkan oleh FEMA 356. Adapun hasil analisis kinerja struktur berdasarkan FEMA 356 ini dapat dilihat sebagaimana pada Gambar 1.

Tabel 5 Hasil Kinerja berdasarkan FEMA 356

No	Gempa (g)	Waktu (detik)	Kerusakan
1	Capemendocino	0	SAFE
2	Capemendocino	0.01	SAFE
3	Capemendocino	0.02	SAFE
4	Capemendocino	0.03	SAFE
5	Capemendocino	0.04	SAFE
...
315	Kern	0	SAFE
316	Kern	0.01	SAFE
317	Kern	0.02	SAFE
...
1324	Tabas	0.07	SAFE
1325	Tabas	0.08	SAFE
1326	Tabas	0.09	SAFE
...
2816	Trinidad	3.64	B
2817	Trinidad	3.65	B
2818	Trinidad	3.66	B
...
4481	Landers	13.44	B
4482	Landers	13.45	B
4483	Landers	13.46	B
4484	Landers	13.47	B
4485	Landers	13.48	B
4486	Landers	13.49	B
4487	Landers	13.5	B
4488	Landers	13.51	B
4489	Landers	13.52	B

4.2. Kinerja Berdasarkan SNI 1726-2019

Dalam analisis ini hanya dapat melihat seberapa besar nilai simpangan yang terjadi akibat beban gempa yang diberikan. Dalam penelitian ini diambil salah satu titik yang ditinjau untuk mendapatkan nilai simpangan antar lantai yang terjadi.

Hasil dari analisis ini tetap memenuhi persyaratan yang ditetapkan yaitu tidak lebih dari 0,125 m (0,025 tinggi lantai sebelumnya). Daripada ini akan digunakan sebagai data target untuk analisis JST berikutnya. Untuk data hasil analisis dapat dilihat pada Tabel 6 berikut ini.

Tabel 6 Hasil Kinerja berdasarkan SNI 1726-2019

No	Gempa (g)	Waktu (detik)	Story Drift (m)	
			Arah X	Arah Y
1	Capemendocino	0	0.00268	0.0022
2	Capemendocino	0.01	0.00268	0.00219
3	Capemendocino	0.02	0.00269	0.0022
4	Capemendocino	0.03	0.00268	0.0022
5	Capemendocino	0.04	0.00268	0.0022
.
.
315	Kern	0	0.00268	0.0022
316	Kern	0.01	0.00268	0.0022
317	Kern	0.02	0.00268	0.0022
.
.
1324	Tabas	0.07	0.00268	0.0022
1325	Tabas	0.08	0.00268	0.00219
1326	Tabas	0.09	0.00268	0.00219
.
.
2816	Trinidad	3.64	0.00226	0.0021
2817	Trinidad	3.65	0.00238	0.00213
2818	Trinidad	3.66	0.0025	0.00219
.
.
4481	Landers	13.44	0.00883	0.00337
4482	Landers	13.45	0.00873	0.00324
4483	Landers	13.46	0.00872	0.0031
4484	Landers	13.47	0.00877	0.00292
4485	Landers	13.48	0.00886	0.0027
4486	Landers	13.49	0.00893	0.00244
4487	Landers	13.5	0.00892	0.00214
4488	Landers	13.51	0.00878	0.00181
4489	Landers	13.52	0.00871	0.00169

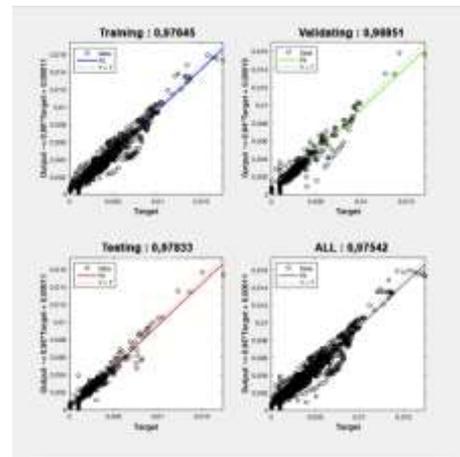
4.3 Analisis Jaringan Saraf Tiruan

Dalam penelitian ini, dilakukan jenis *transfer function* Tan-Sigmoid. Pada penelitian ini menggunakan *hidden layer* sebanyak 2n+1 dengan n adalah banyaknya data *input* 7 buah (waktu, *displacement* arah x, *displacement* arah y, *velocity* arah x, *velocity* arah y, *acceleration* arah x dan *acceleration* arah y). Sehingga dengan aturan 2n+1 maka diperoleh 15 layer, sehingga dari itu pada penelitian ini menggunakan 15 *hidden layer*. Untuk data *target* terdiri dari 3 buah (Kinerja struktur oleh FEMA 356, *story drift* arah x, dan *story drift* arah y).

Hasil analisis dari setiap *transfer function* ini berbeda – beda, mulai dari nilai *performance* nya, *training state* nya, hingga nilai regresi yang dihasilkan. Tan-Sigmoid bekerja seperti secara *hyperbolic* yaitu fungsi sigmoid tangen yang digunakan sebagai fungsi aktivasi. Fungsi ini akan membawa nilai *input* pada

output dengan menggunakan rumus *hyperbolic tangen sigmoid*. Dalam analisis ini membutuhkan perhitungan iterasi / *epoch* hanya sebanyak 13 kali dari 1000 *epoch* yang ditentukan. Untuk *performance* data yang diprediksi mendekati garis yang diharapkan mulai dari epoch ke 9 dan pada *epoch* ke 13 dengan MSE 1,2449.E-07 analisis berhenti karena garis validasi (*validating*) telah mencapai garis yang diharapkan.

Pada Gambar 2 dapat dilihat bahwa *training data* yang dihasilkan sebesar 97,645%, data validasi (*validating*) sebesar 96,851%, *testing* sebesar 97,833%, dan untuk keseluruhan sebesar 97,542%. Dari hasil analisis diatas dapat disimpulkan data – data yang terlihat bahwa data yang memiliki nilai kepercayaan dan keakuratan yang cukup besar yaitu sebesar 97,542% serta garis regresi data mendekati garis yang diharapkan sehingga data hasil prediksi dari analisis dengan *transfer function* tan-sigmoid ini dapat dipercaya kebenarannya. Pada analisis tan-sigmoid ini dapat dilihat hasil analisis yang dihasilkan pada Gambar 2 berikut ini.



Gambar 2 Plot Grafik regresi analisis Tan-Sigmoid

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari analisis yang dilakukan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut

1. Analisis Modal, dalam analisis ini dihasilkan frekuensi sebesar 0,56748 siklus/detik dan Periode sebesar 1,762186 detik. Sedangkan nilai *Mass Participating Ratio* sudah memenuhi standar yang ditetapkan oleh SNI 1726-2019 yaitu lebih dari 90%.
2. Analisis Riwayat Waktu yang dilakukan diperoleh nilai kinerja struktur yang disesuaikan dengan standar FEMA 356 dan gempa Capemendocino menunjukkan kerusakan pada level IO serta *story drift* yang dihasilkan dari analisis ini tidak ada yang melewati batas yang ditetapkan yaitu kecil dari 0,125 m (0,025h_x),

3. Analisis Jaringan Saraf Tiruan dengan *transfer Function* Tan-Sigmoid menghasilkan nilai – nilai sebagai berikut:

- a. Training = 97,645%
- b. Validating = 96,851%
- c. Testing = 97,833%
- d. All = 97,542%
- e. MSE = 1,2449 E-07

Dari *transfer function* yang digunakan dapat diambil kesimpulan bahwa, Tan-Sigmoid memperoleh nilai regresi terbesar yaitu 97,542% nilai ini tergolong sangat kuat dan dapat dipercaya hasil prediksinya. Dari nilai ini dapat ditarik kesimpulan bahwa hasil analisis ini menggambarkan nilai kesalahan yang sangat kecil sehingga *transfer function* ini dapat diandalkan untuk memprediksi nilai kinerja struktur.

Dalam penelitian ini tidak lepas dari saran yang sekiranya dapat penulis sampaikan diantaranya sebagai berikut.

1. Desain gedung agar tidak menggunakan desain yang terlalu kuat dan kaku seperti pemilihan dimensi, mutu material, tulangan, dan faktor lainnya yang menyebabkan tidak mudah runtuh saat diberi beban gempa.
2. Jaringan Saraf Tiruan membutuhkan data yang sangat banyak dan bervariasi untuk memperoleh nilai prediksi yang lebih akurat. Sehingga lebih baik jika data terdiri dari gempa yang bervariasi dengan intensitas rendah, sedang, dan tinggi.
3. Untuk pengaturan jaringan, banyaknya *hidden layer* yang digunakan perlu bervariasi untuk dibandingkan dengan pengaturan jaringan lainnya agar dapat terlihat seberapa besar perbedaan yang dihasilkan.
4. Untuk algoritma pada *training* data, perlu ada pembandingan antara metode *training* Levenberg-marquardt (trainlm) yang digunakan terhadap metode *training* Bayesian Regularization (trainbr) dan Scale Conjugate Gradient (trainscg).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Adnan, A., Suryanita, R. (2012). Intelligent Monitoring System on Prediction of Building Damage Index using Neural-Network. TELKOMNIKA, 10(1), 155–164.
- [2] American Society of Civil Engineers (ASCE); Federal Emergency Management Agency (FEMA). FEMA 356 Prestandard. , (2000).
- [3] Badan Standardisasi Nasional. Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung. , Pub. L. No. 1726 (2012).
- [4] Chopra, A. K. (2012). Dynamics of Structures (4th ed.).
- [5] Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan. Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG). , (1983).
- [6] Elhifnawy, L., Abou-elfath, H., & El-hout, E. (2017). Inelastic performance of RC buildings subjected to near-source multi-component earthquakes. Alexandria Engineering Journal, 56(4), 511–522. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2017.03.023>
- [7] Fawzy, D. E., & Arslan, G. (2015). Development of Building Damage Functions for Big Earthquakes in Turkey. Procedia - Social and Behavioral Sciences, 195, 2290–2297. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.06.179>
- [8] Goel, A., Kamatchi, P., & Jayabalan, P. (2016). ANN based methodology for active control of buildings for seismic excitation for different seismic zones of India. IFAC-PapersOnLine, 49(1), 95–99. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.03.035>
- [9] Hendra, J., Suryanita, R., & Yuniarto, E. (2015). Prediksi Respons Struktur Bangunan Berdasarkan Spektra Gempa Indonesia Di Pulau Sumatera Menggunakan Jaringan Saraf Tiruan. Jom FTEKNIK, 2(2), 1–11.
- [10] Hosseini, M., Hashemi, B., & Safi, Z. (2017). Seismic Design Evaluation of Reinforced Concrete Buildings for Near-Source Earthquakes by Using Nonlinear Time History Analyses. Procedia Engineering, 199, 176–181. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.09.225>
- [11] Khademi, F., Akbari, M., & Nikoo, M. (2017). Displacement determination of concrete reinforcement building using data-driven models. International Journal of Sustainable Built Environment, 6(2), 400–411. <https://doi.org/10.1016/j.ijse.2017.07.002>
- [12] Mahmoud, S. (2019). Horizontally connected high-rise buildings under earthquake loadings. Ain Shams Engineering Journal, 10(1), 227–241. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2018.12.007>
- [13] Nourani, V., Baghanam, A. H., Vousoughi, F. D., & Alami, M. T. (2012). Classification of Groundwater Level Data Using SOM to Develop ANN-Based Forecasting Model. 2(1), 464–469.
- [14] Setiawan, B., Suryanita, R., & Djauhari, Z. (2017). Prediksi Tingkat Kinerja Struktur Gedung Kantor. Jurnal Teknik Sipil Siklus, 3(2), 107–116.
- [15] Suryanita, R. (2015). Prediksi Kerusakan Model Tiang Jembatan Beton Bertulang Berdasarkan Mutu Beton Dengan Metode Jaringan Saraf Tiruan. Annual Civil Engineering Seminar (ACES), (November), 368–375.