

LAPORAN TAHUN TERAKHIR
PENELITIAN DASAR UNGGULAN PERGURUAN TINGGI



**RESPONS STRUKTUR BANGUNAN BERTINGKAT DI
WILAYAH MIKROZONASI GEMPA INDONESIA
MENGUNAKAN METODE JARINGAN SYARAF TIRUAN**

Tahun Ke 2 dari Rencana 2 Tahun

Dr. Reni Suryanita, ST., MT.
Ir. Harnedi Maizir, MT, PhD

NIDN. 0023077302
NIDN. 1023067002

Dibiayai oleh:

Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat Direktorat Jenderal
Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Riset, Teknologi, dan
Pendidikan Tinggi Sesuai dengan Kontrak Penelitian Nomor:
095/SP2H/LT/DRPM/IV/2017

UNIVERSITAS RIAU
OKTOBER 2017

HALAMAN PENGESAHAN

Judul : Respons Struktur Bangunan Bertingkat Di Wilayah Mikrozonasi Gempa Indonesia Menggunakan Metode Jaringan Syaraf Tiruan (JST)

Peneliti/Pelaksana
Nama Lengkap : Dr RENI SURYANITA, S.T, M.T
Perguruan Tinggi : Universitas Riau
NIDN : 0023077302
Jabatan Fungsional : Lektor Kepala
Program Studi : Teknik Sipil
Nomor HP : +62 8127513783
Alamat surel (e-mail) : reni.suryanita@eng.unri.ac.id

Anggota (1)
Nama Lengkap : Ir HARNEDI MAIZIR M.T, Ph.D
NIDN : 1023067002
Perguruan Tinggi : Sekolah Tinggi Teknologi Pekanbaru

Institusi Mitra (jika ada)
Nama Institusi Mitra : -
Alamat : -
Penanggung Jawab : -
Tahun Pelaksanaan : Tahun ke 2 dari rencana 2 tahun
Biaya Tahun Berjalan : Rp 93,000,000
Biaya Keseluruhan : Rp 143,000,000

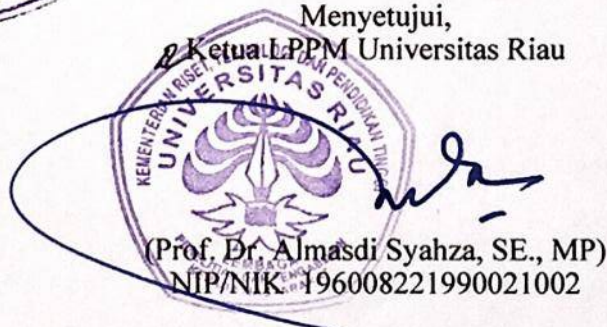
Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknik UR



Kota Pekanbaru, 30 - 10 - 2017
Ketua,

(Dr RENI SURYANITA, S.T, M.T)
NIP/NIK 197307231998032008

Menyetujui,
Ketua LPPM Universitas Riau



RINGKASAN

Perencanaan struktur bangunan bertingkat di Indonesia harus melibatkan perhitungan beban gempa yang diperkirakan di dalam desain awal suatu perencanaan. Perencanaan seismik di dalam desain ini tidak bisa diabaikan mengingat Indonesia merupakan salah satu negara yang rawan resiko kegempaan. Hal ini menyebabkan menjamurnya penelitian-penelitian ketekniksipilan yang menggunakan perencanaan seismik di Indonesia. Berdasarkan hasil penelitian para peneliti terdahulu, sebagian besar kota-kota besar di Indonesia mengalami perubahan nilai spektra percepatan desain gempa untuk berbagai tipe tanah berdasarkan SNI Gempa 2012. Untuk itu perlu diidentifikasi respons struktur bangunan bertingkat di wilayah mikrozonasi gempa Indonesia sehingga diperoleh gambaran bagi praktisi dan akademisi bagaimana respons bangunan yang akan terjadi untuk tipe tanah lunak, tanah sedang dan tanah keras di wilayah perkotaan terutama pada daerah rawan gempa. Berbagai metode yang digunakan dalam perencanaan seismik ikut dikembangkan untuk mengetahui perilaku, kinerja dan gaya-gaya dalam yang bekerja pada komponen struktur bangunan. Seiring dengan perkembangan teknologi yang semakin pesat, telah menyebabkan berbagai inovasi dalam memprediksikan respons struktur bangunan pada daerah rawan gempa. Studi ini telah mengkaji dan memperkirakan respons bangunan yang terjadi dengan metode Jaringan Sarat Tiruan (JST). Metode Jaringan Sarat Tiruan (*Artificial Neural Networks*) walaupun sudah lama dikenal di bidang kesehatan dan sains namun metode ini relatif baru berkembang di bidang Teknik Sipil, yaitu dimulai pada era tahun 1990 an. Penelitian bidang struktur bangunan di Indonesia yang menggunakan metode Jaringan Sarat Tiruan pun belum banyak dilakukan dan bahkan belum ditemukannya publikasi yang membahas respons struktur bangunan dengan metode Jaringan Saraf Tiruan (JST). Dengan dilaksanakannya studi ini pada tahun 1 penelitian dari 2 tahun yang direncanakan, telah menghasilkan berbagai luaran penelitian. Keluaran pertama dan merupakan keluaran wajib pada penelitian Fundamental ini adalah telah di-*submit* artikel pada KSCE Journal of Civil Engineering (SJI=Q3, IF=0.355). Keluaran kedua, model jaringan saraf tiruan untuk prediksi respons struktur dengan nama Neural Networks Tool yang dibuat menggunakan bahasa pemrograman Visual Basic. Keluaran ketiga, artikel ilmiah yang telah dipublikasikan pada seminar internasional Engineering & Technology, Computer, Basic & Applied Sciences (ECBA) 28-29 Mei 2016 di Osaka Jepang dengan Prosiding ISBN: 978-969-670-490-4. Keluaran keempat, artikel ilmiah yang sudah dipublikasikan pada Konferensi Nasional Teknik Sipil (KoNTekS-10) 27-28 Oktober 2016 di Yogyakarta. Keluaran kelima adalah penerbitan Buku Ajar Dinamika Struktur, Teori dan Aplikasi dengan nomor ISBN 978-979-792-712-7. Pada tahun ke 2 keluaran yang telah dicapai adalah penerbitan Hak Cipta buku ajar dengan nomor pencatatan 085528, penerbitan artikel ilmiah pada *International Journal of Technology and Engineering Studies* Volume 3 tahun 2017 serta mengikuti *International Conference on Artificial Intelligent and Applications* (ICAIA'17) di Hongkong 15-17 Maret 2017, *International Seminar on Sustainable Urban Development* (ISoSUD) di Jakarta 9 Agustus 2017, *International Conference on Earth Sciences and Engineering* di Padang 29-30 Agustus 2017. Diharapkan produk penelitian yang telah dihasilkan ini dapat memperkaya database penelitian di Indonesia dan berkontribusi dalam penentuan prediksi respons suatu bangunan tinggi di wilayah mikrozonasi gempa Indonesia dengan menggunakan metode Jaringan Saraf Tiruan.

PRAKATA

Assalamualaikum Wr.Wb.
Salam Sejahtera bagi kita semuanya.

Puji dan syukur kehadirat Allah SWT atas rahmat dan karuniaNya sehingga Penelitian Hibah Fundamental yang berjudul: Respons Struktur Bangunan Bertingkat di Wilayah Mikrozonasi Gempa Indonesia Menggunakan Metode Jaringan Saraf Tiruan ini dapat didanai Dikti dan terlaksana dengan baik. Penelitian ini dilaksanakan dalam 2 tahun, dimana tahun pertama dimulai pada tahun 2016 dan berakhir pada tanggal 30 Oktober 2017. Adapun tujuan penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi potensi Jaringan Saraf Tiruan dalam memprediksi respons struktur berdasarkan spektra gempa dan riwayat waktu gempa Indonesia. Sejauh ini tidak ditemukan kendala berarti dalam pelaksanaan penelitian. Progres penelitian telah mencapai 100% selesai serta dana yang terserap pun telah mencapai 100%.

Demikian disampaikan Laporan Tahun Terakhir (Tahun ke 2 dari 2 tahun penelitian) skema Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi (Penelitian Fundamental) 2017.

Pekanbaru 30 Oktober 2017

Dr. Reni Suryanita, MT
NIP. 19730723 199803 2 008

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
RINGKASAN	iii
PRAKATA	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN	viii
BAB 1. PENDAHULUAN	1
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	4
BAB 3. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN	8
BAB 4. METODE PENELITIAN	10
BAB 5. HASIL DAN LUARAN YANG DICAPAI	15
BAB 6. KESIMPULAN DAN SARAN	18
DAFTAR PUSTAKA	19
LAMPIRAN	20

DAFTAR TABEL

- Table.4.1** Kajian yang pernah dilakukan dan rencana kedepan
- Table.6.1** Jadwal pelaksanaan penelitian.

DAFTAR GAMBAR

- Gambar.1** Gambaran masalah yang melatarbelakangi usulan penelitian.
- Gambar.2.1** Pemodelan struktur bangunan bertingkat akibat beban gempa.
- Gambar.2.2** Road Map penelitian.
- Gambar.4.1** Fishbone diagram penelitian
- Gambar.4.2** Bagan alir penelitian
- Gambar.5.1** Screenshot model prediksi Neural Networks Tool
- Gambar.5.2** Screenshot artikel yang dipublikasikan dalam Seminar Internasional
- Gambar.5.3** Screenshot artikel yang dipublikasikan dalam seminar nasional
- Gambar.5.4** Screenshot artikel yang akan dipublikasikan dalam Seminar Internasional

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1.** Model Jaringan Saraf Tiruan untuk memprediksi respons struktur akibat gempa bumi
- Lampiran 2.** Artikel ilmiah pada *International Journal of Technology and Engineering Studies* Volume 3 tahun 2017
- Lampiran 3.** Review artikel ilmiah pada TELKOMNIKA (Telecommunication Computing Electronics and Control) Journal
- Lampiran 4.** Artikel ilmiah pada *International Conference on Artificial Intelligent and Applications* (ICAIA'17) di Hongkong 15-17 Maret 2017
- Lampiran 5.** Artikel ilmiah pada International Seminar on Sustainable Urban Development (ISoSUD) di Jakarta 9 Agustus 2017
- Lampiran 6.** Artikel ilmiah pada Internasional Conference on Earth Sciences and Engineering di Padang 29-30 Agustus 2017

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

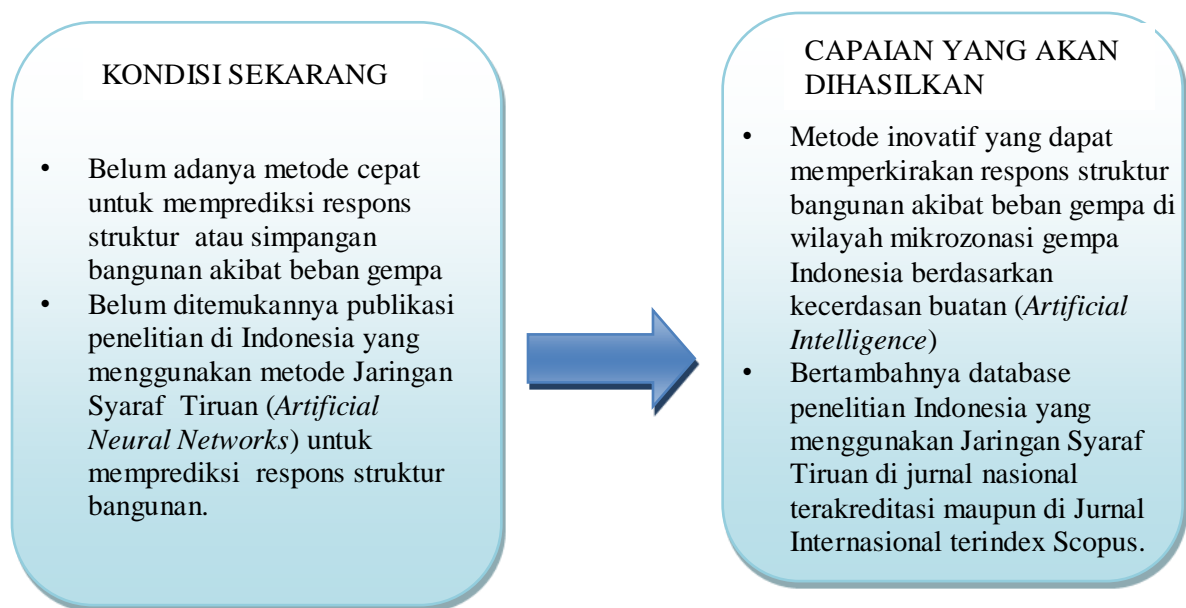
Indonesia merupakan salah satu daerah rawan gempa di dunia. Hal ini dipengaruhi oleh lokasi Indonesia yang berada pada jalur titik gempa yang disebut dengan istilah Lingkaran Api Pasifik (*Pacific Ring of Fire*). Di sepanjang Lingkaran Api Pasifik terdapat barisan gunung berapi aktif (termasuk Gunung Krakatau) dan pelat tektonik yang bergerak dan bertumbukan satu sama lain. Hal tersebut menyebabkan daerah yang dilintasi Lingkaran Api Pasifik cenderung mengalami pergerakan tanah atau gempa dengan intensitas tinggi atau berkekuatan besar.

Karakteristik gempa Indonesia yang kuat seperti yang terjadi di Aceh pada 26 Desember 2004 dengan kekuatan 9,3 Skala Richter (SR) dan yang terjadi di Kota Padang pada 30 September 2009 dengan kekuatan 7,9 SR sangat membahayakan struktur bangunan yang berdiri di atasnya, khususnya bangunan tinggi (bertingkat banyak). Bangunan tinggi cenderung mengalami goyangan yang lebih besar saat terjadi gempa dibandingkan dengan bangunan yang lebih rendah. Hal ini dikarenakan bangunan tinggi memiliki geometri yang langsing sehingga cenderung menimbulkan respons perpindahan yang lebih besar.

Seiring dengan pesatnya pembangunan di wilayah perkotaan telah menyebabkan banyaknya pembangunan gedung-gedung bertingkat tinggi yang dibuat saling berdekatan mengingat semakin terbatasnya lahan kosong yang tersedia. Ada kalanya celah antar bangunan tidak mencukupi untuk bangunan dapat bergetar bebas pada saat terjadi gempa kuat. Bahkan keruntuhan suatu bangunan pada saat terjadinya gempa kuat dapat menimbulkan keruntuhan secara beruntun pada bangunan yang berdekatan. Keruntuhan bangunan akibat gempa umumnya sangat mendadak dan berbahaya bagi proses evakuasi jika tidak didesain dengan benar. Oleh karena itu, desain struktur bangunan di wilayah mikrozonasi gempa Indonesia harus mengacu kepada Peta Gempa Indonesia dan metode desain struktur yang telah disyaratkan di dalam Standar Nasional Indonesia (SNI 1726-2012).

Studi tentang respons struktur bangunan yang menggunakan Spektra Gempa Indonesia telah banyak dijumpai diantara oleh Arfiadi dan Satyarno (2013), Faizah dan Widodo (2013), Nasution (2014) dan Waworuntu et al. (2014) namun peneliti belum menemukan adanya publikasi yang membahas penelitian terkait yang dapat memodelan dan memprediksi secara

cepat respons struktur bangunan di wilayah mikrozonasi gempa Indonesia. Sehingga perencana bangunan (konsultan perencana) memerlukan waktu yang relatif lama untuk menganalisis keadaan suatu struktur bangunan agar aman dan stabil untuk dihuni setelah terjadinya gempa bumi. Metode inovasi yang diusulkan dalam memprediksi respons struktur bangunan yang terjadi selama getaran gempa bumi ini menggunakan Jaringan Saraf Tiruan (JST) atau dikenal juga dengan *Artificial Neural Network* (ANN). JST merupakan salah satu cabang ilmu Kecerdasan Buatan (*Artificial Intelligence*) yang banyak digunakan di bidang sains dan teknologi karena mampu memodelkan hubungan antara variabel yang kompleks dengan nonlinearitas tinggi. Aplikasi JST dalam penelitian respons struktur di Indonesia belum dijumpai oleh peneliti, sehingga mendorong peneliti untuk menerapkan ilmu kecerdasan buatan ini dalam memprediksi respons struktur bangunan di wilayah mikrozonasi gempa Indonesia. Respons struktur dalam penelitian ini diprediksi berdasarkan data spektral gempa Indonesia dan data percepatan gempa yang pernah terjadi di Indonesia. Untuk lebih jelasnya, permasalahan yang melatarbelakangi penelitian ini dinyatakan dalam gap penelitian pada **Gambar.1**.



Gambar.1 Gambaran masalah yang melatarbelakangi usulan penelitian.

Berdasarkan uraian di atas, maka Penelitian Fundamental ini difokuskan untuk menganalisis respons struktur bangunan bertingkat di wilayah mikrozonasi spektra gempa Indonesia menggunakan JST. Dengan demikian, metode untuk memprediksi dan memodelkan respons struktur bangunan yang terjadi akibat gempa bumi dapat dihasilkan, sehingga

memudahkan perencana bangunan (konsultan perencana) dalam mendisain dan memperkirakan bangunan yang layak huni dengan tingkat keselamatan yang tinggi.

1.2 Permasalahan

Permasalahan yang dikaji dan diperdalam lebih lanjut pada penelitian ini dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana potensi Jaringan Saraf Tiruan dalam memprediksi respons struktur bertingkat di wilayah mikrozonasi gempa Indonesia.
2. Parameter struktur bangunan apa saja yang dapat mempengaruhi keakuratan Jaringan Syaraf Tiruan dalam memprediksi respons struktur bangunan.
3. Belum ditemukannya penelitian seismik respons struktur bangunan berdasarkan Desain Spektra Indonesia menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan.
4. Belum ditemukannya penelitian seismik yang dapat mengevaluasi respons struktur bangunan bertingkat akibat percepatan gempa Indonesia dengan analisis riwayat waktu (*time history*) menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan.

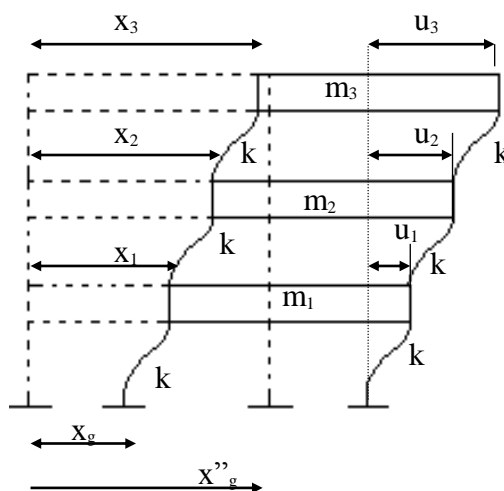
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Pada dasarnya struktur bangunan merupakan suatu sistem yang menerus (*continuous*) yang mempunyai derajat kebebasan tak berhingga, sehingga solusi persamaan gerak dinamisnya menjadi sangat kompleks. Karena itu untuk mempermudah dalam menganalisis respons struktur yang merupakan simpangan kemiringan bangunan saat bangunan diberi beban dan tanpa diberi beban, maka suatu bangunan dimodelkan sebagai sistem diskret (*discrete*). Diskretisasi merupakan proses pemodelan sistem struktur berderajat banyak dimana dengan pemodelan tersebut dapat ditentukan gaya inersia dan gaya elastik dengan jumlah derajat kebebasan yang diinginkan.

Respons struktur bangunan dapat dinyatakan dalam persamaan gerak dinamis akibat gaya gempa yang menimbulkan gaya luar berupa eksitasi pada tumpuan struktur (Chopra, 2012). Untuk struktur bangunan bertingkat, persamaan gerak dinamis dinyatakan dalam **Persamaan (2.1)** berikut:

$$\begin{aligned}
 [M]\{\ddot{x}_t\} + [C]\{\dot{x}\} + [K]\{x\} &= \{0\} \\
 [M]\{\ddot{x} + \ddot{x}_g\} + [C]\{\dot{x}\} + [K]\{x\} &= \{0\} \\
 [M]\{\ddot{x}\} + [C]\{\dot{x}\} + [K]\{x\} &= -[M]\{\ddot{x}_g\}
 \end{aligned}
 \tag{2.1}$$

dimana $[M]$, $[C]$ dan $[K]$ masing-masing merupakan matriks massa, matriks redaman dan matriks kekakuan dari sistem struktur, sedangkan \ddot{x}_t , \ddot{x}_g , dan \ddot{x} masing-masing adalah percepatan absolut massa, percepatan gempa dan percepatan relatif struktur terhadap tumpuan. Respons perpindahan akibat gempa dapat dilihat pada **Gambar 2.1**.



Gambar 2.1. Pemodelan struktur bangunan bertingkat akibat beban gempa

Sebagai daerah rawan gempa, Indonesia telah memiliki peta mikrozonasi yang dapat berfungsi mempermudah mitigasi sekaligus menjadi pijakan pembangunan gedung dan infrastruktur tahan gempa. Dalam merencanakan struktur bangunan bertingkat di wilayah mikrozonasi Indonesia, Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah telah mengeluarkan Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung (SNI-1726-2002, 2002). Banyak kajian kegempaan yang telah dilakukan guna mengevaluasi desain struktur bangunan berdasarkan SNI-1726-2002 ini, diantaranya; Yang (2009) telah mengeluarkan rekomendasi untuk mengevaluasi bangunan bertingkat tinggi di kota Jakarta berdasarkan kriteria desain, model analisis struktur, dan faktor reduksi kegempaan. Hasil studi Yang (2009) ini menghasilkan percepatan tanah puncak (*Peak Ground Acceleration*) untuk kota Jakarta sebesar 0.15g. Seiring dengan perubahan percepatan tanah di wilayah mikrozonasi Indonesia, Irsyam et al. (2008) telah mengembangkan peta resiko gempa (*seismic hazard map*) untuk wilayah pulau Sumatera dan pulau Jawa. Banyaknya penelitian seismik yang mendiskusikan perubahan peta kegempaan Indonesia ini, telah mendorong Badan Standarisasi Nasional untuk menyempurnakan SNI-1726-2002 menjadi SNI-1726-2012 (2012) setelah sepuluh tahun diberlakukannya SNI-1726-2002. Dengan keluarnya standar nasional yang baru pada tahun 2012, telah mendorong Arfiadi dan Satyarno (2013) serta Faizah dan Widodo (2013) untuk meneliti perbandingan respons spektra gempa pada kota-kota besar di Indonesia menggunakan kedua standard tersebut. Hasil penelitian mereka menunjukkan sebagian besar kota di Indonesia mengalami kenaikan spektrum desain percepatan dan sebagian lainnya mengalami penurunan berdasarkan SNI-1726-2012.

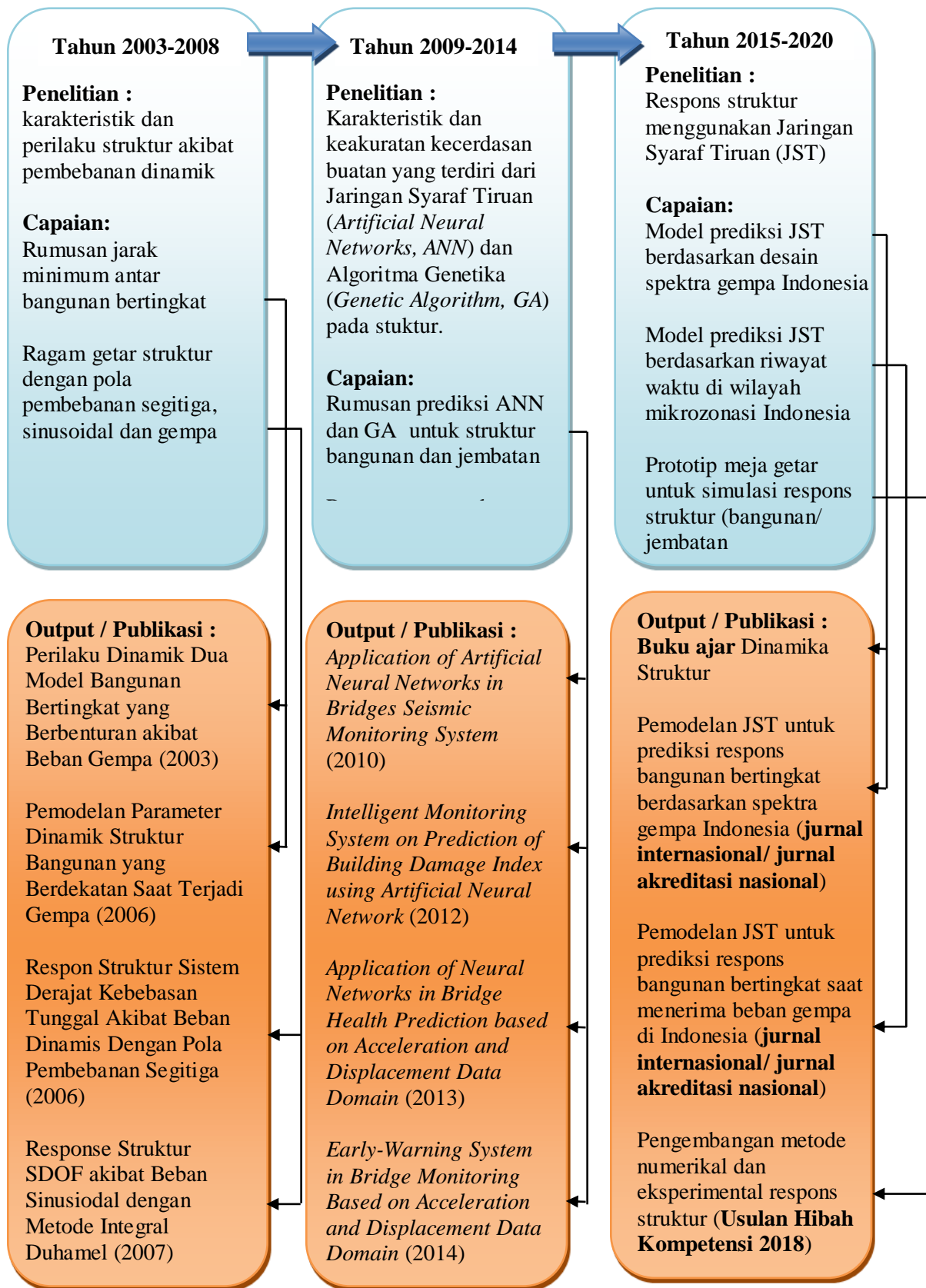
Sebelum penelitian hibah Fundamental ini dilaksanakan, peneliti telah melakukan penelitian pendahuluan tentang perilaku dinamik dua model bangunan bertingkat yang berbenturan akibat beban gempa pada tahun 2003. Penelitian ini dibiayai dengan skim dana Pengelolaan Penelitian SPP/DPP Universitas Riau (Suryanita, 2003). Sedangkan penelitian tentang pemodelan parameter dinamik struktur bangunan yang berdekatan saat terjadinya gempa telah dilakukan pada tahun 2006 dengan skim dana bantuan Forum Heds untuk dosen Fakultas Teknik pada Perguruan Tinggi di wilayah Indonesia bagian barat (Suryanita, 2006). Setelah meneliti perilaku dinamik dan memodelkan parameter yang mempengaruhinya, selanjutnya peneliti mengembangkan studi dinamika struktur ke arah pembebanan pada bangunan. Kajian pembebanan dimulai pada tahun 2006 menggunakan pola pembebanan segitiga. Hasil penelitian menunjukkan penambahan beban massa bangunan dua kali lebih besar

dari beban acuan akan menyebabkan meningkatnya perpindahan maksimum struktur, sedangkan pengurangan beban sebesar 50 persen dari beban acuan akan turut memperkecil perpindahan struktur dibandingkan dengan perpindahan yang terjadi pada struktur acuan (Suryanita et al., 2006). Penelitian dilanjutkan pada tahun 2007 dengan pembebanan harmonis menggunakan pola beban Sinusoidal sebesar $1500 \sin(\pi t/0.6)$ yang menunjukkan pertambahan massa berbanding lurus dengan pertambahan perpindahan struktur dan pertambahan kekakuan berbanding terbalik dengan pertambahan perpindahan struktur. Begitu juga dengan waktu getar (T), semakin besar waktu getar akan menyebabkan respons perpindahan struktur bertambah besar (Suryanita dan Sarfika, 2007).

Pada tahun 2010, peneliti mulai mempelajari ilmu Jaringan Syaraf Tiruan untuk diterapkan dalam disertasi doctoral dengan mengkaji kombinasi Jaringan Syaraf Tiruan (*Artificial Neural Networks*) dengan Algoritma Genetika (*Genetic Algorithm*) (Suryanita, 2014). Kombinasi kedua bidang kecerdasan buatan ini dikenal dengan nama *Neuro-Genetic Hybrids*. Penelitian pendahuluan pun telah dilakukan di bawah skim *Construction Industry Development Board (CIDB) Malaysia*. Beberapa artikel publikasi yang terkait dengan Jaringan Syaraf Tiruan telah dihasilkan oleh peneliti di dalam Seminar Internasional (Suryanita dan Adnan, 2010, Suryanita dan Adnan, 2013) maupun Jurnal terakreditasi nasional terindeks Scopus (Mardiyono et al., 2012). Bahkan Jaringan Syaraf Tiruan telah dikembangkan oleh peneliti di dalam sistem peringatan dini untuk monitoring kondisi jembatan panjang pada saat dan pasca terjadinya gempa bumi. Publikasi penelitian ini telah di terbitkan dalam bab buku (*book chapter*) yang terindex Scopus (Suryanita dan Adnan, 2014).

Jaringan Syaraf Tiruan merupakan salah satu cabang ilmu Kecerdasan Buatan (*Artificial Intelligence*) yang banyak digunakan di bidang sains dan teknologi karena mampu memodelkan hubungan antara variabel yang kompleks dengan nonlinearitas tinggi. JST dapat memperkirakan *output* berdasarkan *input* dengan kecepatan tinggi. Namun, JST harus dilatih dengan volume data yang cukup besar agar dapat memprediksi *output* dengan akurasi yang memadai. Belum ditemukannya penelitian terkait yang menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan dalam memperkirakan respons struktur bangunan di wilayah gempa Indonesia mendorong peneliti untuk mengkaji lebih dalam tentang aplikasi JST ini. Sementara itu, penelitian di luar Indonesia sudah banyak yang telah mendiskusikan desain respons struktur menggunakan JST seperti Möller et al. (2010) dan Bojórquez et al. (2012).

Adapun *road map* penelitian dapat dijelaskan pada **Gambar 2.2**.



Gambar 2.2 Road Map Penelitian

BAB 3. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

Untuk menyelesaikan permasalahan yang ada pada kondisi sekarang, perlu dirumuskan tujuan penelitian yaitu untuk:

1. Menganalisis potensi Jaringan Saraf Tiruan dalam memprediksi respons struktur bangunan bertingkat yang menerima beban gempa berdasarkan mikrozonasi Peta Gempa Indonesia
2. Mengevaluasi parameter penentu keakuratan Jaringan Syaraf Tiruan dalam memprediksi respons struktur bangunan bertingkat.
3. Menghasilkan metode baru dalam memprediksi respons struktur bangunan bertingkat yang akan terjadi di wilayah mikrozonasi peta gempa Indonesia dengan analisis respons spektra menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan.
4. Menghasilkan metode baru dalam evaluasi respons struktur bangunan bertingkat akibat percepatan gempa Indonesia dengan analisis riwayat waktu menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan.

1.3 Manfaat Penelitian

Untuk mewujudkan tujuan penelitian yang mempunyai kontribusi mendasar pada pengembangan bidang ilmu rekayasa struktur bangunan dan pencegahan kerusakan bangunan dari bencana gempa bumi, maka diperlukan penelitian yang melibatkan keahlian dari berbagai bidang yaitu Struktur Bangunan (*Structural Engineering*), Teknik Gempa (*Earthquake Engineering*), Dinamika Struktur (*Structural Dynamic*), dan kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*). Selain itu juga diperlukan dukungan dana untuk membiayai penelitian yang diajukan dalam Program Penelitian Hibah Fundamental. Adapun manfaat penelitian yang dapat dihasilkan melalui penelitian ini antara lain:

- Menghasilkan metode baru bagi perencana struktur bangunan Teknik Sipil (Konsultan Perencana) dalam merancang bangunan bertingkat yang stabil dan aman di daerah rawan gempa Indonesia menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan.
- Menghasilkan buku ajar bagi matakuliah Dinamika Struktur dan Teknik Gempa.
- Publikasi pada seminar nasional maupun seminar Internasional
- Publikasi artikel pada jurnal nasional maupun jurnal internasional.
- Menambah *database* penelitian yang berkaitan dengan aplikasi Jaringan Saraf Tiruan dalam analisis struktur bangunan terhadap gempa.

Untuk itu kegiatan penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi :

1. Bagi akademisi dan peneliti

- Meningkatkan peran institusi, dosen dan peneliti sebagai pelopor dalam melakukan penelitian untuk menciptakan inovasi dan mengembangkan ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang struktur bangunan.

2. Bagi konsultan perencana bangunan (praktisi)

- Mendapatkan gambaran awal seberapa besar simpangan bangunan yang akan terjadi jika bangunan menerima beban gempa, sehingga konsultan mendapatkan alternatif perencanaan struktur bangunan yang tepat untuk daerah rawan gempa.

BAB 4. METODE PENELITIAN

Metode penelitian dalam pelaksanaan hibah Fundamental ini meliputi penelitian Tahun I dan Tahun II yang masing-masing tahapan dapat dijelaskan sebagai berikut:

a. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan menelaah artikel peneliti terdahulu yang telah dipublikasikan dalam jurnal ilmiah dan seminar baik berskala nasional maupun internasional, dan berbagai buku guna memahami permasalahan dan penggunaan metode Jaringan Syaraf Tiruan (JST) dalam aplikasi Teknik Sipil. Selain mempelajari penerapan JST pada kasus-kasus yang sudah dipublikasikan, juga dipelajari artikel-artikel yang mendiskusikan respons struktur akibat pembebanan dinamik khususnya beban gempa, baik yang pernah terjadi di Indonesia maupun gempa yang terjadi di luar Indonesia. Studi literatur juga dilengkapi dengan hasil publikasi tim peneliti yang mempunyai kesamaan dalam bidang JST. Tim peneliti mendapat kemudahan memperoleh artikel ilmiah secara online baik yang berbayar maupun yang tidak dapat diakses dari Indonesia karena tidak berlangganan. Kemudahan ini dikarenakan tim peneliti mempunyai jaringan komunitas peneliti *Artificial Neural Networks* dan peneliti kegemampuan melalui jaringan internet yang siap membantu dan berdiskusi dalam kedua bidang ilmu tersebut.

b. Pengumpulan Data

Data desain spektra Indonesia diperoleh berdasarkan perhitungan menggunakan rumusan yang terdapat di dalam SNI 1726-2002. Sedangkan data riwayat waktu gempa yang pernah terjadi di Indonesia diperoleh berdasarkan database penelitian sebelumnya. Untuk validasi diperlukan data skunder yang berasal dari beberapa stasiun Badan Meteorologi klimatologi dan Geofisika (BMKG) di pulau Sumatera maupun di pulau Jawa untuk mendapatkan data gempa yang terbaru yang mewakili wilayah mikrozonasi gempa Indonesia.

c. Pemodelan Elemen Hingga

Struktur dimodelkan dalam 3 tipe bangunan, yaitu bangunan tingkat rendah yaitu bangunan yang mempunyai lantai kurang dari 3 lantai, bangunan tingkat sedang, mempunyai 4 sampai 10 lantai dan bangunan tingkat tinggi dengan ketinggian lebih dari 10 lantai. Ketiga tipe model bangunan akan dianalisis menggunakan pembebanan spektra gempa dan riwayat waktu

gempa dengan bantuan software elemen hingga SAP2000. Hasil analisis diperoleh berupa ragam bentuk simpangan struktur, waktu getar dan frekuensi getar alami, serta respons struktur berdasarkan spektra dan riwayat waktu.

d. Pemodelan Jaringan Syaraf Tiruan menggunakan Data Spektra dan Riwayat Waktu

Model JST yang sudah berhasil diterapkan pada penelitian sebelumnya yaitu pada monitoring bangunan dan monitoring jembatan. Pada penelitian Fundamental ini dikembangkan model JST untuk memprediksi respons bangunan dengan penyesuaian jumlah input, *hidden node*, dan outputnya. Akurasi yang didapat pada penelitian sebelumnya sebesar 92% akan ditingkatkan lagi dengan memperbanyak data pembelajaran dan mengatur *learning rate* dan iterasinya menggunakan data gempa di wilayah mikrozonasi gempa Indonesia.

e. Validasi model Jaringan Syaraf Tiruan menggunakan data pengukuran respons struktur di lapangan.

Simulasi numerik pemodelan JST untuk data spektra dan riwayat waktu divalidasi dengan respons perpindahan pada model dengan skala sebenarnya di lapangan. Data yang tersimpan dalam data logger kemudian bisa dibaca atau diunduh oleh software berbasis JST sehingga dapat digunakan sebagai data pembelajaran dan testing. Keakuratan prediksi JST divalidasi dengan hasil pengujian dengan memberikan data respons yang berbeda dengan data pembelajaran. Setelah itu prosentase kesalahan dalam memprediksi besarnya simpangan struktur dapat ditentukan melalui Software JST yang telah tersedia pada penelitian terdahulu. Kegiatan pengujian ini dilaksanakan pada bangunan perkantoran 3 lantai dengan pemasangan peralatan sensor accelerometer pada tiap lantainya. Kegiatan ini dilaksanakan pada tahun pertama dan kedua penelitian ini.

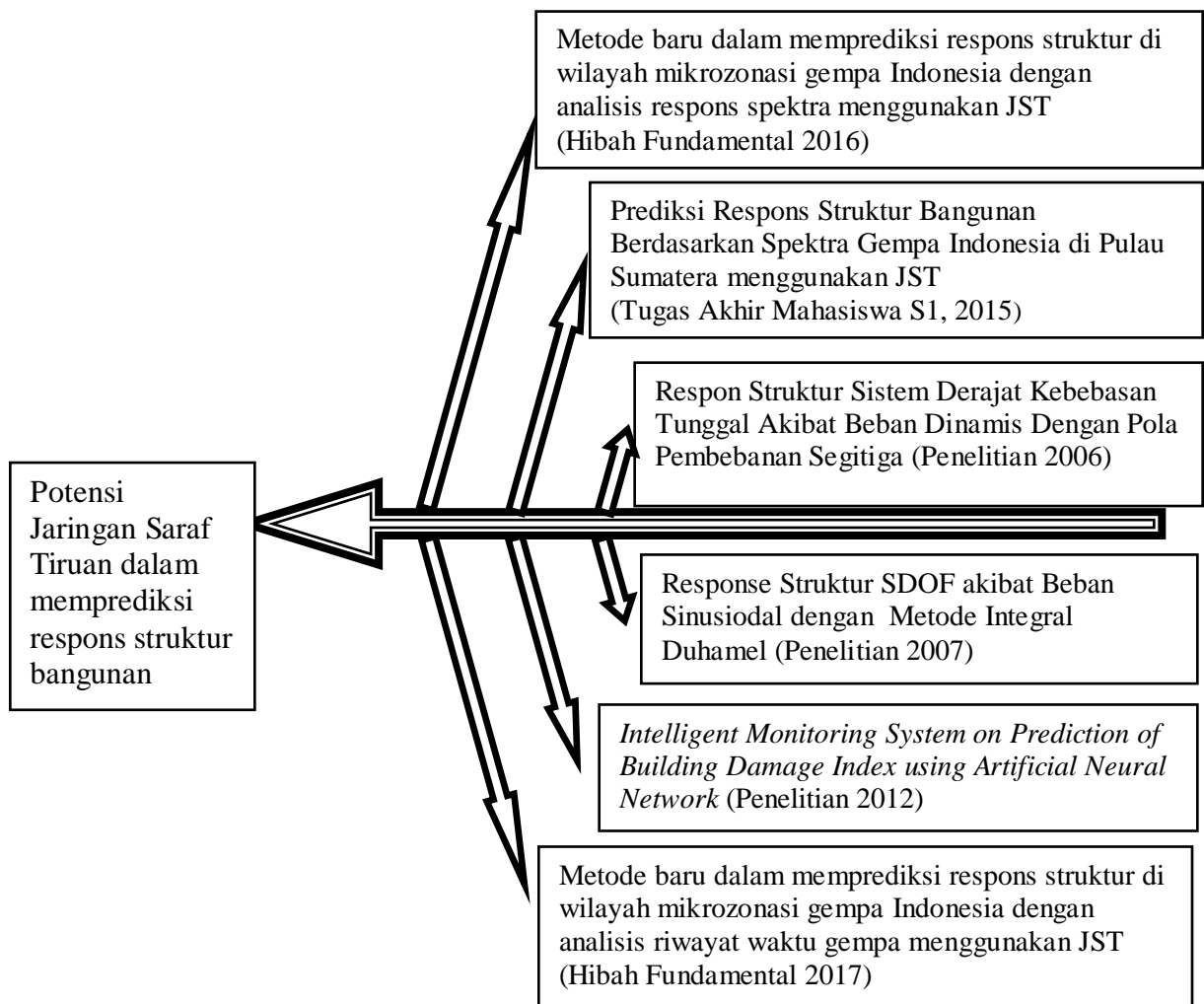
f. Analisis hasil prediksi respons struktur berdasarkan spektra gempa dan riwayat waktu gempa

Analisis dilakukan melalui data simulasi elemen hingga dan software MATLAB dengan tool Artificial Neural Network. Dari hasil simulasi dan pemodelan, pola dan model ragam respons serta keakuratan prediksi respons yang terjadi untuk bangunan bertingkat di wilayah Indonesia dapat amati. Validasi hasil dilakukan dengan melakukan monitoring bangunan secara real menggunakan peralatan sensor yang dipasang pada bangunan perkantoran.

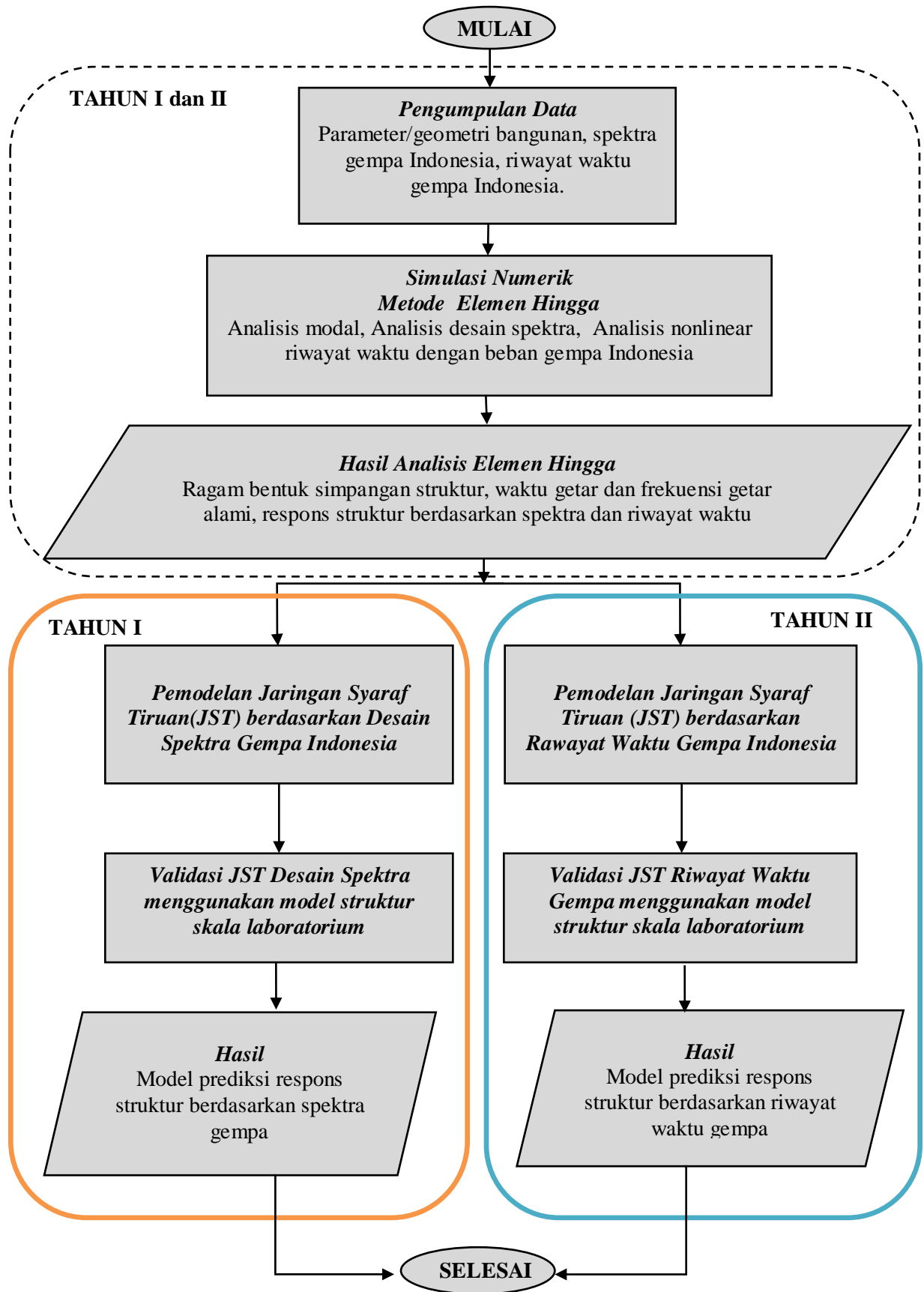
g. Pembuatan Laporan

Laporan yang dibuat meliputi tahap persiapan, pengumpulan data, pengembangan model JST, serta analisis dan pembahasannya. Semuanya dirangkum dalam laporan menurut tahun berjalan dan sebagai bahan untuk pembuatan artikel yang dipublikasikan dalam seminar nasional/internasional serta jurnal ilmiah nasional terakreditasi maupun jurnal internasional yang telah ditargetkan di dalam proposal penelitian.

Secara keseluruhan tahapan pencapaian penelitian Fundamental ini dapat digambarkan dalam *Fishbone Diagram* pada **Gambar 4.1**. Bagan alir penelitian dapat dilihat pada **Gambar 4.2**, sedangkan keluaran yang hendak dicapai dapat dilihat pada **Tabel 4.1**.



Gambar 4.1. *Fishbone Diagram* Penelitian



Gambar 4.2 Bagan Alir Penelitian

Tabel 4.1. Kajian yang pernah dilakukan dan rencana kedepan

No	Kajian	Penelitian, Th	Capaian
1	Perilaku Dinamik Dua Model Bangunan Bertingkat yang Berbenturan akibat Beban Gempa	SPP/DPP Universitas Riau, 2003	Gap minimum antar bangunan bertingkat
2	Respon Struktur Sistem Derajat Kebebasan Tunggal Akibat Beban Dinamis Dengan Pola Pembebanan Segitiga	SPP/DPP Universitas Riau, 2006	Simpangan perpindahan maksimum bangunan
3	Response Struktur SDOF akibat Beban Sinusiodal dengan Metode Integral Duhamel.	SPP/DPP Universitas Riau, 2007	Simpangan perpindahan maksimum bangunan
4	Aplikasi Jaringan Syaraf Tiruan pada sistem monitoring bangunan tinggi	Projek Penelitian ESEER UTM, 2010	Software cerdas (<i>intelligent software</i>)
5	Respons struktur bangunan bertingkat berdasarkan spektra gempa Indonesia menggunakan metode Jaringan Syaraf Tiruan	Hibah Fundamental, 2016	Model Jaringan Syaraf Tiruan respons struktur berdasarkan spektra gempa Indonesia
6	Respons struktur bangunan bertingkat berdasarkan riwayat waktu gempa Indonesia menggunakan metode Jaringan Syaraf Tiruan	Hibah Fundamental, 2017	Model Jaringan Syaraf Tiruan respons struktur berdasarkan riwayat waktu gempa Indonesia
7	Pengembangan software cerdas dan alat pengukuran respons struktur bangunan akibat beban dinamik	Hibah Penelitian Terapan (Hibah Bersaing) Tahun 2018-2020	Software cerdas dan meja getar (<i>mini shake-table</i>) untuk mengukur respons struktur.

BAB 5. HASIL DAN LUARAN YANG DICAPAI

5.1 Hasil yang dicapai

Jaringan Saraf Tiruan (JST) adalah model perhitungan yang meniru mekanisme kerja jaringan saraf makhluk hidup. JST mampu memodelkan hubungan nonlinear antara parameter *input* dan *output* dalam proses *training* dan *testing*. Di bidang Teknik Sipil khususnya analisis struktur, JST telah banyak diaplikasikan sebagai alat prediksi. Dalam penelitian ini, penggunaan JST bertujuan untuk memprediksi respons struktur gedung beton bertulang berdasarkan data beban gempa, kondisi tanah, dan geometri struktur. Data respons struktur dikumpulkan dengan melakukan analisis spektrum respons ragam untuk seluruh ibu kota provinsi di Indonesia serta kota-kota lainnya, 3 kondisi tanah, dan 3 model struktur (10 lantai, 15 lantai, dan 20 lantai) dengan bantuan *software* elemen hingga. Dengan variasi tersebut dan meninjau seluruh elevasi lantai gedung, diperoleh 1485 data respons struktur berupa simpangan, kecepatan, dan percepatan pusat lantai yang dievaluasi berdasarkan persyaratan SNI 1726-2012. Sebanyak 1080 data digunakan untuk *training* JST sedangkan 405 data lagi digunakan untuk *testing* JST dengan metode *Backpropagation* (BP). Setelah di-*training*, JST yang dihasilkan mampu memprediksi parameter simpangan dan kecepatan pusat lantai dengan tingkat akurasi berdasarkan koefisien determinasi (R^2) di atas 95%. Sedangkan untuk parameter percepatan pusat lantai, akurasinya lebih rendah, yaitu 83%. Tingkat akurasi R^2 mendekati 100% menunjukkan bahwa hasil prediksi mendekati nilai yang ditargetkan.

5.2 Luaran yang dicapai

Secara keseluruhan, kegiatan penelitian tahun pertama dan kedua telah berjalan 100%. Adapun capaian yang telah dihasilkan pada tahun ke ini adalah:

1. Telah terbitnya hak cipta buku ajar *Dinamika Struktur, Teori dan Aplikasi* kepada Departemen Hukum dan HAM dengan nomor Sertifikat Hak Cipta : 085528.
2. Telah terbitnya artikel ilmiah pada Jurnal *International Journal of Technology and Engineering Studies* Volume 3 tahun 2017.

Judul artikel:

Prediction of Structural Response Based on Ground Acceleration Using Artificial Neural Networks.

3. Telah direviewnya artikel ilmiah pada TELKOMNIKA (Telecommunication Computing Electronics and Control) Journal.

Judul artikel:

A Neuro-Genetic Hybrid on Bridge Seismic Monitoring System.

4. Artikel yang sudah dipublikasikan pada *International Conference on Artificial Intelligent and Applications* (ICAIA'17) di Hongkong 15-17 Maret 2017.

Judul artikel:

Application of Backpropagation Neural Networks in Predicting Story Drift of Building

5. Artikel ilmiah sudah dipublikasikan pada International Seminar on Sustainable Urban Development (ISoSUD) di Jakarta 9 Agustus 2017.

Judul artikel:

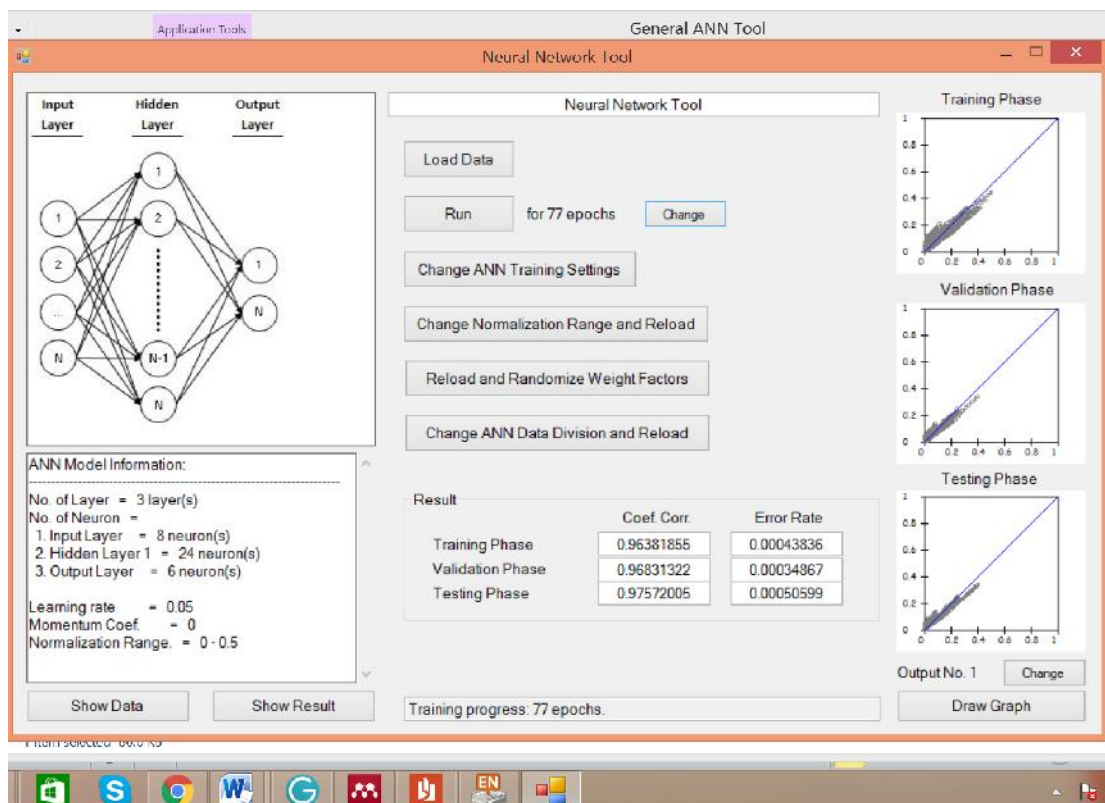
Intelligent Seismic Risk Mitigation System on Structure Building

6. Artikel ilmiah sudah dipublikasikan pada Internasional Conference on Earth Sciences and Engineering di Padang 29-30 Agustus 2017

5.2 Luaran yang dicapai

Secara keseluruhan, kegiatan penelitian tahun pertama dari rencana 2 tahun yang direncanakan, telah berjalan 100%. Adapun capaian yang telah dihasilkan adalah:

7. Pembuatan model untuk memprediksi respons struktur bangunan bertingkat menggunakan metode Jaringan Saraf Tiruan (JST) atau Artificial Neural Networks (ANN) telah berhasil diselesaikan. Model JST yang dihasilkan dibuat menggunakan bahasa pemrograman Visual Basic. Adapun screenshot model sebagai berikut:



Gambar 5.1 Screenshot Model Prediksi Neural Network Tool.

8. Artikel yang sudah dipublikasikan pada Seminar Internasional: International conference on “Engineering & Technology, Computer, Basic & Applied Sciences ECBA, 28-29 Mei 2016, Osaka, Japan. ISBN 978-969-670-466-9.

Judul artikel: Prediction of Structural Response due to Earthquake Load using Artificial Neural Networks.

9. Artikel ilmiah sudah dipublikasikan pada Seminar Nasional: KoNTekS ke 10, Konferensi Nasional Teknik Sipil ke 10, 26-27 Oktober 2016 di Yogyakarta. Prosiding ISBN: 978-602-60286-0-0

Judul Artikel: Prediksi Respons Struktur Bangunan Berdasarkan Spektra Gempa Indonesia Menggunakan Jaringan Saraf Tiruan.

10. Artikel sudah terdaftar (*submitted*) pada KSCE Journal of Civil Engineering (SJI=Q3, IF= 0.355).

Judul Artikel: Prediction of Multi-Story Building Drift Based on Indonesian Seismic Hazard Map using Artificial Neural Networks.

11. Penerbitan buku ajar matakuliah Dinamika Struktur, Teori dan Aplikasi, setebal 228 halaman, saat ini sudah di penerbit Unri Press untuk proses pengurusan ISBN dan percetakan.

BAB 6. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini telah berhasil diselesaikan dalam waktu 2 tahun. Penelitian tahun ke2 bertujuan untuk memprediksi dan mengidentifikasi respons struktur berdasarkan riwayat waktu percepatan gempa Indonesia menggunakan Jaringan Saraf Tiruan. Dalam penelitian tahun ke dua ini, data gempa akan dikumpulkan dari berbagai wilayah Indonesia, melalui Badan Meteorologi Klimatologi dan Gempa Bumi (BMKG). Sedangkan output publikasi yang sudah direncanakan adalah publikasi pada jurnal terakreditasi nasional yaitu Jurnal Teknik Sipil ITB yang direncanakan untuk penerbitan tahun 2017 dan Seminar Internasional *International Conference on Artificial Intelligent and Applications (ICAIA'17)* di Hongkong 15-17 Maret 2017, prosiding terindex Scopus.

Selain menghasilkan publikasi ilmiah pada jurnal terakreditasi nasional dan seminar internasional juga akan di publikasi artikel di seminar nasional yang merupakan ajang pertukaran ilmu dan diskusi antar peneliti di Indonesia. Untuk itu direncanakan untuk mengikuti Konferensi Teknik Sipil yang ke 11 di Universitas Tarumanegara Jakarta pada bulan Oktober 2017. Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa parameter *input* Jaringan Saraf Tiruan (JST) untuk prediksi respons struktur dapat berupa parameter gempa (PGA , S_{DS} , S_{DI} , T_0 , T_s), kondisi tanah, tinggi total struktur, dan elevasi pusat lantai yang ditinjau. Sedangkan parameter *output* JST dapat berupa simpangan pusat lantai, kecepatan pusat lantai, dan percepatan pusat lantai. Arsitektur JST yang digunakan adalah 3 lapis, yaitu *input layer* (8 neuron), *hidden layer* (24 neuron), dan *output layer* (6 neuron). Jumlah data untuk *training* JST adalah 1080 set data, sedangkan untuk *testing* JST menggunakan 405 set data. JST yang sudah di-*training* mampu memprediksi simpangan lantai dan kecepatan lantai dengan baik, yaitu dengan akurasi sekitar 95%. Namun, JST dalam memprediksi percepatan lantai akurasi lebih rendah di bandingkan simpangan dan kecepatan pusat lantai yaitu sekitar 85%. Dengan akurasi yang lebih besar dari 80% ini menunjukkan metode prediksi menggunakan JST dapat membantu memperkirakan respons struktur bangunan secara cepat dan mendekati akurasi yang tinggi. Berdasarkan pelaksanaan penelitian, dapat disimpulkan bahwa respons struktur untuk bangunan yang telah ditentukan di wilayah lokasi gempa Indonesia dapat diprediksi dengan menggunakan Jaringan Saraf Tiruan. Diharapkan model perhitungan JST ini dapat membantu perencana bangunan dalam memperkirakan respons struktur suatu bangunan yang akan direncanakan di lokasi gempa tertentu.

DAFTAR PUSTAKA

- Arfiadi, Y. & Satyarno, I. (2013). Perbandingan Spektra Desain Beberapa Kota Besar di Indonesia dalam SNI Gempa 2012 dan SNI Gempa 2002 *Konferensi Nasional Teknik Sipil 7 (KoNTeKS 7)*. Universitas Sebelas Maret (UNS) - Surakarta, 24-26 Oktober.
- Bojórquez, E., Bojórquez, J., Ruiz, S. E. & Reyes-Salazar, A. (2012). Prediction of inelastic response spectra using artificial neural networks. *Mathematical Problems in Engineering*, 2012.
- Chopra, A. K. (2012). *Dynamic of Structures, Theory and Applications to Earthquake Engineering*, Prentice Hall.
- Faizah, R. & Widodo (2013). Analisis Gaya Gempa Rencana pada Struktur Bertingkat Banyak dengan Metode Dinamik Respon Spektra. *Konferensi Nasional Teknik Sipil 7*. Universitas Sebelas Maret (UNS-Solo), 24-25 Oktober 2013.
- Irsyam, M., Dangkoa, D. T., Hoedajanto, D., Hutapea, B. M., Kertapati, E. K., Boen, T. & Petersen, M. D. (2008). Proposed seismic hazard maps of Sumatra and Java islands and microzonation study of Jakarta city, Indonesia. *Journal of earth system science*, 117, 865-878.
- Mardiyono, Suryanita, R. & Adnan, A. (2012). Intelligent Monitoring System on Prediction of Building Damage Index using Artificial Neural Network. *TELKOMNIKA Indonesian Journal of Electrical Engineering*, 10, 155-164.
- Möller, O., Foschi, R. O., Rubinstein, M. & Quiroz, L. (2010). Estimating structural seismic vulnerability: an approach using response neural networks. *Structure and Infrastructure Engineering*, 6, 63-75.
- Nasution, F. (2014). Perbandingan Analisis Statik Ekuivalen dan Analisis Dinamik Ragam Spektrum Respons pada Struktur Beraturan dan Ketidakteraturan Massa Sesuai RSNI 03-1726-201x. *Jurnal Teknik Sipil USU*, 3.
- SNI-1726-2002 (2002). Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah.
- SNI-1726-2012 (2012). Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Stuktur Bangunan Gedung. Badan Standarisasi Nasional.
- Suryanita, R. (2003). Perilaku Dinamik Dua Model Bangunan Bertingkat yang Berbenturan akibat Beban Gempa. *Laporan Penelitian SPP/DPP*. Pekanbaru: LPM Universitas Riau.
- Suryanita, R. (2006). Pemodelan Parameter Dinamik Struktur Bangunan yang Berdekatan Saat Terjadi Gempa. *Laporan Penelitian Self Development Project Fund FORUM HEDS*. Pekanbaru: Universitas Riau.
- Suryanita, R. (2014). *Integrated Bridge Health Monitoring, Evaluation and Alert System using Neuro-Genetic Hybrids* Doctor of Philosophy Program, Universiti Teknologi Malaysia.
- Suryanita, R. & Adnan, A. (2010). Application of Artificial Neural Networks in Bridges Seismic Monitoring System. *The 3rd International Graduate Conference on Engineering, Science & Humanities (IGCHES) 2010*. Universiti Teknologi Malaysia, 2-4 Nov 2010.
- Suryanita, R. & Adnan, A. (2013). Application of Neural Networks in Bridge Health Prediction based on Acceleration and Displacement Data Domain. *IAENG International Conference on Artificial Intelligence and Applications (ICAIA'13)*. Hongkong, 13th – 15th March 2013.
- Suryanita, R. & Adnan, A. (2014). Early-Warning System in Bridge Monitoring Based on Acceleration and Displacement Data Domain. In: YANG, G.-C., AO, S.-I., HUANG, X. & CASTILLO, O. (eds.) *Transactions on Engineering Technologies*. Springer Netherlands.
- Suryanita, R., Mudjiatko & Sarfika, H. (2006). Respon Struktur Sistem Derajat Kebebasan Tunggal Akibat Beban Dinamis Dengan Pola Pembebanan Segitiga *Jurnal Sains dan Teknologi*, 5.
- Suryanita, R. & Sarfika, H. (2007). Response Struktur SDOF akibat Beban Sinusoidal dengan Metode Integral Duhamel. *Jurnal Teknik Sipil*, 7, 266-278.
- Waworuntu, G. F., Sumajouw, M. D. & Windah, R. S. (2014). Evaluasi Kemampuan Struktur Rumah Tinggal Sederhana Akibat Gempa. *JURNAL SIPIL STATIK*, 2.
- Yang, C. (2009). Study on Indonesian Seismic Code SNI 03-1726-2002 and Seismic Impact to High-rise Buildings in Jakarta, Indonesia. *Proceedings of World Academy of Science: Engineering & Technology*, 50

LAMPIRAN-LAMPIRAN

- Lampiran 1.** Sertifikat Hak Cipta Buku Ajar.
- Lampiran 2.** Artikel ilmiah pada *International Journal of Technology and Engineering Studies* Volume 3 tahun 2017
- Lampiran 3.** Review artikel ilmiah pada TELKOMNIKA (Telecommunication Computing Electronics and Control) Journal
- Lampiran 4.** Artikel ilmiah pada *International Conference on Artificial Intelligent and Applications* (ICAIA'17) di Hongkong 15-17 Maret 2017
- Lampiran 5.** Artikel ilmiah pada International Seminar on Sustainable Urban Development (ISoSUD) di Jakarta 9 Agustus 2017
- Lampiran 6.** Artikel ilmiah pada Internasional Conference on Earth Sciences and Engineering di Padang 29-30 Agustus 2017



REPUBLIK INDONESIA
KEMENTERIAN HUKUM DAN HAK ASASI MANUSIA

SURAT PENCATATAN CIPTAAN

Menteri Hukum dan Hak Asasi Manusia Republik Indonesia, berdasarkan Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta yaitu Undang-Undang tentang perlindungan ciptaan di bidang ilmu pengetahuan, seni dan sastra (tidak melindungi kekayaan intelektual lainnya), dengan ini menerangkan bahwa hal-hal tersebut di bawah ini telah tercatat dalam Daftar Umum Ciptaan:

- I. Nomor dan tanggal permohonan : C00201700258, 02 Februari 2017
- II. Pencipta
Nama : **RENI SURYANITA**
Alamat : Jalan Sejahtera No.46 Rt.002 Rw.006
Kel. Tangkerang Utara, Kec. Bukit Raya
Kota Pekanbaru, Riau.
Kewarganegaraan : Indonesia
- III. Pemegang Hak Cipta
Nama : **RENI SURYANITA**
Alamat : Jalan Sejahtera No.46 Rt.002 Rw.006
Kel. Tangkerang Utara, Kec. Bukit Raya
Kota Pekanbaru, Riau.
Kewarganegaraan : Indonesia
- IV. Jenis Ciptaan : Buku
- V. Judul Ciptaan : **DINAMIKA STRUKTUR, TEORI DAN APLIKASI**
- VI. Tanggal dan tempat diumumkan
untuk pertama kali di wilayah
Indonesia atau di luar wilayah
Indonesia : 15 Oktober 2016, di Pekanbaru
- VII. Jangka waktu perlindungan : Berlaku selama hidup Pencipta dan terus berlangsung
hingga 70 (tujuh puluh) tahun setelah Pencipta
meninggal dunia.
- VIII. Nomor pencatatan : 085528

Pencatatan Ciptaan atau produk Hak Terkait dalam Daftar Umum Ciptaan bukan merupakan pengesahan atas isi, arti, maksud, atau bentuk dari Ciptaan atau produk Hak Terkait yang dicatat. Menteri tidak bertanggung jawab atas isi, arti, maksud, atau bentuk dari Ciptaan atau produk Hak Terkait yang terdaftar. (Pasal 72 dan Penjelasan Pasal 72 Undang-undang Nomor 28 Tahun 2014 Tentang Hak Cipta)

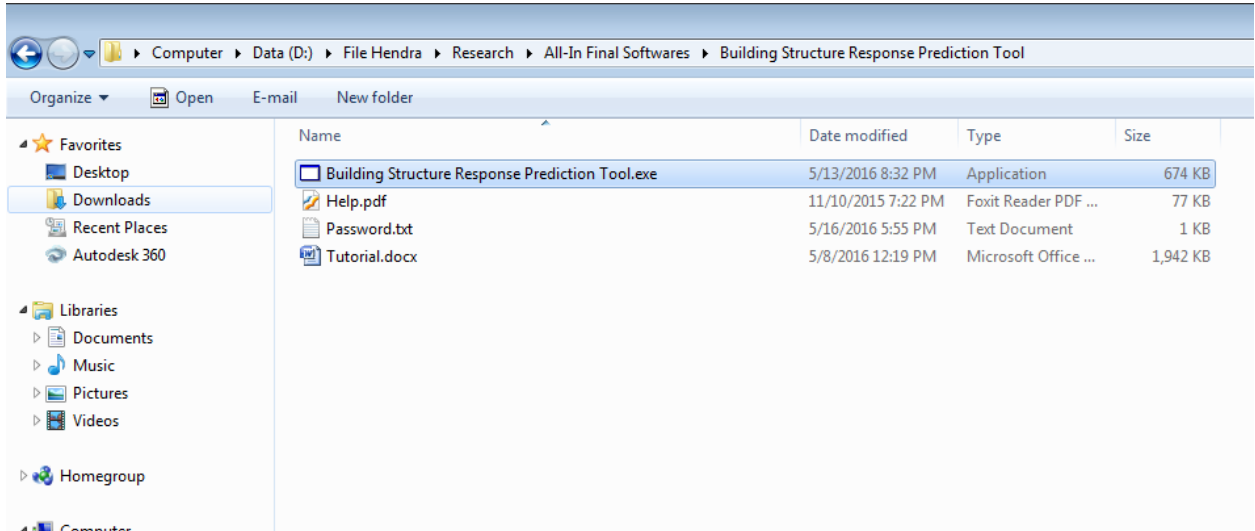
a.n. MENTERI HUKUM DAN HAK ASASI MANUSIA
REPUBLIK INDONESIA
DIREKTUR JENDERAL KEKAYAAN INTELEKTUAL
u.b.
DIREKTUR HAK CIPTA DAN DESAIN INDUSTRI



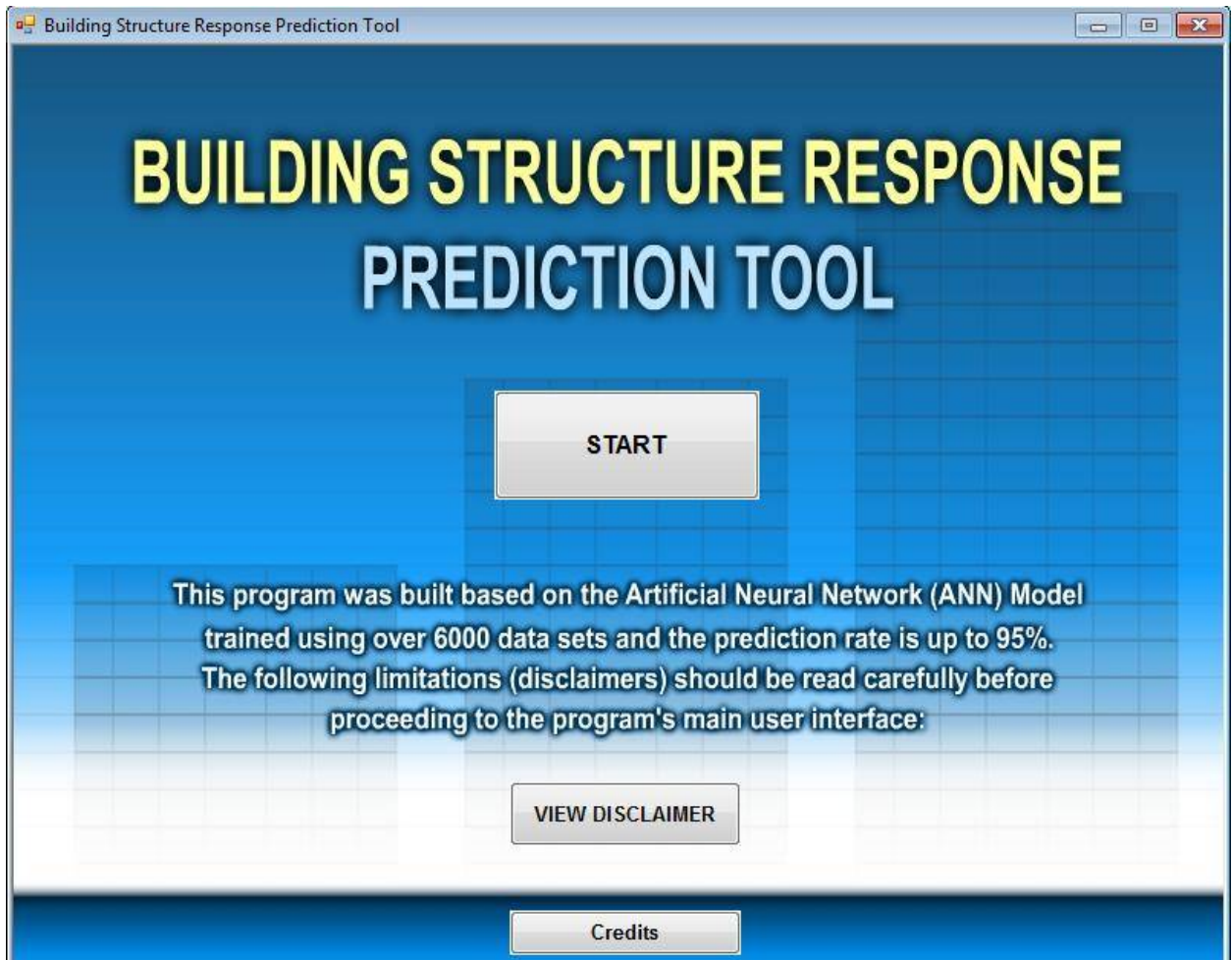
Erni Widhyastari
Dr. Dra. Erni Widhyastari, Apt., M.Si.
NIP. 196003181991032001

BUILDING STRUCTURE RESPONSE PREDICTION TOOL

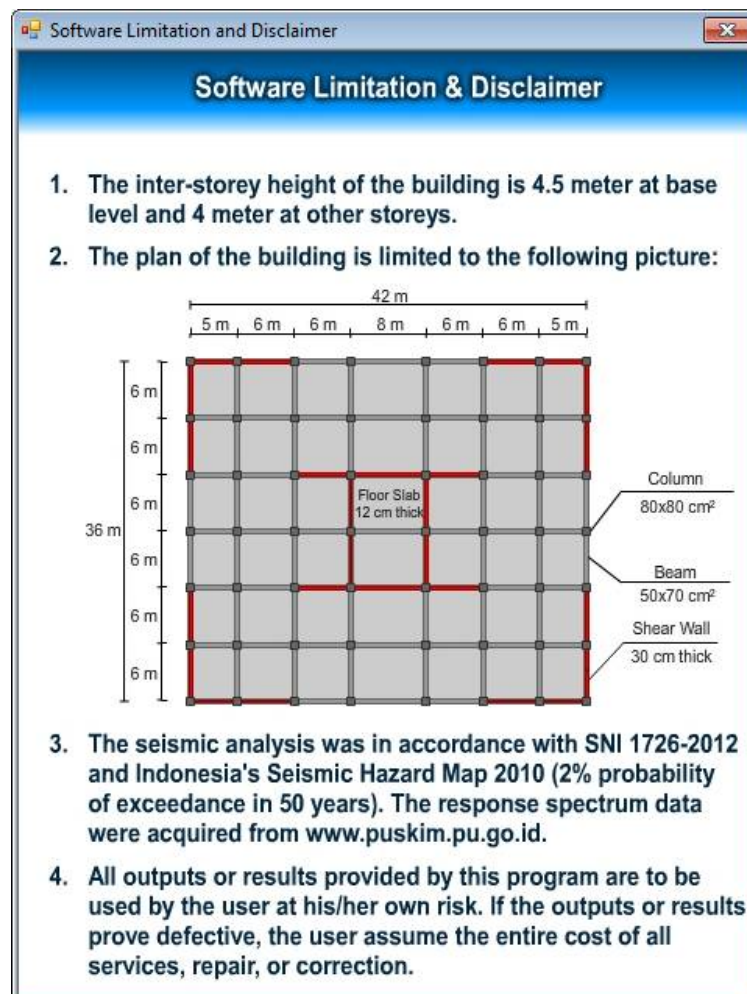
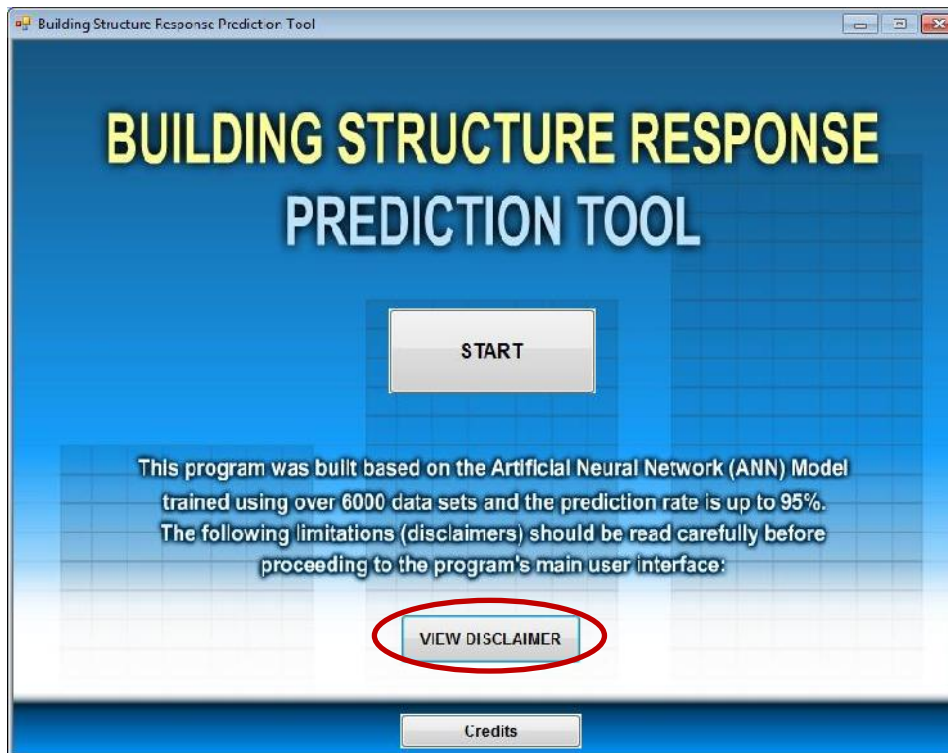
Step 1: Double-Click (Run) the Executable File



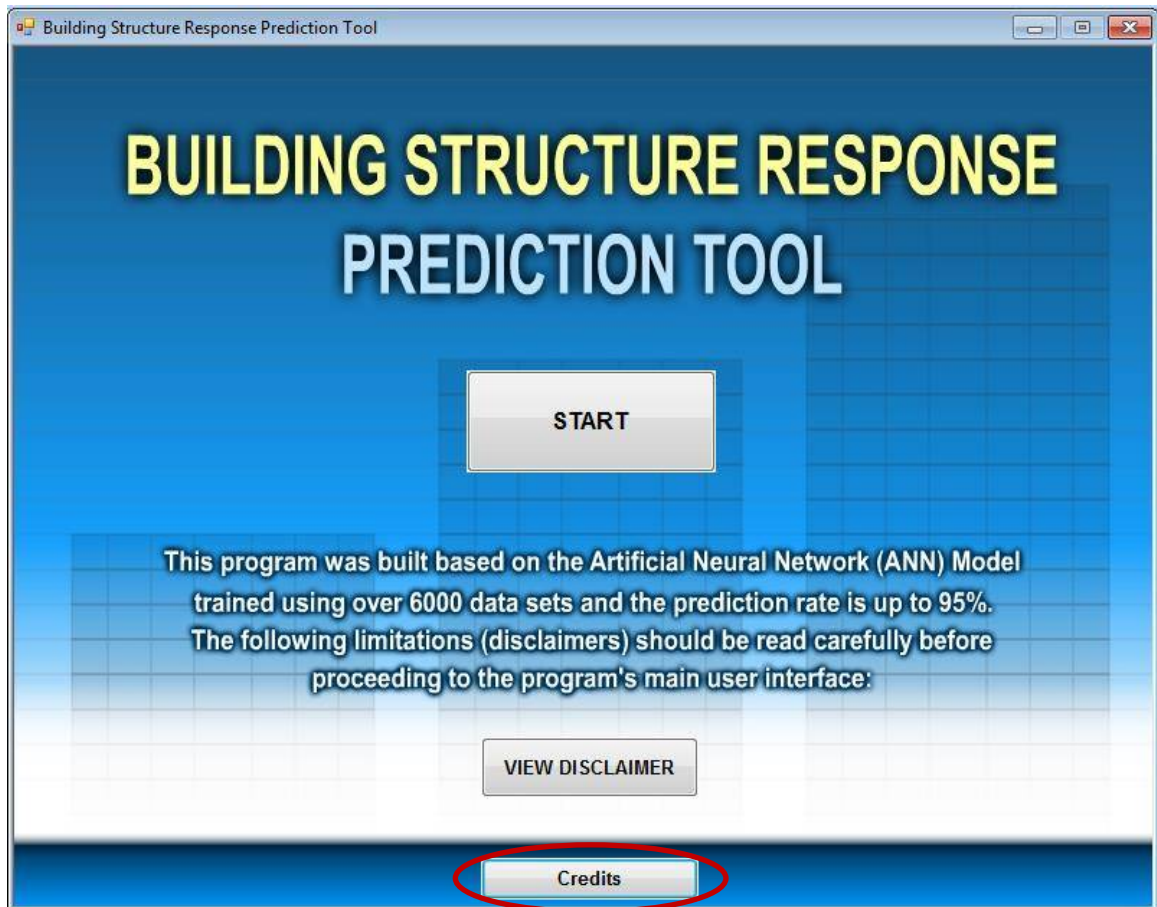
The introduction screen of the software is as shown as the figure below:



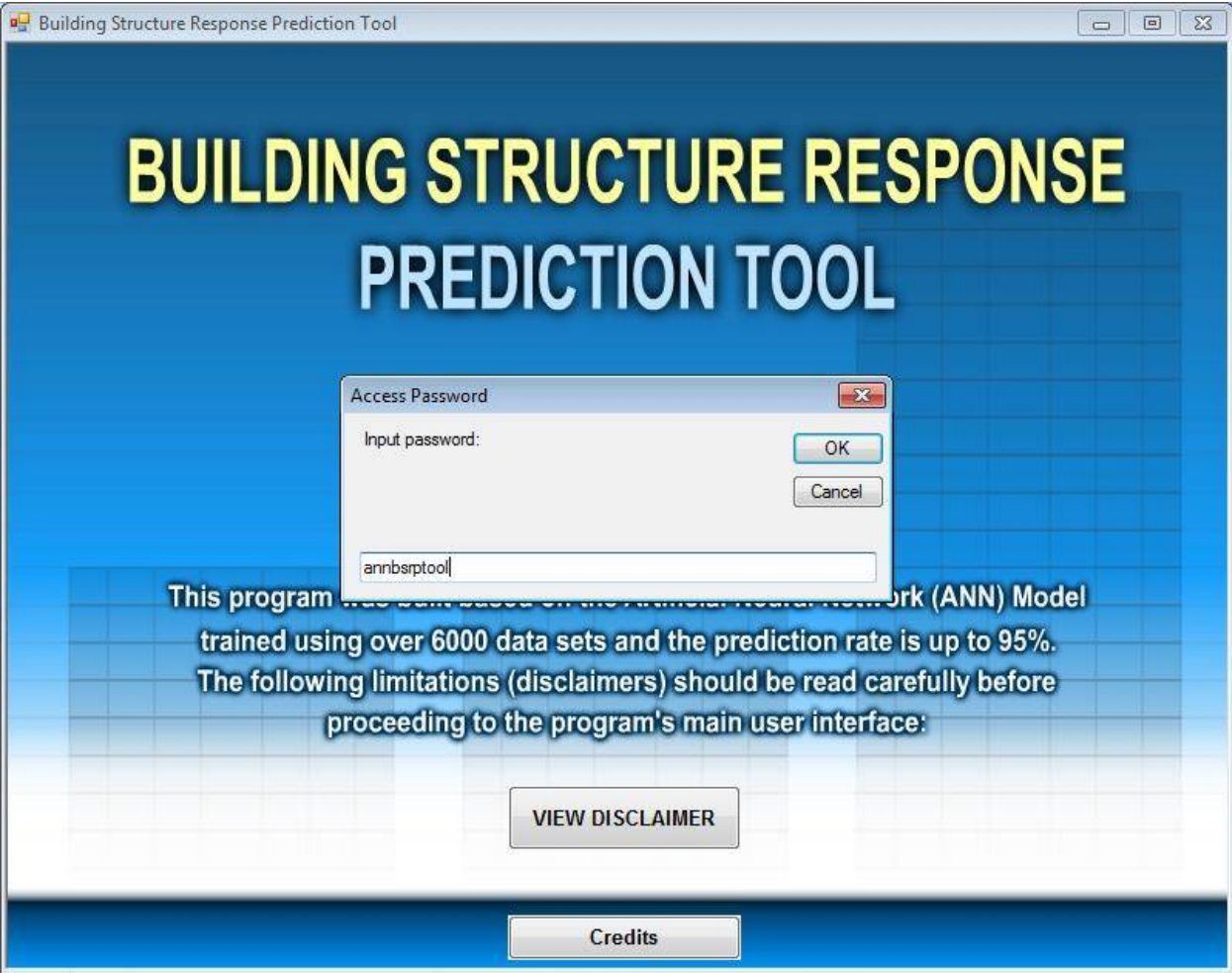
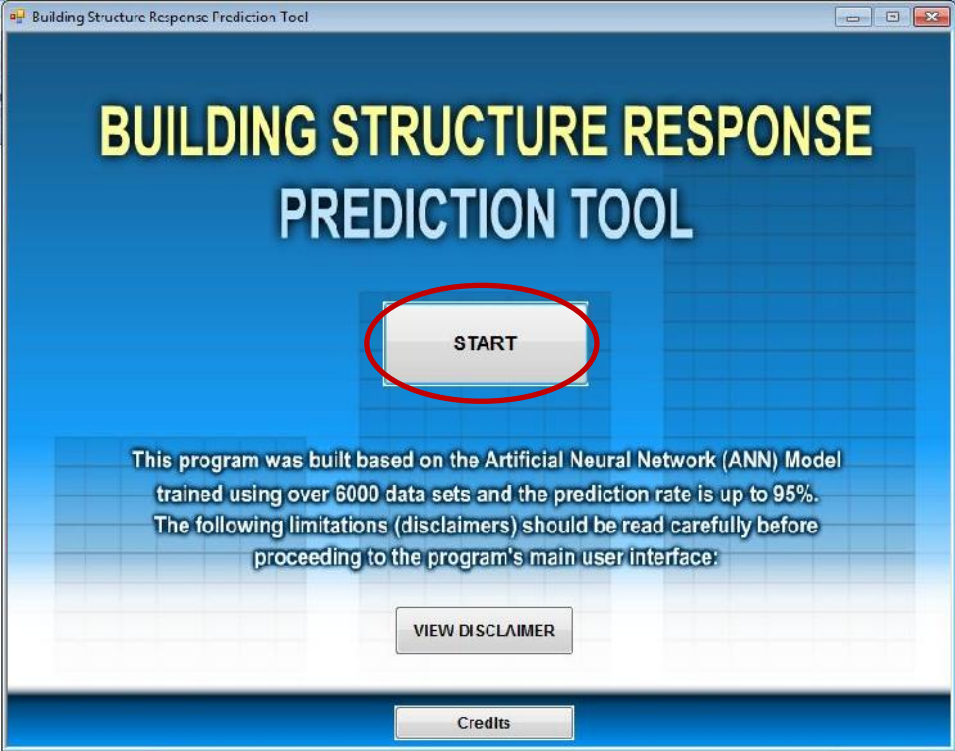
Step 2: Click on the [View Disclaimer](#) button to view the disclaimer of the software usage.



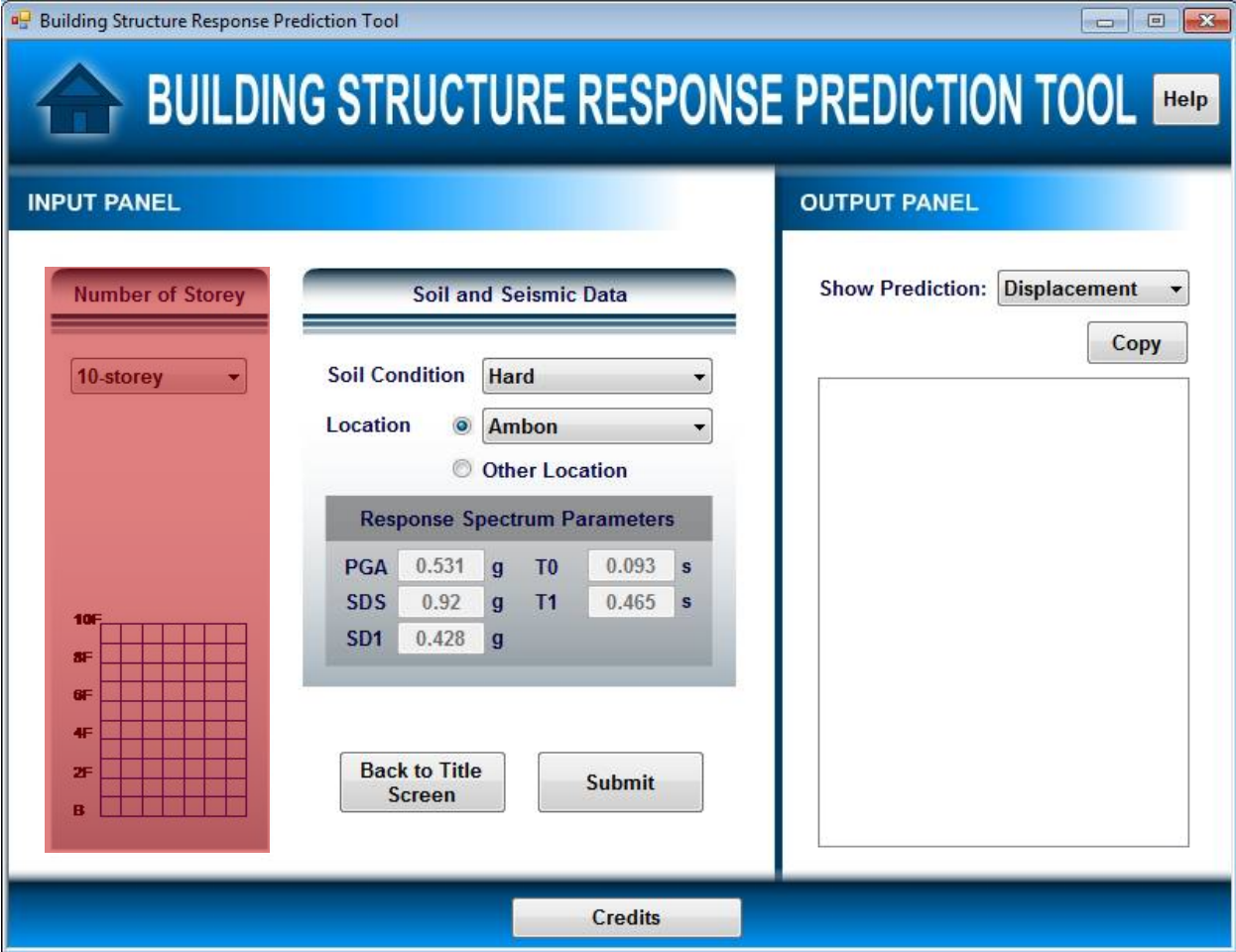
Step 3: Click on the **Credits** button to view the developer team of the software.



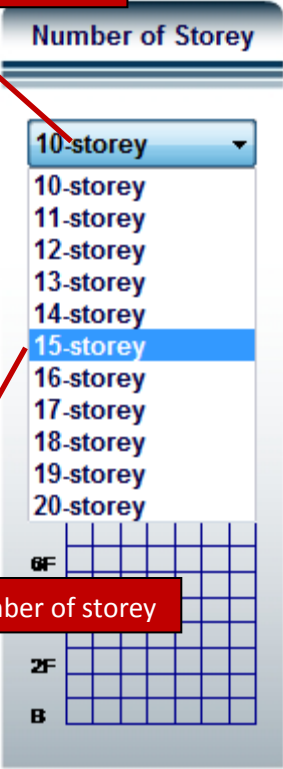
Step 4: Click on the **START** button, then enter **annbsrptool** as password to proceed to the main screen.



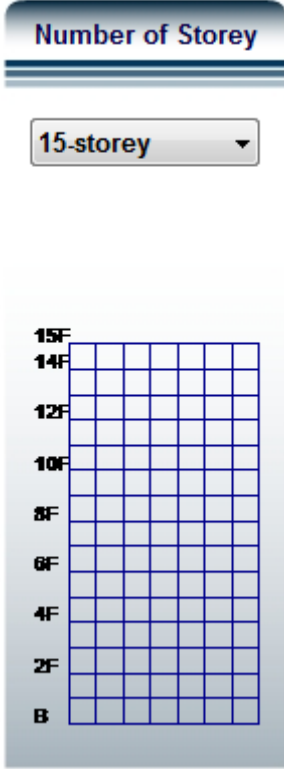
Step 5 (a): Modify Input Parameter: Number of Storey.



Click on the Combo Box



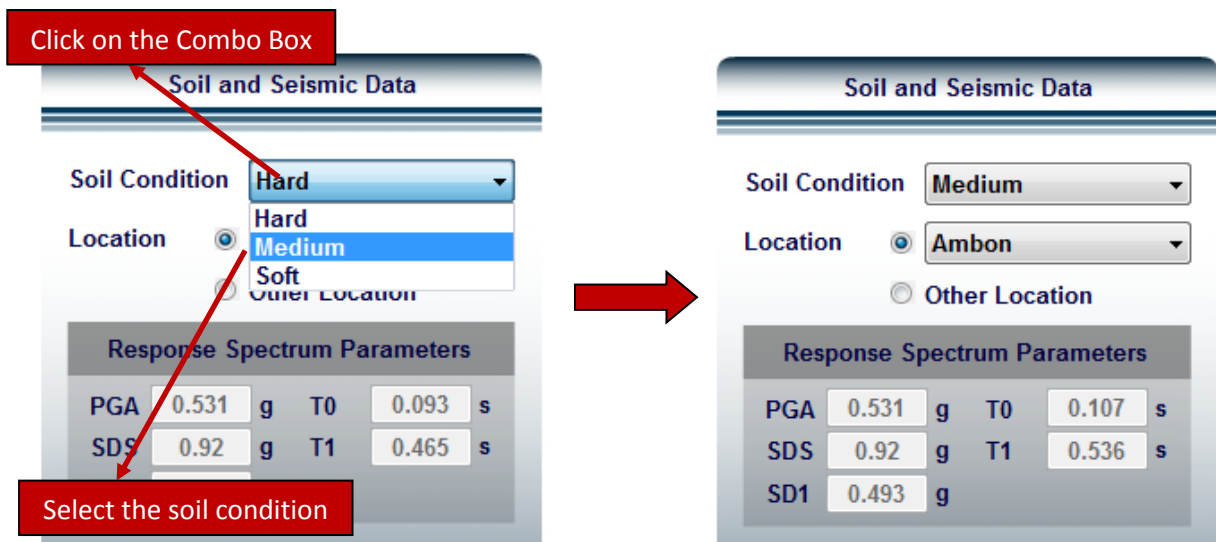
Select the number of storey



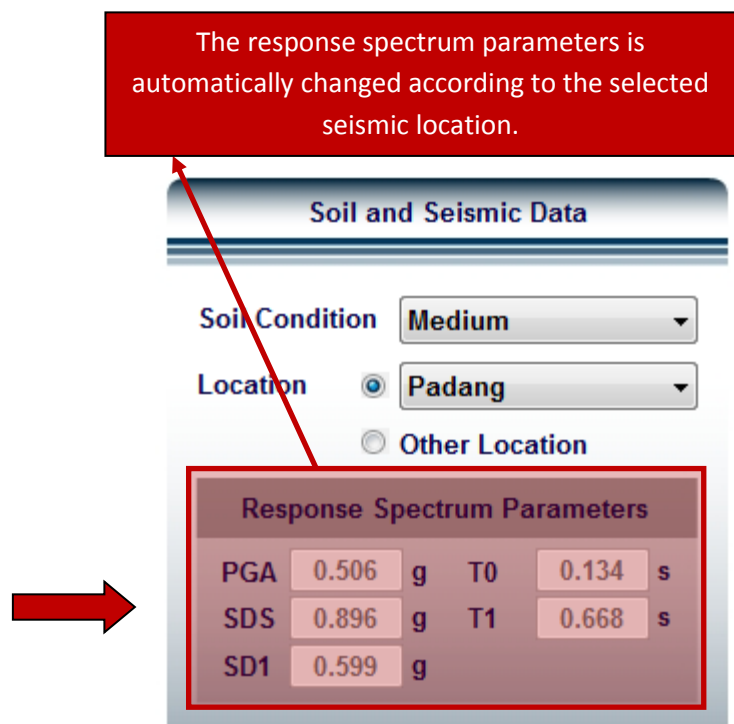
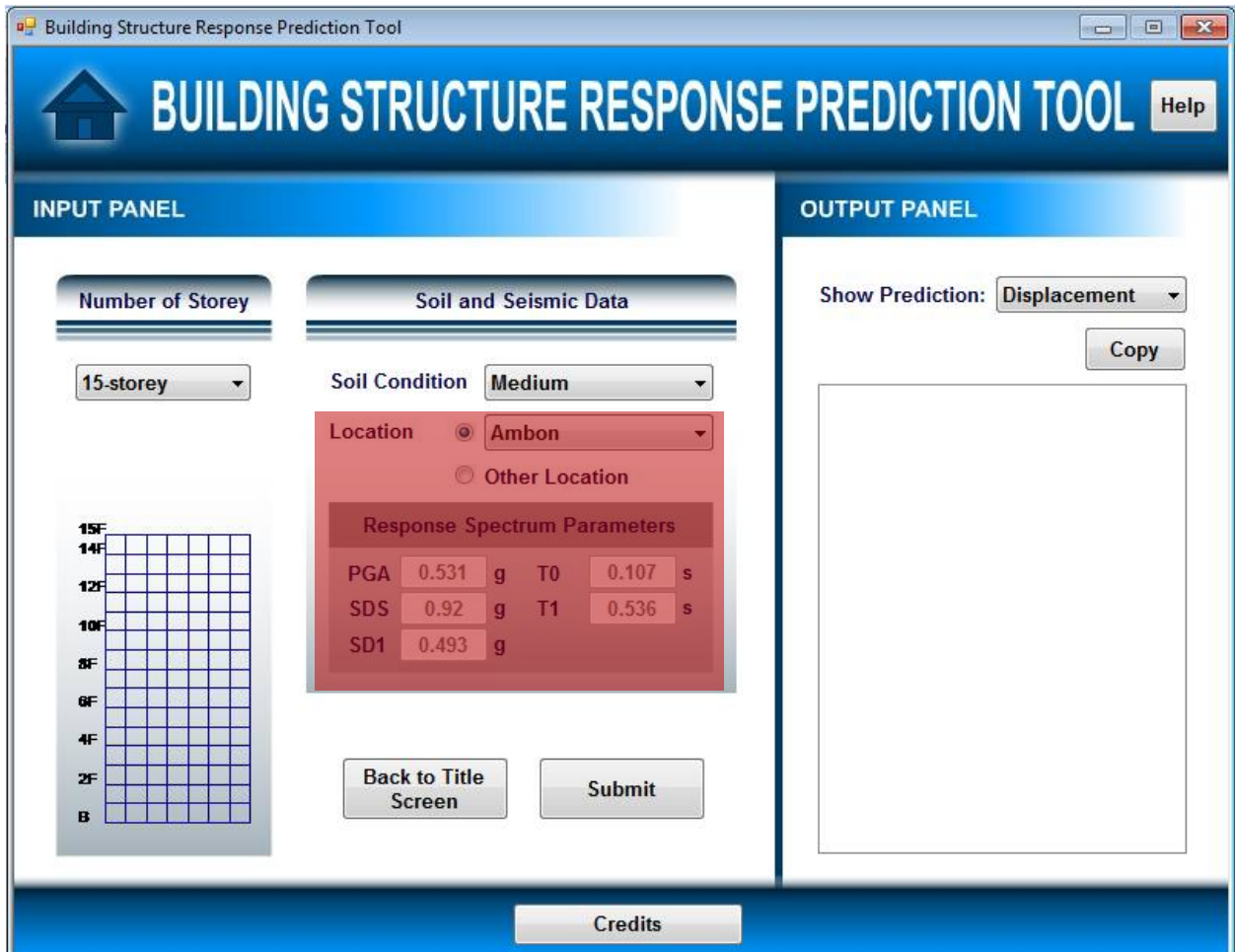
Step 5 (b): Modify Input Parameter: Soil Condition.

The screenshot shows the 'Building Structure Response Prediction Tool' interface. The 'INPUT PANEL' is divided into two main sections: 'Number of Storey' and 'Soil and Seismic Data'. The 'Number of Storey' section has a dropdown menu set to '15-storey' and a grid representing a 15-story building. The 'Soil and Seismic Data' section has a 'Soil Condition' dropdown menu set to 'Hard', a 'Location' radio button selected for 'Ambon', and a 'Response Spectrum Parameters' table. The 'OUTPUT PANEL' has a 'Show Prediction:' dropdown set to 'Displacement' and a 'Copy' button. A 'Credits' button is located at the bottom center.

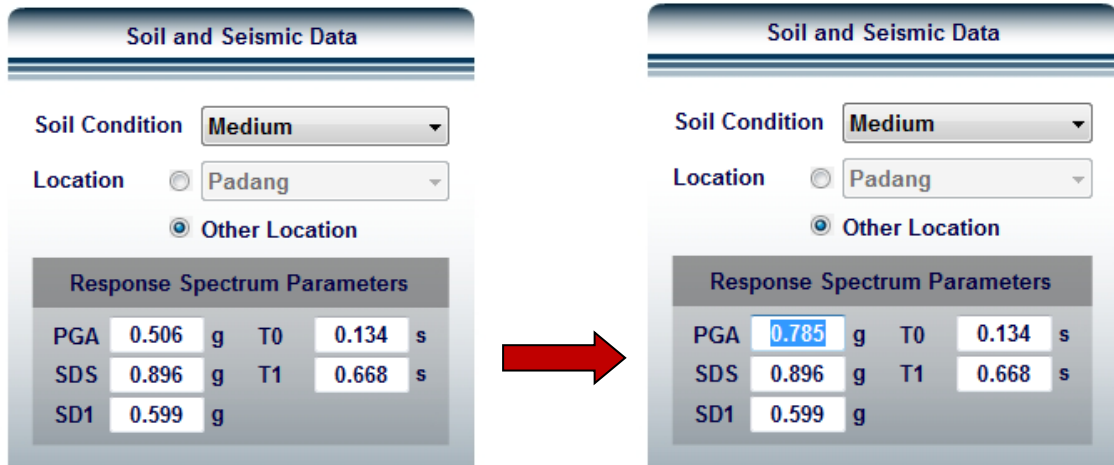
Parameter	Value	Unit	Parameter	Value	Unit
PGA	0.531	g	T0	0.093	s
SDS	0.92	g	T1	0.465	s
SD1	0.428	g			



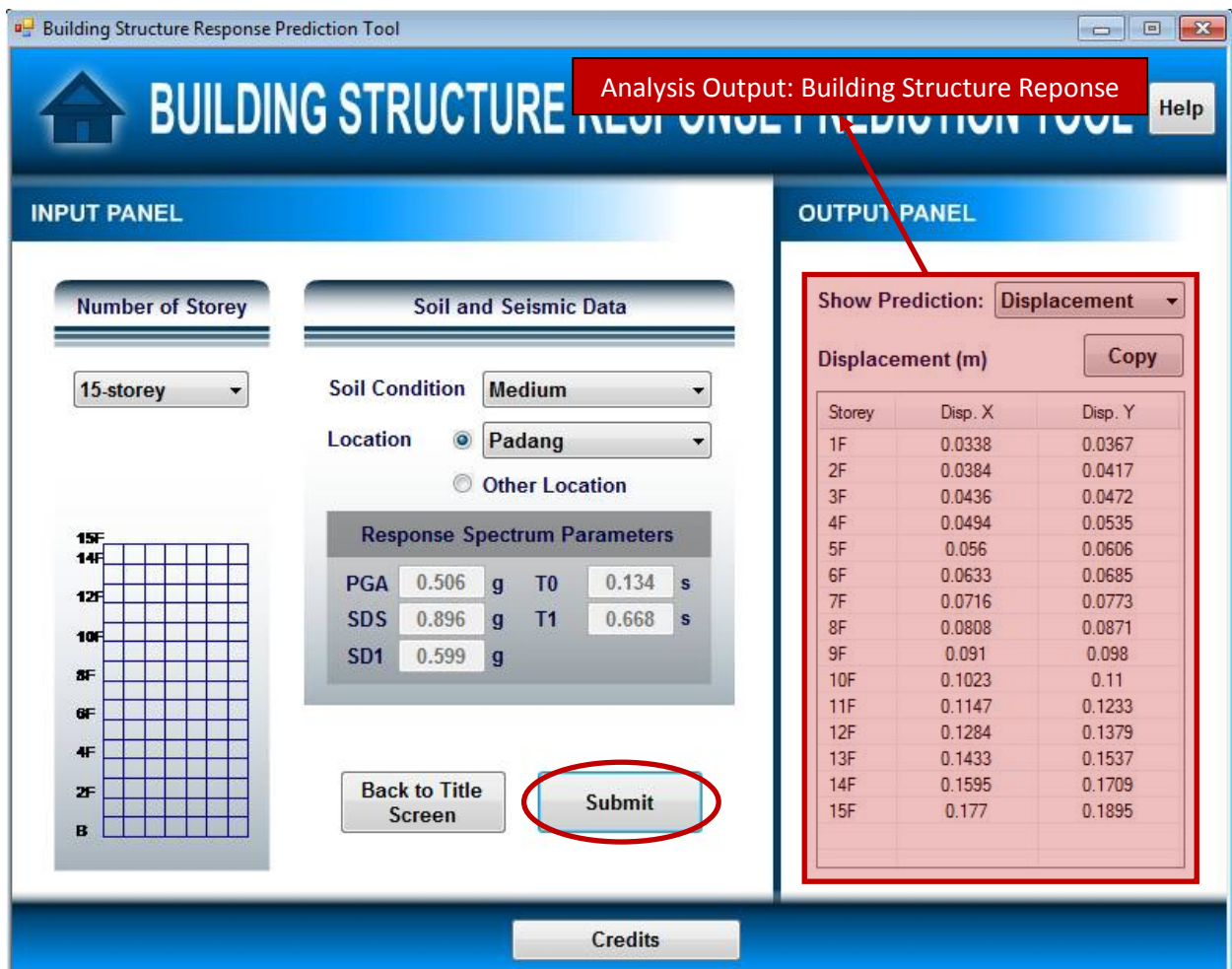
Step 5 (c): Modify Input Parameter: Seismic Location/Load Data.



If the seismic location is not listed in the combo box's list, click on **Other Location** radio button. Then the response spectrum parameters can be modified manually.



Step 6: Click on the **Submit** button to run the analysis.



Step 7: Viewing Analysis Outputs: Displacement, Velocity, and Acceleration.

Click on the Combo Box to Select Other Output Parameters

Show Prediction: **Displacement** ▾

Displacement (m) **Velocity**
Acceleration

Storey	Disp. X	Disp. Y
1F	0.0338	0.0367
4F	0.0494	0.0535
5F	0.056	0.0606
6F	0.0633	0.0685
7F	0.0716	0.0773
8F	0.0808	0.0871
9F	0.091	0.098
10F	0.1023	0.11
11F	0.1147	0.1233
12F	0.1284	0.1379
13F	0.1433	0.1537
14F	0.1595	0.1709
15F	0.177	0.1895

Currently viewing displacement

Show Prediction: **Velocity** ▾

Velocity (m/sec) **Copy**

Storey	Veloc. X	Veloc. Y
1F	0.3148	0.3271
2F	0.3512	0.3644
3F	0.3916	0.4055
4F	0.4362	0.4509
5F	0.4853	0.5008
6F	0.5392	0.5554
7F	0.5981	0.615
8F	0.6622	0.6798
9F	0.7318	0.7499
10F	0.807	0.8255
11F	0.8877	0.9066
12F	0.9742	0.9932
13F	1.0662	1.0853
14F	1.1637	1.1827
15F	1.2663	1.2851

Show Prediction: **Velocity** ▾

Velocity (m/sec) **Copy**

Storey	Veloc. X	Veloc. Y
1F	0.3148	0.3271
4F	0.4362	0.4509
5F	0.4853	0.5008
6F	0.5392	0.5554
7F	0.5981	0.615
8F	0.6622	0.6798
9F	0.7318	0.7499
10F	0.807	0.8255
11F	0.8877	0.9066
12F	0.9742	0.9932
13F	1.0662	1.0853
14F	1.1637	1.1827
15F	1.2663	1.2851

Click on the Copy button to copy the table contents to clipboard.

Pasted to spreadsheet program

	A	B	C
1	Velocity (m/sec)		
2			
3	Storey	Veloc. X	Veloc. Y
4	1F	0.3148	0.3271
5	2F	0.3512	0.3644
6	3F	0.3916	0.4055
7	4F	0.4362	0.4509
8	5F	0.4853	0.5008
9	6F	0.5392	0.5554
10	7F	0.5981	0.615
11	8F	0.6622	0.6798
12	9F	0.7318	0.7499
13	10F	0.807	0.8255
14	11F	0.8877	0.9066
15	12F	0.9742	0.9932
16	13F	1.0662	1.0853
17	14F	1.1637	1.1827
18	15F	1.2663	1.2851
19			

PREDICTION OF STRUCTURAL RESPONSE BASED ON GROUND ACCELERATION USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

RENI SURYANITA ^{1*}, HARNEDI MAIZIR ², HENDRA JINGGA ³

^{1,3} Faculty of Engineering, University of Riau, Pekanbaru, Indonesia

² Civil Engineering Department, Sekolah Tinggi Teknologi Pekanbaru, Pekanbaru, Indonesia

Keywords:

Artificial Neural Networks
Ground Acceleration
Mean-Squared Error
Response Spectrum
Structural Response

Received: 21 November 2016

Accepted: 19 January 2017

Published: 15 April 2017

Abstract. This study utilizes Artificial Neural Network (ANN) to predict structural responses of multi-storey reinforced concrete building based on ground acceleration. The strong ground acceleration might cause catastrophic collapse of multi-storey building which leads to casualties and property damages. Therefore, it is imperative to properly design the multi-storey building against seismic hazard. Seismic-resistant building design process requires structural analysis to be performed to obtain the necessary building responses. Modal response spectrum analysis is performed to simulate ground acceleration and produce structural response data for further use in the ANN. The ANN architecture comprises of 3 layers: an input layer, a hidden layer, and an output layer. Ground acceleration parameters from 34 provinces in Indonesia, soil condition, and building geometry are selected as input parameters, whereas structural responses consisting of acceleration, velocity and displacement (story drift) are selected as output parameters for the ANN. As many as 6345 data sets are used to train the ANN. From the overall data sets, 4590 data sets (72%) are used for training process, 877 data sets (14%) for the validation process, and 878 data sets (14%) for testing. The trained ANN is capable for predicting structural responses based on ground acceleration at (96%) rate of prediction and the calculated Mean-Squared Errors (MSE) as low as $1.2 \cdot 10^{-4}$. The high accuracy of structural response prediction can greatly assist the engineer to identify the building condition rapidly and plan the building maintenance routinely.

©2017 KKG Publications. All rights reserved.

INTRODUCTION

One of the so many factors that affect the aftermath of earthquake disaster is the resilience of the infrastructure building against the strong ground acceleration. Critical infrastructure building such as hospital, school, power plant office, and governmental buildings are most likely multi-storey buildings which are very prone to seismic loading. During strong ground motion, multi-storey building might collapse in brittle way that endangers its occupants due to the massive dead weight, especially for Reinforced Cement Concrete (RCC) building. Other than that, tall building if not designed properly will experience excessive displacement (storey-drift) that causes discomfort and might damage non-structural components such as partition wall, window, and door which block evacuation passage. Due to these facts, multi-storey building shall be designed properly to exhibit ductile behavior and controlled deformations during strong ground motion.

Story drift is one of the most important limit states in multi-storey building structure design. A building shall not drift excessively to provide better performance and prevent damage to non-structural elements such as walls and doors. Provisions that limit story drift vary depending on which code

is used [1], [2], [3]. Frequently, story drift governs the design of structural elements rather than strength.

Finite Element Method (FEM) is currently the best available method to analytically calculate the story drift of multi-storey buildings. Performing FEM for such complex buildings could be very tedious to be hand-calculated if not practically impossible. To help in faster and more accurate calculations, many FEM software programs specialized for Civil Engineering applications are developed and widely available in the market. However, precisely the modelling and running analysis of building structures in FEM software is indeed very time-consuming especially for nonlinear and dynamic analysis. Though Finite Element Method for structural analysis is accurate, it is relatively slow. To provide an adequate early prediction of structural responses such as acceleration, velocity and displacement (story drift) at a faster rate, ANN method may be used.

ANN method is a general prediction tool which is widely used in various fields of application, including Civil Engineering. Artificial Neural Networks are simplified models of the biological nervous system and have drawn their mo-

*Corresponding author: Reni Suryanita

†Email: reni.suryanita@eng.unri.ac.id



tivation from the kind of computing performed by a human brain [4]. An Artificial Neural Network is organized into a sequence of layers with full or random connections between the layers. The typical Neural Networks are fully connected, which means there is a connection between each neuron in any given layer to each neuron in the next layer. ANN is capable of modelling the nonlinear relationship between input and output parameters. ANN works by processing weighted input data using certain algorithms to produce a desired output [5]. The relationship between neurons in ANN is represented by weight factors that will be modified through a training process. If sufficient data sets are available and learning algorithm is correctly chosen, the training process will modify the weight factors, by each iteration performed and eventually the desired output will be achieved. Many researchers have studied the application of ANN in multi-storey structure to predict the health of the building, such as [6], [7], [8]. Other studies related to the application of ANN in dynamic structure analysis are the prediction of inelastic response spectra and have been done by [9] and artificial earthquakes and response spectra [10]. The previous study has been done by the author to predict the bridge health condition based on acceleration and displacement data domain [11].

In this study, the ANN is used to predict structural response of reinforced concrete multi-storey building based on ground acceleration in 34 provinces of Indonesia. Indonesia is one of the highest-risk seismic zones in the world, where it is crossed by the Pacific Ring of Fire, which refers to the geographical region with the most active tectonic plate and volcanic activities on earth (for example: Krakatau Volcano). This results in a high tendency of strong ground motion to occur due to earthquake in the Pacific Ring of Fire region. In

2004, a whopping 9.3 Richter-scale mega quake struck Aceh on the Western Coast of Sumatera Island, which was then followed by a tsunami that travelled several kilometers inland. In all the aforementioned cases, the property damage was severe and the casualty was huge [12]. The high accuracy of structural response prediction can greatly assist the engineer to identify the building condition rapidly due to earthquake loading and plan the building maintenance routinely.

ARTIFICIAL NEURAL NETWORK

ANN is a mathematical model inspired by its biological neural network counterpart. The ANN system comprises of several processing layers and neurons. Just like the biological neural network, the connection and signal transfer between neurons and layers enable the ANN system to process the given input signal into appropriate outputs, which is later called prediction. ANN possesses the capability to predict output based on any given input in which the mathematical relationship between the input and output parameter is nonlinear, complex, and often vague. Common multi-layer ANN system comprises of an input layer, hidden layer, and the output layer (Figure 1). Input layer consists of input neurons that receive external signals (input data). Hidden layer also consists of neurons that receive signals from input neurons and transfer it to the output layer. The number of neurons in hidden layer affects the prediction rate and the ability of the ANN system to cope with nonlinear relationship between variables. Finally, output layer consists of output neurons that represent the output parameters to be predicted. The difference between the predicted output value and the target value (the true value according to learning data set) is the error of the ANN system.

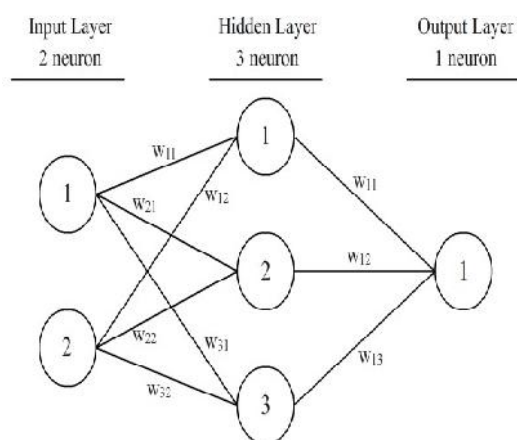


Fig. 1. Simple ANN scheme

ANN neuron's functionality is analogue to the biological neuron. The synapse strength in biological neural network is represented by the weight factor in the ANN system (for example: notated as w_{11} in Figure 1). The initial values of the weight factors are usually random, which are later modified through a process called ANN training, iteration, or learning process. The ANN learning process requires a set of data to 'train' the ANN before it is ready for testing. The trained ANN system is expected to possess the capability to predict outputs based on any given inputs at decent accuracy. The commonly adopted criteria to evaluate the performance of the ANN system are Mean-Squared-Error (MSE) and Coefficient of Correlation (R). Backpropagation Artificial Neural Network is one of the most widely used types of ANN.

According to [13], [15], [16], [17] the Backpropagation Neural Network yields better outcomes than other Artificial Intelligence method such as Genetic Algorithm. The Backpropagation ANN algorithm consists of two calculation phases: feed-forward calculation and backpropagation calculation. During the feed-forward calculation, input data are fed into the input layer, then the calculation is continued until it reaches the output layer.

The difference between the predicted output value and the target value is used to calculate the error value. During the backpropagation calculation, the error value obtained in the previous phase is used to modify the weight factors of each neuron in the output layer, then the hidden layer. The completion of one feed-forward and backpropagation calculation for each data set is called one epoch.

The feed-forward calculation uses Equation 1 and 2 to compute the value of the neuron [14].

$$\xi_j^l = \sum_{i=1}^{N_{l-1}} w_{ji}^l x_i^{l-1} \quad (1)$$

$$\sigma_j^l(\xi) = \frac{1}{1 + e^{-\xi_j^l}} \quad (2)$$

Where: ξ_j^l = net input of neuron j at layer l;

w_{ji}^l = weight factors between neuron j at layer l and neuron i at layer (l - 1);

x_i^{l-1} = value of neuron i at layer (l - 1);

N_{l-1} number of neurons in layer (l - 1); and

$\sigma_j^l(\xi)$ = sigmoid transfer function to compute the final value of neuron j at layer l.

To evaluate the performance of the ANN system before proceeding to the backpropagation calculation, MSE and Coefficient of Correlation (R) are computed using Equation 3 and 4, respectively.

$$MSE = 0.5(T_i - Y_i)^2 \quad (3)$$

$$R = \frac{n \sum T_i Y_i - (\sum T_i)(\sum Y_i)}{\sqrt{n(\sum T_i^2) - (\sum T_i)^2} \sqrt{n(\sum Y_i^2) - (\sum Y_i)^2}} \quad (4)$$

Where: T_i = target value based on learning data set;

Y_i = predicted output value; and

n = the number of data sets.

METHODOLOGY

ANN analysis requires an amount of learning data sets to perform the training, validation, and testing process. In this study, the ANN data sets were generated by performing structural analysis on several varieties of building the structure model, soil condition, and seismic location. In the following sub-sections, the methodology used in this research will be described in detail.

Building Structure Model

The multi-storey building structure models are Reinforced Cement Concrete (RCC) moment frames combined with shear walls. In this research, 3 variations of building height are adopted: 10 storey (Model 1), 15 storey (Model 2), and 20 storey (Model 3), as tabulated in Table 1. The inter-storey height is 4.5 meters at base and 4 meters at other stores. The floor plan for all storeys is identical as shown in Figure 2.

TABLE 1
MULTI-STOREY BUILDING STRUCTURE MODELS

Geometry Parameters	Model 1	Model 2	Model 3
Number of bays in X direction	7	7	7
Number of bays in Y direction	6	6	6
Total floor length in X direction	42 m	42 m	42 m
Total floor length in Y direction	36 m	36 m	36 m
Number of storeys	10	15	20
Total building height	40.5 m	60.5 m	80.5 m

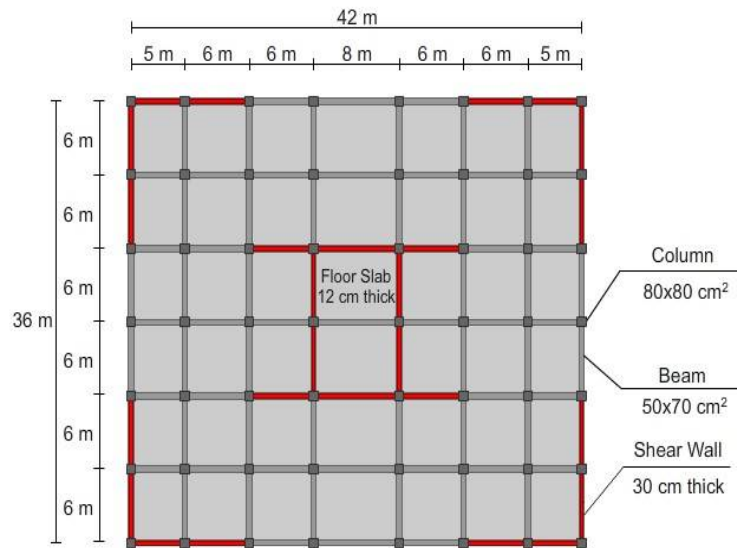


Fig. 2. Floor plan of the multi-storey building

Seismic Analysis: Modal Response Spectrum Analysis

Modal response spectrum analysis was performed to obtain the responses of the building structure models (storey displacement, velocity, and acceleration). The seismic load was included as seismic response spectrum plot which shows the relationship between the design Structure Acceleration (S_a) and the structure’s period of free vibration (T). The S_a vs. T plot varies with soil condition and seismic location. In this study, 34 capital cities and 13 other cities in Indonesia were selected as seismic location with 3 soil conditions (soft, medium, and

hard soil). By adopting 47 cities in Indonesia with 3 possible soil conditions, 141 seismic response spectrum plots were obtained. One of the seismic response spectrum plots for Banda Aceh City is shown in Figure 3. For each seismic load, 10 building response data were generated from modal response spectrum analysis from Model 1, 15 data from Model 2, and 20 data from Model 3, which sums up to 45 data. Therefore, as many as 6345 data sets (141 x 45) were generated from the whole structural analysis process.

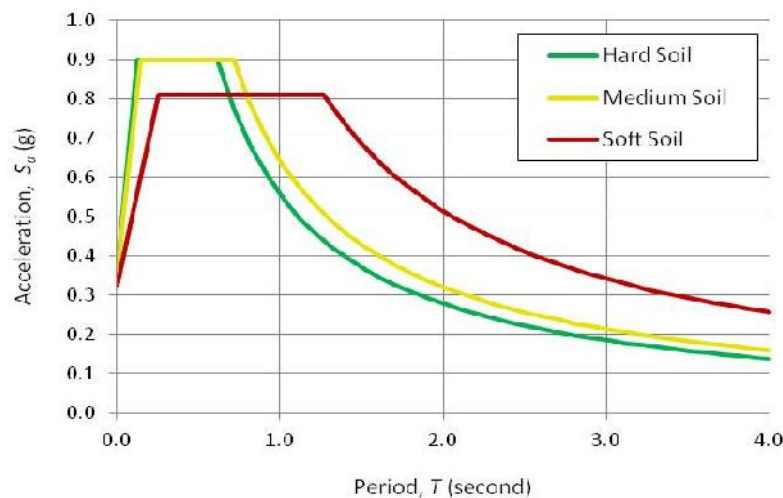


Fig. 3. Seismic response spectrum plot for Banda Aceh city

Proposed Artificial Neural Network Architecture

The proposed Backpropagation ANN architecture on the prediction of building structure response due to seismic load in Indonesia is as shown in Figure 4. The ANN architecture consists of 3 layers: input layer with 8 neurons, hidden layer with 24 neurons, and output layer with 6 neurons. The input parameters are Peak Ground Acceleration (PGA), design spectral acceleration at short period (S_{DS}), design spectral ac-

celeration at 1 second of the period (S_{D1}), the lower limit of period that results in maximum acceleration (T_0), the upper limit of period that results in maximum acceleration (T_S), soil condition, building total height, and storey elevation (base level was not included). Whereas the output parameters are storey displacement, velocity, and acceleration in both orthogonal horizontal directions (X and Y).

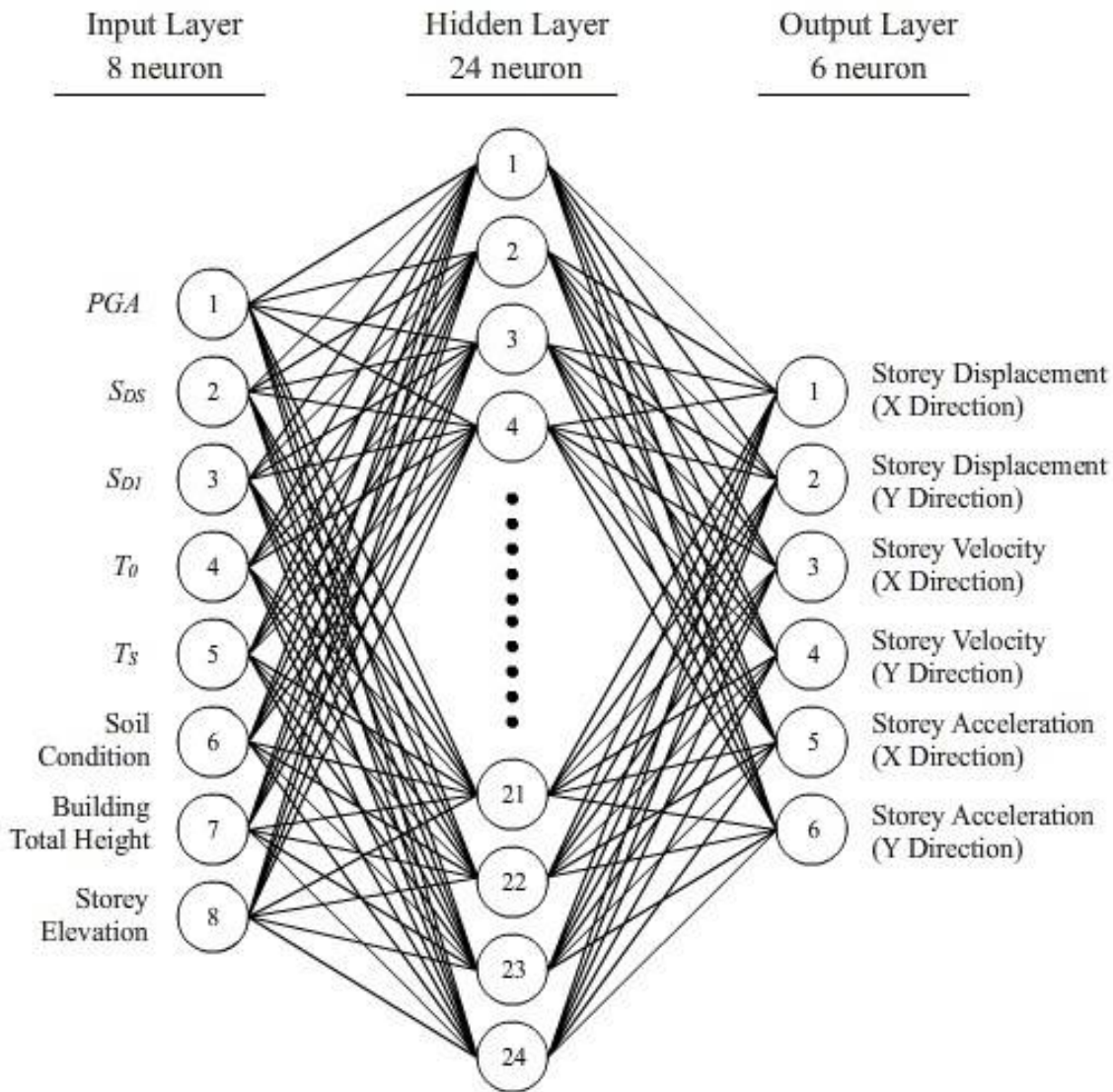


Fig. 4. Proposed backpropagation ANN architecture

Learning Data Sets for the ANN System

As stated in previous sub-section of this work, as many as 6345 learning data sets are obtained from the structural analysis and these data sets are fed into the ANN system for train-

ing, validation, and testing process (Table 2 and Table 3). From the overall data sets, 4590 data sets (72%) are used for training process, 877 data sets (14%) for the validation process, and 878 data sets (14%) for testing.

TABLE 2
ANN LEARNING DATA SETS FOR INPUT DATA

No.	Input Data							
	Input 1 PGA(g)	Input 2 S_{DS} (g)	Input 3 SD_1 (g)	Input 4 T_0 (sec)	Input 5 T_1 (sec)	Input 6 SoilCond. ¹	Input 7 Building Height (m)	Input 8 Elev.(m)
1.	0.621	0.899	0.557	0.124	0.619	0	40.5	4.5
2.	0.621	0.899	0.557	0.124	0.619	0	40.5	8.5
3.	0.621	0.899	0.557	0.124	0.619	0	40.5	12.5
4.	0.621	0.899	0.557	0.124	0.619	0	40.5	16.5
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
6340.	0.600	0.900	0.960	0.213	1.067	2	80.5	60.5
6341.	0.600	0.900	0.960	0.213	1.067	2	80.5	64.5
6342.	0.600	0.900	0.960	0.213	1.067	2	80.5	68.5
6343.	0.600	0.900	0.960	0.213	1.067	2	80.5	72.5
6344.	0.600	0.900	0.960	0.213	1.067	2	80.5	76.5
6345.	0.600	0.900	0.960	0.213	1.067	2	80.5	80.5

Note: ¹ Soil condition: 0 = hard soil, 1 = medium soil, 2 = hard soil.

RESULTS AND DISCUSSION

The ANN learning process was conducted by using the following learning parameters:

1. Learning rate = 0.05
2. Number of epochs (iterations) = 1000
3. Momentum coefficient = 0
4. Variable normalization range = 0 - 0.5

The learning parameters were selected from several trial values which produce the best prediction performance.

ANN Analysis Computer Program

The ANN analysis (learning process) was performed using an ANN tool (software) written using VB.NET Language in Visual Studio Community 2015 IDE. The screenshot of the ANN tool’s user interface after 1000 epochs of the learning process is shown in Figure 5.

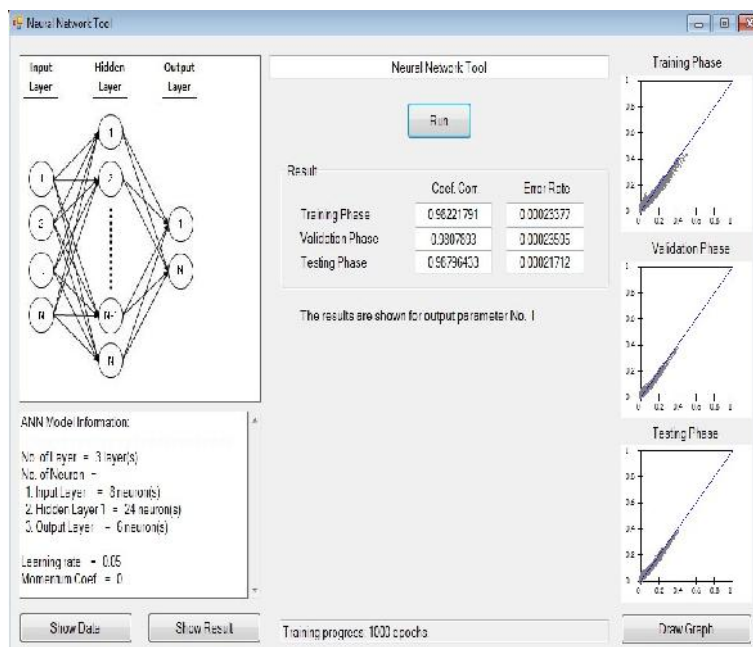


Fig. 5. ANN learning tool screenshot after 1000 epochs

TABLE 3
ANN LEARNING DATA SETS FOR TARGET DATA

Target Data						
No.	Target 1 Disp. X (m)	Target 2 Disp. Y (m)	Target 3 Veloc. X (m/sec)	Target 4 Veloc.Y (m/sec)	Target 5 Accel. X(m/sec ²)	Target 6 Accel. Y (m/sec ²)
1.	0.0067	0.0075	0.1262	0.1272	4.1815	3.3948
2.	0.0146	0.0161	0.2396	0.2469	5.7762	4.9957
3.	0.0237	0.0260	0.3590	0.3713	6.8525	6.1938
4.	0.0338	0.0368	0.4831	0.4986	7.5491	6.9656
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
6340.	0.3371	0.3573	1.6109	1.6115	6.3718	5.9821
6341.	0.3638	0.3854	1.7389	1.7390	6.7544	6.3677
6342.	0.3900	0.4130	1.8687	1.8685	7.4165	7.0298
6343.	0.4156	0.4399	1.9994	1.9989	8.3694	7.9600
6344.	0.4407	0.4662	2.1300	2.1290	9.5280	9.0674
6345.	0.4653	0.4920	2.2597	2.2578	10.7557	10.2225

Prediction Criteria: MSE and R

The details on the MSE and R values obtained through the ANN learning process are tabulated in Table 4. After 1000 epochs during the ANN learning process, the MSE was calculated as 2.34×10^{-4} for training phase, 2.36×10^{-4} for validation phase, and 2.17×10^{-4} for testing phase. The Coefficient

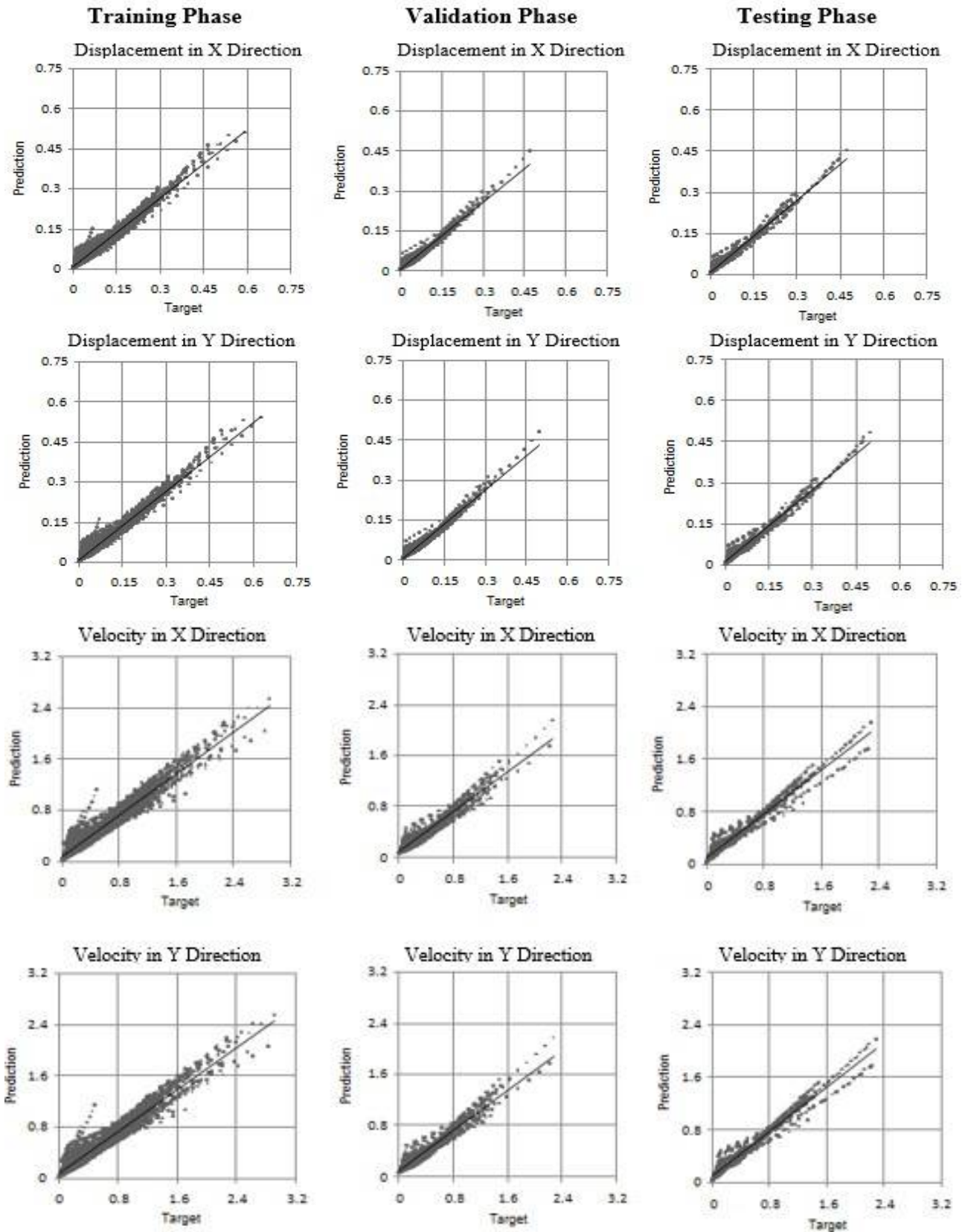
of Correlation (R) was ranging from 0.899 for acceleration to 0.988 for displacement. This shows that the prediction performance of the trained ANN is sufficiently accurate, which can also be observed on the Target vs. Prediction Plots for all parameters and learning phase (Figure 6).

TABLE 4
MSE AND R DETAILS AFTER ANN LEARNING PROCESS

Parameters	Mean-Squared-Error (MSE)			Coefficient of Correlation (R)		
	Training	Validation	Testing	Training	Validation	Testing
Displacement X	1.09×10^{-4}	1.01×10^{-4}	1.00×10^{-4}	0.982	0.981	0.988
Displacement Y	1.05×10^{-4}	0.96×10^{-4}	0.96×10^{-4}	0.982	0.981	0.988
Velocity X	2.05×10^{-4}	2.14×10^{-4}	1.96×10^{-4}	0.972	0.964	0.982
Velocity Y	1.99×10^{-4}	1.99×10^{-4}	1.88×10^{-4}	0.972	0.965	0.983
Acceleration X	4.04×10^{-4}	4.13×10^{-4}	3.80×10^{-4}	0.928	0.901	0.957
Acceleration Y	3.80×10^{-4}	3.93×10^{-4}	3.43×10^{-4}	0.928	0.899	0.959
Average	2.34×10^{-4}	2.36×10^{-4}	2.17×10^{-4}	0.961	0.949	0.976

The trained ANN model achieved in this work is only adequately accurate to predict the structural responses (displacement, velocity, and acceleration) of the building model as described in the Methodology Section of this paper. For different building structure model (framing system, structural element size, floor plan, etc), another ANN model needs to

be developed and trained to be compatible with the building behaviour. In further studies, another building's geometry parameters could be added as input parameters in the ANN model such as number of bay, span of bay, building height, etc, so the trained ANN model will be suitable to predict the structural responses of broader variation of building geometry.



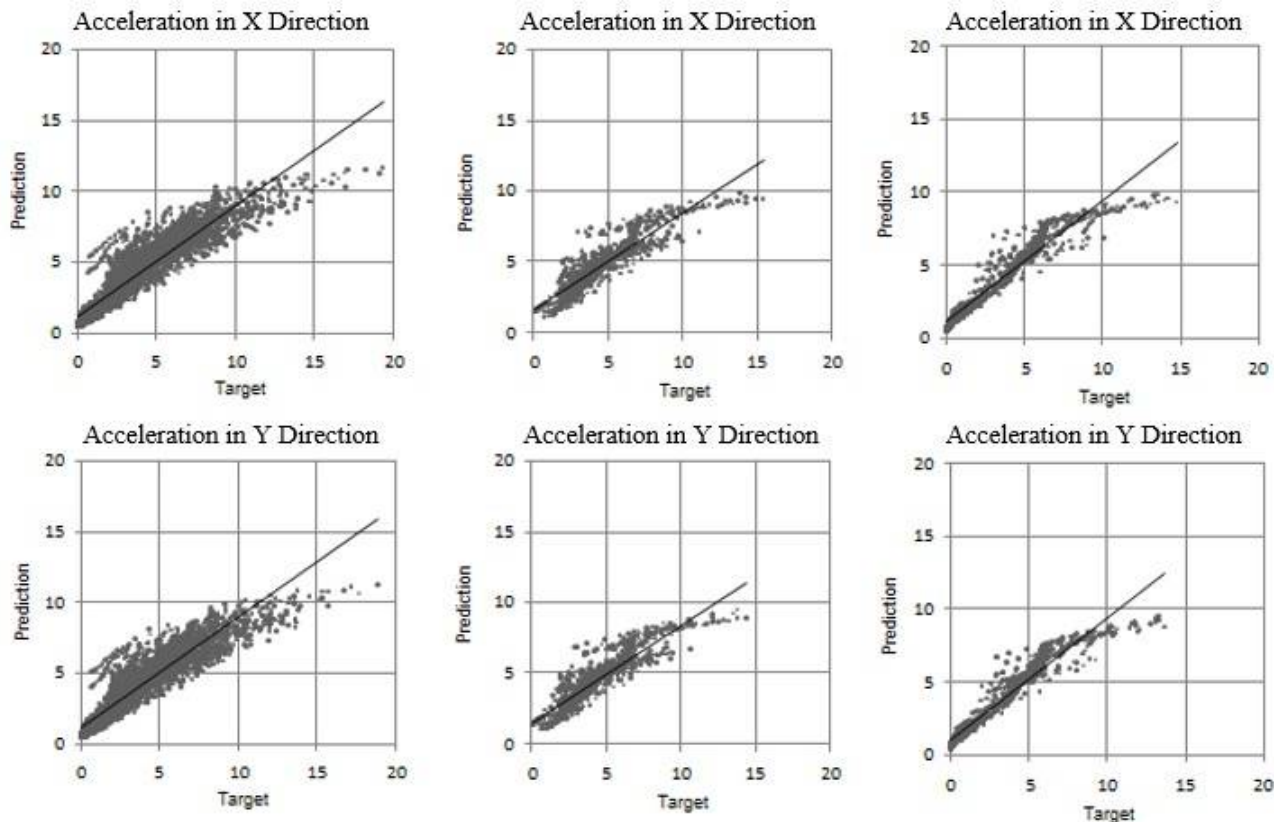


Fig. 6. Target vs. prediction plots after ANN learning process

CONCLUSION

1. The MSE was calculated as 2.34×10^{-4} for training phase, 2.36×10^{-4} for validation phase, and 2.17×10^{-4} for testing phase.
2. The Coefficient of Correlation (R) was ranging from 0.899 for acceleration to 0.988 for displacement.

3. Both calculated MSE and R values indicate that the prediction performance of the trained ANN is sufficiently accurate.

4. The ANN is a very promising tool to provide an early prediction on structural response such as storey-drift (displacement), velocity and acceleration at multi-storey building in the region of Indonesia to assist further FEM analysis.

REFERENCES

- [1] F. FEMA, "273: NEHRP Guidelines for the seismic rehabilitation of buildings," Federal Emergency Management Agency, Washington, DC, 1997.
- [2] B. S. National, "Planning standards for earthquake resistance building structure," Building Seismic Safety Council, Washington, DC, Rep. SNI 03-1726, 2002.
- [3] C. Yang, "Study on Indonesian seismic code SNI 03-1726-2002 and seismic impact to high-rise buildings in Jakarta, Indonesia," in *Proceedings of World Academy of Science: Engineering and Technology*, 2009.
- [4] S. Rajasekaran and G. A. V. Pai, *Neural Network, Fuzzy logic, and Genetic Algorithms Synthesis and Applications*. New Delhi, India: Prentice Hall, 2007.
- [5] V. S. Kanwar, R. P. Singh, N. Kwatra and P. Aggarwal, "Monitoring of RCC structures affected by earthquakes," *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, vol. 7, no. 1, pp. 37-64, 2016.
- [6] D. M. Sahoo, A. Das and S. Chakraverty, "Interval data-based system identification of multistorey shear buildings by artificial neural network modelling," *Architectural Science Review*, vol. 58, no. 3, pp. 244-254, 2015.
- [7] M. Vafaei, A. B. Adnan and A. B. Abd. Rahman, "Real-time seismic damage detection of concrete shear walls using artificial neural networks," *Journal of Earthquake Engineering*, vol. 17, no. 1, pp. 137-154, 2013.

- [8] M. Mardiyono, R. Suryanita and A. Adnan, "Intelligent monitoring system on prediction of building damage index using neural-network," *Telecommunication Computing Electronics and Control*, vol. 10, no. 1, pp. 155-164, 2012.
- [9] E. Bojorquez, J. Bojorquez, S. E. Ruiz and A. Reyes-Salazar, "Prediction of inelastic response spectra using artificial neural networks," *Mathematical Problems in Engineering*, vol. 2012, pp. 1-15, 2012.
- [10] S. C. Lee and S. W. Han, "Neural-network-based models for generating artificial earthquakes and response spectra," *Computers & Structures*, vol. 80, no. 20, pp. 1627-1638, 2002.
- [11] R. Suryanita and A. Adnan, "Application of neural networks in bridge health prediction based on acceleration and displacement data domain," in *Proceedings of the International Multi Conference of Engineers and Computer Scientists*, Hong Kong, China, March 13-15, 2013.
- [12] T. Lay, H. Kanamori, C. J. Ammon, M. Nettles, S. N. Ward, R. C. Aster and R. Butler, "The great Sumatra-Andaman earthquake of 26 december 2004," *Science* vol. 308, no. 5725, pp. 1127-1133, 2005.
- [13] Z. G. Che, T. A. Chiang and Z. H. Che, "Feed-forward neural networks training: A comparison between genetic algorithm and back-propagation learning algorithm," *International Journal of Innovative Computing, Information and Control*, vol. 7, no. 10, pp. 5839-5850, 2011.
- [14] I. A. Basheer and M. Hajmeer, "Artificial neural networks: Fundamentals, computing, design, and application," *Journal of Microbiological Methods*, vol. 43, no. 1, pp. 3-31, 2000.
- [15] N. A. Zainuddin, I. Norhuda, I. S. Adeib, A. N. Mustapa and S. H. Sarijo, "Artificial neural network modeling ginger rhizome extracted using rapid expansion Super-Critical Solution (RESS) Method," *Journal of Advances in Technology and Engineering Research*, vol. 1, no. 1, pp. 1-14, 2015.
- [16] N. Z. Tawfeeq Abdulnabi and O. Altun, "Batch size for training convolutional neural networks for sentence classification," *Journal of Advances in Technology and Engineering Studies*, vol. 2, no. 5, pp. 156-163, 2016.
- [17] H. Maizir, R. Suryanita and H. Jingga, "Estimation of pile bearing capacity of single driven pile in sandy soil using finite element and artificial neural network methods," *International Journal of Applied and Physical Sciences*, vol. 2, no. 2, pp. 45-50, 2016.

— This article does not have any appendix. —

International MultiConference of Engineers
and Computer Scientists 2017

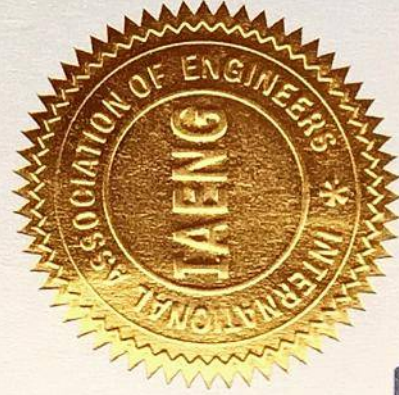
Hong Kong, 15-17 March, 2017

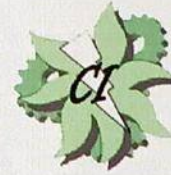
Certificate of Paper Presentation to

Dr. Reni Suryanita

*Application of Backpropagation Neural Networks in Predicting
Story Drift of Building*

**The 2017 IAENG International Conference on
Artificial Intelligence and Applications**





The 4th International Conference on EARTH SCIENCES AND ENGINEERING (ICEE 2017)

29th - 31st August, 2017

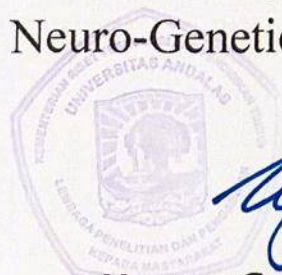
Jointly Organized by
ANDALAS UNIVERSITY, Padang, Indonesia
CAFET INNOVA TECHNICAL SOCIETY, Hyberabad, India

This certificate is presented to

Reni Suryanita

in recognition and appreciation for your contribution as
a presenter of paper entitled

“A Neuro-Genetic Hybrid on Bridge Seismic Monitoring System”



Uyung Gatot S. Dinata

Head of Institute for Research and Community Services
Andalas University, INDONESIA



Raju Aedla

Organizing Chair -ICEE 2017
Secretary General, CITS

EACEF

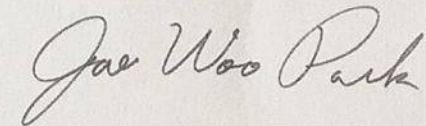
The 6th International Conference of Euro Asia Civil Engineering Forum
Seoul, KOREA, 2017

Certificate for the participation

This is to certify that

Reni Suryantla

has attended in the 6th international conference of Euro Asia Civil Engineering Forum,
held in Seoul Korea, during 22-25th August 2017.

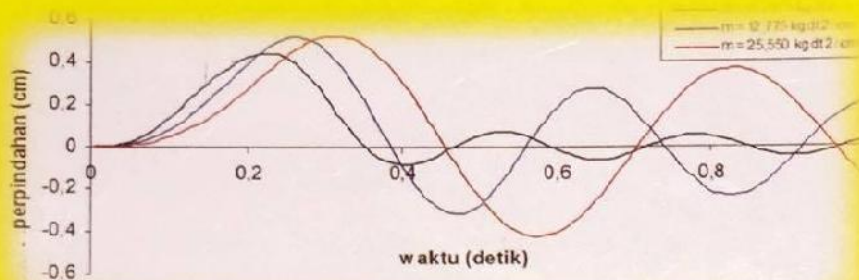


Jae-Woo Park
Conference Chair

BUKU AJAR

DINAMIKA STRUKTUR

Teori dan Aplikasi



Reni Suryanita, Ph.D.



Buku Ajar
DINAMIKA STRUKTUR
Teori dan Aplikasi

Penulis:
Reni Suryanita, Ph.D

Sampul & Tata Letak : UR Press
Diterbitkan oleh UR Press, November 2016
Ukuran Buku : 17,5 cm x 25 cm

Alamat Penerbit :
Badan Penerbit Universitas Riau
UR Press Jl. Pattimura No. 9 Gobah Pekanbaru 28132
Riau, Indonesia
Telp. (0761) 22961, Fax. (0761) 857397
Email: unri_press@yahoo.co.id
ANGGOTA IKAPI

Hak Cipta dilindungi Undang-undang
Dilarang mengutip atau memperbanyak
Sebagian atau seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis dari penerbit

Cetakan Pertama : November 2016

ISBN 978-979-792-712-7

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
TINJAUAN UMUM MATAKULIAH.....	xi
BAB 1.....	1
SISTEM DERAJAT – KEBEBASAN TUNGGAL TIDAK TEREDAM.....	1
1.1. Derajat Kebebasan (Degrees Of Freedom).....	1
1.2. Sistem Tak Teredam (Undamped System).....	3
1.3. Susunan Pegas Paralel atau Seri.....	4
1.4. Persamaan Hukum Gerak Newton.....	6
1.5. Diagram Free Body (Free Body Diagram).....	7
1.6. Prinsip D'Alembert.....	8
1.7. Solusi Persamaan Diferensial Gerak.....	10
1.8. Frekuensi Dan Perioda.....	12
1.9. Amplitudo Gerak.....	13
1.10 Contoh Soal dan Penyelesaian.....	15
1.11 Rangkuman.....	25
1.12 Soal Latihan.....	25
BAB 2.....	27
SISTEM DERAJAT – KEBEBASAN TUNGGAL TEREDAM.....	27
2.1. Redaman Liat (Viscous Damping).....	27
2.2. Persamaan Gerak (Equation Of Motion).....	27
2.3. Sistem Redaman Kritis (Critically Damped System).....	29
2.4. Sistem Redaman Superkritis (Overdamped Sytem).....	30
2.5. Sistem Redaman Subkritis (Underdamped System).....	31
2.6. Pengurangan Logaritmis.....	34
2.7. Contoh Soal dan Penyelesaian.....	36
2.8. Rangkuman.....	42
2.9. Soal Latihan.....	43

BAB 3	44
RESPONS SISTEM BERDERAJAT KEBEBASAN TUNGGAL TERHADAP PEMBEBANAN HARMONIS	44
3.1. Pengaruh Harmonis Tak Tereadam (Undamped Harmonic Excitation)	44
3.2. Pengaruh Harmonis Tereadam (Damped Harmonic Excitation)	46
3.3. Evaluasi Redaman Pada Saat Resonansi	48
3.4. Metoda Band Width Untuk Evaluasi Redaman	49
3.5. Respons Dari Gerakan Penyokong (Response To Support Motion)	50
3.6. Penyaluran Gaya Ke fondasi	52
3.7. Instrumen Gempa (Seismic Instrument)	54
3.8. Contoh Soal dan Penyelesaian	55
3.9. Rangkuman	62
3.10 Soal latihan	63
BAB 4	65
RESPONS SISTEM BERDERAJAT KEBEBASAN TUNGGAL TERHADAP PEMBEBANAN DINAMIS	65
4.1. Pembebanan Impuls Dan Integrasi Duhamel (Impulsive Loading And Duhamel's Integral)	65
4.2. Gaya Konstan	66
4.3. Evaluasi Numerik Dari Integral Duhamel Untuk Sistem Tak Tereadam	69
4.4. Evaluasi Numerik Integral Duhamel Untuk Sistem Tereadam	71
4.5. Evaluasi Numerik Integral Duhamel Untuk Sistem Tereadam dengan Berbagai Variasi Beban	73
4.6. Contoh Soal dan Penyelesaian	76
4.7. Rangkuman	108
4.8. Soal Latihan	108
BAB 5	109
SISTEM DERAJAT – KEBEBASAN BANYAK	109
(MULTI DEGREE OF FREEDOM)	109
5.1. Matriks Fleksibilitas	109
5.2. Matriks Kekakuan	110
5.3. Contoh Soal dan Penyelesaian	112

5.4. Rangkuman	115
5.5. Soal Latihan	116
BAB 6	117
RESPON SISTEM BERDERAJAT KEBEBASAN BANYAK (MDOF) TERHADAP PEMBEBANAN DINAMIS.....	117
6.1 Analisis Respon Dinamik Sistem MDOF dengan Metode Newmark – β	117
6.2 Pembebanan Dinamis	123
6.2.1. Beban Segitiga	123
6.2.2. Beban Segiempat.....	123
6.2.3. Beban <i>Ramp</i>	124
6.2.4. Beban Sinusoidal.....	124
6.3 Contoh Soal dan Penyelesaian	125
6.3.1. Beban Sinusoidal.....	133
6.3.2. Beban Segitiga	142
6.3.3. Beban Segiempat.....	152
6.3.4. Beban <i>Ramp</i>	161
6.4 Rangkuman	170
6.5 Soal Latihan	174
BAB 7	175
RESPON DINAMIS STRUKTUR BERDASARKAN GRAFIK SPEKTRUM RESPONS	175
7. 1. Bentuk Spektrum Respons (Construction Of Response Spectrum).....	175
7. 2. Spektrum Respons Untuk Penyokong/Fondasi yang Tergantung/Bergerak	178
7. 3. Spektrum Respons Dengan Tiga Besaran.....	180
7. 4. Spektrum Respons Kota-kota Indonesia Berdasarkan SNI 1726-2012....	182
7. 5. Contoh Soal dan Penyelesaian	182
7. 6. Rangkuman	193
7. 7. Soal Latihan	194
Daftar Pustaka	195
GLOSARIUM	196
INDEKS.....	197

Daftar Pustaka

- BSN. (2013). *Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung Dan Struktur Lain (SNI 1727)*. Badan Standarisasi Nasional.
- Chopra, A. K. (2012). *Dynamics Of Structures Theory and Applications to Earthquake Engineering*. Prentice Hall.
- Jingga, H., Suryanita, R., & Yuniarto, E. (2015). Respons Struktur Bangunan Berdasarkan Spektra Gempa Indonesia Untuk Ibukota Provinsi Di Pulau Sumatera. In *Proceedings ACES (Annual Civil Engineering Seminar)* (Vol. 1, pp. 111–116).
- Mulrony, B. P., Suryanita, R., & Ismeddyanto. (2016). Analisis Kekuatan Kolom Beton Bertulang dengan Penampang Persegi dan Silinder Akibat Beban Ledakan (Blasting Loads). *Jom FTEKNIK*, 3(2), 1–15.
- Paz, M. (1993). *Dinamika Struktur (Teori dan Perhitungan)*. Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Reza, S. F., & Suryanita, R. (2015). Analisis Kinerja Struktur Beton Bertulang Di Wilayah Gempa Indonesia Intensitas Tinggi Dengan Kondisi Tanah Lunak. In *Proceedings ACES (Annual Civil Engineering Seminar)* (Vol. 1, pp. 185–192).
- Suryanita, R., & Sarfika, H. (2007). Respons Struktur SDOF Akibat Beban Sinusoidal dengan Metode Integral Duhamel. *Jurnal Teknik Sipil Universitas Atma Jaya Yogyakarta*, 7(3), pp-266.
- Vomania, Suryanita, R., & Kurniawandy, A. (2016). Respons struktur dan tingkat kerusakan portal baja akibat variasi pembebanan dinamik dengan analisis riwayat waktu non linier. *Jom FTEKNIK*, 3(2), 1–9.
- Zulfakar, M., Suryanita, R., & Yuniarto, E. (2016). Prediksi tingkat kerusakan struktur bangunan beton bertulang berdasarkan riwayat waktu gempa dengan metode jaringan saraf tiruan. *Jom FTEKNIK*, 3(2), 1–15.