

**ANALISIS VARIASI KONFIGURASI STRUKTUR PORTAL TIGA
DIMENSI TERHADAP BEBAN GEMPA**

**SKRIPSI
TEKNIK SIPIL**

**Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik**



**IVAN AGUS HADINATA
NIM. 135060101111043**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG**

2017

PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, yang mana atas limpahan rahmat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan penyusunan laporan Tugas Akhir berupa Skripsi ini. Skripsi ini merupakan kegiatan akademik yang wajib ditempuh oleh mahasiswa dalam rangka untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik. Dengan judul “Analisis Variasi Konfigurasi Struktur Portal Tiga Dimensi terhadap Beban Gempa”, penulis menyusun laporan ini sebagai hasil dari penelitian yang telah dilakukan selama kurang lebih empat bulan.

Pada kesempatan ini, tidak lupa penulis mengucapkan syukur dan terima kasih kepada:

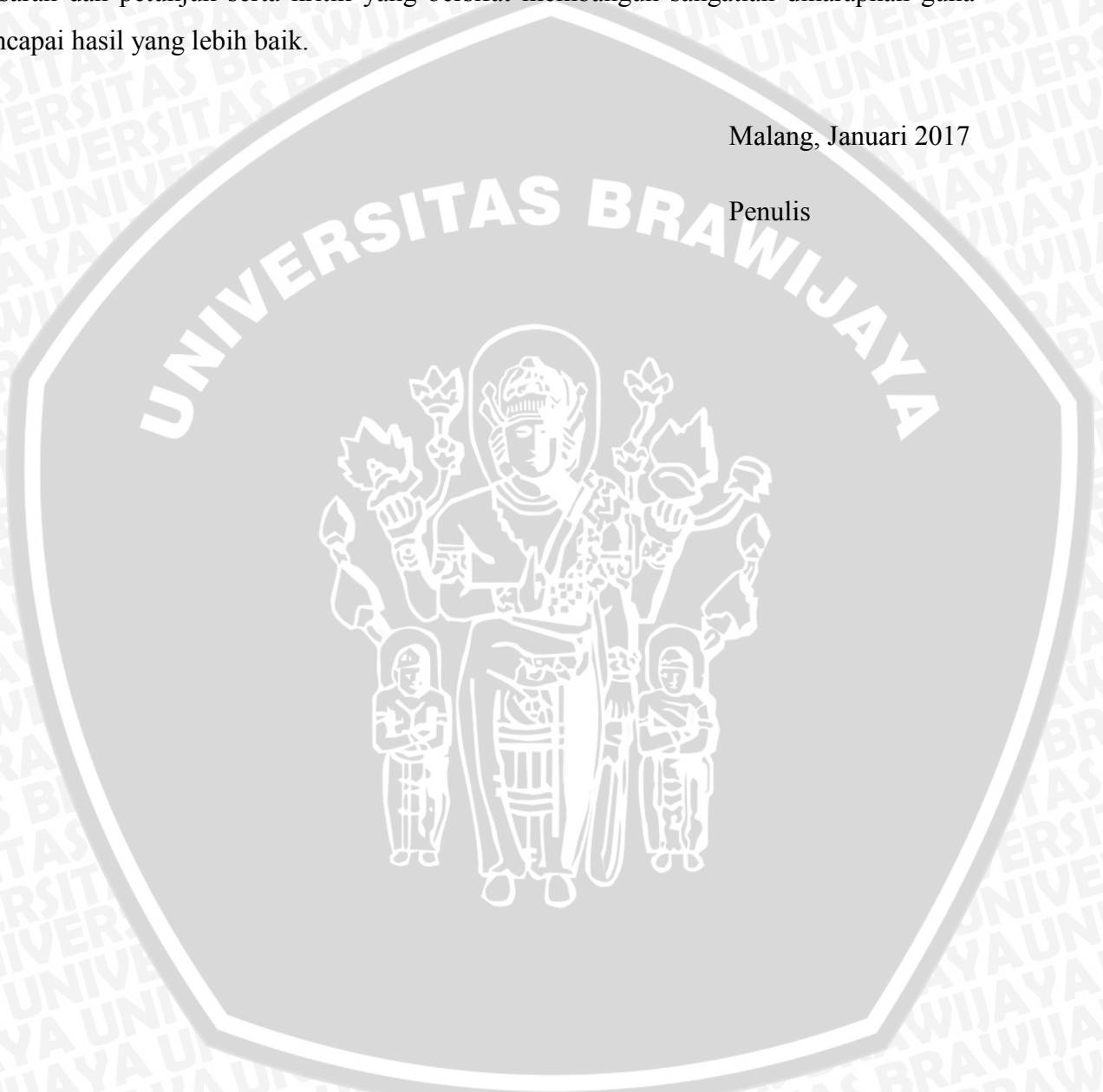
1. Bapak, Ibu, dan seluruh anggota keluarga yang selalu memberi dukungan dan doa.
2. Ibu Ir. Siti Nurlina, MT dan Bapak Roland Martin Simatupang, ST, MT, M.Sc selaku Dosen Pembimbing.
3. Bapak Ir. Sugeng P. Budio, MS, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
4. Bapak Dr. Eng. Indradi Wijatmiko, ST., M.Eng (Prac), selaku Ketua Program Studi Sarjana (S1) Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
5. Bapak Dr. Rer. Net. Ir. Arief Rachmansyah selaku Dosen Penasehat Akademik.
6. Segenap dosen dan karyawan Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
7. Andreas Brian, Stefanus Suharto, Galuh Ajeng Listyaningrum, Izzatul Aini, dan Ayu Saputri selaku rekan dalam program Kuliah Kerja Nyata – Praktek (KKN-P).
8. Ahmad Badiuzzamani selaku rekan dalam pengerjaan tugas Studio Perancangan II.
9. Alodia Sihotang selaku rekan dalam pengerjaan tugas Studio Perancangan I.
10. Teman-teman Keluarga Besar Mahasiswa Sipil (KBMS) Universitas Brawijaya yang telah memberi dukungan, bantuan, dan masukan.
11. Pihak-pihak lain yang telah membantu, mulai dari awal hingga akhir pelaksanaan skripsi ini.

Besar harapan penulis agar nantinya laporan ini dapat bermanfaat untuk penulis dan para pembaca, baik sebagai bahan bacaan penunjang maupun sebagai referensi dalam penyusunan laporan-laporan dalam bidang serupa.

Penulis menyadari bahwa penyusunan laporan ini masih jauh dari kata sempurna. Hal ini disebabkan masih terbatasnya pengetahuan dan kemampuan dari penulis. Oleh karena itu saran dan petunjuk serta kritik yang bersifat membangun sangatlah diharapkan guna mencapai hasil yang lebih baik.

Malang, Januari 2017

Penulis



DAFTAR ISI

	Halaman
PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
RINGKASAN	x
SUMMARY	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	2
1.3 Rumusan Masalah	2
1.4 Pembatasan Masalah	3
1.5 Tujuan Penelitian	3
1.6 Hipotesis	3
1.7 Manfaat	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Gempa Bumi	5
2.1.1 Karakteristik Gelombang	5
2.1.2 Gelombang Seismik	7
2.1.3 Kekuatan Gempa	9
2.2 Struktur Portal Gedung Bertingkat Tinggi	11
2.2.1 Bangunan Tahan Gempa	12
2.2.2 Performa Gedung	15
2.2.3 Sistem dan Subsistem Struktur Gedung	16
2.3 Konfigurasi Bangunan	18
2.3.1 Bentuk Bangunan	18
2.3.2 Denah Bangunan Reguler	20
2.3.3 Denah Bangunan Tidak Reguler	22
2.4 Analisa Beban Gempa	26
2.4.1 Analisis Riwayat Waktu	28
2.4.2 Frekuensi Natural	31
2.4.3 Bentuk Ragam (<i>Mode Shape</i>)	32
2.5 Defleksi Lateral dan Simpangan Antar Tingkat (<i>Drift Ratio</i>)	34



BAB III METODOLOGI PENELITIAN	37
3.1 Variasi Model Struktur	37
3.2 Modelisasi	40
3.3 Material dan Dimensi	40
3.4 Pembebanan	40
3.5 Variabel	42
3.6 Metode Analisis	43
3.7 Diagram Alir	44
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	45
4.1 Karakteristik Komponen Struktur	45
4.2 Pemodelan Struktur Model pada SAP 2000	46
4.3 Perbandingan Berat Struktur	50
4.4 Periode Getaran, Frekuensi Natural, dan <i>Mode Shape</i>	50
4.5 Gaya Gempa Dasar (<i>Base Shear</i>)	57
4.6 Perpindahan Tiap Lantai (<i>Storey Displacement</i>)	58
4.6.1 <i>Displacement</i> Arah Gempa X	59
4.6.2 <i>Displacement</i> Arah Gempa Y	62
4.7 Gaya Dalam Struktur	66
4.7.1 Gaya Aksial Maksimum	66
4.7.2 Gaya Momen Maksimum	68
4.7.2.1 Gaya Momen Maksimum pada Kolom	68
4.7.2.2 Gaya Momen Maksimum pada Balok	69
4.7.3 Gaya Geser Maksimum	70
4.7.3.1 Gaya Geser Maksimum pada Kolom	71
4.7.3.2 Gaya Geser Maksimum pada Balok	72
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	73
5.1 Kesimpulan	73
5.2 Saran	75
DAFTAR PUSTAKA	76
LAMPIRAN	77

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Skala Richter	10
Tabel 2.2	<i>Modified Mercalli Intensity</i> (MMI)	11
Tabel 2.3	Percepatan Puncak Batuan Dasar dan Puncak Muka Tanah	29
Tabel 2.4	Faktor Keutamaan Gedung	29
Tabel 2.5	Pencatatan Riwayat Gempa	30
Tabel 3.1	Karakteristik Kayu MDF	40
Tabel 4.1	Model Struktur Denah Persegi	47
Tabel 4.2	Model Struktur Denah Persegi Panjang	48
Tabel 4.3	Model Struktur Denah Segi Delapan	49
Tabel 4.4	Perbandingan Berat Struktur 3 Model	50
Tabel 4.5	Rasio Partisipasi Massa untuk Model Persegi	50
Tabel 4.6	Rasio Partisipasi Massa untuk Model Persegi Panjang	51
Tabel 4.7	Rasio Partisipasi Massa untuk Model Segi Delapan	51
Tabel 4.8	Perbandingan Periode Getaran 3 Model	54
Tabel 4.9	Perbandingan Frekuensi Natural 3 Model	54
Tabel 4.10	Kekakuan Struktur Model	56
Tabel 4.11	Perbandingan <i>Base Shear</i> Arah X	57
Tabel 4.12	Perbandingan <i>Base Shear</i> Arah Y	57
Tabel 4.13	<i>Displacement</i> Maksimum Arah X untuk Kekuatan Gempa 250 gal	59
Tabel 4.14	<i>Displacement</i> Maksimum Arah X untuk Kekuatan Gempa 400 gal	59
Tabel 4.15	<i>Displacement</i> Maksimum Arah X untuk Kekuatan Gempa 600 gal	59
Tabel 4.16	<i>Displacement</i> Maksimum Arah X untuk Kekuatan Gempa 800 gal	60
Tabel 4.17	<i>Displacement</i> Maksimum Arah Y untuk Kekuatan Gempa 250 gal	62
Tabel 4.18	<i>Displacement</i> Maksimum Arah Y untuk Kekuatan Gempa 400 gal	63
Tabel 4.19	<i>Displacement</i> Maksimum Arah Y untuk Kekuatan Gempa 600 gal	63
Tabel 4.20	<i>Displacement</i> Maksimum Arah Y untuk Kekuatan Gempa 800 gal	63
Tabel 4.21	Perbandingan Gaya Aksial Maksimum pada Kolom	66
Tabel 4.22	Perbandingan Momen Maksimum pada Kolom	69
Tabel 4.23	Perbandingan Momen Maksimum pada Balok	70

Tabel 4.24	Perbandingan Gaya Geser Maksimum pada Kolom	71
Tabel 4.25	Perbandingan Gaya Geser Maksimum pada Balok.....	72
Tabel 5.1	Rekapitulasi Hasil Analisis untuk Setiap Parameter	75

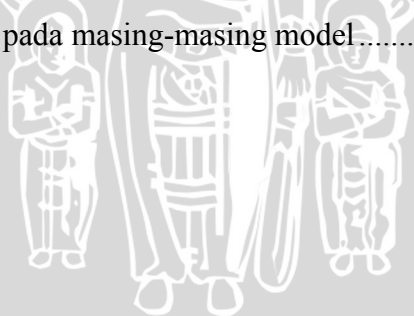


DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Jenis gelombang berdasarkan periode dan amplitudonya	6
Gambar 2.2	Frekuensi gelombang.....	7
Gambar 2.3	Gelombang badan (<i>body waves</i>).....	8
Gambar 2.4	Gelombang permukaan (<i>surface waves</i>).....	9
Gambar 2.5	Hubungan kekakuan, gaya, dan perpindahan	14
Gambar 2.6	Proses pembentukan sendi plastis dan hubungannya dengan daktilitas	15
Gambar 2.7	Sistem struktur gedung penahan gempa	17
Gambar 2.8	Konfigurasi bangunan	18
Gambar 2.9	Bangunan reguler dan tidak reguler	19
Gambar 2.10	Denah simetris	20
Gambar 2.11	Arah beban gempa dan struktur utama bangunan sederhana	22
Gambar 2.12	Bangunan tidak reguler.....	23
Gambar 2.13	Gerakan tanah dan gaya inersia atau gaya gempa	23
Gambar 2.14	Gaya gempa dan simpangan pada bangunan tidak reguler.....	25
Gambar 2.15	Bangunan tidak reguler secara vertikal	25
Gambar 2.16	Analisis struktur terhadap beban gempa.....	27
Gambar 2.17	Riwayat waktu gempa El Centro	30
Gambar 2.18	Bagian-bagian riwayat gempa	31
Gambar 2.19	Struktur <i>Multi Degree of Freedom</i> 2 derajat kebebasan	33
Gambar 2.20	<i>Mode shape</i> gedung 2 lantai.....	34
Gambar 2.21	Simpangan lateral	35
Gambar 3.1	Jumlah lantai dan jarak bersih tiap lantai model	37
Gambar 3.2	Dimensi model A.....	38
Gambar 3.3	Dimensi model B	39
Gambar 3.4	Dimensi model C	39
Gambar 3.5	Pengujian model sesungguhnya arah NS dan EW.....	42
Gambar 3.6	Grafik riwayat waktu pada SAP2000 (800 gal NS)	42
Gambar 4.1	Dimensi penampang struktur kolom dan balok.....	45
Gambar 4.2	Data karakteristik struktur kolom dan balok pada SAP2000	46

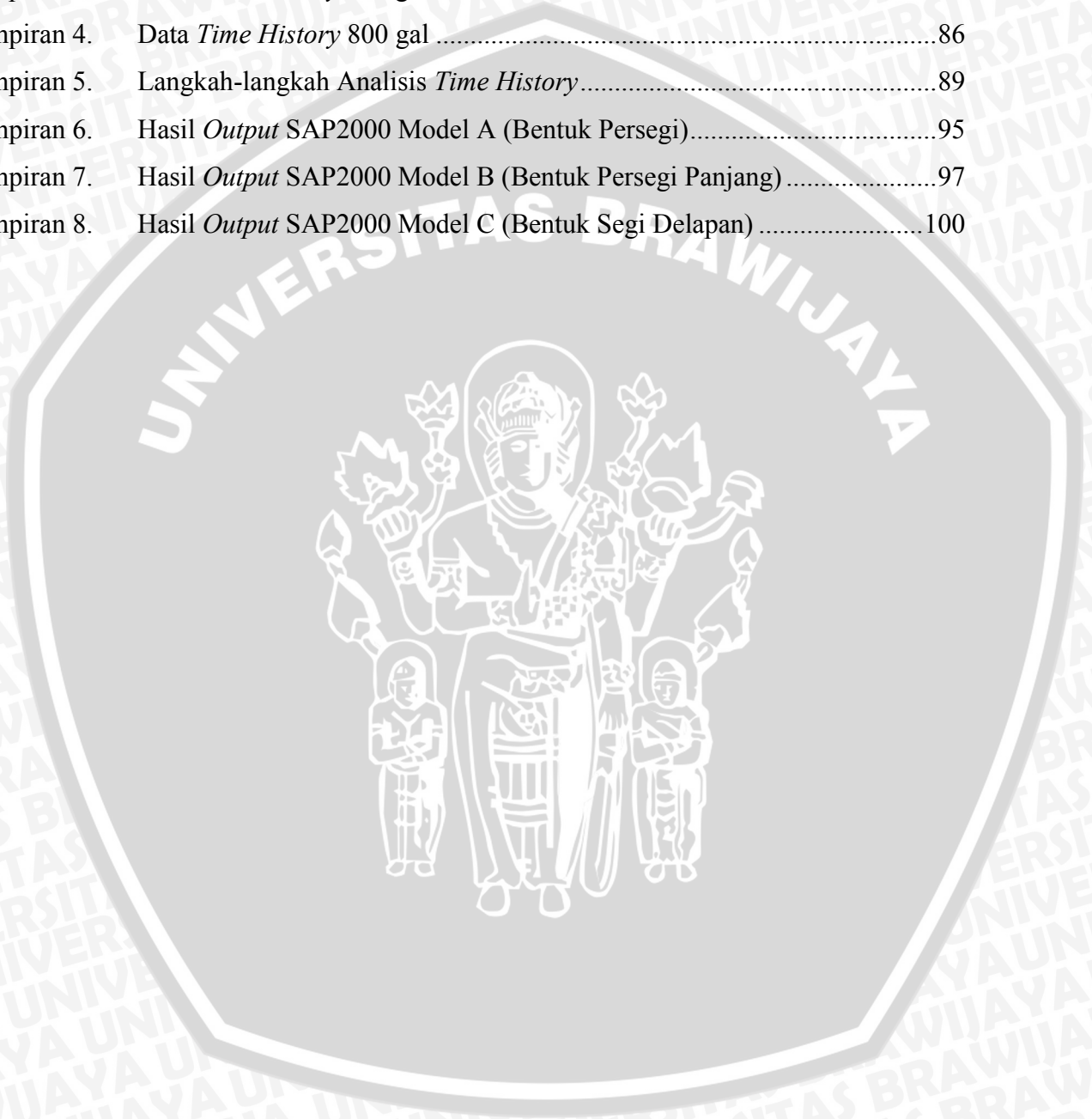


Gambar 4.3	<i>Mode shape</i> model persegi (Model A).....	52
Gambar 4.4	<i>Mode shape</i> model persegi panjang (Model B)	52
Gambar 4.5	<i>Mode shape</i> model segi delapan (Model C).....	53
Gambar 4.6	Grafik hubungan <i>mode shape</i> dan periode getar	55
Gambar 4.7	Grafik hubungan <i>mode shape</i> dan frekuensi natural	55
Gambar 4.8	Perbandingan <i>base shear</i> arah gempa X	58
Gambar 4.9	Perbandingan <i>base shear</i> arah gempa Y	58
Gambar 4.10	Grafik perbandingan perpindahan akibat gempa arah X 250 gal.....	60
Gambar 4.11	Grafik perbandingan perpindahan akibat gempa arah X 400 gal.....	61
Gambar 4.12	Grafik perbandingan perpindahan akibat gempa arah X 600 gal.....	61
Gambar 4.13	Grafik perbandingan perpindahan akibat gempa arah X 800 gal.....	62
Gambar 4.14	Grafik perbandingan perpindahan akibat gempa arah Y 250 gal.....	64
Gambar 4.15	Grafik perbandingan perpindahan akibat gempa arah Y 400 gal.....	64
Gambar 4.16	Grafik perbandingan perpindahan akibat gempa arah Y 600 gal.....	65
Gambar 4.17	Grafik perbandingan perpindahan akibat gempa arah Y 800 gal.....	65
Gambar 4.18	Grafik perbandingan gaya aksial maksimum pada arah gempa X.....	67
Gambar 4.19	Grafik perbandingan gaya aksial maksimum pada arah gempa Y	67
Gambar 4.20	Diagram gaya aksial maksimum pada masing-masing model	68
Gambar 4.21	Diagram gaya momen pada masing-masing model	68
Gambar 4.22	Diagram gaya geser pada masing-masing model	71



DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halaman
Lampiran 1.	Data <i>Time History</i> 250 gal	77
Lampiran 2.	Data <i>Time History</i> 400 gal	80
Lampiran 3.	Data <i>Time History</i> 600 gal	83
Lampiran 4.	Data <i>Time History</i> 800 gal	86
Lampiran 5.	Langkah-langkah Analisis <i>Time History</i>	89
Lampiran 6.	Hasil <i>Output</i> SAP2000 Model A (Bentuk Persegi).....	95
Lampiran 7.	Hasil <i>Output</i> SAP2000 Model B (Bentuk Persegi Panjang).....	97
Lampiran 8.	Hasil <i>Output</i> SAP2000 Model C (Bentuk Segi Delapan).....	100



RINGKASAN

Ivan Agus Hadinata, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Januari 2017, *Analisis Variasi Konfigurasi Struktur Portal Tiga Dimensi terhadap Beban Gempa*, Dosen Pembimbing : Siti Nurlina dan Roland Martin Simatupang.

Pertumbuhan penduduk yang tinggi menyebabkan kebutuhan akan tempat tinggal semakin meningkat. Hal ini menyebabkan ketersediaan lahan semakin menyempit. Salah satu alternatif yang dapat dilakukan adalah dengan mendirikan gedung bertingkat tinggi, sehingga menghasilkan kapasitas huni yang besar namun tidak membutuhkan lahan yang terlalu luas. Bangunan bertingkat tinggi memerlukan perencanaan yang baik, terutama dalam penerapan beban-beban lateral, misalnya beban gempa. Keterbatasan lahan menyebabkan beberapa gedung bertingkat tinggi dibangun dengan bentuk yang tidak sederhana atau ireguler. Bangunan ireguler akan menghasilkan perilaku atau karakteristik yang berbeda ketika gedung mengalami gempa dibandingkan dengan bangunan yang reguler.

Pada penelitian ini dilakukan proses analisis dengan metode *time history* terhadap 3 model bentuk konfigurasi bangunan, yaitu bentuk persegi, persegi panjang, dan segi delapan dengan menggunakan material MDF (*Medium Density Fiberboard*). Analisis pada penelitian ini menggunakan alat bantu program SAP2000. Parameter yang dibandingkan dari ketiga model adalah faktor partisipasi massa, periode getar alami struktur, frekuensi natural, ragam getar struktur, gaya gempa dasar, perpindahan setiap lantai, gaya dalam struktur yang meliputi gaya aksial, momen, dan gaya geser. Semua parameter ditinjau dalam 2 arah gempa, yaitu arah X dan arah Y. Data *time history* yang digunakan berasal dari data yang digunakan dalam kompetisi IDEERS 2015 dengan kekuatan 250 gal, 400 gal, 600 gal, dan 800 gal.

Berdasarkan hasil analisis, ketiga model memiliki *mode shape* yang sama baik dalam arah X maupun Y. Dalam arah X terbentuk *mode shape* kelima dan dalam arah Y terbentuk *mode shape* keempat. Berdasarkan parameter simpangan atau *displacement*, dalam arah X bentuk segi delapan menghasilkan *displacement* yang paling besar (selisih $\pm 22\%$ terhadap model persegi). Dalam arah Y bentuk segi delapan juga menghasilkan *displacement* terbesar (selisih $\pm 3\%$ terhadap model persegi). Berdasarkan parameter gaya yang terjadi pada ketiga model, secara keseluruhan bentuk segi delapan menghasilkan gaya dalam yang lebih kecil dibandingkan kedua model lainnya. Momen maksimum pada kolom model segi delapan $\pm 18\%$ lebih kecil daripada model persegi dan geser maksimum pada kolom model segi delapan $\pm 21\%$ lebih kecil daripada model persegi. Sedangkan berdasarkan parameter periode getaran, bentuk segi delapan memiliki periode terkecil untuk arah X maupun arah Y.

Kata kunci: konfigurasi, gempa, *time history*, MDF, SAP2000

SUMMARY

Ivan Agus Hadinata, *Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, Januari 2017, Analysis of Three Dimensional Frame Structure with Various Configurations Under Seismic Force, Academic Supervisor : Siti Nurlina and Roland Martin Simatupang.*

Due to high population growth, the requirement of residences also increased. It leads to decreased land availability. One of the alternatives that can be used is to build high-rise buildings, resulting in a large capacity for habitation but does not require a large area. To build high-rise buildings, detailed planning is necessary, especially in application of lateral loads such as seismic load. Due to the limitation of land availability, some high-rise buildings constructed with an irregular shape. Building with irregular shape can cause different behavior when buildings are under seismic load.

In this study, structure analysis is performed by using time history method for three various configuration (square, rectangle, and octagonal shape) with uses Medium Density Fiberboard (MDF). The analysis in this study uses program SAP2000. Output parameters that be compared from all the models are modal mass participation, natural period, natural frequency, mode shapes, base shear, storey displacement, structure internal forces, such as axial, moment, and shear force. All parameters are reviewed in two directions earthquake, X and Y direction. Time history analysis uses data from IDEERS 2015 competition with magnitude of 250 gal, 400 gal, 600 gal, and 800 gal.

Based on the analysis, all three models have same mode shape in both directions X and Y. In X direction, structure vibrates in fifth mode shape and in Y direction structure vibrates in fourth mode shape. Based on the parameter of displacement, octagonal shape produces the biggest displacement in the X direction (the difference $\pm 22\%$ rather than square model) and the Y direction (the difference $\pm 3\%$ rather than the square model). Based on the parameter of forces that occurs in all three models, overall, octagonal shape produces smaller force than the other models. Maximum moment on the octagonal model column $\pm 18\%$ smaller than the square model and maximum shear on the octagonal model column $\pm 21\%$ smaller. While based on the parameter of vibration period, octagonal shape has the smallest period for the X and Y direction.

Keywords: configurations, earthquake, time history, MDF, SAP2000

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kehidupan manusia tidak dapat dipisahkan dari dunia teknik sipil. Hampir setiap kegiatan manusia berhubungan dengan bermacam jenis infrastruktur sipil, seperti bangunan gedung, jembatan, jalan raya, dan lain-lain. Salah satu jenis struktur yang memiliki peranan penting dan menjadi salah satu kebutuhan pokok manusia sebagai tempat tinggal adalah bangunan gedung. Gedung menjadi penunjang dalam berbagai aktifitas manusia sehari-hari, misalnya kegiatan sosial dan ekonomi.

Seiring perkembangan zaman, ketersediaan lahan untuk mendirikan bangunan semakin sempit. Oleh sebab itu, manusia mulai beralih mendirikan gedung bertingkat tinggi yang memiliki kapasitas besar meskipun berada pada lahan yang sempit. Gedung bertingkat tinggi saat ini semakin banyak didirikan, khususnya di kota-kota besar.

Pembangunan gedung bertingkat tinggi memerlukan perencanaan yang baik sebelum proses pelaksanaannya. Salah satunya adalah mengenai pembebanan yang akan diterima oleh gedung. Dalam tahapan ini, perencana harus mempertimbangkan semua kemungkinan beban yang akan bekerja, tidak terkecuali beban gempa. Beban gempa tergolong salah satu beban yang paling sulit untuk diprediksikan keadaannya, baik besar maupun arahnya. Hal inilah yang menjadi tantangan bagi seorang perencana, yang mana harus mampu merancang struktur yang memiliki performa yang baik selama umur rencana bangunan.

Salah satu faktor yang menentukan karakteristik gedung saat menerima gaya gempa adalah konfigurasi struktur portal atau konfigurasi bentuk bangunan jika dilihat dari tampak atas. Berdasarkan pengalaman selama ini, struktur yang paling ideal dalam menahan gempa adalah berbentuk beraturan, misalnya persegi. Namun sering kali pada beberapa proyek, perencanaan tidak bisa menghasilkan bentuk bangunan yang ideal tersebut karena adanya keterbatasan ruang. Bentuk gedung yang tidak beraturan memungkinkan munculnya perilaku berbeda terjadi pada gedung saat menerima beban gempa.



Perhatian dunia mengenai pentingnya mempelajari pengaruh gempa terhadap struktur gedung, telah memunculkan beberapa kompetisi internasional, salah satunya adalah IDEERS atau *Introducing and Demonstrating Earthquake Engineering Research in Schools*. Dalam kompetisi ini setiap tim harus mendesain dan membuat sebuah konstruksi model bangunan yang tahan terhadap gempa. Simulasi dilakukan dengan menggunakan *shaking table* yang ada di *National Center for Research on Earthquake Engineering* (NCREE) di Taiwan.

Material utama yang digunakan pada kompetisi ini adalah *Medium Density Fiberboard* (MDF) yang disusun menjadi suatu model gedung dengan dimensi tertentu. Dalam kompetisi IDEERS 2015, model bangunan yang dilombakan terdiri dari 6 lantai yang akan diberikan beban berupa *mass block*. Sedangkan proses analisis yang dilakukan adalah menggunakan metode *time history* dari data yang telah disediakan oleh penyelenggara.

Teknik Sipil Universitas Brawijaya adalah salah satu peserta yang mengikuti kompetisi ini setiap tahunnya. Kompetisi ini menjadi salah satu motivasi bagi mahasiswa untuk lebih memahami mengenai ilmu gempa. Berdasarkan latar belakang tersebut, penyusun mengambil judul **Analisis Variasi Konfigurasi Struktur Portal Tiga Dimensi Terhadap Beban Gempa** sebagai objek penelitian.

1.2 Identifikasi Masalah

Bentuk konfigurasi denah gedung yang beragam memerlukan studi penelitian yang lebih lanjut mengenai perilakunya terhadap gaya gempa. Penelitian dilakukan dengan mengamati kelebihan dan kekurangan serta performa dari masing-masing konfigurasi. Performa gedung tersebut ditinjau dari berbagai aspek, diantaranya adalah *mode shape*, simpangan, serta gaya-gaya yang terjadi pada struktur.

Bentuk konfigurasi yang diteliti menggunakan beberapa bentuk yang umum, yaitu persegi, persegi panjang, dan segi delapan. Bentuk denah segi delapan memang masih belum sering digunakan, namun di beberapa negara ditemui beberapa gedung dengan bentuk segi delapan atau disebut juga bentuk oktagonal.

Model struktur yang akan diteliti menggunakan struktur portal 3 dimensi. Analisis gaya gempa menggunakan bantuan *software* SAP2000. Dari hasil yang didapatkan, penyusun akan membandingkan performa masing-masing konfigurasi struktur, seperti struktur mana yang memiliki simpangan lebih kecil atau struktur mana yang menghasilkan gaya lebih kecil pada elemen struktur.

1.3 Rumusan Masalah

Pada penelitian ini permasalahan dirumuskan sebagai berikut :

1. Bagaimanakah perbandingan *mode shape* dari konfigurasi persegi, persegi panjang dan segi delapan?
2. Bagaimanakah perbandingan simpangan dari konfigurasi persegi, persegi panjang dan segi delapan?
3. Bagaimanakah perbandingan gaya-gaya yang terjadi dari konfigurasi persegi, persegi panjang dan segi delapan
4. Bagaimanakah perbandingan frekuensi natural dan periode getaran yang terjadi pada masing-masing konfigurasi?

1.4 Pembatasan Masalah

Karena banyaknya objek yang dapat mempengaruhi performa konfigurasi struktur, maka penelitian ini memiliki batasan masalah :

1. Model konfigurasi yang diteliti adalah bentuk persegi, persegi panjang, dan segi delapan.
2. Tinggi dan jumlah lantai model adalah sama.
3. Beberapa karakteristik komponen pada struktur disamakan, yaitu luas lantai, jumlah kolom, ukuran kolom, dan ukuran balok.
4. Analisis menggunakan *software* SAP2000.
5. Pada modelisasi struktur dengan *shaking table*, pengujian terbatas dalam satu arah gempa saja sehingga pada pemodelan SAP2000 gempa diberikan secara bergantian pada masing-masing arah X dan Y.
6. Data karakteristik kayu yang digunakan berasal dari sumber pustaka, bukan melalui pengujian.
7. Data *time history* menggunakan data kompetisi IDEERS 2015.
8. Kekuatan sambungan struktur tidak dipertimbangkan.

1.5 Tujuan Penelitian

Tujuan yang diharapkan dalam penelitian ini adalah :

1. Mengetahui perbandingan *mode shape* dari konfigurasi persegi, persegi panjang dan segi delapan.
2. Mengetahui perbandingan simpangan dari konfigurasi persegi, persegi panjang dan segi delapan.

4

3. Mengetahui perbandingan gaya-gaya yang terjadi dari konfigurasi persegi, persegi panjang dan segi delapan.
4. Mengetahui perbandingan frekuensi natural dan periode getaran yang terjadi pada masing-masing konfigurasi

1.6 Hipotesis

Hipotesis dalam penelitian ini adalah :

1. Perbedaan konfigurasi portal atau bentuk denah struktur berpengaruh terhadap perilaku struktur, baik dalam hal simpangan dan gaya-gaya dalam komponen struktural.
2. Struktur berbentuk persegi dan persegi panjang memiliki *mode shape* yang searah dengan sumbu X atau Y struktur atau bentuk fundamental (*fundamental shape*), sedangkan bentuk segi delapan memiliki *mode shape* yang cenderung menyebabkan gedung berputar atau memunculkan puntir.
3. Perbedaan konfigurasi dari setiap struktur akan menghasilkan perbedaan karakter pada struktur dalam hal simpangan, gaya dalam, dan frekuensi natural yang akan dibandingkan pada penelitian ini.

1.7 Manfaat

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat kepada :

1. Manfaat bagi akademisi
Berguna sebagai tinjauan pustaka untuk penelitian mengenai konfigurasi struktur selanjutnya. Selain itu diharapkan penelitian ini bermanfaat dalam pertimbangan pemilihan konfigurasi struktur bagi pelaksanaan kompetisi IDEERS selanjutnya.
2. Manfaat bagi praktisi (perencana dan pelaksana konstruksi)
Berguna untuk memberikan pertimbangan dalam perencanaan konfigurasi struktur gedung.
3. Manfaat bagi pemerintah
Memberikan sumbangsih berupa hasil penelitian yang diharapkan bisa memberikan kemajuan bagi dunia konstruksi di Indonesia.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gempa Bumi

Gempa bumi adalah getaran atau guncangan yang terjadi di muka bumi, yang disebabkan oleh pergerakan kerak atau lempeng bumi. “Gempa bumi adalah fenomena getaran yang dikaitkan dengan kejutan pada kerak bumi.” (Schodek, 1991, p.103). Gempa bumi merupakan hasil dari pelepasan energi secara mendadak dari lapisan kerak bumi sehingga menimbulkan gelombang seismik. Gelombang ini mempunyai suatu energi yang dapat menyebabkan permukaan bumi dan bangunan di atasnya bergetar. Getaran ini nantinya menimbulkan gaya-gaya pada struktur bangunan karena struktur cenderung mempertahankan dirinya dari gerakan.

Gempa bumi termasuk salah satu bencana alam yang paling buruk dan sering menyebabkan kerusakan secara meluas hingga menelan korban jiwa. Gempa bumi terjadi hampir setiap waktu dan terjadi di seluruh dunia, khususnya pada wilayah yang dilalui lempeng-lempeng bumi. Kota-kota besar yang memiliki banyak gedung tinggi biasanya mengalami dampak kerusakan yang luar biasa akibat terjadinya gempa bumi ini.

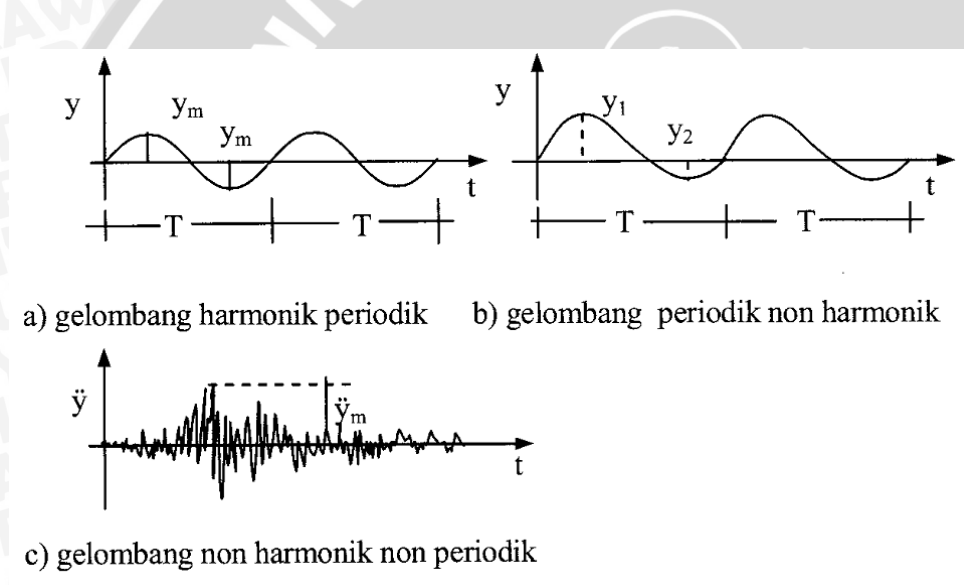
Dampak dari gempa bumi sangat bervariasi, tergantung kepada besar dan intensitasnya. Aktifitas seismik pada suatu area mengacu pada frekuensi, tipe, dan ukuran gempa yang terjadi selama periode waktu tertentu. Secara umum gempa bumi dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu gempa tektonik dan gempa vulkanik. Gempa tektonik adalah gempa yang terjadi akibat adanya pergeseran lempeng bumi. Gempa vulkanik adalah gempa yang terjadi akibat adanya aktifitas atau letusan gunung berapi.

2.1.1 Karakteristik Gelombang

Gelombang secara umum memiliki beberapa karakteristik yang dipakai dalam masalah kegempaan. Gelombang bergerak dari satu tempat ke tempat yang lain dengan suatu karakter tertentu. Karakteristik tersebut dapat berupa jenis gelombang, arah rambatan gelombang (*wave propagation*), perbedaan intensitas gelombang pada arah yang berbeda, kecepatan gelombang, dan gerakan partikel. Selain itu juga terdapat beberapa besaran

penting lainnya seperti, periode gelombang (T), amplitudo gelombang (y), panjang gelombang (L), kecepatan gerak gelombang (v), dan frekuensi gelombang (f).

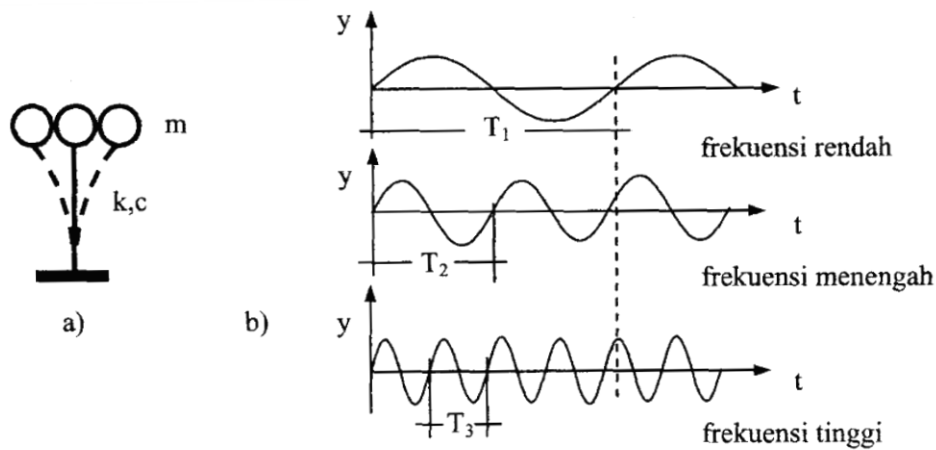
Jika ditinjau berdasarkan periode getarnya, gelombang dibagi menjadi 2 jenis yaitu periodik dan non periodik. Sedangkan jika ditinjau berdasarkan amplitudonya, gelombang dapat digolongkan sebagai getaran harmonik dan non harmonik. Gambar 2.1 menunjukkan beberapa contoh jenis gelombang tersebut. Gelombang harmonik periodik artinya gelombang mempunyai amplitudo (y) dan periode (T) yang sama. Contohnya gelombang akibat getaran mesin. Gelombang periodik non harmonik adalah gelombang yang memiliki amplitudo maksimum (y_1) dan amplitudo minimum (y_2) tidak sama tetapi memiliki periode yang sama. Contohnya adalah tekanan gelombang air. Sedangkan gelombang non harmonik non periodik adalah gelombang yang amplitudo dan periode gelombang bersifat fluktuatif. Contohnya adalah gelombang gempa.



Gambar 2.1 Jenis gelombang berdasarkan periode dan amplitudonya

Sumber: Pawirodikromo (2012, p.156)

Kondisi struktur ketika terjadi gempa dapat dijelaskan sebagai berikut. Suatu struktur seperti pada Gambar 2.2 yang mempunyai 1 massa (m), kekakuan (k), dan redaman (c). Jika tanah di bawahnya bergetar maka massa struktur akan bergoyang ke kanan dan ke kiri. Jika getaran yang terjadi dianggap sebagai gelombang harmonik, maka akan beberapa jenis frekuensi yang muncul, yaitu frekuensi rendah, menengah, maupun tinggi. Gambaran frekuensi tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.2. Dapat dilihat bahwa frekuensi akan berbanding terbalik dengan periode getar.

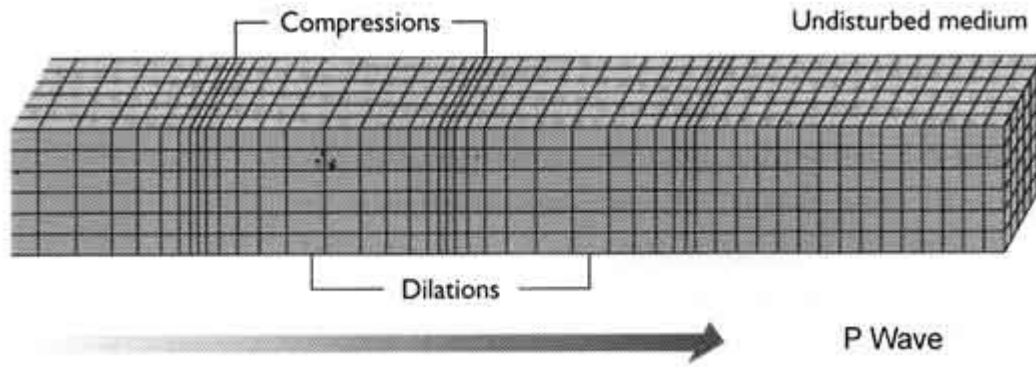


Gambar 2.2 Frekuensi gelombang
 Sumber: Pawirodikromo (2012, p.157)

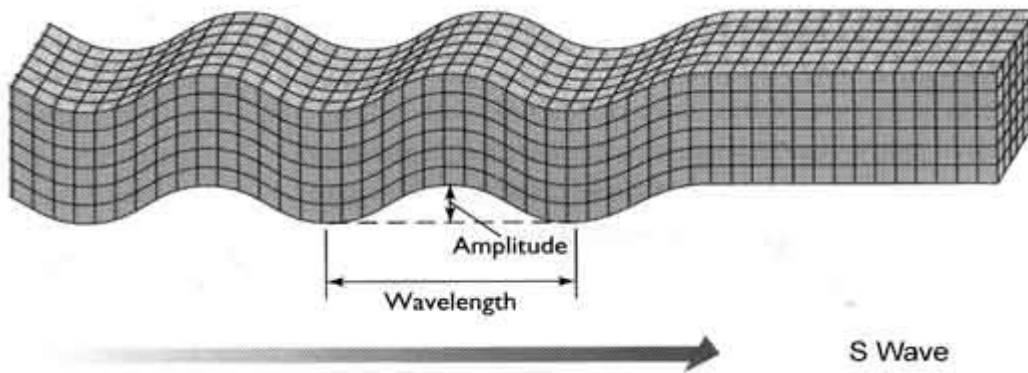
2.1.2 Gelombang Seismik

Gerakan batuan secara tiba-tiba yang terjadi pada kerak bumi dapat menimbulkan getaran yang mentransmisikan energi dalam bentuk gelombang. Gelombang gempa dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu gelombang badan (*body waves*) dan gelombang permukaan (*surface waves*). Gelombang badan adalah gelombang yang merambat di sela-sela bebatuan di bawah permukaan bumi, sedangkan gelombang permukaan adalah gelombang yang merambat dari episenter (pusat gempa pada permukaan) ke sepanjang permukaan bumi.

Gelombang badan terdiri dari gelombang primer atau gelombang P (*primary wave*) dan gelombang sekunder atau gelombang S (*secondary wave*). Gelombang P adalah gelombang longitudinal yang arah gerakannya sejajar dengan arah perambatan gelombang. Gelombang ini adalah gelombang seismik tercepat yang merambat pada sela batuan dengan kecepatan 6 – 7 km/detik. Sedangkan gelombang S adalah gelombang transversal yang arah gerakannya tegak lurus dengan arah perambatan gelombang. Gelombang ini merambat dengan kecepatan lebih rendah, yaitu sekitar 3,5 km/detik.



(a) Gelombang P

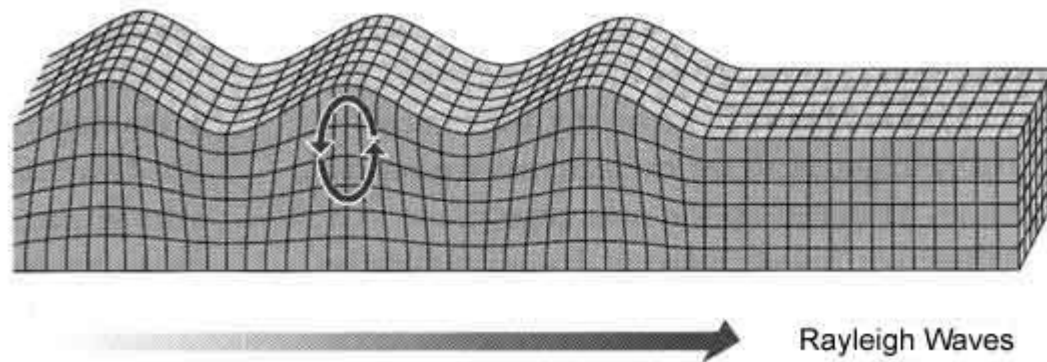
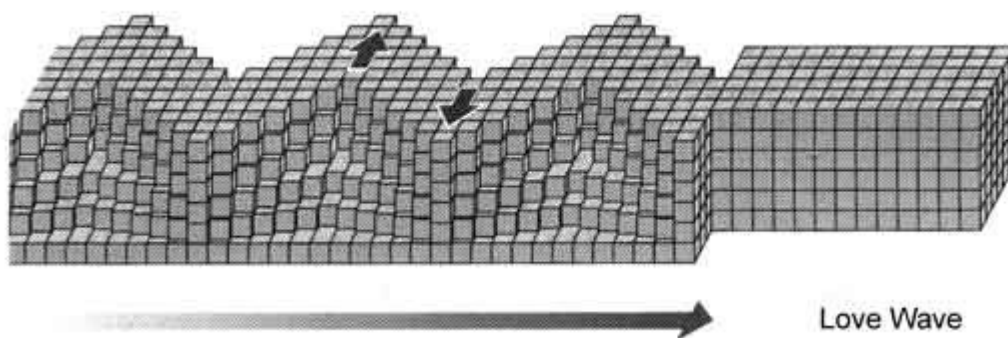


(b) Gelombang S

Gambar 2.3 Gelombang badan (body waves)

Sumber: allshookup.org, diunduh tanggal 21 Juli 2016

Gelombang permukaan terdiri dari gelombang *Rayleigh* dan gelombang *Love*. Gelombang *Rayleigh* adalah gelombang yang menimbulkan efek gerakan tanah yang sirkular. Hal ini mengakibatkan tanah bergerak naik turun seperti ombak di laut. Gelombang *Love* adalah gelombang yang menimbulkan efek gerakan tanah yang horizontal dan tidak menghasilkan perpindahan vertikal. Kecepatan merambat kedua gelombang permukaan ini merambat dengan kecepatan lebih lambat dibandingkan gelombang badan.

(a) Gelombang *Rayleigh*(b) Gelombang *Love*Gambar 2.4 Gelombang permukaan (*surface waves*)

Sumber: allshookup.org, diunduh tanggal 21 Juli 2016

2.1.3 Kekuatan Gempa

Pengukuran kekuatan gempa dapat dilakukan dengan 2 cara, yaitu secara kuantitatif dan kualitatif. Skala pengukuran gempa dibedakan menjadi 2, yaitu magnitudo (*magnitude*) yang berupa skala kuantitatif dan intensitas (*intensity*) yang berupa skala kualitatif. Skala magnitudo digunakan untuk mengukur gempa berdasarkan energi yang dilepaskan dari sumber gempa. Sedangkan skala intensitas mengukur gempa berdasarkan observasi mengenai dampak yang diberikan oleh gempa.

Skala magnitudo memiliki beberapa jenis, namun yang paling sering digunakan adalah *Magnitudo Skala Richter* (SR). Jenis skala ini ditemukan pertama kali oleh seismolog Amerika bernama Charles F. Richter. Skala Richter mengukur gempa berdasarkan nilai amplitudo maksimum gerakan tanah pada jara 100 km dari episenter gempa (Hartuti, 2009). Gelombang gempa akan dicatat pada alat seismograf yang mampu mengukur gerakan tanah dari 0,00001 mm hingga 1 m. Richter menyederhanakan rentang

angka yang terlalu besar tersebut menggunakan bilangan logaritma berbasis 10. Ukuran skala Richter dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 *Skala Richter*

Kategori	Skala Richter	Akibat yang ditimbulkan	Rata-rata kejadian per tahun
Mikro	Kurang dari 2.0	Gempa ringan, nyaris tak terasakan	Sekitar 8.000 per hari
Sangat lemah	2.0 - 2.9	Pada umumnya tidak terasa, tapi tercatat.	Sekitar 1,000 per hari
Lemah	3.0 - 3.9	Terasa, tapi jarang menimbulkan kerusakan.	49,000 (perkiraan)
Ringan	4.0 - 4.9	Membuat goyang barang-barang di dalam ruangan, menimbulkan bunyi derak.	6,200 (perkiraan)
Normal	5.0 - 5.9	Dapat menyebabkan kerusakan bangunan pada area yang kecil. Kerusakan sedikit terjadi pada bangunan yang dirancang tahan gempa..	800
Kuat	6.0 - 6.9	Dapat menimbulkan kerusakan pada radius sekitar 160 km.	120
Utama	7.0-7.9	Dapat menyebabkan kerusakan yang serius pada daerah yang lebih luas.	18
Hebat	8.0 or greater	Dapat menyebabkan kerusakan serius di area lebih dari beberapa ratus km.	1

Sumber : US Geological Survey

Skala intensitas mengukur gempa berdasarkan efek yang diberikan terhadap manusia, alam, struktur bangunan, dan reaksi makhluk hidup. Salah satu seismolog terkenal yang mengembangkan ilmu ini adalah Giuseppe Mercalli. Kemudian H.O. Wood dan Frank Neuman mengadaptasi standar yang telah dibuat oleh Mercalli untuk kondisi di California, yang dikenal dengan istilah *Modified Mercalli Intensity* (MMI). Karena skala ini bersifat kualitatif, maka data yang dihasilkan sangat subjektif dan tergantung dari kondisi lokasi gempa dan pengamatan yang dilakukan. Ukuran skala MMI dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 *Modified Mercalli Intensity* (MMI)

Skala MMI	Keterangan
I	Gempa tidak terasa
II	Sangat sedikit orang yang merasakan gempa
III	Cukup banyak orang yang merasakan gempa, namun tidak menyadari sebagai gempa
IV	Di dalam ruangan, gempa cukup terasa seperti ada truk yang menabrak gedung
V	Gempa terasa oleh hampir setiap orang. Orang yang tidur akan terjaga, pohon berayun, tiang bergoyang
VI	Gempa dirasakan oleh semua orang hingga orang-orang berlarian ke luar ruangan, perabotan bergerak, kerusakan ringan terjadi
VII	Semua orang berlari ke luar ruangan dan bangunan-bangunan berstruktur lemah rusak. Kerusakan ringan terjadi di mana-mana
VIII	Bangunan-bangunan berstruktur terencana rusak, bahkan sebagian runtuh
IX	Seluruh gedung mengalami kerusakan cukup parah, banyak yang bergeser dari pondasinya atau tanah mengalami keretakan
X	Sebagian besar struktur bangunan rusak parah dan tanah mengalami keretakan besar
XI	Hampir seluruh struktur bangunan runtuh, jembatan patah, dan retakan pada tanah sangat lebar
XII	Terjadi kerusakan total, gelombang gempa terlihat jelas di tanah, dan objek-objek berhamburan

Sumber: Hartuti (2009, p.87)

2.2 Struktur Portal Gedung Bertingkat Tinggi

Gedung bertingkat tinggi memiliki banyak sekali pengertian, namun secara teknis suatu gedung dapat dikatakan bertingkat tinggi jika pada tahap analisis dan desainnya dipengaruhi oleh beban lateral yang akan menyebabkan struktur bergoyang (Taranath, 1988). Goyangan atau simpangan adalah besar perpindahan lateral pada puncak gedung terhadap bagian dasar. Semakin tinggi gedung tersebut, beban lateral akan semakin mendominasi dalam sistem bangunan tersebut.

Terdapat 3 faktor utama yang perlu dipertimbangkan dalam perencanaan struktur, yaitu kekuatan, kekakuan, dan stabilitas struktur. Di dalam mendesain gedung bertingkat rendah kekuatan akan menjadi faktor yang lebih dominan dibanding faktor lainnya. Namun untuk mendesain gedung bertingkat tinggi, kekakuan dan stabilitas menjadi hal yang lebih diutamakan.

2.2.1 Bangunan Tahan Gempa

Secara umum tidak ada bangunan yang tidak rusak ketika terjadi gempa. Bangunan tahan gempa di sini bukan berarti tidak boleh ada kerusakan saat terjadi gempa, melainkan kerusakan tersebut sudah diatur berdasarkan gempa rencana sehingga aman bagi orang di sekitar gedung dan masih ada waktu bagi orang untuk menyelamatkan diri. Oleh sebab itu diperlukan perencanaan yang mendetail untuk meminimalkan korban saat terjadi gempa.

Berdasarkan kekuatannya, gempa dibedakan menjadi 3, yaitu gempa ringan, gempa sedang, dan gempa berat. Kerusakan yang boleh terjadi juga berbeda untuk masing-masing kategori gempa. Saat terjadi gempa ringan, tidak boleh ada bagian yang rusak baik struktur maupun non struktural. Ketika terjadi gempa sedang, komponen non struktural boleh rusak tetapi komponen struktural harus tetap bertahan. Sedangkan ketika terjadi gempa berat, komponen struktural boleh rusak tetapi tidak secara keseluruhan sehingga penghuni masih sempat menyelamatkan diri.

Untuk mendesain bangunan tahan gempa, perlu direncanakan dengan baik agar gedung tidak mengalami kegagalan menyeluruh saat mengalami gempa berat. Selain itu, bagian non struktural juga harus diperhatikan agar tidak rusak saat gedung mengalami gempa-gempa yang kecil. Gedung harus dirancang agar memiliki daktilitas yang cukup untuk mengalami deformasi yang besar saat terjadi gempa besar.

Pauly dan Priestley (1992) menyatakan bahwa tingkat layanan struktur akibat gaya gempa terdiri dari :

1. *Serviceability Limit State*

Saat terjadi gempa dengan percepatan tanah yang kecil dalam intensitas yang besar, disyaratkan agar aktivitas dalam bangunan dapat tetap berjalan normal. Komponen struktur maupun non struktural tidak diperkenankan mengalami kerusakan. Dalam perencanaan harus diperhatikan kontrol simpangan yang terjadi saat gempa, serta menjamin kekuatan komponen struktur dalam menahan gaya gempa dan diharapkan struktur bekerja dalam kondisi elastik.

2. *Damage Control Limit State*

Saat terjadi gempa dengan percepatan tanah yang lebih besar, beberapa kerusakan dimungkinkan terjadi. Kerusakan seperti retak pada dinding atau beton mungkin terjadi sehingga membutuhkan perbaikan seperti pemberian *grouting*. Pada batas ini kerusakan hanya diperkenankan pada bagian non struktural, sehingga untuk komponen struktural harus mampu menahan gempa hingga tahap ini.

3. *Survival Limit*

Saat terjadi gempa kuat yang mungkin terjadi pada umur rencana bangunan, struktur tersebut harus direncanakan untuk dapat bertahan dengan tingkat kerusakan yang cukup besar namun struktur tidak mengalami keruntuhan (*collapse*). Batasan ini ditujukan agar penghuni gedung memiliki kesempatan untuk menyelamatkan diri.

Selain batasan tingkat layanan, ada faktor-faktor penting yang perlu diperhatikan dalam perencanaan bangunan tahan gempa, yaitu :

1. Kekakuan (*Stiffness*)

Salah satu faktor yang mempengaruhi deformasi atau simpangan akibat gaya lateral adalah kekakuan. Deformasi yang dihasilkan disebabkan oleh dua faktor, yaitu besar beban yang bekerja dan kekakuan struktur. Hal ini sesuai dengan hukum konstitutif (*Constitutive Law*) dalam konsep analisis struktur, yaitu kekakuan adalah gaya (*force*) yang dibutuhkan untuk menghasilkan satu satuan perpindahan (*unit displacement*). Persamaan kekakuan dapat dilihat pada Persamaan (2-1).

$$k = \frac{F}{\Delta} \dots\dots\dots (2-1)$$

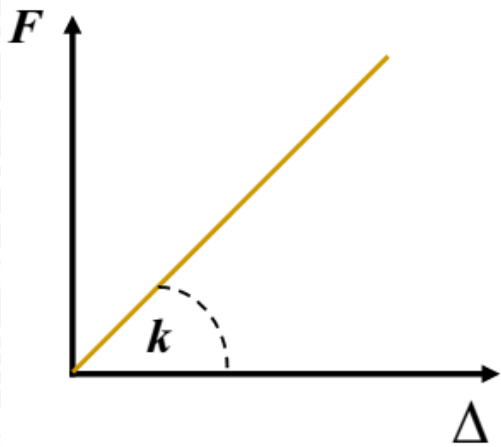
dengan :

k = kekakuan (*stiffness*)

F = gaya (*force*)

Δ = perpindahan (*displacement*)

Hubungan antara kekakuan, gaya, dan perpindahan dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Hubungan kekakuan, gaya, dan perpindahan

2. Kekuatan (*Strength*)

Kekuatan adalah ketahanan dari sistem struktur atau komponennya atau bahan yang digunakan terhadap beban yang bekerja. Perencanaan kekuatan struktur tergantung pada kegunaan struktur tersebut. Struktur harus mempunyai cukup kekuatan untuk menahan gaya internal yang dihasilkan selama masa respon dinamik elastik struktur.

3. Daktilitas (*Ductility*)

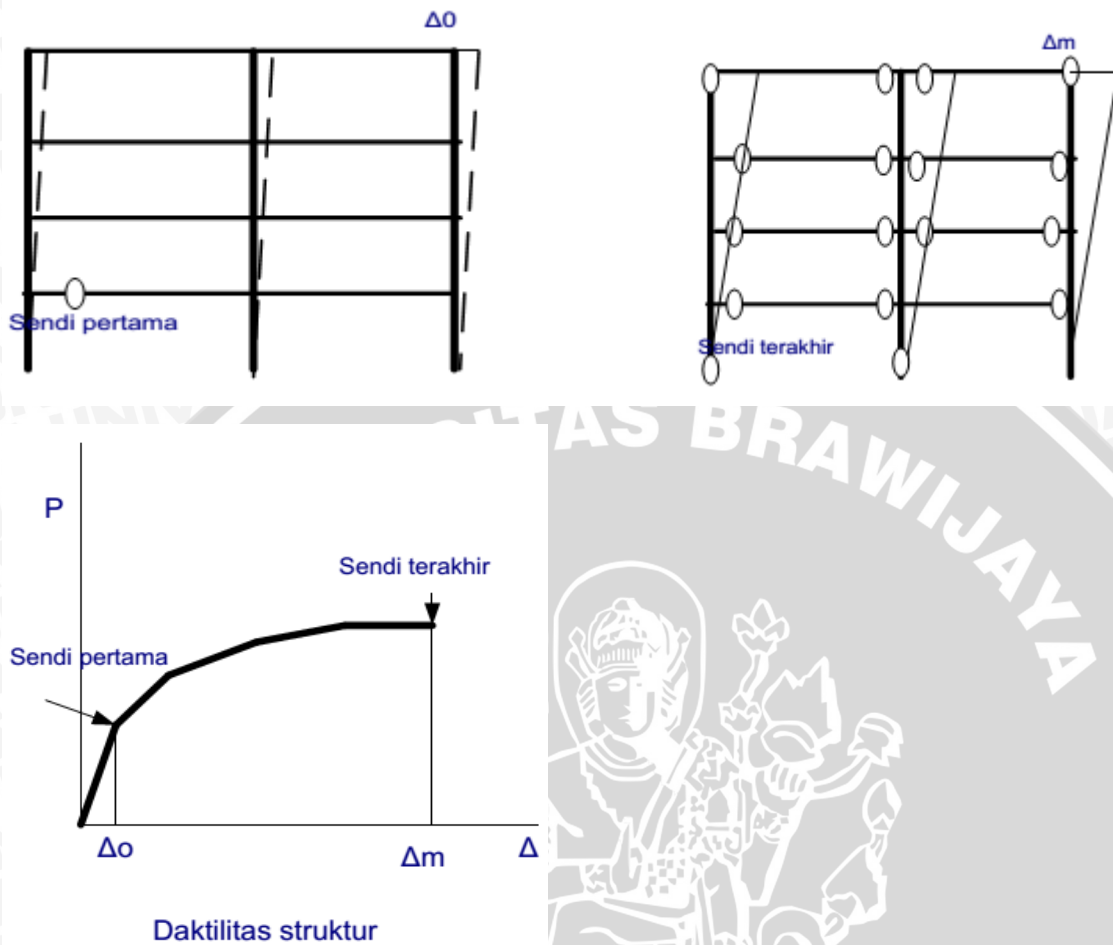
Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung SNI 1726-2002 pasal 3.1.3 memberikan pengertian daktilitas sebagai berikut.

“kemampuan suatu struktur gedung untuk mengalami simpangan pasca-elastik yang besar secara berulang kali dan bolak-balik akibat beban gempa di atas beban gempa yang menyebabkan terjadinya pelelehan pertama, sambil mempertahankan kekuatan dan kekakuan yang cukup, sehingga struktur gedung tersebut tetap berdiri, walaupun sudah berada dalam kondisi di ambang keruntuhan.”

Daktilitas dapat diartikan sebagai kemampuan material mengembangkan regangannya dari pertama kali leleh hingga akhirnya putus atau dengan kata lain kemampuan struktur melakukan deformasi plastis tanpa timbul pemisahan di antara elemennya. Daktilitas struktur dipengaruhi oleh daktilitas penampang dalam membentuk deformasi plastis, dan daktilitas penampang dipengaruhi oleh pemakaian bahan plastis.

Daktilitas struktur terhadap beban lateral dilihat dari hubungan beban lateral dengan simpangan yang terjadi. Faktor daktilitas merupakan rasio antara simpangan maksimum struktur gedung saat mencapai kondisi pada batas keruntuhan dan simpangan pada saat

terjadinya pelelehan pertama di dalam struktur gedung. Proses terbentuknya sendi plastis dan hubungannya dengan daktilitas dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Proses pembentukan sendi plastis dan hubungannya dengan daktilitas

Faktor daktilitas struktur dapat dirumuskan dalam persamaan berikut.

$$1,0 \leq \mu = \frac{\Delta_m}{\Delta_o} \leq \mu_m \quad \dots \dots \dots (2-2)$$

dengan :

Δ_m = simpangan maksimum saat kondisi di ambang keruntuhan

Δ_o = simpangan struktur saat muncul sendi plastis pertama

2.2.2 Performa Gedung

Besar kerusakan komponen struktural dan non struktural akibat adanya getaran tanah tidak hanya bergantung pada karakteristik gempa saja. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi kerusakan bangunan akibat terjadi gempa. Pertama adalah faktor karakteristik gempa yang terjadi, misalnya frekuensi gempa, durasi gempa, percepatan

puncak muka tanah, dan panjang patahan. Kedua adalah faktor karakteristik lokasi di mana bangunan didirikan, misalnya jenis lapisan tanah di lokasi bangunan, waktu getar alami tanah, jarak bangunan ke pusat gempa, struktur geologi antara lokasi bangunan ke pusat gempa. Ketiga adalah faktor karakteristik struktur, misalnya redaman struktur, waktu getar alami struktur, serta pendetailan saat proses pelaksanaan. Faktor pertama dan kedua merupakan faktor yang berasal dari alam yang harus diperhitungkan pengaruhnya, sedangkan faktor ketiga berasal dari bangunan yang dapat direkayasa sehingga pengaruh gempa terhadap struktur dapat diterima tanpa mengalami kegagalan struktur.

Ada 2 parameter yang biasanya digunakan dalam melakukan identifikasi terhadap struktur, yaitu parameter fisik dan parameter ragam getaran. Parameter fisik struktur terdiri dari kekuatan (*strength*), kekakuan (*stiffness*), dan nilai redaman (*damping value*). Sedangkan parameter ragam getaran terdiri dari bentuk ragam (*mode shape*), frekuensi ragam (*modal frequency*), waktu getar alami ragam (*modal natural period*), rasio redaman ragam (*modal damping ratio*), dan faktor partisipasi ragam (*modal participation factor*).

2.2.3 Sistem dan Subsistem Struktur Gedung

Di dalam SNI 1726-2002 dijelaskan bahwa terdapat 7 jenis sistem dan sub sistem struktur gedung dalam perencanaan gempa. Sistem dan subsistem struktur tersebut adalah sebagai berikut :

1. Sistem Dinding Penumpu

Sistem dinding penumpu adalah sistem struktur yang tidak memiliki ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Dinding penumpu ataupun *bracing* memikul sebagian besar beban gravitasi, sedangkan bebang lateral ditahan oleh dinding geser atau rangka *bracing*.

2. Sistem Rangka Gedung

Sistem rangka gedung adalah sistem yang memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Beban lateral dipikul oleh dinding geser atau rangka *bracing*.

3. Sistem Rangka Pemikul Momen

Sistem rangka pemikul momen adalah sistem struktur yang memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Beban lateral dipikul rangka pemikul momen terutama melalui mekanisme lentur.

4. Sistem Ganda

Sistem ganda dibagi menjadi bagian, yaitu rangka ruang yang memikul seluruh beban gravitasi dan pemikul beban lateral berupa dinding geser atau rangka *bracing* dengan rangka pemikul momen. Rangka pemikul momen direncanakan secara terpisah dan harus mampu menahan sekurangnya 25% dari seluruh beban lateral. Kedua sistem direncanakan untuk memikul seluruh beban lateral secara bersama-sama.

5. Sistem Struktur Gedung Kolom Kantilever

Sistem ini merupakan sistem yang menggunakan kolom kantilever untuk memikul beban lateral.

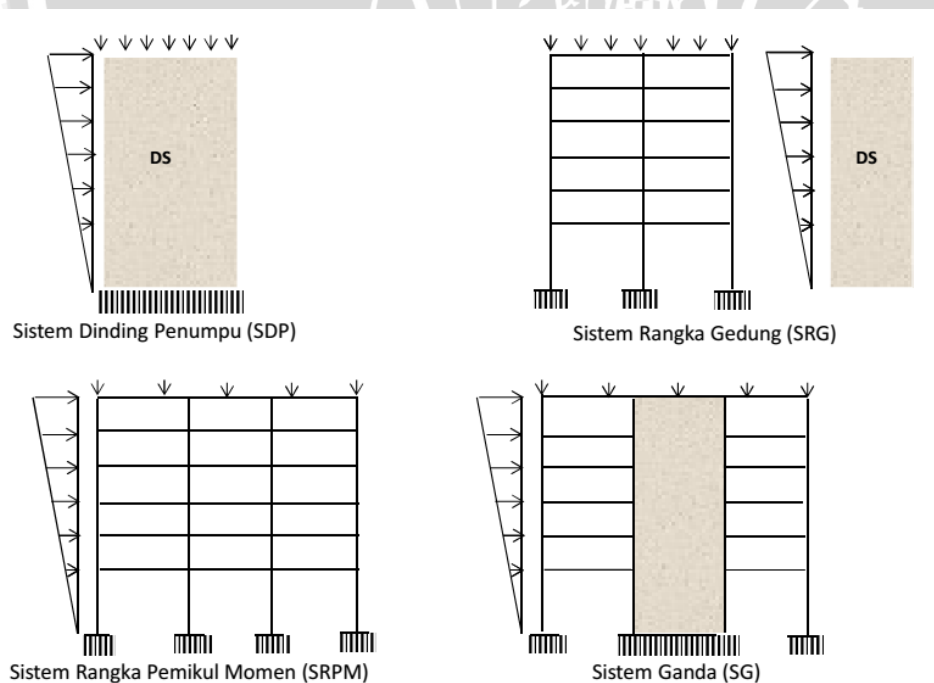
6. Sistem Interaksi Dinding Geser dengan Rangka

Sistem ini merupakan gabungan sistem yang memadukan interaksi dinding geser dengan rangka.

7. Subsistem Tunggal

Subsistem tunggal adalah subsistem struktur bidang yang membentuk struktur gedung secara keseluruhan.

Gambaran beberapa jenis sistem struktur gedung penahan gempa dapat dilihat pada Gambar 2.7.

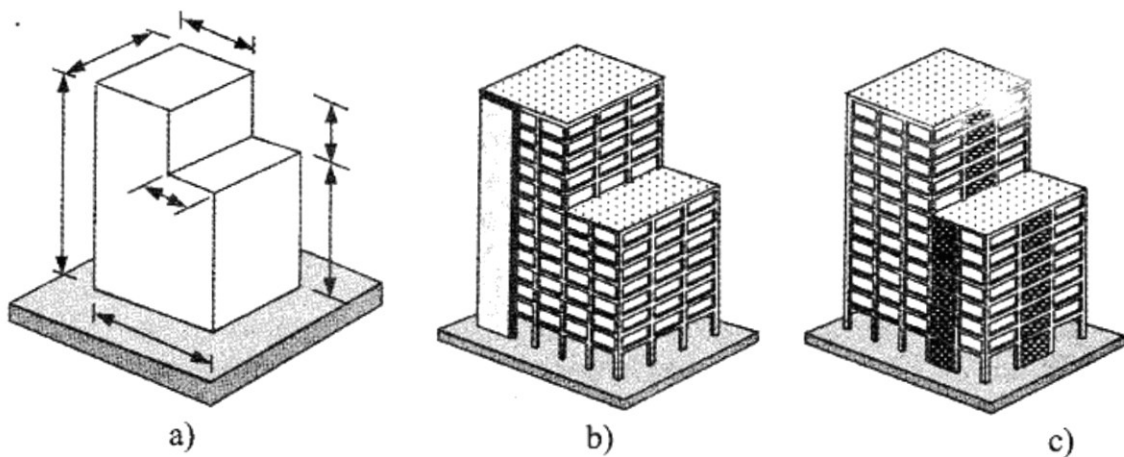


Gambar 2.7 Sistem struktur gedung penahan gempa

2.3 Konfigurasi Bangunan

Salah satu faktor yang mempengaruhi perilaku gedung saat mengalami gempa adalah konfigurasi bangunan. Konfigurasi memiliki arti segala sesuatu yang berhubungan dengan ukuran, bentuk, macam dan penempatan komponen struktur utama bangunan, serta macam dan penempatan komponen non struktural bangunan. Dalam proses perencanaan, pihak-pihak yang terlibat seperti pihak kontraktor (sipil) dan arsitek harus mempertimbangkan bentuk bangunan agar tidak hanya nyaman untuk ditempati, namun juga memiliki keamanan terhadap gempa dan ekonomis dalam hal biaya.

Menurut Pawirodikromo (2012) ada tiga tipe variasi yang menyangkut konfigurasi bangunan. Pertama, konfigurasi bangunan yang menyangkut bentuk, ukuran, dan proporsi bangunan (Gambar 2.8(a)). Kedua, konfigurasi bangunan yang berhubungan dengan jenis, kombinasi, letak, dan orientasi struktur utama bangunan (Gambar 2.8(b)). Ketiga, konfigurasi bangunan yang berhubungan dengan letak dan orientasi elemen non struktural (Gambar 2.8(c)).



Gambar 2.8 Konfigurasi bangunan

Sumber: Pawirodikromo (2012, p.471)

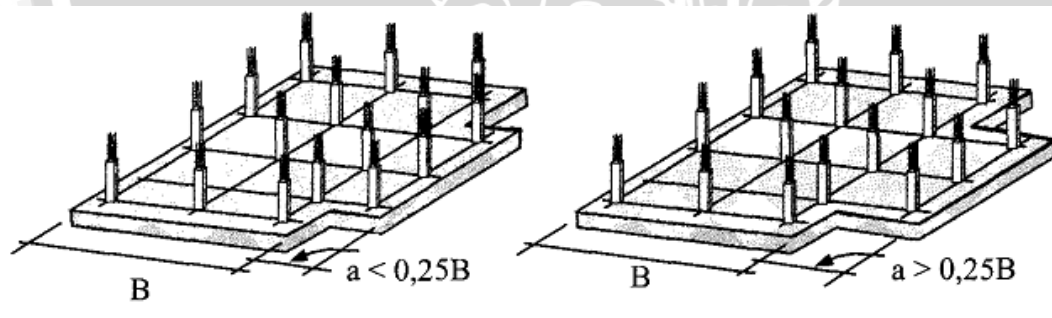
2.3.1 Bentuk Bangunan

Menurut Pawirodikromo (2012), pembahasan mengenai konfigurasi bangunan meliputi hal-hal sebagai berikut :

1. Bentuk bangunan, yang meliputi :
 - a) Bangunan reguler
 - b) Bangunan tidak reguler

2. Ukuran bangunan, yang meliputi :
 - a) Ukuran horisontal, terdiri dari dimensi dan *density*
 - b) Ukuran vertikal, terdiri dari dimensi, distribusi massa, dan distribusi kekakuan
3. Macam struktur utama, yang meliputi :
 - a) Portal (*moment resistant frames*)
 - b) Portal dengan *bracing*
 - c) Kombinasi portal dengan *structural walls*
 - d) *Structural walls*
 - e) *Tube building*
4. Bahan dan elemen non struktural

Gambar 2.9 menunjukkan perbedaan bangunan reguler dan tidak reguler berdasarkan SNI 1726 – 2002 dari segi tonjolan bangunan. Bangunan reguler memiliki tonjolan kurang dari 25% ukuran denah pada arah tersebut seperti pada Gambar 2.9 (a). Sedangkan bangunan tidak reguler memiliki tonjolan lebih dari 25% ukuran denah pada arah tersebut seperti pada Gambar 2.9 (b).



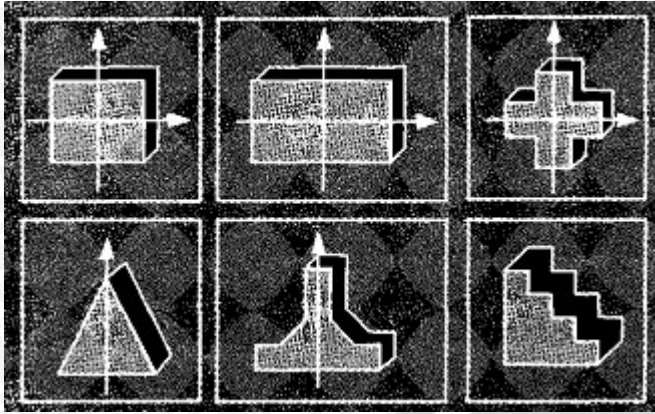
(a) Bangunan reguler

(b) Bangunan tidak reguler

Gambar 2.9 Bangunan reguler dan tidak reguler

Sumber: Sumber: Pawirodikromo (2012, p.473)

Contoh denah-denah simetris secara umum ditunjukkan pada Gambar 2.10. Pada gambar tersebut ditampilkan denah simetris baik simetris dalam 2 sumbu koordinat maupun simetris hanya pada 1 sumbu koordinat. Kondisi denah simetris dapat terjadi pada bangunan reguler maupun bangunan tidak reguler.



Gambar 2.10 Denah simetris

Sumber: Pawirodikromo (2012, p.473)

2.3.2 Denah Bangunan Reguler

Denah bangunan reguler adalah bangunan yang umumnya hanya memiliki 1 massa/gatra dengan denah sederhana dan simetris baik simetris 2 arah maupun simetris 1 arah (Pawirodikromo, 2012). Ciri-ciri dari bangunan reguler adalah bangunan mempunyai massa tunggal dan berbangun simetri. Simetri memiliki arti bahwa bagian-bagian bangunan yang berada di kiri dan kanan atau di atas dan bawah sumbu koordinat mempunyai bentuk, ukuran, dan proporsi yang sama. Simetri pada denah dapat berupa simetri dalam 2 arah sumbu koordinat ataupun hanya pada salah satu sumbunya.

Dalam Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung SNI – 1726 – 2002 dijelaskan bahwa struktur gedung dikategorikan struktur beraturan jika memenuhi persyaratan berikut :

- a) Tinggi struktur gedung tidak lebih dari 10 tingkat atau 40 m.
- b) Denah struktur gedung berbentuk persegi panjang tanpa tonjolan, atau diperbolehkan dengan tonjolan namun tidak lebih dari 25% dari ukuran terbesar denah struktur gedung pada arah tonjolan tersebut.
- c) Denah struktur gedung tidak memiliki coakan sudut, atau diperbolehkan memiliki coakan sudut namun tidak melebihi 15% dari ukuran terbesar denah struktur gedung pada arah coakan tersebut.
- d) Sistem struktur melalui sumbu-sumbu yang sejajar dan ortogonal.
- e) Dalam arah vertikal, tidak terdapat loncatan bidang muka dengan luas menjulang tidak kurang dari 75% luas tingkat di bawahnya.
- f) Sistem struktur memiliki kekakuan lateral yang beraturan, tanpa adanya tingkat lunak. Tingkat lunak artinya suatu tingkat di mana kekakuan lateralnya kurang dari 70%

kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80% kekakuan lateral rata-rata 3 tingkat di atasnya. Dalam hal ini, yang dimaksud dengan kekakuan lateral adalah gaya geser yang bila bekerja di tingkat itu menyebabkan satu satuan simpangan antar tingkat.

- g) Berat tiap lantai hampir sama, tidak ada berat yang lebih dari 150% berat lantai tingkat di atas atau di bawahnya. Berat atap tidak perlu memenuhi ketentuan ini.
- h) Unsur vertikal penahan beban dan titik berat massa bangunan menerus ke bawah.
- i) Sistem struktur gedung memiliki lantai tingkat yang menerus, tanpa lubang atau bukaan yang luasnya lebih dari 50% luas seluruh lantai tingkat. Apabila ada lantai tingkat dengan lubang atau bukaan, jumlahnya tidak boleh melebihi 20% dari jumlah lantai tingkat seluruhnya.

Pada SNI 1726-2012 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung juga dibahas mengenai ketidakberaturan pada struktur. Untuk ketidakberaturan horisontal pada struktur dijelaskan pada Tabel 10 SNI 1726-2012 sedangkan untuk ketidakberaturan vertikal pada struktur dijelaskan pada Tabel 11 SNI 1726-2012.

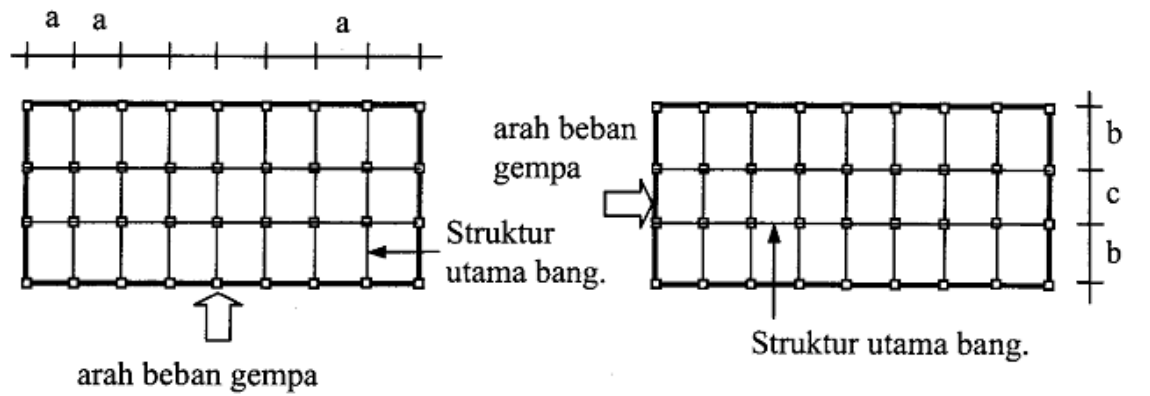
Beberapa kajian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa konfigurasi yang simetris dan sederhana memiliki perilaku atau ketahanan yang lebih baik terhadap beban gempa. Bangunan dengan denah sederhana mempunyai peluang yang lebih besar untuk tetap bertahan ketika menerima beban gempa daripada bangunan dengan denah yang kompleks.

Ada beberapa alasan mengapa perilaku bangunan reguler/sederhana lebih baik daripada bangunan kompleks. Alasan tersebut antara lain :

- a) Jenis struktur utama cenderung sama
- b) Jarak antar struktur utama cenderung sama
- c) Kekakuan struktur cenderung terdistribusi merata
- d) Massa cenderung terdistribusi merata
- e) Respons struktur cenderung reguler, karena meminimalkan torsi
- f) Perilaku struktur cenderung sederhana, reguler, dan mudah dimengerti.

Denah bangunan sederhana memiliki jenis dan penempatan struktur utama yang sama. Dengan memakai jenis struktur yang sama, maka analisis struktur menjadi lebih mudah dan respons struktur cenderung lebih sederhana. Selain itu bangunan yang sederhana cenderung memiliki jarak struktur utama bangunan yang sama. Jika jenis dan jarak struktur

utamanya sama, maka ukuran-ukuran elemen strukturnya juga cenderung sama. Dengan demikian, kekakuan dan distribusi massa akan cenderung sama. Dengan demikian perilaku bangunan dengan denah yang sederhana akan menjadi baik saat terjadi gempa. Gambar 2.11 menunjukkan arah beban gempa dan struktur utama yang menahan pada bangunan yang sederhana.



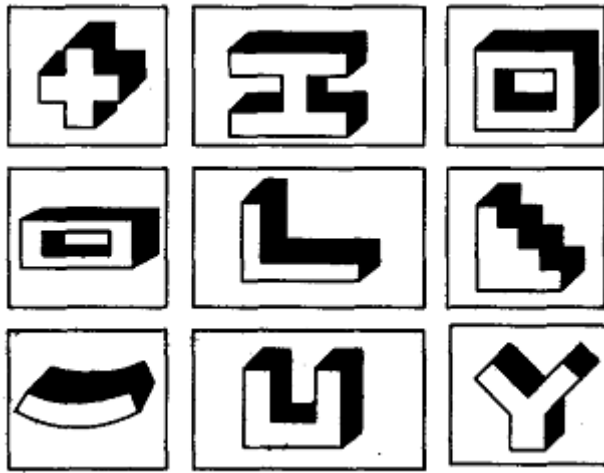
Gambar 2.11 Arah beban gempa dan struktur utama bangunan sederhana

Sumber: Pawirodikromo (2012, p.474)

Bentuk yang simetris juga memberikan manfaat bagi perilaku gedung, yaitu cenderung tidak terjadi torsi. Pauly dan Priestley (1992) juga mengungkapkan bahwa berdasarkan pengamatan kerusakan bangunan akibat gempa, kerusakan bangunan yang terletak di pojok jalan (umumnya tidak simetris) berpeluang lebih besar daripada bangunan di sepanjang jalan yang relatif mudah dibangun dengan bentuk simetris. Hal ini menunjukkan bahwa pada bentuk simetris pusat kekakuan dan pusat massa cenderung berimpit. Oleh sebab itu, torsi yang terjadi relatif kecil saat terjadi gempa. Selain itu bentuk simetris dapat menghindari terjadinya pemusatan tegangan akibat getaran gempa, seluruh massa dalam satu tingkat bergetar dengan pola dan periode yang sama sehingga terhindar dari torsi yang dapat mengganggu stabilitas bangunan.

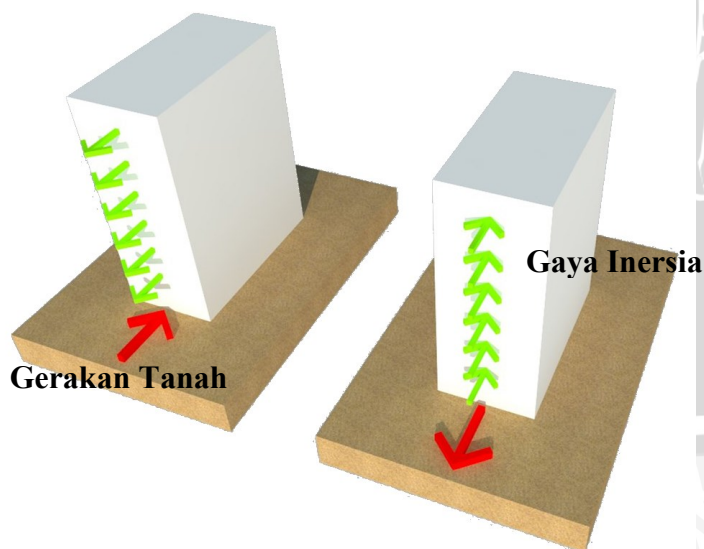
2.3.3 Denah Bangunan Tidak Reguler

Bangunan tidak reguler adalah bangunan yang umumnya mempunyai lebih dari 1 massa/blok dengan denah tidak sederhana walaupun masih simetri baik simetri 2 arah maupun 1 arah. Bangunan tidak reguler pada kenyataannya masih sering dibangun meskipun kurang aman. Hal ini disebabkan oleh beberapa alasan seperti karena ketersediaan lahan, alasan arsitektural, dan lain-lain. Contoh bangunan yang berbentuk tidak reguler dapat dilihat pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Bangunan tidak reguler
Sumber: Pawirodikromo (2012, p.475)

Dari Gambar 2.12 terlihat bahwa meskipun termasuk simetris namun bentuk tersebut tergolong kompleks, misalnya bentuk plus. Hal ini terjadi karena dalam 1 arah beban gempa, terdapat blok bangunan yang berada pada sumbu kuat (*strong axis*) dan ada yang berada pada sumbu lemah (*weak axis*). Oleh sebab itu, simpangan blok pada sumbu lemah akan lebih besar daripada blok sumbu kuat, akibatnya akan muncul *differential displacement*. Hal inilah yang memunculkan *stress concentration* pada pertemuan 2 bangunan yang mengakibatkan kerusakan.



Gambar 2.13 Gerakan tanah dan gaya inersia atau gaya gempa

Pada Gambar 2.13 dijelaskan bahwa apabila terjadi gempa maka yang bergerak adalah tanah dasar. Berdasarkan hukum keseimbangan dinamik, maka gerakan tanah tersebut akan menimbulkan gaya inersia yang bekerja pada tiap-tiap massa bangunan yang arahnya berlawanan dengan arah gerakan tanah. Gaya-gaya inersia tersebut yang akan menjadi gaya gempa efektif yang bekerja dalam arah horisontal pada pusat-pusat massa bangunan (pada tiap tingkat).

Gaya gempa efektif tersebut akan memunculkan masalah apabila bekerja pada bangunan yang tidak reguler, yaitu dapat dijelaskan dengan alasan berikut :

- a) Pada satu arah beban gempa yang ditinjau, antara 2 arah blok denah memiliki kekakuan yang berbeda. Kekakuan blok 1 (K_1) lebih besar dari kekakuan blok 2 (K_2) seperti pada Gambar 2.14. Menurut konsep dinamika struktur, persamaan frekuensi alami struktur dan periode getar adalah sebagai berikut :

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \dots\dots\dots(2-3)$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \dots\dots\dots(2-4)$$

dengan :

ω = frekuensi

k = kekakuan

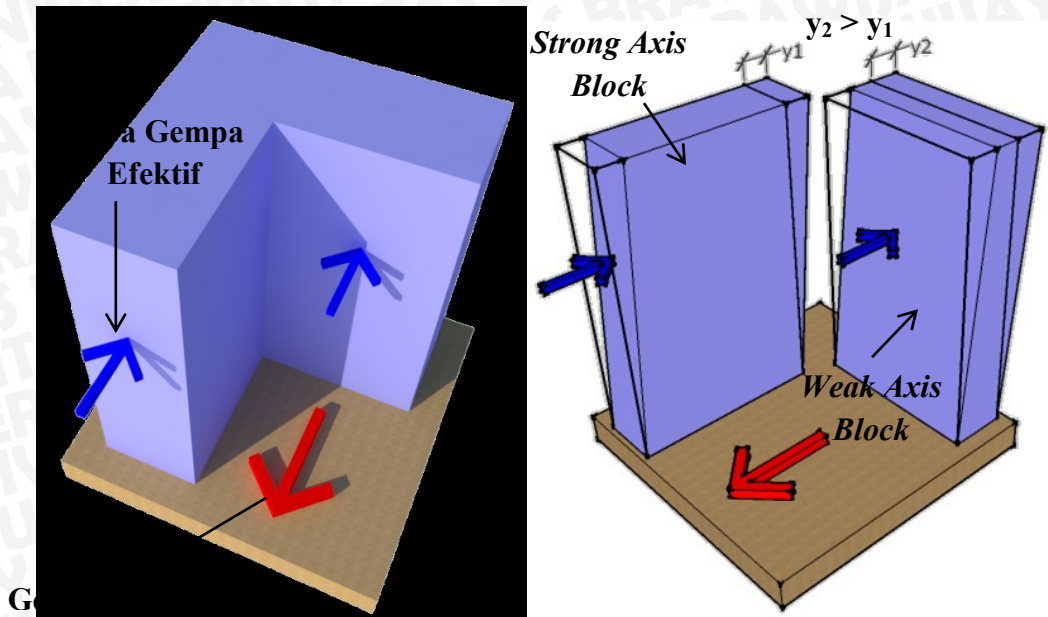
m = massa

T = periode

Jika $K_1 > K_2$, maka $\omega_1 \geq \omega_2$ sedangkan $T_1 < T_2$

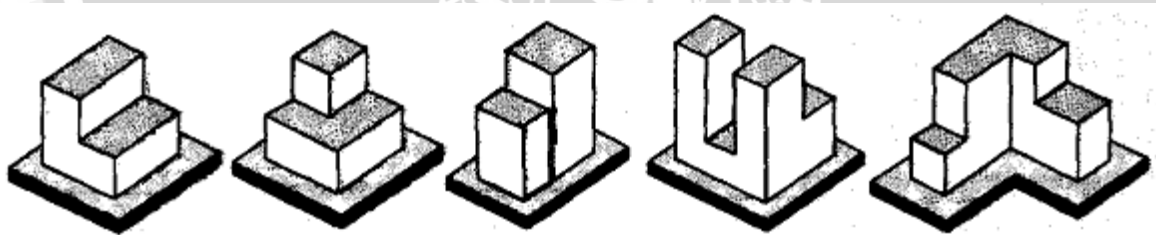
- b) Akibat perbedaan tersebut, antara blok 1 dan blok ke 2 akan bergetar dengan mode yang berbeda, meskipun kadang dapat bersamaan, namun kadang juga berlawanan. Apabila gerakan yang terjadi dalam arah berlawanan akan membahayakan dan merusak struktur. Kerusakan struktur biasanya terjadi pada pertemuan antara 2 blok tersebut atau pada sudut-sudut pertemuan bangunan.
- c) Untuk kemungkinan dua arah gempa, akan semakin sulit ditemui pusat massa berimpit dengan pusat kekakuan, akibatnya torsi sulit dihindarkan dan dapat membahayakan struktur.

Gambar 2.14 berikut menunjukkan adanya perbedaan simpangan pada bangunan tidak reguler akibat perbedaan kekakuan masing-masing blok.



Gambar 2.14 Gaya gempa dan simpangan pada bangunan tidak reguler

Selain bangunan yang tidak reguler dari segi denah (tampak atas atau secara horisontal) juga ada bangunan tidak reguler dari segi tingkatan lantai (secara vertikal). Misalnya perbedaan luasan antara luasan suatu lantai dengan lantai di atasnya. Selain itu juga perbedaan tinggi suatu tingkat terhadap tingkat lainnya yang dapat menyebabkan perbedaan kekakuan ekivalen antar lantai. Contoh bangunan tidak reguler dari tampak vertikal dapat dilihat pada Gambar 2.15.



Gambar 2.15 Bangunan tidak reguler secara vertikal

Sumber: Pawirodikromo (2012, p.477)

Untuk mengatasi masalah tersebut ada beberapa solusi yang dapat dilakukan untuk mengatasi perbedaan perilaku pada bangunan tidak reguler. Solusi tersebut antara lain dengan cara memisah atau memberikan jarak antara 2 blok bangunan dengan kekakuan berbeda, menambahkan pengikat pada keduanya, ataupun dengan cara menambahkan perkuatan sudut di mana akan muncul *stress concentration*.

2.4 Analisis Beban Gempa

Secara umum, analisis struktur terhadap beban gempa dibagi beberapa metode antara lain :

1. Analisis Linier Statis (*Linear Static Analysis*)
 - a) Analisis Statik Ekuivalen (*Equivalent Static Analysis*)
2. Analisis Linier Dinamis (*Linear Dynamic Analysis*)
 - a) *Modal Analysis*
 - b) *Direct Time-History Analysis*
3. Analisis Non-Linier Statis (*Nonlinear Static Analysis*)
 - a) *Non-Linear Static Procedures (NSPs)*
 - *Capacity Spectrum Analysis (ATC-40, FEMA-440)*
 - *Displacement Coefficients Method (FEMA-273-274,356,440)*
 - b) *Improved NSPs*
 - *Modal Pushover Analysis (MPA)*
 - *Adaptive Modal Combination (AMC)*
4. Analisis Non-Linier Dinamik (*Nonlinear Dynamic Analysis*)

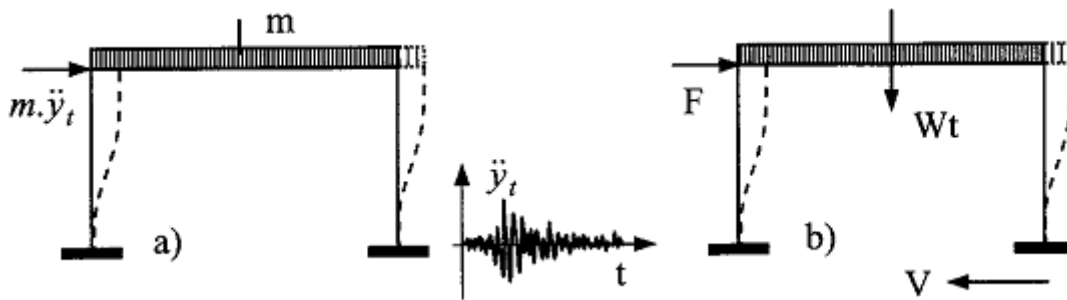
Metode yang pada umumnya digunakan adalah analisis secara linier karena lebih mudah dilakukan, baik secara statis maupun dinamis. Ada 2 metode yang sering digunakan, yaitu :

- 1) Analisis beban statik dengan Metode Statik Ekuivalen

Metode Statik Ekuivalen merupakan suatu jenis analisis di mana pengaruh gempa pada struktur (yang pada kenyataannya berasal dari gerakan tanah) ditransformasikan terhadap struktur dalam bentuk beban statik horizontal yang hanya memperhitungkan respon ragam getar yang pertama. Pada kenyataannya, analisis dinamik sebenarnya memiliki hasil yang lebih akurat dibandingkan dengan cara statik, namun untuk penerapan di lapangan analisis dinamik dirasa kurang praktis karena memerlukan perhitungan yang rumit. Metode Statik Ekuivalen mampu memberikan penyederhanaan dalam analisis dengan memberikan hasil yang mampu mewakili keadaan sebenarnya.

SNI 1726-2002 merupakan salah satu peraturan yang menerapkan konsep Statik Ekuivalen dalam analisisnya. Namun perlu diingat bahwa metode ini juga memiliki keterbatasan, yaitu hanya berlaku untuk gedung yang beraturan. Untuk gedung yang tidak beraturan lebih disarankan untuk menggunakan analisis dinamik.

Pada metode Statik Ekuivalen efek beban dinamik disederhanakan menjadi gaya horisontal F yang bekerja pada pusat massa. Gaya horisontal F bekerja pada setiap lantai atau tingkat gedung. Gaya horisontal tersebut bersifat statik, artinya besar dan tempatnya tetap, sedangkan beban dinamik intensitasnya berubah menurut waktu. Gaya-gaya horisontal tersebut hanya bersifat sebagai ekuivalen atau representasi dari efek beban dinamik yang sesungguhnya terjadi saat gempa. Gambar 2.16 menjelaskan perbedaan analisis dinamik (Gambar 2.16a) dan analisis statik (Gambar 2.16b).



Gambar 2.16 Analisis struktur terhadap beban gempa

Sumber: Pawirodikromo (2012, p.544)

2) Analisis dinamik

Analisis dinamik merupakan analisis struktur di mana pembagian gaya gempa pada tiap tingkat diperoleh dengan memperhitungkan pengaruh dinamis gerakan tanah terhadap struktur. Analisis dinamik pada perencanaan bangunan tahan gempa diperlukan jika membutuhkan hasil yang lebih akurat, serta untuk melihat bagaimana pengaruh struktur terhadap gempa. Analisis dinamik diterapkan khususnya bagi struktur yang tidak beraturan.

Pada konsep statik, keseimbangan didasarkan pada keadaan statis, yaitu di mana gaya tersebut memiliki intensitas, arah, dan posisi yang sama. Namun, pada konsep dinamis kondisi tersebut tidak dapat digunakan karena perbedaan sebagai berikut :

- Beban dinamik berubah-ubah menurut waktu sehingga beban dinamik merupakan fungsi dari waktu
- Beban dinamik umumnya hanya bekerja pada jangka waktu tertentu.
- Beban dinamik menimbulkan gaya inersia pada pusat massa yang arahnya berlawanan dengan arah gerakan
- Beban dinamik lebih kompleks daripada beban statik, baik bentuk fungsi bebannya maupun akibat yang ditimbulkan

Analisis dinamis dapat dibagi menjadi 2 metode, yaitu :

a. Analisis Ragam Respon Spektrum (*Response Spectrum Modal Analysis*).

Pada metode ini respons maksimum dari tiap ragam getar yang terjadi didapat dari Spektrum Respon Rencana (*Design Spectra*). Metode ini merupakan metode yang lebih sederhana dan cepat dibanding dengan analisis riwayat waktu. Dengan menggunakan respon spektrums yang telah ada pada tiap-tiap daerah gempa, maka respon maksimum dapat dicari dengan waktu yang lebih singkat daripada menggunakan metode analisis riwayat waktu.

Respon spektrum adalah suatu spektrum yang disajikan dalam bentuk grafik/plot antara periode getar struktur (T) dan lawan respon maksimum untuk suatu rasio redaman dan beban gempa tertentu. Respons maksimum dapat berupa simpangan maksimum (*Spectral Displacement, SD*), kecepatan maksimum (*Spectral Velocity, SV*), ataupun percepatan maksimum (*Spectral Acceleration, SA*). SNI 1726-2012 merupakan peraturan yang menerapkan konsep Respon Spektrum ini.

b. Analisis Riwayat Waktu (*Time History Analysis*)

Analisis Riwayat Waktu adalah analisis dinamis di mana model struktur diberikan beban gempa berdasarkan catatan rekaman gempa dan respons struktur dihitung langkah demi langkah dalam interval tertentu.

2.4.1 Analisis Riwayat Waktu

Analisis riwayat waktu (*time history analysis*) adalah metode yang paling mendekati untuk mengetahui respon struktur terhadap gempa. Pada metode ini, pembebanan gempa yang diberikan terhadap struktur berasal dari rekaman gerakan tanah (*ground motion*) dari gempa-gempa yang terjadi. Metode ini memiliki tingkat keakuratan yang baik karena menggambarkan keadaan sebenarnya ketika gempa terjadi. Namun kelemahannya adalah memerlukan perhitungan dan waktu yang cukup lama sehingga untuk aplikasi di proyek sebenarnya juga akan menambah beban dalam hal biaya.

Perhitungan respon dinamik struktur terhadap gempa rencana, dilakukan dengan metode dinamik 3 dimensi, dapat berupa analisis respon dinamik linier maupun non-linier riwayat waktu menggunakan akselerogram gempa yang menggunakan gerakan tanah sebagai masukan. Dalam SNI 1726-2002 dijelaskan bahwa untuk merencanakan struktur gedung dengan analisis dinamik linier riwayat waktu, percepatan muka tanah asli dari

gempa masukan harus diskalakan ke taraf pembebanan gempa nominal, dengan nilai percepatan puncak (A) sebagai berikut :

$$A = \frac{A_o I}{R} \dots\dots\dots (2-5)$$

dengan :

A_o = percepatan puncak muka tanah (Tabel 2.3)

R = faktor reduksi gempa representatif dari struktur gedung yang bersangkutan

I = faktor keutamaan (Tabel 2.4)

Tabel 2.3 Percepatan Puncak Batuan Dasar dan Puncak Muka Tanah

Wilayah Gempa	Percepatan puncak batuan dasar (g)	Percepatan puncak muka tanah A_o (g)			
		Tanah Keras	Tanah Sedang	Tanah Lunak	Tanah Khusus
1	0,03	0,04	0,05	0,08	Diperlukan evaluasi khusus di setiap lokasi
2	0,10	0,12	0,15	0,20	
3	0,15	0,18	0,23	0,30	
4	0,20	0,24	0,28	0,34	
5	0,25	0,28	0,32	0,36	
6	0,30	0,33	0,36	0,38	

Sumber: SNI 1726-2002 (p. 19)

Tabel 2.4 Faktor Keutamaan Gedung

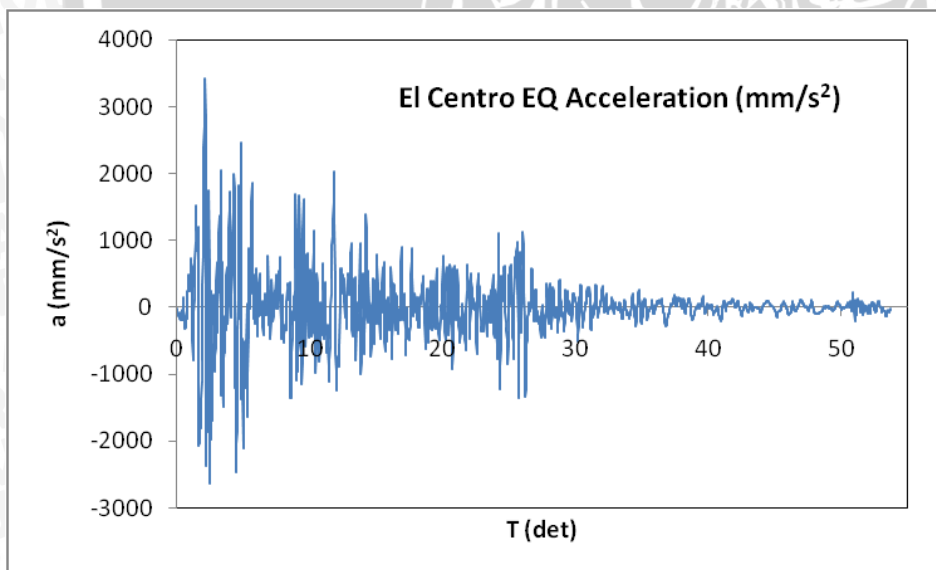
Kategori gedung	Faktor Keutamaan		
	I_1	I_2	I
Gedung umum seperti untuk penghunian, perniagaan dan perkantoran	1,0	1,0	1,0
Monumen dan bangunan monumental	1,0	1,6	1,6
Gedung penting pasca gempa seperti rumah sakit, instalasi air bersih, pembangkit tenaga listrik, pusat penyelamatan dalam keadaan darurat, fasilitas radio dan televisi.	1,4	1,0	1,4
Gedung untuk menyimpan bahan berbahaya seperti gas, produk minyak bumi, asam, bahan beracun.	1,6	1,0	1,6
Cerobong, tangki di atas menara	1,5	1,0	1,5

Sumber: SNI 1726-2002 (p.12)

Untuk melakukan analisis dengan metode riwayat waktu diperlukan setidaknya empat riwayat waktu hasil pencatatan gempa, sehingga didapatkan pembagian gaya geser yang representatif. Menurut Pedoman Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Rumah dan Gedung Tahun 1987 ada beberapa hasil pencatatan gempa yang dapat dipakai, yaitu seperti yang ditampilkan pada Tabel 2.5. Gambar 2.17 menunjukkan grafik catatan gempa riwayat waktu El Centro.

Tabel 2.5 Pencatatan Riwayat Gempa

Riwayat Gempa	Tanggal	Arah
El Centro	15 Mei 1940	N – S
Taft	21 Juli 1952	N – S
Almedo Park	19 Mei 1962	E – W
Aomori	16 Mei 1968	E – W



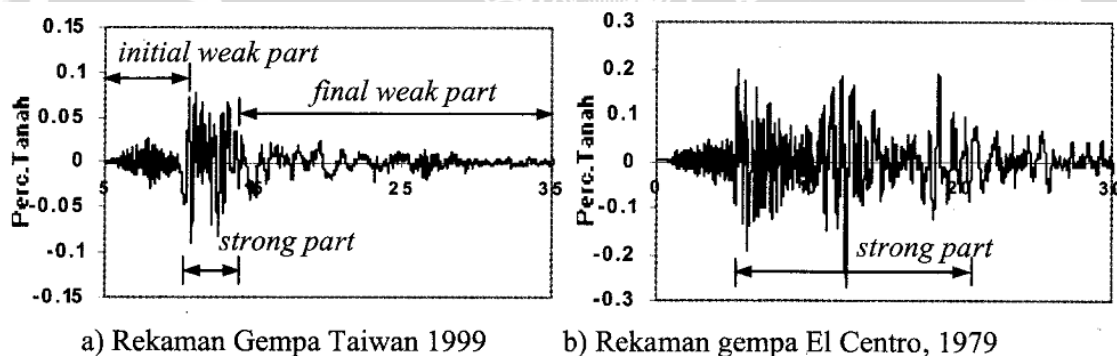
Gambar 2.17 Riwayat waktu gempa El Centro

Sumber: civilinc.blogspot.com, diunduh tanggal 3 Agustus 2016

Dalam bidang teknik, percepatan tanah akibat gempa menjadi suatu data yang penting dalam perencanaan. Menurut Pawirodikromo (2012) ada 6 karakter utama yang didapat dari data percepatan tanah, yaitu :

- 1) Karakter berdasarkan nilai-nilai maksimum, misalnya percepatan, kecepatan, dan simpangan
- 2) Karakter berdasarkan durasi gempa, misalnya durasi total dan durasi efektif
- 3) Karakter berdasarkan respon spektrum
- 4) Karakter berdasarkan kandungan frekuensi
- 5) Karakter berdasarkan energi gempa
- 6) Karakter berdasarkan daya rusak (*damage potential*)

Gambar 2.18 berikut menjelaskan bagian-bagian yang terdapat pada rekaman percepatan tanah akibat gempa. Secara garis besar riwayat percepatan tersebut dapat dibagi menjadi 3 tahapan, yaitu tahap *initial weak part*, tahap *strong part*, dan tahap *final weak part*. Pada umumnya yang menjadi perhatian utama adalah tahap *strong part*. Tahap ini memiliki waktu yang relatif singkat, namun juga ada beberapa catatan gempa yang memiliki tahap *strong part* cukup panjang.



Gambar 2.18 Bagian-bagian riwayat gempa

Sumber: Pawirodikromo (2012, p.244)

2.4.2 Frekuensi Natural

Frekuensi natural (*natural frequency*) adalah salah satu istilah penting di dalam dunia dinamika. Salah satu fenomena yang berhubungan dengan frekuensi natural adalah resonansi, yaitu bergetarnya sebuah benda karena getaran lingkungan di sekitarnya. Frekuensi natural merupakan frekuensi di mana sistem berosilasi ketika mengalami gangguan.

Dalam sistem SDOF, yang dimaksud dengan frekuensi natural adalah frekuensi di mana suatu sistem struktur dengan massa dan kekakuan tertentu bergerak ketika mendapat eksitasi awal yang kemudian dihilangkan sehingga struktur bergerak secara bebas.

Frekuensi getar dipengaruhi oleh properti fisik struktur, yaitu massa dan kekakuan struktur.

Berikut ini beberapa alasan pentingnya frekuensi natural, yaitu :

- Dengan mengetahui frekuensi natural sebuah objek, kita dapat mengetahui bagaimana objek tersebut akan bergetar
- Jika kita mengetahui getaran objek tersebut, kita akan mengetahui jenis gelombang yang terbentuk
- Apabila kita menghendaki gelombang dengan jenis tertentu, kita dapat membuat objek dengan frekuensi natural yang sesuai.

Besarnya frekuensi natural suatu struktur dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$\omega = \sqrt{\frac{K_{eff} g}{W}} \dots\dots\dots(2-6)$$

dengan:

ω = frekuensi natural

K_{eff} = kekakuan efektif

g = gravitasi

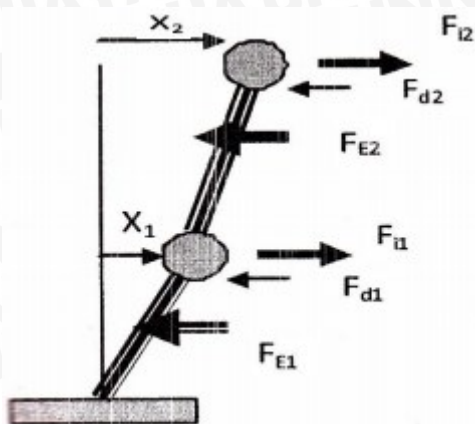
W = berat struktur

Dalam sistem MDOF, frekuensi natural dan mode getar didapatkan dengan menggunakan persamaan karakteristik nilai eigen (*eigen value equation*). Dalam ilmu dinamika, dijelaskan bahwa akar dari nilai eigen adalah besarnya frekuensi natural (ω_n) sedangkan vektor eigen adalah mode getarnya (ϕ_n). Setiap mode memiliki satu *eigen value* dan sebuah vektor eigen. Pada sistem MDOF komposisi massa dan kekakuan berperan penting dalam menentukan nilai frekuensi natural dan mode getar struktur.

2.4.3 Bentuk Ragam (*Mode Shape*)

Dalam analisa dinamik, perilaku struktur juga sering dikaitkan dengan pola goyangan yang terjadi (*mode shape*). *Mode shape* dengan periode terpanjang (frekuensi terendah) pada suatu struktur disebut juga sebagai *mode shape* pertama atau *fundamental mode*. Pada proses analisis, *mode shape* pertama inilah yang umumnya digunakan, dengan pengertian bahwa struktur dianggap cukup fleksibel dengan tingkat lantai yang relatif kaku.

Menurut Paz (1985), penyelesaian untuk menentukan *mode shape* dengan dua derajat kebebasan dapat dijelaskan melalui langkah-langkah berikut. Gambar 2.19 menunjukkan pemodelan dari struktur dengan 2 derajat kebebasan.



Gambar 2.19 Struktur *Multi Degree of Freedom* 2 derajat kebebasan

Persamaan kesetimbangan massa 1 :

$$m_1 \frac{d^2 x_1}{dt^2} + c_1 \frac{d(x_1 - x_2)}{dt} + k_1 (x_1 - x_2) = 0 \quad \dots\dots\dots (2-7)$$

Persamaan kesetimbangan massa 2 :

$$m_2 \frac{d^2 x_2}{dt^2} + c_2 \frac{dx_2}{dt} + k_2 x_2 - c_1 \frac{d(x_1 - x_2)}{dt} - k_1 (x_1 - x_2) = 0 \quad \dots\dots\dots (2-8)$$

Kedua persamaan tersebut dapat disusun dalam matriks berikut :

$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \frac{d^2 x_1}{dt^2} \\ \frac{d^2 x_2}{dt^2} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_1 & -k_1 \\ -k_1 & k_1 + k_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} c_1 & -c_1 \\ -c_1 & c_1 + c_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \frac{dx_1}{dt} \\ \frac{dx_2}{dt} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad \dots\dots\dots (2-9)$$

Jika matriks massa dilambangkan dengan $[M]$, matriks kekakuan $[K]$, dan matriks redaman $[C]$, maka :

$$[M] \left\{ \frac{d^2 x}{dt^2} \right\} + [K] \{x\} + [C] \left\{ \frac{dx}{dt} \right\} = \{0\} \quad \dots\dots\dots (2-10)$$

Untuk nilai redaman $[C] = 0$, maka

$$[M] \left\{ \frac{d^2 x}{dt^2} \right\} + [K] \{x\} = \{0\} \quad \dots\dots\dots (2-11)$$

Solusi untuk persamaan homogen tersebut adalah

$$\left(\frac{dx^2}{dt^2}\right) = -\omega^2(x) \dots\dots\dots(2-12)$$

Dengan ω adalah frekuensi alami getaran, sehingga persamaan 2-11 menjadi berikut

$$-\omega^2 [M](x) + [K](x) = (0) \dots\dots\dots(2-13)$$

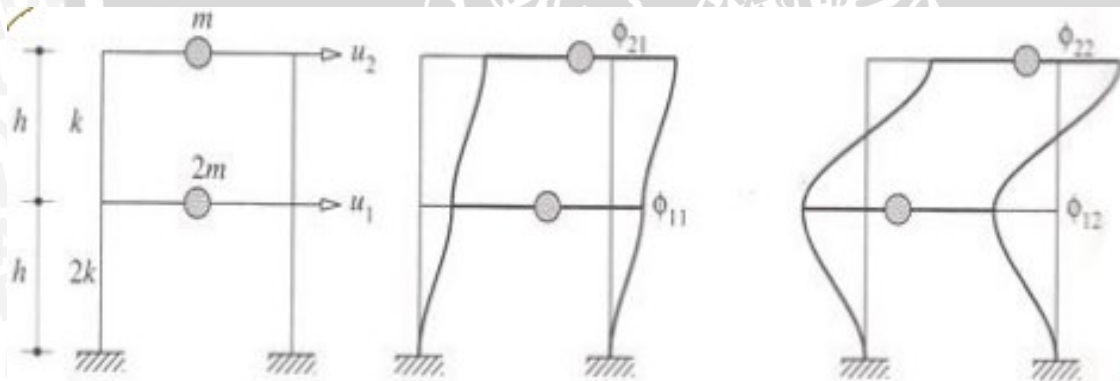
atau

$$[K - \omega^2 M](x) = (0) \dots\dots\dots(2-14)$$

Solusi persamaan tersebut adalah

$$\det [K - \omega^2 M] = 0 \dots\dots\dots(2-15)$$

Solusi untuk persamaan tersebut mempunyai bentuk persamaan polinomial derajat n yang harus mempunyai n buah harga ω^2 , yang memenuhi persamaan tersebut atau dikenal sebagai persamaan karakteristik. Contoh hasil *mode shape* untuk gedung 2 lantai dapat dilihat pada Gambar 2.20.



Gambar 2.20 Mode shape gedung 2 lantai

2.5 Defleksi Lateral dan Simpangan Antar Tingkat (Drift Ratio)

Defleksi lateral adalah perpindahan yang terjadi pada struktur dengan arah lateral akibat menerima beban lateral, misalnya beban angin dan beban gempa. Gaya gempa memiliki pengaruh yang besar pada struktur. Saat menerima gaya gempa yang besar, maka juga akan terjadi defleksi lateral yang cukup besar. Oleh sebab itu, diperlukan batasan tertentu terhadap defleksi tersebut di mana keadaan struktur masih tetap aman dan tidak mengalami keruntuhan.

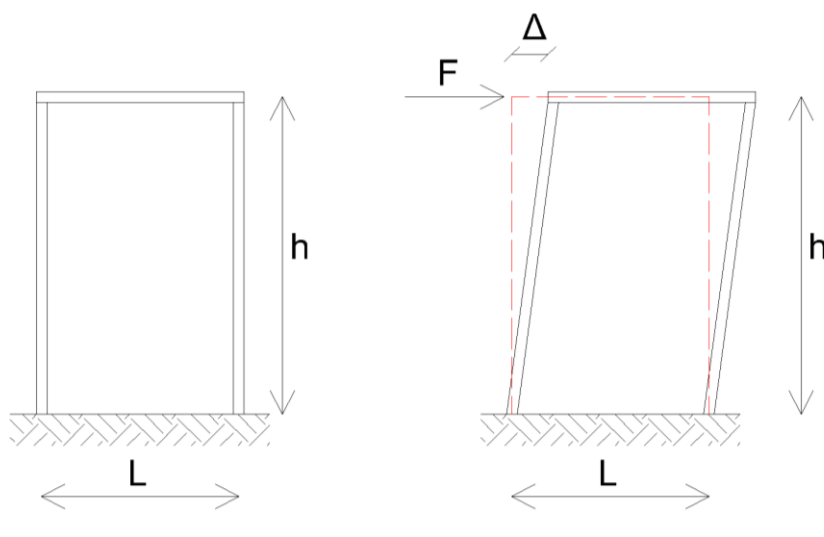


Gaya lateral pada bangunan harus dipertimbangkan dengan baik, terutama untuk gedung bertingkat tinggi. Perpindahan lateral yang terjadi harus dipertimbangkan dengan baik agar tidak melebihi batas kekuatan bangunan dan untuk memberikan kenyamanan bagi penghuninya, terutama yang berada pada lantai atas. Defleksi lateral pada lantai paling atas akan semakin besar terjadi pada gedung yang tinggi.

Simpangan (*drift*) merupakan perpindahan lateral relatif di antara dua tingkat bangunan yang berdekatan atau disebut juga sebagai simpangan mendatar tiap tingkat bangunan. Menurut Naeim (2000), simpangan lateral pada suatu struktur akibat beban gempa memiliki peranan penting dilihat dari beberapa aspek, yaitu:

1. Kestabilan struktur (*structure stability*)
2. Keutuhan arsitektural (*architectural integrity*) dan potensi kerusakan terhadap beragam komponen non struktural
3. Kenyamanan (*human comfort*) selama maupun setelah gempa terjadi.

Besar simpangan struktur dapat dinyatakan dalam bentuk *Drift Indeks*. Seperti yang dijelaskan dalam Gambar 2.21 mengenai simpangan lateral (Δ) pada struktur dengan ketinggian h .



Gambar 2.21 Simpangan lateral

$$\text{Drift Indeks} = \frac{\Delta}{h} \dots\dots\dots (2-16)$$

dengan :

Δ = besar defleksi maksimum yang terjadi (m)

h = ketinggian struktur portal (m)

Nilai *drift indeks* bergantung pada beban-beban yang bekerja pada sistem struktur, seperti beban mati, beban hidup, beban angin, dan beban gempa. Dengan ketinggian yang sama, semakin besar nilai defleksi maksimum maka nilai *drift indeks* akan semakin besar. Batas kemampuan layan struktur berdasarkan nilai simpangan berbeda-beda, tergantung dari peraturan yang digunakan.

AISC 2010 menjelaskan bahwa untuk struktur dari baja besarnya simpangan dibatasi sekitar $H/100$ hingga $H/600$ untuk total simpangan bangunan dan untuk simpangan antar tingkat dibatasi sekitar $h/200$ hingga $h/600$. Batasan yang sering dipakai adalah di antara H (atau h)/400 hingga H (atau h)/500.

Dalam SNI 03-1726-2002 pasal 8 juga dijelaskan bahwa simpangan antar lantai ditentukan oleh 2 jenis kinerja, yaitu kinerja batas layan dan kinerja batas ultimit.

1. Kinerja Batas Layan

Kinerja batas layan ditentukan dari simpangan antar tingkat akibat gempa rencana. Tujuannya adalah untuk membatasi terjadinya pelelehan baja tulangan dan peretakan beton, selain untuk mencegah terjadinya kerusakan komponen non struktural dan ketidaknyamanan penghuni.

Pasal 8.1.2 menjelaskan bahwa untuk memenuhi syarat kinerja batas layan, simpangan antar tingkat yang dihitung dari simpangan struktur gedung tidak boleh melebihi $\frac{0,03}{R}$ kali tinggi tingkat yang bersangkutan atau 30 mm, diambil nilai yang terkecil. R adalah faktor reduksi gempa struktur gedung tersebut.

2. Kinerja Batas Ultimit

Kinerja batas ultimit ditentukan dari simpangan dan simpangan antar tingkat maksimum akibat gempa rencana dalam kondisi struktur gedung di ambang keruntuhan. Tujuannya adalah untuk membatasi kemungkinan terjadinya keruntuhan yang dapat menimbulkan korban jiwa dan untuk mencegah benturan berbahaya antar gedung. Simpangan dan simpangan antar tingkat dihitung dari simpangan struktur gedung akibat pembebanan gempa nominal dikalikan dengan faktor pengali ξ berikut :

- Untuk struktur gedung beraturan : $\xi = 0,7R$
- Untuk struktur gedung tidak beraturan : $\xi = \frac{0,7R}{FaktorSkala}$

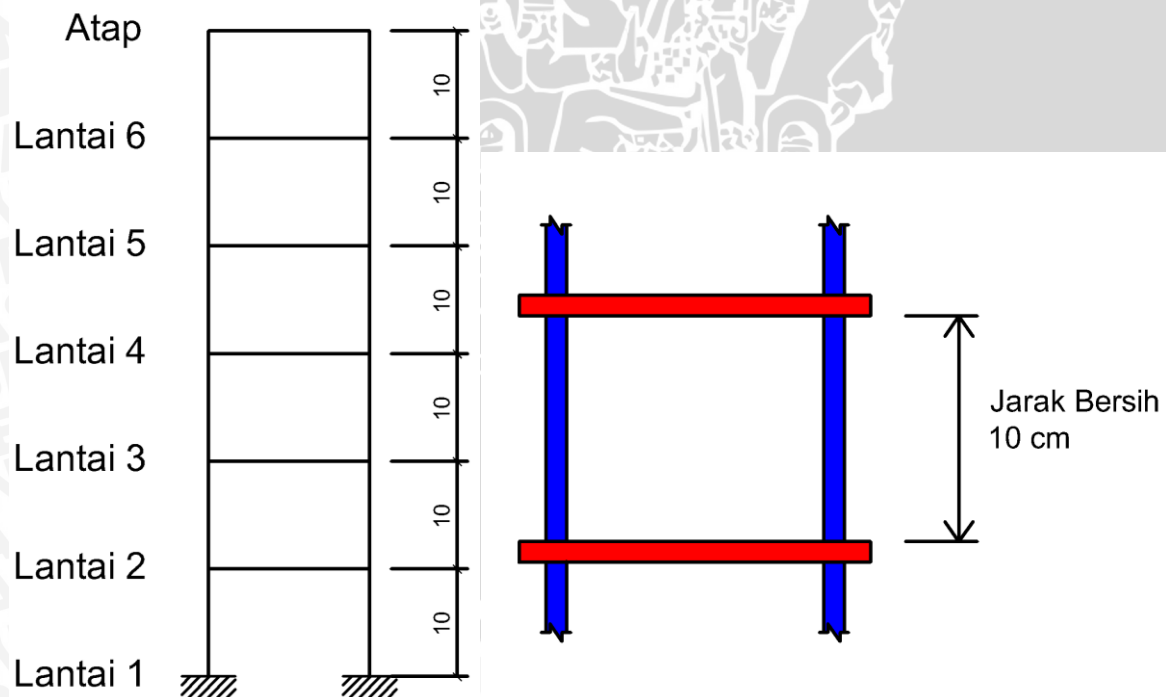
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Variasi Model Struktur

Model struktur yang digunakan dalam proses analisis adalah sebanyak 3 model. Model yang digunakan tersebut bervariasi dari segi konfigurasi denah struktur (*plan configuration*) atau bentuk bangunan jika dilihat dari tampak atas. Bentuk denah yang akan digunakan adalah berbentuk persegi (*square*), persegi panjang (*rectangle*), dan segi delapan (*octagonal*).

Jumlah lantai yang digunakan dalam pemodelan sama seperti jumlah lantai yang digunakan dalam peraturan kompetisi IDEERS yaitu sebanyak 6 lantai. Tinggi setiap lantai atau jarak bersih antar lantai adalah sebesar 10 cm. Pemodelan jumlah lantai dan jarak bersih setiap lantai dapat dilihat pada Gambar 3.1.

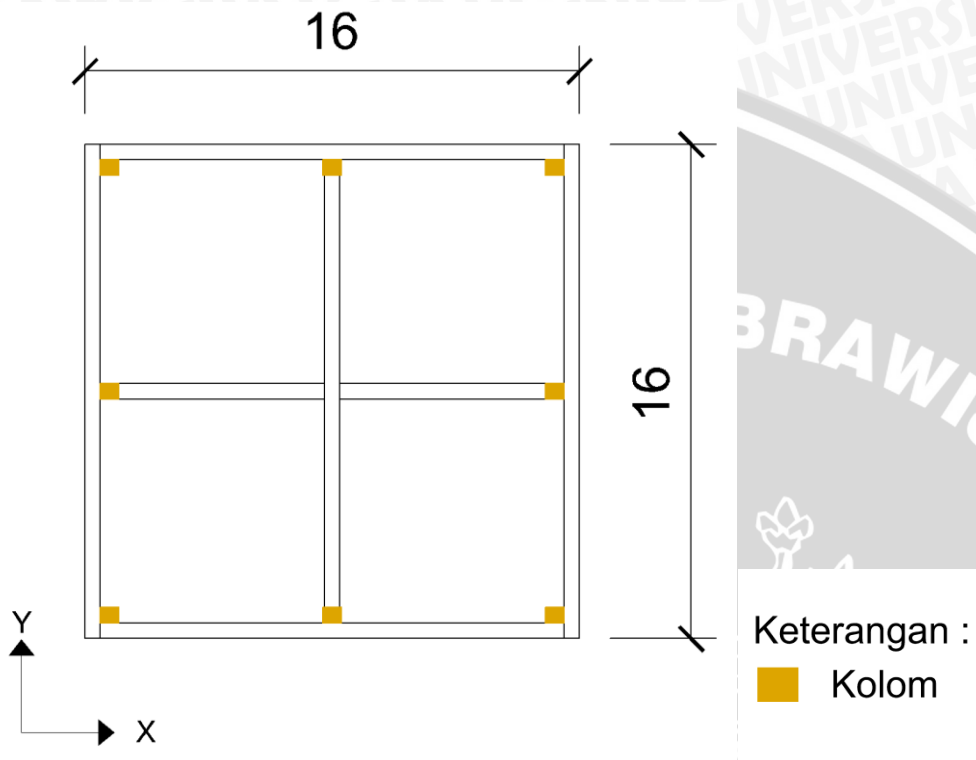


Gambar 3.1 Jumlah lantai dan jarak bersih tiap lantai model

Bentuk model yang akan digunakan pada analisis adalah sebagai berikut :

1. Model A

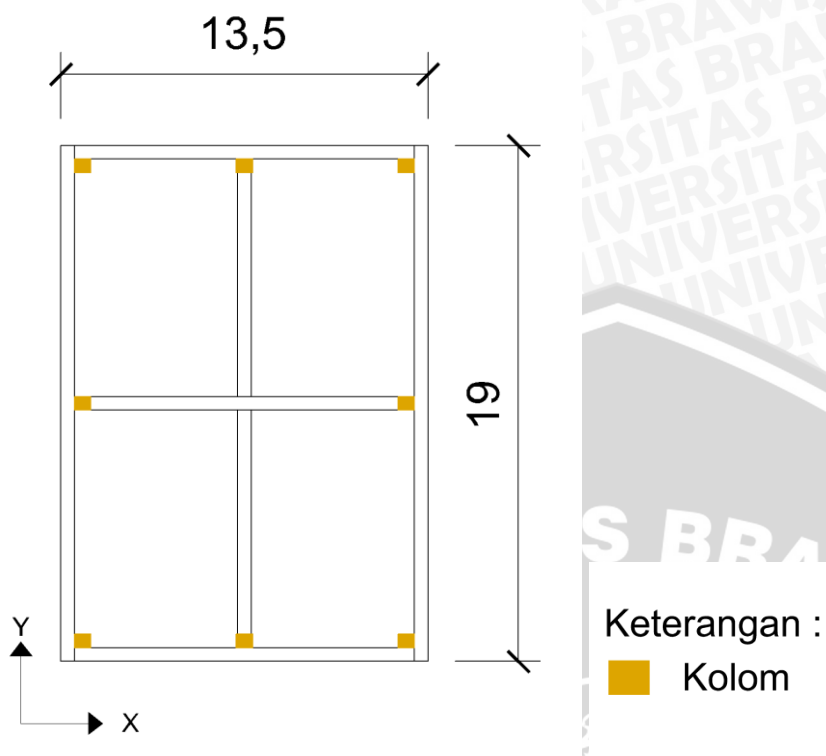
Model berbentuk persegi (*square*) dengan dimensi 16 cm \times 16 cm dengan bentang balok 8 cm. Gambar model A dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Dimensi model A

2. Model B

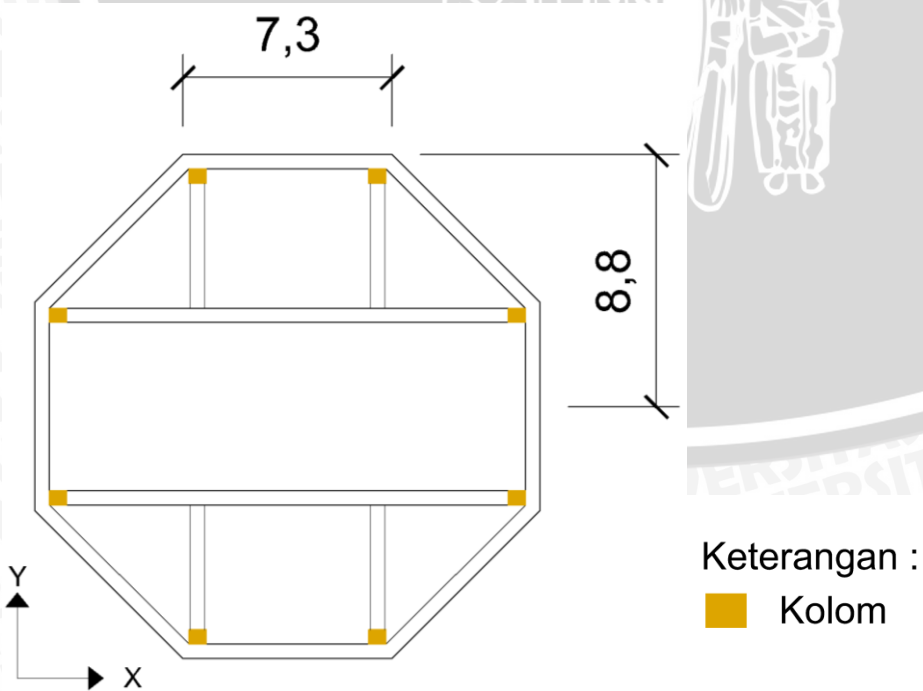
Model berbentuk persegi panjang (*rectangle*) dengan dimensi 13,5 cm \times 19 cm dengan bentang balok 6,75 cm untuk sisi 13,5 cm dan bentang balok 9,5 cm untuk sisi 19 cm. Gambar model B dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Dimensi model B

3. Model C

Model berbentuk segi delapan (*octagonal*) dengan dimensi balok sisi luar 7,3 cm dan jarak dari titik pusat ke sisi balok terluar sebesar 8,8 cm. Gambar model B dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Dimensi Model C

3.2 Modelisasi

Modelisasi dilakukan terhadap 3 jenis varian struktur tersebut dengan tipikal denah ke atas sama untuk setiap model. Pemodelan struktur dilakukan dengan menggunakan bantuan *software* SAP2000.

3.3 Material dan Dimensi

Material yang digunakan dalam pemodelan ini adalah material kayu MDF (*Medium Density Fiberboard*). Spesifikasi fisik standar yang digunakan adalah berdasarkan JIS (*Japan Industrial Standard*) A5905 2003 tentang *fiberboards*. Karakteristik kayu MDF untuk ketebalan 5 mm dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.1 *Karakteristik Kayu MDF*

Karkteristik	Satuan	Nilai
Berat Jenis (<i>Density</i>)	g/cm ³	0,75
<i>Bending Stiffness (Modulus of Elasticity)</i>	MPa	240
<i>Bending Strength (Modulus of Rupture)</i>	MPa	44
Keteguhan Rekat (<i>Internal Bond</i>)	MPa	1,15
<i>Poisson's Ratio</i>	-	0,25
<i>Shear Modulus</i>	MPa	90
Kuat Tarik (<i>Tensile Strength</i>)	MPa	18
Kuat Tekan (<i>Compressive Strength</i>)	MPa	10
Konduktivitas Thermal	W/(m-K)	0,3

Penggunaan material ini disesuaikan dengan peraturan kompetisi IDEERS kategori *Undergraduate*. Dimensi kayu yang dipergunakan adalah kayu dengan ukuran 6 mm × 5 mm (± 1 mm) dengan panjang kayu menyesuaikan kebutuhan komponen struktur. Sedangkan kayu yang digunakan sebagai *baseboard* atau papan dasar dalam pengujian berdimensi 26 cm × 26 cm (± 0,3 cm).

3.4 Pembebanan

Pada struktur gedung yang nyata, beban yang bekerja pada suatu struktur adalah bervariasi. Pada beban yang digunakan dalam penelitian ini digunakan pemodelan beban menggunakan *mass blocks* sebagai simulasi beban vertikal yang bekerja pada bangunan.

Untuk pemodelan pada *software* SAP2000, beban tersebut diinputkan sebagai massa yang menjadi satu kesatuan sebagai massa struktur. Hal ini disebabkan oleh massa struktur yang sangat ringan.

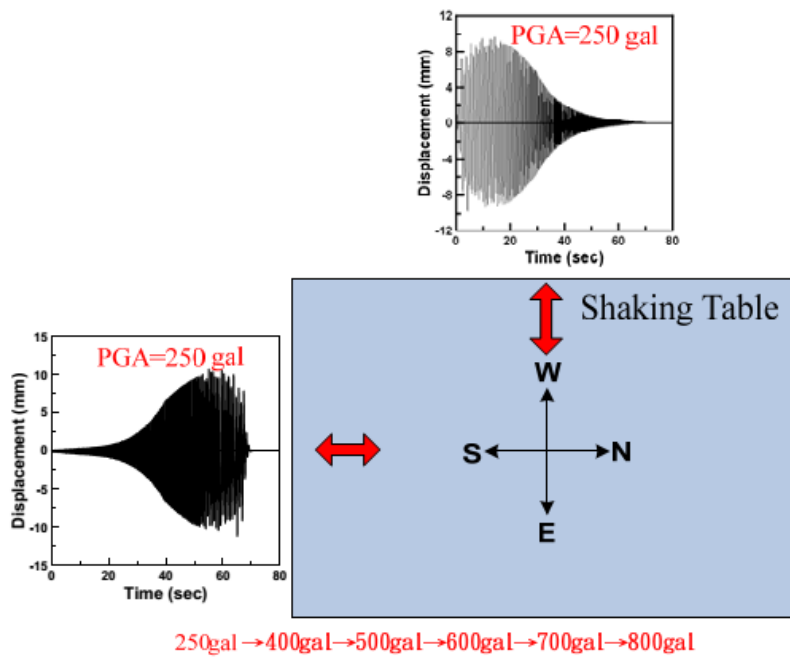
Mass block terbuat dari besi dengan dimensi 6 cm 4,5 cm × 3 cm (± 2 mm). Berat satu *mass block* adalah sekitar 635 gram. Jumlah pembebanan *mass block* yang digunakan adalah sebagai berikut :

- Lantai 2 : 2 buah *mass block*
- Lantai 3 : 2 buah *mass block*
- Lantai 4 : 2 buah *mass block*
- Lantai 5 : 2 buah *mass block*
- Lantai 6 : 2 buah *mass block*
- *Top Floor* : 2 buah *mass block*

Sehingga massa yang bekerja pada setiap lantai adalah sebesar $2 \times 0,635 \text{ kg} = 1,27 \text{ kg}$. Total massa *mass block* adalah sebesar $6 \times 1,27 \text{ kg} = 7,62 \text{ kg}$. Pada pemodelan struktur di SAP2000 massa tersebut akan dikombinasikan dengan massa struktur itu sendiri.

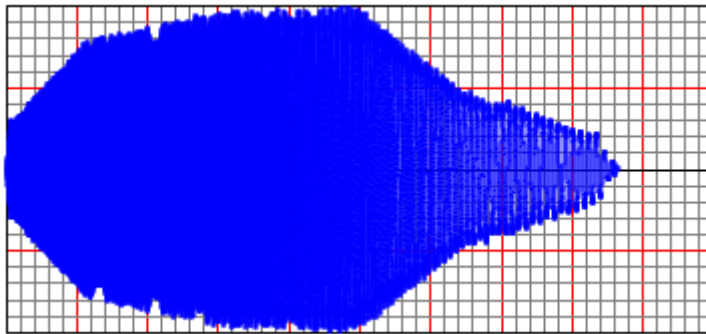
Pembebanan gempa pada model struktur menggunakan data riwayat waktu (*time history*) yang diunduh dari situs resmi kompetisi IDEERS 2015 (<http://www.ncree.org/ideers/2015>). Data *time history* tersebut adalah dalam bentuk data percepatan untuk setiap tingkatan kekuatan gempa. Tingkat kekuatan gempa yang digunakan adalah gempa 250 gal, 400 gal, 600 gal, 800 gal. Data riwayat waktu tersebut dijadikan sebagai input beban gempa pada pemodelan SAP2000.

Dalam proses pengujian digunakan beban gempa 2 arah, yaitu arah Utara Selatan (N-S) dan arah Timur Barat (E-W). Sehingga dalam pembebanan gempa pada SAP2000 juga diterapkan beban gempa dua arah, yaitu arah X dan Y. Pembebanan model sesungguhnya dapat dilihat pada Gambar 3.5. Grafik data *time history* yang sudah diinputkan pada SAP2000 dapat dilihat pada Gambar 3.6 yaitu untuk riwayat waktu 800 gal arah NS.



Gambar 3.5 Pengujian model sesungguhnya arah NS dan EW

Sumber : Peraturan Kompetisi IDEERS 2015



Gambar 3.6 Grafik riwayat waktu pada SAP2000 (800 gal NS)

3.5 Variabel

Variabel dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang perubahannya bebas ditentukan oleh peneliti.

Dalam penelitian ini yang merupakan variabel bebas adalah konfigurasi portal (bentuk denah tampak atas atau *plan configuration*), susunan kolom, dan susunan balok.

2. Variabel Terikat

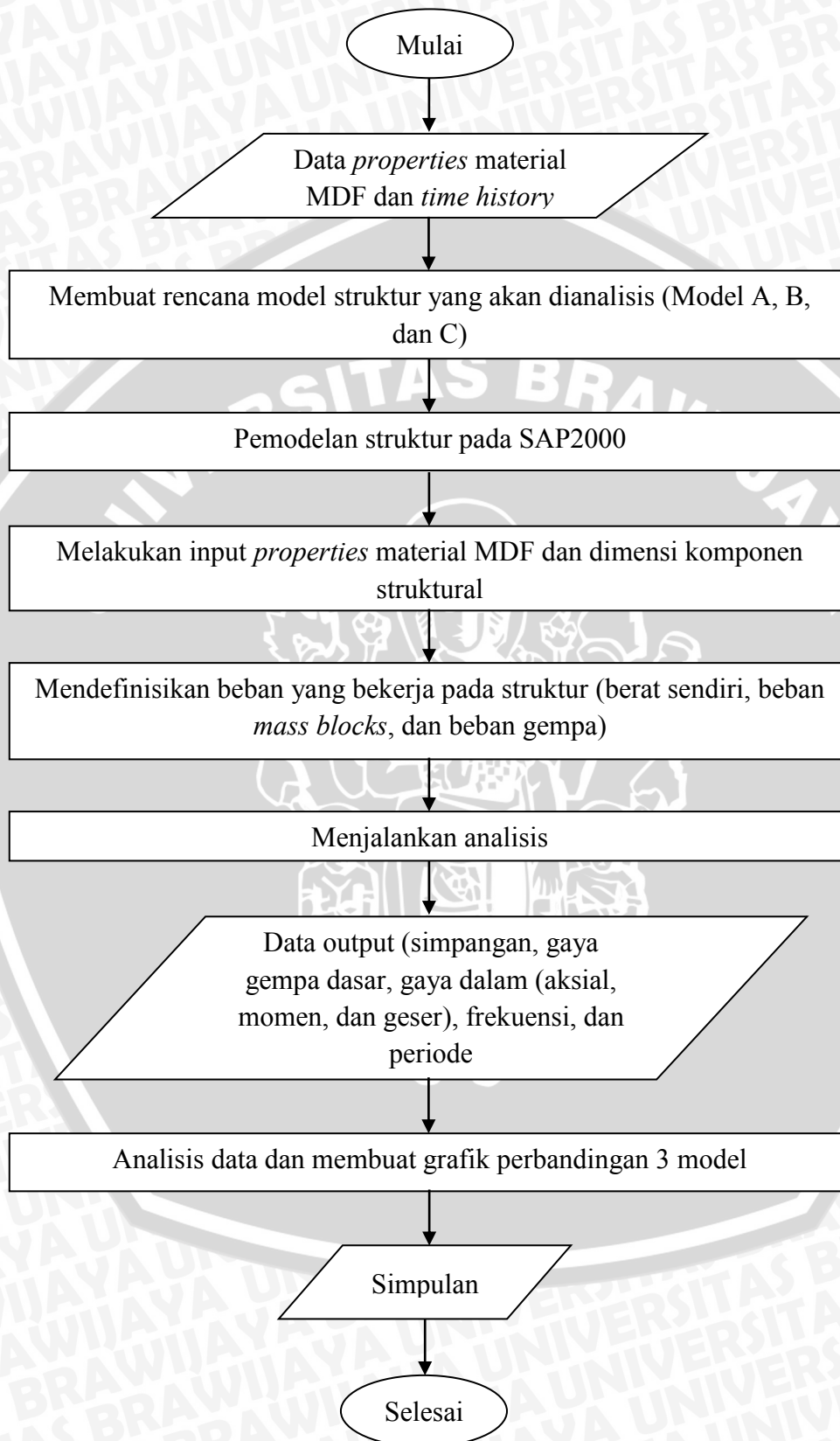
Variabel terikat adalah variabel yang tergantung pada variabel bebas. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah simpangan, gaya gempa dasar, frekuensi natural, periode, dan gaya-gaya dalam yang terjadi pada struktur.

3.6 Metode Analisis

Analisis beban gempa pada struktur menggunakan *software* SAP2000 dengan metode riwayat waktu (*time history*). Langkah-langkah dalam pemodelan struktur di SAP2000 adalah sebagai berikut :

1. Membuat model struktur sesuai dengan dimensi seperti yang telah direncanakan (Model A, B, dan C) dan melakukan input data pada SAP2000 berupa jenis material MDF, karakteristik (*properties*) material MDF, serta dimensi komponen struktural (kolom dan balok).
2. Mendefinisikan keadaan struktur lainnya yang dibutuhkan dalam SAP2000, misalnya jenis tumpuan. Dalam analisis ini digunakan tumpuan jepit.
3. Mendefinisikan beban yang bekerja pada struktur, terdiri dari :
 - Berat sendiri struktur (*selfweight*), berat sendiri akan dihitung secara langsung oleh SAP2000 berdasarkan dimensi struktur dan berat jenis material yang digunakan.
 - Berat beban *mass blocks*. Pada pemodelan ini beban *mass blocks* disimulasikan sebagai massa yang menjadi satu kesatuan dengan struktur. Beban *mass blocks* diakumulasikan menjadi massa pada setiap tingkat struktur.
 - Beban gempa. Beban gempa diinputkan berdasarkan data riwayat waktu yang telah didapatkan melalui menu *Functions – Time History*.
4. Menjalankan analisis pada SAP2000 dengan beban-beban yang telah diinputkan
5. Mendata hasil yang didapatkan dari proses analisis. Data output yang didapatkan adalah simpangan struktur (arah X dan Y), simpangan setiap lantai (arah X dan Y), gaya gempa dasar, gaya-gaya dalam yang terjadi pada komponen struktural (aksial, momen, dan geser), frekuensi, dan periode.
6. Melakukan analisis perbandingan data-data yang telah diperoleh untuk ketiga model serta menampilkan perbandingan tersebut dalam bentuk grafik.

3.7 Diagram Alir

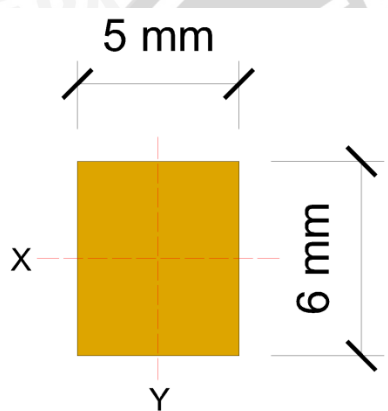


BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakteristik Komponen Struktur

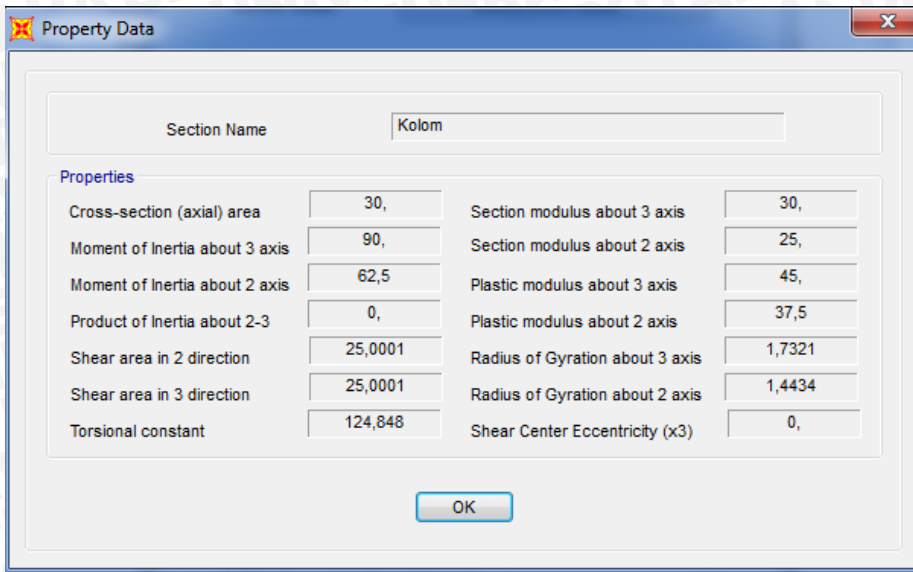
Penampang komponen struktur kolom dan balok pada struktur model bangunan adalah berbentuk persegi panjang dengan dimensi 5 mm x 6 mm. Material yang digunakan adalah kayu MDF (*Medium Density Fiberboard*). Karakteristik penampang untuk struktur kolom dan balok tersebut adalah sebagai berikut :



Gambar 4.1 Dimensi penampang struktur kolom dan balok

- Luas penampang $(A) = 30 \text{ mm}^2$
- Momen inersia sumbu X $(I_x) = \frac{1}{12} b.h^3 = \frac{1}{12} 5.6^3 = 90 \text{ mm}^4$
- Momen inersia sumbu Y $(I_y) = \frac{1}{12} h.b^3 = \frac{1}{12} 6.5^3 = 62,5 \text{ mm}^4$
- Berat jenis (*density*) $= 0,75 \text{ gram/cm}^3$
- Modulus elastisitas $= 240 \text{ N/mm}^2 = 2400 \text{ kg/cm}^2$
- Poisson ratio* $= 0,3$

Data *properties* penampang yang dihasilkan pada program SAP2000 adalah sebagai berikut :



The screenshot shows a 'Property Data' dialog box with the following data:

Section Name		Kolom	
Properties			
Cross-section (axial) area	30,	Section modulus about 3 axis	30,
Moment of Inertia about 3 axis	90,	Section modulus about 2 axis	25,
Moment of Inertia about 2 axis	62,5	Plastic modulus about 3 axis	45,
Product of Inertia about 2-3	0,	Plastic modulus about 2 axis	37,5
Shear area in 2 direction	25,0001	Radius of Gyration about 3 axis	1,7321
Shear area in 3 direction	25,0001	Radius of Gyration about 2 axis	1,4434
Torsional constant	124,848	Shear Center Eccentricity (x3)	0,

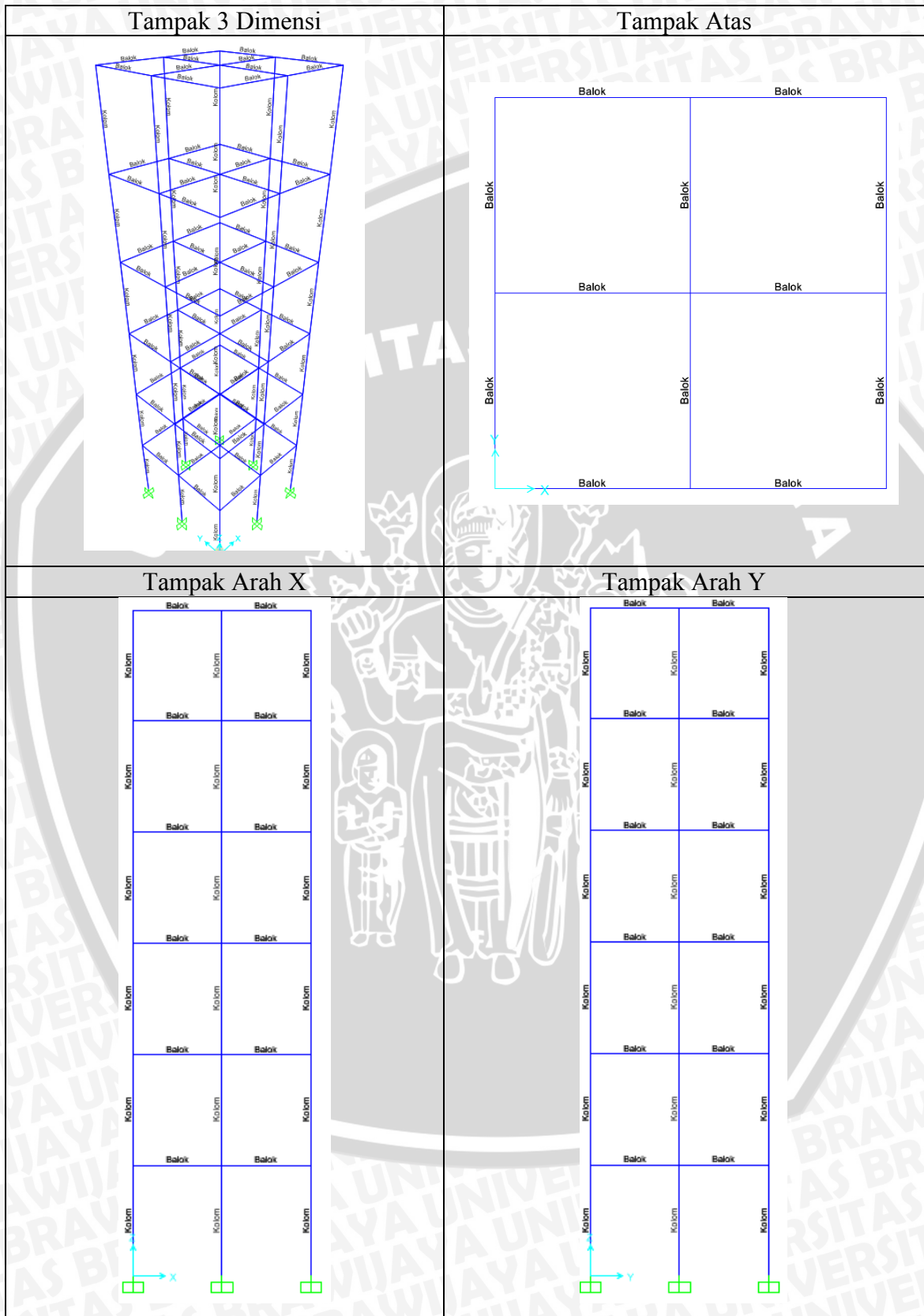
Gambar 4.2 Data karakteristik struktur kolom dan balok pada SAP2000

4.2 Pemodelan Struktur Model pada SAP2000

Pemodelan struktur pada program SAP2000 dapat dilihat pada Tabel 4.1 untuk denah bentuk persegi, Tabel 4.2 untuk denah persegi panjang dan Tabel 4.3 untuk denah berbentuk segi delapan.

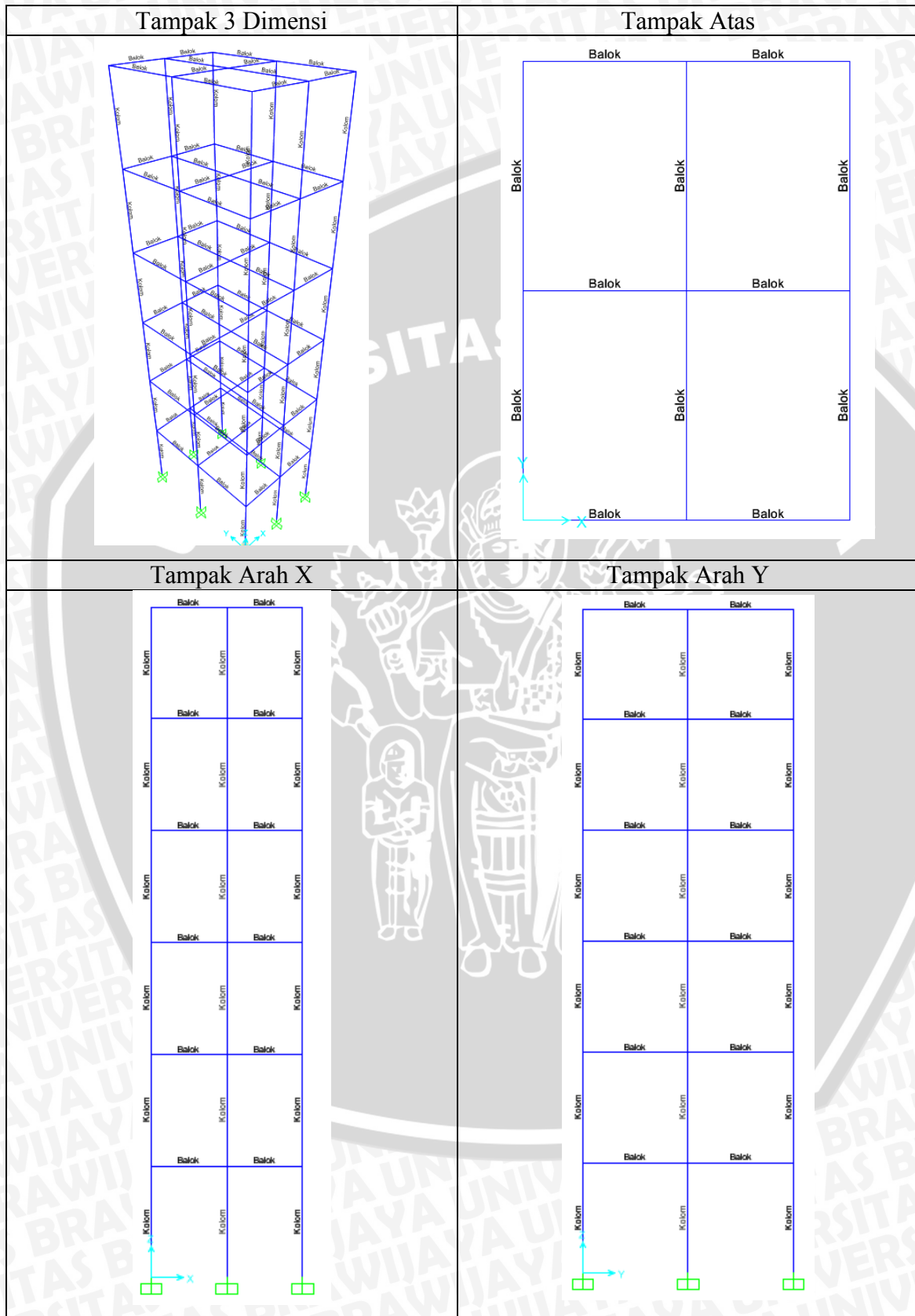
a) Model A (Persegi)

Tabel 4.1 Model Struktur Denah Persegi



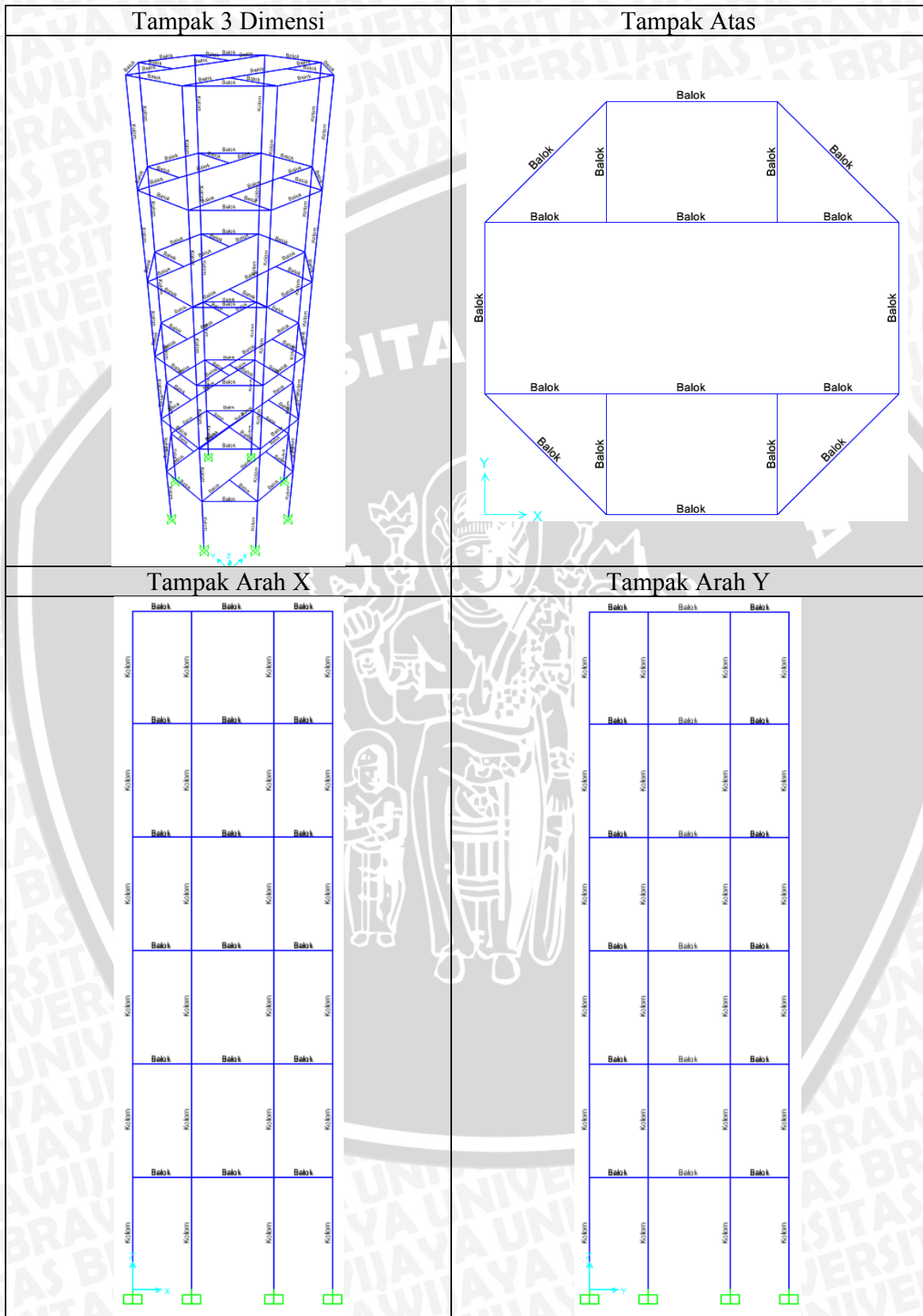
b) Model B (Persegi Panjang)

Tabel 4.2 Model Struktur Denah Persegi Panjang



c) Model C (Segi Delapan)

Tabel 4.3 Model Struktur Denah Segi Delapan



4.3 Perbandingan Berat Struktur

Berdasarkan hasil output SAP2000 didapatkan perbandingan berat sendiri struktur sebagai berikut :

Tabel 4.4 *Perbandingan Berat Struktur 3 Model*

Model	Persegi	Persegi Panjang	Segi Delapan
Berat (gram)	237,7	239,6	262,2

Dari Tabel 4.4 didapatkan hasil bahwa struktur bentuk segi delapan memiliki berat yang paling besar yaitu 262,2 gram atau memiliki selisih 22,6 gram terhadap bentuk persegi panjang dan selisih 24,5 gram dengan bentuk persegi. Sedangkan bentuk persegi dan persegi panjang tidak memiliki selisih yang terlalu jauh, yaitu sebesar 1,9 gram.

4.4 Periode Getaran, Frekuensi Natural, dan Mode Shape

Di dalam hasil analisis dinamis pada program SAP2000, dihasilkan 12 macam *mode shape* atau ragam getar. Untuk mengetahui ragam getar mana yang dapat mewakili respon dinamis dari struktur maka diperlukan partisipasi massa minimal yang dibutuhkan untuk 2 arah gempa, baik arah X dan arah Y. Berdasarkan SNI – 1726 – 2002 tentang Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung, partisipasi massa dalam menghasilkan respon total harus mencapai sekurang-kurangnya 90 %. Tabel 4.5, Tabel 4.6, dan Tabel 4.7 berikut menampilkan hasil rasio partisipasi massa arah X dan Y untuk masing-masing bentuk model.

Tabel 4.5 *Rasio Partisipasi Massa untuk Model Persegi*

Mode Shape	UX	UY	Sum UX	Sum UY	Keterangan
	<i>Unitless</i>	<i>Unitless</i>	<i>Unitless</i>	<i>Unitless</i>	
1	0	0,84	0	0,84	
2	0,83	0	0,83	0,84	
3	7,669E-20	0	0,83	0,84	
4	1,344E-18	0,09918	0,83	0,94	> 90 % untuk arah Y
5	0,1	2,086E-20	0,93	0,94	> 90 % untuk arah X
6	1,824E-17	2,937E-18	0,93	0,94	
7	8,451E-17	0,03548	0,93	0,97	
8	0,03722	1,714E-17	0,97	0,97	
9	3,101E-18	4,084E-17	0,97	0,97	
10	9,947E-17	0,01707	0,97	0,99	
11	2,801E-20	9,229E-19	0,97	0,99	
12	0,01858	7,433E-17	0,99	0,99	

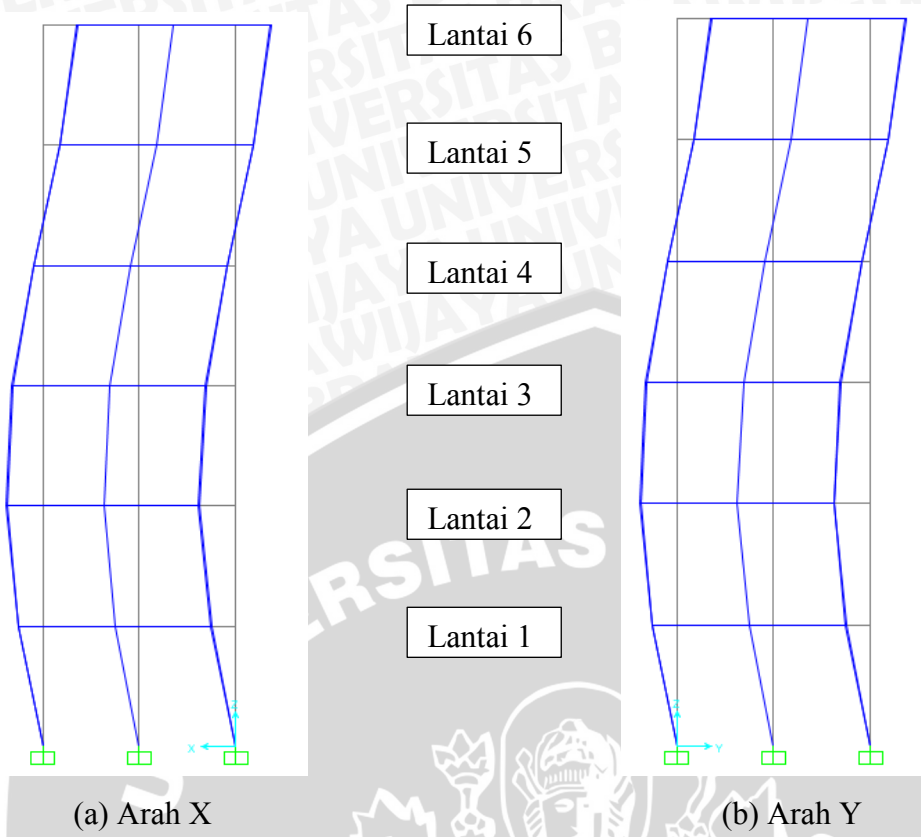
Tabel 4.6 *Rasio Partisipasi Massa untuk Model Persegi Panjang*

Mode Shape	UX	UY	Sum UX	Sum UY	Keterangan
	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	
1	0	0,84	0	0,84	
2	0,83	0	0,83	0,84	
3	6,856E-20	1,479E-20	0,83	0,84	
4	4,927E-18	0,09878	0,83	0,94	> 90 % untuk arah Y
5	0,1	0	0,93	0,94	> 90 % untuk arah X
6	6,401E-17	5,639E-18	0,93	0,94	
7	1,979E-16	0,03619	0,93	0,97	
8	0,03635	3,439E-19	0,97	0,97	
9	2,338E-19	3,716E-18	0,97	0,97	
10	1,012E-17	0,01771	0,97	0,99	
11	3,836E-16	5,14E-16	0,97	0,99	
12	0,01775	1,886E-16	0,99	0,99	

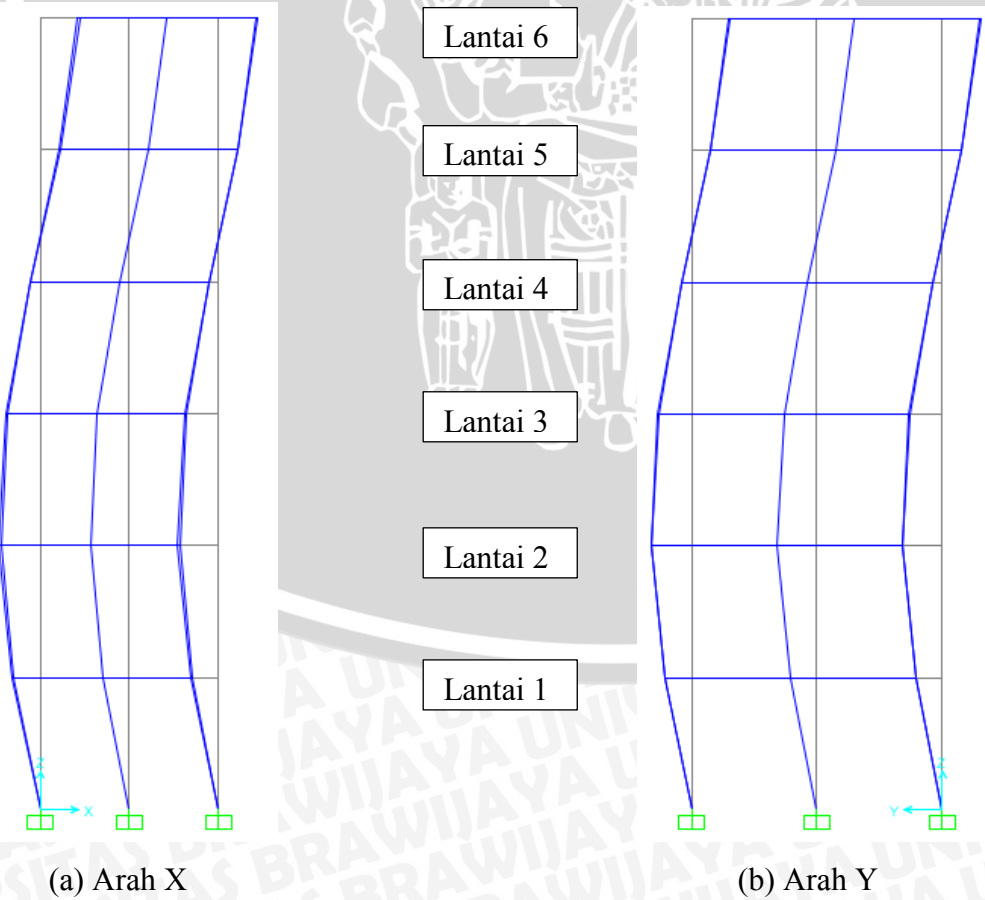
Tabel 4.7 *Rasio Partisipasi Massa untuk Model Segi Delapan*

Mode Shape	UX	UY	Sum UX	Sum UY	Keterangan
	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	
1	0	0,84	0	0,84	
2	0,83	0	0,83	0,84	
3	8,664E-19	1,011E-20	0,83	0,84	
4	2,181E-17	0,0987	0,83	0,94	> 90 % untuk arah Y
5	0,1	2,706E-20	0,93	0,94	> 90 % untuk arah X
6	1,908E-16	8,281E-18	0,93	0,94	
7	7,643E-18	0,03455	0,93	0,97	
8	0,03633	5,741E-17	0,97	0,97	
9	3,971E-18	3,849E-16	0,97	0,97	
10	2,663E-17	0,01646	0,97	0,99	
11	1,202E-17	2,942E-17	0,97	0,99	
12	7,226E-18	2,783E-17	0,97	0,99	

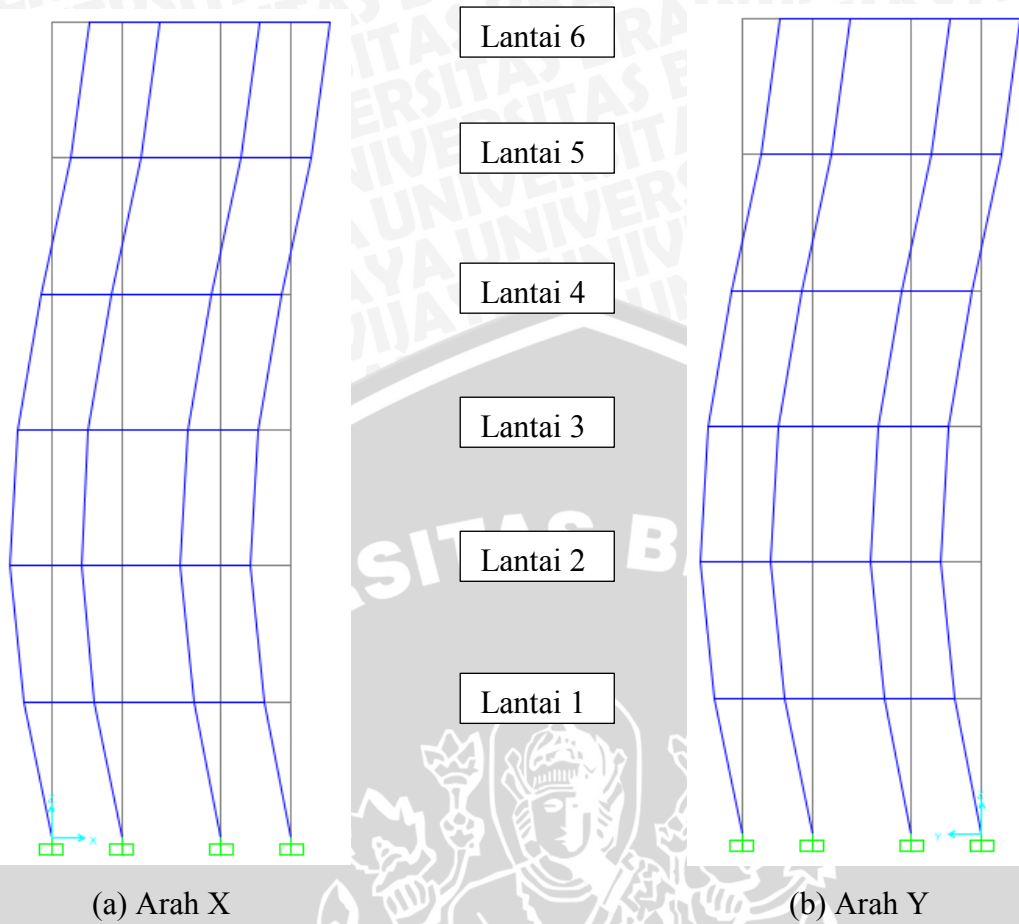
Model persegi, persegi panjang, dan segi delapan memiliki jumlah partisipasi massa lebih besar dari 90% pada ragam ke-4 untuk arah Y (sebesar 94%) dan pada ragam ke-5 untuk arah X (sebesar 93%). *Mode shape* untuk masing-masing model ditunjukkan dalam Gambar 4.3, Gambar 4.4, dan Gambar 4.5.



(a) Arah X (b) Arah Y
Gambar 4.3 Mode shape model persegi (Model A)



(a) Arah X (b) Arah Y
Gambar 4.4 Mode shape model persegi panjang (Model B)



Gambar 4.5 Mode shape model segi delapan (Model C)

Dari ketiga gambar di atas, dapat diketahui bahwa 3 model tersebut memiliki *mode shape* atau bentuk ragam getar yang sama, yaitu lantai 1 hingga lantai 4 berada di sebelah kiri posisi awal dan lantai 5 hingga lantai 6 berada di sebelah kanan posisi awal.

Perbandingan periode getaran untuk setiap model disajikan dalam Tabel 4.8 dan perbandingan frekuensi natural dapat dilihat dalam Tabel 4.9.

Tabel 4.8 *Perbandingan Periode Getaran 3 Model*

<i>Mode Shape</i>	Periode Getaran (dalam satuan detik)			Keterangan
	Persegi	Persegi Panjang	Segi Delapan	
1	1,110	1,144	1,093	
2	1,008	0,979	0,969	
3	0,881	0,863	0,751	
4	0,365	0,374	0,360	untuk arah Y
5	0,328	0,320	0,316	untuk arah X
6	0,291	0,285	0,250	
7	0,213	0,218	0,212	
8	0,189	0,186	0,183	
9	0,173	0,168	0,151	
10	0,151	0,152	0,150	
11	0,134	0,131	0,140	
12	0,131	0,130	0,131	

Tabel 4.9 *Perbandingan Frekuensi Natural 3 Model*

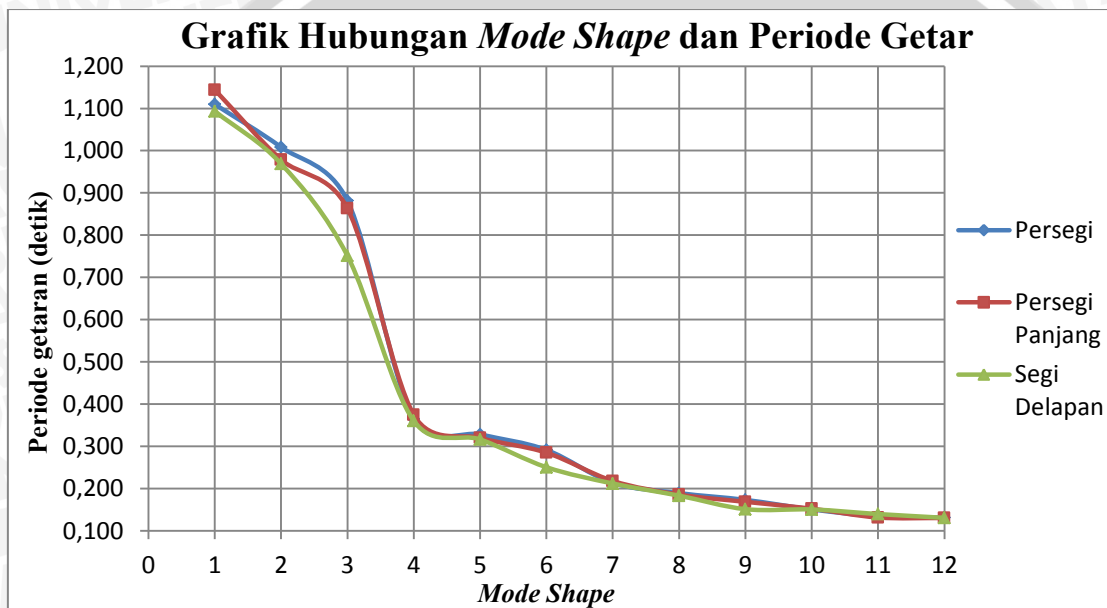
<i>Mode Shape</i>	Frekuensi Natural (dalam satuan siklus/detik)			Keterangan
	Persegi	Persegi Panjang	Segi Delapan	
1	0,901	0,874	0,915	
2	0,992	1,022	1,032	
3	1,135	1,159	1,331	
4	2,743	2,671	2,776	untuk arah Y
5	3,047	3,125	3,162	untuk arah X
6	3,433	3,511	3,994	
7	4,686	4,588	4,720	
8	5,289	5,387	5,462	
9	5,780	5,935	6,617	
10	6,644	6,566	6,649	
11	7,459	7,610	7,165	
12	7,635	7,684	7,658	

Dari Tabel 4.8 dan Tabel 4.9 dapat dilihat bahwa ketiga bentuk struktur tersebut memiliki periode getaran dan frekuensi natural yang berbeda, tetapi selisih antar model sangat kecil. Hal ini disebabkan oleh ukuran model yang kecil, sehingga perbedaan periode tidak terlalu signifikan. Setiap *mode shape* memiliki periode getaran dan frekuensi natural masing-masing. Untuk arah Y digunakan periode pada ragam keempat dan untuk arah X digunakan periode pada ragam kelima.

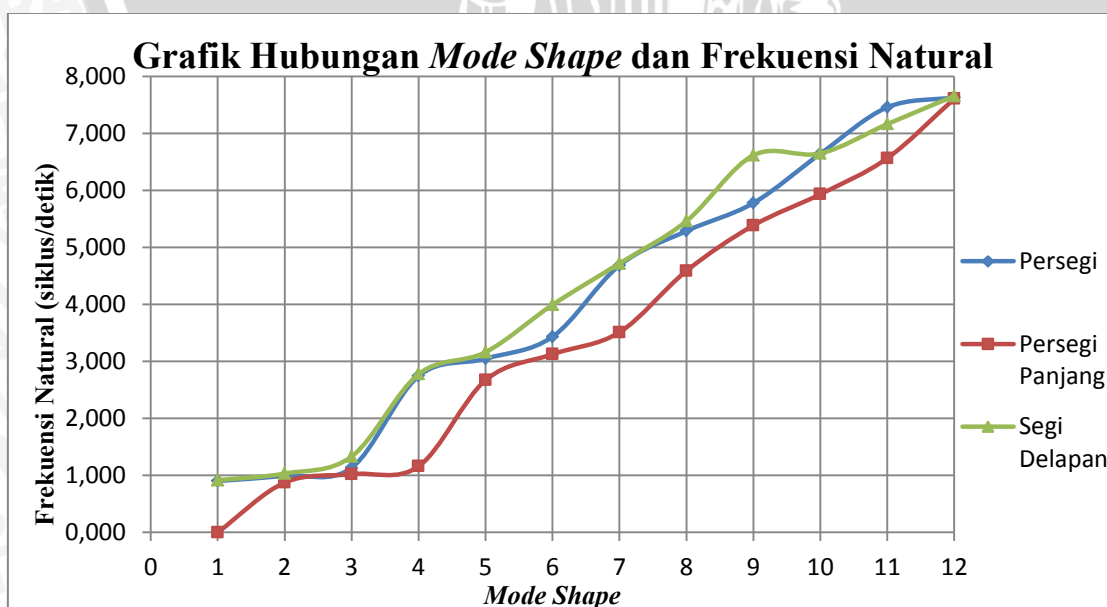
Untuk arah getar Y, periode getaran terpanjang terjadi pada model persegi panjang yaitu sebesar 0,374 detik. Sedangkan periode terpendek terjadi pada bentuk segi delapan

sebesar 0,360 detik dan tidak berbeda jauh dengan bentuk persegi yaitu sebesar 0,365 detik. Untuk arah getar X, periode getaran terpanjang terjadi pada bentuk persegi yaitu sebesar 0,328 detik. Sedangkan periode getaran terpendek terjadi pada bentuk segi delapan sebesar 0,316 detik.

Frekuensi natural berbanding terbalik dengan periode getar struktur. Frekuensi terbesar terjadi pada bentuk segi delapan baik untuk arah Y maupun arah X. Sedangkan frekuensi natural terendah dialami oleh bentuk persegi panjang dalam arah Y dan bentuk persegi dalam arah X. Grafik perbandingan periode getaran dan frekuensi natural untuk setiap *mode* dapat dilihat pada Gambar 4.6 dan Gambar 4.7.



Gambar 4.6 Grafik hubungan *mode shape* dan periode getar



Gambar 4.7 Grafik hubungan *mode shape* dan frekuensi natural

Periode berhubungan dengan kekakuan struktur. Periode getar struktur memiliki hubungan terbalik (*inversely proportional*) dengan kekakuan struktur dengan persamaan sebagai berikut :

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

dengan :

T = periode getar

k = kekakuan struktur

m = massa struktur = $\frac{\text{berat (W)}}{\text{percepatan gravitasi (g)}}$

g = $9,81 \text{ m/s}^2 = 981 \text{ cm/s}^2$

$$\sqrt{k} = \frac{2\pi\sqrt{m}}{T}$$

$$k = \left(\frac{2\pi\sqrt{m}}{T}\right)^2$$

Kekakuan struktur dari masing-masing model dapat dihitung sebagai berikut :

➤ Contoh untuk model persegi arah X

T = 0,328 detik

W = 237,7 gram

$$k = \left(\frac{2\pi\sqrt{W/g}}{T}\right)^2 = \left(\frac{2\pi\sqrt{237,7/981}}{0,328}\right)^2 = 88,836 \text{ gram/cm}$$

Tabel 4.10 Kekakuan Struktur Model

Model	Periode T (detik)		Berat W (gram)	Kekakuan k (gram/cm)	
	Arah X	Arah Y		Arah X	Arah Y
Persegi	0,328	0,365	237,700	88,836	71,977
Persegi Panjang	0,320	0,374	239,600	94,179	68,777
Segi Delapan	0,316	0,360	262,200	105,524	81,334

Dari Tabel 4.10 didapatkan hasil bahwa dalam arah gempa X bentuk segi delapan memiliki kekakuan terbesar, yaitu sebesar 105,524 gram/cm dan bentuk persegi memiliki kekakuan terkecil, yaitu 88,836 gram/cm. Sedangkan dalam arah gempa Y bentuk segi delapan memiliki kekakuan terbesar, yaitu 81,335 gram/cm dan bentuk persegi panjang memiliki kekakuan terkecil, yaitu 68,777 gram/cm.

4.5 Gaya Gempa Dasar (*Base Shear*)

Perbandingan gaya gempa dasar yang dipikul masing-masing model untuk arah gempa X dapat dilihat dalam Tabel 4.11 dan Gambar 4.8. Sedangkan perbandingan gaya gempa dasar untuk arah gempa Y dapat dilihat dalam Tabel 4.12 dan Gambar 4.9.

Tabel 4.11 *Perbandingan Base Shear Arah X*

Kekuatan gempa	Base shear arah X untuk masing-masing model (kg)		
	Persegi	Persegi Panjang	Segi Delapan
250 gal	1,65	1,68	1,64
400 gal	2,65	2,68	2,63
600 gal	3,98	4,03	3,94
800 gal	5,30	5,37	5,25
Rata-rata	3,395	3,440	3,365

Tabel 4.12 *Perbandingan Base Shear Arah Y*

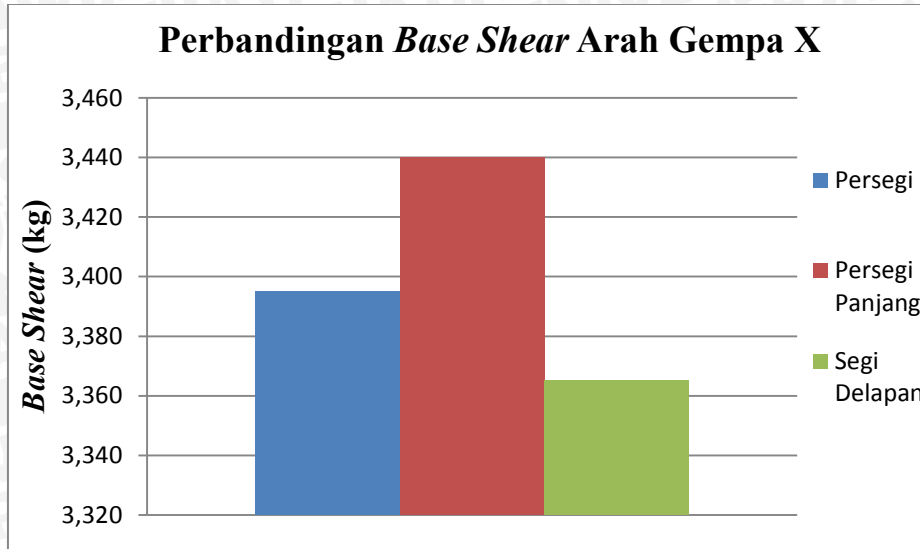
Kekuatan gempa	Base shear arah Y untuk masing-masing model (kg)		
	Persegi	Persegi Panjang	Segi Delapan
250 gal	1,61	1,60	1,61
400 gal	2,57	2,55	2,57
600 gal	3,86	3,83	3,86
800 gal	5,14	5,11	5,14
Rata-rata	3,295	3,273	3,295

Dari Tabel 4.11, dalam arah gempa X model persegi panjang menghasilkan *base shear* terbesar untuk semua kekuatan gempa dengan rata-rata sebesar 3,440 kg. Sedangkan model segi delapan menghasilkan *base shear* paling kecil. Dari Tabel 4.12, dalam arah gempa Y model persegi dan segi delapan menghasilkan nilai *base shear* yang sama dengan rata-rata sebesar 3,295 kg. Model persegi panjang memiliki gaya gempa dasar yang lebih kecil yaitu sebesar 3,273 kg.

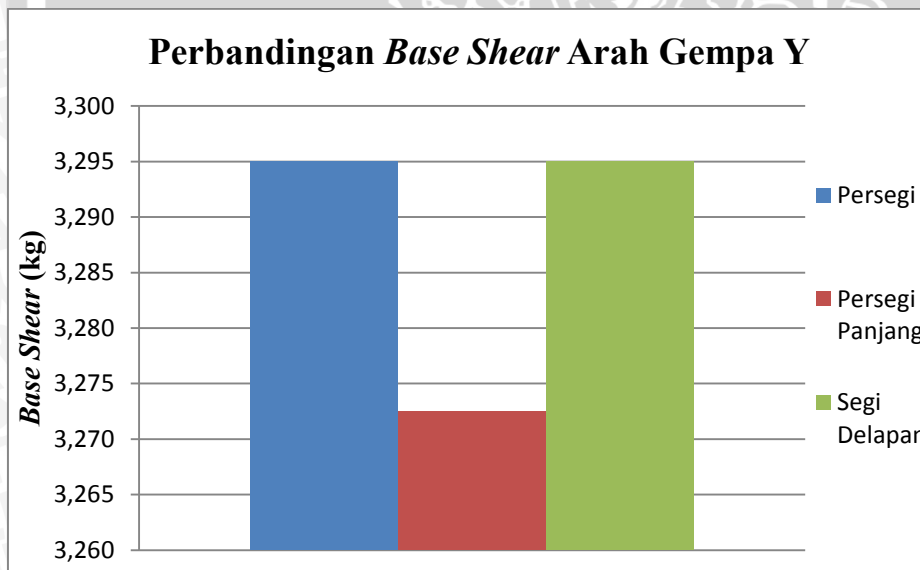
Gaya gempa dasar (*base shear*) pada arah X dan arah Y memiliki nilai yang berbeda. Nilai *base shear* tersebut berbeda karena data *time history* yang digunakan dalam arah X dan arah Y memiliki riwayat waktu yang berbeda. Hal ini menyebabkan respon gaya gempa dasar yang berbeda untuk kedua arah.

Dalam arah gempa X dapat dilihat bahwa *base shear* terbesar terjadi pada bentuk persegi panjang, sedangkan dalam arah Y *base shear* terkecil juga terjadi pada bentuk persegi panjang. Artinya, *base shear* selain dipengaruhi oleh berat bangunan, juga dipengaruhi oleh panjang bangunan. Bentuk persegi panjang saat menerima gaya gempa arah X, ditahan oleh inersia gedung yang paling kecil dibandingkan 2 model lainnya.

Akibatnya, *base shear* yang terjadi pada model persegi panjang menjadi lebih besar. Sedangkan dalam arah Y, bentuk persegi panjang memiliki inersia tahanan gedung yang paling besar, sehingga *base shear* yang terjadi lebih kecil dibandingkan model lainnya.



Gambar 4.8 Perbandingan *base shear* arah gempa X



Gambar 4.9 Perbandingan *base shear* arah gempa Y

4.6 Perpindahan Tiap Lantai (*Storey Displacement*)

Perpindahan (*displacement*) dari hasil analisis ini didapatkan simpangan setiap lantai diukur dari posisinya dalam keadaan tidak terganggu. Perpindahan yang akan disajikan berikut merupakan rekapitulasi perpindahan maksimum atau dalam SAP2000 disebut dengan *envelope maximum displacement* (bukan perpindahan setiap step). Perpindahan

yang dihasilkan dibandingkan untuk masing-masing kekuatan gempa (250 gal, 400 gal, 600 gal, 800 gal).

Hasil perpindahan untuk bentuk persegi panjang dan bentuk segi delapan dibandingkan selisihnya dengan bentuk persegi yang tergolong sebagai bangunan reguler dan simetris. Perbandingan *displacement* maksimum untuk arah X tiap model dapat dilihat dalam Tabel 4.13, Tabel 4.14, Tabel 4.15, dan Tabel 4.16.

4.6.1 Displacement Maksimum Arah Gempa X

Tabel 4.13 *Displacement Maksimum Arah X untuk Kekuatan Gempa 250 gal*

Lantai	Displacement Maksimum Arah X untuk 250 gal (cm)				
	Persegi	Persegi Panjang		Segi Delapan	
		Displacement	% selisih	Displacement	% selisih
6	5,9607	6,9847	17,18	7,2659	21,90
5	5,4924	6,4328	17,12	6,7244	22,43
4	4,6872	5,4943	17,22	5,7679	23,06
3	3,5865	4,2187	17,63	4,4519	24,13
2	2,3503	2,7050	15,09	2,8850	22,75
1	1,2500	1,2385	-0,92	1,2184	-2,53

Tabel 4.14 *Displacement Maksimum Arah X untuk Kekuatan Gempa 400 gal*

Lantai	Displacement Maksimum Arah X untuk 400 gal (cm)				
	Persegi	Persegi Panjang		Segi Delapan	
		Displacement	% selisih	Displacement	% selisih
6	9,5372	11,1755	17,18	11,6255	21,90
5	8,7878	10,2925	17,12	10,7591	22,43
4	7,4995	8,7909	17,22	9,2286	23,06
3	5,7384	6,7499	17,63	7,1230	24,13
2	3,7605	4,328	15,09	4,6160	22,75
1	2,0000	1,9816	-0,92	1,9494	-2,53

Tabel 4.15 *Displacement Maksimum Arah X untuk Kekuatan Gempa 600 gal*

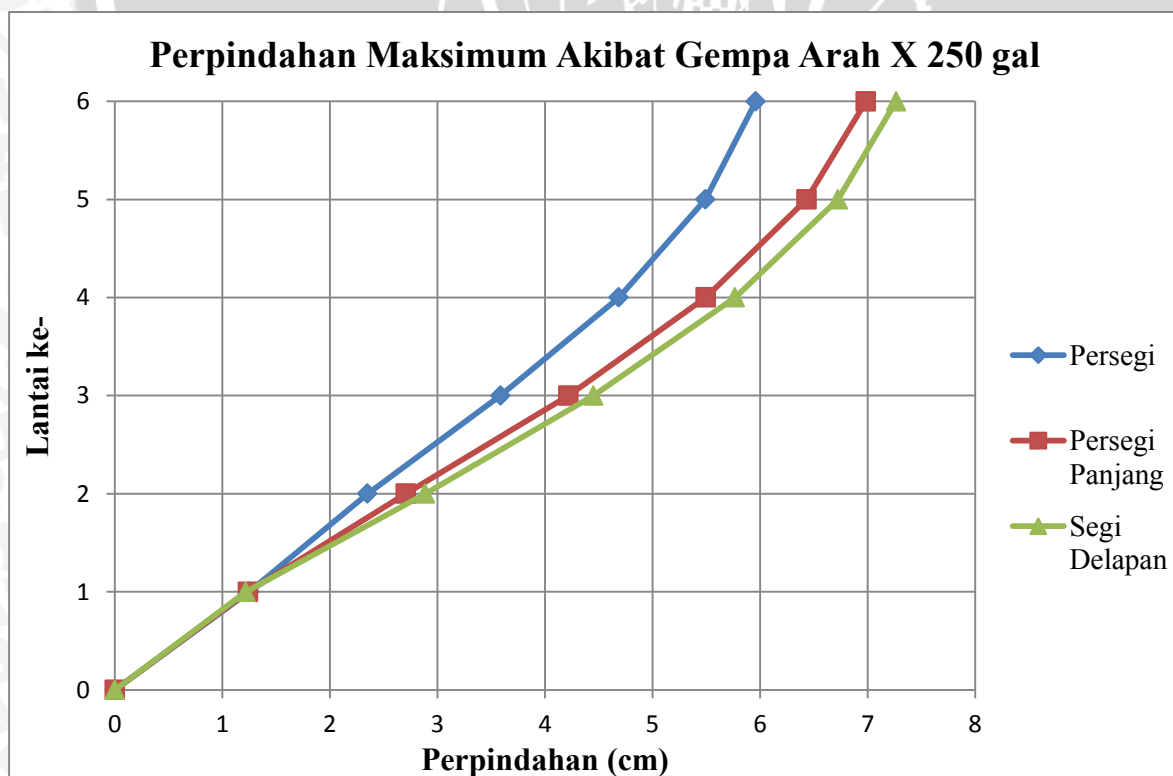
Lantai	Displacement Maksimum Arah X untuk 600 gal (cm)				
	Persegi	Persegi Panjang		Segi Delapan	
		Displacement	% selisih	Displacement	% selisih
6	14,3058	16,7632	17,18	17,4382	21,90
5	13,1817	15,4387	17,12	16,1386	22,43
4	11,2492	13,1864	17,22	13,8429	23,06
3	8,6075	10,1249	17,63	10,6845	24,13
2	5,6408	6,4920	15,09	6,924	22,75
1	3,0000	2,9725	-0,92	2,9241	-2,53

Tabel 4.16 *Displacement Maksimum Arah X untuk Kekuatan Gempa 800 gal*

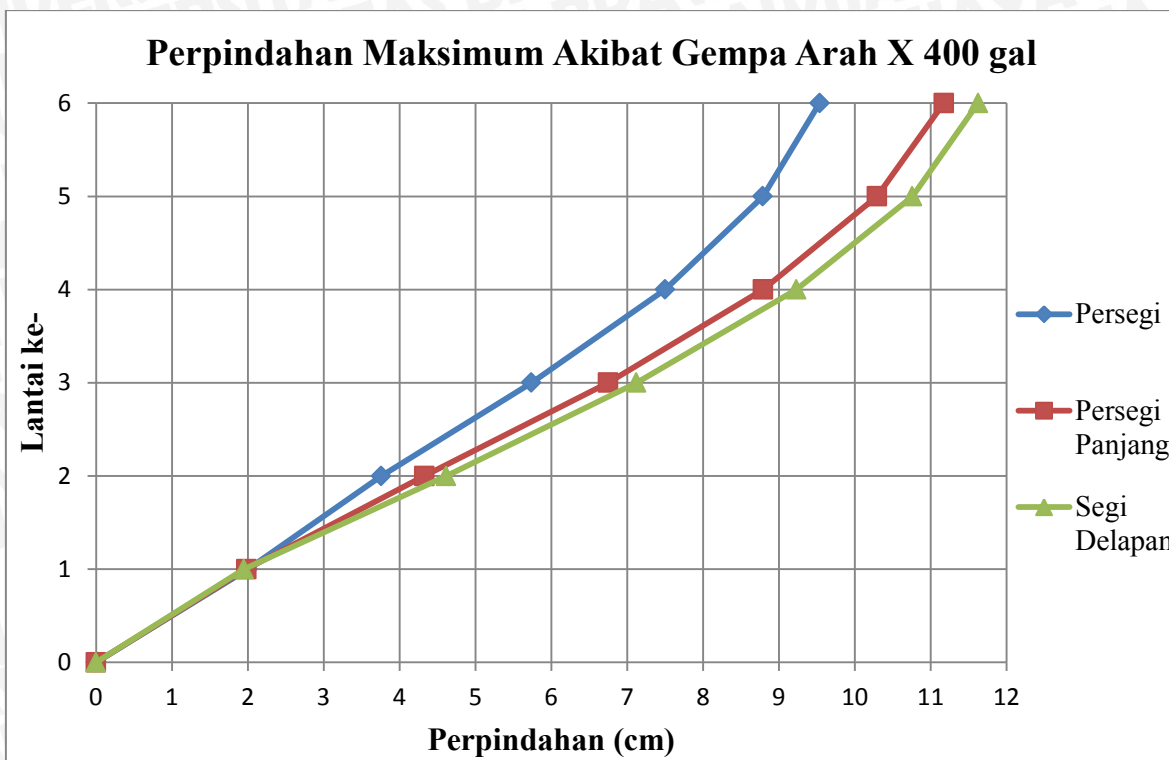
Lantai	Displacement Maksimum Arah X untuk 800 gal (cm)				
	Persegi	Persegi Panjang		Segi Delapan	
		Displacement	% selisih	Displacement	% selisih
6	19,0744	22,3509	17,18	23,2510	21,90
5	17,5757	20,585	17,12	21,5181	22,43
4	14,9990	17,5818	17,22	18,4573	23,06
3	11,4767	13,4998	17,63	14,2459	24,13
2	7,5211	8,6560	15,09	9,2319	22,75
1	4,0000	3,9633	-0,92	3,8988	-2,53

Dari hasil analisis terhadap ketiga model tersebut (dalam arah X) dengan kekuatan gempa 250 gal hingga 800 gal, model persegi memiliki *displacement* yang paling kecil dibandingkan 2 model lainnya. Perpindahan pada lantai 6 atau lantai paling atas (*roof top*) yang terbesar terjadi pada model berbentuk segi delapan dengan selisih sebesar 21,9% dibandingkan *displacement* pada model persegi. Sedangkan model persegi panjang menghasilkan *displacement* lebih besar sebesar 17,18% terhadap model persegi.

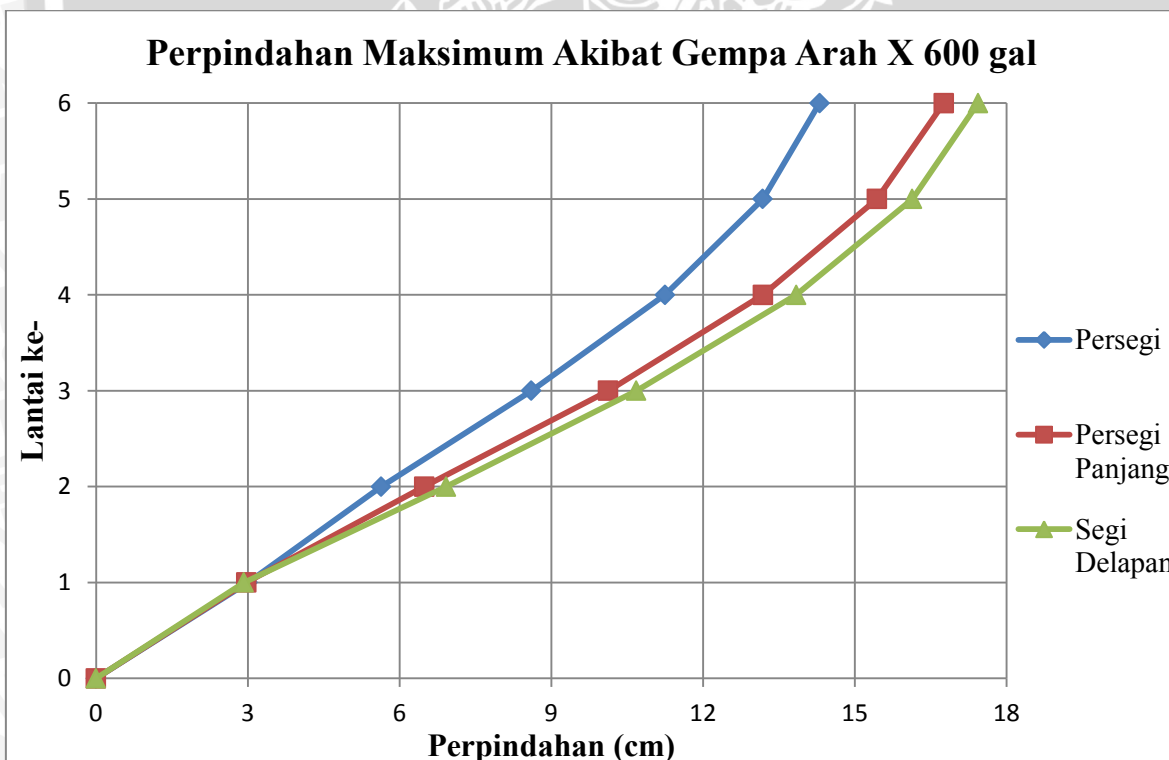
Grafik perbandingan *displacement* maksimum dalam arah X untuk ketiga model dapat dilihat dalam Gambar 4.10, Gambar 4.11, Gambar 4.12, Gambar 4.13.



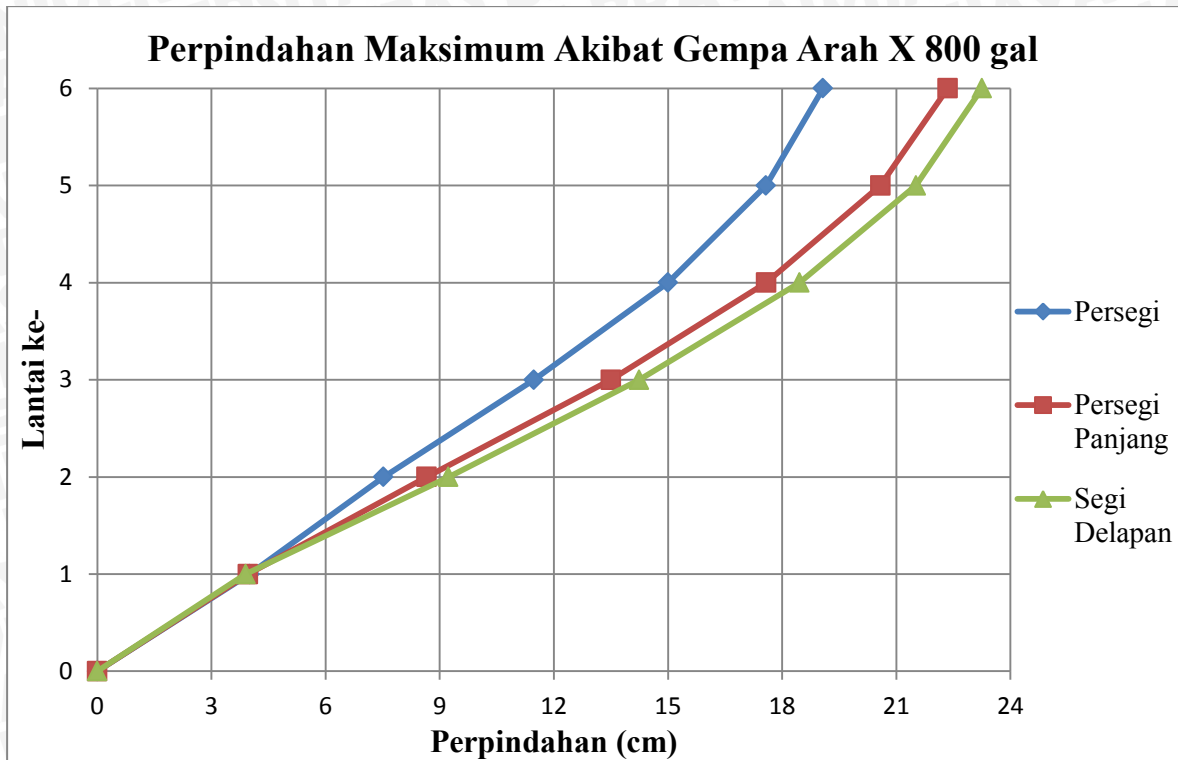
Gambar 4.10 Grafik perbandingan perpindahan maksimum akibat gempa arah X 250 gal



Gambar 4.11 Grafik perbandingan perpindahan maksimum akibat gempa arah X 400 gal



Gambar 4.12 Grafik perbandingan perpindahan maksimum akibat gempa arah X 600 gal



Gambar 4.13 Grafik perbandingan perpindahan maksimum akibat gempa arah X 800 gal

4.6.2 Displacement Maksimum Arah Gempa Y

Perbandingan *displacement* maksimum untuk arah Y tiap model dapat dilihat dalam Tabel 4.17, Tabel 4.18, Tabel 4.19, dan Tabel 4.20.

Tabel 4.17 Displacement Maksimum Arah Y untuk Kekuatan Gempa 250 gal

Lantai	Displacement Maksimum Arah Y untuk 250 gal (cm)				
	Persegi	Persegi Panjang		Segi Delapan	
		Displacement	% selisih	Displacement	% selisih
6	5,0745	4,7295	-6,80	5,2096	2,66
5	4,6883	4,3675	-6,84	4,8146	2,69
4	4,0089	3,7277	-7,01	4,1224	2,83
3	3,0784	3,1749	3,13	3,1758	3,16
2	3,0365	3,1613	4,11	2,8992	-4,52
1	1,6006	1,6448	2,76	1,5601	-2,53

Tabel 4.18 *Displacement Maksimum Arah Y untuk Kekuatan Gempa 400 gal*

Lantai	Displacement Maksimum Arah Y untuk 400 gal (cm)				
	Persegi	Persegi Panjang		Segi Delapan	
		Displacement	% selisih	Displacement	% selisih
6	8,1212	7,5693	-6,80	8,3374	2,66
5	7,5032	6,9901	-6,84	7,7053	2,69
4	6,4160	5,9661	-7,01	6,5975	2,83
3	4,9269	5,0814	3,14	5,0826	3,16
2	4,8566	5,0571	4,13	4,6411	-4,44
1	2,5603	2,6309	2,76	2,4967	-2,48

Tabel 4.19 *Displacement Maksimum Arah Y untuk Kekuatan Gempa 600 gal*

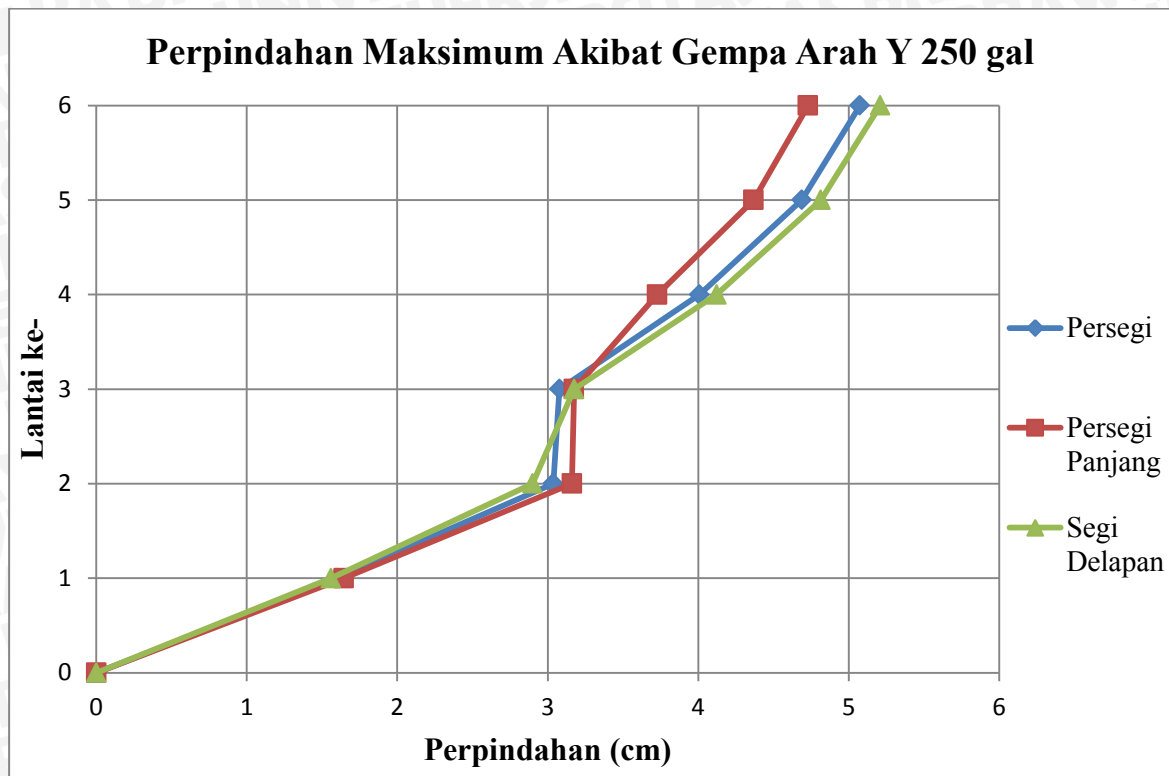
Lantai	Displacement Maksimum Arah Y untuk 600 gal (cm)				
	Persegi	Persegi Panjang		Segi Delapan	
		Displacement	% selisih	Displacement	% selisih
6	12,1787	11,3507	-6,80	12,5030	2,66
5	11,2519	10,482	-6,84	11,5551	2,69
4	9,6214	8,9466	-7,01	9,8937	2,83
3	7,3882	7,6198	3,13	7,6220	3,16
2	7,2876	7,5872	4,11	6,9581	-4,52
1	3,8414	3,9475	2,76	3,7442	-2,53

Tabel 4.20 *Displacement Maksimum Arah Y untuk Kekuatan Gempa 800 gal*

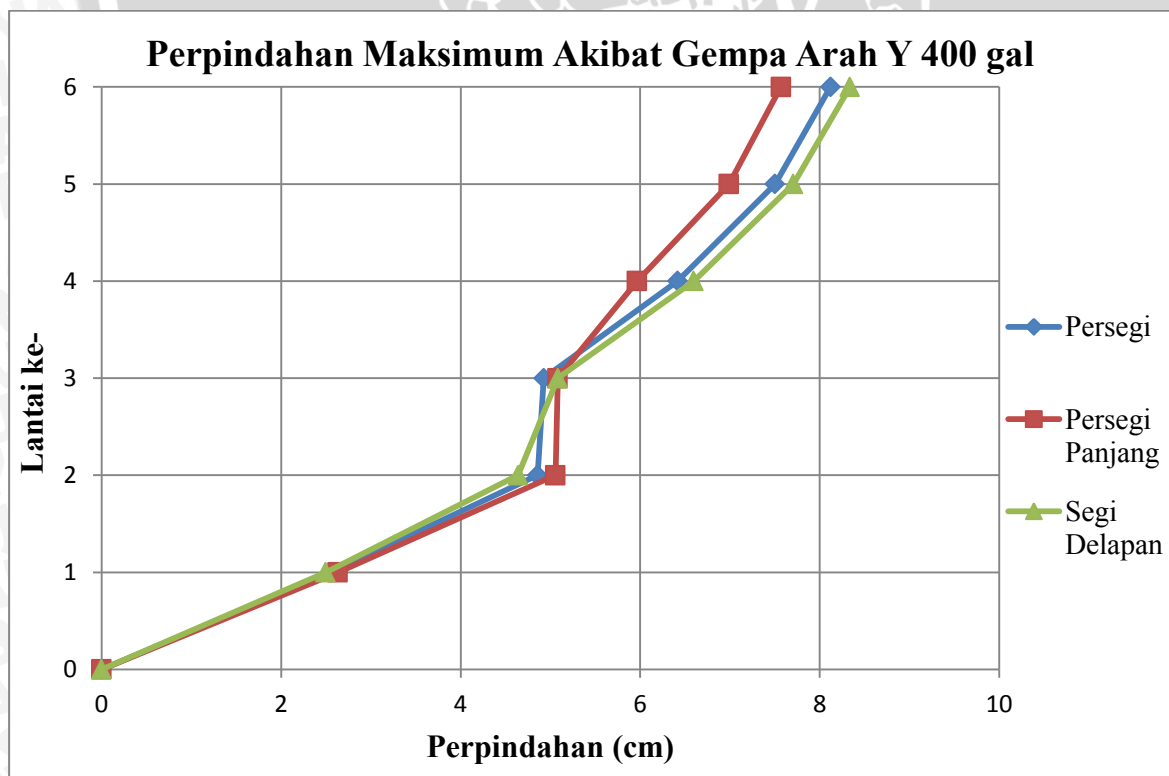
Lantai	Displacement Maksimum Arah Y untuk 800 gal (cm)				
	Persegi	Persegi Panjang		Segi Delapan	
		Displacement	% selisih	Displacement	% selisih
6	16,2426	15,1386	-6,80	16,6749	2,66
5	15,0064	13,9800	-6,84	15,4107	2,69
4	12,8320	11,9323	-7,01	13,1950	2,83
3	9,8536	10,1596	3,11	10,1653	3,16
2	9,7164	10,1161	4,11	9,2778	-4,51
1	5,1220	5,2632	2,76	4,9921	-2,54

Dari hasil analisis terhadap ketiga model tersebut (dalam arah Y) dengan kekuatan gempa 250 gal hingga 800 gal, model persegi panjang memiliki *displacement* yang paling kecil dibandingkan 2 model lainnya. Model persegi panjang menghasilkan *displacement* lebih kecil sebesar 6,8% terhadap model persegi. Perpindahan pada lantai 6 atau lantai paling atas (*roof top*) yang terbesar terjadi pada model berbentuk segi delapan dengan selisih sebesar 2,66% dibandingkan *displacement* pada model persegi. Grafik

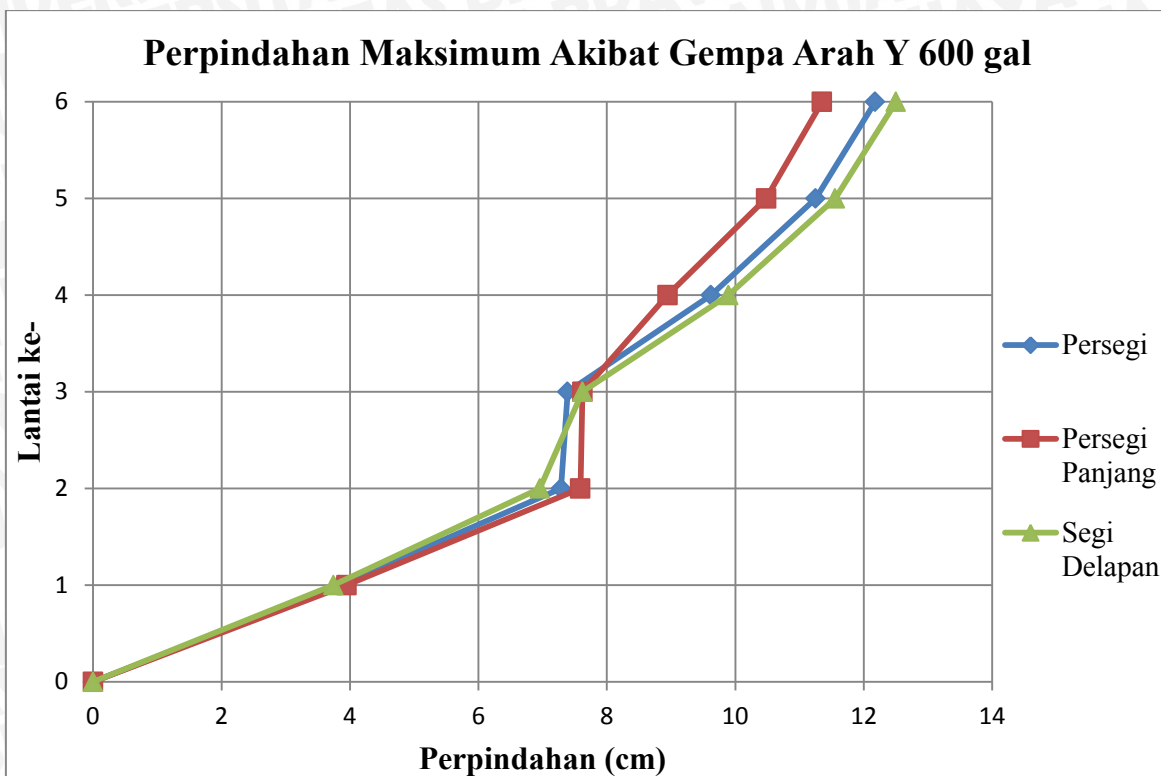
perbandingan *displacement* maksimum dalam arah Y untuk ketiga model dapat dilihat dalam Gambar 4.14, Gambar 4.15, Gambar 4.16, Gambar 4.17.



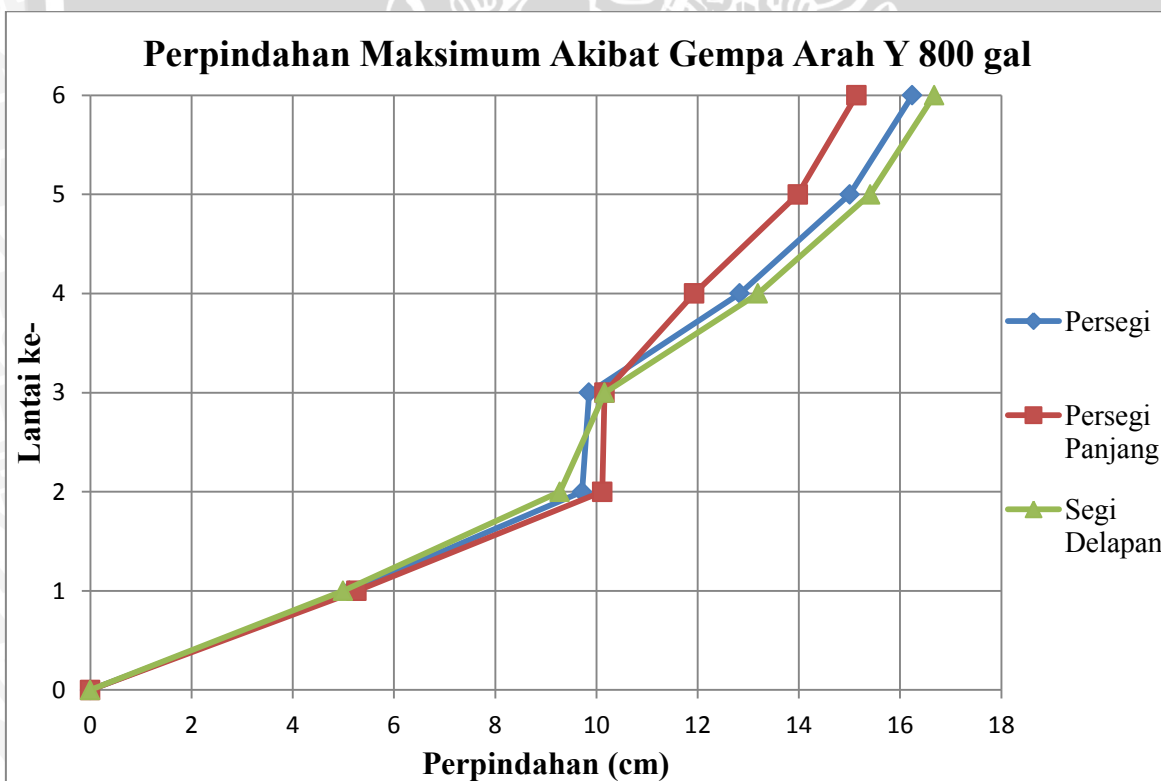
Gambar 4.14 Grafik perbandingan perpindahan maksimum akibat gempa arah Y 250 gal



Gambar 4.15 Grafik perbandingan perpindahan maksimum akibat gempa arah Y 400 gal



Gambar 4.16 Grafik perbandingan perpindahan maksimum akibat gempa arah Y 600 gal



Gambar 4.17 Grafik perbandingan perpindahan maksimum akibat gempa arah Y 800 gal

Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa perpindahan maksimum pada lantai 2 dan lantai 3 hampir sama. Ketiga bentuk model memiliki pola yang sama untuk perpindahan pada lantai 2 dan 3. Artinya pada kedua lantai tersebut memiliki selisih perpindahan maksimum yang kecil.

4.7 Gaya Dalam Struktur

Gaya-gaya dalam yang dibandingkan terdiri dari gaya aksial, momen, dan gaya geser pada struktur setiap model. Gaya aksial yang besar terutama terjadi pada bagian kolom, dan umumnya terjadi pada kolom bagian bawah. Dalam analisis ini, gaya aksial pada bagian balok diabaikan. Sedangkan untuk momen dan gaya geser ditinjau baik untuk komponen balok dan kolom.

4.7.1 Gaya Aksial Maksimum

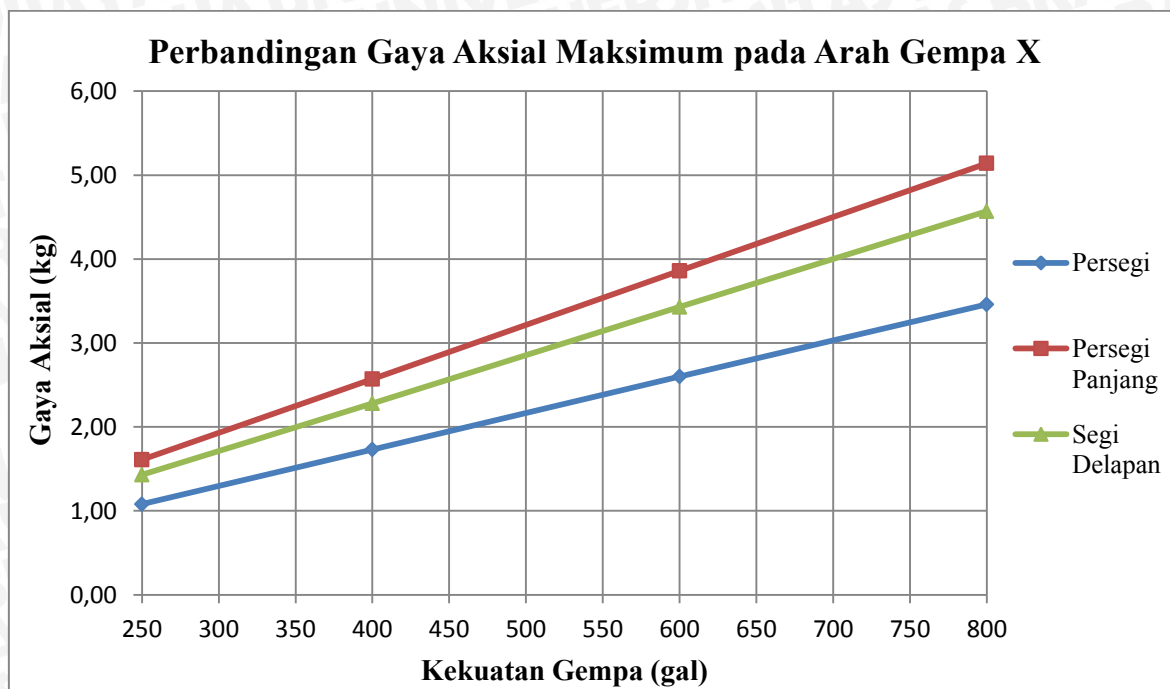
Perbandingan besarnya gaya aksial maksimum yang terjadi pada komponen kolom masing-masing model dapat dilihat pada Tabel 4.21 berikut.

Tabel 4.21 *Perbandingan Gaya Aksial Maksimum pada Kolom*

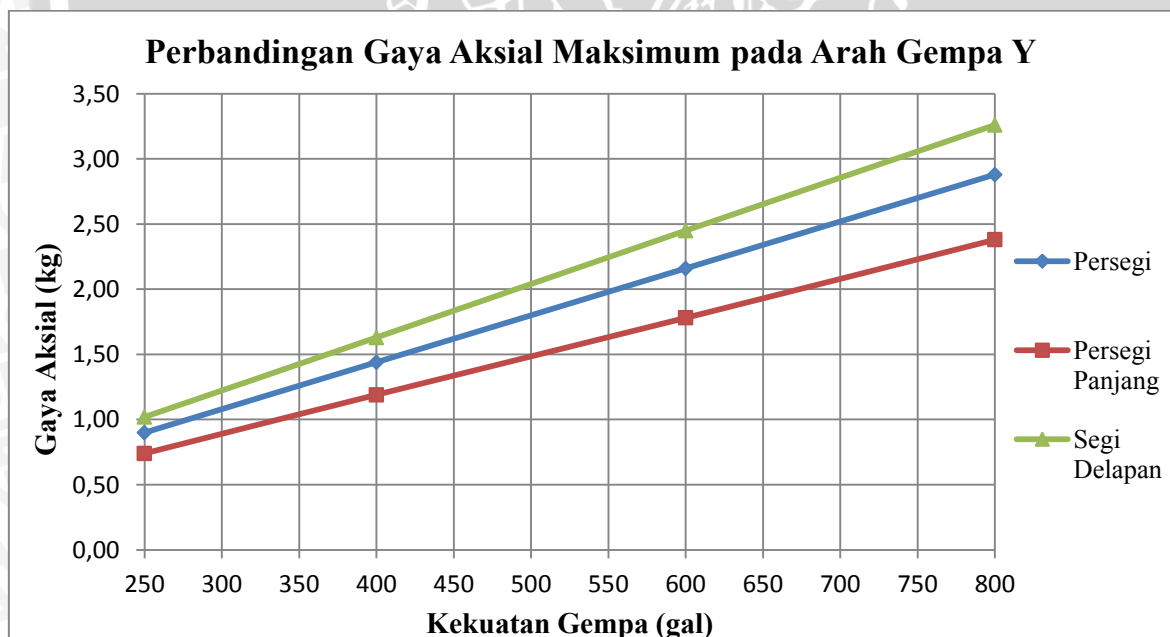
Arah Gempa	Kekuatan Gempa	Gaya Aksial Maksimum (kg)		
		Persegi	Persegi Panjang	Segi Delapan
X	250 gal	1,08	1,61	1,43
	400 gal	1,73	2,57	2,28
	600 gal	2,60	3,86	3,43
	800 gal	3,46	5,14	4,57
	Rata-rata	2,22	3,30	2,93
Y	250 gal	0,90	0,74	1,02
	400 gal	1,44	1,19	1,63
	600 gal	2,16	1,78	2,45
	800 gal	2,88	2,38	3,26
	Rata-rata	1,85	1,52	2,09

Dari tabel di atas didapatkan hasil bahwa untuk arah gempa X, gaya aksial terbesar terjadi pada model struktur persegi panjang dengan rata-rata sebesar 3,3 kg. Sedangkan gaya aksial terkecil terjadi pada model persegi. Untuk arah gempa Y, gaya aksial terbesar terjadi pada model struktur segi delapan dengan gaya aksial rata-rata sebesar 2,09 kg. Sedangkan gaya aksial terkecil pada arah gempa Y terjadi pada model struktur persegi panjang dengan rata-rata gaya aksial sebesar 1,52 kg.

Grafik perbandingan gaya aksial pada arah X dapat dilihat pada Gambar 4.18 dan perbandingan gaya aksial pada arah Y dapat dilihat pada Gambar 4.19.

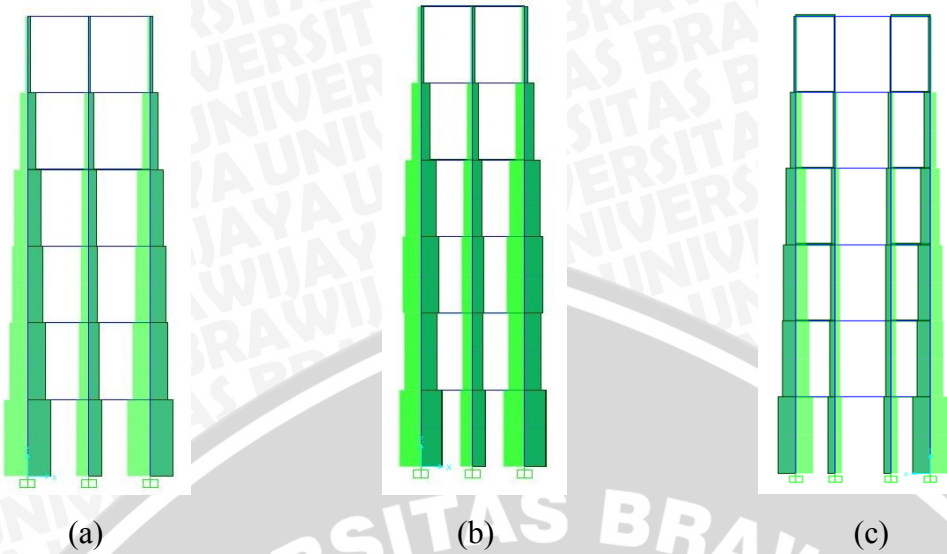


Gambar 4.18 Grafik perbandingan gaya aksial maksimum pada Arah Gempa X



Gambar 4.19 Grafik perbandingan gaya aksial maksimum pada Arah Gempa Y

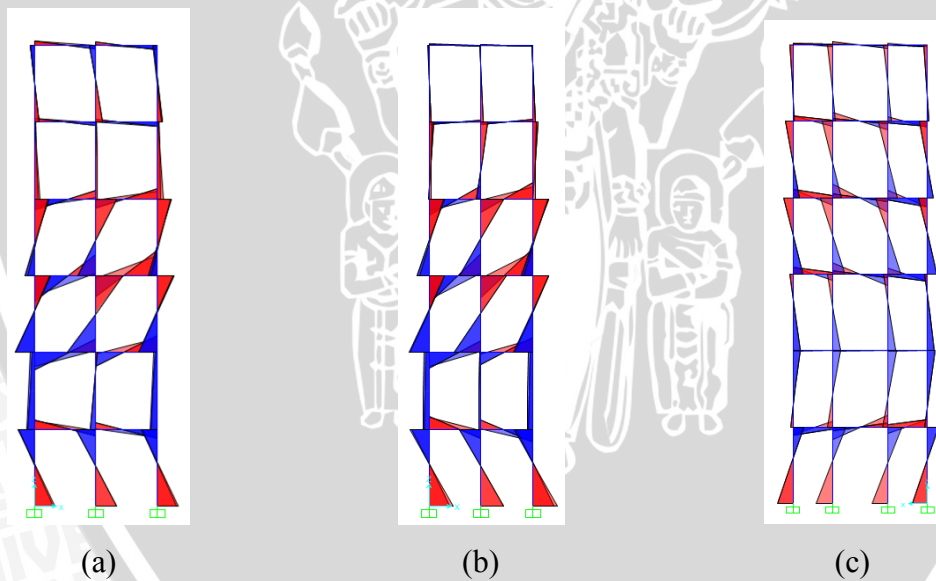
Diagram gaya aksial maksimum yang terjadi pada model persegi, persegi panjang, dan segi delapan dapat dilihat pada Gambar 4.20 berikut.



Gambar 4.20 Diagram gaya aksial maksimum pada masing-masing model
(a) Model Persegi ; (b) Model Persegi Panjang ; (c) Model Segi Delapan

4.7.2 Gaya Momen Maksimum

Diagram gaya momen pada masing-masing model dapat dilihat pada Gambar 4.21 berikut.



Gambar 4.21 Diagram gaya momen pada masing-masing model
(a) Model Persegi ; (b) Model Persegi Panjang ; (c) Model Segi Delapan

4.7.2.1 Gaya Momen Maksimum pada Kolom

Perbandingan gaya momen maksimum pada kolom disajikan dalam Tabel 4.22 berikut. Dalam tabel tersebut juga ditampilkan selisih momen antara model persegi panjang dan segi delapan terhadap model persegi.

Tabel 4.22 *Perbandingan Momen Maksimum pada Kolom*

Arah Gempa	Kekuatan Gempa	Gaya Momen Maksimum pada kolom (kgcm)				
		Persegi	Persegi Panjang		Segi Delapan	
			Momen	%Selisih	Momen	%Selisih
X	250 gal	1,50	1,47	-2,00%	1,23	-18,00%
	400 gal	2,41	2,36	-2,07%	1,97	-18,26%
	600 gal	3,61	3,53	-2,22%	2,95	-18,28%
	800 gal	4,81	4,71	-2,08%	3,94	-18,09%
	Rata-rata	3,08	3,02	-2,09%	2,52	-18,16%
Y	250 gal	1,38	1,41	+2,17%	1,19	-13,77%
	400 gal	2,21	2,27	+2,71%	1,90	-14,03%
	600 gal	3,32	3,40	+2,41%	2,84	-14,46%
	800 gal	4,43	4,53	+2,26%	3,80	-14,22%
	Rata-rata	2,84	2,90	+2,39%	2,43	-14,12%

Dari tabel di atas didapatkan hasil bahwa untuk arah gempa X, gaya momen terbesar terjadi pada model struktur persegi dengan rata-rata sebesar 3,08 kgcm. Sedangkan gaya momen terkecil terjadi pada model segi delapan. Untuk arah gempa Y, gaya momen terbesar terjadi pada model struktur persegi panjang dengan gaya momen rata-rata sebesar 2,90 kgcm. Sedangkan gaya momen terkecil pada arah gempa Y terjadi pada model struktur segi delapan dengan rata-rata gaya momen sebesar 2,43 kgcm.

Dari kedua arah gempa di atas, model segi delapan menghasilkan momen yang paling kecil. Bentuk segi delapan memiliki rata-rata momen sekitar 18% lebih kecil dibandingkan model persegi untuk arah X, dan lebih kecil 14% dalam arah Y. Sedangkan bentuk persegi panjang menghasilkan momen lebih kecil 2,09% pada arah X dan lebih besar 2,39% dalam arah Y apabila dibandingkan dengan model persegi.

4.7.2.2 Gaya Momen Maksimum pada Balok

Perbandingan gaya momen maksimum pada balok disajikan dalam Tabel 4.23 berikut. Dalam tabel tersebut juga ditampilkan selisih momen antara model persegi panjang dan segi delapan terhadap model persegi.

Tabel 4.23 Perbandingan Momen Maksimum pada Balok

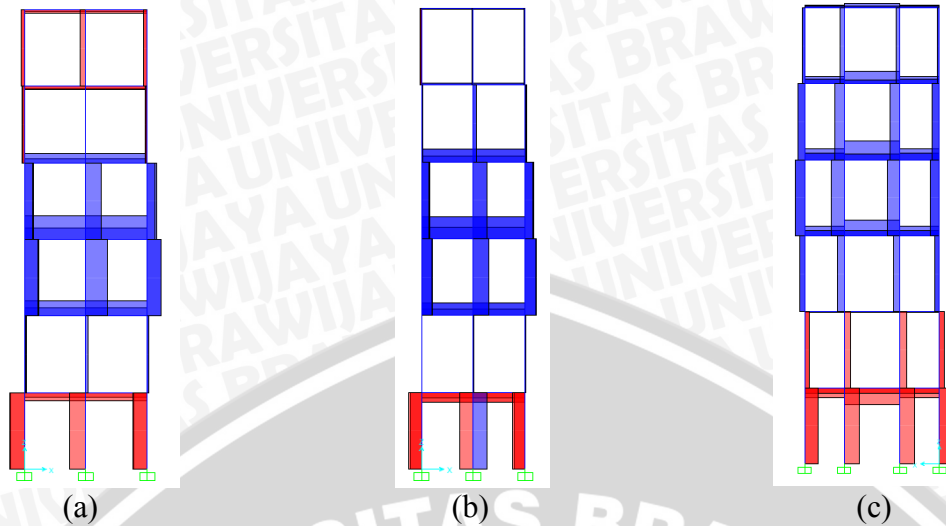
Arah Gempa	Kekuatan Gempa	Gaya Momen Maksimum pada balok (kgcm)				
		Persegi	Persegi Panjang		Segi Delapan	
			Momen	%Selisih	Momen	%Selisih
X	250 gal	1,50	1,53	+2,00%	1,37	-8,67%
	400 gal	2,40	2,44	+1,67%	2,19	-8,75%
	600 gal	3,60	3,66	+1,67%	3,28	-8,89%
	800 gal	4,80	4,88	+1,67%	4,38	-8,75%
	Rata-rata	3,08	3,13	+1,75%	2,81	-8,76%
Y	250 gal	1,43	1,39	-2,80%	1,38	-3,50%
	400 gal	2,28	2,23	-2,19%	2,20	-3,51%
	600 gal	3,42	3,35	-2,05%	3,30	-3,51%
	800 gal	4,57	4,46	-2,41%	4,40	-3,72%
	Rata-rata	2,93	2,86	-2,36%	2,82	-3,56%

Dari tabel di atas didapatkan hasil bahwa untuk arah gempa X, gaya momen terbesar terjadi pada model struktur persegi panjang dengan rata-rata sebesar 3,13 kgcm. Sedangkan gaya momen terkecil terjadi pada model segi delapan. Untuk arah gempa Y, gaya momen terbesar terjadi pada model struktur persegi dengan gaya momen rata-rata sebesar 2,93 kgcm. Sedangkan gaya momen terkecil pada arah gempa Y terjadi pada model struktur segi delapan dengan rata-rata gaya momen sebesar 2,82 kgcm.

Dari kedua arah gempa di atas, model segi delapan menghasilkan momen yang paling kecil. Bentuk segi delapan memiliki rata-rata momen 8,76% lebih kecil dibandingkan model persegi untuk arah X, dan lebih kecil 3,56% dalam arah Y. Sedangkan bentuk persegi panjang menghasilkan momen lebih besar 1,75% pada arah X dan lebih kecil 2,36% dalam arah Y apabila dibandingkan dengan model persegi.

4.7.3 Gaya Geser Maksimum

Diagram gaya geser pada masing-masing model dapat dilihat pada Gambar 4.22 berikut.



Gambar 4.22 Diagram gaya geser pada masing-masing model
 (a) Model Persegi ; (b) Model Persegi Panjang ; (c) Model Segi Delapan

4.7.3.1 Gaya Geser Maksimum pada Kolom

Perbandingan gaya geser maksimum pada kolom disajikan dalam Tabel 4.24 berikut. Dalam tabel tersebut juga ditampilkan selisih gaya geser antara model persegi panjang dan segi delapan terhadap model persegi.

Tabel 4.24 Perbandingan Gaya Geser Maksimum pada Kolom

Arah Gempa	Kekuatan Gempa	Gaya Geser Maksimum pada kolom (kg)				
		Persegi	Persegi Panjang		Segi Delapan	
			Gaya Geser	%Selisih	Gaya Geser	%Selisih
X	250 gal	0,3	0,29	-3,33%	0,24	-20,00%
	400 gal	0,48	0,47	-2,08%	0,38	-20,83%
	600 gal	0,72	0,71	-1,39%	0,56	-22,22%
	800 gal	0,96	0,94	-2,08%	0,75	-21,88%
	Rata-rata	0,62	0,60	-2,22%	0,48	-21,23%
Y	250 gal	0,28	0,28	0,00%	0,23	-17,86%
	400 gal	0,44	0,45	2,27%	0,36	-18,18%
	600 gal	0,66	0,68	3,03%	0,54	-18,18%
	800 gal	0,89	0,9	1,12%	0,72	-19,10%
	Rata-rata	0,57	0,58	1,61%	0,46	-18,33%

Berdasarkan Tabel 4.24 pada arah X, gaya geser terbesar terjadi pada model persegi sebesar 0,62 kg dan gaya geser terkecil terjadi pada model segi delapan yaitu sebesar 0,48 kg atau 21,23% lebih kecil. Sedangkan gaya geser pada model persegi panjang sebesar 0,60 kg atau 2,22% lebih kecil dibandingkan model persegi.

Untuk arah gempa Y, gaya geser terbesar terjadi pada model persegi panjang sebesar 0,58 kg atau 1,61% lebih besar dibandingkan gaya geser pada model persegi. Sedangkan gaya geser terkecil terjadi pada model segi delapan yaitu sebesar 0,46 kg atau 18,33% lebih kecil dari model persegi.

4.7.3.2 Gaya Geser Maksimum pada Balok

Perbandingan gaya geser maksimum pada balok disajikan dalam Tabel 4.25 berikut. Dalam tabel tersebut juga ditampilkan selisih gaya geser antara model persegi panjang dan segi delapan terhadap model persegi.

Tabel 4.25 Perbandingan Gaya Geser Maksimum pada Balok

Arah Gempa	Kekuatan Gempa	Gaya Geser Maksimum pada balok (kg)				
		Persegi	Persegi Panjang		Segi Delapan	
			Gaya Geser	%Selisih	Gaya Geser	%Selisih
X	250 gal	0,34	0,41	20,59%	0,38	11,76%
	400 gal	0,55	0,65	18,18%	0,6	9,09%
	600 gal	0,82	0,98	19,51%	0,9	9,76%
	800 gal	1,09	1,31	20,18%	1,2	10,09%
	Rata-rata	0,70	0,84	19,62%	0,77	10,18%
Y	250 gal	0,32	0,26	-18,75%	0,38	18,75%
	400 gal	0,51	0,42	-17,65%	0,6	17,65%
	600 gal	0,76	0,63	-17,11%	0,91	19,74%
	800 gal	1,01	0,84	-16,83%	1,21	19,80%
	Rata-rata	0,65	0,54	-17,58%	0,78	18,98%

Berdasarkan Tabel 4.25 pada arah X, gaya geser terbesar terjadi pada model persegi panjang dengan rata-rata 0,84 kg (19,62% lebih besar dari model persegi), sedangkan gaya geser pada model segi delapan memiliki rata-rata sebesar 0,77 kg (10,18% lebih besar dari model persegi). Model persegi menghasilkan gaya geser terkecil dengan rata-rata 0,70 kg.

Sedangkan untuk gempa pada arah Y, gaya geser terbesar terjadi pada model segi delapan sebesar 0,78 kg (18,98% lebih besar dari model persegi). Model persegi panjang menghasilkan gaya geser terkecil yaitu dengan rata-rata 0,54 kg (17,58% kecil dibandingkan model persegi).

Berdasarkan hasil di atas terlihat bahwa terjadi inkonsistensi selisih gaya, hal ini disebabkan karena analisis *time history* tergolong analisis multistep. Oleh sebab itu, gaya maksimum dimungkinkan terjadi pada step yang berbeda untuk masing-masing model.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan data hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan untuk mengetahui karakteristik atau perilaku dari ketiga model (persegi, persegi panjang, dan segi delapan) ketika menerima gaya gempa pada arah X dan arah Y, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan parameter ragam getar atau *mode shape*, ketiga model memiliki *mode shape* yang sama baik arah X maupun arah Y. Untuk arah X terbentuk *mode shape* kelima dan untuk arah Y terjadi *mode shape* keempat. *Mode shape* yang terjadi tidak sesuai dengan bentuk teoritis di mana untuk konfigurasi bangunan yang simetris umumnya terjadi *mode shape* pertama. Hal ini disebabkan karena pengaruh karakteristik material MDF berbeda dengan material beton dan baja.
2. Berdasarkan parameter simpangan atau *displacement* bentuk segi delapan memiliki *displacement* terbesar dalam arah X (selisih $\pm 22\%$ terhadap model persegi) maupun arah Y (selisih $\pm 3\%$ terhadap model persegi). Simpangan terkecil terjadi pada bentuk persegi untuk arah X dan bentuk persegi panjang untuk arah Y.
3. Berdasarkan parameter gaya yang terjadi pada ketiga model, secara keseluruhan bentuk segi delapan menghasilkan gaya dalam yang lebih kecil dibandingkan kedua model lainnya. Bentuk segi delapan memiliki keunggulan dalam hal *base shear* yang kecil dalam arah X, momen maksimum (kolom dan balok) serta gaya geser kolom yang lebih kecil dibandingkan model persegi dan persegi panjang. Momen pada kolom model segi delapan $\pm 18\%$ lebih kecil daripada model persegi dan geser pada kolom model segi delapan $\pm 21\%$ lebih kecil daripada model persegi.
4. Berdasarkan parameter periode getaran, bentuk segi delapan memiliki periode terkecil untuk kedua arah.

Dari hasil di atas didapatkan bahwa hipotesis pertama dan ketiga terpenuhi, yaitu perbedaan konfigurasi struktur menyebabkan perbedaan perilaku struktur, baik dalam hal simpangan, periode getaran, dan gaya-gaya dalam. Namun hipotesis kedua mengenai bentuk segi delapan yang cenderung menghasilkan *mode shape* puntir tidak terbukti.

Rekapitulasi hasil analisis dalam penelitian ini disajikan dalam Tabel 5.1 berikut.

Tabel 5.1 *Rekapitulasi Hasil Analisis untuk Setiap Parameter*

Arah Gempa	Parameter	Hasil					
	<i>Mode shape</i>	<i>Mode shape</i> keempat (arah Y) dan kelima (arah X)					
X	Periode getaran	persegi	>	persegi panjang	>	segi delapan	
	Frekuensi natural	segi delapan	>	persegi panjang	>	persegi	
	Gaya gempa dasar	persegi panjang	>	persegi	>	segi delapan	
	Perpindahan	segi delapan	>	persegi panjang	>	persegi	
	Gaya aksial	persegi panjang	>	segi delapan	>	persegi	
	Kolom	Momen	persegi	>	persegi panjang	>	segi delapan
		Geser					
	Balok	Momen	persegi panjang	>	persegi	>	segi delapan
Geser		persegi panjang	>	segi delapan	>	persegi	
Y	Periode getaran	persegi panjang	>	persegi	>	segi delapan	
	Frekuensi natural	segi delapan	>	persegi	>	persegi panjang	
	Gaya gempa dasar	persegi	=	segi delapan	>	persegi panjang	
	Perpindahan	segi delapan	>	persegi	>	persegi panjang	
	Gaya aksial	segi delapan	>	persegi	>	persegi panjang	
	Kolom	Momen	persegi panjang	>	persegi	>	segi delapan
		Geser					
	Balok	Momen	persegi	>	persegi panjang	>	segi delapan
Geser		segi delapan	>	persegi	>	persegi panjang	

5.2 Saran

Berdasarkan hasil yang telah diperoleh selama penelitian, saran untuk pengembangan penelitian lebih lanjut adalah sebagai berikut.

1. Peneliti lebih lanjut harus memperhatikan berat struktur model yang akan digunakan. Sebaiknya model yang dibuat memiliki berat yang sama sehingga lebih mudah untuk membandingkan perilaku antar model.
2. Peneliti lebih lanjut yang menggunakan material MDF sebaiknya terlebih dahulu melakukan pengujian karakteristik material.

3. Penelitian lebih lanjut dapat dikembangkan dengan mempelajari perbandingan perilaku struktur model dari kayu MDF dengan menggunakan *damper* atau *bracing* sehingga dapat diketahui perilaku struktur yang diberikan peredam tambahan.
4. Penelitian lebih lanjut dapat dikembangkan dengan mempelajari perbandingan perilaku struktur model dengan variasi penempatan beban (*mass block*).
5. Penelitian ini semoga bermanfaat bagi peneliti, akademisi, dan masyarakat untuk alternatif pemilihan bentuk konfigurasi struktur bangunan dengan membandingkan parameter-parameter yang telah dianalisis.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional. (2012). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung SNI 1726:2012*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Banginwar, R.S., M.R. Vyawahare & P.O. Modani. (2012). *Effect of Plans Configurations on the Seismic Behaviour of the Structure by Response Spectrume Method. International Journal of Engineering Research and Applications*. Vol. 2, Issue 3: 1439 - 1443.
- Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah. (2001). *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung SNI – 1726 – 2012*. Jakarta : Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah.
- Hartuti, E.R. (2009). *Buku Pintar Gempa*. Cetakan I. Yogyakarta: DIVA Press.
- Kumar, A. (2016). *Analysis of Behaviour of A High Rise Building With Various Plan Configurations Under the Influence of Seismic Forces. International Journal of Innovative Research in Science and Engineering*. Vol. 2, Issue 6: 6 - 16.
- Lumantarna, B. (2000). *Pengantar Analisis Dinamis dan Gempa*. Edisi Pertama. Surabaya: LPPM Universitas Kristen Petra Surabaya.
- Naeim, F. (2000). *The Seismic Design Handbook*. Edisi Kedua. California: Kluwer Academic Publishers.
- Paulay, T. dan M.J.N. Priestley. (1992). *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Pawirodikromo, W. (2012). *Seismologi Teknik & Rekayasa Kegempaan*. Cetakan I. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- Paz, Mario. (1985). *Structural Dynamics Theory and Computation*. Edisi Kedua. New York: Van Nostrand Reinhold Company.
- Schodek, D.L. (1991). *Structures*. Cetakan I. Terjemahan Bambang Suryoatmono. Bandung: Eresco.
- Sibagariang, Y. (2010). Analisis Nonlinier Time History pada Bangunan yang Menggunakan Base Isolator Akibat Gerakan Tanah Oleh Gempa. *Skripsi*. Tidak dipublikasikan. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Sofia, F. (2008). Analisa Sistem Outtrigger pada Struktur Bangunan Tinggi. *Skripsi*. Tidak dipublikasikan. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Taranath, B.S. (1988). *Structural Analysis & Design of Tall Buildings*. New York: McGraw-Hill, Inc.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Data *Time History* 250 gal

Data *time history* terdiri dari 17712 step waktu, dengan total waktu selama 69 detik dan interval waktu antar data sebesar $3,9062500 \times 10^{-3}$ detik. Pada lampiran ini hanya ditampilkan beberapa baris awal.

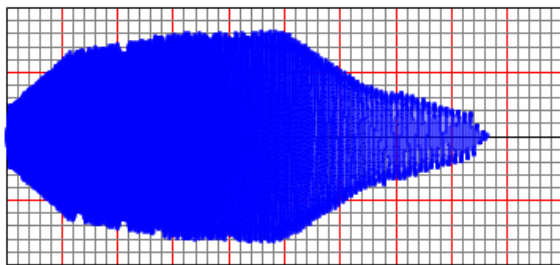
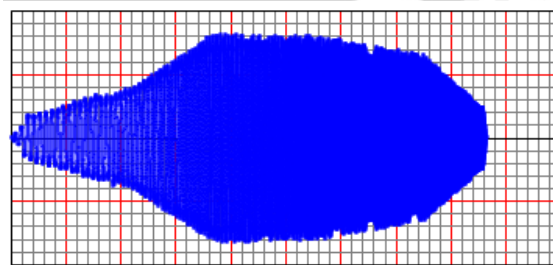
Time_sec	NS_g	EW_g
0,0000000e+000	-2,6129065e-005	-1,0203849e-004
3,9062500e-003	-3,6022948e-004	1,9351466e-003
7,8125000e-003	-9,1891628e-004	3,4729269e-003
1,1718750e-002	-1,4607361e-003	4,3701244e-003
1,5625000e-002	-1,5721636e-003	4,7601228e-003
1,9531250e-002	-1,0670362e-003	4,8636450e-003
2,3437500e-002	1,7323288e-005	4,8786938e-003
2,7343750e-002	1,5280263e-003	4,9280419e-003
3,1250000e-002	3,1687005e-003	5,0425622e-003
3,5156250e-002	4,4769304e-003	5,1687234e-003
3,9062500e-002	4,9970835e-003	5,2162411e-003
4,2968750e-002	4,4884263e-003	5,1174039e-003
4,6875000e-002	2,9999566e-003	4,8803114e-003
5,0781250e-002	8,3708835e-004	4,6035851e-003
5,4687500e-002	-1,6363576e-003	4,4005074e-003
5,8593750e-002	-4,1541517e-003	4,3220621e-003
6,2500000e-002	-6,4824350e-003	4,3634717e-003
6,6406250e-002	-8,2848353e-003	4,4868097e-003
7,0312500e-002	-9,0703526e-003	4,6088018e-003
7,4218750e-002	-8,3137116e-003	4,6088373e-003
7,8125000e-002	-5,8615883e-003	4,4244311e-003
8,2031250e-002	-2,2117695e-003	4,1239088e-003
8,5937500e-002	1,8546052e-003	3,8298744e-003
8,9843750e-002	5,7282948e-003	3,6194882e-003
9,3750000e-002	9,0382886e-003	3,5127951e-003
9,7656250e-002	1,1514824e-002	3,4925261e-003
1,0156250e-001	1,2787373e-002	3,5131326e-003
1,0546880e-001	1,2333358e-002	3,5088174e-003
1,0937500e-001	9,8021177e-003	3,4203303e-003
1,1328130e-001	5,3814393e-003	3,2244319e-003
1,1718750e-001	-1,9305028e-004	2,9470685e-003
1,2109380e-001	-5,8598921e-003	2,6560159e-003
1,2500000e-001	-1,0709261e-002	2,4155530e-003
1,2890630e-001	-1,4310576e-002	2,2471146e-003
1,3281250e-001	-1,6458366e-002	2,1397391e-003
1,3671880e-001	-1,6820801e-002	2,0700217e-003
1,4062500e-001	-1,4914198e-002	2,0010477e-003
1,4453130e-001	-1,0390609e-002	1,8844777e-003
1,4843750e-001	-3,6240097e-003	1,6938968e-003
1,5234380e-001	4,0056787e-003	1,4501181e-003



1,5625000e-001	1,0929327e-002	1,1932045e-003
1,6015630e-001	1,6250150e-002	9,4708803e-004
1,6406250e-001	1,9651950e-002	7,1708938e-004
1,6796880e-001	2,0962873e-002	5,0166068e-004
1,7187500e-001	1,9841966e-002	3,0359830e-004
1,7578130e-001	1,5816770e-002	1,3045599e-004
1,7968750e-001	8,8979543e-003	-2,5525524e-005
1,8359380e-001	1,0107802e-004	-1,9665739e-004
1,8750000e-001	-8,9457728e-003	-4,0371595e-004
1,9140630e-001	-1,6675438e-002	-6,2656733e-004
1,9531250e-001	-2,2066762e-002	-8,3612316e-004
1,9921880e-001	-2,4799588e-002	-1,0340035e-003
2,0312500e-001	-2,4805950e-002	-1,2483024e-003
2,0703130e-001	-2,1853762e-002	-1,5078483e-003
2,1093750e-001	-1,5706288e-002	-1,8116220e-003
2,1484380e-001	-6,5942388e-003	-2,1155108e-003
2,1875000e-001	4,3152544e-003	-2,3662362e-003
2,2265630e-001	1,4883577e-002	-2,5408516e-003
2,2656250e-001	2,3079637e-002	-2,6522341e-003
2,3046880e-001	2,7985999e-002	-2,7393887e-003
2,3437500e-001	2,9520573e-002	-2,8515987e-003
2,3828130e-001	2,7775116e-002	-3,0357344e-003
2,4218750e-001	2,2648660e-002	-3,3319232e-003
2,4609380e-001	1,3978159e-002	-3,7518398e-003
2,5000000e-001	2,3492571e-003	-4,2192585e-003
2,5390630e-001	-1,0327703e-002	-4,5619686e-003
2,5781250e-001	-2,1610092e-002	-4,6657857e-003
2,6171880e-001	-2,9616803e-002	-4,6033636e-003
2,6562500e-001	-3,3488687e-002	-4,5346765e-003
2,6953130e-001	-3,3338122e-002	-4,5689905e-003
2,7343750e-001	-2,9544618e-002	-4,7545538e-003
2,7734380e-001	-2,2198279e-002	-5,1034452e-003
2,8125000e-001	-1,1374757e-002	-5,5741985e-003
2,8515630e-001	2,2007589e-003	-6,0552819e-003
2,8906250e-001	1,6605405e-002	-6,4106981e-003
2,9296880e-001	2,8830715e-002	-6,5478676e-003
2,9687500e-001	3,6399964e-002	-6,4728252e-003
3,0078130e-001	3,8757642e-002	-6,3048399e-003
3,0468750e-001	3,6553120e-002	-6,1952286e-003
3,0859380e-001	3,0429525e-002	-6,2452039e-003
3,1250000e-001	2,0597052e-002	-6,5066478e-003
3,1640630e-001	7,1755249e-003	-6,9823285e-003
3,2031250e-001	-8,6922039e-003	-7,5593872e-003
3,2421880e-001	-2,4186359e-002	-7,9955679e-003
3,2812500e-001	-3,6121076e-002	-8,1086236e-003
3,3203130e-001	-4,2556663e-002	-7,9454694e-003
3,3593750e-001	-4,3124605e-002	-7,6900833e-003
3,3984380e-001	-3,8624060e-002	-7,5116628e-003
3,4375000e-001	-3,0030267e-002	-7,5176785e-003
3,4765630e-001	-1,7823096e-002	-7,7487800e-003
3,5156250e-001	-2,4275149e-003	-8,1666187e-003
3,5546880e-001	1,4912547e-002	-8,6451424e-003
3,5937500e-001	3,1561507e-002	-9,0025423e-003
3,6328130e-001	4,3804581e-002	-9,0730582e-003
3,6718750e-001	4,8958284e-002	-8,8303650e-003
3,7109380e-001	4,7077215e-002	-8,4506700e-003



3,7500000e-001	3,9767950e-002	-8,1658318e-003
3,7890630e-001	2,8419962e-002	-8,1035612e-003
3,8281250e-001	1,3726634e-002	-8,2946113e-003
3,8671880e-001	-3,8095130e-003	-8,7095856e-003
3,9062500e-001	-2,2622541e-002	-9,2165188e-003
3,9453130e-001	-3,9397554e-002	-9,5714043e-003
3,9843750e-001	-5,0541683e-002	-9,5835552e-003
4,0234380e-001	-5,4039631e-002	-9,2709907e-003
4,0625000e-001	-4,9951504e-002	-8,8045130e-003
4,1015630e-001	-3,9994480e-002	-8,3866710e-003
4,1406250e-001	-2,6089337e-002	-8,1699540e-003
4,1796880e-001	-9,2596907e-003	-8,2137287e-003
4,2187500e-001	9,8598913e-003	-8,4900991e-003
4,2578130e-001	2,9845254e-002	-8,8931807e-003
4,2968750e-001	4,7553160e-002	-9,2359341e-003
4,3359380e-001	5,8451333e-002	-9,2938957e-003
4,3750000e-001	5,9595972e-002	-8,9753058e-003
4,4140630e-001	5,1999175e-002	-8,4378935e-003
4,4531250e-001	3,8683919e-002	-7,9356729e-003
4,4921880e-001	2,1967202e-002	-7,6357285e-003
4,5312500e-001	2,9487938e-003	-7,6167953e-003
4,5703130e-001	-1,7663328e-002	-7,9035616e-003
4,6093750e-001	-3,8069534e-002	-8,4150193e-003
4,6484380e-001	-5,4633457e-002	-8,9006133e-003
4,6875000e-001	-6,3522048e-002	-8,9768735e-003
4,7265630e-001	-6,2818353e-002	-8,1821201e-003
4,7656250e-001	-5,3180856e-002	-6,0095139e-003
4,8046880e-001	-3,7388193e-002	-2,1176321e-003
4,8437500e-001	-1,8408649e-002	3,0971484e-003
4,8828130e-001	2,1607187e-003	7,9997230e-003
4,9218750e-001	2,3570242e-002	9,9634757e-003
4,9609380e-001	4,4519019e-002	6,7058025e-003
5,0000000e-001	6,1949341e-002	-7,9285552e-004
5,0390630e-001	7,1204396e-002	-7,2454839e-003
5,0781250e-001	6,9092131e-002	-8,1553795e-003
5,1171880e-001	5,6512985e-002	-4,4273846e-003
5,1562500e-001	3,6877122e-002	3,2231886e-004
5,1953130e-001	1,3567794e-002	3,9040982e-003
5,2343750e-001	-1,0997089e-002	5,9755476e-003
5,2734380e-001	-3,5075637e-002	6,9811030e-003
5,3125000e-001	-5,6333502e-002	7,4630959e-003
5,3515630e-001	-7,1104802e-002	7,7521241e-003
5,3906250e-001	-7,5804583e-002	7,9451172e-003
5,4296880e-001	-6,8936241e-002	8,0141904e-003
5,4687500e-001	-5,2006140e-002	7,9474980e-003

Grafik *time history* arah NS (X) 250 galGrafik *time history* arah EW (Y) 250 gal

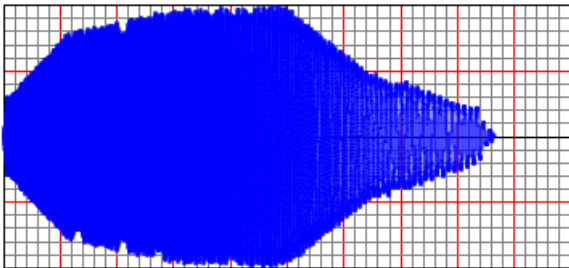
Lampiran 2. Data *Time History* 400 gal

Data *time history* terdiri dari 17712 step waktu, dengan total waktu selama 69 detik dan interval waktu antar data sebesar $3,9062500 \times 10^{-3}$ detik. Pada lampiran ini hanya ditampilkan beberapa baris awal.

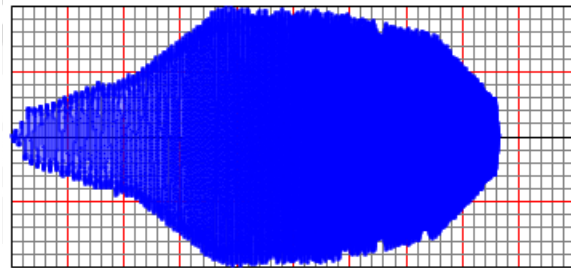
Time_sec	NS_g	EW_g
0,0000000e+000	-4,1806504e-005	-1,6326159e-004
3,9062500e-003	-5,7636717e-004	3,0962345e-003
7,8125000e-003	-1,4702660e-003	5,5566831e-003
1,1718750e-002	-2,3371778e-003	6,9921991e-003
1,5625000e-002	-2,5154617e-003	7,6161964e-003
1,9531250e-002	-1,7072580e-003	7,7818320e-003
2,3437500e-002	2,7717261e-005	7,8059101e-003
2,7343750e-002	2,4448422e-003	7,8848671e-003
3,1250000e-002	5,0699209e-003	8,0680996e-003
3,5156250e-002	7,1630887e-003	8,2699574e-003
3,9062500e-002	7,9953337e-003	8,3459857e-003
4,2968750e-002	7,1814822e-003	8,1878463e-003
4,6875000e-002	4,7999305e-003	7,8084983e-003
5,0781250e-002	1,3393414e-003	7,3657362e-003
5,4687500e-002	-2,6181721e-003	7,0408118e-003
5,8593750e-002	-6,6466428e-003	6,9152994e-003
6,2500000e-002	-1,0371896e-002	6,9815548e-003
6,6406250e-002	-1,3255737e-002	7,1788955e-003
7,0312500e-002	-1,4512564e-002	7,3740829e-003
7,4218750e-002	-1,3301939e-002	7,3741397e-003
7,8125000e-002	-9,3785412e-003	7,0790897e-003
8,2031250e-002	-3,5388312e-003	6,5982541e-003
8,5937500e-002	2,9673683e-003	6,1277990e-003
8,9843750e-002	9,1652716e-003	5,7911811e-003
9,3750000e-002	1,4461262e-002	5,6204721e-003
9,7656250e-002	1,8423718e-002	5,5880418e-003
1,0156250e-001	2,0459797e-002	5,6210121e-003
1,0546880e-001	1,9733372e-002	5,6141078e-003
1,0937500e-001	1,5683388e-002	5,4725284e-003
1,1328130e-001	8,6103029e-003	5,1590910e-003
1,1718750e-001	-3,0888044e-004	4,7153095e-003
1,2109380e-001	-9,3758274e-003	4,2496254e-003
1,2500000e-001	-1,7134817e-002	3,8648849e-003
1,2890630e-001	-2,2896922e-002	3,5953834e-003
1,3281250e-001	-2,6333385e-002	3,4235826e-003
1,3671880e-001	-2,6913281e-002	3,3120347e-003
1,4062500e-001	-2,3862716e-002	3,2016764e-003
1,4453130e-001	-1,6624974e-002	3,0151643e-003
1,4843750e-001	-5,7984156e-003	2,7102349e-003
1,5234380e-001	6,4090859e-003	2,3201890e-003
1,5625000e-001	1,7486923e-002	1,9091272e-003
1,6015630e-001	2,6000240e-002	1,5153409e-003
1,6406250e-001	3,1443120e-002	1,1473430e-003
1,6796880e-001	3,3540597e-002	8,0265708e-004
1,7187500e-001	3,1747146e-002	4,8575727e-004
1,7578130e-001	2,5306833e-002	2,0872958e-004
1,7968750e-001	1,4236727e-002	-4,0840838e-005
1,8359380e-001	1,6172484e-004	-3,1465182e-004

1,8750000e-001	-1,4313236e-002	-6,4594552e-004
1,9140630e-001	-2,6680701e-002	-1,0025077e-003
1,9531250e-001	-3,5306819e-002	-1,3377971e-003
1,9921880e-001	-3,9679340e-002	-1,6544057e-003
2,0312500e-001	-3,9689521e-002	-1,9972839e-003
2,0703130e-001	-3,4966020e-002	-2,4125573e-003
2,1093750e-001	-2,5130061e-002	-2,8985952e-003
2,1484380e-001	-1,0550782e-002	-3,3848174e-003
2,1875000e-001	6,9044070e-003	-3,7859780e-003
2,2265630e-001	2,3813723e-002	-4,0653625e-003
2,2656250e-001	3,6927419e-002	-4,2435745e-003
2,3046880e-001	4,4777598e-002	-4,3830219e-003
2,3437500e-001	4,7232917e-002	-4,5625579e-003
2,3828130e-001	4,4440186e-002	-4,8571750e-003
2,4218750e-001	3,6237856e-002	-5,3310770e-003
2,4609380e-001	2,2365054e-002	-6,0029437e-003
2,5000000e-001	3,7588114e-003	-6,7508136e-003
2,5390630e-001	-1,6524325e-002	-7,2991497e-003
2,5781250e-001	-3,4576146e-002	-7,4652571e-003
2,6171880e-001	-4,7386885e-002	-7,3653818e-003
2,6562500e-001	-5,3581899e-002	-7,2554825e-003
2,6953130e-001	-5,3340994e-002	-7,3103847e-003
2,7343750e-001	-4,7271389e-002	-7,6072860e-003
2,7734380e-001	-3,5517247e-002	-8,1655123e-003
2,8125000e-001	-1,8199612e-002	-8,9187176e-003
2,8515630e-001	3,5212142e-003	-9,6884510e-003
2,8906250e-001	2,6568648e-002	-1,0257117e-002
2,9296880e-001	4,6129144e-002	-1,0476588e-002
2,9687500e-001	5,8239942e-002	-1,0356520e-002
3,0078130e-001	6,2012227e-002	-1,0087744e-002
3,0468750e-001	5,8484992e-002	-9,9123658e-003
3,0859380e-001	4,8687240e-002	-9,9923262e-003
3,1250000e-001	3,2955283e-002	-1,0410637e-002
3,1640630e-001	1,1480840e-002	-1,1171726e-002
3,2031250e-001	-1,3907526e-002	-1,2095019e-002
3,2421880e-001	-3,8698174e-002	-1,2792909e-002
3,2812500e-001	-5,7793722e-002	-1,2973798e-002
3,3203130e-001	-6,8090661e-002	-1,2712751e-002
3,3593750e-001	-6,8999367e-002	-1,2304133e-002
3,3984380e-001	-6,1798496e-002	-1,2018660e-002
3,4375000e-001	-4,8048426e-002	-1,2028286e-002
3,4765630e-001	-2,8516953e-002	-1,2398048e-002
3,5156250e-001	-3,8840239e-003	-1,3066590e-002
3,5546880e-001	2,3860075e-002	-1,3832228e-002
3,5937500e-001	5,0498410e-002	-1,4404068e-002
3,6328130e-001	7,0087329e-002	-1,4516893e-002
3,6718750e-001	7,8333254e-002	-1,4128584e-002
3,7109380e-001	7,5323545e-002	-1,3521072e-002
3,7500000e-001	6,3628721e-002	-1,3065331e-002
3,7890630e-001	4,5471939e-002	-1,2965698e-002
3,8281250e-001	2,1962614e-002	-1,3271378e-002
3,8671880e-001	-6,0952208e-003	-1,3935337e-002
3,9062500e-001	-3,6196066e-002	-1,4746430e-002
3,9453130e-001	-6,3036087e-002	-1,5314247e-002
3,9843750e-001	-8,0866693e-002	-1,5333688e-002
4,0234380e-001	-8,6463409e-002	-1,4833585e-002

4,0625000e-001	-7,9922406e-002	-1,4087221e-002
4,1015630e-001	-6,3991169e-002	-1,3418674e-002
4,1406250e-001	-4,1742939e-002	-1,3071926e-002
4,1796880e-001	-1,4815505e-002	-1,3141966e-002
4,2187500e-001	1,5775826e-002	-1,3584158e-002
4,2578130e-001	4,7752407e-002	-1,4229089e-002
4,2968750e-001	7,6085057e-002	-1,4777495e-002
4,3359380e-001	9,3522133e-002	-1,4870233e-002
4,3750000e-001	9,5353554e-002	-1,4360489e-002
4,4140630e-001	8,3198679e-002	-1,3500630e-002
4,4531250e-001	6,1894270e-002	-1,2697077e-002
4,4921880e-001	3,5147523e-002	-1,2217166e-002
4,5312500e-001	4,7180700e-003	-1,2186873e-002
4,5703130e-001	-2,8261325e-002	-1,2645698e-002
4,6093750e-001	-6,0911254e-002	-1,3464031e-002
4,6484380e-001	-8,7413531e-002	-1,4240981e-002
4,6875000e-001	-1,0163528e-001	-1,4362998e-002
4,7265630e-001	-1,0050937e-001	-1,3091392e-002
4,7656250e-001	-8,5089370e-002	-9,6152223e-003
4,8046880e-001	-5,9821109e-002	-3,3882114e-003
4,8437500e-001	-2,9453839e-002	4,9554374e-003
4,8828130e-001	3,4571499e-003	1,2799557e-002
4,9218750e-001	3,7712387e-002	1,5941561e-002
4,9609380e-001	7,1230431e-002	1,0729284e-002
5,0000000e-001	9,9118946e-002	-1,2685688e-003
5,0390630e-001	1,1392703e-001	-1,1592774e-002
5,0781250e-001	1,1054741e-001	-1,3048607e-002
5,1171880e-001	9,0420776e-002	-7,0838154e-003
5,1562500e-001	5,9003395e-002	5,1571018e-004
5,1953130e-001	2,1708470e-002	6,2465571e-003
5,2343750e-001	-1,7595343e-002	9,5608762e-003
5,2734380e-001	-5,6121019e-002	1,1169765e-002
5,3125000e-001	-9,0133604e-002	1,1940953e-002
5,3515630e-001	-1,1376768e-001	1,2403398e-002
5,3906250e-001	-1,2128733e-001	1,2712187e-002
5,4296880e-001	-1,1029799e-001	1,2822705e-002
5,4687500e-001	-8,3209823e-002	1,2715997e-002
5,5078130e-001	-4,6702851e-002	1,2533574e-002
5,5468750e-001	-7,6249907e-003	1,2486884e-002
5,5859380e-001	3,0477004e-002	1,2726342e-002
5,6250000e-001	6,6161781e-002	1,3337532e-002
5,6640630e-001	9,7204846e-002	1,4326613e-002
5,7031250e-001	1,1855295e-001	1,5481300e-002
5,7421880e-001	1,2301088e-001	1,6341129e-002
5,7812500e-001	1,0705689e-001	1,6567512e-002
5,8203130e-001	7,5329462e-002	1,6272905e-002



Grafik *time history* arah NS (X) 400 gal



Grafik *time history* arah EW (Y) 400 gal

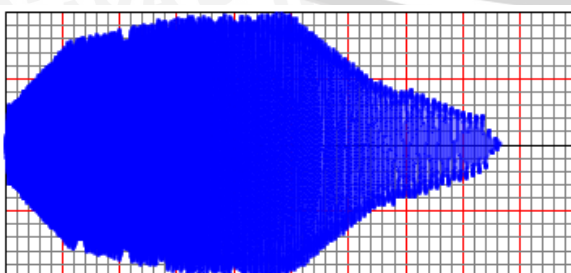
Lampiran 3. Data *Time History* 600 gal

Data *time history* terdiri dari 17712 step waktu, dengan total waktu selama 69 detik dan interval waktu antar data sebesar $3,9062500 \times 10^{-3}$ detik. Pada lampiran ini hanya ditampilkan beberapa baris awal.

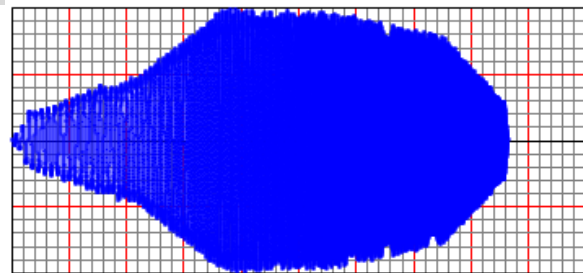
Time_sec	NS_g	EW_g
0,0000000e+000	-6,2709755e-005	-2,4489238e-004
3,9062500e-003	-8,6455076e-004	4,6443518e-003
7,8125000e-003	-2,2053991e-003	8,3350247e-003
1,1718750e-002	-3,5057667e-003	1,0488299e-002
1,5625000e-002	-3,7731926e-003	1,1424295e-002
1,9531250e-002	-2,5608869e-003	1,1672748e-002
2,3437500e-002	4,1575892e-005	1,1708865e-002
2,7343750e-002	3,6672632e-003	1,1827301e-002
3,1250000e-002	7,6048813e-003	1,2102149e-002
3,5156250e-002	1,0744633e-002	1,2404936e-002
3,9062500e-002	1,1993001e-002	1,2518979e-002
4,2968750e-002	1,0772223e-002	1,2281769e-002
4,6875000e-002	7,1998958e-003	1,1712747e-002
5,0781250e-002	2,0090120e-003	1,1048604e-002
5,4687500e-002	-3,9272581e-003	1,0561218e-002
5,8593750e-002	-9,9699642e-003	1,0372949e-002
6,2500000e-002	-1,5557844e-002	1,0472332e-002
6,6406250e-002	-1,9883605e-002	1,0768343e-002
7,0312500e-002	-2,1768846e-002	1,1061124e-002
7,4218750e-002	-1,9952908e-002	1,1061210e-002
7,8125000e-002	-1,4067812e-002	1,0618635e-002
8,2031250e-002	-5,3082469e-003	9,8973811e-003
8,5937500e-002	4,4510525e-003	9,1916985e-003
8,9843750e-002	1,3747907e-002	8,6867716e-003
9,3750000e-002	2,1691893e-002	8,4307081e-003
9,7656250e-002	2,7635577e-002	8,3820627e-003
1,0156250e-001	3,0689696e-002	8,4315182e-003
1,0546880e-001	2,9600059e-002	8,4211617e-003
1,0937500e-001	2,3525082e-002	8,2087927e-003
1,1328130e-001	1,2915454e-002	7,7386365e-003
1,1718750e-001	-4,6332066e-004	7,0729643e-003
1,2109380e-001	-1,4063741e-002	6,3744381e-003
1,2500000e-001	-2,5702226e-002	5,7973273e-003
1,2890630e-001	-3,4345383e-002	5,3930750e-003
1,3281250e-001	-3,9500077e-002	5,1353739e-003
1,3671880e-001	-4,0369922e-002	4,9680520e-003
1,4062500e-001	-3,5794074e-002	4,8025146e-003
1,4453130e-001	-2,4937461e-002	4,5227465e-003
1,4843750e-001	-8,6976234e-003	4,0653523e-003
1,5234380e-001	9,6136289e-003	3,4802835e-003
1,5625000e-001	2,6230384e-002	2,8636908e-003
1,6015630e-001	3,9000359e-002	2,2730113e-003
1,6406250e-001	4,7164680e-002	1,7210145e-003
1,6796880e-001	5,0310896e-002	1,2039856e-003
1,7187500e-001	4,7620719e-002	7,2863591e-004
1,7578130e-001	3,7960249e-002	3,1309438e-004
1,7968750e-001	2,1355090e-002	-6,1261257e-005
1,8359380e-001	2,4258726e-004	-4,7197773e-004

1,8750000e-001 -2,1469855e-002 -9,6891828e-004
 1,9140630e-001 -4,0021052e-002 -1,5037616e-003
 1,9531250e-001 -5,2960228e-002 -2,0066956e-003
 1,9921880e-001 -5,9519010e-002 -2,4816085e-003
 2,0312500e-001 -5,9534281e-002 -2,9959258e-003
 2,0703130e-001 -5,2449030e-002 -3,6188360e-003
 2,1093750e-001 -3,7695092e-002 -4,3478927e-003
 2,1484380e-001 -1,5826173e-002 -5,0772260e-003
 2,1875000e-001 1,0356611e-002 -5,6789670e-003
 2,2265630e-001 3,5720584e-002 -6,0980437e-003
 2,2656250e-001 5,5391128e-002 -6,3653617e-003
 2,3046880e-001 6,7166396e-002 -6,5745329e-003
 2,3437500e-001 7,0849376e-002 -6,8438368e-003
 2,3828130e-001 6,6660279e-002 -7,2857625e-003
 2,4218750e-001 5,4356784e-002 -7,9966156e-003
 2,4609380e-001 3,3547582e-002 -9,0044156e-003
 2,5000000e-001 5,6382170e-003 -1,0126220e-002
 2,5390630e-001 -2,4786487e-002 -1,0948725e-002
 2,5781250e-001 -5,1864220e-002 -1,1197886e-002
 2,6171880e-001 -7,1080328e-002 -1,1048073e-002
 2,6562500e-001 -8,0372848e-002 -1,0883224e-002
 2,6953130e-001 -8,0011492e-002 -1,0965577e-002
 2,7343750e-001 -7,0907083e-002 -1,1410929e-002
 2,7734380e-001 -5,3275870e-002 -1,2248268e-002
 2,8125000e-001 -2,7299418e-002 -1,3378076e-002
 2,8515630e-001 5,2818213e-003 -1,4532677e-002
 2,8906250e-001 3,9852972e-002 -1,5385676e-002
 2,9296880e-001 6,9193716e-002 -1,5714882e-002
 2,9687500e-001 8,7359913e-002 -1,5534781e-002
 3,0078130e-001 9,3018341e-002 -1,5131616e-002
 3,0468750e-001 8,7727488e-002 -1,4868549e-002
 3,0859380e-001 7,3030860e-002 -1,4988489e-002
 3,1250000e-001 4,9432924e-002 -1,5615955e-002
 3,1640630e-001 1,7221260e-002 -1,6757588e-002
 3,2031250e-001 -2,0861289e-002 -1,8142529e-002
 3,2421880e-001 -5,8047261e-002 -1,9189363e-002
 3,2812500e-001 -8,6690583e-002 -1,9460697e-002
 3,3203130e-001 -1,0213599e-001 -1,9069127e-002
 3,3593750e-001 -1,0349905e-001 -1,8456200e-002
 3,3984380e-001 -9,2697744e-002 -1,8027991e-002
 3,4375000e-001 -7,2072640e-002 -1,8042428e-002
 3,4765630e-001 -4,2775430e-002 -1,8597072e-002
 3,5156250e-001 -5,8260358e-003 -1,9599885e-002
 3,5546880e-001 3,5790113e-002 -2,0748342e-002
 3,5937500e-001 7,5747616e-002 -2,1606102e-002
 3,6328130e-001 1,0513099e-001 -2,1775340e-002
 3,6718750e-001 1,1749988e-001 -2,1192876e-002
 3,7109380e-001 1,1298532e-001 -2,0281608e-002
 3,7500000e-001 9,5443081e-002 -1,9597996e-002
 3,7890630e-001 6,8207909e-002 -1,9448547e-002
 3,8281250e-001 3,2943921e-002 -1,9907067e-002
 3,8671880e-001 -9,1428311e-003 -2,0903006e-002
 3,9062500e-001 -5,4294099e-002 -2,2119645e-002
 3,9453130e-001 -9,4554131e-002 -2,2971370e-002
 3,9843750e-001 -1,2130004e-001 -2,3000532e-002
 4,0234380e-001 -1,2969511e-001 -2,2250378e-002

4,0625000e-001	-1,1988361e-001	-2,1130831e-002
4,1015630e-001	-9,5986753e-002	-2,0128010e-002
4,1406250e-001	-6,2614408e-002	-1,9607890e-002
4,1796880e-001	-2,2223258e-002	-1,9712949e-002
4,2187500e-001	2,3663739e-002	-2,0376238e-002
4,2578130e-001	7,1628611e-002	-2,1343634e-002
4,2968750e-001	1,1412759e-001	-2,2166242e-002
4,3359380e-001	1,4028320e-001	-2,2305350e-002
4,3750000e-001	1,4303033e-001	-2,1540734e-002
4,4140630e-001	1,2479802e-001	-2,0250944e-002
4,4531250e-001	9,2841405e-002	-1,9045615e-002
4,4921880e-001	5,2721284e-002	-1,8325748e-002
4,5312500e-001	7,0771051e-003	-1,8280309e-002
4,5703130e-001	-4,2391988e-002	-1,8968548e-002
4,6093750e-001	-9,1366881e-002	-2,0196046e-002
4,6484380e-001	-1,3112030e-001	-2,1361472e-002
4,6875000e-001	-1,5245291e-001	-2,1544496e-002
4,7265630e-001	-1,5076405e-001	-1,9637088e-002
4,7656250e-001	-1,2763405e-001	-1,4422833e-002
4,8046880e-001	-8,9731664e-002	-5,0823171e-003
4,8437500e-001	-4,4180758e-002	7,4331561e-003
4,8828130e-001	5,1857249e-003	1,9199335e-002
4,9218750e-001	5,6568581e-002	2,3912342e-002
4,9609380e-001	1,0684565e-001	1,6093926e-002
5,0000000e-001	1,4867842e-001	-1,9028532e-003
5,0390630e-001	1,7089055e-001	-1,7389161e-002
5,0781250e-001	1,6582111e-001	-1,9572911e-002
5,1171880e-001	1,3563116e-001	-1,0625723e-002
5,1562500e-001	8,8505092e-002	7,7356527e-004
5,1953130e-001	3,2562705e-002	9,3698356e-003
5,2343750e-001	-2,6393014e-002	1,4341314e-002
5,2734380e-001	-8,4181528e-002	1,6754647e-002
5,3125000e-001	-1,3520041e-001	1,7911430e-002
5,3515630e-001	-1,7065152e-001	1,8605098e-002
5,3906250e-001	-1,8193100e-001	1,9068281e-002
5,4296880e-001	-1,6544698e-001	1,9234057e-002
5,4687500e-001	-1,2481473e-001	1,9073995e-002
5,5078130e-001	-7,0054277e-002	1,8800362e-002
5,5468750e-001	-1,1437486e-002	1,8730326e-002
5,5859380e-001	4,5715506e-002	1,9089512e-002
5,6250000e-001	9,9242672e-002	2,0006297e-002
5,6640630e-001	1,4580727e-001	2,1489920e-002
5,7031250e-001	1,7782943e-001	2,3221950e-002
5,7421880e-001	1,8451632e-001	2,4511694e-002
5,7812500e-001	1,6058534e-001	2,4851268e-002
5,8203130e-001	1,1299419e-001	2,4409357e-002



Grafik *time history* arah NS (X) 600 gal



Grafik *time history* arah EW (Y) 600 gal

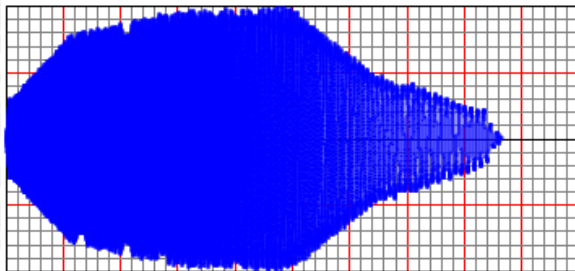
Lampiran 4. Data *Time History* 800 gal

Data *time history* terdiri dari 17712 step waktu, dengan total waktu selama 69 detik dan interval waktu antar data sebesar $3,9062500 \times 10^{-3}$ detik. Pada lampiran ini hanya ditampilkan beberapa baris awal.

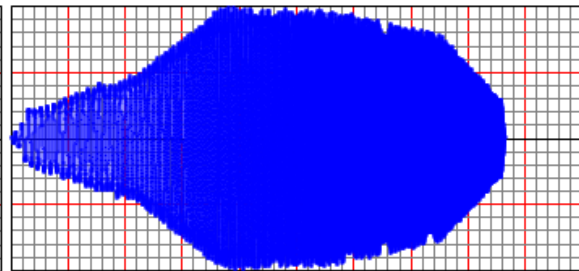
Time_sec	NS_g	EW_g
0,0000000e+000	-8,3613007e-005	-3,2652318e-004
3,9062500e-003	-1,1527343e-003	6,1924691e-003
7,8125000e-003	-2,9405321e-003	1,1113366e-002
1,1718750e-002	-4,6743557e-003	1,3984398e-002
1,5625000e-002	-5,0309235e-003	1,5232393e-002
1,9531250e-002	-3,4145159e-003	1,5563664e-002
2,3437500e-002	5,5434523e-005	1,5611820e-002
2,7343750e-002	4,8896843e-003	1,5769734e-002
3,1250000e-002	1,0139842e-002	1,6136199e-002
3,5156250e-002	1,4326177e-002	1,6539915e-002
3,9062500e-002	1,5990667e-002	1,6691971e-002
4,2968750e-002	1,4362964e-002	1,6375693e-002
4,6875000e-002	9,5998610e-003	1,5616997e-002
5,0781250e-002	2,6786827e-003	1,4731472e-002
5,4687500e-002	-5,2363442e-003	1,4081624e-002
5,8593750e-002	-1,3293286e-002	1,3830599e-002
6,2500000e-002	-2,0743792e-002	1,3963110e-002
6,6406250e-002	-2,6511473e-002	1,4357791e-002
7,0312500e-002	-2,9025128e-002	1,4748166e-002
7,4218750e-002	-2,6603877e-002	1,4748279e-002
7,8125000e-002	-1,8757082e-002	1,4158179e-002
8,2031250e-002	-7,0776625e-003	1,3196508e-002
8,5937500e-002	5,9347367e-003	1,2255598e-002
8,9843750e-002	1,8330543e-002	1,1582362e-002
9,3750000e-002	2,8922523e-002	1,1240944e-002
9,7656250e-002	3,6847435e-002	1,1176084e-002
1,0156250e-001	4,0919595e-002	1,1242024e-002
1,0546880e-001	3,9466745e-002	1,1228216e-002
1,0937500e-001	3,1366777e-002	1,0945057e-002
1,1328130e-001	1,7220606e-002	1,0318182e-002
1,1718750e-001	-6,1776089e-004	9,4306191e-003
1,2109380e-001	-1,8751655e-002	8,4992508e-003
1,2500000e-001	-3,4269634e-002	7,7297698e-003
1,2890630e-001	-4,5793844e-002	7,1907667e-003
1,3281250e-001	-5,2666770e-002	6,8471653e-003
1,3671880e-001	-5,3826562e-002	6,6240694e-003
1,4062500e-001	-4,7725433e-002	6,4033528e-003
1,4453130e-001	-3,3249948e-002	6,0303286e-003
1,4843750e-001	-1,1596831e-002	5,4204697e-003
1,5234380e-001	1,2818172e-002	4,6403780e-003
1,5625000e-001	3,4973846e-002	3,8182544e-003
1,6015630e-001	5,2000479e-002	3,0306817e-003
1,6406250e-001	6,2886240e-002	2,2946860e-003
1,6796880e-001	6,7081195e-002	1,6053142e-003
1,7187500e-001	6,3494292e-002	9,7151454e-004
1,7578130e-001	5,0613665e-002	4,1745917e-004
1,7968750e-001	2,8473454e-002	-8,1681676e-005
1,8359380e-001	3,2344968e-004	-6,2930365e-004

1,8750000e-001	-2,8626473e-002	-1,2918910e-003
1,9140630e-001	-5,3361403e-002	-2,0050154e-003
1,9531250e-001	-7,0613637e-002	-2,6755941e-003
1,9921880e-001	-7,9358680e-002	-3,3088114e-003
2,0312500e-001	-7,9379041e-002	-3,9945678e-003
2,0703130e-001	-6,9932039e-002	-4,8251147e-003
2,1093750e-001	-5,0260123e-002	-5,7971903e-003
2,1484380e-001	-2,1101564e-002	-6,7696347e-003
2,1875000e-001	1,3808814e-002	-7,5719560e-003
2,2265630e-001	4,7627446e-002	-8,1307250e-003
2,2656250e-001	7,3854838e-002	-8,4871490e-003
2,3046880e-001	8,9555195e-002	-8,7660439e-003
2,3437500e-001	9,4465835e-002	-9,1251158e-003
2,3828130e-001	8,8880373e-002	-9,7143500e-003
2,4218750e-001	7,2475712e-002	-1,0662154e-002
2,4609380e-001	4,4730109e-002	-1,2005887e-002
2,5000000e-001	7,5176227e-003	-1,3501627e-002
2,5390630e-001	-3,3048650e-002	-1,4598299e-002
2,5781250e-001	-6,9152293e-002	-1,4930514e-002
2,6171880e-001	-9,4773770e-002	-1,4730764e-002
2,6562500e-001	-1,0716380e-001	-1,4510965e-002
2,6953130e-001	-1,0668199e-001	-1,4620769e-002
2,7343750e-001	-9,4542778e-002	-1,5214572e-002
2,7734380e-001	-7,1034494e-002	-1,6331025e-002
2,8125000e-001	-3,6399224e-002	-1,7837435e-002
2,8515630e-001	7,0424284e-003	-1,9376902e-002
2,8906250e-001	5,3137296e-002	-2,0514234e-002
2,9296880e-001	9,2258288e-002	-2,0953176e-002
2,9687500e-001	1,1647988e-001	-2,0713041e-002
3,0078130e-001	1,2402445e-001	-2,0175488e-002
3,0468750e-001	1,1696998e-001	-1,9824732e-002
3,0859380e-001	9,7374481e-002	-1,9984652e-002
3,1250000e-001	6,5910565e-002	-2,0821273e-002
3,1640630e-001	2,2961680e-002	-2,2343451e-002
3,2031250e-001	-2,7815053e-002	-2,4190039e-002
3,2421880e-001	-7,7396348e-002	-2,5585817e-002
3,2812500e-001	-1,1558744e-001	-2,5947596e-002
3,3203130e-001	-1,3618132e-001	-2,5425502e-002
3,3593750e-001	-1,3799873e-001	-2,4608267e-002
3,3984380e-001	-1,2359699e-001	-2,4037321e-002
3,4375000e-001	-9,6096853e-002	-2,4056571e-002
3,4765630e-001	-5,7033907e-002	-2,4796096e-002
3,5156250e-001	-7,7680477e-003	-2,6133180e-002
3,5546880e-001	4,7720151e-002	-2,7664456e-002
3,5937500e-001	1,0099682e-001	-2,8808135e-002
3,6328130e-001	1,4017466e-001	-2,9033786e-002
3,6718750e-001	1,5666651e-001	-2,8257168e-002
3,7109380e-001	1,5064709e-001	-2,7042144e-002
3,7500000e-001	1,2725744e-001	-2,6130662e-002
3,7890630e-001	9,0943878e-002	-2,5931396e-002
3,8281250e-001	4,3925228e-002	-2,6542756e-002
3,8671880e-001	-1,2190442e-002	-2,7870674e-002
3,9062500e-001	-7,2392132e-002	-2,9492860e-002
3,9453130e-001	-1,2607217e-001	-3,0628494e-002
3,9843750e-001	-1,6173339e-001	-3,0667377e-002
4,0234380e-001	-1,7292682e-001	-2,9667170e-002

4,0625000e-001	-1,5984481e-001	-2,8174442e-002
4,1015630e-001	-1,2798234e-001	-2,6837347e-002
4,1406250e-001	-8,3485877e-002	-2,6143853e-002
4,1796880e-001	-2,9631010e-002	-2,6283932e-002
4,2187500e-001	3,1551652e-002	-2,7168317e-002
4,2578130e-001	9,5504814e-002	-2,8458178e-002
4,2968750e-001	1,5217011e-001	-2,9554989e-002
4,3359380e-001	1,8704427e-001	-2,9740466e-002
4,3750000e-001	1,9070711e-001	-2,8720979e-002
4,4140630e-001	1,6639736e-001	-2,7001259e-002
4,4531250e-001	1,2378854e-001	-2,5394153e-002
4,4921880e-001	7,0295045e-002	-2,4434331e-002
4,5312500e-001	9,4361401e-003	-2,4373745e-002
4,5703130e-001	-5,6522650e-002	-2,5291397e-002
4,6093750e-001	-1,2182251e-001	-2,6928062e-002
4,6484380e-001	-1,7482706e-001	-2,8481963e-002
4,6875000e-001	-2,0327055e-001	-2,8725995e-002
4,7265630e-001	-2,0101873e-001	-2,6182784e-002
4,7656250e-001	-1,7017874e-001	-1,9230445e-002
4,8046880e-001	-1,1964222e-001	-6,7764227e-003
4,8437500e-001	-5,8907678e-002	9,9108749e-003
4,8828130e-001	6,9142998e-003	2,5599114e-002
4,9218750e-001	7,5424775e-002	3,1883122e-002
4,9609380e-001	1,4246086e-001	2,1458568e-002
5,0000000e-001	1,9823789e-001	-2,5371377e-003
5,0390630e-001	2,2785407e-001	-2,3185548e-002
5,0781250e-001	2,2109482e-001	-2,6097214e-002
5,1171880e-001	1,8084155e-001	-1,4167631e-002
5,1562500e-001	1,1800679e-001	1,0314204e-003
5,1953130e-001	4,3416941e-002	1,2493114e-002
5,2343750e-001	-3,5190686e-002	1,9121752e-002
5,2734380e-001	-1,1224204e-001	2,2339530e-002
5,3125000e-001	-1,8026721e-001	2,3881907e-002
5,3515630e-001	-2,2753537e-001	2,4806797e-002
5,3906250e-001	-2,4257466e-001	2,5424375e-002
5,4296880e-001	-2,2059597e-001	2,5645409e-002
5,4687500e-001	-1,6641965e-001	2,5431993e-002
5,5078130e-001	-9,3405702e-002	2,5067149e-002
5,5468750e-001	-1,5249981e-002	2,4973769e-002
5,5859380e-001	6,0954008e-002	2,5452683e-002
5,6250000e-001	1,3232356e-001	2,6675063e-002
5,6640630e-001	1,9440969e-001	2,8653227e-002
5,7031250e-001	2,3710590e-001	3,0962599e-002
5,7421880e-001	2,4602176e-001	3,2682258e-002
5,7812500e-001	2,1411379e-001	3,3135025e-002
5,8203130e-001	1,5065892e-001	3,2545810e-002



Grafik *time history* arah NS (X) 800 gal



Grafik *time history* arah EW (Y) 800 gal

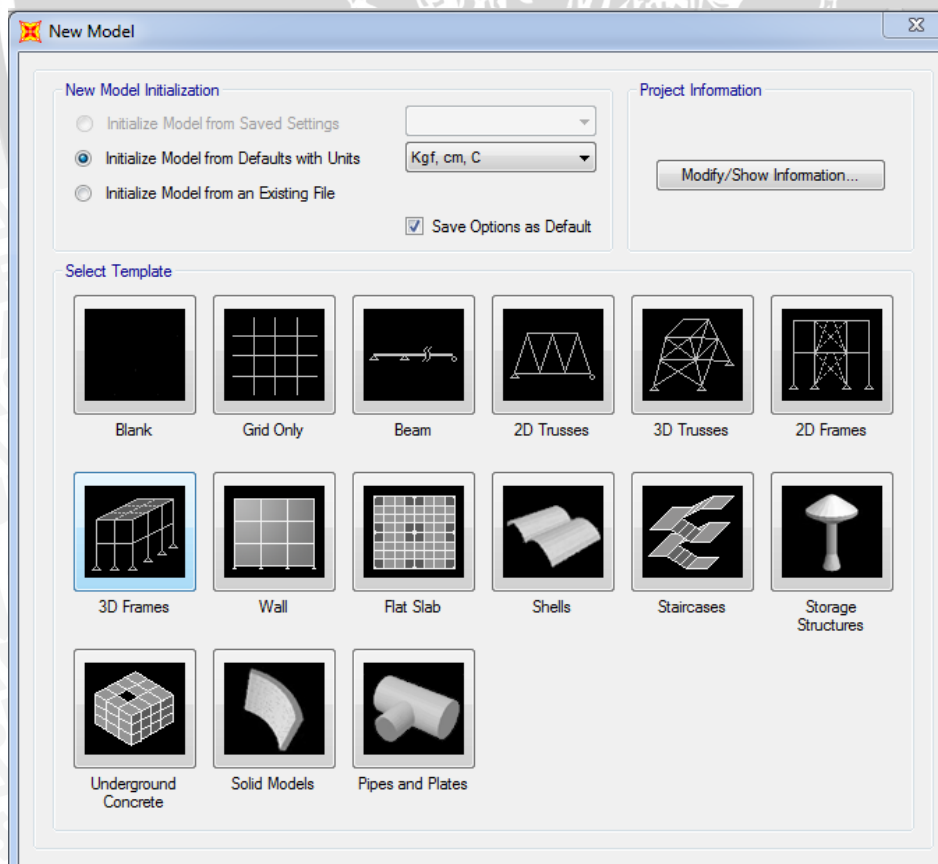
Lampiran 5. Langkah-langkah Analisis *Time History*

Langkah-langkah untuk melakukan analisis *time history* dalam program SAP 2000 adalah sebagai berikut :

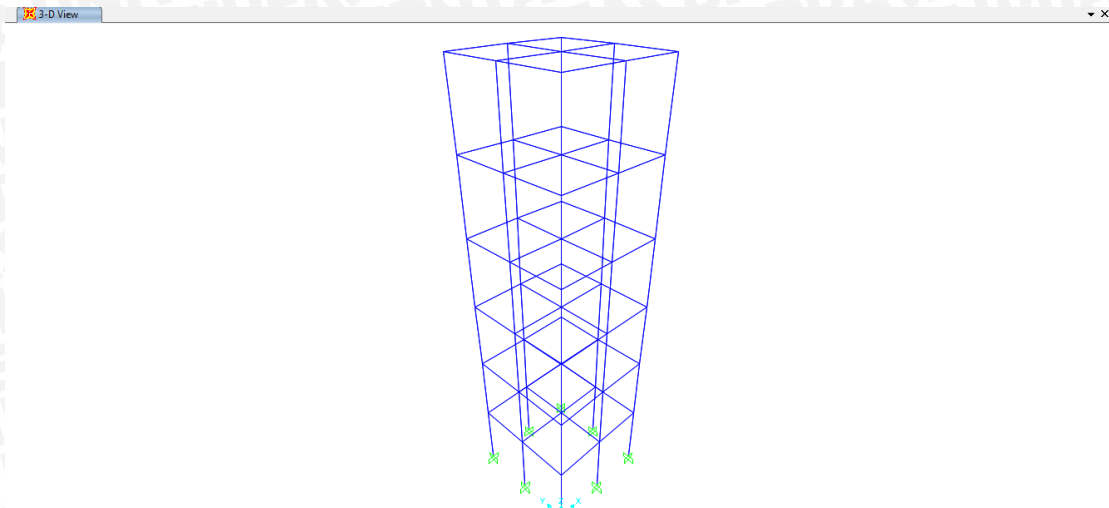
1. Membuka program yang digunakan yaitu SAP 2000 v18.2.0



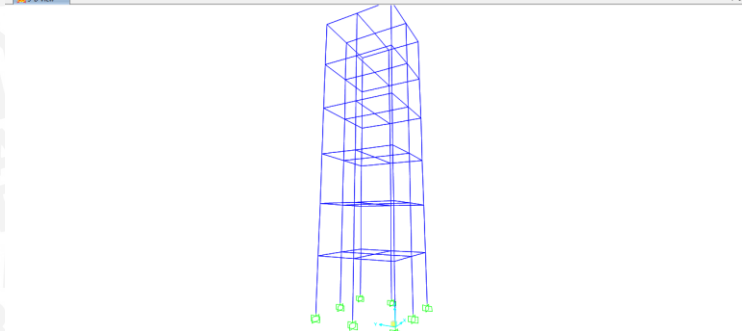
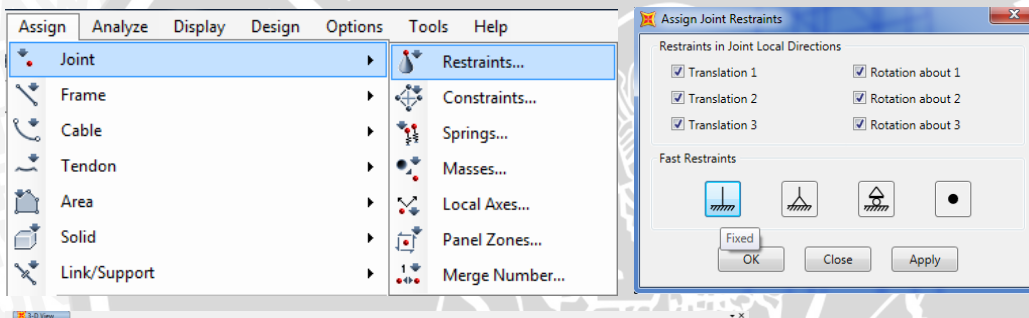
2. Memilih tipe struktur yang akan digunakan, yaitu 3D Frames



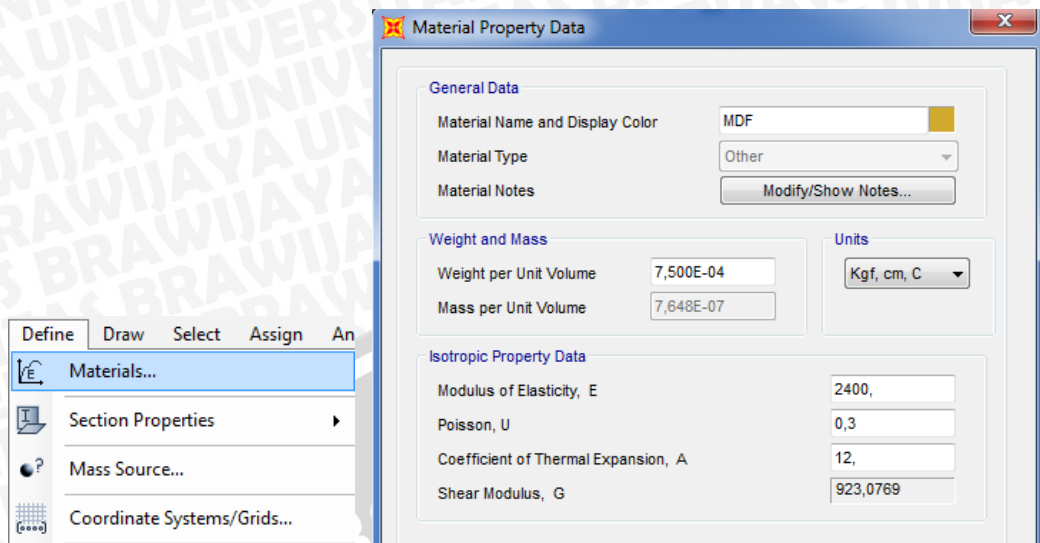
3. Menggambar model struktur sesuai dengan yang digunakan dalam analisis



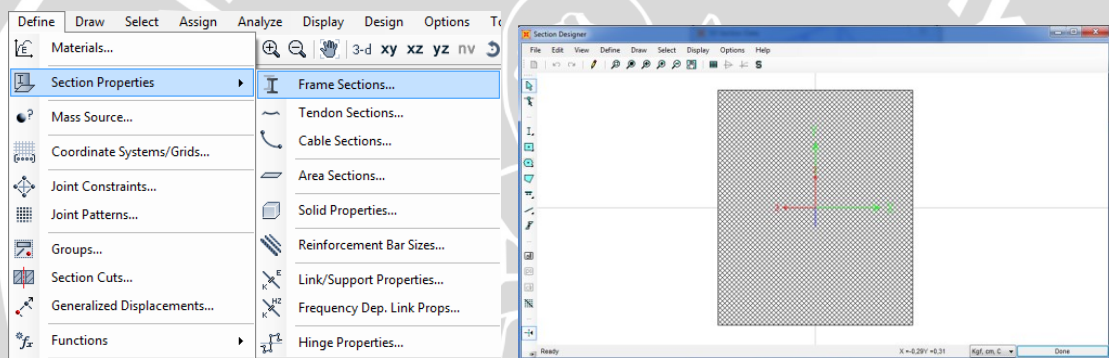
4. Menentukan tumpuan struktur



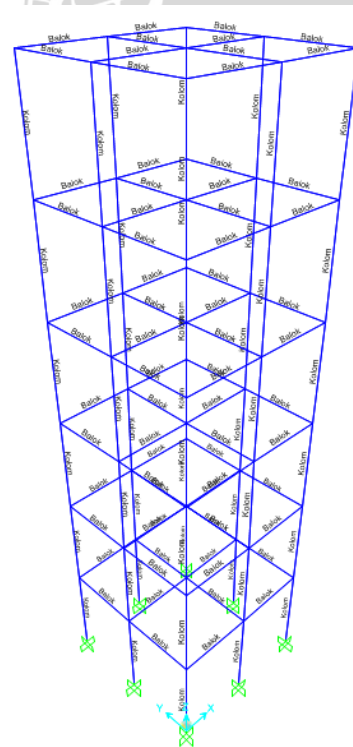
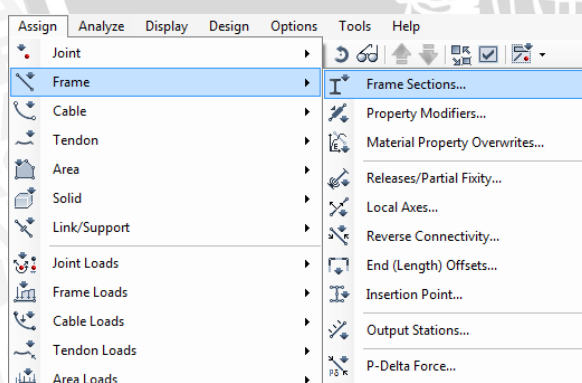
5. Input material yang digunakan (material MDF)



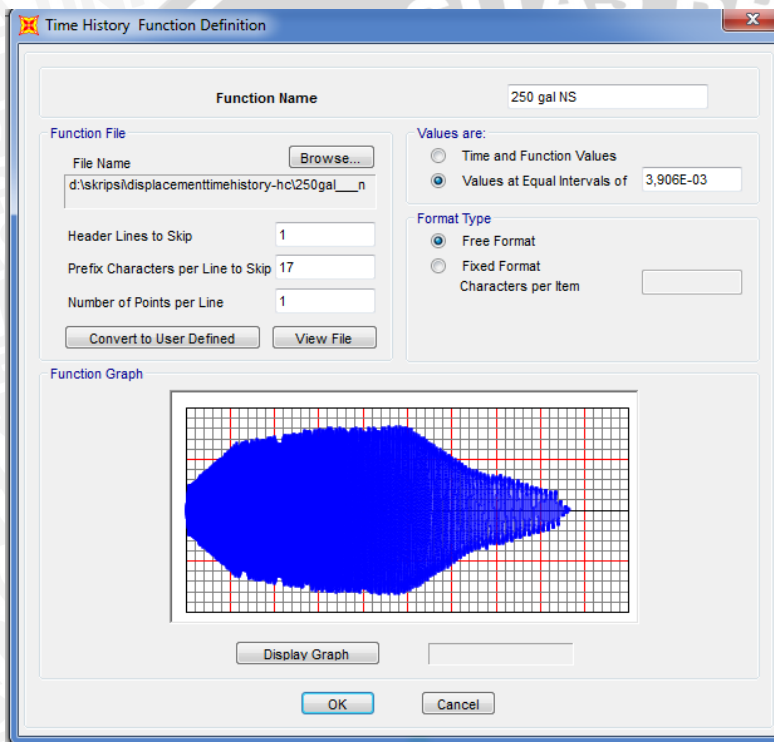
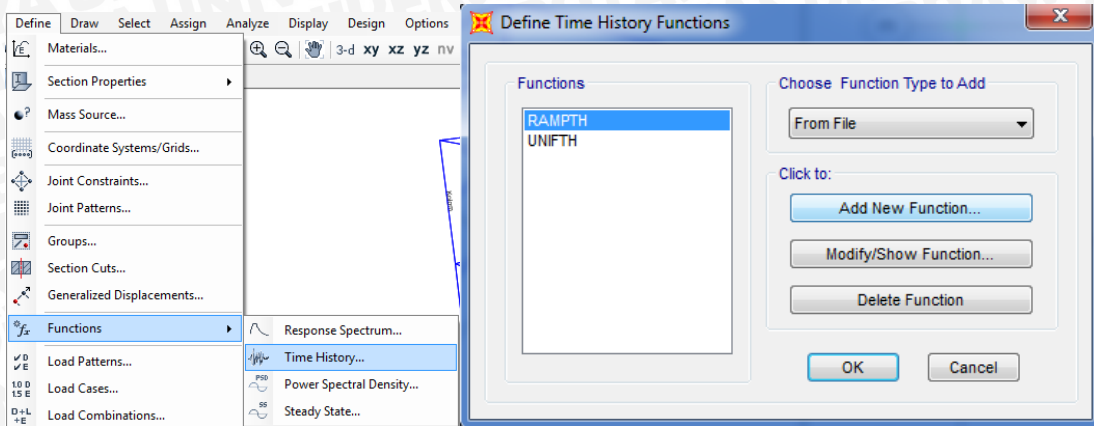
6. Input profil penampang komponen struktur yang digunakan (kolom dan balok)



7. Mendeklarasikan profil ke model struktur



- Menginput fungsi *time history* pada SAP 2000, memilih tipe fungsi yang akan ditambahkan yaitu *From File*, kemudian *Add New Function*.



```

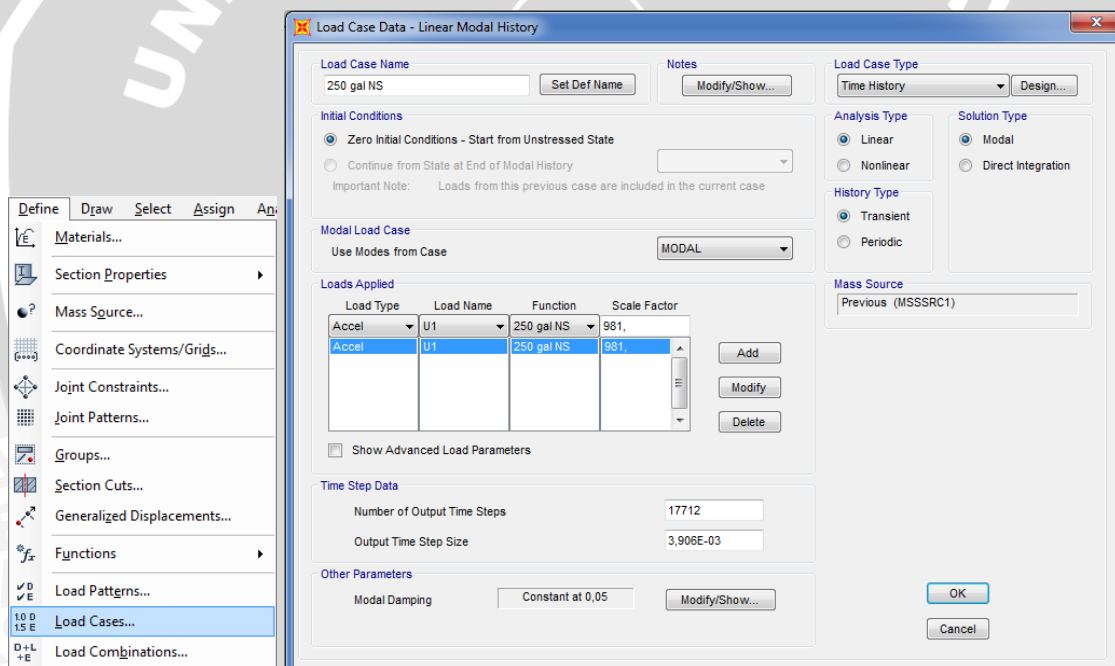
250gal__NS250EW250_Accel - Notepad
File Edit Format View Help
Time_sec      NS_g      Ew_g
0,0000000e+000  2,6129065e-005  -1,0203849e-004
3,9062500e-003  -3,6022948e-004  1,9351466e-003
7,8125000e-003  -9,1891628e-004  3,4729269e-003
1,1718750e-002  -1,4607361e-003  4,3701244e-003
1,5625000e-002  -1,5721636e-003  4,7601228e-003
1,9531250e-002  -1,0670362e-003  4,8636450e-003
2,3437500e-002  1,7323288e-005  4,8786938e-003
2,7343750e-002  1,5280263e-003  4,9280419e-003
3,1250000e-002  3,1687005e-003  5,0425622e-003
3,5156250e-002  4,4769304e-003  5,1687234e-003
3,9062500e-002  4,9970835e-003  5,2162411e-003
4,2968750e-002  4,4884263e-003  5,1174039e-003
4,6875000e-002  2,9999566e-003  4,8803114e-003
5,0781250e-002  8,3708835e-004  4,6035851e-003
5,4687500e-002  -1,6363576e-003  4,4005074e-003
5,8593750e-002  -4,1541517e-003  4,3220621e-003
6,2500000e-002  -6,4824350e-003  4,3634717e-003
6,6406250e-002  -8,2848353e-003  4,4868097e-003
7,0312500e-002  -9,0703526e-003  4,6088018e-003
    
```

} Header Lines to Skip

Prefix Characters per Line to Skip

- Klik *Browse* untuk memasukkan data *time history* yang digunakan
- *Header Lines to Skip* : jumlah baris teratas yang bukan merupakan bagian dari data yang harus dilewati. Dalam data pengujian ini baris yang dilewati sebanyak 1 baris.
- *Prefix Characters per Line to Skip* : jumlah karakter yang dilewati dalam setiap baris sebelum data. Untuk data arah NS jumlah karakter yang dilewati sebanyak 17 karakter, sedangkan untuk arah EW ada 33 karakter yang dilewati.
- *Number of Points per Line* : jumlah nilai yang terdapat dalam setiap baris. Dalam data ini setiap baris terdapat 1 nilai.
- *Values at Equal Intervals of* : waktu interval antar nilai yang satu dengan nilai yang berikutnya. Dalam data ini interval waktu adalah sebesar $3,90625 \times 10^{-3}$ detik.

9. Mendefinisikan *Load Case*



10. Melakukan analisis (*Run Analysis*)

The image shows a software interface with a menu on the left and a dialog box on the right. The menu has the following items:

- Analyze
- Display
- Design
- Options
- T

The 'Analyze' menu is expanded, showing the following options:

- ▶ Set Analysis Options...
- ▶ Create Analysis Model
- ▶ Set Load Cases to Run...
- ▶ Run Analysis F5

The 'Set Load Cases to Run' dialog box contains the following table:

Case	Type	Status	Action
DEAD	Linear Static	Not Run	Run
MODAL	Modal	Not Run	Run
250 gal NS	Linear Modal History	Not Run	Run
250 gal EW	Linear Modal History	Not Run	Run
400 gal NS	Linear Modal History	Not Run	Run
400 gal EW	Linear Modal History	Not Run	Run
500 gal NS	Linear Modal History	Not Run	Run
500 gal EW	Linear Modal History	Not Run	Run
600 gal NS	Linear Modal History	Not Run	Run
600 gal EW	Linear Modal History	Not Run	Run
700 gal NS	Linear Modal History	Not Run	Run

Below the table, there are 'Analysis Monitor Options' with radio buttons for 'Always Show', 'Never Show', and 'Show After 4 seconds'. On the right side of the dialog, there are buttons for 'Run/Do Not Run Case', 'Show Case...', 'Delete Results for Case', 'Run/Do Not Run All', 'Delete All Results', 'Show Load Case Tree...', 'Model-Alive', 'Run Now', 'OK', and 'Cancel'.



Lampiran 6. Hasil Output SAP 2000 Model A (Bentuk Persegi)

1) Masses and Weights

TABLE: Groups 3 - Masses and Weights					
GroupName	SelfMass	SelfWeight	TotalMassX	TotalMassY	TotalMassZ
Text	Kgf-s2/cm	Kgf	Kgf-s2/cm	Kgf-s2/cm	Kgf-s2/cm
ALL	0,0002423	0,24	0,008013	0,008013	0,008013

2) Joint Reactions

TABLE: Joint Reactions									
Joint	OutputCase	CaseType	StepType	F1	F2	F3	M1	M2	M3
Text	Text	Text	Text	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf-cm	Kgf-cm	Kgf-cm
55	250 gal NS	LinModHist	Max	0,2	0,0004304	1,08	0,001411	1,17	0,004309
55	250 gal NS	LinModHist	Min	-0,2	-0,0004214	-1,06	-0,001441	-1,17	-0,0043
56	250 gal NS	LinModHist	Max	0,26	1,031E-07	0,000000551	4,404E-07	1,37	0,001903
56	250 gal NS	LinModHist	Min	-0,26	-1,029E-07	-0,00000055	-4,408E-07	-1,37	-0,001907
57	250 gal NS	LinModHist	Max	0,2	0,0004214	1,06	0,001441	1,17	0,004309
57	250 gal NS	LinModHist	Min	-0,2	-0,0004304	-1,08	-0,001411	-1,17	-0,0043
58	250 gal NS	LinModHist	Max	0,26	7,459E-08	9,356E-07	3,202E-07	1,37	0,001907
58	250 gal NS	LinModHist	Min	-0,26	-7,464E-08	-9,342E-07	-3,204E-07	-1,37	-0,001903
59	250 gal NS	LinModHist	Max	0,2	0,0004214	1,08	0,001441	1,17	0,0043
59	250 gal NS	LinModHist	Min	-0,2	-0,0004304	-1,06	-0,001411	-1,17	-0,004309
60	250 gal NS	LinModHist	Max	0,2	0,0004304	1,06	0,001411	1,17	0,0043
60	250 gal NS	LinModHist	Min	-0,2	-0,0004214	-1,08	-0,001441	-1,17	-0,004309
61	250 gal NS	LinModHist	Max	0,18	1,968E-08	0,57	9,797E-08	1,14	6,779E-08
61	250 gal NS	LinModHist	Min	-0,18	-1,971E-08	-0,58	-9,782E-08	-1,14	-6,777E-08
62	250 gal NS	LinModHist	Max	0,18	7,106E-08	0,58	3,504E-07	1,14	2,71E-08
62	250 gal NS	LinModHist	Min	-0,18	-7,096E-08	-0,57	-3,509E-07	-1,14	-2,716E-08

3) Base Reactions

TABLE: Base Reactions									
OutputCase	CaseType	StepType	GlobalFX	GlobalFY	GlobalFZ	GlobalMX	GlobalMY	GlobalMZ	
Text	Text	Text	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf-cm	Kgf-cm	Kgf-cm	
250 gal NS	LinModHist	Max	1,65	8,558E-08	0,00001122	0,00007745	49,86	13,26	
250 gal NS	LinModHist	Min	-1,66	-8,548E-08	-0,00001121	-0,00007744	-50,87	-13,23	

4) Modal Load Participation Ratios

TABLE: Modal Load Participation Ratios				
OutputCase	ItemType	Item	Static	Dynamic
Text	Text	Text	Percent	Percent
MODAL	Acceleration	UX	99,9868	98,798
MODAL	Acceleration	UY	99,9872	98,9724
MODAL	Acceleration	UZ	3,252E-11	2,957E-12

5) Modal Participating Mass Ratios

TABLE: Modal Participating Mass Ratios

OutputCase	StepType	StepNum	Period	UX	UY	SumUX	SumUY	SumUZ
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	1	1,109789	0	0,84	0	0,84	0
MODAL	Mode	2	1,008157	0,83	0	0,83	0,84	0
MODAL	Mode	3	0,881395	7,669E-20	0	0,83	0,84	1,69E-20
MODAL	Mode	4	0,364555	1,344E-18	0,09918	0,83	0,94	2,491E-16
MODAL	Mode	5	0,328145	0,1	2,086E-20	0,93	0,94	2,673E-16
MODAL	Mode	6	0,291312	1,824E-17	2,937E-18	0,93	0,94	3,536E-16
MODAL	Mode	7	0,213409	8,451E-17	0,03548	0,93	0,97	4,241E-16
MODAL	Mode	8	0,189084	0,03722	1,714E-17	0,97	0,97	1,556E-15
MODAL	Mode	9	0,173024	3,101E-18	4,084E-17	0,97	0,97	1,87E-15
MODAL	Mode	10	0,150509	9,947E-17	0,01707	0,97	0,99	3,472E-15
MODAL	Mode	11	0,134062	2,801E-20	9,229E-19	0,97	0,99	2,487E-14
MODAL	Mode	12	0,130975	0,01858	7,433E-17	0,99	0,99	2,957E-14

6) Modal Participation Factors

TABLE: Modal Participation Factors

OutputCase	StepType	StepNum	Period	UX	UY	UZ	RX	RY	RZ	ModalMass	ModalStiff
Text	Text	Unitless	Sec	Kgf-cm	Kgf-cm	Kgf-cm	Kgf-cm	Kgf-cm	Kgf-cm	Kgf-cm-s2	Kgf-cm
MODAL	Mode	1	1,109789	-1,121E-12	-0,081895	-1,88E-12	0,610156	3,211E-11	2,105E-11	1	32,05
MODAL	Mode	2	1,008157	-0,081553	-1,403E-12	-8,417E-12	-4,594E-11	-0,624183	6,869E-12	1	38,84
MODAL	Mode	3	0,881395	2,477E-11	-5,883E-12	-7,804E-12	-1,57E-10	-7,685E-10	-0,759167	1	50,82
MODAL	Mode	4	0,364555	-1,037E-10	-0,028174	-1,412E-09	-1,239314	4,675E-09	1,583E-08	1	297,05
MODAL	Mode	5	0,328145	-0,028454	1,292E-11	3,818E-10	-5,446E-12	1,222936	-9,937E-10	1	366,63
MODAL	Mode	6	0,291312	3,821E-10	1,533E-10	-8,31E-10	3,186E-09	-1,471E-08	0,255461	1	465,2
MODAL	Mode	7	0,213409	-8,224E-10	-0,016851	7,511E-10	-0,424637	2,301E-08	-3,209E-08	1	866,83
MODAL	Mode	8	0,189084	0,017259	-3,704E-10	3,009E-09	-2,761E-08	-0,432355	3,064E-08	1	1104,2
MODAL	Mode	9	0,173024	1,575E-10	-5,717E-10	1,586E-09	-2,274E-08	-6,784E-09	0,153049	1	1318,7
MODAL	Mode	10	0,150509	-8,922E-10	-0,011688	-3,58E-09	-0,43049	2,44E-08	-3,632E-08	1	1742,74
MODAL	Mode	11	0,134062	-1,497E-11	-8,594E-11	1,309E-08	2,093E-08	1,752E-08	-0,001265	1	2196,6
MODAL	Mode	12	0,130975	-0,012196	-7,713E-10	-6,136E-09	2,787E-08	0,43916	-1,651E-08	1	2301,35

7) Modal Period and Frequencies

TABLE: Modal Periods And Frequencies

OutputCase	StepType	StepNum	Period	Frequency	CircFreq	Eigenvalue
Text	Text	Unitless	Sec	Cyc/sec	rad/sec	rad2/sec2
MODAL	Mode	1	1,109789	0,901072223	5,66160375	32,05375702
MODAL	Mode	2	1,008157	0,991909296	6,232349913	38,84218544
MODAL	Mode	3	0,881395	1,134565015	7,128682235	50,81811041
MODAL	Mode	4	0,364555	2,743069087	17,23521138	297,0525114
MODAL	Mode	5	0,328145	3,04743135	19,14757588	366,6296622
MODAL	Mode	6	0,291312	3,432750896	21,56860999	465,2049371
MODAL	Mode	7	0,213409	4,685832681	29,44195505	866,8287173
MODAL	Mode	8	0,189084	5,288646323	33,22954487	1104,202652
MODAL	Mode	9	0,173024	5,779536807	36,31390075	1318,699387
MODAL	Mode	10	0,150509	6,644100612	41,74611534	1742,738146
MODAL	Mode	11	0,134062	7,459249983	46,86784989	2196,595354
MODAL	Mode	12	0,130975	7,635037201	47,97235356	2301,346706

Lampiran 7. Hasil Output SAP 2000 Model B (Bentuk Persegi Panjang)

1) Masses and Weights

TABLE: Groups 3 - Masses and Weights					
GroupName	SelfMass	SelfWeight	TotalMassX	TotalMassY	TotalMassZ
Text	Kgf-s2/cm	Kgf	Kgf-s2/cm	Kgf-s2/cm	Kgf-s2/cm
ALL	0,0002443	0,24	0,008015	0,008015	0,008015
Kolom	0	0	0	0	0
Balok	0	0	0	0	0

2) Joint Reactions

TABLE: Joint Reactions									
Joint	OutputCase	CaseType	StepType	F1	F2	F3	M1	M2	M3
Text	Text	Text	Text	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf-cm	Kgf-cm	Kgf-cm
58	250 gal NS	LinModHist	Max	0,2	0,0005046	1,61	0,001686	1,16	0,005136
58	250 gal NS	LinModHist	Min	-0,2	-0,0005019	-1,6	-0,001695	-1,16	-0,005114
59	250 gal NS	LinModHist	Max	0,2	0,0005019	1,6	0,001695	1,16	0,005136
59	250 gal NS	LinModHist	Min	-0,2	-0,0005046	-1,61	-0,001686	-1,16	-0,005114
60	250 gal NS	LinModHist	Max	0,2	0,0005046	1,6	0,001686	1,16	0,005114
60	250 gal NS	LinModHist	Min	-0,2	-0,0005019	-1,61	-0,001695	-1,16	-0,005136
61	250 gal NS	LinModHist	Max	0,25	3,512E-08	6,486E-07	1,826E-07	1,35	0,001816
61	250 gal NS	LinModHist	Min	-0,25	-3,514E-08	-6,471E-07	-1,826E-07	-1,35	-0,001816
62	250 gal NS	LinModHist	Max	0,2	0,0005019	1,61	0,001695	1,16	0,005114
62	250 gal NS	LinModHist	Min	-0,2	-0,0005046	-1,6	-0,001686	-1,16	-0,005136
63	250 gal NS	LinModHist	Max	0,19	3,59E-08	0,82	1,792E-07	1,16	0,00000023
63	250 gal NS	LinModHist	Min	-0,19	-0,000000036	-0,83	-1,786E-07	-1,16	-2,302E-08
64	250 gal NS	LinModHist	Max	0,19	3,319E-08	0,83	1,587E-07	1,16	2,079E-08
64	250 gal NS	LinModHist	Min	-0,19	-3,334E-08	-0,82	-1,579E-07	-1,16	-2,077E-08
65	250 gal NS	LinModHist	Max	0,25	4,027E-08	0,000000662	1,499E-07	1,35	0,001816
65	250 gal NS	LinModHist	Min	-0,25	-4,015E-08	-6,607E-07	-1,495E-07	-1,35	-0,001816

3) Base Reactions

TABLE: Base Reactions									
OutputCase	CaseType	StepType	GlobalFX	GlobalFY	GlobalFZ	GlobalMX	GlobalMY	GlobalMZ	
Text	Text	Text	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf-cm	Kgf-cm	Kgf-cm	
250 gal NS	LinModHist	Max	1,67	4,299E-08	0,000003834	0,00003161	62,86	15,94	
250 gal NS	LinModHist	Min	-1,68	-4,307E-08	-0,000003822	-0,00003166	-63,15	-15,89	

4) Modal Load Participation Ratios

TABLE: Modal Load Participation Ratios				
OutputCase	ItemType	Item	Static	Dynamic
Text	Text	Text	Percent	Percent
MODAL	Acceleration	UX	99,986	98,7983
MODAL	Acceleration	UY	99,9872	98,9252
MODAL	Acceleration	UZ	3,215E-10	2,094E-11

5) Modal Participating Mass Ratios

TABLE: Modal Participating Mass Ratios									
OutputCase	StepType	StepNum	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	1	1,144147	0	0,84	0	0	0,84	0
MODAL	Mode	2	0,978681	0,83	0	0	0,83	0,84	0
MODAL	Mode	3	0,863152	6,856E-20	1,479E-20	9,278E-20	0,83	0,84	9,811E-20
MODAL	Mode	4	0,374426	4,927E-18	0,09878	2,629E-16	0,83	0,94	2,63E-16
MODAL	Mode	5	0,319972	0,1	0	1,023E-16	0,93	0,94	3,653E-16
MODAL	Mode	6	0,284828	6,401E-17	5,639E-18	1,126E-16	0,93	0,94	4,779E-16
MODAL	Mode	7	0,217938	1,979E-16	0,03619	1,492E-15	0,93	0,97	1,969E-15
MODAL	Mode	8	0,185642	0,03635	3,439E-19	1,49E-15	0,97	0,97	3,46E-15
MODAL	Mode	9	0,168491	2,338E-19	3,716E-18	1,83E-13	0,97	0,97	1,865E-13
MODAL	Mode	10	0,15229	1,012E-17	0,01771	8,365E-16	0,97	0,99	1,873E-13
MODAL	Mode	11	0,131402	3,836E-16	5,14E-16	3,887E-17	0,97	0,99	1,874E-13
MODAL	Mode	12	0,130141	0,01775	1,886E-16	2,205E-14	0,99	0,99	2,094E-13

6) Modal Participation Factors

TABLE: Modal Participation Factors											
OutputCase	StepType	StepNum	Period	UX	UY	UZ	RX	RY	RZ	ModalMass	ModalStiff
Text	Text	Unitless	Sec	Kgf-cm	Kgf-cm	Kgf-cm	Kgf-cm	Kgf-cm	Kgf-cm	Kgf-cm-s2	Kgf-cm
MODAL	Mode	1	1,144147	-7,188E-13	-0,081836	-9,959E-13	0,612529	2,411E-11	2,198E-11	1	30,16
MODAL	Mode	2	0,978681	-0,081594	-2,152E-12	-6,454E-12	-5,417E-11	-0,623737	2,791E-11	1	41,22
MODAL	Mode	3	0,863152	-2,343E-11	1,088E-11	2,725E-11	2,439E-10	8,556E-10	0,781248	1	52,99
MODAL	Mode	4	0,374426	-1,986E-10	0,02812	1,451E-09	1,234438	1,036E-08	-3,168E-08	1	281,6
MODAL	Mode	5	0,319972	-0,028611	-7,868E-13	9,051E-10	-1,473E-09	1,226478	-4,395E-09	1	385,6
MODAL	Mode	6	0,284828	-7,158E-10	2,125E-10	9,493E-10	1,13E-08	2,698E-08	-0,265192	1	486,62
MODAL	Mode	7	0,217938	-1,259E-09	0,017021	3,456E-09	0,426433	4,692E-08	6,441E-08	1	831,18
MODAL	Mode	8	0,185642	-0,017058	5,247E-11	-3,454E-09	4,672E-09	0,430808	-6,128E-09	1	1145,53
MODAL	Mode	9	0,168491	-4,326E-11	-1,725E-10	-3,828E-08	4,088E-09	2,039E-08	-0,157973	1	1390,62
MODAL	Mode	10	0,15229	2,846E-10	0,01908	-2,588E-09	0,435573	-8,002E-09	2,827E-09	1	1702,22
MODAL	Mode	11	0,131402	1,752E-09	-2,028E-09	5,578E-10	-1,647E-07	-3,35E-08	-0,000957	1	2286,41
MODAL	Mode	12	0,130141	-0,011921	-1,229E-09	1,329E-08	-5,384E-08	0,430944	3,855E-09	1	2330,95

7) Modal Period and Frequencies

TABLE: Modal Periods And Frequencies						
OutputCase	StepType	StepNum	Period	Frequency	CircFreq	Eigenvalue
Text	Text	Unitless	Sec	Cyc/sec	rad/sec	rad2/sec2
MODAL	Mode	1	1,144147	0,874013871	5,491591113	30,15757295
MODAL	Mode	2	0,978681	1,021783489	6,420055005	41,21710627
MODAL	Mode	3	0,863152	1,158545095	7,279353517	52,98898762
MODAL	Mode	4	0,374426	2,670757539	16,78086453	281,5974142
MODAL	Mode	5	0,319972	3,125268998	19,63664425	385,5977973
MODAL	Mode	6	0,284828	3,510887094	22,0595542	486,6239317
MODAL	Mode	7	0,217938	4,588470085	28,83020782	831,1808831
MODAL	Mode	8	0,185642	5,386710235	33,8456986	1145,531314
MODAL	Mode	9	0,168491	5,93504567	37,29099175	1390,618066
MODAL	Mode	10	0,15229	6,566410656	41,25797496	1702,220497
MODAL	Mode	11	0,131402	7,610215657	47,8163952	2286,40765
MODAL	Mode	12	0,130141	7,683987032	48,27991442	2330,950136

Lampiran 8. Hasil Output SAP 2000 Model C (Bentuk Segi Delapan)

1) Masses and Weights

TABLE: Groups 3 - Masses and Weights					
GroupName	SelfMass	SelfWeight	TotalMassX	TotalMassY	TotalMassZ
Text	Kgf-s2/cm	Kgf	Kgf-s2/cm	Kgf-s2/cm	Kgf-s2/cm
ALL	0,0002673	0,26	0,008037	0,008037	0,008037
Kolom	0	0	0	0	0
Balok	0	0	0	0	0

2) Joint Reactions

TABLE: Joint Reactions									
Joint	OutputCase	CaseType	StepType	F1	F2	F3	M1	M2	M3
Text	Text	Text	Text	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf-cm	Kgf-cm	Kgf-cm
73	250 gal NS	LinModHist	Max	0,22	0,02706	0,57	0,0901	1,23	0,0003999
73	250 gal NS	LinModHist	Min	-0,22	-0,02689	-0,57	-0,09069	-1,23	-0,0004004
74	250 gal NS	LinModHist	Max	0,22	0,02689	0,57	0,09069	1,23	0,0003999
74	250 gal NS	LinModHist	Min	-0,22	-0,02706	-0,57	-0,0901	-1,23	-0,0004004
75	250 gal NS	LinModHist	Max	0,22	0,02689	0,57	0,09069	1,23	0,0004004
75	250 gal NS	LinModHist	Min	-0,22	-0,02706	-0,57	-0,0901	-1,23	-0,0003999
76	250 gal NS	LinModHist	Max	0,22	0,02706	0,57	0,0901	1,23	0,0004004
76	250 gal NS	LinModHist	Min	-0,22	-0,02689	-0,57	-0,09069	-1,23	-0,0003999
77	250 gal NS	LinModHist	Max	0,19	0,02405	1,43	0,07942	1,13	0,001826
77	250 gal NS	LinModHist	Min	-0,19	-0,0239	-1,43	-0,07992	-1,14	-0,001819
78	250 gal NS	LinModHist	Max	0,19	0,0239	1,43	0,07992	1,13	0,001819
78	250 gal NS	LinModHist	Min	-0,19	-0,02405	-1,43	-0,07942	-1,14	-0,001826
79	250 gal NS	LinModHist	Max	0,19	0,0239	1,43	0,07992	1,13	0,001826
79	250 gal NS	LinModHist	Min	-0,19	-0,02405	-1,43	-0,07942	-1,14	-0,001819
80	250 gal NS	LinModHist	Max	0,19	0,02405	1,43	0,07942	1,13	0,001819
80	250 gal NS	LinModHist	Min	-0,19	-0,0239	-1,43	-0,07992	-1,14	-0,001826

3) Base Reactions

TABLE: Base Reactions									
OutputCase	CaseType	StepType	GlobalFX	GlobalFY	GlobalFZ	GlobalMX	GlobalMY	GlobalMZ	
Text	Text	Text	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf-cm	Kgf-cm	Kgf-cm	
250 gal NS	LinModHist	Max	1,64	-1,788E-07	0,00000367	-0,00002864	67,93	14,46	
250 gal NS	LinModHist	Min	-1,64	-1,784E-07	-0,000003671	-0,00002866	-67,85	-14,44	

4) Modal Load Participation Ratios

TABLE: Modal Load Participation Ratios				
OutputCase	ItemType	Item	Static	Dynamic
Text	Text	Text	Percent	Percent
MODAL	Acceleration	UX	99,9507	97,1072
MODAL	Acceleration	UY	99,9862	98,8823
MODAL	Acceleration	UZ	1,735E-11	1,381E-12

5) *Modal Participating Mass Ratios*

TABLE: Modal Participating Mass Ratios									
OutputCase	StepType	StepNum	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	1	1,093469	0	0,84	1,98E-20	0	0,84	1,98E-20
MODAL	Mode	2	0,968854	0,83	0	8,977E-20	0,83	0,84	1,096E-19
MODAL	Mode	3	0,751037	8,664E-19	1,011E-20	8,173E-18	0,83	0,84	8,282E-18
MODAL	Mode	4	0,360186	2,181E-17	0,0987	2,101E-17	0,83	0,94	2,929E-17
MODAL	Mode	5	0,316218	0,1	2,706E-20	1,328E-17	0,93	0,94	4,258E-17
MODAL	Mode	6	0,2504	1,908E-16	8,281E-18	4,47E-15	0,93	0,94	4,513E-15
MODAL	Mode	7	0,21188	7,643E-18	0,03455	2,333E-16	0,93	0,97	4,746E-15
MODAL	Mode	8	0,183068	0,03633	5,741E-17	1,039E-15	0,97	0,97	5,785E-15
MODAL	Mode	9	0,151117	3,971E-18	3,849E-16	3,689E-16	0,97	0,97	6,154E-15
MODAL	Mode	10	0,150388	2,663E-17	0,01646	1,288E-15	0,97	0,99	7,442E-15
MODAL	Mode	11	0,139564	1,202E-17	2,942E-17	2,732E-15	0,97	0,99	1,017E-14
MODAL	Mode	12	0,130575	7,226E-18	2,783E-17	3,633E-15	0,97	0,99	1,381E-14

6) *Modal Participation Factors*

TABLE: Modal Participation Factors											
OutputCase	StepType	StepNum	Period	UX	UY	UZ	RX	RY	RZ	ModalMass	ModalStiff
Text	Text	Unitless	Sec	Kgf-cm	Kgf-cm	Kgf-cm	Kgf-cm	Kgf-cm	Kgf-cm	Kgf-cm-s2	Kgf-cm
MODAL	Mode	1	1,093469	-1,464E-12	0,082077	1,261E-11	-0,604288	4,188E-11	1,723E-12	1	33,02
MODAL	Mode	2	0,968854	0,081829	2,715E-12	-2,685E-11	1,639E-10	0,616985	2,026E-11	1	42,06
MODAL	Mode	3	0,751037	8,34E-11	9,007E-12	-2,562E-10	2,923E-10	-2,495E-09	-0,689806	1	69,99
MODAL	Mode	4	0,360186	4,185E-10	-0,02815	-4,107E-10	-1,236919	-1,13E-08	-2,539E-10	1	304,3
MODAL	Mode	5	0,316218	0,028434	1,474E-11	-3,266E-10	-6,018E-10	-1,230079	2,813E-10	1	394,81
MODAL	Mode	6	0,2504	-1,238E-09	2,578E-10	-5,991E-09	2,528E-08	3,35E-08	-0,229587	1	629,64
MODAL	Mode	7	0,21188	-2,477E-10	0,016656	-1,369E-09	0,425443	9,708E-09	2,342E-09	1	879,39
MODAL	Mode	8	0,183068	-0,017078	-6,789E-10	2,889E-09	-2,873E-08	0,431753	-4,6E-09	1	1177,98
MODAL	Mode	9	0,151117	-1,786E-10	1,758E-09	1,721E-09	5,319E-08	4,143E-08	-0,134617	1	1728,75
MODAL	Mode	10	0,150388	-4,624E-10	0,011497	-3,215E-09	0,414949	5,611E-08	2,096E-08	1	1745,55
MODAL	Mode	11	0,139564	-3,106E-10	4,86E-10	-4,684E-09	-0,000000323	3,421E-08	0,001077	1	2026,8
MODAL	Mode	12	0,130575	-2,409E-10	-4,727E-10	-5,401E-09	-1,355E-07	1,318E-08	-0,004224	1	2315,48

7) *Modal Period and Frequencies*

TABLE: Modal Periods And Frequencies						
OutputCase	StepType	StepNum	Period	Frequency	CircFreq	Eigenvalue
Text	Text	Unitless	Sec	Cyc/sec	rad/sec	rad2/sec2
MODAL	Mode	1	1,093469	0,914520844	5,746103927	33,01771034
MODAL	Mode	2	0,968854	1,032147035	6,485171086	42,05744401
MODAL	Mode	3	0,751037	1,331492228	8,366012404	69,99016355
MODAL	Mode	4	0,360186	2,776341911	17,4442707	304,3025803
MODAL	Mode	5	0,316218	3,16237765	19,86980479	394,8091422
MODAL	Mode	6	0,2504	3,993607233	25,09257429	629,6372845
MODAL	Mode	7	0,21188	4,719652907	29,6544538	879,3866301
MODAL	Mode	8	0,183068	5,462463329	34,32166933	1177,976985
MODAL	Mode	9	0,151117	6,617387359	41,57827103	1728,752621
MODAL	Mode	10	0,150388	6,649463488	41,77981129	1745,552631
MODAL	Mode	11	0,139564	7,165156138	45,02000377	2026,80074
MODAL	Mode	12	0,130575	7,65844985	48,11945957	2315,482389