

**TUGAS AKHIR**

**PENGARUH GEMPA TERHADAP  
BANGUNAN *SET-BACK* DENGAN MENGGUNAKAN  
SISTEM *OUTRIGGER*  
(*Studi Literatur*)**

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat-Syarat Memperoleh  
Gelar Sarjana Teknik Sipil Pada Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

**Disusun Oleh:**

**EDISARKO SARAAN  
1207210233**



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
MEDAN  
2016**

## HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Edisarko Saraan

NPM : 1207210233

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Pengaruh Gempa Terhadap Bangunan *Set-Back* Dengan Menggunakan Sistem *Outrigger* (Studi Literatur)

Bidang ilmu : Struktur

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, September 2016

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing I / Penguji

Dosen Pembimbing II / Penguji

Tondi Amirsyah.P, S.T, M.T

Dr.Fahrizal Zulkarnain, S.T, M.Sc

Dosen Pembimbing I / Penguji

Dosen Pembimbing II / Penguji

Dr. Ade Faisal, S.T,M.Sc

Ir.Ellyza Chairina, M.Si

Program Studi Teknik Sipil

Ketua,

Dr. Ade Faisal, S.T, M.Sc

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Edisarko Saraan

Tempat /Tanggal Lahir: Rambah Serit / 31 Mei 1994

NPM : 1207210233

Fakultas : Teknik

Program Studi : Teknik Sipil,

menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

“Pengaruh Gempa Terhadap Bangunan *Set-Back* Dengan Menggunakan Sistem *Outrigger*”,

bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, September 2016

Saya yang menyatakan,

Edisarko Saraan

## ABSTRAK

### PENGARUH GEMPA TERHADAP BANGUNAN *SET-BACK* DENGAN MENGGUNAKAN SISTEM *OUTRIGGER* (STUDI LITERATUR)

Edisarko Saraan

1207210233

Tondi Amirsyah Putera P, S.T, M.T

Dr. Fahrizal Zulkarnain, S.T, M.sc

Gempa bumi merupakan suatu fenomena alam yang tidak dapat dihindari, tidak dapat diramalkan kapan terjadi dan berapa besarnya, serta akan menimbulkan kerusakan pada bangunan maupun jiwa bagi daerah yang ditimpanya dalam waktu relatif singkat, seiring perkembangan zaman pembangunan juga ikut berkembang, bangunan *set-back* merupakan pilihan yang atraktif bagi arsitek karena memiliki nilai estetika yang lebih dibandingkan bangunan beraturan. Karena bangunan akan dikaitkan dengan ketahanan / perilaku bangunan terhadap beban gempa maka dalam hal ini bangunan *set-back* di disain menggunakan sistem *outrigger*. Sistem *outrigger* adalah struktur pengaku, berupa lengan yang terikat pada *core wall* hingga kolom terluar bangunan. Dari pemeriksaan parameter-parameter struktur diharapkan dapat diketahui mana perilaku struktur yang semakin baik atau apakah penambahan *outrigger* pada posisi tertentu menyebabkan perilaku struktur yang kurang baik dan menjadi tidak efektif. Dalam tugas ini penulis membuat 4 pemodelan struktur dengan sistem ganda dan SRPMK. Berdasarkan hasil persentase pengurangan simpangan untuk arah X pada Model 1 sebesar 0 %, Model 2 sebesar 2,8 %, Model 3 sebesar 3,4 %, dan Model 4 sebesar 2,2 %. Persentase pengurangan simpangan untuk arah Y pada Model 1 sebesar 0%, pada Model 2,3 dan 4 pengurangan simpangan untuk arah Y cukup besar dibandingkan arah X dikarenakan pada arah Y ada penambahan *outrigger*, dimana hasil persentase arah Y untuk Model 2 sebesar 18,8 % , Model 3 sebesar 20,6 % dan Model 4 sebesar 18,7 %.

Kata kunci: Gempa bumi, *set-back*, *outrigger*, *core wall*, *shear wall*, *braced frame*, simpangan.

## **ABSTRACT**

### ***EFFECT OF EARTHQUAKE BUILDING SET-BACK SYSTEM WITH OUTRIGGER) (LITERATURE STUDY)***

Edisarko Saraan

1207210233

Tondi Amirsyah Putera P, S.T, M.T

Dr. Fahrizal Zulkarnain, S.T, M.sc

*Earthquakes are a natural phenomenon that can not be avoided, can not be predicted when it happened and how much, and will cause damage to buildings and people to areas afflicted in a relatively short time, over the times of development also developed, building set-back is attractive option for architects because they have more aesthetic value than regular buildings. Because the building will be associated with resistance / behavior of buildings against earthquake loads then in this case the building set-back in the design using outrigger system. Outrigger system is a stiffener structure, in the form of arms attached to the core wall to the outer columns of the building. From the inspection parameter-parameter structure which is expected to note the behavior of the structure is getting better or whether the addition outriger in certain positions causes poor structural behavior and become ineffective. In this task the author makes the modeling structure 4 with a double and SRPMK system. Based on the result of the reduction percentage deviation to the X direction in Model 1 of 0%, 2.8% Model 2, Model 3 amounted to 3.4%, and 2.2% 4 model. The percentage reduction in deviation to the Y direction in Model 1 at 0%, the Model 2.3 and 4 reduction of deviation to the Y direction is quite large compared to the X direction because the direction Y no additional outrigger, where the percentage of the Y direction for Model 2 18.8 %, 20.6% Model 3 and Model 4 by 18.7%.*

*Keywords: Earthquakes, set-back, outrigger, core wall, shear wall, braced frames, deviation.*

## KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Pengaruh Gempa Terhadap Bangunan *Set-Back* Dengan Menggunakan Sistem *Outrigger*” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Bapak Tondi Amirsyah.P, S.T, M.T selaku Dosen Pembimbing I dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Dr.Fahrizal Zulkarnain, S.T, M.Sc selaku Dosen Pimbimbing II dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Dr.Ade Faisal, S.T, M.Sc selaku Dosen Pembanding I dan Penguji yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, sekaligus sebagai Ketua Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Ibu Ir.Ellyza Chairina, M.Si selaku Dosen Pembanding II dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Ibu Irma Dewi, S.T, M.Si selaku Sekretaris Progam Studi teknik Sipil, sekaligus sebagai Dosen Pengasuh penulis.
6. Bapak Rahmatullah, S.T, M.Sc selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

7. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu teknik sipil kepada penulis.
8. Bapakku Halomoan Saraan, dan Mamakku Nurjannah Kabeakan, yang selalu memberikan doa dan semangat kepada penulis selama menimba ilmu di Fakultas Teknik UMSU dan yang telah bersusah payah membesarkan dan membiayai studi penulis.
9. Abangku Ekky Chanwi Saraan, Kakakku Nita Ariyani Manullang dan abangku Roy Fran Saraan yang telah banyak memberikan doa, semangat dan membiayai studi penulis.
10. Adekku Nursanisah Saraan dan Beruku Alisha Khaira Wilda Saraan yang telah banyak memberikan doa dan semangat kepada penulis.
11. Abangku Ilham Saraan, Kakakku Riska Yanti Simbolon, dan Abangku Jonson Saraan yang telah banyak memberikan doa dan semangat kepada penulis
12. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
13. Sahabat-sahabat seperjuangan Fiqih Hidayat, Elyaska Maha, Syahrul Andika, Amanda Yanti, Khoiriah, Dede Saputra, Debby Sahertian, Rindu A.P Raka, Sahril A, Muhammad Zulfikar, Yonas A Zein, Isti Syahfaza Nst, Tri Indah Lestari, Reza Wardana, Arif Maulana, Muhammad Hendra, Anwar Sadat, Aldy Santoso, A Ian Sukarsyah, Novita Hariani.

Laporan Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi dunia konstruksi teknik sipil.

Medan, September 2016

Edisarko Saraan

## DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAN KEASLIAN SKRIPSI	iii
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR NOTASI	xix
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Metode Penelitian	4
1.6 Sistematika Pembahasan	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Konfigurasi Bangunan	5
2.2 Bangunan Bangunan	5
2.2.1 Bangunan Reguler	5
2.2.2 Bangunan Ireguler	8
2.2.3 Bangunan <i>Set-Back</i>	10
2.3 Keruntuhan Struktur	11
2.4 Sistem Gravitasi Pada Struktur Bangunan Gedung	12
2.5 Sistem <i>Outrigger</i>	14
2.5.1 Umum	14
2.5.2 Karakteristik <i>Outrigger</i>	15
2.5.3 Aplikasi	16
2.5.4 Keuntungan Penggunaan <i>Outrigger</i>	16

2.5.5	Permasalahan Akibat <i>Outrigger</i>	17
2.6	Dinding Geser ( <i>Shear Wall</i> )	18
2.7	Konsep Dinding Geser dengan <i>Outrigger</i>	20
2.8	Faktor Gempa Pada Struktur	21
2.9	Arah Pembebanan dan Penentuan Respon Spektra	24
2.10	Resiko Struktur Gedung dan Non Gedung	28
2.11	Kategori Desain Gempa	31
2.11.1	Struktur Penahan Gaya Gempa	33
2.11.2	Gaya Geser Dasar dan Beban Lateral Gempa	33
2.11.3	Penentuan Perioda	35
BAB 3 METODOLOGI		38
3.1	Pemodelan Sistem Struktur	38
3.2	Pembebanan Struktur	41
3.2.1	Beban Mati ( <i>Dead Load</i> )	41
3.2.2	Beban Hidup ( <i>Live Load</i> )	43
3.2.3	Beban Gempa ( <i>Eartquake</i> )	43
3.2.4	Kombinasi Pembebanan	44
3.3	Faktor Respon Gempa (C)	45
3.4	Analisa Respon Spektrum	48
3.4.1	Material	49
3.4.2	Balok dan Kolom	49
3.4.3	Pelat	51
3.4.4	Tumpuan	51
3.5	Pemodelan dan Analisa Struktur	51
3.5.1	Model 1	51
3.5.1.1	Data Perencanaan Struktur Model 1	53
3.5.1.2	Faktor Keutamaan Gedung	53
3.5.1.3	Nilai Waktu Getar Alami Fudamental	53
3.5.1.4	Penentuan Faktor Respon Gempa (C)	53
3.5.1.5	Faktor Reduksi Gempa	55
3.5.2	Model 2	55
3.5.2.1	Data Perencanaan Struktur Model 2	56

3.5.2.2 Faktor Keutamaan Gedung	57
3.5.2.3 Nilai Waktu Getar Alami Fundamental	57
3.5.2.4 Penentuan Faktor Respon Gempa (C)	57
3.5.2.5 Faktor Reduksi Gempa	59
3.5.3 Model 3	59
3.5.3.1 Data Perencanaan Struktur Model 3	60
3.5.3.2 Faktor Keutamaan Gedung	60
3.5.3.3 Nilai Waktu Getar Alami Fundamental	60
3.5.3.4 Penentuan Faktor Respon Gempa (C)	61
3.5.3.5 Faktor Reduksi Gempa	62
3.5.4 Model 4	63
3.5.4.1 Data Perencanaan Struktur Model 4	64
3.5.4.2 Faktor Keutamaan Gedung	64
3.5.4.3 Nilai Waktu Getar Alami Fundamental	64
3.5.4.4 Penentuan Faktor Respon Gempa (C)	65
3.5.4.5 Faktor Reduksi Gempa	66
<b>BAB 4 HASIL ANALISA STRUKTUR</b>	67
4.1 Analisa Desain	67
4.2 Hasil Analisa	67
4.2.1 Model 1	67
4.2.1.1 Analisa Respon Spektrum	67
4.2.1.2 Gaya Lateral Ekuivalen	69
4.2.1.3 Analisis Spektrum Respon Ragam	70
4.2.1.4 Nilai Simpangan Antar Tingkat ( <i>Story Drift</i> )	73
4.2.1.5 Distribusi Kekakuan Antar Tingkat ( <i>Soft Story</i> )	75
4.2.2 Model 2	77
4.2.2.1 Analisa Respon Spektrum	77
4.2.2.2 Gaya Lateral Ekuivalen	78
4.2.2.3 Analisis Spektrum Respon Ragam	79
4.2.2.4 Nilai Simpangan Antar Tingkat ( <i>Story Drift</i> )	83
4.2.2.5 Distribusi Kekakuan Antar Tingkat ( <i>Soft Story</i> )	85
4.2.3 Model 3	86

4.2.3.1 Analisa Respon Spektrum	86
4.2.3.2 Gaya Lateral Ekivalen	88
4.2.3.3 Analisis Spektrum Respon Ragam	89
4.2.3.4 Nilai Simpangan Antar Tingkat ( <i>Story Drift</i> )	92
4.2.3.5 Distribusi Kekakuan Antar Tingkat	94
4.2.4 Model 4	96
4.2.4.1 Analisa Respon Spektrum	96
4.2.4.2 Gaya Lateral Ekivalen	97
4.2.4.3 Analisis Spektrum Respon Ragam	98
4.2.4.4 Nilai Simpangan Antar Tingkat ( <i>Story Drift</i> )	102
4.2.4.5 Distribusi Kekakuan Antar Tingkat	104
4.2.5 Perbandingan <i>Story Drift</i> Untuk Semua Model	105
4.2.6 Perbandingan Kekakuan Antar Lantai Untuk Semua Model	107
4.2.7 Kontrol Kemampuan Dinding Geser Menerima Gaya Geser	108
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	110
5.1 Kesimpulan	110
5.2 Saran	111
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Koefisien situs, $F_a$	25
Tabel 2.2	Koefisien situs, $F_v$	26
Tabel 2.3	Kategori resiko bangunan dan bangunan lainnya untuk beban gempa	28
Tabel 2.4	Faktor keutamaan gempa	31
Tabel 2.5	Klasifikasi situs	31
Tabel 2.6	Kategori desain seismik berdasarkan parameter respon percepatan periode pendek	32
Tabel 2.7	Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik	32
Tabel 2.8	Koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung	36
Tabel 2.9	Nilai parameter periode pendekatan $C_t$ dan $x$	36
Tabel 3.1	Berat jenis material	42
Tabel 3.2	Kombinasi pembebanan yang digunakan	44
Tabel 3.3	Faktor respon gempa wilayah 6	46
Tabel 3.4	Pendefinisian profil penampang pada tiap-tiap bangunan	50
Tabel 3.5	Rangkuman nilai $C_s$ dan nilai $C_s$ yang digunakan Model 1	54
Tabel 3.6	Faktor reduksi gempa untuk gedung Model 1 berdasarkan SNI 03:1726:2012	55
Tabel 3.7	Rangkuman nilai $C_s$ dan nilai $C_s$ yang digunakan Model 2	58
Tabel 3.8	Faktor reduksi gempa untuk gedung Model 2 berdasarkan SNI 03:1726:2012.	59
Tabel 3.9	Rangkuman nilai $C_s$ dan nilai $C_s$ yang digunakan Model 3	62
Tabel 3.10	Faktor reduksi gempa untuk gedung model 3 berdasarkan SNI 03:1726:2012	62
Tabel 3.11	Rangkuman nilai $C_s$ dan nilai $C_s$ yang digunakan Model 4	66
Tabel 3.12	Faktor reduksi gempa untuk gedung Model 4 berdasarkan SNI 03:1726:2012	66
Tabel 4.1	Data periode <i>output</i> ETABS versi 2015 Model 1	68
Tabel 4.2	Hasil selisih persentase nilai periode Model 1	68
Tabel 4.3	Perhitungan distribusi vertikal dan horizontal gaya gempa Model 1	69

Tabel 4.4	Gaya geser hasil respon spektrum Model 1 <i>output</i> ETABS	70
Tabel 4.5	Rekapitulasi faktor skala hasil respons spektrum dengan statik ekivalen masing-masing arah Model 1	72
Tabel 4.6	Gaya geser hasil analisis respon spektrum arah X dan arah Y Model 1	72
Tabel 4.7	Perhitungan <i>story drift</i> kinerja batas ultimit arah X berdasarkan SNI 03:1726:2012 Model 1	74
Tabel 4.8	Perhitungan <i>story drift</i> kinerja batas ultimit arah Y berdasarkan SNI 03:1726:2012 Model 1	74
Tabel 4.9	Nilai hasil perhitungan <i>soft story</i> struktur bangunan arah X Model 1	75
Tabel 4.10	Nilai hasil perhitungan <i>soft story</i> struktur bangunan arah Y Model 1	76
Tabel 4.11	Data perioda <i>output</i> ETABS <i>versi</i> 2015 Model 2	77
Tabel 4.12	Hasil selisih persentase nilai perioda Model 2	77
Tabel 4.13	Perhitungan distribusi vertikal dan horizontal gaya gempa Model 2	78
Tabel 4.14	Gaya geser hasil respon spektrum Model 2 <i>output</i> ETABS	80
Tabel 4.15	Rekapitulasi faktor skala hasil respons spektrum dengan statik ekivalen masing-masing arah Model 2	81
Tabel 4.16	Gaya geser hasil analisis respon spektrum arah X dan Y Model 2	82
Tabel 4.17	Perhitungan <i>story drift</i> kinerja batas ultimit arah X berdasarkan SNI 03:1726:2012 Model 2	83
Tabel 4.18	Perhitungan <i>story drift</i> kinerja batas ultimit arah Y berdasarkan SNI 03:1726:2012 Model 2	84
Tabel 4.19	Nilai hasil perhitungan <i>soft story</i> struktur bangunan arah X Model 2	85
Tabel 4.20	Nilai hasil perhitungan <i>soft story</i> struktur bangunan arah Y Model 2	85
Tabel 4.21	Data perioda <i>output</i> ETABS <i>versi</i> 2015 Model 3	86
Tabel 4.22	Hasil selisih persentase nilai perioda Model 3	87
Tabel 4.23	Perhitungan distribusi vertikal dan horizontal gaya gempa Model 3	88
Tabel 4.24	Gaya geser hasil respon spektrum Model 3 <i>output</i> ETABS	89
Tabel 4.25	Rekapitulasi faktor skala hasil respons spektrum dengan statik ekivalen masing-masing arah Model 3	91
Tabel 4.26	Gaya geser hasil analisis respon spektrum arah X dan Y Model 3	91
Tabel 4.27	Perhitungan <i>story drift</i> kinerja batas ultimit arah X berdasarkan	

	SNI 03:1726:2012 Model 3	93
Tabel 4.28	Perhitungan <i>story drift</i> kinerja batas ultimit arah Y berdasarkan SNI 03:1726:2012 Model 3	93
Tabel 4.29	Nilai hasil perhitungan <i>soft story</i> struktur bangunan arah X Model 3	94
Tabel 4.30	Nilai hasil perhitungan <i>soft story</i> struktur bangunan arah Y Model 3	95
Tabel 4.31	Data perioda <i>output</i> ETABS <i>versi</i> 2015 Model 4	96
Tabel 4.32	Hasil selisih persentase nilai perioda Model 4	96
Tabel 4.33	Perhitungan distribusi vertikal dan horizontal gaya gempa Model 4	97
Tabel 4.34	Gaya geser hasil respon spektrum Model 4 <i>output</i> ETABS	99
Tabel 4.35	Rekapitulasi faktor skala hasil respons spektrum dengan statik ekuivalen masing-masing arah Model 2	100
Tabel 4.36	Gaya geser hasil analisis respon spektrum arah X dan Y Model 4	100
Tabel 4.37	Perhitungan <i>story drift</i> kinerja batas ultimit arah X berdasarkan SNI 03:1726:2012 Model 4	102
Tabel 4.38	Perhitungan <i>story drift</i> kinerja batas ultimit arah Y berdasarkan SNI 03:1726:2012 Model 4	100
Tabel 4.39	Nilai hasil perhitungan <i>soft story</i> struktur bangunan arah X Model 4	104
Tabel 4.40	Nilai hasil perhitungan <i>soft story</i> struktur bangunan arah Y Model 4	104
Tabel 4.41	Persentase pengurangan simpangan untuk semua Model	106
Tabel 4.42	Persentase gempa semua Model	109

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Sistem <i>outrigger</i> pada bangunan tingkat tinggi (tampak samping)	2
Gambar 2.1	Denah bangunan reguler	6
Gambar 2.2	Denah bangunan tidak reguler	6
Gambar 2.3	Struktur utama pada bangunan sederhana dan simetri	7
Gambar 2.4	Bangunan tidak reguler	9
Gambar 2.5	Bangun-bangun bangunan ireguler	9
Gambar 2.6	Perpindahan pada bangunan tanpa <i>set-back</i>	10
Gambar 2.7	Perpindahan pada bangunan <i>set-back</i>	10
Gambar 2.8	<i>Flat plate</i>	12
Gambar 2.9	<i>Flat slab</i>	12
Gambar 2.10	Sistem pelat dan balok	13
Gambar 2.11	<i>Waffle system</i>	13
Gambar 2.12	Mekanisme tarik dan tekan pada kolom luar	20
Gambar 2.13	Peta percepatan puncak (PGA) di batuan dasar ( $S_B$ ) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun (SNI 03:1726:2012)	22
Gambar 2.14	Peta respon spektra percepatan 0,2 detik ( $S_s$ ) di batuan dasar ( $S_B$ ) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun (SNI 03:1726-2012)	23
Gambar 2.15	Peta respon spektra percepatan 1,0 detik ( $S_1$ ) di batuan dasar ( $S_B$ ) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun (SNI 03:1726:2012)	23
Gambar 2.16	Arah pembebanan gempa	24
Gambar 2.17	Spektrum respon desain dipermukaan tanah (SNI 03:1726:2012)	27
Gambar 2.18	Diagram beban simpangan struktur gedung (SNI 03:1726:2012)	33
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian	38
Gambar 3.2	Denah struktur lantai 10	39

Gambar 3.3	Denah struktur lantai 4	39
Gambar 3.4	Tampak belakang struktur	40
Gambar 3.5	Tampak samping struktur	40
Gambar 3.6	Variasi letak pemasangan <i>outrigger</i>	41
Gambar 3.7	Respon spektrum gempa rencana wilayah 6.	44
Gambar 3.8	Grafik Respon spektrum	48
Gambar 3.9	Pemodelan struktur proyeksi Model 1 tanpa <i>outrigger</i>	52
Gambar 3.10	Pemodelan struktur proyeksi Model 1 tanpa <i>outrigger</i>	52
Gambar 3.11	Pemodelan struktur proyeksi Model dengan <i>outrigger</i> di lantai 10	56
Gambar 3.12	Pemodelan struktur proyeksi Model dengan <i>outrigger</i> di lantai 10	56
Gambar 3.13	Pemodelan struktur proyeksi Model dengan <i>outrigger</i> di lantai 7	59
Gambar 3.14	Pemodelan struktur proyeksi Model dengan <i>outrigger</i> di lantai 7	60
Gambar 3.15	Pemodelan struktur proyeksi Model dengan <i>outrigger</i> di lantai 4	63
Gambar 3.16	Pemodelan struktur proyeksi Model dengan <i>outrigger</i> di lantai 4	64
Gambar 4.1	Diagram gaya geser terhadap ketinggian struktur dengan gaya lateral ekivalen Model 1	70
Gambar 4.2	Gaya geser analisis respon spektrum ragam Model 1	73
Gambar 4.3	Diagram total <i>drift</i> terhadap tingkat bangunan arah X dan Y Model 1	75
Gambar 4.4	Kekakuan antar lantai arah X dan Y Model 1	76
Gambar 4.5	Diagram gaya geser terhadap ketinggian struktur dengan gaya lateral ekivalen Model 2	79
Gambar 4.6	Gaya geser analisis respon spektrum ragam Model 2	83
Gambar 4.7	Diagram total <i>drift</i> terhadap tingkat bangunan arah X dan Y Model 2	84
Gambar 4.8	Kekakuan antar lantai arah X dan Y Model 2	86

Gambar 4.9	Diagram gaya geser terhadap ketinggian struktur dengan gaya lateral ekuivalen Model 3	89
Gambar 4.10	Gaya geser analisis respon spektrum ragam Model 3	92
Gambar 4.11	Diagram total <i>drift</i> terhadap tingkat bangunan arah X dan Y Model 3	94
Gambar 4.12	Kekakuan antar lantai arah X dan Y Model 3	95
Gambar 4.13	Diagram gaya geser terhadap ketinggian struktur dengan gaya lateral ekuivalen Model 4	98
Gambar 4.14	Gaya geser analisis respon spektrum ragam Model 4	101
Gambar 4.15	Diagram total <i>drift</i> terhadap tingkat bangunan arah X dan Y Model 4	103
Gambar 4.16	Kekakuan antar lantai arah X dan Y Model 4	105
Gambar 4.17	Perbandingan simpangan arah X	105
Gambar 4.18	Perbandingan simpangan arah Y	106
Gambar 4.19	Perbandingan kekakuan arah X	107
Gambar 4.20	Perbandingan kekakuan arah Y	108

## DAFTAR NOTASI

DL	Beban mati.
LL	Beban hidup.
$Q_E$	Pengaruh gaya gempa horizontal dari V, yaitu gaya geser desain total di dasar struktur dalam arah yang ditinjau. Pengaruh tersebut harus dihasilkan dari peerapan gaya horizontal secara serentak dalam dua arah tegak lurus atau satu sama lain.
P	Faktor redudansi, untuk desain seismik D sampai F nilainya 1,3.
$S_{DS}$	Respon spektra percepatan desain untuk perioda pendek.
$F_a$	koefisien perioda pendek.
$S_s$	Nilai spektra percepatan untuk perioda pendek 0,2 detik di batuan dasar.
$F_v$	koefisien perioda 1 detik.
$S_1$	Parameter percepatan respon desain yang ditetapkan.
SA	Klasifikasi site batuan keras.
SB	Klasifikasi site batuan.
SC	Klasifikasi site tanah sangat padat dan batuan lunak.
SD	Klasifikasi site tanah sedang.
SE	Klasifikasi tanah lunak.
SF	Klasifikasi tanah khusus.
SS	Lokasi yang memerlukan investigasi geoteknik dan analisis respon site spesifik.
$\mu$	Konstanta yang tergantung pada peraturan perencanaan bangunan yang digunakan, misalnya untuk IBC-2009 dan ASCE 7-10 dengan gempa 2500 tahun menggunakan nilai $\mu$ sebesar 2/3 tahun.
SD1	Parameter percepatan respon spektrum pada perioda detik.
$S_a$	Respon spektrum percepatan.
T	Perioda struktur dasar (detik).
V	Gaya geser seismik.
$C_s$	Koefisien seismik yang ditentukan.

W	Berat seismik efektif.
R	Faktor modifikasi dalam.
Ie	Faktor keutamaan gempa.
Cvx	Faktor distribusi vertikal.
Wi dan wx	Bagian berat seismik efektif total struktur yang ditempatkan pada tingkat i atau x.
Hi dan hx	Tinggi (m) dasar sampai tingkat i dan x.
k	Eksponen yang terkait dengan perioda.
Fi	Bagian dari geser dasar seismik (kN).
Vx	geser tingkat desain gempa di semua tingkat (kN).
Ta minimum	Nilai batas bawah perioda bangunan.
hn	ketinggian struktur dalam (m) di atas dasar sampai tingkat tinggi struktur.
Cr	Nilai parameter perioda pendekatan.
Ta maksimum	Nilai batas atas perioda bangunan.
Cu	Koefisien dari parameter percepatan respon spektral desain pada 1 detik.
MRF	Momen resisting frames.
SRPMK	Sistem rangka penahan momen khusus.
SRPMB	Sistem rangka penahan momen biasa.
SRBKB	Sistem rangka Bracing konsentrik biasa.
SRBKK	Sistem rangka Bracing konsentrik khusus.
Mn	Momen lentur Link.
Mu	Momen lentur perlu.
Ø	Faktor reduksi lentur.
bf	Lebar sayap balok (mm).
d	Tinggi balok (mm).
Zb	Modulus penampang plastis
Φd	Faktor reduksi untuk daktilitas
Vu	Gaya geser ultimate balok
ΣM* <sub>pb</sub>	Jumlah momen balok pada pertemuans balok dan as kolom
Øc	Faktor ketahanan tekan

$N_n$	Kuat tekan nominal komponen struktur
$N_u$	Gaya tekan terfaktor
$A_g$	Luas penampang bruto ( $\text{mm}^2$ )
$f_{cr}$	Tegangan kritis penampang, Mpa
$f_y$	Tegangan leleh material
$A_e$	Luas penampang efektif
$M_u$	Momen terfaktor (N,mm)
$\emptyset$	Faktor reduksi
$M_{max}$	Momen maksimum dari bentang yang ditinjau
$M_n$	Kuat lentur nominal balok
$M_p$	Momen lentur yang menyebabkan seluruh penampang mengalami tegangan leleh (N,mm)
$C_b$	Koefisien pengali momen tekuk torsi lateral
$M_y$	Momen lentur yang menyebabkan penampang mulai mengalami tegangan leleh (N,mm)
$M_r$	Momen batas tekuk (N,mm)
$L_p$	Panjang bentang maksimum untuk balok yang mampu menerima momen plastis (mm)
$L_r$	Panjang bentang minimum untuk balok yang kekuatannya mulai ditentukan oleh momen kritis tekuk torsi lateral (mm)
$L_b$	Panjang bagian pelat sayap tekan tanpa pengekang lateral
$V_n$	Kuat geser nominal (N)
$V_u$	Gaya geser terfaktor (N)
$F_{yw}$	Tegangan leleh pelat badan
$A_w$	Luas kotor pelat badan
ADSR	<i>Acceleration displacement response spektrum</i>
ATC	<i>Applied technology council</i>
C	Faktor respons gempa
$C_{CR}$	Redaman kritis
DC	<i>Damage control</i>
$f_c'$	Kuat tekan beton
g	Percepatan gravitasi

$K$	Kekakuan struktur
$N$	Jumlah lantai struktur
$X$	Perpindahan
$W_t$	Berat total gedung termasuk beban hidup yang sesuai
$X_{\text{roof}}$	Perpindahan atap
$X_{\text{maks}}$	Perpindahan maksimum saat mencapai kondisi di ambang keruntuhan
$\omega$	Frekuensi alami atau natural
$\xi$	Koefisien faktor redaman
$\delta_i$	Perpindahan lateral lantai ke-i
$\gamma$	Faktor beban
$\mu$	Faktor daktilitas
$\varphi$	Rotasi

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

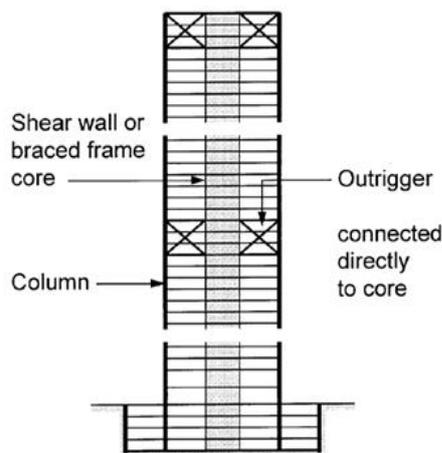
Gempa bumi merupakan suatu fenomena alam yang tidak dapat dihindari, tidak dapat diramalkan kapan terjadi dan berapa besarnya, serta akan menimbulkan kerugian baik harta maupun jiwa bagi daerah yang ditimpanya dalam waktu relatif singkat. Pada peristiwa tabrakan/tumbukan tersebut akan terjadinya gesekan antara dua atau lebih lempengan yang mengakibatkan adanya pelepasan 'energi' yang besar sekali, yang berpengaruh pada daerah-daerah yang lemah pada lempengan tersebut. Bila daerah lemah berada di daerah puncak, akan terjadi letusan gunung api yang diawali dengan adanya gempa vulkanik. Pada daerah di bawah, bila terjadi patahan pada lempengan, akan terjadi peristiwa gempa tektonik.

Dengan berkembangnya zaman, pembangunan juga ikut berkembang. Berbagai model bangunan dapat dijumpai, mulai dari bangunan yang sederhana hingga bangunan dengan geometrik yang rumit. Dari berbagai macam geometrik bangunan tersebut kita dapat membagi kategori bangunan menjadi 2 kategori, yaitu: bangunan beraturan dan bangunan tidak beraturan. Bangunan beraturan adalah bangunan yang pada umumnya simetris dalam denah dengan sistem struktur yang terbentuk oleh subsistem-subsistem penahan beban lateral yang arahnya saling tegak lurus dan sejajar dengan sumbu-sumbu utama ortogonal denah tersebut, dan arah utama pembebanan gempa adalah yang searah dengan sumbu-sumbu utama tersebut. Tetapi pada bangunan tidak beraturan, seringkali arah utama pembebanan gempa yang menentukan tidak dapat dipastikan sebelumnya.

Bangunan beraturan lebih disukai untuk perencanaan daripada bangunan tidak beraturan. Hal ini dikarenakan bangunan beraturan cenderung memiliki pusat massa dan pusat kekakuan yang berhimpit. Pada saat gempa terjadi, titik tangkap gaya gempa terhadap bangunan berada pada pusat massanya, sedangkan perlawanan yang dilakukan oleh bangunan berpusat pada pusat kekakuannya.

Banyak bangunan yang secara arsitektur memiliki nilai estetika tinggi yang pada umumnya menjadi pilihan para arsitek dalam mendisain suatu bangunan. Kebanyakan dari bangunan-bangunan seperti ini memiliki bentuk struktur yang tidak beraturan diantaranya juga termasuk bangunan-bangunan dengan *set-back* atau yang lebih akrab dikenal sebagai bangunan dengan tonjolan/loncatan bidang muka. Pada bangunan dengan *set-back* pusat massa dan pusat kekakuan tidak berhimpit.

Struktur yang diharapkan dalam konstruksi bangunan gedung adalah struktur yang mampu untuk mengantisipasi energi sebelum terjadi keruntuhan pada bangunan ketika menerima beban gempa dan memberikan kesempatan untuk mengevakuasi dan menghindari kerugian materi yang lebih besar. Inovasi dalam perencanaan struktur terus menerus dikembangkan dalam mendesain bangunan tingkat tinggi dengan tujuan dapat menahan beban gempa. Pembangunan gedung bertingkat tinggi dapat dilakukan jika teknik-teknik perencanaan pembangunan yang digunakan dapat memaksimalkan kapasitas dari bahan-bahan struktur tersebut. Seiring dengan perkembangan zaman, banyak sistem design dan metode perencanaan yang terus dikembangkan dalam dunia teknik sipil dan dapat digunakan untuk merencanakan bangunan tingkat tinggi, salah satunya adalah penerapan dan penggunaan sistem *outrigger* pada bangunan tingkat tinggi.



Gambar 1.1: Sistem *Outrigger* pada Bangunan Tingkat Tinggi (Tampak Samping).

Sumber: Verik Angerik 2009.

## 1.2. Rumusan Masalah

Dalam tugas akhir ini akan dibahas penggunaan sistem *outrigger* yang akan ditempatkan di beberapa lantai pada bangunan beton setinggi 10 lantai, dan pengaruh respon yang ditimbulkan oleh beban gempa terhadap bangunan *set-back* yang menggunakan *outrigger*. Perencanaan beban gempa akan diperhitungkan secara analitis dengan bantuan program komputer ETABS *versi* 2015 sehingga lokasi penempatan *outrigger* yang optimum, *displacement* secara lateral serta *inter-story drift* dan masalah sistem penahan gaya dapat diperoleh.

## 1.3. Tujuan Penelitian

Dari tugas akhir ini penulis ingin mendapatkan beberapa tujuan akhir, diantaranya:

1. Membandingkan penggunaan *outrigger* terhadap posisi pemasangan *outrigger* tersebut pada bangunan *set-back* serta menunjukkan persentase pengurangan *story drift*.
2. Menunjukkan kekakuan masing masing model yang menggunakan *outrigger*.
3. Persentase dinding geser dalam menahan beban gempa.

## 1.4. Batasan Masalah

Pada penelitian ini permasalahan dibatasi pada:

1. Bangunan yang dianalisis adalah bangunan 10 lantai dari beton yang pemodelannya dalam bentuk 3 dimensi..
2. *Outrigger* yang digunakan adalah dari baja dimana dimensi tiap profil elemen struktur dari perhitungan yang memenuhi *stress check* dan mengacu pada SNI-1729-2015 Spesifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural.
3. Tinggi lantai dasar adalah 4 m dan 3.5 m untuk tinggi masing-masing lantai berikutnya yang menjadikan tinggi bangunan secara keseluruhan menjadi 35.5 m.

4. Bangunan diasumsikan sebagai bangunan gedung bertingkat berukuran 25 m x 25 m yang berada di tengah kota dengan masa waktu penggunaan 50 tahun.
5. Bangunan direncanakan dengan fungsi sebagai perkantoran, terletak pada daerah Bandar Lampung untuk kondisi tanah lunak.

### **1.5. Metode Penelitian**

Metode pengerjaan dan pembahasan tugas akhir ini adalah secara teoritis dan analitis, adapun tahapan pengerjaannya antara lain:

1. Pengenalan dan pembahasan teoritis mengenai bangunan tingkat tinggi dan sistem *outrigger* dan pembahasan respon pada bangunan tingkat tinggi yang ditimbulkan oleh beban lateral seperti beban gempa.
2. Analisis dan perhitungan struktur terhadap respon dari beban gempa serta menunjukkan lokasi optimum dari penempatan *outrigger* pada bangunan 10 lantai.
3. Membandingkan hasil *soft story* dari bangunan pada penempatan *outrigger* pada tiap lantai yang ditinjau.
4. Membandingkan hasil *inter-story drift* pada bangunan menggunakan *outrigger*.

### **1.6. Sistematika Penulisan**

- BAB 1: Pendahuluan berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penulisan, batasan masalah, sistematika penulisan.
- BAB 2: Dasar teori terdiri dari teori gempa berdasarkan SNI 03:1726:2012.
- BAB 3: Metodologi penelitian akan membahas bagaimana memodelkan struktur dengan ETABS *versi* 2015 , prosedur analisa dan variable analisa yang akan di gunakan.
- BAB 4: Berisikan tentang pembahasan dari inti penelitian yaitu letak dari *outrigger* tersebut.
- BAB 5: Hasil yang berisikan kesimpulan dan saran.

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Konfigurasi Bangunan**

Konfigurasi bangunan pada hakekatnya adalah sesuatu yang berhubungan dengan bentuk, ukuran, macam dan penempatan struktur utama bangunan, serta macam dan penempatan bagian pengisi atau *nonstructural element*. Karena bangunan akan dikaitkan dengan ketahanan / perilaku bangunan terhadap beban gempa maka dalam hal ini pembahasan konfigurasi bangunan akan ditambah dengan macam dan bahan dan dipakai, serta detail bagian-bagian struktur yang penting. Lebih jauh lagi konfigurasi bangunan ini juga akan dikaitkan dengan pengaruh dari distribusi kekakuan dan distribusi massa bangunan terhadap perilaku bangunan yang dimaksud, selain daripada itu juga akan diperhatikan pula bangunan lain yang berdekatan dengan bangunan yang ditinjau.

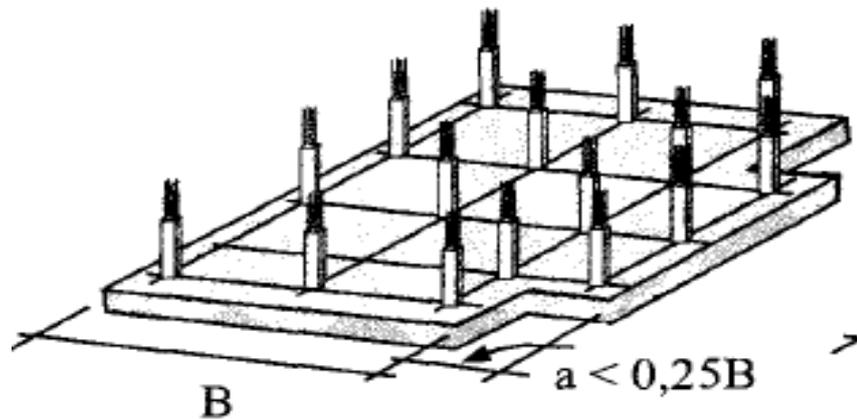
#### **2.2 Bangunan Bangunan**

##### **2.2.1 Bangunan Reguler**

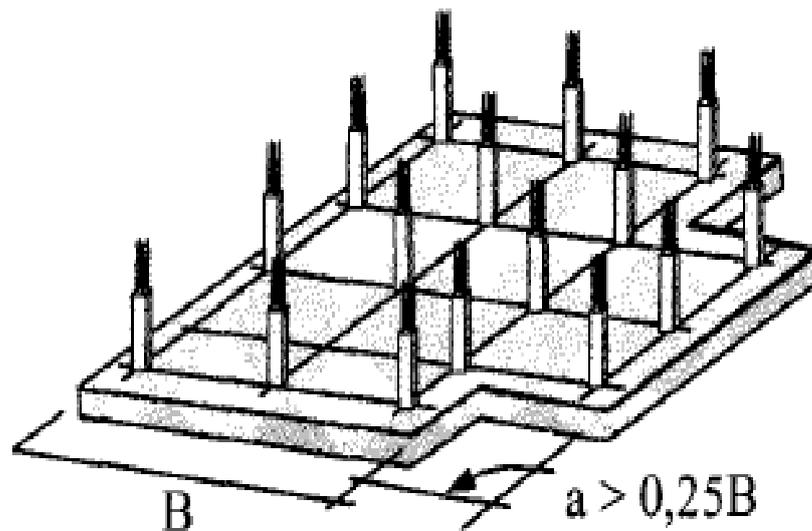
Bangunan reguler adalah bangunan yang umumnya hanya mempunyai 1 massa dengan denah sederhana dan simetri baik simetri 2-arah maupun 1-arah. Dengan demikian dua ciri pokok bangunan reguler adalah bangunan yang mempunyai massa tunggal dan berbangun simetri. Simetri adalah apabila bagian-bagian gatra/blok yang di kiri dan kanan atau di atas dan bawah sumbu-sumbu koordinat mempunyai bangunan ukurran dan proporsi yang sama. Definisi bangunan reguler adalah denah persegi panjang tanpa tonjolan dan walaupun terdapat tonjolan panjang tonjolan tersebut tidak lenih dari 25 % dari ukuran terbesar denah struktur gedung dalam arah tonjolan tersebut.

Contoh bangunan sederhana adalah seperti yang disajikan pada (Gambar 2.1) yang mana tonjolan tersebut tidak lebih dari 0,25 kali ukuran denah bangunan pada arah yang sama.

Apabila  $a > 0,25 B$  seperti yang tampak pada (Gambar 2.2) maka sudah dikategorikan bangunan iregular.



Gambar 2.1: Denah bangunan regular.



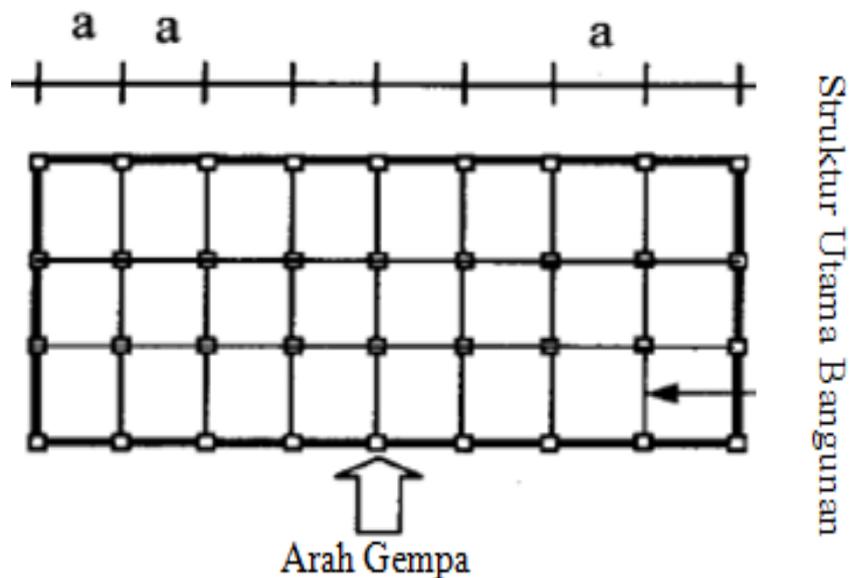
Gambar 2.2: Denah bangunan tidak regular.

Menurut kajian yang telah dilakukan sejak lama oleh para ahli menunjukkan bahwa konfigurasi yang simetri dan sederhana sebagaimana ditunjukkan (Gambar 2.3) ternyata mempunyai perilaku / ketahanan yang lebih baik terhadap beban gempa.

Terdapat beberapa alasan mengapa perilaku bangunan regular / sederhana lebih baik daripada bangunan kompleks. Alasan diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Jenis struktur utama cenderung sama / regular
2. Jarak antara struktur utama cenderung sama / regular
3. Kekakuan struktur cenderung terdistribusi secara merata
4. Massa cenderung terdistribusi secara merata
5. Respon struktur cenderung regular, karena tidak torsi
6. Secara keseluruhan perilaku struktur cenderung sederhana, regular dan mudah untuk dimengerti.

Alasan yang pertama adalah standar regularitas struktur utama. Apabila denah terbangun sederhana maka jenis dan penempatan struktur utamanya juga sama khususnya untuk bangunan yang belum termasuk bangunan tinggi (*high rise building*). Dengan dipakainya jenis struktur yang sama maka analisis struktur dapat dilakukan lebih mudah dan respon struktur cenderung lebih sederhana. Alasan yang kedua senada dengan yang pertama, yaitu umumnya tidak ada keinginan untuk membuat jarak struktur utama bangunan yang berbeda apabila denah bangunannya sederhana dan simetri.



Gambar 2.3: Struktur utama pada bangunan sederhana dan simetri.

Alasan yang ke-tiga dan ke-empat adalah sebagai konsekuensi dari alasan-alasan sebelumnya, yaitu bahwa apabila jenis dan jarak struktur utama bangunannya sama, maka ukuran-ukuran elemen strukturnya juga diambil sama.

Dengan demikian kekakuan dan distribusi massa yang menjadi struktur utama bangunan cenderung akan regular / sama. Hal-hal tersebut dapat dilihat dengan jelas pada (Gambar 2.3), yaitu tentang jenis, jarak dan orientasi struktur utama bangunan.

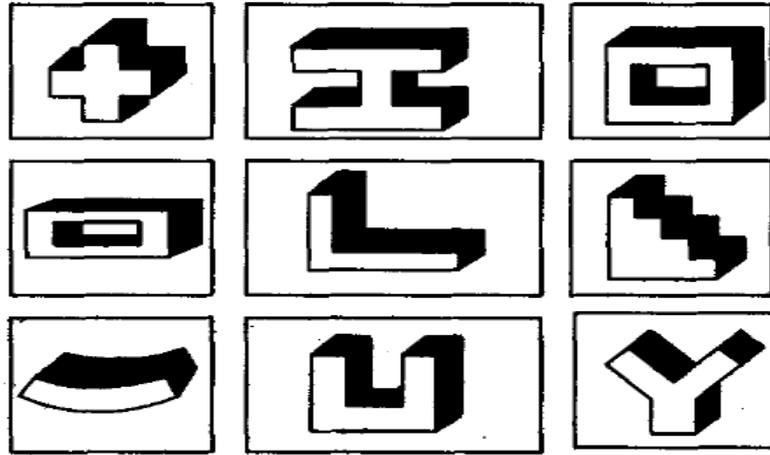
Penelitian tentang perilaku bangunan dengan denah yang sederhana telah dilakukan sejak lama, dan prediksi perilakunya ternyata cukup dekat dengan kenyataan yang ada sehingga bangunan sederhana dan simetri mempunyai perilaku yang lebih baik pada waktu terjadi gempa, unsure simetri juga mempunyai andil yang positif terhadap perilaku bangunan yang dilanda gempa, karena potongan yang simetri akan cenderung tidak torsi.

Hal ini dapat dimengerti bahwa, pada tampang yang simetri anatar pusat kekakuan dan pusat massa akan cenderung berimpit atau setidaknya relatif berdekatan. Pada kondisi demikian, maka hanya akan terjadi torsi yang relatif kecil terhadap bangunan yang sedang bergetar karena gempa. alasan yang kedua tentang kebaikan denah yang simetri adalah terhindarnya konsentrasi tegangan akibat getaran beban gempa, seluruh massa dalam satu tingkat akan bergetar dengan pola dan periode yang sama, sehingga tidak akan terjadi torsi yang akan membahayakan konstruksi.

### **2.2.2 Bangunan Iregular**

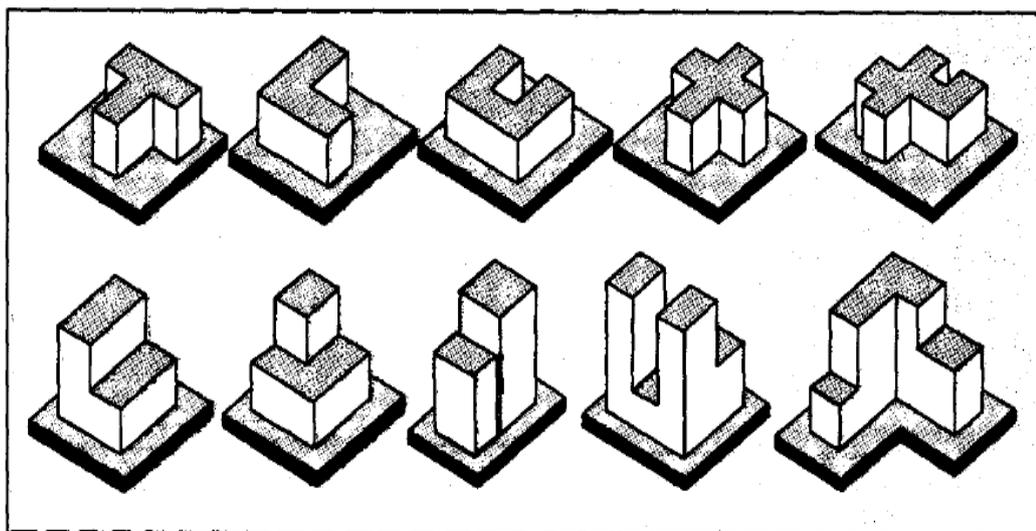
Berbeda dengan bangunan regular, bangunan ireguler adalah bangunan yang umumnya mempunyai lebih dari 1-massa dengan denah tidak sederhana dan simetri 2-arah maupun 1-arah. Walaupun denah bangunan yang sederhana dan simetri telah diketahui mempunyai perilaku yang baik akibat beban gempa, tetapi pada kenyataan masih banyak bangunan tidak regular yang tetap dibangun. Hal ini terjadi karena beberapa alasan arsitektual, ataupun karena belum dimengerti. Bangunan-bangunan yang kompleks misalnya denah bangunan yang mempunyai huruf L, T, I, Z, H ataupun kombinasi dari diantaranya berhubungan satu sama lain tanpa ada pemisahan.

Contoh bangunan-bangunan ireguler ini adalah seperti yang tampak pada (Gambar 2.4).



Gambar 2.4: Bangunan iregular.

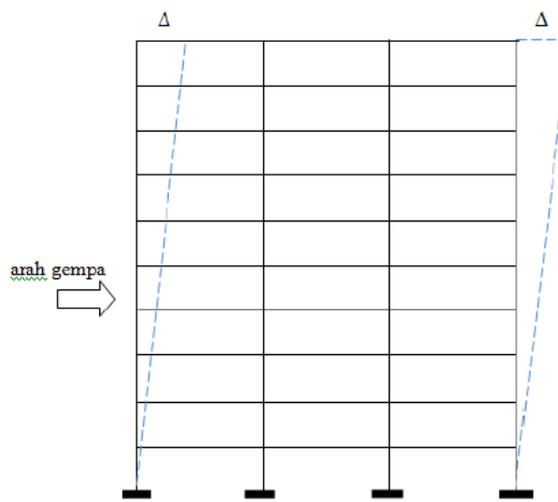
Selanjutnya bangun-bangun yang lain bangunan iregular adalah seperti yang tampak pada (Gambar 2.5). Pada gambar tersebut tampak bahwa bangunan iregular dapat bertingkat-tingkat, yaitu bangunan ireguler yang semua tingkatnya sama sampai pada bangunan ireguler dengan beda tingkat. Bangunan yang disebut terakhir adalah bangunan ireguler yang dikombinasikan dengan bangunan *set-back*.



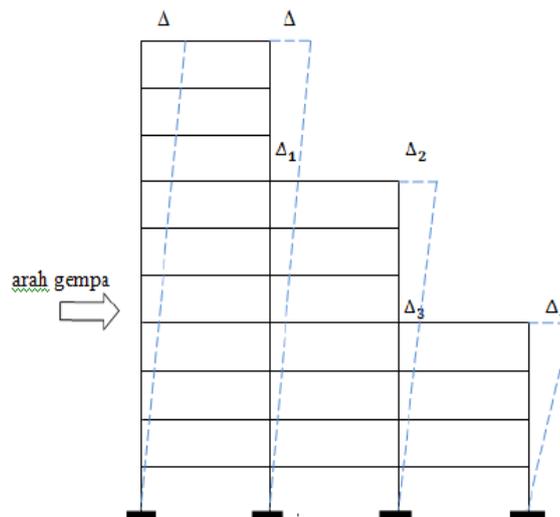
Gambar 2.5: Bangun-bangun bangunan iregular.

### 2.2.3 Bangunan Set-Back

Bangunan *set-back* merupakan pilihan yang atraktif bagi arsitek karena memiliki nilai estetika yang lebih dibandingkan bangunan beraturan. Selain kelebihan tersebut, bangunan dengan *set-back* juga memiliki permasalahan tersendiri yaitu timbulnya konsentrasi tegangan pada lantai dimana terdapat loncatan bidang muka/ tonjolan. Hal ini terjadi akibat adanya perbedaan kekakuan dan massa pada bangunan atas dan bawah. Masalah ini dapat di jelaskan melalui Gambar 2.6 dan 2.7.



Gambar 2.6: Perpindahan pada bangunan tanpa *set-back*.



Gambar 2.7: Perpindahan pada bangunan *set-back*.

Gambar menunjukkan *displacement* bangunan tanpa *set-back* dan bangunan dengan *set-back*. Ketika terjadi gempa, bangunan tanpa *set-back* akan menghasilkan *displacement* ( $\Delta$ ) sepanjang tingkat dengan perbandingan yang proporsional terhadap tinggi bangunan (Gambar 2.6). Hal ini dapat terjadi karena kekakuan dan massa tiap lantai yang relatif sama, sedangkan pada bangunan dengan *set-back* menghasilkan kemiringan pola *displacement* bangunan bagian atas dan bagian bawah tidak sama (Gambar 2.7),  $\Delta_1 \neq \Delta_2$  begitu juga dengan  $\Delta_3 \neq \Delta_4$ , sehingga terjadi konsentrasi tegangan sebagai akibat dari perubahan nilai drift pada lantai yang berbatasan tersebut, yang pada akhirnya dapat menyebabkan kerusakan pada bagian *set-back* tersebut (pada bagian  $\Delta_1$  dan  $\Delta_3$ ). Problem akan terjadi pada daerah peralihan kekakuan yang relatif kecil pada bagian atas. Seberapa besar problem yang akan di timbulkan akan bergantung pada banyak hal, yang diantaran adalah rasio luasan atas terhadap bawah, rasio tinggi bagian *set-back* terhadap bagian bawah.

### 2.3 Keruntuhan struktur

Fungsi utama bangunan adalah memikul beban dan pengaruh lingkungan luar. Kegagalan struktur adalah kondisi dimana ada satu atau dua komponen struktur, atau bahkan struktur tersebut secara keseluruhan kehilangan kemampuan menahan beban yang dipikulnya. Umumnya dipicu oleh adanya beban berlebih yang menyebabkan kekuatan (*strength*) struktur mencapai kondisi batas sehingga menimbulkan fraktur tau lendutan besar. Profesional menyebutnya sebagai keruntuhan struktur:

- 1) Tekuk / *buckling* (lokal dan global)
- 2) *Creep* (rangkak)
- 3) *Crack* (retak)
- 4) *Yielding* (leleh, deformasi bertambah tanpa adanya penambahan beban )
- 5) *Melting* (leleh, perubahan dari padat menjadi cair akibat suhu)
- 6) Korosi

Tiap mekanisme mempunyai perilaku yang berbeda, dan untuk terjadi keruntuhan tidak perlu semua mekanisme tersebut terjadi, jadi cukup satu aja dan terjadilah keruntuhan tersebut. Dari semua mekanisme keruntuhan yang sifatnya

daktil sehingga diusahakan terjadi terlebih dulu (jika terpaksa akan terjadi keruntuhan).

## 2.4 Sistem Gravitasi pada Struktur Bangunan Gedung

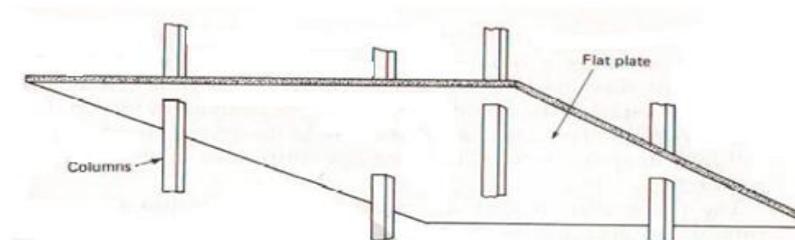
Sistem yang menyokong kekuatan sebuah struktur bangunan gedung dilihat dari segi gravitasi. Terdapat dua sistem yaitu sistem lantai dan sistem Beton pratekan (*prestressed concrete*).

### a) Sistem Lantai

Sistem ini terdiri atas empat jenis yaitu:

- *Flat plates system* (sistem pelat datar)

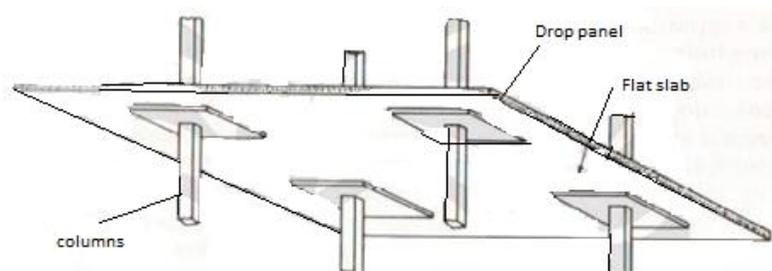
Struktur pelat yang rata tanpa balok / girder. Dimana vertikal diteruskan langsung ke kolom.



Gambar 2.8: *Flat plate*.

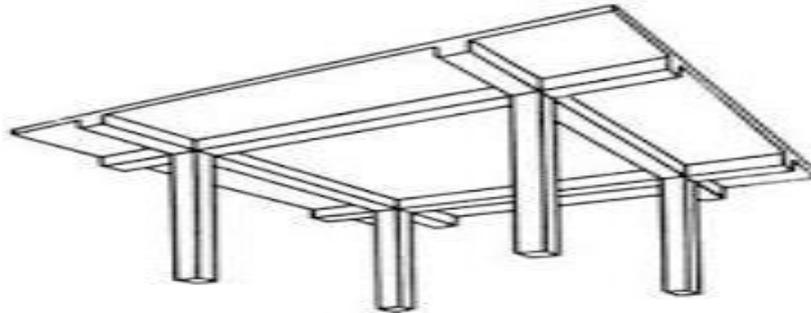
- *Flat slab system* (sistem lantai datar)

Suatu struktur tanpa balok, dimana pada bagian kolomnya terdapat penebalan (*drop panel*) yang berfungsi untuk menahan/ meredam gaya geser dan momen.



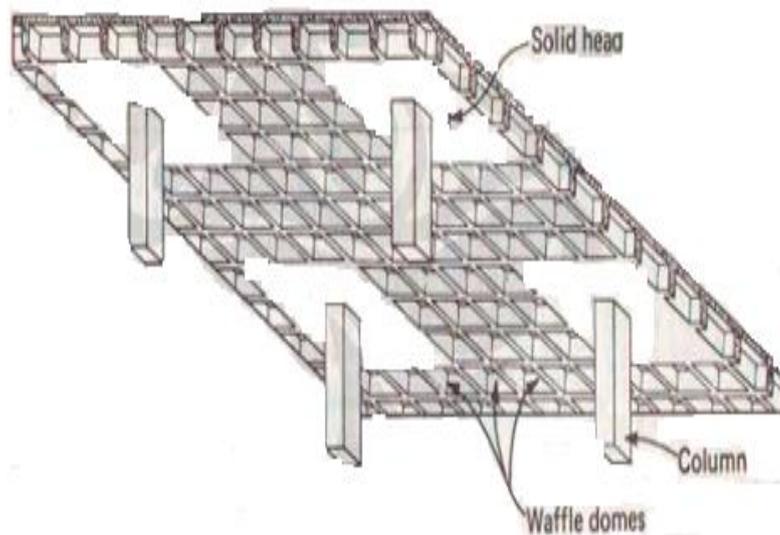
Gambar 2.9: *Flat slab*.

- Sistem pelat dan balok  
Sistem pelat lantai ini terdiri dari lantai (*slab*) menerus yang ditumpu oleh balok - balok monolit.



Gambar 2.10: Sistem pelat dan balok.

- Sistem lantai *gird (waffle system)*  
Merupakan sistem *two way joist*, dimana bagian sekitar kolom bentuk kubahnya di abaikan. Hal ini bertujuan untuk memperoleh kapasitas geser yang lebih besar.



Gambar 2.11: Waffle system.

b) Sistem Beton Prategang

Konsep dasar dari beton prategang adalah memberikan tegangan pendahuluan atau awal artinya tegangan yang diberikan terlebih dahulu (*permanent*

*internal stress*) untuk meningkatkan kekuatan (*performance*) struktur. Yang besarnya sedemikian rupa sehingga tegangan yang terjadi akibat beban luar dapat dilawan.

Metode prategang (pratarik) adalah sebagai berikut:

- Tendon ditarik terlebih dahulu dan diangkur pada balok beton yang kuat.
- Beton dicor menutupi/ menyelimuti tendon dalam suatu cetakan. Setelah beton mengeras pratarik dilepas (tendon di putuskan) maka akan terjadi tegangan tekan dalam beton.
- Metode ini banyak dipakai untuk beton pracetak.

## **2.5 Sistem Outrigger**

### **2.5.1 Umum**

*Outrigger* adalah struktur pengaku, berupa lengan yang terikat pada *core wall* hingga kolom terluar bangunan. Prinsipnya seperti perahu layar, tiang layar adalah intinya. Kemudian balok-balok silang layarnya adalah *outriggernya*. Sedangkan tali-tali tiang pada pasak adalah kolom *outriggernya*. Dengan kata lain sistem ini memanfaatkan lebar bangunan untuk memaksimalkan kekakuan karena *outrigger* mampu memberikan ketahanan terhadap momen guling dari gempa atau angin yang membuat gedung lebih stabil. Untuk bangunan dengan kelangsingan mencapai 1:8 bahkan lebih dengan skala yang didapat dari perbandingan lebar gedung, gedung akan rentan goyang.

Sistem struktur *outrigger* sebenarnya diterapkan sejak 1970. Pertama kali dengan baja. Baru pada 1990-an ditemukan struktur *outrigger* dengan menggunakan lengan beton. Pada saat gaya horizontal terjadi pada struktur bangunan, lentur pada *core* menyebabkan terjadinya rotasi pada lengan *outrigger*. Yang kemudian menyebabkan kolom-kolom mengalami tarik dan tekan sehingga terjadi kopel. Walaupun sistem *outrigger* menambah kekakuan lentur struktur namun tidak dapat meningkatkan ketahanan geser yang disebabkan oleh dinding geser.

Sistem *outrigger* digunakan sebagai salah satu sistem struktural yang efektif untuk mengontrol beban yang bekerja secara lateral. Ketika beban lateral bekerja pada suatu struktur, baik beban angin ataupun gempa, maka kerusakan struktur

secara struktural maupun non-struktural dapat diminimalkan. Sistem ini umumnya digunakan pada bangunan bertingkat tinggi yang juga terletak pada daerah yang merupakan zona gempa ataupun yang beban anginnya cukup besar berpengaruh.

Kerusakan bangunan akibat beban lateral secara konvensional dapat dicegah dengan memperkuat dan memperkaku struktur bangunan terhadap gaya lateral yang bekerja padanya. Namun, kerusakan secara non-struktural umumnya disebabkan karena adanya *inter-storey drift* (perbedaan simpangan antar tingkat). Usaha memperkecil *inter-storey drift* dapat dilakukan dengan memperkaku bangunan dalam arah lateral.

Sistem *outrigger* merupakan salah satu sistem pengaku dan penahan beban lateral yang umumnya berupa profil baja (bisa juga dari beton ataupun komposit). Kolom bagian terluar dari bangunan tingkat tinggi terhubung dengan *core wall* yang terdapat di bagian tengah bangunan dengan *outrigger* yang sangat kaku pada satu tingkat atau lebih.

Konsep dari pemakaian *outrigger* telah tersebar luas dewasa ini, apalagi didalam perencanaan bangunan bertingkat tinggi. Penggunaan *outrigger* pada bangunan tingkat tinggi di luar negeri apalagi Negara maju sudah sangat berkembang. Di dalam konsep ini, *outrigger* berfungsi sebagai penahan beban lateral yang menghubungkan *core* dengan kolom yang terletak pada bagian terluar dari bangunan tersebut. *Core* yang dimaksud dapat berupa *shear wall* ataupun *braced frame* sesuai perencanaan.

Penggunaan dan efisiensi dari *outrigger* berakar baik dalam sejarahnya tersendiri *outrigger* juga telah menjadi salah satu elemen kunci dalam perencanaan bangunan tingkat tinggi yang efisien dan ekonomis.

### **2.5.2 Karakteristik *Outrigger***

Sistem *outrigger* dapat mengefisienkan penggunaan dari material struktur. Sistem *outrigger* ini memaksimalkan kekuatan aksial dan kekakuan dari kolom bagian terluar untuk menahan bagian dari perputaran momen yang merupakan efek dari pembebanan lateral. Dalam konsep *outrigger* yang konvensional, *outrigger* dihubungkan secara langsung dari *shear wall* ataupun *braced frame*

dengan kolom pada bangunan tingkat tinggi. Secara umum, kolom yang dimaksud adalah kolom yang terletak pada sisi terluar dari bangunan.

Kenyataannya, *outrigger* yang digunakan pada bangunan tingkat tinggi tidak dipasang pada setiap lantai bangunan. Pemasangan *outrigger* disesuaikan dengan kebutuhan dan perencanaan dari bangunan tersebut. Umumnya, *outrigger* dapat dipasang setiap 10 atau 20 lantai.

### **2.5.3 Aplikasi**

Dalam konsep penggunaan *outrigger* yang konvensional, *outrigger* terhubung secara langsung dengan *core* dan kolom terluar dari bangunan yang mengkonversi momen pada *core* menjadi pasangan gaya vertikal pada kolom. Tetapi di dalam perencanaan dan aplikasi lapangannya, *outrigger* tidak hanya bisa direncanakan secara independen. Kenyataannya, untuk merencanakan suatu bangunan tingkat tinggi yang menggunakan *outrigger* juga dapat dikombinasikan dengan sistem struktural lainnya yang juga dikenal dengan *belt truss*.

*Outrigger truss* merupakan sistem pengaku yang juga menunjang dan menopang *outrigger*. sama halnya dengan perencanaan *outrigger*, *belt truss* sendiri juga hanya dipasang pada lantai-lantai tertentu sesuai dengan perencanaan yang telah dibuat. Jadi, dimana batang-batang *outrigger* diletakkan, dipasang dan direncanakan, maka disana juga terdapat *belt truss* yang lebih sering berupa profil dari baja dan akan mendukung kinerja dari *outrigger* sendiri.

*Belt truss* tidaklah terhubung dengan *core wall* yang ada pada bangunan. *Belt truss* dipasang dengan posisi mengelilingi seluruh bagian terluar dari struktur yang menghubungkan kolom-kolom terluar dari bangunan secara horizontal. *Belt truss* juga hanya dipasang pada lantai-lantai yang menggunakan *outrigger* saja sebagai penambahan kekuatan dan kekakuan struktur.

### **2.5.4 Keuntungan Penggunaan *Outrigger***

Untuk kebanyakan bangunan tingkat tinggi secara umum, jawaban dari permasalahan pada struktur *core* dan sistem tubular adalah daya kerja dari satu atau lebih dari lantai yang dipasang *outrigger*. *Outrigger* menghubungkan *core* pada bangunan dengan kolom terluar pada bangunan dengan sistem *truss* maupun

elemen dinding. Sistem *outrigger* dapat dibentuk dengan kombinasi baja, beton, maupun struktur komposit. Ketika *outrigger* telah dipasang dan diefektifkan dengan baik, maka dapat memberikan keuntungan secara struktural dan fungsional bagi keseluruhan perencanaan bangunan, diantaranya:

1. Momen yang berputar pada *core* dan peningkatan deformasi yang terjadi dapat dikurangi melalui momen yang berputar berlawanan arah yang bekerja pada *core* pada masing-masing persimpangan *outrigger*. Momen ini ditimbulkan dari pasangan gaya pada kolom terluar yang terhubung dengan *outrigger*.
2. Pengurangan yang signifikan dan kemungkinan hilangnya gaya ke atas dan gaya regang melalui kolom dan pondasi.
3. Penempatan jarak kolom terluar tidak disarankan pada pertimbangan struktural saja dan dapat dengan mudah dikaitkan dengan pertimbangan estetika dan fungsional.
4. *Framing* terluar dapat berupa balok biasa yang sederhana dan *framing* kolom tanpa harus membutuhkan sambungan *frame* yang kaku, mengakibatkan perencanaan bangunan lebih ekonomis.

#### **2.5.5 Permasalahan Akibat Penggunaan *Outrigger***

Setiap sistem perencanaan dan material struktur tentunya memiliki keunggulan dan kelemahannya masing-masing. Begitu pul dengan sistem *outrigger* yang mempunyai beberapa keunggulan, diantaranya dapat mengurangi *displacement* serta *inter-storey drift* akibat beban lateral. Tetapi, hal ini juga tidak terluput dari beberapa kelemahan. Ada beberapa masalah yang dapat ditimbulkan dengan menggunakan *outrigger*. Masalah yang ditimbulkan dapat membatasi aplikasi dari konsep di dalam lapangan, diantaranya:

1. Ruang yang termakan akibat pemasangan *outrigger* (terutama bagian yang diagonal); memakan tempat yang cukup banyak pada lantai dimana *outrigger* dipasang. Bahkan pada lantai penyimpanan mesin dan perlengkapan, keberadaan *outrigger* merupakan masalah yang palig utama karena tidak tertutup kemungkinan bahwa satu lantai yang menggunakan *outrigger* tidak dapat difungsikan sebagaimana mestinya.

2. Masalah arsitektual dan fungsi menjadi pertimbangan dari pengaruh pemasangan *outrigger* yang terhubung dengan *core wall* pada bagian tengah bangunan.
3. Cara menghubungkan *outrigger* dengan *core wall* sempat menjadi hal yang sangat rumit. Tingkat kesulitan akan semakin tinggi apabila sistem *core* yang direncanakan adalah *shear wall* dari beton.

Karena masalah utama terletak pada terbatasnya ruang muat dan gerak akibat penempatan *outrigger*, maka biasanya lantai yang menggunakan *outrigger* dimaksimalkan sebaik mungkin agar tidak menjadi bagian dari bangunan megah dan tinggi yang tidak berfungsi sama sekali.

Agar dapat menjadi lantai dari bangunan yang efektif dan maksimal, adapun langkah yang dapat dilakukan sebagai solusi adalah menjadikan lantai-lantai yang menggunakan *outrigger* ini menjadi ruangan mesin ataupun genset. Caranya adalah dengan menyesuaikan ukuran mesin yang akan menempati ruangan yang juga sedikit berimpit oleh batang-batang *outrigger*, agar dapat muat dalam petak-petak ruangan yang terbentuk akibat pemasangan *outrigger*. Alternatif lainnya yaitu menjadikan gudang penyimpanan stok barang ataupun tempat penyimpanan barang-barang ataupun perlengkapan kantor lainnya. Selain itu, bisa dimanfaatkan pula sebagai ruangan kontrol, ruangan pengawasan keamanan, ruangan kompresor AC ataupun ruangan panel listrik.

## **2.6 Dinding Geser (*Shear Wall*)**

Bangunan tinggi tahan gempa umumnya menggunakan elemen-elemen struktur kaku berupa dinding geser untuk menahan kombinasi gaya geser, momen, dan gaya aksial yang timbul akibat beban gempa. Dengan adanya dinding geser yang kaku pada bangunan, sebagian besar beban gempa akan terserap oleh dinding geser tersebut. Semakin tinggi suatu gedung, simpangan horizontal yang terjadi akibat gaya lateral akan semakin besar, untuk itu sering digunakan dinding geser pada struktur bangunan tinggi untuk memperkaku struktur sehingga simpangan terjadi dapat berkurang. Dinding geser juga berfungsi untuk mereduksi momen yang diterima struktur rangka sehingga dimensi struktur rangka dapat dibuat seefisien mungkin pada struktur bangunan tinggi akibat gaya lateral.

Gaya lateral yang terjadi pada suatu gedung, baik diakibatkan oleh beban gempa maupun angin akan disebar melalui struktur lantai yang berfungsi sebagai diafragma horizontal yang kemudian akan ditahan oleh dinding geser karena memiliki kekakuan yang besar untuk menahan gaya lateral. Dinding geser dapat dianggap sebagai balok yang tebal karena kekakuannya dan berinteraksi terhadap gaya lateral serta lentur terhadap momen guling (*overtuning momen*). Kemampuan dinding geser dalam menahan gaya lateral, torsi, dan momen guling tergantung dari konfigurasi geometri, orientasi, dan lokasi dinding pada suatu bangunan. Berdasarkan letak dan fungsinya, dinding geser dapat diklasifikasikan dalam 3 jenis yaitu :

1. *Bearing walls* adalah dinding geser yang juga mendukung sebagian besar beban gravitasi. Tembok-tembok ini juga menggunakan dinding partisi antar apartemen yang berdekatan.
2. *Frame walls* adalah dinding geser yang menahan beban lateral, dimana beban gravitasi berasal dari frame beton bertulang. Tembok-tembok ini dibangun diantara baris kolom.
3. *Core walls* adalah dinding geser yang terletak didalam wilayah inti pusat dalam gedung yang biasanya diisi tangga atau poros lift. Dinding yang terletak dikawasan inti pusat memiliki fungsi ganda dan dianggap menjadi pilihan paling ekonomis.

Dalam merencanakan dinding geser, perlu diperhatikan bahwa dinding geser yang berfungsi untuk menahan gaya lateral yang besar akibat beban gempa tidak boleh runtuh akibat gaya lateral maka keseluruhan struktur bangunan akan runtuh karena tidak ada elemen struktur yang mampu menahan gaya lateral. Oleh karena itu, dinding geser harus didesain untuk mampu menahan gaya lateral yang mungkin terjadi akibat beban gempa.

Ketebalan *shear wall* minimum direncanakan dengan metode empiris, yaitu:

$$\text{Tebal } shear \text{ wall} \geq \frac{1}{25} hw \quad (2.1)$$

$$\text{Tebal } shear \text{ wall} \geq \frac{1}{25} lw \quad (2.2)$$

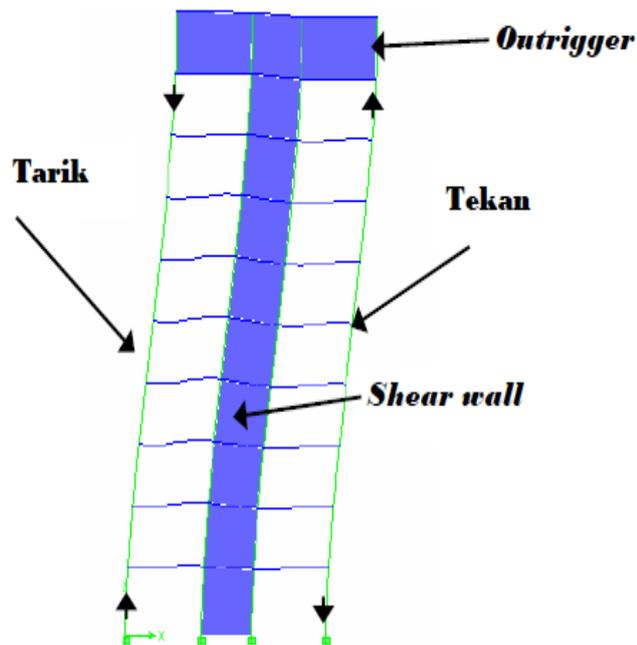
Dimana:

$hw$  = tinggi bagian dinding

$lw$  = panjang bagian dinding

## 2.7 Konsep Dinding Geser dengan *Outrigger*

Untuk bangunan tingkat tinggi, kekakuan dan kekuatan struktur bangunan akan meningkat dengan menggunakan *outrigger*. *outrigger* tersebut diikat ke dinding geser dan dihubungkan dengan kolom eksterior. Apabila dinding geser melentur, maka *outrigger* berlaku sebagai penyangga melawan lendutan dari dinding geser vertikal dari dinding geser kerangka luar.



Gambar 2.12: Mekanisme tarik dan tekan pada kolom luar.

Bangunan dapat memiliki satu atau beberapa *outrigger*. Lebih banyak *outrigger* yang digunakan, lebih baik pula integrasi dinding geser dengan kolom luar. tetapi sebagai konsekuensinya, struktur akan menjadi lebih mahal karena kolom-kolom yang mengalami tarik dan tekan akibat adanya *outrigger* harus didesain sedemikian rupa agar mampu menahan gaya-gaya tarik dan tekan itu sendiri dan pada saat di-*push over* tidak langsung plastis. *Outrigger* dapat ditempatkan didalam bangunan yang tidak akan mengganggu fungsi-fungsi bangunan, misalnya lantai peralatan mekanis, atau didesain supaya adanya *outrigger* tidak mengganggu aspek estetika serta tidak mengganggu mobilitas pengguna gedung sendiri. jika rangka dihubungkan ke dinding geser akan bersifat

*relative* sebagai kantilever dan bagian atasnya akan *relative* bebas berputar. Rangka hampir tidak melawan gaya rotasi. Apabila rangka diikat dinding geser dengan menggunakan *outrigger*, maka rotasi di bagian atas sistem akan dicegah karena kolom luar akan mengikat *outrigger* tersebut ke bawah. Dengan dinding geser tidak akan berlaku lagi kantilever murni karena bagian atasnya terikat, demikian pula dengan bagian bawahnya. Momen lentur bagian bawah tidak akan sebesar momen lentur pada dinding geser tanpa *outrigger*,

Kekuatan dan kekakuan sistem selanjutnya ditingkatkan dengan menambah *outrigger* tambahan pada lantai-lantai antara didalam bangunan. pada setiap tingkat yang dilengkapi dengan *outrigger*, rotasi terhadap sumbu vertikal akan dicegah. Kekakuan yang terjadi ditempat-tempat ini akan mengurangi besaran pada diagram momen. Momen lentur dibagian dasar bangunan akan berkurang lagi karena pergeseran gaya lateral ke gaya aksial. sebagai akibatnya, deformasi total sistem juga menjadi berkurang. Namun, penambahan *outrigger* yang sembarangan atau berlebihan juga dapat menjadi tidak efektif. *Outrigger* harus didesain di tempat-tempat tertentu yang menyebabkan pengaruhnya kesistem struktur menjadi optimal.

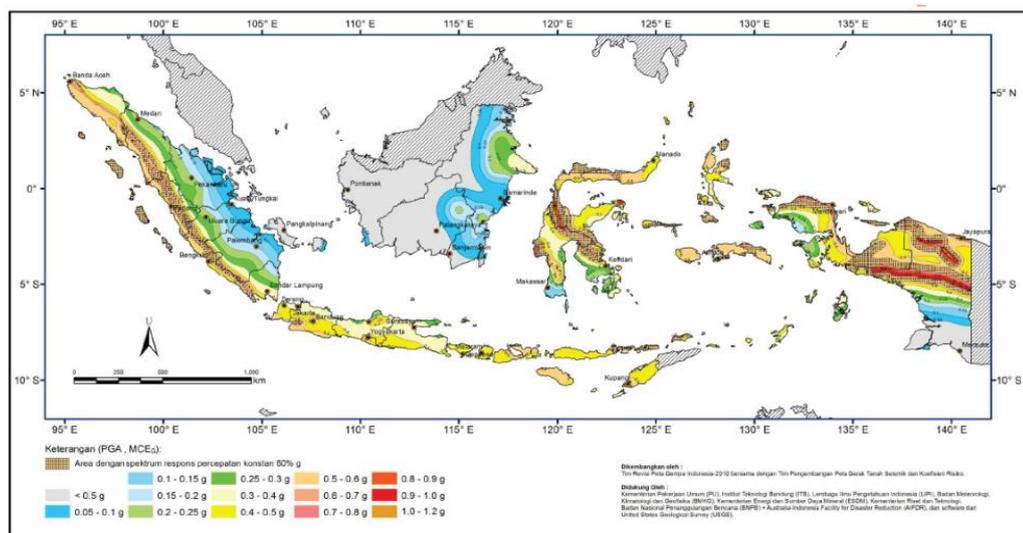
## **2.8 Faktor Gempa Pada Struktur**

Gempa bumi memberikan pengaruh langsung pada konstruksi bangunan melalui intensitas lokal dari gempa yaitu besar kecilnya getaran permukaan dilokasi bangunan berdiri. Intensitas gempa dinyatakan dalam satuan ( $m/s^2$ ). Saat tanah dalam keadaan diam berat bangunan tersebut ditopang langsung oleh tanah sesuai dengan percepatan gravitasi. Ketika gempa bumi terjadi permukaan tanah akan bergerak sesuai dengan percepatan gempa bumi tersebut hal ini menunjukkan bahwa tanah yang mula-mula diam hingga bergerak mempunyai kecepatan tertentu. Adanya percepatan tanah yang terjadi akibat gempa akan menimbulkan gaya dorong tersebut dinamakan gaya inersia yang mempunyai kecenderungan agar bangunan tetap berada pada kondisi semula dengan cara melawan arah gerakan percepatan tanah akibat gempa. Besarnya gaya inersia yang timbul akibat percepatan tanah tersebut adalah gaya inersia (*Newton*) = massa bangunan (kg) x percepatan tanah ( $m/s^2$ ). Semakin besar massa bangunan akan

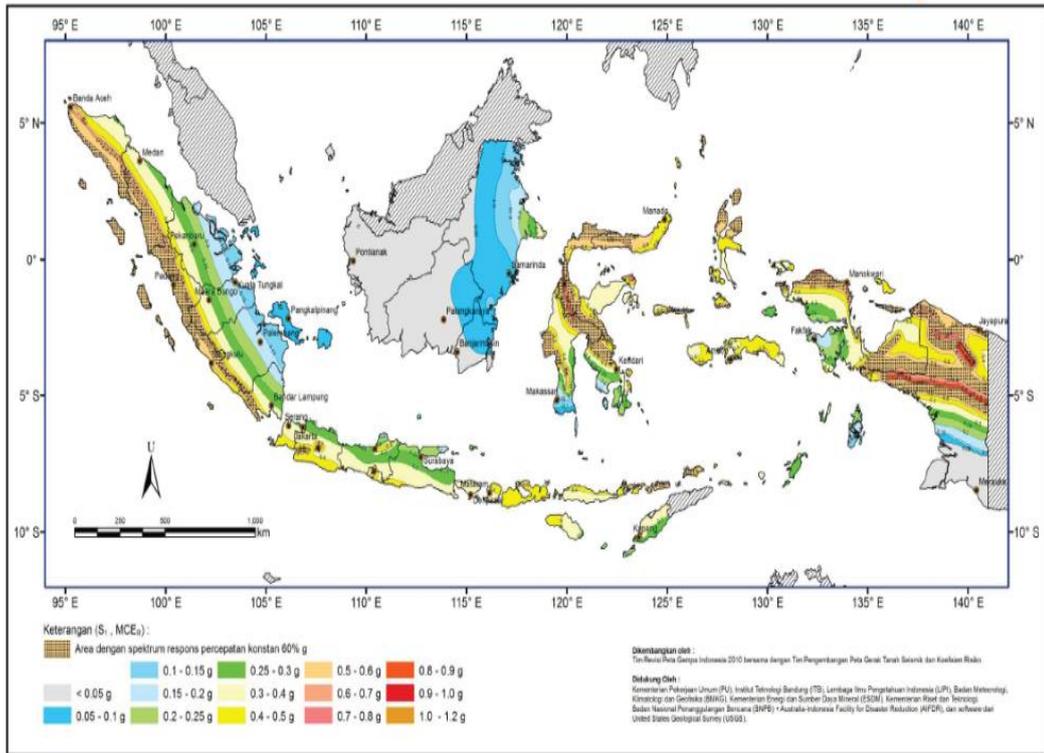
semakin besar percepatan tanah tersebut, semakin besar pula gaya inersia yang timbul oleh karena itu, bangunan yang menggunakan material lebih ringan akan lebih tahan terhadap guncangan akibat gempa bumi. Akibat pengaruh gempa rencana, setiap struktur gedung menurut SNI 03:1726:2012 direncanakan untuk tetap masih berdiri, tetapi sudah mencapai kondisi diambang keruntuhan.

Faktor gempa yang berpengaruh pada respon atau reaksi struktur bangunan adalah lamanya waktu gempa dan rentang frekuensi gempa. Durasi gempa berpengaruh pada besarnya perpindahan energi dan vibrasi tanah ke energi struktur (*energi depiasi*). Gempa dengan percepatan sedang dan durasi yang lama menyebabkan kerusakan lebih besar dibandingkan dengan gempa yang memiliki percepatan besar tetapi durasinya singkat.

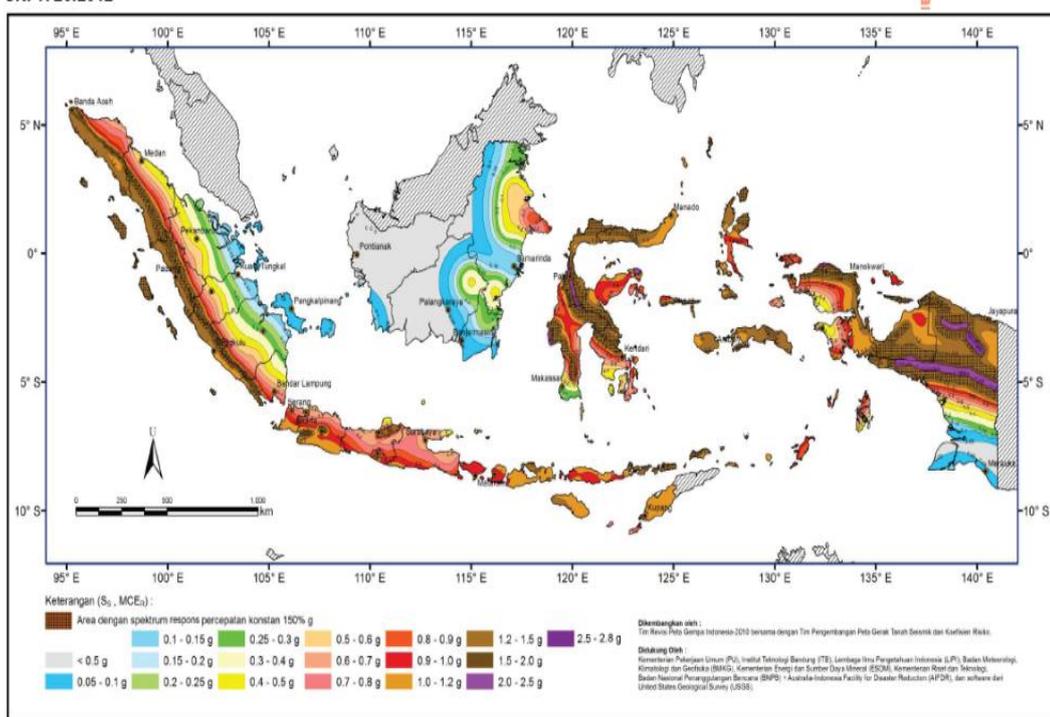
Pada umumnya, desain struktur bangunan tahan gempa merupakan desain yang mengatur hubungan antara respon gaya gempa horizontal yang bekerja pada struktur (faktor kekuatan), kekakuan struktur (*stiffness*) dan deformasi lateral struktur. Kekuatan elemen struktur dirancang agar saat terjadi gempa kekuatannya dapat tercapai (*capacity design*). Karena struktur mempunyai kekakuan, didalam suatu perpindahan yang terjadi pada struktur. Redaman (*damping*) diperlukan oleh struktur sebagai penyerap energi gempa. Elemen yang daktail akan mampu berdeformasi melebihi batas kekuatan elastisnya dan akan terus mampu menahan beban sehingga mampu menyerap energi gempa yang lebih besar.



Gambar 2.13 : Peta percepatan puncak (PGA) di batuan dasar ( $S_B$ ) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun (SNI 03:1726:2012).



Gambar 2.14: Peta respon spektra percepatan 0.2 detik ( $S_0$ ) di batuan dasar ( $S_B$ ) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun (SNI 03:1726:2012).

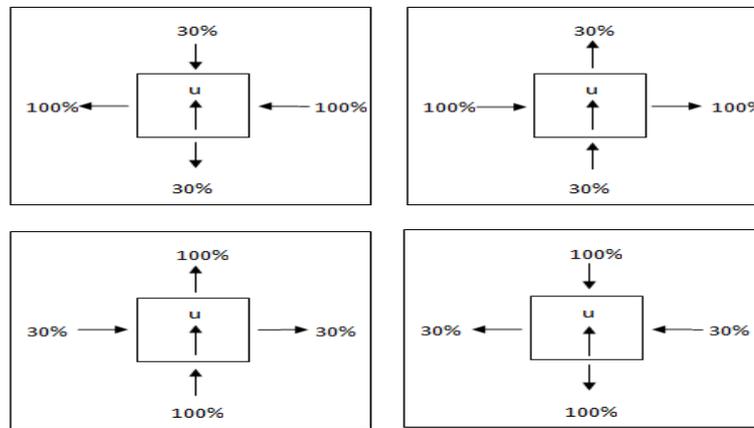


Gambar 2.15: Peta respon spektra percepatan 1.0 detik ( $S_1$ ) di batuan dasar ( $S_B$ ) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun (SNI 03:1726:2012).

## 2.9 Arah Pembebanan dan Penentuan Respon Spektra

Dalam perencanaan struktur gedung, arah utama pengaruh gempa rencana harus ditentukan sedemikian rupa sehingga member pengaruh terbesar terhadap unsur-unsur subsistem dan sistem struktur gedung secara keseluruhan.

Untuk mensimulasikan pengaruh gempa rencana yang sembarang terhadap struktur gedung, pengaruh pembebanan gempa dalam arah utama yang ditentukan harus dianggap efektif 100% dan harus dianggap terjadi bersamaan dengan pengaruh pembebanan gempa dalam arah tegak lurus pada arah utama pembebanan tadi, tetapi dengan efektifitas 30%.



Gambar 2.16: Arah pembebanan gempa.

Dengan mengacu pada SNI 03:1726:2012 untuk kombinasi pembebanannya menggunakan Pers. yang dijelaskan dibawah ini:

1.  $1,4 D$
2.  $1,2 D + 1,6 L + 0,5 (L_r \text{ atau } R)$
3.  $1,2 D + 1,6 (L_r \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5 W)$
4.  $1,2 D + 1,0 W + L + 0,5 (L_r \text{ atau } R)$
5.  $1,2 D + 1,0 E + L$
6.  $0,9 D + 1,0 W$
7.  $0,9 D + 1,0 E$

Untuk menentukan respon spektra percepatan gempa di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada perioda 0,2 detik dan perioda 1

detik. Faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran peroda pendek ( $F_a$ ) dah faktor amplifikasi yang mewakili getaran perioda 1 detik ( $F_v$ ). Parameter spektrum respon percepatan pada perioda pendek ( $S_{MS}$ ) dan perioda 1 detik ( $S_{M1}$ ) yang disesuaikan dengan klasifikasi situs, sesuai dengan Pers. 2.3 dan 2.4.

$$S_{MS} = F_a S_{Ms} \quad (2.3)$$

$$S_{M1} = F_v S_{M1} \quad (2.4)$$

Keterangan :

$S_s$  Nilai spektra percepatan untuk perioda pendek 0.2 detik dibatuan dasar

$S_I$  Nilai spektra percepatan untuk perioda 1.0 detik di batuan dasar ( $S_B$ )

$F_a$  Koefisien perioda pendek

$F_v$  Koefisien perida 1.0 detik

Tabel 2.1 : Koefisien situs,  $F_a$ .

Kelas Situs	Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa Pada Perioda Pendek, T=0,2 detik, $S_s$				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s \geq 1,25$
Batuan Keras ( $S_A$ )	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Batuan ( $S_B$ )	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Tanah Sangat Padat dan Batuan Lunak ( $S_C$ )	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
Tanah Sedang ( $S_D$ )	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
Tanah Lunak ( $S_E$ )	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
Tanah Khusus ( $S_F$ )	SS				

Tabel 2.2 : Koefisien situs,  $F_v$ .

Kelas Situs	Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa Pada Periode Pendek, T=1 detik, $S_1$				
	$S_s \leq 0,1$	$S_s = 0,2$	$S_s = 0,3$	$S_s = 0,4$	$S_s \geq 0,5$
Batuan Keras ( $S_A$ )	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Batuan ( $S_B$ )	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Tanah Sangat Padat dan Batuan Lunak ( $S_C$ )	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
Tanah Sedang ( $S_D$ )	2,4	2	1,8	1,6	1,5
Tanah Lunak ( $S_E$ )	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
Tanah Khusus ( $S_F$ )	SS				

Selanjutnya, untuk mendapatkan parameter respon spektra percepatan desain untuk perioda perioda pendek dan perioda 1 detik dapat diperoleh melalui Pers. 2.5 dan 2.6:

$$S_{DS} = \mu S_{MS} \quad (2.5)$$

$$S_{DI} = \mu S_{MI} \quad (2.6)$$

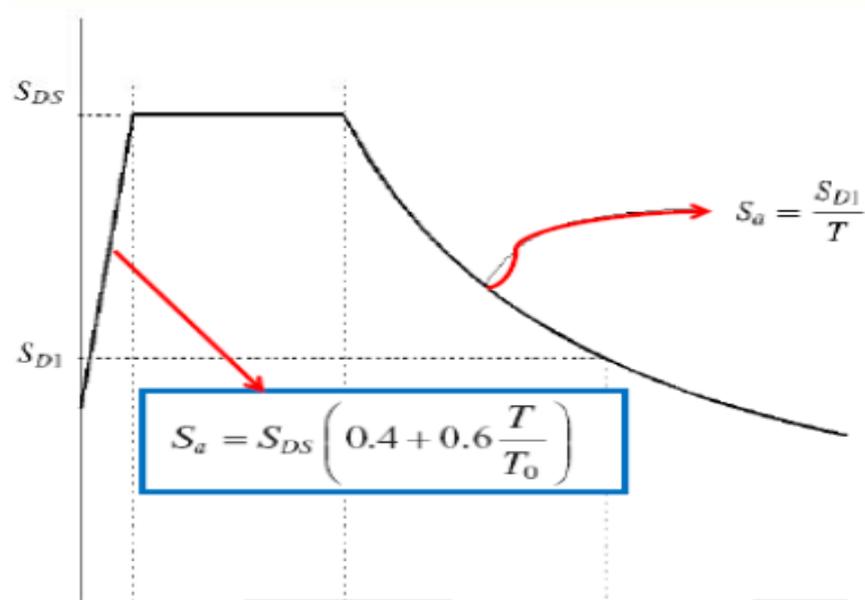
Keterangan:

$S_{DS}$  respon spektra percepatan desain untuk perioda pendek

$S_{DI}$  respon spektra percepatan desain untuk perioda 1 detik.

$\mu$  konstanta yang tergantung pada peraturan perencanaan bangunan yang digunakan, misalnya untuk IBC-2009 dan ASCE 7-10 dengan gempa 2500 tahun menggunakan nilai  $\mu$  sebesar  $2/3$  tahun.

Selanjutnya respon spektra desain dipermukaan tanah yang dapat ditetapkan sesuai dengan Gambar 2.18:



Gambar 2.17: Spektrum respon desain dipermukaan tanah (SNI 03:1726:2012).

Keterangan:

1. Untuk perioda lebih kecil dari  $T_0$ , respon spektra percepatan,  $S_a$  didapatkan dari Pers. 2.7.

$$S_a = S_{DS} \left( 0.4 + 0.6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (2.7)$$

2. Untuk perioda lebih besar atau sama dengan  $T_0$ , dan lebih kecil atau sama dengan  $T_s$ , respon spektra percepatan,  $S_a$  didapatkan dari Pers.2.8.

$$S_a = \frac{S_{DS}}{T} \quad (2.8)$$

Untuk nilai  $T_0$  dan  $T_s$  dapat ditentukan dengan Pers. 2.9 dan 2.10.

$$T_0 = 0.2 T_s \quad (2.9)$$

$$T_s = \frac{S_{DS}}{S_{D1}} \quad (2.10)$$

## 2.10 Resiko Struktur Gedung dan Non Gedung

Sesuai pasal 4.1.2 pada SNI 03:1726:2012 yang menentukan kategori resiko struktur bangunan gedung dan non gedung. Pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan satuan faktor keutamaan. Khususnya untuk struktur bangunan dengan kategori resiko IV bila dibutuhkan pintu masuk untuk operasional dari struktur yang bersalahan, maka struktur bangunan yang bersalahan tersebut harus didesain dengan kategori resiko IV.

Tabel 2.3: Kategori resiko bangunan dan bangunan lainnya untuk beban gempa.

Jenis pemanfaatan	Kategori resiko
Gedung dengan resiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: <ul style="list-style-type: none"><li>• Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan dan perikanan</li><li>• Fasilitas sementara</li><li>• Gudang penyimpanan</li><li>• Rumah jaga dan struktur kecil lainnya</li></ul>	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori resiko I, III, IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: <ul style="list-style-type: none"><li>• Perumahan</li><li>• Rumah toko dan rumah kantor</li><li>• Pasar</li><li>• Gedung perkantoran</li><li>• Gedung apartemen/ rumah susun</li><li>• Pusan perbelanjaan/ mall</li><li>• Bangunan industri</li><li>• Fasilitas manufaktur</li><li>• Pabrik</li></ul>	II

Tabel 2.3: *Lanjutan.*

Jenis pemanfaatan	Kategori resiko
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bioskop</li> <li>• Gedung pertemuan</li> <li>• Stadion</li> <li>• Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit gawat darurat</li> <li>• Fasilitas penitipan anak</li> <li>• Penjara</li> <li>• Bangunan untuk orang jompo</li> </ul> <p>Gedung dan non gedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/ atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pusat pembangkit listrik biasa</li> <li>• Fasilitas penanganan air</li> <li>• Fasilitas penanganan limbah</li> <li>• Pusat telekomunikasi</li> </ul> <p>Gedung dan non gedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya =, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak dimana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p>	<p>III</p>

Tabel 2.3: *Lanjutan.*

Jenis pemanfaatan	Kategori resiko
<p>Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak di batasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bangunan-bangunan monumental</li> <li>• Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan</li> <li>• Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat</li> <li>• Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, angin badai, dan tempat perlindungan lainnya untuk tanggap darurat</li> <li>• Struktur tambahan ( termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat</li> </ul> <p>Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk kedalam kategori risiko IV.</p>	<p>IV</p>

Tabel 2.4: Faktor keutamaan gempa.

Kategori resiko	Faktor keutamaan gempa
I dan II	1,0
III	1,25
VI	1,50

Jenis tanah dikelompokkan menjadi 6 bagian, dengan pembagiannya berdasarkan besaran kecepatan rambat gelombang geser rata-rata ( $V_s$ ) nilai penetrasi standar rata-rata ( $N$ ) dan kuat geser nilai rata-rata.

Tabel.2.5: Klasifikasi situs.

Kelas	$V_s$ (m/det)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{ch}$	$S_u$ (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750-1500	N/A	N/A
SC(tanah keras)	350-750	> 50	$\geq 100$
SD (tanah sedang)	175-350	15-50	50-100
SE (tanah lunak)	< 175	< 15	< 50
SF (tanah khusus)	Tanah yang memiliki salah satu karakteristik berikut (berpotensi gagal saat gempa, lempung sangat organic, lempung berplastisitas tinggi)		

### 2.11. Kategori Desain Gempa

Struktur harus ditetapkan memiliki suatu kategori desain seismik yang mengikuti Pasal 6.5. pada SNI 03:1726:2012 struktur dengan kategori resiko I, II, atau III yang berlokasi dimana parameter respon spektral percepatan terpetakan

dan perioda 1 detik,  $S_1$  lebih besar dari atau sama dengan 0,75 harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik E. Struktur yang beresiko IV yang berlokasi dimana parameter respons spektra percepatan terpetakan pada perioda 1 detik  $S_1$  lebih besar atau sama dengan 0,75 harus ditetapkan sebagai struktur kategori desain seismik F. semua struktur lainnya harus ditetapkan kategori desain seismik-nya berdasarkan kategori risikonya dan parameternya respon spektra perepatan desainnya  $S_{DS}$  dan  $S_{D1}$ , sesuai Pasal 6.3 pada SNI 03:1726:2012 masing-masing bangunan harus dimasukkan dalam kategori desain seismik yang lebih parah, dengan mengacu pada Tabel 6 dan 7 pada SNI 03:1726:2012. Terlepas dari nilai perioda *fundamental* getaran struktur T.

Tabel 2.6: Kategori desain seismik berdasarkan parameter respon percepatan pada perioda pendek.

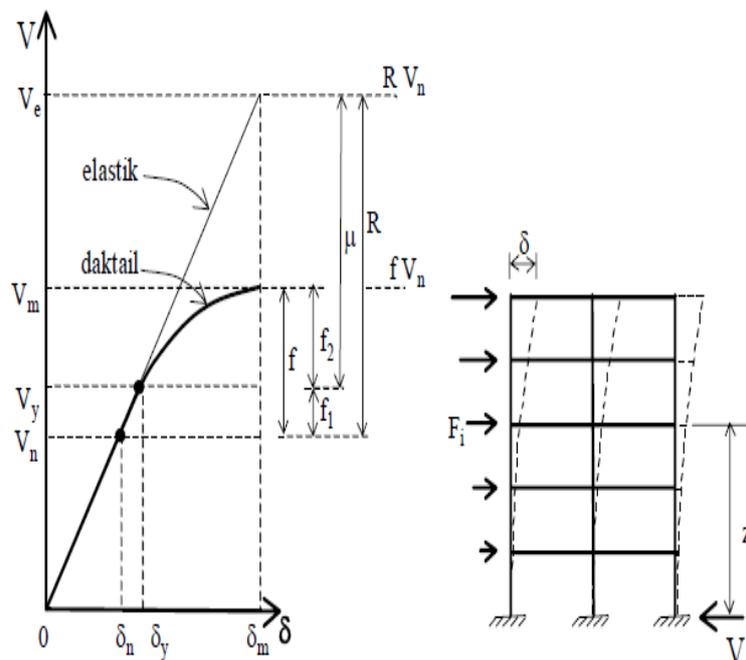
Nilai $S_{DS}$	Kategori resiko	
	I, II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,033$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,50 \leq S_{D1}$	D	D

Tabel 2.7: Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda 1 detik.

Nilai $S_{D1}$	Kategori resiko	
	I, II atau III	IV
$S_{D1} < 0,067$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{D1}$	D	D

### 2.11.1 Struktur Penahan Gaya Gempa

Sistem penahan gaya seismik lateral dan vertikal dasar harus memenuhi salah satu tipe yang telah ditetapkan pada SNI 03:1726:2012 Pasal 7.2. setiap tipe dibagi-bagi berdasarkan tipe elemen vertikal yang digunakan untuk menahan gaya seismik lateral. Setiap seismik penahan gaya seismik dipilih harus dirancang dan didetailkan sesuai dengan persyaratan khusus bagi sistem yang telah ditetapkan.



Gambar 2.18: Diagram beban simpangan struktur gedung (SNI 03:1726:2012).

### 2.11.2. Gaya Geser Dasar Gempa dan Beban Lateral Gempa

Sesuai Pasal 7.8 pada SNI 03:1726:2012 gaya geser seismik  $V$ , dalam arah yang ditentukan harus sesuai dengan Pers 2.11.

$$V = C_s W \quad (2.11)$$

Keterangan:

$C_s$  : Koefisien respon seismik yang ditentukan

$W$  : Berat seismik efektif

Koefisien respon seismik,  $C_s$  harus ditentukan

$$C_S = \frac{S_{D1}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.12)$$

Nilai  $C_S$  yang dihitung tidak perlu melebihi berikut ini:

$$C_S = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (2.13)$$

$C_S$  harus tidak dikurang dari

$$C_S = 0,044 S_{DS} \geq 0,01$$

Sebagai tambahan, untuk struktur yang berlokasi di daerah dimana  $S_1$  sama dengan atau lebih besar dari 0,6 g maka  $C_S$  harus tidak kurang dari:

$$C_S = \frac{0,5S_1}{\frac{R}{I_e}} \quad (2.14)$$

Keterangan:

$S_{D1}$  Parameter percepatan spectrum respon desain pada perioda sebesar 1 detik.

$S_{DS}$  Parameter percepatan spectrum respon desain dalam rentang perioda pendek.

$S_1$  Parameter percepatan spectrum respon maksimum yang dipetakan.

$T$  Perioda fundamental struktur (detik).

$R$  Faktor modifikasi respon dalam.

$I_e$  Faktor keutamaan gempa.

Gaya gempa yang timbul disemua tingkat harus ditentukan dari Pers 2.13. berikut ini, dan sesuai dengan SNI 03:1726:2012 pada Pasal 7.8.3

$$F_x = C_{vx} \cdot V \quad (2.15)$$

$$C_{vx} = \frac{W_x(h_x^k)}{\sum_{i=1}^n W_i h_x^k} \quad (2.16)$$

Keterangan:

$C_{vx}$  Faktor distribusi vertikal.

$V$  Gaya lateral desain total atau geser didasar struktur (kN).

$W_i$  dan  $W_x$  Bagian berat seismik efektif total struktur ( $W$ ) yang ditempatkan atau dikenakan pada tingkat  $i$  atau  $x$ .

$h_i$  dan  $h_x$  Tinggi (m) dari dasar sampai tingkat  $i$  atau  $x$ .

$k$  Eksponen yang terkait dengan perioda struktur sebagai berikut:

untuk struktur yang mempunyai perioda sebesar 0,5 detik atau kurang,  $k = 1$

untuk struktur yang mempunyai perioda sebesar 2,5 detik atau lebih,  $k = 2$

untuk struktur yang mempunyai perioda antara 0,5 dan 2,5 detik,  $k$  harus sebesar 2 atau harus ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2.

Geser tingkat desain gempa di semua tingkat ( $V_x$ ) (kN) harus ditentukan dari Pers. 2.17:

$$V_x = \sum_{i-x}^n F_i \quad (2.17)$$

Keterangan:

$F_i$  Bagian dari geser dasar seismik ( $V$ ) (kN) yang timbul di tingkat  $i$ .

### 2.11.3. Penentuan Perioda

Berdasarkan SNI 03:1726:2012 Pasal 7.8.2, yaitu nilai minimum perioda bangunan ( $T_{a_{minimum}}$ ) dan nilai maksimum perioda bangunan ( $T_{a_{max}}$ ). Perioda fundamental struktur,  $T$ , dalam arah yang ditinjau harus diperoleh menggunakan property struktur dan karakteristik deformasi elemen penahan dalam analisis yang teruji. Perioda fundamental struktur tidak boleh melebihi hasil koefisien untuk batasan atas pada perioda yang dihitung ( $C_u$ ) dari Tabel 2.8 dan perioda fundamental pendekatan  $T_a$ , yang ditentukan sesuai dengan Pers 2.18 dan Pers 2.19

Tabel 2.8: Koefisien untuk batas atas pada perioda yang dihitung.

Parameter percepatan respons spectral desain pada 1 detik, $S_{DI}$	Koefisien $C_u$
$\geq 0.4$	1.4
0.3	1.4
0.2	1.5
0.15	1.6
$\leq 0.1$	1.7

Tabel 2.9: Nilai parameter perioda pendekatan  $C_t$  dan  $X$ .

Tipe struktur	$C_t$	$X$
Sistem rangka pemikul momen dimana rangka memikul 100 persen gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dilngkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebihh kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa;		
Rangka baja pemikul momen	$0.0724^a$	0.8
Rangka beton pemikul momen	$0.0466^a$	0.9
Rangka baja dengan bresing eksentris	$0.0731^a$	0.75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	$0.0731^a$	0.75
Semua sistem struktur lainnya	$0.0488^a$	0.75

Nilai minimum perioda bangunan ( $T_{a_{minium}}$ ) ditentukan oleh Pers.2.18.

$$T_{a_{minium}} = C_{ts} \cdot h_n^x \quad (2.18)$$

Nilai minimum perioda bangunan ( $T_{a_{max}}$ ) ditentukan oleh Pers.2.19.

$$T_{a_{max}} = C_u \cdot T_a \quad (2.19)$$

Keterangan:

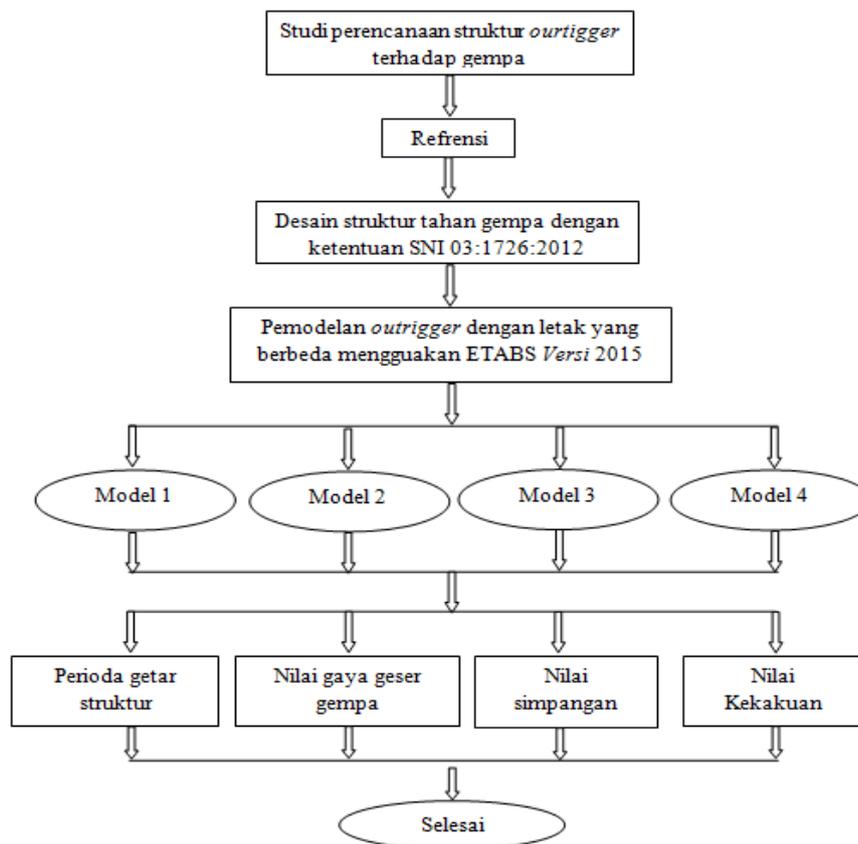
$Ta_{minium}$	Nilai batas bawah perioda bangunan.
$h_n$	Ketinggian struktur dalam m diatas dasar sampai tingkat tertinggi struktur.
$C_u$	Ditentukan dari Tabel 2.8
$C_t$	Ditentukan dari Tabel 2.9
$x$	Ditentukan dari Tabel 2.9

## BAB 3

### METODOLOGI

#### 3.1 Pemodelan Sistem Struktur

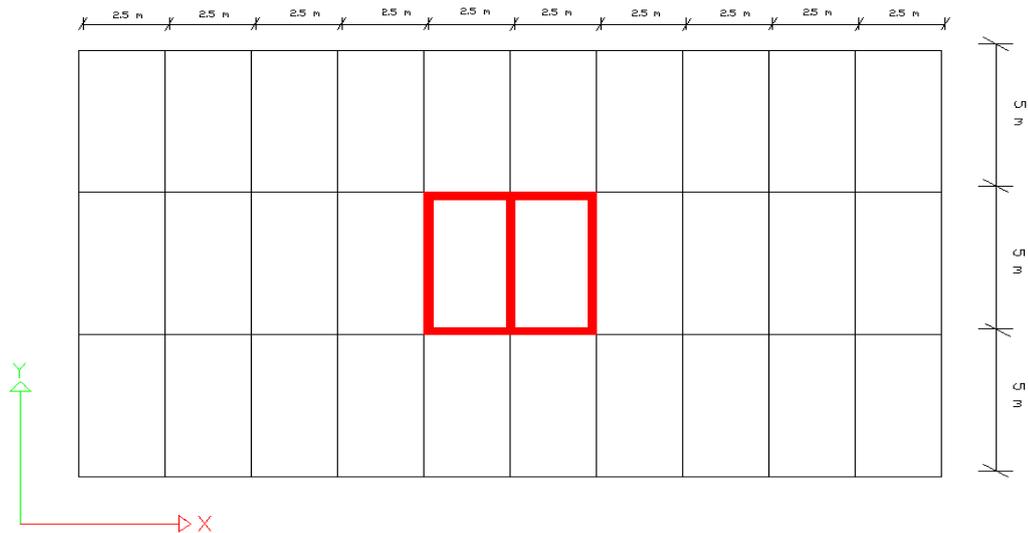
Struktur pada tugas akhir ini dimodelkan sebagai struktur yang menggunakan *outrigger* dan dinding geser dalam tiga dimensi. pemodelan dilakukan dengan menggunakan *software Etabs* version 2015. Analisis model dilakukan dengan melihat pengaruh penambahan *outrigger* pada struktur, sehingga variabel perubah model adalah penempatan dan jumlah *outrigger* pada struktur. Adapun langkah-langkah perencanaan dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



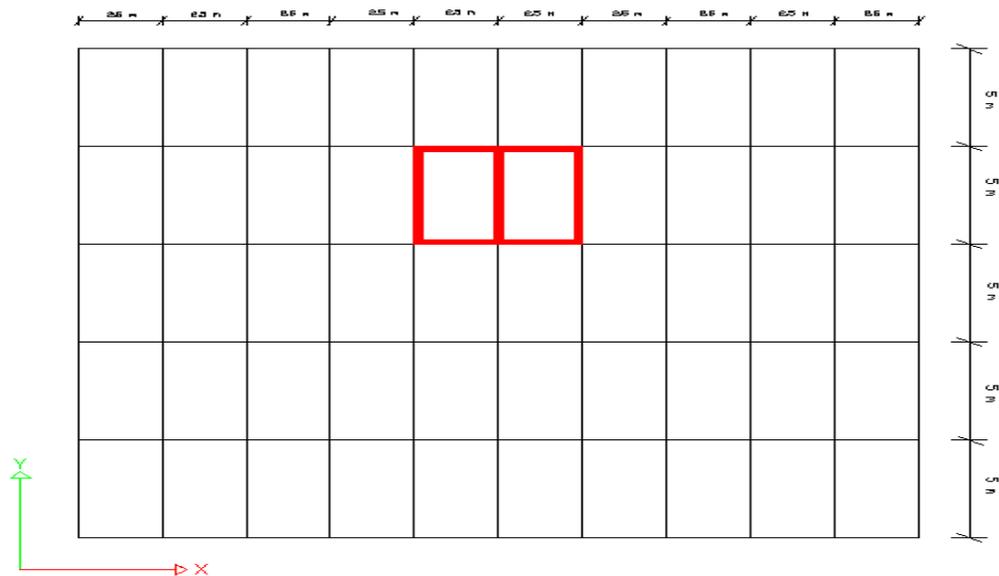
Gambar 3.1: Diagram alir penelitian.

Berdasarkan ruang lingkup pekerjaan yang dijelaskan pada bab 1 maka bentuk struktur utama yang akan dianalisis yaitu struktur gedung 10 lantai. Struktur ini

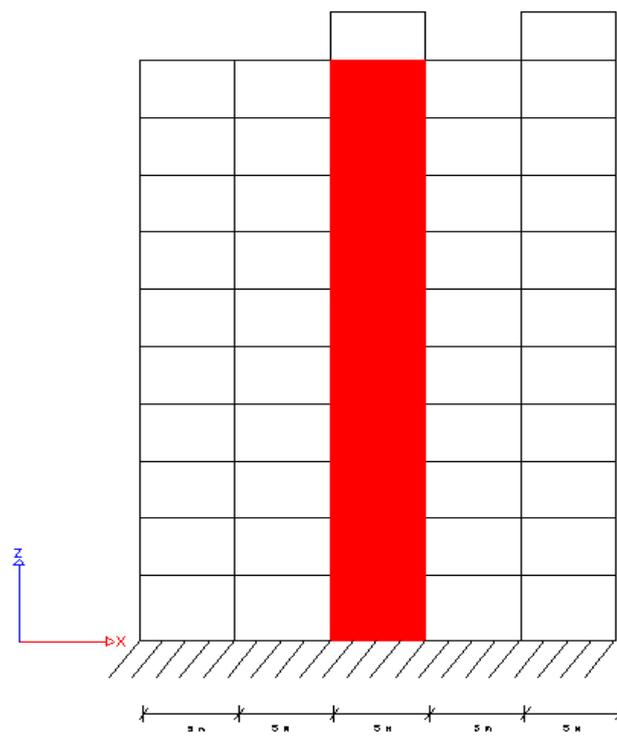
dimodelkan sebagai struktur rangka yang menggunakan *core wall* dan *outrigger* dalam bentuk tiga dimensi. Pemodelan dilakukan dengan menggunakan *software* ETABS *versi* 15. Selain menggunakan balok induk bentang 5 meter, juga dipasang balok anak untuk mengurangi ketebalan plat lantai dan analisis model dilakukan dengan melihat pengaruh penambahan *outrigger* pada struktur, sehingga variabel perubahan model adalah penempatan *outrigger* pada struktur. Berikut denah struktur yang direncanakan :



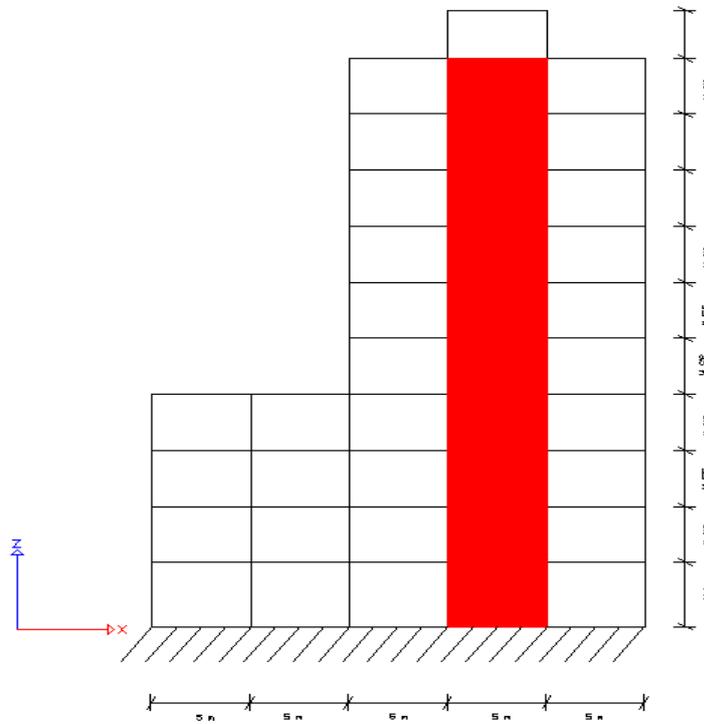
Gambar 3.2: Denah struktur lantai 10.



Gambar 3.3: Tampak atas denah struktur lantai 4.

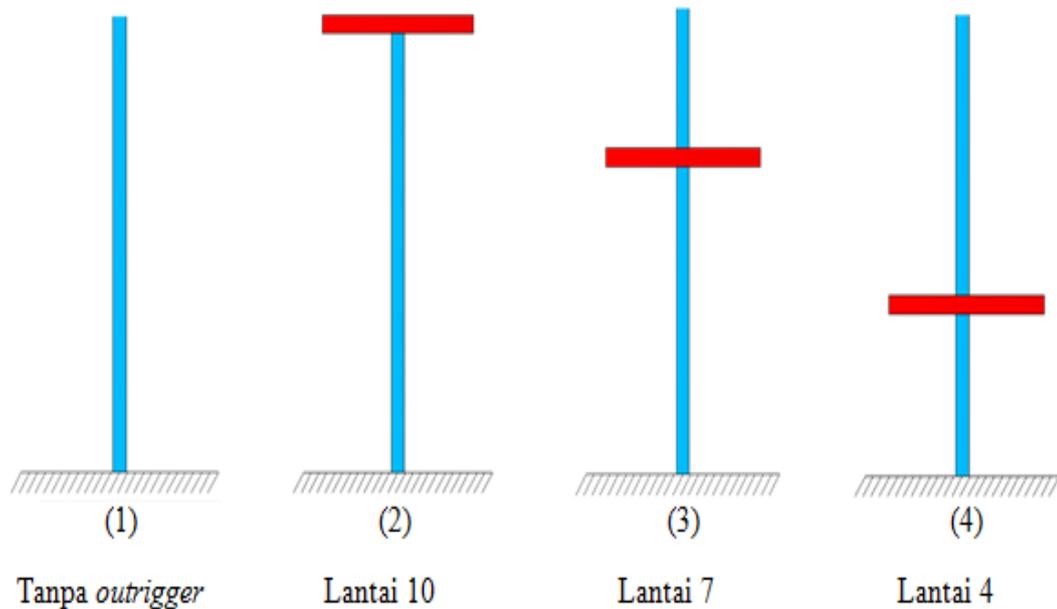


Gambar 3.4: Tampak belakang struktur.



Gambar 3.5: Tampak samping struktur.

Pada pemodelan struktur direncanakan gedung dengan 10 lantai yang akan direncanakan sebanyak 4 model dimana terdapat variasi penggunaan *outrigger* seperti pada gambar di bawah ini:



Gambar 3.6: Variasi letak pemasangan *outrigger*.

### 3.2 Pembebanan Struktur

Beban-beban yang diperhatikan dalam mendesain struktur gedung yang didefinisikan diatas yaitu:

- Beban Mati (DL)
- Beban Hidup (LL)
- Beban Gempa (E)

#### 3.2.1 Beban Mati (*Dead Load*)

Beban mati adalah beban yang diakibatkan oleh berat konstruksi permanen, termasuk dinding lantai, atap, plafon, partisi, tangga. berikut beban mati yang akan didefinisikan akan bekerja pada konstruksi gedung, yaitu:

- a. Berat sendiri struktur:
  - Berasal dari komponen dinding geser, *outrigger*, balok dan kolom bangunan

- Berasal dari plat (dalam tugas ini digunakan plat dengan ketebalan 120 mm ).

Tabel 3.1: Berat jenis material.

Beban Mati	Mutu Beban Material
Beton bertulang	2400 kg/m <sup>2</sup>
Baja	7850 kg/m <sup>2</sup>

b. Beban mati tambahan

Adalah beban mati yang bekerja setelah struktur utama selesai, seperti:

- Lantai gedung
  - Spesi lantai keramik (t =2 cm) = 53 kg/m
  - Penutup lantai keramik = 24 kg/m<sup>2</sup>
  - Plafon + penggantung = 18 kg/m<sup>2</sup>
  - M & E = 25 kg/m<sup>2</sup>
  - Total beban mati = 120 kg/m<sup>2</sup>
- Lantai atap
  - Plafont + penggantung = 18 kg/m<sup>2</sup>
  - Waterproof = 5 kg/m<sup>2</sup>
  - Plasteran = 53 kg/m<sup>2</sup>
  - M & E = 25 kg/m<sup>2</sup>
  - Total beban mati = 101 kg/m<sup>2</sup>
- Pelat tangga
  - Berat anak tangga = 169,526 kg/m<sup>2</sup>
  - Adukan semen (t = 2 cm) = 0,42 kg/m<sup>2</sup>
  - Penutup lantai keramik = 24 kg/m<sup>2</sup>
  - *Handrill* = 10 kg/m<sup>2</sup>
  - Total beban mati = 203,946 kg/m<sup>2</sup>

- Pelat bordes
  - Adukan semen ( $t= 2 \text{ cm}$ )  $= 0,42 \text{ kg/m}^2$
  - Penutup lantai keramik  $= 24 \text{ kg/m}^2$
  - Total beban mati  $= 24,42 \text{ kg/m}^2$
- Beban Lift  $= 315 \text{ kg/ m}^2$

### 3.2.2 Beban Hidup (*Live Load*)

Beban hidup adalah beban yang terjadi secara temporer dan tidak permanen, artinya tidak pasti terjadi setiap saat. Beban hidup merupakan beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung, dan termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah, mesin-mesin serta peralatan yang tidak merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari gedung dan dapat diganti selama masa layan dari gedung itu, sehingga mengakibatkan perubahan pembebanan lantai dan atap.

Beban hidup yang bekerja pada lantai gedung direncanakan sesuai dengan pedoman perencanaan pembebanan untuk rumah dan gedung (1978), dan beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan strukyur lain (SNI 1727:2013) antara lain;

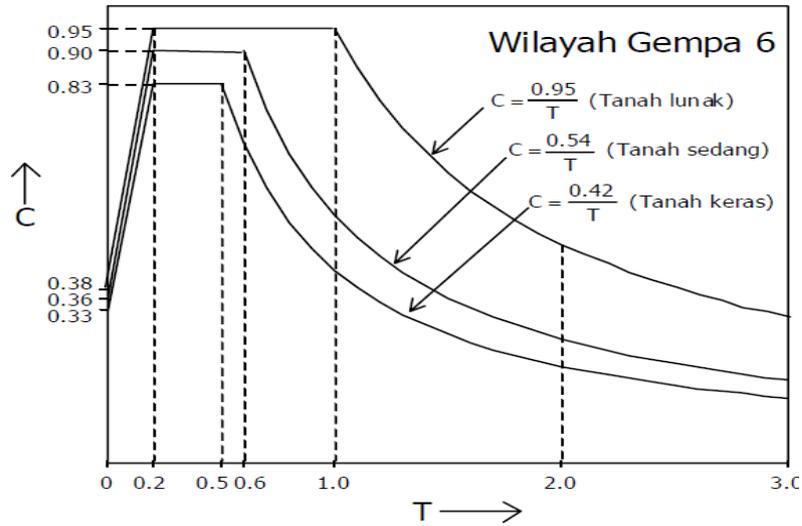
- Pada lantai gedung  $= 240 \text{ kg/m}^2$
- Lantai  $= 100 \text{ kg/m}^2$
- Pelat tangga dan bordes  $= 300 \text{ kg/m}^2$
- Lantai ruang mesin *lift*  $= 400 \text{ kg/m}^2$

### 3.2.3 Beban Gempa (E)

Beban gempa adalah beban statik ekuivalen yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang menirukan pengaruh dari permukaan tanah akibat gempa. Beban gempa rencana adalah nilai beban gempa yang peluang dialmpauinya selama masa layan gedung 50 tahun adalah 10 % atau nilai beban gempa yang perioda ulangnya sebesar 500 tahun.

Beban gempa dengan gempa kuat pada wilayah 6 zona gempa Indonesia dengan kondisi tanah lunak, dengan parameter  $C_a = 0,38$  dan  $C_v = 0,95$ .

Berikut gambar Respon Spektrum Gempa Rencana Wilayah 6.



Gambar 3.7: Respon spektrum gempa rencana wilayah 6.

### 3.2.4 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan diperlukan dalam sebuah perencanaan struktur bangunan. Pada saat konstruksi, tentunya beban-beban yang bekerja pada struktur hanyalah beban-beban mati saja dan beban hidup. Sementara akibat dari pekerja bangunan tidak diperhitungkan. Pada masa layan, beban-beban tersebut akan ditambah dengan beban-beban hidup permanen dari aktivitas pemakaian gedung dan barang-barang inventaris yang dapat bergerak di dalam gedung. Hal ini tentunya akan berdampak pada kekuatan rencana elemen struktur yang direncanakan berdasarkan kombinasi pembebanan terbesar akibat penjumlahan beban-beban yang bekerja. Berdasarkan SNI kombinasi pembebanan yang dipakai pada struktur gedung disajikan dalam Tabel 3.2.

Tabel 3.2: Kombinasi pembebanan yang digunakan.

KOMBINASI PEMBEBANAN								
Kombinasi	Koefisien		Koefisien		Koefisien		Koefisien	
Kombinasi 1	1,4	DL	0	LL	0	EX	0	EY

Tabel 3.2: *Lanjutan.*

KOMBINASI PEMBEBANAN								
Kombinasi	Koefisien		Koefisien		Koefisien		Koefisien	
Kombinasi 2	1,2	DL	1,6	LL	0	EX	0	EY
Kombinasi 3	1,43	DL	1	LL	0,39	EX	1,3	EY
Kombinasi 4	0,97	DL	1	LL	-0,39	EX	-1,3	EY
Kombinasi 5	1,07	DL	1	LL	0,39	EX	-1,3	EY
Kombinasi 6	1,33	DL	1	LL	-0,39	EX	1,3	EY
Kombinasi 7	1,43	DL	1	LL	1,3	EX	0,39	EY
Kombinasi 8	0,97	DL	1	LL	-1,3	EX	-0,39	EY
Kombinasi 9	1,33	DL	1	LL	1,3	EX	-0,39	EY
Kombinasi 10	1,07	DL	1	LL	-1,3	EX	0,39	EY
Kombinasi 11	1,13	DL	0	LL	0,39	EX	1,3	EY
Kombinasi 12	0,67	DL	0	LL	-0,39	EX	-1,3	EY
Kombinasi 13	0,77	DL	0	LL	0,39	EX	-1,3	EY
Kombinasi 14	1,03	DL	0	LL	-0,39	EX	1,3	EY
Kombinasi 15	1,13	DL	0	LL	1,3	EX	0,39	EY
Kombinasi 16	0,67	DL	0	LL	-1,3	EX	-0,39	EY
Kombinasi 17	1,03	DL	0	LL	1,3	EX	-0,39	EY
Kombinasi 18	0,77	DL	0	LL	-1,3	EX	0,39	EY

Kombinasi pembebanan gempa zona tinggi dengan faktor reduksi 1,3 dan  $S_{DS}$  0,9.

### 3.3 Faktor Respon Gempa (C)

Berdasarkan SNI 03:1726:2012, wilayah gempa Indonesia dengan percepatan puncak batuan dasar dengan perioda ulang 500 tahun. Kondisi tanah adalah tanah lunak. Sehingga faktor respon gempa di wilayah 6 dengan kondisi tanah lunak adalah seperti disajikan dalam Tabel 3.3.

Tabel 3.3: Faktor respon gempa wilayah 6.

Waktu (detik)	Koefisien Gempa (C)
0.000	0.239
0.201	1.004
0.4	1.004
0.6	1.004
0.8	1.004
1.0045	1.004
1.2045	0.789
1.4045	0.676
1.6045	0.592
1.8045	0.526
2.0045	0.474
2.2045	0.431
2.4045	0.395
2.6045	0.365
2.8045	0.339
3.0045	0.316
3.2045	0.296
3.4045	0.279
3.6045	0.264
4.0045	0.237
3.0845	0.250

Menurut SNI 03:1726:2012, spektrum respon gempa desain harus dianalisis terlebih dahulu. Dengan data  $PGA = 0,6$  g (Gambar 2.13),  $S_s = 0,8$  g (Gambar 2.14) dan  $S_1 = 0,6$  g (Gambar 2.15) yang berada di kota Bandar Lampung, tahap-tahap yang perlu dilakukan untuk membuat spektrum respon gempa desain dapat dilakukan sebagai berikut:

a. Penentuan koefisien  $Fa$

➤ Koefisien  $Fa$

Koefisien  $Fa$  ditentukan berdasarkan beberapa parameter, yaitu nilai  $S_s$  yang terdapat pada Tabel 2.1 dan berdasarkan jenis tanah lunak. Maka diperoleh nilai  $Fa$  di bawah ini.

$$Fa = 1,12$$

➤ Koefisien  $Fv$

Koefisien  $Fv$  ditentukan berdasarkan beberapa parameter, yaitu nilai  $S_1$  yang terdapat pada Tabel 2.2 dan berdasarkan jenis tanah lunak. Maka diperoleh nilai  $Fv$  di bawah ini.

$$Fv = 1,5$$

b. Penentuan nilai  $S_{MS}$  dan  $S_{MI}$

$$S_{MS} = Fa \times S_s$$

$$S_{MS} = 1,12 \times 0,8$$

$$S_{MS} = 0,896$$

$$S_{MI} = Fv \times S_1$$

$$S_{MI} = 1,5 \times 0,6$$

$$S_{MI} = 0,9$$

c. Penentuan nilai  $S_{DS}$  dan  $S_{DI}$

$$\text{Nilai } \mu = 2/3$$

$$S_{DS} = \mu \times S_{MS}$$

$$S_{DS} = (2/3) \times 0,896$$

$$S_{DS} = 0,597$$

$$S_{DI} = \mu \times S_{MI}$$

$$S_{DI} = (2/3) \times 0,9$$

$$S_{DI} = 0,6$$

d. Penentuan nilai  $T_s$  dan  $T_0$

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

$$T_s = \frac{0,6}{0,597}$$

$$T_s = 1,004$$

$$T_0 = 0,2 \times T_s$$

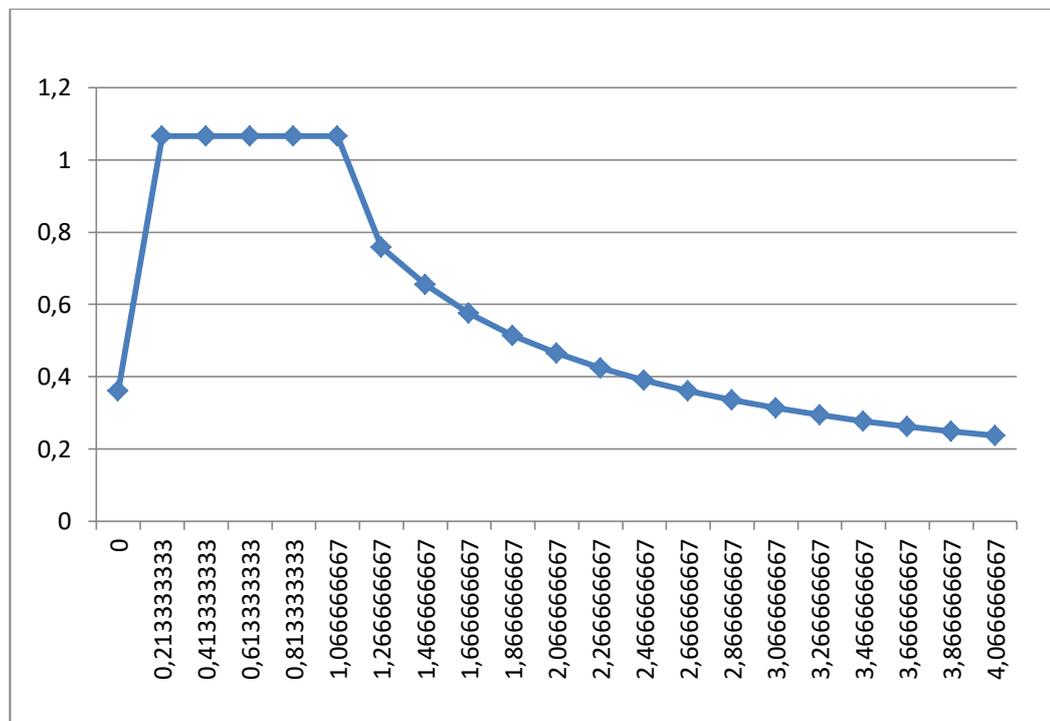
$$T_0 = 0,2 \times 1,004$$

$$T_0 = 0,201$$

e. Penentuan nilai  $S_a$

- Untuk periode yang lebih kecil dari  $T_0$ , spektrum respon percepatan desain ( $S_a$ ) harus diambil dari Pers. 2.7.
- Untuk periode yang lebih besar dari atau sama dengan  $T_0$  dan lebih kecil dari atau sama dengan  $T_s$ , spektrum respon desain  $S_a$  sama dengan  $S_{DS}$ .
- Untuk periode lebih besar dari  $T_s$ , spektrum respon percepatan desain  $S_a$  diambil berdasarkan Pers. 2.8.

Spektrum respon percepatan disajikan dalam Tabel 3.3 dan grafik respon spektrum diplot ke dalam *Microsoft Excel* seperti pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8: Grafik respon spektrum.

### 3.4 Analisa Respon Spektrum

Prosedur analisis respon spektrum dilakukan menggunakan program ETABS versi 15. Analisis respon spektrum ini dilakukan dengan metode kombinasi kuadrat lengkap (*Complete Quadratic Combination/CQC*) dengan input gaya gempa menggunakan respon spektra pada wilayah 6 dengan tanah lunak dan SNI

03:1726:2012 seperti pada Gambar 3.8 yang dijelaskan pada Sub Bab 3.3. Metode kombinasi kuadrat lengkap (*Complate Quadratic Combination/CQC*) diperoleh dari hasil selisih nilai perioda yang kurang dari 15%.

Selain itu, penjumlahan ragam respon menurut metode CQC atau SRSS harus sedemikian rupa sehingga partisipasi massa dalam menghasilkan respon total harus mencapai sekurang-kurangnya 90%. Untuk memperoleh nilai perioda dan partisipasi massa (*SumUX* dan *SumUY*) menggunakan program ETABS versi 15 yaitu pada *Structure Output (Modal Participating Mass Ratios)*.

Nilai akhir respon dinamik struktur gedung terhadap pembebanan gempa nominal akibat pengaruh gempa rencana dalam suatu arah tertentu, tidak boleh diambil kurang dari 85% nilai respon ragam yang pertama.

Untuk memperoleh nilai gaya geser dasar dari metode analisis respon spektrum dapat menggunakan program ETABS versi 15 yaitu nilai *Base Reactions* untuk arah pembebanan gempa.

Komponen struktur yang terdapat pada bangunan ini meliputi balok, kolom, pelat dan pondasi yang digunakan. Berikut akan direncanakan dimensi awal dari komponen-komponen struktur bangunan.

### **3.4.1 Material**

Material yang akan digunakan dalam merencanakan dan membangun struktur bangunan ini untuk kolom adalah material beton dengan  $f_c' 40$  MPa, sedangkan untuk balok, pelat lantai, bordes dan tangga menggunakan material beton  $f_c' 35$  Mpa, rebar yang digunakan BJTS 40 MPa dengan  $f_y 390$  MPa dan  $f_u 560$  MPa. Untuk *outrigger* digunakan baja dan BJ 41 MPa dengan  $f_y 250$  MPa dan  $f_u 410$  MPa.

### **3.4.2 Balok Dan Kolom**

Balok adalah elemen struktur yang dominan memikul gaya dalam berupa momen lentur dan juga geser.

Desain balok pada tugas akhir ini dibedakan berdasarkan besar beban yang bekerja secara vertikal terutama beban sendiri struktur, pelat serta beban hidup saat masa layan. Balok terdiri dari balok utama dan balok anak. Balok utama

adalah balok yang ujung-ujungnya bertumpu langsung pada kolom, sedangkan balok anak adalah balok-balok yang ujung-ujungnya bertumpu pada balok utama yang arahnya sejajar dengan arah Y global. Balok anak memiliki penampang yang lebih kecil dari balok utama karena balok anak menumpu pada balok utama yang tegak lurus terhadapnya.

Kolom adalah batang tekan vertikal dari rangka struktur yang memikul beban dari balok. Kolom merupakan suatu elemen struktur tekan yang memegang peran penting dari suatu bangunan, kolom tugas utamanya menyangga beban aksial tekan vertikal dan meneruskan beban seluruh bangunan ke pondasi. Saat terjadi gempa kolom menerima sebagian beban lateral yang sebelumnya didistribusi lebih besar kepada elemen *core wall*.

Tabel 3.4: Pendefinisian profil penampang pada tiap-tiap bangunan.

Model	Letak Outrigger	Balok		Kolom	Dimensi	
		Induk	Anak		Outrigger	Dinding Geser
1	Tanpa	400 x 600	250 x 250	800 x 800		300 x 300
		300 x 400		600 x 600		
				400 x 400		
				300 x 400		
2	10	400 x 600	250 x 250	800 x 800	150 x 150 x 7 x 10	300 x 300
		300 x 400		600 x 600		
				400 x 400		
				300 x 400		
3	7	400 x 600	250 x 250	800 x 800	150 x 150 x 7 x 10	300 x 300
		300 x 400		600 x 600		
				400 x 400		
				300 x 400		

Tabel 3.4: *Lanjutan.*

Model	Letak Outrigger	Balok		Kolom	Dimensi	
		Induk	Anak		Outrigger	
4	4	400 x 600	250 x 250	800 x 800	150 x150 x 7 x 10	300 x 300
		300 x 400		600 x 600		Dinding Geser
				400 x 400		
				300 x 400		

### 3.4.3 Pelat

Pelat yang digunakan pada model struktur bangunan ini yaitu pelat beton. Pelat beton digunakan sebagai pelat untuk atap dan lantai. Tebal pelat lantai adalah  $t = 12$  cm. Sedangkan untuk tebal plat untuk tangga dan bordes adalah  $t = 14$  cm.

### 3.4.4 Tumpuan

Pemodelan dilakukan dengan menganggap bahwa tumpuan memberikan kekekangan translasi dan rotasi yang cukup pada semua arah sumbu bangunan. Berdasarkan asumsi yang digunakan tersebut, pondasi dimodelkan sebagai perletakan jepit pada dasar lantai bangunan, yaitu pada ujung-ujung bawah kolom lantai dasar.

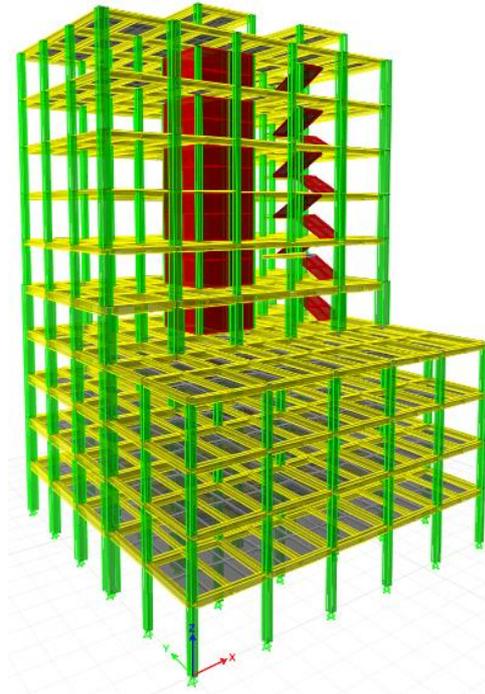
## 3.5 Pemodelan dan Analisa Struktur

Pada Tugas Akhir ini pemilihan jenis analisa yang digunakan yaitu analisa dinamik, dimana analisa dinamik yaitu analisa respon spektrum.

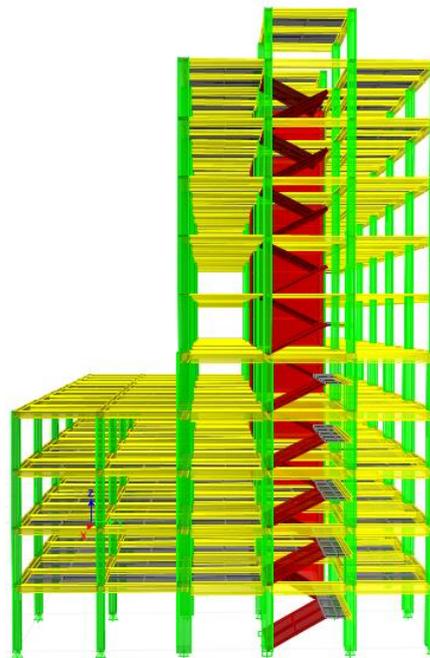
### 3.5.1 Model 1

Model gedung yang pertama atau Model 1 tanpa *outrigger* dengan jumlah 10 tingkat dengan panjang denah arah  $x = 25$  m dan arah  $y = 250$  m, memiliki tinggi

perlantai untuk lantai 1 = 4 m dan lantai seterusnya 3,5 m. Untuk pemodelan dari struktur dapat dilihat pada Gambar 3.9 dan Gambar 3.10.



Gambar 3.9: Pemodelan struktur proyeksi Model 1 tanpa *outrigger*.



Gambar 3.10: Pemodelan struktur proyeksi Model 1 tanpa *outrigger*.

### 3.5.1.1 Data Perencanaan Struktur Model 1

Pada tugas akhir ini akan dimodelkan suatu struktur bangunan perkantoran 10 lantai dengan lokasi bangunan berada di Provinsi Bandar Lampung. Data perencanaan karakteristik geometri bangunan sebagai berikut:

1. Bangunan perkantoran 10 tingkat.
2. Tinggi lantai dasar adalah 4 meter dan tinggi antar lantai selanjutnya adalah 3,5 meter.
3. Provinsi Bandar Lampung dengan kondisi tanah lunak.
4. Tanpa *outrigger*.

### 3.5.1.2 Faktor Keutamaan Gedung

Menurut SNI 03:1726:2012 dengan katagori resiko bangunan perkantoran dengan katagori resiko II maka nilai  $I_e = 1$ .

### 3.5.1.3 Nilai Waktu Getar Alami Fundamental

Nilai fundamental memiliki nilai batas minimum dan maksimum seperti yang telah dijelaskan pada Pers. 2.16 dan 2.17.

Dimana:

$$\begin{aligned} T_{a \text{ min}} &= 0,0488^a \times 35,5^{0,75} \\ &= 0,7097 \text{ detik} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_{a \text{ max}} &= 1,4 \times 0,70972 \\ &= 0,9936 \text{ detik} \end{aligned}$$

### 3.5.1.4 Penentuan Faktor Respon Gempa (C)

Berdasarkan Sub Bab 2.7.2 untuk peraturan SNI 03:1726:2012, penentuan nilai koefisien respon seismik ( $C_s$ ) berdasarkan Pers. 2.9, 2.10, 2.11, dan 2.12 pada Bab 2, yang dijelaskan di bawah ini:

➤ Model Struktur 1

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I}\right)}$$

$$C_{s \text{ maksimum arah x}} = \frac{0,597}{\frac{7}{1}} = 0,085$$

$$C_{s \text{ maksimum arah y}} = \frac{0,597}{\frac{7}{1}} = 0,085$$

$$C_{s \text{ hitungan}} = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I}\right)}$$

$$C_{s \text{ hitungan arah x}} = \frac{0,427}{0,744\left(\frac{7}{1}\right)} = 0,115$$

$$C_{s \text{ hitungan arah y}} = \frac{0,427}{0,720\left(\frac{7}{1}\right)} = 0,119$$

$$C_{s \text{ minimum}} = 0,044 S_{DS} I \geq 0,01$$

$$C_{s \text{ minimum arah x}} = 0,044 \times 0,597 \times 1 = 0,02$$

$$C_{s \text{ minimum arah y}} = 0,044 \times 0,597 \times 1 = 0,02$$

$$C_{s \text{ minimum tambahan}} = \frac{S_1}{\left(\frac{R}{I}\right)}$$

$$C_{s \text{ minimum tambahan arah x}} = \frac{(0,5)(0,6)}{\left(\frac{7}{1}\right)} = 0,042$$

$$C_{s \text{ minimum tambahan arah y}} = \frac{(0,5)(0,6)}{\left(\frac{7}{1}\right)} = 0,042$$

Tabel 3.5: Rangkuman nilai  $C_s$  dan nilai  $C_s$  yang digunakan Model 1.

Arah	$C_s$ mak	$C_s$ hitungan	$C_s$ min	$C_s$ yang digunakan
Arah X	0,085	0,115	0,02	0,085
Arah Y	0,085	0,119	0,02	0,085

Pemilihan nilai  $C_s$  digunakan  $C_{s_{maksimum}}$  karena  $C_s$  hitungan lebih besar dari  $C_{s_{maksimum}}$  sesuai peraturan SNI 03:1726:2012.

### 3.5.1.5 Faktor Reduksi Gempa

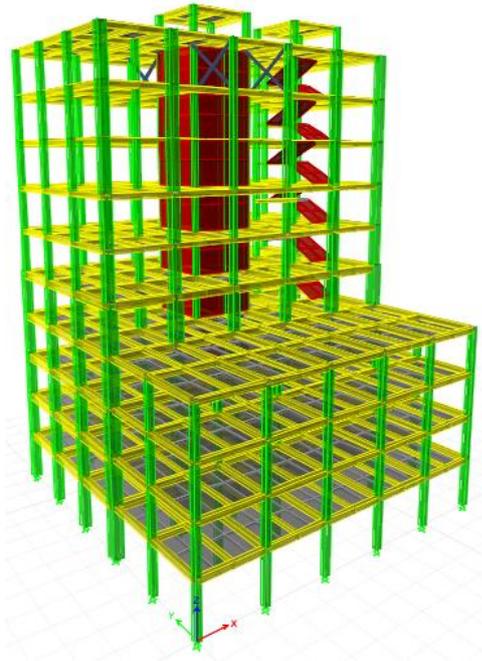
Untuk model 1 gedung didesain tanpa *outrigger* pada lantai 10. Nilai faktor reduksi gempa maksimum untuk struktur yang terletak pada zona gempa tinggi dapat dilihat pada Tabel 3.7.

Tabel 3.6: Faktor reduksi gempa untuk gedung Model 1 berdasarkan SNI 03:1726:2012.

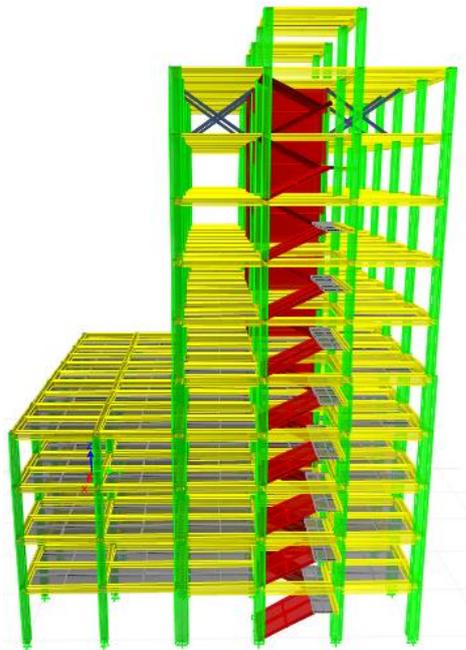
Arah	Sistem penahan gaya seismic	R	$\Omega_0$	Cd	$I_e$
Arah X	Sistem ganda dengan rangka pemikul momen yang mampu menahan paling sedikit 25 persen gaya gempa yang di tetapkan	7	2,5	5,5	1
Arah Y	Sistem ganda dengan rangka pemikul momen yang mampu menahan paling sedikit 25 persen gaya gempa yang di tetapkan	7	2,5	5,5	1

### 3.5.2 Model 2

Model 2 gedung dengan *outrigger* dilantai 10 dengan total jumlah 10 tingkat dengan panjang denah arah x = 25 m dan arah y = 250 m, memiliki tinggi perlantai untuk lantai 1 = 4 m dan lantai seterusnya 3,5 m. Untuk pemodelan dari struktur dapat dilihat pada Gambar 3.11 dan Gambar 3.12.



Gambar 3.11: Pemodelan struktur proyeksi model dengan *outrigger* di lantai 10.



Gambar 3.12: Pemodelan struktur proyeksi model dengan *outrigger* di lantai 10.

### 3.5.2.1 Data Perencanaan Struktur Model 2

Pada tugas akhir ini akan dimodelkan suatu struktur bangunan perkantoran 10 lantai dengan lokasi bangunan berada di Provinsi Bandar Lampung. Data perencanaan karakteristik geometri bangunan sebagai berikut:

1. Bangunan perkantoran 10 tingkat.
2. Tinggi lantai dasar adalah 4 meter dan tinggi antar lantai selanjutnya adalah 3,5 meter.
3. Provinsi Bandar Lampung dengan kondisi tanah lunak.
4. Dengan *outrigger* dilantai 10.

### 3.5.2.2 Faktor Keutamaan Gedung

Menurut SNI 03:1726:2012 dengan katagori resiko bangunan perkantoran dengan katagori resiko II maka nilai  $I_e = 1$ .

### 3.5.2.3 Nilai Waktu Getar Alami Fudamental

Nilai fundamental memiliki nilai batas minimum dan maksimum seperti yang telah dijelaskan pada Pers. 2.16 dan 2.17.

Dimana:

$$\begin{aligned} T_{a \text{ min}} &= 0,0488^a \times 35,5^{0,75} \\ &= 0,7097 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_{a \text{ max}} &= 1,4 \times 0,70972 \\ &= 0,9936 \end{aligned}$$

### 3.5.2.4 Penentuan Faktor Respon Gempa (C)

Berdasarkan Sub Bab 2.7.2 untuk peraturan SNI 03:1726:2012, penentuan nilai koefisien respon seismik ( $C_s$ ) berdasarkan Pers. 2.9, 2.10, 2.11, dan 2.12 pada Bab 2, yang dijelaskan di bawah ini:

➤ Model Struktur 2

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{T}\right)}$$

$$C_{s \text{ maksimum arah x}} = \frac{0,597}{\frac{7}{1}} = 0,085$$

$$C_s \text{ maksimum arah y} = \frac{0,597}{\frac{7}{1}} = 0,085$$

$$C_s \text{ hitungan} = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I}\right)}$$

$$C_s \text{ hitungan arah x} = \frac{0,427}{0,735\left(\frac{7}{1}\right)} = 0,116$$

$$C_s \text{ hitungan arah y} = \frac{0,427}{0,655\left(\frac{7}{1}\right)} = 0,131$$

$$C_s \text{ minimum} = 0,044 S_{DS} I \geq 0,01$$

$$C_s \text{ minimum arah x} = 0,044 \times 0,597 \times 1 = 0,02$$

$$C_s \text{ minimum arah y} = 0,044 \times 0,597 \times 1 = 0,02$$

$$C_s \text{ minimum tambahan} = \frac{S_1}{\left(\frac{R}{I}\right)}$$

$$C_s \text{ minimum tambahan arah x} = \frac{(0,5)(0,6)}{\left(\frac{7}{1}\right)} = 0,042$$

$$C_s \text{ minimum tambahan arah y} = \frac{(0,5)(0,6)}{\left(\frac{7}{1}\right)} = 0,042$$

Tabel 3.7: Rangkuman nilai  $C_s$  dan nilai  $C_s$  yang digunakan Model 2.

Arah	$C_s$ mak	$C_s$ hitungan	$C_s$ min	$C_s$ yang digunakan
Arah X	0,085	0,116	0,02	0,085
Arah Y	0,085	0,131	0,02	0,085

Pemilihan nilai  $C_s$  digunakan  $C_{s \text{ maksimum}}$  karena  $C_s \text{ hitungan}$  lebih besar dari  $C_{s \text{ maksimum}}$  sesuai peraturan 03:SNI 1726:2012.

### 3.5.2.5 Faktor Reduksi Gempa

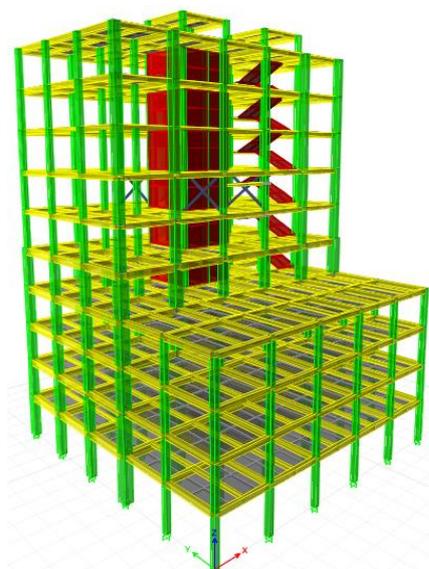
Untuk model 2 gedung didesain tanpa *outrigger* pada lantai 10. Nilai faktor reduksi gempa maksimum untuk struktur yang terletak pada zona gempa tinggi dapat dilihat pada Tabel 3.8.

Tabel 3.8: Faktor reduksi gempa untuk gedung Model 2 berdasarkan SNI 03:1726:2012.

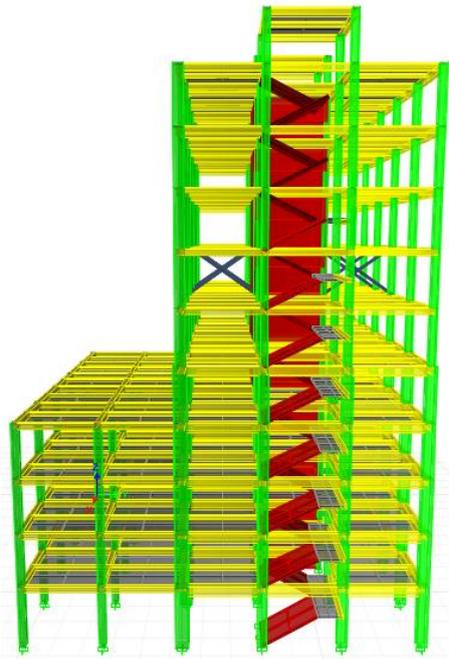
Arah	Sistem penahan gaya seismic	R	$\Omega_0$	Cd	$I_e$
Arah X	Sistem ganda dengan rangka pemikul momen yang mampu menahan paling sedikit 25 persen gaya gempa yang di tetapkan	7	2,5	5,5	1
Arah Y	Sistem ganda dengan rangka pemikul momen yang mampu menahan paling sedikit 25 persen gaya gempa yang di tetapkan	7	2,5	5,5	1

### 3.5.3 Model 3

Model 3 gedung dengan *outrigger* dilantai 7 dengan total jumlah 10 tingkat dengan panjang denah arah x = 25 m dan arah y = 250 m, memiliki tinggi perlantai untuk lantai 1 = 4 m dan lantai seterusnya 3,5 m. Untuk pemodelan dari struktur dapat dilihat pada Gambar 3.13 dan Gambar 3.14.



Gambar 3.13: Pemodelan struktur proyeksi model dengan *outrigger* di lantai 7.



Gambar 3.14: Pemodelan struktur proyeksi model dengan *outrigger* di lantai 7.

### 3.5.3.1 Data Perencanaan Struktur Model 3

Pada tugas akhir ini akan dimodelkan suatu struktur bangunan perkantoran 10 lantai dengan lokasi bangunan berada di Provinsi Bandar Lampung. Data perencanaan karakteristik geometri bangunan sebagai berikut:

1. Bangunan perkantoran 10 tingkat.
2. Tinggi lantai dasar adalah 4 meter dan tinggi antar lantai selanjutnya adalah 3,5 meter.
3. Provinsi Bandar Lampung dengan kondisi tanah lunak.
4. Dengan *outrigger* dilantai 7.

### 3.5.3.2 Faktor Keutamaan Gedung

Menurut SNI 03:1726:2012 dengan katagori resiko bangunan perkantoran dengan katagori resiko II maka nilai  $I_e = 1$ .

### 3.5.3.3 Nilai Waktu Getar Alami Fudamental

Nilai fundamental memiliki nilai batas minimum dan maksimum seperti yang telah dijelaskan pada Pers. 2.16 dan 2.17.

Dimana:

$$\begin{aligned}T_a \text{ min} &= 0,0488^a \times 35,5^{0,75} \\ &= 0,7097\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}T_a \text{ max} &= 1,4 \times 0,70972 \\ &= 0,9936\end{aligned}$$

### 3.5.3.4 Penentuan Faktor Respon Gempa ( $C_s$ )

Berdasarkan Sub Bab 2.7.2 untuk peraturan SNI 03:1726:2012, penentuan nilai koefisien respon seismik ( $C_s$ ) berdasarkan Pers. 2.9, 2.10, 2.11, dan 2.12 pada Bab 2, yang dijelaskan di bawah ini:

➤ Model Struktur 3

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I}\right)}$$

$$C_{s \text{ maksimum arah x}} = \frac{0,597}{\frac{7}{1}} = 0,085$$

$$C_{s \text{ maksimum arah y}} = \frac{0,597}{\frac{7}{1}} = 0,085$$

$$C_{s \text{ hitungan}} = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I}\right)}$$

$$C_{s \text{ hitungan arah x}} = \frac{0,427}{0,732\left(\frac{7}{1}\right)} = 0,117$$

$$C_{s \text{ hitungan arah y}} = \frac{0,427}{0,643\left(\frac{7}{1}\right)} = 0,133$$

$$C_{s \text{ minimum}} = 0,044 S_{DS} I \geq 0,01$$

$$C_{s \text{ minimum arah x}} = 0,044 \times 0,597 \times 1 = 0,02$$

$$C_{s \text{ minimum arah y}} = 0,044 \times 0,597 \times 1 = 0,02$$

$$C_{s \text{ minimum tambahan}} = \frac{S_1}{\left(\frac{R}{I}\right)}$$

$$C_s \text{ minimum tambahan arah x} = \frac{(0,5)(0,6)}{\binom{7}{1}} = 0,042$$

$$C_s \text{ minimum tambahan arah y} = \frac{(0,5)(0,6)}{\binom{7}{1}} = 0,042$$

Tabel 3.9: Rangkuman nilai  $C_s$  dan nilai  $C_s$  yang digunakan Model 3.

Arah	$C_s$ mak	$C_s$ hitungan	$C_s$ min	$C_s$ yang digunakan
Arah X	0,085	0,117	0,002	0,085
Arah Y	0,085	0,133	0,002	0,085

Pemilihan nilai  $C_s$  digunakan  $C_{s \text{ maksimum}}$  karena  $C_s$  hitungan lebih besar dari  $C_{s \text{ maksimum}}$  sesuai peraturan SNI 03:1726:2012.

### 3.5.3.5 Faktor Reduksi Gempa

Untuk Model 3 gedung didesain dengan *outrigger* pada lantai 7. Nilai faktor reduksi gempa maksimum untuk struktur yang terletak pada zona gempa tinggi dapat dilihat pada Tabel 3.10.

Tabel 3.10: Faktor reduksi gempa untuk gedung Model 3 berdasarkan SNI 03:1726:2012.

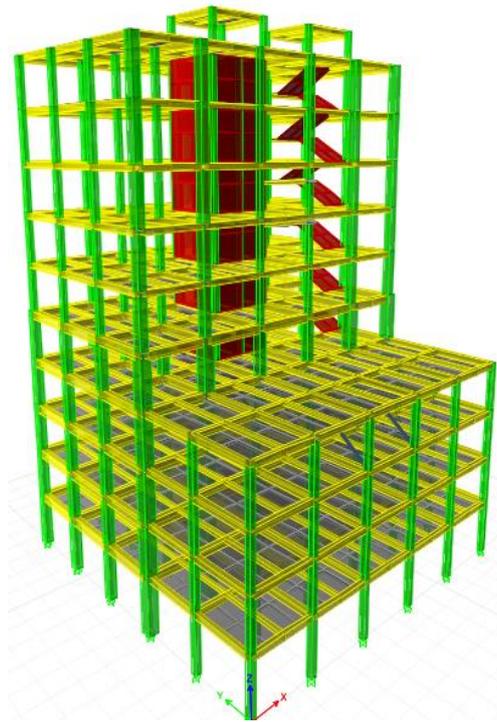
Arah	Sistem penahan gaya seismic	R	$\Omega_0$	Cd	$I_e$
Arah X	Sistem ganda dengan rangka pemikul momen yang mampu menahan paling sedikit 25 persen gaya gempa yang di tetapkan	7	2,5	5,5	1

Tabel 3.10: *Lanjutan.*

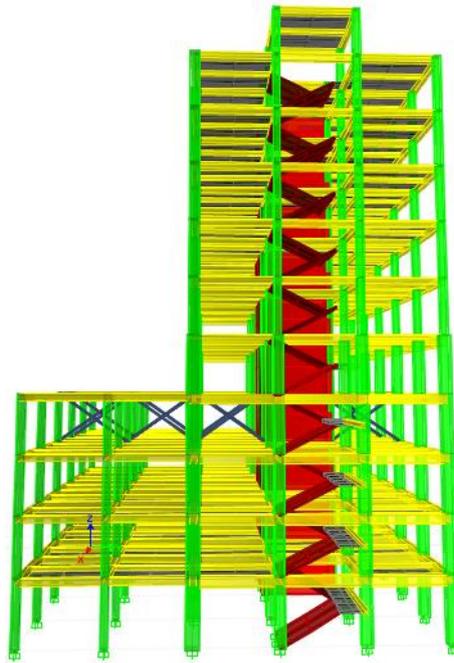
Arah	Sistem penahan gaya seismic	R	$\Omega_0$	Cd	I <sub>e</sub>
Arah Y	Sistem ganda dengan rangka pemikul momen yang mampu menahan paling sedikit 25 persen gaya gempa yang di tetapkan	7	2,5	5,5	1

### 3.5.4 Model 4

Model 4 gedung dengan *outrigger* dilantai 4 dengan total jumlah 10 tingkat dengan panjang denah arah x = 25 m dan arah y = 250 m, memiliki tinggi perlantai untuk lantai 1 = 4 m dan lantai seterusnya 3,5 m. Untuk pemodelan dari struktur dapat dilihat pada Gambar 3.15 dan Gambar 3.16.



Gambar 3.15: Pemodelan struktur proyeksi model dengan *outrigger* di lantai 4.



Gambar 3.16: Pemodelan struktur proyeksi model dengan *outrigger* di lantai 4.

#### 3.5.4.1 Data Perencanaan Struktur Model 4

Pada tugas akhir ini akan dimodelkan suatu struktur bangunan perkantoran 10 lantai dengan lokasi bangunan berada di Provinsi Bandar Lampung. Data perencanaan karakteristik geometri bangunan sebagai berikut:

1. Bangunan perkantoran 10 tingkat.
2. Tinggi lantai dasar adalah 4 meter dan tinggi antar lantai selanjutnya adalah 3,5 meter.
3. Provinsi Bandar Lampung dengan kondisi tanah lunak.
4. Dengan *outrigger* dilantai 4.

#### 3.5.4.2 Faktor Keutamaan Gedung

Menurut SNI 03:1726:2012 dengan katagori resiko bangunan perkantoran dengan katagori resiko II maka nilai  $I_e = 1$ .

#### 3.5.4.3 Nilai Waktu Getar Alami Fudamental

Nilai fundamental memiliki nilai batas minimum dan maksimum seperti yang telah dijelaskan pada Pers. 2.16 dan 2.17.

Dimana:

$$\begin{aligned} T_{a \text{ min}} &= 0,0488^a \times 35,5^{0,75} \\ &= 0,7097 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_{a \text{ max}} &= 1,4 \times 0,70972 \\ &= 0,9936 \end{aligned}$$

#### 3.5.4.4 Penentuan Faktor Respon Gempa ( $C_s$ )

Berdasarkan Sub Bab 2.7.2 untuk peraturan SNI 03:1726:2012, penentuan nilai koefisien respon seismik ( $C_s$ ) berdasarkan Pers. 2.9, 2.10, 2.11, dan 2.12 pada Bab 2, yang dijelaskan di bawah ini:

➤ Model Struktur 4

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I}\right)}$$

$$C_{s \text{ maksimum arah x}} = \frac{0,597}{\frac{7}{1}} = 0,085$$

$$C_{s \text{ maksimum arah y}} = \frac{0,597}{\frac{7}{1}} = 0,085$$

$$C_{s \text{ hitungan}} = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I}\right)}$$

$$C_{s \text{ hitungan arah x}} = \frac{0,427}{0,736\left(\frac{7}{1}\right)} = 0,116$$

$$C_{s \text{ hitungan arah y}} = \frac{0,427}{0,646\left(\frac{7}{1}\right)} = 0,132$$

$$C_{s \text{ minimum}} = 0,044 S_{DS} I \geq 0,01$$

$$C_{s \text{ minimum arah x}} = 0,044 \times 0,597 \times 1 = 0,02$$

$$C_{s \text{ minimum arah y}} = 0,044 \times 0,597 \times 1 = 0,02$$

$$C_s \text{ minimum tambahan} = \frac{S_1}{\left(\frac{R}{T}\right)}$$

$$C_s \text{ minimum tambahan arah x} = \frac{(0,5)(0,6)}{\left(\frac{7}{1}\right)} = 0,042$$

$$C_s \text{ minimum tambahan arah y} = \frac{(0,5)(0,6)}{\left(\frac{7}{1}\right)} = 0,042$$

Tabel 3.11: Rangkuman nilai  $C_s$  dan nilai  $C_s$  yang digunakan Model 4.

Arah	$C_s$ mak	$C_s$ hitungan	$C_s$ min	$C_s$ yang digunakan
Arah X	0,085	0,116	0,02	0,085
Arah Y	0,085	0,132	0,02	0,085

Pemilihan nilai  $C_s$  di atas didasarkan karena nilai  $C_s$  hitung lebih besar dari nilai  $C_s$  maksimum maka yang digunakan  $C_s$  maksimum yang sesuai peraturan SNI 03:1726:2012.

#### 3.5.4.5 Faktor Reduksi Gempa

Untuk Model 4 gedung didesain dengan *outrigger* pada lantai 4. Nilai faktor reduksi gempa maksimum untuk struktur yang terletak pada zona gempa tinggi dapat dilihat pada Tabel 3.12.

Tabel 3.12: Faktor reduksi gempa untuk gedung Model 4 berdasarkan SNI 03:1726:2012.

Arah	Sistem penahan gaya seismik	R	$\Omega_0$	Cd	$I_e$
Arah X	Sistem ganda dengan rangka pemikul momen yang mampu menahan paling sedikit 25 persen gaya gempa yang di tetapkan	7	2,5	5,5	1
Arah Y	Sistem ganda dengan rangka pemikul momen yang mampu menahan paling sedikit 25 persen gaya gempa yang di tetapkan	7	2,5	5,5	1

## **BAB 4**

### **HASIL ANALISA STRUKTUR**

#### **4.1. Analisa Desain**

Pada bab 4 ini akan dibahas analisa respon spektrum dan hasil simpangan yang didapat dari pengerjaan menggunakan ETABS *versi* 2015 untuk bangunan beton yang terletak di Bandar Lampung dengan zona gempa tinggi wilayah zona terletak pada wilayah 6, gedung di fungsikan sebagai perkantoran dengan tinggi gedung 35,5 m, yang memiliki 10 lantai.

Setelah mengidentifikasi ragam elemen yang akan dirancang dengan kebutuhan tahan terhadap gaya-gaya dalam yang terjadi pada struktur. Maka, dilakukan berbagai penyesuaian jenis penampang elemen struktur gedung tersebut. Namun tidak terlepas dari ketentuan-ketentuan SNI 03:1726-2012 mengenai struktur bangunan gedung tahan gempa.

Pada bab ini struktur dengan penempatan *outrigger* yang bervariasi akan diperiksa perilakunya, dari pemeriksaan parameter-parameter struktur diharapkan dapat diketahui mana perilaku struktur yang semakin baik atau apakah penambahan *outrigger* pada posisi tertentu menyebabkan perilaku struktur yang kurang baik dan menjadi tidak efektif.

#### **4.2 Hasil Analisa**

##### **4.2.1 Model 1**

###### **4.2.1.1 Analisa Respon Spektrum**

Analisa yang digunakan dengan metode CQC dikarenakan perioda yang didapat memiliki waktu getar yang berdekatan yang kurang dari 15 % hasil nilai perioda *output* dari ETABS *versi* 2015 untuk wilayah yang terletak pada zona gempa tinggi dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1: Data perioda *output* ETABS *versi* 2015 Model 1.

Output Case	Step Type	Stem Numb	Period	Sum UX	Sum UY
Modal	Mode	1	0.7440	0.5979	0.00002
Modal	Mode	2	0.7200	0.5979	0.5916
Modal	Mode	3	0.6010	0.6151	0.5919
Modal	Mode	4	0.2550	0.6398	0.5923
Modal	Mode	5	0.1940	0.8050	0.5941
Modal	Mode	6	0.1820	0.8068	0.6788
Modal	Mode	7	0.1720	0.8561	0.6822
Modal	Mode	8	0.1650	0.8569	0.7952
Modal	Mode	9	1.1470	0.8855	0.7953
Modal	Mode	10	0.1420	0.8858	0.8663
Modal	Mode	11	0.1360	0.8859	0.8694
Modal	Mode	12	0.1240	0.8860	0.8694
Modal	Mode	13	0.1100	0.8863	0.8694
Modal	Mode	14	0.0990	0.8950	0.8694
Modal	Mode	15	0.0790	0.9549	0.8694
Modal	Mode	16	0.0750	0.9443	0.8695
Modal	Mode	17	0.0680	0.9549	0.9454
Modal	Mode	18	0.0620	0.9549	0.9455

Dari hasil Tabel 4.1 perioda *output* ETABS *versi* 2015 diatas maka didapat persentase selisih yang dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2: Hasil selisih persentase nilai perioda Model 1.

SYARAT			
Mode (Perioda)	Selisih Persentase (%)	CQC	SRSS
Mode 1 – Mode 2	3%	OKE	NOT OKE
Mode 2 – Mode 3	17%	NOT OKE	OKE
Mode 3 – Mode 4	58%	NOT OKE	OKE
Mode 4 – Mode 5	24%	NOT OKE	OKE
Mode 5 – Mode 6	6%	OKE	NOT OKE
Mode 6 – Mode 7	5%	OKE	NOT OKE
Mode 7 – Mode 8	4%	OKE	NOT OKE
Mode 8 – Mode 9	11%	OKE	NOT OKE
Mode 9 – Mode 10	3%	OKE	NOT OKE
Mode 10 – Mode 11	4%	OKE	NOT OKE

Tabel 4.2: Lanjutan.

SYARAT			
Mode (Perioda)	Selisih Persentase (%)	CQC	SRSS
Mode 11 – Mode 12	9%	OKE	NOT OKE
Mode 12 – Mode 13	11%	OKE	NOT OKE
Mode 13 – Mode 14	10%	OKE	NOT OKE
Mode 14 – Mode 15	20%	NOT OKE	OKE
Mode 15 – Mode 16	5%	OKE	NOT OKE
Mode 16 – Mode 17	9%	OKE	NOT OKE
Mode 17 – Mode 18	9%	OKE	NOT OKE

Dari Tabel 4.2 dapat disimpulkan bahwa nilai persentase selisih rata-rata lebih kecil dari 15% jadi digunakan metode kombinasi kuadratik lengkap (CQC).

Metode kombinasi kuadratik (CQC) dilihat dari partisipasi massa (SumUX dan Sum UY) harus mencapai sekurang-kurangnya 90%. Dimana Sum UX adalah partisipasi massa arah x dan Sum UY adalah partisipasi massa arah y.

#### 4.2.1.2 Gaya Lateral Ekuivalen

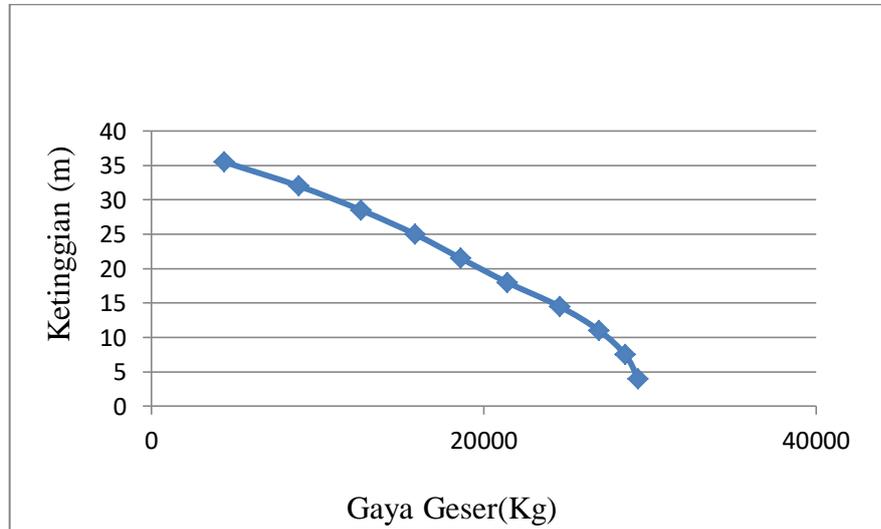
Berdasarkan SNI 03:1726:2012 pasal 7.8.3 nilai gaya gempa lateral ( $F_x$ ) yang timbul disemua tingkat.

Harus di tentukan dari Pers 2.1.3, 2.1.4 dan 2.1.5 dari Sub Bab 2.12.2. Nilai yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3: Perhitungan distribusi vertikal dan horizontal gaya gempa Model 1.

Lantai	Tinggi (m)	Berat (Kg)	Wh <sup>k</sup>	Force Fx (Kg)	Story Shear V <sub>x</sub> (Kg)
10	35,5	21523,75	1181065,95	4372,14	4372,14
9	32	25913,15	1214050,31	4494,24	8866,38
8	28,5	25913,15	1012408,90	3747,29	12614,18
7	25	25913,15	877188,31	3247,23	15861,40
6	21,5	25913,15	743744,12	2753,24	18614,64
5	18	31987,55	755878,98	2798,16	21412,80
4	14,5	45725,26	852865,90	3157,19	24569,99
3	11	46548,50	641738,12	2375,62	26945,61
2	7,5	46548,50	422050,43	1562,37	28507,98
1	4	47718,49	217489,24	805,11	29313,10
Total		343704,65	7918480,26	29313,10	

Berikut ini merupakan diagram distribusi gaya geser berdasarkan ketinggian dengan menggunakan gaya lateral statik ekuivalen SNI 03:1726:2012.



Gambar 4.1: Diagram gaya geser terhadap ketinggian struktur dengan gaya lateral ekuivalen Model 1.

#### 4.2.1.3 Analisis Spektrum Respon Ragam

Berdasarkan SNI 03:1726:2012, nilai akhir dinamik struktur gedung terhadap pembebanan gempa nominal akibat pengaruh gempa rencana dalam suatu arah tertentu tidak boleh diambil kurang dari 85 % nilai respon ragam yang pertama. Bila respon dinamik struktur gedung dinyatakan dalam gaya geser dasar nominal ( $V_t$ ), maka persyaratan tersebut dapat dinyatakan dalam Tabel 4.4.

Tabel.4.4: Gaya geser hasil respon spektrum Model 1 *output* ETABS.

TABLE: Base Reactions		
Load Case/Combo	FX	FY
	Kgf	Kgf
BEBAN GEMPA ARAH X Max	335680,23	98923,54
BEBAN GEMPA ARAH Y Max	100983,38	328794

Berikut perhitungan koreksi nilai akhir respons dinamik terhadap respons ragam pertama:

❖ Gempa Arah X

$$\begin{aligned} V_{1x} &= C_s \times W_t \\ &= 0,085 \times 343704,65 \\ &= 29214,9 \text{ Kg (Gaya geser statik ekivalen arah X)} \end{aligned}$$

❖ Gempa Arah Y

$$\begin{aligned} V_{1y} &= C_s \times W_t \\ &= 0,085 \times 343704,65 \\ &= 29214,9 \text{ Kg (Gaya geser statik ekivalen arah Y)} \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 03:1726:2012

❖ Arah X

$$\begin{aligned} V_{tx} &= 335680,23 \text{ Kg} \\ V_{1x} &= 29214,9 \text{ Kg} \\ \text{Syarat : } V_{tx} &\geq 0,85 V_{1x} \\ 335680,23 &\geq 0,85 \times 29214,9 \\ 335680,23 &\geq 24832,66 \text{ Syarat terpenuhi} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Faktor skala} &= \frac{0,85 \times V_{1x}}{V_{tx}} \geq 1 \\ &= \frac{0,85 \times 29214,9}{335680,23} \\ &= 0,07 \leq 1 \end{aligned}$$

❖ Arah Y

$$\begin{aligned} V_{ty} &= 328794 \text{ Kg} \\ V_{1y} &= 29214,9 \text{ Kg} \\ \text{Syarat : } V_{ty} &\geq 0,85 V_{1y} \\ 328794 &\geq 0,85 \times 29214,9 \\ 328794 &\geq 24832,66 \text{ Syarat terpenuhi} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Faktor skala} &= \frac{0,85 \times V_{1y}}{V_{ty}} \geq 1 \\ &= \frac{0,85 \times 29214,9}{328794} \end{aligned}$$

$$= 0,07 \leq 1$$

Tabel 4.5: Rekapitulasi faktor skala hasil respons spektrum dengan statik ekuivalen masing-masing arah Model 1.

V <sub>1</sub> ELF		V <sub>t</sub> CQC		Faktor Skala	
Arah X (kgf)	Arah Y (kgf)	Arah X (kgf)	Arah Y (kgf)	Arah X (kgf)	Arah Y (kgf)
29214,9	29214,9	335680,23	328794	0,07	0,07

Karena faktor skala yang didapat untuk masing-masing arah kurang dari 1, gaya geser dasar nominal yang didapat dari hasil analisa ragam respons spektrum yang telah dilakukan dapat digunakan tanpa adanya pekalian dengan faktor skala. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya dari Tabel 4.5 di atas, dapat dilihat bahwa respon spektrum ragam dengan metode CQC lebih besar jika dibandingkan dengan prosedur analisis gaya lateral ekuivalen. Ada pun tabel analisa spektrum respon dapat dilihat pada Tabel 4.6.

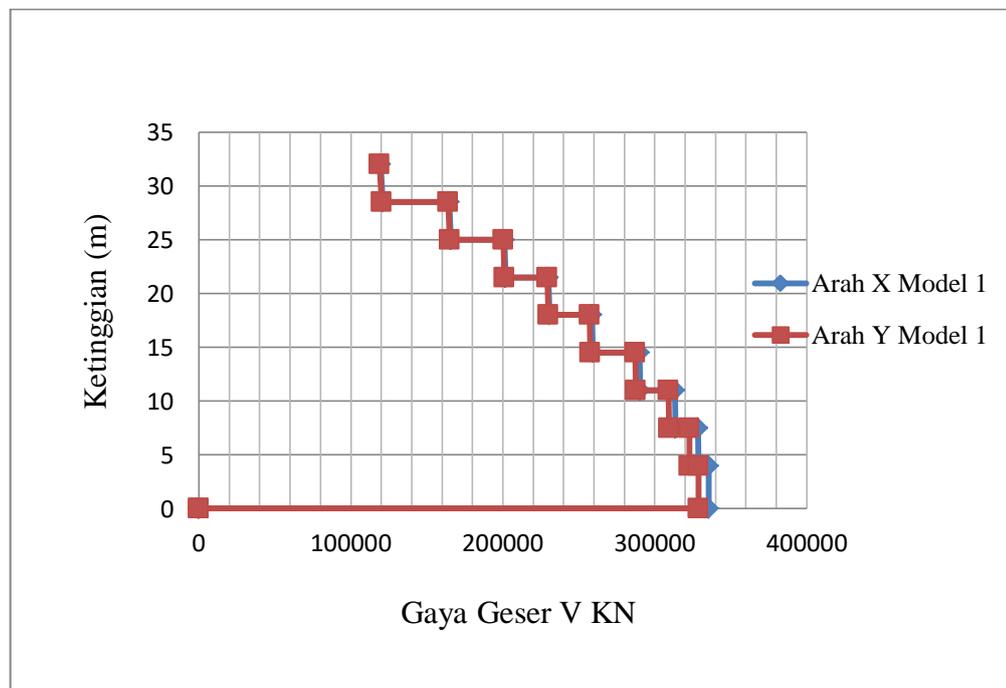
Tabel.4.6: Gaya geser hasil analisis respon spektrum arah X dan arah Y Model 1.

Story	Elevation	Location	X-Dir	Y-Dir
	M		kgf	Kgf
Story10	32	Top	119710,0267	119036,7755
	28,5	Bottom	121010,9028	120340,7015
Story9	28,5	Top	164586,7224	163969,6738
	25	Bottom	165644,9168	165037,6515
Story8	25	Top	200956,0956	200321,9607
	21,5	Bottom	201809,9635	201186,7622
Story7	21,5	Top	230161,072	229306,1007
	18	Bottom	230841,8737	229989,0609
Story6	18	Top	258679,261	257086,6685
	14,5	Bottom	259222,3332	257616,625
Story5	14,5	Top	289920,8541	287192,9584
	11	Bottom	290338,5542	287589,0816
Story4	11	Top	313421,0729	309191,6911
	7,5	Bottom	313712,8776	309462,7939
Story3	7,5	Top	328513,325	322767,4447
	4	Bottom	328676,7474	322917,1562

Tabel.4.6: Lanjutan.

Story	Elevation	Location	X-Dir	Y-Dir
	M		kgf	Kgf
Story2	4	Top	335628,1555	328747,4135
	0	Bottom	335680,2264	328793,9968
Story1	0	Top	0	0
		Bottom	0	0

Tabel 4.6 diatas menunjukkan hasil dari perhitungan analisis respons spektrum ragam arah X maupun arah Y berdasarkan SNI 03:1726:2012 yang digambarkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2: Gaya geser analisis respon spektrum ragam Model 1.

#### 4.2.1.4 Nilai Simpangan Antar Tingkat (*Story Drift*)

Berdasarkan SNI 03:1726:2012 pasal 7.8.6 simpangan antar lantai hanya terdapat satu kinerja, yaitu pada kinerja batas ultimit. Penentuan simpangan antar lantai tingkat desain ( $\Delta$ ) harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa di tingkat teratas dan terbawah yang ditinjau apabila pusat massa tidak

terletak garis sejajar dalam arah vertikal, diizinkan untuk menghitung defleksi di dasar tingkat berdasarkan proyeksi vertikal dari pusat massa di tingkat atasnya.

Nilai simpangan antar tingkat (*story drift*) dapat dilihat pada Tabel 4.7 untuk arah X dan Tabel 4.8 untuk arah Y di bawah ini.

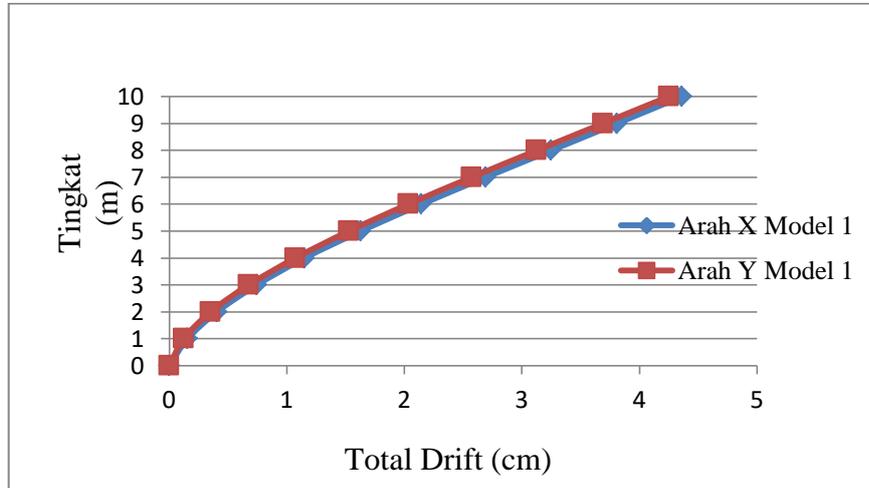
Tabel 4.7: Perhitungan *story drift* kinerja batas ultimit arah X berdasarkan SNI 03:1726:2012 Model 1.

Lantai	Total Drift (cm)	Perpindahan (cm)	Story Drift (cm)	Story Drift Izin (cm)	Story Drift < $\Delta a$
10	4,3616	0,5528	3,0404	7	OKE
9	3,8088	0,5586	3,0723	7	OKE
8	3,2502	0,5579	3,0684	7	OKE
7	2,6923	0,5456	3,0008	7	OKE
6	2,1467	0,5168	2,8424	7	OKE
5	1,6299	0,4785	2,6317	7	OKE
4	1,1514	0,4041	2,2335	7	OKE
3	0,7453	0,3388	1,8634	7	OKE
2	0,4065	0,2505	1,3777	7	OKE
1	0,1560	0,1560	0,8580	8	OKE

Tabel 4.8: Perhitungan *story drift* kinerja batas ultimit arah Y berdasarkan SNI 03:1726:2012 Model 1.

Lantai	Total Drift (cm)	Perpindahan (cm)	Story Drift (cm)	Story Drift Izin (cm)	Story Drift < $\Delta a$
10	4,2505	0,5604	3,0822	7	OKE
9	3,6901	0,5621	3,0915	7	OKE
8	3,1280	0,5554	3,0547	7	OKE
7	3,5726	0,5379	2,9584	7	OKE
6	2,0347	0,5056	2,7808	7	OKE
5	1,5291	0,4549	2,5019	7	OKE
4	1,0742	0,3977	2,1873	7	OKE
3	0,6765	0,3232	1,7776	7	OKE
2	0,3533	0,2291	1,2600	7	OKE
1	0,1560	0,1242	0,6831	8	OKE

Berikut ini merupakan diagram perpindahan (*total drift*) terhadap tingkat pada struktur gedung Model 1 berdasarkan SNI 03:1726:2012.



Gambar 4.3: Diagram total *drift* terhadap tingkat bangunan arah X dan Y Model

1.

#### 4.2.1.5 Distribusi Kekakuan Antar Tingkat (*Soft Story*)

Berdasarkan SNI 03:1726:2012, bangunan gedung dengan kekakuan vertikal yang tidak baik adalah bangunan yang dalam tingkat yang lemah atau *soft story*. Nilai *soft story* dari struktur bangunan dapat dilihat pada Tabel 4.9 untuk arah X dan 4.10 untuk arah Y di bawah ini.

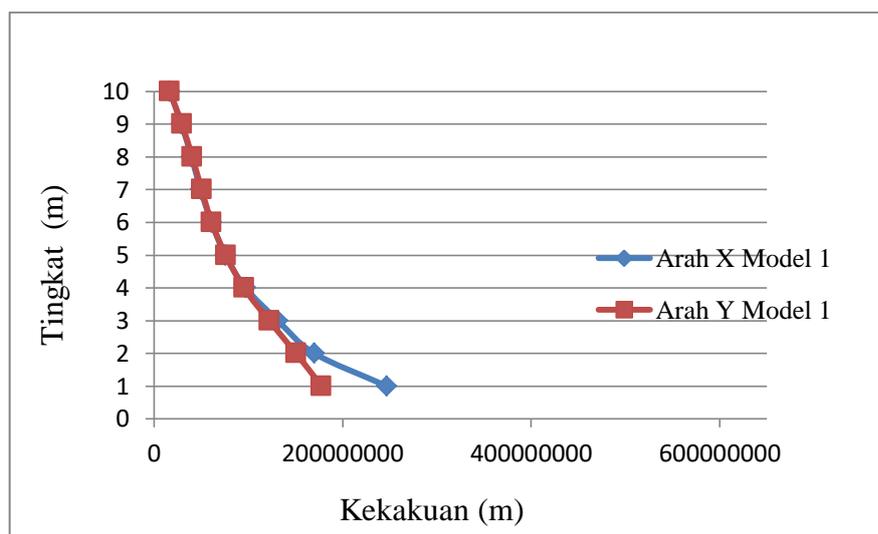
Tabel 4.9: Nilai hasil perhitungan *soft story* struktur bangunan arah X Model 1.

Lantai	Kek. Total	Ki/ki+1 (%)	Rata-rata Kek. 3 Tingkat (kr)	Ki/kr (%)	Kontrol
10	16474693,45				
9	28931795,54	175,61	28309515,76		
8	39522058,28	136,60	39239251,94		
7	49263902,01	124,65	49836118,67	174,02	OKE
6	60722395,71	123,26	61859379,36	154,74	OKE
5	75591840,35	124,48	77745976,19	151,68	OKE
4	96923692,51	128,22	101265564,6	156,68	OKE
3	131281161	135,45	132722037,2	168,86	OKE
2	169961258	129,46		167,83	OKE
1	246898293	145,26		186,02	OKE

Tabel 4.10: Nilai hasil perhitungan *soft story* struktur bangunan arah Y Model 1.

Lantai	Kek. Total	Ki/ki+1 (%)	Rata-rata Kek. 3 Tingkat (kr)	Ki/kr (%)	Kontrol
10	16433509,81				OKE
9	29305556,8	178,33	28701675,98		OKE
8	40365961,32	137,72	39992709,35		OKE
7	50306609,92	124,63	50517057,17	175,27	OKE
6	60878600,28	121,01	62369484,89	152,22	OKE
5	75923244,48	124,71	77327224,77	150,29	OKE
4	95179829,54	125,36	97685700,34	152,60	OKE
3	121954027	128,13	122564278,8	157,71	OKE
2	150558980	123,45		154,16	OKE
1	177539551	117,92		144,85	OKE

Berikut ini merupakan diagram kekakuan antar tingkat (*soft story*) terhadap tingkat pada struktur gedung Model 1 berdasarkan SNI 03:1726:2012.



Gambar 4.4: Kekakuan antar lantai arah X dan Y Model 1.

## 4.2.2 Model 2

### 4.2.2.1 Analisa Respon Spektrum

Analisa yang digunakan dengan metode CQC dikarenakan perioda yang didapat memiliki waktu getar yang berdekatan yang kurang dari 15 % hasil nilai perioda *output* dari ETABS *versi* 2015 untuk wilayah yang terletak pada zona gempa tinggi dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4.11: Data perioda *output* ETABS *versi* 2015 Model 2.

Output Case	Step Type	Stem Numb	Period	Sum UX	Sum UY
Modal	Mode	1	0.7350	0.6004	0.0000006
Modal	Mode	2	0.6550	0.6005	0.6124
Modal	Mode	3	0.6000	0.6185	0.6143
Modal	Mode	4	0.2540	0.6424	0.6146
Modal	Mode	5	0,1940	0,8033	0,6156
Modal	Mode	6	0,1800	0,8042	0,6638
Modal	Mode	7	0,1720	0,8564	0,6657
Modal	Mode	8	0,1620	0,8566	0,7767
Modal	Mode	9	0,1470	0,8858	0,7768
Modal	Mode	10	0,1410	0,8861	0,8676
Modal	Mode	11	0,1360	0,8863	0,8733
Modal	Mode	12	0,1240	0,8863	0,8733
Modal	Mode	13	0,1090	0,8866	0,8733
Modal	Mode	14	0,0990	0,8953	0,8733
Modal	Mode	15	0,0790	0,9445	0,8733
Modal	Mode	16	0,0750	0,9550	0,8734
Modal	Mode	17	0,0670	0,9550	0,9469
Modal	Mode	18	0,0620	0,9550	0,9470

Dari hasil Tabel 4.11 perioda *output* ETABS *versi* 2015 diatas maka didapat persentase selisih yang dapat dilihat pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12: Hasil selisih persentase nilai perioda Model 2.

SYARAT			
Mode (Perioda)	Selisih Persentase (%)	CQC	SRSS
Mode 1 – Mode 2	11%	OKE	NOT OKE
Mode 2 – Mode 3	8%	OKE	NOT OKE
Mode 3 – Mode 4	58%	NOT OKE	OKE
Mode 4 – Mode 5	24%	NOT OKE	OKE

Tabel 4.12: *Lanjutan.*

SYARAT			
Mode (Perioda)	Selisih Persentase (%)	CQC	SRSS
Mode 5 – Mode 6	7%	OKE	NOT OKE
Mode 6 – Mode 7	4%	OKE	NOT OKE
Mode 7 – Mode 8	6%	OKE	NOT OKE
Mode 8 – Mode 9	9%	OKE	NOT OKE
Mode 9 – Mode 10	4%	OKE	NOT OKE
Mode 10 – Mode 11	4%	OKE	NOT OKE
Mode 11 – Mode 12	9%	OKE	NOT OKE
Mode 12 – Mode 13	12%	OKE	NOT OKE
Mode 13 – Mode 14	9%	OKE	NOT OKE
Mode 14 – Mode 15	20%	NOT OKE	OKE
Mode 15 – Mode 16	5%	OKE	NOT OKE
Mode 16 – Mode 17	11%	OKE	NOT OKE
Mode 17 – Mode 18	7%	OKE	NOT OKE

Dari Tabel 4.12 dapat disimpulkan bahwa nilai persentase selisih rata-rata lebih kecil dari 15% jadi digunakan metode kombinasi kuadratik lengkap (CQC).

Metode kombinasi kuadratik (CQC) dilihat dari partisipasi massa (SumUX dan sum UY) harus mencapai sekurang-kurangnya 90%. Dimana Sum UX adalah partisipasi massa arah x dan Sum UY adalah partisipasi massa arah y.

#### 4.2.2.2 Gaya Lateral Ekuivalen

Berdasarkan SNI 03:1726:2012 pasal 7.8.3 nilai gaya gempa lateral ( $F_x$ ) yang timbul disemua tingkat.

Harus di tentukan dari Pers 2.1.3, 2.1.4 dan 2.1.5 dari Sub Bab 2.12.2. Nilai yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 4.13.

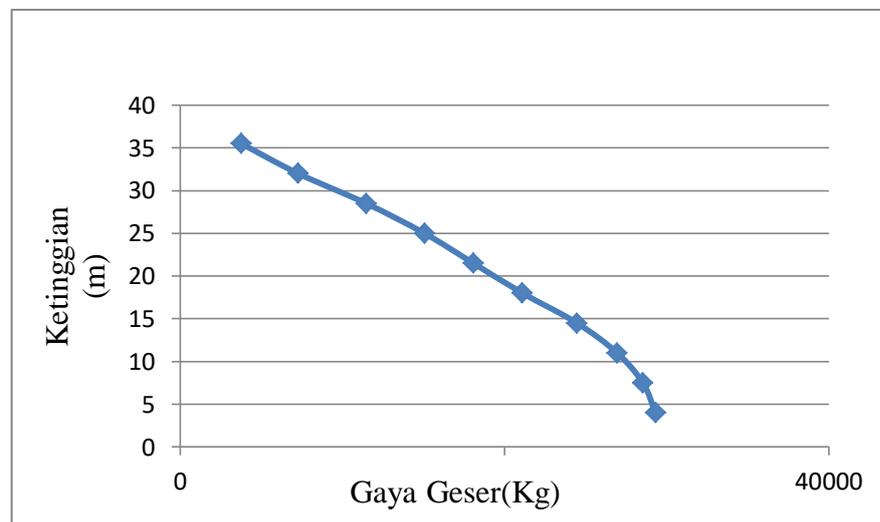
Tabel 4.13: Perhitungan distribusi vertikal dan horizontal gaya gempa Model 2.

Lantai	Tinggi (m)	Berat (Kg)	$W_h^k$	Force $F_x$ (Kg)	Story Shear $V_x$ (Kg)
10	35,5	21547,16	1163510,27	3767,78	3767,78
9	32	25913,15	1084724,15	3512,65	7280,43
8	28,5	25913,15	1294468,19	4191,86	11472,28
7	25	25913,15	1110844,87	3597,23	15069,52
6	21,5	25936,56	932332,30	3019,16	18088,68
5	18	31987,55	934428,27	3025,95	21114,62

Tabel 4.13: *Lanjutan.*

Lantai	Tinggi (m)	Berat (Kg)	Wh <sup>k</sup>	Force Fx (Kg)	Story Shear V <sub>x</sub> (Kg)
4	14,5	45725,26	1037731,73	3360,47	24475,09
3	11	46548,50	765173,89	2477,85	26952,95
2	7,5	46548,50	489286,98	1584,45	28537,40
1	4	47718,49	240773,23	779,69	29317,09
Total		343751,47	9053273,88	29317,09	

Berikut ini merupakan diagram distribusi gaya geser berdasarkan ketinggian dengan menggunakan gaya lateral statik ekuivalen SNI 03:1726:2012.



Gambar 4.5: Diagram gaya geser terhadap ketinggian struktur dengan gaya lateral ekuivalen Model 2.

#### 4.2.2.3 Analisis spektrum Respon Ragam

Berdasarkan SNI 03:1726:2012, nilai akhir dinamik struktur gedung terhadap pembebanan gempa nominal akibat pengaruh gempa rencana dalam suatu arah tertentu tidak boleh diambil kurang dari 85 % nilai respon ragam yang pertama. Bila respon dinamik struktur gedung dinyatakan dalam gaya geser dasar nominal ( $V_t$ ), maka persyaratan tersebut dapat dinyatakan dalam Tabel 4.14.

Tabel.4.14: Gaya geser hasil respon spektrum Model 2 *output* ETABS.

TABLE: Base Reactions		
Load Case/Combo	FX	FY
	Kgf	Kgf
BEBAN GEMPA ARAH X Max	317038,37	95444,07
BEBAN GEMPA ARAH Y Max	95321,03	317449,43

Berikut perhitungan koreksi nilai akhir respons dinamik terhadap respons ragam pertama:

❖ Gempa Arah X

$$\begin{aligned}
 V_{1x} &= C_s \times W_t \\
 &= 0,085 \times 343751,47 \\
 &= 29218,87 \text{ Kg (Gaya geser statik ekuivalen arah X)}
 \end{aligned}$$

❖ Gempa Arah Y

$$\begin{aligned}
 V_{1y} &= C_s \times W_t \\
 &= 0,085 \times 343751,47 \\
 &= 29218,87 \text{ Kg (Gaya geser statik ekuivalen arah Y)}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 1726:2012

❖ Arah X

$$\begin{aligned}
 V_{tx} &= 317038,37 \text{ Kg} \\
 V_{1x} &= 29218,87 \text{ Kg} \\
 \text{Syarat : } V_{tx} &\geq 0,85 V_{1x} \\
 317038,37 &\geq 0,85 \times 29218,87
 \end{aligned}$$

$$317038,37 \geq 2483,60 \text{ Syarat terpenuhi}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Faktor skala} &= \frac{0,85 \times V_{1x}}{V_{tx}} \geq 1 \\
 &= \frac{0,85 \times 29218,87}{317038,37}
 \end{aligned}$$

$$= 0,08 \leq 1$$

❖ Arah Y

$$V_{ty} = 317449,43 \text{ Kg}$$

$$V_{1y} = 29218,87 \text{ Kg}$$

$$\text{Syarat : } V_{ty} \geq 0,85 V_{1y}$$

$$317449,43 \geq 0,85 \times 29218,87$$

$$317449,43 \geq 24836,04 \text{ Syarat terpenuhi}$$

$$\text{Faktor skala} = \frac{0,85 \times V_{1y}}{V_{ty}} \geq 1$$

$$= \frac{0,85 \times 29218,87}{317449,43}$$

$$= 0,08 \leq 1$$

Tabel 4.15: Rekapitulasi faktor skala hasil respons spektrum dengan statik ekuivalen masing-masing arah Model 2.

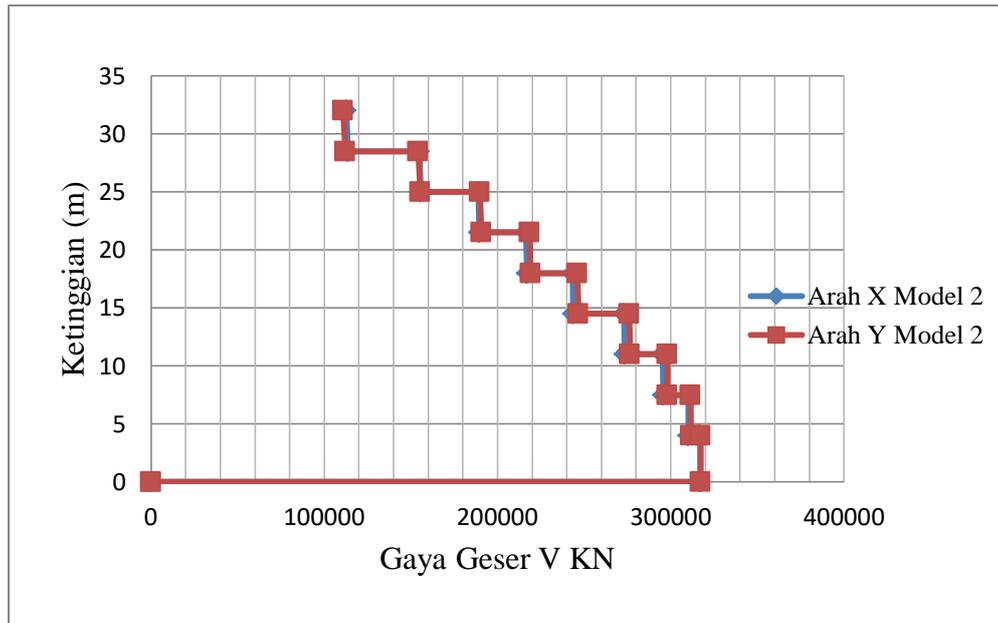
V <sub>1</sub> ELF		V <sub>t</sub> CQC		Faktor Skala	
Arah X (kgf)	Arah Y (kgf)	Arah X (kgf)	Arah Y (kgf)	Arah X (kgf)	Arah Y (kgf)
29218,87	29218,87	317038,37	317449,43	0,08	0,08

Karena faktor skala yang didapat untuk masing-masing arah kurang dari 1, gaya geser dasar nominal yang didapat dari hasil analisa ragam respons spektrum yang telah dilakukan dapat digunakan tanpa adanya pekalian dengan faktor skala. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya dari Tabel 4.15 di atas, dapat dilihat bahwa respon spektrum ragam dengan metode CQC lebih besar jika dibandingkan dengan prosedur analisis gaya lateral ekuivalen. Ada pun tabel analisa spektrum respon dapat dilihat pada Tabel 4.16.

Tabel.4.16: Gaya geser hasil analisis respon spektrum arah X dan arah Y Model 2.

Story	Elevation	Location	X-Dir	Y-Dir
	m		Kgf	Kgf
Story10	32	Top	112585,1882	110821,6451
	28,5	Bottom	113805,966	112083,1446
Story9	28,5	Top	154690,2879	154257,4655
	25	Bottom	155683,0195	155306,8611
Story8	25	Top	188824,6948	189893,955
	21,5	Bottom	189626,5842	190752,4891
Story7	21,5	Top	216290,6907	218581,2349
	18	Bottom	216932,0016	219263,7615
Story6	18	Top	243227,4904	246216,8273
	14,5	Bottom	243741,9181	246747,8572
Story5	14,5	Top	272935,4736	276161,4371
	11	Bottom	273334,2443	276558,6202
Story4	11	Top	295459,352	297991,3163
	7,5	Bottom	295740,3295	298264,081
Story3	7,5	Top	310049,7688	311455,5208
	4	Bottom	310208,5157	311607,4367
Story2	4	Top	316987,3978	317401,7099
	0	Bottom	317038,3662	317449,4339
Story1	0	Top	0	0
		Bottom	0	0

Tabel 4.16 diatas menunjukkan hasil dari perhitungan analisis respons spektrum ragam arah X maupun arah Y berdasarkan SNI 03:1726:2012 yang digambarkan pada Gambar 4.6 di bawah ini.



Gambar 4.6: Gaya geser analisis respon spektrum ragam Model 2.

#### 4.2.2.4 Nilai Simpangan Antar Tingkat (*Story Drift*)

Berdasarkan SNI 03:1726:2012 pasal 7.8.6 simpangan antar lantai hanya terdapat satu kinerja, yaitu pada kinerja batas ultimit. Penentuan simpangan antar lantai tingkat desain ( $\Delta$ ) harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa di tingkat teratas dan terbawah yang ditinjau apabila pusat massa tidak terletak garis sejajar dalam arah vertikal, diizinkan untuk menghitung defleksi di dasar tingkat berdasarkan proyeksi vertikal dari pusat massa di tingkat atasnya.

Nilai simpangan antar tingkat (*story drift*) dapat dilihat pada Tabel 4.17 untuk arah X dan Tabel 4.18 untuk arah Y di bawah ini.

Tabel 4.17: Perhitungan *story drift* kinerja batas ultimit arah X berdasarkan SNI 03:1726:2012 Model 2.

Lantai	Total Drift (cm)	Perpindahan (cm)	Story Drift (cm)	Story Drift Izin (cm)	Story Drift $< \Delta_a$
10	4,2378	0,5273	2,9001	7	OKE
9	3,7105	0,5357	2,9463	7	OKE
8	3,1748	0,5383	2,9606	7	OKE
7	2,6365	0,5293	2,9111	7	OKE
6	2,1072	0,5037	2,7703	7	OKE
5	1,6035	0,468	2,5740	7	OKE
4	1,1355	0,3987	2,1928	7	OKE

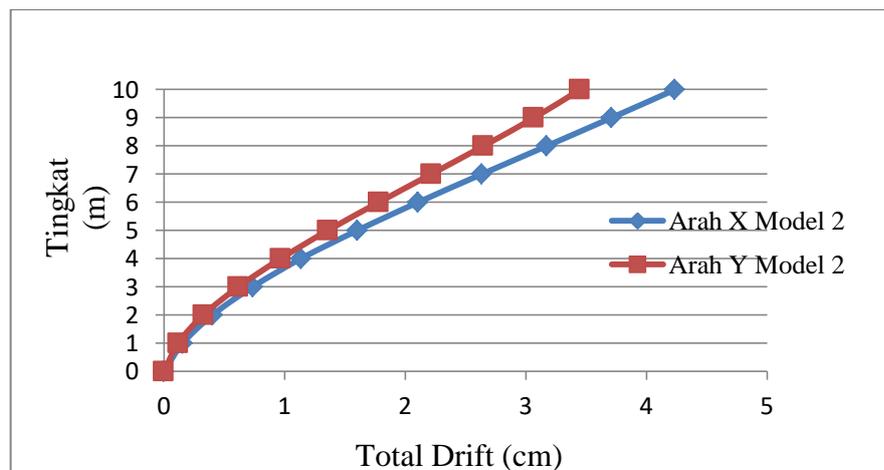
Tabel 4.17: Lanjutan.

Lantai	Total Drift (cm)	Perpindahan (cm)	Story Drift (cm)	Story Drift Izin (cm)	Story Drift < $\Delta a$
3	0,7368	0,3338	1,8359	7	OKE
2	0,4030	0,2477	1,3623	7	OKE
1	0,1553	0,1553	0,8541	8	OKE

Tabel 4.18: Perhitungan story drift kinerja batas ultimit arah Y berdasarkan SNI 03:1726:2012 Model 2.

Lantai	Total Drift (cm)	Perpindahan (cm)	Story Drift (cm)	Story Drift Izin (cm)	Story Drift < $\Delta a$
10	3,4503	0,3822	2,1021	7	OKE
9	3,0681	0,4186	2,3023	7	OKE
8	2,6495	0,4330	2,3815	7	OKE
7	2,2165	0,4354	2,3947	7	OKE
6	1,7811	0,4224	2,3232	7	OKE
5	1,3587	0,3909	2,1499	7	OKE
4	0,9678	0,3500	1,9250	7	OKE
3	0,6178	0,2905	1,5977	7	OKE
2	0,3273	0,2101	1,1555	7	OKE
1	0,1172	0,1172	0,6446	8	OKE

Berikut ini merupakan diagram perpindahan (*total drift*) terhadap tingkat pada struktur gedung model 2 berdasarkan SNI 03:1726:2012.



Gambar 4.7: Diagram total *drift* terhadap tingkat bangunan arah X dan Y Model 2.

#### 4.2.2.5 Distribusi Kekakuan Antar Tingkat

Berdasarkan SNI 03:1726:2012, bangunan gedung dengan kekakuan vertikal yang tidak baik adalah bangunan yang dalam tingkat yang lemah atau *soft story*. Nilai *soft story* dari struktur bangunan dapat dilihat pada Tabel 4.19 untuk arah X dan 4.20 untuk arah Y.

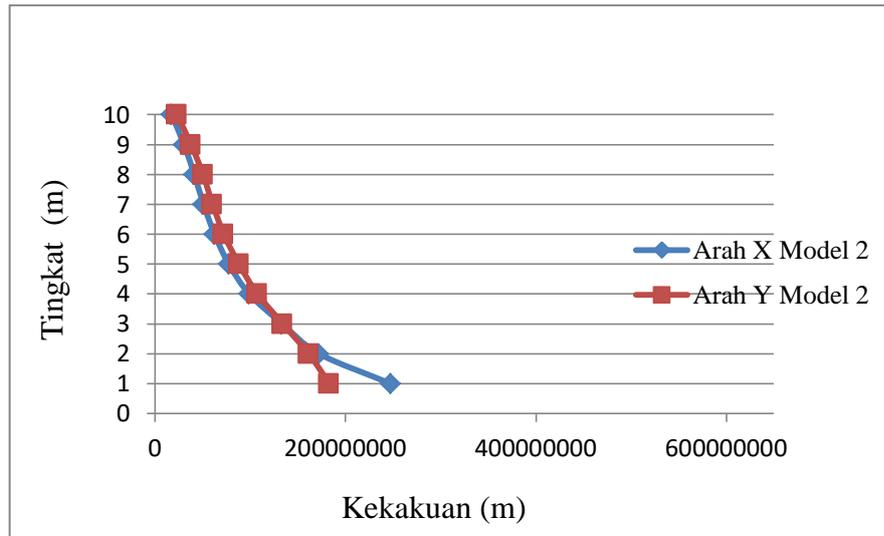
Tabel 4.19: Nilai hasil perhitungan *soft story* struktur bangunan arah X Model 2.

Lantai	Kek. Total	Ki/ki+1 (%)	Rata-rata Kek. 3 Tingkat (kr)	Ki/kr (%)	Kontrol
10	17204215,90				
9	30124046,09	175,09	29427424,6833		
8	40954012,06	135,95	40598550,5400		
7	50717593,47	123,84	51320231,0133	172,35	OKE
6	62289087,51	122,81	63434000,2233	153,43	OKE
5	77295319,69	124,09	79467436,1733	150,61	OKE
4	98817901,32	127,84	103181476,3367	155,78	OKE
3	13343120	135,03	134822554,7733	167,91	OKE
2	172218555	129,07		166,91	OKE
1	247528204	143,73		183,59	OKE

Tabel 4.20: Nilai hasil perhitungan *soft story* struktur bangunan arah Y Model 2.

Lantai	Kek. Total	Ki/ki+1 (%)	Rata-rata Kek. 3 Tingkat (kr)	Ki/kr (%)	Kontrol
10	22668094,67				
9	37611782,89	165,92	36816819,5033		
8	50170580,95	133,39	49346187,0067		
7	60256197,18	120,10	60826558,2767	163,66	OKE
6	72052896,7	119,58	73407551,1933	146,01	OKE
5	87913559,7	122,01	89139279,1333	144,53	OKE
4	107451381	122,22	109789368,9000	146,37	OKE
3	134003166	124,71	134259234,6667	146,93	OKE
2	161323157	120,39		146,93	OKE
1	182943798	113,40		136,26	OKE

Berikut ini merupakan diagram kekakuan antar lantai (*soft story*) terhadap tingkat pada struktur gedung Model 2 berdasarkan SNI 03:1726:2012.



Gambar 4.8: Kekakuan antar lantai arah X dan Y Model 2.

### 4.2.3 Model 3

#### 4.2.3.1 Analisa Respon Spektrum

Analisa yang digunakan dengan metode CQC dikarenakan perioda yang didapat memiliki waktu getar yang berdekatan yang kurang dari 15 % hasil nilai perioda *output* dari ETABS *versi* 2015 untuk wilayah yang terletak pada zona gempa tinggi dapat dilihat pada Tabel 4.21.

Tabel 4.21: Data perioda *output* ETABS *versi* 2015 Model 3.

Output Case	Step Type	Stem Numb	Period	Sum UX	Sum UY
Modal	Mode	1	0,7320	0,5969	0,0000
Modal	Mode	2	0,6430	0,5969	0,6096
Modal	Mode	3	0,5710	0,6134	0,6110
Modal	Mode	4	0,2440	0,6381	0,6116
Modal	Mode	5	0,1930	0,7958	0,6131
Modal	Mode	6	0,1810	0,7969	0,6765
Modal	Mode	7	0,1710	0,8498	0,6790
Modal	Mode	8	0,1630	0,8501	0,7803

Tabel 4.21: *Lanjutan.*

Output Case	Step Type	Stem Numb	Period	Sum UX	Sum UY
Modal	Mode	9	0,1470	0,8808	0,7804
Modal	Mode	10	0,1400	0,8810	0,8659
Modal	Mode	11	0,1300	0,8810	0,8672
Modal	Mode	12	0,1240	0,8810	0,8672
Modal	Mode	13	0,1090	0,8812	0,8672
Modal	Mode	14	0,0960	0,8920	0,8673
Modal	Mode	15	0,0780	0,9449	0,8673
Modal	Mode	16	0,0730	0,9513	0,8675
Modal	Mode	17	0,0680	0,9513	0,9432
Modal	Mode	18	0,0610	0,9514	0,9433

Dari hasil Tabel 4.21 perioda *output* ETABS *versi* 2015 diatas maka didapat persentase selisih yang dapat dilihat pada Tabel 4.22.

Tabel 4.22: Hasil selisih persentase nilai perioda Model 3.

SYARAT			
Mode (Perioda)	Selisih Persentase (%)	CQC	SRSS
Mode 1 – Mode 2	12%	OKE	NOT OKE
Mode 2 – Mode 3	11%	OKE	NOT OKE
Mode 3 – Mode 4	57%	NOT OKE	OKE
Mode 4 – Mode 5	21%	NOT OKE	OKE
Mode 5 – Mode 6	6%	OKE	NOT OKE
Mode 6 – Mode 7	6%	OKE	NOT OKE
Mode 7 – Mode 8	5%	OKE	NOT OKE
Mode 8 – Mode 9	10%	OKE	NOT OKE
Mode 9 – Mode 10	5%	OKE	NOT OKE
Mode 10 – Mode 11	7%	OKE	NOT OKE
Mode 11 – Mode 12	5%	OKE	NOT OKE
Mode 12 – Mode 13	12%	OKE	NOT OKE
Mode 13 – Mode 14	12%	OKE	NOT OKE
Mode 14 – Mode 15	19%	NOT OKE	OKE
Mode 15 – Mode 16	6%	OKE	NOT OKE
Mode 16 – Mode 17	7%	OKE	NOT OKE
Mode 17 – Mode 18	10%	OKE	NOT OKE

Dari Tabel 4.22 dapat disimpulkan bahwa nilai persentase selisih rata-rata lebih kecil dari 15% jadi digunakan metode kombinasi kuadrat lengkap (CQC).

Metode kombinasi kuadrat (CQC) dilihat dari partisipasi massa (SumUX dan Sum UY) harus mencapai sekurang-kurangnya 90%. Dimana Sum UX adalah partisipasi massa arah x dan Sum UY adalah partisipasi massa arah y.

#### 4.2.3.2 Gaya Lateral Ekvivalen

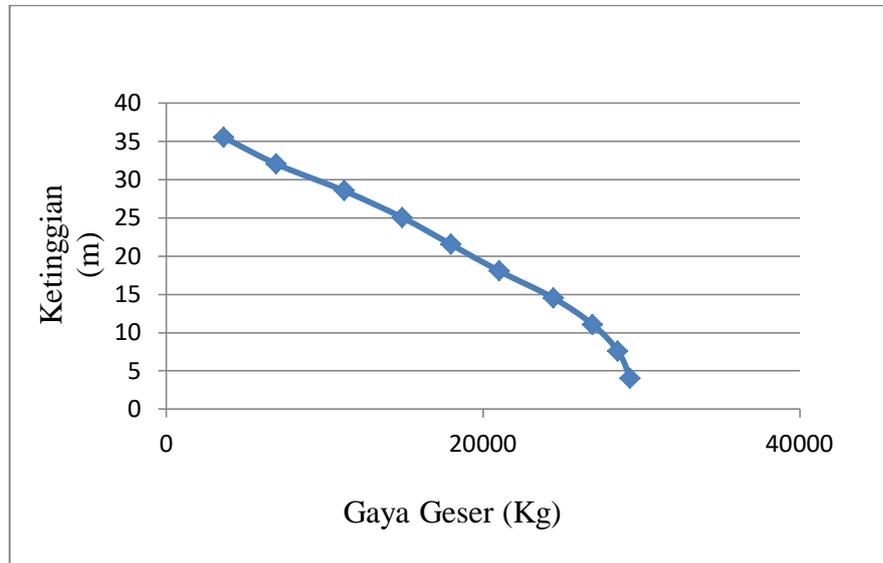
Berdasarkan SNI 03:1726:2012 pasal 7.8.3 nilai gaya gempa lateral ( $F_x$ ) yang timbul disemua tingkat.

Harus di tentukan dari Pers 2.1.3, 2.1.4 dan 2.1.5 dari Sub Bab 2.12.2. Nilai yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 4.23.

Tabel 4.23: Perhitungan distribusi vertikal dan horizontal gaya gempa Model 3.

Lantai	Tinggi (m)	Berat (Kg)	Wh <sup>k</sup>	Force Fx (Kg)	Story Shear Vx (Kg)
10	35,5	21523,75	1156039,79	3634,33	3634,33
9	32	25913,15	1062400,85	3339,95	6974,27
8	28,5	25913,15	1361934,06	4281,61	11255,89
7	25	25936,56	1167474,06	3670,27	14926,16
6	21,5	25936,56	976739,99	3070,65	17996,81
5	18	31987,55	976301,33	3069,27	21066,08
4	14,5	45725,26	1080684,25	3397,43	24463,51
3	11	46548,5	793513,42	2494,63	26958,13
2	7,5	46548,5	504469,77	1585,94	28544,07
1	4	47718,49	245889,09	773,02	29317,09
Total		343751,47	9325446,61	29317,09	

Berikut ini merupakan diagram distribusi gaya geser berdasarkan ketinggian dengan menggunakan gaya lateral statik ekuivalen SNI 03:1726:2012.



Gambar 4.9: Diagram gaya geser terhadap ketinggian struktur dengan gaya lateral ekuivalen Model 3.

#### 4.2.3.3 Analisis spektrum Respon Ragam

Berdasarkan SNI 03:1726:2012, nilai akhir dinamik struktur gedung terhadap pembebanan gempa nominal akibat pengaruh gempa rencana dalam suatu arah tertentu tidak boleh diambil kurang dari 85 % nilai respon ragam yang pertama. Bila respon dinamik struktur gedung dinyatakan dalam gaya geser dasar nominal ( $V_t$ ), maka persyaratan tersebut dapat dinyatakan dalam Tabel 4.24.

Tabel.4.24: Gaya geser hasil respon spektrum Model 3 *output* ETABS.

TABLE: Base Reactions		
Load Case/Combo	FX	FY
	Kgf	Kgf
BEBAN GEMPA ARAH X Max	314558,55	94955,03
BEBAN GEMPA ARAH Y Max	94625,46	315660,23

Berikut perhitungan koreksi nilai akhir respons dinamik terhadap respons ragam pertama.

❖ Gempa Arah X

$$\begin{aligned}V_{1x} &= C_s \times W_t \\ &= 0,085 \times 343751,47 \\ &= 29218,87 \text{ Kg (Gaya geser statik ekuivalen arah X)}\end{aligned}$$

❖ Gempa Arah Y

$$\begin{aligned}V_{1y} &= C_s \times W_t \\ &= 0,085 \times 343751,47 \\ &= 29218,87 \text{ Kg (Gaya geser statik ekuivalen arah Y)}\end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 03:1726:2012

❖ Arah X

$$\begin{aligned}V_{tx} &= 314558,55 \text{ Kg} \\ V_{1x} &= 29218,87 \text{ Kg} \\ \text{Syarat : } V_{tx} &\geq 0,85 V_{1x} \\ 314558,55 &\geq 0,85 \times 29218,87\end{aligned}$$

314558,55  $\geq$  24836,04 Syarat terpenuhi

$$\begin{aligned}\text{Faktor skala} &= \frac{0,85 \times V_{1x}}{V_{tx}} \geq 1 \\ &= \frac{0,85 \times 29218,87}{314558,55} \\ &= 0,08 \leq 1\end{aligned}$$

❖ Arah Y

$$\begin{aligned}V_{ty} &= 315660,23 \text{ Kg} \\ V_{1y} &= 29218,87 \text{ Kg} \\ \text{Syarat : } V_{ty} &\geq 0,85 V_{1y} \\ 315660,23 &\geq 0,85 \times 29218,87\end{aligned}$$

315660,23  $\geq$  24836,04 Syarat terpenuhi

$$\begin{aligned}\text{Faktor skala} &= \frac{0,85 \times V_{1y}}{V_{ty}} \geq 1 \\ &= \frac{0,85 \times 29218,87}{315660,23} \\ &= 0,08 \leq 1\end{aligned}$$

Tabel 4.25: Rekapitulasi faktor skala hasil respons spektrum dengan statik ekuivalen masing-masing arah Model 3.

V <sub>1</sub> ELF		V <sub>t</sub> CQC		Faktor Skala	
Arah X (kgf)	Arah Y (kgf)	Arah X (kgf)	Arah Y (kgf)	Arah X (kgf)	Arah Y (kgf)
29218,87	29218,87	314558,55	315660,23	0,08	0,08

Karena faktor skala yang didapat untuk masing-masing arah kurang dari 1, gaya geser dasar nominal yang didapat dari hasil analisa ragam respons spektrum yang telah dilakukan dapat digunakan tanpa adanya pekalian dengan faktor skala. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya dari Tabel 4.25 di atas, dapat dilihat bahwa respon spektrum ragam dengan metode CQC lebih besar jika dibandingkan dengan prosedur analisis gaya lateral ekuivalen. Ada pun tabel analisa spektrum respon dapat dilihat pada Tabel 4.26.

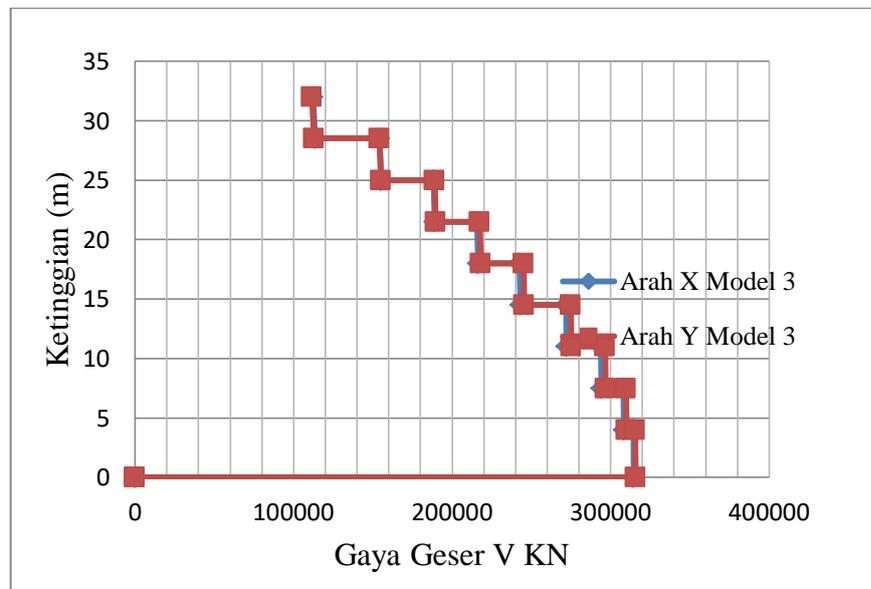
Tabel.4.26: Gaya geser hasil analisis respon spektrum arah X dan arah Y Model 3.

Story	Elevation	Location	X-Dir	Y-Dir
	M		Kgf	Kgf
Story10	32	Top	112354,7999	111630,4831
	28,5	Bottom	113572,0476	112873,7882
Story9	28,5	Top	154280,0994	154136,5452
	25	Bottom	155268,8793	155163,3255
Story8	25	Top	188275,2358	188900,5522
	21,5	Bottom	189074,0087	189748,0673
Story7	21,5	Top	215634,7555	217395,2384
	18	Bottom	216273,7517	218078,3197
Story6	18	Top	242433,5433	244985,1622
	14,5	Bottom	242945,5638	245517,7721
Story5	14,5	Top	271716,0208	274886,8142
	11	Bottom	272112,1827	275283,5633
Story4	11	Top	293852,7444	296600,1341
	7,5	Bottom	294130,6512	296870,0623
Story3	7,5	Top	308063,0462	309893,2498
	4	Bottom	308218,448	310041,3985

Tabel.4.26: Lanjutan.

Story	Elevation	Location	X-Dir	Y-Dir
	M		Kgf	Kgf
Story2	4	Top	314518,2932	315621,3689
	0	Bottom	314558,551	315660,2293
Story1	0	Top	0	0
		Bottom	0	0

Tabel 4.26 diatas menunjukkan hasil dari perhitungan analisis respons spektrum ragam arah X maupun arah Y berdasarkan SNI 03:1726:2012 yang digambarkan pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10: Gaya geser analisis respon spektrum ragam Model 3.

#### 4.2.3.4 Nilai Simpangan Antar Tingkat (*Story Drift*)

Berdasarkan SNI 03:1726:2012 pasal 7.8.6 simpangan antar lantai hanya terdapat satu kinerja, yaitu pada kinerja batas ultimit. Penentuan simpangan antar lantai tingkat desain ( $\Delta$ ) harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa di tingkat teratas dan terbawah yang ditinjau apabila pusat massa tidak terletak garis sejajar dalam arah vertikal, diizinkan untuk menghitung defleksi di dasar tingkat berdasarkan proyeksi vertikal dari pusat massa di tingkat atasnya.

Nilai simpangan antar tingkat (*story drift*) dapat dilihat pada Tabel 4.27 untuk arah X dan Tabel 4.28 untuk arah Y di bawah ini.

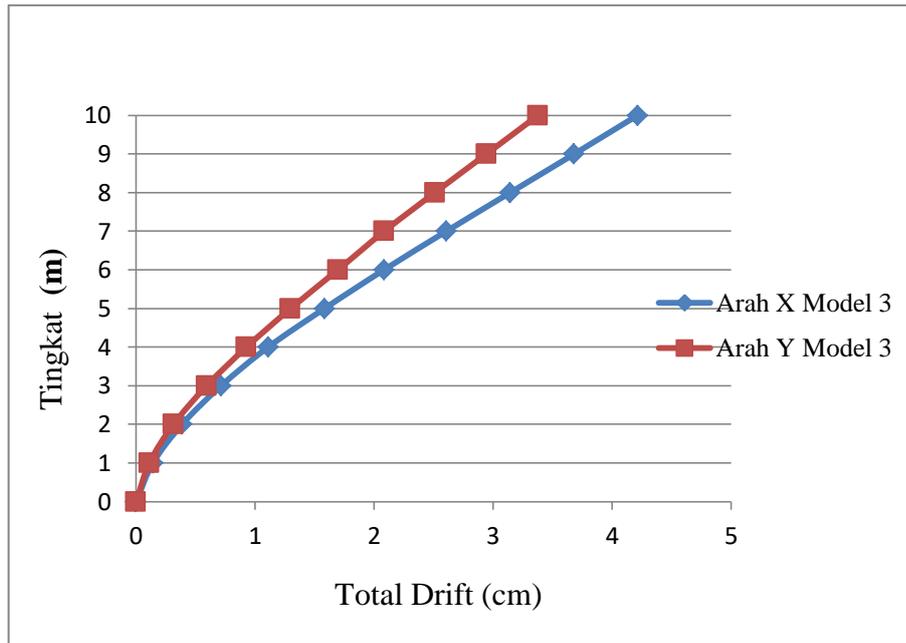
Tabel 4.27: Perhitungan *story drift* kinerja batas ultimit arah X berdasarkan SNI 03:1726:2012 Model 3.

Lantai	Total Drift (cm)	Perpindahan (cm)	Story Drift (cm)	Story Drift Izin (cm)	Story Drift < $\Delta a$
10	4,2131	0,5321	2,9266	7	OKE
9	3,6810	0,5374	2,9557	7	OKE
8	3,1436	0,5364	2,9502	7	OKE
7	2,6072	0,5250	2,8875	7	OKE
6	2,0822	0,4990	2,7445	7	OKE
5	1,5832	0,4741	2,6076	7	OKE
4	1,1091	0,3947	2,1709	7	OKE
3	0,7144	0,3293	1,8112	7	OKE
2	0,3851	0,2449	1,3470	7	OKE
1	0,1402	0,1402	0,7711	8	OKE

Tabel 4.28: Perhitungan *story drift* kinerja batas ultimit arah Y berdasarkan SNI 03:1726:2012 Model 3.

Lantai	Total Drift (cm)	Perpindahan (cm)	Story Drift (cm)	Story Drift Izin (cm)	Story Drift < $\Delta a$
10	3,3768	0,4330	2,3815	7	OKE
9	2,9438	0,4337	2,3854	7	OKE
8	2,5101	0,4252	2,3386	7	OKE
7	2,0849	0,3896	2,1428	7	OKE
6	1,6953	0,3974	2,1857	7	OKE
5	1,2979	0,3710	2,0405	7	OKE
4	0,9269	0,3344	1,8392	7	OKE
3	0,5925	0,2789	1,5340	7	OKE
2	0,3136	0,2031	1,1171	7	OKE
1	0,1105	0,1105	0,6078	8	OKE

Berikut ini merupakan diagram perpindahan (*total drift*) terhadap tingkat pada struktur gedung Model 3 berdasarkan SNI 03:1726:2012.



Gambar 4.11: Diagram total *drift* terhadap tingkat bangunan arah X dan Y Model 3.

#### 4.2.3.5 Distribusi Kekakuan Antar Tingkat

Berdasarkan SNI 03:1726:2012, bangunan gedung dengan kekakuan vertikal yang tidak baik adalah bangunan yang dalam tingkat yang lemah atau *soft story*. Nilai *soft story* dari struktur bangunan dapat dilihat pada Tabel 4.29 untuk arah X dan 4.30 untuk arah Y di bawah ini.

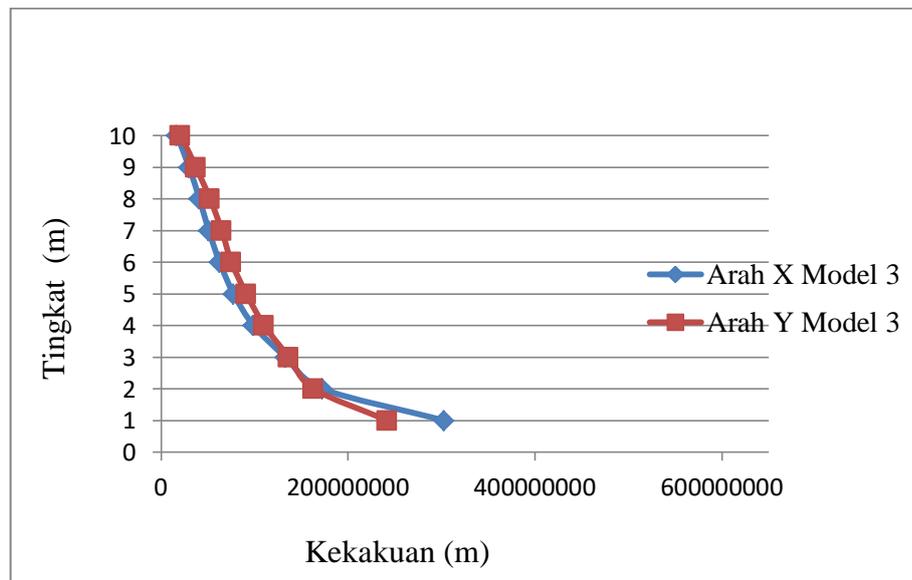
Tabel 4.29: Nilai hasil perhitungan *soft story* struktur bangunan arah X Model 3.

Lantai	Kek. Total	Ki/ki+1 (%)	Rata-rata Kek. 3 Tingkat (kr)	Ki/kr (%)	Kontrol
10	17041826,37				
9	29966463,69	175,84	29332148,3400		
8	40988154,96	136,78	40648331,8067		
7	50990376,77	124,40	51511085,5733	173,84	OKE
6	62554724,99	122,67	63695160,5533	153,89	OKE
5	77540379,90	123,95	79673777,7767	150,53	OKE
4	98926228,44	127,58	103170639,1133	155,31	OKE
3	133045309	134,48	134844269,1467	166,96	OKE
2	172561270	129,70		167,26	OKE
1	302852311	175,50		224,59	OKE

Tabel 4.30: Nilai hasil perhitungan *soft story* struktur bangunan arah Y Model 3.

Lantai	Kek. Total	Ki/ki+1 (%)	Rata-rata Kek. 3 Tingkat (kr)	Ki/kr (%)	Kontrol
10	21053199,25				
9	37254415,13	176,95	36916392,7467		
8	52441563,86	140,76	51525416,0333		
7	64880269,11	123,72	64200428,6167	175,71	OKE
6	75279452,88	116,02	77112468,2533	146,10	OKE
5	91177682,77	121,11	92291563,8833	142,02	OKE
4	110417556	121,10	112725744,5900	143,19	OKE
3	123,6959	123,69	136783185,3333	147,98	OKE
2	163350005	119,59		144,91	OKE
1	242035858	148,17		176,95	OKE

Berikut ini merupakan diagram kekakuan antar lantai (*soft story*) terhadap tingkat pada struktur gedung Model 3 berdasarkan SNI 03:1726:2012.



Gambar 4.12: Kekakuan antar lantai arah X dan Y Model 3.

#### 4.2.4 Model 4

##### 4.2.4.1 Analisa Respon Spektrum

Analisa yang digunakan dengan metode CQC dikarenakan perioda yang didapat memiliki waktu getar yang berdekatan yang kurang dari 15 % hasil nilai perioda *output* dari ETABS *versi* 2015 untuk wilayah yang terletak pada zona gempa tinggi dapat dilihat pada Tabel 4.31.

Tabel 4.31: Data perioda *output* ETABS *versi* 2015 Model 4.

Output Case	Step Type	Stem Numb	Period	Sum UX	Sum UY
Modal	Mode	1	0,7360	0,5949	0,0000
Modal	Mode	2	0,6460	0,5949	0,5830
Modal	Mode	3	0,5690	0,6107	0,5843
Modal	Mode	4	0,2450	0,6355	0,5849
Modal	Mode	5	0,1940	0,7973	0,5866
Modal	Mode	6	0,1810	0,7984	0,6702
Modal	Mode	7	0,1720	0,8503	0,6735
Modal	Mode	8	0,1640	0,8509	0,7940
Modal	Mode	9	0,1470	0,8811	0,7941
Modal	Mode	10	0,1420	0,8813	0,8735
Modal	Mode	11	0,1290	0,8813	0,8743
Modal	Mode	12	0,1240	0,8813	0,8743
Modal	Mode	13	0,1090	0,8815	0,8743
Modal	Mode	14	0,0960	0,8923	0,8744
Modal	Mode	15	0,0780	0,9447	0,8744
Modal	Mode	16	0,0730	0,9513	0,8745
Modal	Mode	17	0,0670	0,9513	0,9422
Modal	Mode	18	0,0610	0,9514	0,9423

Dari hasil Tabel 4.31 perioda *output* ETABS *versi* 2015 diatas maka didapat persentase selisih yang dapat dilihat pada Tabel 4.32.

Tabel 4.32: Hasil selisih persentase nilai perioda Model 4.

SYARAT			
Mode (Perioda)	Selisih Persentase (%)	CQC	SRSS
Mode 1 – Mode 2	12%	OKE	NOT OKE
Mode 2 – Mode 3	12%	NOT OKE	OKE
Mode 3 – Mode 4	57%	NOT OKE	OKE
Mode 4 – Mode 5	21%	NOT OKE	OKE
Mode 5 – Mode 6	7%	OKE	NOT OKE

Tabel 4.32: Lanjutan.

SYARAT			
Mode (Perioda)	Selisih Persentase (%)	CQC	SRSS
Mode 6 – Mode 7	5%	OKE	NOT OKE
Mode 7 – Mode 8	5%	OKE	NOT OKE
Mode 8 – Mode 9	10%	OKE	NOT OKE
Mode 9 – Mode 10	3%	OKE	NOT OKE
Mode 10 – Mode 11	9%	OKE	NOT OKE
Mode 11 – Mode 12	4%	OKE	NOT OKE
Mode 12 – Mode 13	12%	OKE	NOT OKE
Mode 13 – Mode 14	12%	OKE	NOT OKE
Mode 14 – Mode 15	19%	NOT OKE	OKE
Mode 15 – Mode 16	6%	OKE	NOT OKE
Mode 16 – Mode 17	8%	OKE	NOT OKE
Mode 17 – Mode 18	9%	OKE	NOT OKE

Dari Tabel 4.32 dapat disimpulkan bahwa nilai persentase selisih rata-rata lebih kecil dari 15% jadi digunakan metode kombinasi kuadratik lengkap (CQC).

Metode kombinasi kuadratik (CQC) dilihat dari partisipasi massa (SumUX dan sum UY) harus mencapai sekurang-kurangnya 90%. Dimana Sum UX adalah partisipasi massa arah x dan Sum UY adalah partisipasi massa arah y.

#### 4.2.4.2 Gaya Lateral Ekuivalen

Berdasarkan SNI 03:1726:2012 pasal 7.8.3 nilai gaya gempa lateral ( $F_x$ ) yang timbul disemua tingkat.

Harus di tentukan dari Pers 2.1.3, 2.1.4 dan 2.1.5 dari Sub Bab 2.12.2. Nilai yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 4.33.

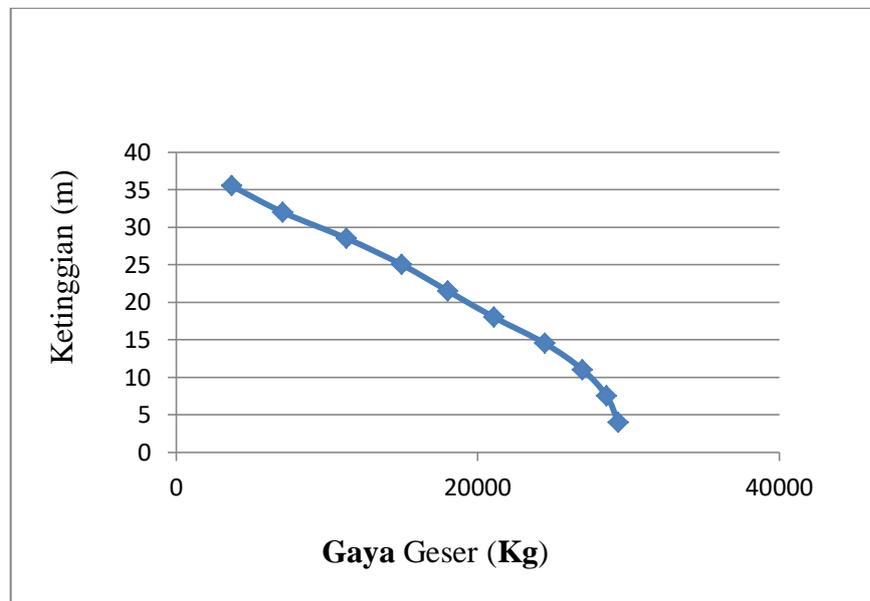
Tabel 4.33: Perhitungan distribusi vertikal dan horizontal gaya gempa Model 4.

Lantai	Tinggi (m)	Berat (Kg)	$W_h^k$	Force $F_x$ (Kg)	Story Shear $V_x$ (Kg)
10	35,5	21523,75	1164322,36	3686,18	3686,18
9	32	25913,15	1067938,24	3381,04	7067,22
8	28,5	25913,15	1344506,97	4256,64	11323,86
7	25	25913,15	1152075,16	3647,41	14971,27
6	21,5	25913,15	964415,89	3053,29	18024,56
5	18	31987,55	965512,93	3056,76	21081,32
4	14,5	45772,07	1070726,16	3389,86	24471,18

Tabel 4.33: *Lanjutan.*

Lantai	Tinggi (m)	Berat (Kg)	Wh <sup>k</sup>	Force Fx (Kg)	Story Shear V <sub>x</sub> (Kg)
3	11	46548,50	786232,03	2489,17	26960,35
2	7,5	46595,31	501080,57	1586,39	28546,75
1	4	47718,49	244582,11	774,33	29321,08
Total		343798,27	9261392,41	29321,08	185453,77

Berikut ini merupakan diagram distribusi gaya geser berdasarkan ketinggian dengan menggunakan gaya lateral statik ekuivalen SNI 03:1726:2012.



Gambar 4.13: Diagram gaya geser terhadap ketinggian struktur dengan gaya lateral ekuivalen Model 4.

#### 4.2.4.3 Analisis Spektrum Respon Ragam

Berdasarkan SNI 03:1726:2012, nilai akhir dinamik struktur gedung terhadap pembebanan gempa nominal akibat pengaruh gempa rencana dalam suatu arah tertentu tidak boleh diambil kurang dari 85 % nilai respon ragam yang pertama. Bila respon dinamik struktur gedung dinyatakan dalam gaya geser dasar nominal ( $V_t$ ), maka persyaratan tersebut dapat dinyatakan dalam Tabel 4.34.

Tabel.4.34: Gaya geser hasil respon spektrum Model 4 *output* ETABS.

TABLE: Base Reactions		
Load Case/Combo	FX	FY
	kgf	Kgf
BEBAN GEMPA ARAH X Max	333496,19	98036,43
BEBAN GEMPA ARAH Y Max	100334,42	325813,1

Berikut perhitungan koreksi nilai akhir respons dinamik terhadap respons ragam pertama:

❖ Gempa Arah X

$$\begin{aligned}
 V_{1x} &= C_s \times W_t \\
 &= 0,085 \times 343798,27 \\
 &= 292228,5 \text{ Kg (Gaya geser statik ekuivalen arah X)}
 \end{aligned}$$

❖ Gempa Arah Y

$$\begin{aligned}
 V_{1y} &= C_s \times W_t \\
 &= 0,085 \times 343798,27 \\
 &= 292228,5 \text{ Kg (Gaya geser statik ekuivalen arah Y)}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 03:1726:2012

❖ Arah X

$$\begin{aligned}
 V_{tx} &= 333496,19 \text{ Kg} \\
 V_{1x} &= 292228,5 \text{ Kg} \\
 \text{Syarat : } V_{tx} &\geq 0,85 V_{1x} \\
 333496,19 &\geq 0,85 \times 292228,5 \\
 333496,19 &\geq 248394,25 \text{ Syarat terpenuhi}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Faktor skala} &= \frac{0,85 \times V_{1x}}{V_{tx}} \geq 1 \\
 &= \frac{0,85 \times 292228,5}{333496,19} \\
 &= 0,7 \leq 1
 \end{aligned}$$

❖ Arah Y

$$V_{ty} = 325813,1 \text{ Kg}$$

$$V_{1y} = 292228,5 \text{ Kg}$$

$$\text{Syarat : } V_{ty} \geq 0,85 V_{1y}$$

$$325813,1 \geq 0,85 \times 29218,87$$

$$325813,1 \geq 24836,04 \text{ Syarat terpenuhi}$$

$$\begin{aligned} \text{Faktor skala} &= \frac{0,85 \times V_{1y}}{V_{ty}} \geq 1 \\ &= \frac{0,85 \times 292228,5}{325813,1} \\ &= 0,7 \leq 1 \end{aligned}$$

Tabel 4.35: Rekapitulasi faktor skala hasil respons spektrum dengan statik ekuivalen masing-masing arah Model 4.

V <sub>1</sub> ELF		V <sub>t</sub> CQC		Faktor Skala	
Arah X (kgf)	Arah Y (kgf)	Arah X (kgf)	Arah Y (kgf)	Arah X (kgf)	Arah Y (kgf)
292228,5	292228,5	333496,19	325813,1	0,7	0,7

Karena faktor skala yang didapat untuk masing-masing arah kurang dari 1, gaya geser dasar nominal yang didapat dari hasil analisa ragam respons spektrum yang telah dilakukan dapat digunakan tanpa adanya pekalian dengan faktor skala. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya dari Tabel 4.35 di atas, dapat dilihat bahwa respon spektrum ragam dengan metode CQC lebih besar jika dibandingkan dengan prosedur analisis gaya lateral ekuivalen. Ada pun tabel analisa spektrum respon dapat dilihat pada Tabel 4.36.

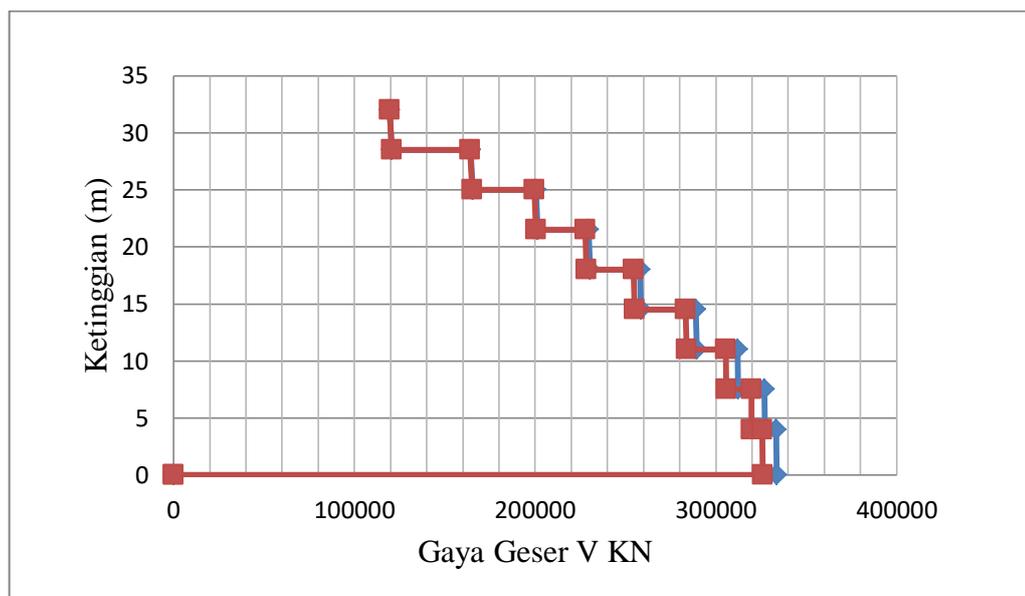
Tabel.4.36: Gaya geser hasil analisis respon spektrum arah X dan arah Y Model 4.

Story	Elevation	Location	X-Dir	Y-Dir
	m		kgf	Kgf
Story10	32	Top	119489,6669	119378,3595
	28,5	Bottom	120788,6384	120690,0179
Story9	28,5	Top	164275,738	163962,6655
	25	Bottom	165332,1759	165029,6893
Story8	25	Top	200551,0878	199666,3486
	21,5	Bottom	201403,0418	200521,9276

Tabel.4.36: Lanjutan.

Story	Elevation	Location	X-Dir	Y-Dir
	m		Kgf	Kgf
Story7	21,5	Top	229649,7372	227781,3186
	18	Bottom	230328,2195	228449,3575
Story6	18	Top	258017,2566	254422,7758
	14,5	Bottom	258557,5116	254937,2152
Story5	14,5	Top	288892,3704	283293,5737
	11	Bottom	289307,4588	283688,3029
Story4	11	Top	312062,3226	305607,6205
	7,5	Bottom	312351,5047	305889,2003
Story3	7,5	Top	326808,8796	319633,6516
	4	Bottom	326969,3558	319790,2967
Story2	4	Top	333454,8831	325771,7657
	0	Bottom	333496,187	325813,0969
Story1	0	Top	0	0
		Bottom	0	0

Tabel 4.36 diatas menunjukkan hasil dari perhitungan analisis respons spektrum ragam arah X maupun arah Y berdasarkan SNI 03:1726:2012 yang digambarkan pada Gambar 4.14.



Gambar 4.14: Gaya geser analisis respon spektrum ragam Model 4.

#### 4.2.4.4 Nilai Simpangan Antar Tingkat (*Story Drift*)

Berdasarkan SNI 03:1726:2012 pasal 7.8.6 simpangan antar lantai hanya terdapat satu kinerja, yaitu pada kinerja batas ultimit. Penentuan simpangan antar lantai tingkat desain ( $\Delta$ ) harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa di tingkat teratas dan terbawah yang ditinjau apabila pusat massa tidak terletak garis sejajar dalam arah vertikal, diizinkan untuk menghitung defleksi di dasar tingkat berdasarkan proyeksi vertikal dari pusat massa di tingkat atasnya.

Nilai simpangan antar tingkat (*story drift*) dapat dilihat pada Tabel 4.37 untuk arah X dan Tabel 4.38 untuk arah Y di bawah ini.

Tabel 4.37: Perhitungan *story drift* kinerja batas ultimit arah X berdasarkan SNI 03:1726:2012 Model 4.

Lantai	Total Drift (cm)	Perpindahan (cm)	Story Drift (cm)	Story Drift Izin (cm)	Story Drift $< \Delta_a$
10	4,2645	0,5426	2,9843	7	OKE
9	3,7219	0,5482	3,0151	7	OKE
8	3,1737	0,5472	3,0096	7	OKE
7	2,6265	0,5349	2,9420	7	OKE
6	2,0916	0,5059	2,7825	7	OKE
5	1,5857	0,4753	2,6142	7	OKE
4	1,1104	0,3960	2,1780	7	OKE
3	0,7144	0,3294	1,8117	7	OKE
2	0,3850	0,2449	1,3470	7	OKE
1	0,1401	0,1401	0,7706	8	OKE

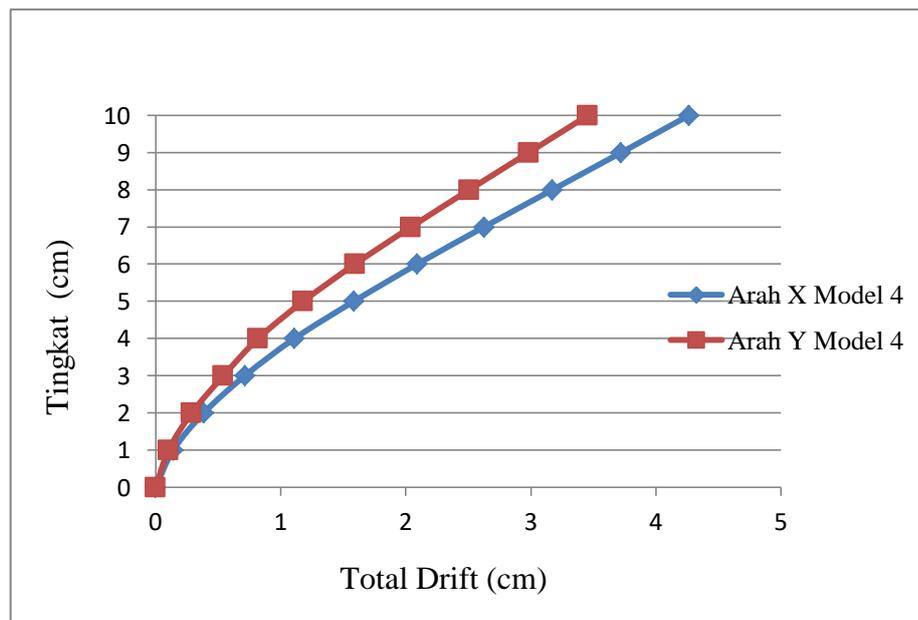
Tabel 4.38: Perhitungan *story drift* kinerja batas ultimit arah Y berdasarkan SNI 03:1726:2012 Model 4.

Lantai	Total Drift (cm)	Perpindahan (cm)	Story Drift (cm)	Story Drift Izin (cm)	Story Drift $< \Delta_a$
10	3,4561	0,4734	2,6037	7	OKE
9	2,9827	0,4743	2,6087	7	OKE
8	2,5084	0,4667	2,5669	7	OKE
7	2,0417	0,4476	2,4618	7	OKE

Tabel 4.38: *Lanjutan.*

Lantai	Total Drift (cm)	Perpindahan (cm)	Story Drift (cm)	Story Drift Izin (cm)	Story Drift < $\Delta a$
6	1,5941	0,4135	2,2743	7	OKE
5	1,1806	0,3605	1,9828	7	OKE
4	0,8201	0,2781	1,5296	7	OKE
3	0,5420	0,2526	1,3893	7	OKE
2	0,2894	0,1865	1,0258	7	OKE
1	0,1029	0,1029	0,5660	8	OKE

Berikut ini merupakan diagram perpindahan (*total drift*) terhadap tingkat pada struktur gedung Model 4 berdasarkan SNI 03:1726:2012.



Gambar 4.15: Diagram total *drift* terhadap tingkat bangunan arah X dan Y Model 4.

#### 4.2.4.5 Distribusi Kekakuan Antar Tingkat

Berdasarkan SNI 03:1726:2012, bangunan gedung dengan kekakuan vertikal yang tidak baik adalah bangunan yang dalam tingkat yang lemah atau *soft story*. Nilai *soft story* dari struktur bangunan dapat dilihat pada Tabel 4.39 untuk arah X dan 4.40 untuk arah Y dibawah ini.

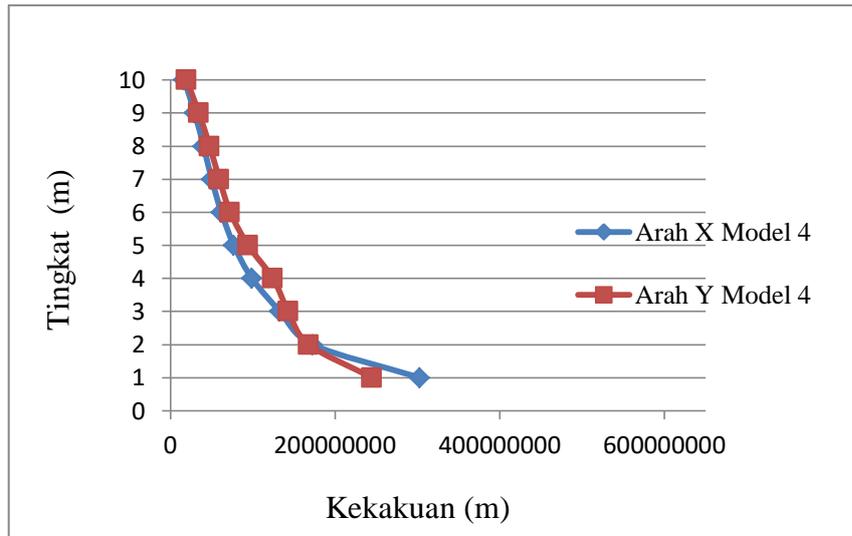
Tabel 4.39: Nilai hasil perhitungan *soft story* struktur bangunan arah X Model 4.

Lantai	Kek. Total	Ki/ki+1 (%)	Rata-rata Kek. 3 Tingkat (kr)	Ki/kr (%)	Kontrol
10	16753123,36				
9	29428648,58	175,66	28796151,6267		
8	40206682,94	136,62	39911028,1133		
7	50097752,82	124,60	50707248,7167	173,97	OKE
6	61817310,39	123,39	63009744,3400	154,88	OKE
5	77114169,81	124,74	79328663,2900	152,07	OKE
4	99054509,67	128,45	103106008,1600	157,20	OKE
3	133149345	134,42	134915376,2233	167,84	OKE
2	172542274	129,58		167,34	OKE
1	302826792	175,51		224,45	OKE

Tabel 4.40: Nilai hasil perhitungan *soft story* struktur bangunan arah Y Model 4.

Lantai	Kek. Total	Ki/ki+1 (%)	Rata-rata Kek. 3 Tingkat (kr)	Ki/kr (%)	Kontrol
10	19571623,21				
9	34563833,94	176,60	33948412,1633		
8	47709779,34	138,03	47233127,8300		
7	59425770,21	124,55	59933561,7733	175,04	OKE
6	72665135,77	122,27	75497135,2100	153,84	OKE
5	94400499,65	129,91	97204516,8067	157,51	OKE
4	124547915	131,93	120712562,5500	164,97	OKE
3	143189273	114,96	145306146,6667	147,31	OKE
2	168181252	117,45		139,32	OKE
1	244992340	145,67		168,60	OKE

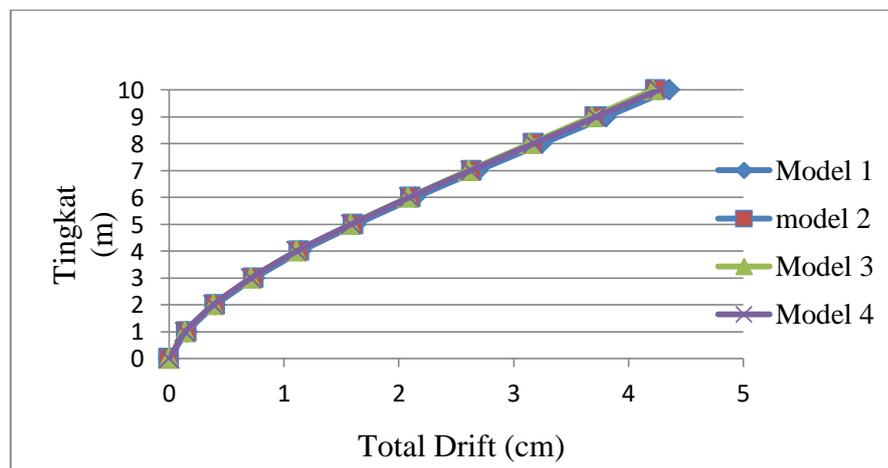
Berikut ini merupakan diagram kekakuan antar lantai (*soft story*) terhadap tingkat pada struktur gedung Model 4 berdasarkan SNI 03:1726:2012.



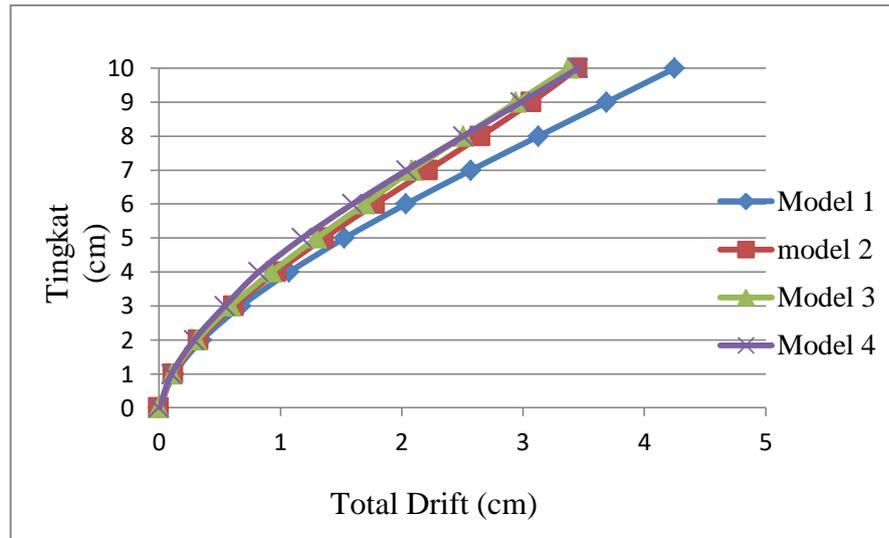
Gambar 4.16: Kekakuan antar lantai arah X dan Y Model 4.

#### 4.2.5 Perbandingan *Story Drift* Untuk Semua Model

Berikut ini akan dijelaskan perbandingan simpangan antar lantai (*story drift*) yang terjadi pada Model 1, Model 2, Model 3 dan Model 4 dimana perbandingan dilakukan dengan arah yang sama, Gambar 4.13 menjelaskan perbandingan simpangan arah X dan Gambar 4.14 menjelaskan perbandingan simpangan arah Y.



Gambar 4.17: Perbandingan simpangan arah X.



Gambar 4.18: Perbandingan simpangan arah Y.

Dari perbandingan diagram perpindahan *story drift* diatas dapat disimpulkan bahwa simpangan antar lantai untuk arah X tidak begitu signifikan dikarenakan tidak adanya penambahan *outrigger*, dimana hasil persentase pengurangan simpangan untuk arah X pada Model 1 sebesar 0 %, Model 2 sebesar 2,8 %, Model 3 sebesar 3,4 %, dan Model 4 sebesar 2,2 %. Persentase pengurangan simpangan untuk arah Y pada Model 1 sebesar 0%, pada Model 2,3 dan 4 pengurangan simpangan untuk arah Y cukup besar dibandingkan arah X dikarenakan pada arah Y ada penambahan *outrigger*, dimana hasil persentase arah Y untuk Model 2 sebesar 18,8 % , Model 3 sebesar 20,6 % dan Model 4 sebesar 18,7 % seperti di jelaskan pada Tabel 4.41.

Tabel 4.41: Persentase pengurangan simpangan untuk semua Model.

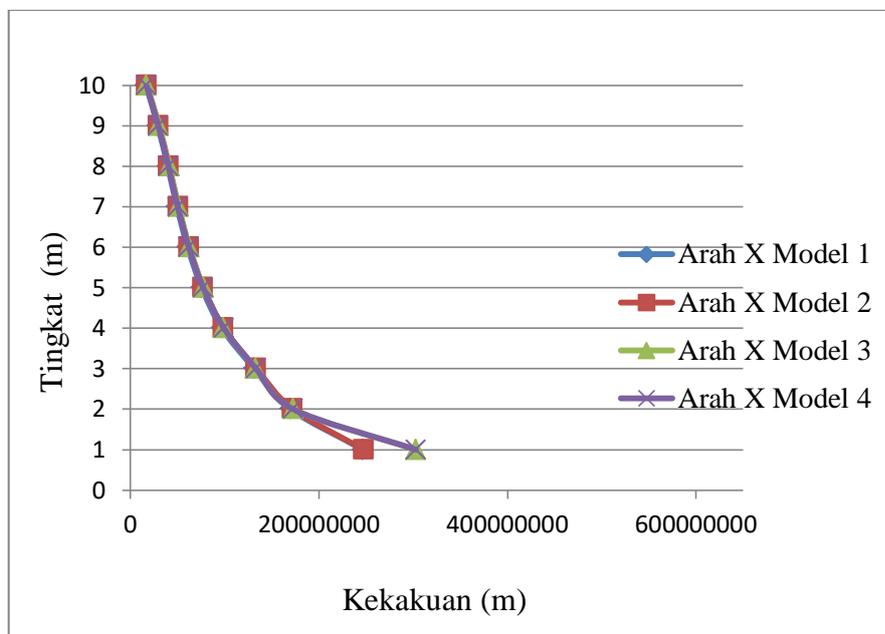
No	Model	Story Drift Mak		Story Drift Mak Model 1		%	
		X (cm)	Y (cm)	X (cm)	Y (cm)	X	Y
1	1	4,3616	4,2505	4,3616	4,2505	0	0
2	2	4,2378	3,4503	4,3616	4,2505	2,8	18,8

Tabel 4.41: *Lanjutan.*

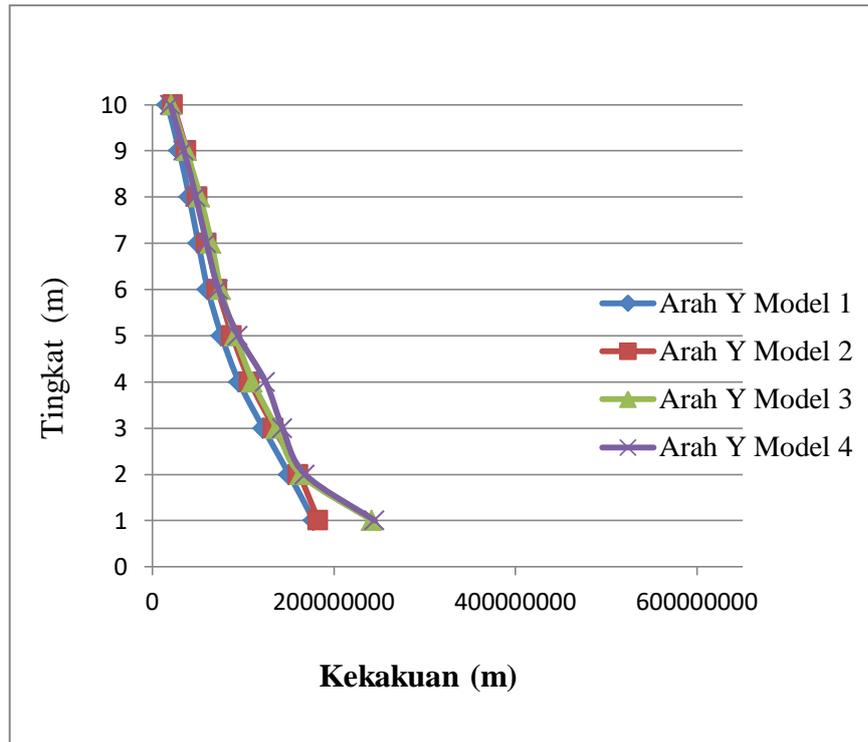
Model		Story Drift Mak		Story Drift Mak Model 1		%	
		X (cm)	Y (cm)	X (cm)	Y (cm)	X	Y
3	3	4,2131	3,3768	4,3616	4,2505	3,4	20,6
4	4	4,2645	3,4561	4,3616	4,2505	2,2	18,7

#### 4.2.6 Perbandingan Kekakuan Antar Lantai Untuk Semua Model

Berikut ini akan dijelaskan perbandingan kekakuan antar lantai (*soft story*) yang terjadi pada Model 1, Model 2, Model 3 dan Model 4 dimana perbandingan dilakukan dengan arah yang sama, Gambar 4.16 menjelaskan perbandingan simpangan arah X dan Gambar 4.17 menjelaskan perbandingan simpangan arah Y.



Gambar 4.19: Perbandingan kekakuan arah X.



Gambar 4.20: Perbandingan kekakuan arah Y.

Dari Gambar 4.19 dan Gambar 4.20 kekakuan antar lantai pada arah X tidak terlalu berbeda dikarenakan pada arah X tidak ada penambahan *outrigger*, kekakuan antar lantai pada arah Y terjadi perbedaan kekakuan karena penambahan *outrigger*.

#### 4.2.7 Kontrol Kemampuan Dinding Geser Menerima Gaya Geser

Gedung yang memiliki sistem ganda sesuai dengan SNI 03:1726:2012 dimana rangka pemikul momen harus mampu menahan paling sedikit 25% gaya gempa desain. Tahanan gaya gempa total harus disediakan oleh kombinasi rangka pemikul moomen dan dinding geser atau rangka *bracing*, dengan distribusi yang proposional terhadap kekakuannya, Persentase penahan gempa untuk semua model di sajikan dalam Tabel 4.42, maka gedung semua model ini memenuhi syarat sistem ganda.

Tabel 4.42: Persentase gempa semua Model.

Model	Load Case	Gaya yang Diterima		Persentase Penahanan Gaya Gempa (%)	
		SRPMK	Sistem Ganda	SRPMK	Sistem Ganda
1	Gempa Arah X	236149,36	361763,52	39,49	60,50
	Gempa Arah Y	215045,21	385983,55	35,77	64,22
2	Gempa Arah X	227376,42	362762,23	38,52	61,47
	Gempa Arah Y	215045,21	399834,42	34,97	65,02
3	Gempa Arah X	231632,12	371561,572	38,40	61,59
	Gempa Arah Y	221033,42	412233,23	34,90	65,09
4	Gempa Arah X	238722,12	392345,53	37,82	62,17
	Gempa Arah Y	232103,81	438652,17	34,60	65,39

## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 KESIMPULAN

Dalam studi ini dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Simpangan antar lantai untuk arah X tidak begitu signifikan dikarenakan tidak adanya penambahan *outrigger*, dimana hasil persentase pengurangan simpangan untuk arah X pada Model 1 sebesar 0 %, Model 2 sebesar 2,8 %, Model 3 sebesar 3,4 %, dan Model 4 sebesar 2,2 %. Persentase pengurangan simpangan untuk arah Y pada Model 1 sebesar 0%, pada Model 2,3 dan 4 pengurangan simpangan untuk arah Y cukup besar dibandingkan arah X dikarenakan pada arah Y ada penambahan *outrigger*, dimana hasil persentase arah Y untuk Model 2 sebesar 18,8 %, Model 3 sebesar 20,6 % dan Model 4 sebesar 18,7 %.
2. Kekakuan antar lantai pada arah X tidak terlalu berbeda dikarenakan pada arah X tidak ada penambahan *outrigger*. Kekakuan antar lantai pada arah Y terjadi perbedaan kekakuan karena penambahan *outrigger*.
3. Persentase penggunaan sistem ganda lebih besar menahan gaya gempa dibandingkan dengan sistem SRPMK.

#### 5.2 SARAN

Berikut ini adalah beberapa saran yang dapat penulis sampaikan setelah melakukan pengerjaan tugas akhir ini, yaitu:

1. Desain *outrigger* ini dapat digunakan sebagai salah satu teknologi untuk pengembangan bangunan tingkat tinggi di Indonesia yang penggunaannya telah banyak di luar negeri.
2. Pada tugas akhir ini analisa struktur yang dibuat hanya metode respon spektrum, untuk itu sebaiknya digunakan juga analisa struktur memakai *time history*.

3. Untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat sebaiknya tanah yang ditinjau ada 3 jenis yaitu tanah keras, tanah sedang dan tanah lunak. Disini penulis hanya meninjau pada 1 jenis tanah yaitu tanah lunak.

## DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional (2012) *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung SNI 1726:2012*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Budiono, B. dan Supriatna, L (2011) *Studi Komparasi Desain Bangunan Tahan Gempa Dengan Menggunakan SNI 03-1726:2002 dan SNI 1726:2012*. Bandung: ITB.
- Pawirodikromo, W (2012) *Seismologi Teknik dan Rekayasa kegempaan*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- Badan Standarisasi Nasional (2013) *Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain SNI 1727:2013*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Shankar, N.R (1998) *Belt Trusses and Basements as Virtual Outrigger for Tall Buildings*. Chicago: Teng and Associates.
- Kian, P.S. dan Siahaan, F.T (2001) *The Use of Outrigger and Belt Truss System for High-rise Concrete Buildings*. Surabaya: UK Petra.
- Departemen Pekerjaan Umum (1987) *Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung*. Jakarta: Yayasan Badan Penerbit PU.
- Pinem, E.E. dan Arafah, A.K.M (2007) *Tugas Akhir: Analisa Perilaku Struktur Gedung Tahan Gempa Dengan Dinding Geser dan Outrigger*. Bandung: ITB.
- Angerik, V (2009) *Analisa Respon Beban Angin Pada Bangunan Beton Bertingkat Tinggi Yang Menggunakan Sistem Outrigger Truss*. Medan: USU.
- Pamuda, P. dan Lumartana, B (2002) *A Preliminary Study of Shear Wall Frame-Belt Truss (Virtual Outrigger) System*. Surabaya: UK Petra.

## LAMPIRAN

### A. Cek Dimensi Kolom Dan Balok

#### 1. Cek dimensi kolom

Kolom harus memenuhi syarat komponen struktur lentur SRPMK berdasarkan SNI 2847-2013 Pasal 21.5

- A).  $A_g \cdot f_c / 10 >$  gaya aksial tekan terfaktor
- B). Sisi terpendek kolom tidak kurang dari 300 mm
- C). Rasio dimensi penampang tidak kurang dari 0,4

- Diketahui dimensi kolom :

$$b = 800 \text{ mm}$$

$$h = 800 \text{ mm}$$

- Material beton dan tulangan baja :

$$f_c' = 40 \text{ Mpa}$$

$$f_y = 390 \text{ Mpa}$$

Selimut beton = 40 mm

Penyelesaian :

- a) Gaya aksial pada kolom tidak boleh melebihi  $A_g \cdot f_c / 10$  (pasal 21.6.1 SNI 2847:2013).

$$A_g \cdot f_c / 10 = 2560000 \text{ N}$$

$$= 2560 \text{ kN} > P_u = 1058,913 \text{ kN}$$

- b) Sisi terpendek kolom tidak kurang dari 300 mm.

Sisi terpendek kolom,  $d = 800 \text{ mm}$ .

Syarat Ok,  $d = 800 > 300 \text{ mm}$ .

- c) Rasio dimensi penampang tidak kurang dari 0,4

$$\text{Rasio antara } b \text{ dan } d = 800 / 800 = 1$$

Syarat OKE,  $b / d \text{ ratio} = 1 > 0,4$

2. Cek dimensi balok

- A) Gaya tekan aksial terfaktor pada komponen struktur lentur dibatasi maksimum  $(0,1.A_g.f_c)$ .
- B) Bentang bersih komponen struktur tidak boleh lebih dari 4 kali tinggi efektifnya.
- C) Perbandingan lebar terhadap tinggi tidak boleh kurang dari 0,3.
- D) Lebar komponen tidak boleh lebih 250 mm, melebihi lebar komponen struktur pendukung (diukur pada bidang tegak lurus terhadap sumbu longitudinal komponen struktur lentur) ditambah jarak pada tiap sisi komponen struktur pendukung yang tidak melebihi  $0,75 (3/4)$  tinggi komponen struktur lentur.

- Diketahui dimensi balok:

$$b = 400 \text{ mm}$$

$$h = 600 \text{ mm}$$

- Material beton dan tulangan baja :

$$f_c' = 35 \text{ Mpa}$$

$$f_y = 390 \text{ Mpa}$$

$$\text{Selimut beton} = 40 \text{ mm}$$

Penyelesaian :

- a) Gaya tahan aksial terfaktor pada komponen struktur lentur dibatasi maksimum  $(0,1.A_g.f_c)$ .

$$0,1.A_g.f_c = 840000 \text{ N}$$

$$= 840 \text{ kN} > P_u = 71,621 \text{ kN}$$

- b) Bentang bersih komponen struktur tidak boleh lebih dari 4 kali tinggi efektifnya.

Asumsi hanya satu lapis tulangan positif yang perlu dipasang, selimut beton 40 cm, sengkang menggunakan tulangan D 10 mm, dan baja tulangan longitudinal yang dipakai adalah D 18 mm.

$$d_e = d = 600 \text{ mm} - (40 \text{ mm} + 10 \text{ mm} + 18 \text{ mm}) = 532 \text{ mm}$$

$$l_n/d_e = 5 \text{ m} / 532 \text{ mm} = 9,398 \text{ OKE}$$

- c) Perbandingan lebar terhadap tinggi tidak boleh  $< 0,3$ .  $b/h$

$$400/600 = 0,67 > 0,3 \text{ OKE}$$

d) Lebar komponen tidak boleh  $< 250$

Melebihi lebar komponen struktur pendukung (diukur pada bidang tegak lurus terhadap sumbu longitudinal komponen struktur lentur) ditambah jarak pada pendukung yang tidak melebihi  $\frac{3}{4}$  tinggi komponen struktur lentur.

Lebar balok,  $b = 400 \text{ mm} < \text{Lebar kolom} = 800 \text{ mm}$  OKE.

## B. Analisa Dan Batas Dinding Geser (Imran dan Hendrik, 2009)

Data perencanaan :

Tinggi	35,5 m
Panjang total	4 m
Panjang badan	5 m
Tebal	300 mm
$F_c'$	35 Mpa
$F_y$	390 Mpa
$V_u$	1668 kN
$M_u$	6276,24 kNm
$P_u$	928 kN
$\Phi$	0,8
$C_d$	5,5
$F_{yh}$	235 MPa
$I_e$	1
Selimut beton	40 mm

1. Tentukan kebutuhan baja tulangan vertikal dan horizontal minimum.

a. Periksa apakah dibutuhkan dua lapis tulangan

Baja tulangan vertikal dan horizontal masing-masing harus dipasang dua lapis apabila gaya geser bidang terfaktor yang bekerja pada dinding melebihi  $(1/6) \cdot A_{cv} \cdot \sqrt{f_c'}$

$$\begin{aligned} A_{cv} &= 5 \text{ m} \times 0,3 \text{ m} \\ &= 1,5 \text{ m}^2 \\ &= 1500000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (1/6) A_{cv} \sqrt{f_c'} &= (1/6) \times 1500000 \times \sqrt{35} \\ &= 1479020 \text{ N} \\ &= 1479 \text{ kN} \end{aligned}$$

Maka, cek tahap 2 lapisan tulangan :  $1668 \text{ kN} > 1479 \text{ kN}$  OKE , dipakai 2 lapis tulangan.

b. Perhitungan kebutuhan baja tulangan vertikal dan horizontal.

Untuk dinding struktural,  $\rho_v$  dan horizontal  $\rho_v$  minimum : 0,0025

Spasi maksimum masing-masing tulangan adalah : 450 mm

Luas penampang horizontal dan vertikal dinding geser per meter panjang :

$$= 0,3 \text{ m} \times 1 \text{ m}$$

$$= 0,30 \text{ m}^2$$

Luas minimum kebutuhan tulangan per meter panjang arah horizontal dan vertikal:

$$= 0,30 \text{ m}^2 \times 0,0025$$

$$= 0,00075 \text{ m}^2$$

$$= 750 \text{ mm}^2$$

Bila digunakan baja tulangan D16 maka:

Jenis	Dimensi		Jumlah	As ( $\text{mm}^2$ )
	Diameter (mm)	Luas/bar ( $\text{mm}^2$ )		
D				
16	16	201	2	402

Karena digunakan dua lapis tulangan, jumlah tulangan yang diperlukan per meter panjang adalah:

$$n = 750/402$$

$$= 1,87$$

$$= 2 \text{ Pasang}$$

$$s = 1000/2$$

$$= 500 \text{ mm}$$

Tidak Ok (tidak memenuhi syarat batas spasi maksimum, spasi harus diperkecil dan tidak boleh melebihi 450 mm).

Jadi, digunakan tulangan 2D16-300 mm.

1. Tentukan baja tulangan untuk menahan geser

Gunakan konfigurasi tulangan dinding yang diperbolehkan sebelumnya, yaitu: 2D18-300 mm berdasarkan SNI Beton BSN 2002b, kuat geser

nominal dinding struktural dapat dihitung dengan persamaan berikut, (SNI Beton pers. 27)

$$V_n = A_{cv} (ac \sqrt{f_c'} + \rho_n f_y)$$

Dimana:

$$\begin{aligned} h_w/l_w &= \text{tinggi total dinding/panjang dinding} \\ &= 35,5 \text{ m} / 5 \text{ m} \\ &= 7,10 > 2 \text{ OKE} \end{aligned}$$

Karena  $h_w/l_w > 2$ , maka  $ac = 0,167 = 1/6$

Pada dinding terdapat tulangan horizontal dengan konfigurasi 2D16-300

Rasio tulangan horizontal terpasang adalah:

$$\begin{aligned} \rho_n &= A_s/(s \times t) \\ \rho_n &= A_s/(s \times t) = 402/(300 \times 300) \\ &= 0,0045 \end{aligned}$$

$$\rho_n > \rho_n \text{ min} = 0,0045 > 0,0025 \text{ OKE}$$

kuat geser nominal:

$$\begin{aligned} V_n &= A_{cv} (ac \sqrt{f_c'} + \rho_n f_y) \\ &= 1500000 ((0,1670 \times 35,5^{0,5}) + (0,0045 \times 390)) \\ &= 4094458 \text{ N} \\ &= 4094 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kuat geser perlu:

$$\begin{aligned} \phi V_n &= 0,75 \times 4094 \\ &= 3071 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$V_u > \phi V_n, \text{ OKE dinding cukup kuat menahan geser}$$

Kuat geser nominal maksimum:

$$\begin{aligned} (5/6) A_{cv} \sqrt{f_c'} &= (5/6) \times 1500000 \times 35,5^{0,5} \\ &= 7395100 \text{ N} \\ &= 7395 \text{ kN} \end{aligned}$$

Kuat geser nominal masih di bawah batas kuat geser nominal maksimum

Oleh karena itu, konfigurasi tulangan 2D16-300 mm (sebagaimana didapat langkah 1 dapat digunakan).

Rasio tulangan  $\rho_v$  tidak boleh kurang dari  $\rho_n$  apabila ( $h_w/l_w < 2$ ).

Karena  $h_w/l_w = 7,10$  maka dapat digunakan rasio tulangan minimum

Jadi, gunakan 2D16-300 mm untuk tulangan vertikal

Rangkuman untuk tulangan	
Horizontal	2D16-300 mm
Vertikal	2D16-300 mm

2. Tentukan apakah *special boundary element* (komponen batas) diperlukan?  
*special boundary element* diperlukan apabila kombinasi momen dan gaya terfaktor yang bekerja pada *shear wall* melebihi  $0,2f_c'$
- a. *Special boundary element* diperlukan jika:

$$((Pu / Ag) + (Mu y / I)) > 0,2 f_c'$$

Besar persamaan di atas adalah:

$$Ag = 1,2 \text{ m}^2$$

$$I = (1/12) \times 0,30 \times 4^3 \\ = 1,6 \text{ m}^4$$

$$y = 4/2$$

$$= 2 \text{ m}$$

Jadi,

$$((Pu / Ag) + (Mu y / I)) = (928/1,20) + ((6276 \times 2) / 2) \\ = 8619 \text{ kN/m}^2 \\ = 8,62 \text{ MPa}$$

Sedangkan

$$0,2 f_c' = 0,2 \times 35$$

$$= 7 \text{ Mpa OKE}$$

Jadi, berdasarkan perhitungan tegangan dibutuhkan komponen batas khusus pada dinding struktur.

### C. Perhitungan Tebal Pelat Lantai

Perhitungan tebal pelat lantai untuk semua model sebagai berikut:

$$h_{(\text{mak})} \leq \frac{\ln(0,8 + \frac{fy}{1500})}{36} \qquad h_{(\text{min})} \geq \frac{\ln(0,8 + \frac{fy}{1500})}{36 + 9\beta}$$

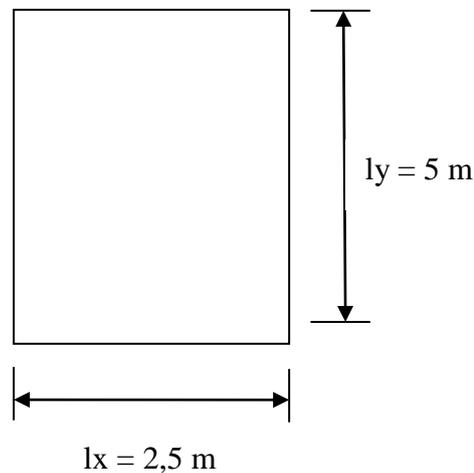
Dimana:

h = ketebalan pelat

ln = bentang terpanjang

fy = mutu baja tulangan

$\beta$  =  $ly/lx$



Gambar L.1: Dimensi pelat lantai.

$$Lx = 2500 \text{ mm}$$

$$Ly = 5000 \text{ mm}$$

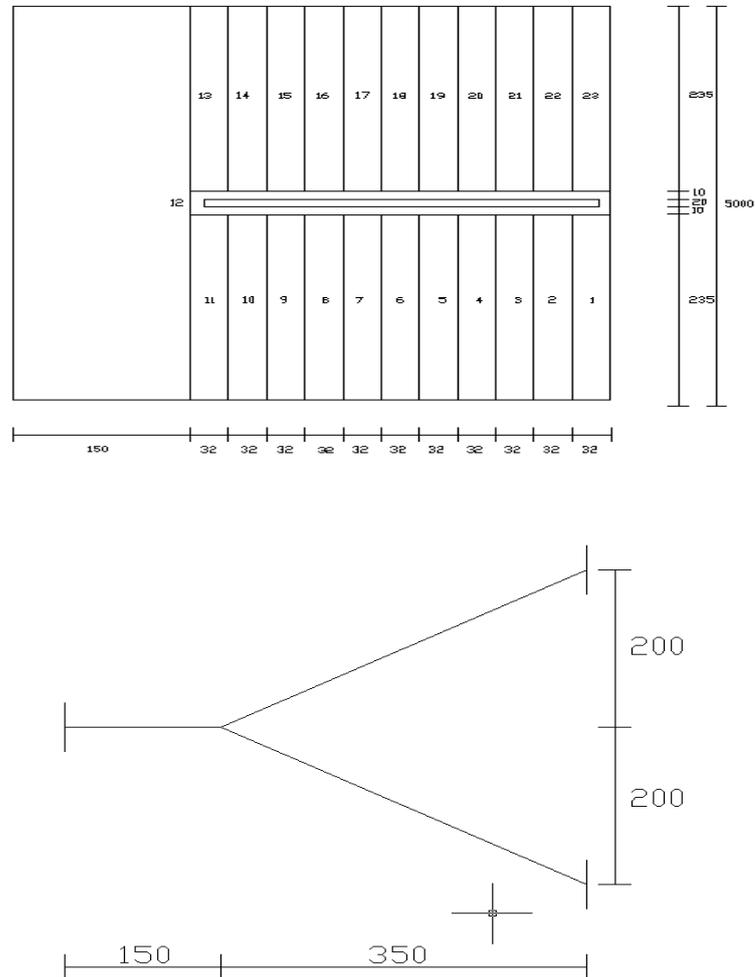
$$h_{(\text{mak})} \leq \frac{5000 (0,8 + \frac{420}{1500})}{36} = 150 \text{ mm}$$

$$h_{(\text{min})} \geq \frac{5000 (0,8 + \frac{420}{1500})}{36 + 9 \left( \frac{5000}{2500} \right)} = 100 \text{ mm}$$

Dipakai tebal pelat 140 mm = 0,14 m (untuk semua tipe pelat lantai dan atap).

## D. Perhitungan Dimensi Tangga

### B.1 Tangga Tipe 1



Gambar L.2: Tangga tipe 1.

#### ❖ Data perencanaan tangga:

Tinggi antar lantai : 4,00 m

Lebar Tangga : 2,35 m

Kemiringa ( $\alpha$ ) : 26,33°

Panjang Bordes : 5 m

Lebar Bordes : 1,5 m

#### ❖ Mencari tinggi *optrade* dan panjang *antrade*:

Menurut diktat konstruksi bangunan sipil karangan Ir. Supriyanto

$$\begin{aligned}
 2 \times \text{Opt} + \text{Ant} &= 61 \sim 65 \\
 2 \times (\text{Ant} \times \text{tg } \alpha) + \text{Ant} &= 61 \sim 65 \\
 2 \times (\text{Ant} \times \text{tg } 26,33) + \text{Ant} &= 61 \sim 65 \\
 0,99 \text{ Ant} + \text{Ant} &= 61 \sim 65 \\
 1,99 \text{ Ant} &= 65 \\
 \text{Ant} &= 32 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Nilai *antrade* 32 cm digunakan pada tiap tingkat tangga tipe 1 dan nilai *optrade* menjadi:

$$\text{Opt} = \text{Ant} \times \text{tg } \alpha$$

$$\text{Opt} = 32 \times \text{tg } 26,33^\circ = 15,84 \text{ cm}$$

Sehingga dengan metode pendekatan akan didapatkan:

$$\text{Jumlah } \textit{Optrade} = \frac{400}{15,84} = 24 \text{ buah}$$

$$\text{Jumlah } \textit{Antrade} = 24 - 1 = 23 \text{ buah}$$

❖ Menghitung tebal pelat tangga:

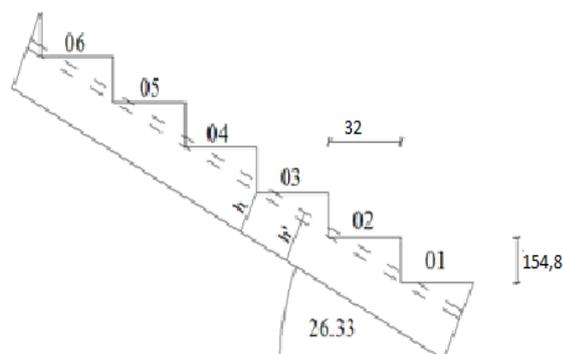
Tebal selimut beton : 4 cm

$$\text{Tebal pelat tangga} : h_{min} = \frac{H}{27} = \frac{200/\sin 26,33}{27} = 16,70 \text{ cm}$$

Digunakan  $h = 16 \text{ cm} = 0,16 \text{ m}$

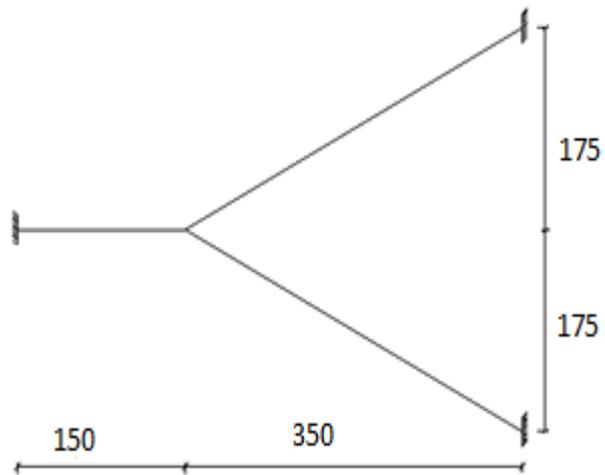
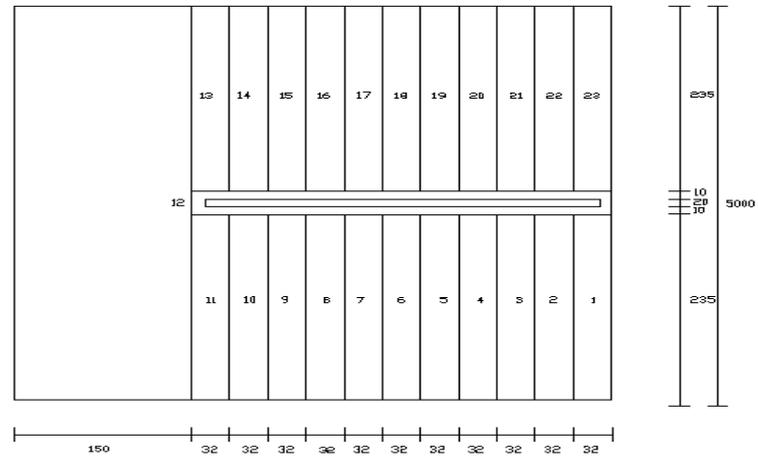
$$h' = h + \frac{\textit{Opt}}{2} \times \cos \alpha = 16 + \frac{15,48}{2} \times \cos 26,33^\circ = 19,32 = 0,1932 \text{ m}$$

$$\text{Maka ekivalen tebal anak tangga} = 0,1932 - 0,16 = 0,0322 \text{ m}$$



Gambar L.3: Dimensi anak tangga tipe 1.

## B.2 Tangga Tipe 2



Gambar L.4: Tangga tipe 2.

❖ Data perencanaan tangga:

Tinggi antar lantai : 3,50 m

Lebar Tangga : 2,35 m

Kemiringa ( $\alpha$ ) :  $26,36^\circ$

Panjang Bordes : 5 m

Lebar Bordes : 1,5 m

- ❖ Mencari tinggi *optrade* dan panjang *antrade*:

Menurut diktat kontruksi bangunan sipil karangan Ir. Supriyanto

$$2 \times \text{Opt} + \text{Ant} = 61 \sim 65$$

$$2 \times (\text{Ant} \times \text{tg } \alpha) + \text{Ant} = 61 \sim 65$$

$$2 \times (\text{Ant} \times \text{tg } 26,36^\circ) + \text{Ant} = 61 \sim 65$$

$$0,99 \text{ Ant} + \text{Ant} = 61 \sim 65$$

$$1,99 \text{ Ant} = 65$$

$$\text{Ant} = 32 \text{ cm}$$

Nilai *antrade* 32 cm digunakan pada tiap tingkat tangga tipe 2 dan nilai *optrade* menjadi:

$$\text{Opt} = \text{Ant} \times \text{tg } \alpha$$

$$\text{Opt} = 32 \times \text{tg } 26,36^\circ = 15,86 \text{ cm}$$

Sehingga dengan metode pendekatan akan didapatkan:

$$\text{Jumlah } \textit{Optrade} = \frac{400}{15,86} = 25 \text{ buah}$$

$$\text{Jumlah } \textit{Antrade} = 25 - 1 = 24 \text{ buah}$$

- ❖ Menghitung tebal pelat tangga:

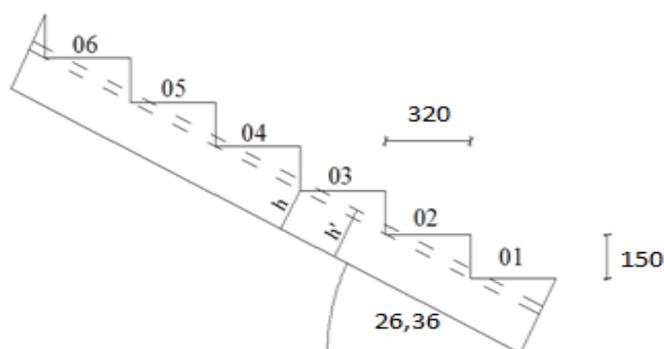
Tebal selimut beton : 4 cm

$$\text{Tebal pelat tangga} : h_{min} = \frac{H}{27} = \frac{\frac{180}{\sin} 26,36^\circ}{27} = 15,01$$

Digunakan  $h = 16 \text{ cm} = 0,16 \text{ m}$

$$h' = h + \frac{\text{Opt}}{2} \times \cos \alpha = 16 + \frac{15,86}{2} \times \cos 26,36^\circ = 27,64 = 0,2764 \text{ m}$$

$$\text{Maka ekivalen tebal anak tangga} = 0,2764 - 0,16 = 0,1164 \text{ m}$$



Gambar L.5: Dimensi anak tangga tipe 2.

### E. Perhitungan Komponen *Outrigger*

Perhitungan komponen outrigger menggunakan baja  $150 \times 150 \times 7 \times 10$  dapat dilihat di bawah ini:

Dimensi profil  $150 \times 150 \times 7 \times 10$  adalah sebagai berikut:

$A_g = 4014 \text{ mm}^2$	$t_w = 7 \text{ mm}$
$t_f = 10 \text{ mm}$	$E = 200000 \text{ Mpa}$
$r_y = 37,5 \text{ mm}$	$Z_y = 751000 \text{ mm}^3$
$r = 11 \text{ mm}$	$f_u = 410 \text{ Mpa}$
$f_y = 250 \text{ Mpa}$	$I_x = 164000000 \text{ mm}^4$
$r_x = 639 \text{ mm}$	$L_b = 5000 \text{ mm}$
$I_y = 56300000 \text{ mm}^4$	$Z_x = 219000 \text{ mm}^3$

➤ Cek syarat bahan:

- Cek  $f_y < 350 \text{ Mpa}$

$$250 < 350 \text{ Mpa} \quad \text{OK}$$

- Cek  $f_y/f_u < 0,85$

$$250/410 \text{ Mpa} = 0,61 < 0,85 \quad \text{OK}$$

Di ambil gaya ultimate yang bekerja pada outrigger dengan bantuan ETABS Ver. 15 adalah sebagai berikut:

$$M_u = 12,5 \text{ KNm} \quad V_u = 22,8 \text{ KN}$$

➤ Untuk pelat sayap:

- $\lambda_f = \frac{bf}{2t_f}$

$$= \frac{150}{2 \times 10}$$

$$= 7,2 \text{ mm}$$

- $\lambda_{ps} = 0,3 \sqrt{\frac{E}{f_y}}$

$$= 0,3 \sqrt{\frac{200000}{250}}$$

$$= 8,485$$

$$\lambda_f < \lambda_{ps} \quad \text{OK}$$

➤ Untuk pelat badan

$$\begin{aligned}\circ \lambda_w &= \frac{h}{tw} \\ &= \frac{150}{7} = 21,43 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\circ \lambda_{ps} &= 3,76 \sqrt{\frac{E}{fy}} \\ &= 3,76 \sqrt{\frac{200000}{250}} \\ &= 100,349 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\lambda_f < \lambda_{ps} \quad \text{OK}$$

$$\begin{aligned}\circ \lambda_r &= \frac{665}{\sqrt{fy}} \\ &= \frac{665}{\sqrt{250}} \\ &= 42,058 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\lambda_w < \lambda_r \quad \text{OK}$$

dengan syarat di atas maka pelat sayap dan pelat badan pada profil  $150 \times 150 \times 7 \times 10$  memenuhi syarat kelangsingan tekuk lokal dan merupakan penampang kompak.

➤ Kapasitas  $M_p$

$$\circ M_n = M_p = Z_x \times fy$$

$$\circ M_n = fy \times \sum(A_i \times y_i)$$

$$\circ M_n = fy \times \left[ (b \times tf) \times (d - tf) + tw \left( \frac{1}{2} d - tf \right)^2 \right]$$

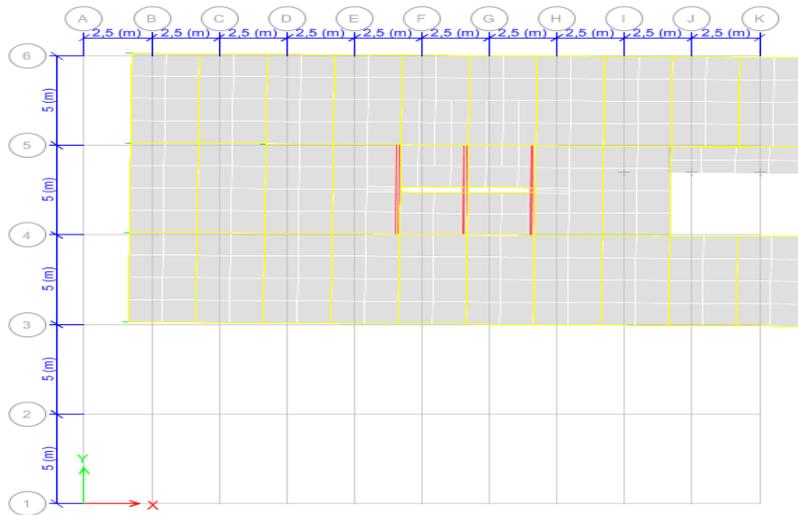
$$\circ M_n = 250 \times \frac{\left[ (150 \times 10) \times (150 - 10) + 7 \left( \frac{1}{2} 150 - 10 \right)^2 \right]}{1000}$$

$$\begin{aligned}\circ M_n &= 52529,575 \text{ KNmm} \\ &= 52,529 \text{ KNm}\end{aligned}$$

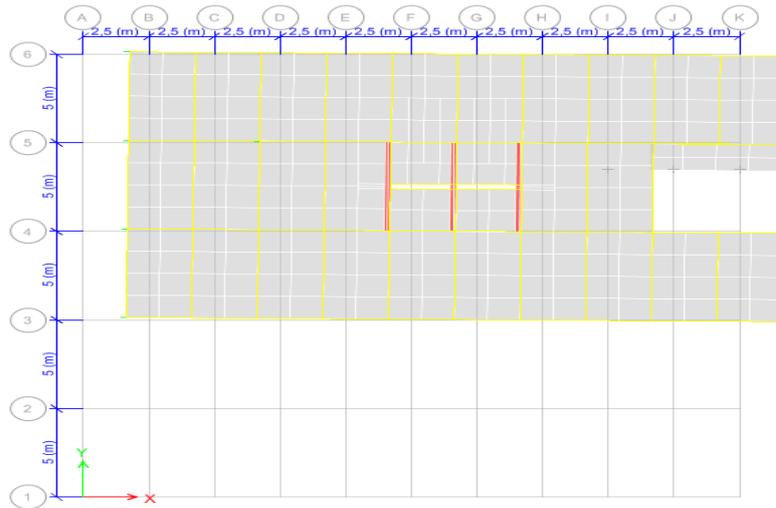
$$\circ \phi M_n = 0,9 \times 52,529 = 47,277 \text{ KNm}$$

$$\phi M_n > M_u = 47,277 \text{ KNm} > 12,5 \text{ KNm} \quad \text{OK}$$

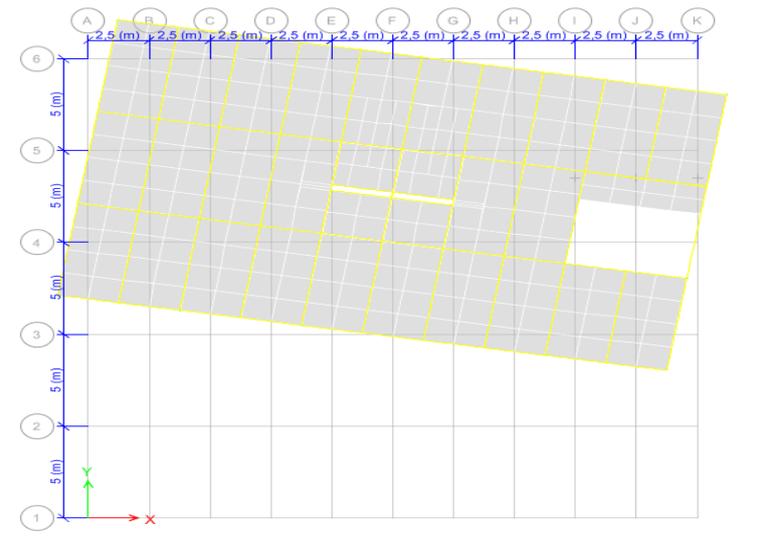
## F. Gambar Proses Pengerjaan Model Menggunakan ETABS



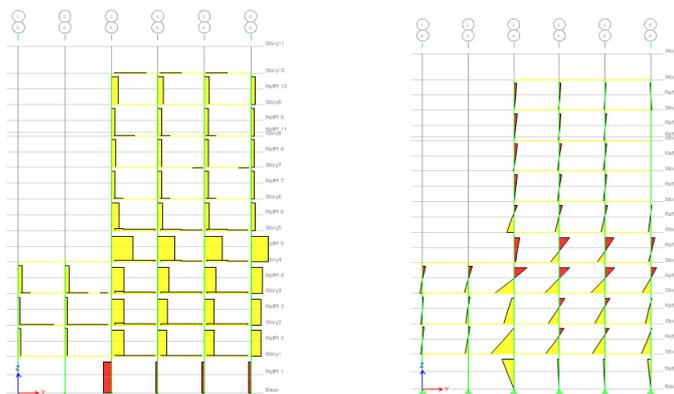
Gambar L.6: Model 1 mode 1.



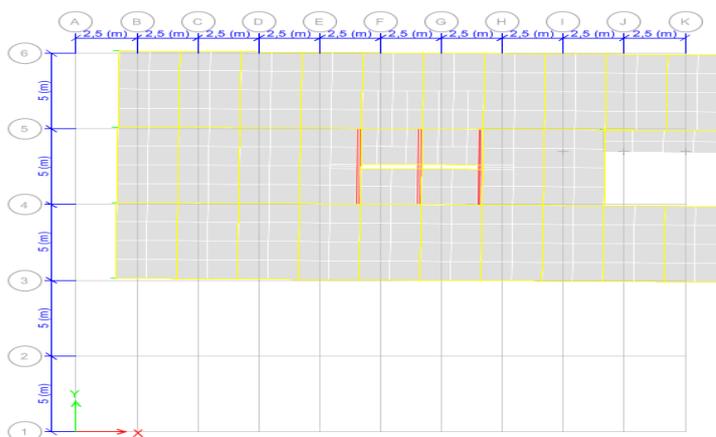
Gambar L.7: Model 1 mode 2.



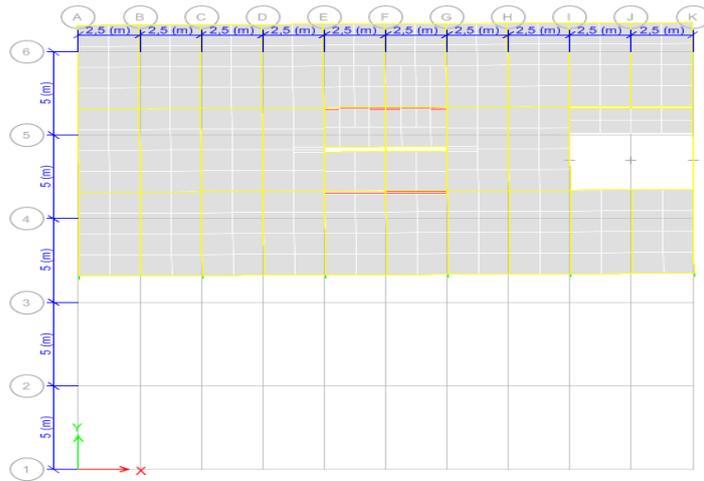
Gambar L.8: Model 1 mode 3.



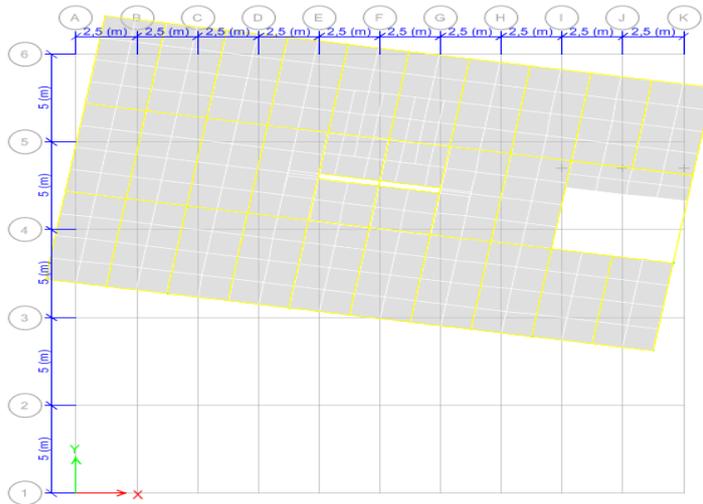
Gambar L.9: Model 1, geser, moment.



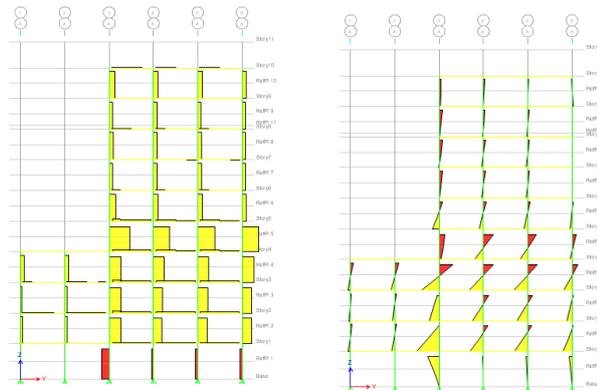
Gambar L.10: Model 2 mode 1.



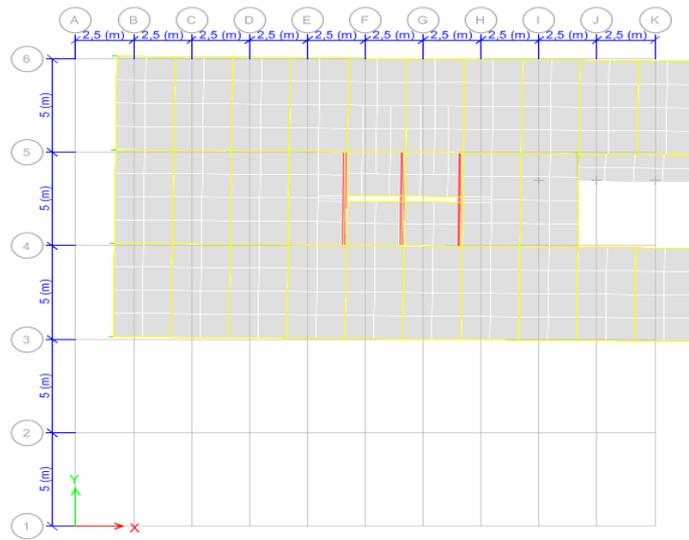
Gambar L.12: Model 2 mode 2.



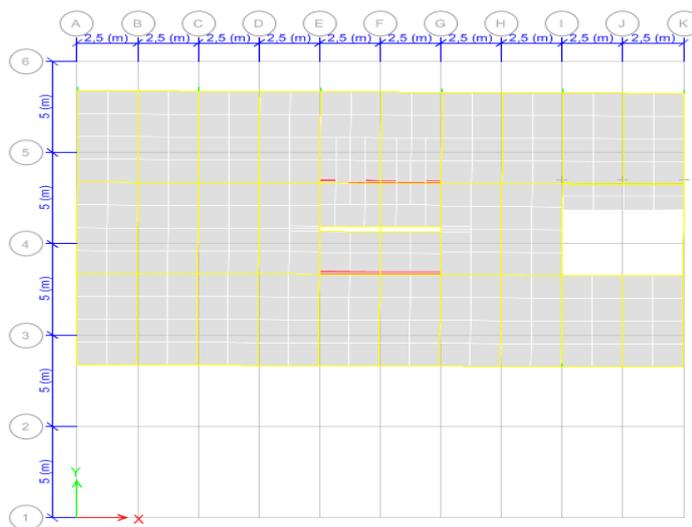
Gambar L.13: Model 2 mode 3.



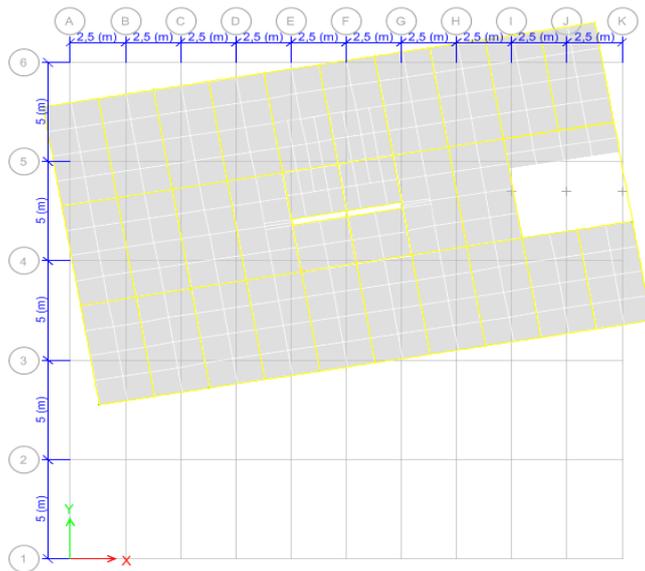
Gambar L.14: Model 2, geser, moment.



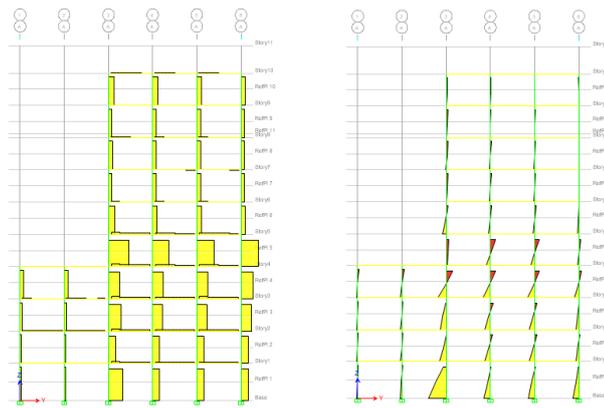
Gambar L.15: Model 3 mode 1



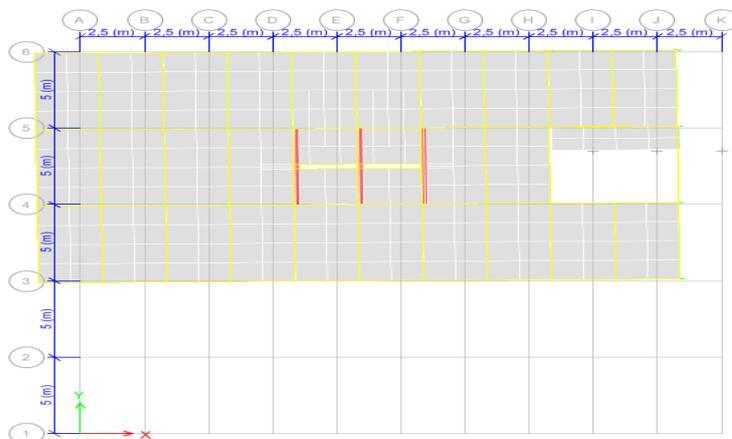
Gambar L.16: Model 3 mode 2.



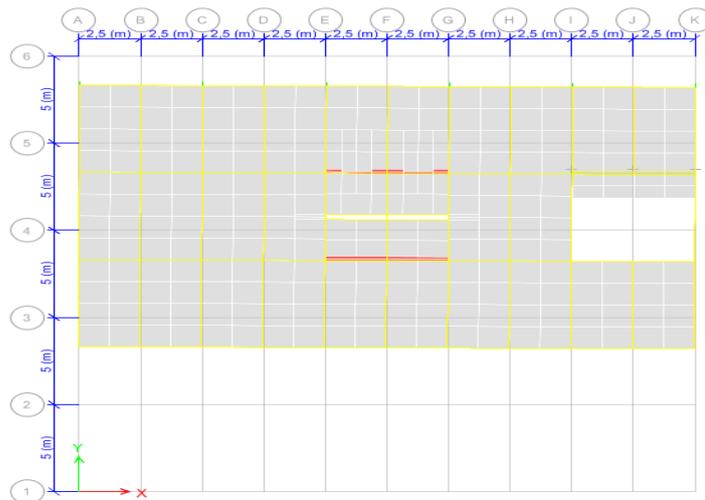
Gambar L.17: Model 3 mode 3.



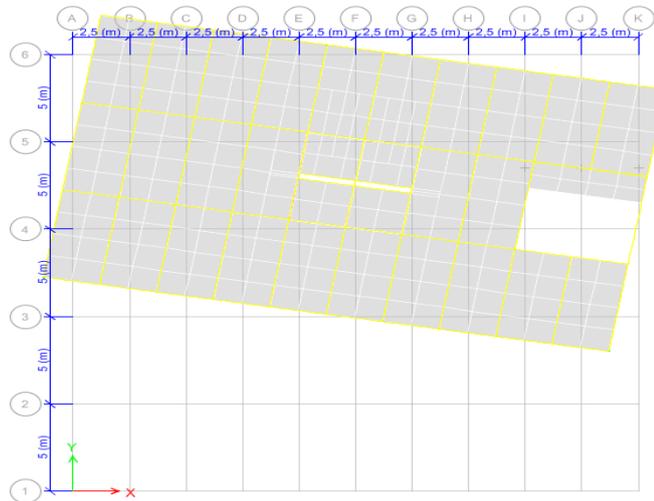
Gambar L.18: Model 3, geser, moment.



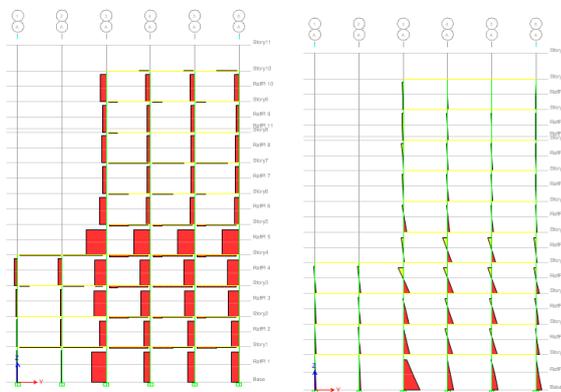
Gambar L.19: Model 4 mode 1.



Gambar L.20: Model 4 mode 2.



Gambar L.21: Model 4 mode 3.



Gambar L.22: Model 4, geser, moment.