

**TUGAS AKHIR**

**DESAIN PENAMPANG DAN SAMBUNGAN *OUTRIGGER*  
PADA BANGUNAN GEDUNG 40 LANTAI  
BERDASARKAN SNI 1726:2012 DAN SNI 7860:2015  
(*Studi Literatur*)**

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

**DI SUSUN OLEH:**

**EFFAN FERRARY GULTOM  
1307210231**



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
MEDAN  
2017**

## HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Effan Ferrary Gultom

NPM : 1307210231

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Desain Penampang dan Sambungan *Outrigger* pada Bangunan Gedung 40 Lantai Berdasarkan SNI 1726:2012 dan SNI 7860:2015 (Studi Literatur)

Bidang Ilmu : Struktur

Telah berhasil dipertahankan dihadapan 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, Oktober 2017

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing I / Penguji

Dosen Pembimbing II / Penguji

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

Rhini Wulan Dary, S.T, M.T

Dosen Pembanding I / Penguji

Dosen Pembanding II / Penguji

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

Mizanuddin Sitompul, S.T, M.T

Program Studi Teknik Sipil  
Ketua Prodi

Dr. Ade Faisal, ST, M.Sc

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Effan Ferrary Gultom

Tempat /Tanggal Lahir: Binjai, 05 Agustus 1995

NPM : 1307210231

Fakultas : Teknik

Program Studi : Teknik Sipil

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

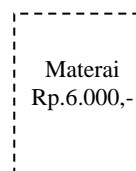
“Desain Penampang dan Sambungan *Outrigger* pada Bangunan Gedung 40 Lantai Berdasarkan SNI 1726:2012 dan SNI 7860:2015”

Bukan merupakan plagiatisme, 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 orisinil 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, Oktober 2017



Saya yang menyatakan,

Effan Ferrary Gultom

## ABSTRAK

### DESAIN PENAMPANG DAN SAMBUNGAN *OUTRIGGER* PADA BANGUNAN GEDUNG 40 LANTAI BERDASARKAN SNI 1726:2012 DAN SNI 7860:2015

Effan Ferrary Gultom

1307210231

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

Rhini Wulan Dary, S.T, M.T

Indonesia adalah sebuah negara dengan aktifitas gempa bumi tektonik yang tinggi. Dari segi geologi lokasi Indonesia terletak pada 4 lempeng tektonik utama yaitu lempeng Eurasia, Indo-Australia, Pasifik, dan Filipina. Saat ini, semakin sempitnya lahan di kota-kota besar mengharuskan pola pembangunan gedung secara vertikal. Pembangunan gedung secara vertikal sangat rentan terhadap bahaya beban lateral seperti angin dan gempa bumi. 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. Penggunaan *outrigger* dapat mengurangi momen yang terjadi pada *core wall* beserta kolom dinding inti. Analisa yang digunakan pada tugas akhir ini adalah analisis respon spektrum berdasarkan peraturan gempa SNI 1726:2012. Dalam tugas akhir ini terdapat 4 Model struktur bangunan gedung, dimana Model 1 didesain menggunakan rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus, Model 2 *outrigger* diletakkan pada dua sisi arah y bangunan. Model 3 *outrigger* di letakkan pada dua sisi arah x bangunan dan Model 4 *outrigger* di letakkan pada dua sisi arah x dan y bangunan. Input beban sama pada setiap model. Gedung memiliki 40 lantai dengan tinggi keseluruhan 140,5 m. Dimensi disamakan dan disesuaikan dengan kebutuhan desain. Bangunan di modelkan dan analisis struktur menggunakan bantuan program ETABS Ver. 16, dari analisis yang telah dilakukan diperoleh tebal pelat lantai 20 cm dan pelat atap 15 cm, dimensi kolom yang digunakan baja dan beton komposit *CFT* 1200.1200.80.80 untuk lantai 1-15, *CFT* 1100.1100.80.80 untuk lantai 16-30, *CFT* 1000.1000.80.80 untuk lantai 31-40, dimensi balok induk *WF* 933.423.24.42,7 untuk lantai 1-15, balok induk *WF* 927.422.22,5.39,9 untuk lantai 16-30, balok induk *WF* 920.421.21,5.36,6 untuk lantai 31-40, dimensi balok anak *WF* 539.332.14,9.25, dan dimensi *outrigger* *WF* 933.423.24.42,7.

Kata kunci : Gempa, dinding inti, *outrigger*, simpangan, gaya geser.

## **ABSTRACT**

### **DESIGN FOR EXPOSURE AND OUTRIGGER CONNECTIONS IN BUILDINGS OF 40 FLOOR BASES BASED ON SNI 1726:2012 AND SNI 7860:2015**

Effan Ferrary Gultom  
1307210231  
Dr. Ade Faisal, S.T, M.Sc  
Rhini Wulan Dary, S.T, M.T

*Indonesia is a country with high tectonic earthquake activity. Geological location of Indonesia is located on 4 major tectonic plates, namely Eurasian, Indo-Australian, Pacific, and Philippine plate. Currently, the narrowness of land in large cities requires the pattern of vertical building construction. Vertical building construction is particularly vulnerable to lateral load hazards such as wind and earthquakes. Planning methods are continuously developed in the civil engineering world and can be used to plan high-rise buildings, one of which is the application and use of outrigger systems in high-rise buildings. The use of outrigger can reduce the moments that occur on core wall along with core wall columns. The analysis used in this final project is spectrum response analysis based on SNI 1726:2012 earthquake regulation. In this final project there are 4 model of building structure, where Model 1 is designed using steel frame and special momentum composite bearing concrete, Model 2 outrigger is placed on two side of y direction of building. The 3 outrigger model is placed on both sides of the x direction of the building and the Model 4 outrigger is placed on both sides of the x and y directions of the building. The load input is the same on each model. The building has 40 floors with an overall height of 140.5 m. Dimensions are lumped and adjusted to the design requirements. Building on model and structural analysis using ETABS Ver. 16, from the analysis we have obtained 20 cm thick plate plate and 15 cm roof plate, column dimension used steel and composite concrete CFT 1200.1200.80.80 for floor 1-15, CFT 1100.1100.80.80 for floor 16-30, CFT 1000.1000. 80.80 for 31-40 floor, WF 933.423.24.42,7 beam dimension for floors 1-15, main beam WF 927.422.22,5.39,9 for floor 16-30, beam WF 920.421.21,5.36,6 for floor 31-40, the child beam dimensions WF 539.332.14,9.25, and outrigger dimensions WF 933.423.24.42,7.*

*Keywords: Earthquake, core wall, outrigger, displacement, shear force.*

## 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 “Desain Penampang dan Sambungan *Outrigger* pada Bangunan Gedung 40 Lantai Berdasarkan SNI 1726:2012 dan SNI 7860:2015” 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 Dr. Ade Faisal, S.T, M.Sc selaku Dosen Pembimbing I dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Ibu Rhini Wulan Dary, S.T, M.T selaku Dosen Pimbimbing II dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Tondi Amirsyah Putera P., S.T, M.T, 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. Bapak Mizanuddin Sitompul, S.T, M.T, selaku Dosen Pembanding II dan Penguji yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Ibu Hj. Irma Dewi S.T, M.Si selaku Sekretaris Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Bapak Rahmatullah ST, 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 ketekniksipilan kepada penulis.
8. Orang tua penulis: Salmaruddin Gultom, S.H, dan Nurlia Siregar S.Pd, atas dukungan moril maupun material dan kasih sayang tulus selamanya ini kepada penulis.
9. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
10. Sahabat-sahabat penulis: Muhammad Luthfy Sofyan Lubis, Muhammad Pra Yudha, Abdi Gunawan, Widianoro, Muhammad Fuad Hanif, Budi Santoso, Irfan, Muhammad Taruna, Zulham Maulana, Indra Bayu Sukma, Syarbaini Lubis, Ricky Prianda Damanik, Nurul Annisa, dan lainnya yang tidak mungkin namanya disebut satu per satu.

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, Oktober 2017

Effan Ferrary Gultom

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAN KEASLIAN SKRIPSI	iii
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR NOTASI	xix
DAFTAR SINGKATAN	xxiv
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b>	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Ruang Lingkup Pembahasan	3
1.4. Tujuan Penelitian	4
1.5. Manfaat Penelitian	4
1.6. Sistematika Penulisan	5
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1. Pendahuluan	6
2.2. Konsep Perencanaan Bangunan Tahan Gempa	10
2.2.1. Gempa Rencana	10
2.2.2. Arah Pembebanan Gempa	10
2.2.2.1. Distribusi Vertikal Gaya Gempa	11
2.2.2.2. Distribusi Horizontal Gaya Gempa	11
2.2.3. Wilayah Gempa	12
2.3. Kriteria Desain Perencanaan Struktur Gedung Tahan Gempa	14
2.3.1. Kategori Desain Seismik	14
2.3.2. Kriteria Struktur Gedung	16
2.3.3. Faktor Keutamaan Dan Kategori Resiko Bangunan	18
2.3.4. Faktor Reduksi Gempa	20



2.3.5.	Klasifikasi Situs	21
2.3.6.	Penentuan Percepatan Tanah Puncak	22
2.3.7.	Penentuan Respon Spektrum	23
2.4.	Analisis Gaya Lateral Ekuivalen	26
2.4.1.	Gaya Dasar Seismik	26
2.4.2.	Perhitungan Koefisien Dasar Seismik	26
2.5.	Periode Alami Fundamental	27
2.6.	Analisis Respon Dinamik	29
2.7.	Simpangan Antar Lantai	31
2.8.	Torsi dan Eksentrisitas	32
2.9.	Beban dan Kombinasi Pembebanan	33
2.10.	Distribusi Kekakuan Secara Vertikal	36
2.10.1.	<i>Soft Storey</i>	36
2.10.2.	Kekakuan Struktur	37
2.11.	Konsep Perencanaan Struktur Kolom Komposit	37
2.11.1.	Struktur Baja Komposit	37
2.11.2.	Kolom <i>Concrete Filled Steel Tube</i>	38
2.11.2.1.	Pengertian Kolom <i>CFT</i>	38
2.11.2.2.	Tipe Kolom <i>CFT</i>	38
2.11.2.3.	Kelebihan Kolom <i>CFT</i>	39
2.11.3.	Konsep Desain Kolom <i>Concrete Filled Steel Tube</i>	40
2.12.	Konsep Umum Perencanaan Gedung Struktur Baja Komposit	41
2.12.1.	Metode Perencanaan Gedung Struktur Baja Komposit	41
2.12.1.1.	Metode Tegangan Izin	41
2.12.1.2.	Metode Desain Faktor Beban Ketahanan	42
2.12.1.3.	Perencanaan Stabilitas	42
2.13.	Struktur Rangka Baja Tahan Gempa	43
2.13.1.	Sistem Rangka Pemikul Momen	44
2.13.2.	Sistem Rangka Bresing Eksentrik	44
2.13.3.	Sistem Rangka Bresing Konsentrik	45
2.13.4.	Sistem Inti	46
2.13.5.	Sistem Kerangka <i>Outrigger</i>	48

	2.13.5.1. Perilaku Sistem Kerangka <i>Outrigger</i>	51
<b>BAB 3</b>	<b>METODOLOGI</b>	
	3.1. Metodologi Penelitian	55
	3.2. Tinjauan Umum	56
	3.3. Faktor Respon Gempa (C)	56
	3.4. Pemodelan dan Analisis Struktur	61
	3.4.1. Pemodelan Gedung	61
	3.4.1.1. Data Perencanaan Struktur	61
	3.4.1.2. Faktor Keutamaan Struktur (I)	62
	3.4.1.3. Faktor Reduksi Gempa	62
	3.4.2. Propertis Penampang	62
	3.4.2.1. Tebal Pelat Lantai	63
	3.4.3. Pembebanan Struktur	64
	3.4.3.1. Beban Mati ( <i>Dead Load</i> )	64
	3.4.3.2. Beban Hidup ( <i>Live Load</i> )	67
	3.4.3.3. Rekapitulasi Pembebanan	67
	3.4.3.4. Kombinasi Pembebanan	68
	3.4.4. Perhitungan Berat Per Lantai Gedung	68
	3.5. Model 1	69
	3.5.1. Dimensi Balok dan Kolom	70
	3.5.2. Analisis Respon Spektrum	71
	3.6. Model 2	74
	3.6.1. Dimensi Balok dan Kolom	76
	3.6.2. Analisis Respon Spektrum	77
	3.7. Model 3	80
	3.7.1. Dimensi Balok dan Kolom	82
	3.7.2. Analisis Respon Spektrum	83
	3.8. Model 4	86
	3.8.1. Dimensi Balok dan Kolom	88
	3.8.2. Analisis Respon Spektrum	89
<b>BAB 4</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
	4.1 Tinjauan Umum	93

4.2	Hasil Analisis Gedung	93
4.2.1.	Model 1	93
4.2.1.1.	Gaya Geser	93
4.2.1.2.	Koreksi Faktor Redudansi	95
4.2.1.3.	Perbandingan Gaya Geser Gedung	98
4.2.1.4.	Gaya Geser Analisis Respon Spektrum	99
4.2.1.5.	Nilai Simpangan	104
4.2.1.6.	Pengaruh Efek P-Delta	107
4.2.1.7.	Kekakuan Tingkat Gedung	110
4.2.2.	Model 2	113
4.2.2.1.	Gaya Geser	113
4.2.2.2.	Koreksi Faktor Redudansi	114
4.2.2.3.	Perbandingan Gaya Geser Gedung	117
4.2.2.4.	Gaya Geser Analisis Respon Spektrum	118
4.2.2.5.	Nilai Simpangan	123
4.2.2.6.	Pengaruh Efek P-Delta	126
4.2.2.7.	Kekakuan Tingkat Gedung	129
4.2.2.8.	Kontrol Kemampuan Dual Sistem	132
4.2.3.	Model 3	132
4.2.3.1.	Gaya Geser	132
4.2.3.2.	Koreksi Faktor Redudansi	134
4.2.3.3.	Perbandingan Gaya Geser Gedung	137
4.2.3.4.	Gaya Geser Analisis Respon Spektrum	138
4.2.3.5.	Nilai Simpangan	143
4.2.3.6.	Pengaruh Efek P-Delta	146
4.2.3.7.	Kekakuan Tingkat Gedung	149
4.2.3.8.	Kontrol Kemampuan Dual Sistem	152
4.2.4.	Model 4	152
4.2.4.1.	Gaya Geser	152
4.2.4.2.	Koreksi Faktor Redudansi	154
4.2.4.3.	Perbandingan Gaya Geser Gedung	157
4.2.4.4.	Gaya Geser Analisis Respon Spektrum	158

4.2.4.5.	Nilai Simpangan	162
4.2.4.6.	Pengaruh Efek P-Delta	165
4.2.4.7.	Kekakuan Tingkat Gedung	168
4.2.4.8.	Kontrol Kemampuan Dual Sistem	171
4.3.	Perencanaan Struktur Balok	172
4.3.1.	Balok Induk Lantai 1-15	172
4.3.2.	Balok Induk Lantai 16-30	174
4.3.3.	Balok Induk Lantai 31-40	177
4.4.	Perencanaan Struktur Kolom	180
4.4.1.	Kolom Lantai 1-15	180
4.5.	Perencanaan <i>Outrigger</i>	183
4.5.1.	<i>Outrigger</i> Arah X	183
4.5.2.	<i>Outrigger</i> Arah Y	185
4.6.	Perencanaan Sambungan	187
4.6.1.	Sambungan Antar Kolom Lantai	187
4.6.2.	Sambungan Batang <i>Outrigger</i>	189
4.6.3.	Sambungan Balok Utama Dengan Kolom	192
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1.	Kesimpulan	197
5.2.	Saran	201
	DAFTAR PUSTAKA	202
	LAMPIRAN	
	DAFTAR RIWAYAT HIDUP	

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Sepuluh Gedung Tertinggi Di Dunia Pada Tahun 2011 (CTBUH, Desember, 2011)	7
Tabel 2.2	Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Percepatan Pada Periode Pendek	14
Tabel 2.3	Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Percepatan Periode 1 Detik	14
Tabel 2.4	Ketidakteraturan Horizontal Pada Struktur Berdasarkan SNI 1726-2012	16
Tabel 2.5	Ketidakteraturan Vertikal Pada Struktur Berdasarkan SNI 1726-2012	17
Tabel 2.6	Kategori Resiko Bangunan Gedung dan Struktur Lainnya untuk beban gempa berdasarkan SNI 1726:2012	18
Tabel 2.7	Faktor Keutamaan ( $I_e$ ), Berdasarkan SNI 1726:2012	19
Tabel 2.8	Faktor Koefisien Modifikasi Respon, Faktor Kuat Sistem, Faktor Pembesaran Defleksi dan Batasan Tinggi Struktur Berdasarkan SNI 1726:2012	20
Tabel 2.9	Klasifikasi Situs Berdasarkan SNI 1726:2012	21
Tabel 2.10	Koefisien Situs Untuk PGA Berdasarkan SNI 1726:2012	22
Tabel 2.11	Koefisien Periode Pendek ( $F_a$ ) Berdasarkan SNI 1726:2012	24
Tabel 2.12	Koefisien Periode 1,0 Detik ( $F_v$ ) Berdasarkan SNI 1726:2012	24
Tabel 2.13	Nilai Parameter Periode Pendekatan $C_t$ , dan $x$ Berdasarkan SNI 1726:2012	28
Tabel 2.14	Koefisien Untuk Batas Atas Pada Periode Yang Dihitung Berdasarkan SNI 1726:2012	29
Tabel 2.15	Simpangan Antar Lantai Izin Berdasarkan SNI 1726:2012	32
Tabel 2.16	Kombinasi Pembebanan Berdasarkan SNI 1727-2013	34
Tabel 2.17	Persyaratan Masing-Masing Tingkat Yang Menahan Lebih Dari 35% Gaya Geser Dasar	35
Tabel 3.1	Respon Spektrum SNI 1726:2012 Daerah Provinsi Bengkulu, Kota Bengkulu Dengan Jenis Tanah Sedang	58

Tabel 3.2	Faktor Reduksi Gempa Pada Gedung, Pada Zona Gempa Tanah Sedang Berdasarkan SNI 1726:2012	62
Tabel 3.3	Berat Material Struktur Gedung	64
Tabel 3.4	Berat Tambahan Komponen Struktur Gedung	65
Tabel 3.5	Rekapitulasi Beban Dinding Yang Di input Ke Pemodelan	65
Tabel 3.6	Beban Hidup Lantai Struktur Berdasarkan SNI 1727-2013	67
Tabel 3.7	Hasil Rekapitulasi Pembebanan	67
Tabel 3.8	Kombinasi Pembebanan Berdasarkan SNI 1727-2013	68
Tabel 3.9	Ukuran Penampang Model 1	70
Tabel 3.10	Data Perioda <i>Output</i> Program ETABS Model 1	71
Tabel 3.11	Hasil Selisih Persentase Nilai Perioda Model 1	72
Tabel 3.12	Pengecekan Perioda Berdasarkan Pembatasan Waktu Getar Alami Fundamental Model 1 Berdasarkan SNI 1726:2012	73
Tabel 3.13	Rangkuman Nilai $C_s$ Yang Digunakan Pada Model 1	74
Tabel 3.14	Ukuran Penampang Model 2	76
Tabel 3.15	Data Perioda <i>Output</i> Program ETABS Model 2	77
Tabel 3.16	Hasil Analisis Persentase Nilai Perioda Model 2	78
Tabel 3.17	Pengecekan Nilai Perioda Berdasarkan Pembatasan Waktu Getar Alami Fundamental Model 2 Berdasarkan SNI 1726:2012	79
Tabel 3.18	Rangkuman Nilai $C_s$ Yang Digunakan Pada Model 2	80
Tabel 3.19	Ukuran Penampang Model 3	82
Tabel 3.20	Data Perioda <i>Output</i> Program ETABS Model 3	83
Tabel 3.21	Hasil Selisih Persentase Nilai Perioda Model 3	84
Tabel 3.22	Pengecekan Perioda Berdasarkan Pembatasan Waktu Getar Alami Fundamental Model 3 Berdasarkan SNI 1726:2012	85
Tabel 3.23	Rangkuman Nilai $C_s$ Yang Digunakan Pada Model 3	86
Tabel 3.24	Ukuran Penampang Model 4	88
Tabel 3.25	Data Perioda <i>Output</i> Program ETABS Model 4	89
Tabel 3.26	Hasil Selisih Persentase Nilai Perioda Model 4	90
Tabel 3.27	Pengecekan Perioda Berdasarkan Pembatasan Waktu Getar Alami Fundamental Model 4 Berdasarkan SNI 1726:2012	91
Tabel 3.28	Rangkuman Nilai $C_s$ Yang Digunakan Pada Model 4	92

Tabel 4.1	Gaya Geser Dasar Nominal Hasil Analisis Ragam Respon Spektrum	94
Tabel 4.2	Rekapitulasi Faktor Skala Hasil Respon Spektrum Dan Statik Ekuivalen Model 1	95
Tabel 4.3	Pengecekan <i>Story Shear</i> dengan 35% <i>Base Shear</i> terhadap Redudansi $\rho$ 1,0 Untuk Model 1 Terhadap Gempa X	96
Tabel 4.4	Pengecekan <i>Story Shear</i> dengan 35% <i>Base Shear</i> terhadap Redudansi $\rho$ 1,0 Untuk Model 1 Terhadap Gempa Y	97
Tabel 4.5	Gaya Geser Hasil <i>Output</i> ETABS Analisis Respon Spektrum Akibat Gempa X	99
Tabel 4.6	Gaya Geser Hasil <i>Output</i> ETABS Analisis Respon Spektrum Akibat Gempa Y	101
Tabel 4.7	Nilai Simpangan Gedung Model 1 Akibat Gempa X Pada Kinerja Batas Ultimit Berdasarkan SNI 726-2012	104
Tabel 4.8	Nilai Simpangan Gedung Model 1 Akibat Gempa Y Pada Kinerja Batas Ultimit Berdasarkan SNI 1726:2012	105
Tabel 4.9	Kontrol P-Delta Pada Arah X Untuk Model 1	107
Tabel 4.10	Kontrol P-Delta Pada Arah Y Untuk Model 1	108
Tabel 4.11	Distribusi Kekakuan Tingkat Bangunan Arah X Bangunan	110
Tabel 4.12	Distribusi Kekakuan Tingkat Bangunan Arah Y Bangunan	111
Tabel 4.13	Gaya Geser Dasar Nominal Hasil Analisis Respon Spektrum	113
Tabel 4.14	Rekapitulasi Faktor Skala Hasil Respon Spektrum Dan Statik Ekuivalen Model 2	114
Tabel 4.15	Pengecekan <i>Story Shear</i> dengan 35% <i>Base Shear</i> terhadap Redudansi $\rho$ 1,0 Untuk Model 1 Terhadap Gempa X	115
Tabel 4.16	Pengecekan <i>Story Shear</i> dengan 35% <i>Base Shear</i> terhadap Redudansi $\rho$ 1,0 Untuk Model 1 Terhadap Gempa Y	116
Tabel 4.17	Gaya Geser Hasil <i>Output</i> ETABS Analisis Respon Spektrum Akibat Gempa X	118
Tabel 4.18	Gaya Geser Hasil <i>Output</i> ETABS Analisis Respon Spektrum Akibat Gempa Y	120
Tabel 4.19	Nilai Simpangan Gedung Model 2 akibat Gempa X Pada Kinerja	

Batas Ultimit Berdasarkan SNI 1726:2012	123
Tabel 4.20 Nilai Simpangan Gedung Model 2 Akibat Gempa Y Pada Kinerja Batas Ultimit Berdasarkan SNI 1726:2012	124
Tabel 4.21 Kontrol P-Delta Pada Arah X Untuk Model 2	126
Tabel 4.22 Kontrol P-Delta Pada Arah Y Untuk Model 2	128
Tabel 4.23 Distribusi Kekakuan Tingkat Bangunan Arah X Bangunan	129
Tabel 4.24 Distribusi Kekakuan Tingkat Bangunan Arah Y Bangunan	130
Tabel 4.25 Persentase Tahanan Gaya Gempa Dengan Metode Analisis Respon Spektrum	132
Tabel 4.26 Gaya Geser Dasar Nominal Hasil Analisis Respon Spektrum	133
Tabel 4.27 Rekapitulasi Faktor Skala Hasil Respon Spektrum Dan Statik Ekivalen Model 3	134
Tabel 4.28 Pengecekan <i>Story Shear</i> dengan 35% <i>Base Shear</i> terhadap Redudansi $\rho$ 1,0 Untuk Model 1 Terhadap Gempa X	135
Tabel 4.29 Pengecekan <i>Story Shear</i> dengan 35% <i>Base Shear</i> terhadap Redudansi $\rho$ 1,0 Untuk Model 1 Terhadap Gempa Y	136
Tabel 4.30 Gaya Geser Hasil <i>Output</i> ETABS Analisis Respon Spektrum Akibat Gempa X	138
Tabel 4.31 Gaya Geser Hasil <i>Output</i> ETABS Analisis Respon Spektrum Akibat Gempa Y	140
Tabel 4.32 Nilai Simpangan Gedung Model 3 akibat Gempa X Pada Kinerja Batas Ultimit Berdasarkan SNI 1726:2012	143
Tabel 4.33 Nilai Simpangan Gedung Model 3 Akibat Gempa Y Pada Kinerja Batas Ultimit Berdasarkan SNI 1726:2012	144
Tabel 4.34 Kontrol P-Delta Pada Arah X Untuk Model 3	146
Tabel 4.35 Kontrol P-Delta Pada Arah Y Untuk Model 3	147
Tabel 4.36 Distribusi Kekakuan Tingkat Bangunan Arah X Bangunan	149
Tabel 4.37 Distribusi Kekakuan Tingkat Bangunan Arah Y Bangunan	150
Tabel 4.38 Persentase Tahanan Gaya Gempa Dengan Metode Analisis Respon Spektrum	152
Tabel 4.39 Gaya Geser Dasar Nominal Hasil Analisis Respon Spektrum	153
Tabel 4.40 Rekapitulasi Faktor Skala Hasil Respon Spektrum Dan Statik	



Ekivalen Model 4	154
Tabel 4.41 Pengecekan <i>Story Shear</i> dengan 35% <i>Base Shear</i> terhadap Redudansi $\rho$ 1,0 Untuk Model 1 Terhadap Gempa X	154
Tabel 4.42 Pengecekan <i>Story Shear</i> dengan 35% <i>Base Shear</i> terhadap Redudansi $\rho$ 1,0 Untuk Model 1 Terhadap Gempa Y	156
Tabel 4.43 Gaya Geser Hasil <i>Output</i> ETABS Analisis Respon Spektrum Akibat Gempa X	158
Tabel 4.44 Gaya Geser Hasil <i>Output</i> ETABS Analisis Respon Spektrum Akibat Gempa Y	160
Tabel 4.45 Nilai Simpangan Gedung Model 4 akibat Gempa X Pada Kinerja Batas Ultimit Berdasarkan SNI 1726:2012	163
Tabel 4.46 Nilai Simpangan Gedung Model 4 Akibat Gempa Y Pada Kinerja Batas Ultimit Berdasarkan SNI 1726:2012	164
Tabel 4.47 Kontrol P-Delta Pada Arah X Untuk Model 4	166
Tabel 4.48 Kontrol P-Delta Pada Arah Y Untuk Model 4	167
Tabel 4.49 Distribusi Kekakuan Tingkat Bangunan Arah X Bangunan	169
Tabel 4.50 Distribusi Kekakuan Tingkat Bangunan Arah Y Bangunan	170
Tabel 4.51 Persentase Tahanan Gaya Gempa Dengan Metode Analisi Respon Spektrum	171

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Peta Respon Spektra Percepatan 0.2 Detik	12
Gambar 2.2	Peta Respon Spektra Percepatan 0.2 Detik	13
Gambar 2.3	Peta Respon Spektra Percepatan 1 Detik	13
Gambar 2.4	Bentuk Tipikal Respon Spektrum Desain Di Permukaan Tanah	25
Gambar 2.5	Penentuan Simpangan Antar Lantai	31
Gambar 2.6	Elemen Komposit Dengan Penampang Melintang	39
Gambar 2.7	Jenis Penguat Bresing Eksentrik	45
Gambar 2.8	Jenis Penguat Bresing Konsentrik	46
Gambar 2.9	Sistem Inti	47
Gambar 2.10	Tebal Pelat Dalam Sistem Inti	48
Gambar 2.11	Sistem Rangka <i>Outrigger</i>	50
Gambar 2.12	<i>Outrigger</i> Untuk Koneksi Kolom Perimeter	52
Gambar 2.13	Sistem Rangka <i>Outrigger</i> Di Bawah Beban Lateral Dan Model Analisis	53
Gambar 2.14	Superposisi Model Analitis	53
Gambar 2.15	Diagram Efek <i>Outrigger</i> Pada Saat Di Pasang	54
Gambar 2.16	Deformasi Aksial Kolom Perimeter Pada Dua Fasad Tegak Lurus Terhadap Arah Lentur	54
Gambar 3.1	Metodologi Penelitian	55
Gambar 3.2	Grafik Respon Spektrum SNI-03-1726-2012 Daerah Kota Bengkulu Dengan Jenis Tanah Sedang	60
Gambar 3.3	Dimensi Pelat Lantai	63
Gambar 3.4	Denah Struktur Bangunan Baja Model 1	69
Gambar 3.5	Tampak Samping Struktur Bangunan Baja Model 1	69
Gambar 3.6	Tampak 3D Struktur Bangunan Baja Model 1	70
Gambar 3.7	Denah Struktur Bangunan Baja Model 2	75
Gambar 3.8	Tampak Samping Struktur Bangunan Baja Model 2	75
Gambar 3.9	Tampak 3D Struktur Bangunan Baja Model 2	76
Gambar 3.10	Denah Struktur Bangunan Baja Model 3	81
Gambar 3.11	Tampak Samping Struktur Bangunan Baja Model 3	81

Gambar 3.12	Tampak 3D Struktur Bangunan Baja Model 3	82
Gambar 3.13	Denah Struktur Bangunan Baja Model 4	87
Gambar 3.14	Tampak Samping Struktur Bangunan Baja Model 4	87
Gambar 3.15	Tampak 3D Struktur Bangunan Baja Model 4	88
Gambar 4.1	Hasil Gaya Dalam Balok Utama Lantai 1-15	172
Gambar 4.2	Hasil Gaya Dalam Balok Utama Lantai 16-30	175
Gambar 4.3	Hasil Gaya Dalam Balok Utama Lantai 31-40	177
Gambar 4.4	Penampang Kolom Komposit <i>CFT</i>	180
Gambar 4.5	Penampang Dan Sambungan <i>Outrigger</i>	183
Gambar 4.6	Sambungan Profil HSS dengan Las-Balans	188
Gambar 4.7	Sambungan Batang Tarik-Las Sudut	189
Gambar 4.8	Sambungan Jarak dan Spasi Baut	191
Gambar 4.9	Sambungan <i>End-Plate</i> Dengan Tipe 8ES	193

## DAFTAR NOTASI

C	= Faktor Respons Gempa dinyatakan dalam percepatan gravitasi yang nilainya bergantung pada waktu getar alami struktur gedung dan kurvanya ditampilkan dalam Spektrum Respons Gempa Rencana, g
$C_d$	= Faktor amplikasi defleksi
$C_s$	= Koefisien respon gempa, g
c	= Jarak dari serat tekan terluar ke sumbu netral, yang dihitung untuk beban
d	= Tinggi efektif komponen struktur, mm
$d_i$	= Simpangan horizontal lantai tingkat ke i dari hasil analisis 3 dimensi struktur gedung akibat beban gempa nominal statik ekuivalen yang menangkap pada pusat massa pada taraf lantai tingkat, mm
e	= Eksentrisitas, mm
E	= Modulus elastisitas baja, 200000 MPa
$F_a$	= Koefisien situs perioda pendek (pada perioda 0,2 detik)
$F_i$	= Beban gempa nominal statik ekuivalen yang menangkap pada pusat massa pada taraf lantai tingkat ke-i struktur atas gedung, kg
$F_n$	= Pembebanan gempa statik untuk lantai paling atas, kg
$F_{PGA}$	= Faktor amplikasi untuk PGA
$F_v$	= Koefisien situs perioda panjang (pada perioda 1 detik)
$f'_c$	= Kuat tekan beton, MPa
$f_y$	= Kuat leleh tulangan, MPa
$f_{yh}$	= Kuat leleh tulangan transversal, MPa
g	= Percepatan gravitasi, mm/det <sup>2</sup>
H	= Tinggi gedung yang ditinjau, m
h	= Tinggi komponen struktur, mm
$h_i$	= Tinggi tingkat yang ditinjau, m
$h_x$	= Spasi horizontal maksimum untuk kaki-kaki sengkang tertutup atau sengkang ikat pada semua muka kolom, mm
I	= Faktor Keutamaan gedung, faktor pengali dari pengaruh Gempa Rencana pada berbagai kategori gedung, untuk menyesuaikan perioda

ulang gempa yang berkaitan dengan penyesuaian probabilitas dilampauinya pengaruh tersebut selama umur gedung itu dan penyesuaian umur gedung itu

- $I_1$  = Faktor Keutamaan gedung untuk menyesuaikan perioda ulang gempa yang berkaitan dengan penyesuaian probabilitas terjadinya gempa itu selama umur gedung
- $I_2$  = Faktor Keutamaan gedung untuk menyesuaikan perioda ulang gempa yang berkaitan dengan penyesuaian umur gedung
- $I_e$  = Faktor Keutamaan
- $I_x, I_y$  = Momen inersia,  $\text{mm}^4$
- $J$  = Konstanta torsi,  $\text{mm}^4$
- $k$  = Nilai eksponen distribusi
- $K_z$  = Faktor panjang efektif untuk tekuk torsi, MPa
- $l_o$  = Panjang minimum, diukur dari muka join sepanjang sumbu komponen struktur, dimana harus disediakan tulangan transversal, mm
- $l_w$  = Panjang keseluruhan dinding atau segmen yang ditinjau dalam arah gaya geser, m
- $M_u$  = Momen lentur terfaktor, N.mm
- $M_n$  = Kuat nominal momen lentur, N.mm
- $\bar{N}$  = Nilai rata-rata berbobot hasil Test Penetrasi Standar lapisan tanah di atas batuan dasar dengan tebal lapisan tanah sebagai besaran pembobotnya
- $n$  = Nomor lantai tingkat paling atas; jumlah lantai tingkat struktur gedung
- $N_u$  = Beban terfaktor, N/mm
- $N_n$  = Kuat nominal, N/mm
- $N_i$  = Beban *notional* yang digunakan pada level- $i$ , N
- $PGA$  = Percepatan muka tanah puncak  $MCE_G$  terpetak, g
- $PGA_M$  = Nilai percepatan puncak di permukaan tanah berdasarkan klasifikasi *site*
- $P_u$  = Gaya aksial yang bekerja pada dinding geser, kN

$R$	= Faktor reduksi gempa, Koefisien modifikasi respon
$R_m$	= Faktor reduksi gempa maksimum yang dapat dikerahkan oleh suatu jenis system atau subsistem struktur gedung
$R_y$	= Rasio tegangan leleh ekspektasi terhadap tegangan leleh minimum yang disyaratkan
$\bar{S}_u$	= Kuat geser niralir rata-rata berbobot dengan tebal lapisan tanah sebagai besaran pembobotnya, kPa
$S_1$	= Parameter percepatan respons spektral MCE dari peta gempa pada periode 1 detik, redaman 5 persen
$S_a$	= Faktor respon gempa
$S_B$	= Batuan dasar
$S_{D1}$	= Parameter percepatan respons spektral spesifik situs pada periode 1 detik, redaman 5 persen
$S_{DS}$	= Parameter percepatan respons spektral spesifik situs pada periode pendek, redaman 5 persen
$S_{M1}$	= Parameter percepatan respon spektral MCE pada periode 1 detik yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs
$S_{MS}$	= Parameter percepatan respon spektral MCE pada periode pendek yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs
$S_{PGA}$	= Nilai PGA di batuan dasar ( $S_B$ ) mengacu pada Peta Gempa Indonesia 2012
$S_S$	= Parameter percepatan respon spectral MCE dari peta gempa pada periode pendek, redaman 5 persen
$T$	= Waktu getar alami struktur gedung dinyatakan dalam detik yang menentukan besarnya Faktor Respons Gempa struktur gedung dan kurvanya ditampilkan dalam Spektrum Respons Gempa Rencana, detik
$T_0$	= $0,2 S_{D1}/S_{DS}$ , detik
$T_1$	= Waktu getar alami fundamental struktur gedung beraturan maupun tidak beraturan, detik
$T_{maksimum}$	= Nilai maksimum periode bangunan, detik
$T_{minimum}$	= Nilai minimum periode bangunan, detik

$T_s$	= $S_{D1}/S_{DS}$ , detik
$t_w$	= Tebal dinding geser, mm
$V$	= Beban (gaya) geser dasar nominal statik ekuivalen akibat pengaruh Gempa Rencana yang bekerja di tingkat dasar struktur gedung beraturan dengan tingkat daktilitas umum, dihitung berdasarkan waktu getar alami fundamental struktur beraturan tersebut, kg
$V_1$	= Gaya geser dasar nominal yang berkerja di tingkat dasar struktur gedung tidak beraturan dengan tingkat daktilitas umum, dihitung berdasarkan waktu getar fundamental struktur gedung, kg
$V_n$	= Pengaruh Gempa Rencana pada taraf pembebanan nominal untuk struktur gedung dengan tingkat daktilitas umum; pengaruh Gempa Rencana pada saat di dalam struktur terjadi pelelehan pertama yang sudah direduksi dengan faktor kuat lebih beban dan bahan $f_1$ , kg
$V_t$	= Gaya geser dasar nominal akibat pengaruh Gempa Rencana pada taraf pembebanan nominal yang bekerja di tingkat dasar struktur gedung dan yang didapat dari hasil analisis ragam spektrum respons atau dari hasil analisis respons dinamik riwayat waktu, kg
$V_u$	= Gaya geser rencana, kg
$\bar{v}_s$	= Kecepatan rambat rata-rata berbobot gelombang geser dengan tebal lapisan tanah sebagai besaran pembobotnya, m/det
$W_i$	= Berat lantai tingkat ke-i struktur atas suatu gedung, termasuk beban hidup yang sesuai (berat perlantai gedung), kg
$W_t$	= Berat total bangunan termasuk beban hidup yang sesuai, kg
$X_{max}$	= Simpangan maksimum struktur (diambang keruntuhan), mm
$X_y$	= Simpangan struktur pada saat terjadi sendi plastis yang pertama (leleh pertama), mm
$Y_i$	= Beban gravitasi yang digunakan pada level i, $m/s^2$
$Z$	= Modulus penampang plastis, $mm^3$
$\mu$	= Faktor daktilitas struktur gedung, rasio antara simpangan maksimum struktur gedung akibat pengaruh Gempa Rencana pada saat mencapai kondisi di ambang keruntuhan dan simpangan struktur gedung pada saat terjadinya pelelehan pertama; konstanta yang tergantung pada

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

- $\mu_m$  = Nilai faktor daktilitas maksimum yang dapat dikerahkan oleh suatu system atau subsistem struktur gedung
- $\Delta_i$  = Simpangan antartingkat yang telah dibagi faktor skala, cm
- $\delta_u$  = Perpindahan rencana, mm
- $\zeta$  = Koefisien pengali dari simpangan struktur gedung yang membatasi waktu getar alami fundamental struktur gedung, bergantung pada Wilayah Gempa; faktor pengali
- $\rho$  = Faktor redudansi
- $\rho_v$  = Rasio penulangan arah vertikal
- $\Omega_0$  = Faktor kuat lebih



## DAFTAR SINGKATAN

PGA	= Peak Ground Acceleration
DFBK	= Desain Faktor Beban dan Ketahanan
DKI	= Desain Kekuatan Izin
SRPMM	= Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah
SNI	= Standar Nasional Indonesia
SRBKB	= Sistem Rangka Bresing Konsentrik Biasa
SRBKK	= Sistem Rangka Bresing Konsentrik Khusus
SRBE	= Sistem Rangka Bresing Eksentrik
PPIUG	= Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung
SRPMB	= Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa
SRPMK	= Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus
CQC	= <i>Complete Quadratic Combination</i>
SRSS	= <i>Square Root of the Sum of Squares</i>



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Indonesia adalah sebuah negara dengan aktifitas gempa bumi tektonik yang tinggi. Dari segi geologi lokasi Indonesia terletak pada 4 lempeng tektonik utama yaitu lempeng Eurasia, Indo-Australia, Pasifik, dan Filipina.

Saat ini, semakin sempitnya lahan di kota-kota besar mengharuskan pola pembangunan gedung secara vertikal. Pembangunan gedung secara vertikal sangat rentan terhadap bahaya beban lateral seperti angin dan gempa bumi.

Untuk mengatasi masalah tersebut beberapa elemen dari gedung harus dirancang sedemikian rupa sehingga mampu menahan gaya-gaya lateral (beban angin dan gempa bumi) yang terjadi. Elemen utama gedung yang harus direncanakan terhadap pengaruh beban gempa antara lain balok, kolom, dan *shear wall*.

Inovasi dalam perencanaan struktur terus menerus dikembangkan dalam mendesain bangunan tingkat tinggi dengan tujuan dapat menahan beban lateral. 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 desain 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.

*Outrigger* adalah komponen dinding yang berfungsi sebagai balok setinggi satu lantai. Penggunaan *outrigger* dapat mengurangi momen yang terjadi pada dinding geser beserta kolom dinding geser. Hal ini mengakibatkan dimensi *shear wall* dapat direduksi. Penggunaan *outrigger* juga dapat menambah kekakuan struktur gedung. Penambahan kekakuan tersebut dapat mengurangi *drift* maksimum struktur dan periode bangunan.

Tidak semua tipe ketinggian gedung dapat dikatakan efektif jika menggunakan *outrigger*. Variasi tinggi bangunan juga akan menentukan efektifitas penggunaan sistem *outrigger*. Pada tiap gedung dengan variasi jumlah lantai yang berbeda, juga akan berbeda – beda penggunaan sistem penahan beban lateral yang efektif.

Dalam mendesain sebuah penampang dan sambungan *outrigger* pada bangunan bertingkat, pertimbangan kekakuan yang menjamin keamanan sudah pasti harus terpenuhi, tetapi untuk memenuhinya terkadang terhambat karena adanya keterbatasan dana.

Sistem perkuatan dengan menggunakan *outrigger* merupakan suatu hal yang masih jarang dikaji di Indonesia. Untuk itu penulis sangat tertarik pada sistem *outrigger* karena merupakan ilmu dalam dunia konstruksi yang harus dikembangkan dan diterapkan pada bangunan sekarang ini. Di Indonesia sendiri konsep ini masih sangat jarang diterapkan karena masih kurangnya pemahaman pada *outrigger*, padahal sistem ini sangat efektif diterapkan terlebih lagi Indonesia berada di kawasan yang sering terjadi gempa besar.

## 1.2 Rumusan Masalah

Dalam pembahasan tugas akhir ini akan dianalisa desain penampang dan sambungan *outrigger* pada bangunan gedung 40 lantai berdasarkan SNI 1726:2012 dan SNI 7860:2015.

1. Berapa dimensi profil kolom baja beton komposit *CFT* dan *outrigger* yang dapat digunakan dalam perencanaan gedung dengan SRPMK dan SCBF yang dapat menahan beban lateral gempa?
2. Berapa dimensi dan tipikal konfigurasi sambungan balok-kolom, *outrigger*, yang digunakan dalam perencanaan ini?
3. Bagaimana perilaku bangunan yang terpasang sistem *core wall* dan *outrigger* pada sisi searah bangunan saat terjadi gempa?
4. Berapakah besar simpangan antar lantai (*story drift*), kekakuan antar lantai yang terpasang sistem *core wall* dan *outrigger* pada masing-masing pemodelan?

5. Berapakah gaya geser maksimum yang terpasang sistem *core wall* dan *outrigger* pada masing-masing pemodelan saat terjadi gempa?
6. Dimana penempatan *outrigger* yang paling efektif diantara keempat pemodelan terhadap struktur bangunan gedung baja dan beton komposit?

### 1.3 Ruang Lingkup Pembahasan

Pada penelitian ini permasalahan dibatasi pada:

1. Bangunan tingkat tinggi yang dianalisis adalah bangunan dari material komposit yang permodelannya dalam bentuk 3 dimensi dengan menggunakan struktur rangka baja dan beton komposit dan mengacu pada SNI 1729:2015.
2. Penampang dan sambungan *outrigger* yang digunakan adalah dari baja dimana dimensi tiap profil elemen struktur dari perhitungan yang memenuhi *stress check* dan mengacu pada SNI 1729:2015.
3. Menganalisa tentang ketentuan seismik untuk struktur baja bangunan gedung dan mengacu pada SNI 7860:2015.
4. Bresing (pengaku) yang digunakan pada sistem *outrigger* adalah bresing tipe *eccen back* dan *eccen forward* yang digabung menjadi tipe – X.
5. Untuk *core* yang menopang sistem *outrigger* menggunakan *core wall* .
6. Tinggi perantai untuk lantai 1 adalah 4 m dan lantai seterusnya 3,5 m yang menjadikan tinggi bangunan secara keseluruhan menjadi 140,5 m. Dengan bangunan yang berukuran 56 m x 42 m yang berada di tengah Kota Bengkulu dengan masa waktu penggunaan 50 tahun.
7. Penampang dan sambungan *outrigger* yang akan dimodelkan dalam 4 bentuk permodelan sesuai letaknya pada tiap lantai yang ditinjau.
8. Penelitian tidak memperhitungkan beban angin dan struktur bawah.
9. Penelitian mengabaikan kondisi void pada semua lantai pada saat pemodelan.
10. Analisis struktur gedung terhadap beban gempa menggunakan analisis respon spektrum.
11. Struktur dianalisa secara linier elastis menggunakan program ETABS v.16.
12. Bangunan direncanakan di Provinsi Bengkulu dengan wilayah KDS D pada tanah sedang dan mengacu pada SNI 1726:2012.

## 1.4 Tujuan Penelitian

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

1. Untuk mendapatkan profil efektif kolom baja beton komposit *CFT* dan *outrigger* yang memenuhi persyaratan SRPMK dan SCBF gedung tahan gempa.
2. Untuk mendapatkan dimensi dan tipikal konfigurasi sambungan balok-kolom, *outrigger* yang memenuhi syarat dalam perencanaan pemodelan.
3. Untuk mengetahui nilai perioda dari setiap model struktur bangunan gedung yang mengalami gaya lateral.
4. Untuk mengetahui besar simpangan antar lantai (*story drift*), kekakuan antar lantai yang terpasang sistem *core wall* dan *outrigger* pada masing-masing pemodelan.
5. Untuk mengetahui gaya geser maksimum yang terpasang sistem *core wall* dan *outrigger* pada masing-masing pemodelan saat terjadi gempa?
6. Menunjukkan dan membandingkan nilai persentase dari penggunaan *outrigger*, terhadap posisi pemasangan dan sambungan yang efektif pada pemodelan bangunan tersebut sehingga didapat persentase pengurangan *story drift* secara lateral akibat dari beban gempa.

## 1.5 Manfaat Penelitian

### 1.5.1 Manfaat Teoritis

Manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini adalah:

1. Penelitian ini memberikan manfaat terhadap ilmu pengetahuan khususnya dalam bidang teknik sipil.
2. Memberikan pemahaman tentang desain penampang kolom baja beton komposit tipe *CFT* dan sambungan *outrigger*.
3. Mengetahui letak efektif dari pemasangan dan sambungan *outrigger* pada bangunan beton setinggi 40 lantai.

### **1.5.2 Manfaat Praktis**

Hasil penelitian ini secara praktis diharapkan dapat menyumbangkan pemikiran dalam pemecah masalah yang berkaitan dengan bangunan tingkat tinggi yang berada di zona gempa tinggi.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

### **BAB 1 PENDAHULUAN**

Menguraikan hal-hal umum mengenai tugas akhir seperti latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, rumusan masalah, sistematika pembahasan.

### **BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA**

Pada Bab 2 ini berisikan teori-teori, konsep, dan rumus sesuai dengan acuan judul tugas akhir ini.

### **BAB 3 METODE PENELITIAN**

Menjelaskan rencana atau prosedur yang dilakukan penulis untuk memperoleh jawaban yang sesuai dengan kasus permasalahan.

### **BAB 4 HASIL PEMBAHASAN**

Menguraikan hasil pembahasan analisis desain dan kinerja struktur.

### **BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN**

Berisi kesimpulan sesuai dengan analisis terhadap penelitian dan beberapa saran untuk pengembangan lebih lanjut yang lebih baik di masa yang akan datang.

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Pendahuluan

Desain bangunan tinggi adalah subjek kompleks yang memerlukan kolaborasi dan kerja sama interdisipliner pada tingkat lanjut, dan arsitek perlu menyadari fakta ini. Dalam desain bangunan tinggi, peningkatan dimensi elemen struktural, perbedaan dalam sistem struktur dan sistem operasi (mekanik), dan bentuk bangunan aerodinamika / struktur berbasis, paling penting dalam pengaruhnya terhadap desain struktur dan struktural. Ketika arsitek mempertimbangkan prinsip-prinsip dasar aerodinamika, pengurangan goyangan bangunan yang disebabkan angin memainkan peran penting. Dengan demikian mengurangi biaya dengan menurunkan tuntutan pada sistem struktural dan sistem redaman tambahan secara substansial, dan pada saat yang sama mengurangi modifikasi minimal yang mungkin diperlukan setelah pengujian terowongan angin. Dalam mempertimbangkan peran penting yang dimainkan oleh angin dan gempa yang menyebabkan beban lateral dalam keputusan desain bangunan tinggi, sangat penting untuk mempertimbangkan desain arsitektural disamping desain struktural dan pendekatan desain aerodinamis. Akibatnya, menjadi sulit untuk berbicara tentang arsitek sebagai memiliki tingkat kebebasan yang memuaskan dalam merancang gedung-gedung tinggi. Dalam konteks ini, menurut penulis, "Desain bangunan pencakar langit tidak dapat dipungkiri merupakan hasil kerja tim interdisipliner, yang dipimpin oleh arsitek, yang mengambil masalah struktural dan aerodinamis dipertimbangkan sambil berjuang untuk tidak mengorbankan desain arsitekturalnya."

Ketinggian yang mungkin bisa dicapai, dari akhir abad kesembilan belas sampai sekarang, adalah sebagai berikut: pada tahun 1885 pencakar langit pertama yang diakui, Gedung *Home Insurance Building* (Chicago) mencapai 55 m; Pada tahun 1931, *Empire State Building* (New York) mencapai 381 m; dan pada tahun 2010, *Burj Khalifa* (Dubai) mencapai 828 m. Hari ini, perkembangan untuk ketinggian terus berlanjut dengan kecepatan yang semakin tinggi, berkat inovasi



dan kemajuan dalam analisis struktural dan disain, dan perbaikan material dengan kekuatan tinggi dan teknologi konstruksi. Perkembangan ini membatasi batas-batas, melahirkan masalah arsitektur dan teknik baru yang perlu dipecahkan. Dengan demikian arsitek memiliki kebebasan desain, namun hanya sampai pada batasan apa yang mungkin dilakukan dalam rekayasa dan teknologi. Untuk memecahkan masalah yang disebabkan oleh meningkatnya ketinggian bangunan, seorang arsitek memiliki perjuangan estetika dengan kebebasan desain yang terbatas, karena kekuatan struktural sebuah bangunan dan beban yang dipengaruhinya mempengaruhi pilihan bentuk sampai tingkat yang tinggi, dan kemampuan teknik lainnya, terutama kemampuan struktural dan aerodinamis, juga berkontribusi pada desain selama kerja sama kolaboratif ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1: Sepuluh gedung tertinggi di dunia pada tahun 2011 (CTBUH, Desember, 2011).

Peringkat	Nama Bangunan	Lokasi	Penyelesaian	Tinggi (m)	Bahan struktural
1	<i>Burj Khalifa (formerly Burj Dubai)</i>	Dubai	2010	828	R/C
2	<i>Taipei 101</i>	Taipei	2004	508	Komposit
3	<i>Shanghai World Financial Center</i>	Shanghai	2008	492	Komposit
4	<i>International Commerce Centre (ICC)</i>	Hong Kong	2010	484	Komposit
5	<i>Petronas Tower 1</i>	Kuala Lumpur	1998	452	R/C
6	<i>Petronas Tower 2</i>	Kuala Lumpur	1998	452	R/C
7	<i>Zifeng Tower (formerly Nanjing Greenland Financial Center)</i>	Nanjing	2010	450	Komposit
8	<i>Willis Tower (formerly Sears Tower)</i>	Chicago	1974	442	Baja
9	<i>Kingkey 100</i>	Shenzhen	2011	442	Komposit

Tabel 2.1: *Lanjutan.*

Peringkat	Nama Bangunan	Lokasi	Penyelesaian	Tinggi (m)	Bahan struktural
10	<i>Guangzhou International Finance Center</i>	Guangzhou	2010	439	Komposit

Dasar perencanaan struktur bangunan tahan gempa adalah terdapatnya komponen struktur yang diperbolehkan mengalami kelelahan. Komponen struktur yang leleh tersebut merupakan komponen yang menahan energi gempa selama gempa terjadi. Agar memenuhi konsep perencanaan struktur bangunan tahan gempa, maka pada saat gempa kelelahan yang terjadi hanya pada balok. Oleh karena itu dan sambungan harus dirancang sedemikian rupa agar kedua komponen struktur tersebut tidak mengalami kelelahan ketika gempa terjadi.

Dalam perencanaan struktur bangunan tahan gempa, diperlukan standard dan peraturan perencanaan bangunan untuk menjamin keselamatan penghuni terhadap gempa besar yang mungkin terjadi serta menghindari dan meminimalisasi kerusakan struktur bangunan dan korban jiwa terhadap gempa bumi yang sering terjadi (Budiono dan Supriatna, 2011).

Oleh karena itu, struktur bangunan tahan gempa harus memiliki kekuatan, kekakuan, dan stabilitas yang cukup untuk mencegah terjadinya keruntuhan bangunan. Filosofi dan konsep dasar perencanaan bangunan tahan gempa adalah:

1. Pada saat terjadi gempa ringan, struktur bangunan dan fungsi bangunan harus tetap berjalan (*serviceable*) sehingga struktur harus kuat dan tidak ada kerusakan baik pada elemen struktural dan elemen nonstruktural bangunan.
2. Pada saat terjadi gempa moderat atau *medium*, struktur diperbolehkan mengalami kerusakan baik pada elemen nonstruktural, tetapi tidak diperbolehkan terjadi kerusakan pada elemen struktural.
3. Pada saat terjadi gempa besar, diperbolehkan terjadi kerusakan pada elemen struktural dan nonstruktural, namun tidak boleh menyebabkan bangunan runtuh sehingga ada korban jiwa atau meminimalkan korban jiwa.

Secara tradisional dipahami bahwa baja dan beton komposit selain berkekuatan tinggi, perilaku keruntuhannya adalah bersifat duktail. Duktilitas adalah kemampuan suatu struktur gedung untuk mengalami simpangan pascaelastik yang besar secara berulang kali dan bolak-balik akibat beban gempa. Material baja juga mudah dalam pekerjaannya dan cepat. Karena beberapa pertimbangan tersebut, penggunaan baja dianjurkan pada bangunan yang berada di daerah rawan gempa khususnya gempa berkekuatan tinggi.

Dalam mendesain bangunan struktur baja dan beton komposit ada beberapa faktor yang harus diperhatikan diantaranya faktor kehandalan dan kemampuan untuk menahan beban sendiri, beban kerja, serta beban gempa yang telah direncanakan. Dalam hal ini, struktur harus didesain dengan metode kolom kuat balok lemah (*Strong Coloumn Weak Beam*) yang diharapkan hanya balok saja yang dapat mengalami kegagalan akibat gaya yang dipikul struktur berlebih. Pada struktur baja dan beton komposit, untuk dapat menerapkan metode tersebut, dapat dilakukan dengan berbagai cara diantaranya adalah pada ujung balok dan kolom didesain sambungan kaku agar dapat menerima gaya geser dan momen. Namun, pada desain sambungan kaku akan menyebabkan rotasi pada balok akan berkurang.

Dalam hal ini, akan dibahas konsep perencanaan bangunan struktur baja dan beton komposit tahan gempa dengan menggunakan Sistem Rangka *Outrigger* Khusus pada beberapa sisi. Beberapa teori yang mendasari tugas akhir ini adalah:

1. Desain Konsep perencanaan bangunan tahan gempa berdasarkan Studi Komparasi Desain Bangunan Tahan Gempa yang mengacu pada SNI 1726:2012.
2. Perencanaan Berat Struktur bangunan mengacu pada SNI 1727:2013.
3. Perencanaan Sistem Rangka *Outrigger* Khusus berdasarkan SNI 7860:2015.
4. Perencanaan Penampang dan Sambungan *Outrigger* serta komponen Balok Bangunan Struktur Baja mengacu pada SNI 1729:2015.

## **2.2 Konsep Perencanaan Bangunan Tahan Gempa**

### **2.2.1 Gempa Rencana**

Menurut Budiono dan Supriatna (2011), akibat pengaruh gempa rencana, struktur gedung secara keseluruhan masih harus berdiri walaupun sudah berada dalam kondisi diambang keruntuhan. Berdasarkan SNI 1726:2012, zona peta gempa menggunakan peta gempa untuk probabilitas 2% terlampaui dalam 50 tahun atau memiliki periode ulang 2500 tahun.

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. Gempa dengan percepatan sedang dan durasi yang lama menyebabkan kerusakan lebih besar dibandingkan dengan gempa yang memiliki percepatan besar tapi durasinya singkat.

### **2.2.2 Arah Pembebanan Gempa**

Gempa menyebabkan guncangan pada tanah. Tingkat keparahan beban gempa tergantung pada lokasi (sesuai dengan peraturan mengenai standar bangunan). Guncangan tanah dapat menambah beban pada unsur-unsur bangunan, guncangan tanah yang lebih kuat atau unsur-unsur bangunan yang lebih besar dapat menambah beban pada gedung itu sendiri.

Beban gempa cenderung horizontal (walaupun tetap ada komponen vertikal arah beban) dan dapat menyerang dari arah manapun. Beban gempa akan datang bersiklus.

Struktur bangunan yang bertingkat tinggi harus dapat memikul beban-beban yang bekerja pada struktur tersebut, diantaranya beban gravitasi dan beban lateral. Beban gravitasi adalah beban mati struktur dan beban hidup, sedangkan yang termasuk beban lateral adalah beban angin dan beban gempa.

Dalam perencanaan struktur gedung, arah utama pengaruh gempa rencana harus ditentukan sedemikian rupa sehingga memberi 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 tersebut, tetapi dengan efektifitas 30%.

### 2.2.2.1 Distribusi Vertikal Gaya Gempa

Berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 7.8.3, gaya gempa lateral ( $F_i$ ) yang timbul disemua tingkat harus ditentukan dari Pers. 2.1 dan 2.2.

dimana:

$$F_i = C_{vx} \cdot V \quad (2.1)$$

Dan

$$C_{vx} = \frac{w_i h_i^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad (2.2)$$

dimana:

$C_{vx}$  = Faktor distribusi vertikal

$V$  = Gaya geser atau laeral desain total

$w_i$  = Bagian berat seismik efektif total struktur ( $W$ ) yang dikenakan atau ditempatkan pada tingkat-i

$h_i$  = Tinggi (meter) dari dasar sampai tingkat ke-i

$K$  = Eksponen yang terkait dengan perioda struktur sebagai berikut.

- Untuk struktur yang memiliki  $T \leq 0,5$  detik;  $k = 1$
- Untuk struktur yang memiliki  $T \geq 2,5$  detik;  $k = 2$
- Untuk struktur yang memiliki  $0,5 < T < 2,5$ ;  $k$  adalah hasil interpolasi.

### 2.2.2.2 Distribusi Horizontal Gaya Gempa

Berdasarkan SNI 1726:2012, geser tingkat desain gempa disemua tingkat ( $V_x$ ) harus ditentukan dari Pers. 2.3.

$$V_x = \sum_{i=1}^n F_i \quad (2.3)$$

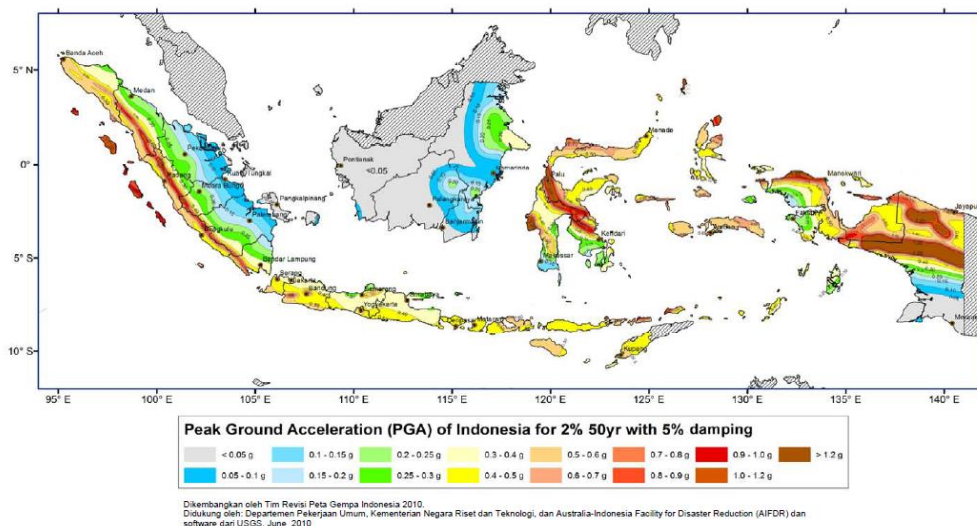
keterangan:

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

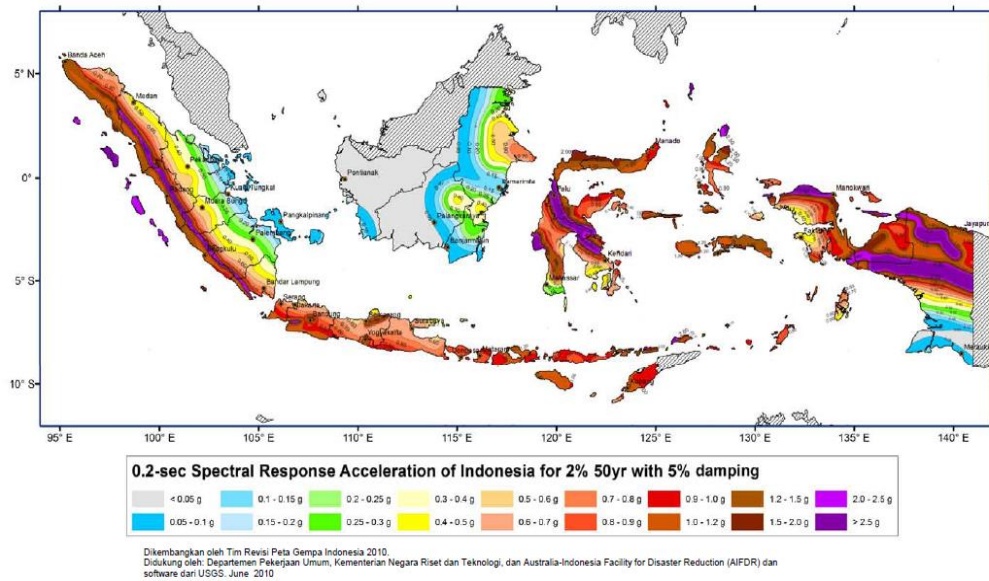
### 2.2.3 Wilayah Gempa

Pada umumnya, desain struktur bangunan tahan gempa merupakan desain yang mengatur hubungan antara respon gaya horizontal yang bekerja pada struktur (faktor kekuatan), kekakuan (*stiffness*), dan deformasi lateral struktur. Kekuatan 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.

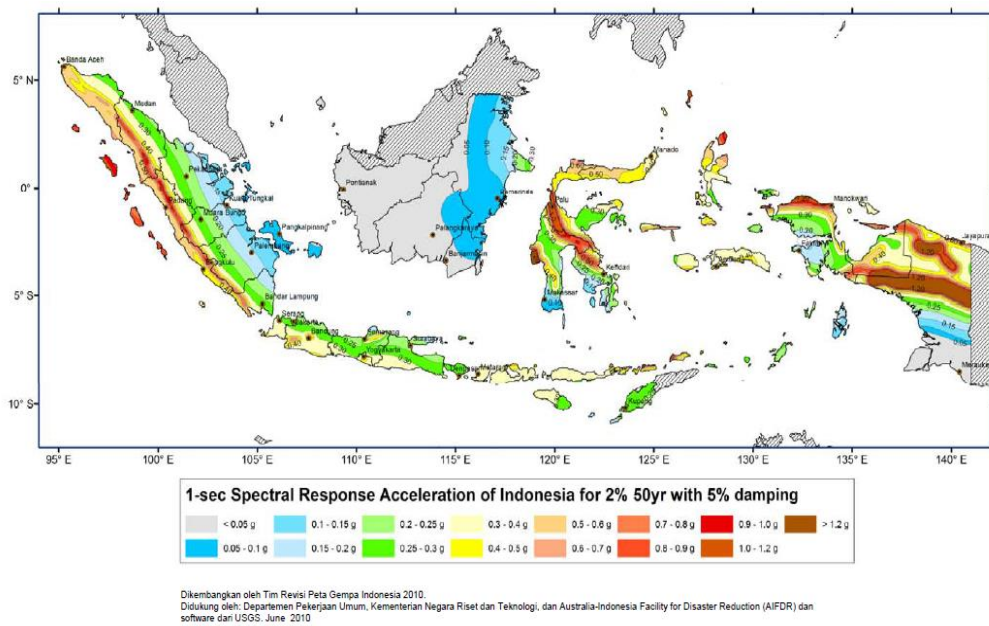
Berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 14, wilayah gempa Indonesia ditetapkan berdasarkan peta percepatan tanah puncak (PGA), parameter  $S_s$  (percepatan batuan dasar pada periode pendek 0,2 detik) dan  $S_l$  (percepatan batuan tanah dasar pada periode 1 detik) ditunjukkan pada Gambar 2.1 - 2.3.



Gambar 2.1: Peta percepatan puncak (PGA) di batuan dasar ( $S_B$ ) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun dengan redaman 5% (SNI 1726:2012).



Gambar 2.2: Peta respon spektra percepatan 0,2 detik ( $S_S$ ) di batuan dasar ( $S_B$ ) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun dengan redaman 5% (SNI 1726:2012).



Gambar 2.3: Peta respon spektra percepatan 1,0 detik ( $S_1$ ) di batuan dasar ( $S_B$ ) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun dengan redaman 5% (SNI 1726:2012).

## 2.3 Kriteria Desain Perencanaan Struktur Gedung Tahan Gempa

### 2.3.1 Kategori Desain Seismik

Struktur harus ditetapkan memiliki suatu kategori desain seismik. Struktur resiko I, II, atau III yang berlokasi dimana parameter respons spektral pada perioda detik,  $S_T$ , lebih besar dari atau sama dengan 0,75 harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik E. Struktur yang berkategori IV yang berlokasi di mana parameter respons spektral percepatan terpetakan pada perioda 1 detik,  $S_1$ , lebih besar dari atau sama dengan 0,75 harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik F. Semua struktur lainnya harus ditetapkan kategori desain seismiknya berdasarkan kategori risikonya dan parameter respon spektral percepatan desainnya,  $S_{DS}$  dan  $S_{D1}$ . Masing-masing bangunan dan struktur harus ditetapkan ke dalam kategori desain seismik yang lebih parah di tunjukkan pada Tabel 2.2 dan 2.3.

Tabel 2.2: Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda pendek.

Nilai $S_{DS}$	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0.167$	A	A
$0.167 < S_{DS} < 0.33$	B	C
$0.33 < S_{DS} < 0.50$	C	D
$0.50 \leq S_{DS}$	D	D

Tabel 2.3: Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan perioda 1 detik.

Nilai $S_{D1}$	Kategori risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0.167$	A	A
$0.067 < S_{D1} < 0.133$	B	C
$0.133 < S_{D1} < 0.20$	C	D
$0.20 \leq S_{DS}$	D	D



### **2.3.1.1 Kategori Desain Seismik A**

Bangunan gedung dan non gedung dengan kategori desain seismik elemen nonstruktural dalam kategori desain seismik A dibebaskan dari ketentuan-ketentuan seismik.

### **2.3.1.2 Kategori Desain Seismik B**

Untuk bangunan yang dirancang dengan kategori desain seismik B, gaya gempa desain diijinkan untuk diterapkan secara terpisah dalam masing-masing arah dari dua arah orthogonal dan pengaruh interaksi orthogonal diijinkan untuk diabaikan.

### **2.3.1.3 Kategori desain seismik C**

Pembebanan yang diterapkan pada struktur bangunan yang dirancang untuk kategori desain seismik C harus minimum sesuai dengan arah masing-masing orthogonal. Struktur yang mempunyai ketidakberaturan struktur horizontal harus menggunakan salah satu prosedur berikut:

1. Prosedur kombinasi orthogonal

Struktur harus dianalisis menggunakan prosedur analisis gaya lateral ekuivalen, prosedur analisis respon spektrum, atau prosedur riwayat respon linear, dengan pembebanan yang diterapkan secara terpisah dalam semua arah orthogonal. Pengaruh beban paling kritis akibat arah penerapan gaya gempa pada struktur dianggap terpenuhi jika komponen dan fondasinya didesain untuk memikul kombinasi beban-beban yang ditetapkan.

2. Penerapan serentak gerak tanah orthogonal

Struktur harus dianalisis menggunakan prosedur riwayat respons linear atau prosedur riwayat respons non linear dengan pasangan orthogonal percepatan gerak tanah yang diterapkan secara serentak.

### **2.3.1.4 Kategori Desain Seismik D Sampai F**

Struktur yang dirancang untuk kategori desain seismik D, E, dan F harus minimum sesuai dengan persyaratan kategori desain seismik C. Sebagai

tambahan, semua kolom atau dinding yang berbentuk bagian dari dua atau lebih sistem penahan gaya gempa yang bekerja sepanjang baik sumbu denah utama sama atau melebihi 20 persen kuat desain aksial kolom atau dinding harus didesain untuk pengaruh beban paling kritis akibat penerapan gaya gempa kesemua arah.

### 2.3.2 Kriteria Struktur Gedung

Berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 7.3.2.1 dan pasal 7.3.2.2, ketidakberaturan struktur bangunan dapat dibedakan menjadi ketidak beraturan horizontal dan vertikal dapat dilihat dalam Tabel 2.4 dan 2.5.

Tabel 2.4: Ketidakberaturan horizontal pada struktur berdasarkan SNI 1726:2012.

No	Tipe dan penjelasan ketidak beraturan	Penerapan kategori desain seismik
1a	Ketidakteraturan torsi di definisikan ada jika simpangan antar lantai tingkat maksimum, torsi yang melintang terhadap sumbu lebih dari 1,2 kali simpangan antar lantai tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragmanya kaku atau setengah kaku.	D, E, dan F B, C, D, E, dan F C, D, E, dan F C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F
1b	Ketidakteraturan torsi berlebihan di definesikan ada jika simpangan antar lantai tingkat maksimum, torsi yang dihitung termasuk tak terduga, di sebuah ujung struktur melintang terhadap sumbu lebih dari 1,4 kali simpangan antar lantai tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi berlebihan dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragmanya kaku atau setengah kaku	E dan F D B, C, dan d C dan D C dan D D B, C, dan D
2	Ketidakteraturan sudut dalam didefinisikan ada jika kedua proyeksi denah dari sudut dalam lebih besar dari 15% dimensi denah struktur dalam arah yang ditentukan	D, E, dan F D, E, dan F
3	Ketidakteraturan diskontinuitas diafragma di definisikan ada jika terdapat diafragma dengan diskontinuitas atau variasi kekakuan mendadak, termasuk yang mempunyai daerah terpotong atau terbuka lebih besar dari 50% daerah diafragma bruto yang melingkupinya, atau perubahan kekakuan diafragma efektif lebih dari 50% dari suatu tingkat ketinggian selanjutnya.	D, E, dan F D, E, dan F

Tabel 2.4: *Lanjutan.*

No	Tipe dan penjelasan ketidak beraturan	Penerapan kategori desain seismik
4	Ketidakberaturan gesekan melintang terhadap bidang didefinisikan ada jika terdapat diskontinuitas dalam lintasan tahanan gaya lateral, seperti geseran melintang terhadap bidang elemen vertikal	B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F
5	Ketidak beraturan sistem non paralel didefinisikan ada jika elemen penahan gaya lateral vertikal tidak paralel atau simetris terhadap sumbu-sumbu orthogonal utama sistem penahan gaya gempa	C, D, E, dan F B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F

Tabel 2.5: Ketidakberaturan vertikal pada struktur berdasarkan SNI 1726:2012.

No.	Tipe dan penjelasan ketidak beraturan	Penerapan kategori desain seismic
1a	Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat dimana	D, E, dan F
1b	kekakuan lateralnya kurang dari 70% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80% persen kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya. Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak berlebihan di definisikan ada jika terdapa suatu tingkat di mana kekakuan lateralnya kurang dari 60% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 70% kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.	E dan F D, E, dan F
2	Ketidakberaturan berat (massa) di definisikan ada jika massa efektif semua tingkat lebih dari 150% massa efektif tingkat di dekatnya. Atap yang lebih ringan dari lantai di bawahnya tidak perlu di tinjau	D, E, dan F
3	Ketidakberaturan geometri vertikal di definisikan ada jika dimensi horizontal sistem penahan gaya seismic di semua tingkat lebih dari 130% dimensi horizontal sistem penahanan gaya seismic tingkat di dekatnya.	D, E, dan F
4	Diskontinuitas arah bidang dalam ketidak beraturan elemen gaya lateral vertikal di definisikan ada jika geseran arah bidang elemen penahan gaya lateral lebih besar dari panjang elemen itu atau terdapat reduksi kekakuan elemen	B, C, D, E, dan F D, E, dan F D, E, dan F

Tabel 2.5: *Lanjutan.*

No.	Tipe dan penjelasan ketidak beraturan	Penerapan kategori desain seismic
5a	Diskontruksi dalam ketidakberaturan kuat lateral tingkat di definisikan ada jika kuat lateral tingkat kurang dari 80% kuat lateralnya tingkat di atasnya kuat lateral tingkat adalah kuat lateral total semua elemen penahan seismic yang berbagi geser tingkat untuk arah yang di tinjau.	E dan F D, E, dan F
5b	Diskontinuitas dalam ketidakberaturan kuat lateral tingkat yang berlebihan di definisikan ada jika kuat lateral tingkat kurang dari 65% kuat lateral tingkat di atasnya. Kuat tingkat adalah kuat total semua elemem penahan seismic yang berbagi geser tingkat untuk arah yang ditinjau.	D, E, dan F B dan C D, E, dan F

### 2.3.3 Faktor Keutamaan ( $I_e$ ) dan Katagori Risiko Struktur Bangunan

Berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 4.1.2, tentang faktor keutamaan dan ketegori resiko struktur bangunan dimana untuk kategori resiko dijelaskan sesuai Tabel 1 SNI 1726:2012, pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan  $I_e$  sesuai Tabel 2 SNI 1726:2012. Berikut kategori resiko dan faktor keutamaan dengan jenis pemanfaatan gedung yaitu gedung kantor yang ditunjukkan pada Tabel 2.6 dan 2.7.

Tabel 2.6: Kategori resiko bangunan gedung dan struktur lainnya untuk beban gempa berdasarkan SNI 1726:2012.

Jenis pemanfaatan	Kategori resiko
Gedung dan struktur lainnya yang memiliki resiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk tapi tidak dibatasi untuk : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan dan</li> <li>- Perikanan</li> <li>- Fasilitas sementara</li> <li>- Gedung penyimpanan</li> <li>- Rumah jaga dan struktur kecil lainnya</li> </ul>	I

Tabel 2.6: *Lanjutan.*

Jenis pemanfaatan	Kategori resiko
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam katagori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk :	II
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Perumahan</li> <li>- Rumah took dan rumah kantor</li> <li>- Pasar</li> <li>- Gedung perkantoran</li> <li>- Gedung apartemen/rumah susun</li> <li>- Pusat perbelanjaan/Mall</li> <li>- Bangunan industri</li> <li>- Pabrik</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- tempat perlindungan lainnya</li> <li>- Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat</li> <li>- Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin penjara</li> <li>- Bangunan untuk orang jompo</li> </ul>	III
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran ) yang disyaratkan beroperasi pada saat keadaan darurat.</li> <li>- Gedung dan struktur lainnya yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk kedalam katagori resiko IV.</li> </ul>	IV

Tabel 2.7: Faktor keutamaan (*Ie*), berdasarkan SNI 1726:2012.

Kategori resiko	Faktor keutamaan gempa, <i>Ie</i>
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,5

### 2.3.4 Faktor Reduksi Gempa (R)

Faktor reduksi merupakan perbandingan antara gaya geser yang terjadi akibat gempa dan gaya geser nominal bangunan. Faktor reduksi gempa adalah faktor yang digunakan untuk mengurangi gaya gempa agar bangunan tidak perlu didesain dalam kondisi elastis. Reduksi tersebut perlu dilakukan karena sangat tidak memungkinkan dari segi ekonomis bahwa struktur tahan gempa dibangun dalam kondisi elatis.

Berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 7.2 Tabel 9, sistem penahan gaya seismik yang berbeda diijinkan untuk digunakan, untuk menahan gaya seismik dimasing-masing arah kedua sumbu ortogonal struktur. Bila sistem yang berbeda digunakan, masing-masing nilai harus dikenakan pada setiap sistem termasuk batasan sistem struktur, ditentukan oleh parameter-parameter Tabel 2.8.

Tabel 2.8: Faktor koefisien modifikasi respons, faktor kuat lebih sistem, faktor pembesaran defleksi, dan batasan tinggi sistem struktur berdasarkan SNI 1726:2012.

No	Sistem penahan gaya seismic	Koefisien modifikasi respons, $R^a$	Faktor kuat lebih sistem, $\Omega_0^g$	Faktor pembesaran defleksi, $C_d^b$	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur (m) <sup>c</sup>				
					Kategori desain seismik				
					B	C	D <sup>d</sup>	E <sup>d</sup>	F <sup>e</sup>
1	Sistem rangka pemikul momen : – Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5 ½	TB	TB	TB	TB	TB
2	Sistem ganda dengan rangka pemikul momen menengah mampu menahan paling sedikit 25 persen gaya gempa yang ditetapkan :	6	2 ½	5	TB	TB	TB	TB	TB

Tabel 2.8: *Lanjutan.*

No	Sistem penahan gaya seismic	Koefisien modifikasi respons, $R^a$	Faktor kuat lebih sistem, $\Omega_0^g$	Faktor pembesaran defleksi, $C_d^b$	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur (m) <sup>c</sup>				
					Kategori desain seismic				
					B	C	D <sup>d</sup>	E <sup>d</sup>	F <sup>e</sup>
	– Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus								

### 2.3.5 Klasifikasi Situs

Berdasarkan SNI 1726:2012 menyatakan bahwa dalam perumusan kriteria desain seismic suatu bangunan dipermukaan tanah atau penentuan amplifikasi besaran percepatan gempa puncak dari batuan dasar ke permukaan tanah untuk suatu situs, maka situs tersebut harus diklasifikasikan terlebih dahulu. Profil tanah di situs yang harus diklasifikasikan setebal 30 m paling atas sesuai dengan Tabel 2.9, penetapan kelas situs didasarkan atas hasil penyelidikan tanah di lapangan dan di laboratorium, dengan minimal mengukur secara independen mengukur sedikitnya (dua) jenis penyelidikan parameter tanah yang berbeda dalam klasifikasi situs yang ditunjukkan pada Tabel 2.9.

Tabel 2.9: Klasifikasi situs berdasarkan SNI 1726:2012.

Kelas situs	$\bar{V}_s$ (m/detik)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{ch}$	$\bar{S}_u$ (kPa)
SA (batuan keras)	> 1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	> 50	$\geq 100$
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100
SE (tanah lunak)	< 175	< 15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut:		

Tabel 2.9: *Lanjutan.*

Kelas situs	$\bar{V}_s$ (m/detik)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{ch}$	$\bar{S}_u$ (kPa)
			1. Indeks plastisitas, $PI > 20$ , 2. Kadar air, $w \geq 40$ persen, dan kuat geser niralir $\bar{S}_u < 25$ kPa
SF (tanah khusus, yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti Pasal 6.10.1)			Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah</li> <li>• Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan <math>H &gt; 3</math> m)</li> <li>• Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan <math>H</math>)</li> <li>• <math>&gt; 7,5</math> m dengan Indeks Plastisitas <math>PI &gt; 75</math>)</li> </ul> Lapisan lempung lunak/setengah tegu dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{S}_u < 50$ kPa

### 2.3.6 Penentuan Percepatan Tanah Puncak

Berdasarkan SNI 1726:2012, untuk menentukan besarnya percepatan tanah puncak diperoleh dengan mengalikan koefisien situs  $F_{PGA}$  dengan nilai PGA yang diperoleh dari peta percepatan puncak (PGA) di batuan dasar ( $S_B$ ) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun dengan redaman 5%. Besarnya  $F_{PGA}$  tergantung dari klasifikasi situs yang didasarkan pada Tabel 2.9 dan nilainya ditentukan sesuai Tabel 2.10.

Tabel 2.10: Koefisien situs untuk PGA ( $F_{PGA}$ ) berdasarkan SNI 1726:2012.

Klasifikasi situs (sesuai Tabel 2.7)	PGA				
	$PGA \leq 0,1$	$PGA = 0,2$	$PGA = 0,3$	$PGA = 0,4$	$PGA \geq 0,5$
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 ( $S_C$ )	1,2	1,2	1,0	1,0	1,0
Tanah sedang ( $S_D$ )	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0



Tabel 2.10: *Lanjutan.*

Klasifikasi situs (sesuai Tabel 2.7)	PGA				
	PGA≤0,1	PGA=0,2	PGA=0,3	PGA=0,4	PGA≥0,5
Tanah lunak ( $S_E$ )	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
Tanah khusus ( $S_F$ )	SS	SS	SS	SS	SS

Keterangan:

PGA = Nilai PGA di batuan dasar ( $S_B$ ) mengacu pada peta SNI 1726:2012 (Gambar 2.1).

SS = Lokasi yang memerlukan investigasi geoteknik dan analisis respon spesifik.

Percepatan tanah puncak dapat diperoleh dengan menggunakan Pers. 2.4.

$$PGA_M = F_{PGA} \cdot PGA \quad (2.4)$$

dimana:

$PGA_M$  = Nilai percepatan tanah puncak yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs.

$F_{PGA}$  = Nilai koefisien situs untuk PGA

### 2.3.7 Penentuan Respon Spektrum

Berdasarkan SNI 1726:2012 untuk menentukan respon spektra percepatan gempa di permukaan tanah, diperlukan faktor amplifikasi seismik pada pendek 0,2 detik ( $F_a$ ) dan perioda 1,0 detik ( $F_v$ ). Selanjutnya parameter respons spektra percepatan gempa di permukaan tanah dapat diperoleh dengan cara mengalikan koefisien  $F_a$  dan  $F_v$  dengan spektra percepatan untuk perioda pendek 0,2 detik ( $S_S$ ) dan perioda 1,0 detik ( $S_I$ ) di batuan dasar yang diperoleh dari peta gempa Indonesia SNI 1726:2012 sesuai Pers. 2.5 dan 2.6:

$$S_{MS} = F_a \times S_S \quad (2.5)$$

$$S_{MI} = F_v \times S_I \quad (2.6)$$

dimana:

$S_S$  = Nilai parameter respon spektra percepatan gempa perioda pendek 0,2 detik di batuan dasar ( $S_B$ ) mengacu pada Peta Gempa SNI 1726:2012 (Gambar 2.2)

$S_I$  = Nilai parameter respon spektra percepatan gempa perioda 1,0 detik di batuan dasar ( $S_B$ ) mengacu pada Peta Gempa SNI 1726:2012 (Gambar 2.3)

$F_a$  = Koefisien perioda pendek ditunjukkan pada Tabel 2.11.

$F_v$  = Koefisien perioda 1,0 detik ditunjukkan pada Tabel 2.12.

Tabel 2.11: Koefisien perioda pendek ( $F_a$ ) berdasarkan SNI 1726:2012.

Klasifikasi situs (sesuai Tabel 2.9)	$S_S$				
	$S_S \leq 0,25$	$S_S = 0,5$	$S_S = 0,75$	$S_S = 0,4$	$S_S \geq 1,25$
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	SS	SS	SS	SS

Tabel 2.12: Koefisien perioda 1,0 detik ( $F_v$ ) berdasarkan SNI 1726:2012.

Klasifikasi situs (sesuai Tabel 2.9)	$S_I$				
	$S_I \leq 0,1$	$S_I = 0,2$	$S_I = 0,3$	$S_I = 0,4$	$S_I \geq 0,5$
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	SS	SS	SS	SS

Menurut SNI 1726:2012 untuk mendapatkan parameter percepatan spektra desain, spektra percepatan desain untuk perioda pendek ( $S_{DS}$ ) dan perioda 1 detik ( $S_{DI}$ ) dapat diperoleh dari Pers. 2.7 dan 2.8.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (2.7)$$

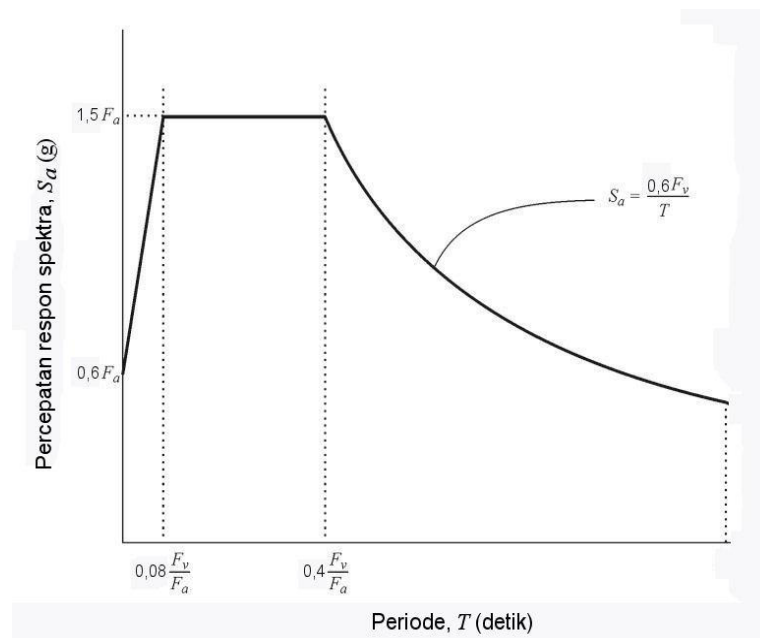
$$S_{DI} = \frac{2}{3} S_{MI} \quad (2.8)$$

dimana:

$S_{DS}$  = Respon spektra percepatan desain untuk perioda pendek

$S_{DI}$  = Respon spektra percepatan desain untuk perioda 1,0 detik

Selanjutnya, untuk mendapatkan spektrum respons desain harus dikembangkan dengan mengacu dan mengikuti ketentuan berikut sesuai dengan Gambar 2.4.



Gambar 2.4: Bentuk tipikal spektrum respon desain di permukaan tanah (SNI 1726:2012).

1. Untuk perioda yang lebih kecil dari  $T_0$ , spektrum respons percepatan desain,  $S_a$  didapatkan dari Pers. 2.9.

$$S_a = S_{DS} \left( 0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (2.9)$$

2. Untuk perioda lebih besar dari atau sama dengan  $T_0$  dan lebih kecil dari atau sama dengan  $T_s$ , spektrum respons percepatan desain,  $S_a$  sama dengan  $S_{DS}$ .

3. Untuk perioda lebih besar dari  $T_s$ , spektrum respons percepatan desain  $S_a$  diambil berdasarkan Pers. 2.10.

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (2.10)$$

dimana:

$T$  = Periode getar fundamental struktur

Untuk nilai  $T_0$  dan  $T_s$  dapat ditentukan dengan Pers. 2.11 dan 2.12.

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{T} \quad (2.11)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.12)$$

## 2.4 Analisis Gaya Lateral Ekuivalen

### 2.4.1 Geser Dasar Seismik

Berdasarkan SNI 1726:2012, geser dasar seismik ( $V$ ) dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan Pers. 2.13.

$$V = C_s \times W_t \quad (2.13)$$

dimana:

$C_s$  = Koefisien respon seismik yang ditentukan

$W_t$  = Berat total gedung

### 2.4.2 Perhitungan Koefisien Dasar Seismik

Menurut SNI 1726:2012 Pasal 7.8.1.1, persamaan-persamaan yang digunakan untuk mendapatkan koefisien  $C_s$  adalah:

1.  $C_s$  maksimum

Untuk  $C_s$  maksimum ditentukan dengan Pers. 2.14.

$$C_s \text{ maksimum} = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{T}\right)} \quad (2.14)$$

dimana:

$S_{DS}$  = Parameter percepatan spektrum respon desain dalam rentang periode pendek

$R$  = Faktor modifikasi respon

$I$  = Faktor keutamaan hunian yang ditentukan berdasarkan Tabel 2.7  
 Nilai  $C_s$  maksimum di atas tidak perlu melebihi  $C_s$  hitungan pada Pers. 2.15.

2.  $C_s$  hasil hitungan

$$C_s \text{ hasil hitungan} = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I}\right)} \quad (2.15)$$

dimana:

$S_{D1}$  = Parameter percepatan respon spektrum desain pada perioda 1 detik

$R$  = Faktor modifikasi respon

$I$  = Faktor keutamaan hunian yang ditentukan berdasarkan Tabel 2.7

$T$  = Perioda struktur dasar (detik)

Nilai  $C_s$  hitungan di atas tidak perlu kurang dari nilai  $C_s$  minimum pada Pers. 2.16.

3.  $C_s$  minimum

$$C_s \text{ minimum} = 0,044 S_{DS} \quad I \geq 0,01 \quad (2.16)$$

dimana:

$S_{DS}$  = Parameter percepatan spektrum respon desain dalam rentang perioda pendek

$I$  = Faktor keutamaan hunian yang ditentukan berdasarkan Tabel 2.7

Sedangkan sebagai tambahan untuk struktur yang berlokasi di daerah dimana  $S_1$  jika lebih besar dari 0,6 g maka  $C_s$  harus tidak kurang dari Pers. 2.17.

4.  $C_s$  minimum tambahan

$$C_s \text{ minimum tambahan} = \frac{0,5S_1}{\left(\frac{R}{I}\right)} \quad (2.17)$$

dimana:

$S_1$  = Parameter percepatan respon spektrum desain yang dipetakan

$R$  = Faktor modifikasi respon berdasarkan Tabel 2.8

$I$  = Faktor keutamaan hunian yang ditentukan berdasarkan Tabel 2.7

## 2.5 Periode Alami Fundamental

Periode adalah besarnya waktu yang dibutuhkan untuk mencapai satu getaran. Periode alami struktur perlu diketahui agar resonansi pada struktur tersebut dapat dihindari. Resonansi struktur adalah keadaan dimana frekuensi alami pada

struktur sama dengan frekuensi beban luar yang bekerja sehingga dapat menyebabkan keruntuhan pada struktur.

Terdapat pembatasan waktu getar alami fundamental struktur di dalam standard aturan yang ada. Hal ini bertujuan untuk mencegah penggunaan struktur gedung yang terlalu fleksibel.

Berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 7.8.2 perioda fundamental struktur ( $T$ ) dalam arah yang ditinjau harus diperoleh menggunakan property struktur dan karakteristik deformasi elemen penahan dalam analisis yang teruji.

1. Perioda fundamental pendekatan ( $T_a$ ), dalam detik harus ditentukan dari Pers. 2.18.

$$T_{a \text{ minimum}} = C_r \times h_n^x \quad (2.18)$$

dimana :

$T_{a \text{ minimum}}$  = Nilai batas bawah perioda bangunan

$h_n$  = Ketinggian struktur dalam m diatas dasar sampai tingkat tertinggi struktur (meter)

$C_r$  = Ditentukan dari Tabel 2.13

$x$  = Ditentukan dari Tabel 2.13

Tabel 2.13: Nilai parameter perioda pendekatan  $C_t$  dan  $x$  berdasarkan SNI 1726:2012.

Tipe Struktur	$C_t$	$x$
Sistem rangka pemikul momen dimana rangka pemikul 100 persen gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa:		
Rangka baja pemikul momen	0.0724 <sup>a</sup>	0.8
Rangka beton pemikul momen	0.0466 <sup>a</sup>	0.9
Rangka baja dengan bracing eksentris	0.0731 <sup>a</sup>	0.75
Rangka baja dengan bracing terkekang terhadap tekuk	0.0731 <sup>a</sup>	0.75
Semua sistem struktur lainnya	0.0488 <sup>a</sup>	0.75

2. Periode fundamental pendekatan maksimum ( $T_{a \text{ maksimum}}$ ) ditentukan dari Pers. 2.19.

$$T_{a \text{ maksimum}} = C_u T_{a \text{ minimum}} \quad (2.19)$$

dimana:

$T_{a \text{ maksimum}}$  = Nilai batas atas periode bangunan

$C_u$  = Ditentukan dari Tabel 2.14

Tabel 2.14: Koefesien untuk batas atas pada periode yang dihitung berdasarkan SNI 1726:2012.

Parameter percepatan respons apektral desain pada 1 detik, $S_{D1}$	Koefesien $C_u$
$\geq 0.4$	1.4
0.3	1.4
0.2	1.5
0.15	1.6
$\leq 0.1$	1.7

## 2.6 Analisis Respon Dinamik

Berdasarkan Studi Komparasi Desain Bangunan Tahan Gempa, parameter respon terkombinasi respons masing-masing ragam yang ditentukan melalui spektrum respons rencana gempa merupakan respons maksimum. Pada umumnya, respons masing-masing ragam mencapai nilai maksimum pada saat yang berbeda sehingga respons maksimum ragam-ragam tersebut tidak dapat dijumlahkan begitu saja.

Terdapat dua cara metode superposisi, yaitu metode Akar Kuadrat Jumlah Kuadrat (*Square Root of the Sum of Squares/SRSS*) dan Kombinasi Kuadratik Lengkap (*Complete Quadratic Combination/CQC*). Dalam hal ini, jumlah ragam vibrasi yang ditinjau dalam penjumlahan ragam respons menurut metode ini harus sedemikian rupa sehingga partisipasi massa dalam menghasilkan respons total harus mencapai sekurang-kurangnya 90%. Untuk penjumlahan respons ragam yang memiliki waktu-waktu getar alami yang berdekatan, harus dilakukan dengan

metode yang telah disebutkan sebelumnya yaitu Kombinasi Kuadratik Lengkap (*Complete Quadratic Combination/CQC*). Waktu getar alami harus dianggap berdekatan apabila selisihnya kurang dari 15%. Untuk struktur yang memiliki waktu getar alami yang berjauhan, penjumlahan respons ragam tersebut dapat dilakukan dengan metode yang dikenal dengan Akar Kuadrat Jumlah Kuadrat (*Square Root of the Sum of Squares/SRSS*).

Berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 7.9.4.1, 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 respons ragam yang pertama. Bila respons dinamik struktur gedung dinyatakan dalam gaya geser  $V_t$ , maka persyaratan tersebut dapat dinyatakan dalam Pers. 2.20.

$$V_t \geq 0,85 V_I \quad (2.20)$$

dimana:

$V_I$  = Gaya geser dasar nominal sebagai respons ragam yang pertama atau yang didapat dari prosedur gaya geser statik ekuivalen.

Maka, apabila nilai akhir respon dinamik lebih kecil dari nilai respons ragam pertama, gaya geser tingkat nominal akibat pengaruh gempa rencana sepanjang tinggi struktur gedung hasil analisis spektrum respons ragam dalam suatu arah tertentu harus dikalikan nilainya dengan suatu faktor skala yang ditentukan dengan Pers. 2.21.

$$\text{Faktor Skala} = \frac{0,85 V_I}{V_t} \geq 1 \quad (2.21)$$

dimana:

$V_t$  = gaya geser dasar nominal yang didapat dari hasil analisis ragam spektrum respons yang telah dilakukan.

$V_I$  = gaya geser dasar prosedur gaya lateral statik ekuivalen.

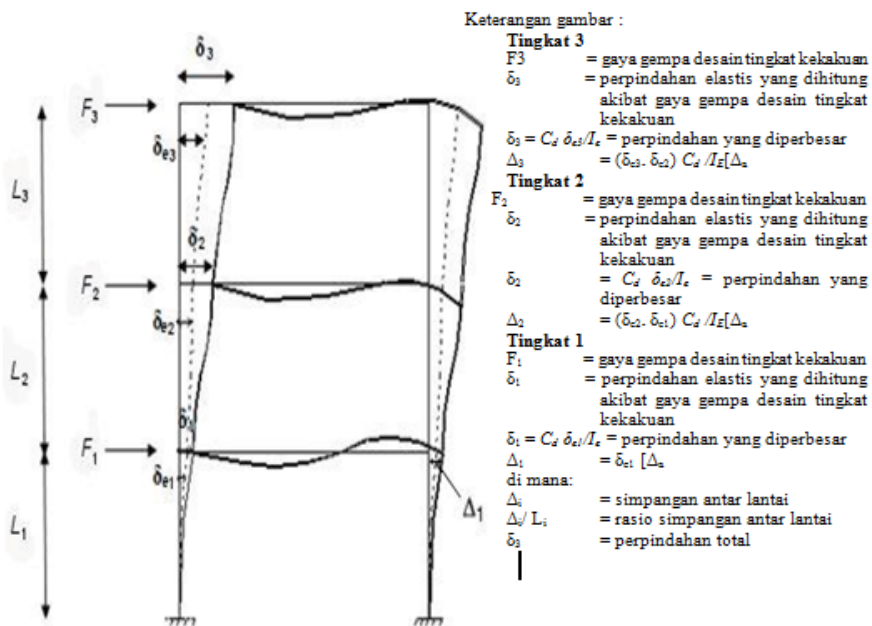


## 2.7 Simpangan Antar Lantai

Berdasarkan SNI 1726:2012 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 segaris dalam arah vertical, diijinkan untuk menghitung defleksi di dasar tingkat berdasarkan proyeksi vertikal dari pusat massa tingkat di atasnya. Jika desain tegangan ijin digunakan,  $\Delta$  harus dihitung menggunakan gaya gempa tingkat kekuatan yang ditentukan tanpa reduksi untuk desain tegangan ijin.

Defleksi pusat massa di tingkat  $x$  ( $\delta_x$ ) (mm) harus ditentukan sesuai Pers. 2.22.

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \quad (2.22)$$



Gambar 2.5: Penentuan simpangan antar lantai berdasarkan SNI 1726:2012.

Simpangan antar lantai tingkat desain ( $\Delta$ ) tidak boleh melebihi simpangan antar lantai tingkat izin ( $\Delta_a$ ) seperti pada Tabel 2.15.

Tabel 2.15: Simpangan antar lantai ijin ( $\Delta_a$ ) berdasarkan SNI 1726.2012.

Struktur	Kategori Resiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dindinggeser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpanhan antar lantai tingkat	$0.025 h_{sx}^c$	$0.020 h_{sx}$	$0.015 h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever atau bata	$0.010 h_{sx}$	$0.010 h_{sx}$	$0.010 h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0.007 h_{sx}$	$0.007 h_{sx}$	$0.007 h_{sx}$
Semua struktur lainnya	$0.020 h_{sx}$	$0.015 h_{sx}$	$0.010 h_{sx}$

## 2.8 Torsi dan Eksentrisitas

Berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 7.8.4.2 dan pasal 7.8.4.3 terdapat dua jenis torsi yang terjadi, yaitu:

### 1. Torsi bawaan

Untuk diafragma yang fleksibel atau kaku, distribusi gaya lateral di masing-masing tingkat harus memperhitungkan pengaruh momen torsi bawaan ( $M_t$ ) yang dihasilkan dari eksentrisitas antara lokasi pusat massa dan pusat kekakuan. Untuk diafragma fleksibel, distribusi gaya ke elemen vertikal harus memperhitungkan posisi dan distribusi massa yang mendukungnya.

### 2. Torsi tak terduga

Jika diafragma tidak fleksibel, desain harus menyertakan momen torsi bawaan ( $M_t$ ) yang dihasilkan dari lokasi massa struktur ditambah momen torsi tak terduga ( $M_{ta}$ ) yang diakibatkan oleh perpindahan pusat massa dari lokasi aktualnya yang diasumsikan pada masing-masing arah dengan jarak sama dengan 5 persen dimensi struktur tegak lurus terhadap arah gaya yang diterapkan.

Jika gaya gempa diterapkan secara serentak dalam dua arah orthogonal, perpindahan pusat massa 5 persen yang disyaratkan tidak perlu diterapkan dalam

kedua arah orthogonal pada saat bersamaan, tetapi harus diterapkan dalam arah yang menghasilkan pengaruh yang lebih besar.

Struktur yang dirancang untuk kategori desain seismic C, D, E, atau F, dimana tipe 1a atau 1b ketidakberaturan torsi harus mempunyai pengaruh yang diperhitungkan dengan mengalikan  $M_{ta}$  di masing-masing tingkat dengan faktor pembesaran torsi ( $A_x$ ) ditentukan dari Pers. 2.23.

$$A_x = \left( \frac{\delta_{max}}{1.2\delta_{avg}} \right)^2 \quad (2.23)$$

dimana:

$\delta_{max}$  = perpindahan maksimum di tingkat x (mm) yang dihitung dengan mengasumsikan  $A_x = 1$  (mm)

$\delta_{avg}$  = rata-rata perpindahan torsi ( $A_x$ ) tidak diisyaratkan melebihi 3.0. pembebanan yang lebih parah untuk masing-masing elemen harus ditinjau untuk desain.

## 2.9 Beban dan Kombinasi Pembebanan

Beban kerja pada struktur atau komponen struktur bisa ditetapkan berdasarkan peraturan pembebanan yang berlaku.

Beban mati adalah beban-beban yang bersifat tetap selama masa layan, antara lain berat struktur, pipa-pipa, saluran-saluran listrik, *AC/heater*, lampu-lampu, penutup lantai/atap, dan plafon.

Beban hidup adalah beban-beban yang berubah besar dan lokasinya selama masa layan, antara lain berat manusia, perabotan, peralatan yang dapat dipindah-pindah, kendaraan, dan barang-barang lainnya.

Beban angin adalah tekanan-tekanan yang berasal dari gerakan-gerakan angin. Umumnya perlu diperhitungkan pada luas bidang tangkap angin yang relatif luas pada bangunan dengan beban-beban yang relatif ringan.

Beban gempa adalah gaya-gaya yang berasal dari gerakan-gerakan tanah dikombinasi dengan sifat-sifat dinamis struktur karena seringkali percepatan horizontal tanah lebih besar daripada percepatan vertikal, dan struktur secara umum lebih sensitif terhadap gerakan horizontal dari pada gerakan vertikal, maka

pengaruh gempa horizontal seringkali lebih menentukan daripada pengaruh gempa vertikal.

Seluruh beban-beban yang bekerja, yaitu: beban mati, beban hidup dan beban gempa tersebut diperhitungkan dengan faktor pembesaran dan kombinasi (*load combination*) berdasarkan SNI 1727:2013 yang ditunjukkan pada Tabel 2.16.

Tabel 2.16: Kombinasi pembebanan berdasarkan SNI 1726:2012 dengan nilai  $\rho = 1,3$  dan  $Sds = 0,915$ .

Kombinasi	Koefisien		Koefisien		Koefisien		Koefisien	
Kombinasi 1	1,4	DL	0	LL	0	EX	0	EY
Kombinasi 2	1,2	DL	1,6	LL	0	EX	0	EY
Kombinasi 3	1,44	DL	1,0	LL	0,39	EX	1,3	EY
Kombinasi 4	0,96	DL	1,0	LL	-0,39	EX	-1,3	EY
Kombinasi 5	1,07	DL	1,0	LL	0,39	EX	-1,3	EY
Kombinasi 6	1,33	DL	1,0	LL	-0,39	EX	1,3	EY
Kombinasi 7	1,44	DL	1,0	LL	1,3	EX	0,39	EY
Kombinasi 8	0,96	DL	1,0	LL	-1,3	EX	-0,39	EY
Kombinasi 9	1,33	DL	1,0	LL	1,3	EX	-0,39	EY
Kombinasi 10	1,07	DL	1,0	LL	-1,3	EX	0,39	EY
Kombinasi 11	1,14	DL	0	LL	0,39	EX	1,3	EY
Kombinasi 12	0,66	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	1,14	DL	0	LL	1,3	EX	0,39	EY
Kombinasi 16	0,66	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

Struktur dengan denah beraturan disemua tingkat dengan sistem penahan gaya seismik terdiri dari paling sedikit dua bentang permeter penahan gaya seismik yang merangka pada masing-masing sisi struktur dalam masing-masing arah ortogonal disetiap tingkat yang menahan lebih dari 35% geser dasar. Jumlah bentang untuk dinding geser harus dihitung sebagai panjang dinding geser dibagi dengan tinggi tingkat atau dua kali panjang dinding geser dibagi dengan tinggi tingkat untuk konstruksi rangka ringan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.17.

Tabel 2.17: Persyaratan masing-masing tingkat yang menahan lebih dari 35% gaya geser dasar.

Elemen Penahan Gaya Lateral	Persyaratan
Rangka dengan bresing	Pelepasan bresing individu, atau sambungan yang terhubung, tidak akan mengakibatkan reduksi kuat tingkat sebesar lebih dari 33 % atau sistem yang dihasilkan tidak mempunyai (ketidakberaturan struktur horizontal tipe b)
Rangka pemikul momen	Kehilangan tahanan momen disambungan balok ke kolom dikedua ujung balok tunggal tidak akan mengakibatkan lebih dari reduksi kuat tingkat sebesar 33 % atau
	sistem yang dihasilkan tidak mempunyai (ketidakberaturan struktur horizontal tipe b)
Dinding geser atau pilar dinding dengan rasio tinggi terhadap panjang lebih dari 1	Pelepasan dinding geser atau pier dinding dengan rasio tinggi terhadap panjang lebih besar dari 1 di semua tingkat atau sambungan kolektor yang terhubung, tidak akan mengakibatkan reduksi kuat tingkat sebesar 33 % atau sistem yang dihasilkan mempunyai ketidakberaturan torsi yang berlebihan (ketidakberaturan struktur horizontal tipe b)
Kolom kantilever	Kehilangan tahanan momen disambungan dasar semua kantilever tunggal tidak akan mengakibatkan lebih dari reduksi kuat tingkat sebesar 33 % atau sistem yang dihasilkan mempunyai ketidakberaturan torsi yang berlebihan (ketidakberaturan struktur horizontal tipe b)
Lainnya	Tidak ada persyaratan

## 2.10 Distribusi Kekakuan Secara Vertikal

Berdasarkan Seismologi Teknik dan Rekayasa Kegempaan Kekakuan merupakan salah satu unsur penting terhadap kestabilan struktur bangunan. Struktur bangunan harus cukup kaku agar mampu menahan beban baik beban gravitasi maupun beban horisontal dengan nilai simpangan/*displacement* yang masih relatif kecil. Simpangan yang relatif besar walaupun tegangan bahannya masih relatif aman akan menjadi bangunan yang kurang/tidak nyaman untuk ditempati. Struktur atau elemen yang pendek umumnya akan ditentukan oleh keterbatasan tegangan sedangkan struktur/elemen yang besar/panjang umumnya simpangan akan menjadi penentu tingkat layanan.

Sebagaimana pada denah dan potongan, distribusi kekakuan secara vertikal menurut tinggi bangunan dipandang sebagai sesuatu yang sangat penting untuk diperhatikan. Menurut pengamatan kerusakan bangunan akibat gempa distribusi banyak diantaranya bersumber pada distribusi kekakuan secara vertikal yang tidak baik.

### 2.10.1 *Soft Storey*

Bangunan gedung dengan kekakuan vertikal yang tidak baik adalah bangunan gedung yang dalam tingkat-tingkatnya terdapat tingkat yang lemah atau *soft storey*. Pada SNI 1726:2012 telah diatur secara jelas tentang bangunan reguler yang menyangkut tentang distribusi kekakuan yaitu: “Gedung reguler adalah gedung yang sistim strukturnya memiliki kekakuan lateral yang beraturan tanpa adanya tingkat lunak (*soft storey*). Yang dimaksud dengan struktur dengan tingkat lunak adalah suatu tingkat yang mana kekakuan lateralnya  $< 70\%$  kekakuan lateral tingkat di atasnya atau  $< 80\%$  kekakuan lateral rata-rata 3-tingkat di atasnya”.

*Soft storey* adalah suatu tingkat yang lemah, yang kekakuannya jauh lebih kecil dari pada tingkat-tingkat yang lain. Oleh karena itu dalam merencanakan kekakuan tingkat harus berhati-hati agar tidak terjadi *Soft Storey*. Kekakuan tingkat untuk setiap kolom pada lantai yang sama dapat diperkirakan dengan Pers. 2.24.

$$K = \frac{12EI}{h^3} \quad (2.24)$$

dimana:

$h$  = Tinggi tingkat (cm)

$I$  = Inersia kolom (m<sup>4</sup>)

$K$  = Kekakuan tingkat (kg/cm)

Sedangkan untuk kekakuan tingkat yang lebih akurat juga dapat dihitung dengan cara menggunakan program analisa struktur statis.

### 2.10.2 Kekakuan Struktur

Kekakuan struktur adalah gaya yang diperlukan struktur bila mengalami deformasi sebesar satu satuan. Nilai kekakuan struktur ini tergantung dari material yang digunakan, dimensi elemen struktur, penulangan, modulus elastisitas, modulus elastisitas geser, dan momen inersia polar. Selain itu, kekakuan struktur juga terkait dengan nilai dari periode struktur tersebut. Dapat dilihat dari pers. 2.25.

$$T = \frac{1}{f} = \frac{2\pi}{\omega} \quad (2.25)$$

Dimana  $= \sqrt{\frac{k}{m}}$ , dengan demikian  $T = \frac{1}{\sqrt{k}}$ .

Dengan demikian, semakin besar periode struktur maka nilai kekakuan dari struktur tersebut semakin kecil, begitu sebaliknya.

## 2.11 Konsep Perencanaan Struktur Kolom Komposit

### 2.11.1 Struktur Baja Komposit

Elemen struktur komposit merupakan struktur yang terdiri dari 2 material atau lebih dengan sifat bahan yang berbeda dan membentuk satu kesatuan sehingga menghasilkan sifat gabungan yang lebih baik. Komposit baja dengan beton didasarkan pada pemikiran bahwa beton mempunyai perilaku yang menguntungkan ketika menerima beban tekan dan perilaku yang kurang menguntungkan ketika menerima beban tarik. Sedangkan baja mempunyai

kemampuan bahan yang sama baik untuk beban tarik dan tekan tetapi harus diwaspadai terhadap bahaya tekuk ketika menerima beban tekan.

Struktur komposit mampu memberikan kinerja struktur yang lebih baik dan efektif dalam meningkatkan kapasitas pembebanan dan kekakuan. Keuntungan penggunaan struktur komposit adalah ;

1. kapasitas menahan beban yang lebih besar
2. kekakuan pelat lantai meningkat
3. penampang balok baja yang digunakan lebih kecil

Perencanaan komposit mengasumsi bahwa baja dan beton bekerja sama dalam memikul beban yang bekerja, sehingga akan menghasilkan desain elemen yang lebih praktis.

Pada masa ini struktur baja komposit semakin banyak dijumpai dan dipakai dalam rekayasa struktur. Pada beton bertulang gaya-gaya tarik yang dialami suatu elemen struktur dipikul oleh besi tulangan tapi pada baja komposit gaya gaya tarik yang dialami suatu elemen struktur dipikul oleh profil baja. Struktur baja komposit ternyata lebih efektif dalam meningkatkan kapasitas pemikul beban, kekakuan, penghematan berat baja, dan panjang bentang untuk batang tertentu dapat lebih besar. (Salmon dan Johnson, 1996).

## **2.11.2 Kolom *Concrete Filled Steel Tube***

### **2.11.2.1 Pengertian Kolom *Concrete Filled Steel Tube***

Kolom *concrete Filled Steel Tube (CFT)* merupakan kolom dengan tabung baja berintikan beton. Kolom *CFT* tidak hanya meningkatkan kekuatan tapi juga nilai ekonomis pelaksanaan yang lebih cepat (Zeghichea dan Chaoui 2005). Saat ini kolom tabung baja berintikan beton semakin banyak digunakan dalam konstruksi bangunan karena memiliki sifat statis dan tahan gempa yang sangat baik seperti kekuatan tinggi, daktilitas tinggi, kapasitas penyerapan energi yang besar, kekakuan lentur, dan lain-lain. (Darshika, 2014).

### **2.11.2.2 Tipe Kolom *Concrete Filled Steel Tube***

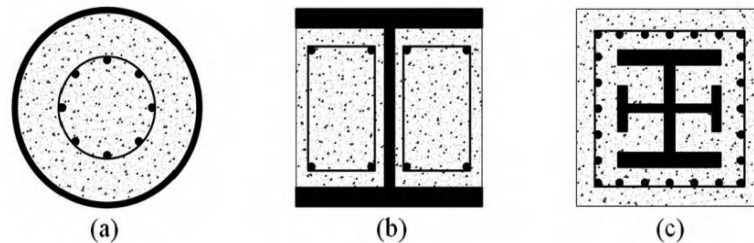
Kolom komposit didefinisikan sebagai kolom baja yang dibuat dari potongan baja giling (*rolled*) built-up dan dicor didalam beton struktural atau terbuat dari



tabung atau pipa baja dan diisi dengan beton struktural (Salmon dan Jonson, 1996).

Ada tiga tipe komposit yaitu:

1. Bagian-bagian elemen baja struktural diisi dengan beton bertulang (bagian baja yang disemen dan bagian baja yang dilapisi baja) (Gambar 2.6 a)
2. Elemen baja struktural dengan beton bertulang antara flensa (Gambar 2.6b), dan
3. Bagian baja struktural yang terbungkus beton bertulang (bagian baja yang dilapisi beton) (Gambar 2.6c) semuanya dilihat sebagai elemen sistem struktural komposit.



Gambar 2.6: Elemen komposit dengan penampang melintang (Günel dan Ilgin, 2014).

### 2.11.2.3 Kelebihan Kolom *Concrete Filled Steel Tube*

Kolom *CFT* mempunyai beberapa keuntungan dari pada baja dan beton yang dipisah, berikut merupakan keuntungan utamanya:

1. Interaksi antara pipa baja dan beton (Morino dkk., 2001):
  - a. Peristiwa tekuk lokal dari pipa baja akan lambat, dan pengurangan kekuatan akibat tekuk lokal akan ditahan oleh beton.
  - b. Kekuatan beton akan bertambah akibat penggabungan dengan pipa baja.
  - c. Penyusutan dan retak dari beton akan jauh lebih kecil dari beton bertulang.
2. Penampang :
  - a. Rasio baja *CFT* jauh lebih banyak dari beton bertulang.
  - b. Baja dari penampang *CFT* berperilaku plastis dengan baik saat tertekuk karena baja di penampang luar

3. Efisiensi Konstruksi :
  - a. Tidak memerlukan tulangan dan bekisting sehingga tidak memerlukan banyak tenaga manusia dan menghemat biaya konstruksi.
  - b. Tempat konstruksi tetap terjaga bersih.
4. Tahan Kebakaran :
  - a. Beton meningkatkan performa anti kebakaran yang dapat mengurangi jumlah bahan tahan api.

### 2.11.3 Konsep Desain Kolom *Concrete Filled Steel Tube*

Pada perencanaan elemen kolom ini menggunakan batang tulangan persegi yang diisi dengan beton atau yang bisa disebut sebagai *Concrete Filled Steel Tube* dengan ketentuan SNI 1729:2015 seperti yang ditunjukkan pada Pers. 2.25 dan 2.26.

1. Kontrol Penampang

Untuk Badan :

$$\frac{h}{t_w} \leq 1,49 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (2.25)$$

Untuk Sayap :

$$\frac{b}{2t_f} \leq 0,56 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (2.26)$$

2. Kontrol kekakuan Portal

Perbandingan kekakuan kolom terhadap kekakuan penahan ujung ujungnya (kekakuan baloknya) ditentukan dengan ketentuan SNI 1729:2015 seperti yang ditunjukkan pada Per. 2.27.

$$G = \frac{\sum \left( \frac{I_c}{L_c} \right)}{\sum \left( \frac{I_b}{L_b} \right)} \quad (2.27)$$

Keterangan :

$I_c$  = Momen inersia kolom

$L_c$  = Panjang kolom

$I_b$  = Momen inersia balok

$L_b$  = panjang balok

Ketentuan :

- Kolom dengan perletakan sendi (tidak kaku)  $G = 10$
- Kolom dengan perletakan jepit (kaku)  $G = 1$
- Untuk batang tekan dalam struktur segitiga,  $L_k$  tidak boleh diambil kurang dari tioritis batang.
- Angka kelangsingan untuk batang tekan dibatasi sebesar 200

## 2.12 Konsep Umum Perencanaan Gedung Struktur Baja Komposit

Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural SNI 1729-1-2015 harus digunakan untuk mendesain sistem baja struktural atau sistem dengan baja struktural yang bekerja secara komposit dengan beton bertulang. Perencanaan elemen struktur baja ini meliputi stabilitas, aksial tarik, aksial tekan, lentur, geser serta kombinasi dari gaya-gaya tersebut.

### 2.12.1 Metode Perencanaan Gedung Stuktur Baja Komposit

#### 2.12.1.1 Metode Tegangan Izin

Beban kerja sesuai dengan peraturan pembebanan yang berlaku dan menghitung besarnya tegangan yang diakibatkan oleh pembebanan tersebut. Menurut metode DKI, besar tegangan pada komponen struktur akibat beban kerja tidak boleh melebihi tegangan ijin bahan komponen struktur tersebut. Nilai tegangan ijin ditentukan lebih rendah daripada tegangan leleh bahan, dengan memerrhitungkan Faktor Keamanan (*Safety Factor*). Pada pasal B4. Metode Desain Kekuatan Izin (DKI), harus memenuhi syarat Pers. 2.28 bila kekautan izin dari setiap komponen struktur sama atau melebihi kekuatan perlu.

$$R_a \leq \frac{R_n}{\Omega} \quad (2.28)$$

dimana:

$R_a$  : kekuatan perlu yang menggunakan kombinasi beban DKI

$R_n$  : kekuatan nominal

$\Omega$  : faktor keamanan

$R/\Omega$  : kekuatan izin

### 2.12.1.2 Metode Desain Faktor Beban Ketahanan (DFBK)

Metode DFBK ini didasari oleh konsep keadaan batas, dimana perencana menghitung beban yang menyebabkan suatu struktur berhenti memenuhi fungsinya.

Ada dua kategori yang diperhitungkan sebagai keadaan batas struktur, yaitu keadaan batas kekuatan (*strength limit states*) dan keadaan batas mampu layan (*serviability limit states*). Berbeda dengan metode DKI, metode DFBK memberikan faktor keamanan parsial untuk masing-masing kondisi dengan nilai yang berbeda sesuai dengan kemungkinan terjadinya. Metode DFBK secara umum memperhitungkan faktor kombinasi beban dan faktor reduksi kekuatan material struktur.

Pada pasal B3. desain menggunakan metode DFBK harus memenuhi Pers. 2.29 bila kekuatan desain dan ketahanan setiap komponen struktural sama dengan atau melebihi kekuatan perlu.

$$R_u \leq \phi R_n \quad (2.29)$$

dimana:

$R_u$  : kekuatan perlu menggunakan kombinasi beban DFBK

$R_n$  : kekuatan nominal

$\phi$  : faktor ketahanan

$\phi R_n$  : kekuatan desain

Pada Tugas Akhir ini, perencanaan struktur baja menggunakan metode desain faktor beban ketahanan.

### 2.12.2 Perencanaan Stabilitas

Salah satu parameter yang harus dipenuhi dalam perencanaan struktur baja yang baik adalah adanya stsbilitas yang cukup. Stabilitas yang perlu diperhatikan adalah stabilitas penampang dan stabilitas elemen struktur. Dengan adanya stabilitas yang baik, diharapkan baja tidak mengalami tekuk sehingga bisa memberikan performa yang baik bagi keseluruhan struktur seperti yang ditunjukkan pada Pers. 2.30 dan 2.31.

1. Stabilitas penampang (untuk profil *WF*)

Pengecekan sayap:

$$\frac{b_f}{2t_f} \leq 3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (2.30)$$

Pengecekan badan:

$$\frac{h}{t_w} \leq 0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (2.31)$$

dimana:

$b_f$  : Lebar sayap (mm)

$t_f$  : Tebal sayap (mm)

$h$  : jarak bersih antara sayap profil (mm)

$F_y$  : Tegangan leleh (MPa)

$E$  : Modus elastisitas baja (200.000 MPa)

2. *Seimically Compact*

Berdasarkan SNI 1729:2015 terdapat tambahan persyaratan stabilitas sehingga bersifat lebih ketat dibandingkan struktur baja tidak tahan gempa. Penampang bersifat lebih ketat dibandingkan struktur baja tidak tahan gempa. Penampang yang dirancang harus memenuhi persyaratan *seimically compact*. Kategori *seimically compact* terbagi jadi dua yaitu *high ductility* dan *moderate ductility*. Tiap komponen struktur memiliki persyaratan daktilitas yang berbeda-beda.

### 2.13 Struktur Rangka Baja Tahan Gempa

Suatu struktur gedung harus memiliki sistem penahan gaya lateral dan vertikal yang lengkap, yang mampu memberikan kekuatan, kekakuan, dan kapasitas disipasi yang cukup untuk menahan gerak tanah.

Gerak tanah harus diasumsikan terjadi di sepanjang setiap arah horizontal struktur bangunan gedung. Kecukupan sistem struktur harus ditunjukkan melalui pembentukan model matematik dan pengevaluasian model tersebut untuk pengaruh gerak tanah desain. Gaya gempa desain, dan distribusinya di sepanjang ketinggian struktur bangunan gedung harus mengacu pada SNI 1726:2012.

Hingga saat ini, terdapat beberapa konfigurasi Struktur Bangunan Gempa yang dikenal dalam SNI 1729:2015.

### **2.13.1 Sistem Rangka Pemikul Momen (*Moment Resisting Frames*)**

Sistem rangka pemikul momen mempunyai kemampuan menyerap energi yang baik, tetapi memerlukan terjadinya simpangan antar lantai yang cukup besar supaya timbul sendi-sendi plastis pada balok yang akan berfungsi sebagai penyerap energi gempa. Simpangan yang terjadi begitu besar akan menyebabkan struktur tidak kaku sehingga mengakibatkan kerusakan non-struktural yang besar disamping akan menambah pengaruh efek  $P-\Delta$  terutama pada bangunan tinggi.

Berdasarkan daktilitasnya, MRF terbagi dalam dua kategori, yaitu Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB).

a. **Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)**

SRBPMK adalah suatu rangka batang pemikul momen yang dipasang secara horizontal. Pada SRPMK ada suatu segmen khusus yang terdiri dari beberapa panel dengan batang-batangnya direncanakan secara khusus. SRPMK direncanakan mengalami deformasi inelastik yang cukup besar pada segmen khusus saat memikul gaya-gaya akibat beban gempa rencana.

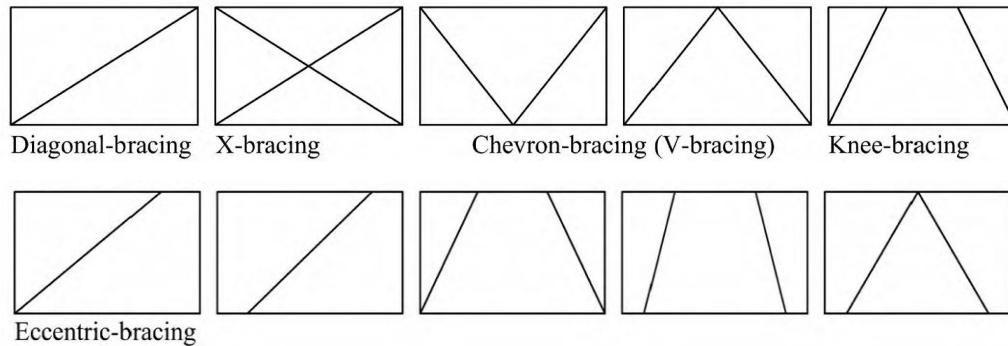
b. **Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB)**

SRPMB diharapkan dapat mengalami deformasi inelastis secara terbatas pada komponen struktur dan sambungan-sambungannya akibat gaya gempa rencana. Pada SRPMB, kekakuan lebih besar dibandingkan dengan SRBPMK sehingga daktilitasnya lebih kecil.

### **2.13.2 Sistem Rangka Bresing Eksentrik (*Eccentrically Braced Fames*)**

Pada Sistem Rangka Bresing Eksentrik ada satu bagian dari balok yang disebut *link* dan direncanakan secara khusus. SRBE diharapkan dapat mengalami deformasi inelastik yang cukup besar Pada *link* saat memikul gaya-gaya akibat beban gempa rencana. Elemen *link* tersebut berfungsi sebagai pendisipasi energi ketika struktur menerima beban gempa. Hal tersebut yang menyebabkan sistem

SRBE mempunyai nilai daktilitas yang lebih tinggi mengutamakan dari SRPMK seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7: Jenis penguat Bresing Eksentrik (Günel dan Ilgin, 2014).

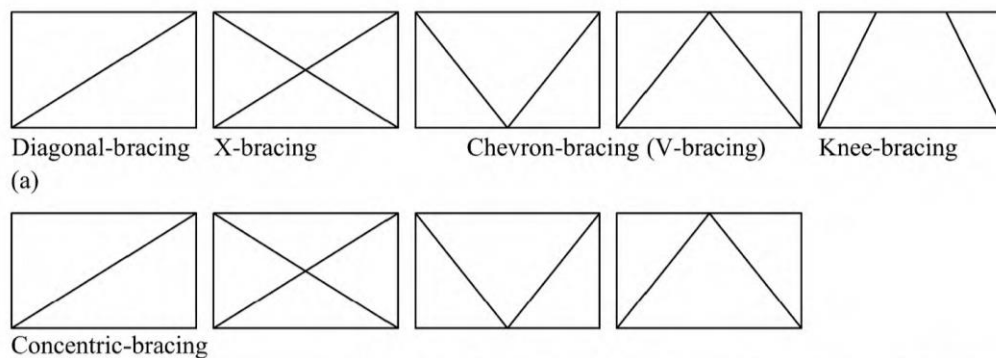
### 2.13.3 Sistem Rangka Bresing Konsentrik (*Concentrically Braced Frames*)

Penggunaan rangka bresing bertujuan untuk mempertahankan stabilitas struktur bangunan akibat beban lateral yang sejajar dengan bidang bresing, minimal 30% tapi tidak lebih dari 70% gaya horizontal total harus dipikul oleh batang bresing tarik, kecuali jika kuat nominal tekan ( $N_n$ ) untuk setiap batang bresing lebih besar daripada beban terfaktor ( $N_u$ ).

Sistem Rangka Bresing Konsentrik merupakan pengembangan dari sistem portal tak berpengaku atau lebih dikenal dengan *Moment Resisting Frames (MRF)*. Sistem Rangka Bresing Konsentrik dikembangkan sebagai sistem penahan gaya lateral dan memiliki tingkat kekakuan yang cukup baik. Hal ini bertolak belakang dengan sistem MRF yang hanya biasa digunakan sebagai penahan momen. Kekakuan sistem ini terjadi akibat adanya elemen pengaku yang berfungsi sebagai penahan gaya lateral yang terjadi pada struktur. Penyerapan energi pada sistem ini dilakukan melalui pelelehan yang dirancang terjadi pada pelat buhul. Sistem ini daktilitasnya kurang baik sehingga kegagalannya ditentukan oleh tekuk bresing.

Kategori struktur pada sistem struktur CBF dibagi menjadi dua, yaitu Sistem Rangka Bresing Konsentrik Biasa (SRBKB) dan Sistem Rangka Bresing Konsentrik Khusus (SRBKK).

- a. Sistem Rangka Bresing Konsentrik Biasa (SRBKB)  
SRBKB diharapkan dapat mengalami deformasi inelasatis secara terbatas apabila dibebani gaya-gaya yang berasal dari beban gempa rencana.
- b. Sistem Rangka Bresing Konsentrik Khusus (SRBKK)  
SRBKK diharapkan dapat mengalami deormasi inelastik yang cukup besar akibat gaya gempa rencana SRBKK memiliki tingkat daktilitas yang lebih tinggi daripada gaya gempa rencana SRBKB memiliki tingkat daktilitas yang lebih tinggi daripada tingkat daktilias Sistem Rangka Bresing Konsentrik Biasa (SRBKB) mengingat penurunan kekuatannya yang lebih kecil pada saat terjadinya tekuk pada batang bresing tekan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.8.



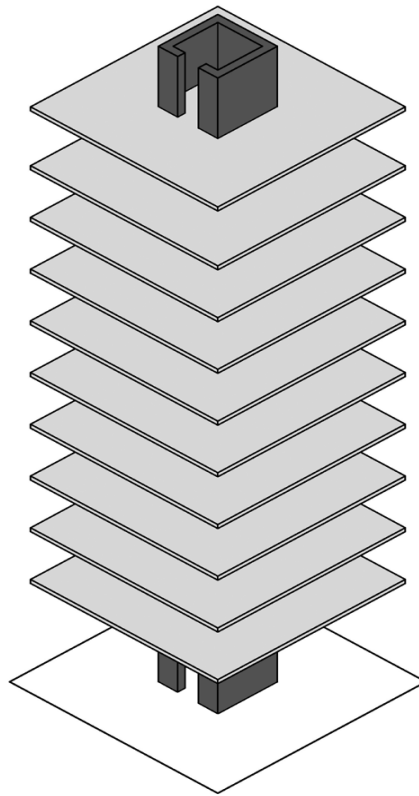
Gambar 2.8: Jenis penguat Bresing Konsentrik (Günel dan Ilgin, 2014).

#### 2.13.4 Sistem Inti (*Core System*)

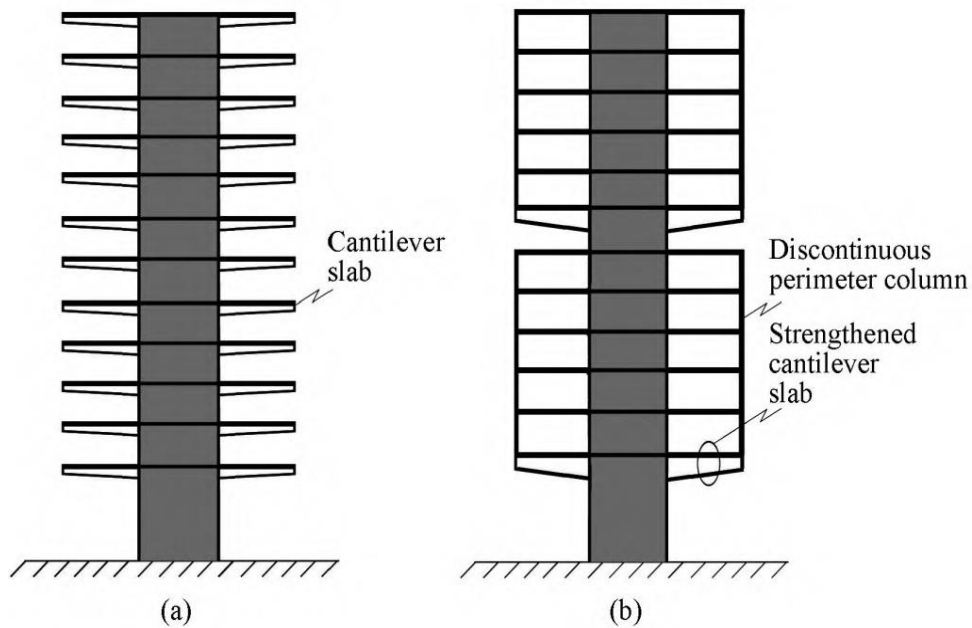
Sistem inti (*core*) digunakan pada bangunan baja dan beton komposit. Sistem ini terdiri dari dinding geser inti baja yang menahan semua beban vertikal dan lateral (Gambar 2.9). Secara umum, dinding inti adalah inti terbuka yang diubah menjadi teras tertutup sebagian dengan menggunakan balok lantai dan/atau pelat sehingga dapat meningkatkan kekakuan lateral dan torsi pada bangunan. Meskipun perilaku inti tertutup sangat ideal untuk melawan torsi di bawah beban lateral, inti yang tertutup sebagian digunakan untuk memperkirakan hal ini karena alasan arsitektur. Dengan demikian, inti tertutup sebagian dihasilkan dengan



mendukung bagian inti yang terbuka dengan balok dan/atau lembaran yang memiliki kekuatan yang memuaskan terhadap geser dan pembengkokan (tekuk). Pada sistem inti, lempeng pelat miring dari dinding geser inti secara independen (Gambar 2.10a), atau modul kantilever dari lempengan lantai digunakan (Gambar 2.10b). Dalam kasus modul kantilever, lempeng lantai, kecuali lempengan bawah dari setiap modul, diberi kantilever dari dinding geser inti dan didukung oleh kolom perimeter terputus-putus di atas ketinggian modul. Slab bawah setiap modul adalah pelat lantai kantilever yang diperkuat yang mendukung kolom perimeter lantai atas di modul seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.9 dan 2.10.



Gambar 2.9: Sistem *Core* (Günel dan Ilgin, 2014).



Gambar 2.10: Tebal pelat dalam sistem inti: (a) Pelat kantilever, (b) Pelat kantilever yang diperkuat (Günel dan Ilgin, 2014).

Ketebalan lentur/lentur pada inti pada sistem inti dibatasi oleh kedalaman lentur inti. Jadi di bangunan super tinggi atau dalam kasus di mana beban lateral sangat besar, kekakuan lentur/lentur bangunan tidak memadai kecuali ada *mega core* yang digunakan.

Sistem inti secara efisien dan ekonomis memberikan kekakuan yang cukup untuk menahan angin dan gempa yang menyebabkan beban lateral pada bangunan sampai sekitar 20 lantai; Namun, "Sistem Inti Mega", yang dibuat dengan dinding geser inti yang jauh lebih tebal dari biasanya, dapat digunakan secara efisien dan ekonomis pada bangunan yang lebih dari 40 lantai.

### 2.13.5 Sistem Kerangka *Outrigger*

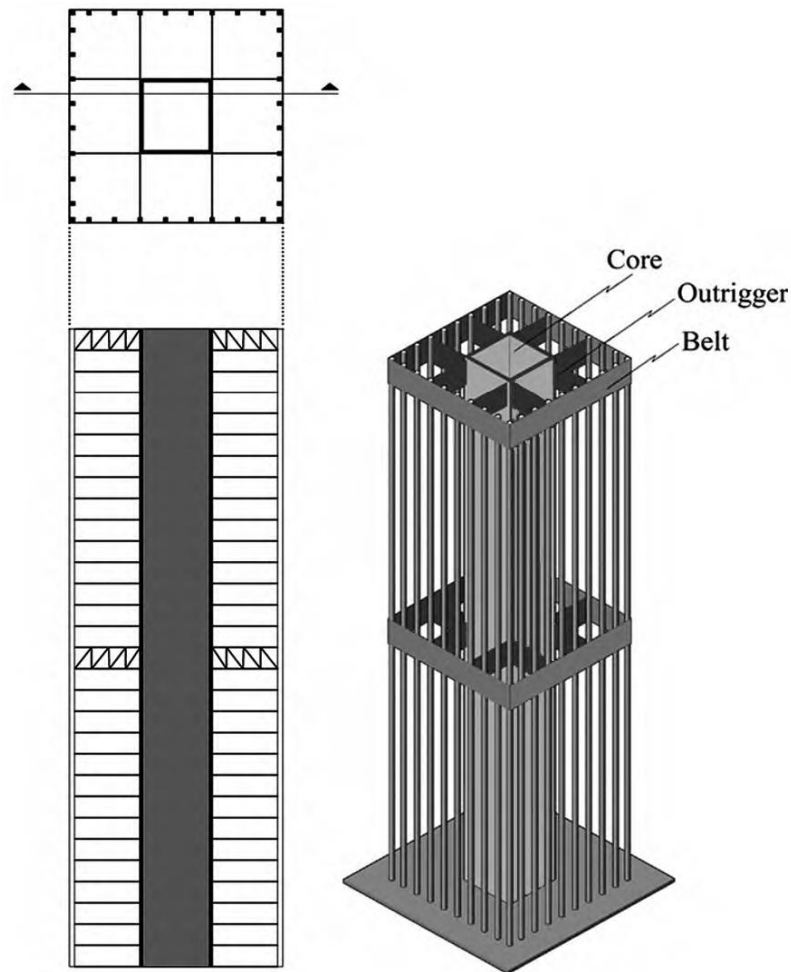
Sistem kerangka *Outrigger* telah dikembangkan dengan menambahkan *outrigger* ke sistem rangka geser dengan sistem inti (*core-frame*) sehingga bisa menggabungkan inti dengan kolom perimeter (*eksterior*). *Outrigger* adalah elemen struktural yang menghubungkan inti ke kolom perimeter pada satu atau lebih level di seluruh ketinggian bangunan sehingga dapat menstabilkan struktur (Gambar 2.11). Sistem *outrigger* terdiri dari rangka geser horizontal atau dinding

geser (atau balok dalam). Elemen struktural ini merupakan perpanjangan horizontal dari rangka geser inti/dinding ke kolom perimeter dalam bentuk lutut. Untuk membuatnya cukup efektif, *outrigger* setidaknya satu tingkat dalam, dan memiliki kekuatan lentur dan geser tinggi (cukup kaku pada lekukan dan geser). Karena *outrigger* mempengaruhi ruang interior, mereka umumnya berada di lantai peralatan mekanik agar tidak menghalangi penggunaan lantai normal.

Kerangka *outrigger*, yang terhubung secara kaku ke inti dan dengan engsel ke kolom perimeter, meningkatkan kedalaman lentur efektif dan sehingga kekakuan lentur sistem ke arah membungkuk di bawah beban lateral dengan memungkinkan inti menerima dukungan dari kolom perimeter. *Outrigger* ini mendukung rangka geser inti / dinding terhadap bending, menciptakan ketegangan aksial dan kompresi pada kolom perimeter. Dengan cara ini, perilaku tabung kantilever dari sistem dipastikan, dan kekakuan sistem rangka geser meningkat, sekaligus mengurangi gaya lintang lateral bangunan ke tingkat yang signifikan. Pada tingkat *outrigger*, menghubungkan kolom perimeter satu sama lain dengan ikat pinggang (*Belt Truss*), meningkatkan efisiensi sistem dengan menyamakan beban kolom aksial sepanjang perimeter. Dengan cara ini, kolom yang terhubung ke inti oleh *outrigger*, mendistribusikan efek beban aksial *outrigger* ke kolom lain melalui sabuk (*Belt Truss*). *Belt Truss* terdiri dari rangka geser horizontal atau dinding geser (atau balok dalam) yang cukup kaku pada lekukan dan geser, dan memiliki kedalaman yang sama dengan *outrigger* (Gambar 2.11). Dengan cara ini, semua kolom perimeter dihubungkan bersama untuk berpartisipasi dalam mendukung *outrigger*. *Belt truss* tidak hanya digunakan dalam sistem *outrigger* konvensional di atas, namun juga digunakan dalam sistem *outrigger "virtual"*. Konsep *outrigger virtual* memanfaatkan diafragma lantai untuk menghilangkan koneksi langsung kolom inti dan perimeter oleh *outrigger*. Sebuah *outrigger virtual* terdiri dari *belt truss*, dan lantai yang dilapisi sabuk. Dengan cara ini, masalah yang terkait dengan ruang yang ditempati oleh *outrigger* konvensional dihindari. Efisiensi *outrigger virtual* bergantung pada kekakuan *belt truss* dan lempengan lantai pada tingkat *belt truss*.

Dalam kasus dimana *outrigger* digunakan pada tingkat tunggal sepanjang ketinggian bangunan, yang paling efektif, dan untuk alasan ini lokasi optimum

untuk *outrigger* sekitar 40-60 persen dari tinggi bangunan (Smith dan Coull, 1991; Taranath, 1998). Ada hubungan antara jumlah tingkat dimana *outrigger* digunakan di seluruh ketinggian bangunan dan lokasi optimalnya. Lokasi optimum jumlah "n" dari *outrigger* yang digunakan pada tingkat di seluruh ketinggian bangunan dapat diberikan kira-kira dengan rumus  $1 / (n + 1)$ ,  $2 / (n + 1)$  ...  $n / (n + 1)$  ( Smith dan Coull, 1991). Lokasi optimal untuk *outrigger* pada satu atau dua tingkat di seluruh ketinggian bangunan dengan menggunakan berbagai asumsi yang telah diperhitungkan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11: Sistem Rangka *Outrigger* (Günel dan Ilgin, 2014).

### 2.13.5.1 Perilaku Sistem Kerangka *Outrigger*

Ketika *outrigger* kantilever dari inti dihubungkan secara kaku ke kolom perimeter (eksterior) (Gambar 2.12a), kolom ini tunduk pada momen lentur tambahan dan gaya aksial yang ditransfer dari *outrigger*, dan sistem tidak dapat sepenuhnya memperoleh manfaat dari kapasitas pengangkutan saat ini. Inti geser di sisi lain, ketika *outrigger* dihubungkan oleh engsel ke kolom perimeter (Gambar 2.12b), dengan menghalangi pengalihan momen lentur dari *outrigger* ke kolom, kapasitas beban aksial kolom meningkat dan sistem benar-benar mendapatkan keuntungan dari saat daya dukung inti geser. Untuk alasan ini, hubungan berengsel antara *outrigger* dan kolom perimeter meningkatkan efisiensi sistem dengan memaksimalkan pemanfaatan tidak hanya saat menahan kapasitas inti geser tetapi juga kapasitas aksial kolom.

Sebuah analisis diberikan di bawah ini dalam kerangka berbagai asumsi untuk sistem kerangka yang teronggok di bawah beban lateral terdistribusi secara merata, dimana *outrigger* berada pada satu atau dua tingkat di seluruh ketinggian bangunan. Dalam model analisis yang disederhanakan, perilaku sistem kerangka *outrigger* di bawah beban lateral (Gambar 2.13) dapat dipisahkan menjadi dua sebagai inti kantilever vertikal di bawah beban lateral dan sebagai inti yang sama dengan momen pemulihan yang diciptakan oleh efek peredaman *outrigger* (Gambar 2.14).

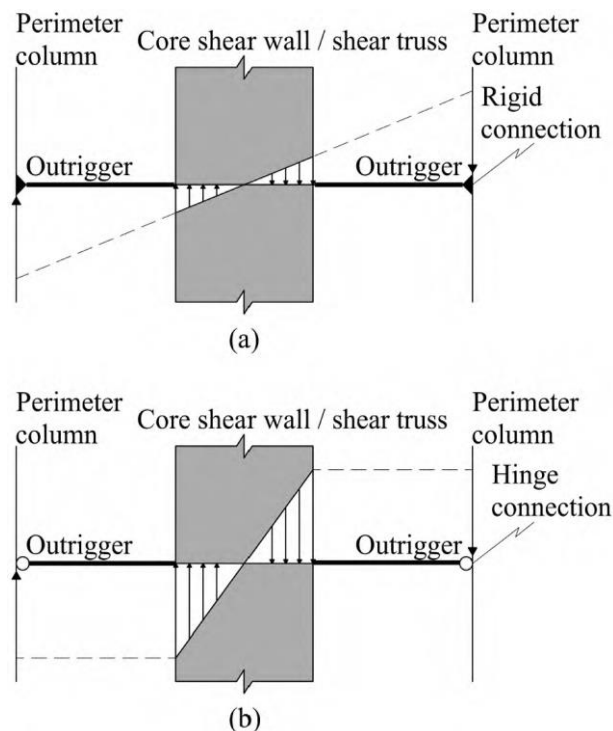
Sistem *outrigger* memindahkan momen pemulihan ke inti, bertindak sebagai titik tumpu, dengan efek pengungkit yang menahan oleh kolom perimeter dan menahan putaran inti di bawah beban lateral. Dengan demikian, dengan mengurangi putaran inti, kedua momen lentur inti (Gambar 2.15) dan *drift lateral* di bagian atas bangunan berkurang. Kolom pada dua fasad yang tegak lurus terhadap arah tekuk tertahan pada tegangan aksial atau kompresi, dan karenanya memanjang di satu sisi dan berkontraksi di sisi yang lain (Gambar 2.16).

Perilaku sistem kerangka *outrigger* dianalisis di bawah ini, mengambil arus lateral di bagian atas bangunan sebagai dasar, dalam kasus dimana *outrigger* berada di ketinggian bangunan pada satu atau dua tingkat. Dengan mengasumsikan bahwa *outrigger* sangat kaku sehingga putaran pada *outrigger* akibat deformasi aksial pada kolom dan rotasi inti pada level yang sama di bawah

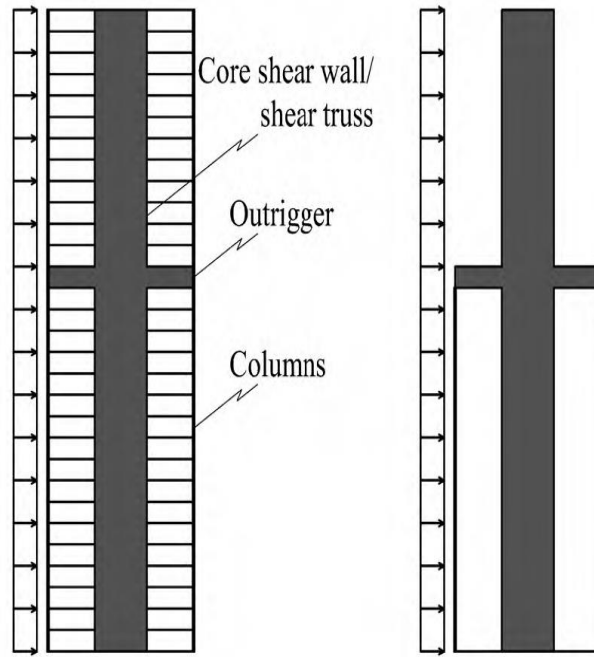
beban lateral sama, momen pemulihan yang diciptakan oleh *outrigger* dan arus lateral *outrigger* adalah diperoleh dengan bantuan persamaan kompatibilitas. Di bawah ini, analisis perkiraan disajikan, dengan asumsi kolom seragam, inti seragam dan peredaman seragam, dengan harapan dapat membantu untuk membuat estimasi kasar pada tahap perancangan awal.

Analisis telah dilakukan dengan asumsi sebagai berikut:

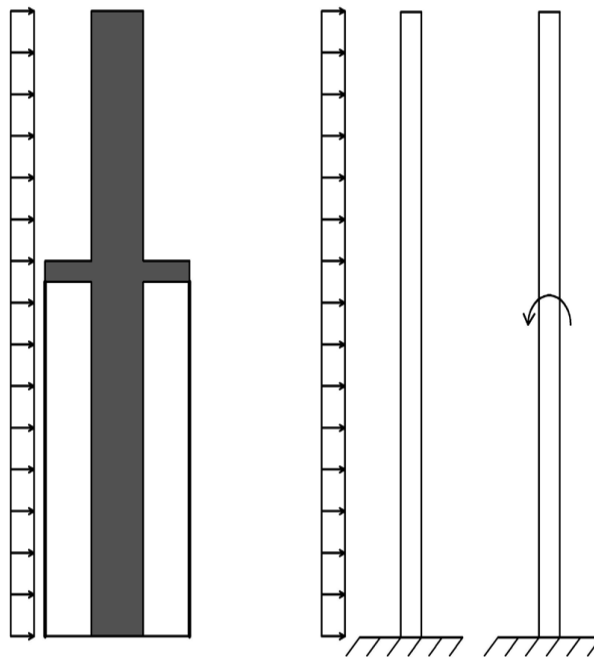
1. Intinya adalah kantilever vertikal yang kaku dipasang di alas dan kaku terhadap geser.
2. *Outrigger* secara kaku tertuju pada intinya, telah menghubungkan koneksi ke kolom perimeter untuk menginduksi gaya aksial saja, dan kaku terhadap geser dan lentur.
3. Luas penampang kolom konstan dari partikel atas sampai ke pondasi dan momen inersia inti konstan sepanjang ketinggian bangunan.
4. Beban lateral pada bangunan konstan sepanjang ketinggian bangunan.
5. Strukturnya elastis secara linier.



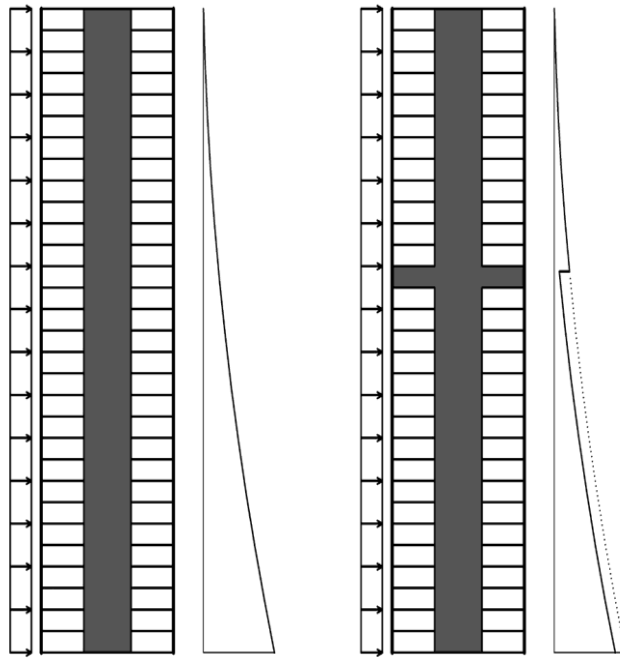
Gambar 2.12: *Outrigger* untuk koneksi kolom perimeter: (a) koneksi yang kaku, (b) koneksi berengsel (Günel dan Ilgin, 2014).



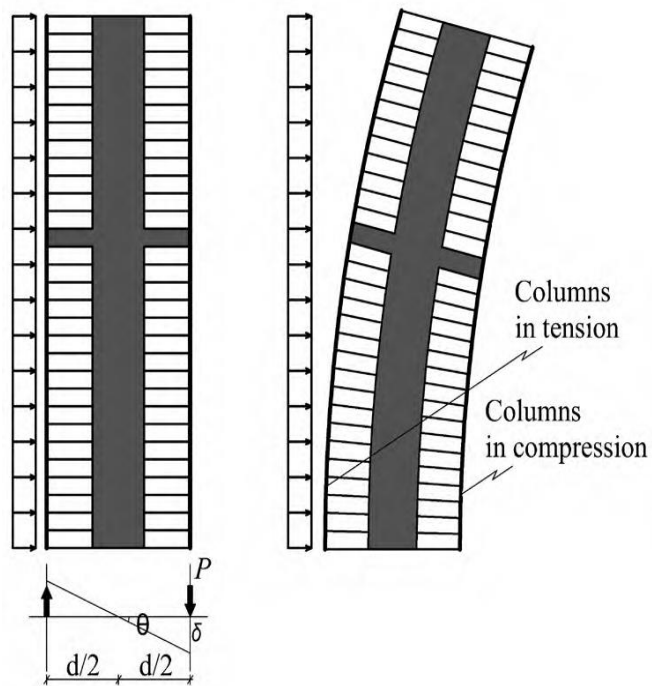
Gambar 2.13: Sistem rangka *outrigger* di bawah beban lateral dan model analisis (Günel dan Ilgin, 2014).



Gambar 2.14: Superposisi model analitis (Günel dan Ilgin, 2014).



Gambar 2.15 Diagram efek *outrigger* pada saat di pasang (Günel dan İlgin, 2014).



Gambar 2.16 Deformasi aksial kolom perimeter pada dua fasad tegak lurus terhadap arah lentur (Günel dan İlgin, 2014).

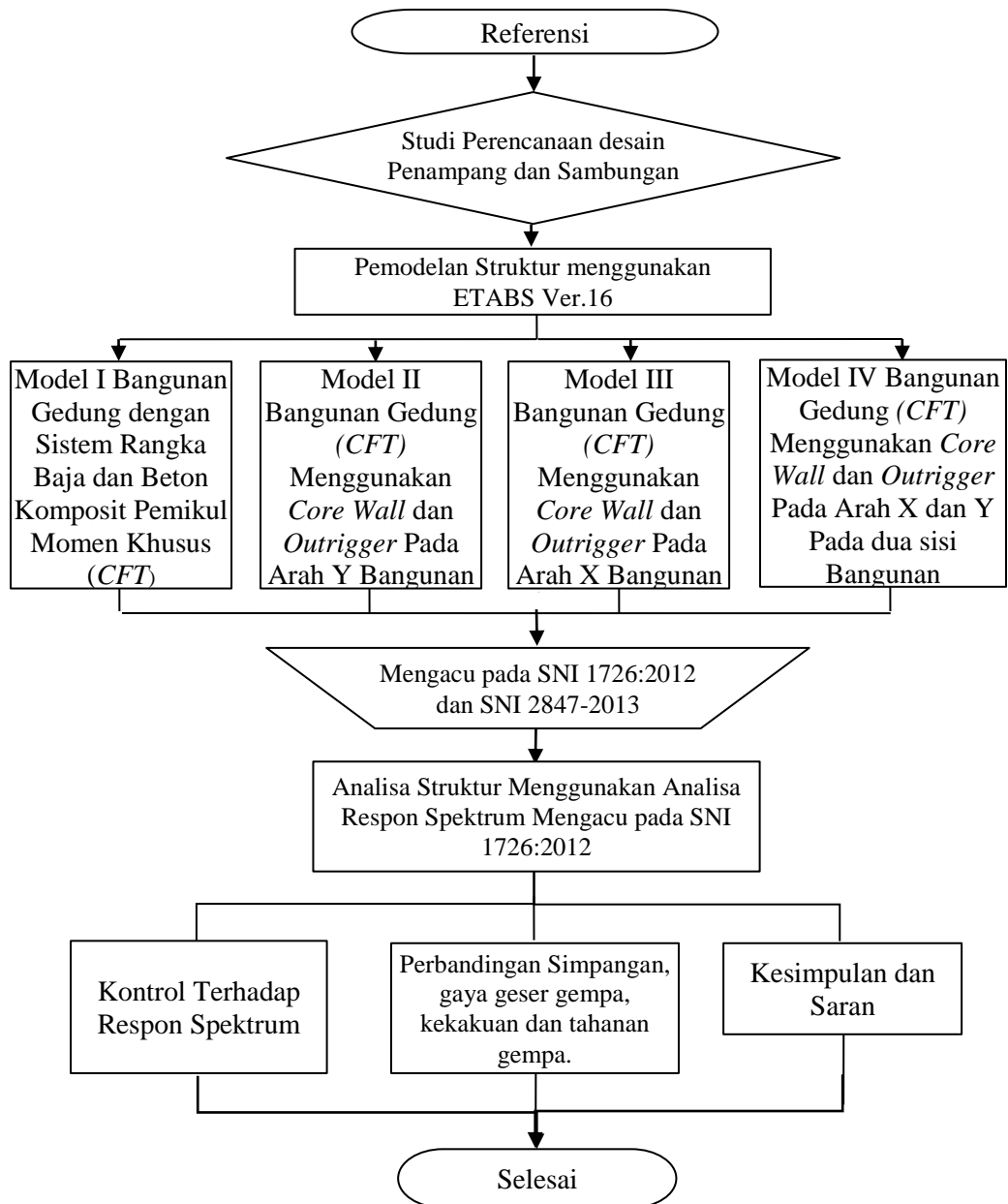


## BAB 3

### METODOLOGI

#### 3.1 Metodologi Penelitian

Langkah-langkah dalam perencanaan dan analisis struktur gedung dilakukan dengan beberapa tahapan. Adapun tahapan-tahapan tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1: Metode penelitian.

### 3.2 Tinjauan Umum

Pada tugas akhir ini terdapat 4 Pemodelan struktur bangunan gedung, dimana 1 Model struktur gedung yang didesain menggunakan rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus dengan tipe *Concrete Filled Steel Tube (CFT)*, dan 3 Model struktur gedung yang didesain menggunakan rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus tipe *Concrete Filled Steel Tube (CFT)* dengan sistem ganda *core wall* dan *outrigger*. Bangunan gedung akan difungsikan sebagai gedung perkantoran, dengan kategori resiko II berdasarkan SNI 1726:2012 sesuai jenis pemanfaatan struktur gedung pada Tabel 2.3. Struktur gedung di desain 40 lantai. Perbedaan pada setiap Model terdapat pada penempatan letak *outrigger*. Pada Model Struktur 1 menggunakan rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus, Model Struktur 2 menggunakan rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus dengan sistem ganda *core wall* dan *outrigger* pada arah Y bangunan, Model Struktur 3 adalah menggunakan rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus dengan sistem ganda *core wall* dan *outrigger* pada arah X bangunan, sedangkan Model Struktur 4 adalah menggunakan rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus dengan sistem ganda *core wall* dan *outrigger* pada arah X dan Y pada dua sisi bangunan. Penulis meninjau perbandingan simpangan bangunan keempat Model bangunan gedung tersebut.

Dalam Tugas Akhir ini, pemodelan menggunakan analisis respon spektrum kota Bengkulu. Pada setiap pemodelan menggunakan dua sistem struktur yang sama namun dengan penempatan penahan gaya lateral yang berbeda. Gedung ini menggunakan sistem rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus ditambah *core wall* dan *outrigger*. Struktur gedung menggunakan konsep balok lemah kolom kuat (*weak beam strong column*). Struktur dimodelkan tiga dimensi sebagai portal terbuka dengan bantuan program ETABS Ver 16.

### 3.3 Faktor Respon Gempa (C)

Rencananya berdirinya bangunan dalam Pemodelan struktur gedung ini di kota Bengkulu yang dinilai sebagai daerah rawan gempa di Indonesia dengan data PGA (*Peak Ground Acceleration*)  $S_s = 1,372$  g dan  $S_1 = 0,567$  g pada tanah sedang.

Berdasarkan SNI 1726:2012, respon spektrum gempa rencana harus dianalisis terlebih dahulu. Pada peta gempa *Hazard* SNI 1726:2012 atau dapat dilihat pada Gambar 2.2 dan 2.3. Adapun tahapan yang perlu dilakukan untuk membuat spektrum respon gempa desain dapat dilakukan sebagai berikut.

a. Penentuan koefisien  $F_a$  dan  $F_v$

- Koefisien  $F_a$

Koefisien  $F_a$  ditentukan berdasarkan beberapa parameter, yaitu nilai  $S_s$  yang terdapat pada Tabel 2.11 dan berdasarkan jenis tanah sedang. Maka diperoleh nilai  $F_a$  di bawah ini.

$$F_a = 1,0$$

- Koefisien  $F_v$

Koefisien  $F_v$  ditentukan berdasarkan beberapa parameter, yaitu nilai  $S_I$  yang terdapat pada Tabel 2.12 dan berdasarkan jenis tanah sedang. Maka diperoleh nilai  $F_v$  di bawah ini.

$$F_v = 1,5$$

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

$$S_{MS} = F_a \cdot S_s$$

$$S_{MS} = 1,0 \cdot 1,372$$

$$S_{MS} = 1,372$$

$$S_{MI} = F_v \cdot S_I$$

$$S_{MI} = 1,5 \cdot 0,567$$

$$S_{MI} = 0,851$$

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

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

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

$$S_{DS} = (2/3) \cdot 1,372$$

$$S_{DS} = 0,915$$

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

$$S_{DI} = (2/3) \cdot 0,851$$

$$S_{DI} = 0,567$$

d. Penentuan nilai  $T_s$  dan  $T_0$

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

$$T_s = \frac{0,567}{0,915}$$

$$T_s = 0,620$$

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

$$T_0 = 0,2 \cdot 0,620$$

$$T_0 = 0,124$$

e. Penentuan nilai  $S_a$

- Untuk periode yang lebih kecil dari  $T_0$ , spektrum respon percepatan desain ( $S_a$ ) harus diambil dari persamaan:

$$S_a = S_{DS} \left( 0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right)$$

- 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 persamaan:

$$S_a = \frac{S_{DS}}{T}$$

Spektrum respon percepatan disajikan dalam Tabel 3.1 dan grafik spektrum respon pada Gambar 3.2:

Tabel 3.1: Respon Spektrum SNI 1726:2012 Daerah, Kota Bengkulu dengan jenis tanah sedang.

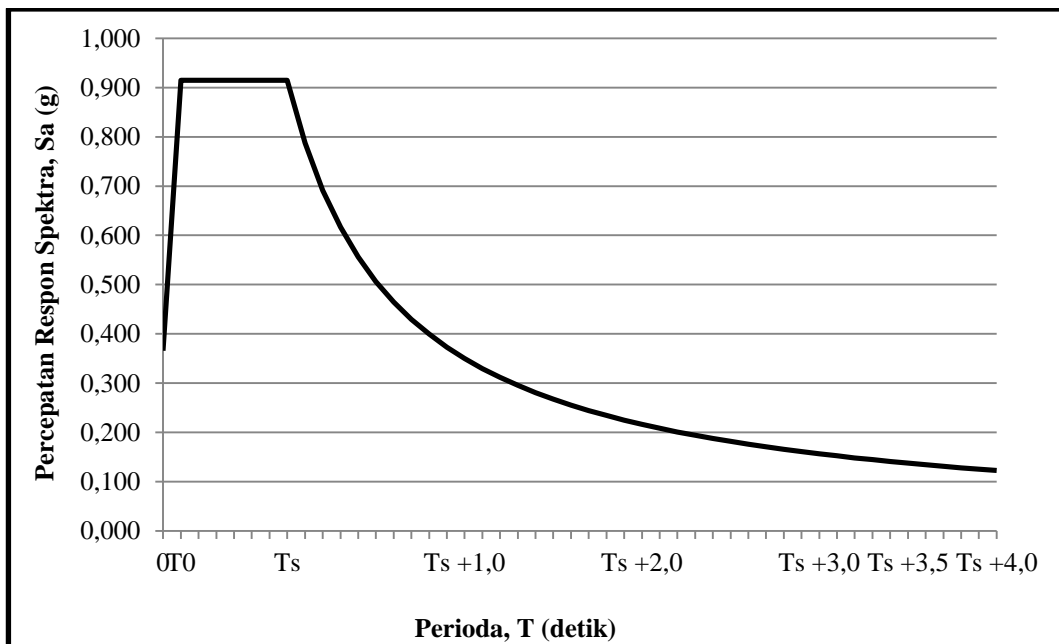
Respon Spektrum Tanah Sedang Data yang diperoleh	
T (DETIK)	Sa (g)
0,000	0,366
0,124	0,915
0,2	0,915
0,3	0,915
0,4	0,915

Tabel 3.1: *Lanjutan.*

Respon Spektrum Tanah Sedang Data yang diperoleh	
T (DETIK)	Sa (g)
0,5	0,915
0,6	0,915
0,620	0,915
0,720	0,788
0,820	0,692
0,920	0,616
1,020	0,556
1,120	0,506
1,220	0,465
1,320	0,430
1,420	0,399
1,520	0,373
1,620	0,350
1,720	0,330
1,820	0,312
1,920	0,295
2,020	0,281
2,120	0,267
2,220	0,255
2,320	0,244
2,420	0,234
2,520	0,225
2,620	0,216
2,720	0,208
2,820	0,201
2,920	0,194
3,020	0,188
3,120	0,182
3,220	0,176
3,320	0,171
3,420	0,166
3,520	0,161
3,620	0,157
3,720	0,152
3,820	0,148

Tabel 3.1: *Lanjutan.*

Respon Spektrum Tanah Sedang Data yang diperoleh	
T (DETIK)	Sa (g)
3,920	0,145
4,020	0,141
4,120	0,138
4,220	0,134
4,320	0,131
4,420	0,128
4,520	0,125
4,620	0,123



Gambar 3.2: Respon spektrum berdasarkan SNI 1726:2012 daerah Kota Bengkulu dengan klasifikasi tanah sedang.

Dapat dilihat pada Tabel 3.2, bahwa respons spektrum gempa rencana yang dihasilkan berdasarkan standar keempaan SNI 1726:2012 mempunyai nilai 0,124 untuk percepatan respons spektrum desain pada periode pendek ( $S_{DS}$ ), dan 0,915 untuk parameter percepatan desain pada periode 1 detik ( $S_{D1}$ ).

### **3.4 Pemodelan dan Analisis Struktur**

Pada tugas akhir ini, penelitian dilakukan dengan mengambil studi literatur pada 1 bangunan gedung perkantoran 40 tingkat. Tugas akhir ini terdapat 4 pemodelan gedung yang memiliki spesifikasi sama namun dengan pemasangan dan penempatan sistem ganda *core wall* beserta *outrigger* yang berbeda. Struktur gedung adalah portal baja beton komposit (*CFT*) yang dimodelkan sebagai *element frame* 3 dimensi (3D) pada ETABS Ver. 16 dengan mengacu pada Perencanaan Bangunan Gedung Tahan Gempa SNI 1726:2012 dan Perencanaan Struktur Baja dan Beton Komposit Berdasarkan SNI 1729:2015.

#### **3.4.1 Pemodelan Gedung**

Semua model merupakan bangunan regular beraturan 40 lantai dengan tinggi tingkat pertama pada gedung 4 m dan 3,5 m pada tingkat-tingkat selanjutnya. Dimensi struktur adalah simetris persegi panjang yang memiliki 8 masing-masing memiliki panjang 7 pada bidang portal pada arah horizontal, dan 6 masing-masing memiliki 7 m pada arah vertikal. Luas bangunan rencana adalah (56 x 42) m<sup>2</sup>. Gedung yang pertama ini dimodelkan dengan didesain menggunakan rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus tipe *Concrete Filled Steel Tube (CFT)*, model kedua rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus tipe *Concrete Filled Steel Tube (CFT)* dengan sistem ganda *core wall* dan *outrigger* dipasang pada arah Y searah bangunan, model ketiga rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus tipe *Concrete Filled Steel Tube (CFT)* dengan sistem ganda *core wall* dan *outrigger* dipasang pada arah X searah bangunan, dan model keempat rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus tipe *Concrete Filled Steel Tube (CFT)* dengan sistem ganda *core wall* dan *outrigger* dipasang pada arah X dan Y dua sisi bangunan.

##### **3.4.1.1 Data Perencanaan Struktur**

1. Jenis portal struktur gedung baja dan beton komposit
2. Fungsi gedung perkantoran
3. Gedung terletak di Provinsi Bengkulu

4. Mutu Beton yang digunakan adalah  $f'c = 35 \text{ Mpa}$
5. Mutu Baja yang digunakan BJ-41
6. Direncanakan pada tanah sedang (SD)

#### 3.4.1.2 Faktor Keutamaan Struktur (I)

Menurut SNI 1726:2012, sesuai Tabel 2.6 pemilihan nilai faktor keutamaan berdasarkan kategori resiko dengan fungsi bangunan perkantoran adalah kategori resiko II, dengan hal itu maka didapat melalui Tabel 2.7 nilai faktor keutamaan ( $I_e$ ) = 1.

#### 3.4.1.3 Faktor Reduksi Gempa

Desain bangunan direncanakan sebagai Sistem Rangka Bresing Konsentrik Khusus (SRBKK), dimana untuk nilai faktor reduksi gempa yang berdasarkan SNI 1726:2012 sesuai Tabel 2.8 dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2: Faktor reduksi gempa berdasarkan SNI 1726:2012.

Arah	Sistem penahan gaya seismic	R
X	Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	6
Y	Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	6
X	Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8
Y	Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8

#### 3.4.2. Properties Penampang

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

Untuk semua struktur gedung direncanakan dengan dimensi penampang yang sama.



### 3.4.2.1 Tebal Pelat Lantai

Penentuan tebal pelat lantai menggunakan rumus dari SNI 2847:2013 ayat 11 butir 5 sub butir 3 adalah Pers. 3.1 dan 3.2 dan ukuran perencanaan tebal pelat lantai ditunjukkan pada Gambar 3.3.

$$h_{maks} = \frac{ln \cdot (0,8 + \frac{fy}{1500})}{36} \quad (3.1)$$

$$h_{min} = \frac{ln \cdot (0,8 + \frac{fy}{1500})}{36 + 9\beta} \quad (3.2)$$

dimana:

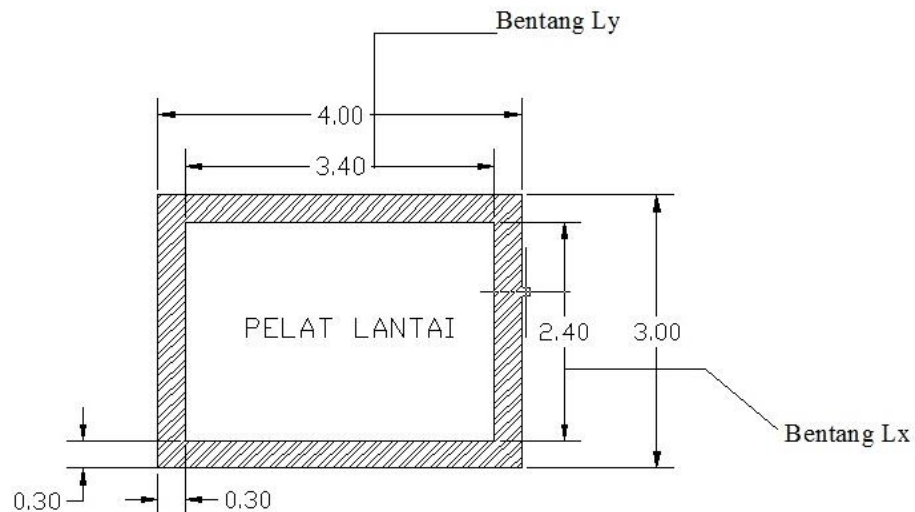
$h$  = ketebalan pelat lantai (mm)

$fy$  = mutu baja (MPa)

$ln = \frac{ly}{lx}$  (mm)

$ly$  = Panjang arah sumbu y

$lx$  = Panjang arah sumbu x



Gambar 3.3: Ukuran pelat lantai.

$$h_{min} = \frac{7000 \times (0,8 + \frac{400}{1500})}{36 + 9 \times (1)} = 165,926$$

$$h_{maks} = \frac{7000 \times (0,8 + \frac{400}{1500})}{36} = 207,407$$

Tebal pelat yang digunakan yaitu 200 mm = 0,20 m (untuk semua tipe pelat lantai).

Dalam pemodelan, pelat lantai menggunakan *deck* dan dianggap mampu menahan gaya-gaya horizontal/gempa maupun arah vertikal. Dalam ETABS Ver.16, pada menu *Define Section Properties*, lalu dipilih *Slab deck*.

### 3.4.3 Pembebanan Struktur

Di dalam struktur bangunan Teknik Sipil terdapat dua jenis beban luar yang bekerja yaitu beban statis dan beban dinamis. Beban yang bekerja terus-menerus pada suatu struktur adalah beban statis. Jenis dari beban statis adalah sebagai berikut:

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

Beban mati adalah beban-beban yang bekerja secara vertikal yang mengikuti arah gravitasi pada struktur bangunan. Adapun berat komponen material bangunan dapat ditentukan dari peraturan yang berlaku di Indonesia yaitu SNI 1727:2013 Beban Minimum Untuk Perencanaan Bangunan Gedung dan Struktur Lain dan juga menggunakan PPUG 1983 untuk berat satuan material disajikan pada Tabel 3.3 dan Tabel 3.4

Tabel 3.3: Berat material konstruksi berdasarkan PPUG 1983.

Beban Mati	Berat Jenis
Beton Bertulang	2200-2400 Kg/m <sup>3</sup>
Beban Mati	Berat Jenis
Baja	7850 Kg/m <sup>3</sup>

Tabel 3.4: Berat tambahan komponen gedung berdasarkan PPUG 1983.

Beban Mati	Besarnya Beban
Plafond dan penggantung	18 Kg/m <sup>2</sup>
Adukan 2 cm dari semen	42 Kg/m <sup>2</sup>
Pasangan bata setengah batu	250 Kg/m <sup>2</sup>
Penutup lantai dari keramik	24 Kg/m <sup>2</sup>
Mekanikal Elektrikal	60 Kg/m <sup>2</sup>

#### 1. Pembebanan Dinding Bata

Beban dinding bata yang di input ke balok induk sebesar 937,5 Kg/m untuk lantai 1, 875 Kg/m untuk lantai 2-39, dan 437,5 untuk lantai 40 Selanjutnya berat dinding diinput ke balok dengan beban terbagi merata (*assign- frame load-distributed*) dalam program ETABS Ver. 16 dapat dilihat pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5: Rekapitulasi beban dinding yang diinput dalam pemodelan.

Penerima Beban	Tinggi (m)	Beban Mati (Kg/m')
Balok LT.1	4	937,5
Balok LT.2	3,5	875
Balok LT.3	3,5	875
Balok LT.4	3,5	875
Balok LT.5	3,5	875
Balok LT.6	3,5	875
Balok LT.7	3,5	875
Balok LT.8	3,5	875
Balok LT.9	3,5	875
Balok LT.10	3,5	875
Balok LT.11	3,5	875
Balok LT.12	3,5	875
Balok LT.13	3,5	875
Balok LT.14	3,5	875

Tabel 3.5: *Lanjutan.*

Penerima Beban	Tinggi (m)	Beban Mati (Kg/m')
Balok LT.15	3,5	875
Balok LT.16	3,5	875
Balok LT.17	3,5	875
Balok LT.18	3,5	875
Balok LT.19	3,5	875
Balok LT.20	3,5	875
Balok LT.21	3,5	875
Balok LT.22	3,5	875
Balok LT.23	3,5	875
Balok LT.24	3,5	875
Balok LT.25	3,5	875
Balok LT.26	3,5	875
Balok LT.27	3,5	875
Balok LT.28	3,5	875
Balok LT.29	3,5	875
Balok LT.30	3,5	875
Balok LT.31	3,5	875
Balok LT.32	3,5	875
Balok LT.33	3,5	875
Balok LT.34	3,5	875
Balok LT.35	3,5	875
Balok LT.36	3,5	875
Balok LT.37	3,5	875
Balok LT.38	3,5	875
Balok LT.39	3,5	875
Balok LT.40	3,5	437,5

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

Beban hidup adalah beban yang disebabkan oleh penggunaan maupun hunian dan beban ini bisa ada atau tidak ada pada struktur pada waktu tertentu. Secara umum beban ini bekerja dengan arah vertikal ke bawah, tetapi terkadang dapat juga berarah horizontal. Semua beban hidup mempunyai karakteristik dapat bergerak atau berpindah. Berat beban hidup berdasarkan disajikan dalam Tabel 3.6.

Tabel 3.6: Beban hidup pada lantai struktur berdasarkan SNI 1727:2013.

Beban Hidup	Besarnya Beban
Ruang Kantor	240 Kg/m <sup>2</sup>
Beban terpusat pekerja minimum	100 Kg/m <sup>2</sup>
Beban Air Hujan	50 Kg/m <sup>2</sup>
Beban Atap	96 Kg/m <sup>2</sup>

Selanjutnya beban yang diperoleh dari perhitungan dimasukkan sebagai beban area (*assign-shell load-uniform*) dalam program ETABS Ver 16, sedangkan berat pelat sendiri akan dihitung otomatis oleh komputer dengan memasukkan faktor pengali 1 untuk *self weight multiplier* pada saat pembebanan (*load case*).

### 3.4.3.3 Rekapitulasi Pembebanan

Hasil rekapitulasi pembebanan berdasarkan beban-beban yang telah diinput pada *software* ETABS Ver. 16 dapat dilihat pada Tabel 3.7.

Tabel 3.7: Hasil rekapitulasi pembebanan.

Nama Beban	q (berat)
	(Kg/m <sup>2</sup> )
Beban mati pelat lantai	144
Beban mati pelat atap	124
Beban hidup pelat lantai	240
Beban hidup pelat atap	100

### 3.4.3.4 Kombinasi Pembebanan

Seluruh beban mati, beban hidup dan beban gempa tersebut diperhitungkan dengan faktor pembesaran dan kombinasi (*loads combinations*) yang diinput ke dalam program ETABS Ver.16 berdasarkan SNI 1726:2012. Untuk Pemodelan ini dengan menggunakan nilai  $\rho = 1,3$  yang diperoleh dari desain seismik D dan nilai  $S_{DS} = 0.915$  diperoleh dari sub bab 3.3, maka kombinasi pembebanannya dapat dilihat pada Tabel 3.8.

Tabel 3.8: Kombinasi pembebanan berdasarkan SNI 1729-2012 dengan nilai  $\rho = 1,3$  dan  $S_{ds} = 0,915$ .

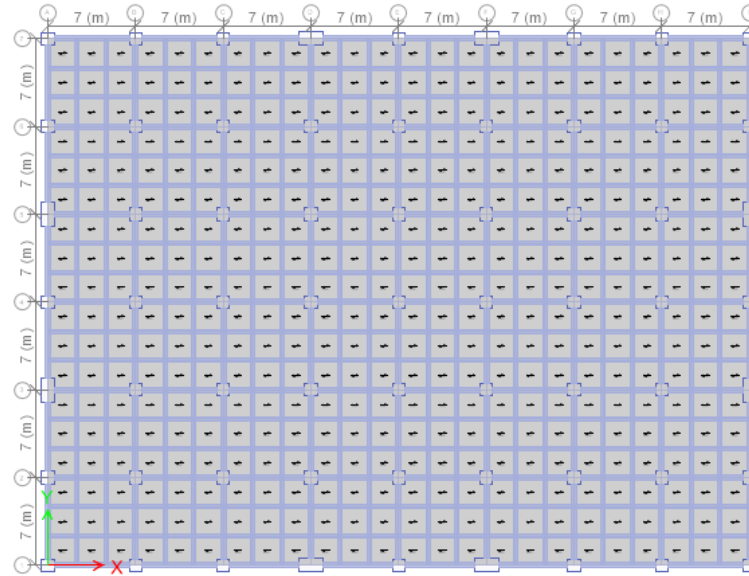
Kombinasi	Koefisien		Koefisien		Koefisien		Koefisien	
Kombinasi 1	1,4	DL	0	LL	0	EX	0	EY
Kombinasi 2	1,2	DL	1,6	LL	0	EX	0	EY
Kombinasi 3	1,44	DL	1,0	LL	0,39	EX	1,3	EY
Kombinasi 4	0,96	DL	1,0	LL	-0,39	EX	-1,3	EY
Kombinasi 5	1,07	DL	1,0	LL	0,39	EX	-1,3	EY
Kombinasi 6	1,33	DL	1,0	LL	-0,39	EX	1,3	EY
Kombinasi 7	1,44	DL	1,0	LL	1,3	EX	0,39	EY
Kombinasi 8	0,96	DL	1,0	LL	-1,3	EX	-0,39	EY
Kombinasi 9	1,33	DL	1,0	LL	1,3	EX	-0,39	EY
Kombinasi 10	1,07	DL	1,0	LL	-1,3	EX	0,39	EY
Kombinasi 11	1,14	DL	0	LL	0,39	EX	1,3	EY
Kombinasi 12	0,66	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	1,14	DL	0	LL	1,3	EX	0,39	EY
Kombinasi 16	0,66	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

### 3.4.4 Perhitungan Berat Per Lantai Gedung

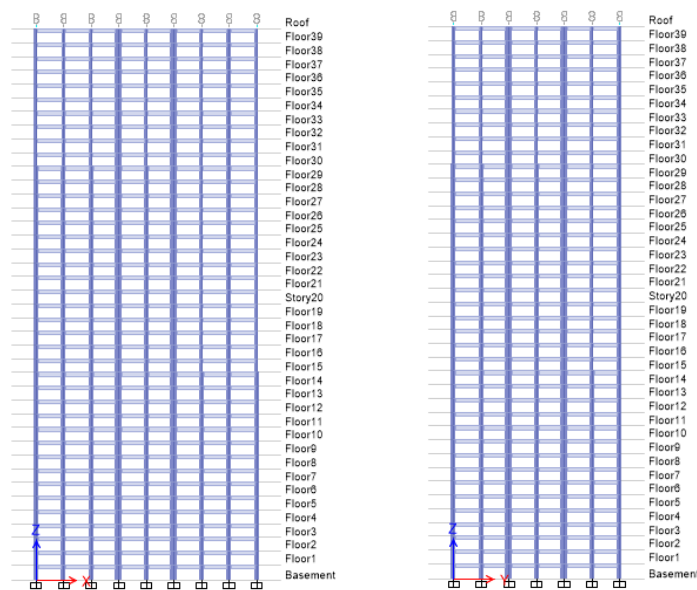
Untuk berat sendiri struktur diperoleh menggunakan bantuan program ETABS Ver. 16.

### 3.5 Model 1

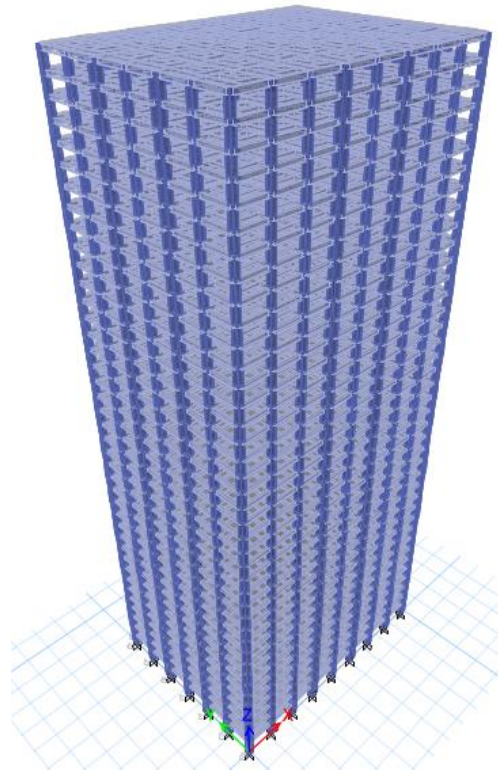
Model gedung yang pertama adalah bentuk struktur menggunakan rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus tipe *Concrete Filled Steel Tube (CFT)*. Untuk pemodelan dari struktur gedung tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.4-3.6.



Gambar 3.4: Denah struktur bangunan Model 1.



Gambar 3.5: Tampak samping bangunan arah X dan Y Model 1.



Gambar 3.6: Tampak 3D struktur bangunan baja Model 1.

### 3.5.1 Dimensi Balok dan Kolom

Berikut adalah dimensi profil pada Model 1 rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus tipe *Concrete Filled Steel Tube (CFT)*, data perencanaan kolom dan mega kolom (*CFT*) diambil dari referensi (*Tall Buildings Structural Systems and Aerodynamic Form*) dapat dilihat pada Tabel 3.9.

Tabel 3.9: Ukuran Penampang pada Model 1.

Uraian	Dimensi (mm)
Balok Anak Lt.1-Lt.40	WF 539x332x14,9x25
Balok Utama Lt.1-Lt.15	WF 933x423x24x42,7
Balok Utama Lt.16-Lt.30	WF 927x422x22,5x39,9
Balok Utama Lt.31-Lt.40	WF 920x421x21,5x36,6
Kolom Lt.1-Lt.15	CFT 1200x1200x80x80
Kolom Lt.16-Lt.30	CFT 1100x1100x80x80
Kolom Lt.31-Lt.40	CFT 1000x1000x80x80



Tabel 3.9: *Lanjutan.*

Uraian	Dimensi (mm)
Mega Kolom Lt.1-Lt.15	<i>CFT</i> 1300x1900x100x100
Mega Kolom Lt.16-Lt.30	<i>CFT</i> 1200x1900x100x100
Mega Kolom Lt.31-Lt.40	<i>CFT</i> 1100x1900x100x100

### 3.5.2 Analisis Respon Spektrum

Prosedur analisis respon spektrum dilakukan dengan menggunakan program ETABS. Analisis respon spektrum ini dilakukan dengan metode kombinasi akar jumlah kuadrat (*Square Root of the Sum of Squares/SRSS*) dengan input gaya gempa seperti pada Gambar 3.2 yang dijelaskan pada sub bab 2.6. Metode kombinasi akar jumlah kuadrat (*Square Root of the Sum of Squares/SRSS*) diperoleh dari hasil selisih nilai perioda yang lebih dari 15%.

Selain itu, penjumlahan ragam respons 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 (*Sum UX dan Sum UY*) menggunakan program ETABS Ver. 16 yaitu pada *Structure Output (Modal Participating Mass Ratios)*. Nilai Perioda untuk Model 1 terdapat pada Tabel 3.10.

Tabel 3.10: Data perioda output program ETABS Model 1.

TABEL: Modal Participating Mass Ratios				
Case	Modal	Perioda	Sum UX	Sum UY
Modal	1	4,448	0	0,7634
Modal	2	4,312	0,768	0,7634
Modal	3	3,776	0,768	0,7634
Modal	4	1,474	0,768	0,8726
Modal	5	1,436	0,8736	0,8726
Modal	6	1,266	0,8736	0,8726
Modal	7	0,839	0,8736	0,9102
Modal	8	0,825	0,9108	0,9102
Modal	9	0,733	0,9108	0,9102
Modal	10	0,568	0,9108	0,931
Modal	11	0,559	0,9315	0,931

Tabel 3.10: *Lanjutan.*

TABEL: Modal Participating Mass Ratios				
Case	Modal	Perioda	Sum UX	Sum UY
Modal	12	0,494	0,9315	0,931

Persentase nilai perioda yang menentukan jenis perhitungan menggunakan *CQC* ataukah *SRSS* dapat dilihat pada Tabel 3.11.

Tabel 3.11: Hasil selisih persentase nilai perioda Model 1.

Mode	Persentase (%)	<i>CQC</i> < 15%	<i>SRSS</i> > 15%
T1-T2	3,06%	OK	Not OK
T2-T3	12,43%	OK	Not OK
T3-T4	60,96%	Not OK	OK
T4-T5	2,58%	OK	Not OK
T5-T6	11,84%	OK	Not OK
T6-T7	33,73%	Not OK	OK
T7-T8	1,67%	OK	Not OK
T8-T9	11,15%	OK	Not OK
T9-T10	22,51%	Not OK	OK
T10-T11	1,58%	OK	Not OK
T11-T12	11,63%	OK	Not OK

Penjumlahan ragam respon menurut metode *CQC* atau metode Akar Kuadrat Jumlah Kuadrat (*Square Root of the Sum of Squares/SRSS*) harus sedemikian rupa sehingga partisipasi massa dalam menghasilkan respon total harus mencapai sekurang-kurangnya 90%, dari Tabel 3.11, diperoleh nilai partisipasi massa (*Sum UX dan Sum UY*) sudah hampir mencapai 100%. Maka, pada Model ini partisipasi massa sudah memenuhi syarat dengan menggunakan metode *CQC*.

a. Nilai waktu getar alami fundamental

Berdasarkan analisis 3 dimensi yang diperoleh dari ETABS nilai waktu getar alami fundamental atau perioda (T) dari Model 1 adalah:

T arah X = 4,312 detik

T arah Y = 4,448 detik

Maka, menurut sub bab 2.4.2 peraturan SNI 1726:2012, perioda fundamental (T) yang digunakan memiliki nilai batas maksimum dan batas minimum seperti yang dijelaskan pada Pers. 2.18 dan 2.19 pada Bab 2.

$C_t = 0,0724$  (Tabel 2.13 dengan tipe struktur rangka baja pemikul momen)

$H_n = 140,5$  m (tinggi gedung dari dasar)

$X = 0,8$  (Tabel 2.13 dengan tipe struktur rangka baja pemikul momen)

$C_u = 1,4$  (Tabel 2.14 dengan nilai  $SD1 \geq 0,4$ ).

Tabel 3.12: Pengecekan perioda berdasarkan pembatasan waktu getar alami fundamental Model 1 berdasarkan SNI 1726:2012.

Arah	$T_{a \text{ min}}$	$T_{a \text{ maks}}$	$T$	Cek min	Cek maks
X	3,783	5,297	4,312	OKE	OKE
Y	3,783	5,297	4,448	OKE	OKE

b. Penentuan faktor respon gempa (C)

Berdasarkan sub bab 2.4.1 untuk peraturan SNI 1726:2012, penentuan nilai koefisien respon seismik ( $C_s$ ) berdasarkan Pers. 2.12-2.14 pada Bab 2, yang dijelaskan di bawah ini:

- $C_{s \text{ maksimum}} = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I}\right)}$

$$C_{s \text{ maksimum}} \text{ arah X} = \frac{0,915}{\left(\frac{8}{1}\right)} = 0,114$$

$$C_{s \text{ maksimum}} \text{ arah Y} = \frac{0,915}{\left(\frac{8}{1}\right)} = 0,114$$

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

$$C_{s \text{ hasil hitungan}} \text{ arah X} = \frac{0,567}{4,312 \left(\frac{8}{1}\right)} = 0,0164$$

$$C_s \text{ hasil hitungan arah Y} = \frac{0,567}{4,312 \left(\frac{8}{1}\right)} = 0,0164$$

- $C_s \text{ minimum} = 0,044 S_{DS} I \geq 0,01$   
 $C_s \text{ minimum} = 0,044 \cdot 0,915 \cdot 1 = 0,040$   
 $C_s \text{ minimum} = 0,044 \cdot 0,915 \cdot 1 = 0,040$

Nilai  $C_s$  di atas dan nilai  $C_s$  yang digunakan dirangkum ke dalam Tabel 3.13.

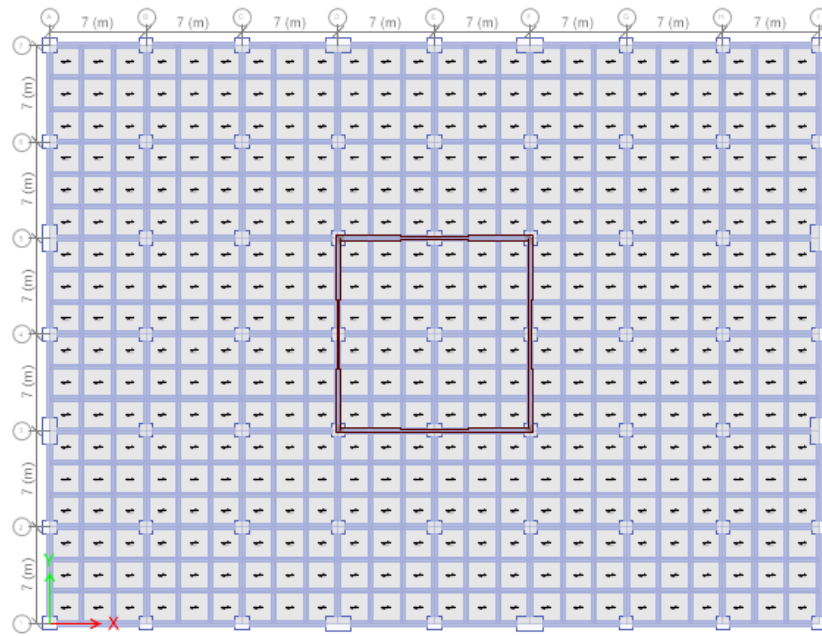
Tabel 3.13: Rangkuman nilai  $C_s$  dan nilai  $C_s$  yang digunakan Model 1.

Arah	$C_s \text{ maks}$	$C_s \text{ hitungan}$	$C_s \text{ min}$	$C_s$ yang digunakan
X	0,114	0,0164	0,040	0,114
Y	0,114	0,0164	0,040	0,114

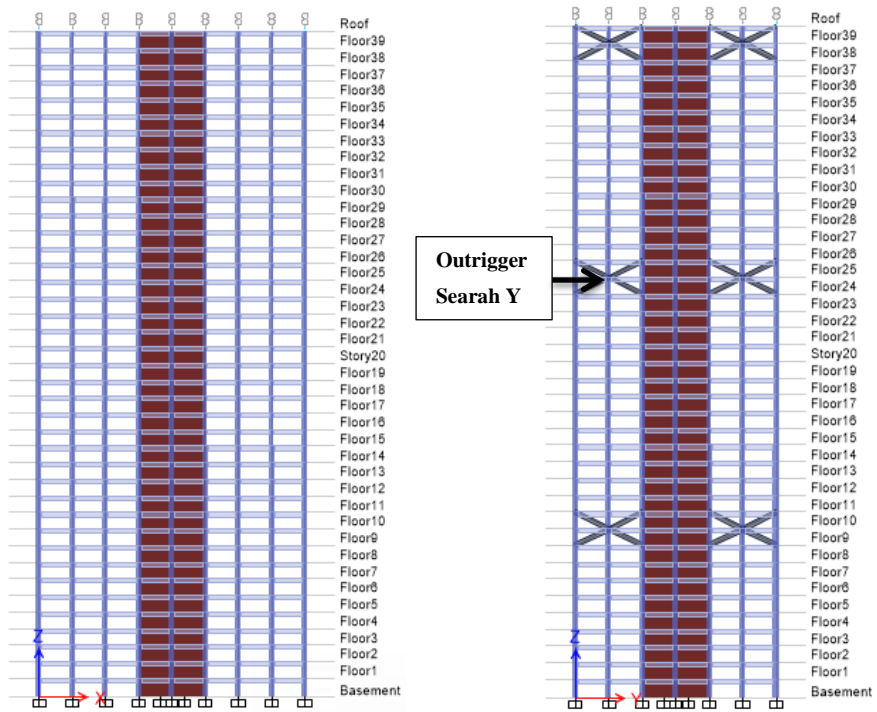
Pemilihan nilai  $C_s$  diatas di dapat karena nilai  $C_s$  hitungan lebih kecil diantara  $C_s$  minimum dan  $C_s$  maksimum. Maka yang digunakan  $C_s$  maksimum sesuai Peraturan SNI 1726:2012.

### 3.6 Model 2

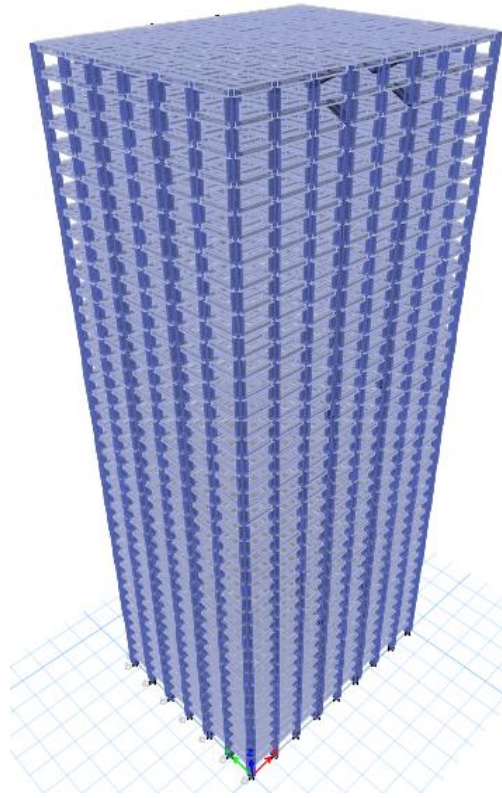
Model gedung yang kedua adalah bentuk struktur menggunakan rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus dengan sistem ganda *core wall* dan *outrigger* pada arah Y bangunan. Untuk pemodelan dari struktur gedung tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.7-3.9.



Gambar 3.7: Denah struktur bangunan baja Model 2.



Gambar 3.8: Tampak samping bangunan arah X dan Y Model 2.



Gambar 3.9: Tampak 3D struktur bangunan baja Model 2.

### 3.6.1 Dimensi Balok dan Kolom

Berikut adalah dimensi profil pada Model 2 rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus tipe *Concrete Filled Steel Tube (CFT)* dengan sistem ganda *core wall* dan *outrigger* pada arah Y bangunan, data perencanaan kolom dan mega kolom (*CFT*) diambil dari referensi (*Tall Buildings Structural Systems and Aerodynamic Form*) dapat dilihat pada Tabel 3.14.

Tabel 3.14: Ukuran Penampang pada Model 2.

Uraian	Dimensi (mm)
Balok Anak Lt.1-Lt.40	WF 539x332x14,9x25
Balok Utama Lt.1-Lt.15	WF 933x423x24x42,7
Balok Utama Lt.16-Lt.30	WF 927x422x22,5x39,9
Balok Utama Lt.31-Lt.40	WF 920x421x21,5x36,6
Kolom Lt.1-Lt.15	CFT 1200x1200x80x80

Tabel 3.14: *Lanjutan.*

Uraian	Dimensi (mm)
Kolom Lt.16-Lt.30	<i>CFT</i> 1100x1100x80x80
Kolom Lt.31-Lt.40	<i>CFT</i> 1000x1000x80x80
Mega Kolom Lt.1-Lt.15	<i>CFT</i> 1300x1900x100x100
Mega Kolom Lt.16-Lt.30	<i>CFT</i> 1200x1900x100x100
Mega Kolom Lt.31-Lt.40	<i>CFT</i> 1100x1900x100x100
<i>Outrigger</i>	<i>WF</i> 933x423x24x42,7

### 3.6.2 Analisis Respon Spektrum

Prosedur analisis respon spektrum dilakukan dengan menggunakan program ETABS. Analisis respon spektrum ini dilakukan dengan metode kombinasi akar jumlah kuadrat (*Square Root of the Sum of Squares/SRSS*) dengan input gaya gempa seperti pada Gambar 3.2 yang dijelaskan pada sub bab 2.6. Metode kombinasi akar jumlah kuadrat (*Square Root of the Sum of Squares/SRSS*) diperoleh dari hasil selisih nilai perioda yang lebih dari 15%.

Selain itu, penjumlahan ragam respons 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 (*Sum UX dan Sum UY*) menggunakan program ETABS Ver. 16 yaitu pada *Structure Output (Modal Participating Mass Ratios)*. Nilai Perioda untuk Model 2 terdapat pada Tabel 3.15.

Tabel 3.15: Data perioda output program ETABS Model 2.

TABEL: Modal Participating Mass Ratios				
Case	Modal	Perioda	Sum UX	Sum UY
Modal	1	2,619	0,6697	0
Modal	2	2,57	0,6697	0,6716
Modal	3	1,711	0,6697	0,6716
Modal	4	0,652	0,8467	0,6716

Tabel 3.15: *Lanjutan.*

TABEL: Modal Participating Mass Ratios				
Case	Modal	Perioda	Sum UX	Sum UY
Modal	5	0,641	0,8467	0,8484
Modal	6	0,575	0,8467	0,8484
Modal	7	0,343	0,8467	0,8484
Modal	8	0,297	0,9109	0,8484
Modal	9	0,296	0,9109	0,9124
Modal	10	0,242	0,9109	0,9124
Modal	11	0,185	0,9109	0,9124
Modal	12	0,182	0,9412	0,9124

Persentase nilai perioda yang menentukan jenis perhitungan menggunakan *CQC* ataukah *SRSS* dapat dilihat pada Tabel 3.16.

Tabel 3.16: Hasil selisih persentase nilai perioda Model 2.

Mode	Persentase (%)	<i>CQC</i> < 15%	<i>SRSS</i> > 15%
T1-T2	1,87%	OK	Not OK
T2-T3	33,42%	Not OK	OK
T3-T4	61,89%	Not OK	OK
T4-T5	1,69%	OK	Not OK
T5-T6	10,30%	OK	Not OK
T6-T7	40,35%	Not OK	OK
T7-T8	13,41%	OK	Not OK
T8-T9	0,34%	OK	Not OK
T9-T10	18,24%	Not OK	OK
T10-T12	23,55%	Not OK	OK
T11-T12	1,62%	OK	Not OK

Penjumlahan ragam respon menurut metode *CQC* atau metode Akar Kuadrat Jumlah Kuadrat (*Square Root of the Sum of Squares/SRSS* harus sedemikian rupa



sehingga partisipasi massa dalam menghasilkan respon total harus mencapai sekurang-kurangnya 90%, dari Tabel 3.16, diperoleh nilai partisipasi massa ( $Sum UX$  dan  $Sum UY$ ) sudah hampir mencapai 100%. Maka, pada Model ini partisipasi massa sudah memenuhi syarat dengan menggunakan metode *CQC*.

a. Nilai waktu getar alami fundamental

Berdasarkan analisis 3 dimensi yang diperoleh dari ETABS nilai waktu getar alami fundamental atau perioda ( $T$ ) dari Model 2 adalah:

$T$  arah X = 2,619 detik

$T$  arah Y = 2,570 detik

Maka, menurut sub bab 2.4.2 peraturan SNI 1726:2012, perioda fundamental ( $T$ ) yang digunakan memiliki nilai batas maksimum dan batas minimum seperti yang dijelaskan pada Pers. 2.18 dan 2.19 pada Bab 2.

$C_t = 0,0448$  (Tabel 2.13 dengan tipe semua sistem struktur lainnya)

$H_n = 140,5$  m (tinggi gedung dari dasar)

$X = 0,8$  (Tabel 2.13 dengan tipe struktur rangka baja pemikul momen)

$X = 0,75$  (Tabel 2.13 dengan tipe semua sistem struktur lainnya)

$C_u = 1,4$  (Tabel 2.14 dengan nilai  $SD1 \geq 0,4$ ).

Tabel 3.17: Pengecekan perioda berdasarkan pembatasan waktu getar alami fundamental Model 2 berdasarkan SNI 1726:2012.

Arah	$T_{a min}$	$T_{a maks}$	$T$	Cek min	Cek maks
X	1,991	2,788	2,619	OKE	OKE
Y	1,991	2,788	2,570	OKE	OKE

b. Penentuan faktor respon gempa ( $C$ )

Berdasarkan sub bab 2.4.1 untuk peraturan SNI 1726:2012, penentuan nilai koefisien respon seismik ( $C_S$ ) berdasarkan Pers. 2.12-2.14 pada Bab 2, yang dijelaskan di bawah ini:

- $C_{s maksimum} = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I}\right)}$

$$C_s \text{ maksimum arah X} = \frac{0,915}{\binom{6}{1}} = 0,152$$

$$C_s \text{ maksimum arah Y} = \frac{0,915}{\binom{6}{1}} = 0,152$$

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

$$C_s \text{ hasil hitungan arah X} = \frac{0,567}{2,619\binom{6}{1}} = 0,0361$$

$$C_s \text{ hasil hitungan arah Y} = \frac{0,567}{2,619\binom{6}{1}} = 0,0361$$

- $C_s \text{ minimum} = 0,044 S_{DS} I \geq 0,01$   
 $C_s \text{ minimum} = 0,044 \cdot 0,915 \cdot 1 = 0,040$   
 $C_s \text{ minimum} = 0,044 \cdot 0,915 \cdot 1 = 0,040$

Nilai  $C_s$  di atas dan nilai  $C_s$  yang digunakan dirangkum ke dalam Tabel 3.18.

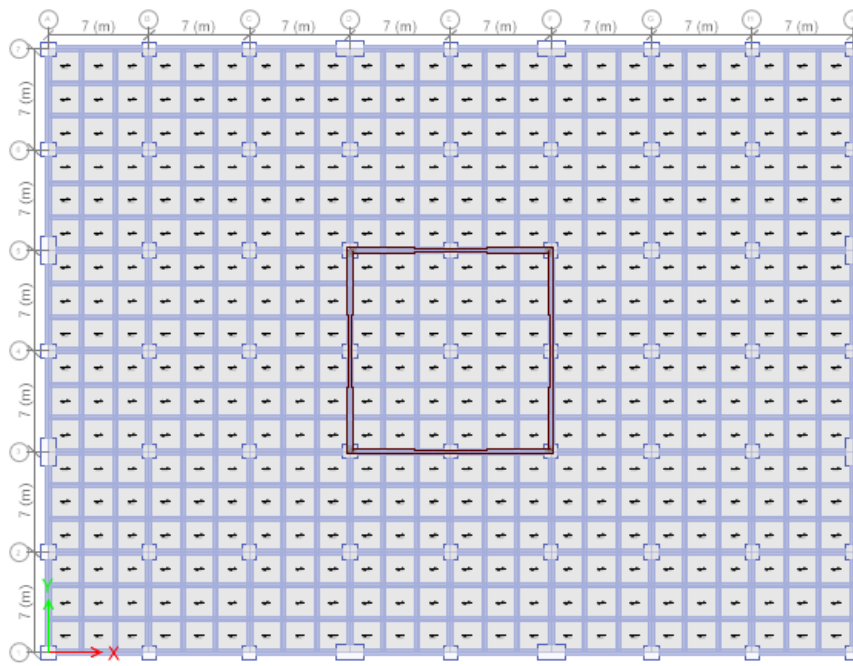
Tabel 3.18: Rangkuman nilai  $C_s$  dan nilai  $C_s$  yang digunakan Model 2.

Arah	$C_s \text{ maks}$	$C_s \text{ hitungan}$	$C_s \text{ min}$	$C_s$ yang digunakan
X	0,152	0,0361	0,040	0,152
Y	0,152	0,0361	0,040	0,152

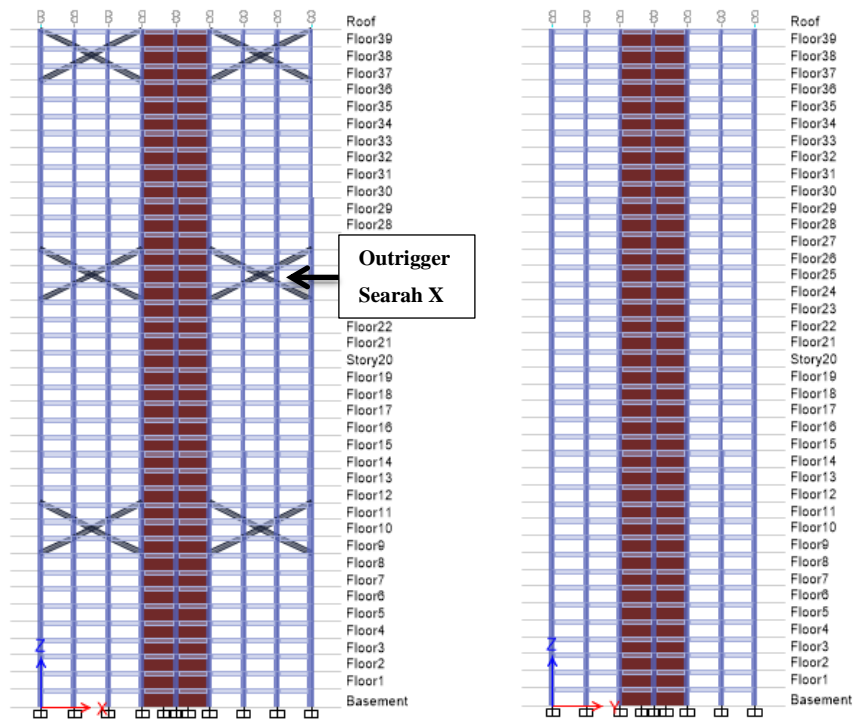
Pemilihan nilai  $C_s$  diatas di dapat karena nilai  $C_s$  hitungan lebih kecil diantara  $C_s$  minimum dan  $C_s$  maksimum. Maka yang digunakan  $C_s$  maksimum sesuai Peraturan SNI 1726:2012.

### 3.7 Model 3

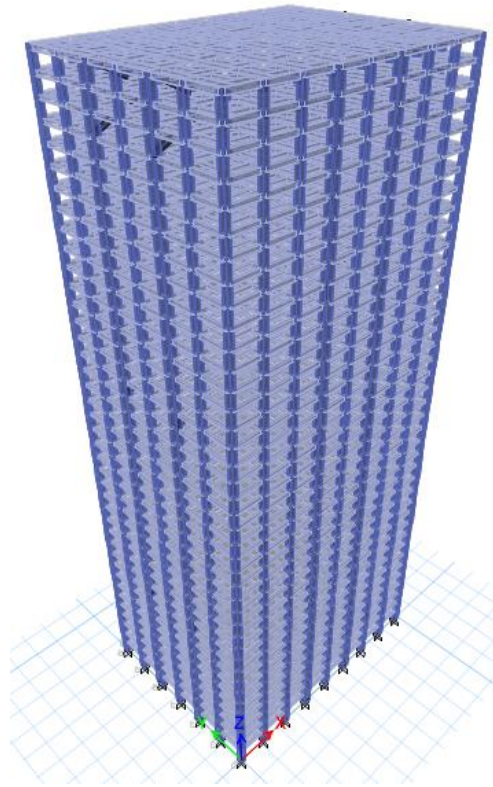
Model gedung yang ketiga adalah bentuk struktur menggunakan rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus dengan sistem ganda *core wall* dan *outrigger* pada arah X bangunan. Untuk pemodelan dari struktur gedung tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.10-3.12.



Gambar 3.10: Denah struktur bangunan baja Model 3.



Gambar 3.11: Tampak samping bangunan arah X dan Y Model 3.



Gambar 3.12: Tampak 3D struktur bangunan baja Model 3.

### 3.7.1 Dimensi Balok dan Kolom

Berikut adalah dimensi profil pada Model 3 rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus tipe *Concrete Filled Steel Tube (CFT)* dengan sistem ganda *core wall* dan *outrigger* pada arah X bangunan, data perencanaan kolom dan mega kolom (*CFT*) diambil dari referensi (*Tall Buildings Structural Systems and Aerodynamic Form*) dapat dilihat pada Tabel 3.19.

Tabel 3.19: Ukuran Penampang pada Model 3.

Uraian	Dimensi (mm)
Balok Anak Lt.1-Lt.40	WF 539x332x14,9x25
Balok Utama Lt.1-Lt.15	WF 933x423x24x42,7
Balok Utama Lt.16-Lt.30	WF 927x422x22,5x39,9
Balok Utama Lt.31-Lt.40	WF 920x421x21,5x36,6
Kolom Lt.1-Lt.15	CFT 1200x1200x80x80

Tabel 3.19: *Lanjutan.*

Uraian	Dimensi (mm)
Kolom Lt.16-Lt.30	<i>CFT</i> 1100x1100x80x80
Kolom Lt.31-Lt.40	<i>CFT</i> 1000x1000x80x80
Mega Kolom Lt.1-Lt.15	<i>CFT</i> 1300x1900x100x100
Mega Kolom Lt.16-Lt.30	<i>CFT</i> 1200x1900x100x100
Mega Kolom Lt.31-Lt.40	<i>CFT</i> 1100x1900x100x100
<i>Outrigger</i>	<i>WF</i> 933x423x24x42,7

### 3.7.2 Analisis Respon Spektrum

Prosedur analisis respon spektrum dilakukan dengan menggunakan program ETABS. Analisis respon spektrum ini dilakukan dengan metode kombinasi akar jumlah kuadrat (*Square Root of the Sum of Squares/SRSS*) dengan input gaya gempa seperti pada Gambar 3.2 yang dijelaskan pada sub bab 2.6. Metode kombinasi akar jumlah kuadrat (*Square Root of the Sum of Squares/SRSS*) diperoleh dari hasil selisih nilai perioda yang lebih dari 15%.

Selain itu, penjumlahan ragam respons 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 (*Sum UX dan Sum UY*) menggunakan program ETABS Ver. 16 yaitu pada *Structure Output (Modal Participating Mass Ratios)*. Nilai Perioda untuk Model 3 terdapat pada Tabel 3.20.

Tabel 3.20: Data perioda output program ETABS Model 3.

TABEL: Modal Participating Mass Ratios				
Case	Modal	Perioda	Sum UX	Sum UY
Modal	1	2,678	0	0,6666
Modal	2	2,471	0,6779	0,6666
Modal	3	1,711	0,6779	0,6666
Modal	4	0,657	0,6779	0,8465
Modal	5	0,631	0,8498	0,8465

Tabel 3.20: *Lanjutan.*

TABEL: Modal Participating Mass Ratios				
Case	Modal	Perioda	Sum UX	Sum UY
Modal	6	0,575	0,8498	0,8465
Modal	7	0,344	0,8498	0,8465
Modal	8	0,298	0,8498	0,9108
Modal	9	0,294	0,9129	0,9108
Modal	10	0,242	0,9129	0,9108
Modal	11	0,185	0,9129	0,9108
Modal	12	0,183	0,9129	0,9411

Persentase nilai perioda yang menentukan jenis perhitungan menggunakan *CQC* ataukah *SRSS* dapat dilihat pada Tabel 3.21.

Tabel 3.21: Hasil selisih persentase nilai perioda Model 3.

Mode	Persentase (%)	<i>CQC</i> < 15%	<i>SRSS</i> > 15%
T1-T2	7,73%	OK	Not OK
T2-T3	30,76%	Not OK	OK
T3-T4	61,60%	Not OK	OK
T4-T5	3,96%	OK	Not OK
T5-T6	8,87%	OK	Not OK
T6-T7	40,17%	Not OK	OK
T7-T8	13,37%	OK	Not OK
T8-T9	1,34%	OK	Not OK
T9-T10	17,69%	Not OK	OK
T10-T12	23,55%	Not OK	OK
T11-T12	1,08%	OK	Not OK

Penjumlahan ragam respon menurut metode *CQC* atau metode Akar Kuadrat Jumlah Kuadrat (*Square Root of the Sum of Squares/SRSS*) harus sedemikian rupa sehingga partisipasi massa dalam menghasilkan respon total harus mencapai

sekurang-kurangnya 90%, dari Tabel 3.21, diperoleh nilai partisipasi massa (*Sum UX dan Sum UY*) sudah hampir mencapai 100%. Maka, pada Model ini partisipasi massa sudah memenuhi syarat dengan menggunakan metode *CQC*.

a. Nilai waktu getar alami fundamental

Berdasarkan analisis 3 dimensi yang diperoleh dari ETABS nilai waktu getar alami fundamental atau perioda (*T*) dari Model 3 adalah:

*T* arah X = 2,678 detik

*T* arah Y = 2,471 detik

Maka, menurut sub bab 2.4.2 peraturan SNI 1726:2012, perioda fundamental (*T*) yang digunakan memiliki nilai batas maksimum dan batas minimum seperti yang dijelaskan pada Pers. 2.18 dan 2.19 pada Bab 2.

$C_t = 0,0448$  (Tabel 2.13 dengan tipe semua sistem struktur lainnya)

$H_n = 140,5$  m (tinggi gedung dari dasar)

$X = 0,8$  (Tabel 2.13 dengan tipe struktur rangka baja pemikul momen)

$X = 0,75$  (Tabel 2.13 dengan tipe semua sistem struktur lainnya)

$C_u = 1,4$  (Tabel 2.14 dengan nilai  $SD1 \geq 0,4$ ).

Tabel 3.22: Pengecekan perioda berdasarkan pembatasan waktu getar alami fundamental Model 3 berdasarkan SNI 1726:2012.

Arah	$T_{a\ min}$	$T_{a\ maks}$	$T$	Cek min	Cek maks
X	1,991	2,788	2,678	OKE	OKE
Y	1,991	2,788	2,471	OKE	OKE

b. Penentuan faktor respon gempa (*C*)

Berdasarkan sub bab 2.4.1 untuk peraturan SNI 1726:2012, penentuan nilai koefisien respon seismik ( $C_s$ ) berdasarkan Pers. 2.12-2.14 pada Bab 2, yang dijelaskan di bawah ini:

- $C_{s\ maksimum} = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I}\right)}$

$$C_{s\ maksimum\ arah\ X} = \frac{0,915}{\left(\frac{6}{1}\right)} = 0,152$$

$$C_s \text{ maksimum arah Y} = \frac{0,915}{\left(\frac{6}{1}\right)} = 0,152$$

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

$$C_s \text{ hasil hitungan arah X} = \frac{0,567}{2,471\left(\frac{6}{1}\right)} = 0,0382$$

$$C_s \text{ hasil hitungan arah Y} = \frac{0,567}{2,471\left(\frac{8}{1}\right)} = 0,0382$$

- $C_s \text{ minimum} = 0,044 S_{DS} \quad I \geq 0,01$   
 $C_s \text{ minimum} = 0,044 \cdot 0,915 \cdot 1 = 0,040$   
 $C_s \text{ minimum} = 0,044 \cdot 0,915 \cdot 1 = 0,040$

Nilai  $C_s$  di atas dan nilai  $C_s$  yang digunakan dirangkum ke dalam Tabel 3.23.

Tabel 3.23: Rangkuman nilai  $C_s$  dan nilai  $C_s$  yang digunakan Model 3.

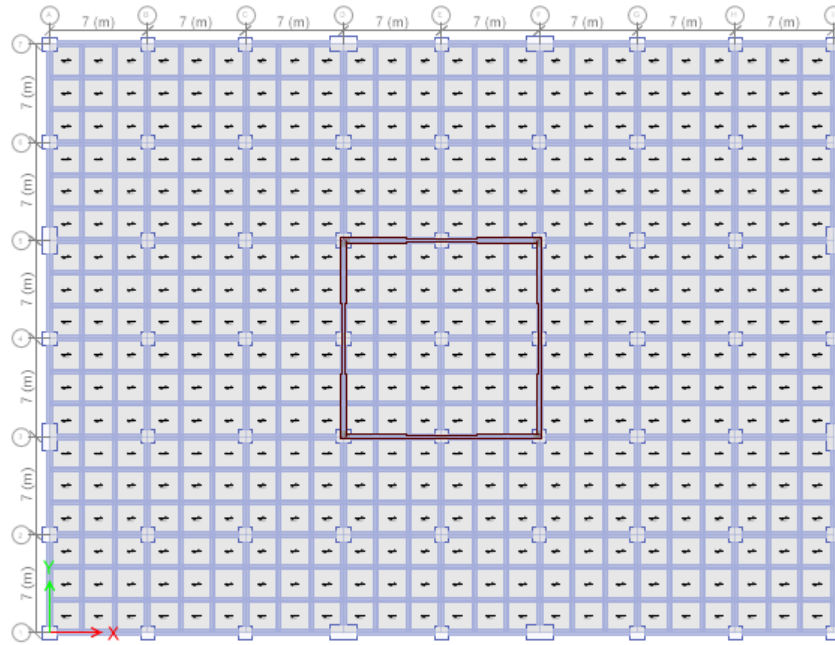
Arah	$C_s \text{ maks}$	$C_s \text{ hitungan}$	$C_s \text{ min}$	$C_s$ yang digunakan
X	0,152	0,0382	0,040	0,152
Y	0,152	0,0382	0,040	0,152

Pemilihan nilai  $C_s$  diatas di dapat karena nilai  $C_s$  hitungan lebih kecil diantara  $C_s$  minimum dan  $C_s$  maksimum. Maka yang digunakan  $C_s$  maksimum sesuai Peraturan SNI 1726:2012.

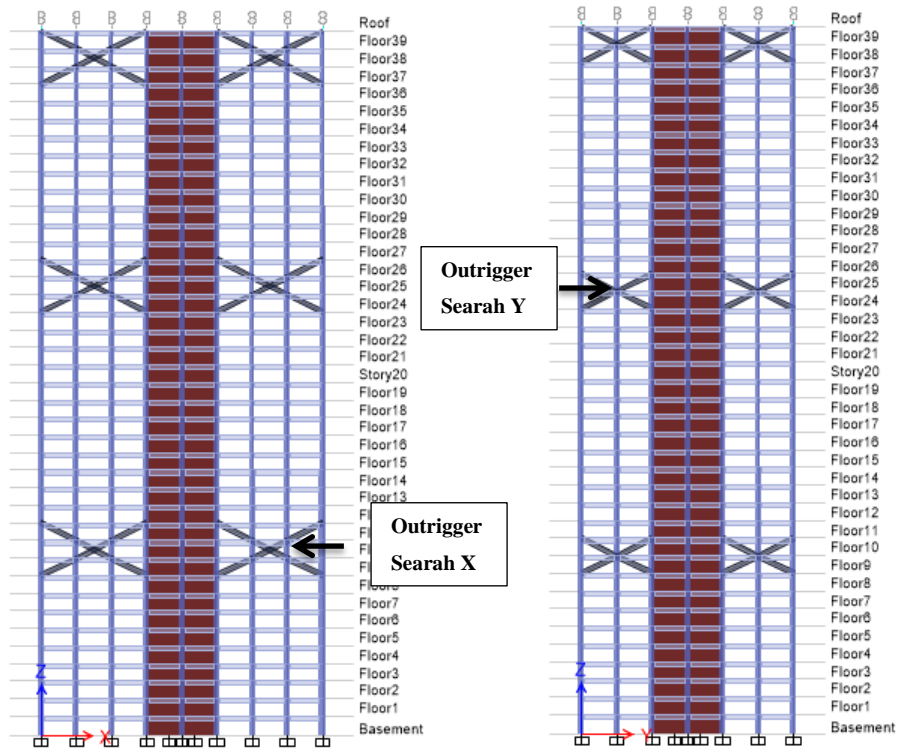
### 3.8 Model 4

Model gedung yang keempat adalah bentuk struktur menggunakan rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus dengan sistem ganda *core wall* dan *outrigger* pada arah X dan Y pada dua sisi bangunan. Untuk pemodelan dari struktur gedung tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.13-3.15.

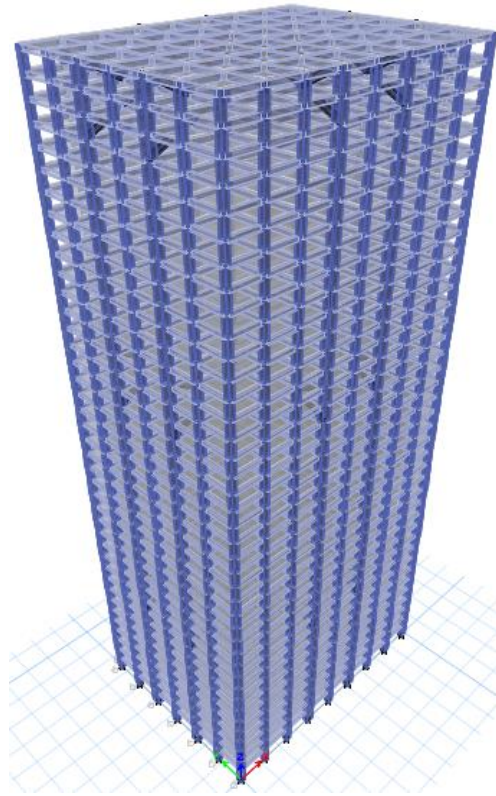




Gambar 3.13: Denah struktur bangunan baja Model 4.



Gambar 3.14: Tampak samping bangunan arah X dan Y Model 4.



Gambar 3.15: Tampak 3D struktur bangunan baja Model 4.

### 3.8.1 Dimensi Balok dan Kolom

Berikut adalah dimensi profil pada Model 4 rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus tipe *Concrete Filled Steel Tube (CFT)* dengan sistem ganda *core wall* dan *outrigger* pada arah X dan Y pada dua sisi bangunan, data perencanaan kolom dan mega kolom (*CFT*) diambil dari referensi (*Tall Buildings Structural Systems and Aerodynamic Form*) dapat dilihat pada Tabel 3.24.

Tabel 3.24: Ukuran Penampang pada Model 4.

Uraian	Dimensi (mm)
Balok Anak Lt.1-Lt.40	WF 539x332x14,9x25
Balok Utama Lt.1-Lt.15	WF 933x423x24x42,7
Balok Utama Lt.16-Lt.30	WF 927x422x22,5x39,9
Balok Utama Lt.31-Lt.40	WF 920x421x21,5x36,6
Kolom Lt.1-Lt.15	CFT 1200x1200x80x80

Tabel 3.24: *Lanjutan.*

Uraian	Dimensi (mm)
Kolom Lt.16-Lt.30	<i>CFT</i> 1100x1100x80x80
Kolom Lt.31-Lt.40	<i>CFT</i> 1000x1000x80x80
Mega Kolom Lt.1-Lt.15	<i>CFT</i> 1300x1900x100x100
Mega Kolom Lt.16-Lt.30	<i>CFT</i> 1200x1900x100x100
Mega Kolom Lt.31-Lt.40	<i>CFT</i> 1100x1900x100x100
<i>Outrigger</i>	<i>WF</i> 933x423x24x42,7

### 3.8.2 Analisis Respon Spektrum

Prosedur analisis respon spektrum dilakukan dengan menggunakan program ETABS. Analisis respon spektrum ini dilakukan dengan metode kombinasi akar jumlah kuadrat (*Square Root of the Sum of Squares/SRSS*) dengan input gaya gempa seperti pada Gambar 3.2 yang dijelaskan pada sub bab 2.6. Metode kombinasi akar jumlah kuadrat (*Square Root of the Sum of Squares/SRSS*) diperoleh dari hasil selisih nilai perioda yang lebih dari 15%.

Selain itu, penjumlahan ragam respons 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 (*Sum UX dan Sum UY*) menggunakan program ETABS Ver. 16 yaitu pada *Structure Output (Modal Participating Mass Ratios)*. Nilai Perioda untuk Model 4 terdapat pada Tabel 3.25.

Tabel 3.25: Data perioda output program ETABS Model 4.

TABEL: Modal Participating Mass Ratios				
Case	Modal	Perioda	Sum UX	Sum UY
Modal	1	2,553	0	0,6727
Modal	2	2,455	0,6789	0,6727
Modal	3	1,71	0,6789	0,6727
Modal	4	0,639	0,6789	0,8488
Modal	5	0,629	0,8501	0,8488

Tabel 3.25: Lanjutan.

TABEL: Modal Participating Mass Ratios				
Case	Modal	Perioda	Sum UX	Sum UY
Modal	6	0,575	0,8501	0,8488
Modal	7	0,344	0,8501	0,8488
Modal	8	0,295	0,8501	0,9126
Modal	9	0,294	0,9131	0,9126
Modal	10	0,241	0,9131	0,9126
Modal	11	0,185	0,9131	0,9126
Modal	12	0,18	0,9131	0,9416

Persentase nilai perioda yang menentukan jenis perhitungan menggunakan *CQC* ataukah *SRSS* dapat dilihat pada Tabel 3.26.

Tabel 3.26: Hasil selisih persentase nilai perioda Model 4.

Mode	Persentase (%)	<i>CQC</i> < 15%	<i>SRSS</i> > 15%
T1-T2	3,84%	OK	Not OK
T2-T3	30,35%	Not OK	OK
T3-T4	62,63%	Not OK	OK
T4-T5	1,56%	OK	Not OK
T5-T6	8,59%	OK	Not OK
T6-T7	40,17%	Not OK	OK
T7-T8	14,24%	OK	Not OK
T8-T9	0,34%	OK	Not OK
T9-T10	18,03%	Not OK	OK
T10-T12	23,24%	Not OK	OK
T11-T12	2,70%	OK	Not OK

Penjumlahan ragam respon menurut metode *CQC* atau metode Akar Kuadrat Jumlah Kuadrat (*Square Root of the Sum of Squares/SRSS* harus sedemikian rupa sehingga partisipasi massa dalam menghasilkan respon total harus mencapai

sekurang-kurangnya 90%, dari Tabel 3.26, diperoleh nilai partisipasi massa (*Sum UX dan Sum UY*) sudah hampir mencapai 100%. Maka, pada Model ini partisipasi massa sudah memenuhi syarat dengan menggunakan metode *CQC*.

a. Nilai waktu getar alami fundamental

Berdasarkan analisis 3 dimensi yang diperoleh dari ETABS nilai waktu getar alami fundamental atau perioda (*T*) dari Model 4 adalah:

*T* arah X = 2,455 detik

*T* arah Y = 2,553 detik

Maka, menurut sub bab 2.4.2 peraturan SNI 1726:2012, perioda fundamental (*T*) yang digunakan memiliki nilai batas maksimum dan batas minimum seperti yang dijelaskan pada Pers. 2.18 dan 2.19 pada Bab 2.

$C_t = 0,0448$  (Tabel 2.13 dengan tipe semua sistem struktur lainnya)

$H_n = 140,5$  m (tinggi gedung dari dasar)

$X = 0,8$  (Tabel 2.13 dengan tipe struktur rangka baja pemikul momen)

$X = 0,75$  (Tabel 2.13 dengan tipe semua sistem struktur lainnya)

$C_u = 1,4$  (Tabel 2.14 dengan nilai  $SD1 \geq 0,4$ ).

Tabel 3.27: Pengecekan perioda berdasarkan pembatasan waktu getar alami fundamental Model 4 berdasarkan SNI 1726:2012.

Arah	$T_{a\ min}$	$T_{a\ maks}$	$T$	Cek min	Cek maks
X	1,991	2,788	2,455	OKE	OKE
Y	1,991	2,788	2,553	OKE	OKE

b. Penentuan faktor respon gempa (*C*)

Berdasarkan sub bab 2.4.1 untuk peraturan SNI 1726:2012, penentuan nilai koefisien respon seismik ( $C_s$ ) berdasarkan Pers. 2.12-2.14 pada Bab 2, yang dijelaskan di bawah ini:

- $C_{s\ maksimum} = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I}\right)}$

$$C_{s\ maksimum\ arah\ X} = \frac{0,915}{\left(\frac{6}{1}\right)} = 0,152$$

$$C_s \text{ maksimum arah Y} = \frac{0,915}{\left(\frac{6}{1}\right)} = 0,152$$

- $C_s \text{ hasil hitungan} = \frac{SD_1}{T\left(\frac{R}{I}\right)}$

$$C_s \text{ hasil hitungan arah X} = \frac{0,567}{2,455\left(\frac{6}{1}\right)} = 0,0385$$

$$C_s \text{ hasil hitungan arah Y} = \frac{0,567}{2,455\left(\frac{6}{1}\right)} = 0,0385$$

- $C_s \text{ minimum} = 0,044 S_{DS} \quad I \geq 0,01$   
 $C_s \text{ minimum} = 0,044 \cdot 0,915 \cdot 1 = 0,040$   
 $C_s \text{ minimum} = 0,044 \cdot 0,915 \cdot 1 = 0,040$

Nilai  $C_s$  di atas dan nilai  $C_s$  yang digunakan dirangkum ke dalam Tabel 3.28.

Tabel 3.28: Rangkuman nilai  $C_s$  dan nilai  $C_s$  yang digunakan Model 4.

Arah	$C_s \text{ maks}$	$C_s \text{ hitungan}$	$C_s \text{ min}$	$C_s \text{ yang digunakan}$
X	0,152	0,0385	0,040	0,152
Y	0,152	0,0385	0,040	0,152

Pemilihan nilai  $C_s$  diatas di dapat karena nilai  $C_s \text{ hitungan}$  lebih kecil diantara  $C_s \text{ minimum}$  dan  $C_s \text{ maksimum}$ . Maka yang digunakan  $C_s \text{ maksimum}$  sesuai Peraturan SNI 1726:2012.

## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Tinjauan Umum

Pada bab ini akan membahas beberapa nilai perbedaan hasil analisis oleh ETABS (*Extended Analysis Building Software*) Versi 2016 pada tiap model. Diantaranya adalah nilai simpangan, gaya-gaya dalam struktur gedung, kekakuan gedung dan tahanan gempa. Berdasarkan empat jenis pemodelan struktur, yaitu struktur gedung yang dimodelkan dengan SRPMK dan perbedaan letak *outrigger*. Model Struktur 1 menggunakan rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus, Model Struktur 2 menggunakan rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus dengan sistem ganda *core wall* dan *outrigger* pada arah Y bangunan, Model Struktur 3 adalah menggunakan rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus dengan sistem ganda *core wall* dan *outrigger* pada arah X bangunan, sedangkan Model Struktur 4 adalah menggunakan rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus dengan sistem ganda *core wall* dan *outrigger* pada arah X dan Y pada dua sisi bangunan. Semua bentuk *input* beban, klasifikasi zona gempa dan jumlah tingkat adalah sama.

#### 4.2 Hasil Analisis Gedung

##### 4.2.1 Model 1

Pada Model 1 analisis respon spektrum ini dilakukan dengan metode kombinasi jumlah kuadrat lengkap (*Complete Quadratic Combination/CQC*).

##### 4.2.1.1 Gaya Geser

Pada dasarnya nilai gaya geser pada gedung yang simetris akibat arah X maupun arah Y tetap sama. Tetapi, nilai gaya geser yang dihasilkan oleh respon spectrum program analisa struktur sangat teliti sehingga arah X dan arah Y tidak sama walaupun bangunannya simetris. Adapun bangunan yang direncanakan menggunakan struktur rangka pemikul momen khusus dan *outrigger* ini memiliki

Inersia arah X dan arah Y yang berlainan. Oleh karena itu, hasil perioda yang diperoleh terhadap arah X dan arah Y tidak sama. Ketentuan ini berlaku pada gedung setiap model.

Dari hasil analisis respon spektrum yang menggunakan program Analisis Struktur diperoleh nilai gaya geser dasar (V) berdasarkan SNI 1726-2012 yang disajikan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1: Gaya geser dasar nominal hasil analisis ragam respon spektrum

TABEL: <i>Base Reactions</i>		
<i>OutputCase</i>	FX	FY
<i>Text</i>	Kgf	Kgf
GEMPA X	3498711,06	1020614,17
GEMPA Y	1049584,79	3402000,99

Berikut perhitungan koreksi nilai akhir respon spektrum terhadap respon ragam pertama.

- Gempa Arah X

$$V_{Ix} = C_s \cdot W_t$$

$$V_{Ix} = 0,114 \times 24913037,91$$

$$= 2848390,668 \text{ Kgf (Gaya geser statik ekivalen arah X)}$$

- Gempa Arah Y

$$V_{Iy} = C_s \cdot W_t$$

$$V_{Iy} = 0,114 \times 24913037,91$$

$$= 2848390,668 \text{ Kgf (Gaya geser statik ekivalen arah Y)}$$

Berdasarkan SNI 1726-2012 kontrol faktor skala:

- Arah X

$$V_x = 3498711,06 \text{ Kgf}$$

$$V_{Ix} = 2848390,668 \text{ Kgf}$$

$$\text{Faktor Skala} = \frac{0,85 V_{Ix}}{V_x} \leq 1$$

$$= \frac{0,85 \cdot 2848390,668}{3498711,06} = 0,6920$$



- Arah Y

$$V_y = 3402000,99 \text{ Kgf}$$

$$V_{Iy} = 2848390,668 \text{ Kgf}$$

$$\begin{aligned} \text{Faktor Skala} &= \frac{0,85 V_{Iy}}{V_y} \leq 1 \\ &= \frac{0,85 \cdot 2848390,668}{3402000,99} = 0,7117 \end{aligned}$$

Tabel 4.2: Rekapitulasi faktor skala hasil respon spektrum dengan statik ekuivalen masing-masing arah Model 1.

V1 ELF		Vt CQC		Faktor Skala	
Arah x Kgf	Arah y Kgf	Arah x Kgf	Arah y Kgf	Arah x	Arah y
2848390,668	2848390,668	3498711,06	3402000,99	0,6920	0,7117

Karena faktor skala yang didapat untuk masing-masing arah kurang dari 1, maka gaya geser dasar nominal yang didapat dari hasil analisa ragam respon spektrum yang telah dilakukan dapat digunakan tanpa dikalikan dengan faktor

$$\text{skala} \frac{0,85 C_s W}{V_t}.$$

#### 4.2.1.2 Koreksi Faktor Redudansi

Berdasarkan sub subbab 2.9, bahwasanya untuk struktur yang dirancang pada kategori desain seismik D, penggunaan redundansi  $\rho$  harus sama dengan 1,3 kecuali jika satu dari dua kondisi yang ditentukan pada sub subbab 2.9 dipenuhi, dimana redundansi  $\rho$  diijinkan diambil sebesar 1,0. Salah satu kondisi yang menentukan tersebut yaitu masing-masing lantai harus menahan lebih dari 35 persen geser dasar dalam arah yang ditinjau, maka redundansi diijinkan diambil 1,0. Apabila kondisi ini tidak terpenuhi, maka nilai faktor redundansi 1,0 harus diganti dengan redundansi 1,3. Tabel 4.3-4.4 merupakan pengecekan untuk setiap gaya geser pada masing-masing lantainya terhadap nilai redundansi 1,0.

Tabel 4.3: Pengecekan *story shear* dengan 35% *base shear* terhadap redundansi  $\rho$  1,0 untuk Model 1 terhadap gempa x.

Lantai	$V_x$ (kgf)	$V_y$ (kgf)	35 % $V_x$ <i>Base Shear</i>	35 % $V_y$ <i>Base Shear</i>	Kontrol	Kontrol
Roof	266389,63	79540,57	1224548,87	357214,96	NOT OK	NOT OK
Floor39	535417,63	159525,56	1224548,87	357214,96	NOT OK	NOT OK
Floor38	778266,60	231382,24	1224548,87	357214,96	NOT OK	NOT OK
Floor37	990933,98	293958,87	1224548,87	357214,96	NOT OK	NOT OK
Floor36	1171404,87	346710,06	1224548,87	357214,96	NOT OK	NOT OK
Floor35	1320495,76	389948,87	1224548,87	357214,96	OK	OK
Floor34	1441996,56	424886,82	1224548,87	357214,96	OK	OK
Floor33	1542133,98	453466,62	1224548,87	357214,96	OK	OK
Floor32	1628409,57	478001,82	1224548,87	357214,96	OK	OK
Floor31	1708024,76	500688,59	1224548,87	357214,96	OK	OK
Floor30	1787631,31	523502,35	1224548,87	357214,96	OK	OK
Floor29	1869829,13	547183,88	1224548,87	357214,96	OK	OK
Floor28	1953265,30	571279,96	1224548,87	357214,96	OK	OK
Floor27	2035705,09	595058,17	1224548,87	357214,96	OK	OK
Floor26	2114410,75	617651,29	1224548,87	357214,96	OK	OK
Floor25	2187309,72	638418,80	1224548,87	357214,96	OK	OK
Floor24	2253753,48	657177,83	1224548,87	357214,96	OK	OK
Floor23	2314707,81	674256,50	1224548,87	357214,96	OK	OK
Floor22	2372380,33	690372,60	1224548,87	357214,96	OK	OK
Floor21	2429430,95	706382,67	1224548,87	357214,96	OK	OK
Floor20	2488031,33	722984,05	1224548,87	357214,96	OK	OK
Floor19	2549105,85	740474,82	1224548,87	357214,96	OK	OK
Floor18	2612039,57	758662,23	1224548,87	357214,96	OK	OK
Floor17	2674967,53	776955,45	1224548,87	357214,96	OK	OK
Floor16	2735535,74	794606,68	1224548,87	357214,96	OK	OK
Floor15	2792789,51	811284,48	1224548,87	357214,96	OK	OK
Floor14	2846013,32	826752,42	1224548,87	357214,96	OK	OK
Floor13	2895280,47	841038,19	1224548,87	357214,96	OK	OK
Floor12	2942761,04	854811,30	1224548,87	357214,96	OK	OK
Floor11	2991530,99	869025,22	1224548,87	357214,96	OK	OK
Floor10	3044661,66	884633,03	1224548,87	357214,96	OK	OK
Floor9	3104167,27	902259,78	1224548,87	357214,96	OK	OK
Floor8	3170137,14	921933,68	1224548,87	357214,96	OK	OK
Floor7	3240358,95	942972,06	1224548,87	357214,96	OK	OK
Floor6	3310583,91	964067,59	1224548,87	357214,96	OK	OK
Floor5	3375370,52	983552,38	1224548,87	357214,96	OK	OK

Tabel 4.3: Lanjutan.

Lantai	V <sub>x</sub> (kgf)	V <sub>y</sub> (kgf)	35 % V <sub>x</sub> Base Shear	35 % V <sub>y</sub> Base Shear	Kontrol	Kontrol
Floor4	3429288,29	999769,49	1224548,87	357214,96	OK	OK
Floor3	3468229,27	1011472,89	1224548,87	357214,96	OK	OK
Floor2	3490639,58	1018197,93	1224548,87	357214,96	OK	OK
Floor1	3498711,06	1020614,17	1224548,87	357214,96	OK	OK

Tabel 4.4: Pengecekan *story shear* dengan 35% *base shear* terhadap redundansi  $\rho$  1,0 untuk Model 1 terhadap gempa y.

Lantai	V <sub>x</sub> (kgf)	V <sub>y</sub> (kgf)	35 % V <sub>x</sub> Base Shear	35 % V <sub>y</sub> Base Shear	Kontrol	Kontrol
Roof	79914,72	265131,64	367354,68	1190700,35	NOT OK	NOT OK
Floor39	160620,92	531744,65	367354,68	1190700,35	NOT OK	NOT OK
Floor38	233473,63	771263,63	367354,68	1190700,35	NOT OK	NOT OK
Floor37	297272,11	979849,57	367354,68	1190700,35	NOT OK	NOT OK
Floor36	351411,91	1155684,50	367354,68	1190700,35	NOT OK	NOT OK
Floor35	396137,96	1299811,89	367354,68	1190700,35	OK	OK
Floor34	432587,21	1416270,16	367354,68	1190700,35	OK	OK
Floor33	462627,62	1511534,85	367354,68	1190700,35	OK	OK
Floor32	488509,59	1593317,73	367354,68	1190700,35	OK	OK
Floor31	512393,50	1668939,29	367354,68	1190700,35	OK	OK
Floor30	536274,81	1744984,12	367354,68	1190700,35	OK	OK
Floor29	560933,49	1823921,46	367354,68	1190700,35	OK	OK
Floor28	585963,66	1904240,66	367354,68	1190700,35	OK	OK
Floor27	610694,93	1983500,28	367354,68	1190700,35	OK	OK
Floor26	634305,98	2058809,65	367354,68	1190700,35	OK	OK
Floor25	656175,08	2128033,76	367354,68	1190700,35	OK	OK
Floor24	676107,66	2190563,01	367354,68	1190700,35	OK	OK
Floor23	694393,47	2247491,11	367354,68	1190700,35	OK	OK
Floor22	711694,75	2301210,73	367354,68	1190700,35	OK	OK
Floor21	728809,47	2354576,91	367354,68	1190700,35	OK	OK
Floor20	746389,11	2409914,09	367354,68	1190700,35	OK	OK
Floor19	764710,97	2468215,86	367354,68	1190700,35	OK	OK
Floor18	783590,57	2528839,71	367354,68	1190700,35	OK	OK
Floor17	802468,44	2589816,29	367354,68	1190700,35	OK	OK
Floor16	820638,41	2648652,95	367354,68	1190700,35	OK	OK
Floor15	837814,08	2704244,85	367354,68	1190700,35	OK	OK
Floor14	853780,79	2755803,95	367354,68	1190700,35	OK	OK

Tabel 4.4: Lanjutan.

Lantai	V <sub>x</sub> (kgf)	V <sub>y</sub> (kgf)	35 % V <sub>x</sub> Base Shear	35 % V <sub>y</sub> Base Shear	Kontrol	Kontrol
Floor13	868560,53	2803422,53	367354,68	1190700,35	OK	OK
Floor12	882804,32	2849332,28	367354,68	1190700,35	OK	OK
Floor11	897434,90	2896711,35	367354,68	1190700,35	OK	OK
Floor10	913373,67	2948736,70	367354,68	1190700,35	OK	OK
Floor9	931224,87	3007491,73	367354,68	1190700,35	OK	OK
Floor8	951015,29	3073070,49	367354,68	1190700,35	OK	OK
Floor7	972081,26	3143197,47	367354,68	1190700,35	OK	OK
Floor6	993148,18	3213514,97	367354,68	1190700,35	OK	OK
Floor5	1012583,63	3278463,38	367354,68	1190700,35	OK	OK
Floor4	1028758,52	3332519,69	367354,68	1190700,35	OK	OK
Floor3	1040440,50	3371530,47	367354,68	1190700,35	OK	OK
Floor2	1047163,41	3393946,97	367354,68	1190700,35	OK	OK
Floor1	1049584,79	3402000,99	367354,68	1190700,35	OK	OK

Dari Tabel 4.3-4.4 diketahui bahwa gaya geser pada lantai 36-40 dengan redundansi 1,0 tidak memenuhi syarat lebih besar dari 35 persen gaya geser dasar. Sehingga nilai faktor redundansi  $\rho$  yang digunakan pada pemodelan struktur dengan menggunakan program Analisis Struktur adalah 1,3.

#### 4.2.1.3 Perbandingan Gaya Geser Gedung Tiap Lantai

Berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 7.8.3, gaya gempa lateral ( $F_i$ ) yang timbul disemua tingkat dapat ditentukan oleh:

$$F_i = C_{vx} \cdot V \text{ dan } C_{vx} = \frac{w_i h_i^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k}$$

$K$  = Eksponen yang terkait dengan perioda struktur sebagai berikut.

- Untuk struktur yang memiliki  $T \leq 0,5$  detik;  $k = 1$
- Untuk struktur yang memiliki  $T \geq 2,5$  detik;  $k = 2$

Untuk struktur yang memiliki  $0,5 < T < 2,5$ ;  $k$  adalah hasil interpolasi berikut cara mendapatkan nilai  $k$ .

$$T_x = 4,312$$

$$T_y = 4,448$$

$$K_x$$

$$K_y$$

$$1 + \frac{(2-1)}{(2,5-0,5)} (4,312 -0,5) = 2,906$$

$$1 + \frac{(2-1)}{(2,5-0,5)} (4,448-0,5) = 2,974$$

Setelah dilakukan perhitungan, didapatkan nilai dari distribusi gaya geser horizontal arah x berdasarkan metode analisis statik ekuivalen.

#### 4.2.1.4 Gaya Geser Analisis Respon Spektrum

Gaya geser lantai merupakan distribusi dari gaya geser dasar yang dibagi pada setiap lantai untuk masing-masing arah gempa. Nilai gaya geser lantai yang didapat dari pemodelan struktur dengan menggunakan program Analisis Struktur dapat dilihat pada Tabel 4.5-4.6.

Tabel 4.5: Gaya geser hasil *output* analisis respon spectrum gempa x.

<b>TABLE: Story Response Seismic X</b>				
<b>Story</b>	<b>Elevation</b>	<b>Location</b>	<b>X-Dir</b>	<b>Y-Dir</b>
	m		kgf	kgf
<i>Roof</i>	140,5	<i>Top</i>	266389,63	79540,57
	137	<i>Bottom</i>	266389,63	79540,57
<i>Floor39</i>	137	<i>Top</i>	535417,63	159525,56
	133,5	<i>Bottom</i>	535417,63	159525,56
<i>Floor38</i>	133,5	<i>Top</i>	778266,6	231382,24
	130	<i>Bottom</i>	778266,6	231382,24
<i>Floor37</i>	130	<i>Top</i>	990933,98	293958,87
	126,5	<i>Bottom</i>	990933,98	293958,87
<i>Floor36</i>	126,5	<i>Top</i>	1171404,87	346710,06
	123	<i>Bottom</i>	1171404,87	346710,06
<i>Floor35</i>	123	<i>Top</i>	1320495,76	389948,87
	119,5	<i>Bottom</i>	1320495,76	389948,87
<i>Floor34</i>	119,5	<i>Top</i>	1441996,56	424886,82
	116	<i>Bottom</i>	1441996,56	424886,82
<i>Floor33</i>	116	<i>Top</i>	1542133,98	453466,62
	112,5	<i>Bottom</i>	1542133,98	453466,62
<i>Floor32</i>	112,5	<i>Top</i>	1628409,57	478001,82
	109	<i>Bottom</i>	1628409,57	478001,82
<i>Floor31</i>	109	<i>Top</i>	1708024,76	500688,59

Tabel 4.5: Lanjutan.

<b>TABLE: Story Response Seismic X</b>				
<b>Story</b>	<b>Elevation</b>	<b>Location</b>	<b>X-Dir</b>	<b>Y-Dir</b>
	m		kgf	kgf
	105,5	<i>Bottom</i>	1708024,76	500688,59
<i>Floor30</i>	105,5	<i>Top</i>	1787631,31	523502,35
	102	<i>Bottom</i>	1787631,31	523502,35
<i>Floor29</i>	102	<i>Top</i>	1869829,13	547183,88
	98,5	<i>Bottom</i>	1869829,13	547183,88
<i>Floor28</i>	98,5	<i>Top</i>	1953265,3	571279,96
	95	<i>Bottom</i>	1953265,3	571279,96
<i>Floor27</i>	95	<i>Top</i>	2035705,09	595058,17
	91,5	<i>Bottom</i>	2035705,09	595058,17
<i>Floor26</i>	91,5	<i>Top</i>	2114410,75	617651,29
	88	<i>Bottom</i>	2114410,75	617651,29
<i>Floor25</i>	88	<i>Top</i>	2187309,72	638418,8
	84,5	<i>Bottom</i>	2187309,72	638418,8
<i>Floor24</i>	84,5	<i>Top</i>	2253753,48	657177,83
	81	<i>Bottom</i>	2253753,48	657177,83
<i>Floor23</i>	81	<i>Top</i>	2314707,81	674256,5
	77,5	<i>Bottom</i>	2314707,81	674256,5
<i>Floor22</i>	77,5	<i>Top</i>	2372380,33	690372,6
	74	<i>Bottom</i>	2372380,33	690372,6
<i>Floor21</i>	74	<i>Top</i>	2429430,95	706382,67
	70,5	<i>Bottom</i>	2429430,95	706382,67
<i>Floor20</i>	70,5	<i>Top</i>	2488031,33	722984,05
	67	<i>Bottom</i>	2488031,33	722984,05
<i>Floor19</i>	67	<i>Top</i>	2549105,85	740474,82
	63,5	<i>Bottom</i>	2549105,85	740474,82
<i>Floor18</i>	63,5	<i>Top</i>	2612039,57	758662,23
	60	<i>Bottom</i>	2612039,57	758662,23
<i>Floor17</i>	60	<i>Top</i>	2674967,53	776955,45
	56,5	<i>Bottom</i>	2674967,53	776955,45
<i>Floor16</i>	56,5	<i>Top</i>	2735535,74	794606,68
	53	<i>Bottom</i>	2735535,74	794606,68
<i>Floor15</i>	53	<i>Top</i>	2792789,51	811284,48
	49,5	<i>Bottom</i>	2792789,51	811284,48
<i>Floor14</i>	49,5	<i>Top</i>	2846013,32	826752,42
	46	<i>Bottom</i>	2846013,32	826752,42
<i>Floor13</i>	46	<i>Top</i>	2895280,47	841038,19
	42,5	<i>Bottom</i>	2895280,47	841038,19
<i>Floor12</i>	42,5	<i>Top</i>	2942761,04	854811,3

Tabel 4.5: Lanjutan.

<b>TABLE: Story Response Seismic X</b>				
<b>Story</b>	<b>Elevation</b>	<b>Location</b>	<b>X-Dir</b>	<b>Y-Dir</b>
	m		kgf	kgf
	39	<i>Bottom</i>	2942761,04	854811,3
<i>Floor11</i>	39	<i>Top</i>	2991530,99	869025,22
	35,5	<i>Bottom</i>	2991530,99	869025,22
<i>Floor10</i>	35,5	<i>Top</i>	3044661,66	884633,03
	32	<i>Bottom</i>	3044661,66	884633,03
<i>Floor9</i>	32	<i>Top</i>	3104167,27	902259,78
	28,5	<i>Bottom</i>	3104167,27	902259,78
<i>Floor8</i>	28,5	<i>Top</i>	3170137,14	921933,68
	25	<i>Bottom</i>	3170137,14	921933,68
<i>Floor7</i>	25	<i>Top</i>	3240358,95	942972,06
	21,5	<i>Bottom</i>	3240358,95	942972,06
<i>Floor6</i>	21,5	<i>Top</i>	3310583,91	964067,59
	18	<i>Bottom</i>	3310583,91	964067,59
<i>Floor5</i>	18	<i>Top</i>	3375370,52	983552,38
	14,5	<i>Bottom</i>	3375370,52	983552,38
<i>Floor4</i>	14,5	<i>Top</i>	3429288,29	999769,49
	11	<i>Bottom</i>	3429288,29	999769,49
<i>Floor3</i>	11	<i>Top</i>	3468229,27	1011472,89
	7,5	<i>Bottom</i>	3468229,27	1011472,89
<i>Floor2</i>	7,5	<i>Top</i>	3490639,58	1018197,93
	4	<i>Bottom</i>	3490639,58	1018197,93
<i>Floor1</i>	4	<i>Top</i>	3498711,06	1020614,17
	0	<i>Bottom</i>	3498711,06	1020614,17
<i>Basement</i>	0	<i>Top</i>	0	0
		<i>Bottom</i>	0	0

Tabel 4.6: Gaya geser hasil *output* analisis respon spektrum gempa y.

<b>TABLE: Story Response Seismic Y</b>				
<b>Story</b>	<b>Elevation</b>	<b>Location</b>	<b>X-Dir</b>	<b>Y-Dir</b>
	m		kgf	kgf
<i>Roof</i>	140,5	<i>Top</i>	79914,72	265131,64
	137	<i>Bottom</i>	79914,72	265131,64
<i>Floor39</i>	137	<i>Top</i>	160620,92	531744,65
	133,5	<i>Bottom</i>	160620,92	531744,65
<i>Floor38</i>	133,5	<i>Top</i>	233473,63	771263,63
	130	<i>Bottom</i>	233473,63	771263,63
<i>Floor37</i>	130	<i>Top</i>	297272,11	979849,57

Tabel 4.6: Lanjutan.

<b>TABLE: Story Response Seismic Y</b>				
<b>Story</b>	<b>Elevation</b>	<b>Location</b>	<b>X-Dir</b>	<b>Y-Dir</b>
	m		kgf	kgf
	126,5	<i>Bottom</i>	297272,11	979849,57
<i>Floor36</i>	126,5	<i>Top</i>	351411,91	1155684,5
	123	<i>Bottom</i>	351411,91	1155684,5
<i>Floor35</i>	123	<i>Top</i>	396137,96	1299811,89
	119,5	<i>Bottom</i>	396137,96	1299811,89
<i>Floor34</i>	119,5	<i>Top</i>	432587,21	1416270,16
	116	<i>Bottom</i>	432587,21	1416270,16
<i>Floor33</i>	116	<i>Top</i>	462627,62	1511534,85
	112,5	<i>Bottom</i>	462627,62	1511534,85
<i>Floor32</i>	112,5	<i>Top</i>	488509,59	1593317,73
	109	<i>Bottom</i>	488509,59	1593317,73
<i>Floor31</i>	109	<i>Top</i>	512393,5	1668939,29
	105,5	<i>Bottom</i>	512393,5	1668939,29
<i>Floor30</i>	105,5	<i>Top</i>	536274,81	1744984,12
	102	<i>Bottom</i>	536274,81	1744984,12
<i>Floor29</i>	102	<i>Top</i>	560933,49	1823921,46
	98,5	<i>Bottom</i>	560933,49	1823921,46
<i>Floor28</i>	98,5	<i>Top</i>	585963,66	1904240,66
	95	<i>Bottom</i>	585963,66	1904240,66
<i>Floor27</i>	95	<i>Top</i>	610694,93	1983500,28
	91,5	<i>Bottom</i>	610694,93	1983500,28
<i>Floor26</i>	91,5	<i>Top</i>	634305,98	2058809,65
	88	<i>Bottom</i>	634305,98	2058809,65
<i>Floor25</i>	88	<i>Top</i>	656175,08	2128033,76
	84,5	<i>Bottom</i>	656175,08	2128033,76
<i>Floor24</i>	84,5	<i>Top</i>	676107,66	2190563,01
	81	<i>Bottom</i>	676107,66	2190563,01
<i>Floor23</i>	81	<i>Top</i>	694393,47	2247491,11
	77,5	<i>Bottom</i>	694393,47	2247491,11
<i>Floor22</i>	77,5	<i>Top</i>	711694,75	2301210,73
	74	<i>Bottom</i>	711694,75	2301210,73
<i>Floor21</i>	74	<i>Top</i>	728809,47	2354576,91
	70,5	<i>Bottom</i>	728809,47	2354576,91
<i>Floor20</i>	70,5	<i>Top</i>	746389,11	2409914,09
	67	<i>Bottom</i>	746389,11	2409914,09
<i>Floor19</i>	67	<i>Top</i>	764710,97	2468215,86
	63,5	<i>Bottom</i>	764710,97	2468215,86
<i>Floor18</i>	63,5	<i>Top</i>	783590,57	2528839,71



Tabel 4.6: Lanjutan.

<b>TABLE: Story Response Seismic Y</b>				
<b>Story</b>	<b>Elevation</b>	<b>Location</b>	<b>X-Dir</b>	<b>Y-Dir</b>
	m		kgf	kgf
	60	<i>Bottom</i>	783590,57	2528839,71
<i>Floor17</i>	60	<i>Top</i>	802468,44	2589816,29
	56,5	<i>Bottom</i>	802468,44	2589816,29
<i>Floor16</i>	56,5	<i>Top</i>	820638,41	2648652,95
	53	<i>Bottom</i>	820638,41	2648652,95
<i>Floor15</i>	53	<i>Top</i>	837814,08	2704244,85
	49,5	<i>Bottom</i>	837814,08	2704244,85
<i>Floor14</i>	49,5	<i>Top</i>	853780,79	2755803,95
	46	<i>Bottom</i>	853780,79	2755803,95
<i>Floor13</i>	46	<i>Top</i>	868560,53	2803422,53
	42,5	<i>Bottom</i>	868560,53	2803422,53
<i>Floor12</i>	42,5	<i>Top</i>	882804,32	2849332,28
	39	<i>Bottom</i>	882804,32	2849332,28
<i>Floor11</i>	39	<i>Top</i>	897434,9	2896711,35
	35,5	<i>Bottom</i>	897434,9	2896711,35
<i>Floor10</i>	35,5	<i>Top</i>	913373,67	2948736,7
	32	<i>Bottom</i>	913373,67	2948736,7
<i>Floor9</i>	32	<i>Top</i>	931224,87	3007491,73
	28,5	<i>Bottom</i>	931224,87	3007491,73
<i>Floor8</i>	28,5	<i>Top</i>	951015,29	3073070,49
	25	<i>Bottom</i>	951015,29	3073070,49
<i>Floor7</i>	25	<i>Top</i>	972081,26	3143197,47
	21,5	<i>Bottom</i>	972081,26	3143197,47
<i>Floor6</i>	21,5	<i>Top</i>	993148,18	3213514,97
	18	<i>Bottom</i>	993148,18	3213514,97
<i>Floor5</i>	18	<i>Top</i>	1012583,63	3278463,38
	14,5	<i>Bottom</i>	1012583,63	3278463,38
<i>Floor4</i>	14,5	<i>Top</i>	1028758,52	3332519,69
	11	<i>Bottom</i>	1028758,52	3332519,69
<i>Floor3</i>	11	<i>Top</i>	1040440,5	3371530,47
	7,5	<i>Bottom</i>	1040440,5	3371530,47
<i>Floor2</i>	7,5	<i>Top</i>	1047163,41	3393946,97
	4	<i>Bottom</i>	1047163,41	3393946,97
<i>Floor1</i>	4	<i>Top</i>	1049584,79	3402000,99
	0	<i>Bottom</i>	1049584,79	3402000,99
<i>Basement</i>	0	<i>Top</i>	0	0
		<i>Bottom</i>	0	0

#### 4.2.1.5 Nilai Simpangan

Simpangan antar lantai merupakan selisih dari nilai defleksi gedung antara lantai *i* dengan lantai di bawahnya. Berdasarkan peraturan SNI 1726:2012, kontrol simpangan antar lantai hanya terdapat satu kinerja batas, yaitu kinerja batas ultimit. Simpangan antar lantai tingkat desain tidak boleh melebihi simpangan antar lantai ijin seperti yang terdapat pada Tabel 2.15 yang dikalikan dengan nilai faktor redundansi. Tabel 4.7-4.8 merupakan hasil nilai simpangan antar lantai untuk Model 1.

Tabel 4.7: Nilai simpangan gedung Model 1 akibat gempa x, pada kinerja batas ultimit berdasarkan SNI 1726-2012.

Tingkat	h (cm)	Perpindahan Elastis ( $\delta_e$ )		Perpindahan Total ( $\delta_e * C_d$ )/ $I_e$		Simpangan Antar Lantai ( $\Delta$ )		Syarat $\Delta a/\rho$	Cek X	Cek Y
		X	Y	X	Y	X	Y			
		(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)		
40	350	10,140	3,162	55,767	17,393	0,384	0,141	5,385	OK	OK
39	350	10,070	3,137	55,383	17,252	0,446	0,159	5,385	OK	OK
38	350	9,989	3,108	54,937	17,093	0,526	0,183	5,385	OK	OK
37	350	9,893	3,075	54,412	16,910	0,612	0,209	5,385	OK	OK
36	350	9,782	3,037	53,800	16,701	0,698	0,234	5,385	OK	OK
35	350	9,655	2,994	53,102	16,467	0,782	0,260	5,385	OK	OK
34	350	9,513	2,947	52,320	16,207	0,862	0,283	5,385	OK	OK
33	350	9,356	2,895	51,457	15,924	0,937	0,305	5,385	OK	OK
32	350	9,186	2,840	50,520	15,619	1,006	0,326	5,385	OK	OK
31	350	9,003	2,781	49,514	15,293	1,067	0,344	5,385	OK	OK
30	350	8,809	2,718	48,447	14,949	1,109	0,356	5,385	OK	OK
29	350	8,607	2,653	47,338	14,593	1,163	0,372	5,385	OK	OK
28	350	8,396	2,586	46,175	14,220	1,219	0,388	5,385	OK	OK
27	350	8,174	2,515	44,956	13,832	1,275	0,405	5,385	OK	OK
26	350	7,942	2,441	43,681	13,427	1,332	0,421	5,385	OK	OK
25	350	7,700	2,365	42,349	13,006	1,387	0,437	5,385	OK	OK
24	350	7,448	2,285	40,962	12,569	1,441	0,453	5,385	OK	OK
23	350	7,186	2,203	39,521	12,117	1,493	0,468	5,385	OK	OK
22	350	6,914	2,118	38,029	11,649	1,543	0,482	5,385	OK	OK
21	350	6,634	2,030	36,485	11,167	1,592	0,496	5,385	OK	OK
20	350	6,344	1,940	34,893	10,671	1,639	0,509	5,385	OK	OK
19	350	6,046	1,848	33,254	10,162	1,682	0,522	5,385	OK	OK
18	350	5,740	1,753	31,572	9,640	1,722	0,532	5,385	OK	OK

Tabel 4.7: Lanjutan.

Tingkat	h (cm)	Perpindahan Elastis ( $\delta_e$ )		Perpindahan Total ( $\delta_e \cdot C_d$ )/ $I_e$		Simpangan Antar Lantai ( $\Delta$ )		Syarat $\Delta a/\rho$ (cm)	Cek X	Cek Y
		X (cm)	Y (cm)	X (cm)	Y (cm)	X (cm)	Y (cm)			
17	350	5,427	1,656	29,850	9,107	1,753	0,542	5,385	OK	OK
16	350	5,109	1,557	28,097	8,566	1,773	0,547	5,385	OK	OK
15	350	4,786	1,458	26,324	8,018	1,775	0,547	5,385	OK	OK
14	350	4,463	1,358	24,549	7,471	1,800	0,554	5,385	OK	OK
13	350	4,136	1,258	22,749	6,917	1,829	0,562	5,385	OK	OK
12	350	3,804	1,156	20,920	6,355	1,862	0,571	5,385	OK	OK
11	350	3,465	1,052	19,059	5,784	1,897	0,581	5,385	OK	OK
10	350	3,120	0,946	17,162	5,204	1,931	0,591	5,385	OK	OK
9	350	2,769	0,839	15,231	4,613	1,962	0,599	5,385	OK	OK
8	350	2,413	0,730	13,269	4,014	1,987	0,605	5,385	OK	OK
7	350	2,051	0,620	11,282	3,409	1,998	0,608	5,385	OK	OK
6	350	1,688	0,509	9,285	2,801	1,986	0,603	5,385	OK	OK
5	350	1,327	0,400	7,299	2,198	1,937	0,586	5,385	OK	OK
4	350	0,975	0,293	5,361	1,612	1,828	0,552	5,385	OK	OK
3	350	0,642	0,193	3,533	1,060	1,622	0,488	5,385	OK	OK
2	350	0,348	0,104	1,911	0,572	1,258	0,377	5,385	OK	OK
1	400	0,119	0,035	0,653	0,195	0,653	0,195	6,154	OK	OK

Tabel 4.8: Nilai simpangan gedung Model 1 akibat gempa y, pada kinerja batas ultimit berdasarkan SNI 1726-2012.

Tingkat	h (cm)	Perpindahan Elastis ( $\delta_e$ )		Perpindahan Total ( $\delta_e \cdot C_d$ )/ $I_e$		Simpangan Antar Lantai ( $\Delta$ )		Syarat $\Delta a/\rho$ (cm)	Cek X	Cek Y
		X (cm)	Y (cm)	X (cm)	Y (cm)	X (cm)	Y (cm)			
40	350	3,042	10,541	16,730	57,974	0,116	0,468	5,385	OK	OK
39	350	3,021	10,456	16,614	57,506	0,134	0,531	5,385	OK	OK
38	350	2,997	10,359	16,481	56,976	0,158	0,609	5,385	OK	OK
37	350	2,968	10,248	16,323	56,366	0,183	0,695	5,385	OK	OK
36	350	2,935	10,122	16,140	55,671	0,210	0,782	5,385	OK	OK
35	350	2,896	9,980	15,930	54,889	0,235	0,865	5,385	OK	OK
34	350	2,854	9,823	15,695	54,025	0,258	0,944	5,385	OK	OK
33	350	2,807	9,651	15,437	53,081	0,281	1,019	5,385	OK	OK
32	350	2,756	9,466	15,156	52,061	0,302	1,086	5,385	OK	OK
31	350	2,701	9,268	14,854	50,975	0,320	1,146	5,385	OK	OK
30	350	2,643	9,060	14,534	49,829	0,333	1,189	5,385	OK	OK

Tabel 4.8: Lanjutan.

Tingkat	h (cm)	Perpindahan Elastis ( $\delta_e$ )		Perpindahan Total ( $\delta_e \cdot C_d$ )/ $I_e$		Simpangan Antar Lantai ( $\Delta$ )		Syarat $\Delta a/\rho$	Cek	
		X (cm)	Y (cm)	X (cm)	Y (cm)	X (cm)	Y (cm)		X	Y
29	350	2,582	8,844	14,201	48,640	0,349	1,240	5,385	OK	OK
28	350	2,519	8,618	13,852	47,401	0,366	1,294	5,385	OK	OK
27	350	2,452	8,383	13,487	46,107	0,383	1,349	5,385	OK	OK
26	350	2,383	8,138	13,104	44,757	0,399	1,404	5,385	OK	OK
25	350	2,310	7,882	12,704	43,353	0,416	1,456	5,385	OK	OK
24	350	2,234	7,618	12,288	41,897	0,432	1,508	5,385	OK	OK
23	350	2,156	7,343	11,856	40,389	0,448	1,559	5,385	OK	OK
22	350	2,074	7,060	11,408	38,830	0,463	1,607	5,385	OK	OK
21	350	1,990	6,768	10,946	37,223	0,478	1,653	5,385	OK	OK
20	350	1,903	6,467	10,468	35,570	0,492	1,698	5,385	OK	OK
19	350	1,814	6,159	9,976	33,872	0,505	1,740	5,385	OK	OK
18	350	1,722	5,842	9,471	32,133	0,516	1,776	5,385	OK	OK
17	350	1,628	5,519	8,955	30,357	0,526	1,805	5,385	OK	OK
16	350	1,533	5,191	8,429	28,552	0,532	1,824	5,385	OK	OK
15	350	1,436	4,860	7,897	26,728	0,532	1,824	5,385	OK	OK
14	350	1,339	4,528	7,365	24,903	0,540	1,846	5,385	OK	OK
13	350	1,241	4,192	6,824	23,058	0,548	1,873	5,385	OK	OK
12	350	1,141	3,852	6,276	21,184	0,559	1,904	5,385	OK	OK
11	350	1,040	3,506	5,717	19,280	0,569	1,936	5,385	OK	OK
10	350	0,936	3,154	5,149	17,344	0,579	1,968	5,385	OK	OK
9	350	0,831	2,796	4,569	15,376	0,589	1,997	5,385	OK	OK
8	350	0,724	2,433	3,980	13,380	0,596	2,017	5,385	OK	OK
7	350	0,615	2,066	3,385	11,362	0,600	2,025	5,385	OK	OK
6	350	0,506	1,698	2,785	9,337	0,596	2,009	5,385	OK	OK
5	350	0,398	1,332	2,190	7,328	0,581	1,955	5,385	OK	OK
4	350	0,292	0,977	1,608	5,374	0,548	1,840	5,385	OK	OK
3	350	0,193	0,642	1,060	3,533	0,487	1,627	5,385	OK	OK
2	350	0,104	0,347	0,573	1,906	0,377	1,257	5,385	OK	OK
1	400	0,036	0,118	0,196	0,650	0,196	0,650	6,154	OK	OK

Pada Tabel 4.7-4.8 diatas dapat dilihat besarnya simpangan yang terjadi akibat gempa arah x maupun y. Besar simpangan arah sumbu x dan y berbeda, hal ini diakibatkan oleh sistem penahan gaya lateral yang terpasang hanya pada arah tertentu. Arah utama pengaruh gempa rencana harus ditentukan sedemikian

rupa sehingga memberi pengaruh terbesar terhadap unsur-unsur sub sistem dan sistem struktur gedung secara keseluruhan. Pengaruh pembebanan gempa dalam arah utama yang ditentukan harus dianggap efektif 100% dan harus dianggap terjadi bersamaan dengan pembebanan tadi, tetapi dengan efektifitas 30%.

#### 4.2.1.6 Pengaruh Efek P-Delta

Berdasarkan SNI 1726:2012 efek P-delta harus diperhitungkan untuk struktur gedung yang memikul beban gempa. Akan tetapi, efek P-delta dapat diabaikan jika nilai *stability ratio* lebih kecil dari 0,1. Kontrol pengaruh P-delta untuk arah x dan y tertera pada Tabel 4.9 dan 4.10.

Tabel 4.9: Kontrol P-delta pada arah x untuk Model 1.

Lantai	Tinggi (m)	Story Drift (m)	Gaya Geser Seismik, $V_x$ (kN)	Beban Vertikal Total (kN)	Beban Vertikal Kumulatif (kN)	Stability Ratio ( $\theta_x$ )	Cek X
Roof	140,5	0,0038	2612,3899	5440,565	5440,565	0,00001	OK
Floor39	137	0,0045	5250,6533	59391,187	59391,187	0,00007	OK
Floor38	133,5	0,0053	7632,1882	59391,187	59391,187	0,00006	OK
Floor37	130	0,0061	9717,7427	59391,187	59391,187	0,00005	OK
Floor36	126,5	0,0070	11487,5576	59391,187	59391,187	0,00005	OK
Floor35	123	0,0078	12949,6397	59391,187	59391,187	0,00005	OK
Floor34	119,5	0,0086	14141,1556	59391,187	59391,187	0,00006	OK
Floor33	116	0,0094	15123,1682	59391,187	59391,187	0,00006	OK
Floor32	112,5	0,0101	15969,2427	59391,187	59391,187	0,00006	OK
Floor31	109	0,0107	16750,0010	59391,187	59391,187	0,00006	OK
Floor30	105,5	0,0111	17530,6746	60271,943	60271,943	0,00007	OK
Floor29	102	0,0116	18336,7598	61004,252	61004,252	0,00007	OK
Floor28	98,5	0,0122	19154,9892	61004,252	61004,252	0,00007	OK
Floor27	95	0,0128	19963,4473	61004,252	61004,252	0,00007	OK
Floor26	91,5	0,0133	20735,2862	61004,252	61004,252	0,00008	OK
Floor25	88	0,0139	21450,1809	61004,252	61004,252	0,00008	OK
Floor24	84,5	0,0144	22101,7716	61004,252	61004,252	0,00009	OK
Floor23	81	0,0149	22699,5293	61004,252	61004,252	0,00009	OK
Floor22	77,5	0,0154	23265,1036	61004,252	61004,252	0,00009	OK
Floor21	74	0,0159	23824,5790	61004,252	61004,252	0,00010	OK
Story20	70,5	0,0164	24399,2524	61004,252	61004,252	0,00011	OK
Floor19	67	0,0168	24998,1889	61004,252	61004,252	0,00011	OK

Tabel 4.9: Lanjutan.

Lantai	Tinggi (m)	Story Drift (m)	Gaya Geser Seismik, $V_x$ (kN)	Beban Vertikal Total (kN)	Beban Vertikal Kumulatif (kN)	Stability Ratio ( $\theta_x$ )	Cek X
Floor18	63,5	0,0172	25615,3578	61004,252	61004,252	0,00012	OK
Floor17	60	0,0175	26232,4703	61004,252	61004,252	0,00012	OK
Floor16	56,5	0,0177	26826,4416	61004,252	61004,252	0,00013	OK
Floor15	53	0,0178	27387,9092	61925,587	61925,587	0,00014	OK
Floor14	49,5	0,0180	27909,8565	62704,112	62704,112	0,00015	OK
Floor13	46	0,0183	28393,0022	62704,112	62704,112	0,00016	OK
Floor12	42,5	0,0186	28858,6276	62704,112	62704,112	0,00017	OK
Floor11	39	0,0190	29336,8974	62704,112	62704,112	0,00019	OK
Floor10	35,5	0,0193	29857,9313	62704,112	62704,112	0,00021	OK
Floor9	32	0,0196	30441,4820	62704,112	62704,112	0,00023	OK
Floor8	28,5	0,0199	31088,4254	62704,112	62704,112	0,00026	OK
Floor7	25	0,0200	31777,0661	62704,112	62704,112	0,00029	OK
Floor6	21,5	0,0199	32465,7377	62704,112	62704,112	0,00032	OK
Floor5	18	0,0194	33101,0773	62704,112	62704,112	0,00037	OK
Floor4	14,5	0,0183	33629,8300	62704,112	62704,112	0,00043	OK
Floor3	11	0,0162	34011,7106	62704,112	62704,112	0,00049	OK
Floor2	7,5	0,0126	34231,4806	62704,112	62704,112	0,00056	OK
Floor1	4	0,0065	34310,6348	63632,165	63632,165	0,00055	OK

Tabel 4.10: Kontrol P-delta pada arah y untuk Model 1.

Lantai	Tinggi (m)	Story Drift (m)	Gaya Geser Seismik, $V_x$ (kN)	Beban Vertikal Total (kN)	Beban Vertikal Kumulatif (kN)	Stability Ratio ( $\theta_x$ )	Cek X
Roof	140,5	0,0047	2600,053	5440,565	5440,565	0,00001	OK
Floor39	137	0,0053	5214,634	59391,187	59391,187	0,00008	OK
Floor38	133,5	0,0061	7563,512	59391,187	59391,187	0,00007	OK
Floor37	130	0,0070	9609,042	59391,187	59391,187	0,00006	OK
Floor36	126,5	0,0078	11333,393	59391,187	59391,187	0,00006	OK
Floor35	123	0,0086	12746,800	59391,187	59391,187	0,00006	OK
Floor34	119,5	0,0094	13888,866	59391,187	59391,187	0,00006	OK
Floor33	116	0,0102	14823,093	59391,187	59391,187	0,00006	OK
Floor32	112,5	0,0109	15625,109	59391,187	59391,187	0,00007	OK
Floor31	109	0,0115	16366,703	59391,187	59391,187	0,00007	OK
Floor30	105,5	0,0119	17112,449	60271,943	60271,943	0,00007	OK
Floor29	102	0,0124	17886,559	61004,252	61004,252	0,00008	OK

Tabel 4.10: Lanjutan.

Lantai	Tinggi (m)	Story Drift (m)	Gaya Geser Seismik, $V_x$ (kN)	Beban Vertikal Total (kN)	Beban Vertikal Kumulatif (kN)	Stability Ratio ( $\theta_x$ )	Cek X
Floor28	98,5	0,0129	18674,222	61004,252	61004,252	0,00008	OK
Floor27	95	0,0135	19451,493	61004,252	61004,252	0,00008	OK
Floor26	91,5	0,0140	20190,026	61004,252	61004,252	0,00008	OK
Floor25	88	0,0146	20868,882	61004,252	61004,252	0,00009	OK
Floor24	84,5	0,0151	21482,085	61004,252	61004,252	0,00009	OK
Floor23	81	0,0156	22040,359	61004,252	61004,252	0,00010	OK
Floor22	77,5	0,0161	22567,168	61004,252	61004,252	0,00010	OK
Floor21	74	0,0165	23090,512	61004,252	61004,252	0,00011	OK
Story20	70,5	0,0170	23633,184	61004,252	61004,252	0,00011	OK
Floor19	67	0,0174	24204,929	61004,252	61004,252	0,00012	OK
Floor18	63,5	0,0178	24799,446	61004,252	61004,252	0,00013	OK
Floor17	60	0,0181	25397,422	61004,252	61004,252	0,00013	OK
Floor16	56,5	0,0182	25974,412	61004,252	61004,252	0,00014	OK
Floor15	53	0,0182	26519,583	61925,587	61925,587	0,00015	OK
Floor14	49,5	0,0185	27025,205	62704,112	62704,112	0,00016	OK
Floor13	46	0,0187	27492,184	62704,112	62704,112	0,00017	OK
Floor12	42,5	0,0190	27942,404	62704,112	62704,112	0,00018	OK
Floor11	39	0,0194	28407,034	62704,112	62704,112	0,00020	OK
Floor10	35,5	0,0197	28917,229	62704,112	62704,112	0,00022	OK
Floor9	32	0,0200	29493,419	62704,112	62704,112	0,00024	OK
Floor8	28,5	0,0202	30136,527	62704,112	62704,112	0,00027	OK
Floor7	25	0,0203	30824,237	62704,112	62704,112	0,00030	OK
Floor6	21,5	0,0201	31513,817	62704,112	62704,112	0,00034	OK
Floor5	18	0,0195	32150,743	62704,112	62704,112	0,00039	OK
Floor4	14,5	0,0184	32680,854	62704,112	62704,112	0,00044	OK
Floor3	11	0,0163	33063,419	62704,112	62704,112	0,00051	OK
Floor2	7,5	0,0126	33283,250	62704,112	62704,112	0,00057	OK
Floor1	4	0,0065	33362,233	63632,165	63632,165	0,00056	OK

Dari Tabel 4.9 dan 4.10 diketahui bahwa tidak ada nilai *stability ratio* yang lebih besar dari 0,1. Sehingga efek P-delta untuk Model 1 dapat diabaikan.

#### 4.2.1.7 Kekakuan Tingkat Gedung

Berdasarkan SNI 1726:2012 kekakuan tingkat lunak (*soft story*) didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat dimana kekakuan lateralnya kurang dari 70 persen kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80 persen kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya. Untuk itu perlu dilakukan pemeriksaan terhadap struktur gedung apakah memiliki ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak (*soft story*) atau tidak. Kontrol ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak pada arah x dan y untuk Model 1 tertera pada Tabel 4.11 dan 4.12.

Tabel 4.11: Distribusi kekakuan tingkat bangunan arah x bangunan.

Tingkat	Tinggi tingkat (cm)	Kekakuan Total X	Ki/Ki*100 %	Rata-Rata Kekakuan 3 tingkat (Kr)	Ki/Kr %
		Arah X			
40	14050	293538017,3			
39	13700	489448033,5	167%	457280983,3	
38	13350	588856899	120%	571787171,4	129%
37	13000	637056581,8	108%	628654933,8	111%
36	12650	660051320,7	104%	655881503,2	105%
35	12300	670536607,2	102%	668571051,1	102%
34	11950	675125225,5	101%	674533493,3	101%
33	11600	677938647,1	100%	678437478,4	101%
32	11250	682248562,7	101%	683806895,9	101%
31	10900	691233478,1	101%	694483226,7	101%
30	10550	709967639,5	103%	707046062,4	102%
29	10200	719937069,6	101%	719208328,3	102%
28	9850	727720276	101%	727201035,3	101%
27	9500	733945760,4	101%	733503864,9	101%
26	9150	738845558,3	101%	738441084,6	101%
25	8800	742531935,3	100%	742200786,5	101%
24	8450	745224866	100%	745024547,5	100%
23	8100	747316841,2	100%	747293533,6	100%
22	7750	749338893,6	100%	749509726,1	100%
21	7400	751873443,6	100%	752226224,6	100%
20	7050	755466336,6	100%	755980570	100%
19	6700	760601929,8	101%	761291171	101%
18	6350	767805246,6	101%	768778333,4	101%
17	6000	777927824	101%	779455874,7	101%
16	5650	792634553,5	102%	794971975,6	102%



Tabel 4.11: Lanjutan.

Tingkat	Tinggi tingkat (cm)	Kekakuan Total X	Ki/Ki*100 %	Rata-Rata Kekakuan 3 tingkat (Kr)	Ki/Kr %
		Arah X			
15	5300	814353549,2	103%	810518295	102%
14	4950	824566782,3	101%	823582193,5	102%
13	4600	831826248,9	101%	831294694,4	101%
12	4250	837491052	101%	837398751,4	101%
11	3900	842878953,3	101%	843196297,4	101%
10	3550	849218886,9	101%	849947275,9	101%
9	3200	857743987,4	101%	858942245,8	101%
8	2850	869863863,1	101%	871727742,7	101%
7	2500	887575377,5	102%	890598848,2	102%
6	2150	914357304	103%	919690962,9	103%
5	1800	957140207,2	105%	967582852,7	104%
4	1450	1031251047	108%	1054814711	107%
3	1100	1176052880	114%	1244476729	111%
2	750	1526126259	130%	1882554544	123%
1	400	2945484493	193%		156%

Tabel 4.12: Distribusi kekakuan tingkat pada arah y bangunan.

Tingkat	Tinggi tingkat (cm)	Kekakuan Total Y	Ki/Ki*100 %	Rata-Rata Kekakuan 3 tingkat (Kr)	Ki/Kr %
		Arah Y			
40	14050	250488995,3			
39	13700	427647706,9	171%	400819028,1	
38	13350	524320382,1	123%	508815514,6	131%
37	13000	574478454,8	110%	566270327	113%
36	12650	600012144	104%	595688362,7	106%
35	12300	612574489,4	102%	610407236,7	103%
34	11950	618635076,6	101%	617859744,2	101%
33	11600	622369666,6	101%	622690305,4	101%
32	11250	627066173	101%	628401388,4	101%
31	10900	635768325,6	101%	638606961,3	101%
30	10550	652986385,4	103%	650630445	102%
29	10200	663136624	102%	662562010,9	102%
28	9850	671563023,4	101%	671116713,5	101%
27	9500	678650493,2	101%	678227965,8	101%
26	9150	684470380,7	101%	684058118,2	101%
25	8800	689053480,7	101%	688705874,8	101%

Tabel 4.12: *Lanjutan.*

Tingkat	Tinggi tingkat (cm)	Kekakuan Total Y	Ki/Ki*100 %	Rata-Rata Kekakuan 3 tingkat (Kr)	Ki/Kr %
		Arah Y			
24	8450	692593763,1	101%	692380791,6	101%
23	8100	695495130,9	100%	695469534,8	100%
22	7750	698319710,4	100%	698498901,9	100%
21	7400	701681864,4	100%	702047470,3	100%
20	7050	706140836,3	101%	706660365,8	101%
19	6700	712158396,9	101%	712828639,8	101%
18	6350	720186686,2	101%	721093800,5	101%
17	6000	730936318,5	101%	732318285,8	101%
16	5650	745831852,6	102%	747878799,1	102%
15	5300	766868226,2	103%	763443270	103%
14	4950	777629731	101%	776741363,4	102%
13	4600	785726133,1	101%	785256806,1	101%
12	4250	792414554,3	101%	792367178,6	101%
11	3900	798960848,6	101%	799316028,3	101%
10	3550	806572682	101%	807332529,4	101%
9	3200	816464057,6	101%	817682217,4	101%
8	2850	830009912,6	102%	831873444,6	102%
7	2500	849146363,8	102%	852136873,3	102%
6	2150	877254343,5	103%	882500340	103%
5	1800	921100312,7	105%	931348814,1	104%
4	1450	995691786,1	108%	1018804901	107%
3	1100	1139622604	114%	1206750918	112%
2	750	1484938363	130%	1835292684	123%
1	400	2881317086	194%		157%

Dari hasil perhitungan kekakuan tingkat arah X dan juga arah Y yang terdapat pada Tabel 4.8 dan 4.9 menunjukkan tingkat ke-1 sebesar 194% dari kekakuan tingkat ke-2 dan hal ini memenuhi syarat minimum yaitu 70%, terhadap syarat kedua yaitu syarat 80% juga terpenuhi karena kekakuan tingkat ke-1 sebesar 157% dari rata-rata kekakuan 3 tingkat di atasnya. Maka dengan demikian dapat dikatakan gedung yang direncanakan pada Model 1 ini tidak mengalami *soft storey* karena kekakuan lateralnya  $> 70\%$  kekakuan lateral tingkat di atasnya, atau  $> 80\%$  kekakuan lateral rata-rata 3-tingkat di atasnya.

## 4.2.2 Model 2

### 4.2.2.1 Gaya Geser

Pada dasarnya nilai gaya geser pada gedung yang simetris akibat arah X maupun arah Y tetap sama. Tetapi, nilai gaya geser yang dihasilkan oleh respon spektrum program analisa struktur sangat teliti sehingga arah X dan arah Y tidak sama walaupun bangunannya simetris. Adapun bangunan yang direncanakan menggunakan struktur rangka pemikul momen khusus dan *outrigger* ini memiliki Inersia arah X dan arah Y yang berlainan. Oleh karena itu, hasil perioda yang diperoleh terhadap arah X dan arah Y tidak sama. Ketentuan ini berlaku pada gedung setiap model.

Dari hasil analisis respon spektrum yang menggunakan program Analisis Struktur diperoleh nilai gaya geser dasar (V) berdasarkan SNI 1726-2012 yang disajikan pada Tabel 4.13.

Tabel 4.13: Gaya geser dasar nominal hasil analisis ragam respon spektrum

TABEL: <i>Base Reactions</i>		
<i>OutputCase</i>	FX	FY
<i>Text</i>	Kgf	Kgf
GEMPA X	7317991,14	2212006,16
GEMPA Y	2195337,67	7373253,64

Berikut perhitungan koreksi nilai akhir respon spektrum terhadap respon ragam pertama.

- Gempa Arah X

$$V_{Ix} = C_s \cdot W_t$$

$$V_{Ix} = 0.152 \times 26769191,02$$

$$= 4080814,45 \text{ Kgf (Gaya geser statik ekivalen arah X)}$$

- Gempa Arah Y

$$V_{Iy} = C_s \cdot W_t$$

$$V_{Iy} = 0.152 \times 26769191,02$$

$$= 4080814,45 \text{ Kgf (Gaya geser statik ekivalen arah Y)}$$

Berdasarkan SNI 1726-2012 kontrol faktor skala:

- Arah X

$$V_x = 7317991,14 \text{ Kgf}$$

$$V_{Ix} = 4080814,45 \text{ Kgf}$$

$$\begin{aligned} \text{Faktor Skala} &= \frac{0,85 V_{Ix}}{V_x} \leq 1 \\ &= \frac{0,85 \cdot 4080814,45}{7317991,14} = 0,4740 \end{aligned}$$

- Arah Y

$$V_y = 7373253,64 \text{ Kgf}$$

$$V_{Iy} = 4080814,45 \text{ Kgf}$$

$$\begin{aligned} \text{Faktor Skala} &= \frac{0,85 V_{Iy}}{V_y} \leq 1 \\ &= \frac{0,85 \cdot 4080814,45}{7373253,64} = 0,4704 \end{aligned}$$

Tabel 4.14: Rekapitulasi faktor skala hasil respon spektrum dengan statik ekuivalen masing-masing arah Model 2.

V1 ELF		Vt CQC		Faktor Skala	
Arah x Kgf	Arah y Kgf	Arah x Kgf	Arah y Kgf	Arah x	Arah y
4080814,45	4080814,45	7317991,14	7373253,64	0,4740	0,4704

Karena faktor skala yang didapat untuk masing-masing arah kurang dari 1, maka gaya geser dasar nominal yang didapat dari hasil analisa ragam respon spektrum yang telah dilakukan dapat digunakan tanpa dikalikan dengan faktor

$$\text{skala } \frac{0,85 C_s W}{V_t}.$$

#### 4.2.2.2 Koreksi Faktor Redudansi

Berdasarkan sub subbab 2.9, bahwasanya untuk struktur yang dirancang pada kategori desain seismik D, penggunaan redundansi  $\rho$  harus sama dengan 1,3 kecuali jika satu dari dua kondisi yang ditentukan pada sub subbab 2.9 dipenuhi, dimana redundansi  $\rho$  diijinkan diambil sebesar 1,0. Salah satu kondisi yang menentukan tersebut yaitu masing-masing lantai harus menahan lebih dari 35 persen geser dasar dalam arah yang ditinjau, maka redundansi diijinkan diambil

1,0. Apabila kondisi ini tidak terpenuhi, maka nilai faktor redundansi 1,0 harus diganti dengan redundansi 1,3. Tabel 4.15-4.16 merupakan pengecekan untuk setiap gaya geser pada masing-masing lantainya terhadap nilai redundansi 1,0.

Tabel 4.15: Pengecekan *story shear* dengan 35% *base shear* terhadap redundansi  $\rho$  1,0 untuk Model 2 terhadap gempa x.

Lantai	$V_x$ (kgf)	$V_y$ (kgf)	35 % $V_x$ <i>Base Shear</i>	35 % $V_y$ <i>Base Shear</i>	Kontrol	Kontrol
Roof	613207,17	176579,03	2561296,90	774202,16	NOT OK	NOT OK
Floor39	1232935,34	358113,47	2561296,90	774202,16	NOT OK	NOT OK
Floor38	1774602,98	520282,45	2561296,90	774202,16	NOT OK	NOT OK
Floor37	2237629,41	661962,53	2561296,90	774202,16	NOT OK	NOT OK
Floor36	2624763,24	783252,66	2561296,90	774202,16	OK	OK
Floor35	2940157,10	884463,81	2561296,90	774202,16	OK	OK
Floor34	3190264,68	966400,13	2561296,90	774202,16	OK	OK
Floor33	3383287,72	1030355,42	2561296,90	774202,16	OK	OK
Floor32	3528423,40	1078088,85	2561296,90	774202,16	OK	OK
Floor31	3635025,18	1111775,12	2561296,90	774202,16	OK	OK
Floor30	3713090,78	1134279,39	2561296,90	774202,16	OK	OK
Floor29	3769952,69	1148195,29	2561296,90	774202,16	OK	OK
Floor28	3811093,37	1156164,91	2561296,90	774202,16	OK	OK
Floor27	3841588,63	1161005,28	2561296,90	774202,16	OK	OK
Floor26	3865888,65	1165357,06	2561296,90	774202,16	OK	OK
Floor25	3888313,95	1171675,83	2561296,90	774202,16	OK	OK
Floor24	3913428,83	1181493,23	2561296,90	774202,16	OK	OK
Floor23	3946357,47	1195528,22	2561296,90	774202,16	OK	OK
Floor22	3992633,13	1214325,08	2561296,90	774202,16	OK	OK
Floor21	4057438,44	1238146,36	2561296,90	774202,16	OK	OK
Floor20	4144751,82	1267080,71	2561296,90	774202,16	OK	OK
Floor19	4256610,99	1301160,74	2561296,90	774202,16	OK	OK
Floor18	4392798,67	1340431,83	2561296,90	774202,16	OK	OK
Floor17	4551073,12	1384955,93	2561296,90	774202,16	OK	OK
Floor16	4727839,66	1434755,61	2561296,90	774202,16	OK	OK
Floor15	4921932,90	1490567,49	2561296,90	774202,16	OK	OK
Floor14	5129863,00	1552195,74	2561296,90	774202,16	OK	OK
Floor13	5346099,01	1618315,98	2561296,90	774202,16	OK	OK
Floor12	5567852,31	1687829,45	2561296,90	774202,16	OK	OK
Floor11	5793204,53	1759489,89	2561296,90	774202,16	OK	OK

Tabel 4.15: *Lanjutan.*

Lantai	V <sub>x</sub> (kgf)	V <sub>y</sub> (kgf)	35 % V <sub>x</sub> <i>Base Shear</i>	35 % V <sub>y</sub> <i>Base Shear</i>	Kontrol	Kontrol
<i>Floor10</i>	6019625,52	1831821,47	2561296,90	774202,16	OK	OK
<i>Floor9</i>	6242879,75	1902597,38	2561296,90	774202,16	OK	OK
<i>Floor8</i>	6458612,68	1969518,86	2561296,90	774202,16	OK	OK
<i>Floor7</i>	6661896,36	2030724,36	2561296,90	774202,16	OK	OK
<i>Floor6</i>	6846635,61	2084495,18	2561296,90	774202,16	OK	OK
<i>Floor5</i>	7006625,67	2129473,66	2561296,90	774202,16	OK	OK
<i>Floor4</i>	7136359,47	2164757,69	2561296,90	774202,16	OK	OK
<i>Floor3</i>	7231893,39	2189978,53	2561296,90	774202,16	OK	OK
<i>Floor2</i>	7291689,22	2205371,27	2561296,90	774202,16	OK	OK
<i>Floor1</i>	7317991,14	2212006,16	2561296,90	774202,16	OK	OK

Tabel 4.16: Pengecekan *story shear* dengan 35% *base shear* terhadap redundansi  $\rho$  1,0 untuk Model 2 terhadap gempa y.

Lantai	V <sub>x</sub> (kgf)	V <sub>y</sub> (kgf)	35 % V <sub>x</sub> <i>Base Shear</i>	35 % V <sub>y</sub> <i>Base Shear</i>	Kontrol	Kontrol
<i>Roof</i>	183957,15	588588,77	768368,18	2580638,77	NOT OK	NOT OK
<i>Floor39</i>	369870,55	1193695,35	768368,18	2580638,77	NOT OK	NOT OK
<i>Floor38</i>	532366,42	1734251,26	768368,18	2580638,77	NOT OK	NOT OK
<i>Floor37</i>	671270,58	2206511,79	768368,18	2580638,77	NOT OK	NOT OK
<i>Floor36</i>	787407,57	2610806,73	768368,18	2580638,77	OK	OK
<i>Floor35</i>	882023,16	2948172,63	768368,18	2580638,77	OK	OK
<i>Floor34</i>	957053,39	3221289,99	768368,18	2580638,77	OK	OK
<i>Floor33</i>	1014958,73	3434471,37	768368,18	2580638,77	OK	OK
<i>Floor32</i>	1058498,25	3593580,67	768368,18	2580638,77	OK	OK
<i>Floor31</i>	1090477,91	3705866,69	768368,18	2580638,77	OK	OK
<i>Floor30</i>	1113896,96	3780879,92	768368,18	2580638,77	OK	OK
<i>Floor29</i>	1130955,07	3827265,62	768368,18	2580638,77	OK	OK
<i>Floor28</i>	1143296,93	3853830,66	768368,18	2580638,77	OK	OK
<i>Floor27</i>	1152445,26	3869964,99	768368,18	2580638,77	OK	OK
<i>Floor26</i>	1159735,07	3884470,73	768368,18	2580638,77	OK	OK
<i>Floor25</i>	1166462,48	3905533,01	768368,18	2580638,77	OK	OK
<i>Floor24</i>	1173996,74	3938257,25	768368,18	2580638,77	OK	OK
<i>Floor23</i>	1183875,06	3985039,89	768368,18	2580638,77	OK	OK
<i>Floor22</i>	1197757,38	4047695,25	768368,18	2580638,77	OK	OK
<i>Floor21</i>	1217198,45	4127098,46	768368,18	2580638,77	OK	OK
<i>Floor20</i>	1243391,75	4223544,95	768368,18	2580638,77	OK	OK

Tabel 4.16: *Lanjutan.*

Lantai	V <sub>x</sub> (kgf)	V <sub>y</sub> (kgf)	35 % V <sub>x</sub> Base Shear	35 % V <sub>y</sub> Base Shear	Kontrol	Kontrol
Floor19	1276948,59	4337143,50	768368,18	2580638,77	OK	OK
Floor18	1317803,78	4468045,38	768368,18	2580638,77	OK	OK
Floor17	1365284,82	4616457,03	768368,18	2580638,77	OK	OK
Floor16	1418313,34	4782453,69	768368,18	2580638,77	OK	OK
Floor15	1476539,73	4968490,77	768368,18	2580638,77	OK	OK
Floor14	1538917,07	5173915,47	768368,18	2580638,77	OK	OK
Floor13	1603786,11	5394313,27	768368,18	2580638,77	OK	OK
Floor12	1670310,29	5626021,69	768368,18	2580638,77	OK	OK
Floor11	1737914,12	5864886,57	768368,18	2580638,77	OK	OK
Floor10	1805838,57	6105988,59	768368,18	2580638,77	OK	OK
Floor9	1872813,02	6341905,08	768368,18	2580638,77	OK	OK
Floor8	1937531,14	6564973,63	768368,18	2580638,77	OK	OK
Floor7	1998514,58	6768989,20	768368,18	2580638,77	OK	OK
Floor6	2053934,85	6948222,84	768368,18	2580638,77	OK	OK
Floor5	2101930,57	7098149,05	768368,18	2580638,77	OK	OK
Floor4	2140849,65	7215760,89	768368,18	2580638,77	OK	OK
Floor3	2169509,04	7299829,20	768368,18	2580638,77	OK	OK
Floor2	2187447,31	7351137,66	768368,18	2580638,77	OK	OK
Floor1	2195337,67	7373253,64	768368,18	2580638,77	OK	OK

Dari Tabel 4.15-4.16 diketahui bahwa gaya geser pada lantai 37-40 dengan redundansi 1,0 tidak memenuhi syarat lebih besar dari 35 persen gaya geser dasar. Sehingga nilai faktor redundansi  $\rho$  yang digunakan pada pemodelan struktur dengan menggunakan program Analisis Struktur adalah 1,3.

#### 4.2.2.3 Perbandingan Gaya Geser Gedung Tiap Lantai

Berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 7.8.3, gaya gempa lateral ( $F_i$ ) yang timbul disemua tingkat dapat ditentukan oleh:

$$F_i = C_{vx} \cdot V \text{ dan } C_{vx} = \frac{w_i h_i^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k}$$

$K$  = Eksponen yang terkait dengan perioda struktur sebagai berikut.

- Untuk struktur yang memiliki  $T \leq 0,5$  detik;  $k = 1$
- Untuk struktur yang memiliki  $T \geq 2,5$  detik;  $k = 2$

Untuk struktur yang memiliki  $0,5 < T < 2,5$ ; k adalah hasil interpolasi berikut cara mendapatkan nilai k.

$$T_x = 2,619$$

$$T_y = 2,570$$

$$K_x$$

$$K_y$$

$$1 + \frac{(2-1)}{(2,5-0,5)} (2,619 - 0,5)$$

$$1 + \frac{(2-1)}{(2,5-0,5)} (2,570 - 0,5)$$

$$= 2,059$$

$$= 2,035$$

Setelah dilakukan perhitungan, didapatkan nilai dari distribusi gaya geser horizontal arah x berdasarkan metode analisis statik ekuivalen.

#### 4.2.2.4 Gaya Geser Analisis Respon Spektrum

Gaya geser lantai merupakan distribusi dari gaya geser dasar yang dibagi pada setiap lantai untuk masing-masing arah gempa. Nilai gaya geser lantai yang didapat dari pemodelan struktur dengan menggunakan program Analisis Struktur dapat dilihat pada Tabel 4.17-4.18.

Tabel 4.17: Gaya geser hasil *output* analisis respon spectrum gempa x.

<b>TABLE: Story Response Seismic X</b>				
<b>Story</b>	<b>Elevation</b>	<b>Location</b>	<b>X-Dir</b>	<b>Y-Dir</b>
	m		kgf	kgf
<i>Roof</i>	140,5	<i>Top</i>	613207,17	176579,03
	137	<i>Bottom</i>	613207,17	176579,03
<i>Floor39</i>	137	<i>Top</i>	1232935,34	358113,47
	133,5	<i>Bottom</i>	1232935,34	358113,47
<i>Floor38</i>	133,5	<i>Top</i>	1774602,98	520282,45
	130	<i>Bottom</i>	1774602,98	520282,45
<i>Floor37</i>	130	<i>Top</i>	2237629,41	661962,53
	126,5	<i>Bottom</i>	2237629,41	661962,53
<i>Floor36</i>	126,5	<i>Top</i>	2624763,24	783252,66
	123	<i>Bottom</i>	2624763,24	783252,66
<i>Floor35</i>	123	<i>Top</i>	2940157,1	884463,81
	119,5	<i>Bottom</i>	2940157,1	884463,81
<i>Floor34</i>	119,5	<i>Top</i>	3190264,68	966400,13
	116	<i>Bottom</i>	3190264,68	966400,13



Tabel 4.17: Lanjutan.

<b>TABLE: Story Response Seismic X</b>				
<b>Story</b>	<b>Elevation</b>	<b>Location</b>	<b>X-Dir</b>	<b>Y-Dir</b>
	m		kgf	kgf
<i>Floor33</i>	116	<i>Top</i>	3383287,72	1030355,42
	112,5	<i>Bottom</i>	3383287,72	1030355,42
<i>Floor32</i>	112,5	<i>Top</i>	3528423,4	1078088,85
	109	<i>Bottom</i>	3528423,4	1078088,85
<i>Floor31</i>	109	<i>Top</i>	3635025,18	1111775,12
	105,5	<i>Bottom</i>	3635025,18	1111775,12
<i>Floor30</i>	105,5	<i>Top</i>	3713090,78	1134279,39
	102	<i>Bottom</i>	3713090,78	1134279,39
<i>Floor29</i>	102	<i>Top</i>	3769952,69	1148195,29
	98,5	<i>Bottom</i>	3769952,69	1148195,29
<i>Floor28</i>	98,5	<i>Top</i>	3811093,37	1156164,91
	95	<i>Bottom</i>	3811093,37	1156164,91
<i>Floor27</i>	95	<i>Top</i>	3841588,63	1161005,28
	91,5	<i>Bottom</i>	3841588,63	1161005,28
<i>Floor26</i>	91,5	<i>Top</i>	3865888,65	1165357,06
	88	<i>Bottom</i>	3865888,65	1165357,06
<i>Floor25</i>	88	<i>Top</i>	3888313,95	1171675,83
	84,5	<i>Bottom</i>	3888313,95	1171675,83
<i>Floor24</i>	84,5	<i>Top</i>	3913428,83	1181493,23
	81	<i>Bottom</i>	3913428,83	1181493,23
<i>Floor23</i>	81	<i>Top</i>	3946357,47	1195528,22
	77,5	<i>Bottom</i>	3946357,47	1195528,22
<i>Floor22</i>	77,5	<i>Top</i>	3992633,13	1214325,08
	74	<i>Bottom</i>	3992633,13	1214325,08
<i>Floor21</i>	74	<i>Top</i>	4057438,44	1238146,36
	70,5	<i>Bottom</i>	4057438,44	1238146,36
<i>Floor20</i>	70,5	<i>Top</i>	4144751,82	1267080,71
	67	<i>Bottom</i>	4144751,82	1267080,71
<i>Floor19</i>	67	<i>Top</i>	4256610,99	1301160,74
	63,5	<i>Bottom</i>	4256610,99	1301160,74
<i>Floor18</i>	63,5	<i>Top</i>	4392798,67	1340431,83
	60	<i>Bottom</i>	4392798,67	1340431,83
<i>Floor17</i>	60	<i>Top</i>	4551073,12	1384955,93
	56,5	<i>Bottom</i>	4551073,12	1384955,93
<i>Floor16</i>	56,5	<i>Top</i>	4727839,66	1434755,61
	53	<i>Bottom</i>	4727839,66	1434755,61
<i>Floor15</i>	53	<i>Top</i>	4921932,9	1490567,49
	49,5	<i>Bottom</i>	4921932,9	1490567,49

Tabel 4.17: Lanjutan.

<b>TABLE: Story Response Seismic X</b>				
<b>Story</b>	<b>Elevation</b>	<b>Location</b>	<b>X-Dir</b>	<b>Y-Dir</b>
	m		kgf	kgf
<i>Floor14</i>	49,5	<i>Top</i>	5129863	1552195,74
	46	<i>Bottom</i>	5129863	1552195,74
<i>Floor13</i>	46	<i>Top</i>	5346099,01	1618315,98
	42,5	<i>Bottom</i>	5346099,01	1618315,98
<i>Floor12</i>	42,5	<i>Top</i>	5567852,31	1687829,45
	39	<i>Bottom</i>	5567852,31	1687829,45
<i>Floor11</i>	39	<i>Top</i>	5793204,53	1759489,89
	35,5	<i>Bottom</i>	5793204,53	1759489,89
<i>Floor10</i>	35,5	<i>Top</i>	6019625,52	1831821,47
	32	<i>Bottom</i>	6019625,52	1831821,47
<i>Floor9</i>	32	<i>Top</i>	6242879,75	1902597,38
	28,5	<i>Bottom</i>	6242879,75	1902597,38
<i>Floor8</i>	28,5	<i>Top</i>	6458612,68	1969518,86
	25	<i>Bottom</i>	6458612,68	1969518,86
<i>Floor7</i>	25	<i>Top</i>	6661896,36	2030724,36
	21,5	<i>Bottom</i>	6661896,36	2030724,36
<i>Floor6</i>	21,5	<i>Top</i>	6846635,61	2084495,18
	18	<i>Bottom</i>	6846635,61	2084495,18
<i>Floor5</i>	18	<i>Top</i>	7006625,67	2129473,66
	14,5	<i>Bottom</i>	7006625,67	2129473,66
<i>Floor4</i>	14,5	<i>Top</i>	7136359,47	2164757,69
	11	<i>Bottom</i>	7136359,47	2164757,69
<i>Floor3</i>	11	<i>Top</i>	7231893,39	2189978,53
	7,5	<i>Bottom</i>	7231893,39	2189978,53
<i>Floor2</i>	7,5	<i>Top</i>	7291689,22	2205371,27
	4	<i>Bottom</i>	7291689,22	2205371,27
<i>Floor1</i>	4	<i>Top</i>	7317991,14	2212006,16
	0	<i>Bottom</i>	7317991,14	2212006,16
<i>Basement</i>	0	<i>Top</i>	0	0
		<i>Bottom</i>	0	0

Tabel 4.18: Gaya geser hasil *output* analisis respon spektrum gempa y.

<b>TABLE: Story Response Seismic Y</b>				
<b>Story</b>	<b>Elevation</b>	<b>Location</b>	<b>X-Dir</b>	<b>Y-Dir</b>
	m		kgf	kgf
<i>Roof</i>	140,5	<i>Top</i>	183957,15	588588,77
	137	<i>Bottom</i>	183957,15	588588,77

Tabel 4.18: Lanjutan.

<b>TABLE: Story Response Seismic Y</b>				
<b>Story</b>	<b>Elevation</b>	<b>Location</b>	<b>X-Dir</b>	<b>Y-Dir</b>
	m		kgf	kgf
<i>Floor39</i>	137	<i>Top</i>	369870,55	1193695,35
	133,5	<i>Bottom</i>	369870,55	1193695,35
<i>Floor38</i>	133,5	<i>Top</i>	532366,42	1734251,26
	130	<i>Bottom</i>	532366,42	1734251,26
<i>Floor37</i>	130	<i>Top</i>	671270,58	2206511,79
	126,5	<i>Bottom</i>	671270,58	2206511,79
<i>Floor36</i>	126,5	<i>Top</i>	787407,57	2610806,73
	123	<i>Bottom</i>	787407,57	2610806,73
<i>Floor35</i>	123	<i>Top</i>	882023,16	2948172,63
	119,5	<i>Bottom</i>	882023,16	2948172,63
<i>Floor34</i>	119,5	<i>Top</i>	957053,39	3221289,99
	116	<i>Bottom</i>	957053,39	3221289,99
<i>Floor33</i>	116	<i>Top</i>	1014958,73	3434471,37
	112,5	<i>Bottom</i>	1014958,73	3434471,37
<i>Floor32</i>	112,5	<i>Top</i>	1058498,25	3593580,67
	109	<i>Bottom</i>	1058498,25	3593580,67
<i>Floor31</i>	109	<i>Top</i>	1090477,91	3705866,69
	105,5	<i>Bottom</i>	1090477,91	3705866,69
<i>Floor30</i>	105,5	<i>Top</i>	1113896,96	3780879,92
	102	<i>Bottom</i>	1113896,96	3780879,92
<i>Floor29</i>	102	<i>Top</i>	1130955,07	3827265,62
	98,5	<i>Bottom</i>	1130955,07	3827265,62
<i>Floor28</i>	98,5	<i>Top</i>	1143296,93	3853830,66
	95	<i>Bottom</i>	1143296,93	3853830,66
<i>Floor27</i>	95	<i>Top</i>	1152445,26	3869964,99
	91,5	<i>Bottom</i>	1152445,26	3869964,99
<i>Floor26</i>	91,5	<i>Top</i>	1159735,07	3884470,73
	88	<i>Bottom</i>	1159735,07	3884470,73
<i>Floor25</i>	88	<i>Top</i>	1166462,48	3905533,01
	84,5	<i>Bottom</i>	1166462,48	3905533,01
<i>Floor24</i>	84,5	<i>Top</i>	1173996,74	3938257,25
	81	<i>Bottom</i>	1173996,74	3938257,25
<i>Floor23</i>	81	<i>Top</i>	1183875,06	3985039,89
	77,5	<i>Bottom</i>	1183875,06	3985039,89
<i>Floor22</i>	77,5	<i>Top</i>	1197757,38	4047695,25
	74	<i>Bottom</i>	1197757,38	4047695,25
<i>Floor21</i>	74	<i>Top</i>	1217198,45	4127098,46

Tabel 4.18: Lanjutan.

<b>TABLE: Story Response Seismic Y</b>				
<b>Story</b>	<b>Elevation</b>	<b>Location</b>	<b>X-Dir</b>	<b>Y-Dir</b>
	m		kgf	kgf
	70,5	<i>Bottom</i>	1217198,45	4127098,46
<i>Floor20</i>	70,5	<i>Top</i>	1243391,75	4223544,95
	67	<i>Bottom</i>	1243391,75	4223544,95
<i>Floor19</i>	67	<i>Top</i>	1276948,59	4337143,5
	63,5	<i>Bottom</i>	1276948,59	4337143,5
<i>Floor18</i>	63,5	<i>Top</i>	1317803,78	4468045,38
	60	<i>Bottom</i>	1317803,78	4468045,38
<i>Floor17</i>	60	<i>Top</i>	1365284,82	4616457,03
	56,5	<i>Bottom</i>	1365284,82	4616457,03
<i>Floor16</i>	56,5	<i>Top</i>	1418313,34	4782453,69
	53	<i>Bottom</i>	1418313,34	4782453,69
<i>Floor15</i>	53	<i>Top</i>	1476539,73	4968490,77
	49,5	<i>Bottom</i>	1476539,73	4968490,77
<i>Floor14</i>	49,5	<i>Top</i>	1538917,07	5173915,47
	46	<i>Bottom</i>	1538917,07	5173915,47
<i>Floor13</i>	46	<i>Top</i>	1603786,11	5394313,27
	42,5	<i>Bottom</i>	1603786,11	5394313,27
<i>Floor12</i>	42,5	<i>Top</i>	1670310,29	5626021,69
	39	<i>Bottom</i>	1670310,29	5626021,69
<i>Floor11</i>	39	<i>Top</i>	1737914,12	5864886,57
	35,5	<i>Bottom</i>	1737914,12	5864886,57
<i>Floor10</i>	35,5	<i>Top</i>	1805838,57	6105988,59
	32	<i>Bottom</i>	1805838,57	6105988,59
<i>Floor9</i>	32	<i>Top</i>	1872813,02	6341905,08
	28,5	<i>Bottom</i>	1872813,02	6341905,08
<i>Floor8</i>	28,5	<i>Top</i>	1937531,14	6564973,63
	25	<i>Bottom</i>	1937531,14	6564973,63
<i>Floor7</i>	25	<i>Top</i>	1998514,58	6768989,2
	21,5	<i>Bottom</i>	1998514,58	6768989,2
<i>Floor6</i>	21,5	<i>Top</i>	2053934,85	6948222,84
	18	<i>Bottom</i>	2053934,85	6948222,84
<i>Floor5</i>	18	<i>Top</i>	2101930,57	7098149,05
	14,5	<i>Bottom</i>	2101930,57	7098149,05
<i>Floor4</i>	14,5	<i>Top</i>	2140849,65	7215760,89
	11	<i>Bottom</i>	2140849,65	7215760,89
<i>Floor3</i>	11	<i>Top</i>	2169509,04	7299829,2
	7,5	<i>Bottom</i>	2169509,04	7299829,2
<i>Floor2</i>	7,5	<i>Top</i>	2187447,31	7351137,66

Tabel 4.18: Lanjutan.

<b>TABLE: Story Response Seismic Y</b>				
<i>Story</i>	<i>Elevation</i>	<i>Location</i>	<i>X-Dir</i>	<i>Y-Dir</i>
	m		kgf	kgf
	4	<i>Bottom</i>	2187447,31	7351137,66
<i>Floor1</i>	4	<i>Top</i>	2195337,67	7373253,64
	0	<i>Bottom</i>	2195337,67	7373253,64
<i>Basement</i>	0	<i>Top</i>	0	0
		<i>Bottom</i>	0	0

#### 4.2.2.5 Nilai Simpangan

Simpangan antar lantai merupakan selisih dari nilai defleksi gedung antara lantai i dengan lantai di bawahnya. Berdasarkan peraturan SNI 1726:2012, kontrol simpangan antar lantai hanya terdapat satu kinerja batas, yaitu kinerja batas ultimit. Simpangan antar lantai tingkat desain tidak boleh melebihi simpangan antar lantai ijin seperti yang terdapat pada Tabel 2.15 yang dikalikan dengan nilai faktor redundansi. Tabel 4.19-4.20 merupakan hasil nilai simpangan antar lantai untuk Model 2.

Tabel 4.19: Nilai simpangan gedung Model 2 akibat gempa x, pada kinerja batas ultimit berdasarkan SNI 1726-2012.

Tingkat	h (cm)	Perpindahan Elastis ( $\delta_e$ )		Perpindahan Total ( $\delta_e \cdot C_d$ )/ $I_e$		Simpangan Antar Lantai ( $\Delta$ )		Syarat $\Delta_a$	Cek X	Cek Y
		X	Y	X	Y	X	Y			
		(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)		
40	350	6,945	2,040	38,196	11,217	1,032	0,285	7,000	OK	OK
39	350	6,757	1,988	37,165	10,932	1,054	0,293	7,000	OK	OK
38	350	6,566	1,934	36,111	10,639	1,064	0,306	7,000	OK	OK
37	350	6,372	1,879	35,047	10,332	1,074	0,312	7,000	OK	OK
36	350	6,177	1,822	33,974	10,020	1,083	0,316	7,000	OK	OK
35	350	5,980	1,764	32,891	9,704	1,092	0,320	7,000	OK	OK
34	350	5,782	1,706	31,799	9,384	1,099	0,322	7,000	OK	OK
33	350	5,582	1,648	30,700	9,062	1,105	0,325	7,000	OK	OK
32	350	5,381	1,589	29,595	8,737	1,109	0,327	7,000	OK	OK
31	350	5,179	1,529	28,486	8,410	1,113	0,328	7,000	OK	OK
30	350	4,977	1,469	27,372	8,082	1,110	0,327	7,000	OK	OK
29	350	4,775	1,410	26,262	7,754	1,113	0,328	7,000	OK	OK

Tabel 4.19: Lanjutan.

Tingkat	h (cm)	Perpindahan Elastis ( $\delta_e$ )		Perpindahan Total ( $\delta_e \cdot C_d$ )/ $I_e$		Simpangan Antar Lantai ( $\Delta$ )		Syarat $\Delta_a$	Cek X	Cek Y
		X (cm)	Y (cm)	X (cm)	Y (cm)	X (cm)	Y (cm)			
28	350	4,573	1,350	25,149	7,426	1,113	0,328	7,000	OK	OK
27	350	4,370	1,291	24,036	7,098	1,112	0,325	7,000	OK	OK
26	350	4,168	1,232	22,925	6,774	1,110	0,315	7,000	OK	OK
25	350	3,966	1,174	21,815	6,459	1,108	0,314	7,000	OK	OK
24	350	3,765	1,117	20,707	6,145	1,105	0,325	7,000	OK	OK
23	350	3,564	1,058	19,602	5,821	1,102	0,326	7,000	OK	OK
22	350	3,364	0,999	18,500	5,495	1,097	0,326	7,000	OK	OK
21	350	3,164	0,940	17,404	5,169	1,091	0,325	7,000	OK	OK
20	350	2,966	0,881	16,313	4,844	1,083	0,323	7,000	OK	OK
19	350	2,769	0,822	15,230	4,521	1,074	0,320	7,000	OK	OK
18	350	2,574	0,764	14,156	4,201	1,063	0,317	7,000	OK	OK
17	350	2,381	0,706	13,093	3,884	1,050	0,314	7,000	OK	OK
16	350	2,190	0,649	12,043	3,570	1,033	0,309	7,000	OK	OK
15	350	2,002	0,593	11,010	3,261	1,012	0,302	7,000	OK	OK
14	350	1,818	0,538	9,998	2,959	0,993	0,296	7,000	OK	OK
13	350	1,637	0,484	9,005	2,663	0,969	0,288	7,000	OK	OK
12	350	1,461	0,432	8,036	2,375	0,942	0,278	7,000	OK	OK
11	350	1,290	0,381	7,094	2,097	0,911	0,260	7,000	OK	OK
10	350	1,124	0,334	6,183	1,838	0,877	0,250	7,000	OK	OK
9	350	0,965	0,289	5,305	1,588	0,838	0,248	7,000	OK	OK
8	350	0,812	0,244	4,468	1,340	0,793	0,237	7,000	OK	OK
7	350	0,668	0,201	3,675	1,104	0,742	0,222	7,000	OK	OK
6	350	0,533	0,160	2,933	0,882	0,685	0,206	7,000	OK	OK
5	350	0,409	0,123	2,247	0,677	0,620	0,186	7,000	OK	OK
4	350	0,296	0,089	1,627	0,491	0,548	0,165	7,000	OK	OK
3	350	0,196	0,059	1,079	0,326	0,466	0,140	7,000	OK	OK
2	350	0,112	0,034	0,613	0,185	0,371	0,112	7,000	OK	OK
1	400	0,044	0,013	0,242	0,073	0,242	0,073	8,000	OK	OK

Tabel 4.20: Nilai simpangan gedung Model 2 akibat gempa y, pada kinerja batas ultimit berdasarkan SNI 1726-2012.

Tingkat	h (cm)	Perpindahan Elastis ( $\delta_e$ )		Perpindahan Total ( $\delta_e \cdot C_d$ )/ $I_e$		Simpangan Antar Lantai ( $\Delta$ )		Syarat $\Delta_a$	Cek X	Cek Y
		X (cm)	Y (cm)	X (cm)	Y (cm)	X (cm)	Y (cm)			
		(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(m)		

Tabel 4.20: Lanjutan.

Tingkat	h (cm)	Perpindahan Elastis ( $\delta e$ )		Perpindahan Total ( $\delta e * C_d$ )/ $I_e$		Simpangan Antar Lantai ( $\Delta$ )		Syarat $\Delta a$	Cek	
		X (cm)	Y (cm)	X (cm)	Y (cm)	X (cm)	Y (cm)		X	Y
40	350	2,083	6,798	11,459	37,390	0,310	0,952	7,000	OK	OK
39	350	2,027	6,625	11,149	36,438	0,316	0,977	7,000	OK	OK
38	350	1,970	6,447	10,833	35,461	0,319	1,021	7,000	OK	OK
37	350	1,912	6,262	10,514	34,440	0,322	1,041	7,000	OK	OK
36	350	1,853	6,073	10,192	33,399	0,325	1,054	7,000	OK	OK
35	350	1,794	5,881	9,867	32,346	0,328	1,066	7,000	OK	OK
34	350	1,734	5,687	9,539	31,280	0,329	1,075	7,000	OK	OK
33	350	1,675	5,492	9,210	30,205	0,332	1,084	7,000	OK	OK
32	350	1,614	5,295	8,878	29,121	0,333	1,089	7,000	OK	OK
31	350	1,554	5,097	8,545	28,032	0,334	1,093	7,000	OK	OK
30	350	1,493	4,898	8,212	26,939	0,333	1,092	7,000	OK	OK
29	350	1,432	4,700	7,878	25,847	0,334	1,093	7,000	OK	OK
28	350	1,372	4,501	7,544	24,754	0,334	1,092	7,000	OK	OK
27	350	1,311	4,302	7,211	23,662	0,333	1,084	7,000	OK	OK
26	350	1,250	4,105	6,877	22,578	0,333	1,048	7,000	OK	OK
25	350	1,190	3,915	6,544	21,530	0,333	1,047	7,000	OK	OK
24	350	1,129	3,724	6,212	20,483	0,331	1,081	7,000	OK	OK
23	350	1,069	3,528	5,881	19,402	0,331	1,087	7,000	OK	OK
22	350	1,009	3,330	5,550	18,315	0,329	1,086	7,000	OK	OK
21	350	0,949	3,133	5,221	17,229	0,327	1,082	7,000	OK	OK
20	350	0,890	2,936	4,894	16,147	0,325	1,076	7,000	OK	OK
19	350	0,831	2,740	4,569	15,071	0,322	1,069	7,000	OK	OK
18	350	0,772	2,546	4,247	14,002	0,318	1,058	7,000	OK	OK
17	350	0,714	2,354	3,928	12,944	0,315	1,045	7,000	OK	OK
16	350	0,657	2,164	3,613	11,899	0,310	1,029	7,000	OK	OK
15	350	0,601	1,976	3,303	10,870	0,304	1,007	7,000	OK	OK
14	350	0,545	1,793	2,999	9,864	0,298	0,986	7,000	OK	OK
13	350	0,491	1,614	2,702	8,878	0,291	0,961	7,000	OK	OK
12	350	0,438	1,439	2,411	7,917	0,283	0,926	7,000	OK	OK
11	350	0,387	1,271	2,128	6,991	0,273	0,866	7,000	OK	OK
10	350	0,337	1,114	1,855	6,125	0,263	0,833	7,000	OK	OK
9	350	0,289	0,962	1,592	5,292	0,251	0,824	7,000	OK	OK
8	350	0,244	0,812	1,340	4,468	0,238	0,788	7,000	OK	OK
7	350	0,200	0,669	1,102	3,680	0,223	0,740	7,000	OK	OK
6	350	0,160	0,535	0,879	2,940	0,205	0,685	7,000	OK	OK
5	350	0,123	0,410	0,674	2,256	0,186	0,621	7,000	OK	OK

Tabel 4.20: Lanjutan.

Tingkat	h (cm)	Perpindahan Elastis ( $\delta e$ )		Perpindahan Total ( $\delta e * C_d$ )/ $I_e$		Simpangan Antar Lantai ( $\Delta$ )		Syarat $\Delta a$	Cek X	Cek Y
		X (cm)	Y (cm)	X (cm)	Y (cm)	X (cm)	Y (cm)			
4	350	0,089	0,297	0,488	1,635	0,164	0,549	7,000	OK	OK
3	350	0,059	0,197	0,324	1,085	0,140	0,468	7,000	OK	OK
2	350	0,033	0,112	0,184	0,617	0,111	0,373	7,000	OK	OK
1	400	0,013	0,044	0,073	0,244	0,073	0,244	8,000	OK	OK

Pada Tabel 4.19-4.20 diatas dapat dilihat besarnya simpangan yang terjadi akibat gempa arah x maupun y. Besar simpangan arah sumbu x dan y berbeda, hal ini diakibatkan oleh sistem penahan gaya lateral yang terpasang hanya pada arah tertentu. Arah utama pengaruh gempa rencana harus ditentukan sedemikian rupa sehingga memberi pengaruh terbesar terhadap unsur-unsur sub sistem dan sistem struktur gedung secara keseluruhan. Pengaruh pembebanan gempa dalam arah utama yang ditentukan harus dianggap efektif 100% dan harus dianggap terjadi bersamaan dengan pembebanan tadi, tetapi dengan efektifitas 30%.

#### 4.2.2.6 Pengaruh Efek P-Delta

Berdasarkan SNI 1726:2012 efek P-delta harus diperhitungkan untuk struktur gedung yang memikul beban gempa. Akan tetapi, efek P-delta dapat diabaikan jika nilai *stability ratio* lebih kecil dari 0,1. Kontrol pengaruh P-delta untuk arah x dan y tertera pada Tabel 4.21 dan 4.22.

Tabel 4.21: Kontrol P-delta pada arah x untuk Model 2.

Lantai	Tinggi (m)	Story Drift (m)	Gaya Geser Seismik, $V_x$ (kN)	Beban Vertikal Total (kN)	Beban Vertikal Kumulatif (kN)	Stability Ratio ( $\theta_x$ )	Cek X
Roof	140,5	0,0103	6013,5081	5682,376	5682,376	0,00001	OK
Floor39	137	0,0105	12090,9654	64230,814	64230,814	0,00008	OK
Floor38	133,5	0,0106	17402,9103	64090,503	64090,503	0,00006	OK
Floor37	130	0,0107	21943,6485	63950,192	63950,192	0,00005	OK
Floor36	126,5	0,0108	25740,1344	63950,192	63950,192	0,00004	OK
Floor35	123	0,0109	28833,0916	63950,192	63950,192	0,00004	OK



Tabel 4.21: *Lanjutan.*

Lantai	Tinggi (m)	Story Drift (m)	Gaya Geser Seismik, $V_x$ (kN)	Beban Vertikal Total (kN)	Beban Vertikal Kumulatif (kN)	Stability Ratio ( $\theta_x$ )	Cek X
<i>Floor34</i>	119,5	0,0110	31285,8091	63950,192	63950,192	0,00004	OK
<i>Floor33</i>	116	0,0110	33178,7185	63950,192	63950,192	0,00004	OK
<i>Floor32</i>	112,5	0,0111	34602,0133	63950,192	63950,192	0,00004	OK
<i>Floor31</i>	109	0,0111	35647,4197	63950,192	63950,192	0,00004	OK
<i>Floor30</i>	105,5	0,0111	36412,9817	64830,948	64830,948	0,00004	OK
<i>Floor29</i>	102	0,0111	36970,6065	65563,257	65563,257	0,00004	OK
<i>Floor28</i>	98,5	0,0111	37374,0588	65563,257	65563,257	0,00004	OK
<i>Floor27</i>	95	0,0111	37673,1151	65563,257	65563,257	0,00004	OK
<i>Floor26</i>	91,5	0,0111	37911,4169	65703,568	65703,568	0,00004	OK
<i>Floor25</i>	88	0,0111	38131,3340	65843,879	65843,879	0,00004	OK
<i>Floor24</i>	84,5	0,0110	38377,6268	65703,568	65703,568	0,00004	OK
<i>Floor23</i>	81	0,0110	38700,5465	65563,257	65563,257	0,00005	OK
<i>Floor22</i>	77,5	0,0110	39154,3557	65563,257	65563,257	0,00005	OK
<i>Floor21</i>	74	0,0109	39789,8787	65563,257	65563,257	0,00005	OK
Story20	70,5	0,0108	40646,1304	65563,257	65563,257	0,00005	OK
<i>Floor19</i>	67	0,0107	41743,0942	65563,257	65563,257	0,00005	OK
<i>Floor18</i>	63,5	0,0106	43078,6391	65563,257	65563,257	0,00005	OK
<i>Floor17</i>	60	0,0105	44630,7812	65563,257	65563,257	0,00005	OK
<i>Floor16</i>	56,5	0,0103	46364,2688	65563,257	65563,257	0,00005	OK
<i>Floor15</i>	53	0,0101	48267,6733	66484,592	66484,592	0,00005	OK
<i>Floor14</i>	49,5	0,0099	50306,7710	67263,117	67263,117	0,00005	OK
<i>Floor13</i>	46	0,0097	52427,3219	67263,117	67263,117	0,00005	OK
<i>Floor12</i>	42,5	0,0094	54601,9789	67263,117	67263,117	0,00005	OK
<i>Floor11</i>	39	0,0091	56811,9292	67403,428	67403,428	0,00006	OK
<i>Floor10</i>	35,5	0,0088	59032,3606	67543,739	67543,739	0,00006	OK
<i>Floor9</i>	32	0,0084	61221,7367	67403,428	67403,428	0,00006	OK
<i>Floor8</i>	28,5	0,0079	63337,3540	67263,117	67263,117	0,00006	OK
<i>Floor7</i>	25	0,0074	65330,8859	67263,117	67263,117	0,00006	OK
<i>Floor6</i>	21,5	0,0069	67142,5591	67263,117	67263,117	0,00006	OK
<i>Floor5</i>	18	0,0062	68711,5256	67263,117	67263,117	0,00007	OK
<i>Floor4</i>	14,5	0,0055	69983,7796	67263,117	67263,117	0,00007	OK
<i>Floor3</i>	11	0,0047	70920,6473	67263,117	67263,117	0,00008	OK
<i>Floor2</i>	7,5	0,0037	71507,0441	67263,117	67263,117	0,00009	OK
<i>Floor1</i>	4	0,0024	71764,9778	68517,056	68517,056	0,00012	OK

Tabel 4.22: Kontrol P-delta pada arah y untuk Model 2.

Lantai	Tinggi (m)	Story Drift (m)	Gaya Geser Seismik, $V_x$ (kN)	Beban Vertikal Total (kN)	Beban Vertikal Kumulatif (kN)	Stability Ratio ( $\theta_x$ )	Cek Y
Roof	140,5	0,0095	5772,084	5682,376	5682,376	0,00001	OK
Floor39	137	0,0098	11706,153	64230,814	64230,814	0,00008	OK
Floor38	133,5	0,0102	17007,195	64090,503	64090,503	0,00006	OK
Floor37	130	0,0104	21638,489	63950,192	63950,192	0,00005	OK
Floor36	126,5	0,0105	25603,268	63950,192	63950,192	0,00004	OK
Floor35	123	0,0107	28911,697	63950,192	63950,192	0,00004	OK
Floor34	119,5	0,0107	31590,063	63950,192	63950,192	0,00004	OK
Floor33	116	0,0108	33680,659	63950,192	63950,192	0,00004	OK
Floor32	112,5	0,0109	35240,988	63950,192	63950,192	0,00004	OK
Floor31	109	0,0109	36342,138	63950,192	63950,192	0,00004	OK
Floor30	105,5	0,0109	37077,766	64830,948	64830,948	0,00004	OK
Floor29	102	0,0109	37532,654	65563,257	65563,257	0,00004	OK
Floor28	98,5	0,0109	37793,168	65563,257	65563,257	0,00004	OK
Floor27	95	0,0108	37951,392	65563,257	65563,257	0,00004	OK
Floor26	91,5	0,0105	38093,645	65703,568	65703,568	0,00004	OK
Floor25	88	0,0105	38300,195	65843,879	65843,879	0,00004	OK
Floor24	84,5	0,0108	38621,110	65703,568	65703,568	0,00004	OK
Floor23	81	0,0109	39079,891	65563,257	65563,257	0,00005	OK
Floor22	77,5	0,0109	39694,331	65563,257	65563,257	0,00005	OK
Floor21	74	0,0108	40473,010	65563,257	65563,257	0,00005	OK
Story20	70,5	0,0108	41418,827	65563,257	65563,257	0,00005	OK
Floor19	67	0,0107	42532,848	65563,257	65563,257	0,00005	OK
Floor18	63,5	0,0106	43816,557	65563,257	65563,257	0,00005	OK
Floor17	60	0,0105	45271,978	65563,257	65563,257	0,00005	OK
Floor16	56,5	0,0103	46899,849	65563,257	65563,257	0,00005	OK
Floor15	53	0,0101	48724,250	66484,592	66484,592	0,00005	OK
Floor14	49,5	0,0099	50738,778	67263,117	67263,117	0,00005	OK
Floor13	46	0,0096	52900,142	67263,117	67263,117	0,00005	OK
Floor12	42,5	0,0093	55172,426	67263,117	67263,117	0,00005	OK
Floor11	39	0,0087	57514,890	67403,428	67403,428	0,00005	OK
Floor10	35,5	0,0083	59879,293	67543,739	67543,739	0,00005	OK
Floor9	32	0,0082	62192,843	67403,428	67403,428	0,00006	OK
Floor8	28,5	0,0079	64380,399	67263,117	67263,117	0,00006	OK
Floor7	25	0,0074	66381,108	67263,117	67263,117	0,00006	OK
Floor6	21,5	0,0068	68138,790	67263,117	67263,117	0,00006	OK
Floor5	18	0,0062	69609,063	67263,117	67263,117	0,00007	OK

Tabel 4.22: Lanjutan.

Lantai	Tinggi (m)	Story Drift (m)	Gaya Geser Seismik, $V_x$ (kN)	Beban Vertikal Total (kN)	Beban Vertikal Kumulatif (kN)	Stability Ratio ( $\theta_x$ )	Cek Y
Floor4	14,5	0,0055	70762,442	67263,117	67263,117	0,00007	OK
Floor3	11	0,0047	71586,870	67263,117	67263,117	0,00008	OK
Floor2	7,5	0,0037	72090,034	67263,117	67263,117	0,00009	OK
Floor1	4	0,0024	72306,918	68517,056	68517,056	0,00012	OK

Dari Tabel 4.21 dan 4.22 diketahui bahwa tidak ada nilai *stability ratio* yang lebih besar dari 0,1. Sehingga efek P-delta untuk Model 2 dapat diabaikan.

#### 4.2.2.7 Kekakuan Tingkat Gedung

Berdasarkan SNI 1726:2012 kekakuan tingkat lunak (*soft story*) didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat dimana kekakuan lateralnya kurang dari 70 persen kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80 persen kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya. Untuk itu perlu dilakukan pemeriksaan terhadap struktur gedung apakah memiliki ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak (*soft story*) atau tidak. Kontrol ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak pada arah x dan y untuk Model 2 tertera pada Tabel 4.23 dan 4.24.

Tabel 4.23: Distribusi kekakuan tingkat bangunan arah x bangunan.

Tingkat	Tinggi tingkat (cm)	Kekakuan Total X	Ki/Ki*100 %	Rata-Rata Kekakuan 3 tingkat (Kr)	Ki/Kr %
		Arah X			
40	14050	309591708,6			
39	13700	605820845,5	196%	591189970,9	
38	13350	858157358,7	142%	843069653,4	145%
37	13000	1065230756	124%	1051789116	126%
36	12650	1231979234	116%	1220070221	117%
35	12300	1363000672	111%	1352840957	112%
34	11950	1463542966	107%	1455224933	108%
33	11600	1539131160	105%	1532644510	106%
32	11250	1595259404	104%	1590608521	104%
31	10900	1637434998	103%	1636203337	103%
30	10550	1675915609	102%	1671044089	102%

Tabel 4.23: Lanjutan.

Tingkat	Tinggi tingkat (cm)	Kekakuan Total X	Ki/Ki*100 %	Rata-Rata Kekakuan 3 tingkat (Kr)	Ki/Kr %
		Arah X			
29	10200	1699781660	101%	1698920288	102%
28	9850	1721063596	101%	1720536100	101%
27	9500	1740763044	101%	1740552767	101%
26	9150	1759831660	101%	1760266891	101%
25	8800	1780205968	101%	1781329339	101%
24	8450	1803950389	101%	1805837297	101%
23	8100	1833355533	102%	1836503514	102%
22	7750	1872204621	102%	1876254159	102%
21	7400	1923202322	103%	1928052249	103%
20	7050	1988749804	103%	1994216330	103%
19	6700	2070696863	104%	2076544087	104%
18	6350	2170185593	105%	2176253562	105%
17	6000	2287878230	105%	2294562177	105%
16	5650	2425622707	106%	2434990557	106%
15	5300	2591470735	107%	2593782310	106%
14	4950	2764253488	107%	2772345239	107%
13	4600	2961311494	107%	2969758481	107%
12	4250	3183710460	108%	3193236837	107%
11	3900	3434688556	108%	3446361648	108%
10	3550	3720685929	108%	3735181696	108%
9	3200	4050170604	109%	4068647156	108%
8	2850	4435084935	110%	4460508849	109%
7	2500	4896271009	110%	4931252035	110%
6	2150	5462400162	112%	5513242218	111%
5	1800	6181055483	113%	6260679222	112%
4	1450	7138582022	115%	7278030641	114%
3	1100	8514454417	119%	8811171812	117%
2	750	10780478998	127%	11981694755	122%
1	400	16650150850	154%		139%

Tabel 4.24: Distribusi kekakuan tingkat pada arah y bangunan.

Tingkat	Tinggi tingkat (cm)	Kekakuan Total Y	Ki/Ki*100 %	Rata-Rata Kekakuan 3 tingkat (Kr)	Ki/Kr %
		Arah Y			
40	14050	322560342,8			
39	13700	633456539,3	196%	610077808,4	
38	13350	874216543,1	138%	864071573,1	143%

Tabel 4.24: Lanjutan.

Tingkat	Tinggi tingkat (cm)	Kekakuan Total Y	Ki/Ki*100 %	Rata-Rata Kekakuan 3 tingkat (Kr)	Ki/Kr %
		Arah Y			
37	13000	1084541637	124%	1072844716	126%
36	12650	1259775967	116%	1248206183	117%
35	12300	1400300945	111%	1390027861	112%
34	11950	1510006672	108%	1501138523	109%
33	11600	1593107952	106%	1585720291	106%
32	11250	1654046250	104%	1648294409	104%
31	10900	1697729026	103%	1695275536	103%
30	10550	1734051332	102%	1728672819	102%
29	10200	1754238099	101%	1753318694	101%
28	9850	1771666652	101%	1774574907	101%
27	9500	1797819969	101%	1813874329	101%
26	9150	1872136366	104%	1854049615	103%
25	8800	1892192509	101%	1873700323	102%
24	8450	1856772095	98%	1875219919	99%
23	8100	1876695152	101%	1883749425	100%
22	7750	1917781027	102%	1922187554	102%
21	7400	1972086484	103%	1976473832	103%
20	7050	2039553986	103%	2044179058	103%
19	6700	2120896705	104%	2125929877	104%
18	6350	2217338941	105%	2222976548	104%
17	6000	2330693998	105%	2337574675	105%
16	5650	2464691087	106%	2474725485	105%
15	5300	2628791369	107%	2632971207	106%
14	4950	2805431165	107%	2816064067	107%
13	4600	3013969666	107%	3030729904	107%
12	4250	3272788882	109%	3316001997	108%
11	3900	3661247443	112%	3636513996	110%
10	3550	3975505662	109%	3941030016	109%
9	3200	4186336943	105%	4234521988	106%
8	2850	4541723360	108%	4574057098	107%
7	2500	4994110992	110%	5028854560	109%
6	2150	5550729329	111%	5600640417	110%
5	1800	6257080929	113%	6335829912	112%
4	1450	7199679479	115%	7338481263	114%
3	1100	8558683382	119%	8854778715	117%
2	750	10805973284	126%	12008218508	122%
1	400	16659998857	154%		139%

Dari hasil perhitungan kekakuan tingkat arah X dan juga arah Y yang terdapat pada Tabel 4.23 dan 4.24 menunjukkan tingkat ke-1 sebesar 154% dari kekakuan tingkat ke-2 dan hal ini memenuhi syarat minimum yaitu 70%, terhadap syarat kedua yaitu syarat 80% juga terpenuhi karena kekakuan tingkat ke-1 sebesar 139% dari rata-rata kekakuan 3 tingkat di atasnya. Maka dengan demikian dapat dikatakan gedung yang direncanakan pada Model 2 ini tidak mengalami *soft storey* karena kekakuan lateralnya > 70 % kekakuan lateral tingkat di atasnya, atau > 80 % kekakuan lateral rata-rata 3-tingkat di atasnya.

#### 4.2.2.8 Kontrol Kemampuan Dual sistem menerima Gaya Geser

Gedung Model 2 ini memiliki sistem ganda sesuai dengan SNI 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 momen dan dinding geser (*core wall*) atau rangka *outrigger*, dengan distribusi yang proporsional terhadap kekakuannya. Berdasarkan persentase penahan gempa disajikan pada Tabel 4.25. Maka gedung Model 2 ini memenuhi syarat sistem ganda.

Tabel 4.25: Persentase penahan gaya gempa dengan metode respon spektrum.

Load Case/Combo	Gaya Yang Diterima		Persentase menahan gaya gempa	
	SRPMK	Dual Sistem	SRPMK	Dual Sistem
Gempa X	6716496,87	7394110,27	47,60	52,40
Gempa Y	6702533,80	7283773,69	47,92	52,08

### 4.2.3 Model 3

#### 4.2.3.1 Gaya Geser

Pada dasarnya nilai gaya geser pada gedung yang simetris akibat arah X maupun arah Y tetap sama. Tetapi, nilai gaya geser yang dihasilkan oleh respon spektrum program analisa struktur sangat teliti sehingga arah X dan arah Y tidak sama walaupun bangunannya simetris. Adapun bangunan yang direncanakan menggunakan struktur rangka pemikul momen khusus dan *outrigger* ini memiliki Inersia arah X dan arah Y yang berlainan. Oleh karena itu, hasil perioda yang

diperoleh terhadap arah X dan arah Y tidak sama. Ketentuan ini berlaku pada gedung setiap model.

Dari hasil analisis respon spektrum yang menggunakan program Analisis Struktur diperoleh nilai gaya geser dasar (V) berdasarkan SNI 1726-2012 yang disajikan pada Tabel 4.26.

Tabel 4.26: Gaya geser dasar nominal hasil analisis ragam respon spektrum

TABEL: <i>Base Reactions</i>		
<i>OutputCase</i>	FX	FY
<i>Text</i>	Kgf	Kgf
GEMPA X	7487687,59	2181760,29
GEMPA Y	2246245,22	7272435,45

Berikut perhitungan koreksi nilai akhir respon spektrum terhadap respon ragam pertama.

- Gempa Arah X

$$V_{Ix} = C_s \cdot W_t$$

$$V_{Ix} = 0.152 \times 26779160,31$$

$$= 4082334,22 \text{ Kgf (Gaya geser statik ekuivalen arah X)}$$

- Gempa Arah Y

$$V_{Iy} = C_s \cdot W_t$$

$$V_{Iy} = 0.152 \times 26779160,31$$

$$= 4082334,22 \text{ Kgf (Gaya geser statik ekuivalen arah Y)}$$

Berdasarkan SNI 1726-2012 kontrol faktor skala:

- Arah X

$$V_x = 7487687,59 \text{ Kgf}$$

$$V_{Ix} = 4082334,22 \text{ Kgf}$$

$$\text{Faktor Skala} = \frac{0,85 V_{Ix}}{V_x} \leq 1$$

$$= \frac{0,85 \cdot 4082334,22}{7487687,59} = 0,4634$$

- Arah Y

$$V_y = 7272435,45 \text{ Kgf}$$

$$V_{Iy} = 4082334,22 \text{ Kgf}$$

$$\begin{aligned} \text{Faktor Skala} &= \frac{0,85 V_{Iy}}{V_y} \leq 1 \\ &= \frac{0,85 \cdot 4082334,22}{7272435,45} = 0,4771 \end{aligned}$$

Tabel 4.27: Rekapitulasi faktor skala hasil respon spektrum dengan statik ekivalen masing-masing arah Model 3.

V1 ELF		Vt CQC		Faktor Skala	
Arah x Kgf	Arah y Kgf	Arah x Kgf	Arah y Kgf	Arah x	Arah y
4082334,22	4082334,22	7487687,59	7272435,45	0,4634	0,4771

Karena faktor skala yang didapat untuk masing-masing arah kurang dari 1, maka gaya geser dasar nominal yang didapat dari hasil analisa ragam respon spektrum yang telah dilakukan dapat digunakan tanpa dikalikan dengan faktor

$$\text{skala } \frac{0,85 C_s W}{V_t}.$$

#### 4.2.3.2 Koreksi Faktor Redudansi

Berdasarkan sub subbab 2.9, bahwasanya untuk struktur yang dirancang pada kategori desain seismik D, penggunaan redundansi  $\rho$  harus sama dengan 1,3 kecuali jika satu dari dua kondisi yang ditentukan pada sub subbab 2.9 dipenuhi, dimana redundansi  $\rho$  diijinkan diambil sebesar 1,0. Salah satu kondisi yang menentukan tersebut yaitu masing-masing lantai harus menahan lebih dari 35 persen geser dasar dalam arah yang ditinjau, maka redundansi diijinkan diambil 1,0. Apabila kondisi ini tidak terpenuhi, maka nilai faktor redundansi 1,0 harus diganti dengan redundansi 1,3. Tabel 4.28-4.29 merupakan pengecekan untuk setiap gaya geser pada masing-masing lantainya terhadap nilai redundansi 1,0.



Tabel 4.28: Pengecekan *story shear* dengan 35% *base shear* terhadap redundansi  $\rho$  1,0 untuk Model 3 terhadap gempa x.

Lantai	$V_x$ (kgf)	$V_y$ (kgf)	35 % $V_x$ <i>Base Shear</i>	35 % $V_y$ <i>Base Shear</i>	Kontrol	Kontrol
Roof	590652,28	183445,52	2620690,66	763616,10	NOT OK	NOT OK
Floor39	1199338,72	368567,81	2620690,66	763616,10	NOT OK	NOT OK
Floor38	1746059,22	530436,45	2620690,66	763616,10	NOT OK	NOT OK
Floor37	2227915,46	668491,51	2620690,66	763616,10	NOT OK	NOT OK
Floor36	2642291,66	783323,83	2620690,66	763616,10	OK	OK
Floor35	2990684,69	876487,89	2620690,66	763616,10	OK	OK
Floor34	3275519,60	949933,16	2620690,66	763616,10	OK	OK
Floor33	3500881,46	1006139,86	2620690,66	763616,10	OK	OK
Floor32	3672415,39	1047892,86	2620690,66	763616,10	OK	OK
Floor31	3797151,55	1078029,27	2620690,66	763616,10	OK	OK
Floor30	3884584,33	1099558,12	2620690,66	763616,10	OK	OK
Floor29	3943105,45	1114717,70	2620690,66	763616,10	OK	OK
Floor28	3981147,68	1125215,13	2620690,66	763616,10	OK	OK
Floor27	4008128,37	1132638,38	2620690,66	763616,10	OK	OK
Floor26	4033361,65	1138340,99	2620690,66	763616,10	OK	OK
Floor25	4063514,36	1143632,06	2620690,66	763616,10	OK	OK
Floor24	4103329,76	1149929,72	2620690,66	763616,10	OK	OK
Floor23	4155130,81	1158815,34	2620690,66	763616,10	OK	OK
Floor22	4220801,41	1171989,71	2620690,66	763616,10	OK	OK
Floor21	4301377,14	1191040,82	2620690,66	763616,10	OK	OK
Floor20	4397378,49	1217174,38	2620690,66	763616,10	OK	OK
Floor19	4509163,86	1250986,04	2620690,66	763616,10	OK	OK
Floor18	4637130,85	1292367,98	2620690,66	763616,10	OK	OK
Floor17	4781716,41	1340586,82	2620690,66	763616,10	OK	OK
Floor16	4943210,03	1394497,61	2620690,66	763616,10	OK	OK
Floor15	5124197,00	1453703,69	2620690,66	763616,10	OK	OK
Floor14	5324223,31	1517108,09	2620690,66	763616,10	OK	OK
Floor13	5539145,54	1583003,78	2620690,66	763616,10	OK	OK
Floor12	5766122,67	1650678,95	2620690,66	763616,10	OK	OK
Floor11	6001238,28	1719405,95	2620690,66	763616,10	OK	OK
Floor10	6238323,31	1788252,06	2620690,66	763616,10	OK	OK
Floor9	6470496,13	1856066,37	2620690,66	763616,10	OK	OK
Floor8	6690210,28	1921534,07	2620690,66	763616,10	OK	OK
Floor7	6891306,14	1983170,83	2620690,66	763616,10	OK	OK
Floor6	7068083,47	2039142,12	2620690,66	763616,10	OK	OK
Floor5	7216029,09	2087583,00	2620690,66	763616,10	OK	OK

Tabel 4.28: *Lanjutan.*

Lantai	V <sub>x</sub> (kgf)	V <sub>y</sub> (kgf)	35 % V <sub>x</sub> Base Shear	35 % V <sub>y</sub> Base Shear	Kontrol	Kontrol
Floor4	7332133,69	2126840,86	2620690,66	763616,10	OK	OK
Floor3	7415151,28	2155735,68	2620690,66	763616,10	OK	OK
Floor2	7465832,87	2173813,22	2620690,66	763616,10	OK	OK
Floor1	7487687,59	2181760,29	2620690,66	763616,10	OK	OK

Tabel 4.29: Pengecekan *story shear* dengan 35% *base shear* terhadap redundansi  $\rho$  1,0 untuk Model 3 terhadap gempa y.

Lantai	V <sub>x</sub> (kgf)	V <sub>y</sub> (kgf)	35 % V <sub>x</sub> Base Shear	35 % V <sub>y</sub> Base Shear	Kontrol	Kontrol
Roof	177190,87	611476,75	786185,83	2545352,41	NOT OK	NOT OK
Floor39	359791,84	1228542,68	786185,83	2545352,41	NOT OK	NOT OK
Floor38	523803,53	1768097,48	786185,83	2545352,41	NOT OK	NOT OK
Floor37	668356,47	2228274,76	786185,83	2545352,41	NOT OK	NOT OK
Floor36	792665,95	2611043,95	786185,83	2545352,41	OK	OK
Floor35	897181,02	2921586,58	786185,83	2545352,41	OK	OK
Floor34	982629,17	3166400,81	786185,83	2545352,41	OK	OK
Floor33	1050235,89	3353753,96	786185,83	2545352,41	OK	OK
Floor32	1101694,67	3492928,71	786185,83	2545352,41	OK	OK
Floor31	1139114,50	3593382,08	786185,83	2545352,41	OK	OK
Floor30	1165343,62	3665143,92	786185,83	2545352,41	OK	OK
Floor29	1182899,48	3715675,16	786185,83	2545352,41	OK	OK
Floor28	1194311,84	3750666,13	786185,83	2545352,41	OK	OK
Floor27	1202405,83	3775409,96	786185,83	2545352,41	OK	OK
Floor26	1209975,60	3794418,41	786185,83	2545352,41	OK	OK
Floor25	1219021,17	3812055,04	786185,83	2545352,41	OK	OK
Floor24	1230965,47	3833046,97	786185,83	2545352,41	OK	OK
Floor23	1246505,36	3862665,31	786185,83	2545352,41	OK	OK
Floor22	1266206,00	3906579,29	786185,83	2545352,41	OK	OK
Floor21	1290378,06	3970082,12	786185,83	2545352,41	OK	OK
Floor20	1319177,69	4057192,79	786185,83	2545352,41	OK	OK
Floor19	1352712,39	4169896,78	786185,83	2545352,41	OK	OK
Floor18	1391101,44	4307834,70	786185,83	2545352,41	OK	OK
Floor17	1434475,93	4468561,99	786185,83	2545352,41	OK	OK
Floor16	1482922,70	4648262,19	786185,83	2545352,41	OK	OK
Floor15	1537217,31	4845613,12	786185,83	2545352,41	OK	OK
Floor14	1597223,58	5056958,25	786185,83	2545352,41	OK	OK

Tabel 4.29: *Lanjutan.*

Lantai	V <sub>x</sub> (kgf)	V <sub>y</sub> (kgf)	35 % V <sub>x</sub> Base Shear	35 % V <sub>y</sub> Base Shear	Kontrol	Kontrol
Floor13	1661698,49	5276607,56	786185,83	2545352,41	OK	OK
Floor12	1729789,78	5502188,38	786185,83	2545352,41	OK	OK
Floor11	1800322,55	5731275,28	786185,83	2545352,41	OK	OK
Floor10	1871446,12	5960759,20	786185,83	2545352,41	OK	OK
Floor9	1941096,07	6186803,80	786185,83	2545352,41	OK	OK
Floor8	2007008,53	6405026,51	786185,83	2545352,41	OK	OK
Floor7	2067335,65	6610479,58	786185,83	2545352,41	OK	OK
Floor6	2120367,40	6797048,01	786185,83	2545352,41	OK	OK
Floor5	2164749,88	6958515,41	786185,83	2545352,41	OK	OK
Floor4	2199580,32	7089373,18	786185,83	2545352,41	OK	OK
Floor3	2224484,92	7185687,95	786185,83	2545352,41	OK	OK
Floor2	2239688,98	7245945,57	786185,83	2545352,41	OK	OK
Floor1	2246245,22	7272435,45	786185,83	2545352,41	OK	OK

Dari Tabel 4.28-4.29 diketahui bahwa gaya geser pada lantai 37-40 dengan redundansi 1,0 tidak memenuhi syarat lebih besar dari 35 persen gaya geser dasar. Sehingga nilai faktor redundansi  $\rho$  yang digunakan pada pemodelan struktur dengan menggunakan program Analisis Struktur adalah 1,3.

#### 4.2.3.3 Perbandingan Gaya Geser Gedung Tiap Lantai

Berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 7.8.3, gaya gempa lateral ( $F_i$ ) yang timbul disemua tingkat dapat ditentukan oleh:

$$F_i = C_{vx} \cdot V \text{ dan } C_{vx} = \frac{w_i h_i^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k}$$

$K$  = Eksponen yang terkait dengan perioda struktur sebagai berikut.

- Untuk struktur yang memiliki  $T \leq 0,5$  detik;  $k = 1$
- Untuk struktur yang memiliki  $T \geq 2,5$  detik;  $k = 2$

Untuk struktur yang memiliki  $0,5 < T < 2,5$ ;  $k$  adalah hasil interpolasi berikut cara mendapatkan nilai  $k$ .

$$T_x = 2,471$$

$$T_y = 2,678$$

$$K_x$$

$$K_y$$

$$1 + \frac{(2-1)}{(2,5-0,5)} (2,471 -0,5) = 1,986$$

$$1 + \frac{(2-1)}{(2,5-0,5)} (2,678-0,5) = 2,089$$

Setelah dilakukan perhitungan, didapatkan nilai dari distribusi gaya geser horizontal arah x berdasarkan metode analisis statik ekuivalen.

#### 4.2.3.4 Gaya Geser Analisis Respon Spektrum

Gaya geser lantai merupakan distribusi dari gaya geser dasar yang dibagi pada setiap lantai untuk masing-masing arah gempa. Nilai gaya geser lantai yang didapat dari pemodelan struktur dengan menggunakan program Analisis Struktur dapat dilihat pada Tabel 4.30-4.31.

Tabel 4.30: Gaya geser hasil *output* analisis respon spectrum gempa x.

<b>TABLE: Story Response Seismic X</b>				
<b>Story</b>	<b>Elevation</b>	<b>Location</b>	<b>X-Dir</b>	<b>Y-Dir</b>
	m		kgf	kgf
<i>Roof</i>	140,5	<i>Top</i>	590652,28	183445,52
	137	<i>Bottom</i>	590652,28	183445,52
<i>Floor39</i>	137	<i>Top</i>	1199338,72	368567,81
	133,5	<i>Bottom</i>	1199338,72	368567,81
<i>Floor38</i>	133,5	<i>Top</i>	1746059,22	530436,45
	130	<i>Bottom</i>	1746059,22	530436,45
<i>Floor37</i>	130	<i>Top</i>	2227915,46	668491,51
	126,5	<i>Bottom</i>	2227915,46	668491,51
<i>Floor36</i>	126,5	<i>Top</i>	2642291,66	783323,83
	123	<i>Bottom</i>	2642291,66	783323,83
<i>Floor35</i>	123	<i>Top</i>	2990684,69	876487,89
	119,5	<i>Bottom</i>	2990684,69	876487,89
<i>Floor34</i>	119,5	<i>Top</i>	3275519,6	949933,16
	116	<i>Bottom</i>	3275519,6	949933,16
<i>Floor33</i>	116	<i>Top</i>	3500881,46	1006139,86
	112,5	<i>Bottom</i>	3500881,46	1006139,86
<i>Floor32</i>	112,5	<i>Top</i>	3672415,39	1047892,86
	109	<i>Bottom</i>	3672415,39	1047892,86
<i>Floor31</i>	109	<i>Top</i>	3797151,55	1078029,27

Tabel 4.30: Lanjutan.

<b>TABLE: Story Response Seismic X</b>				
<b>Story</b>	<b>Elevation</b>	<b>Location</b>	<b>X-Dir</b>	<b>Y-Dir</b>
	m		kgf	kgf
	105,5	<i>Bottom</i>	3797151,55	1078029,27
<i>Floor30</i>	105,5	<i>Top</i>	3884584,33	1099558,12
	102	<i>Bottom</i>	3884584,33	1099558,12
<i>Floor29</i>	102	<i>Top</i>	3943105,45	1114717,7
	98,5	<i>Bottom</i>	3943105,45	1114717,7
<i>Floor28</i>	98,5	<i>Top</i>	3981147,68	1125215,13
	95	<i>Bottom</i>	3981147,68	1125215,13
<i>Floor27</i>	95	<i>Top</i>	4008128,37	1132638,38
	91,5	<i>Bottom</i>	4008128,37	1132638,38
<i>Floor26</i>	91,5	<i>Top</i>	4033361,65	1138340,99
	88	<i>Bottom</i>	4033361,65	1138340,99
<i>Floor25</i>	88	<i>Top</i>	4063514,36	1143632,06
	84,5	<i>Bottom</i>	4063514,36	1143632,06
<i>Floor24</i>	84,5	<i>Top</i>	4103329,76	1149929,72
	81	<i>Bottom</i>	4103329,76	1149929,72
<i>Floor23</i>	81	<i>Top</i>	4155130,81	1158815,34
	77,5	<i>Bottom</i>	4155130,81	1158815,34
<i>Floor22</i>	77,5	<i>Top</i>	4220801,41	1171989,71
	74	<i>Bottom</i>	4220801,41	1171989,71
<i>Floor21</i>	74	<i>Top</i>	4301377,14	1191040,82
	70,5	<i>Bottom</i>	4301377,14	1191040,82
<i>Floor20</i>	70,5	<i>Top</i>	4397378,49	1217174,38
	67	<i>Bottom</i>	4397378,49	1217174,38
<i>Floor19</i>	67	<i>Top</i>	4509163,86	1250986,04
	63,5	<i>Bottom</i>	4509163,86	1250986,04
<i>Floor18</i>	63,5	<i>Top</i>	4637130,85	1292367,98
	60	<i>Bottom</i>	4637130,85	1292367,98
<i>Floor17</i>	60	<i>Top</i>	4781716,41	1340586,82
	56,5	<i>Bottom</i>	4781716,41	1340586,82
<i>Floor16</i>	56,5	<i>Top</i>	4943210,03	1394497,61
	53	<i>Bottom</i>	4943210,03	1394497,61
<i>Floor15</i>	53	<i>Top</i>	5124197	1453703,69
	49,5	<i>Bottom</i>	5124197	1453703,69
<i>Floor14</i>	49,5	<i>Top</i>	5324223,31	1517108,09
	46	<i>Bottom</i>	5324223,31	1517108,09
<i>Floor13</i>	46	<i>Top</i>	5539145,54	1583003,78
	42,5	<i>Bottom</i>	5539145,54	1583003,78
<i>Floor12</i>	42,5	<i>Top</i>	5766122,67	1650678,95

Tabel 4.30: Lanjutan.

<b>TABLE: Story Response Seismic X</b>				
<b>Story</b>	<b>Elevation</b>	<b>Location</b>	<b>X-Dir</b>	<b>Y-Dir</b>
	m		kgf	kgf
	39	<i>Bottom</i>	5766122,67	1650678,95
<i>Floor11</i>	39	<i>Top</i>	6001238,28	1719405,95
	35,5	<i>Bottom</i>	6001238,28	1719405,95
<i>Floor10</i>	35,5	<i>Top</i>	6238323,31	1788252,06
	32	<i>Bottom</i>	6238323,31	1788252,06
<i>Floor9</i>	32	<i>Top</i>	6470496,13	1856066,37
	28,5	<i>Bottom</i>	6470496,13	1856066,37
<i>Floor8</i>	28,5	<i>Top</i>	6690210,28	1921534,07
	25	<i>Bottom</i>	6690210,28	1921534,07
<i>Floor7</i>	25	<i>Top</i>	6891306,14	1983170,83
	21,5	<i>Bottom</i>	6891306,14	1983170,83
<i>Floor6</i>	21,5	<i>Top</i>	7068083,47	2039142,12
	18	<i>Bottom</i>	7068083,47	2039142,12
<i>Floor5</i>	18	<i>Top</i>	7216029,09	2087583
	14,5	<i>Bottom</i>	7216029,09	2087583
<i>Floor4</i>	14,5	<i>Top</i>	7332133,69	2126840,86
	11	<i>Bottom</i>	7332133,69	2126840,86
<i>Floor3</i>	11	<i>Top</i>	7415151,28	2155735,68
	7,5	<i>Bottom</i>	7415151,28	2155735,68
<i>Floor2</i>	7,5	<i>Top</i>	7465832,87	2173813,22
	4	<i>Bottom</i>	7465832,87	2173813,22
<i>Floor1</i>	4	<i>Top</i>	7487687,59	2181760,29
	0	<i>Bottom</i>	7487687,59	2181760,29
<i>Basement</i>	0	<i>Top</i>	0	0
		<i>Bottom</i>	0	0

Tabel 4.31: Gaya geser hasil *output* analisis respon spektrum gempa y.

<b>TABLE: Story Response Seismic Y</b>				
<b>Story</b>	<b>Elevation</b>	<b>Location</b>	<b>X-Dir</b>	<b>Y-Dir</b>
	m		kgf	kgf
<i>Roof</i>	140,5	<i>Top</i>	177190,87	611476,75
	137	<i>Bottom</i>	177190,87	611476,75
<i>Floor39</i>	137	<i>Top</i>	359791,84	1228542,68
	133,5	<i>Bottom</i>	359791,84	1228542,68
<i>Floor38</i>	133,5	<i>Top</i>	523803,53	1768097,48
	130	<i>Bottom</i>	523803,53	1768097,48
<i>Floor37</i>	130	<i>Top</i>	668356,47	2228274,76

Tabel 4.31: Lanjutan.

<b>TABLE: Story Response Seismic Y</b>				
<b>Story</b>	<b>Elevation</b>	<b>Location</b>	<b>X-Dir</b>	<b>Y-Dir</b>
	m		kgf	kgf
	126,5	<i>Bottom</i>	668356,47	2228274,76
<i>Floor36</i>	126,5	<i>Top</i>	792665,95	2611043,95
	123	<i>Bottom</i>	792665,95	2611043,95
<i>Floor35</i>	123	<i>Top</i>	897181,02	2921586,58
	119,5	<i>Bottom</i>	897181,02	2921586,58
<i>Floor34</i>	119,5	<i>Top</i>	982629,17	3166400,81
	116	<i>Bottom</i>	982629,17	3166400,81
<i>Floor33</i>	116	<i>Top</i>	1050235,89	3353753,96
	112,5	<i>Bottom</i>	1050235,89	3353753,96
<i>Floor32</i>	112,5	<i>Top</i>	1101694,67	3492928,71
	109	<i>Bottom</i>	1101694,67	3492928,71
<i>Floor31</i>	109	<i>Top</i>	1139114,5	3593382,08
	105,5	<i>Bottom</i>	1139114,5	3593382,08
<i>Floor30</i>	105,5	<i>Top</i>	1165343,62	3665143,92
	102	<i>Bottom</i>	1165343,62	3665143,92
<i>Floor29</i>	102	<i>Top</i>	1182899,48	3715675,16
	98,5	<i>Bottom</i>	1182899,48	3715675,16
<i>Floor28</i>	98,5	<i>Top</i>	1194311,84	3750666,13
	95	<i>Bottom</i>	1194311,84	3750666,13
<i>Floor27</i>	95	<i>Top</i>	1202405,83	3775409,96
	91,5	<i>Bottom</i>	1202405,83	3775409,96
<i>Floor26</i>	91,5	<i>Top</i>	1209975,6	3794418,41
	88	<i>Bottom</i>	1209975,6	3794418,41
<i>Floor25</i>	88	<i>Top</i>	1219021,17	3812055,04
	84,5	<i>Bottom</i>	1219021,17	3812055,04
<i>Floor24</i>	84,5	<i>Top</i>	1230965,47	3833046,97
	81	<i>Bottom</i>	1230965,47	3833046,97
<i>Floor23</i>	81	<i>Top</i>	1246505,36	3862665,31
	77,5	<i>Bottom</i>	1246505,36	3862665,31
<i>Floor22</i>	77,5	<i>Top</i>	1266206	3906579,29
	74	<i>Bottom</i>	1266206	3906579,29
<i>Floor21</i>	74	<i>Top</i>	1290378,06	3970082,12
	70,5	<i>Bottom</i>	1290378,06	3970082,12
<i>Floor20</i>	70,5	<i>Top</i>	1319177,69	4057192,79
	67	<i>Bottom</i>	1319177,69	4057192,79
<i>Floor19</i>	67	<i>Top</i>	1352712,39	4169896,78
	63,5	<i>Bottom</i>	1352712,39	4169896,78
<i>Floor18</i>	63,5	<i>Top</i>	1391101,44	4307834,7

Tabel 4.31: Lanjutan.

<b>TABLE: Story Response Seismic Y</b>				
<b>Story</b>	<b>Elevation</b>	<b>Location</b>	<b>X-Dir</b>	<b>Y-Dir</b>
	m		kgf	kgf
	60	<i>Bottom</i>	1391101,44	4307834,7
<i>Floor17</i>	60	<i>Top</i>	1434475,93	4468561,99
	56,5	<i>Bottom</i>	1434475,93	4468561,99
<i>Floor16</i>	56,5	<i>Top</i>	1482922,7	4648262,19
	53	<i>Bottom</i>	1482922,7	4648262,19
<i>Floor15</i>	53	<i>Top</i>	1537217,31	4845613,12
	49,5	<i>Bottom</i>	1537217,31	4845613,12
<i>Floor14</i>	49,5	<i>Top</i>	1597223,58	5056958,25
	46	<i>Bottom</i>	1597223,58	5056958,25
<i>Floor13</i>	46	<i>Top</i>	1661698,49	5276607,56
	42,5	<i>Bottom</i>	1661698,49	5276607,56
<i>Floor12</i>	42,5	<i>Top</i>	1729789,78	5502188,38
	39	<i>Bottom</i>	1729789,78	5502188,38
<i>Floor11</i>	39	<i>Top</i>	1800322,55	5731275,28
	35,5	<i>Bottom</i>	1800322,55	5731275,28
<i>Floor10</i>	35,5	<i>Top</i>	1871446,12	5960759,2
	32	<i>Bottom</i>	1871446,12	5960759,2
<i>Floor9</i>	32	<i>Top</i>	1941096,07	6186803,8
	28,5	<i>Bottom</i>	1941096,07	6186803,8
<i>Floor8</i>	28,5	<i>Top</i>	2007008,53	6405026,51
	25	<i>Bottom</i>	2007008,53	6405026,51
<i>Floor7</i>	25	<i>Top</i>	2067335,65	6610479,58
	21,5	<i>Bottom</i>	2067335,65	6610479,58
<i>Floor6</i>	21,5	<i>Top</i>	2120367,4	6797048,01
	18	<i>Bottom</i>	2120367,4	6797048,01
<i>Floor5</i>	18	<i>Top</i>	2164749,88	6958515,41
	14,5	<i>Bottom</i>	2164749,88	6958515,41
<i>Floor4</i>	14,5	<i>Top</i>	2199580,32	7089373,18
	11	<i>Bottom</i>	2199580,32	7089373,18
<i>Floor3</i>	11	<i>Top</i>	2224484,92	7185687,95
	7,5	<i>Bottom</i>	2224484,92	7185687,95
<i>Floor2</i>	7,5	<i>Top</i>	2239688,98	7245945,57
	4	<i>Bottom</i>	2239688,98	7245945,57
<i>Floor1</i>	4	<i>Top</i>	2246245,22	7272435,45
	0	<i>Bottom</i>	2246245,22	7272435,45
<i>Basement</i>	0	<i>Top</i>	0	0
		<i>Bottom</i>	0	0



#### 4.2.3.5 Nilai Simpangan

Simpangan antar lantai merupakan selisih dari nilai defleksi gedung antara lantai *i* dengan lantai di bawahnya. Berdasarkan peraturan SNI 1726:2012, kontrol simpangan antar lantai hanya terdapat satu kinerja batas, yaitu kinerja batas ultimit. Simpangan antar lantai tingkat desain tidak boleh melebihi simpangan antar lantai ijin seperti yang terdapat pada Tabel 2.15 yang dikalikan dengan nilai faktor redundansi. Tabel 4.32-4.33 merupakan hasil nilai simpangan antar lantai untuk Model 3.

Tabel 4.32: Nilai simpangan gedung Model 3 akibat gempa *x*, pada kinerja batas ultimit berdasarkan SNI 1726-2012.

Tingkat	h (cm)	Perpindahan Elastis ( $\delta_e$ )		Perpindahan Total ( $\delta_e * C_d$ )/ $I_e$		Simpangan Antar Lantai ( $\Delta$ )		Syarat $\Delta_a$	Cek	
		X (cm)	Y (cm)	X (cm)	Y (cm)	X (cm)	Y (cm)		X	Y
40	350	6,491	2,137	35,702	11,754	0,870	0,324	7,000	OK	OK
39	350	6,333	2,078	34,833	11,430	0,890	0,331	7,000	OK	OK
38	350	6,171	2,018	33,942	11,099	0,909	0,333	7,000	OK	OK
37	350	6,006	1,957	33,034	10,766	0,953	0,336	7,000	OK	OK
36	350	5,833	1,896	32,081	10,430	0,974	0,338	7,000	OK	OK
35	350	5,656	1,835	31,107	10,091	0,988	0,341	7,000	OK	OK
34	350	5,476	1,773	30,120	9,750	1,000	0,343	7,000	OK	OK
33	350	5,295	1,711	29,120	9,408	1,010	0,344	7,000	OK	OK
32	350	5,111	1,648	28,109	9,063	1,019	0,345	7,000	OK	OK
31	350	4,926	1,585	27,091	8,718	1,025	0,346	7,000	OK	OK
30	350	4,739	1,522	26,066	8,372	1,026	0,345	7,000	OK	OK
29	350	4,553	1,460	25,040	8,027	1,029	0,345	7,000	OK	OK
28	350	4,366	1,397	24,011	7,682	1,024	0,345	7,000	OK	OK
27	350	4,180	1,334	22,987	7,337	0,993	0,344	7,000	OK	OK
26	350	3,999	1,272	21,994	6,993	0,992	0,344	7,000	OK	OK
25	350	3,819	1,209	21,002	6,650	0,998	0,342	7,000	OK	OK
24	350	3,637	1,147	20,004	6,307	1,035	0,340	7,000	OK	OK
23	350	3,449	1,085	18,970	5,967	1,044	0,339	7,000	OK	OK
22	350	3,259	1,023	17,925	5,628	1,046	0,337	7,000	OK	OK
21	350	3,069	0,962	16,880	5,290	1,045	0,335	7,000	OK	OK
20	350	2,879	0,901	15,835	4,956	1,042	0,332	7,000	OK	OK
19	350	2,690	0,841	14,792	4,623	1,037	0,329	7,000	OK	OK
18	350	2,501	0,781	13,756	4,294	1,029	0,325	7,000	OK	OK

Tabel 4.32: Lanjutan.

Tingkat	h (cm)	Perpindahan Elastis ( $\delta_e$ )		Perpindahan Total ( $\delta_e \cdot C_d$ )/Ie		Simpangan Antar Lantai ( $\Delta$ )		Syarat $\Delta_a$	Cek X	Cek Y
		X	Y	X	Y	X	Y			
		(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)		
17	350	2,314	0,722	12,727	3,970	1,018	0,321	7,000	OK	OK
16	350	2,129	0,664	11,709	3,649	1,004	0,316	7,000	OK	OK
15	350	1,946	0,606	10,705	3,334	0,983	0,308	7,000	OK	OK
14	350	1,768	0,550	9,722	3,026	0,964	0,302	7,000	OK	OK
13	350	1,593	0,495	8,759	2,724	0,934	0,295	7,000	OK	OK
12	350	1,423	0,442	7,825	2,429	0,879	0,286	7,000	OK	OK
11	350	1,263	0,390	6,945	2,143	0,850	0,277	7,000	OK	OK
10	350	1,108	0,339	6,096	1,866	0,822	0,266	7,000	OK	OK
9	350	0,959	0,291	5,273	1,600	0,815	0,254	7,000	OK	OK
8	350	0,811	0,245	4,459	1,346	0,781	0,240	7,000	OK	OK
7	350	0,669	0,201	3,678	1,107	0,735	0,224	7,000	OK	OK
6	350	0,535	0,160	2,943	0,882	0,682	0,206	7,000	OK	OK
5	350	0,411	0,123	2,261	0,676	0,620	0,187	7,000	OK	OK
4	350	0,298	0,089	1,641	0,489	0,549	0,165	7,000	OK	OK
3	350	0,198	0,059	1,091	0,324	0,469	0,140	7,000	OK	OK
2	350	0,113	0,033	0,622	0,184	0,376	0,111	7,000	OK	OK
1	400	0,045	0,013	0,246	0,073	0,246	0,073	8,000	OK	OK

Tabel 4.33: Nilai simpangan gedung Model 3 akibat gempa y, pada kinerja batas ultimit berdasarkan SNI 1726-2012.

Tingkat	h (cm)	Perpindahan Elastis ( $\delta_e$ )		Perpindahan Total ( $\delta_e \cdot C_d$ )/Ie		Simpangan Antar Lantai ( $\Delta$ )		Syarat $\Delta_a$	Cek X	Cek Y
		X	Y	X	Y	X	Y			
		(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)		
40	350	1,947	7,124	10,710	39,180	0,261	1,082	7,000	OK	OK
39	350	1,900	6,927	10,449	38,098	0,267	1,102	7,000	OK	OK
38	350	1,851	6,727	10,182	36,996	0,272	1,111	7,000	OK	OK
37	350	1,802	6,525	9,910	35,885	0,286	1,120	7,000	OK	OK
36	350	1,750	6,321	9,624	34,766	0,292	1,129	7,000	OK	OK
35	350	1,697	6,116	9,332	33,637	0,296	1,136	7,000	OK	OK
34	350	1,643	5,909	9,035	32,501	0,300	1,142	7,000	OK	OK
33	350	1,588	5,702	8,736	31,358	0,303	1,147	7,000	OK	OK
32	350	1,533	5,493	8,433	30,211	0,306	1,151	7,000	OK	OK
31	350	1,478	5,284	8,127	29,060	0,307	1,153	7,000	OK	OK
30	350	1,422	5,074	7,819	27,906	0,307	1,150	7,000	OK	OK

Tabel 4.33: *Lanjutan.*

Tingkat	h (cm)	Perpindahan Elastis ( $\delta_e$ )		Perpindahan Total ( $\delta_e * C_d$ )/ $I_e$		Simpangan Antar Lantai ( $\Delta$ )		Syarat $\Delta_a$	Cek X	Cek Y
		X (cm)	Y (cm)	X (cm)	Y (cm)	X (cm)	Y (cm)			
29	350	1,366	4,865	7,512	26,756	0,309	1,151	7,000	OK	OK
28	350	1,310	4,656	7,203	25,606	0,307	1,149	7,000	OK	OK
27	350	1,254	4,447	6,896	24,457	0,298	1,147	7,000	OK	OK
26	350	1,200	4,238	6,598	23,310	0,298	1,144	7,000	OK	OK
25	350	1,146	4,030	6,300	22,166	0,299	1,141	7,000	OK	OK
24	350	1,091	3,823	6,001	21,025	0,310	1,136	7,000	OK	OK
23	350	1,035	3,616	5,691	19,889	0,313	1,130	7,000	OK	OK
22	350	0,978	3,411	5,377	18,759	0,313	1,124	7,000	OK	OK
21	350	0,921	3,206	5,064	17,635	0,314	1,117	7,000	OK	OK
20	350	0,864	3,003	4,750	16,518	0,313	1,107	7,000	OK	OK
19	350	0,807	2,802	4,437	15,412	0,311	1,096	7,000	OK	OK
18	350	0,750	2,603	4,127	14,315	0,309	1,084	7,000	OK	OK
17	350	0,694	2,406	3,818	13,232	0,305	1,069	7,000	OK	OK
16	350	0,639	2,212	3,513	12,163	0,301	1,051	7,000	OK	OK
15	350	0,584	2,020	3,211	11,112	0,295	1,027	7,000	OK	OK
14	350	0,530	1,834	2,917	10,085	0,289	1,007	7,000	OK	OK
13	350	0,478	1,651	2,627	9,078	0,280	0,982	7,000	OK	OK
12	350	0,427	1,472	2,347	8,096	0,264	0,954	7,000	OK	OK
11	350	0,379	1,299	2,083	7,142	0,255	0,922	7,000	OK	OK
10	350	0,333	1,131	1,829	6,220	0,247	0,886	7,000	OK	OK
9	350	0,288	0,970	1,582	5,334	0,244	0,845	7,000	OK	OK
8	350	0,243	0,816	1,338	4,489	0,234	0,800	7,000	OK	OK
7	350	0,201	0,671	1,103	3,689	0,221	0,747	7,000	OK	OK
6	350	0,161	0,535	0,883	2,941	0,205	0,689	7,000	OK	OK
5	350	0,123	0,410	0,678	2,252	0,186	0,623	7,000	OK	OK
4	350	0,090	0,296	0,492	1,629	0,165	0,549	7,000	OK	OK
3	350	0,060	0,196	0,327	1,080	0,141	0,467	7,000	OK	OK
2	350	0,034	0,111	0,186	0,613	0,113	0,372	7,000	OK	OK
1	400	0,013	0,044	0,074	0,241	0,074	0,241	8,000	OK	OK

Pada Tabel 4.32-4.33 diatas dapat dilihat besarnya simpangan yang terjadi akibat gempa arah x maupun y. Besar simpangan arah sumbu x dan y berbeda, hal ini diakibatkan oleh sistem penahan gaya lateral yang terpasang hanya pada arah tertentu. Arah utama pengaruh gempa rencana harus ditentukan sedemikian

rupa sehingga memberi pengaruh terbesar terhadap unsur-unsur sub sistem dan sistem struktur gedung secara keseluruhan. Pengaruh pembebanan gempa dalam arah utama yang ditentukan harus dianggap efektif 100% dan harus dianggap terjadi bersamaan dengan pembebanan tadi, tetapi dengan efektifitas 30%.

#### 4.2.3.6 Pengaruh Efek P-Delta

Berdasarkan SNI 1726:2012 efek P-delta harus diperhitungkan untuk struktur gedung yang memikul beban gempa. Akan tetapi, efek P-delta dapat diabaikan jika nilai *stability ratio* lebih kecil dari 0,1. Kontrol pengaruh P-delta untuk arah x dan y tertera pada Tabel 4.34 dan 4.35.

Tabel 4.34: Kontrol P-delta pada arah x untuk Model 3.

Lantai	Tinggi (m)	Story Drift (m)	Gaya Geser Seismik, $V_x$ (kN)	Beban Vertikal Total (kN)	Beban Vertikal Kumulatif (kN)	Stability Ratio ( $\theta_x$ )	Cek X
Roof	140,5	0,0087	5792,3202	5682,717	5682,717	0,00001	OK
Floor39	137	0,0089	11761,4951	64234,217	64234,217	0,00007	OK
Floor38	133,5	0,0091	17122,9916	64234,217	64234,217	0,00005	OK
Floor37	130	0,0095	21848,3871	64093,906	64093,906	0,00004	OK
Floor36	126,5	0,0097	25912,0295	63953,595	63953,595	0,00004	OK
Floor35	123	0,0099	29328,5980	63953,595	63953,595	0,00004	OK
Floor34	119,5	0,0100	32121,8743	63953,595	63953,595	0,00003	OK
Floor33	116	0,0101	34331,9192	63953,595	63953,595	0,00003	OK
Floor32	112,5	0,0102	36014,0924	63953,595	63953,595	0,00003	OK
Floor31	109	0,0103	37237,3362	63953,595	63953,595	0,00003	OK
Floor30	105,5	0,0103	38094,7589	64834,350	64834,350	0,00003	OK
Floor29	102	0,0103	38668,6551	65566,660	65566,660	0,00003	OK
Floor28	98,5	0,0102	39041,7219	65566,660	65566,660	0,00003	OK
Floor27	95	0,0099	39306,3121	65706,971	65706,971	0,00003	OK
Floor26	91,5	0,0099	39553,7660	65847,282	65847,282	0,00004	OK
Floor25	88	0,0100	39849,4631	65847,282	65847,282	0,00004	OK
Floor24	84,5	0,0103	40239,9188	65706,971	65706,971	0,00004	OK
Floor23	81	0,0104	40747,9136	65566,660	65566,660	0,00004	OK
Floor22	77,5	0,0105	41391,9221	65566,660	65566,660	0,00004	OK
Floor21	74	0,0105	42182,1001	65566,660	65566,660	0,00004	OK
Story20	70,5	0,0104	43123,5518	65566,660	65566,660	0,00004	OK
Floor19	67	0,0104	44219,7918	65566,660	65566,660	0,00005	OK

Tabel 4.34: Lanjutan.

Lantai	Tinggi (m)	Story Drift (m)	Gaya Geser Seismik, $V_x$ (kN)	Beban Vertikal Total (kN)	Beban Vertikal Kumulatif (kN)	Stability Ratio ( $\theta_x$ )	Cek X
Floor18	63,5	0,0103	45474,7193	65566,660	65566,660	0,00005	OK
Floor17	60	0,0102	46892,6192	65566,660	65566,660	0,00005	OK
Floor16	56,5	0,0100	48476,3306	65566,660	65566,660	0,00005	OK
Floor15	53	0,0098	50251,2065	66487,994	66487,994	0,00005	OK
Floor14	49,5	0,0096	52212,7945	67266,521	67266,521	0,00005	OK
Floor13	46	0,0093	54320,4616	67266,521	67266,521	0,00005	OK
Floor12	42,5	0,0088	56546,3469	67406,831	67406,831	0,00005	OK
Floor11	39	0,0085	58852,0434	67547,142	67547,142	0,00005	OK
Floor10	35,5	0,0082	61177,0533	67547,142	67547,142	0,00005	OK
Floor9	32	0,0081	63453,8909	67406,831	67406,831	0,00005	OK
Floor8	28,5	0,0078	65608,5506	67266,521	67266,521	0,00006	OK
Floor7	25	0,0074	67580,6274	67266,521	67266,521	0,00006	OK
Floor6	21,5	0,0068	69314,2208	67266,521	67266,521	0,00006	OK
Floor5	18	0,0062	70765,0717	67266,521	67266,521	0,00007	OK
Floor4	14,5	0,0055	71903,6689	67266,521	67266,521	0,00007	OK
Floor3	11	0,0047	72717,7933	67266,521	67266,521	0,00008	OK
Floor2	7,5	0,0038	73214,8099	67266,521	67266,521	0,00009	OK
Floor1	4	0,0025	73429,1315	68520,459	68520,459	0,00011	OK

Tabel 4.35: Kontrol P-delta pada arah y untuk Model 3.

Lantai	Tinggi (m)	Story Drift (m)	Gaya Geser Seismik, $V_x$ (kN)	Beban Vertikal Total (kN)	Beban Vertikal Kumulatif (kN)	Stability Ratio ( $\theta_x$ )	Cek Y
Roof	140,5	0,0108	5996,538	5682,717	5682,717	0,00001	OK
Floor39	137	0,0110	12047,888	64234,217	64234,217	0,00009	OK
Floor38	133,5	0,0111	17339,113	64234,217	64234,217	0,00006	OK
Floor37	130	0,0112	21851,911	64093,906	64093,906	0,00005	OK
Floor36	126,5	0,0113	25605,594	63953,595	63953,595	0,00004	OK
Floor35	123	0,0114	28650,977	63953,595	63953,595	0,00004	OK
Floor34	119,5	0,0114	31051,785	63953,595	63953,595	0,00004	OK
Floor33	116	0,0115	32889,091	63953,595	63953,595	0,00004	OK
Floor32	112,5	0,0115	34253,929	63953,595	63953,595	0,00004	OK
Floor31	109	0,0115	35239,040	63953,595	63953,595	0,00004	OK
Floor30	105,5	0,0115	35942,784	64834,350	64834,350	0,00004	OK
Floor29	102	0,0115	36438,326	65566,660	65566,660	0,00004	OK

Tabel 4.35: Lanjutan.

Lantai	Tinggi (m)	Story Drift (m)	Gaya Geser Seismik, $V_x$ (kN)	Beban Vertikal Total (kN)	Beban Vertikal Kumulatif (kN)	Stability Ratio ( $\theta_x$ )	Cek Y
Floor28	98,5	0,0115	36781,470	65566,660	65566,660	0,00004	OK
Floor27	95	0,0115	37024,124	65706,971	65706,971	0,00004	OK
Floor26	91,5	0,0114	37210,533	65847,282	65847,282	0,00004	OK
Floor25	88	0,0114	37383,490	65847,282	65847,282	0,00005	OK
Floor24	84,5	0,0114	37589,350	65706,971	65706,971	0,00005	OK
Floor23	81	0,0113	37879,807	65566,660	65566,660	0,00005	OK
Floor22	77,5	0,0112	38310,456	65566,660	65566,660	0,00005	OK
Floor21	74	0,0112	38933,206	65566,660	65566,660	0,00005	OK
Story20	70,5	0,0111	39787,470	65566,660	65566,660	0,00005	OK
Floor19	67	0,0110	40892,718	65566,660	65566,660	0,00005	OK
Floor18	63,5	0,0108	42245,427	65566,660	65566,660	0,00005	OK
Floor17	60	0,0107	43821,623	65566,660	65566,660	0,00005	OK
Floor16	56,5	0,0105	45583,880	65566,660	65566,660	0,00005	OK
Floor15	53	0,0103	47519,232	66487,994	66487,994	0,00005	OK
Floor14	49,5	0,0101	49591,820	67266,521	67266,521	0,00006	OK
Floor13	46	0,0098	51745,844	67266,521	67266,521	0,00006	OK
Floor12	42,5	0,0095	53958,036	67406,831	67406,831	0,00006	OK
Floor11	39	0,0092	56204,611	67547,142	67547,142	0,00006	OK
Floor10	35,5	0,0089	58455,079	67547,142	67547,142	0,00006	OK
Floor9	32	0,0085	60671,819	67406,831	67406,831	0,00006	OK
Floor8	28,5	0,0080	62811,853	67266,521	67266,521	0,00006	OK
Floor7	25	0,0075	64826,660	67266,521	67266,521	0,00006	OK
Floor6	21,5	0,0069	66656,271	67266,521	67266,521	0,00006	OK
Floor5	18	0,0062	68239,725	67266,521	67266,521	0,00007	OK
Floor4	14,5	0,0055	69523,001	67266,521	67266,521	0,00007	OK
Floor3	11	0,0047	70467,527	67266,521	67266,521	0,00008	OK
Floor2	7,5	0,0037	71058,452	67266,521	67266,521	0,00009	OK
Floor1	4	0,0024	71318,229	68520,459	68520,459	0,00012	OK

Dari Tabel 4.34 dan 4.35 diketahui bahwa tidak ada nilai *stability ratio* yang lebih besar dari 0,1. Sehingga efek P-delta untuk Model 3 dapat diabaikan.

#### 4.2.3.7 Kekakuan Tingkat Gedung

Berdasarkan SNI 1726:2012 kekakuan tingkat lunak (*soft story*) didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat dimana kekakuan lateralnya kurang dari 70 persen kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80 persen kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya. Untuk itu perlu dilakukan pemeriksaan terhadap struktur gedung apakah memiliki ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak (*soft story*) atau tidak. Kontrol ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak pada arah x dan y untuk Model 3 tertera pada Tabel 4.36 dan 4.37.

Tabel 4.36: Distribusi kekakuan tingkat bangunan arah x bangunan.

Tingkat	Tinggi tingkat (cm)	Kekakuan Total X	Ki/Ki*100 %	Rata-Rata Kekakuan 3 tingkat (Kr)	Ki/Kr %
		Arah X			
40	14050	352562199,4			
39	13700	694326803,7	197%	676957963,6	
38	13350	983984887,7	142%	955690147,8	145%
37	13000	1188758752	121%	1181604065	124%
36	12650	1372068555	115%	1361176939	116%
35	12300	1522703509	111%	1511791835	112%
34	11950	1640603441	108%	1631205067	109%
33	11600	1730308250	105%	1722529667	106%
32	11250	1796677309	104%	1790693254	104%
31	10900	1845094204	103%	1843016276	103%
30	10550	1887277315	102%	1881623630	102%
29	10200	1912499370	101%	1914735879	102%
28	9850	1944430951	102%	1960392445	102%
27	9500	2024247014	104%	2005952412	103%
26	9150	2049179271	101%	2044684595	102%
25	8800	2060627499	101%	2042712488	101%
24	8450	2018330693	98%	2038157719	99%
23	8100	2035514966	101%	2042844567	100%
22	7750	2074688041	102%	2079088063	102%
21	7400	2127061181	103%	2131430170	102%
20	7050	2192541289	103%	2197171470	103%
19	6700	2271911941	104%	2276990103	103%
18	6350	2366517080	104%	2372257510	104%
17	6000	2478343509	105%	2485442056	104%
16	5650	2611465578	105%	2622281481	105%

Tabel 4.36: Lanjutan.

Tingkat	Tinggi tingkat (cm)	Kekakuan Total X	Ki/Ki*10 0 %	Rata-Rata Kekakuan 3 tingkat (Kr)	Ki/Kr %
		Arah X			
15	5300	2777035355	106%	2781504215	106%
14	4950	2956011711	106%	2972521052	106%
13	4600	3184516091	108%	3224735848	107%
12	4250	3533679742	111%	3512255590	110%
11	3900	3818570937	108%	3823022723	109%
10	3550	4116817491	108%	4085422555	108%
9	3200	4320879238	105%	4369690698	106%
8	2850	4671375366	108%	4704041026	107%
7	2500	5119868475	110%	5154777344	109%
6	2150	5673088192	111%	5723101355	110%
5	1800	6376347398	112%	6455074665	111%
4	1450	7315788406	115%	7454276761	113%
3	1100	8670694480	119%	8965764320	116%
2	750	10910810074	126%	12110416284	122%
1	400	16749744299	154%		138%

Tabel 4.37: Distribusi kekakuan tingkat pada arah y bangunan.

Tingkat	Tinggi tingkat (cm)	Kekakuan Total Y	Ki/Ki*10 0 %	Rata-Rata Kekakuan 3 tingkat (Kr)	Ki/Kr %
		Arah Y			
40	14050	295425102			
39	13700	578942830,8	196%	565226924,6	
38	13350	821312841,1	142%	806963337,6	145%
37	13000	1020634341	124%	1007430452	126%
36	12650	1180344175	116%	1168929001	117%
35	12300	1305808486	111%	1296045931	112%
34	11950	1401985131	107%	1393961320	108%
33	11600	1474090344	105%	1467814441	106%
32	11250	1527367847	104%	1522854839	104%
31	10900	1567106327	103%	1565676691	103%
30	10550	1602555900	102%	1598143292	102%
29	10200	1624767649	101%	1623935484	102%
28	9850	1644482904	101%	1643687145	101%
27	9500	1661810881	101%	1661676197	101%
26	9150	1678734806	101%	1679585585	101%
25	8800	1698211069	101%	1699395047	101%
24	8450	1721239265	101%	1723191782	101%



Tabel 4.37: *Lanjutan.*

Tingkat	Tinggi tingkat (cm)	Kekakuan Total Y	Ki/Ki*100 %	Rata-Rata Kekakuan 3 tingkat (Kr)	Ki/Kr %
		Arah Y			
23	8100	1750125012	102%	1753338793	102%
22	7750	1788652101	102%	1792783952	102%
21	7400	1839574743	103%	1844516525	103%
20	7050	1905322732	104%	1910881831	103%
19	6700	1987748017	104%	1993680147	104%
18	6350	2087969693	105%	2094105964	105%
17	6000	2206600181	106%	2213318470	105%
16	5650	2345385535	106%	2354463014	106%
15	5300	2511403325	107%	2514204225	107%
14	4950	2685823814	107%	2693904691	107%
13	4600	2884486934	107%	2892400895	107%
12	4250	3106891936	108%	3116297177	107%
11	3900	3357512660	108%	3369732856	108%
10	3550	3644793971	109%	3659252557	108%
9	3200	3975451040	109%	3993841551	109%
8	2850	4361279642	110%	4386619971	109%
7	2500	4823129232	111%	4858040762	110%
6	2150	5389713411	112%	5440509969	111%
5	1800	6108687263	113%	6188326873	112%
4	1450	7066579944	116%	7206199477	114%
3	1100	8443331223	119%	8740596269	117%
2	750	10711877639	127%	11915120653	123%
1	400	16590153097	155%		139%

Dari hasil perhitungan kekakuan tingkat arah X dan juga arah Y yang terdapat pada Tabel 4.36 dan 4.37 menunjukkan tingkat ke-1 sebesar 155% dari kekakuan tingkat ke-2 dan hal ini memenuhi syarat minimum yaitu 70%, terhadap syarat kedua yaitu syarat 80% juga terpenuhi karena kekakuan tingkat ke-1 sebesar 139% dari rata-rata kekakuan 3 tingkat di atasnya. Maka dengan demikian dapat dikatakan gedung yang direncanakan pada Model 3 ini tidak mengalami *soft storey* karena kekakuan lateralnya > 70 % kekakuan lateral tingkat di atasnya, atau > 80 % kekakuan lateral rata-rata 3-tingkat di atasnya.

#### 4.2.3.8 Kontrol Kemampuan Dual sistem menerima Gaya Geser

Gedung Model 3 ini memiliki sistem ganda sesuai dengan SNI 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 momen dan dinding geser (*core wall*) atau rangka *outrigger*, dengan distribusi yang proporsional terhadap kekakuannya. Berdasarkan persentase penahan gempa disajikan pada Tabel 4.38. Maka gedung Model 3 ini memenuhi syarat sistem ganda.

Tabel 4.38: Persentase penahan gaya gempa dengan metode respon spektrum.

Load Case/Combo	Gaya Yang Diterima		Persentase menahan gaya gempa	
	SRPMK	Dual Sistem	SRPMK	Dual Sistem
Gempa X	6742891,86	7393435,06	47,70	52,30
Gempa Y	6703491,74	7309708,42	47,84	52,16

#### 4.2.4 Model 4

##### 4.2.4.1 Gaya Geser

Pada dasarnya nilai gaya geser pada gedung yang simetris akibat arah X maupun arah Y tetap sama. Tetapi, nilai gaya geser yang dihasilkan oleh respon spektrum program analisa struktur sangat teliti sehingga arah X dan arah Y tidak sama walaupun bangunannya simetris. Adapun bangunan yang direncanakan menggunakan struktur rangka pemikul momen khusus dan *outrigger* ini memiliki Inersia arah X dan arah Y yang berlainan. Oleh karena itu, hasil perioda yang diperoleh terhadap arah X dan arah Y tidak sama. Ketentuan ini berlaku pada gedung setiap model.

Dari hasil analisis respon spektrum yang menggunakan program Analisis Struktur diperoleh nilai gaya geser dasar (V) berdasarkan SNI 1726-2012 yang disajikan pada Tabel 4.39.

Tabel 4.39: Gaya geser dasar nominal hasil analisis ragam respon spektrum

TABEL: <i>Base Reactions</i>		
<i>OutputCase</i>	FX	FY
<i>Text</i>	Kgf	Kgf
GEMPA X	7515439,32	2239899,72
GEMPA Y	2254570,51	7466230,93

Berikut perhitungan koreksi nilai akhir respon spektrum terhadap respon ragam pertama.

- Gempa Arah X

$$V_{Ix} = C_s \cdot W_t$$

$$V_{Ix} = 0.152 \times 26794936,14$$

$$= 4084739,15 \text{ Kgf (Gaya geser statik ekivalen arah X)}$$

- Gempa Arah Y

$$V_{Iy} = C_s \cdot W_t$$

$$V_{Iy} = 0.152 \times 26794936,14$$

$$= 4084739,15 \text{ Kgf (Gaya geser statik ekivalen arah Y)}$$

Berdasarkan SNI 1726-2012 kontrol faktor skala:

- Arah X

$$V_x = 7515439,32 \text{ Kgf}$$

$$V_{Ix} = 4084739,15 \text{ Kgf}$$

$$\text{Faktor Skala} = \frac{0,85 V_{Ix}}{V_x} \leq 1$$

$$= \frac{0,85 \cdot 4084739,15}{7515439,32} = 0,4620$$

- Arah Y

$$V_y = 7466230,93 \text{ Kgf}$$

$$V_{Iy} = 4084739,15 \text{ Kgf}$$

$$\text{Faktor Skala} = \frac{0,85 V_{Iy}}{V_y} \leq 1$$

$$= \frac{0,85 \cdot 4084739,15}{7466230,93} = 0,4650$$

Tabel 4.40: Rekapitulasi faktor skala hasil respon spektrum dengan statik ekuivalen masing-masing arah Model 4.

V1 ELF		Vt CQC		Faktor Skala	
Arah x Kgf	Arah y Kgf	Arah x Kgf	Arah y Kgf	Arah x	Arah y
4084739,15	4084739,15	7515439,32	7466230,93	0,4620	0,4650

Karena faktor skala yang didapat untuk masing-masing arah kurang dari 1, maka gaya geser dasar nominal yang didapat dari hasil analisa ragam respon spektrum yang telah dilakukan dapat digunakan tanpa dikalikan dengan faktor skala  $\frac{0,85 C_s W}{V_t}$ .

#### 4.2.4.2 Koreksi Faktor Redudansi

Berdasarkan sub subbab 2.9, bahwasanya untuk struktur yang dirancang pada kategori desain seismik D, penggunaan redundansi  $\rho$  harus sama dengan 1,3 kecuali jika satu dari dua kondisi yang ditentukan pada sub subbab 2.9 dipenuhi, dimana redundansi  $\rho$  diijinkan diambil sebesar 1,0. Salah satu kondisi yang menentukan tersebut yaitu masing-masing lantai harus menahan lebih dari 35 persen geser dasar dalam arah yang ditinjau, maka redundansi diijinkan diambil 1,0. Apabila kondisi ini tidak terpenuhi, maka nilai faktor redundansi 1,0 harus diganti dengan redundansi 1,3. Tabel 4.41-4.42 merupakan pengecekan untuk setiap gaya geser pada masing-masing lantainya terhadap nilai redundansi 1,0.

Tabel 4.41: Pengecekan *story shear* dengan 35% *base shear* terhadap redundansi  $\rho$  1,0 untuk Model 4 terhadap gempa x.

Lantai	$V_x$ (kgf)	$V_y$ (kgf)	35 % $V_x$ <i>Base shear</i>	35 % $V_y$ <i>Base shear</i>	Kontrol	Kontrol
<i>Roof</i>	591890,81	183664,59	2630403,76	783964,90	NOT OK	NOT OK
<i>Floor39</i>	1203543,79	371392,98	2630403,76	783964,90	NOT OK	NOT OK
<i>Floor38</i>	1752266,74	537278,98	2630403,76	783964,90	NOT OK	NOT OK
<i>Floor37</i>	2235343,51	679833,45	2630403,76	783964,90	NOT OK	NOT OK
<i>Floor36</i>	2651267,09	799628,48	2630403,76	783964,90	OK	OK
<i>Floor35</i>	3001450,93	897982,22	2630403,76	783964,90	OK	OK
<i>Floor34</i>	3288238,48	976618,73	2630403,76	783964,90	OK	OK
<i>Floor33</i>	3515637,68	1037813,57	2630403,76	783964,90	OK	OK

Tabel 4.41: *Lanjutan.*

Lantai	V <sub>x</sub> (kgf)	V <sub>y</sub> (kgf)	35 % V <sub>x</sub> Base shear	35 % V <sub>y</sub> Base shear	Kontrol	Kontrol
Floor32	3689221,31	1084175,83	2630403,76	783964,90	OK	OK
Floor31	3815953,15	1118407,74	2630403,76	783964,90	OK	OK
Floor30	3905294,02	1143482,36	2630403,76	783964,90	OK	OK
Floor29	3965578,01	1161591,32	2630403,76	783964,90	OK	OK
Floor28	4005178,73	1174444,00	2630403,76	783964,90	OK	OK
Floor27	4033495,74	1183736,57	2630403,76	783964,90	OK	OK
Floor26	4059933,30	1191049,04	2630403,76	783964,90	OK	OK
Floor25	4091256,51	1198175,91	2630403,76	783964,90	OK	OK
Floor24	4132087,69	1206478,29	2630403,76	783964,90	OK	OK
Floor23	4184631,94	1217068,80	2630403,76	783964,90	OK	OK
Floor22	4250820,91	1231501,32	2630403,76	783964,90	OK	OK
Floor21	4331703,15	1251301,73	2630403,76	783964,90	OK	OK
Floor20	4427819,03	1277675,91	2630403,76	783964,90	OK	OK
Floor19	4539548,29	1311283,81	2630403,76	783964,90	OK	OK
Floor18	4667309,31	1352131,99	2630403,76	783964,90	OK	OK
Floor17	4811559,47	1399623,37	2630403,76	783964,90	OK	OK
Floor16	4972610,11	1452740,53	2630403,76	783964,90	OK	OK
Floor15	5153064,07	1511172,87	2630403,76	783964,90	OK	OK
Floor14	5352496,36	1573884,73	2630403,76	783964,90	OK	OK
Floor13	5566805,31	1639203,15	2630403,76	783964,90	OK	OK
Floor12	5793188,06	1706421,82	2630403,76	783964,90	OK	OK
Floor11	6028281,33	1775010,05	2630403,76	783964,90	OK	OK
Floor10	6265991,97	1844300,17	2630403,76	783964,90	OK	OK
Floor9	6498432,18	1912790,83	2630403,76	783964,90	OK	OK
Floor8	6718020,88	1978790,55	2630403,76	783964,90	OK	OK
Floor7	6919045,59	2040840,96	2630403,76	783964,90	OK	OK
Floor6	7095790,97	2097087,67	2630403,76	783964,90	OK	OK
Floor5	7243731,03	2145680,47	2630403,76	783964,90	OK	OK
Floor4	7359845,43	2184999,00	2630403,76	783964,90	OK	OK
Floor3	7442879,09	2213900,54	2630403,76	783964,90	OK	OK
Floor2	7493575,75	2231964,19	2630403,76	783964,90	OK	OK
Floor1	7515439,32	2239899,72	2630403,76	783964,90	OK	OK

Tabel 4.42: Pengecekan *story shear* dengan 35% *base shear* terhadap redundansi  $\rho$  1,0 untuk Model 4 terhadap gempa y.

Lantai	V <sub>x</sub> (kgf)	V <sub>y</sub> (kgf)	35 % V <sub>x</sub> <i>Base shear</i>	35 % V <sub>y</sub> <i>Base shear</i>	Kontrol	Kontrol
Roof	177562,42	612206,98	789099,68	2613180,83	NOT OK	NOT OK
Floor39	361053,32	1237959,78	789099,68	2613180,83	NOT OK	NOT OK
Floor38	525665,73	1790905,59	789099,68	2613180,83	NOT OK	NOT OK
Floor37	670584,82	2266080,71	789099,68	2613180,83	NOT OK	NOT OK
Floor36	795358,51	2665392,04	789099,68	2613180,83	OK	OK
Floor35	900410,80	2993233,38	789099,68	2613180,83	OK	OK
Floor34	986444,73	3255351,54	789099,68	2613180,83	OK	OK
Floor33	1054662,63	3459331,56	789099,68	2613180,83	OK	OK
Floor32	1106736,31	3613870,32	789099,68	2613180,83	OK	OK
Floor31	1144754,83	3727975,12	789099,68	2613180,83	OK	OK
Floor30	1171556,36	3811556,07	789099,68	2613180,83	OK	OK
Floor29	1189641,06	3871918,44	789099,68	2613180,83	OK	OK
Floor28	1201520,96	3914760,13	789099,68	2613180,83	OK	OK
Floor27	1210015,83	3945734,92	789099,68	2613180,83	OK	OK
Floor26	1217946,88	3970109,50	789099,68	2613180,83	OK	OK
Floor25	1227343,59	3993865,43	789099,68	2613180,83	OK	OK
Floor24	1239592,61	4021539,63	789099,68	2613180,83	OK	OK
Floor23	1255355,46	4056840,86	789099,68	2613180,83	OK	OK
Floor22	1275211,61	4104948,60	789099,68	2613180,83	OK	OK
Floor21	1299475,62	4170949,09	789099,68	2613180,83	OK	OK
Floor20	1328309,60	4258861,80	789099,68	2613180,83	OK	OK
Floor19	1361827,47	4370886,64	789099,68	2613180,83	OK	OK
Floor18	1400154,73	4507045,39	789099,68	2613180,83	OK	OK
Floor17	1443428,61	4665347,83	789099,68	2613180,83	OK	OK
Floor16	1491742,48	4842402,63	789099,68	2613180,83	OK	OK
Floor15	1545877,20	5037174,45	789099,68	2613180,83	OK	OK
Floor14	1605705,26	5246211,13	789099,68	2613180,83	OK	OK
Floor13	1669996,20	5463936,24	789099,68	2613180,83	OK	OK
Floor12	1737909,18	5687995,44	789099,68	2613180,83	OK	OK
Floor11	1808435,24	5916619,74	789099,68	2613180,83	OK	OK
Floor10	1879746,49	6147583,67	789099,68	2613180,83	OK	OK
Floor9	1949476,66	6375882,79	789099,68	2613180,83	OK	OK
Floor8	2015351,48	6595878,86	789099,68	2613180,83	OK	OK
Floor7	2075657,25	6802710,74	789099,68	2613180,83	OK	OK
Floor6	2128679,43	6990197,21	789099,68	2613180,83	OK	OK
Floor5	2173060,24	7152171,04	789099,68	2613180,83	OK	OK

Tabel 4.42: Lanjutan.

Lantai	V <sub>x</sub> (kgf)	V <sub>y</sub> (kgf)	35 % V <sub>x</sub> Base shear	35 % V <sub>y</sub> Base shear	Kontrol	Kontrol
Floor4	2207893,61	7283230,99	789099,68	2613180,83	OK	OK
Floor3	2232803,03	7379568,18	789099,68	2613180,83	OK	OK
Floor2	2248011,62	7439779,51	789099,68	2613180,83	OK	OK
Floor1	2254570,51	7466230,93	789099,68	2613180,83	OK	OK

Dari Tabel 4.41-4.42 diketahui bahwa gaya geser pada lantai 37-40 dengan redundansi 1,0 tidak memenuhi syarat lebih besar dari 35 persen gaya geser dasar. Sehingga nilai faktor redundansi  $\rho$  yang digunakan pada pemodelan struktur dengan menggunakan program Analisis Struktur adalah 1,3.

#### 4.2.4.3 Perbandingan Gaya Geser Gedung Tiap Lantai

Berdasarkan SNI 1726-2012 pasal 7.8.3, gaya gempa lateral ( $F_i$ ) yang timbul disemua tingkat dapat ditentukan oleh:

$$F_i = C_{vx} \cdot V \quad \text{dan} \quad C_{vx} = \frac{w_i h_i^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k}$$

$K$  = Eksponen yang terkait dengan perioda struktur sebagai berikut.

- Untuk struktur yang memiliki  $T \leq 0,5$  detik;  $k = 1$
- Untuk struktur yang memiliki  $T \geq 2,5$  detik;  $k = 2$

Untuk struktur yang memiliki  $0,5 < T < 2,5$ ;  $k$  adalah hasil interpolasi berikut cara mendapatkan nilai  $k$ .

$$T_x = 2,455$$

$$T_y = 2,553$$

$$K_x$$

$$K_y$$

$$1 + \frac{(2-1)}{(2,5-0,5)} (2,455-0,5)$$

$$1 + \frac{(2-1)}{(2,5-0,5)} (2,553-0,5)$$

$$= 1,978$$

$$= 2,027$$

Setelah dilakukan perhitungan, didapatkan nilai dari distribusi gaya geser horizontal arah x berdasarkan metode analisis statik ekuivalen.

#### 4.2.4.4 Gaya Geser Analisis Respon Spektrum

Gaya geser lantai merupakan distribusi dari gaya geser dasar yang dibagi pada setiap lantai untuk masing-masing arah gempa. Nilai gaya geser lantai yang didapat dari pemodelan struktur dengan menggunakan program Analisis Struktur dapat dilihat pada Tabel 4.43-4.44.

Tabel 4.43: Gaya geser hasil *output* analisis respon spectrum gempa x.

<i>TABLE: Story Response Seismic X</i>				
<i>Story</i>	<i>Elevation</i>	<i>Location</i>	<i>X-Dir</i>	<i>Y-Dir</i>
	m		kgf	kgf
<i>Roof</i>	140,5	<i>Top</i>	591890,81	183664,59
	137	<i>Bottom</i>	591890,81	183664,59
<i>Floor39</i>	137	<i>Top</i>	1203543,79	371392,98
	133,5	<i>Bottom</i>	1203543,79	371392,98
<i>Floor38</i>	133,5	<i>Top</i>	1752266,74	537278,98
	130	<i>Bottom</i>	1752266,74	537278,98
<i>Floor37</i>	130	<i>Top</i>	2235343,51	679833,45
	126,5	<i>Bottom</i>	2235343,51	679833,45
<i>Floor36</i>	126,5	<i>Top</i>	2651267,09	799628,48
	123	<i>Bottom</i>	2651267,09	799628,48
<i>Floor35</i>	123	<i>Top</i>	3001450,93	897982,22
	119,5	<i>Bottom</i>	3001450,93	897982,22
<i>Floor34</i>	119,5	<i>Top</i>	3288238,48	976618,73
	116	<i>Bottom</i>	3288238,48	976618,73
<i>Floor33</i>	116	<i>Top</i>	3515637,68	1037813,57
	112,5	<i>Bottom</i>	3515637,68	1037813,57
<i>Floor32</i>	112,5	<i>Top</i>	3689221,31	1084175,83
	109	<i>Bottom</i>	3689221,31	1084175,83
<i>Floor31</i>	109	<i>Top</i>	3815953,15	1118407,74
	105,5	<i>Bottom</i>	3815953,15	1118407,74
<i>Floor30</i>	105,5	<i>Top</i>	3905294,02	1143482,36
	102	<i>Bottom</i>	3905294,02	1143482,36
<i>Floor29</i>	102	<i>Top</i>	3965578,01	1161591,32
	98,5	<i>Bottom</i>	3965578,01	1161591,32
<i>Floor28</i>	98,5	<i>Top</i>	4005178,73	1174444
	95	<i>Bottom</i>	4005178,73	1174444
<i>Floor27</i>	95	<i>Top</i>	4033495,74	1183736,57
	91,5	<i>Bottom</i>	4033495,74	1183736,57
<i>Floor26</i>	91,5	<i>Top</i>	4059933,3	1191049,04
	88	<i>Bottom</i>	4059933,3	1191049,04



Tabel 4.43: Lanjutan.

<b>TABLE: Story Response Seismic X</b>				
<b>Story</b>	<b>Elevation</b>	<b>Location</b>	<b>X-Dir</b>	<b>Y-Dir</b>
	m		kgf	Kgf
<i>Floor25</i>	88	<i>Top</i>	4091256,51	1198175,91
	84,5	<i>Bottom</i>	4091256,51	1198175,91
<i>Floor24</i>	84,5	<i>Top</i>	4132087,69	1206478,29
	81	<i>Bottom</i>	4132087,69	1206478,29
<i>Floor23</i>	81	<i>Top</i>	4184631,94	1217068,8
	77,5	<i>Bottom</i>	4184631,94	1217068,8
<i>Floor22</i>	77,5	<i>Top</i>	4250820,91	1231501,32
	74	<i>Bottom</i>	4250820,91	1231501,32
<i>Floor21</i>	74	<i>Top</i>	4331703,15	1251301,73
	70,5	<i>Bottom</i>	4331703,15	1251301,73
<i>Floor20</i>	70,5	<i>Top</i>	4427819,03	1277675,91
	67	<i>Bottom</i>	4427819,03	1277675,91
<i>Floor19</i>	67	<i>Top</i>	4539548,29	1311283,81
	63,5	<i>Bottom</i>	4539548,29	1311283,81
<i>Floor18</i>	63,5	<i>Top</i>	4667309,31	1352131,99
	60	<i>Bottom</i>	4667309,31	1352131,99
<i>Floor17</i>	60	<i>Top</i>	4811559,47	1399623,37
	56,5	<i>Bottom</i>	4811559,47	1399623,37
<i>Floor16</i>	56,5	<i>Top</i>	4972610,11	1452740,53
	53	<i>Bottom</i>	4972610,11	1452740,53
<i>Floor15</i>	53	<i>Top</i>	5153064,07	1511172,87
	49,5	<i>Bottom</i>	5153064,07	1511172,87
<i>Floor14</i>	49,5	<i>Top</i>	5352496,36	1573884,73
	46	<i>Bottom</i>	5352496,36	1573884,73
<i>Floor13</i>	46	<i>Top</i>	5566805,31	1639203,15
	42,5	<i>Bottom</i>	5566805,31	1639203,15
<i>Floor12</i>	42,5	<i>Top</i>	5793188,06	1706421,82
	39	<i>Bottom</i>	5793188,06	1706421,82
<i>Floor11</i>	39	<i>Top</i>	6028281,33	1775010,05
	35,5	<i>Bottom</i>	6028281,33	1775010,05
<i>Floor10</i>	35,5	<i>Top</i>	6265991,97	1844300,17
	32	<i>Bottom</i>	6265991,97	1844300,17
<i>Floor9</i>	32	<i>Top</i>	6498432,18	1912790,83
	28,5	<i>Bottom</i>	6498432,18	1912790,83
<i>Floor8</i>	28,5	<i>Top</i>	6718020,88	1978790,55
	25	<i>Bottom</i>	6718020,88	1978790,55
<i>Floor7</i>	25	<i>Top</i>	6919045,59	2040840,96
	21,5	<i>Bottom</i>	6919045,59	2040840,96

Tabel 4.43: Lanjutan.

<b>TABLE: Story Response Seismic X</b>				
<b>Story</b>	<b>Elevation</b>	<b>Location</b>	<b>X-Dir</b>	<b>Y-Dir</b>
	m		kgf	Kgf
<i>Floor6</i>	21,5	<i>Top</i>	7095790,97	2097087,67
	18	<i>Bottom</i>	7095790,97	2097087,67
<i>Floor5</i>	18	<i>Top</i>	7243731,03	2145680,47
	14,5	<i>Bottom</i>	7243731,03	2145680,47
<i>Floor4</i>	14,5	<i>Top</i>	7359845,43	2184999
	11	<i>Bottom</i>	7359845,43	2184999
<i>Floor3</i>	11	<i>Top</i>	7442879,09	2213900,54
	7,5	<i>Bottom</i>	7442879,09	2213900,54
<i>Floor2</i>	7,5	<i>Top</i>	7493575,75	2231964,19
	4	<i>Bottom</i>	7493575,75	2231964,19
<i>Floor1</i>	4	<i>Top</i>	7515439,32	2239899,72
	0	<i>Bottom</i>	7515439,32	2239899,72
<i>Basement</i>	0	<i>Top</i>	0	0
		<i>Bottom</i>	0	0

Tabel 4.44: Gaya geser hasil *output* analisis respon spektrum gempa y.

<b>TABLE: Story Response Seismic Y</b>				
<b>Story</b>	<b>Elevation</b>	<b>Location</b>	<b>X-Dir</b>	<b>Y-Dir</b>
	m		kgf	kgf
<i>Roof</i>	140,5	<i>Top</i>	177562,42	612206,98
	137	<i>Bottom</i>	177562,42	612206,98
<i>Floor39</i>	137	<i>Top</i>	361053,32	1237959,78
	133,5	<i>Bottom</i>	361053,32	1237959,78
<i>Floor38</i>	133,5	<i>Top</i>	525665,73	1790905,59
	130	<i>Bottom</i>	525665,73	1790905,59
<i>Floor37</i>	130	<i>Top</i>	670584,82	2266080,71
	126,5	<i>Bottom</i>	670584,82	2266080,71
<i>Floor36</i>	126,5	<i>Top</i>	795358,51	2665392,04
	123	<i>Bottom</i>	795358,51	2665392,04
<i>Floor35</i>	123	<i>Top</i>	900410,8	2993233,38
	119,5	<i>Bottom</i>	900410,8	2993233,38
<i>Floor34</i>	119,5	<i>Top</i>	986444,73	3255351,54
	116	<i>Bottom</i>	986444,73	3255351,54
<i>Floor33</i>	116	<i>Top</i>	1054662,63	3459331,56
	112,5	<i>Bottom</i>	1054662,63	3459331,56
<i>Floor32</i>	112,5	<i>Top</i>	1106736,31	3613870,32
	109	<i>Bottom</i>	1106736,31	3613870,32

Tabel 4.44: Lanjutan.

<b>TABLE: Story Response Seismic Y</b>				
<b>Story</b>	<b>Elevation</b>	<b>Location</b>	<b>X-Dir</b>	<b>Y-Dir</b>
	m		kgf	kgf
<i>Floor31</i>	109	<i>Top</i>	1144754,83	3727975,12
	105,5	<i>Bottom</i>	1144754,83	3727975,12
<i>Floor30</i>	105,5	<i>Top</i>	1171556,36	3811556,07
	102	<i>Bottom</i>	1171556,36	3811556,07
<i>Floor29</i>	102	<i>Top</i>	1189641,06	3871918,44
	98,5	<i>Bottom</i>	1189641,06	3871918,44
<i>Floor28</i>	98,5	<i>Top</i>	1201520,96	3914760,13
	95	<i>Bottom</i>	1201520,96	3914760,13
<i>Floor27</i>	95	<i>Top</i>	1210015,83	3945734,92
	91,5	<i>Bottom</i>	1210015,83	3945734,92
<i>Floor26</i>	91,5	<i>Top</i>	1217946,88	3970109,5
	88	<i>Bottom</i>	1217946,88	3970109,5
<i>Floor25</i>	88	<i>Top</i>	1227343,59	3993865,43
	84,5	<i>Bottom</i>	1227343,59	3993865,43
<i>Floor24</i>	84,5	<i>Top</i>	1239592,61	4021539,63
	81	<i>Bottom</i>	1239592,61	4021539,63
<i>Floor23</i>	81	<i>Top</i>	1255355,46	4056840,86
	77,5	<i>Bottom</i>	1255355,46	4056840,86
<i>Floor22</i>	77,5	<i>Top</i>	1275211,61	4104948,6
	74	<i>Bottom</i>	1275211,61	4104948,6
<i>Floor21</i>	74	<i>Top</i>	1299475,62	4170949,09
	70,5	<i>Bottom</i>	1299475,62	4170949,09
<i>Floor20</i>	70,5	<i>Top</i>	1328309,6	4258861,8
	67	<i>Bottom</i>	1328309,6	4258861,8
<i>Floor19</i>	67	<i>Top</i>	1361827,47	4370886,64
	63,5	<i>Bottom</i>	1361827,47	4370886,64
<i>Floor18</i>	63,5	<i>Top</i>	1400154,73	4507045,39
	60	<i>Bottom</i>	1400154,73	4507045,39
<i>Floor17</i>	60	<i>Top</i>	1443428,61	4665347,83
	56,5	<i>Bottom</i>	1443428,61	4665347,83
<i>Floor16</i>	56,5	<i>Top</i>	1491742,48	4842402,63
	53	<i>Bottom</i>	1491742,48	4842402,63
<i>Floor15</i>	53	<i>Top</i>	1545877,2	5037174,45
	49,5	<i>Bottom</i>	1545877,2	5037174,45
<i>Floor14</i>	49,5	<i>Top</i>	1605705,26	5246211,13
	46	<i>Bottom</i>	1605705,26	5246211,13
<i>Floor13</i>	46	<i>Top</i>	1669996,2	5463936,24
	42,5	<i>Bottom</i>	1669996,2	5463936,24

Tabel 4.44: Lanjutan.

<b>TABLE: Story Response Seismic Y</b>				
<i>Story</i>	<i>Elevation</i>	<i>Location</i>	<i>X-Dir</i>	<i>Y-Dir</i>
	m		kgf	kgf
<i>Floor12</i>	42,5	<i>Top</i>	1737909,18	5687995,44
	39	<i>Bottom</i>	1737909,18	5687995,44
<i>Floor11</i>	39	<i>Top</i>	1808435,24	5916619,74
	35,5	<i>Bottom</i>	1808435,24	5916619,74
<i>Floor10</i>	35,5	<i>Top</i>	1879746,49	6147583,67
	32	<i>Bottom</i>	1879746,49	6147583,67
<i>Floor9</i>	32	<i>Top</i>	1949476,66	6375882,79
	28,5	<i>Bottom</i>	1949476,66	6375882,79
<i>Floor8</i>	28,5	<i>Top</i>	2015351,48	6595878,86
	25	<i>Bottom</i>	2015351,48	6595878,86
<i>Floor7</i>	25	<i>Top</i>	2075657,25	6802710,74
	21,5	<i>Bottom</i>	2075657,25	6802710,74
<i>Floor6</i>	21,5	<i>Top</i>	2128679,43	6990197,21
	18	<i>Bottom</i>	2128679,43	6990197,21
<i>Floor5</i>	18	<i>Top</i>	2173060,24	7152171,04
	14,5	<i>Bottom</i>	2173060,24	7152171,04
<i>Floor4</i>	14,5	<i>Top</i>	2207893,61	7283230,99
	11	<i>Bottom</i>	2207893,61	7283230,99
<i>Floor3</i>	11	<i>Top</i>	2232803,03	7379568,18
	7,5	<i>Bottom</i>	2232803,03	7379568,18
<i>Floor2</i>	7,5	<i>Top</i>	2248011,62	7439779,51
	4	<i>Bottom</i>	2248011,62	7439779,51
<i>Floor1</i>	4	<i>Top</i>	2254570,51	7466230,93
	0	<i>Bottom</i>	2254570,51	7466230,93
<i>Basement</i>	0	<i>Top</i>	0	0
		<i>Bottom</i>	0	0

#### 4.2.4.5 Nilai Simpangan

Simpangan antar lantai merupakan selisih dari nilai defleksi gedung antara lantai *i* dengan lantai di bawahnya. Berdasarkan peraturan SNI 1726:2012, kontrol simpangan antar lantai hanya terdapat satu kinerja batas, yaitu kinerja batas ultimit. Simpangan antar lantai tingkat desain tidak boleh melebihi simpangan antar lantai ijin seperti yang terdapat pada Tabel 2.15 yang dikalikan dengan nilai faktor redundansi. Tabel 4.45-4.46 merupakan hasil nilai simpangan antar lantai untuk Model 4.

Tabel 4.45: Nilai simpangan gedung Model 4 akibat gempa x, pada kinerja batas ultimit berdasarkan SNI 1726-2012.

Tingkat	h (cm)	Perpindahan Elastis ( $\delta_e$ )		Perpindahan Total ( $\delta_e * C_d$ )/ $I_e$		Simpangan Antar Lantai ( $\Delta$ )		Syarat $\Delta_a$	Cek	
		X	Y	X	Y	X	Y		X	Y
		(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)		
40	350	6,440	2,024	35,422	11,131	0,854	0,281	7,000	OK	OK
39	350	6,285	1,973	34,568	10,850	0,875	0,288	7,000	OK	OK
38	350	6,126	1,920	33,692	10,562	0,894	0,302	7,000	OK	OK
37	350	5,963	1,865	32,798	10,260	0,939	0,307	7,000	OK	OK
36	350	5,793	1,810	31,859	9,952	0,960	0,312	7,000	OK	OK
35	350	5,618	1,753	30,899	9,640	0,975	0,315	7,000	OK	OK
34	350	5,441	1,696	29,924	9,325	0,988	0,319	7,000	OK	OK
33	350	5,261	1,638	28,936	9,006	0,999	0,321	7,000	OK	OK
32	350	5,080	1,579	27,937	8,685	1,008	0,323	7,000	OK	OK
31	350	4,896	1,520	26,930	8,362	1,014	0,324	7,000	OK	OK
30	350	4,712	1,461	25,915	8,038	1,015	0,325	7,000	OK	OK
29	350	4,527	1,402	24,900	7,713	1,018	0,325	7,000	OK	OK
28	350	4,342	1,343	23,882	7,389	1,014	0,324	7,000	OK	OK
27	350	4,158	1,285	22,868	7,065	0,983	0,322	7,000	OK	OK
26	350	3,979	1,226	21,885	6,743	0,982	0,312	7,000	OK	OK
25	350	3,801	1,169	20,903	6,431	0,988	0,311	7,000	OK	OK
24	350	3,621	1,113	19,915	6,120	1,026	0,322	7,000	OK	OK
23	350	3,434	1,054	18,889	5,798	1,036	0,323	7,000	OK	OK
22	350	3,246	0,995	17,854	5,475	1,039	0,324	7,000	OK	OK
21	350	3,057	0,937	16,815	5,151	1,038	0,322	7,000	OK	OK
20	350	2,868	0,878	15,776	4,828	1,036	0,321	7,000	OK	OK
19	350	2,680	0,820	14,740	4,507	1,031	0,319	7,000	OK	OK
18	350	2,493	0,762	13,709	4,188	1,024	0,316	7,000	OK	OK
17	350	2,306	0,704	12,685	3,872	1,013	0,312	7,000	OK	OK
16	350	2,122	0,647	11,672	3,560	0,999	0,307	7,000	OK	OK
15	350	1,940	0,591	10,672	3,253	0,979	0,301	7,000	OK	OK
14	350	1,762	0,537	9,693	2,952	0,959	0,295	7,000	OK	OK
13	350	1,588	0,483	8,734	2,657	0,930	0,287	7,000	OK	OK
12	350	1,419	0,431	7,805	2,371	0,875	0,277	7,000	OK	OK
11	350	1,260	0,381	6,929	2,094	0,846	0,259	7,000	OK	OK
10	350	1,106	0,334	6,084	1,835	0,818	0,249	7,000	OK	OK
9	350	0,957	0,289	5,265	1,587	0,811	0,246	7,000	OK	OK
8	350	0,810	0,244	4,454	1,340	0,779	0,235	7,000	OK	OK
7	350	0,668	0,201	3,675	1,105	0,734	0,222	7,000	OK	OK
6	350	0,535	0,161	2,941	0,883	0,680	0,205	7,000	OK	OK

Tabel 4.45: Lanjutan.

Tingkat	h (cm)	Perpindahan Elastis ( $\delta e$ )		Perpindahan Total ( $\delta e * C_d$ )/Ie		Simpangan Antar Lantai ( $\Delta$ )		Syarat $\Delta a$	Cek X	Cek Y
		X	Y	X	Y	X	Y			
		(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)		
5	350	0,411	0,123	2,261	0,678	0,619	0,186	7,000	OK	OK
4	350	0,299	0,090	1,642	0,492	0,549	0,165	7,000	OK	OK
3	350	0,199	0,060	1,092	0,327	0,470	0,141	7,000	OK	OK
2	350	0,113	0,034	0,623	0,186	0,376	0,113	7,000	OK	OK
1	400	0,045	0,013	0,246	0,074	0,246	0,074	8,000	OK	OK

Tabel 4.46: Nilai simpangan gedung Model 4 akibat gempa y, pada kinerja batas ultimit berdasarkan SNI 1726-2012.

Tingkat	h (cm)	Perpindahan Elastis ( $\delta e$ )		Perpindahan Total ( $\delta e * C_d$ )/Ie		Simpangan Antar Lantai ( $\Delta$ )		Syarat $\Delta a$	Cek X	Cek Y
		X	Y	X	Y	X	Y			
		(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)		
40	350	1,932	6,746	10,626	37,102	0,256	0,936	7,000	OK	OK
39	350	1,885	6,576	10,370	36,166	0,262	0,961	7,000	OK	OK
38	350	1,838	6,401	10,107	35,204	0,268	1,005	7,000	OK	OK
37	350	1,789	6,218	9,839	34,199	0,282	1,025	7,000	OK	OK
36	350	1,738	6,032	9,557	33,174	0,288	1,039	7,000	OK	OK
35	350	1,685	5,843	9,270	32,135	0,293	1,052	7,000	OK	OK
34	350	1,632	5,651	8,977	31,083	0,296	1,062	7,000	OK	OK
33	350	1,578	5,458	8,681	30,021	0,300	1,071	7,000	OK	OK
32	350	1,524	5,264	8,381	28,950	0,303	1,077	7,000	OK	OK
31	350	1,469	5,068	8,078	27,873	0,304	1,082	7,000	OK	OK
30	350	1,414	4,871	7,774	26,792	0,304	1,081	7,000	OK	OK
29	350	1,358	4,675	7,470	25,711	0,306	1,082	7,000	OK	OK
28	350	1,303	4,478	7,164	24,629	0,304	1,081	7,000	OK	OK
27	350	1,247	4,282	6,860	23,548	0,295	1,073	7,000	OK	OK
26	350	1,194	4,086	6,565	22,475	0,294	1,038	7,000	OK	OK
25	350	1,140	3,898	6,271	21,437	0,297	1,038	7,000	OK	OK
24	350	1,086	3,709	5,974	20,400	0,307	1,072	7,000	OK	OK
23	350	1,030	3,514	5,667	19,328	0,311	1,079	7,000	OK	OK
22	350	0,974	3,318	5,356	18,248	0,312	1,079	7,000	OK	OK
21	350	0,917	3,122	5,044	17,169	0,311	1,076	7,000	OK	OK
20	350	0,861	2,926	4,733	16,094	0,311	1,070	7,000	OK	OK
19	350	0,804	2,732	4,422	15,023	0,310	1,063	7,000	OK	OK

Tabel 4.46: Lanjutan.

Tingkat	h (cm)	Perpindahan Elastis ( $\delta_e$ )		Perpindahan Total ( $\delta_e * C_d$ )/ $I_e$		Simpangan Antar Lantai ( $\Delta$ )		Syarat $\Delta_a$	Cek X	Cek Y
		X (cm)	Y (cm)	X (cm)	Y (cm)	X (cm)	Y (cm)			
18	350	0,748	2,538	4,112	13,960	0,307	1,053	7,000	OK	OK
17	350	0,692	2,347	3,805	12,907	0,304	1,041	7,000	OK	OK
16	350	0,637	2,158	3,501	11,866	0,300	1,025	7,000	OK	OK
15	350	0,582	1,971	3,202	10,842	0,294	1,003	7,000	OK	OK
14	350	0,529	1,789	2,908	9,839	0,288	0,982	7,000	OK	OK
13	350	0,476	1,610	2,620	8,857	0,279	0,956	7,000	OK	OK
12	350	0,426	1,437	2,341	7,901	0,262	0,921	7,000	OK	OK
11	350	0,378	1,269	2,079	6,980	0,254	0,862	7,000	OK	OK
10	350	0,332	1,112	1,825	6,118	0,245	0,829	7,000	OK	OK
9	350	0,287	0,962	1,580	5,289	0,244	0,821	7,000	OK	OK
8	350	0,243	0,812	1,336	4,468	0,233	0,785	7,000	OK	OK
7	350	0,201	0,670	1,103	3,683	0,221	0,739	7,000	OK	OK
6	350	0,160	0,535	0,882	2,945	0,204	0,683	7,000	OK	OK
5	350	0,123	0,411	0,678	2,262	0,185	0,622	7,000	OK	OK
4	350	0,090	0,298	0,493	1,640	0,165	0,550	7,000	OK	OK
3	350	0,060	0,198	0,328	1,090	0,141	0,469	7,000	OK	OK
2	350	0,034	0,113	0,187	0,621	0,113	0,376	7,000	OK	OK
1	400	0,013	0,045	0,074	0,245	0,074	0,245	8,000	OK	OK

Pada Tabel 4.45-4.46 diatas dapat dilihat besarnya simpangan yang terjadi akibat gempa arah x maupun y. Besar simpangan arah sumbu x dan y berbeda, hal ini diakibatkan oleh sistem penahan gaya lateral yang terpasang hanya pada arah tertentu. Arah utama pengaruh gempa rencana harus ditentukan sedemikian rupa sehingga memberi pengaruh terbesar terhadap unsur-unsur sub sistem dan sistem struktur gedung secara keseluruhan. Pengaruh pembebanan gempa dalam arah utama yang ditentukan harus dianggap efektif 100% dan harus dianggap terjadi bersamaan dengan pembebanan tadi, tetapi dengan efektifitas 30%.

#### 4.2.4.6 Pengaruh Efek P-Delta

Berdasarkan SNI 1726:2012 efek P-delta harus diperhitungkan untuk struktur gedung yang memikul beban gempa. Akan tetapi, efek P-delta dapat diabaikan

jika nilai *stability ratio* lebih kecil dari 0,1. Kontrol pengaruh P-delta untuk arah x dan y tertera pada Tabel 4.47 dan 4.48.

Tabel 4.47: Kontrol P-delta pada arah x untuk Model 4.

Lantai	Tinggi (m)	Story Drift (m)	Gaya Geser Seismik, $V_x$ (kN)	Beban Vertikal Total (kN)	Beban Vertikal Kumulatif (kN)	Stability Ratio ( $\theta_x$ )	Cek X
Roof	140,5	0,0085	5804,4660	5696,408	5696,408	0,00001	OK
Floor39	137	0,0088	11802,7327	64511,436	64511,436	0,00007	OK
Floor38	133,5	0,0089	17183,8666	64371,125	64371,125	0,00005	OK
Floor37	130	0,0094	21921,2314	64090,503	64090,503	0,00004	OK
Floor36	126,5	0,0096	26000,0484	63950,192	63950,192	0,00004	OK
Floor35	123	0,0098	29434,1788	63950,192	63950,192	0,00003	OK
Floor34	119,5	0,0099	32246,6039	63950,192	63950,192	0,00003	OK
Floor33	116	0,0100	34476,6283	63950,192	63950,192	0,00003	OK
Floor32	112,5	0,0101	36178,9022	63950,192	63950,192	0,00003	OK
Floor31	109	0,0101	37421,7170	63950,192	63950,192	0,00003	OK
Floor30	105,5	0,0102	38297,8516	64830,948	64830,948	0,00003	OK
Floor29	102	0,0102	38889,0356	65563,257	65563,257	0,00003	OK
Floor28	98,5	0,0101	39277,3860	65563,257	65563,257	0,00003	OK
Floor27	95	0,0098	39555,0810	65703,568	65703,568	0,00003	OK
Floor26	91,5	0,0098	39814,3449	65984,190	65984,190	0,00004	OK
Floor25	88	0,0099	40121,5207	66124,501	66124,501	0,00004	OK
Floor24	84,5	0,0103	40521,9377	65843,879	65843,879	0,00004	OK
Floor23	81	0,0104	41037,2208	65563,257	65563,257	0,00004	OK
Floor22	77,5	0,0104	41686,3129	65563,257	65563,257	0,00004	OK
Floor21	74	0,0104	42479,4967	65563,257	65563,257	0,00004	OK
Story20	70,5	0,0104	43422,0715	65563,257	65563,257	0,00004	OK
Floor19	67	0,0103	44517,7612	65563,257	65563,257	0,00005	OK
Floor18	63,5	0,0102	45770,6688	65563,257	65563,257	0,00005	OK
Floor17	60	0,0101	47185,2797	65563,257	65563,257	0,00005	OK
Floor16	56,5	0,0100	48764,6469	65563,257	65563,257	0,00005	OK
Floor15	53	0,0098	50534,2958	66484,592	66484,592	0,00005	OK
Floor14	49,5	0,0096	52490,0584	67263,117	67263,117	0,00005	OK
Floor13	46	0,0093	54591,7113	67263,117	67263,117	0,00005	OK
Floor12	42,5	0,0088	56811,7677	67403,428	67403,428	0,00005	OK
Floor11	39	0,0085	59117,2451	67684,050	67684,050	0,00005	OK
Floor10	35,5	0,0082	61448,3902	67824,361	67824,361	0,00005	OK
Floor9	32	0,0081	63727,8499	67543,739	67543,739	0,00005	OK
Floor8	28,5	0,0078	65881,2795	67263,117	67263,117	0,00006	OK



Tabel 4.47: Lanjutan.

Lantai	Tinggi (m)	Story Drift (m)	Gaya Geser Seismik, $V_x$ (kN)	Beban Vertikal Total (kN)	Beban Vertikal Kumulatif (kN)	Stability Ratio ( $\theta_x$ )	Cek X
<i>Floor7</i>	25	0,0073	67852,6584	67263,117	67263,117	0,00006	OK
<i>Floor6</i>	21,5	0,0068	69585,9385	67263,117	67263,117	0,00006	OK
<i>Floor5</i>	18	0,0062	71036,7349	67263,117	67263,117	0,00007	OK
<i>Floor4</i>	14,5	0,0055	72175,4282	67263,117	67263,117	0,00007	OK
<i>Floor3</i>	11	0,0047	72989,7102	67263,117	67263,117	0,00008	OK
<i>Floor2</i>	7,5	0,0038	73486,8746	67263,117	67263,117	0,00009	OK
<i>Floor1</i>	4	0,0025	73701,2830	68517,056	68517,056	0,00011	OK

Tabel 4.48: Kontrol P-delta pada arah y untuk Model 4.

Lantai	Tinggi (m)	Story Drift (m)	Gaya Geser Seismik, $V_x$ (kN)	Beban Vertikal Total (kN)	Beban Vertikal Kumulatif (kN)	Stability Ratio ( $\theta_x$ )	Cek Y
<i>Roof</i>	140,5	0,0094	6003,700	5696,408	5696,408	0,00001	OK
<i>Floor39</i>	137	0,0096	12140,238	64511,436	64511,436	0,00007	OK
<i>Floor38</i>	133,5	0,0101	17562,784	64371,125	64371,125	0,00006	OK
<i>Floor37</i>	130	0,0103	22222,660	64090,503	64090,503	0,00005	OK
<i>Floor36</i>	126,5	0,0104	26138,567	63950,192	63950,192	0,00004	OK
<i>Floor35</i>	123	0,0105	29353,592	63950,192	63950,192	0,00004	OK
<i>Floor34</i>	119,5	0,0106	31924,093	63950,192	63950,192	0,00004	OK
<i>Floor33</i>	116	0,0107	33924,454	63950,192	63950,192	0,00003	OK
<i>Floor32</i>	112,5	0,0108	35439,961	63950,192	63950,192	0,00003	OK
<i>Floor31</i>	109	0,0108	36558,947	63950,192	63950,192	0,00003	OK
<i>Floor30</i>	105,5	0,0108	37378,596	64830,948	64830,948	0,00004	OK
<i>Floor29</i>	102	0,0108	37970,549	65563,257	65563,257	0,00004	OK
<i>Floor28</i>	98,5	0,0108	38390,682	65563,257	65563,257	0,00004	OK
<i>Floor27</i>	95	0,0107	38694,441	65703,568	65703,568	0,00004	OK
<i>Floor26</i>	91,5	0,0104	38933,474	65984,190	65984,190	0,00004	OK
<i>Floor25</i>	88	0,0104	39166,440	66124,501	66124,501	0,00004	OK
<i>Floor24</i>	84,5	0,0107	39437,832	65843,879	65843,879	0,00004	OK
<i>Floor23</i>	81	0,0108	39784,018	65563,257	65563,257	0,00004	OK
<i>Floor22</i>	77,5	0,0108	40255,794	65563,257	65563,257	0,00005	OK
<i>Floor21</i>	74	0,0108	40903,038	65563,257	65563,257	0,00005	OK
<i>Story20</i>	70,5	0,0107	41765,167	65563,257	65563,257	0,00005	OK
<i>Floor19</i>	67	0,0106	42863,755	65563,257	65563,257	0,00005	OK
<i>Floor18</i>	63,5	0,0105	44199,017	65563,257	65563,257	0,00005	OK

Tabel 4.48: *Lanjutan.*

Lantai	Tinggi (m)	Story Drift (m)	Gaya Geser Seismik, $V_x$ (kN)	Beban Vertikal Total (kN)	Beban Vertikal Kumulatif (kN)	Stability Ratio ( $\theta_x$ )	Cek Y
<i>Floor17</i>	60	0,0104	45751,433	65563,257	65563,257	0,00005	OK
<i>Floor16</i>	56,5	0,0102	47487,748	65563,257	65563,257	0,00005	OK
<i>Floor15</i>	53	0,0100	49397,807	66484,592	66484,592	0,00005	OK
<i>Floor14</i>	49,5	0,0098	51447,756	67263,117	67263,117	0,00005	OK
<i>Floor13</i>	46	0,0096	53582,910	67263,117	67263,117	0,00005	OK
<i>Floor12</i>	42,5	0,0092	55780,180	67403,428	67403,428	0,00005	OK
<i>Floor11</i>	39	0,0086	58022,219	67684,050	67684,050	0,00005	OK
<i>Floor10</i>	35,5	0,0083	60287,201	67824,361	67824,361	0,00005	OK
<i>Floor9</i>	32	0,0082	62526,051	67543,739	67543,739	0,00006	OK
<i>Floor8</i>	28,5	0,0078	64683,475	67263,117	67263,117	0,00006	OK
<i>Floor7</i>	25	0,0074	66711,803	67263,117	67263,117	0,00006	OK
<i>Floor6</i>	21,5	0,0068	68550,417	67263,117	67263,117	0,00006	OK
<i>Floor5</i>	18	0,0062	70138,838	67263,117	67263,117	0,00007	OK
<i>Floor4</i>	14,5	0,0055	71424,097	67263,117	67263,117	0,00007	OK
<i>Floor3</i>	11	0,0047	72368,842	67263,117	67263,117	0,00008	OK
<i>Floor2</i>	7,5	0,0038	72959,314	67263,117	67263,117	0,00009	OK
<i>Floor1</i>	4	0,0025	73218,714	68517,056	68517,056	0,00011	OK

Dari Tabel 4.47 dan 4.48 diketahui bahwa tidak ada nilai *stability ratio* yang lebih besar dari 0,1. Sehingga efek P-delta untuk Model 4 dapat diabaikan.

#### 4.2.4.7 Kekakuan Tingkat Gedung

Berdasarkan SNI 1726:2012 kekakuan tingkat lunak (*soft story*) didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat dimana kekakuan lateralnya kurang dari 70 persen kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80 persen kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya. Untuk itu perlu dilakukan pemeriksaan terhadap struktur gedung apakah memiliki ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak (*soft story*) atau tidak. Kontrol ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak pada arah x dan y untuk Model 4 tertera pada Tabel 4.49 dan 4.50.

Tabel 4.49: Distribusi kekakuan tingkat bangunan arah x bangunan.

Tingkat	Tinggi tingkat (cm)	Kekakuan Total X	Ki/Ki*100 %	Rata-Rata Kekakuan 3 tingkat (Kr)	Ki/Kr %
		Arah X			
40	14050	359510992,5			
39	13700	708414166,7	197%	690202943,4	
38	13350	1002683671	142%	973522399,2	145%
37	13000	1209469360	121%	1202235255	124%
36	12650	1394552734	115%	1383538637	116%
35	12300	1546593818	111%	1535576285	112%
34	11950	1665582303	108%	1656113534	108%
33	11600	1756164480	105%	1748345594	106%
32	11250	1823290000	104%	1817290528	104%
31	10900	1872417105	103%	1870395000	103%
30	10550	1915477894	102%	1909814403	102%
29	10200	1941548211	101%	1943908233	102%
28	9850	1974698594	102%	1991030540	102%
27	9500	2056844816	104%	2038086288	103%
26	9150	2082715454	101%	2077817967	102%
25	8800	2093893630	101%	2075525629	101%
24	8450	2049967804	98%	2069795265	99%
23	8100	2065524360	101%	2073032042	100%
22	7750	2103603961	102%	2108100891	101%
21	7400	2155174351	102%	2159604303	102%
20	7050	2220034596	103%	2224718484	103%
19	6700	2298946506	104%	2304081395	103%
18	6350	2393263083	104%	2399069953	104%
17	6000	2505000271	105%	2512186516	104%
16	5650	2638296194	105%	2649261208	105%
15	5300	2804487158	106%	2809053230	106%
14	4950	2984376337	106%	3001187031	106%
13	4600	3214697599	108%	3255555696	107%
12	4250	3567593151	111%	3545751295	110%
11	3900	3854963136	108%	3859009807	109%
10	3550	4154473135	108%	4122313887	108%
9	3200	4357505391	105%	4405940808	106%
8	2850	4705843899	108%	4738733774	107%
7	2500	5152852032	109%	5187902389	109%
6	2150	5705011235	111%	5755084296	110%
5	1800	6407389620	112%	6486115720	111%
4	1450	7345946305	115%	7484334138	113%

Tabel 4.49: Lanjutan.

Tingkat	Tinggi tingkat (cm)	Kekakuan Total X	Ki/Ki*100 %	Rata-Rata Kekakuan 3 tingkat (Kr)	Ki/Kr %
		Arah X			
3	1100	8699666488	118%	8994396430	116%
2	750	10937576498	126%	12136735823	122%
1	400	16772964484	153%		138%

Tabel 4.50: Distribusi kekakuan tingkat pada arah y bangunan.

Tingkat	Tinggi tingkat (cm)	Kekakuan Total Y	Ki/Ki*100 %	Rata-Rata Kekakuan 3 tingkat (Kr)	Ki/Kr %
		Arah Y			
40	14050	341012100,2			
39	13700	667037601,2	196%	641389933,7	
38	13350	916120099,6	137%	904154466,3	143%
37	13000	1129305698	123%	1115978464	125%
36	12650	1302509594	115%	1290145038	117%
35	12300	1438619823	110%	1428095707	112%
34	11950	1543157705	107%	1534559535	108%
33	11600	1621901078	105%	1615217820	106%
32	11250	1680594677	104%	1675813393	104%
31	10900	1724944423	103%	1723568107	103%
30	10550	1765165222	102%	1760636227	102%
29	10200	1791799037	102%	1791363339	102%
28	9850	1817125759	101%	1819706859	101%
27	9500	1850195782	102%	1865779182	102%
26	9150	1930016004	104%	1910478870	103%
25	8800	1951224823	101%	1930735905	102%
24	8450	1910966889	98%	1928680327	99%
23	8100	1923849269	101%	1930656606	100%
22	7750	1957153661	102%	1961836774	101%
21	7400	2004507392	102%	2009711510	102%
20	7050	2067473477	103%	2073249756	103%
19	6700	2147768398	104%	2153964454	104%
18	6350	2246651488	105%	2253146691	104%
17	6000	2365020186	105%	2372252889	105%
16	5650	2505086992	106%	2514994996	106%
15	5300	2674877809	107%	2678378758	106%
14	4950	2855171472	107%	2865061244	107%
13	4600	3065134450	107%	3080810731	107%
12	4250	3322126272	108%	3364782786	108%

Tabel 4.50: *Lanjutan.*

Tingkat	Tinggi tingkat (cm)	Kekakuan Total Y	Ki/Ki*100 %	Rata-Rata Kekakuan 3 tingkat (Kr)	Ki/Kr %
		Arah Y			
11	3900	3707087637	112%	3682124997	110%
10	3550	4017161083	108%	3982340188	109%
9	3200	4222771843	105%	4271529062	106%
8	2850	4574654261	108%	4608388229	107%
7	2500	5027738583	110%	5063871372	109%
6	2150	5589221272	111%	5640277330	110%
5	1800	6303872136	113%	6383322330	112%
4	1450	7256873582	115%	7395679590	114%
3	1100	8626293051	119%	8921221001	117%
2	750	10880496371	126%	12080720575	122%
1	400	16735372303	154%		139%

Dari hasil perhitungan kekakuan tingkat arah X dan juga arah Y yang terdapat pada Tabel 4.36 dan 4.37 menunjukkan tingkat ke-1 sebesar 154% dari kekakuan tingkat ke-2 dan hal ini memenuhi syarat minimum yaitu 70%, terhadap syarat kedua yaitu syarat 80% juga terpenuhi karena kekakuan tingkat ke-1 sebesar 139% dari rata-rata kekakuan 3 tingkat di atasnya. Maka dengan demikian dapat dikatakan gedung yang direncanakan pada Model 4 ini tidak mengalami *soft storey* karena kekakuan lateralnya > 70 % kekakuan lateral tingkat di atasnya, atau > 80 % kekakuan lateral rata-rata 3-tingkat di atasnya.

#### 4.2.4.8 Kontrol Kemampuan Dual sistem menerima Gaya Geser

Gedung Model 4 ini memiliki sistem ganda sesuai dengan SNI 1726-2012 dimana rangka pemikul momen harus mampu menahan paling sedikit 25% gaya gempa desain. Berdasarkan persentase penahan gempa disajikan pada Tabel 4.51. Maka gedung Model 4 ini memenuhi syarat sistem ganda.

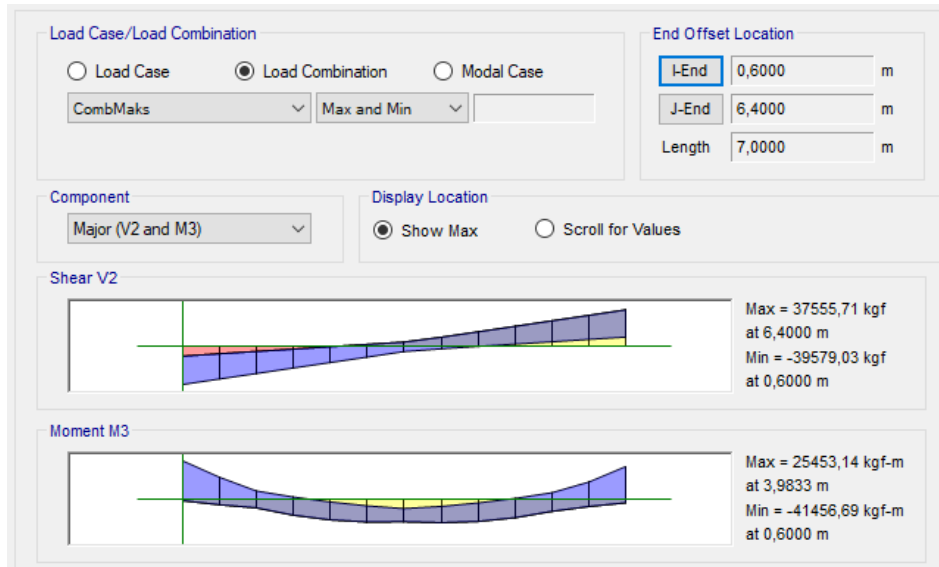
Tabel 4.51: Persentase penahan gaya gempa dengan metode respon spektrum.

Load Case/Combo	Gaya Yang Diterima		Persentase menahan gaya gempa	
	SRPMK	Dual Sistem	SRPMK	Dual Sistem
Gempa X	6749426,23	7399725,88	47,70	52,30
Gempa Y	6742689,33	7346465,49	47,86	52,14

### 4.3 Perencanaan Struktur Balok

#### 4.3.1 Balok Induk Lantai 1-15 bentang 7 m

Berikut ini merupakan contoh perhitungan balok induk pada lantai 1-15. Dari hasil output program analisa struktur kombinasi terbesar terdapat pada lantai 1-15 diperoleh :



Gambar 4.1: Hasil gaya dalam balok utama lantai 1-15.

$$M_u : 25453,14 \text{ kg.m}$$

$$V_u : 37555,71 \text{ kg.m}$$

Balok induk dengan bentang 7 m ini direncanakan menggunakan profil WF 933 x 423 x 24 x 42,7, dengan  $F_y$  250 Mpa (BJ 41), dengan data-data sebagai berikut :

$w = 446,4$	kg/m	$E = 200000$	MPa
$d = 923$	mm	$r = 25,9$	mm
$b_f = 423$	mm	$Z_x = 20636,1$	cm <sup>3</sup>
$t_w = 24$	mm	$Z_y = 3950,5$	cm <sup>3</sup>
$t_f = 42,7$	mm	$S_x = 18186,4$	cm <sup>3</sup>
$I_x = 848395,3$	cm <sup>4</sup>	$S_y = 2550,6$	cm <sup>3</sup>
$I_y = 53945,1$	cm <sup>4</sup>		

$$i_x = 38,53 \quad \text{cm} \qquad h = 785,8 \quad \text{mm}$$

$$i_y = 9,47 \quad \text{cm}$$

1. Kontrol penampang profil terhadap gaya lentur

- Kontrol penampang terhadap tekuk lokal

Pelat sayap

$$\lambda \leq \lambda_p \rightarrow \frac{b}{2 \cdot t_f} \leq 0,38 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{423}{2 \times 42,7} \leq 0,38 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$4,95 \leq 10,75 \text{ (Penampang Kompak)}$$

Pelat badan

$$\lambda \leq \lambda_p \rightarrow \frac{h}{t_w} \leq 3,76 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{785,8}{24} \leq 3,76 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$32,74 \leq 106,35 \text{ (Penampang Kompak)}$$

- Karena penampang kompak,  $M_n = M_p$

$$M_p = M_n = Z_x \cdot F_y = 20636,1 \times 2500$$

$$= 51590250 \text{ kg. cm} = 515902,5 \text{ kg. m}$$

$$\phi M_n = 0,9 \times M_n = 0,9 \times 51590250$$

$$= 46431225 \text{ kg. cm} = 464312,25 \text{ kg. m}$$

- Karena bentang pendek, maka  $M_n = M_p$

$$M_p = M_n = F_y \cdot Z_x = 2500 \times 20636,1$$

$$= 5159025 \text{ kg. cm} = 51590,25 \text{ kg. m}$$

- Cek kemampuan penampang

$$\phi_b \cdot M_n \geq M_u$$

$$\phi_b \cdot M_n = 0,9 \times 51590,25$$

$$= 464312,25 \text{ kg. m} \geq 25453,14 \text{ kg. m}$$

**(OK)**

2. Kontrol penampang profil terhadap gaya geser

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{785,8}{24} = 32,74 \leq 260 \rightarrow kv = 5$$

$$\lambda_p = 1,1 \sqrt{kX_v \frac{E}{F_y}} = 1,1 \sqrt{5 \times \frac{200000}{250}} = 69,57$$

$$\text{karena } \frac{h_w}{t_w} \leq \lambda_p = 1,1 \sqrt{kX_v \frac{E}{F_y}} = 1,1 \sqrt{5 \times \frac{200000}{250}} = 69,57$$

Maka  $C_v = 1$  jadi,

= 1 jadi,

$$V_n = 0,6 \cdot F_y \cdot A_w \cdot C_v = 0,6 \times 2500 \times (92,3 \times 2,4) \times 1 = 332280 \text{ kg}$$

$$\phi V_n \geq V_u$$

$$\phi V_n = 0,9 \times 332280$$

$$= 299052 \text{ kg} \geq 37555,71 \text{ kg}$$

(OK)

3. Kontrol lendutan

$$f_{ijin} = \frac{l}{360} = \frac{700}{360} = 1,94 \text{ cm}$$

$$f_{terjadi} = 0,018 \text{ cm}$$

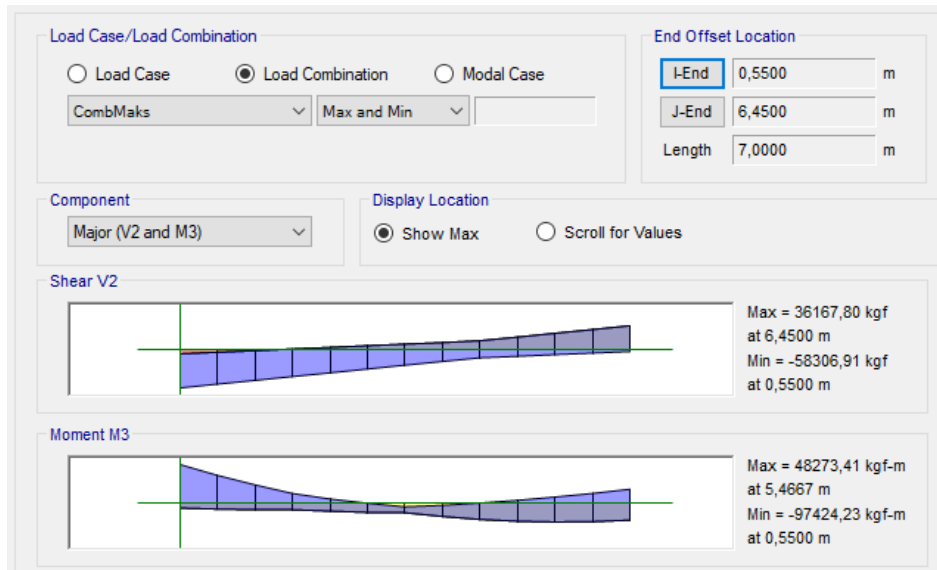
$$f_{terjadi} \leq f_{ijin} = 0,018 \text{ cm} \leq 1,94 \text{ cm}$$

Jadi profil balok WF 933 x 423 x 24 x 42,7 dapat digunakan sebagai balok induk pada lantai 1-15.

#### 4.3.2 Balok Induk Lantai 16-30 bentang 7 m

Berikut ini merupakan contoh perhitungan balok induk pada lantai 16-30. Dari hasil output program analisa struktur kombinasi terbesar terdapat pada lantai 16-30 diperoleh :





Gambar 4.2: Hasil gaya dalam balok utama lantai 16-30.

$M_u$  : 48273,41 kg.m

$V_u$  : 36167,80 kg.m

Balok induk dengan bentang 7 m ini direncanakan menggunakan profil WF 927 x 422 x 22,5 x 39,9, dengan  $F_y$  250 Mpa (BJ 41), dengan data-data sebagai berikut :

$w$ = 416,7	kg/m	$r$ = 25,9	mm
$d$ = 917	mm	$Z_x$ = 19218,7	cm <sup>3</sup>
$b_f$ = 422	mm	$Z_y$ = 3668,6	cm <sup>3</sup>
$t_w$ = 22,5	mm	$S_x$ = 16984,7	cm <sup>3</sup>
$t_f$ = 39,9	mm	$S_y$ = 2372,1	cm <sup>3</sup>
$I_x$ = 787241,6	cm <sup>4</sup>	$i_x$ = 38,40	cm
$I_y$ = 50050,6	cm <sup>4</sup>	$i_y$ = 9,40	cm
$E$ = 200000	MPa	$h$ = 785,4	mm

1. Kontrol penampang profil terhadap gaya lentur
  - Kontrol penampang terhadap tekuk lokal  
Pelat sayap

$$\lambda \leq \lambda_p \rightarrow \frac{b}{2 \cdot t_f} \leq 0,38 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{422}{2 \times 39,9} \leq 0,38 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

5,29 ≤ 10,75 (Penampang Kompak)

Pelat badan

$$\lambda \leq \lambda_p \rightarrow \frac{h}{t_w} \leq 3,76 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{785,4}{22,5} \leq 3,76 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

32,74 ≤ 106,35 (Penampang Kompak)

- Karena penampang kompak,  $M_n = M_p$

$$\begin{aligned} M_p = M_n &= Z_x \cdot F_y = 19218,7 \times 2500 \\ &= 48046750 \text{ kg. cm} = 480467,5 \text{ kg. m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 \times M_n = 0,9 \times 4804670 \\ &= 43242075 \text{ kg. cm} = 432420,8 \text{ kg. m} \end{aligned}$$

- Karena bentang pendek, maka  $M_n = M_p$

$$\begin{aligned} M_p = M_n &= F_y \cdot Z_x = 2500 \times 19218,7 \\ &= 48046750 \text{ kg. cm} = 480467,5 \text{ kg. m} \end{aligned}$$

- Cek kemampuan penampang

$$\phi_b \cdot M_n \geq M_u$$

$$\begin{aligned} \phi_b \cdot M_n &= 0,9 \times 4804670 \\ &= 432420,8 \text{ kg. m} \geq 48273,41 \text{ kg. m} \end{aligned} \quad \text{(OK)}$$

2. Kontrol penampang profil terhadap gaya geser

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{785,4}{22,5} = 34,91 \leq 260 \rightarrow kv = 5$$

$$\lambda_p = 1,1 \sqrt{kX_v \frac{E}{F_y}} = 1,1 \sqrt{5 \times \frac{200000}{250}} = 69,57$$

$$\text{karena } \frac{h_w}{t_w} \leq \lambda_p = 1,1 \sqrt{kX_v \frac{E}{F_y}} = 1,1 \sqrt{5 \times \frac{200000}{250}} = 69,57$$

Maka  $C_v = 1$  jadi,

= 1 jadi,

$$V_n = 0,6 \cdot F_y \cdot A_w \cdot C_v = 0,6 \times 2500 \times (91,7 \times 2,25) \times 1 = 309487,5 \text{ kg}$$

$$\phi V_n \geq V_u$$

$$\phi V_n = 0,9 \times 309487,5$$

$$= 278538,8 \text{ kg} \geq 36167,80 \text{ kg} \quad \text{(OK)}$$

3. Kontrol lendutan

$$f_{ijin} = \frac{l}{360} = \frac{700}{360} = 1,94 \text{ cm}$$

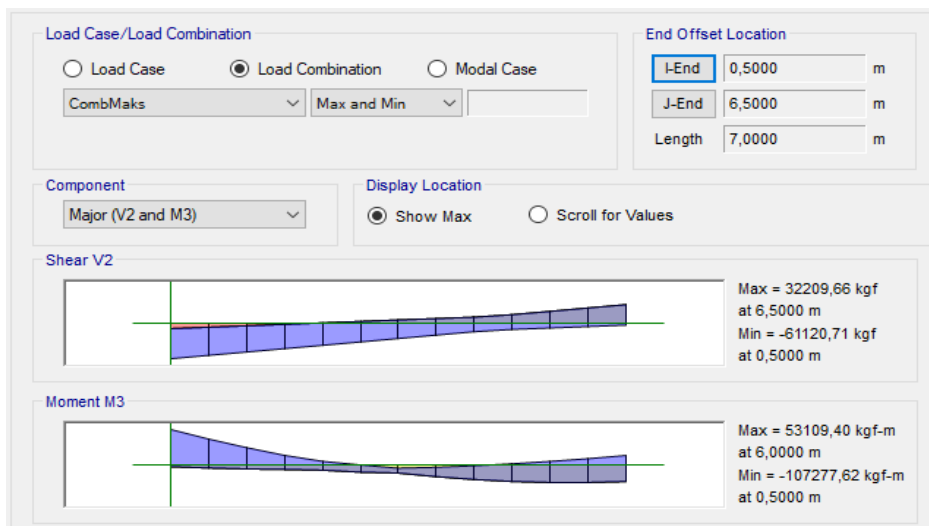
$$f_{terjadi} = 0,020 \text{ cm}$$

$$f_{terjadi} \leq f_{ijin} = 0,020 \text{ cm} \leq 1,94 \text{ cm}$$

Jadi profil balok WF 927 x 421 x 22,5 x 39,9 dapat digunakan sebagai balok induk pada lantai 16-30.

#### 4.3.3 Balok Induk Lantai 31-40 bentang 7 m

Berikut ini merupakan contoh perhitungan balok induk pada lantai 31-40. Dari hasil output program analisa struktur kombinasi terbesar terdapat pada lantai 31-40 diperoleh :



Gambar 4.3: Hasil gaya dalam balok utama lantai 31-40.

$M_u : 53109,40 \text{ kg.m}$

$V_u : 32209,66 \text{ kg.m}$

Balok induk dengan bentang 7 m ini direncanakan menggunakan profil WF 920 x 421 x 21,5 x 36,6, dengan  $F_y$  250 Mpa (BJ 41), dengan data-data sebagai berikut :

$w = 386,9$	kg/m	$r = 25,9$	mm
$d = 917$	mm	$Z_x = 17707$	$\text{cm}^3$
$b_f = 421$	mm	$Z_y = 3349,4$	$\text{cm}^3$
$t_w = 21,5$	mm	$S_x = 15663,6$	$\text{cm}^3$
$t_f = 36,6$	mm	$S_y = 2165,4$	$\text{cm}^3$
$I_x = 720524,1$	$\text{cm}^4$	$i_x = 38,10$	cm
$I_y = 45580,8$	$\text{cm}^4$	$i_y = 9,27$	cm
$E = 200000$	MPa	$h = 785$	mm

1. Kontrol penampang profil terhadap gaya lentur

- Kontrol penampang terhadap tekuk lokal

Pelat sayap

$$\lambda \leq \lambda_p \rightarrow \frac{b}{2 \cdot t_f} \leq 0,38 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{421}{2 \times 36,6} \leq 0,38 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$5,75 \leq 10,75$  (Penampang Kompak)

Pelat badan

$$\lambda \leq \lambda_p \rightarrow \frac{h}{t_w} \leq 3,76 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{785}{21,5} \leq 3,76 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$36,51 \leq 106,35$  (Penampang Kompak)

- Karena penampang kompak,  $M_n = M_p$

$$M_p = M_n = Z_x \cdot F_y = 17707 \times 2500$$

$$= 44267500 \text{ kg. cm} = 442675 \text{ kg. m}$$

$$\phi M_n = 0,9 \times M_n = 0,9 \times 44267500$$

$$= 39840750 \text{ kg. cm} = 398407,5 \text{ kg. m}$$

- Karena bentang pendek, maka  $M_n = M_p$

$$M_p = M_n = F_y \cdot Z_x = 2500 \times 17707$$

$$= 44267500 \text{ kg. cm} = 442675 \text{ kg. m}$$

- Cek kemampuan penampang

$$\phi_b \cdot M_n \geq M_u$$

$$\phi_b \cdot M_n = 0,9 \times 442675$$

$$= 398407,5 \text{ kg. m} \geq 53109,40 \text{ kg. m} \quad \text{(OK)}$$

2. Kontrol penampang profil terhadap gaya geser

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{785}{21,5} = 34,91 \leq 260 \rightarrow kv = 5$$

$$\lambda_p = 1,1 \sqrt{kX_v \frac{E}{F_y}} = 1,1 \sqrt{5 \times \frac{200000}{250}} = 69,57$$

$$\text{karena } \frac{h_w}{t_w} \leq \lambda_p = 1,1 \sqrt{kX_v \frac{E}{F_y}} = 1,1 \sqrt{5 \times \frac{200000}{250}} = 69,57$$

Maka  $C_v = 1$  jadi,

= 1 jadi,

$$V_n = 0,6 \cdot F_y \cdot A_w \cdot C_v = 0,6 \times 2500 \times (91 \times 2,15) \times 1 = 293475 \text{ kg}$$

$$\phi V_n \geq V_u$$

$$\phi V_n = 0,9 \times 293475$$

$$= 264127,5 \geq 32209,66 \text{ kg} \quad \text{(OK)}$$

3. Kontrol lendutan

$$f_{ijin} = \frac{l}{360} = \frac{700}{360} = 1,94 \text{ cm}$$

$$f_{terjadi} = 0,022 \text{ cm}$$

$$f_{terjadi} \leq f_{ijin} = 0,022 \text{ cm} \leq 1,94 \text{ cm}$$

Jadi profil balok WF 920 x 420 x 21,5 x 36,6 dapat digunakan sebagai balok induk pada lantai 31-40.

#### 4.4 Perencanaan Struktur Kolom

##### 4.4.1 Kolom Lantai 1-15 tinggi 3,5 m

Pada perencanaan ini ditunjukkan contoh perhitungan kolom lantai 1-15. Direncanakan komposit *CFT* dengan profil HSS 1200x1200x80x80 dan panjang kolom 350 cm. Data-data profil disajikan sebagai berikut :

$A = 5087,7$	$\text{cm}^2$	$Z_x = 189880,9$	$\text{cm}^3$
$d = 1200$	$\text{mm}$	$S_x = 148108,9$	$\text{cm}^3$
$b_f = 1200$	$\text{mm}$	$F_y = 250$	$\text{MPa}$
$t_w = 80$	$\text{mm}$	$i_x = 41,79$	$\text{cm}$
$t_f = 80$	$\text{mm}$	$i_y = 41,79$	$\text{cm}$
$I_x = 8886536,6$	$\text{cm}^4$	$h = 1040$	$\text{mm}$
$I_y = 8886536,6$	$\text{cm}^4$		

Dari hasil analisis program analisa struktur didapatkan gaya dalam yang bekerja sebagai berikut :

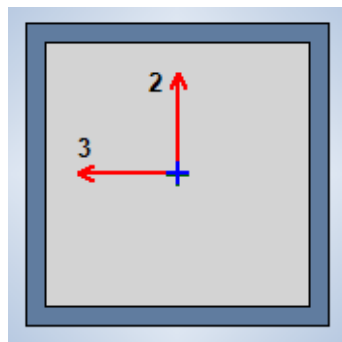
$$P_u = 1013458,39 \text{ kg}$$
$$M_{ux} = 287716,3 \text{ kg.m}$$
$$M_{uy} = 489374,72 \text{ kg.m}$$

Bahan :

$$\text{BJ 41 : } F_y = 2500 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_u = 4100 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Beton : } F_c' = 35 \text{ MPa} = 3500 \text{ kg/cm}^2$$



Gambar 4.4: Penampang kolom komposit *CFT* dengan profil HSS 1200 x 1200 x 80 x 80.

1. Kuat nominal tekan kolom komposit

a. Kontrol luas penampang minimum profil baja

$$\frac{A_s}{A_c + A_s} \times 100\% = \frac{5087,7}{10816 + 5087,7} = 31,99\% \geq 4\% \quad (\text{OK})$$

b. Kontrol tebal minimum penampang persegi

$$t_{min} = b \times \sqrt{\frac{F_y}{3 \times E}}$$

$$t_{min} = 1200 \times \sqrt{\frac{240}{3 \times 2 \times 10^5}} = 24 \text{ mm} < 25 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

c. Kuat nominal tekan kolom komposit

$$\lambda = \frac{b_f}{2 \times t_f} = \frac{1200}{2 \times 80} = 7,5$$

$$\lambda_p = 2,26 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 2,26 \times \sqrt{\frac{2 \times 10^5}{250}} = 63,92$$

$$\lambda \leq \lambda_p \rightarrow 7,5 \leq 63,92 \rightarrow \text{Penampang kompak}$$

Sehingga kekuatan nominal tekan diperhitungkan sebagai berikut :

$$P_{no} = P_p$$

$$P_p = F_y \times A_s \times C_2 \times F_c \times \left( A_c + A_{sr} \times \frac{E_s}{E_c} \right)$$

$$P_p = 2500 \times 5087,7 + 0,85 \times 400 \times \left( 10816 + \frac{2 \times 10^6}{4700 \cdot \sqrt{35}} \right)$$

$$P_p = P_{no} = 16421145,53 \text{ kg}$$

2. Momen nominal kolom

a. Kontrol penampang terhadap tekuk lokal

$$\lambda = \frac{b_f}{2 \times t_f} = \frac{1200}{2 \times 80} = 7,5$$

$$\lambda_p = 1,12 \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1,12 \times \sqrt{\frac{2 \times 10^5}{250}} = 31,68$$

$$\lambda \leq \lambda_p \rightarrow 7,5 \leq 31,68 \rightarrow \text{Penampang kompak}$$

Karena penampang kompak, maka  $M_n = M_p$

$$M_p = F_y \cdot Z_x = 2500 \times 189880,9 = 474702250 \text{ kg. cm}$$

$$= 4747022,5 \text{ kg. m}$$

Cek kemampuan penampang

$$\emptyset. M_n \geq M_u$$

$$\emptyset. M_n = 0,9 \times 4747022,5$$

$$= 4272320,25 \text{ kg. m} \geq 287716,3 \text{ kg. m}$$

b. Kontrol penampang terhadap tekuk lateral

Panjang tak terkekang adalah tinggi kolom- $d_{\text{balok}}$

$$L_b = 3320 - 40 = 280 \text{ cm}$$

$$L_p = 1,76 \times F_y \times \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1,76 \times 41,79 \times \sqrt{\frac{2 \times 10^6}{250}} = 6578,55 \text{ cm}$$

$$L_b \leq L_p \rightarrow 280 \text{ cm} \leq 6578,55 \text{ cm} \rightarrow \text{bentang pendek}$$

c. Karena bentang pendek, maka  $M_n = M_p$

$$M_p = F_y \cdot Z_x = 2500 \times 189880,9 = 474702250 \text{ kg. cm}$$

$$= 4747022,5 \text{ kg. m}$$

d. Cek kemampuan penampang

$$\emptyset. M_n \geq M_u$$

$$\emptyset. M_n = 0,9 \times 4747022,5$$

$$= 4272320,25 \text{ kg. m} \geq 287716,3 \text{ kg. m}$$

3. Kekuatan lentur dan aksial orde kedua

Momen lentur dan aksial terfaktor arah X dan Y ditentukan berdasarkan persamaan berikut ini :

$$M_r = B_1 M_{nt} + B_2 M_{lt}$$

Dengan,

$$C_m = 0,6 - 0,4 \left( \frac{M_1}{M_2} \right)$$

$$B_1 = \frac{C_m}{1 - \alpha \frac{P_1}{P_{e1}}} \geq 1,00$$

$$P_{e1} = \frac{\pi^2 EI}{(K_1 L)^2}$$

$$B_2 = \frac{1}{1 - \frac{\alpha P_{\text{story}}}{P_{e_{\text{story}}}}}$$



## 4.5 Perencanaan *Outrigger*

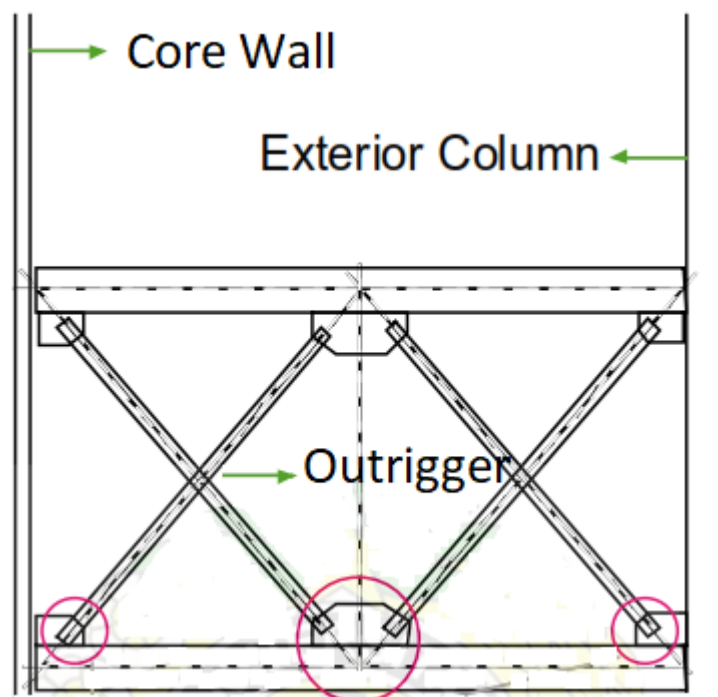
### 4.5.1 *Outrigger* arah X

*Outrigger* arah X direncanakan menggunakan profil WF 933 x 435 x 27 x 46,7, dengan data-data sebagai berikut :

$A = 639,1$	$\text{cm}^2$	$S_x = 20198,1$	$\text{cm}^3$
$d = 927$	$\text{mm}$	$S_y = 2953,1$	$\text{cm}^3$
$b_f = 435$	$\text{mm}$	$F_y = 250$	$\text{MPa}$
$t_w = 27$	$\text{mm}$	$i_x = 38,4$	$\text{cm}$
$t_f = 46,7$	$\text{mm}$	$i_y = 10,03$	$\text{cm}$
$I_x = 942239$	$\text{cm}^4$	$h = 873$	$\text{mm}$
$I_y = 64229,4$	$\text{cm}^4$	$A_g = 639,1$	$\text{cm}^2$
$Z_x = 23015,6$	$\text{cm}^3$	$w = 186,11$	$\text{kg/m}$
$Z_y = 4583,3$	$\text{cm}^3$		

Pu tekan = 1392057,12 kg

Pu tarik = 1392057,12 kg



Gambar 4.5: Penampang dan sambungan *outrigger* IWF 933 x 435 x 27 x 46,7.

1. Kontrol kuat momen lentur

- Kontrol pelat sayap

$$\lambda = \frac{b}{2 \cdot t_f} = \frac{435}{2 \times 46,7} = 4,67$$

$$\lambda_R = \frac{250}{\sqrt{250}} = \frac{250}{\sqrt{250}} = 15,81$$

$$\lambda \leq \lambda_R \rightarrow \text{Penampang tidak langsing}$$

- Kontrol Pelat badan

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{873}{27} = 32,33$$

$$\lambda_R = \frac{665}{\sqrt{250}} = \frac{665}{\sqrt{250}} = 42,06$$

$$\lambda \leq \lambda_R \rightarrow \text{Penampang tidak langsing}$$

2. Kontrol kekuatan *outrigger*

- Panjang *outrigger*

$$L = \sqrt{250^2 + 400^2} = 559,02 \text{ cm}$$

$$\text{Arah X} \rightarrow \lambda_x = \frac{L_{kx}}{i_x} = \frac{559,02}{38,4} = 14,56$$

$$\text{Arah Y} \rightarrow \lambda_y = \frac{L_{ky}}{i_y} = \frac{559,02}{10,03} = 55,735$$

$$\lambda_y \rightarrow \lambda = 55,735$$

- Tegangan kritis  $F_{cr}$  ditentukan sebagai berikut :

$$F_e = \frac{\pi^2 \times E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2 \times 2 \times 10^6}{55,735^2} = 6354,39 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{L_{ky}}{i_y} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$55,735 \leq 4,71 \sqrt{\frac{2 \times 10^5}{250}}$$

$$55,735 \leq 133,22$$

Maka,

$$F_{cr} = \left[ 0,685 \frac{f_y}{F_e} \right] \times F_y$$

$$= \left[ 0,685^{\frac{2500}{6354,39}} \right] \times 2500$$

$$= 2154,25 \text{ kg/m}^2$$

- *Outrigger tarik*

$$P_{max} = R_y \cdot F_y \cdot A_g$$

$$= 1,5 \times 2500 \times 639,1 = 2396625 \text{ kg}$$

$$\phi_c P_n = 0,9 \times 2396625 \text{ kg} = 2156962,5 \text{ kg}$$

$$\phi_c P_n \geq P_u \rightarrow 2156962,5 \text{ kg} \geq 1392057,12 \text{ kg} \quad (\text{OK})$$

- *Outrigger tekan*

$$P_{max} = 1,1 \cdot R_y \cdot A_g \cdot F_{cr}$$

$$= 1,1 \times 1,5 \times 639,1 \times 2154,25 = 2271688,939 \text{ kg}$$

$$\phi_c P_n = 0,85 \times 2271688,939 \text{ kg} = 1930935,598 \text{ kg}$$

$$\phi_c P_n \geq P_u \rightarrow 1930935,598 \text{ kg} \geq 1392057,12 \text{ kg} \quad (\text{OK})$$

#### 4.5.2 *Outrigger arah Y*

*Outrigger arah Y* direncanakan menggunakan profil WF 933 x 435 x 27 x 46,7, dengan data-data sebagai berikut :

A = 639,1	cm <sup>2</sup>	S <sub>x</sub> = 20198,1	cm <sup>3</sup>
d = 927	mm	S <sub>y</sub> = 2953,1	cm <sup>3</sup>
b <sub>f</sub> = 435	mm	F <sub>y</sub> = 250	MPa
t <sub>w</sub> = 27	mm	i <sub>x</sub> = 38,4	cm
t <sub>f</sub> = 46,7	mm	i <sub>y</sub> = 10,03	cm
I <sub>x</sub> = 942239	cm <sup>4</sup>	h = 873	mm
I <sub>y</sub> = 64229,4	cm <sup>4</sup>	Ag = 639,1	cm <sup>2</sup>
Z <sub>x</sub> = 23015,6	cm <sup>3</sup>	w = 186,11	kg/m
Z <sub>y</sub> = 4583,3	cm <sup>3</sup>		

$$P_u \text{ tekan} = 1161576,39 \text{ kg}$$

$$P_u \text{ tarik} = 1161576,39 \text{ kg}$$

1. Kontrol kuat momen lentur

- Kontrol pelat sayap

$$\lambda = \frac{b}{2 \cdot t_f} = \frac{435}{2 \times 46,7} = 4,67$$

$$\lambda_R = \frac{250}{\sqrt{250}} = \frac{250}{\sqrt{250}} = 15,81$$

$\lambda \leq \lambda_R \rightarrow$  Penampang tidak langsing

- Kontrol Pelat badan

$$\lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{873}{27} = 32,33$$

$$\lambda_R = \frac{665}{\sqrt{250}} = \frac{665}{\sqrt{250}} = 42,06$$

$\lambda \leq \lambda_R \rightarrow$  Penampang tidak langsing

## 2. Kontrol kekuatan *outrigger*

- Panjang *outrigger*

$$L = \sqrt{391,25^2 + 500^2} = 634,883 \text{ cm}$$

$$\text{Arah X} \rightarrow \lambda_x = \frac{L_{kx}}{i_x} = \frac{634,883}{38,4} = 16,53$$

$$\text{Arah Y} \rightarrow \lambda_y = \frac{L_{ky}}{i_y} = \frac{634,883}{10,03} = 63,298$$

$$\lambda_y \rightarrow \lambda = 63,298$$

- Tegangan kritis  $F_{cr}$  ditentukan sebagai berikut :

$$F_e = \frac{\pi^2 \times E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2 \times 2 \times 10^6}{63,298^2} = 4926,628 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{L_{ky}}{i_y} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$63,298 \leq 4,71 \sqrt{\frac{2 \times 10^5}{250}}$$

$$63,298 \leq 133,22$$

Maka,

$$\begin{aligned} F_{cr} &= \left[ 0,685 \frac{f_y}{F_e} \right] \times F_y \\ &= \left[ 0,685 \frac{2500}{4926,628} \right] \times 2500 \end{aligned}$$

$$= 2063,29 \text{ kg/m}^2$$

- *Outrigger* tarik

$$P_{max} = R_y \cdot F_y \cdot A_g$$

$$= 1,5 \times 2500 \times 639,1 = 2396625 \text{ kg}$$

$$\phi_c P_n = 0,9 \times 2396625 \text{ kg} = 2156962,5 \text{ kg}$$

$$\phi_c P_n \geq P_u \rightarrow 2156962,5 \text{ kg} \geq 1161576,39 \text{ kg} \quad \text{(OK)}$$

- *Outrigger* tekan

$$P_{max} = 1,1 \cdot R_y \cdot A_g \cdot F_{cr}$$

$$= 1,1 \times 1,5 \times 639,1 \times 2063,29 = 2175770,254 \text{ kg}$$

$$\phi_c P_n = 0,85 \times 2175770,254 \text{ kg} = 1849404,716 \text{ kg}$$

$$\phi_c P_n \geq P_u \rightarrow 1849404,716 \text{ kg} \geq 1161576,39 \text{ kg} \quad \text{(OK)}$$

## 4.6 Perencanaan Sambungan

### 4.6.1 Sambungan antar Kolom Lantai 1 dan 2

Sambungan kolom dengan kolom direncanakan pada lantai ke lantai menggunakan las penetrasi penuh dengan mutu  $F_{e100XX}$ . Gaya-gaya yang bekerja pada sambungan adalah hasil output program analisa struktur, sambungan ditempat pada posisi tengah dari ketinggian lantai.

$$P_u = 1013458,39 \text{ kg} = 9938,63 \text{ kN}$$

$$M_u = 489374,72 \text{ kg.m}$$

$$V_u = 89871,39 \text{ kg}$$

1. Sambungan las pada kolom

Kontrol las pada daerah yang diarsir pada profil kolom HSS 1200 x 1200 x 80 x 80.

Kontrol tegangan las akibat  $P_u$  dan  $M_u$  :

$$T_u = \frac{M_u}{d_c} \pm P_u$$

$$T_u = \frac{489374,72}{120} \pm 1013458,39$$

(+) = 1017536,513 kg **menentukan**

(-) = 1009380,267 kg

Kekuatan las tumpul penetrasi penuh :

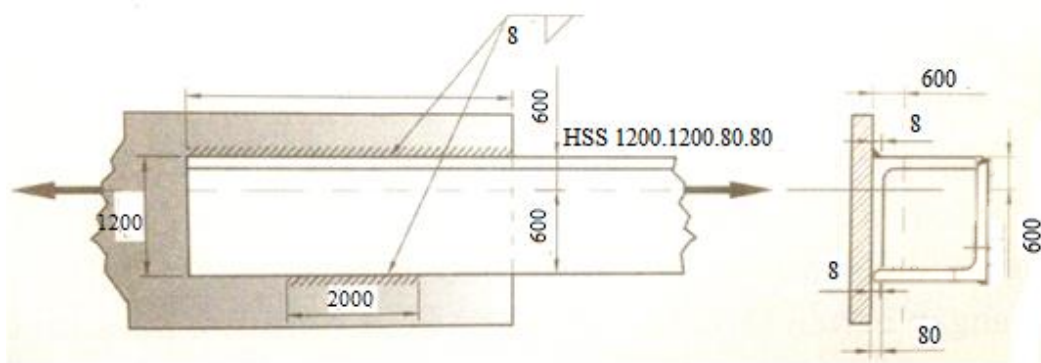
$$F_{nw} = F_u = 4100 \text{ kg/cm}^2 = 402,0727 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned}\varphi R_{nh} &= 0,75 \cdot F_{nw} \cdot A_{we} \\ &= 0,75 \times 4100 \times (0,707 \times 2 \times (80 \times 4)) \\ &= 1391376 \text{ kg} = 13,644 \text{ kN/mm}\end{aligned}$$

$$\left(\frac{V_u}{\varphi R_n}\right)^2 + \left(\frac{T_u}{\varphi R_n}\right)^2 \leq 1,0$$

$$\left(\frac{89871,39}{1391376}\right)^2 + \left(\frac{1017536,513}{1391376}\right)^2 = 0,538 \leq 1,0 \text{ (OK)}$$

Panjang perlu las sudut adalah  $\frac{P_{u\text{maks}}}{\varphi R_{nh}} = \frac{9938,63}{13,644} = 728,385 \text{ mm}$ , dan akan ditempatkan secara ideal agar tidak terjadi eksentrisitas. Tinjau sisi terpendek terhadap titik berat, berjarak  $a = 600 \text{ mm}$  panjang las  $L$  ; sisi lainnya berjarak  $b = 1200 - a = 600 \text{ mm}$  dengan panjang las  $728 - L$ . Tinjau keseimbangan terhadap garis berat, yaitu :  $a \times L = b \times (728 - L)$  sehingga  $L = b / (a + b)$  atau  $L = 728 \times 600 / (600 + 600) = 364 \text{ mm}$

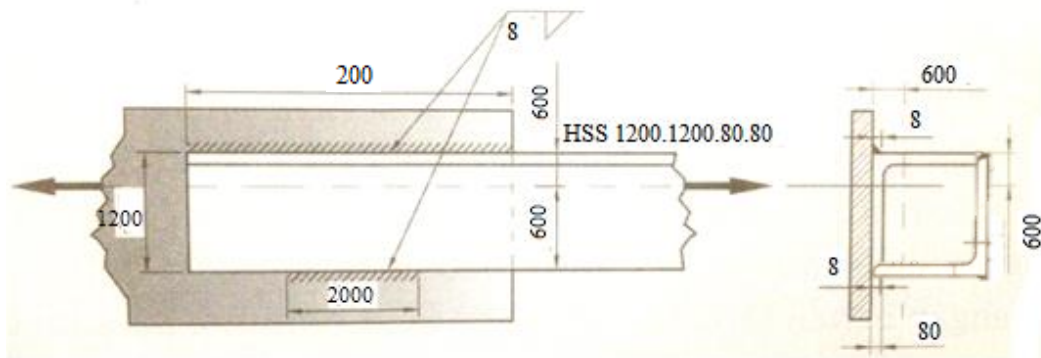


Gambar 4.6: Sambungan profil HSS dengan las-balans.

Tegangan las setiap sisi akan berimbang. Ini konfigurasi ideal untuk sambungan las yang beresiko tinggi terhadap gaya fatig. Selanjutnya bagian

lain yang kosong boleh diberi las pengisi, sehingga tegangan las pada bagian tersebut akan lebih kecil, tetapi biayanya bertambah.

Profil yang disambung dengan las balans, lebih panjang. Bisa juga las-perlu dibagi dua sama panjang atau las tidak balans. Panjang las perlu  $364/2 = 182$  mm → dipakai 200 mm.



Gambar 4.7: Sambungan batang tarik - las sudut.

Check *shear-lag* sebab hanya dua sisi profil HSS yang tersambung.

$$U = \frac{x}{L} - 2 = \frac{600}{200} - 2 = 1$$

$$A_e = UA_n = 1 \times 50877 \text{ mm}^2$$

$$\phi P_n = \frac{0,75 \times 402,0727 \times 50877}{1000} = 15342,19 \text{ kN} \gg P_u \text{ maks (9938,63 kN)} \quad \text{OK}$$

2. Perencanaan pelat pengaku :

Tebal pelat pengaku minimum ( $t_s$ )

$$t_s \geq 0,5 \cdot t_f = 0,5 \times 2,5 = 1,25 \text{ cm}$$

Dimensi pelat yang dipakai  $t_s = 1,5$  cm

Maka sambungan menggunakan las penetrasi penuh dengan mutu  $F_{e100XX}$  dapat digunakan pada sambungan kolom ke kolom.

#### 4.6.2 Sambungan Batang *Outrigger* WF 933 x 435 x 27 x 46,7

Kuat perlu sambungan batang *outrigger* ke balok, harus ditentukan lebih besar atau sama dengan kuat nominal batang *outrigger* yaitu  $1,25 \cdot R_y \cdot V_n$ .

Untuk kuat geser nominal ( $V_n$ ), diambil yang terkecil dari  $V_p$  atau  $2M_p/e$ .

$$\begin{aligned} V_p &= 0,6 \cdot f_y \cdot (d - 2 \cdot t_f) \cdot t_w \\ &= 0,6 \cdot 2500 \cdot (58,8 - 2 \cdot 2,0) \cdot 1,2 \end{aligned}$$

$$= 98640 \text{ kg (menentukan)}$$

$$\frac{2M_p}{e} = \frac{2 \times Z_x \times f_y}{e} = \frac{2 \times 4309 \times 2500}{100} = 215450 \text{ kg}$$

$$V_u = 1,25 \times R_y \times V_n$$

$$= 1,25 \times 1,5 \times 98640$$

$$= 184950 \text{ kg}$$

1. Sambungan pada batang *outrigger*

Mutu profil BJ41 ( $f_u = 4100 \text{ kg/cm}^2$ )

Baut tipe tumpu baut 19 mm ( $A_g = 2,834 \text{ cm}^2$ )

Mutu baut A325 ( $f_u = 8250 \text{ kg/cm}^2$ )

a. Kontrol kuat geser baut

$$\phi R_n = \phi f_u \times A_b$$

$$= 0,75 \times 8250 \times 2,834$$

$$= 17534,45 \text{ kg}$$

b. Kontrol kuat tumpu baut

$$1,2l_c = 1,2 \times \left(6 - \frac{2}{2}\right)$$

$$= 6 \text{ cm}$$

$$2,4d_b = 2,4 \times 1,9$$

$$= 4,56 \text{ cm}$$

$$\phi R_n = \phi 1,2l_c t f_u \leq 2,4d_b t f_u$$

$$= 0,75 \times 6 \times 2,0 \times 4100 \leq 2,4 \times 1,9 \times 4100$$

$$= 36900 \geq 18696 \text{ kg}$$

$$n = \frac{184950}{18696} = 9,89 \text{ buah} = 12 \text{ buah}$$

Dipasang 12 buah dalam 2 baris

c. Kontrol jarak baut

Jarak ke tepi = 1,5 db s. d (4tp + 100 mm) atau 200 mm

$$= 28,5 \text{ cm s. d } 14,8 \text{ cm}$$

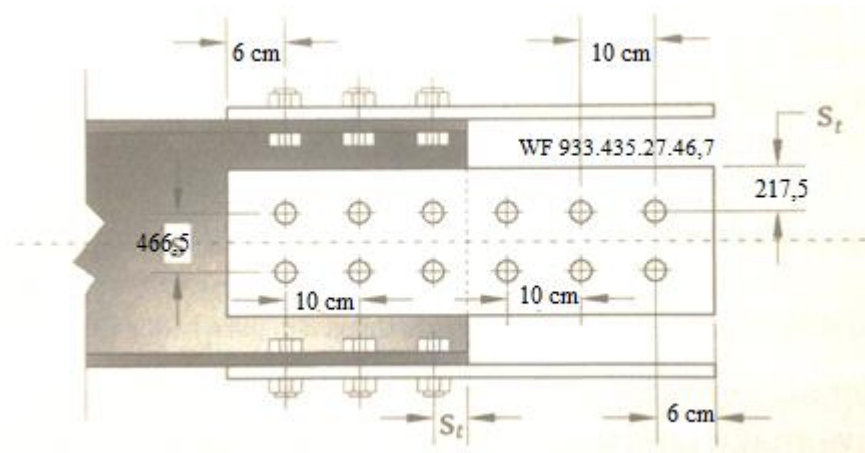
S1 Terpasang = 6 cm

Jarak baut = 3 db s. d 15 tp atau 200 mm

$$= 5,7 \text{ cm s. d } 2,0 \text{ cm}$$

S1 Terpasang = 10 cm





Gambar 4.8: Sambungan jarak dan spasi baut.

2. Sambungan las sudut pada plat buhul

Bahan las sudut yang digunakan adalah E<sub>100xx</sub>

Tebal efektif las sudut rencana  $t_e = 1 \text{ cm}$

$$\begin{aligned}
 A_{we} &= (0,707 \times w) \times l_{we} \\
 &= (0,707 \times w) \times 2 \times (d + b) \\
 &= (0,707 \times 1) \times 2 \times (90 + 55) \\
 &= 205,03 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

Untuk komponen vertikal

$$\begin{aligned}
 F_{nw} &= 0,6F_{exx} (1 + 0,5\sin^{1,5} \theta) \\
 &= 0,6 \times (100 \times 70,33) \times (1 + 0,5\sin^{1,5} 0^\circ) \\
 &= 4219,8 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi R_{nv} &= 0,75 \times 4219,8 \times 205,03 \\
 &= 648889 \text{ kg} > 184950 \text{ kg (OK)}
 \end{aligned}$$

Tegangan yang terjadi pada las sudut

$$L = 290 \text{ cm}$$

$$h = 500 \text{ cm}$$

$$b = 441,25 \text{ cm}$$

$$\alpha = 52^\circ$$

$$\cos \phi = \frac{441,25}{2,9} = 1,522$$

$$\sin \phi = \frac{5}{2,9} = 1,724$$

$$1,522 \times Vu = 1,522 \times 184950 = 281494 \text{ kg}$$

$$1,724 \times Vu = 1,724 \times 184950 = 318854 \text{ kg}$$

$$f_h = \frac{281494}{290} = 970,67 \text{ kg/m}^2$$

$$f_v = \frac{318854}{290} = 1099,50 \text{ kg/m}^2$$

$$f_{total} = \sqrt{\left(\sum f_h\right)^2 + \left(\sum f_v\right)^2} = \sqrt{(970,67)^2 + (1099,50)^2}$$

$$f_{total} = 1466,66 \text{ kg/m}^2$$

Tebal efektif las sudut

$$t_e = \frac{f_{total}}{\phi R_{nv}} = \frac{1466,66}{648889} = 0,0023 \text{ cm}$$

$$\alpha = \frac{t_e}{0,707} = \frac{0,0023}{0,707} = 0,0033 \text{ cm} < \alpha \text{ min} = 6 \text{ mm}$$

Dipakai ketebalan las sudut sebesar 6 mm

#### 4.6.3 Sambungan Balok Utama dengan Kolom

Sambungan balok utama dengan kolom direncanakan dengan sambungan tipe *End-plate connection* berdasarkan standar AISC 358-10. Pada perencanaan sambungan akan menghubungkan balok utama ke kolom komposit *CFT* dengan profil HSS 1200×1200×80×80. Data-data profil disajikan sebagai berikut:

1. Data-data geometri profil *End-plate*

$$t_p = 20 \text{ mm}$$

$$P_b = 90 \text{ mm}$$

$$b_p = 430 \text{ mm}$$

$$P_{f1} = P_{f2} = 50 \text{ mm}$$

$$g = 195 \text{ mm}$$

$$d_e = 50 \text{ mm}$$

Posisi dari lubang baut

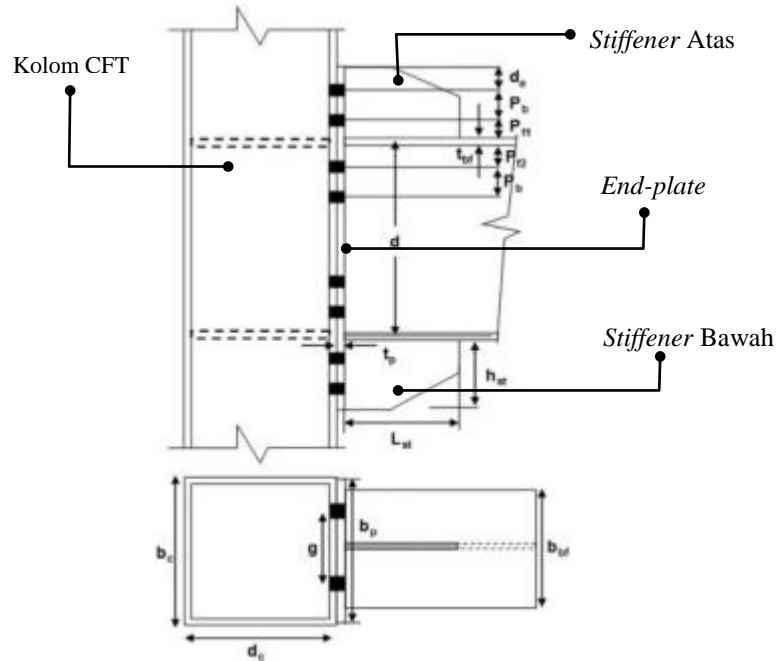
$$h_1 = 1060 \text{ mm}$$

$$h_2 = 970 \text{ mm}$$

$$h_3 = 870 \text{ mm}$$

$$h_4 = 780 \text{ mm}$$

Dimana  $h_i$  jarak dari *centerline* sayap profil balok ke *centerline* masing-masing baris lubang baut.



Gambar 4.9: Sambungan *End-plate* dengan tipe 8ES.

Digunakan baja *End-plate* dengan mutu  $F_{yp} = 240$  MPa dan  $F_{up} = 370$  Mpa dan baut ASTM A325 dengan mutu  $F_{nt} = 620$  MPa dan  $F_{nv} = 825$  MPa.

## 2. Data-data profil balok

Mutu baja (BJ) 41, dengan tegangan leleh  $F_y = 250$  MPa, tegangan ultimate  $F_u = 410$  MPa, serta modulus elastisitas  $E = 200000$  MPa.

$$d = 920 \text{ mm}$$

$$t_{bf} = 36.6 \text{ mm}$$

$$b_{bf} = 421 \text{ mm}$$

$$t_{bw} = 21.5 \text{ mm}$$

$$Z_x = 3341400 \text{ mm}^3$$

## 1. Menentukan diameter baut yang dibutuhkan

$$C_{pr} = \frac{F_{yp} + F_{up}}{2F_{yp}} = \frac{240 + 370}{2 \cdot 240} = 1.2$$

$$\begin{aligned} M_{pr} &= C_{pr} \cdot R_y \cdot F_y \cdot Z_x \\ &= 1.2 \cdot 1.1 \cdot 240 \cdot 3341400 \end{aligned}$$

$$= 105855520 \text{ N.mm}$$

$$= 1058.56 \text{ kN.m}$$

$$\begin{aligned} d_b &= \sqrt{\frac{2M_{pr}}{\pi \phi F_{nt}(h_1+h_2+h_3+h_4)}} \\ &= \sqrt{\frac{2(105855520)}{3.14 \cdot 0.9 \cdot 620 \cdot (1060+970+870+780)}} \\ &= 18.12 \text{ mm} \end{aligned}$$

Diambil  $d_b = 22 \text{ mm}$

2. Menghitung mekanisme garis leleh pada pelat sambungan *end-plate*

$$\begin{aligned} S &= \frac{1}{2} \sqrt{b_p \cdot g} \\ &= \frac{1}{2} \sqrt{430 \cdot 195} \\ &= 144.78 \text{ mm} \end{aligned}$$

Karena  $d_e < S$ , maka persamaan yang dipakai untuk sambungan tipe 8ES adalah:

$$\begin{aligned} Y_p &= \frac{b_p}{2} \left[ h_1 \left( \frac{1}{2d_e} \right) + h_2 \left( \frac{1}{p_{f1}} \right) + h_3 \left( \frac{1}{p_{f2}} \right) + h_4 \left( \frac{1}{s} \right) \right] \\ &+ \frac{2}{g} \left[ h_1 \left( d_e + \frac{p_b}{4} \right) + h_2 \left( p_{f1} + \frac{3p_b}{4} \right) + h_3 \left( p_{f2} + \frac{p_b}{4} \right) + h_4 \left( s + \frac{3p_b}{4} \right) + \right. \\ &\left. p_b^2 \right] + g \\ &= \frac{430}{2} \left[ 1060 \left( \frac{1}{2 \cdot 50} \right) + 970 \left( \frac{1}{50} \right) + 870 \left( \frac{1}{50} \right) + 780 \left( \frac{1}{144.78} \right) \right] \\ &+ \frac{2}{195} \left[ 1060 \left( 50 + \frac{90}{4} \right) + 970 \left( 50 + \frac{3 \cdot 90}{4} \right) + 870 \left( 50 + \frac{90}{4} \right) + \right. \\ &\left. 780 \left( 144.78 + \frac{3 \cdot 90}{4} \right) + 90^2 \right] + 195 \\ &= 15929.41 \text{ mm} \end{aligned}$$

3. Menghitung tebal *End-plate* yang dibutuhkan

$$\begin{aligned} t_{p.req} &= \sqrt{\frac{1.11 M_{pr}}{\phi_b F_{yp} Y_p}} \\ &= \sqrt{\frac{1.11 \cdot (1058.56 \cdot 10^6)}{1.0 \cdot 240 \cdot 15929.41}} \\ &= 17.53 \text{ mm} \end{aligned}$$

Diambil  $t_p = 20 \text{ mm}$

4. Menghitung gaya terfaktor pada sayap balok ( $F_{fu}$ )

$$\begin{aligned}
 F_{fu} &= \frac{M_{pr}}{d - t_{bf}} \\
 &= \frac{1058.56}{0.92 - 0.0366} \\
 &= 1198.27 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

5. Kontrol tahanan geser pada pelat sambungan

$$\begin{aligned}
 \phi R_{n, \text{shear}} &= \phi_n 0.6 F_{yp} \cdot b_p \cdot t_p \\
 &= 0.9 \cdot 0.6 \cdot 240 \cdot 430 \cdot 20 \\
 &= 1114560 \text{ N} \\
 &= 1114.56 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_n &= \left[ b_p - 2 \left( d_b + \frac{1}{16} \right) \right] t_p \\
 &= \left[ 430 - 2 \left( 22 + \frac{1}{16} \right) \right] 20 \\
 &= 7717.5 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi R_{n, \text{shear}} &= \phi_n 0.6 F_{up} \cdot A_n \\
 &= 0.9 \cdot 0.6 \cdot 370 \cdot 7717.5 \\
 &= 1500282 \text{ N} \\
 &= 1500.28 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \frac{F_{fu}}{2} &= \frac{1198.27}{2} \\
 &= 599.14 \text{ kN} < \phi R_{n, \text{shear}}
 \end{aligned}$$

(OK)

Pada sambungan *End-plate* ini kontrol terhadap geser baut diabaikan.

6. Menentukan ukuran dari *stiffener* sambungan

- Menentukan ketebalan pelat *stiffener*

Direncanakan mutu *stiffener* sama dengan mutu *End-plate*

$$\begin{aligned}
 t_s &= t_{bw} \left( \frac{F_{yb}}{F_{ys}} \right) \\
 &= 21.5 \left( \frac{250}{240} \right) \\
 &= 22.40 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Diambil  $t_s = 23 \text{ mm}$

- Kontrol panjang *stiffener* terhadap tekuk

$$h_{st} = (d_e + p_b + p_{f1} + t_{bf} + p_{f2}) - (p_{f2} + t_{bf2})$$

$$\begin{aligned}
&= (50+90+50+36.6+50)-(50+36.6) \\
&= 276.6-86.6 \\
&= 190 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
L_{st} &= \frac{h_{st}}{\tan 30^\circ} \\
&= \frac{190}{\tan 30^\circ} \\
&= 329.10 \text{ mm} = 330 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\frac{h_{st}}{t_s} = \frac{190}{23}$$

$$= 8.26 \leq 0.56 \sqrt{\frac{E}{F_{ys}}} = 0.56 \sqrt{\frac{200000}{240}} = 16.17 \quad \text{(OK)}$$

7. Kontrol terhadap pelat robek pada daerah sambungan

$$\begin{aligned}
L_c &= d_e - \left( \frac{d_b}{2} + \frac{1}{16} \right) \\
&= 50 - \left( \frac{20}{2} + \frac{1}{16} \right) = 39.94 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$R_{ni} = 1.2 \cdot L_c \cdot t_p \cdot F_u = 1.2 \cdot 39.94 \cdot 20 \cdot (370/10^3) = 354.67 \text{ kN}$$

$$R_{no} = 1.2 \cdot L_c \cdot t_p \cdot F_u = 1.2 \cdot 39.94 \cdot 20 \cdot (370/10^3) = 354.67 \text{ kN}$$

$L$  = panjang balok = 7 m

$$\begin{aligned}
V_u &= \frac{2M_{pr}}{L} \\
&= \frac{2 \cdot 1058.56}{7} = 302.45 \text{ kN}
\end{aligned}$$

$$V_u \leq \phi_n R_{n,bearing} = \phi_n (N_i) R_{ni} + \phi_n (N_o) R_{no}$$

$$302.45 \text{ kN} \leq 0.9 \cdot 2 \cdot 354.67 + 0.9 \cdot 2 \cdot 354.67 = 1276.81 \text{ kN} \quad \text{(OK)}$$

## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis data dan pembahasan mengenai “Desain Penampang dan Sambungan *Outrigger* pada Bangunan Gedung 40 Lantai Berdasarkan SNI 1726:2012 dan SNI 7860:2015”, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Dimensi profil pada setiap model adalah sebagai berikut :
  - a. Model 1 dengan sistem rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus tipe *Concrete Filled Steel Tube (CFT)*.

Uraian	Dimensi (mm)
Kolom Lt.1-Lt.15	: <i>CFT</i> 1200x1200x80x80
Kolom Lt.16-Lt.30	: <i>CFT</i> 1100x1100x80x80
Kolom Lt.31-Lt.40	: <i>CFT</i> 1000x1000x80x80
Mega Kolom Lt.1-Lt.15	: <i>CFT</i> 1300x1900x100x100
Mega Kolom Lt.16-Lt.30	: <i>CFT</i> 1200x1900x100x100
Mega Kolom Lt.31-Lt.40	: <i>CFT</i> 1100x1900x100x100

- b. Model 2 sistem rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus tipe *Concrete Filled Steel Tube (CFT)* dengan sistem ganda *core wall* dan *outrigger* dipasang pada arah Y bangunan.

Uraian	Dimensi (mm)
Kolom Lt.1-Lt.15	: <i>CFT</i> 1200x1200x80x80
Kolom Lt.16-Lt.30	: <i>CFT</i> 1100x1100x80x80
Kolom Lt.31-Lt.40	: <i>CFT</i> 1000x1000x80x80
Mega Kolom Lt.1-Lt.15	: <i>CFT</i> 1300x1900x100x100
Mega Kolom Lt.16-Lt.30	: <i>CFT</i> 1200x1900x100x100
Mega Kolom Lt.31-Lt.40	: <i>CFT</i> 1100x1900x100x100
<i>Outrigger</i>	: <i>WF</i> 933x423x24x42,7

- c. Model 3 sistem rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus tipe *Concrete Filled Steel Tube (CFT)* dengan sistem ganda *core wall* dan *outrigger* dipasang pada arah X bangunan.

Uraian	Dimensi (mm)
Kolom Lt.1-Lt.15	: CFT 1200x1200x80x80
Kolom Lt.16-Lt.30	: CFT 1100x1100x80x80
Kolom Lt.31-Lt.40	: CFT 1000x1000x80x80
Mega Kolom Lt.1-Lt.15	: CFT 1300x1900x100x100
Mega Kolom Lt.16-Lt.30	: CFT 1200x1900x100x100
Mega Kolom Lt.31-Lt.40	: CFT 1100x1900x100x100
<i>Outrigger</i>	: WF 933x423x24x42,7

- d. Model 4 sistem rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus tipe *Concrete Filled Steel Tube (CFT)* dengan sistem ganda *core wall* dan *outrigger* dipasang pada arah X dan Y bangunan.

Uraian	Dimensi (mm)
Kolom Lt.1-Lt.15	: CFT 1200x1200x80x80
Kolom Lt.16-Lt.30	: CFT 1100x1100x80x80
Kolom Lt.31-Lt.40	: CFT 1000x1000x80x80
Mega Kolom Lt.1-Lt.15	: CFT 1300x1900x100x100
Mega Kolom Lt.16-Lt.30	: CFT 1200x1900x100x100
Mega Kolom Lt.31-Lt.40	: CFT 1100x1900x100x100
<i>Outrigger</i>	: WF 933x423x24x42,7

- e. Mutu material penyusun komposit dan *outrigger*

Jenis struktur kolom baja beton komposit dengan klasifikasi mutu masing-masing material sebagai berikut :

Mutu baja (BJ) 41, dengan tegangan leleh  $F_y = 250$  Mpa, tegangan ultimate  $F_u = 410$  Mpa, serta modulus elastisitas 200000 Mpa.

2. Dimensi dan tipikal konfigurasi sambungan adalah sebagai berikut :

- a. Sambungan kolom dengan kolom direncanakan dengan menggunakan las penetrasi penuh dengan mutu  $F_{e100xx}$  dan kuat tarik kawat las ( $F_{nw}$ )  $= 4100 \text{ kg/cm}^2 = 402 \text{ MPa}$  pada profil kolom HSS 1200x1200x80x80.



- b. Sambungan batang outrigger  $WF\ 933 \times 423 \times 24 \times 42,7$  ke balok  $WF\ 920 \times 421 \times 21,5 \times 36,6$  direncanakan dengan menggunakan mutu profil BJ 41, baut tipe tumpu 19 mm, dengan mutu baut A325 dan sambungan las sudut pada plat buhul menggunakan bahan las sudut yang digunakan adalah  $E_{100xx}$  dengan tebal efektif las sudut rencana  $t_e = 1\text{ cm}$ .
  - c. Sambungan balok utama dengan kolom direncanakan dengan sambungan tipe *End-plate connection* berdasarkan standar AISC 358-2010. Pada perencanaan sambungan akan menghubungkan balok utama  $WF\ 933 \times 423 \times 24 \times 42,7$  ke kolom komposit CFT dengan profil HSS  $1200 \times 1200 \times 80 \times 80$ .
3. Akibat pemodelan yang berbeda maka perioda getar bangunan berbeda pula. Nilai perioda getar struktur dari ketiga model adalah sebagai berikut :
    - a. Perioda getar struktur model 1 (struktur rangka pemikul momen khusus) adalah 4,312 detik untuk arah X dan 4,448 detik untuk arah Y.
    - b. Perioda getar struktur model 2 (struktur dengan *core wall* dan *outrigger* searah Y bangunan) adalah 2,619 detik untuk arah X dan 2,570 detik untuk arah Y.
    - c. Perioda getar struktur model 3 (struktur dengan *core wall* dan *outrigger* searah X bangunan) adalah 2,471 detik untuk arah X dan 2,678 detik untuk arah Y.
    - d. Perioda getar struktur model 4 (struktur dengan *core wall* dan *outrigger* searah X dan Y bangunan) adalah 2,455 detik untuk arah X dan 2,553 detik untuk arah Y.
  4. Pengaruh penempatan letak *core wall* dan *outrigger* bisa dilihat pada hasil simpangan dan gaya geser.  
 Model 1 (SRPMK) :
    - Gempa X = 0,1014 m
    - Gempa Y = 0,1054 m

Model 2 (SRPMK + *Core wall* + *Outrigger* searah Y)

- Gempa X = 0,0694 m
- Gempa Y = 0,0680 m

Model 3 (SRPMK + *Core wall* + *Outrigger* searah X)

- Gempa X = 0,0649 m
- Gempa Y = 0,0712 m

Model 4 (SRPMK + *Core wall* + *Outrigger* searah X dan Y)

- Gempa X = 0,0644 m
- Gempa Y = 0,0675 m

5. Masing-masing model mengalami simpangan maksimum pada lantai 39.

Gaya Geser yang bekerja pada tiap model adalah sebagai berikut :

- Gaya geser model 1 (struktur rangka pemikul momen khusus) adalah 3498711,06 Kgf untuk arah X dan 3402000,99 Kgf untuk arah Y.
- Gaya geser model 2 (struktur rangka pemikul momen khusus, *core wall* dan *outrigger* dipasang searah Y) adalah 1232935,34 Kgf untuk arah X dan 1193695,35 Kgf untuk arah Y.
- Gaya geser model 3 (struktur rangka pemikul momen khusus, *core wall* dan *outrigger* dipasang searah X) adalah 1199338,72 Kgf untuk arah X dan 1228542,68 Kgf untuk arah Y dan.
- Gaya geser model 4 (struktur rangka pemikul momen khusus, *core wall* dan *outrigger* dipasang searah X dan Y) adalah 1203543,79 Kgf untuk arah X dan 1237959,78 Kgf untuk arah Y.

6. Setelah dianalisis, keempat model memiliki masing-masing keuntungan dan kerugian. Namun, penempatan *core wall* dan *outrigger* yang paling efektif diantara keempat model adalah yaitu penempatan pada arah X arah dan Y bangunan (Model 4). Berikut uraiannya:

- a. Model 4 memiliki nilai simpangan yang lebih kecil dari tiga model lainnya.
- b. Kebutuhan penampang profil lebih kecil, yang berarti akan lebih ekonomis.

- c. Namun, pada Model 4 bangunan tidak terlalu banyak menyerap gaya lateral jika dibandingkan dengan dua model lainnya tetapi telah masuk *range* peraturan SNI 1726-2012 yaitu >25% untuk sistem ganda.

## 5.2. Saran

1. Pada Tugas Akhir ini, analisa beban struktur gempa hanya menggunakan analisis respon spektrum hingga batas elastis. Penulis menyarankan agar dilakukan peninjauan lebih dalam lagi sampai batas plastis menggunakan analisis *push over* (analisis non-linear). Sehingga pada analisis *push over* maka didapat batas leleh maksimum yang terjadi pada struktur baja dan beton komposit menggunakan *core wall* dan *outrigger* tersebut.
2. Penulis menyarankan nantinya dalam tugas akhir ini dilakukan perbandingan menggunakan analisis *time history* baik itu gempa dekat (*pulse*) dan gempa jauh (*no pulse*).
3. Untuk mendapatkan hasil yang akurat sebaiknya tanah yang di tinjau ada 3 jenis yaitu tanah keras, tanah sedang, dan tanah lunak. Di tugas akhir ini penulis hanya meninjau pada 1 jenis tanah yaitu tanah sedang.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ali, M. and Moon, K., Structural Developments in Tall Buildings: Current Trends and Future Prospects, Invited Review Paper, *Architectural Science Review*, Vol. 50, No. 3, pp. 205-223, 2007.
- Andi, D. (2010) *Perencanaan Struktur Gedung Apartemen Permata Berlian Jakarta*. Laporan Tugas Akhir. Program Studi Teknik Sipil. Jakarta. UI.
- Badan Standarisasi Nasional (2013) *Sambungan Terpraktualifikasi untuk Rangka Momen Khusus dan Menengah Baja pada Aplikasi Seismik SNI 7972:2013*, Bandung: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Indonesia (2015) *Spesifikasi Untuk Bangunan Baja Struktural SNI 03-1729-2015*, Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Badan Standarisasi Nasional (2012) *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung SNI 1726-2012*, Jakarta, Departemen Pekerjaan Umum.
- Badan Standarisasi Nasional (2015) *Ketentuan Seismik Untuk Struktur Baja Bangunan Gedung SNI 7860-2015*, Jakarta, Departemen Pekerjaan Umum.
- Budiono, B. dan Supriatna, L. (2011) *Studi Komparasi Desain Bangunan Tahan Gempa Dengan Menggunakan SNI 03-1726-2002 dan SNI 03-1726-2012*. Bandung. ITB.
- Dewobroto, W. (2016) *Struktur Baja – Perilaku, Analisis & Desain – AISC 2010 Edisi Ke-2*. Tangerang: Universitas Pelita Harapan.
- Departemen Pekerjaan Umum (1987) *Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung*, Jakarta. Yayasan Badan Penerbit PU.
- Gazali, M. dan Iranata, D. (2012) *Studi Perbandingan Perilaku Bangunan Menggunakan SRPM, SRBK, Dan SRBK Menggunakan Outrigger Terhadap Variasi Tinggi Gedung*. Surabaya. Program Studi Teknik Sipil, ITS.
- Pawirodikromo, W. (2012) *Seismologi Teknik & Rekayasa Kegempaan*. Yogyakarta. Universitas Islam Indonesia
- Standar Nasional Indonesia. 2013, *Beban Minimum Untuk Perencanaan Bangunan Gedung Dan Struktur Lain SNI 1727-2013*. Jakarta. Departemen Pekerjaan Umum.

# **LAMPIRAN**

## A. Perencanaan Struktur

### A1. Perhitungan Tebal Pelat Lantai

Perencanaan pelat lantai untuk seluruh model adalah sama, dan pelat lantai menggunakan sistem pelat dua arah dimana perbandingan antara  $l_y/l_x \leq 2,3$ . Berikut ini merupakan perhitungan tebal pelat dua arah.

Data-data:

- $l_y = 7000$  mm
- $l_x = 7000$  mm
- $f_y = 400$  Mpa
- $l_n = 7000$  mm
- $\beta = l_y/l_x = 1$

$$\begin{aligned} \bullet \quad h_{\text{maks}} &= \frac{\ln(0,8 + f_y/1500)}{36} \\ &= \frac{7000(0,8 + 400/1500)}{36} \\ &= 207,407 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bullet \quad h_{\text{min}} &= \frac{\ln(0,8 + f_y/1500)}{36 + 9\beta} \\ &= \frac{7000(0,8 + 400/1500)}{36 + 9(1)} \\ &= 165,926 \text{ mm} \end{aligned}$$

Sehingga tebal pelat lantai diambil:

- Lantai 1-39 = 200 mm
- Lantai 40 = 150 mm

### A2. Perhitungan Berat Tambahan Beban Mati

Rencana beban tambahan untuk beban mati pada semua model adalah sama, baik beban tambahan pelat lantai, serta rencana beban dinding.

#### A2.1. Beban Tambahan Pelat Lantai

Berikut ini merupakan perhitungan beban tambahan pada pelat lantai yang dibedakan menjadi pelat lantai untuk lantai 1 – 39 dan pelat atap untuk lantai 40 (atap).

- a. Beban Mati pada pelat Lantai 1-39
- Spesi Lantai Keramik (t = 2 cm) = 42 kg/m<sup>2</sup> = 0,412 kN/m<sup>2</sup>
  - Penutup lantai keramik = 24 kg/m<sup>2</sup> = 0,235 kN/m<sup>2</sup>
  - Plafon + penggantung = 18 kg/m<sup>2</sup> = 0,177 kN/m<sup>2</sup>
  - M & E = 60 kg/m<sup>2</sup> = 0,588 kN/m<sup>2</sup>
  - Total beban mati = 144 kg/m<sup>2</sup> = 1,412 kN/m<sup>2</sup>
- b. Beban Mati pada Lantai 40 (Atap)
- Plafon + penggantung = 18 kg/m<sup>2</sup> = 0,177 kN/m<sup>2</sup>
  - Waterproof = 4 kg/m<sup>2</sup> = 0,039 kN/m<sup>2</sup>
  - plester = 42 kg/m<sup>2</sup> = 0,412 kN/m<sup>2</sup>
  - M & E = 60 kg/m<sup>2</sup> = 0,588 kN/m<sup>2</sup>
  - Total beban mati = 124 kg/m<sup>2</sup> = 1,216 kN/m<sup>2</sup>

## A2.2. Beban Dinding

Berikut ini merupakan perhitungan beban dinding yang dibedakan menjadi beban dinding untuk lantai 1, lantai 2 – 39 dan lantai 40 (atap).

### a. Dinding Lt 1

- Dinding Pas. Bata Merah 1/2 batu = 250 kg/m<sup>2</sup>
- Beban garis = 250\*1/2(4+3,5)
- = 938 kg/m = 9,194 kN/m

### b. Dinding Lt 2-39

- Dinding Pas. Bata Merah 1/2 batu = 250 kg/m<sup>2</sup>
- Beban garis = 250\*1/2(3,5+3,5)
- = 875 kg/m = 8,581 kN/m

### c. Dinding Lt 40 (Atap)

- Dinding Pas. Bata Merah 1/2 batu = 250 kg/m<sup>2</sup>
- Beban garis = 250\*1/2(3,5)
- = 438 kg/m = 4,290 kN/m

### A3. Perhitungan Beban Hidup

Beban hidup dibagi menjadi dua, yaitu beban hidup seragam dan beban hidup tidak seragam. Untuk nilai beban hidup sudah ditabelkan pada Tabel 2.16. Hanya saja perlu dihitung faktor reduksi beban hidup.

#### A3.1. Faktor Reduksi Beban Hidup

Komponen struktur yang memiliki nilai  $K_{LL}A_T$  adalah  $400 \text{ ft}^2$  ( $37,16 \text{ m}^2$ ) atau lebih diizinkan untuk dirancang dengan beban hidup tereduksi. Reduksi beban hidup untuk setiap jenis beban di setiap lantai menggunakan faktor reduksi terbesar (beban dengan reduksi terkecil). Maka  $A_{TT}$  diambil yang terkecil sebagai perwakilan untuk setiap jenis beban.

Tabel L.1: Beban hidup area berdasarkan SNI 1727:2013.

<b>BEBAN HIDUP (<math>L_o</math>)</b>					
1. PLAT LANTAI :					
* R. Kantor	=	240	$\text{Kg/m}^2$	2,40	$\text{KN/m}^2$
* Lobi & Koridor Lt 1	=	479	$\text{Kg/m}^2$	4,79	$\text{KN/m}^2$
* Koridor	=	383	$\text{Kg/m}^2$	3,83	$\text{KN/m}^2$
* R. Makan (a)	=	479	$\text{Kg/m}^2$	4,79	$\text{KN/m}^2$
* R. Komputer	=	479	$\text{Kg/m}^2$	4,79	$\text{KN/m}^2$
* R. Arsip	=	400	$\text{Kg/m}^2$	4,00	$\text{KN/m}^2$
* R. Pertemuan (a)	=	479	$\text{Kg/m}^2$	4,79	$\text{KN/m}^2$
2. PLAT ATAP	=	96	$\text{Kg/m}^2$	0,96	$\text{KN/m}^2$
3. PLAT TANGGA & BORDES	=	479	$\text{Kg/m}^2$	4,79	$\text{KN/m}^2$

### B. Perhitungan Analisa

#### B1. Gaya Lateral Statik Ekuivalen Model 1

Berikut ini merupakan perhitungan gaya lateral statik ekuivalen untuk masing-masing model.



Tabel L.2: Distribusi gaya geser horizontal arah x analisis statik ekuivalen.

Tingkat	wi (kn)	hi (m)	wi.hi <sup>k</sup>	Cvx	Fi = Cvx . V	story shear Vx
40	5285,69	140,5	7538203240,32	0,084	334,43	334,43
39	5793,90	137	7686761621,19	0,085	341,02	675,45
38	5793,90	133,5	7137353297,70	0,079	316,65	992,10
37	5793,90	130	6614169251,14	0,073	293,44	1285,54
36	5793,90	126,5	6116613357,12	0,068	271,36	1556,90
35	5793,90	123	5644087328,10	0,063	250,40	1807,30
34	5793,90	119,5	5195990645,34	0,058	230,52	2037,82
33	5793,90	116	4771720486,68	0,053	211,70	2249,51
32	5793,90	112,5	4370671649,80	0,048	193,90	2443,42
31	5793,90	109	3992236470,57	0,044	177,11	2620,53
30	5883,68	105,5	3692144664,99	0,041	163,80	2784,33
29	5958,33	102	3394439236,68	0,038	150,59	2934,93
28	5958,33	98,5	3071254212,41	0,034	136,26	3071,18
27	5958,33	95	2768797777,08	0,031	122,84	3194,02
26	5958,33	91,5	2486430884,99	0,028	110,31	3304,33
25	5958,33	88	2223511314,38	0,025	98,65	3402,97
24	5958,33	84,5	1979393529,05	0,022	87,82	3490,79
23	5958,33	81	1753428528,32	0,019	77,79	3568,58
22	5958,33	77,5	1544963683,50	0,017	68,54	3637,12
21	5958,33	74	1353342559,37	0,015	60,04	3697,16
20	5958,33	70,5	1177904718,22	0,013	52,26	3749,42
19	5958,33	67	1017985504,14	0,011	45,16	3794,58
18	5958,33	63,5	872915804,18	0,010	38,73	3833,31
17	5958,33	60	742021782,82	0,008	32,92	3866,23
16	5958,33	56,5	624624584,97	0,007	27,71	3893,94
15	6052,24	53	528237113,82	0,006	23,44	3917,38
14	6131,60	49,5	440012793,08	0,005	19,52	3936,90
13	6131,60	46	356620802,23	0,004	15,82	3952,72
12	6131,60	42,5	284264472,66	0,003	12,61	3965,33
11	6131,60	39	222213140,58	0,002	9,86	3975,19
10	6131,60	35,5	169727983,55	0,002	7,53	3982,72
9	6131,60	32	126061180,23	0,001	5,59	3988,31
8	6131,60	28,5	90454890,51	0,001	4,01	3992,32
7	6131,60	25	62139993,11	0,001	2,76	3995,08
6	6131,60	21,5	40334484,69	0,000	1,79	3996,87
5	6131,60	18	24241387,25	0,000	1,08	3997,95
4	6131,60	14,5	13045902,14	0,000	0,58	3998,52
3	6131,60	11	5911325,11	0,000	0,26	3998,79
2	6131,60	7,5	1972705,05	0,000	0,09	3998,87

Tabel L.2: Lanjutan.

Tingkat	wi (kn)	hi (m)	wi.hi <sup>k</sup>	Cvx	Fi = Cvx . V	story shear Vx
1	6226,21	4	330694,10	0,000	0,01	3998,89
Σ	238720,28		90136535001,15	1,000	3998,89	

Tabel L.3: Distribusi gaya geser horizontal arah y analisis statik ekuivalen.

Tingkat	Wi (kn)	hi (m)	wi.hi <sup>k</sup>	Cvy	Fi = Cvy . V	story shear Vy
40	5285,69	140,5	10499343782,77	0,085	340,07	340,07
39	5793,90	137	10688178325,20	0,087	346,19	686,25
38	5793,90	133,5	9907051933,21	0,080	320,88	1007,14
37	5793,90	130	9164515467,99	0,074	296,83	1303,97
36	5793,90	126,5	8459624649,68	0,069	274,00	1577,98
35	5793,90	123	7791433480,42	0,063	252,36	1830,34
34	5793,90	119,5	7158994193,45	0,058	231,88	2062,22
33	5793,90	116	6561357199,35	0,053	212,52	2274,73
32	5793,90	112,5	5997571028,95	0,049	194,26	2468,99
31	5793,90	109	5466682272,70	0,044	177,06	2646,06
30	5883,68	105,5	5044714861,02	0,041	163,40	2809,45
29	5958,33	102	4627476802,87	0,037	149,88	2959,33
28	5958,33	98,5	4177110773,96	0,034	135,29	3094,63
27	5958,33	95	3756632566,98	0,030	121,68	3216,30
26	5958,33	91,5	3365050646,09	0,027	108,99	3325,30
25	5958,33	88	3001371005,38	0,024	97,21	3422,51
24	5958,33	84,5	2664597067,84	0,022	86,31	3508,82
23	5958,33	81	2353729575,89	0,019	76,24	3585,05
22	5958,33	77,5	2067766472,58	0,017	66,97	3652,03
21	5958,33	74	1805702772,10	0,015	58,49	3710,51
20	5958,33	70,5	1566530418,19	0,013	50,74	3761,25
19	5958,33	67	1349238128,62	0,011	43,70	3804,95
18	5958,33	63,5	1152811223,66	0,009	37,34	3842,29
17	5958,33	60	976231435,96	0,008	31,62	3873,91
16	5958,33	56,5	818476698,59	0,007	26,51	3900,42
15	6052,24	53	689216069,33	0,006	22,32	3922,74
14	6131,60	49,5	571483705,22	0,005	18,51	3941,25
13	6131,60	46	460905029,59	0,004	14,93	3956,18
12	6131,60	42,5	365447203,86	0,003	11,84	3968,02
11	6131,60	39	284034481,43	0,002	9,20	3977,22
10	6131,60	35,5	215585104,79	0,002	6,98	3984,20
9	6131,60	32	159010724,87	0,001	5,15	3989,35

Tabel L.3: Lanjutan.

Tingkat	Wi (kn)	hi (m)	wi.hi <sup>k</sup>	Cvy	Fi = Cvy . V	story shear Vy
8	6131,60	28,5	113215700,48	0,001	3,67	3993,02
7	6131,60	25	77096237,06	0,001	2,50	3995,52
6	6131,60	21,5	49539302,74	0,000	1,60	3997,12
5	6131,60	18	29421223,36	0,000	0,95	3998,07
4	6131,60	14,5	15605790,50	0,000	0,51	3998,58
3	6131,60	11	6941577,16	0,000	0,22	3998,80
2	6131,60	7,5	2257830,11	0,000	0,07	3998,88
1	6226,21	4	362881,20	0,000	0,01	3998,89
Σ	238720,28		123462315645,15	1,000	3998,89	

## B2. Gaya Lateral Statik Ekuivalen Model 2

Tabel L.4: Distribusi gaya geser horizontal arah x analisis statik ekuivalen.

Tingkat	wi (kn)	hi (m)	wi.hi <sup>k</sup>	Cvx	Fi = Cvx . V	story shear Vx
40	5688,331	140,5	69504495,788	0,060	498,850	498,850
39	6599,186	137	76854549,683	0,067	551,603	1050,454
38	6583,171	133,5	72983717,061	0,063	523,821	1574,275
37	6567,156	130	69216803,447	0,060	496,785	2071,060
36	6567,156	126,5	65713652,910	0,057	471,642	2542,703
35	6567,156	123	62296947,424	0,054	447,120	2989,823
34	6567,156	119,5	58966922,614	0,051	423,220	3413,042
33	6567,156	116	55723821,580	0,048	399,943	3812,985
32	6567,156	112,5	52567895,364	0,046	377,292	4190,278
31	6567,156	109	49499403,460	0,043	355,269	4545,546
30	6656,938	105,5	47154583,170	0,041	338,440	4883,986
29	6731,587	102	44718124,116	0,039	320,953	5204,939
28	6731,587	98,5	41843364,423	0,036	300,320	5505,258
27	6731,587	95	39059391,303	0,034	280,338	5785,597
26	6747,602	91,5	36453041,881	0,032	261,632	6047,229
25	6763,616	88	33925752,325	0,029	243,493	6290,722
24	6747,602	84,5	31329809,175	0,027	224,861	6515,584
23	6731,587	81	28837953,756	0,025	206,977	6722,560
22	6731,587	77,5	26512982,796	0,023	190,290	6912,850
21	6731,587	74	24280935,360	0,021	174,270	7087,120
20	6731,587	70,5	22142229,089	0,019	158,920	7246,040
19	6731,587	67	20097303,899	0,017	144,243	7390,284
18	6731,587	63,5	18146624,363	0,016	130,243	7520,526

Tabel L.4: Lanjutan.

Tingkat	Wi (kn)	hi (m)	wi.hi <sup>k</sup>	Cvy	Fi = Cvx . V	story shear Vx
17	6731,587	60	16290682,504	0,014	116,922	7637,448
16	6731,587	56,5	14530001,072	0,013	104,285	7741,734
15	6825,505	53	13044629,540	0,011	93,624	7835,358
14	6904,865	49,5	11587477,178	0,010	83,166	7918,524
13	6904,865	46	10078208,802	0,009	72,334	7990,858
12	6904,865	42,5	8669206,184	0,008	62,221	8053,079
11	6920,880	39	7378316,148	0,006	52,956	8106,035
10	6936,895	35,5	6183717,655	0,005	44,382	8150,417
9	6920,880	32	5063627,171	0,004	36,343	8186,759
8	6904,865	28,5	4052518,133	0,004	29,086	8215,845
7	6904,865	25	3158166,589	0,003	22,667	8238,512
6	6904,865	21,5	2370203,240	0,002	17,012	8255,524
5	6904,865	18	1690202,639	0,001	12,131	8267,655
4	6904,865	14,5	1120052,827	0,001	8,039	8275,694
3	6904,865	11	662102,882	0,001	4,752	8280,446
2	6904,865	7,5	319445,506	0,000	2,293	8282,738
1	7054,701	4	98673,098	0,000	0,708	8283,447
Σ	269511,503		1154127536,153	1,000	8283,447	

Tabel L.5: Distribusi gaya geser horizontal arah y analisis statik ekuivalen.

Tingkat	wi (kn)	hi (m)	wi.hi <sup>k</sup>	Cvy	Fi = Cvy . V	story shear Vy
40	5688,331	140,5	78069840,263	0,061	670,445	670,445
39	6599,186	137	86274512,817	0,067	740,904	1411,349
38	6583,171	133,5	81879425,715	0,064	703,161	2114,510
37	6567,156	130	77604911,454	0,060	666,452	2780,962
36	6567,156	126,5	73629989,222	0,057	632,316	3413,278
35	6567,156	123	69755673,573	0,054	599,045	4012,323
34	6567,156	119,5	65982172,227	0,051	566,639	4578,962
33	6567,156	116	62309699,350	0,048	535,101	5114,062
32	6567,156	112,5	58738475,954	0,046	504,432	5618,494
31	6567,156	109	55268730,329	0,043	474,634	6093,128
30	6656,938	105,5	52610247,269	0,041	451,804	6544,932
29	6731,587	102	49852355,237	0,039	428,120	6973,052
28	6731,587	98,5	46609275,064	0,036	400,269	7373,321
27	6731,587	95	43471234,724	0,034	373,320	7746,642
26	6747,602	91,5	40534719,333	0,032	348,102	8094,744
25	6763,616	88	37689886,533	0,029	323,672	8418,416

Tabel L.5: *Lanjutan.*

Tingkat	Wi (kn)	hi (m)	wi.hi <sup>k</sup>	Cvy	Fi = Cvy . V	story shear Vy
24	6747,602	84,5	34772737,521	0,027	298,620	8717,035
23	6731,587	81	31975241,923	0,025	274,596	8991,631
22	6731,587	77,5	29366837,496	0,023	252,195	9243,826
21	6731,587	74	26865341,049	0,021	230,713	9474,539
20	6731,587	70,5	24471116,469	0,019	210,152	9684,691
19	6731,587	67	22184546,619	0,017	190,515	9875,207
18	6731,587	63,5	20006035,353	0,016	171,807	10047,014
17	6731,587	60	17936009,861	0,014	154,030	10201,044
16	6731,587	56,5	15974923,418	0,012	137,189	10338,232
15	6825,505	53	14320303,845	0,011	122,979	10461,212
14	6904,865	49,5	12700245,437	0,010	109,067	10570,278
13	6904,865	46	11027019,966	0,009	94,697	10664,976
12	6904,865	42,5	9467743,248	0,007	81,307	10746,282
11	6920,880	39	8041689,091	0,006	69,060	10815,342
10	6936,895	35,5	6724809,993	0,005	57,751	10873,093
9	6920,880	32	5493292,774	0,004	47,175	10920,269
8	6904,865	28,5	4384436,868	0,003	37,652	10957,921
7	6904,865	25	3406329,259	0,003	29,253	10987,174
6	6904,865	21,5	2547404,380	0,002	21,876	11009,050
5	6904,865	18	1808996,303	0,001	15,535	11024,585
4	6904,865	14,5	1192698,449	0,001	10,243	11034,828
3	6904,865	11	700483,978	0,001	6,016	11040,844
2	6904,865	7,5	334935,146	0,000	2,876	11043,720
1	7054,701	4	101940,597	0,000	0,875	11044,595
Σ	269511,503		1286086268,105	1,000	11044,595	

### B3. Gaya Lateral Statik Ekuivalen Model 3

Tabel L.6: Distribusi gaya geser horizontal arah x analisis statik ekuivalen.

Tingkat	wi (kn)	hi (m)	wi.hi <sup>k</sup>	Cvx	Fi = Cvx . V	story shear Vx
40	5688,331	140,5	56608849,653	0,059	680,145	680,145
39	6599,186	137	62660762,978	0,066	752,858	1433,003
38	6599,186	133,5	59713663,855	0,063	717,449	2150,452
37	6583,171	130	56694467,414	0,059	681,174	2831,626
36	6567,156	126,5	53754998,335	0,056	645,857	3477,482
35	6567,156	123	51019442,004	0,053	612,989	4090,472
34	6567,156	119,5	48350135,463	0,051	580,918	4671,390

Tabel L.6: Lanjutan.

Tingkat	Wi (kn)	hi (m)	wi.hi <sup>k</sup>	Cvy	Fi = Cvx . V	story shear V <sub>x</sub>
33	6567,156	116	45747344,168	0,048	549,646	5221,036
32	6567,156	112,5	43211342,575	0,045	519,177	5740,213
31	6567,156	109	40742414,743	0,043	489,513	6229,725
30	6656,938	105,5	38865023,364	0,041	466,956	6696,682
29	6731,587	102	36908523,329	0,039	443,449	7140,131
28	6731,587	98,5	34585892,974	0,036	415,543	7555,674
27	6747,602	95	32410215,877	0,034	389,403	7945,077
26	6763,616	91,5	30294537,646	0,032	363,983	8309,061
25	6763,616	88	28173023,421	0,030	338,494	8647,554
24	6747,602	84,5	26061127,217	0,027	313,120	8960,674
23	6731,587	81	24030472,642	0,025	288,722	9249,396
22	6731,587	77,5	22133626,108	0,023	265,932	9515,327
21	6731,587	74	20309175,682	0,021	244,011	9759,339
20	6731,587	70,5	18557586,409	0,019	222,966	9982,305
19	6731,587	67	16879349,100	0,018	202,802	10185,107
18	6731,587	63,5	15274983,148	0,016	183,526	10368,633
17	6731,587	60	13745039,832	0,014	165,144	10533,777
16	6731,587	56,5	12290106,202	0,013	147,663	10681,441
15	6825,505	53	11063035,381	0,012	132,920	10814,361
14	6904,865	49,5	9855139,498	0,010	118,408	10932,769
13	6904,865	46	8597632,982	0,009	103,299	11036,068
12	6920,880	42,5	7437163,105	0,008	89,356	11125,424
11	6936,895	39	6352312,601	0,007	76,322	11201,746
10	6936,895	35,5	5332307,365	0,006	64,067	11265,813
9	6920,880	32	4385286,758	0,005	52,688	11318,501
8	6904,865	28,5	3526540,738	0,004	42,371	11360,872
7	6904,865	25	2763252,199	0,003	33,200	11394,072
6	6904,865	21,5	2086841,147	0,002	25,073	11419,145
5	6904,865	18	1499149,577	0,002	18,012	11437,157
4	6904,865	14,5	1002401,561	0,001	12,044	11449,200
3	6904,865	11	599387,500	0,001	7,202	11456,402
2	6904,865	7,5	293820,261	0,000	3,530	11459,932
1	7054,701	4	93156,524	0,000	1,119	11461,051
Σ	269607,591		953909531,335	1,000	11461,051	

Tabel L.7: Distribusi gaya geser horizontal arah y analisis statik ekuivalen.

Tingkat	wi (kn)	hi (m)	wi.hi <sup>k</sup>	Cvy	Fi = Cvy . V	story shear Vy
40	5688,331	140,5	87258151,404	0,061	525,493	525,493
39	6599,186	137	96373743,380	0,068	580,389	1105,882
38	6599,186	133,5	91633300,557	0,064	551,841	1657,723
37	6583,171	130	86798200,850	0,061	522,723	2180,445
36	6567,156	126,5	82101628,919	0,058	494,439	2674,884
35	6567,156	123	77732458,148	0,054	468,126	3143,010
34	6567,156	119,5	73479702,096	0,051	442,515	3585,525
33	6567,156	116	69343532,306	0,049	417,606	4003,131
32	6567,156	112,5	65324125,689	0,046	393,400	4396,531
31	6567,156	109	61421664,859	0,043	369,898	4766,429
30	6656,938	105,5	58424300,761	0,041	351,847	5118,277
29	6731,587	102	55319619,580	0,039	333,150	5451,427
28	6731,587	98,5	51680256,845	0,036	311,233	5762,659
27	6747,602	95	48276162,363	0,034	290,732	6053,392
26	6763,616	91,5	44976812,565	0,032	270,863	6324,254
25	6763,616	88	41684604,962	0,029	251,036	6575,291
24	6747,602	84,5	38423166,990	0,027	231,395	6806,685
23	6731,587	81	35298378,196	0,025	212,577	7019,262
22	6731,587	77,5	32386682,843	0,023	195,042	7214,303
21	6731,587	74	29597162,156	0,021	178,242	7392,546
20	6731,587	70,5	26930104,531	0,019	162,181	7554,726
19	6731,587	67	24385813,083	0,017	146,858	7701,584
18	6731,587	63,5	21964607,185	0,015	132,277	7833,861
17	6731,587	60	19666824,266	0,014	118,439	7952,300
16	6731,587	56,5	17492821,919	0,012	105,347	8057,647
15	6825,505	53	15658438,103	0,011	94,299	8151,946
14	6904,865	49,5	13865665,883	0,010	83,503	8235,449
13	6904,865	46	12019051,945	0,008	72,382	8307,831
12	6920,880	42,5	10325030,365	0,007	62,180	8370,011
11	6936,895	39	8752860,662	0,006	52,712	8422,724
10	6936,895	35,5	7287191,054	0,005	43,885	8466,609
9	6920,880	32	5938798,916	0,004	35,765	8502,374
8	6904,865	28,5	4727677,359	0,003	28,471	8530,845
7	6904,865	25	3662184,963	0,003	22,055	8552,900
6	6904,865	21,5	2729466,426	0,002	16,438	8569,338
5	6904,865	18	1930551,141	0,001	11,626	8580,964
4	6904,865	14,5	1266664,020	0,001	7,628	8588,592
3	6904,865	11	739315,041	0,001	4,452	8593,045
2	6904,865	7,5	350468,993	0,000	2,111	8595,155

Tabel L.7: Lanjutan.

Tingkat	Wi (kn)	hi (m)	wi.hi <sup>k</sup>	Cvy	Fi = Cvy . V	story shear Vy
1	7054,701	4	105170,399	0,000	0,633	8595,789
Σ	269607,591		1427332361,721	1,000	8595,789	

#### B4. Gaya Lateral Statik Ekuivalen Model 4

Tabel L.8: Distribusi gaya geser horizontal arah x analisis statik ekuivalen.

Tingkat	wi (kn)	hi (m)	wi.hi <sup>k</sup>	Cvx	Fi = Cvx . V	story shear V <sub>x</sub>
40	5704,346	140,5	54972491,225	0,059	684,359	684,359
39	6631,215	137	60983138,865	0,066	759,186	1443,545
38	6615,200	133,5	57984344,651	0,063	721,854	2165,399
37	6583,171	130	54928792,005	0,059	683,815	2849,214
36	6567,156	126,5	52090108,775	0,056	648,476	3497,690
35	6567,156	123	49448294,967	0,053	615,588	4113,277
34	6567,156	119,5	46869983,843	0,051	583,490	4696,767
33	6567,156	116	44355441,815	0,048	552,186	5248,953
32	6567,156	112,5	41904944,388	0,045	521,680	5770,633
31	6567,156	109	39518776,755	0,043	491,974	6262,606
30	6656,938	105,5	37705768,096	0,041	469,403	6732,010
29	6731,587	102	35815479,407	0,039	445,871	7177,881
28	6731,587	98,5	33569251,493	0,036	417,908	7595,788
27	6747,602	95	31464926,409	0,034	391,711	7987,499
26	6779,631	91,5	29487787,809	0,032	367,097	8354,596
25	6795,646	88	27494517,197	0,030	342,282	8696,878
24	6763,616	84,5	25380382,165	0,027	315,963	9012,842
23	6731,587	81	23353778,681	0,025	290,734	9303,575
22	6731,587	77,5	21516523,803	0,023	267,862	9571,437
21	6731,587	74	19748871,784	0,021	245,856	9817,293
20	6731,587	70,5	18051290,782	0,019	224,723	10042,016
19	6731,587	67	16424275,042	0,018	204,468	10246,483
18	6731,587	63,5	14868347,766	0,016	185,098	10431,581
17	6731,587	60	13384064,460	0,014	166,620	10598,201
16	6731,587	56,5	11972016,890	0,013	149,041	10747,242
15	6825,505	53	10781185,242	0,012	134,216	10881,458
14	6904,865	49,5	9608328,488	0,010	119,615	11001,073
13	6904,865	46	8386311,234	0,009	104,402	11105,476
12	6920,880	42,5	7258097,169	0,008	90,357	11195,832



Tabel L.8: Lanjutan.

Tingkat	Wi (kn)	hi (m)	wi.hi <sup>k</sup>	Cvy	Fi = Cvx . V	story shear V <sub>x</sub>
11	6952,909	39	6217151,013	0,007	77,398	11273,231
10	6968,924	35,5	5234067,700	0,006	65,160	11338,390
9	6936,895	32	4297523,949	0,005	53,500	11391,890
8	6904,865	28,5	3450582,485	0,004	42,957	11434,847
7	6904,865	25	2706038,145	0,003	33,688	11468,535
6	6904,865	21,5	2045636,864	0,002	25,466	11494,001
5	6904,865	18	1471247,355	0,002	18,316	11512,317
4	6904,865	14,5	985128,407	0,001	12,264	11524,581
3	6904,865	11	590117,684	0,001	7,346	11531,927
2	6904,865	7,5	289997,225	0,000	3,610	11535,538
1	7054,701	4	92320,869	0,000	1,149	11536,687
Σ	269799,769		926707332,901	1,000	11536,687	

Tabel L.9: Distribusi gaya geser horizontal arah y analisis statik ekuivalen.

Tingkat	wi (kn)	hi (m)	wi.hi <sup>k</sup>	Cvy	Fi = Cvy . V	story shear V <sub>y</sub>
40	5704,346	140,5	67162415,899	0,060	520,451	520,451
39	6631,215	137	74429818,022	0,067	576,767	1097,218
38	6615,200	133,5	70695658,535	0,063	547,830	1645,048
37	6583,171	130	66898249,496	0,060	518,404	2163,452
36	6567,156	126,5	63370908,105	0,057	491,070	2654,522
35	6567,156	123	60088654,334	0,054	465,635	3120,158
34	6567,156	119,5	56888987,451	0,051	440,841	3560,998
33	6567,156	116	53772157,012	0,048	416,688	3977,686
32	6567,156	112,5	50738420,781	0,045	393,179	4370,865
31	6567,156	109	47788045,261	0,043	370,316	4741,181
30	6656,938	105,5	45535437,831	0,041	352,860	5094,042
29	6731,587	102	43193567,537	0,039	334,713	5428,755
28	6731,587	98,5	40427401,259	0,036	313,278	5742,032
27	6747,602	95	37837682,299	0,034	293,209	6035,242
26	6779,631	91,5	35406234,959	0,032	274,368	6309,610
25	6795,646	88	32960792,569	0,030	255,418	6565,027
24	6763,616	84,5	30376368,588	0,027	235,391	6800,418
23	6731,587	81	27902993,854	0,025	216,224	7016,642
22	6731,587	77,5	25661901,121	0,023	198,858	7215,500
21	6731,587	74	23509650,611	0,021	182,180	7397,679
20	6731,587	70,5	21446672,571	0,019	166,193	7563,873
19	6731,587	67	19473420,355	0,017	150,902	7714,775

Tabel L.9: Lanjutan.

Tingkat	Wi (kn)	hi (m)	wi.hi <sup>k</sup>	Cvy	Fi = Cvy . V	story shear Vy
18	6731,587	63,5	17590372,909	0,016	136,310	7851,085
17	6731,587	60	15798037,677	0,014	122,421	7973,506
16	6731,587	56,5	14096954,013	0,013	109,239	8082,746
15	6825,505	53	12661923,371	0,011	98,119	8180,865
14	6904,865	49,5	11253285,903	0,010	87,203	8268,068
13	6904,865	46	9792930,406	0,009	75,887	8343,955
12	6920,880	42,5	8448362,298	0,008	65,468	8409,422
11	6952,909	39	7211565,177	0,006	55,883	8465,306
10	6968,924	35,5	6048164,350	0,005	46,868	8512,174
9	6936,895	32	4945120,512	0,004	38,320	8550,494
8	6904,865	28,5	3951969,920	0,004	30,624	8581,119
7	6904,865	25	3082836,446	0,003	23,889	8605,008
6	6904,865	21,5	2316286,623	0,002	17,949	8622,957
5	6904,865	18	1653957,065	0,001	12,817	8635,774
4	6904,865	14,5	1097812,690	0,001	8,507	8644,281
3	6904,865	11	650301,915	0,001	5,039	8649,320
2	6904,865	7,5	314654,410	0,000	2,438	8651,758
1	7054,701	4	97652,488	0,000	0,757	8652,515
Σ	269799,769		1116577626,622	1,000	8652,515	

### B5. Nilai Simpangan Maksimum Model 1

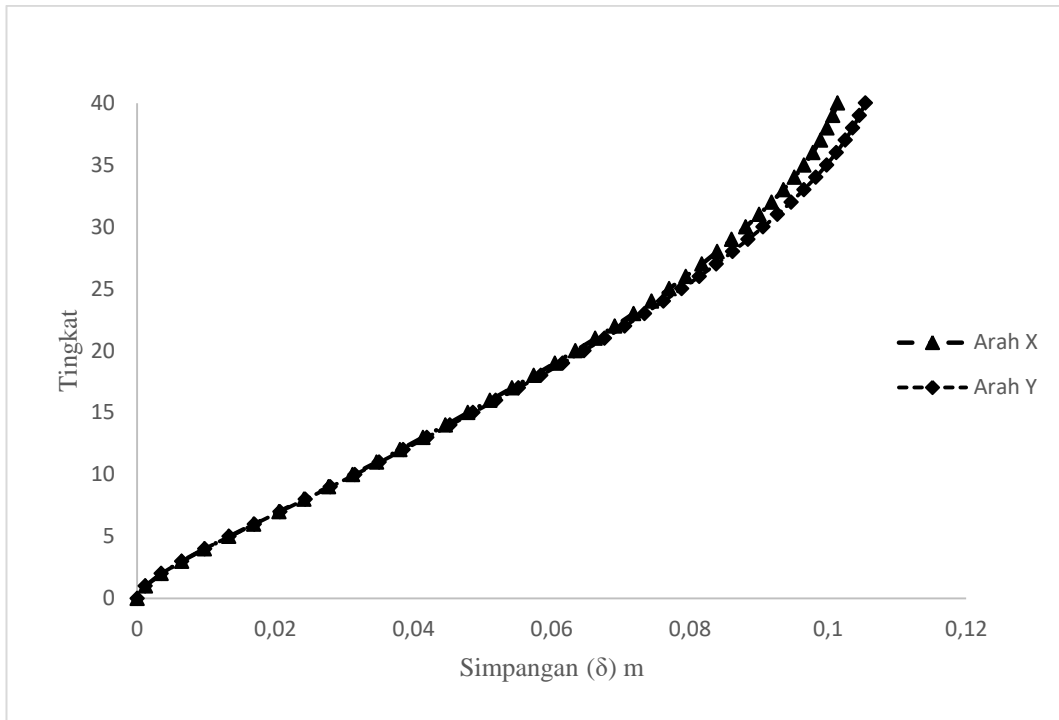
Berikut ini merupakan perhitungan nilai simpangan maksimum untuk masing-masing model.

Tabel L.10: Nilai simpangan maksimum gedung model 1 akibat gempa x dan y, pada kinerja batas ultimit berdasarkan SNI 1726:2012.

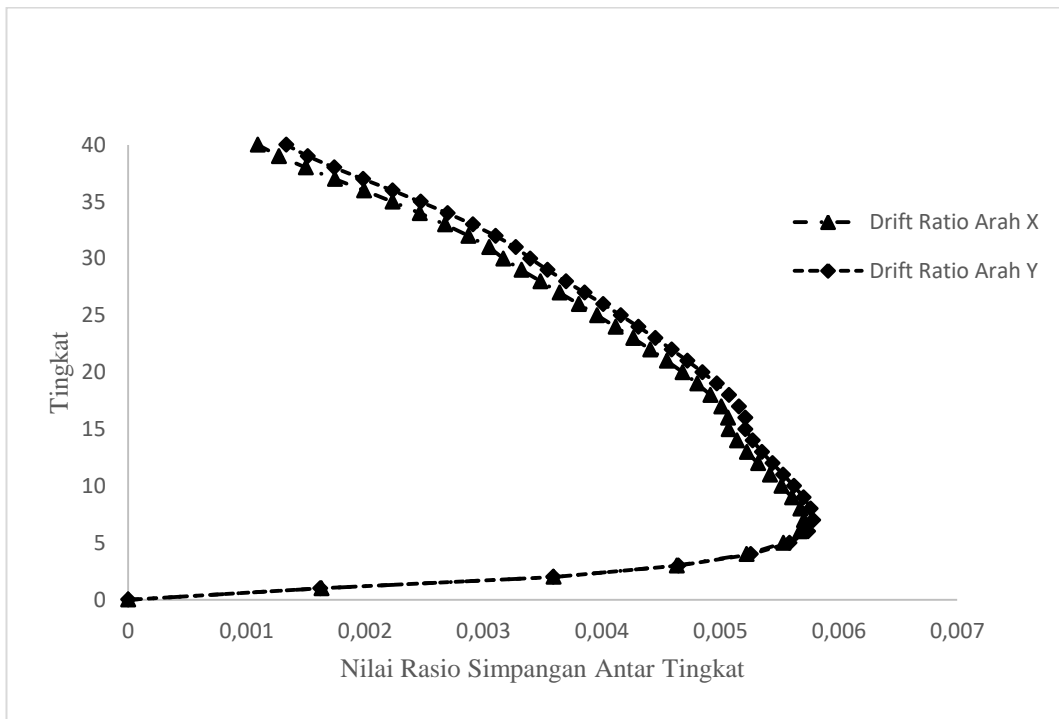
Tingkat	h (m)	Perpindahan Elastis ( $\delta_e$ )		Perpindahan Total ( $\delta_e \cdot C_d$ )/I <sub>e</sub>		Simpangan Antar Lantai ( $\Delta$ )		Syarat $\Delta a/p$	Cek X	Cek Y
		X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)			
40	3,5	0,101	0,105	0,558	0,580	0,004	0,005	0,054	OK	OK
39	3,5	0,101	0,105	0,554	0,575	0,004	0,005	0,054	OK	OK
38	3,5	0,100	0,104	0,549	0,570	0,005	0,006	0,054	OK	OK
37	3,5	0,099	0,102	0,544	0,564	0,006	0,007	0,054	OK	OK
36	3,5	0,098	0,101	0,538	0,557	0,007	0,008	0,054	OK	OK
35	3,5	0,097	0,100	0,531	0,549	0,008	0,009	0,054	OK	OK

Tabel L.10: *Lanjutan.*

Tingkat	h (m)	Perpindahan Elastis ( $\delta_e$ )		Perpindahan Total ( $\delta_e * C_d$ )/I <sub>e</sub>		Simpangan Antar Lantai ( $\Delta$ )		Syarat $\Delta a/\rho$ (m)	Cek X	Cek Y
		X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)			
34	3,5	0,095	0,098	0,523	0,540	0,009	0,009	0,054	OK	OK
33	3,5	0,094	0,097	0,515	0,531	0,009	0,010	0,054	OK	OK
32	3,5	0,092	0,095	0,505	0,521	0,010	0,011	0,054	OK	OK
31	3,5	0,090	0,093	0,495	0,510	0,011	0,011	0,054	OK	OK
30	3,5	0,088	0,091	0,484	0,498	0,011	0,012	0,054	OK	OK
29	3,5	0,086	0,088	0,473	0,486	0,012	0,012	0,054	OK	OK
28	3,5	0,084	0,086	0,462	0,474	0,012	0,013	0,054	OK	OK
27	3,5	0,082	0,084	0,450	0,461	0,013	0,013	0,054	OK	OK
26	3,5	0,079	0,081	0,437	0,448	0,013	0,014	0,054	OK	OK
25	3,5	0,077	0,079	0,423	0,434	0,014	0,015	0,054	OK	OK
24	3,5	0,074	0,076	0,410	0,419	0,014	0,015	0,054	OK	OK
23	3,5	0,072	0,073	0,395	0,404	0,015	0,016	0,054	OK	OK
22	3,5	0,069	0,071	0,380	0,388	0,015	0,016	0,054	OK	OK
21	3,5	0,066	0,068	0,365	0,372	0,016	0,017	0,054	OK	OK
20	3,5	0,063	0,065	0,349	0,356	0,016	0,017	0,054	OK	OK
19	3,5	0,060	0,062	0,333	0,339	0,017	0,017	0,054	OK	OK
18	3,5	0,057	0,058	0,316	0,321	0,017	0,018	0,054	OK	OK
17	3,5	0,054	0,055	0,299	0,304	0,018	0,018	0,054	OK	OK
16	3,5	0,051	0,052	0,281	0,286	0,018	0,018	0,054	OK	OK
15	3,5	0,048	0,049	0,263	0,267	0,018	0,018	0,054	OK	OK
14	3,5	0,045	0,045	0,245	0,249	0,018	0,018	0,054	OK	OK
13	3,5	0,041	0,042	0,227	0,231	0,018	0,019	0,054	OK	OK
12	3,5	0,038	0,039	0,209	0,212	0,019	0,019	0,054	OK	OK
11	3,5	0,035	0,035	0,191	0,193	0,019	0,019	0,054	OK	OK
10	3,5	0,031	0,032	0,172	0,173	0,019	0,020	0,054	OK	OK
9	3,5	0,028	0,028	0,152	0,154	0,020	0,020	0,054	OK	OK
8	3,5	0,024	0,024	0,133	0,134	0,020	0,020	0,054	OK	OK
7	3,5	0,021	0,021	0,113	0,114	0,020	0,020	0,054	OK	OK
6	3,5	0,017	0,017	0,093	0,093	0,020	0,020	0,054	OK	OK
5	3,5	0,013	0,013	0,073	0,073	0,019	0,020	0,054	OK	OK
4	3,5	0,010	0,010	0,054	0,054	0,018	0,018	0,054	OK	OK
3	3,5	0,006	0,006	0,035	0,035	0,016	0,016	0,054	OK	OK
2	3,5	0,003	0,003	0,019	0,019	0,013	0,013	0,054	OK	OK
1	4	0,001	0,001	0,007	0,006	0,007	0,006	0,062	OK	OK



Gambar L.1: Diagram perbandingan simpangan response spectrum.



Gambar L.2: Diagram perbandingan rasio simpangan antar tingkat response spectrum.

## B6. Nilai Simpangan Maksimum Model 2

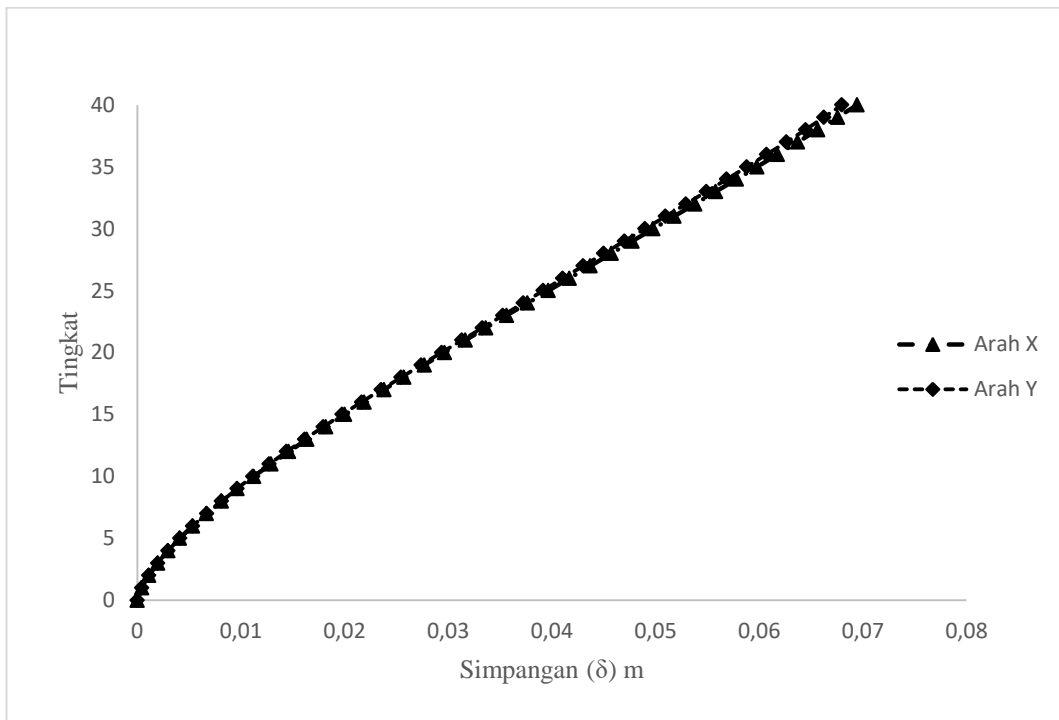
Berikut ini merupakan perhitungan nilai simpangan maksimum untuk masing-masing model.

Tabel L.11: Nilai simpangan maksimum gedung model 2 akibat gempa x dan y, pada kinerja batas ultimit berdasarkan SNI 1726:2012.

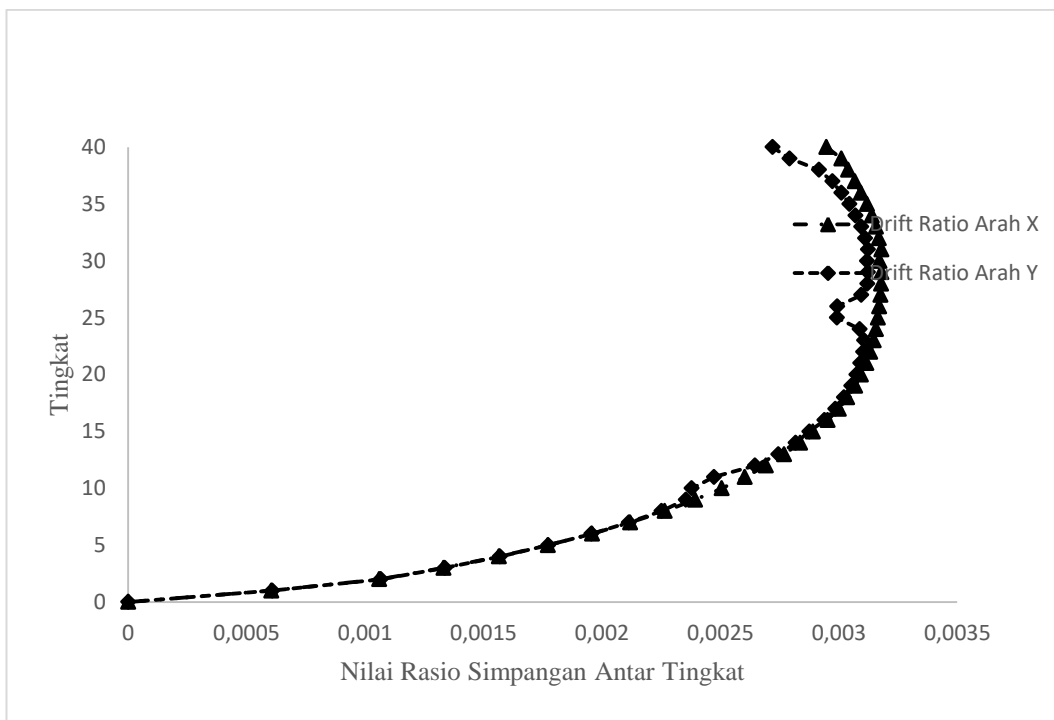
Tingkat	h (m)	Perpindahan Elastis ( $\delta_e$ )		Perpindahan Total ( $\delta_e * C_d$ )/ $I_e$		Simpangan Antar Lantai ( $\Delta$ )		Syarat $\Delta a/\rho$	Cek	
		X	Y	X	Y	X	Y		X	Y
		(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)		
40	3,5	0,069	0,068	0,382	0,374	0,010	0,010	0,054	OK	OK
39	3,5	0,068	0,066	0,372	0,364	0,011	0,010	0,054	OK	OK
38	3,5	0,066	0,064	0,361	0,355	0,011	0,010	0,054	OK	OK
37	3,5	0,064	0,063	0,350	0,344	0,011	0,010	0,054	OK	OK
36	3,5	0,062	0,061	0,340	0,334	0,011	0,011	0,054	OK	OK
35	3,5	0,060	0,059	0,329	0,323	0,011	0,011	0,054	OK	OK
34	3,5	0,058	0,057	0,318	0,313	0,011	0,011	0,054	OK	OK
33	3,5	0,056	0,055	0,307	0,302	0,011	0,011	0,054	OK	OK
32	3,5	0,054	0,053	0,296	0,291	0,011	0,011	0,054	OK	OK
31	3,5	0,052	0,051	0,285	0,280	0,011	0,011	0,054	OK	OK
30	3,5	0,050	0,049	0,274	0,269	0,011	0,011	0,054	OK	OK
29	3,5	0,048	0,047	0,263	0,258	0,011	0,011	0,054	OK	OK
28	3,5	0,046	0,045	0,251	0,248	0,011	0,011	0,054	OK	OK
27	3,5	0,044	0,043	0,240	0,237	0,011	0,011	0,054	OK	OK
26	3,5	0,042	0,041	0,229	0,226	0,011	0,010	0,054	OK	OK
25	3,5	0,040	0,039	0,218	0,215	0,011	0,010	0,054	OK	OK
24	3,5	0,038	0,037	0,207	0,205	0,011	0,011	0,054	OK	OK
23	3,5	0,036	0,035	0,196	0,194	0,011	0,011	0,054	OK	OK
22	3,5	0,034	0,033	0,185	0,183	0,011	0,011	0,054	OK	OK
21	3,5	0,032	0,031	0,174	0,172	0,011	0,011	0,054	OK	OK
20	3,5	0,030	0,029	0,163	0,161	0,011	0,011	0,054	OK	OK
19	3,5	0,028	0,027	0,152	0,151	0,011	0,011	0,054	OK	OK
18	3,5	0,026	0,025	0,142	0,140	0,011	0,011	0,054	OK	OK
17	3,5	0,024	0,024	0,131	0,129	0,010	0,010	0,054	OK	OK
16	3,5	0,022	0,022	0,120	0,119	0,010	0,010	0,054	OK	OK
15	3,5	0,020	0,020	0,110	0,109	0,010	0,010	0,054	OK	OK
14	3,5	0,018	0,018	0,100	0,099	0,010	0,010	0,054	OK	OK
13	3,5	0,016	0,016	0,090	0,089	0,010	0,010	0,054	OK	OK
12	3,5	0,015	0,014	0,080	0,079	0,009	0,009	0,054	OK	OK

Tabel L.11: *Lanjutan.*

Tingkat	h (m)	Perpindahan Elastis ( $\delta_e$ )		Perpindahan Total ( $\delta_e * C_d$ )/Ie		Simpangan Antar Lantai ( $\Delta$ )		Syarat $\Delta a/\rho$	Cek	Cek
		X	Y	X	Y	X	Y			
		(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	X	Y
11	3,5	0,013	0,013	0,071	0,070	0,009	0,009	0,054	OK	OK
10	3,5	0,011	0,011	0,062	0,061	0,009	0,008	0,054	OK	OK
9	3,5	0,010	0,010	0,053	0,053	0,008	0,008	0,054	OK	OK
8	3,5	0,008	0,008	0,045	0,045	0,008	0,008	0,054	OK	OK
7	3,5	0,007	0,007	0,037	0,037	0,007	0,007	0,054	OK	OK
6	3,5	0,005	0,005	0,029	0,029	0,007	0,007	0,054	OK	OK
5	3,5	0,004	0,004	0,022	0,023	0,006	0,006	0,054	OK	OK
4	3,5	0,003	0,003	0,016	0,016	0,005	0,005	0,054	OK	OK
3	3,5	0,002	0,002	0,011	0,011	0,005	0,005	0,054	OK	OK
2	3,5	0,001	0,001	0,006	0,006	0,004	0,004	0,054	OK	OK
1	4	0,000	0,000	0,002	0,002	0,002	0,002	0,062	OK	OK



Gambar L.3: Diagram perbandingan simpangan response spectrum.



Gambar L.4: Diagram perbandingan rasio simpangan antar tingkat response spectrum.

### B7. Nilai Simpangan Maksimum Model 3

Berikut ini merupakan perhitungan nilai simpangan maksimum untuk masing-masing model.

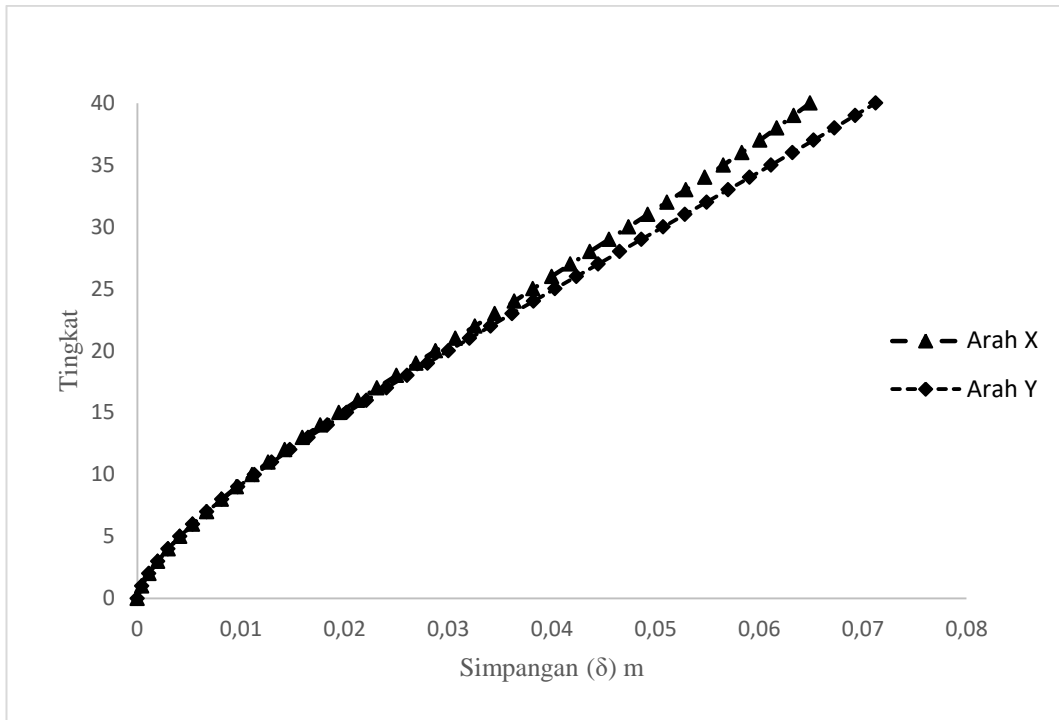
Tabel L.12: Nilai simpangan maksimum gedung model 3 akibat gempa x dan y, pada kinerja batas ultimit berdasarkan SNI 1726:2012.

Tingkat	h (m)	Perpindahan Elastis ( $\delta_e$ )		Perpindahan Total ( $\delta_e * C_d$ )/ $I_e$		Simpangan Antar Lantai ( $\Delta$ )		Syarat $\Delta a/\rho$	Cek	
		X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)		X	Y
40	3,5	0,065	0,071	0,357	0,392	0,009	0,011	0,054	OK	OK
39	3,5	0,063	0,069	0,348	0,381	0,009	0,011	0,054	OK	OK
38	3,5	0,062	0,067	0,339	0,370	0,009	0,011	0,054	OK	OK
37	3,5	0,060	0,065	0,330	0,359	0,010	0,011	0,054	OK	OK
36	3,5	0,058	0,063	0,321	0,348	0,010	0,011	0,054	OK	OK
35	3,5	0,057	0,061	0,311	0,336	0,010	0,011	0,054	OK	OK
34	3,5	0,055	0,059	0,301	0,325	0,010	0,011	0,054	OK	OK
33	3,5	0,053	0,057	0,291	0,314	0,010	0,011	0,054	OK	OK

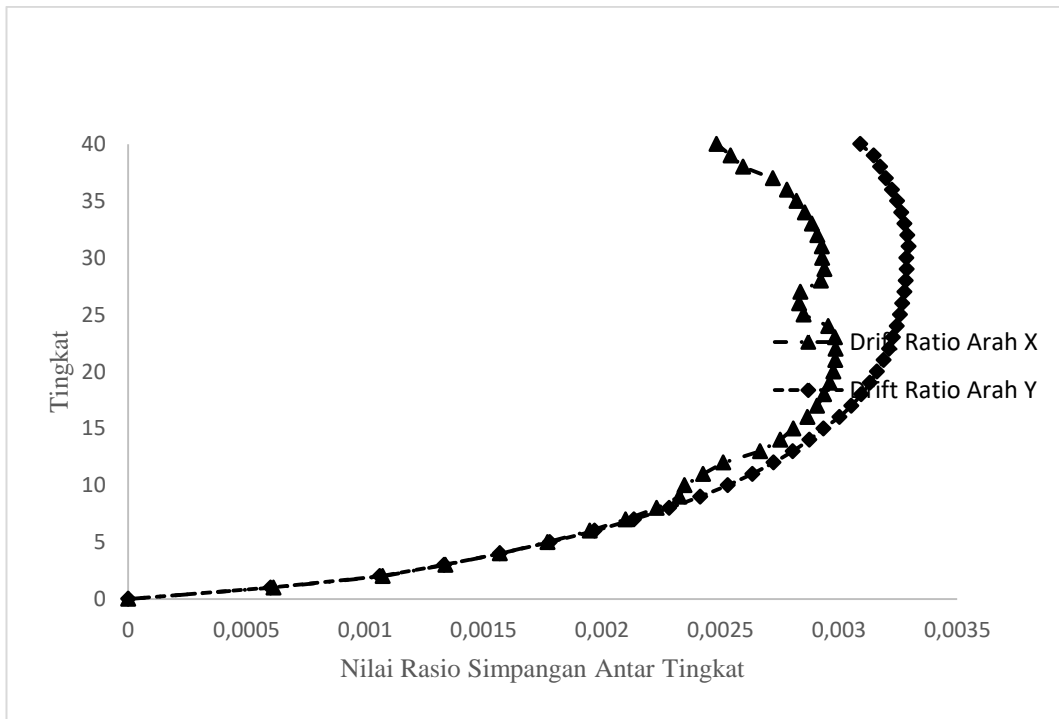
Tabel L.12: Lanjutan.

Tingkat	h (m)	Perpindahan Elastis ( $\delta_e$ )		Perpindahan Total ( $\delta_e * C_d$ )/I <sub>e</sub>		Simpangan Antar Lantai ( $\Delta$ )		Syarat $\Delta a/\rho$	Cek	Cek
		X	Y	X	Y	X	Y			
		(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	X	Y
32	3,5	0,051	0,055	0,281	0,302	0,010	0,012	0,054	OK	OK
31	3,5	0,049	0,053	0,271	0,291	0,010	0,012	0,054	OK	OK
30	3,5	0,047	0,051	0,261	0,279	0,010	0,012	0,054	OK	OK
29	3,5	0,046	0,049	0,250	0,268	0,010	0,012	0,054	OK	OK
28	3,5	0,044	0,047	0,240	0,256	0,010	0,011	0,054	OK	OK
27	3,5	0,042	0,044	0,230	0,245	0,010	0,011	0,054	OK	OK
26	3,5	0,040	0,042	0,220	0,233	0,010	0,011	0,054	OK	OK
25	3,5	0,038	0,040	0,210	0,222	0,010	0,011	0,054	OK	OK
24	3,5	0,036	0,038	0,200	0,210	0,010	0,011	0,054	OK	OK
23	3,5	0,034	0,036	0,190	0,199	0,010	0,011	0,054	OK	OK
22	3,5	0,033	0,034	0,179	0,188	0,010	0,011	0,054	OK	OK
21	3,5	0,031	0,032	0,169	0,176	0,010	0,011	0,054	OK	OK
20	3,5	0,029	0,030	0,158	0,165	0,010	0,011	0,054	OK	OK
19	3,5	0,027	0,028	0,148	0,154	0,010	0,011	0,054	OK	OK
18	3,5	0,025	0,026	0,138	0,143	0,010	0,011	0,054	OK	OK
17	3,5	0,023	0,024	0,127	0,132	0,010	0,011	0,054	OK	OK
16	3,5	0,021	0,022	0,117	0,122	0,010	0,011	0,054	OK	OK
15	3,5	0,019	0,020	0,107	0,111	0,010	0,010	0,054	OK	OK
14	3,5	0,018	0,018	0,097	0,101	0,010	0,010	0,054	OK	OK
13	3,5	0,016	0,017	0,088	0,091	0,009	0,010	0,054	OK	OK
12	3,5	0,014	0,015	0,078	0,081	0,009	0,010	0,054	OK	OK
11	3,5	0,013	0,013	0,069	0,071	0,008	0,009	0,054	OK	OK
10	3,5	0,011	0,011	0,061	0,062	0,008	0,009	0,054	OK	OK
9	3,5	0,010	0,010	0,053	0,053	0,008	0,008	0,054	OK	OK
8	3,5	0,008	0,008	0,045	0,045	0,008	0,008	0,054	OK	OK
7	3,5	0,007	0,007	0,037	0,037	0,007	0,007	0,054	OK	OK
6	3,5	0,005	0,005	0,029	0,029	0,007	0,007	0,054	OK	OK
5	3,5	0,004	0,004	0,023	0,023	0,006	0,006	0,054	OK	OK
4	3,5	0,003	0,003	0,016	0,016	0,005	0,005	0,054	OK	OK
3	3,5	0,002	0,002	0,011	0,011	0,005	0,005	0,054	OK	OK
2	3,5	0,001	0,001	0,006	0,006	0,004	0,004	0,054	OK	OK
1	4	0,000	0,000	0,002	0,002	0,002	0,002	0,062	OK	OK





Gambar L.5: Diagram perbandingan simpangan response spectrum.



Gambar L.6: Diagram perbandingan rasio simpangan antar tingkat response spectrum.

## B8. Nilai Simpangan Maksimum Model 4

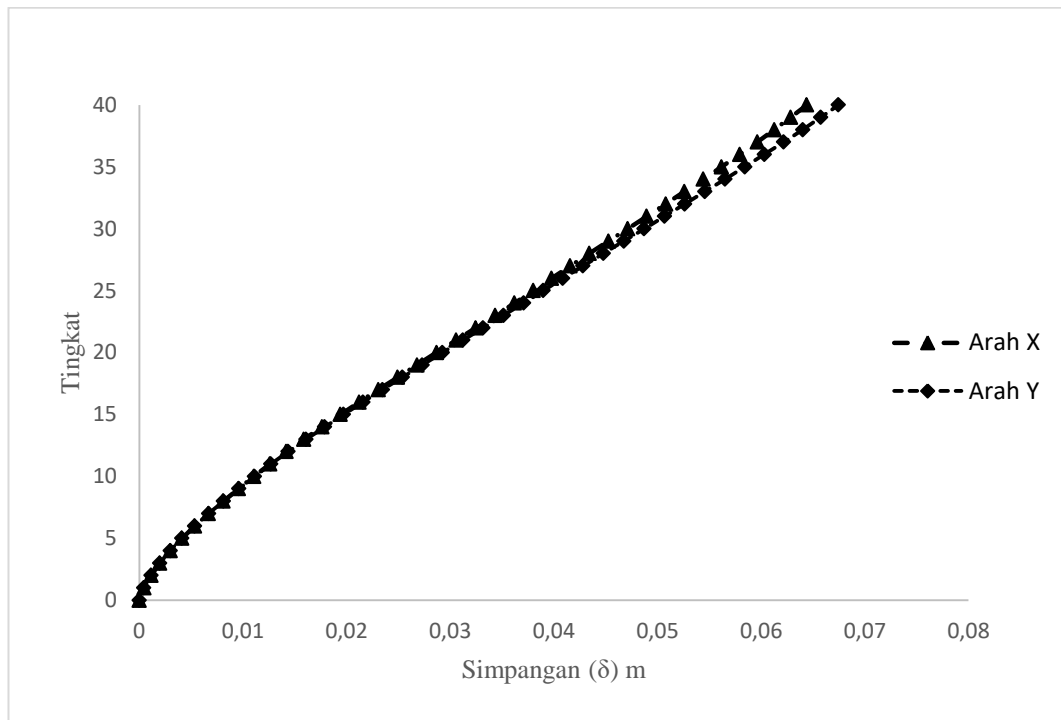
Berikut ini merupakan perhitungan nilai simpangan maksimum untuk masing-masing model.

Tabel L.13: Nilai simpangan maksimum gedung model 4 akibat gempa x dan y, pada kinerja batas ultimit berdasarkan SNI 1726:2012.

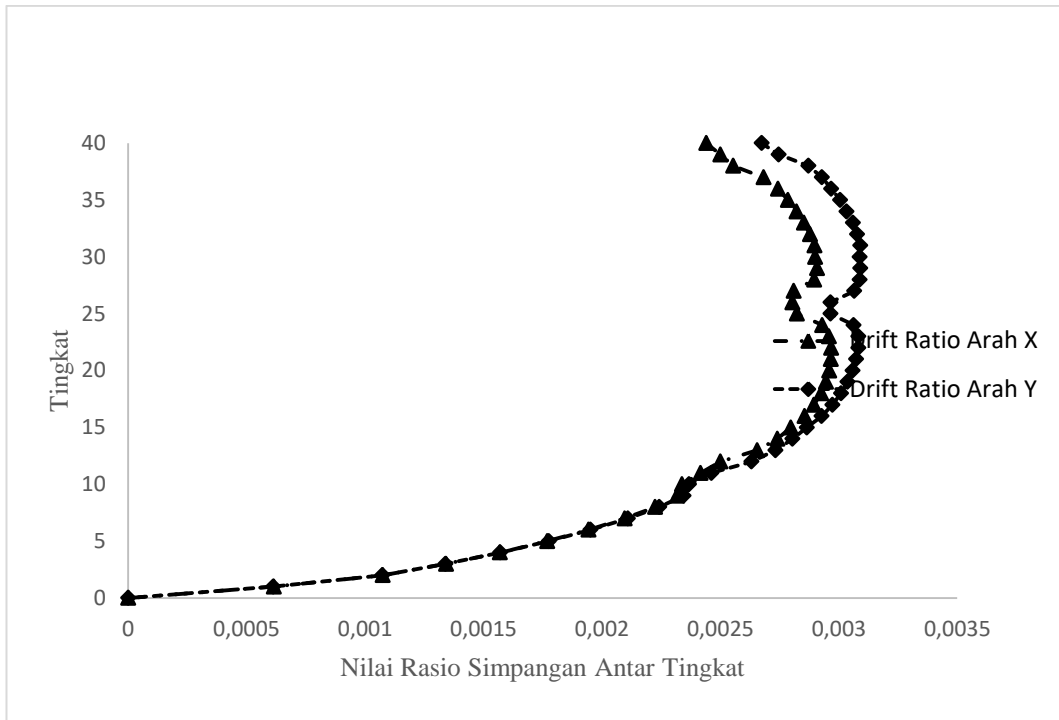
Tingkat	h (m)	Perpindahan Elastis ( $\delta_e$ )		Perpindahan Total ( $\delta_e * C_d$ )/ $I_e$		Simpangan Antar Lantai ( $\Delta$ )		Syarat $\Delta a/\rho$	Cek	
		X	Y	X	Y	X	Y		X	Y
		(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)		
40	3,5	0,064	0,067	0,354	0,371	0,009	0,009	0,054	OK	OK
39	3,5	0,063	0,066	0,346	0,362	0,009	0,010	0,054	OK	OK
38	3,5	0,061	0,064	0,337	0,352	0,009	0,010	0,054	OK	OK
37	3,5	0,060	0,062	0,328	0,342	0,009	0,010	0,054	OK	OK
36	3,5	0,058	0,060	0,319	0,332	0,010	0,010	0,054	OK	OK
35	3,5	0,056	0,058	0,309	0,321	0,010	0,011	0,054	OK	OK
34	3,5	0,054	0,057	0,299	0,311	0,010	0,011	0,054	OK	OK
33	3,5	0,053	0,055	0,289	0,300	0,010	0,011	0,054	OK	OK
32	3,5	0,051	0,053	0,279	0,290	0,010	0,011	0,054	OK	OK
31	3,5	0,049	0,051	0,269	0,279	0,010	0,011	0,054	OK	OK
30	3,5	0,047	0,049	0,259	0,268	0,010	0,011	0,054	OK	OK
29	3,5	0,045	0,047	0,249	0,257	0,010	0,011	0,054	OK	OK
28	3,5	0,043	0,045	0,239	0,246	0,010	0,011	0,054	OK	OK
27	3,5	0,042	0,043	0,229	0,235	0,010	0,011	0,054	OK	OK
26	3,5	0,040	0,041	0,219	0,225	0,010	0,010	0,054	OK	OK
25	3,5	0,038	0,039	0,209	0,214	0,010	0,010	0,054	OK	OK
24	3,5	0,036	0,037	0,199	0,204	0,010	0,011	0,054	OK	OK
23	3,5	0,034	0,035	0,189	0,193	0,010	0,011	0,054	OK	OK
22	3,5	0,032	0,033	0,179	0,182	0,010	0,011	0,054	OK	OK
21	3,5	0,031	0,031	0,168	0,172	0,010	0,011	0,054	OK	OK
20	3,5	0,029	0,029	0,158	0,161	0,010	0,011	0,054	OK	OK
19	3,5	0,027	0,027	0,147	0,150	0,010	0,011	0,054	OK	OK
18	3,5	0,025	0,025	0,137	0,140	0,010	0,011	0,054	OK	OK
17	3,5	0,023	0,023	0,127	0,129	0,010	0,010	0,054	OK	OK
16	3,5	0,021	0,022	0,117	0,119	0,010	0,010	0,054	OK	OK
15	3,5	0,019	0,020	0,107	0,108	0,010	0,010	0,054	OK	OK
14	3,5	0,018	0,018	0,097	0,098	0,010	0,010	0,054	OK	OK
13	3,5	0,016	0,016	0,087	0,089	0,009	0,010	0,054	OK	OK
12	3,5	0,014	0,014	0,078	0,079	0,009	0,009	0,054	OK	OK

Tabel L.13: Lanjutan.

Tingkat	h (m)	Perpindahan Elastis ( $\delta_e$ )		Perpindahan Total ( $\delta_e * C_d$ )/I <sub>e</sub>		Simpangan Antar Lantai ( $\Delta$ )		Syarat $\Delta a/\rho$	Cek	Cek
		X	Y	X	Y	X	Y			
		(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	X	Y
11	3,5	0,013	0,013	0,069	0,070	0,008	0,009	0,054	OK	OK
10	3,5	0,011	0,011	0,061	0,061	0,008	0,008	0,054	OK	OK
9	3,5	0,010	0,010	0,053	0,053	0,008	0,008	0,054	OK	OK
8	3,5	0,008	0,008	0,045	0,045	0,008	0,008	0,054	OK	OK
7	3,5	0,007	0,007	0,037	0,037	0,007	0,007	0,054	OK	OK
6	3,5	0,005	0,005	0,029	0,029	0,007	0,007	0,054	OK	OK
5	3,5	0,004	0,004	0,023	0,023	0,006	0,006	0,054	OK	OK
4	3,5	0,003	0,003	0,016	0,016	0,005	0,006	0,054	OK	OK
3	3,5	0,002	0,002	0,011	0,011	0,005	0,005	0,054	OK	OK
2	3,5	0,001	0,001	0,006	0,006	0,004	0,004	0,054	OK	OK
1	4	0,000	0,000	0,002	0,002	0,002	0,002	0,062	OK	OK



Gambar L.7: Diagram perbandingan simpangan response spectrum.



Gambar L.8: Diagram perbandingan rasio simpangan antar tingkat response spectrum.

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP



### PERSONAL INFO

Nama Lengkap : Effan Ferrary Gultom  
Tempat, Tanggal Lahir : Binjai, 05 Agustus 1995  
Agama : Islam  
Alamat : Jl. Saman Hudi No. 55a, Kec. Binjai Selatan,  
Binjai  
Agama : Islam  
No. Hp : 0823-6722-5917  
E-mail : [effanferrary.g@gmail.com](mailto:effanferrary.g@gmail.com)

Nama Orang Tua  
Ayah : Salmaruddin Gultom.,SH  
Ibu : Nurlia Siregar.,S.Pd

### EDUCATION HISTORY

Fakultas : Teknik  
Program Studi : Teknik Sipil  
Perguruan Tinggi : Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

No.	Tingkat Pendidikan	Tempat	Tahun Kelulusan
1.	SD Swasta Muhammadiyah 01	Kota Binjai	2007
2.	Pondok Pesantren Modern Muhammadiyah Kwala Madu	Kabupaten Langkat	2010
3.	SMK Negeri 2	Kota Binjai	2013
4.	Melanjutkan studi di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Tahun 2013 sampai selesai		

