

TUGAS AKHIR

**ANALISIS PERBANDINGAN ANTARA PENGARUH
KINERJA SEISMIK STRUKTUR GEDUNG
BERTINGKAT TINGGI YANG MENGGUNAKAN
DINDING GESER BETON BERTULANG DAN DINDING
GESER PELAT BAJA (SPSW)
(Studi Literatur)**

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

Disusun Oleh:

**AGUNG PRANATA
1307210053**



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

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Agung Pranata

NPM : 1307210053

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Analisis Perbandingan Antara Pengaruh Kinerja Seismik Struktur Gedung Bertingkat Tinggi Yang Menggunakan Dinding Geser Beton Bertulang Dan Dinding Geser Pelat Baja (SPSW) (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, September 2017

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing I / Penguji

Dosen Pembimbing II / Penguji

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

Ir. Ellyza Chairina, M.Si

Dosen Pembanding I / Penguji

Dosen Pembanding II / Penguji

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

Bambang Hadibroto, S.T, M.T

Program Studi Teknik Sipil
Ketua,

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

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Agung Pranata

Tempat /Tanggal Lahir: Tebing Tinggi, 28 Desember 1994

NPM : 1307210053

Fakultas : Teknik

Program Studi : Teknik Sipil

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

“Analisis Perbandingan Antara Pengaruh Kinerja Seismik Struktur Gedung Bertingkat Tinggi Yang Menggunakan Dinding Geser Beton Bertulang Dan Dinding Geser Pelat Baja (SPSW)”

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara 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, September 2017

Saya yang menyatakan,



Agung Pranata

ABSTRAK

ANALISIS PERBANDINGAN ANTARA PENGARUH KINERJA SEISMIK STRUKTUR GEDUNG BERTINGKAT TINGGI YANG MENGGUNAKAN DINDING GESER BETON BERTULANG DAN DINDING GESER PELAT BAJA (SPSW)

Agung Pranata

1307210053

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

Ir. Ellyza Chairina M.Si

Perkembangan konstruksi bangunan tinggi di Indonesia semakin meningkat. Secara geografis, wilayah Indonesia memiliki intensitas gempa yang cukup tinggi, oleh karena itu diperlukan perencanaan khusus dalam pembangunan gedung bertingkat tinggi. Penggunaan sistem-sistem penahan gaya lateral pada struktur gedung dapat dijadikan solusi. Salah satunya yaitu penggunaan dinding geser pada struktur yang berfungsi sebagai pengaku untuk menahan gaya geser, gaya lateral akibat gempa bumi. Perbedaan penggunaan material pada struktur merupakan hal yang perlu di perhatikan terhadap pengaruh kinerja struktur. Penelitian ini merupakan pembahasan tentang perbandingan kinerja dari struktur yang menggunakan dinding geser dengan material baja pada model 1, dan struktur yang menggunakan dinding geser beton bertulang pada model 2. Analisa yang digunakan pada tugas akhir ini adalah analisis respon spektrum berdasarkan peraturan gempa SNI 1726:2012. Dalam tugas akhir ini, masing-masing model merupakan struktur dengan penempatan, konfigurasi bangunan, pembebanan, dan struktur elemen pembatas yang sama, dengan dinding geser yang berbeda. Struktur bangunan di modelkan menggunakan bantuan program ETABS versi 15. Hasil analisis, pada model 1 yaitu struktur dengan dinding geser pelat baja, simpangan terjadi sebesar 26,8 mm pada arah x dan sebesar 27,9 mm pada arah y, hasil analisis pada model 2, yaitu struktur dengan dinding geser beton bertulang, simpangan terjadi sebesar 34,3 mm pada arah x dan sebesar 36,8 mm pada arah y. Hasil analisis struktur, didapat kesimpulan bahwa volume material struktur mempengaruhi kekakuan dan kinerja dari struktur. Pada model 1 yaitu struktur dengan dinding geser pelat baja memiliki kinerja struktur lebih baik dalam menahan beban lateral.

Kata kunci : Kinerja struktur, Dinding geser pelat baja, Dinding geser beton bertulang, Analisis respon spektrum, Simpangan, Gaya geser.

ABSTRACT

COMPARATIVE ANALYSIS BETWEEN THE EFFECT OF SEISMIC PERFORMANCE OF HIGH LEVEL STRUCTURE BUILDING USING REINFORCED CONCRETE SHEAR WALL AND STEEL PLATE SHEAR WALL (SPSW)

Agung Pranata
1307210053

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

Ir. Ellyza Chairina, M.Si

The development of high building construction in Indonesia is increasing. Based on Geographically, the area of Indonesia has a high enough earthquake intensity, therefore special planning is required in the construction of high-rise buildings. The use of lateral style retaining systems in the building structure can be used as a solution. One of them is the use of shear walls in structures that act as stiffener to withstand shear forces, lateral forces caused by earthquakes. Differences in the use of materials in the structure is a matter that needs to be noticed to the effect of structural performance. This research is a discussion about performance comparison of structure using shear wall with steel material in model 1, and structure using reinforced concrete shear wall in model 2. Analysis used in this final project is spectrum response analysis based on earthquake regulation SNI 1726: 2012 . In this final project, each model is a structure with the same placement, building configuration, loading, and border element structure, with different sliding walls. Building structure is modeled using ETABS version 15 program aid. The result of analysis, in model 1 is a structure with steel plate shear wall, the drift occurs of 26.8 mm in the x direction and 27.9 mm in the y direction, the analysis result in model 2 , that is a structure with reinforced concrete shear wall, the drift occurs of 34.3 mm in the x direction and by 36.8 mm in the y direction. The results of structural analysis, it is concluded that the volume of structural materials affect the stiffness and performance of the structure. In model 1, the structure with steel plate shear wall has better structural performance in holding the lateral load.

Keywords: Structural performance, Steel plate shear wall, Reinforced concrete shear wall, Spectrum response analysis, Drift, 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. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Analisis Perbandingan Antara Pengaruh Kinerja Seismik Struktur Gedung Bertingkat Tinggi Yang Menggunakan Dinding Geser Beton Bertulang Dan Dinding Geser Pelat Baja (SPSW) ”.sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

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

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

7. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu ketekniksipilan kepada penulis.
8. Orang tua penulis: Yanriatno, dan Iwa Siswati, atas dukungan moril maupun material dan kasih sayang tulus selama ini kepada penulis.
9. Abang dan adik penulis: Dicky Ridananta, Winata Apriandri, dan Vivi Widya Kinanti, atas dukungannya kepada penulis.
10. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
11. Sahabat-sahabat penulis: Kasidi, Indra bayu sukma, Oka silvia lestary, M. Fattah, Ratih delima Sari, Agung imam F, Sarman, Suryadi, Widianoro, Syarbaini lubis, Dian ramadhan, M. Taruna, Effan G, M. Eka kurniawan, Dicky P, Budi santoso, M. Hanif, M. Luthfy L, Zulham M, M. Harri, Ricky P, Irfan, 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, September 2017

Agung Pranata

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	xxi
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Ruang Lingkup Pembahasan	2
1.4. Tujuan Penelitian	3
1.5. Manfaat Penelitian	4
1.6. Sistematika Penulisan	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Struktur Bangunan Bertingkat Tinggi Tahan Gempa	6
2.2. Jenis-Jenis Struktur Penahan Beban Gempa	7
2.3. Struktur Penahan Gempa Sistem Ganda (<i>Dual System</i>)	9
2.4. Dinding Geser (<i>Shear Wall</i>)	10
2.4.1. Elemen Struktur Dinding Geser	11
2.4.2. Perilaku Struktur Sistem Ganda (<i>Dual System</i>) dengan Dinding Geser	12
2.5. Pola Keruntuhan Dinding Geser	13
2.5.1. Pola Keruntuhan Dinding Geser Pelat Baja	13
2.6. Material Struktur Bangunan	14
2.6.1. Material Baja	15

2.6.2. Material Beton Bertulang	17
2.7. Perencanaan Struktur Baja Rangka Momen Khusus	18
2.7.1. Rasio Momen	19
2.8. Dinding Geser Pelat Baja	21
2.8.1. Konsep Perencanaan Dinding Geser Pelat Baja	22
2.9. Perencanaan Dinding Geser Komposit	26
2.10. Struktur Gedung Beraturan Dan Tidak Beraturan	28
2.10.1. Struktur Gedung Beraturan	29
2.10.2. Struktur Gedung Tidak Beraturan	30
2.11. Pembebanan Untuk Perencanaan Bangunan Gedung	30
2.11.1. Beban Mati	30
2.11.2. Beban Hidup	31
2.11.3. Beban Gempa	35
2.11.4. Arah Pembebanan Gempa	39
2.12. Kriteria Desain Perencanaan Struktur Gedung Tahan Gempa	39
2.12.1. Faktor Keutamaan (I_e) dan Katagori Risiko Struktur Bangunan	39
2.12.2. Faktor Reduksi Gempa (R)	41
2.12.3. Wilayah Gempa	41
2.12.4. Kategori Desain Seismik	44
2.12.5. Klasifikasi Situs	44
2.12.6. Respon Spektrum Desain	45
2.13. Ketidakberaturan Horizontal Dan Vertikal	48
2.14. Analisa Struktur Untuk Bangunan Tinggi	51
2.14.1. Analisis Gaya Lateral Statik Ekuivalen	51
2.14.1.1. Geser Dasar Seismik	51
2.14.1.2. Perhitungan Koefesien Dasar Seismik	52
2.15. Periode Alami Fundamental	53
2.16. Distribusi Vertikal Gaya Gempa	55
2.17. Distribusi Horizontal Gaya Gempa	56
2.18. Analisis Respon Dinamik	56
2.19. Simpangan Antar Lantai	57

2.20.	Kekakuan Antar Lantai	59
2.21.	Pengaruh P- Delta	60
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN		
3.1.	Metode Penelitian	62
3.2.	Pemodelan Struktur	63
3.2.1.	Data Perencanaan Struktur	63
3.2.2.	Konfigurasi Bangunan	63
3.2.3.	Properties Penampang	64
3.2.3.1.	Pelat Lantai	64
3.2.3.2.	Balok Dan Kolom	64
3.2.3.3.	Dinding Geser	65
3.2.3.4.	Pondasi	65
3.2.4.	Pembebanan Struktur	65
3.2.4.1.	Beban Mati (<i>dead load</i>)	65
3.2.4.2.	Beban Hidup (<i>live load</i>)	67
3.2.4.3.	Beban Notional	68
3.2.5.	Rekapitulasi Pembebanan	69
3.2.6.	Respon Spektrum Desain Gempa	69
3.2.6.1.	Faktor Keutamaan Struktur (I_e)	72
3.2.6.2.	Faktor Reduksi Gempa	72
3.2.7.	Kombinasi Pembebanan	73
3.3.	Model 1	74
3.3.1.	Analisis Respon Spektrum Model 1	77
3.4.	Model 2	80
3.4.1.	Analisis Respon Spektrum Model 1	82
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN		
4.1	Tinjauan Umum	86
4.2	Hasil Analisa Struktur Model 1	86
4.2.1.	Gaya Geser Dasar	86
4.2.2.	Koreksi Faktor Redudansi	88
4.2.3.	Gaya Geser Pada Setiap Lantai	89
4.2.4.	Koreksi Skala Simpangan Antar Tingkat	93

4.2.5.	Nilai Simpangan Gedung	93
4.2.6.	Kontrol Ketidakberaturan Tingkat Lunak (<i>soft story</i>)	95
4.2.7.	Ketidakteraturan Massa	96
4.2.8.	Ketidakteraturan Torsi	97
4.2.9.	Pengaruh Efek P-Delta	98
4.2.10.	Kontrol Desain SCWB (<i>strong column weak beam</i>)	99
4.2.11.	Sistem Ganda	100
4.3.	Hasil Analisa Struktur Model 1	100
4.3.1.	Gaya Geser Dasar	100
4.3.2.	Koreksi Faktor Redudansi	102
4.3.3.	Gaya Geser Pada Setiap Lantai	103
4.3.4.	Koreksi Skala Simpangan Antar Tingkat	107
4.3.5.	Nilai Simpangan Gedung	107
4.3.6.	Kontrol Ketidakberaturan Tingkat Lunak (<i>soft story</i>)	109
4.3.7.	Ketidakteraturan Massa	110
4.3.8.	Ketidakteraturan Torsi	111
4.3.9.	Pengaruh Efek P-Delta	112
4.3.10.	Kontrol Desain SCWB (<i>strong column weak beam</i>)	113
4.3.11.	Sistem Ganda	114
4.4.	Perbandingan Kinerja Seismik Struktur	114
4.4.1.	Perbandingan Simpangan Setiap Model Struktur	114
4.4.2.	Perbandingan Gaya Geser Respon Spektrum Setiap Model Struktur	117
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		
5.1.	Kesimpulan	118
5.2.	Saran	120
DAFTAR PUSTAKA		121
LAMPIRAN		
DAFTAR RIWAYAT HIDUP		

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Batasan rasio lebar terhadap tebal elemen pembatas struktur berdasarkan SNI 7860:2015	25
Tabel 2.2	Beban hidup terdistribusi merata minimum, L_o dan beban hidup terpusat minimum	32
Tabel 2.3	Faktor elemen beban hidup, K_{LL}	34
Tabel 2.4	Persyaratan masing-masing tingkat yang menahan lebih dari 35% gaya geser dasar	38
Tabel 2.5	Kategori resiko bangunan gedung dan struktur lainnya untuk beban gempa berdasarkan SNI 1726:2012	39
Tabel 2.6	Faktor keutamaan (I_e), berdasarkan SNI 1726:2012	41
Tabel 2.7	Faktor koefisien modifikasi respons, faktor kuat lebih sistem, faktor pembesaran defleksi, berdasarkan SNI 1726:2012	41
Tabel 2.8	Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada perioda pendek	44
Tabel 2.9	Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan perioda 1 detik	44
Tabel 2.10	Klasifikasi situs berdasarkan SNI 1726:2012	45
Tabel 2.11	Koefisien perioda pendek (F_a) berdasarkan SNI 1726:2012	46
Tabel 2.12	Koefisien perioda 1,0 detik (F_v) berdasarkan SNI 1726:2012	46
Tabel 2.13	Ketidakteraturan horizontal pada struktur berdasarkan SNI 1726:2012	48
Tabel 2.14	Ketidakteraturan vertikal pada struktur berdasarkan SNI 1726:2012	50
Tabel 2.15	Nilai parameter perioda pendektan C_t dan x berdasarkan SNI 1726:2012	54
Tabel 2.16	Koefisien untuk batas atas pada perioda yang dihitung berdasarkan SNI 1726:2012	55
Tabel 2.17	Simpangan antarlantai ijin (Δ_a) berdasarkan SNI 1726:2012	58
Tabel 3.1	Profil dan material elemen pembatas struktur	64

Tabel 3.3	Berat material konstruksi berdasarkan PPIUG 1983	65
Tabel 3.4	Rekapitulasi beban dinding yang diinput dalam pemodelan	66
Tabel 3.5	Rekapitulasi Beban Dinding Yang Di input Ke Pemodelan	66
Tabel 3.6	Rekapitulasi hasil perhitungan pembebanan tangga	67
Tabel 3.7	Beban hidup pada lantai struktur berdasarkan SNI 1727:2013	68
Tabel 3.8	Hasil rekapitulasi pembebanan	69
Tabel 3.9	Spektrum respon untuk wilayah gempa kota Padang, Sumatera Barat pada tanah sedang berdasarkan SNI 1726:2012	71
Tabel 3.10	Faktor reduksi gempa Model 1 berdasarkan SNI 1726:2012	73
Tabel 3.11	Faktor Reduksi Gempa Model 2 berdasarkan SNI 1726:2012	73
Tabel 3.12	Kombinasi pembebanan berdasarkan SNI 1727:2013	73
Tabel 3.13	Dimensi elemen struktur pada Model 1	74
Tabel 3.14	Data perioda <i>output software</i> ETABS versi 15	77
Tabel 3.15	Hasil selisih persentase nilai perioda	78
Tabel 3.16	Pengecekan perioda berdasarkan pembatasan waktu getar alami fundamental Model 1 berdasarkan SNI 1726:2012	79
Tabel 3.17	Rangkuman nilai C_s dan nilai C_s yang digunakan pada Model 1	80
Tabel 3.18	Dimensi elemen struktur pada Model 2	80
Tabel 3.19	Pengecekan perioda berdasarkan pembatasan waktu getar alami fundamental Model 1 berdasarkan SNI 1726:2012	83
Tabel 3.20	Hasil selisih persentase nilai perioda	83
Tabel 3.21	Pengecekan perioda berdasarkan pembatasan waktu getar alami fundamental Model 1 berdasarkan SNI 1726-2012	84
Tabel 3.22	Rangkuman nilai C_s dan nilai C_s yang digunakan Model 286	
Tabel 4.1	Nilai gaya geser dasar nominal analisa statik ekivalen model 1	87
Tabel 4.2	Nilai gaya geser dasar nominal analisa respon spektrum <i>output software</i> ETABS versi 15	87
Tabel 4.3	Koreksi <i>story shear</i> dengan 35% <i>base shear</i> dengan reduksi 1	88
Tabel 4.4	Nilai gaya geser hasil statik ekivalen pada setiap lantai model 1	89
Tabel 4.5	Nilai gaya geser hasil respon spektrum pada setiap lantai model 1	90
Tabel 4.6	Nilai $C_s W$ berdasarkan analisis statik ekivalen model 1	93
Tabel 4.7	Nilai simpangan model 1 berdasarkan SNI:1726 2012	94

Tabel 4.8	Kontrol ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak pada arah x	95
Tabel 4.9	Kontrol ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak pada arah y	96
Tabel 4.10	Kontrol ketidakberaturan massa pada model 1	96
Tabel 4.11	Kontrol ketidakberaturan torsi pada arah x	97
Tabel 4.12	Kontrol ketidakberaturan torsi pada arah y	97
Tabel 4.13	Kontrol P-delta model 1 pada arah x	98
Tabel 4.14	Kontrol P-delta model 1 pada arah y	98
Tabel 4.15	Hasil kontrol desain SCWB pada model 1	99
Tabel 4.16	Nilai perbandingan persentase penahan gaya gempa dengan metode respons spektrum antara srpmk dengan sistem ganda	100
Tabel 4.17	Nilai gaya geser dasar nominal analisa statik ekuivalen model 1	101
Tabel 4.18	Nilai gaya geser dasar nominal analisa respon spektrum <i>output software</i> ETABS versi 15	101
Tabel 4.19	Koreksi <i>story shear</i> dengan 35% <i>base shear</i> dengan reduksi 1	102
Tabel 4.20	Nilai gaya geser hasil statik ekuivalen pada setiap lantai model 1	103
Tabel 4.21	Nilai gaya geser hasil respon spektrum pada setiap lantai model 1	104
Tabel 4.22	Nilai C_sW berdasarkan analisis statik ekuivalen model 1	107
Tabel 4.23	Nilai simpangan model 1 berdasarkan SNI:1726 2012	108
Tabel 4.24	Kontrol ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak pada arah x	109
Tabel 4.25	Kontrol ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak pada arah y	110
Tabel 4.26	Kontrol ketidakberaturan massa pada model 1	110
Tabel 4.27	Kontrol ketidakberaturan torsi pada arah x	111
Tabel 4.28	Kontrol ketidakberaturan torsi pada arah y	111
Tabel 4.29	Kontrol P-delta model 1 pada arah x	112
Tabel 4.30	Kontrol P-delta model 1 pada arah y	112
Tabel 4.31	Hasil kontrol desain SCWB pada model 1	113
Tabel 4.32	Nilai perbandingan persentase penahan gaya gempa dengan metode respons spektrum antara srpmk dengan sistem ganda	114

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Jenis-jenis sistem struktur penahan lateral	8
Gambar 2.2	Deskripsi umum struktur bangunan sistem ganda (<i>dual system</i>) menggunakan dinding geser	9
Gambar 2.3	<i>Bearing walls</i> (a), <i>Frame wall</i> (b), <i>Core walls</i> (c).	11
Gambar 2.4	<i>Coupled shear wall</i>	11
Gambar 2.5	Perilaku struktur rangka-dinding geser (<i>dual system</i>) yang dikenai beban lateral	12
Gambar 2.6	Grafik tegangan-regangan baja	16
Gambar 2.7	Dinding geser pelat baja dengan elemen pembatasnya	21
Gambar 2.8	Model bidang pada <i>Steel Plate Shear Wall</i>	22
Gambar 2.9	Peta percepatan puncak (PGA) di batuan dasar (S_B) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun dengan redaman 5%	42
Gambar 2.10	Peta respon spektra percepatan 0,2 detik (S_S) di batuan dasar (S_B) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun dengan redaman 5%	43
Gambar 2.11	Peta respon spektra percepatan 1,0 detik (S_1) di batuan dasar (S_B) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun dengan redaman 5%	43
Gambar 2.12	Bentuk tipikal spektrum respon desain di permukaan tanah	48
Gambar 2.13	Penentuan simpangan antar lantai berdasarkan SNI 1726:2012	58
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian	62
Gambar 3.2	Grafik respon spektrum kota Padang dengan kondisi tanah sedang berdasarkan SNI 1726:2012	72
Gambar 3.3	Denah struktur bangunan pada Model 1	75
Gambar 3.4	Elevasi tinggi struktur model 1	76
Gambar 3.5	Modelisasi struktur bangunan pada Model 1	76
Gambar 3.6	Denah struktur bangunan pada Model 2	81
Gambar 3.7	Elevasi tinggi struktur model 2	81
Gambar 3.8	Modelisasi struktur bangunan pada model 2	82

Gambar 4.1	Grafik perbandingan gaya geser lantai statik ekivalen arah x dan arah y	91
Gambar 4.2	Grafik perbandingan gaya geser lantai statik ekivalen arah x dan arah y	91
Gambar 4.3	Grafik perbandingan gaya geser lantai statik ekivalen dan respon spektrum pada arah x	92
Gambar 4.4	Grafik perbandingan gaya geser lantai statik ekivalen dan respon spektrum pada arah y	92
Gambar 4.5	Grafik perbandingan simpangan respon spektrum gempa x dan gempa y	94
Gambar 4.6	Grafik perbandingan simpangan antar tingkat respon spektrum gempa x dan gempa y	95
Gambar 4.7	Grafik perbandingan gaya geser lantai statik ekivalen arah x dan arah y model 2	105
Gambar 4.8	Grafik perbandingan gaya geser lantai respon spektrum arah x dan arah y model 2	105
Gambar 4.9	Perbandingan Gaya Geser lantai statik ekivalen dan respon spektrum pada arah x model 2	106
Gambar 4.10	Perbandingan Gaya Geser lantai statik ekivalen dan respon spektrum pada arah y model 2	106
Gambar 4.11	Grafik perbandingan simpangan respon spektrum gempa x dan gempa y model 2	108
Gambar 4.12	Grafik perbandingan simpangan antar tingkat respon spektrum gempa x dan gempa y model 2	109
Gambar 4.13	Grafik perbandingan simpangan setiap model pada arah x	115
Gambar 4.14	Grafik perbandingan simpangan setiap model pada arah y	115
Gambar 4.15	Grafik perbandingan simpangan antar tingkat setiap model pada arah x	116
Gambar 4.16	Grafik perbandingan simpangan antar tingkat setiap model pada arah y	116
Gambar 4.17	Grafik perbandingan gaya geser respon spektrum dari setiap model struktur pada arah x	117

Gambar 4.18 Grafik perbandingan gaya geser respon spektrum dari setiap model struktur pada arah y

117

DAFTAR NOTASI

A_b	= Luas profil EPH, (mm^2)
A_c	= Luas profil EPV, (mm^2)
A_{cv}	= Penampang total dinding struktural, (mm^2)
A_g	= Luas penampang bruto kolom, in^2 , (mm^2)
A_T	= Luas tributary, (mm^2)
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 pembesaran defleksi
C_s	= Koefisien respon seismik yang ditentukan, g
C_{vx}	= Faktor distribusi vertical
DL	= Beban mati, termasuk SIDL
E	= Modulus elastisitas baja, 200000 MPa
E_h	= Pengaruh beban seismik horizontal
E_v	= Pengaruh beban seismik vertikal
EX	= Beban gempa arah x
EY	= Beban gempa arah y
F_a	= Koefisien perioda pendek
F_i	= Gaya desain yang diterapkan di tingkat i
F_{PGA}	= Faktor amplikasi untuk PGA
F_{px}	= Gaya desain diafragma
F_v	= Koefisien perioda 1,0 detik
F_y	= Kuat leleh tulangan yang diisyaratkan, MPa
F_{yc}	= Tegangan leleh kolom minimum yang disyaratkan, ksi (Mpa)
F_{yb}	= Tegangan leleh balok minimum yang disyaratkan, ksi (Mpa)
f'_c	= Kuat tekan beton yang diisyaratkan, Mpa
g	= Percepatan gravitasi, mm/det^2
h	= Jarak antara sumbu EPV in .(mm)
h_n	= Ketinggian struktur diatas dasar sampai tingkat tertinggi (meter)

- h_w = Tinggi dinding keseluruhan atau segmen dinding yang ditinjau.
- I_b = Momen inersia EPH diambil tegak lurus pada arah baris pelat badan, in^4 .(mm^4)
- I_c = Momen inersia EPV diambil tegak lurus pada arah baris pelat badan, in^4 .(mm^4)
- I_e = Faktor keutamaan gempa
- K = Eksponen yang terkait dengan perioda struktur
- K_{LL} = Faktor elemen beban hidup
- L = Beban hidup desain tereduksi
- L_{cf} = Jarak bersih antara sayap kolom, (mm)
- LL = Beban hidup
- l_w = Panjang dinding keseluruhan atau segmen dinding yang ditinjau
- L_0 = Beban hidup desain tanpa reduksi
- M_{av} = Momen tambahan akibat amplifikasi geser dari lokasi sendi plastis pada sumbu kolom berdasarkan kombinasi beban DKI, kip-in.(N-mm)
- M_{uv} = Momen tambahan akibat amplifikasi geser dari lokasi sendi plastis pada sumbu kolom berdasarkan kombinasi beban DFBK, kip-in. (N-mm)
- M_p = Kekuatan lentur plastis nominal (N.mm)
- N_i = Beban notional yang digunakan pada level-i, N
- PGA = Percepatan muka tanah puncak MCE_G terpeta, g
- PGA_M = Nilai percepatan puncak di permukaan tanah berdasarkan klasifikasi *site*
- P_{uc} = Kekuatan tekan perlu dengan menggunakan kombinasi beban DFBK termasuk beban seismik teramplifikasi , kips (N)
- P_{ac} = Kekuatan tekan perlu dengan menggunakan kombinasi beban DKI termasuk beban seismik teramplifikasi , kips (N)
- R = Faktor modifikasi respon
- R_y = Rasio dari tegangan leleh ekspektasi terhadap tegangan leleh minimum yang disyaratkan, F_y
- S_1 = Parameter percepatan respons spektral MCE dari peta gempa pada perioda 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
 $T_{a_{maks}}$ = Nilai maksimum periode bangunan, detik
 $T_{a_{min}}$ = Nilai minimum periode bangunan, detik
 T_s = S_{D1}/S_{DS} , detik
 t_w = Tebal badan (mm)
 V = Gaya geser atau lateral desain total
 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_x = Gaya geser seismik yang bekerja antara tingkat x dan $x-1$ (kg)
- w_i = Tributari berat sampai tingkat i
- w_{px} = Tributari berat sampai diafragma di tingkat x
- W_t = Berat total gedung
- Z_c = Modulus panampang plastis kolom, mm^3
- Z_b = Modulus panampang plastis balok, mm^3
- α = Sudut dari pelelehan badan dalam derajat, diukur relatif terhadap vertikal.
- ρ = Faktor reduksi, untuk desain seismik D sampai F nilainya 1,3
- ρ_n = Rasio penulangan arah horizontal
- Δ = Simpangan antar lantai tingkat desain, (mm)
- $\sum M_{pc}^*$ = Jumlah dari proyeksi kekuatan lentur nominal kolom (termasuk *voute* bila digunakan) di atas dan di bawah *joint* pada garis sumbu balok dengan reduksi untuk gaya aksial dalam kolom
- $\sum M_{pb}^*$ = Jumlah dari proyeksi kekuatan lentur ekspektasi dari balok pada lokasi sendi plastis pada sumbu kolom
- \bar{v}_s = Kecepatan rambat rata-rata berbobot gelombang geser dengan tebal lapisan tanah sebagai besaran pembobotnya, m/det
- μ_m = Nilai faktor daktilitas maksimum yang dapat dikerahkan oleh suatu system atau subsistem struktur gedung
- δ_u = Perpindahan rencana, mm
- ζ = Koefisien pengali dari simpangan struktur gedung yang membatasi waktu getar alami fundamental struktur gedung, bergantung pada wilayah gempa, faktor pengali
- Ω_0 = Faktor kuat lebih

DAFTAR SINGKATAN

CQC	=	Complete Quadratic Combination
DFBK	=	Desain Faktor Beban dan Ketahanan
DGBK	=	Dinding Geser Biasa Komposit
DKI	=	Desain Kekuatan Izin
EPH	=	Elemen Pembatas Horizontal
EPV	=	Elemen Pembatas Vertikal
PGA	=	Peak Ground Acceleration
PPIUG	=	Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung
SCWB	=	Strong Column Weak Beam
SNI	=	Standar Nasional Indonesia
SPSW	=	Steel Plate Shear Wall
SRPMK	=	Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus
SRSS	=	Square Root of the Sum of Squares

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perkembangan dan kemajuan dunia konstruksi semakin meningkat dari waktu ke waktu, perkembangan tersebut juga di ikuti oleh pertumbuhan penduduk yang semakin tinggi serta semakin terbatasnya lahan akan berakibat terjadinya kepadatan penduduk. Hal ini membuat keharusan untuk melakukan pemanfaatan lahan dengan efisien, yaitu dengan pembangunan struktur bertingkat. Namun pada perencanaannya struktur bertingkat harus di desain dengan baik untuk menahan beban gempa untuk mencegah kerusakan dan keruntuhan pada struktur tersebut.

Secara geografis, Indonesia merupakan negara yang berada pada wilayah jalur gempa pasifik (*Circum Pasific Earthquake Belt*) dan jalur gempa asia (*Trans Asiatic Earthquake Belt*) serta diapit oleh lempeng Indo Australia dengan Indo Asia yang sangat berpotensi terjadinya bencana gempa. Oleh karena itu diharuskan adanya antisipasi terhadap gempa dengan alternatif pembangunan struktur yang dapat berperilaku elastis pada saat memikul beban gempa atau dengan struktur yang berperilaku inelastis pada saat terjadi gempa.

Sistem struktur inelastis pada saat terjadi gempa yaitu pada struktur tersebut terdapat bagian tertentu yang akan mengalami plastifikasi akibat penyerapan energi gempa. Sistem struktur tersebut tentunya akan mengalami deformasi plastis pada bagian-bagian tertentu namun tetap memiliki kekakuan yang cukup untuk dapat berdiri (tidak runtuh). Sedangkan sistem struktur yang digunakan pada perencanaan tugas akhir ini adalah sistem struktur elastis, keunggulan pada sistem struktur yang direncanakan berperilaku elastis adalah tidak ada satu bagian struktur pun yang mengalami deformasi permanen. Namun, elemen struktur yang digunakan akan memerlukan penampang yang lebih besar.

Pada umumnya sistem struktur penahan beban gempa atau beban lateral terdiri dari sistem *moment resisting frame* (portal penahan momen dengan hubungan balok dan kolom), sistem *braced frame* (pengaku diagonal), *shear wall* (dinding geser), dan lain-lain.

Dinding geser (*shearwall*) yang difungsikan sebagai pengaku pada struktur saat ini telah menggunakan material yang beragam mulai yang awalnya menggunakan material beton bertulang sampai dengan menggunakan material pelat baja. Kemudahan pemasangan, mempunyai kekuatan yang tinggi, serta bentuk profil yang tipis dan ramping membuat material baja mulai diminati untuk dijadikan material struktur dinding geser di luar negeri, namun di Indonesia penggunaannya masih sedikit. Diantara material beton dan pelat baja tersebut pada penggunaannya memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing di dalam sistem struktur bangunan.

Oleh karena itu, pada tugas akhir ini penulis akan menganalisa perbandingan dari kinerja antara struktur bertingkat tinggi yang menggunakan dinding geser pelat baja dan dinding geser beton terhadap beban gempa, hasil dari analisa perbandingannya diharapkan dapat bermanfaat untuk pembaca maupun penulis serta khususnya dalam bidang teknik sipil.

1.2. Rumusan masalah

Adapun rumusan masalah pada tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimana perbandingan perioda getar alami, gaya geser dasar (*base shear*), gaya geser antar lantai (*story shear*), simpangan antar tingkat, dan kekakuan struktur antara struktur gedung bertingkat tinggi yang menggunakan dinding geser pelat baja dengan struktur yang menggunakan dinding geser beton bertulang?
2. Setelah didapat hasil analisa, struktur manakah yang lebih efektif untuk menahan beban gempa?
3. Bagaimana pengaruh peran penggunaan dinding geser dengan material berbeda pada struktur gedung bertingkat tinggi terhadap kinerja masing-masing struktur?

1.3. Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup dan aspek yang ditinjau pada tugas akhir ini adalah:

1. Menganalisis perbandingan struktur yang akan difungsikan sebagai gedung perkantoran 10 lantai.

2. Struktur yang digunakan adalah struktur baja berdasarkan SNI 1729:2015 dan SNI 7860:2015.
3. Pembebanan gravitasi struktur mengacu pada beban minimum untuk perencanaan bangunan gedung dan struktur lain berdasarkan SNI 1727:2013 dan Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG) 1983.
4. Struktur gedung direncanakan berada di wilayah kota Padang, Sumatera Barat dengan kondisi tanah sedang berdasarkan Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung Dan Non Gedung SNI 1726:2012.
5. Membuat analisis pada pemodelan struktur gedung yang menggunakan dinding geser pelat baja dan dinding geser beton bertulang menggunakan program ETABS versi 15.
6. Analisis struktur gedung terhadap beban gempa menggunakan analisis respon spektrum.
7. Pada tugas akhir ini hanya melakukan analisis perbandingan periode getar alami, besar gaya-gaya geser dasar (*base shear*) yang bekerja, gaya geser antar lantai (*story shear*), simpangan antar tingkat, dan kekakuan struktur pada masing-masing pemodelan.
8. Struktur dianalisa secara linier elastis menggunakan program ETABS v.15.
9. Analisis perbandingan struktur tidak memperhitungkan sambungan dan struktur bawah.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan penulisan tugas akhir ini diantaranya adalah:

1. Untuk mengetahui perbandingan perioda alami, gaya geser (*base shear*), gaya geser antar lantai (*story shear*), simpangan antar lantai, maupun kekakuan dari struktur yang menggunakan dinding geser pelat baja dengan struktur yang menggunakan dinding geser beton bertulang berdasarkan SNI 1726:2012.
2. Untuk mengetahui perbandingan kinerja antara struktur gedung bertingkat tinggi yang menggunakan dinding pelat baja dengan dinding geser beton bertulang yang lebih efektif menahan beban gempa dengan analisis respon spektrum berdasarkan SNI 1726:2012.

3. Untuk mengetahui pengaruh penggunaan dinding geser pada struktur gedung dengan material yang berbeda terhadap kinerja masing-masing struktur berdasarkan SNI 1726:2012.

1.5. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penulisan skripsi ini terbagi menjadi dua bagian yaitu manfaat teoritis dan manfaat praktis, sebagai berikut:

1.5.1. Manfaat Teoritis

Manfaat teoritis untuk penulis dari laporan tugas akhir ini adalah untuk mengetahui perbandingan antara kinerja dari struktur bangunan yang menggunakan dinding geser pelat baja atau *Steel Plate Shear Wall (SPSW)* dan dinding geser beton bertulang yang lebih efektif menahan beban gempa.

1.5.2. Manfaat Praktis

Diharapkan agar hasil dari tugas akhir ini dapat digunakan sebagai referensi untuk dapat menentukan pilihan struktur bangunan yang lebih tepat menjadi struktur bangunan yang mampu menahan gaya gempa yang baik dan efektif diantara struktur yang menggunakan dinding geser baja maupun beton bertulang pada daerah tanah sedang.

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan pada tugas akhir ini terdiri dari bagian bab-bab yang berisi penjelasan dari masing-masing ketentuan bab. Adapun sistematika penulisan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Pada bab ini berisi hal-hal umum mengenai tugas Akhir, seperti latar belakang, rumusan masalah, ruang lingkup penelitian, tujuan dan manfaat penelitian, serta sistematika penulisan tugas akhir.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini berisi tentang teori-teori pendukung maupun konsep perencanaan dari sumber dan referensi yang berhubungan dengan permasalahan tugas akhir.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini berisi penjelasan tentang metodologi penelitian yang digunakan dengan tahapan-tahapan pengerjaan serta prosedur cara pemodelan dan desain struktur baja dengan sistem ganda (*dual system*) menggunakan dinding geser pelat baja maupun dinding geser beton bertulang pada program ETABS.

BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini berisi hasil analisis, perhitungan, serta perbandingan hasil analisis struktur rangka pemikul momen khusus menggunakan dinding geser pelat baja atau *Steel Plate Shear Wall (SPSW)* maupun dinding geser beton berupa gambar, grafik, maupun tabel beserta pembahasannya.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini berisi penjelasan kesimpulan dari analisis yang dilakukan serta saran untuk pengembangan lebih lanjut yang lebih baik di waktu yang akan datang.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Struktur Bangunan Bertingkat Tinggi Tahan Gempa

Perencanaan suatu struktur gedung bertingkat tinggi harus memiliki sistem penahan gaya lateral dan vertikal yang lengkap, yang mampu memberikan kekuatan, kekakuan, dan kapasitas disipasi yang cukup untuk menahan gerak tanah. Dalam perencanaan struktur bangunan tahan gempa, diperlukan dasar 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, 2011).

Oleh karena itu, struktur bangunan tahan gempa harus memiliki kekuatan, kekakuan, dan stabilitas yang cukup untuk mencegah terjadinya keruntuhan bangunan. Menurut Pawirodikromo (2012), berdasarkan kekuatan gempa yang terjadi desain filosofi bangunan tahan gempa sebagai berikut:

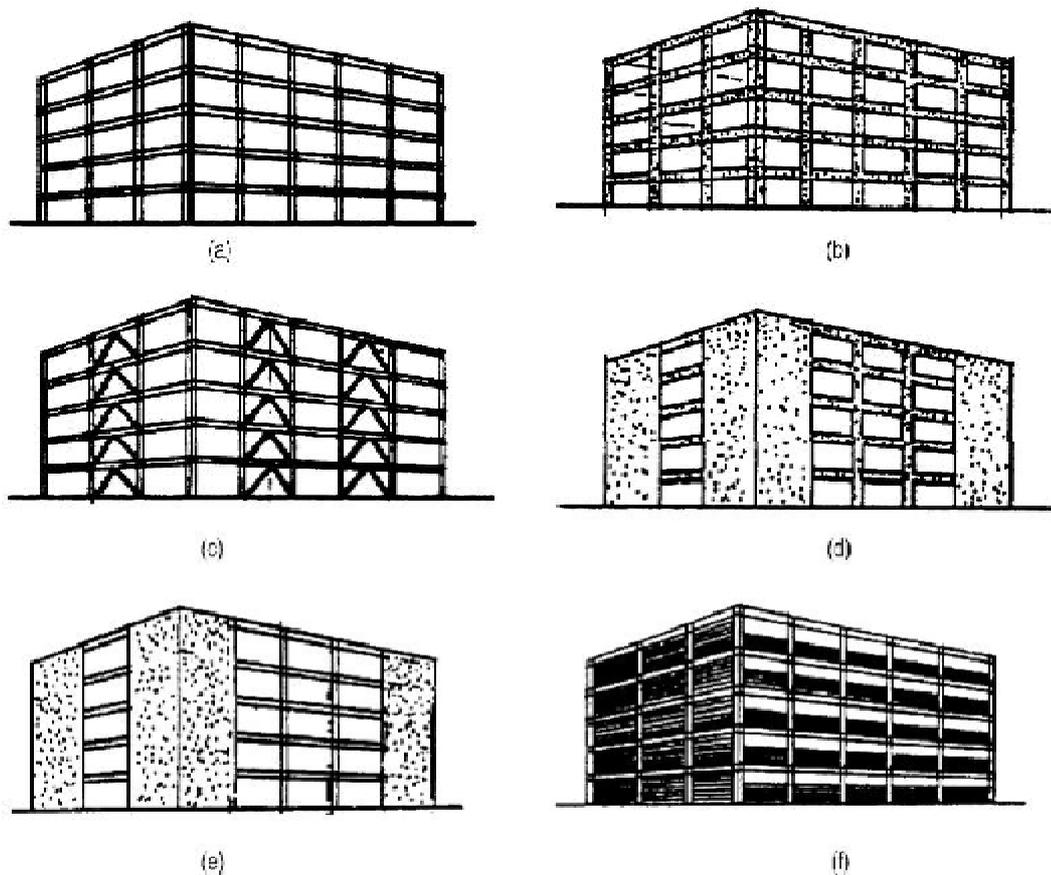
1. Pada saat gempa kecil (*light* atau *minor earthquake*) yang sering terjadi, maka struktur utama bangunan harus tidak rusak dan berfungsi dengan baik. Kerusakan kecil yang masih dapat ditoleransi pada elemen non-struktur masih dibolehkan.
2. Pada gempa menengah (*moderate earthquake*) yang relatif jarang terjadi, maka struktur utama bangunan boleh rusak/retak ringan tetapi masih dapat/ekonomis untuk diperbaiki. Elemen non-struktur dapat saja rusak tapi masih dapat diganti dengan yang baru.
3. Pada gempa kuat (*strong earthquake*) yang jarang terjadi, maka struktur bangunan boleh rusak tetapi tidak boleh runtuh total. Kondisi seperti ini juga diharapkan pada gempa besar (*great earthquake*), yang tujuannya adalah melindungi manusia/penghuni bangunan secara maksimum.

2.2. Jenis-jenis Struktur Penahan Beban Gempa

Berdasarkan SNI 1726:2012 tata cara perancangan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung, pada pasal 7.2 tentang Struktur Penahan Beban Gempa, jenis struktur penahan gempa dibedakan menjadi 6 sistem, yaitu:

1. Sistem Dinding Penumpu (*Bearing Wall System*)
Sistem struktur yang tidak memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Dinding penumpu atau sistem bresing memikul hampir semua beban gravitasi. Beban lateral dipikul oleh dinding geser atau rangka bresing.
2. Sistem Rangka Bangunan (*Building Frame System*)
Sistem struktur yang ada pada dasarnya memiliki ruang untuk pemikul beban gravitasi secara lengkap. Beban lateral dipikul dinding struktur ataupun rangka bresing.
3. Sistem Rangka Pemikul Momen
Sistem rangka struktur yang pada dasarnya memiliki rangka pemikul beban gravitasi secara lengkap. Beban lateral dipikul rangka pemikul momen terutama melalui mekanisme lentur.
4. Sistem Ganda (*Dual System*)
Sistem ganda (*dual system*) adalah sistem struktur dengan rangka ruang pemikul beban gravitasi beban secara lengkap, sedangkan beban lateral yang diakibatkan oleh gempa dipikul oleh gabungan sistem rangka pemikul momen dan dinding geser ataupun oleh rangka pemikul momen dan rangka bresing.
5. Sistem Interaktif Dinding Geser Rangka
Sistem ini merupakan interaktif dari rangka pemikul momen beton bertulang biasa dan dinding geser beton bertulang biasa.
6. Sistem Kolom Kantilever
Sistem struktur yang memanfaatkan kolom kantilever untuk memikul beban lateral.

Pada bangunan relatif tidak tinggi, sistem penahan lateral dapat dirangkap sekaligus dengan sistem penahan gravitasi, yaitu *rigid frame* atau portal. Penggunaan beton bertulang untuk *rigid frame* relatif mudah karena sifatnya monolit, tetapi untuk baja perlu sistem sambungan yang detailnya lebih kompleks dibanding beton bertulang. Selanjutnya semakin tinggi bangunan, sistem *rigid-frame* tidak cukup, perlu dibuat struktur khusus yang memang didedikasikan untuk sistem struktur penahan lateral. Gambar jenis-jenis beberapa struktur penahan gaya lateral dapat dilihat pada Gambar 2.1 di bawah ini.



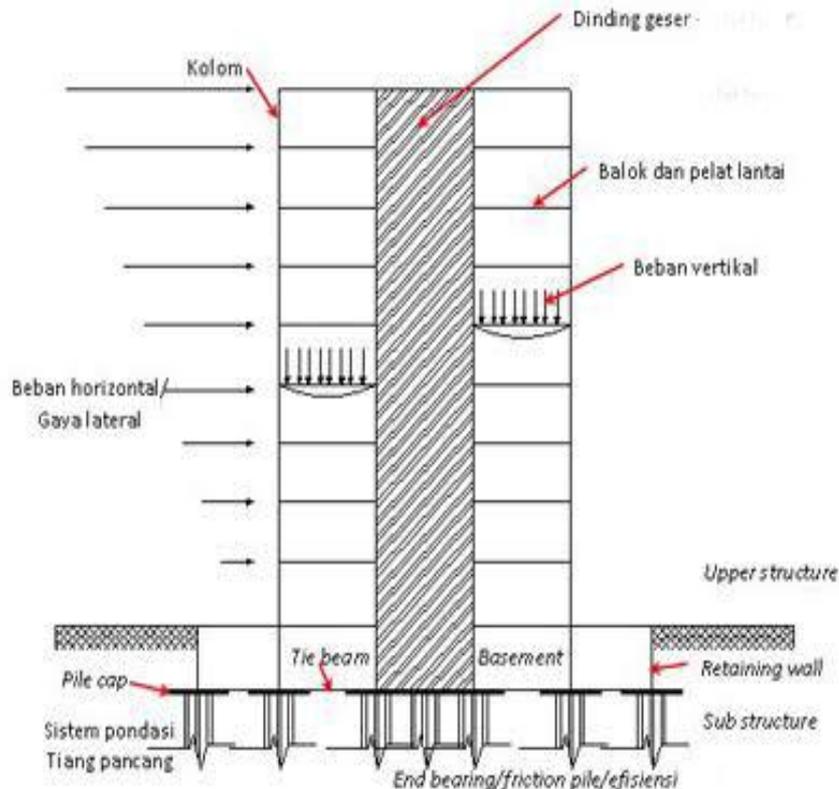
Gambar 2.1: Jenis-jenis sistem struktur penahan lateral: (a) *steel rigid frame*; (b) *RC rigid frame*; (c) *braced steel frame*; (d) *RC frame - shear wall*; (e) *steel frame - shear wall*; (f) *steel frame - infilled walled* (Taranath, 2005).

2.3. Struktur Penahan Gempa Sistem Ganda (*Dual System*)

Seperti yang di jelaskan pada SNI 1726:2012 bahwa sistem ganda merupakan gabungan sistem rangka pemikul momen dan dinding geser ataupun oleh rangka pemikul momen dan rangka bresing. Pada dasarnya sistem ganda terdiri dari:

- Rangka ruang memikul seluruh beban gravitasi.
- Rangka pemikul momen harus direncanakan secara terpisah mampu memikul sekurang-kurangnya 25 persen dari seluruh beban lateral, sedangkan sisanya akan dipikul oleh dinding geser.
- Kedua sistem harus direncanakan untuk memikul bersama-sama seluruh beban lateral dengan memperhatikan interaksi antara sistem rangka pemikul momen dengan dinding geser.

Struktur penahan gempa dengan sistem ganda (*dual system*) menggunakan dinding geser secara umum dapat dilihat pada Gambar 2.2 di bawah ini.



Gambar 2.2: Deskripsi umum struktur bangunan sistem ganda (*dual system*) menggunakan dinding geser (Marques, 2014).

2.4. Dinding Geser (*Shear Wall*)

Dinding geser (*shear wall*) merupakan komponen struktur bangunan yang memiliki peranan penting dan di desain agar dapat menahan gaya lateral yang terjadi. Dinding geser yang efektif harus dirancang yang memiliki kekuatan dan kekakuan yang tinggi. Fungsi dinding geser (*shear wall*) , yaitu:

a. Kekuatan

Dinding geser harus memberikan kekuatan lateral yang diperlukan untuk melawan kekuatan gempa horizontal. Ketika dinding geser cukup kuat, mereka akan mentransfer gaya horizontal ini ke elemen berikutnya dalam jalur beban di bawah mereka, seperti dinding geser lainnya, lantai, pondasi dinding, lembaran atau *footings*.

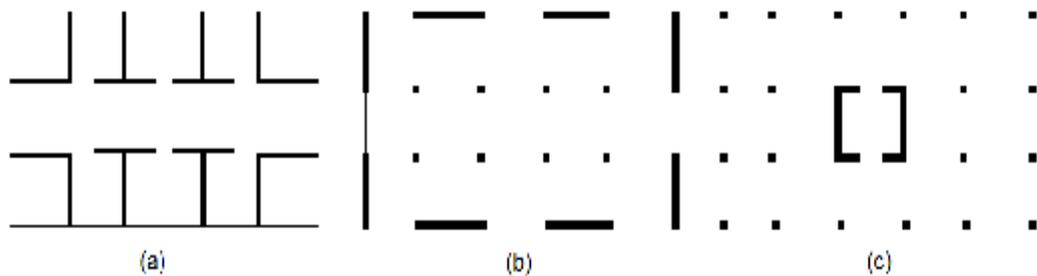
b. Kekakuan

Dinding geser juga memberikan kekakuan lateral untuk mencegah atap atau lantai di atas dari sisi - goyangan yang berlebihan. Ketika dinding geser cukup kaku, mereka akan mencegah membingkai lantai dan atap anggota dari bergerak dari mendukung mereka. Bangunan yang cukup kaku biasanya akan mengalami kerusakan kurang nonstruktural dan sesuai dengan konsep perencanaan bangunan tahan gempa.

Berdasarkan letak dan fungsinya, dinding geser (*shear wall*) dapat diklasifikasikan dalam 3 jenis yaitu :

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

Dinding geser berdasarkan letak dan fungsinya dapat dilihat pada Gambar 2.3 di bawah ini.

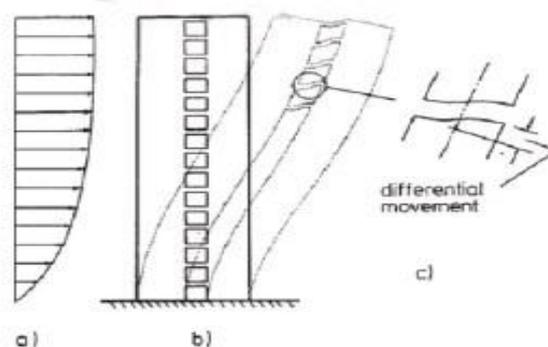


Gambar 2.3: *Bearing walls* (a), *Frame wall* (b), *Core walls* (c).

2.4.1. Elemen Struktur Dinding Geser

Menurut Imran dkk (2008), pada umumnya dinding geser dikategorikan berdasarkan geometrinya, yaitu:

- Flexural wall* (dinding langsing), yaitu dinding geser yang memiliki rasio $h_w/l_w \geq 2$, dimana desain dikontrol terhadap perilaku lentur,
- Squat wall* (dinding pendek), yaitu dinding geser yang memiliki rasio $h_w/l_w \leq 2$, dimana desain dikontrol terhadap perilaku lentur,
- Coupled shear wall* (dinding berangkai), dimana momen guling yang terjadi akibat beban gempa ditahan oleh sepasang dinding geser yang dihubungkan dengan balok-balok penghubung sebagai gaya tarik dan tekan yang bekerja.

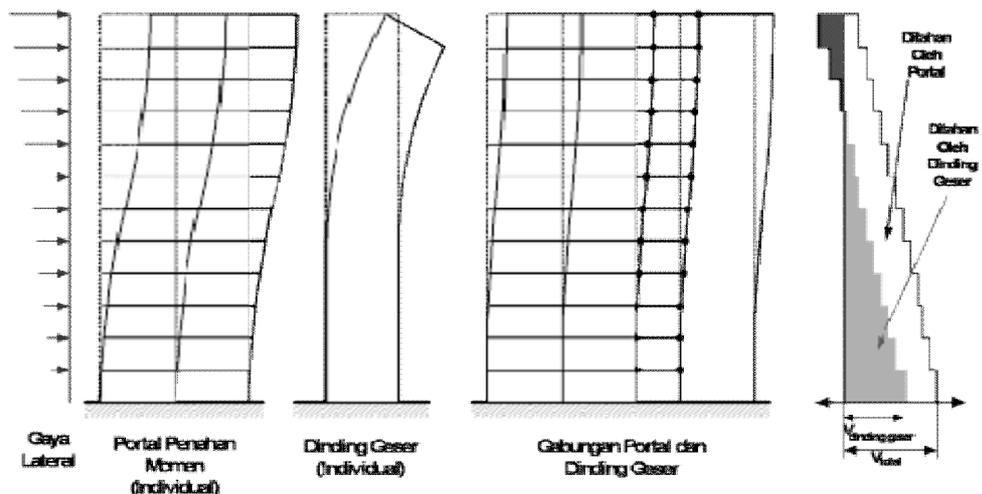


Gambar 2.4: *Coupled shear wall* (Joseph Stankevicius, 2011).

2.4.2. Perilaku Struktur Sistem Ganda (*Dual System*) dengan Dinding Geser

Semakin tinggi suatu gedung, penggunaan struktur rangka saja untuk menahan gaya lateral akibat beban gempa menjadi kurang ekonomis karena akan menyebabkan dimensi struktur balok dan kolom yang dibutuhkan akan semakin besar untuk menahan gaya lateral. Oleh karena itu, untuk meningkatkan kekakuan dan kekuatan struktur terhadap gaya lateral dapat digunakan kombinasi antara rangka kaku dengan dinding geser (*dual system*).

Pada struktur kombinasi ini, dinding geser dan kolom-kolom struktur akan dihubungkan secara kaku oleh balok-balok pada setiap lantai bangunan. Dengan adanya hubungan antara kolom, balok, dan dinding geser akan memungkinkan terjadinya interaksi antara struktur rangka dan dinding geser secara menyeluruh pada bangunan, dimana struktur rangka dan dinding geser akan bekerja bersama-sama dalam menahan beban yang bekerja baik itu beban gravitasi maupun beban lateral. Selain itu, dengan menggunakan sistem ganda ini, maka simpangan lateral akan jauh berkurang seiring dengan peningkatan jumlah lantai struktur. Semakin tinggi suatu struktur gedung, semakin kecil simpangan yang terjadi. Perilaku kedua elemen tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5: Perilaku struktur rangka-dinding geser (*dual system*) yang dikenai beban lateral (Marques, 2014).

2.5. Pola Keruntuhan Dinding Geser

Pada dinding geser beton bertulang perilaku batas yang terjadi pada dinding geser di klasifikasikan sebagai berikut (Imran, 1992):

- a. *Flexural behavior* dimana respon yang terjadi pada dinding akibat gaya luar dibentuk oleh mekanisme kelelahan pada tulangan yang menahan lentur dan keruntuhan ini bersifat daktail.
- b. *Flexural shear behavior* yaitu kelelahan yang terjadi pada tulangan yang menahan lentur diikuti dengan kegagalan geser.
- c. *Shear behavior* dimana dinding runtuh akibat geser tanpa adanya kelelahan pada tulangan yang menahan lentur. Perilaku batas ini dapat dibagi lagi menjadi diagonal *tension shear failure* (dapat bersifat daktail, diakibatkan keruntuhan diawali oleh baja tulangan), dan diagonal *compression shear failure*.
- d. *Sliding shear behavior* dimana di bawah tekanan siklik bolak balik, *sliding shear* dapat terjadi, keruntuhan jenis ini bersifat getas dan menghasilkan perilaku disipasi yang buruk.

2.5.1. Pola Keruntuhan Pada Dinding Geser Pelat Baja

Berdasarkan penelitian-penelitian yang dilakukan, menurut Abolhasan Astaneh (2001), menyatakan kriteria-kriteria kegagalan pada dinding geser pelat baja adalah sebagai berikut:

- a. Kriteria kegagalan pada dinding geser pelat baja:
 - Baut terjadi slip, apabila sambungan antara dinding pelat dan elemen batasnya memakai baut.
 - Terjadi tekuk pada pelat baja.
 - Pelat baja mengalami kelelahan.
 - Pelat dinding terjadi fraktur.
 - Fraktur dari sambungan dinding baja terhadap *boundary* kolom dan balok.

- b. Kriteria kegagalan dari elemen batas horizontal (balok atas atau balok bawah):
- Akibat leleh pada geser (*shear yielding*) dari atas dan balok bawah.
 - Bentuk sendi plastis (*plastic hinge formation*), pada balok atas dan balok bawah.
 - Tekuk badan pada sayap atau badan balok atas dan bawah.
 - Fraktur dari sambungan momen dari balok dalam sistem rangkap.
 - Tekuk lateral torsional terjadi pada keseluruhan balok.
 - Fraktur dari sambungan geser balok.
- c. Kriteria kegagalan pada elemen batas vertikal (kolom)
- Bentuk sendi plastis (*plastic hinge formation*), pada bagian atas dan bawah kolom.
 - Tekuk lokal pada boundari kolom.
 - Kolom tertekuk keseluruhan boundari nya.
 - Fraktur tarik dari boundari kolom atau sambungannya.
 - Kelelahan dari plat dasar boundari kolom terhadap gaya angkat fraktur dari baut angkur atau pelat dasar pada dasar kolom terhadap gaya angkat.

2.6. Material Struktur Bangunan

Material merupakan hal pokok yang sangat penting untuk di pertimbangkan penggunaannya di dalam perencanaan sebuah struktur bangunan. Pertimbangan penggunaan material tersebut yakni dengan meninjau kelebihan maupun kelemahannya. Hal-hal pertimbangan tersebut seperti, pengaruh penggunaan material dengan kondisi lingkungan sekitar berkenaan seberapa jauh material tersebut bisa bertahan dengan kondisi lingkungan tertentu, kecepatan pelaksanaannya, serta aspek biaya juga harus di tinjau untuk menghasilkan konstruksi yang baik sesuai dengan perencanaan.

Dalam perkembangannya beberapa material yang umum dikenal seperti beton, kayu, alumunium, baja dan lain sebagainya. Beton bertulang merupakan material yang umum penggunaannya sebagai struktur utama, serta pada abad ke

19 sampai saat ini penggunaan baja sebagai struktur utama pada bangunan juga mulai dikembangkan dan diterapkan dengan syarat dan ketentuan yang ada.

2.6.1. Material Baja

Baja merupakan salah satu bahan bangunan yang dihasilkan dari logam paduan, logam besi sebagai unsur dasar dengan karbon sebagai unsur paduan utamanya. Kandungan unsur karbon dalam baja berkisar antara 0.2% hingga 2.1% berat sesuai gradenya. Dalam perencanaan berdasarkan SNI 1729:2015, sifat-sifat mekanis lainnya baja struktural untuk maksud perencanaan ditetapkan sebagai berikut:

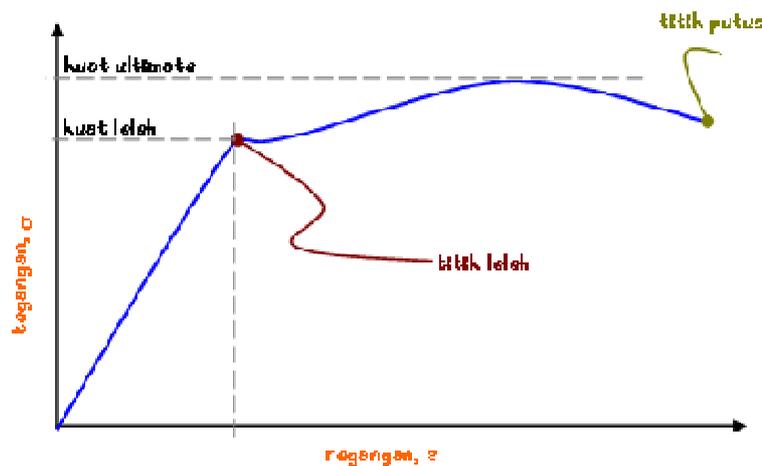
- Modulus elastisitas : $E = 200.000 \text{ MPa}$
- Modulus geser : $G = 80.000 \text{ MPa}$
- Nisbah poisson : $\mu = 0,3$
- Koefisien pemuaian : $\alpha = 12 \times 10^{-6} / ^\circ \text{C}$

Penggunaan baja sebagai bahan struktur utama di mulai pada akhir abad ke sembilan belas dan terus dikembangkan sampai saat ini. Baja merupakan bahan yang mempunyai sifat struktur yang baik. Beberapa kelebihan material baja sebagai struktur bangunan adalah sebagai berikut:

- a. Mempunyai kekuatan yang tinggi meski berukuran lebih ringkas daripada beton. Sehingga dapat mengurangi ukuran struktur serta mengurangi beban sendiri struktur. Beton jauh lebih berat dibandingkan baja.
- b. Homogenitas tinggi. Baja bersifat homogen, sehingga kekuatannya merata. Beda dengan beton yang merupakan campuran dari beberapa material penyusun, tidak mudah mengatur agar kerikil dan pasir bisa merata ke semua bagian beton.
- c. Keawetan tinggi. Baja akan tahan lama bila perawatan yang dilakukan terhadapnya sangat baik. Misalnya, rutin mengecat permukaan baja agar terhindar dari korosi.

- d. Bersifat elastis. Baja berperilaku elastis sampai tingkat tegangan yang cukup tinggi. Baja akan kembali ke bentuk semula asalkan gaya yang terjadi tidak melebihi batas elastisitas baja.
- e. Daktilitas baja cukup tinggi. Selain mampu menahan tegangan tarik yang cukup tinggi, baja juga akan mengalami regangan tarik yang cukup besar sebelum runtuh.

Grafik hubungan antara tegangan dan regangan baja dapat dilihat pada Gambar 2.6 di bawah ini.



Gambar 2.6: Grafik tegangan-regangan baja (Agus Setiawan, 2008).

- f. Kemudahan pemasangan dan pengerjaan. Penampang baja bisa dibentuk sesuai yang dibutuhkan. Penyambungan antar elemen pada struktur baja juga mudah, hanya tinggal memasang baut atau bisa menggunakan las, sehingga akan mempercepat kegiatan proyek.

Disamping kelebihan-kelebihan tersebut, material baja juga memiliki beberapa kelemahan sebagai material struktur bangunan, yaitu:

- a. Pemeliharaan rutin. Baja membutuhkan pemeliharaan khusus agar mutunya tidak berkurang. Konstruksi baja yang berhubungan langsung dengan udara atau air harus dicat secara periodik.

- b. Baja akan mengalami penurunan mutu secara drastis bahkan kerusakan langsung karena temperatur tinggi. Komponen struktur baja perlu di usahakan agar tahan api saat terjadi kebakaran.
- c. Baja memiliki kelemahan tekuk pada penampang langsing, karena sering digunakan untuk penampang material yang langsing.

2.6.2. Material Beton Bertulang

Dalam dunia konstruksi, beton merupakan material yang dikenal dan sangat umum digunakan. Karena fungsinya yang banyak sekali pada hampir semua jenis konstruksi. Beton bertulang pada umumnya digunakan sebagai struktur konstruksi gedung, jembatan, bendungan, pengerasan jalan, drainase, pengairan, dan sebagainya.

Beton bertulang adalah beton yang ditulangi dengan luas dan jumlah tulangan tertentu untuk mendapatkan suatu penampang yang berdasarkan asumsi bahwa kedua material bekerja bersama-sama dalam menahan gaya yang bekerja. Apabila beton mempunyai berat isi 2200 - 2500 kg/m³ maka disebut beton berat normal.

Beton bertulang memiliki kelebihan dan kekurangan baik dari segi material maupun pada kondisi tertentu, kelebihan material beton bertulang antara lain yaitu:

- b. Kuat tekan beton bertulang relatif lebih tinggi dari bahan lain konstruksi lain.
- c. Memiliki ketahanan yang tinggi terhadap api dan air. Tidak berkarat karena air dan pada kasus kebakaran dengan intensitas rata-rata, struktur dengan ketebalan penutup beton tertentu hanya mengalami kerusakan pada permukaannya saja.
- d. Biaya pemeliharaan beton bertulang sangat rendah.
- e. Durabilitas yang tinggi. Beton bertulang lebih awet dan tahan lama dibandingkan dengan bahan lain. Normalnya sebuah struktur beton bertulang dapat digunakan sampai jangka waktu yang sangat lama dengan tidak kehilangan kemampuan menahan bebannya. Hal tersebut karena hukum kimia proses pematatan semen yang semakin lama akan semakin membatu.

- f. Beton bertulang bisa dibuat dalam banyak bentuk untuk beragam fungsi dan kegunaan, seperti bentuk pelat, balok. dari bentuk sederhana seperti kolom hingga berbentuk atap kubah yang rumit.
- g. Material beton bertulang bisa dibuat dari bahan-bahan lokal yang murah seperti pasir, kerikil, dan air dan relatif hanya membutuhkan sedikit semen dan tulangan baja.
- h. Dibanding struktur baja, pembuatan dan instalasi konstruksi beton bertulang lebih mudah dan cukup dengan tenaga berkeahlian rendah.

Meski dengan banyak kelebihan-kelebihan beton bertulang, masih ada beberapa hal yang menjadi kekurangan dan perlu dipertimbangkan dalam kondisi pekerjaan konstruksi tertentu. Di antara kekurangan beton bertulang adalah sebagai berikut:

- a. Kuat tarik yang sangat rendah karenanya diperlukan penggunaan tulangan tarik.
- b. Waktu pengerjaan beton bertulang lebih lama.
- c. Kualitas beton bertulang variatif bergantung pada kualifikasi para pembuatnya.
- d. Dibutuhkan bekisting penahan pada saat pengecoran beton agar tetap di tempatnya sampai beton tersebut mengeras. Berat beton sendiri sangat besar ($2,4 \text{ t/m}^3$), sehingga konstruksi harus memiliki penampang yang besar.
- e. Rendahnya kekuatan per satuan berat dari beton mengakibatkan beton bertulang menjadi berat. Ini akan sangat berpengaruh pada struktur-struktur bentang-panjang dimana berat beban mati beton yang besar akan sangat mempengaruhi momen lentur.

2.7. Perencanaan Struktur Baja Rangka Momen Khusus

Rangka momen khusus diharapkan dapat mengalami deformasi inelastis yang besar apabila dibebani oleh gaya-gaya yang berasal dari beban gempa rencana. RMK didesain menurut ketentuan ini, diharapkan memberi kapasitas deformasi inelastik signifikan melalui pelelehan lentur balok dan pelelehan terbatas zona panel kolom. Kecuali di mana dengan cara lain diizinkan dalam pasal ini, kolom

harus didesain lebih kuat dari pelelehan penuh dan pengerasan regangan penuh balok atau gelagar. Pelelehan lentur dari kolom pada dasar diizinkan. Desain sambungan dari balok ke kolom, termasuk zona panel dan pelat penerus harus berdasarkan pada hasil uji sambungan yang telah dilakukan.

2.7.1. Rasio Momen

Hubungan yang berikut ini harus dipenuhi pada sambungan balok ke kolom sesuai dengan Pers. 2.1 berikut ini.

$$\frac{\sum M_{pc}^*}{\sum M_{pb}^*} > 1 \quad (2.1)$$

Keterangan:

$\sum M_{pc}^*$ = Jumlah dari proyeksi kekuatan lentur nominal kolom (termasuk *voute* bila digunakan) di atas dan di bawah *joint* pada garis sumbu balok dengan reduksi untuk gaya aksial dalam kolom. Diizinkan untuk menentukan $\sum M_{pc}^*$ dengan Pers. 2.2 dan Pers. 2.3 sebagai berikut:

$$\sum M_{pc}^* = \sum Z_c (F_{yc} - P_{uc} / A_g) \text{ (DFBK)} \quad (2.2)$$

$$\sum M_{pc}^* = \sum Z_c (F_{yc} - 1,5P_{uc} / A_g) \text{ (DKI)} \quad (2.3)$$

Apabila garis dari balok, berlawanan pada *joint* yang sama, tidak sesuai, garis tengah antara sumbu harus digunakan.

$\sum M_{pb}^*$ = Jumlah dari proyeksi kekuatan lentur ekspektasi dari balok pada lokasi sendi platis pada sumbu kolom. Diizinkan untuk menentukan $\sum M_{pb}^*$ dengan Pers. 2.4 dan Pers. 2.5 sebagai berikut:

$$\sum M_{pb}^* = \sum (1,1R_y F_{yb} Z_b + M_{uv}) \text{ (DFBK)} \quad (2.4)$$

$$\sum M_{pb}^* = \sum (1,1R_y F_{yb} Z_b + 1,5M_{av}) \text{ (DKI)} \quad (2.5)$$

Di mana:

- A_g = luas penampang bruto kolom, in² (mm²)
- F_{yc} = tegangan leleh kolom minimum yang disyaratkan, ksi (Mpa)
- F_{yb} = tegangan leleh balok minimum yang disyaratkan, ksi (Mpa)
- P_{uc} = kekuatan tekan perlu dengan menggunakan kombinasi beban DFBK termasuk beban seismik teramplifikasi, kips (N)
- P_{ac} = kekuatan tekan perlu dengan menggunakan kombinasi beban DKI termasuk beban seismik teramplifikasi, kips (N)
- M_{uv} = momen tambahan akibat amplifikasi geser dari lokasi sendi plastis pada sumbu kolom berdasarkan kombinasi beban DFBK, kip-in. (N-mm)
- M_{av} = momen tambahan akibat amplifikasi geser dari lokasi sendi plastis pada sumbu kolom berdasarkan kombinasi beban DKI, kip-in. (N-mm)
- Z_c = modulus penampang plastis kolom, mm³
- Z_b = modulus penampang plastis balok, mm³

Pengecualian: persyaratan ini tidak boleh diterapkan jika kondisi pada (a) atau (b) dipenuhi.

- (a) Kolom dengan $P_{rc} < 0,3 P_c$ untuk semua kondisi beban selain dari yang ditentukan dengan menggunakan beban seismik teramplifikasi memenuhi salah satu dari yang berikut:
- (i) Kolom digunakan pada bangunan gedung tingkat satu tau tingkat paling atas dari bangunan gedung bertingkat banyak.
 - (ii) Kolom dimana: (1) jumlah kekuatan geser tersedia dari semua kolom yang dikecualikan dalam tingkat yang kecil dari 20 % dari jumlah kekuatan geser tersedia dari semua kolom rangka momen pada tingkat ini bekerja pada arah yang sama; dan (2) jumlah kekuatan geser tersedia dari semua kolom yang dikecualikan pada setiap deretan kolom rangka momen dalam tingkat yang kurang dari 33 % dari kekuatan geser tersedia dari semua kolom rangka momen pada deretan kolom. Untuk tujuan pengecualian ini, deretan kolom yang didefinisikan sebagai deretan

tunggal kolom dan deretan sejajar kolom-kolom yang terletak di 10 % dari dimensi rencana yang tegak lurus deretan kolom.

Catatan: untuk tujuan pengecualian ini, kekuatan geser yang tersedia dari kolom harus dihitung sebagai kekuatan batas yang memperhitungkan kekuatan lentur pada setiap ujung yang dibatasi oleh kekuatan lentur balok yang menerima beban, atau kekuatan lentur kolom itu sendiri, dibagi dengan H , dimana H adalah tinggi tingkat dalam inci (mm).

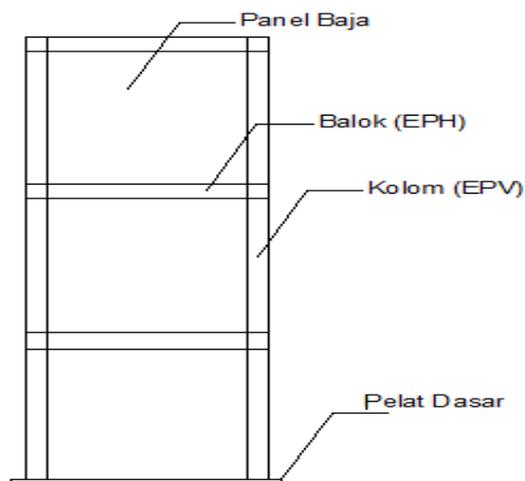
Kekuatan tekan nominal, P_c harus seperti Pers. 2.6 dan Pers. 2.7 berikut:

$$P_c = F_{yc} A_g \text{ (DFBK)} \quad (2.6)$$

$$P_c = F_{yc} A_g / 1,5 \text{ (DKI)} \quad (2.7)$$

2.8. Dinding Geser Pelat Baja

Dinding geser pelat baja atau *steel plate shear wall (SPSW)* merupakan sistem penahan beban lateral yang terdiri dari pelat baja dengan elemen pembatas, yaitu kolom yang merupakan elemen batas vertikal (VBE), dan balok sebagai elemen batas horizontal (HBE). Elemen pembatas berfungsi sebagai pemberi kekuatan dan penahan gaya gravitasi yang memungkinkan pelat baja mencapai tingkat kelelahan secara keseluruhan.

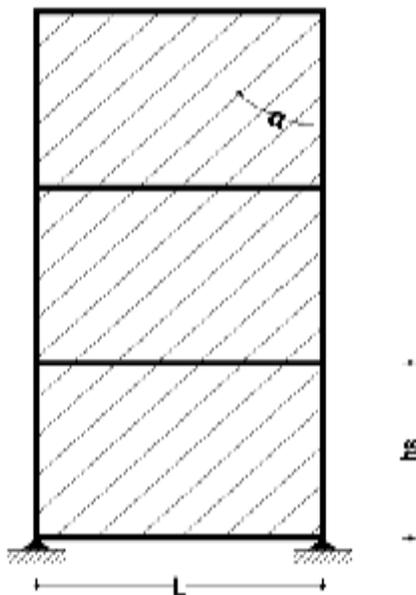


Gambar 2.7: Dinding geser pelat baja dengan elemen pembatasnya (Joseph Stankevicius, 2011).

2.8.1. Konsep Perencanaan Dinding Geser Baja

Analisis konsep *design* dan perencanaan dinding geser pelat baja mulai di kenalkan dan dikembangkan oleh Thorburn (1983), dimana analisis pemodelan tersebut diberi nama *strip model*, yang mana *strip model* dapat digunakan untuk memodelkan perilaku dinding geser pelat baja dan leleh tarik (*tensile yielding*) web/dinding baja pada sudut α . Pada strip model kemiringan sudut tunggal diambil sebagai rata-rata untuk keseluruhan panel yang dapat digunakan untuk menganalisis keseluruhan dinding, dimana jumlah dari strip per panel diambil lebih besar sama dengan 10. Metode analisis ini telah memperlihatkan korelasi dengan test data *physical*.

Pada tahun 2003, Berman dan Bruneau melakukan penelitian lanjutan dengan hasil bahwa idealnya dinding geser pelat baja harus direncanakan sedemikian rupa sehingga semua panel dinding geser pelat baja dapat meredam energi melalui deformasi inelastik ketika struktur terkena gempa. Oleh karena itu, ketebalan dari dinding geser pelat baja pada tiap lantai harus ditentukan dengan gaya geser lantai. Gambar model bidang SPSW dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8: Model bidang pada *Steel Plate Shear Wall* (Berman and Bruneau, 2003).

Pada SNI 7860:2015 ukuran sudut inklinasi, α , boleh diambil sebesar 40° , atau dapat diperhitungkan dengan menggunakan Pers. 2.8 berikut:

$$\tan^4 \alpha = \tan^4 \alpha = \frac{1 + \frac{t_w L}{2A_c}}{1 + t_w h \left(\frac{1}{A_b} + \frac{h^3}{360 I_c L} \right)} \quad (2.8)$$

dimana:

t_w = tebal badan (mm)

α = sudut dari pelelehan badan dalam derajat, diukur relatif terhadap vertikal.

A_b = luas profil EPH (mm^2)

A_c = luas profil EPV (mm^2)

I_c = momen inersia dari VBE yang diambil tegak lurus terhadap arah garis pelat web

a. Kekuatan geser desain

Berdasarkan SNI 7860:2015 penganalisisan badan dinding geser pelat khusus (DGPK) tidak boleh memperhitungkan sebagai penahan gaya gravitasi. Dalam penentuan beban seismik teramplifikasi efek gaya horizontal yang mencakup kekuatan lebih, E_{mh} , harus ditentukan dari suatu analisis dimana semua badan diasumsikan untuk menahan gaya-gaya yang diharapkan dalam tarik pada suatu sudut α . Kekuatan geser desain panel, V_n (DFBK), dan kekuatan geser izin V_n/Ω (DKI), sesuai dengan keadaan batas dari pelelehan geser dengan ketentuan pada Pers. 2.9 berikut:

$$V_n = 0,42 \cdot F_y \cdot t_w \cdot L_{cf} \cdot \sin 2\alpha \quad (2.9)$$

Dengan: $\phi = 0,90$ (DFBK), dan $\Omega = 1,67$ (DKI)

Dimana:

L_{cf} = jarak bersih antara sayap kolom (mm)

t_w = tebal badan (mm)

α = sudut dari pelelehan badan dalam derajat, diukur relatif terhadap

b. Persyaratan sistem perencanaan

Berdasarkan SNI 7860:2015 konsep perencanaan dinding geser pelat baja juga harus memperhitungkan EPH yang menahan gaya lentur pada setiap ujungnya yaitu pada Pers. 2.10 dan Pers. 2.11 berikut:

- $1,1.R_y.M_P$, untuk (DFBK) (2.10)

- $(1,1/1,5) R_y.M_P$, untuk (DKI) (2.11)

Dimana:

R_y = rasio dari tegangan leleh ekspektasi terhadap tegangan leleh minimum yang disyaratkan, F_y

M_P = kekuatan lentur plastis nominal (N.mm)

Kekakuan elemen pembatas vertikal (EPH) harus memiliki momen inersia di sumbu yang tegak lurus bidang badan, yaitu pada Pers. 2.12.

$$I_c > 0,0031 t_w h^4/L \quad (2.12)$$

Elemen pembatas horizontal harus memiliki momen inersia di sumbu yang tegak lurus bidang badan, yaitu pada Pers. 2.13.

$$I_b > 0,0031 t_w L^4/h \quad (2.13)$$

Dimana:

I_b = momen inersia EPH diambil tegak lurus pada arah baris pelat badan, (mm^4)

I_c = momen inersia EPV diambil tegak lurus pada arah baris pelat badan, (mm^4)

h = jarak antara sumbu EPV (mm)

t_w = tebal badan. (mm)

Pada SNI 7860:2015 elemen pembatas horizontal (EPH), elemen pembatas vertikal (EPV), dan elemen pembatas menengah disyaratkan harus memenuhi persyaratan pasal D1.1 untuk komponen struktur daktail tinggi dapat dilihat pada Tabel 2.1. di bawah.

Tabel 2.1: Batasan rasio lebar terhadap tebal elemen pembatas struktur berdasarkan SNI 7860:2015.

Batasan rasio lebar terhadap tebal untuk elemen tekan Untuk komponen struktur daktail sedang dan daktail tinggi			
Sayap dari profil I, kanal, dan T gilas atau tersusun kaki dari profil siku tunggal atau ganda dengan pemisah, kaki bebas dari sepasang profil siku tanpa pemisah.	Rasio lebar terhadap tebal	Batasan rasio lebar terhadap tebal	
		Komponen struktur daktail tinggi	Komponen struktur daktail sedang
	b/t	$0,30\sqrt{E/Fy}$	$0,38\sqrt{E/Fy}$
Sayap dari profil H menurut pasal D4	b/t	$0,45\sqrt{E/Fy}$	Tidak berlaku
Badan dari profil I gilas atau tersusun sebagai balok atau kolom	h/t_w	Untuk $Ca \leq 0,125$ $2,45\sqrt{E/Fy} (1-0,93 Ca)$	Untuk $Ca \leq 0,125$ $3,76\sqrt{E/Fy} (1-2,75 Ca)$
Pelat samping dari profil I tertutup digunakan sebagai balok atau kolom	h/t_w	Untuk $Ca > 0,125$ $0,77\sqrt{E/Fy} (1-0,93 Ca)$ $> 1,49\sqrt{E/Fy}$ Dengan: $Ca = Pu / Py$ (DFBK)	Untuk $Ca > 0,125$ $1,12\sqrt{E/Fy} (2,33 - Ca)$ $> 1,49\sqrt{E/Fy}$

2.9. Perencanaan Dinding Geser Komposit

Berdasarkan SNI 7860:2015 perencanaan dinding geser biasa komposit (DGBK) harus dirancang menurut ketentuan yang ada, dimana merupakan dinding geser beton bertulang yang komposit dengan elemen baja struktural, termasuk baja struktural atau penampang komposit yang bekerja sebagai komponen struktur pembatas untuk dinding dan balok baja struktural atau balok kopel komposit yang menghubungkan dua atau lebih dinding beton bertulang yang bersebelahan.

Perencanaan DGB-K harus dapat memberi kapasitas deformasi inelastik terbatas melalui pelelehan pada dinding beton bertulang dan elemen baja. Elemen dinding beton bertulang harus dirancang memberi deformasi inelastik pada simpangan tingkat desain konsisten dengan SNI 2847:2013.

Hal yang perlu diperhatikan dalam perencanaan dinding geser yaitu bahwa dinding geser tidak boleh runtuh akibat gaya geser. Hal ini disebabkan fungsi utama dari dinding geser sebagai penahan gaya geser yang besar akibat beban gempa.

Berdasarkan SNI 2847:2013, suatu dinding dikategorikan ke dalam dinding geser jika gaya geser rencana melebihi $(1/12 \cdot A_{cv} \cdot \sqrt{F_c})$. Jika kurang dari nilai tersebut maka dianggap sebagai dinding penumpu (memikul beban gravitasi).

a. Gaya-gaya rencana

Kuat geser nominal (V_n) dinding struktural tidak diperkenankan melebihi dari Pers. 2.14.

$$V_n \geq A_{cv} \cdot (\alpha_c \cdot \sqrt{F_c} + \rho_n \cdot F_y) \quad (2.14)$$

Dimana:

A_{cv} = penampang total dinding struktural (mm^2)

α_c = 1/4 untuk $h_w / l_w \leq 1,5$

1/6 untuk $h_w / l_w \geq 2,0$

l_w = panjang dinding keseluruhan atau segmen dinding yang ditinjau

h_w = tinggi dinding keseluruhan atau segmen dinding yang ditinjau.

ρ_n = rasio penulangan arah horizontal

F_c = kuat tekan beton yang diisyaratkan, MPa

F_y = kuat leleh tulangan yang diisyaratkan, MPa

b. Nilai rasio (h_w / l_w) yang dipakai untuk menentukan V_n untuk segmen-segmen dinding harus merupakan nilai terbesar dari rasio untuk dinding geser keseluruhan dan segmen dinding tersebut.

- Dinding harus mempunyai tulangan geser tersebar yang memberikan tahanan dalam dua arah orthogonal pada bidang dinding. Apabila rasio (h_w / l_w) tidak melebihi 2, rasio penulangan ρ_v tidak boleh kurang dari rasio penulangan ρ_n .
- Kuat geser nominal sistem dinding struktural yang secara bersama-sama memikul beban lateral tidak boleh diambil melebihi $\frac{2}{3} \cdot A_{cv} \cdot \sqrt{F_c}$
- Kuat geser nominal tiap dinding individual tidak boleh diambil melebihi $\frac{5}{6} \cdot A_{cv} \cdot \sqrt{F_c}$

c. Penulangan Longitudinal dan Transversal Dinding Geser

Sesuai dengan ketentuan SNI 2847:2013 pasal 14.3, disyaratkan rasio minimum untuk luas tulangan vertikal terhadap luas bruto beton haruslah:

- 0,0012 untuk batang ulir \leq D16 dengan tegangan leleh yang disyaratkan 400 Mpa.
- 0,0015 untuk batang ulir lainnya.
- 0,0012 untuk tulangan kawat las (polos atau ulir) \leq 16 atau D16.

Pada dinding dengan ketebalan \geq 250 mm, kecuali dinding bawah tanah harus dipasang dua lapis tulangan di masing-masing arah yang sejajar dengan bidang muka dinding dengan pengaturan sebagai berikut:

- Satu lapis tulangan yang terdiri tidak kurang dari pada setengah dan tidak lebih daripada dua pertiga jumlah total tulangan yang dibutuhkan pada masing-masing arah, harus ditempatkan pada bidang yang berjarak tidak kurang dari 50 mm dan tidak lebih daripada sepertiga ketebalan dinding dari permukaan luar dinding.

- Lapis lainnya, yang terdiri dari sisa tulangan dalam arah tersebut diatas, harus ditempatkan pada bidang yang berjarak tidak kurang dari 20 mm dan tidak lebih dari sepertiga tebal dinding dari permukaan dalam dinding. Jarak antara tulangan-tulangan vertikal dan antara tulangan-tulangan horizontal tidak boleh lebih besar daripada tiga kali ketebalan dinding dan tidak pula lebih besar dari 500 mm.
- d. Komponen struktur pembatas
- Komponen struktur pembatas harus memenuhi persyaratan berikut:
- Kekuatan aksial perlu dari komponen struktur pembatas harus ditentukan dengan asumsi bahwa gaya geser yang disalurkan melalui dinding beton bertulang, dan keseluruhan gravitasi serta gaya guling disalurkan melalui komponen struktur pembatas bersama-sama dengan dinding geser.
 - Apabila komponen struktur pembatas dari baja struktural terbungkus beton memenuhi syarat sebagai suatu kolom komposit seperti dijelaskan dalam spesifikasi untuk bangunan gedung baja struktural bab 1, maka harus dirancang sebagai kolom komposit untuk memenuhi persyaratan bab I spesifikasi untuk bangunan gedung baja struktural.
 - Paku geser berkepala atau angkur tulangan di las harus memberi penyaluran kekuatan geser perlu antara komponen struktur pembatas baja dan dinding beton bertulang. Paku geser kepala, jika digunakan, harus memenuhi persyaratan spesifikasi untuk bangunan gedung baja struktural bab I. Angkur tulangan dilas, jika digunakan harus memenuhi persyaratan struktural *welding code-reinforcing steel* (AWS D1/D1.4M).

2.10. Struktur Gedung Beraturan Dan Tidak Beraturan

Berdasarkan SNI 1726-2012 Pasal 7.3.2, perencanaan struktur bangunan atau gedung dapat dibedakan menjadi 2, yaitu struktur gedung beraturan dan struktur gedung tidak beraturan.

2.10.1. Struktur Gedung Beraturan

Struktur gedung ditetapkan sebagai struktur gedung beraturan apabila memenuhi ketentuan sebagai berikut:

- a. Tinggi struktur gedung diukur dari taraf penjepitan lateral tidak lebih dari 10 tingkat atau 40 m.
- b. Denah struktur gedung adalah persegi panjang tanpa tonjolan. Tonjolan tersebut tidak lebih dari 25% dari ukuran terbesar denah struktur gedung dalam arah tonjolan tersebut.
- c. Denah struktur gedung tidak menunjukkan coakan sudut. Jika terdapat coakan sudut, panjang sisi coakan sudut tersebut tidak lebih dari 15% ukuran terbear denah struktur sisi coakan tersebut.
- d. Sistem struktur gedung tidak menunjukkan loncatan bidanag muka dan kalaupun mempunyai loncatan bidang muka, ukuran dari denah struktur bagian gedung yang menjulang dalam masing-masing arah tidak kurang dari 75% ukuran terbesar denah struktur bagian gedung bagian bawahnya.
- e. Sistem struktur gedung terbentuk oleh subsistem-subsistem penahan beban lateral yang arahnya saling tegak lurus dan sejajar dengan sumbu-sumbu utama orthogonal denah struktur gedung secara keseluruhan.
- f. Sistem struktur gedung memiliki kekakuan lateral yang beraturan tanpa adanya tingkat lunak (*soft story*).
- g. Sistem struktur gedung memiliki berat lantai tingkat yang beraturan, artinya setiap tingkat lantai memiliki berat yang tidak lebih dari 150% berat lantai tingkat di atasnya ataupun di bawahnya.
- h. Sistem struktur gedung memiliki unsur-unsur vertikal dari sitem penahan beban lateral yang menerus tanpa ada perpindahan titik beratnya kecuali bila perpindahan tersebut tidak lebih dari setengah ukuran unsur dalam arah perpindahan tersebut.
- i. Sistem struktur gedung memiliki lantai tingkat yang menerus tanpa lubang atau bukaan yang luasnya lebih dari 50% luas seluruh tingkat.

2.10.2. Struktur Gedung Tidak Beraturan

Struktur gedung ditetapkan sebagai struktur gedung tidak beraturan jika tidak memenuhi persyaratan struktur gedung beraturan, pengaruh gempa rencana harus ditinjau sebagai pengaruh pembebanan dinamik.

2.11. Pembebanan Untuk Perencanaan Bangunan Gedung

Pembebanan struktur berdasarkan SNI 1727:2013, PPIUG 1983 dan SNI 1726:2012. Beban yang bekerja pada struktur berupa beban mati, beban hidup dan beban gempa.

2.11.1. Beban Mati

Beban mati merupakan berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, *finishing*, kaling gedung dan komponen arsitektural dan struktural lain serta peralatan layan terpasang lain termasuk berat keran. Beban mati terdiri dari :

- Berat bahan konstruksi :
 - Berat sesungguhnya bahan.
 - Data berat jenis dan berat bahan pada standar sebelumnya bisa digunakan.
- Berat peralatan layan tetap :
 - Peralatan/ mesin yang menyatu dan selalu ada selama masa layan bangunan seperti : peralatan plambing, M/E, alat pemanas, ventilasi, sistem pengkondisian udara dll.

Adapun berat jenis dari bahan bangunan dan berat per satuan luas yang diambil dari Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG 1983) dapat dilihat di bawah ini:

- Bahan Bangunan
 - Baja 7.850 kg/m³
 - Beton 2.200 kg/m³
 - Beton bertulang 2.400 kg/m³

- Komponen Gedung
 - Dinding pasangan bata merah:
 - § Satu batu 450 kg/m²
 - § Setengah batu 250 kg/m²
 - Adukan per cm tebal:
 - § Dari semen 21 kg/m²
 - § Dari kapur, semen merah atau tras 17 kg/m²
 - Langit-langit, terdiri dari:
 - § Semen asbes, tebal maks 4 mm 11 kg/m²
 - § Kaca, tebal 3 - 4 mm 10 kg/m²
 - Penggantung langit-langit (dari kayu) 7 kg/m²
 - Penutup lantai 24 kg/m²
 -

2.11.2. Beban Hidup

Beban hidup merupakan beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk bahan konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir atau beban mati.

Beban hidup atap merupakan beban pada atap yang diakibatkan pelaksanaan pemeliharaan oleh pekerja, peralatan dan material dan selama masa layan struktur yang diakibatkan oleh benda bergerak, seperti tanaman atau benda dekorasi kecil yang tidak berhubungan dengan penghunian.

- Beban merata :
 - Minimum sesuai Tabel 2.2
- Beban terpusat :
 - Untuk lantai, atap dan sejenisnya
 - Bekerja merata di area 762 mm x 762 mm
 - Minimum sesuai Tabel 2.2
 - Penempatan pada lokasi yang menghasilkan efek beban maksimum

- Beban partisi :
 - Minimal 0,72 kN/m²
- Beban dampak :
 - Tangga berjalan : mengacu pada ASME A17.1
 - Mesin :
 - Mesin ringan : berat ditingkatkan 20%
 - Mesin bergerak maju mundur : berat ditingkatkan 50%

Tabel 2.2: Beban hidup terdistribusi merata minimum, L_o dan beban hidup terpusat minimum.

Hunian atau penggunaan	Merata Psf (kN/m ²)	Terpusat Lb (kN)
Sistem lantai akses		
Ruang kantor	50 (2,4)	2000 (8,9)
Ruang computer	100 (4,79)	2000 (8,9)
Gudang persenjataan dan ruang latihan	150 (7,18) ^a	
Ruang pertemuan		
Kursi tetap (terikat di lantai)	100 (4,79) ^a	
Lobi	100 (4,79) ^a	
Kursi dapat dipindahkan	100 (4,79) ^a	
Panggung pertemuan	100 (4,79) ^a	
Lantai podium	150 (7,18) ^a	
Ruang makan dan restoran	100 (4,79) ^a	
Hunian (lihat rumah tinggal)		
Ruang mesin elevator pada daerah 2 in x 2 in (50 mm x 50 mm)		300 (1,33)
Konstruksi pelat lantai <i>finishing</i> ringan pada area 1 in x 1 in (25 mm x 25 mm)		200 (0,89)
Jalur penyelamatan terhadap kebakaran	100 (4,79)	
Hunian satu keluarga saja	40 (1,92)	
Rumah sakit :		
Ruang operasi, laboratorium	60 (2,87)	1000 (4,45)
Ruang pasien	40 (1,92)	1000 (4,45)
Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	1000 (4,45)
Hotel (lihat rumah tinggal)		
Perpustakaan		
Ruang baca	60 (2,87)	1000 (4,45)
Ruang penyimpanan	150 (7,18) ^{a, h}	1000 (4,45)
Koridor di atas lantai pertama	80 (3,83)	1000 (4,45)

Tabel 2.2: *Lanjutan.*

Pabrik Ringan Berat	125 (6,00) ^a 250 (11,97) ^a	2000 (8,90) 3000 (13,40)
Gedung perkantoran : Ruang arsip dan komputer harus dirancang untuk beban yang lebih berat berdasarkan pada perkiraan hunian Lobi dan koridor lantai pertama Kantor Koridor di atas lantai pertama	100 (4,79) 50 (2,40) 80 (3,83)	2000 (8,90) 2000 (8,90) 2000 (8,90)
Tempat rekreasi Tempat bowling, kolam renang dan penggunaan yang sama Bangsal dansa dan ruang dansa Gimnasium Tempat menonton baik terbuka atau tertutup Stadium dan tribun/ arena dengan tempat duduk tetap (terikat pada lantai)	75 (3,59) ^a 100 (4,79) ^a 100 (4,79) ^a 100 (4,79) ^a 60 (2,87) ^{a, k}	
Rumah tinggal Hunian (satu keluarga dan dua keluarga) Loteng yang tidak dapat didiami tanpa gudang Loteng yang tidak dapat didiami dengan gudang Loteng yang dapat didiami dan ruang tidur Semua ruang kecuali tangga dan balkon Semua hunian rumah tinggal lainnya Ruang pribadi dan koridor yang melayani mereka	10 (0,48) ^l 20 (0,96) ^m 30 (1,44) 40 (1,92) 40 (1,92)	
Sekolah Ruang kelas Koridor di atas lantai pertama Koridor lantai pertama	40 (1,92) 80 (3,83) 100 (4,79)	1000 (4,5) 1000 (4,5) 1000 (4,5)
Tangga dan jalan keluar Ruang tinggal untuk satu dn keluarga saja	100 (4,79) 40 (1,92)	300 ^r 300 ^r
Toko Eceran Lantai pertama Lantai di atasnya Grosir, di semua lantai	100 (4,79) 75 (3,59) 125 (6,00) ^a	1000 (4,45) 1000 (4,45) 1000 (4,45)

- Reduksi beban hidup merata
 - Untuk struktur dengan $K_{LL}A_T \geq 37,16 \text{ m}^2$
 - $L \geq 4,79 \text{ kN/m}^2$, garasi dan tempat pertemuan tidak boleh direduksi.

Beban hidup tereduksi dihitung dengan Pers. 2.15.

$$L = L_0 \left(0,25 + \frac{4,57}{\sqrt{K_{LL} \cdot A_T}} \right) \quad (2.15)$$

$L \geq 0,50 L_0$ - Komponen strujtur penyangga 1 lantai

$L \geq 0,40 L_0$ - Komponen strujtur penyangga ≥ 2 lantai

Dimana:

L = Beban hidup desain tereduksi

L_0 = Beban hidup desain tanpa reduksi

K_{LL} = Faktor elemen beban hidup berdasarkan Tabel 2.3

A_T = Luas tributary

Tabel 2.3: Faktor elemen beban hidup, K_{LL} .

Elemen	K_{LL}^a
Kolom-kolom interior	4
Kolom-kolom eksterior tanpa pelat kantilever	4
Kolom-kolom tepi dengan pelat kantilever	3
Kolom-kolom sudut dengan pelat kantilever	2
Balok-balok tepi tanpa pelat-pelat kantilever	2
Balok-balok interior	2
Semua komponen struktur yang tidak disebut di atas: Balok-balok tepi dengan pelat-pelat kantilever Balok-balok kantilever Pelat-pelat satu arah Pelat-pelat satu arah Komponen struktur tanpa ketentuan-ketentuan untuk penyaluran Geser menerus tegak lurus terhadap bentangnya	1

2.11.3. Beban Gempa

Beban gempa merupakan beban yang timbul akibat pergerakan tanah dimana struktur tersebut berdiri. Pembebanan struktur beban gempa berdasarkan SNI 1726:2012. Analisis beban gempa terdapat 3 cara analisis, yaitu analisis gaya lateral ekuivalen, analisis spektrum respons ragam dan prosedur riwayat respons seismik.

Kombinasi beban untuk metode ultimit struktur, komponen-komponen struktur, dan elemen-elemen fondasi harus sedemikian hingga kuat rencananya sama atau melebihi pengaruh beban-beban terfaktor.

Menurut Budiono dan Supriatna (2011), faktor-faktor dan kombinasi beban untuk beban mati nominal, beban hidup nominal dan beban gempa nominal adalah:

1. 1,4 DL
2. 1,2 DL + 1,6 LL
3. $1,2 DL + 1 LL \pm 0,3 (\rho Q_E + 0,2 S_{DS} DL) \pm 1 (\rho Q_E + 0,2 S_{DS} DL)$
4. $1,2 DL + 1 LL \pm 1 (\rho Q_E + 0,2 S_{DS} DL) \pm 0,3 (\rho Q_E + 0,2 S_{DS} DL)$
5. $0,9 DL \pm 0,3 (\rho Q_E - 0,2 S_{DS} DL) \pm 1 (\rho Q_E - 0,2 S_{DS} DL)$
 $0,9 DL \pm 1 (\rho Q_E + 0,2 S_{DS} DL) \pm 0,3 (\rho Q_E - 0,2 S_{DS} DL)$

dimana:

DL = Beban mati, termasuk SIDL

LL = Beban hidup

EX = Beban gempa arah-x

EY = Beban gempa arah-y

ρ = Faktor reduksi, untuk desain seismik D sampai F nilainya 1,3

S_{DS} = Parameter percepatan spektrum respon desain pada perioda pendek

Q_E = Pengaruh gaya seismik horizontal dari V, yaitu gaya geser desain total di dasar struktur dalam arah yang ditinjau. Pengaruh tersebut harus dihasilkan dari penerapan gaya horizontal secara serentak dalam dua arah tegak lurus satu sama lain

Untuk penggunaan dalam kombinasi beban (3) dan (4), E harus didefinisikan sesuai dengan Pers. 2.16.

$$E = E_h + E_v \quad (2.16)$$

Untuk penggunaan dalam kombinasi beban (5) dan (6), E harus didefinisikan sesuai dengan Pers. 2.17.

$$E = E_h - E_v \quad (2.17)$$

dimana:

E = Pengaruh beban seismik

E_h = Pengaruh beban seismik horizontal yang akan didefinisikan selanjutnya

E_v = Pengaruh beban seismik vertikal yang akan didefinisikan selanjutnya

Untuk pengaruh beban seismik E_h harus ditentukan dengan Pers. 2.18.

$$E_h = \rho Q_E \quad (2.18)$$

dimana:

Q = pengaruh gaya seismik horizontal dari V atau F_p

ρ = Faktor redundansi, untuk desain seismik D sampai F nilainya 1,3

Sedangkan pengaruh beban seismik E_v harus ditentukan dengan Pers. 2.19.

$$E_v = 0,2 S_{DS} DL \quad (2.19)$$

dimana:

S_{DS} = Parameter percepatan spektrum respons desain pada perioda pendek

DL = Pengaruh beban mati

Faktor redundansi (ρ) harus dikenakan pada sitem penahan gaya seismik masing-masing dalam kedua arah ortogonal untuk semua struktur.

Kondisi dimana nilai ρ diizinkan 1 sebagai berikut:

- Struktur dirancang untuk kategori desain seismik B atau C.
- Perhitungan simpangan antar lantai dan pengaruh P-delta; desain komponen nonstruktural.
- Desain struktural nongedung yang tidak mirip dengan bangunan gedung.
- Desain elemen kolektor, sambungan lewatan, dan sambungannya dimana kombinasi beban dengan faktor kuat-lebih berdasarkan pasal 7.4.3 pada SNI 1726:2012 yang digunakan
- Desain elemen struktur atau sambungan dimana kombinasi beban dengan faktor kuat-lebih berdasarkan pasal 7.4.3 disyaratkan untuk didesain.

Beban diafragma ditentukan dengan menggunakan Pers. 2.20, yaitu:

$$F_{px} = \frac{\sum_{i=x}^n F_i}{\sum_{i=x}^n w_i} W_{px} \quad (2.20)$$

dimana:

F_{px} = Gaya desain diafragma

F_i = Gaya desain yang diterapkan di tingkat i

w_i = Tributari berat sampai tingkat i

w_{px} = Tributari berat sampai diafragma di tingkat x

dimana F_{px} tidak boleh kurang dari Pers. 2.21.

$$F_{px} = 0,2 S_{DS} I_{ex} W_{px} \quad (2.21)$$

dan F_{px} tidak boleh melebihi dari Pers. 2.22.

$$F_{px} = 0,4 S_{DS} I_{ex} W_{px} \quad (2.22)$$

- Struktur bagian sistem peredaman
- Desain dinding geser struktural terhadap gaya keluar bidang, termasuk sistem angkurnya.

Untuk struktur yang dirancang bagi kategori desain seismik D,E, dan F faktor reduksi (ρ) harus sama dengan 1,3; kecuali jika satu dari dua kondisi berikut dipenuhi dimana ρ izinkan diambil sebesar 1:

- Masing-masing tingkat yang menahan lebih dari 35% geser dasar dalam arah yang ditinjau sesuai dengan Tabel 2.4.
- 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.

Tabel 2.4: 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 torsi berlebihan (ketidakberaturan horizontal Tipe 1b).
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 horizontal Tipe b).
Dinding geser atau pilar dinding dengan rasio tinggi terhadap panjang lebih besar dari 1,0	Pelepasan dinding geser atau pier dinding dengan rasio tinggi terhadap panjang lebih besar dari 1,0 di semua tingkat atau saambungan kolektor yang terhubung, tidak akan mengakibatkan lebih dari reduksi kuat tingkat sebesar 33 %, atau sistem yang dihasilkan mempunyai (ketidakberaturan horizontal Tipe b).
Kolom kantilever	Kehilangan tahanan momen di sambungan dasar semua kolom kantilever tunggal tidak akan mengakibatkan lebih dari reduksi kuat tingkat sebesar 33 persen atau sistem yang dihasilkan mempunyai ketidakberaturan torsi berlebihan (ketidakberaturan horizontal Tipe 1b).
Lainnya	Tidak ada persyaratan

2.11.4. Arah Pembebanan Gempa

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%.

2.12. Kriteria Desain Perencanaan Struktur Gedung Tahan Gempa

2.12.1. Faktor Keutamaan (I_e) dan Katagori Risiko Struktur Bangunan

Berdasarkan SNI 1762:2012 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.

Tabel 2.5: 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">• Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan• Fasilitas sementara• Gedung penyimpanan• Rumah jaga dan struktur kecil lainnya	I

Tabel 2.5: *Lanjutan.*

<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori resiko I, III, IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Perumahan • Rumah toko dan rumah kantor • Pasar • Gedung perkantoran • Gedung apartemen/Rumah susun • Pusat perbelanjaan/Mall • Bangunan industri • Fasilitas manufaktur Pabrik 	<p>II</p>
<p>Gedung dan struktur lainnya yang memiliki resiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bioskop • Gedung pertemuan • Stadion • Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit gawat darurat <p>Gedung dan struktur lainnya, tidak termasuk kedalam kategori resiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pusat pembangkit listrik biasa • Fasilitas penanganan air • Fasilitas penanganan limbah • Pusat telekomunikasi <p>Gedung dan struktur lainnya yang tidak termasuk dalam kategori resiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, atau bahan yang mudah meledak).</p>	<p>III</p>
<p>Gedung dan struktur lainnya yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bangunan-bangunan monumental • Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan • Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedan dan unit gawat darurat • Fasilitas pemadam kebakaran 	<p>IV</p>

Tabel 2.6: Faktor keutamaan (I_e), berdasarkan SNI 1726:2012.

Kategori resiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,5

2.12.2. Faktor Reduksi Gempa (R)

Berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 7.2 Tabel 9, sistem struktur memiliki penahan gaya seismik yang ditentukan oleh parameter-parameter. Faktor koefisien modifikasi respons, faktor kuat lebih sistem, faktor pembesaran defleksi, berdasarkan SNI 1726:2012 dapat dilihat pada Tabel 2.7 di bawah ini. .

Tabel 2.7: Faktor koefisien modifikasi respons, faktor kuat lebih sistem, faktor pembesaran defleksi, berdasarkan SNI 1726:2012.

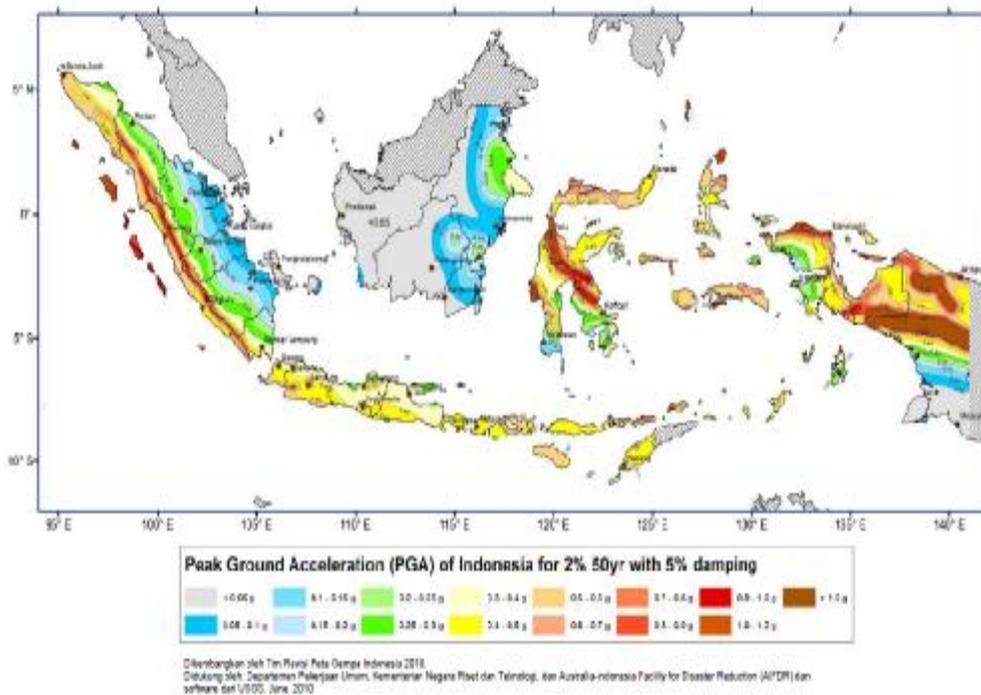
No	Sistem penahan gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat lebih sistem, Ω_0^g	Faktor pembesaran defleksi, C_d^b
D	Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang menahan > 25 % gaya gempa			
1	Dinding geser pelat baja khusus	8	2 ½	6 ½
2	Dinding geser beton bertulang biasa	6	2 ½	5

2.12.3. Wilayah Gempa

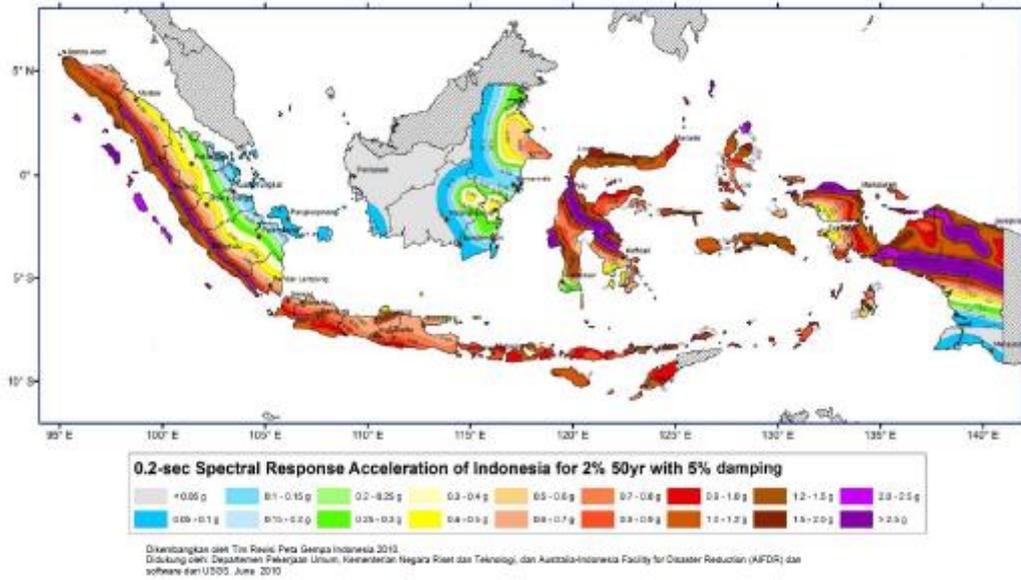
Pada umumnya, desain struktur bangunan tahan gempa merupakan desain yang mengatur hubungan antara respon gaya horizontal yang bekerja pada struktur (faktor kekuatan), kekakuan (*stiffness*), dan deformasi lateral struktur. Kekuatan struktur dirancang agar saat terjadi gempa kekuatannya dapat tercapai

(*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.

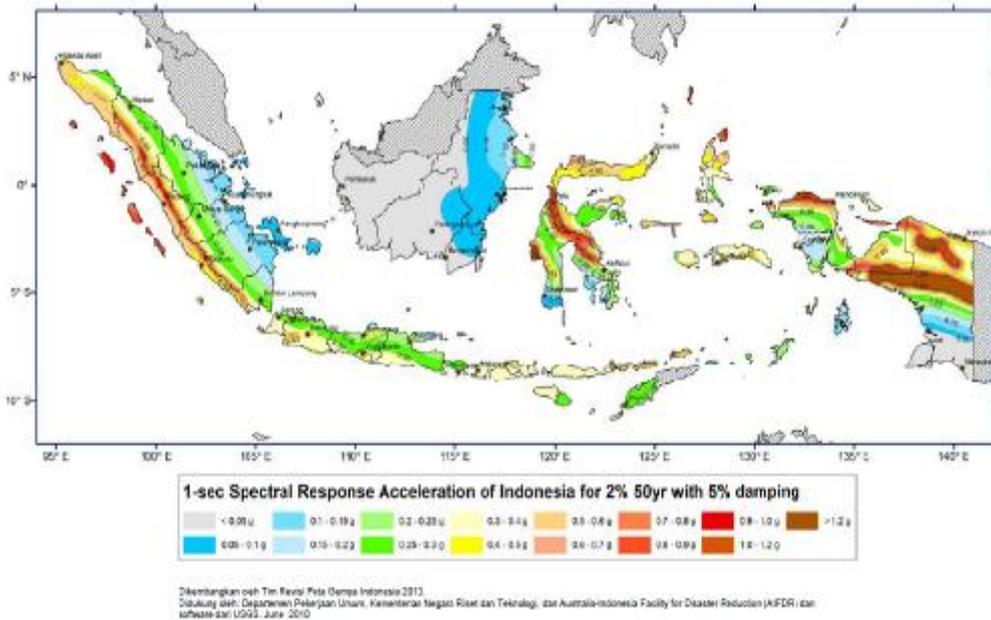
Berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 14, wilayah gempa Indonesia ditetapkan berdasarkan parameter S_s (percepatan batuan dasar pada periode pendek 0,2 detik) dan S_l (percepatan batuan tanah dasar pada periode 1 detik). Peta percepatan puncak, S_s (percepatan batuan dasar pada periode pendek 0,2 detik) dan S_l (percepatan batuan tanah dasar pada periode 1 detik) dapat dilihat pada Gambar 2.8 sampai 2.10 di bawah ini.



Gambar 2.8: Peta percepatan puncak (PGA) di batuan dasar (S_B) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun dengan redaman 5% (SNI 1726:2012).



Gambar 2.9: Peta respon spektra percepatan 0,2 detik (S_0) di batuan dasar (S_B) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun dengan redaman 5% (SNI 1726:2012).



Gambar 2.10: 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).

2.12.4. 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_I , 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 2.8 dan Tabel 2.9.

Tabel 2.8: 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 2.9: 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

2.12.5. Klasifikasi Situs

Berdasarkan SNI 1726:2012 menyatakan bahwa dalam perumusan kriteria desain seismik 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 2.10, penetapan kelas situs didasarkan atas hasil penyelidikan tanah di lapangan dan di laboratorium.

Tabel 2.10: 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 luanak)	350 sampai 750	> 50	≥ 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: 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 6.9.1)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: <ul style="list-style-type: none"> • Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah • Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m) • Lempung berplastisitas sangat tinggi (ketebalan $H > 7,5$ m dengan Indeks Plastisitas $PI > 75$) Lapisan lempung lunak/setengah tegu dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $\bar{S}_u < 50$ kPa		

2.12.6. Respon Spektrum Desain

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. 2.23 dan Pers. 2.24:

$$S_{MS} = F_a \times S_S \quad (2.23)$$

$$S_{MI} = F_v \times S_I \quad (2.24)$$

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

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

F_a = Koefisien perioda pendek

F_v = Koefisien perioda 1,0 detik

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

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, S_S				
	$S_S \leq 0,25$	$S_S = 0,5$	$S_S = 0,75$	$S_S = 0,4$	$S_S \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	SS^b				

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

Kelas situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE_R) terpetakan pada periode pendek, $T = 1$ detik, S_I				
	$S_I \leq 0,1$	$S_I = 0,2$	$S_I = 0,3$	$S_I = 0,4$	$S_I \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2,0	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS^b				

Menurut SNI 1726:2012 untuk mendapatkan parameter percepatan spektra desain, spektra percepatan desain untuk perioda pendek (S_{DS}) dan perioda 1 detik (S_{D1}) dapat diperoleh dari Pers. 2.25 dan Pers. 2.26.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (2.25)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (2.26)$$

Dimana:

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

S_{D1} = Respon spektra percepatan desain untuk perioda 1,0 detik

Selanjutnya, untuk mendapatkan spektrum respons desain harus mengikuti ketentuan berikut:

1. Untuk perioda yang lebih kecil dari T_0 , spektrum respons percepatan desain, S_a didapatkan dari Pers. 2.27.

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (2.27)$$

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. 2.28.

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (2.28)$$

Dimana:

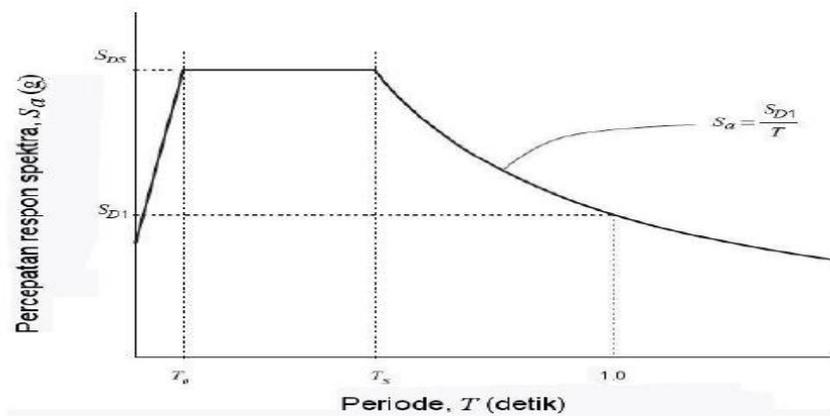
T = Perioda getar fundamental struktur

Untuk nilai T_0 dan T_s dapat ditentukan dengan Pers. 2.29 dan Pers. 2.30.

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{T} \quad (2.29)$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2.30)$$

Bentuk tipikal spektrum respon desain di permukaan tanah berdasarkan SNI 1726:2012 dapat dilihat pada Gambar 2.11 di bawah ini.



Gambar 2.11: Bentuk tipikal spektrum respon desain di permukaan tanah (SNI 1726:2012).

2.13. Ketidakberaturan horizontal dan vertikal

Berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 7.3.2.1 dan pasal 7.3.2.2 ketidakberaturan struktur bangunan dapat dibedakan menjadi ketidakbertaturan horizontal dan vertikal. Ketidakberaturan horizontal dan vertikal dapat dilihat pada Tabel 2.13 dan Tabel 2.14.

Tabel 2.13: Ketidakberaturan horizontal pada struktur berdasarkan SNI 1726:2012

	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal referensi	Penerapan kategori desain seismic
1a.	Ketidakteraturan torsi di definisikan ada jika simpangan antar lantai tingkat maksimum, torsi yang dihitung termasuk tak terduga, di sebuah ujung struktur 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 untuk struktur di mana diafragma kaku atau setengah kaku.	7.3.3.4 7.7.3 7.8.4.3 7.12..1 Tabel 13 12.2.2	D, E, dan F B, C, D, E dan F C, D, E dan F C, D, E dan F D, E, dan F

Tabel 2.13: *Lanjutan.*

1b.	Ketidakteraturan torsi berlebihan di definisikan 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 ketidakteraturan torsi berlebihan dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragmanya kaku atau setengah kaku.	7.3.3.1 7.3.3.4 7.7.3 7.8.4.3 7.12.1 Tabel 13 12.2.2	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 struktur dari sudut dalam lebih besar dari 15 persen dimensi denah struktur dalam arah yang ditentukan.	7.3.3.4 Tabel 13	D, E, dan F D, E, dan F
3.	Ketidakteraturan diskontinuitas diafragma didefinisikan ada jika terdapat diafragma dengan diskontinuitas atau variasi kekakuan mendadak, termasuk yang mempunyai daerah terpotong atau terbuka lebih besar dari 50 persen daerah diafragma bruto yang melingkupinya, atau perubahan kekakuan diafragma efektif lebih dari 50 persen dari suatu tingkat ke tingkat selanjutnya.	7.3.3.4 Tabel 13	D, E, dan F D, E, dan F
4.	Ketidakteraturan gesekan melintang terhadap bidang didefinisikan ada jika terdapat diskontinuitas dalam lintasan tahanan gaya lateral, seperti geseran melintang terhadap bidang elemen vertikal.	7.3.3.3 7.3.3.4 7.7.3 Tabel 13 12.2.2	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.	Ketidakteraturan sistem nonparalel didefinisikan ada jika elemen penahan gaya lateral vertikal tidak paralel atau simetris terhadap sumbu-sumbu orthogonal utama sistem penahan gaya gempa.	7.5.3. 7.7.3 Tabel 13 12.2.2	C, D, E dan F B, C, D, E dan F D, E, dan F B, C, D, E dan F

Tabel 2.14: Ketidakberaturan vertikal pada struktur berdasarkan SNI 1726:2012

	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal referensi	Penerapan kategori desain seismic
1 a	Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat di mana kekakuan lateralnya kurang dari 70 persen kekakuan leteral tingkat di atasnya atau kurang dari 80 persen kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.	Tabel 13	D, E, dan F
1 b	ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak berlebihan didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat di mana kekakuan lateralnya kurang dari 60 persen kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 70 persen kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.	7.3.3.1 Tabel 13	E dan F D, E dan F
2.	Ketidakberaturan berat (massa) didefinisikan ada jika massa efektif semua tingkat lebih dari 150 persen massa efektif tingkat di dekatnya. Atap yang lebih ringan dari lantai di bawahnya tidak perlu di tinjau.	Tabel 13	D, E, dan F
3.	Ketidakberaturan geometri vertikal didefinisikan ada jika dimensi horisontal sistem penahan gaya seismic di semua tingkat lebih dari 130 persen dimensi horisontal sistem penahanan gaya seismic tingkat di dekatnya.		
4.	Diskontinuitas arah bidang dalam ketidakberaturan elemen penahan gaya lateral vertikal didefinisikan ada jika pegeseran arah bidang elemen penahan gaya lateral lebih besar dari panjang elemen itu atau terdapat reduksi kekakuan elemen penahan di tingkat di bawahnya.	7.3.3.3 7.3.3.4 Tabel 13	B, C, D, E dan F D, E dan F D, E dan F
5 a.	Diskontruksi dalam ketidakberaturan kuat lateral tingkat di definisikan ada jika kuat lateral tingkat kurang dari 80 persen kuat lateralnya tingkat di atasnya. Kuat lateral tingkat adalah kuat lateral total semua elemen penahan seismic yang berbagi geser tingkat untuk arah yang ditinjau.		E dan F D, E dan F
5 b.	Diskontinuitas dalam ketidakberaturan kuat lateral tingkat yang berlebihan di definisikan ada jika kuat lateral tingkat kurang dari 65 persen kuat lateral tingkat di atasnya.	7.3.3.1 7.3.3.2 Tabel 13	D, E dan F B dan C D, E dan F

2.14. Analisa Struktur Untuk Bangunan Tinggi

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

1. Analisis beban statik ekuivalen adalah suatu cara analisis struktur dimana pengaruh gempa pada struktur dianggap sebagai beban statik horizontal yang diperoleh dengan hanya memperhitungkan respon ragam getar yang pertama. Biasanya distribusi gaya geser tingkat ragam getar yang pertama ini di sederhanakan sebagai segitiga terbalik.
2. Analisis dinamik adalah analisis struktur dimana pembagian gaya geser gempa di seluruh tingkat diperoleh dengan memperhitungkan pengaruh dinamis gerakan tanah terhadap struktur. Analisis dinamik terbagi menjadi 2, yaitu :
 - a. Analisis ragam respon spektrum dimana total respon didapat melalui superposisi dari respon masing-masing ragam getar.
 - b. Analisis riwayat waktu adalah analisis dinamis dimana pada model struktur diberikan suatu catatan rekaman gempa dan respon struktur dihitung langkah demi langkah pada interval tertentu.

2.14.1. Analisis Gaya Lateral Ekuivalen

2.14.1.1. Geser Dasar Seismik

Berdasarkan SNI 1726:2012, geser dasar seismik (V) dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan Pers. 2.31.

$$V = C_s \times W_t \quad (2.31)$$

dimana:

C_s = Koefisien respon seismik yang ditentukan

W_t = Berat total gedung

2.14.1.2. 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. 2.32.

$$C_{s \text{ maksimum}} = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I}\right)} \quad (2.32)$$

dimana:

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

R = Faktor modifikasi respon berdasarkan Tabel 2.7

I = Faktor keutamaan hunian yang ditentukan berdasarkan Tabel 2.5

Nilai C_s maksimum di atas tidak perlu melebihi C_s hitungan pada Pers. 2.33.

2. C_s hasil hitungan

$$C_{s \text{ hasil hitungan}} = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I}\right)} \quad (2.33)$$

dimana:

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

R = Faktor modifikasi respon berdasarkan Tabel 2.7

I = Faktor keutamaan hunian yang ditentukan berdasarkan Tabel 2.5

T = Perioda struktur dasar (detik)

Nilai C_s hitungan di atas tidak perlu kurang dari nilai C_s minimum pada Pers. 2.34.

3. C_s minimum

$$C_{s \text{ minimum}} = 0,044 S_{DS} \quad I \geq 0,01 \quad (2.34)$$

dimana:

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

I = Faktor keutamaan hunian yang ditentukan berdasarkan Tabel 2.5

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. 2.35.

4. C_s minimum tambahan

$$C_s \text{ minimum tambahan} = \frac{0,5S_1}{\left(\frac{R}{I}\right)} \quad (2.35)$$

dimana:

S_1 = Parameter percepatan respon spektrum desain yang dipetakan

R = Faktor modifikasi respon berdasarkan Tabel 2.7

I = Faktor keutamaan hunian yang ditentukan berdasarkan Tabel 2.5

2.15. 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 properti struktur dan karakteristik deformasi elemen penahan dalam analisis yang teruji.

1. Periode fundamental pendekatan (T_a), dalam detik ditentukan dari Pers. 2.36 berikut:

$$T_a \text{ minimum} = C_t x h_n^x \quad (2.36)$$

dimana:

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

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

C_t = Ditentukan dari Tabel 2.15

x = Ditentukan dari Tabel 2.15

Tabel 2.15: 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^a	0.8
Rangka beton pemikul momen	0.0466^a	0.9
Rangka baja dengan bracing eksentris	0.0731^a	0.75
Rangka baja dengan bracing terkekang terhadap tekuk	0.0731^a	0.75
Semua sistem struktur lainnya	0.0488^a	0.75

2. Perioda fundamental pendekatan maksimum ($T_a \text{ maksimum}$) ditentukan dari Pers. 2.37.

$$T_a \text{ maksimum} = C_u T_a \text{ minimum} \quad (2.37)$$

dimana:

$T_a \text{ maksimum}$ = Nilai batas atas perioda bangunan

C_u = Ditentukan dari Tabel 2.16

Tabel 2.16: Koefesien untuk batas atas pada perioda 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	1.5
0.2	1.6
0.15	1.7

2.16. 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. 2.38 dan Pers. 2.39.

dimana:

$$F_i = C_{vx} \cdot V \quad (2.38)$$

Dan

$$C_{vx} = \frac{w_i h_i^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad (2.39)$$

dimana:

C_{vx} = Faktor distribusi vertikal

V = Gaya geser atau lateral 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.

2.17. Distribusi Horizontal Gaya Gempa

Berdasarkan SNI 1726:2012, geser tingkat desain gempa disemua tingkat (V_x) harus ditentukan dari Pers. 2.40.

$$V_x = \sum_{i=1}^n F_i \quad (2.40)$$

keterangan:

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

2.18. Analisis Respon Dinamik

Berdasarkan Studi Komparasi Desain Bangunan Tahan Gempa, parameter respon terkomposisi respons masing-masing ragam yang ditentukan melalui spektrum respons rencana gempa merupakan respons maksimum. 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. 2.41.

$$V_t \geq 0,85 V_l \quad (2.41)$$

dimana:

V_l = 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. 2.42.

$$\text{Faktor Skala} = \frac{0,85 V_l}{V_t} \geq 1 \quad (2.42)$$

dimana:

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

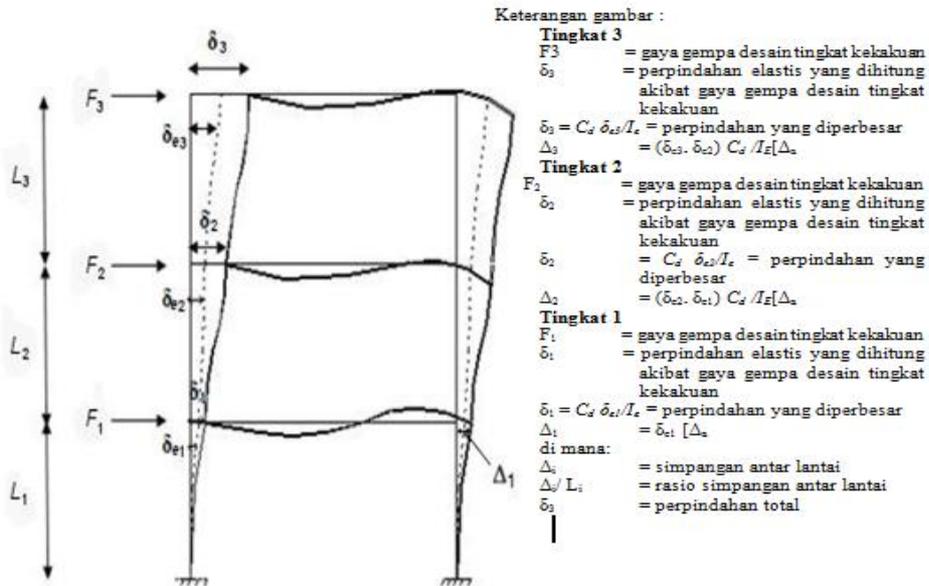
V_l = gaya geser dasar prosedur gaya lateral statik ekuivalen.

2.19. Simpangan Antar lantai

Berdasarkan SNI 1726:2012 penentuan simpangan antar lantai (Δ) harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa di tingkat teratas dan terbawah yang ditinjau. Apabila pusat massa tidak terletak segaris dalam arah vertikal, diijinkan untuk menghitung defleksi di dasar tingkat berdasarkan proyeksi vertikal dari pusat massa tingkat di atasnya. Jika desain tegangan ijin digunakan, Δ harus dihitung menggunakan gaya gempa tingkat kekuatan yang ditentukan tanpa reduksi untuk desain tegangan ijin.

Defleksi pusat massa di tingkat x (δ_x) (mm) harus ditentukan sesuai Pers. 2.43.

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \quad (2.43)$$



Gambar 2.12: Penentuan simpangan antar lantai berdasarkan SNI 1726:2012.

Simpangan antar lantai tingkat desain (Δ) tidak boleh melebihi simpangan antarlantai tingkat izin (Δ_a) seperti pada Tabel 2.17 berikut ini.

Tabel 2.17: Simpangan antarlantai ijin (Δ_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}	0.10 h_{sx}

2.20. Kekakuan Antar Lantai

Kekakuan antar lantai bertujuan untuk mengetahui kekakuan (*stiffness*) antar lantai pada struktur. Pada SNI 1726:2012 telah diatur 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 story*).

Dalam SNI gempa 1726:2012 kekakuan termasuk dalam ketidakberaturan geometri vertikal, yang terdiri dari:

1. Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak (*soft story*).
2. Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak berlebihan (*extreme soft story*).

Soft story 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 Story*.

Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak (*Soft Story*) didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat di mana kekakuan lateralnya kurang dari 70% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80% kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya. Sedangkan untuk ketidakberaturan tingkat lunak berlebihan (*extreme soft story*) ada jika terdapat 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.

- Rumus Kekakuan antar lantai pada Pers. 2.44 berikut ini:

$$K = \frac{V}{\Delta} \quad (2.44)$$

Dimana:

K= Kekakuan antar lantai (kN/mm)

V= Gaya geser (kN)

Δ = Simpangan antar lantai (mm)

- Rumus Rasio kekakuan antar lantai pada Pers. 2.45 berikut ini:

$$R_1 = \frac{(K)_n}{(K)_{n+1}} \times 100\% \quad (2.45)$$

Dimana:

R_1 = Rasio kekakuan antar lantai (%)

$(K)_n$ = Kekakuan lantai awal (kN/mm)

$(K)_{n+1}$ = Kekakuan lantai diatas lantai awal (kN/mm)

- Rumus Rasio kekakuan antar 3 lantai diatasnya pada Pers. 2.46 berikut:

$$R_2 = \frac{(K)_n}{\text{Rata-rata}((K)_{n+1}) + ((K)_{n+2}) + ((K)_{n+3})} \times 100\% \quad (2.46)$$

Dimana:

R_2 = Rasio kekakuan antar 3 lantai (%)

$(K)_n$ = Kekakuan lantai awal (kN/mm)

$(K)_{n+1}$ = Kekakuan lantai diatas dari lantai awal (kN/mm)

$(K)_{n+2}$ = Kekakuan lantai diatas 2 lantai dari lantai awal (kN/mm)

$(K)_{n+3}$ = Kekakuan lantai diatas 3 lantai dari lantai awal (kN/mm)

2.21. Pengaruh P-Delta

Pengaruh P-Delta pada geser momen dan tingkat, gaya dan momen elemen struktur yang dihasilkan, dan simpangan antar lantai tingkat yang timbul oleh pengaruh ini tidak disyaratkan untuk diperhitungkan bila koefisien stabilitas (θ) seperti ditentukan oleh Pers. 2.47 berikut sama dengan atau kurang dari 0.10:

$$\theta = \frac{P \times \Delta I_e}{V x h s x C d} \quad (2.47)$$

Keterangan:

P_x = Beban desain vertikal total pada dan diatas tingkat x (kN)

Δ = Simpangan antar lantai tingkat desain (mm)

I_e = faktor keutamaan gempa

V_x = gaya geser seismik yang bekerja antara tingkat x dan $x-1$ (kN)

h_{sx} = tinggi tingkat dibawah tingkat x , (mm)

C_d = Faktor pembesaran defleksi

Koefisien stabilitas (θ) harus tidak melebihi θ_{\max} yang ditentukan Pers. 2.48 berikut:

$$\theta_{\max} = \frac{0,5}{\beta C_d} \leq 0,25 \quad (2.48)$$

dimana β adalah rasio kebutuhan geser terhadap kapasitas geser untuk tingkat antara tingkat x dan $x-1$. Rasio ini diijinkan secara konservatif diambil sebesar 1,0.

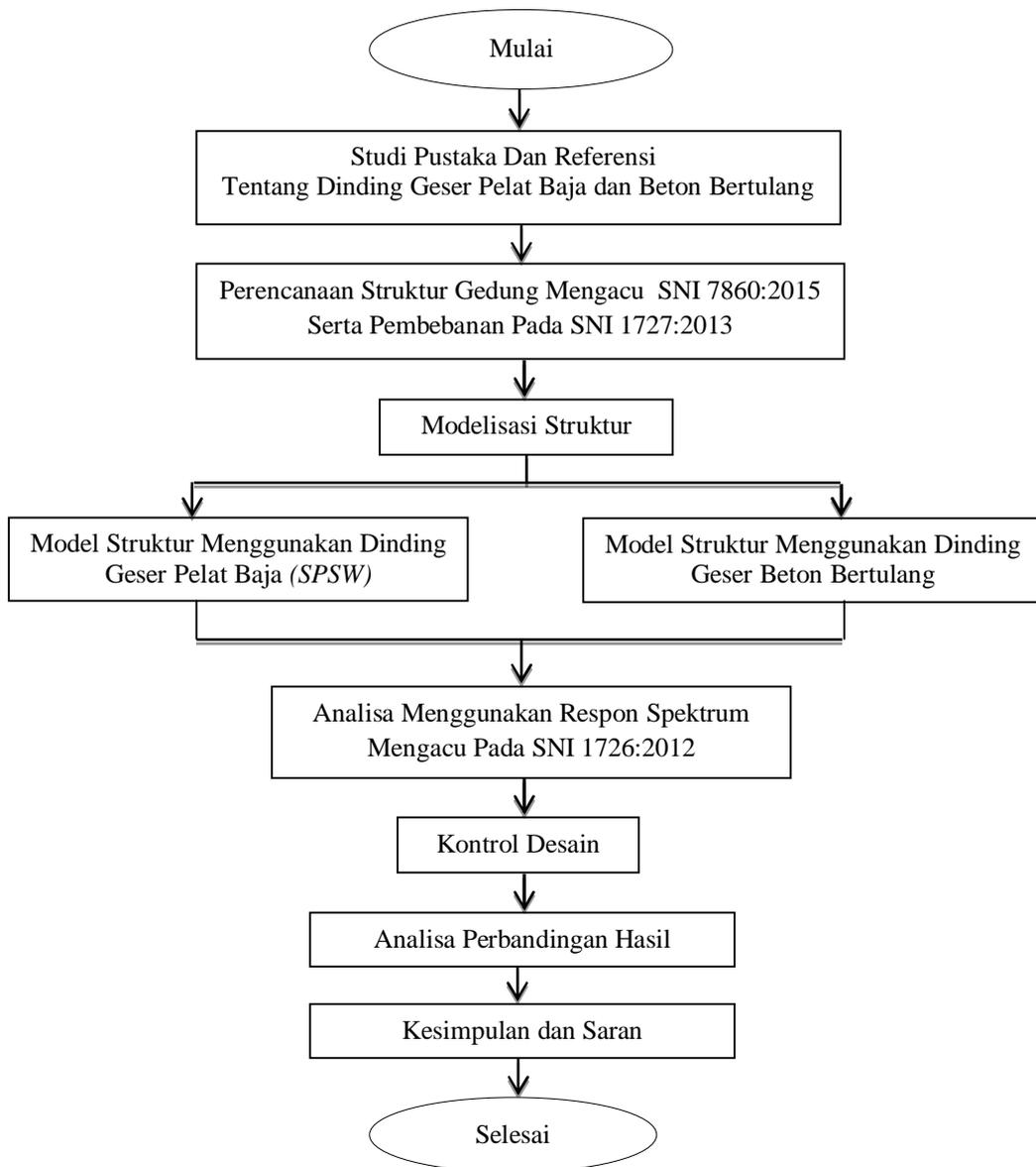
Jika koefisien stabilitas $\theta > 0.1$ tetapi $\leq \theta_{\max}$, faktor peningkatan terkait dengan pengaruh P-Delta pada perpindahan dan gaya komponen struktur harus ditentukan dengan analisis rasional. Sebagai alternatif, diijinkan untuk mengalihkan perpindahan dan gaya komponen struktur dengan $1,0/(1-\theta)$.

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Perencanaan dan analisis struktur gedung pada tugas akhir ini dilakukan dengan beberapa tahapan, terdapat pada diagram alir penelitian pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1: Diagram alir penelitian.

3.2. Pemodelan Struktur

Pemodelan struktur pada tugas akhir ini mencakup beberapa hal, seperti data perencanaan struktur, konfigurasi bangunan, properties penampang serta beban-beban maupun kombinasi beban yang diinput pada model struktur.

3.2.1. Data Perencanaan Struktur

1. Jenis pemanfaatan gedung sebagai perkantoran
2. Gedung terletak di kota Padang, Provinsi Sumatera Barat
3. Direncanakan pada tanah sedang (SD)
4. Jenis portal struktur gedung baja
5. Sistem struktur yang digunakan adalah sistem ganda (*dual system*)

3.2.2. Konfigurasi Bangunan

Pada Tugas Akhir ini, penelitian dilakukan dengan mengambil studi literatur pada sebuah bangunan gedung perkantoran 10 tingkat. Tugas Akhir ini terdapat 2 pemodelan gedung yang memiliki spesifikasi sama yaitu struktur baja penahan gaya lateral dengan sistem ganda yang dipikul dengan rangka pemikul momen khusus (SRPMK) dengan komposisi dan ukuran penampang yang sama namun dengan dinding geser yang berbeda, yaitu pada model 1 merupakan SRPMK dengan menggunakan dinding pelat baja atau *steel plate shear wall (SPSW)* dan model 2 merupakan SRPMK dengan dinding geser beton bertulang. Struktur gedung portal baja dimodelkan sebagai *element frame* 3 dimensi (3D) pada ETABS Ver. 15 dengan mengacu pada Perencanaan Bangunan Gedung Tahan Gempa SNI 1726:2012 kemudian Perencanaan Struktur Baja dan dinding geser berdasarkan SNI 1729:2015 dan SNI 7860:2015.

Pemodelan gedung merupakan bangunan regular beraturan 10 lantai dengan tinggi tingkat pertama pada gedung 4 m dan 3,6 m pada tingkat-tingkat selanjutnya. Dimensi struktur adalah simetris persegi panjang yang masing-masing memiliki panjang 6 m pada bidang portal pada arah horizontal, dan

masing-masing memiliki 6 m pada arah vertikal. Luas bangunan rencana adalah (30 x 30) m².

3.2.3. Properties Penampang

Komponen struktur yang terdapat pada bangunan ini meliputi pelat lantai, balok, kolom, dinding geser, maupun pondasi. Berikut akan direncanakan dimensi awal dari komponen-komponen struktur bangunan.

3.2.3.1. Pelat Lantai

Penentuan tebal pelat lantai menggunakan rumus dari SNI 2847-2013 ayat 11 butir 5 sub butir 3 yang perhitungannya terdapat pada lampiran.

Tebal pelat yang digunakan yaitu 140 mm = 0,14 m (untuk semua tipe pelat lantai). Mutu Beton Pelat lantai yang digunakan adalah $f'c = 30$ MPa.

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

3.2.3.2. Balok dan Kolom

Pendefinisian profil balok dan kolom untuk kedua model struktur sistem ganda SRPMK dengan dinding geser pelat baja (*SPSW*) maupun SRPMK dengan dinding geser beton bertulang dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1: Profil dan material elemen pembatas struktur.

Elemen pembatas struktur	Profil	Material
Kolom (lantai 1-5)	H 498x432x45x70	Bj-50
Kolom (lantai 6-10)	H 458x417x30x50	Bj-50
Balok induk (lantai 1-5)	WF 588x300x12x20	Bj-41
Balok induk (lantai 6-10)	WF 488x300x12x20	Bj-41

3.2.3.3. Dinding Geser

Pada tugas akhir ini, model 1 yang merupakan dinding geser pelat baja memiliki ketebalan = 6 mm, dan pada model 2 dinding geser beton bertulang memiliki ketebalan = 300 mm dengan mutu beton yang digunakan adalah $f'c = 40$ MPa. Perhitungan tebal dinding geser pelat baja dan dinding geser beton bertulang terdapat pada Lampiran.

3.2.3.4. Pondasi

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

3.2.4. Pembebanan Struktur

Pembebanan yang di input di pemodelan struktur pada tugas akhir ini, yaitu beban mati tambahan, beban hidup, beban gempa, dan beban notional.

3.2.4.1. Beban Mati (*Dead Load*)

Beban mati didefinisikan sebagai beban gravitasi, berat komponen material bangunan dapat ditentukan dari peraturan yang berlaku di Indonesia yaitu SNI 1727:2013 dan Beban Minimum dari Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG) 1983, untuk berat satuan material disajikan pada Tabel 3.2 dan Tabel 3.3.

Tabel 3.2: Berat material konstruksi berdasarkan PPIUG 1983.

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

Tabel 3.3: Berat tambahan komponen gedung berdasarkan PPIUG 1983.

Beban Mati	Besar Beban
Plafond dan penggantung	18 Kg/m ²
Adukan 2 cm dari semen	42 Kg/m ²
Pasangan bata setengah batu	250 Kg/m ²
Penutup lantai dari keramik	24 Kg/m ²

1. Pembebanan Dinding Bata

Pembebanan dinding bata disajikan pada Tabel 3.4, dan perhitungannya terdapat pada Lampiran.

Tabel 3.4: Rekapitulasi beban dinding yang diinput dalam pemodelan.

Penerima Beban	Tinggi (m)	Beban Dinding Bata (Kg/m')
Balok LT.1	4	950
Balok LT.2	3,6	900
Balok LT.3	3,6	900
Balok LT.4	3,6	900
Balok LT.5	3,6	900
Balok LT.6	3,6	900
Balok LT.7	3,6	900
Balok LT.8	3,6	900
Balok LT.9	3,6	900
Balok LT.10	3,6	450

Selanjutnya berat dinding diinput ke balok dengan beban terbagi merata (*assign- frame load-distributed*) dalam program ETABS Ver. 15.

2. Pembebanan Tangga dan Lift

Beban tangga dan beban lift juga diinput pada struktur sebagai beban mati tambahan. Rekapitulasi hasil perhitungan pembebanan tangga pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5: Rekapitulasi hasil perhitungan pembebanan tangga.

Penerima Beban	Beban (Kg/m')			
	Beban Mati		Beban Hidup	
	Plat Bordes	Plat Tangga	Plat Bordes	Plat Tangga
Tangga LT.1	489,83	769,368	718,5	646,65
Tangga LT.2	489,83	775,479	718,5	646,65
Tangga LT.3	489,83	775,479	718,5	646,65
Tangga LT.4	489,83	775,479	718,5	646,65
Tangga LT.5	489,83	775,479	718,5	646,65
Tangga LT.6	489,83	775,479	718,5	646,65
Tangga LT.7	489,83	775,479	718,5	646,65
Tangga LT.8	489,83	775,479	718,5	646,65
Tangga LT.9	489,83	775,479	718,5	646,65
Tangga LT.10	489,83	775,479	718,5	646,65

Untuk pembebanan tangga dilakukan analisa struktur dengan bantuan program SAP 2000 v.14 dan hasil reaksi perlektakkan dari analisa struktur tersebut akan dijadikan beban terpusat yang diletakkan di balok lintel dan balok induk, serta beban lift diperhitungkan sebagai beban mati yang dibuat menjadi beban terpusat yang dipikul oleh balok penumpu. Data perhitungan beban tangga dan lift terdapat pada Lampiran.

3.2.4.2. Beban Hidup (*Live Load*)

Perencanaan beban hidup yang bekerja pada struktur yaitu beban hidup perkantoran dengan faktor reduksi beban hidup yang sama pada setiap lantainya. Perencanaan beban hidup mengacu pada SNI 1727:2013 yang dapat dilihat pada Tabel 3.6. Nilai faktor reduksi beban hidup untuk semua lantai adalah 0,41. Untuk perhitungan nilai faktor reduksi dapat dilihat pada Lampiran.

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

Beban Hidup	Besarnya Beban
Ruang Kantor	240 Kg/m ²
Beban terpusat pekerja minimum	100 Kg/m ²
Beban hidup pada tangga dan bordes	479 Kg/m ²

Selanjutnya beban hidup pada lantai dimasukkan sebagai beban area (*assign-shell load-uniform*) dalam program ETABS Ver 15.

3.2.4.3. Beban Notional

Beban notional disertakan pada pemodelan mengacu pada peraturan SNI 1729:2015. Beban notional dipengaruhi oleh berat sendiri bangunan, oleh karena itu penginputan beban notional dilakukan pada tahap terakhir setelah memastikan semua penampang dan beban-beban yang lain telah diinput. Rekapitulasi beban notional arah X dan arah Y dilihat pada Tabel 3.7 di bawah ini.

Tabel 3.7: Rekapitulasi beban notional arah X dan arah Y.

Penerima Beban	Beban Notional (KN)	
	Notional Arah X (NX)	Notional Arah Y (NY)
Lantai 1	8,683	8,683
Lantai 2	10,135	10,135
Lantai 3	10,135	10,135
Lantai 4	10,135	10,135
Lantai 5	10,135	10,135
Lantai 6	10,528	10,528
Lantai 7	10,774	10,774
Lantai 8	10,774	10,774
Lantai 9	10,774	10,774
Lantai 10	10,971	10,971

3.2.5. Rekapitulasi Pembebanan

Pada Tabel 3.8 hasil rekapitulasi pembebanan berdasarkan beban-beban yang telah diinput pada *software* ETABS Ver. 15.

Tabel 3.8: Hasil rekapitulasi pembebanan.

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

3.2.6. Respon Spektrum Desain Gempa

Berdasarkan SNI 1726:2012, respon spektrum gempa di desain harus dianalisis terlebih dahulu. Dengan data PGA (Gambar 2.8), $S_s = 1.4$ g (Gambar 2.9) dan $S_1 = 0.6$ g (Gambar 2.10) yang berada di kota Padang, tahap-tahap 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_1 yang diperoleh 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_{M1}

- $S_{MS} = F_a \times S_s$

$$S_{MS} = 1.4 \times 1$$

$$S_{MS} = 1.4$$

- $S_{M1} = F_v \times S_1$

$$S_{M1} = 1,5 \times 0,6$$

$$S_{M1} = 0,90$$

c. Penentuan nilai S_{DS} dan S_{D1}

- $S_{DS} = \mu \times S_{MS}$, Nilai $\mu = 2/3$

$$S_{DS} = 2/3 \times 1.4$$

$$S_{DS} = 0.933$$

- $S_{D1} = \mu \times S_{M1}$

$$S_{D1} = 2/3 \times 0,90$$

$$S_{D1} = 0,6$$

d. Penentuan nilai T_s dan T_0

- $T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$

$$T_s = \frac{0.6}{0.933}$$

$$T_s = 0,643$$

- $T_0 = 0,2 \times T_s$

$$T_0 = 0,2 \times 0,643$$

$$T_0 = 0,129$$

e. Penentuan nilai S_a

- Untuk periode yang lebih kecil dari T_0 , spectrum respon percepatan desain (S_a) harus diambil dari Pers. 3.1:

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (3.1)$$

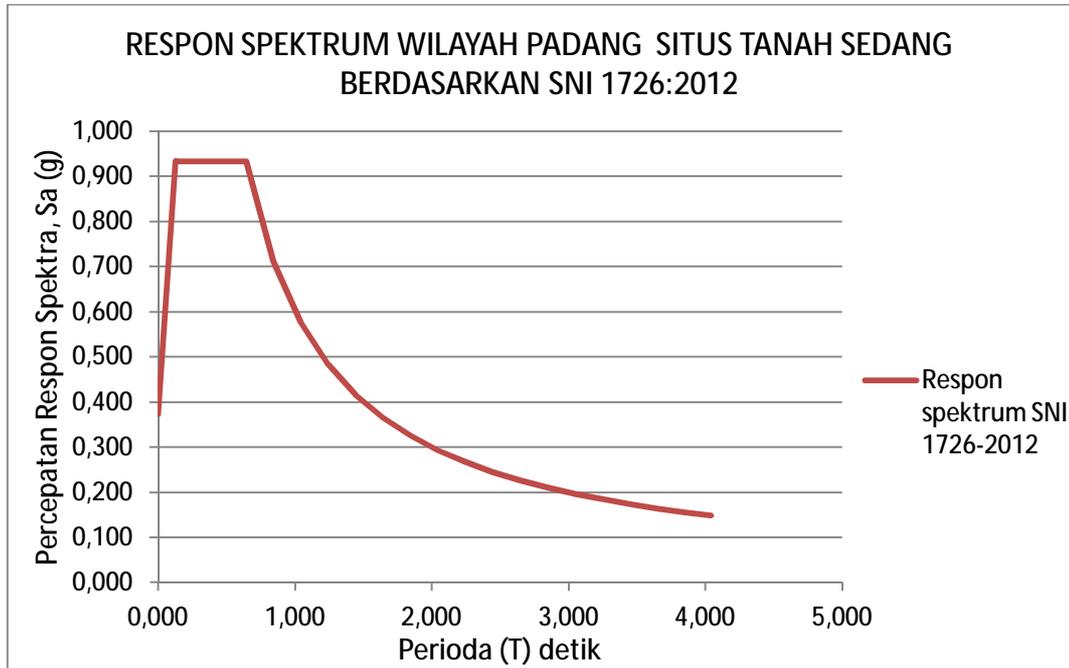
- Untuk periode lebih besar dari atau sama dengan T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , spektrum respon desain S_a sama dengan S_{DS} .
- Untuk periode lebih besar dari T_s , spektrum respon percepatan desain S_a diambil berdasarkan Pers. 3.2:

$$S_a = \frac{S_{DS}}{T} \quad (3.2)$$

Spektrum respon percepatan disajikan dalam Tabel 3.9 dan grafik respon spektrum respon diplot ke dalam *Microsoft Excel* pada Gambar 3.2 di bawah ini.

Tabel 3.9: Spektrum respon untuk wilayah gempa kota Padang, Sumatera Barat pada tanah sedang berdasarkan SNI 1726:2012.

Waktu (Detik)	Koefesien Gempa (C)
0.0	0,373
0.129	0,933
0.3	0,933
0.5	0,933
0.643	0,933
0.8	0,712
1.0	0,575
1.2	0,483
1.4	0,416
1.6	0,365
1.8	0,326
2.0	0,294
2.2	0,268
2.4	0,246
2.6	0,227
2.8	0,211
3.0	0,197
3.2	0,185
3.4	0,174
3.6	0,165
3.8	0,156
4.0	0,148



Gambar 3.2: Grafik respon spektrum kota Padang dengan kondisi tanah sedang berdasarkan SNI 1726:2012.

3.2.6.2. Faktor Keutamaan Struktur (I)

Menurut SNI 1726:2012, sesuai Tabel 2.5 pemilihan nilai faktor keutamaan berdasarkan kategori resiko dengan fungsi bangunan perkantoran adalah kategori resiko I, dengan hal itu maka didapat melalui Tabel 2.6 nilai faktor keutamaan (I_e) = 1.

3.2.6.3. Faktor Reduksi Gempa

Desain bangunan direncanakan sebagai Sistem ganda (*dual system*), dimana untuk nilai faktor reduksi gempa untuk kedua model, yaitu dinding geser pelat baja (*SPSW*) maupun dinding geser beton bertulang berdasarkan SNI 1726:2012 sesuai Tabel 2.7, dapat dilihat pada Tabel 3.10 dan Tabel 3.11.

Tabel 3.10: Faktor reduksi gempa Model 1 berdasarkan SNI 1726:2012.

Arah	Sistem penahan gaya seismik	R
	Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang menahan > 25 % gaya gempa	
X	Dinding geser pelat baja khusus	8
Y	Dinding geser pelat baja khusus	8

Tabel 3.11: Faktor Reduksi Gempa Model 2 berdasarkan SNI 1726:2012.

Arah	Sistem penahan gaya seismic	R
	Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang menahan > 25 % gaya gempa	
X	Dinding geser beton bertulang biasa	6
Y	Dinding geser beton bertulang biasa	6

3.2.7. Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan yang digunakan adalah menggunakan desain kekuatan batas (DFBK) yang telah ditetapkan dalam SNI 1726:2012 dan SNI 1727:2013. Untuk pemodelan ini menggunakan nilai $\rho = 1,3$ yang diperoleh dari KDS D dan $S_{DS} = 0,933$. Kombinasi pembebanan dapat dilihat pada Tabel 3.12.

Tabel 3.12: Kombinasi pembebanan berdasarkan SNI 1727:2013.

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	LL	0,39	EX	1,3	EY
Kombinasi 4	0,96	DL	1	LL	-0,39	EX	-1,3	EY
Kombinasi 5	1,07	DL	1	LL	0,39	EX	-1,3	EY
Kombinasi 6	1,33	DL	1	LL	-0,39	EX	1,3	EY
Kombinasi 7	1,44	DL	1	LL	1,3	EX	0,39	EY
Kombinasi 8	0,96	DL	1	LL	-1,3	EX	-0,39	EY
Kombinasi 9	1,33	DL	1	LL	1,3	EX	-0,39	EY

Tabel 3.12: *Lanjutan.*

Kombinasi	Koefisien		Koefisien		Koefisien		Koefisien	
Kombinasi 10	1,07	DL	1	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
Kombinasi 19	1,20	DL	1	LL	1	EX	1	EY
Kombinasi 20	1,20	DL	1	LL	1	EX	-1	EY
Kombinasi 21	1,20	DL	1	LL	-1	EX	1	EY
Kombinasi 22	1,20	DL	1	LL	-1	EX	-1	EY
Kombinasi 23	0,90	DL	0	LL	1	EX	1	EY
Kombinasi 24	0,90	DL	0	LL	1	EX	-1	EY
Kombinasi 25	0,90	DL	0	LL	-1	EX	1	EY
Kombinasi 26	0,90	DL	0	LL	-1	EX	-1	EY

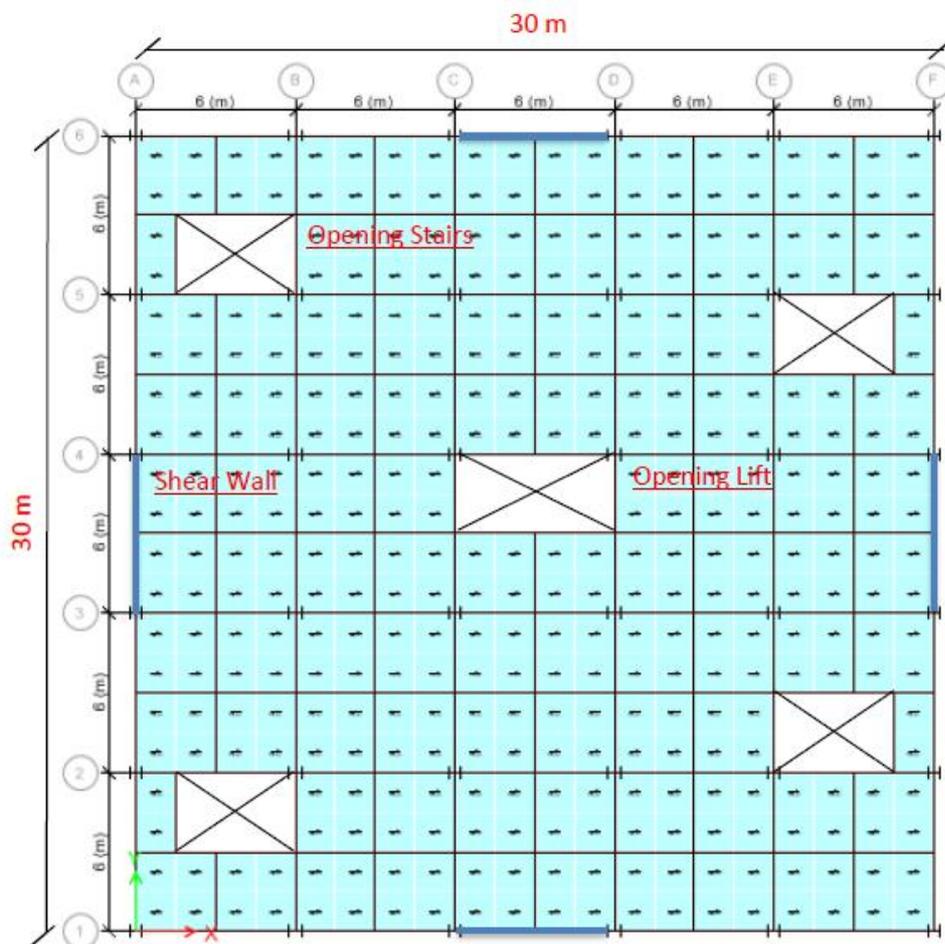
3.3. Model 1

Model gedung pertama merupakan sistem ganda (*dual system*), yaitu SRPMK dengan menggunakan dinding geser pelat baja (*SPSW*). Rekapitulasi elemen struktur pada model 1 dapat dilihat pada Tabel 3.13 di bawah ini.

Tabel 3.13: Dimensi elemen struktur pada Model 1.

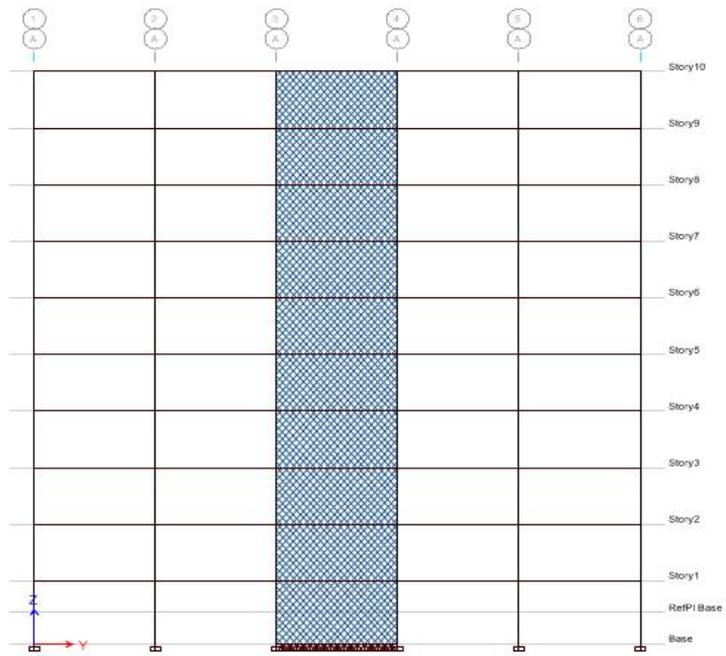
Elemen struktur	Dimensi (mm)	Material
Kolom (lantai 1-5)	H 498x432x45x70	Bj-50
Kolom (lantai 6-10)	H 458x417x30x50	Bj-50
Balok induk (lantai 1-5)	WF 588x300x12x20	Bj-41
Balok induk (lantai 6-10)	WF 488x300x12x20	Bj-41
Balok anak (lantai 1-10)	WF 450x200x9x14	BJ-41
Pelat Lantai	t = 140 mm	$f'c = 30$ MPa
Dinding geser	t = 6 mm	BJ-41

Denah struktur gedung pada model 1 dapat dilihat pada Gambar 3.3, dimana dinding geser pelat baja dimodelkan pada arah X dan arah Y di sisi luar bangunan di antara baris kolom.

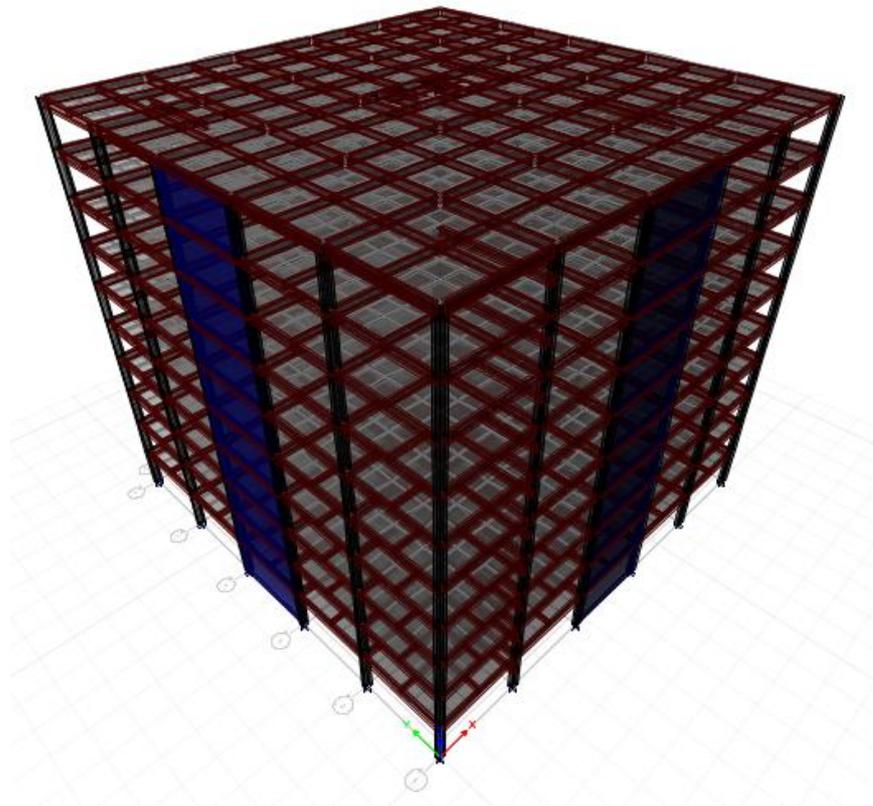


Gambar 3.3: Denah struktur bangunan pada Model 1.

Pemodelan struktur dengan program ETABS versi 15, dimana balok dan kolom dimodelkan dengan elemen garis (*line element*), sedangkan pelat lantai dimodelkan sebagai slab *deck* dan dinding geser dimodelkan dengan model *strip*. Modelisasi struktur bangunan pada model 1 dapat dilihat pada Gambar 3.4 dan gambar 3.5 di bawah ini.



Gambar 3.4: Elevasi tinggi struktur model 1.



Gambar 3.5: Modelisasi struktur bangunan pada Model 1.

3.3.1. Analisis Respon Spektrum Model 1

Berdasarkan SNI 1726:2012, analisa harus dilakukan untuk menentukan ragam getar alami untuk struktur. Analisa penjumlahan ragam respons menurut metode kombinasi kuadrat lengkap (*Complete Quadratic Combination/CQC*) atau Metode kombinasi akar jumlah kuadrat (*Square Root of the Sum of Squares/SRSS*) harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar paling sedikit 90 persen dari massa aktual dalam masing-masing arah horizontal ortogonal dari respon yang ditinjau oleh model. Untuk memperoleh nilai perioda dan partisipasi massa pada program ETABS Ver. 15 yaitu pada *Structure Output (Modal Participating Mass Ratios)*. Data modal partisipasi massa model 1 dapat dilihat pada Tabel 3.14.

Tabel 3.14: Data perioda *output software* ETABS versi 15.

<i>Modal Participating Mass Ratios</i>					
<i>Case</i>	<i>Mode</i>	<i>Period</i>	<i>Sum Ux</i>	<i>Sum Uy</i>	<i>Sum Uz</i>
		<i>Sec</i>			
Modal	1	0,940	0,0000	0,7475	0
Modal	2	0,904	0,7385	0,7475	0
Modal	3	0,661	0,7385	0,7475	0
Modal	4	0,298	0,7385	0,9126	0
Modal	5	0,285	0,9022	0,9126	0
Modal	6	0,200	0,9022	0,9126	0
Modal	7	0,155	0,9022	0,9605	0
Modal	8	0,146	0,9513	0,9605	0
Modal	9	0,106	0,9513	0,9807	0
Modal	10	0,102	0,9513	0,9807	0
Modal	11	0,098	0,9737	0,9807	0
Modal	12	0,080	0,9737	0,99	0

Persentase nilai perioda yang menentukan jenis perhitungan menggunakan CQC atau SRSS Dapat dilihat pada Tabel 3.15.

Tabel 3.15: Hasil selisih persentase nilai perioda.

<i>Mode</i>	Persentase (%)	CQC < 15%	SRSS > 15%
T1-T2	3,83%	OKE	TIDAK OKE
T2-T3	26,88%	TIDAK OKE	OKE
T3-T4	54,92%	TIDAK OKE	OKE
T4-T5	4,36%	OKE	TIDAK OKE
T5-T6	29,82%	TIDAK OKE	OKE
T6-T7	22,50%	TIDAK OKE	OKE
T7-T8	5,81%	OKE	TIDAK OKE
T8-T9	27,40%	TIDAK OKE	OKE
T9-T10	3,77%	OKE	TIDAK OKE
T10-T12	3,92%	OKE	TIDAK OKE
T11-T12	18,37%	TIDAK OKE	OKE

Analisa menggunakan metode kombinasi akar jumlah kuadrat (*Square Root of the Sum of Squares/SRSS*) dilihat pada Tabel 3.15, karena nilai perioda rata-rata yang didapat memiliki waktu getar yang berdekatan yaitu selisihnya lebih besar dari 15%.

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:

$$T \text{ arah Y} = 0,940 \text{ detik}$$

$$T \text{ arah X} = 0,904 \text{ detik}$$

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. 2.36 dan Pers. 2.37 pada Bab 2.

$$C_t = 0,0488 \text{ (Tabel 2.15 dengan tipe struktur menggunakan dinding geser)}$$

$$H_n = 36,4 \text{ m (tinggi gedung dari dasar)}$$

$$X = 0,75 \text{ (Tabel 2.15 dengan tipe struktur menggunakan dinding geser)}$$

$$C_u = 1,4 \text{ (Tabel 2.16 dengan nilai } SD1 \geq 0,4 \text{).}$$

Tabel 3.16: 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
Y	0,723	1,012	0,940	OKE	OKE
X	0,723	1,012	0,904	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. 2.32 sampai Pers. 2.35 pada Bab 2, yang dijelaskan di bawah ini:

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

$$C_{s \text{ maksimum}} \text{ arah Y} = \frac{0,933}{\left(\frac{8}{1}\right)} = 0,117$$

$$C_{s \text{ maksimum}} \text{ arah X} = \frac{0,933}{\left(\frac{8}{1}\right)} = 0,117$$

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

$$C_{s \text{ hasil hitungan}} \text{ arah Y} = \frac{0,6}{0,940\left(\frac{8}{1}\right)} = 0,080$$

$$C_{s \text{ hasil hitungan}} \text{ arah X} = \frac{0,6}{0,904\left(\frac{8}{1}\right)} = 0,083$$

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

$$C_{s \text{ minimum}} = 0,044 \cdot 0,933 \cdot 1 = 0,041$$

$$C_{s \text{ minimum}} = 0,044 \cdot 0,933 \cdot 1 = 0,041$$

Hasil nilai C_s di atas dan nilai C_s yang digunakan dirangkum ke dalam Tabel 3.17.

Tabel 3.17: Rangkuman nilai C_s dan nilai C_s yang digunakan pada Model 1.

Arah	$C_{s\ maks}$	$C_{s\ hitungan}$	$C_{s\ min}$	C_s yang digunakan
Y	0,117	0,080	0,041	0,080
X	0,117	0,083	0,041	0,083

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

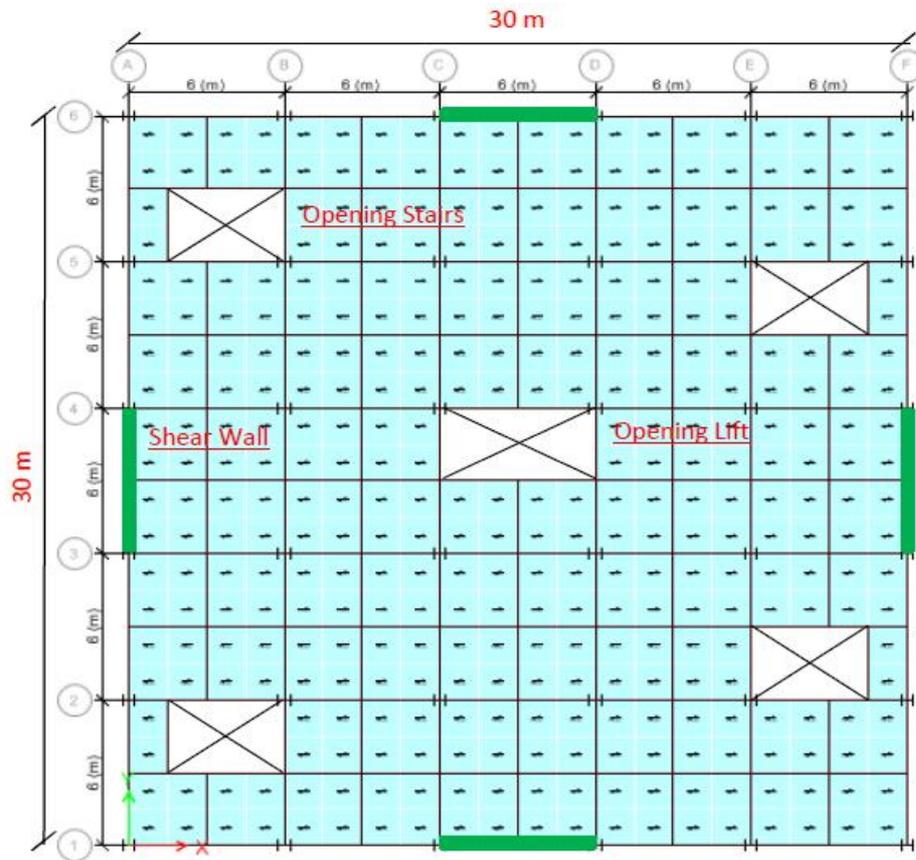
3.4. Model 2

Model struktur gedung merupakan struktur gedung penahan gempa memakai sistem ganda (*dual system*), yaitu SRPMK dengan dinding geser beton bertulang. Rekapitulasi elemen struktur pada model 2 dapat dilihat pada Tabel 3.18 di bawah ini.

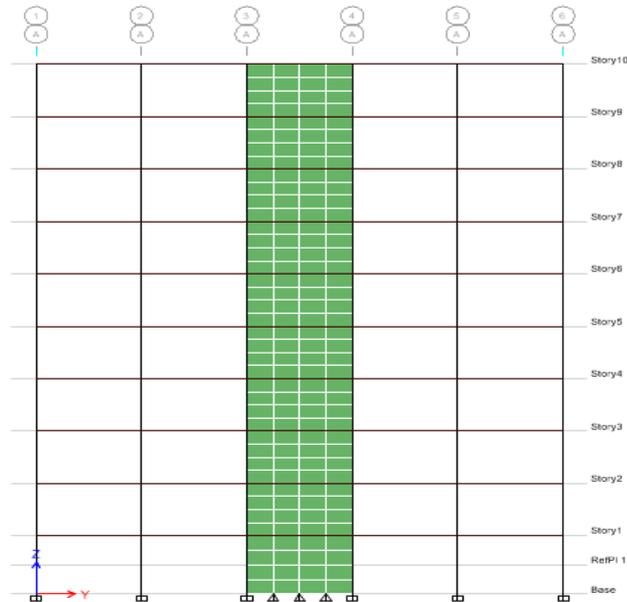
Tabel 3.18: Dimensi elemen struktur pada Model 2.

Elemen struktur	Dimensi (mm)	Material
Kolom (lantai 1-5)	H 498x432x45x70	Bj-50
Kolom (lantai 6-10)	H 458x417x30x50	Bj-50
Balok induk (lantai 1-5)	WF 588x300x12x20	Bj-41
Balok induk (lantai 6-10)	WF 488x300x12x20	Bj-41
Balok anak (lantai 1-10)	WF 450x200x9x14	BJ-41
Pelat Lantai	t = 140 mm	$f'c = 30\text{ MPa}$
Dinding geser	t = 300 mm	$f'c = 40\text{ MPa}$

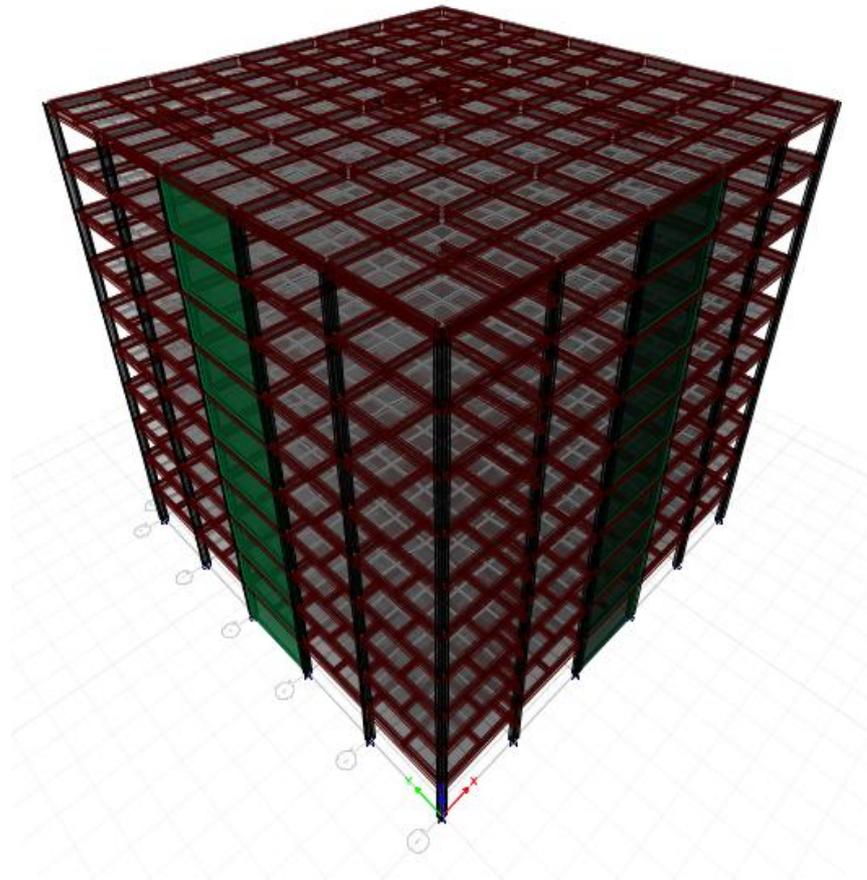
Denah struktur gedung pada model 2 dapat dilihat pada Gambar 3.6, dimana dinding geser beton bertulang dimodelkan pada arah X dan arah Y di sisi luar bangunan diantara baris kolom. Modelisasi struktur pada model 2 pada program ETABS dapat dilihat pada Gambar 3.7 dan Gambar 3.8 di bawah ini.



Gambar 3.6: Denah struktur bangunan pada Model 2.



Gambar 3.7: Elevasi tinggi struktur model 2.



Gambar 3.8: Modelisasi struktur bangunan pada model 2.

3.4.1. Analisis Respon Spektrum Model 2

Sama halnya dengan analisa respon spektrum pada model 1, pada model 2 analisa penjumlahan ragam respons menurut metode kombinasi kuadrat lengkap (*Complete Quadratic Combination/CQC*) atau Metode kombinasi akar jumlah kuadrat (*Square Root of the Sum of Squares/SRSS*) juga harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar paling sedikit 90 persen dari massa aktual dalam masing-masing arah horizontal ortogonal dari respon yang ditinjau oleh model. Data modal partisipasi massa model 2 dapat dilihat pada Tabel 3.19.

Tabel 3.19: Data perioda *output software* ETABS versi 15.

<i>Modal Participating Mass Ratios</i>					
<i>Case</i>	<i>Mode</i>	<i>Period</i>	<i>Sum Ux</i>	<i>Sum Uy</i>	<i>Sum Uz</i>
		<i>Sec</i>			
Modal	1	0,802	0,0000	0,6842	0
Modal	2	0,785	0,6840	0,6842	0
Modal	3	0,552	0,6840	0,6842	0
Modal	4	0,201	0,6840	0,8766	0
Modal	5	0,198	0,8752	0,8766	0
Modal	6	0,129	0,8752	0,8766	0
Modal	7	0,090	0,8752	0,9459	0
Modal	8	0,089	0,9440	0,9459	0
Modal	9	0,057	0,9440	0,9459	0
Modal	10	0,056	0,9440	0,9754	0
Modal	11	0,055	0,9736	0,9754	0
Modal	12	0,040	0,9736	0,9888	0

Persentase nilai perioda yang menentukan jenis perhitungan menggunakan CQC atau SRSS Dapat dilihat pada Tabel 3.20.

Tabel 3.20: Hasil selisih persentase nilai perioda.

<i>Mode</i>	Persentase (%)	CQC < 15%	SRSS > 15%
T1-T2	2,12%	OKE	TIDAK OKE
T2-T3	29,68%	TIDAK OKE	OKE
T3-T4	63,59%	TIDAK OKE	OKE
T4-T5	1,49%	OKE	TIDAK OKE
T5-T6	34,85%	TIDAK OKE	OKE
T6-T7	30,23%	TIDAK OKE	OKE
T7-T8	1,11%	OKE	TIDAK OKE
T8-T9	35,96%	TIDAK OKE	OKE
T9-T10	1,75%	OKE	TIDAK OKE
T10-T12	1,79%	OKE	TIDAK OKE
T11-T12	27,27%	TIDAK OKE	OKE

Analisa menggunakan metode kombinasi akar jumlah kuadrat (*Square Root of the Sum of Squares/SRSS*) tertera pada Tabel 3.20, karena nilai perioda rata-rata yang didapat memiliki waktu getar yang berdekatan yaitu selisihnya lebih besar dari 15%.

c. 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:

$$T \text{ arah Y} = 0,802 \text{ detik}$$

$$T \text{ arah X} = 0,785 \text{ detik}$$

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. 2.36 dan Pers. 2.37 pada Bab 2.

$$C_t = 0,0488 \text{ (Tabel 2.15 dengan tipe struktur menggunakan dinding geser)}$$

$$H_n = 36,4 \text{ m (tinggi gedung dari dasar)}$$

$$X = 0,75 \text{ (Tabel 2.15 dengan tipe struktur menggunakan dinding geser)}$$

$$C_u = 1,4 \text{ (Tabel 2.16 dengan nilai } SD1 \geq 0,4 \text{)}.$$

Tabel 3.21: 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
Y	0,723	1,012	0,802	OKE	OKE
X	0,723	1,012	0,785	OKE	OKE

d. 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. 2.32-2.35 pada Bab 2, yang dijelaskan di bawah ini:

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

$$C_{s \text{ maksimum}} \text{ arah Y} = \frac{0,933}{\left(\frac{6}{1}\right)} = 0,156$$

$$C_{s \text{ maksimum}} \text{ arah X} = \frac{0,933}{\left(\frac{6}{1}\right)} = 0,156$$
- $$C_{s \text{ hasil hitungan}} = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I}\right)}$$

$$C_{s \text{ hasil hitungan}} \text{ arah Y} = \frac{0,6}{0,802\left(\frac{6}{1}\right)} = 0,125$$

$$C_{s \text{ hasil hitungan}} \text{ arah X} = \frac{0,6}{0,785\left(\frac{6}{1}\right)} = 0,127$$
- $$C_{s \text{ minimum}} = 0,044 S_{DS} \quad I \geq 0,01$$

$$C_{s \text{ minimum}} = 0,044 \cdot 0,933 \cdot 1 = 0,041$$

$$C_{s \text{ minimum}} = 0,044 \cdot 0,933 \cdot 1 = 0,041$$

Hasil nilai C_s di atas dan nilai C_s yang digunakan dirangkum ke dalam Tabel 3.22.

Tabel 3.22: 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
Y	0,156	0,125	0,041	0,125
X	0,156	0,127	0,041	0,127

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

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Tinjauan Umum

Pada Bab ini akan membahas beberapa nilai perbandingan hasil analisa oleh ETABS versi 15 diantaranya gaya geser dasar, gaya geser antar lantai, nilai simpangan, kekakuan, ketidakberaturan massa, ketidakberaturan torsi, serta pengaruh efek P-delta pada struktur berdasarkan dua jenis pemodelan struktur, sistem ganda dengan menggunakan dinding geser geser baja atau *Steel Plate Shear Wall (SPSW)* pada model 1 dan sistem ganda dengan menggunakan dinding geser geser beton bertulang pada model 2. Pada pemodelan kedua struktur menggunakan elemen struktur pembatas atau balok dan kolom yang sama serta semua *input* pembebanan, kombinasi pembebanan, zona gempa dan konfigurasi bangunan adalah sama. Perbandingan metode analisa pada tiap pemodelan, yaitu analisa respon spektrum ragam.

4.2. Hasil Analisa Struktur Model 1

4.2.1. Gaya geser dasar

Berdasarkan SNI 1726:2012 Pasal 7.9.4.1, kombinasi respon untuk geser dasar ragam (V_t) lebih kecil 85 persen dari geser dasar yang dihitung (V_1) menggunakan prosedur gaya lateral ekuivalen, maka gaya dan simpangan antar lantai harus dikalikan dengan faktor skala yaitu:

$$0,85 \frac{V_1}{V_t} \geq 1 \quad (4.1)$$

dimana:

V_1 = Gaya geser dasar nominal statik ekuivalen

V_t = Gaya geser dasar kombinasi ragam

Berikut perhitungan gaya geser dasar nominal statik ekuivalen pada gempa arah X dan arah Y.

- Gempa Arah X
 $V_{Ix} = C_s \cdot W_t$
 $V_{Ix} = 0,083 \times 50758,465$
 $= 4211,156 \text{ kN}$
- Gempa Arah Y
 $V_{Iy} = C_s \cdot W_t$
 $V_{Iy} = 0,080 \times 50758,465$
 $= 4049,878 \text{ kN}$

Nilai gaya geser dasar nominal analisa statik ekuivalen dan respon spektrum tertera pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2.

Tabel 4.1: Nilai gaya geser dasar nominal analisa statik ekuivalen model 1.

Arah Gempa	V_1 (kN)
Gempa X	4211,156
Gempa Y	4049,878

Tabel 4.2: Nilai gaya geser dasar nominal analisa respon spektrum *output software* ETABS versi 15.

<i>Base Reactions</i>				
<i>OutputCase</i>	<i>CaseType</i>	<i>StepType</i>	<i>Global F_X</i>	<i>Global F_Y</i>
<i>Text</i>	<i>Text</i>	<i>Text</i>	kN	kN
Gempa X	<i>LinRespSpec</i>	<i>Max</i>	3679,7848	
Gempa Y	<i>LinRespSpec</i>	<i>Max</i>		3599,8641

Untuk memenuhi syarat berdasarkan SNI 1726:2012, maka nilai faktor skala harus lebih kecil atau sama dengan 1.

$$\text{Syarat} : 0,85 \frac{V_1}{V_t} \leq 1$$

$$\text{Gempa X} : 0,85 \frac{4211,156}{3679,7848} \leq 1$$

$$: 0,9727 \leq 1 \quad (\text{OKE})$$

$$\text{Gempa Y} : 0,85 \frac{4049,878}{3599,8641} \leq 1$$

$$: 0,9563 \leq 1 \quad (\text{OKE})$$

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 dapat digunakan tanpa dikalikan dengan faktor skala.

4.2.2. Koreksi Faktor Redundansi

Berdasarkan sub Bab 2.11.7 pada tabel 2.10 nilai gaya geser dengan redundansi 1 per lantainya harus dikoreksi dengan 35 persen gaya geser dasar dengan redundansi 1 pada masing-masing arah. Jika persyaratan tersebut tidak terpenuhi, maka nilai faktor redundansi 1 harus diganti dengan redundansi 1,3. Koreksi untuk setiap gaya geser dengan nilai redundansi 1 dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3: Koreksi *story shear* dengan 35% *base shear* dengan redundansi 1.

<i>Story</i>	V _x (kN)	V _y (kN)	35% V _x <i>base shear</i>	35% V _y <i>base shear</i>	Kontrol	Kontrol
10	717,444	695,231	1473,904	1417,457	Tidak Oke	Tidak Oke
9	1457,764	1411,286	1473,904	1417,457	Tidak Oke	Tidak Oke
8	2101,531	2032,652	1473,904	1417,457	Oke	Oke
7	2651,127	2561,868	1473,904	1417,457	Oke	Oke
6	3109,196	3001,750	1473,904	1417,457	Oke	Oke
5	3493,017	3369,148	1473,904	1417,457	Oke	Oke
4	3795,323	3657,387	1473,904	1417,457	Oke	Oke
3	4011,571	3862,540	1473,904	1417,457	Oke	Oke
2	4147,255	3990,368	1473,904	1417,457	Oke	Oke
1	4211,155	4049,877	1473,904	1417,457	Oke	Oke
<i>Base</i>	0	0	0	0	Oke	Oke

Dari Tabel 4.3, gaya geser pada lantai 10 dan 9 dengan redundansi 1 tidak memenuhi syarat lebih besar dari 35 persen gaya geser dasar. Sehingga nilai faktor redundansi yang digunakan pada pemodelan struktur adalah 1,3.

4.2.3. Gaya Geser pada Setiap Lantai

Nilai gaya geser pada setiap lantai yang didapat hasil perhitungan statik ekuivalen arah X dan arah Y dilihat pada Tabel 4.4. Data perhitungan terdapat pada Lampiran.

Tabel 4.4: Nilai gaya geser hasil statik ekuivalen pada setiap lantai model 1.

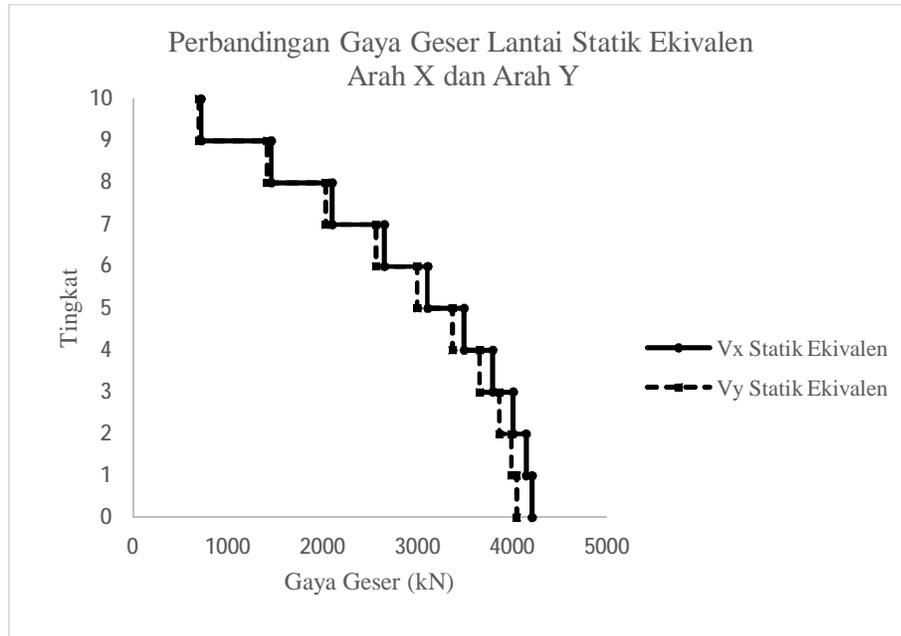
Lantai	Tinggi Lantai (m)	Lokasi	V _x (kN)	V _y (kN)
10	36,4	<i>Top</i>	717,445	695,232
		<i>Bottom</i>	717,445	695,232
9	32,8	<i>Top</i>	1457,764	1411,287
		<i>Bottom</i>	1457,764	1411,287
8	29,2	<i>Top</i>	2101,532	2032,653
		<i>Bottom</i>	2101,532	2032,653
7	25,6	<i>Top</i>	2651,128	2561,869
		<i>Bottom</i>	2651,128	2561,869
6	22	<i>Top</i>	3109,197	3001,751
		<i>Bottom</i>	3109,197	3001,751
5	18,4	<i>Top</i>	3493,018	3369,149
		<i>Bottom</i>	3493,018	3369,149
4	14,8	<i>Top</i>	3795,324	3657,387
		<i>Bottom</i>	3795,324	3657,387
3	11,2	<i>Top</i>	4011,571	3862,541
		<i>Bottom</i>	4011,571	3862,541
2	7,6	<i>Top</i>	4147,256	3990,369
		<i>Bottom</i>	4147,256	3990,369
1	4	<i>Top</i>	4211,156	4049,878
		<i>Bottom</i>	4211,156	4049,878
<i>Base</i>	0	<i>Top</i>	0,000	0,000
		<i>Bottom</i>	0,000	0,000

Nilai gaya geser pada setiap lantai yang didapat dari pemodelan struktur dengan menggunakan *software* ETABS versi 15 dapat dilihat pada Tabel 4.5.

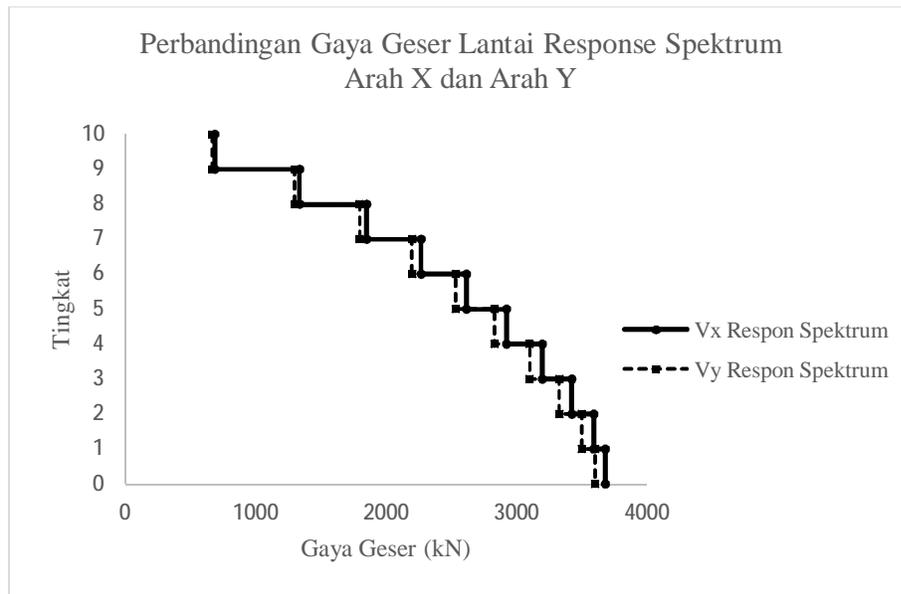
Tabel 4.5: Nilai gaya geser hasil respon spektrum pada setiap lantai model 1.

Lantai	Tinggi Lantai (m)	Lokasi	V _x (kN)	V _y (kN)
10	36,4	<i>Top</i>	684,380	666,160
		<i>Bottom</i>	684,380	666,160
9	32,8	<i>Top</i>	1334,939	1297,435
		<i>Bottom</i>	1334,939	1297,435
8	29,2	<i>Top</i>	1849,023	1795,179
		<i>Bottom</i>	1849,023	1795,179
7	25,6	<i>Top</i>	2267,373	2197,709
		<i>Bottom</i>	2267,373	2197,709
6	22	<i>Top</i>	2614,647	2532,929
		<i>Bottom</i>	2614,647	2532,929
5	18,4	<i>Top</i>	2922,152	2831,002
		<i>Bottom</i>	2922,152	2831,002
4	14,8	<i>Top</i>	3196,050	3099,293
		<i>Bottom</i>	3196,050	3099,293
3	11,2	<i>Top</i>	3422,735	3325,788
		<i>Bottom</i>	3422,735	3325,788
2	7,6	<i>Top</i>	3591,612	3499,116
		<i>Bottom</i>	3591,612	3499,116
1	4	<i>Top</i>	3679,785	3599,864
		<i>Bottom</i>	3679,785	3599,864
<i>Base</i>	0	<i>Top</i>	0,000	0,000
		<i>Bottom</i>	0,000	0,000

Grafik hasil gaya geser setiap lantai statik ekuivalen dan hasil respon spektrum pada arah x dan arah y dapat dilihat pada Gambar 4.1 dan 4.2 di bawah ini.

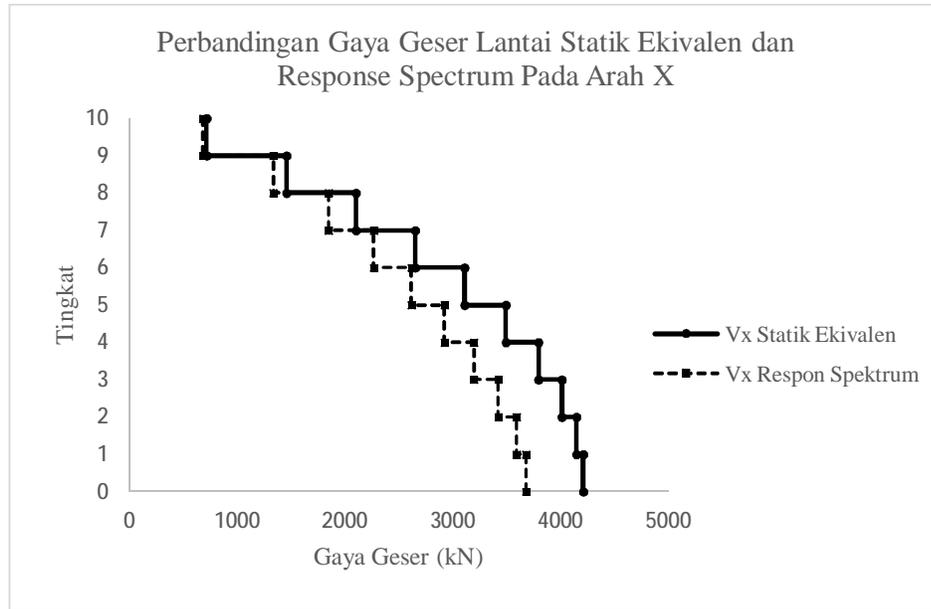


Gambar 4.1.: Grafik perbandingan gaya geser lantai statik ekuivalen arah x dan arah y.

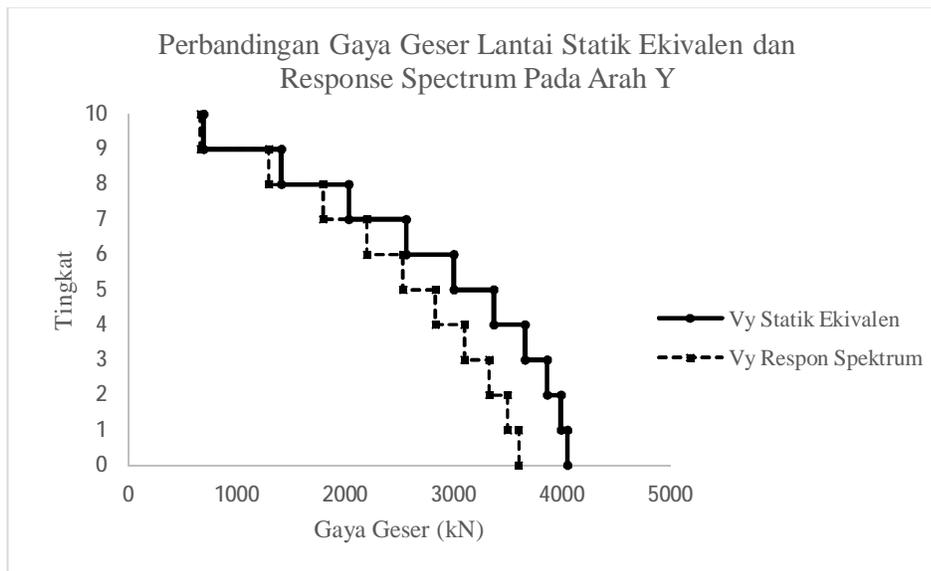


Gambar 4.2.: Grafik perbandingan gaya geser lantai respon spektrum arah x dan arah y.

Grafik perbandingan gaya geser setiap lantai statik ekivalen dan hasil respon spektrum pada arah x dan y dapat dilihat pada Gambar 4.3 dan 4.4 di bawah ini.



Gambar 4.3: Grafik perbandingan gaya geser lantai statik ekivalen dan respon spektrum pada arah x.



Gambar 4.4: Grafik perbandingan gaya geser lantai statik ekivalen dan respon spektrum pada arah y.

4.2.4. Koreksi Skala Simpangan Antar Tingkat

Nilai C_sW dan gaya geser dasar nominal analisis respon spektrum (V_t) dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan 4.2. Hasil perkalian C_sW berdasarkan analisis statik ekuivalen dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6: Nilai C_sW berdasarkan analisis statik ekuivalen model 1.

Arah Gempa	C_sW (kN)
Gempa X	4211,156
Gempa Y	4049,878

Berdasarkan Tabel 4.2 nilai V_t sb. x adalah 3679,7848 kN dan V_t sb. y adalah 3599,8641 kN.

$$\begin{aligned} \text{Syarat} & : V_t \geq 0,85 C_sW \\ \text{Gempa X} & : 3679,7848 \geq 0,85 \times 4211,156 \\ & : 3679,7848 \geq 3579,482 && \text{(OKE)} \\ \text{Gempa Y} & : 3599,8641 \geq 0,85 \times 4049,878 \\ & : 3599,8641 \geq 3442,396 && \text{(OKE)} \end{aligned}$$

Dengan demikian syarat skala simpangan antar lantai telah terpenuhi, yaitu gaya geser dasar respon spektrum (V_t) lebih besar dari nilai $0,85.C_s.W$, sehingga simpangan antar lantai tidak perlu dikalikan dengan faktor skala.

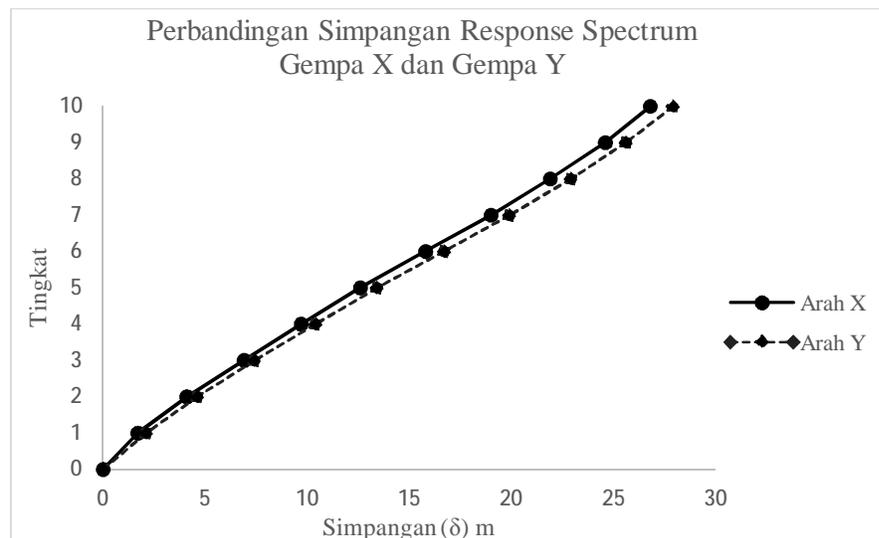
4.2.5. Nilai Simpangan Gedung

Berdasarkan peraturan SNI 1726:2012, kontrol simpangan antar lantai hanya terdapat satu kinerja batas, yaitu kinerja batas ultimit. Nilai simpangan antar tingkat yang di dapat harus di kontrol untuk tidak melebihi syarat batas simpangan antar tingkat yang di izinkan (Δa). Hasil nilai simpangan gedung untuk Model 1 dapat dilihat pada Tabel 4.7 di bawah ini.

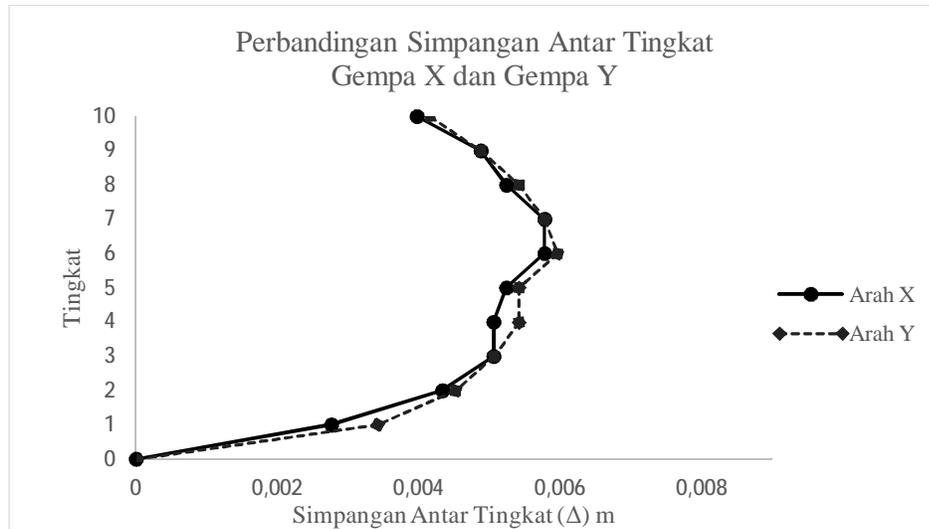
Tabel 4.7: Nilai simpangan model 1 berdasarkan SNI:1726 2012.

Lantai	h (mm)	Perpindahan Elastis (δ_e)		Perpindahan Total ($\delta_e \cdot C_d$)/ I_e		Simpangan Antar Lantai (Δ)		Syarat Δ_a (mm)	Cek X	Cek Y
		X (mm)	Y (mm)	X (mm)	Y (mm)	X (mm)	Y (mm)			
10	3600	26,8	27,9	174,2	181,4	14,3	15,0	72,0	OK	OK
9	3600	24,6	25,6	159,9	166,4	17,6	17,6	72,0	OK	OK
8	3600	21,9	22,9	142,4	148,9	18,9	19,5	72,0	OK	OK
7	3600	19,0	19,9	123,5	129,4	20,8	20,8	72,0	OK	OK
6	3600	15,8	16,7	102,7	108,6	20,8	21,5	72,0	OK	OK
5	3600	12,6	13,4	81,9	87,1	18,9	19,5	72,0	OK	OK
4	3600	9,7	10,4	63,1	67,6	18,2	19,5	72,0	OK	OK
3	3600	6,9	7,4	44,9	48,1	18,2	18,2	72,0	OK	OK
2	3600	4,1	4,6	26,7	29,9	15,6	16,3	72,0	OK	OK
1	4000	1,7	2,1	11,1	13,7	11,1	13,7	80,0	OK	OK
0	0	0	0	0	0	14,3	15,0	0		

Berdasarkan Tabel 4.7 seluruh simpangan antar tingkat telah memenuhi syarat yaitu lebih kecil dari Δ_a . Grafik perbandingan hasil simpangan dan simpangan antar tingkat model 1 dapat dilihat pada Gambar 4.5 dan 4.6 di bawah.



Gambar 4.5: Grafik perbandingan simpangan respon spektrum gempa x dan gempa y.



Gambar 4.6: Grafik perbandingan simpangan antar tingkat respon spektrum gempa x dan gempa y.

4.2.6. Kontrol Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak (*Soft Story*)

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. Hasil kontrol ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak pada arah x dan y untuk Model 1 tertera pada Tabel 4.8 dan 4.9.

Tabel 4.8: Kontrol ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak pada arah x.

Lantai	Σk_{ix}	Σk_{iy}	Arah X		Arah Y	
	(kN/m)	(kN/m)	$\% \Sigma k_{ix+1}$	$\% \Sigma k_{ix+3}$	$\% \Sigma k_{iy+1}$	$\% \Sigma k_{iy+3}$
10	275809,21	260121,13	-	-	-	-
9	464949,30	441595,79	168,58%	-	169,77%	-
8	589566,52	561080,83	126,80%	-	127,06%	-
7	694045,03	656227,37	117,72%	156,51%	116,96%	155,90%
6	847249,58	794293,88	122,07%	145,36%	121,04%	143,64%
5	999400,30	932872,88	117,96%	140,70%	117,45%	139,12%
4	1134433,11	1059651,56	113,51%	133,95%	113,59%	133,38%
3	1324563,15	1236156,64	116,76%	133,30%	116,66%	133,07%
2	1482396,34	1381010,35	111,92%	128,59%	111,72%	128,32%
1	2135348,24	1734229,66	144,05%	162,53%	125,58%	141,50%

Tabel 4.9: Kontrol ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak pada arah y.

Lantai	Σk_{ix}	Σk_{iy}	Arah X		Arah Y	
	(kN/m)	(kN/m)	% Σk_{ix+1}	% Σk_{ix+3}	% Σk_{iy+1}	% Σk_{iy+3}
10	275804,48	260130,34	-	-	-	-
9	464942,94	441610,71	168,58%	-	169,77%	-
8	589557,88	561098,91	126,80%	-	127,06%	-
7	694032,18	656241,56	117,72%	156,51%	116,96%	155,90%
6	847229,88	794318,14	122,07%	145,36%	121,04%	143,64%
5	999368,66	932923,20	117,96%	140,70%	117,45%	139,13%
4	1134387,81	1059681,47	113,51%	133,95%	113,59%	133,38%
3	1324493,50	1236188,99	116,76%	133,29%	116,66%	133,07%
2	1482306,63	1381045,44	111,91%	128,59%	111,72%	128,32%
1	2135121,81	1734266,66	144,04%	162,52%	125,58%	141,50%

Dari Tabel 4.8 dan 4.9, dapat diketahui bahwa tidak terdapat ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak pada arah x dan y karena persentase diatas 100 persen.

4.2.7. Ketidakberaturan Massa

Kontrol ketidakberaturan massa pada model 1 dilihat pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10: Kontrol ketidakberaturan massa pada model 1.

Lantai	Massa X (kg)	Massa Y (kg)	Massa Lantai n/ Lantai n±1 (X)	Massa Lantai n/ Lantai n±1 (Y)	Cek	Cek
					massa (X) < 150%	massa (Y) < 150%
10	551095,40	551095,4	101,87%	101,87%	OKE	OKE
9	540995,00	540995,0	100,00%	100,00%	OKE	OKE
8	540995,00	540995,0	100,00%	100,00%	OKE	OKE
7	540995,00	540995,0	102,32%	102,32%	OKE	OKE
6	528711,87	528711,87	103,87%	103,87%	OKE	OKE
5	509026,52	509026,52	100,00%	100,00%	OKE	OKE
4	509026,52	509026,52	100,00%	100,00%	OKE	OKE
3	509026,52	509026,52	100,00%	100,00%	OKE	OKE
2	509026,52	509026,52	116,95%	116,95%	OKE	OKE
1	435257,13	435257,13	78,98%	78,98%	OKE	OKE

Berdasarkan Tabel 4.10 di ketahui bahwa pada model 1 tidak terdapat ketidakberaturan massa karena pesentase massa efektif di bawah 150 persen.

4.2.8. Ketidakberaturan Torsi

Kontrol ketidakberaturan torsi model 1 pada arah x dan arah y dapat di lihat pada Tabel 4.11 dan 4.12 di bawah ini.

Tabel 4.11: kontrol ketidakberaturan torsi pada arah x.

Lantai	Elevasi	dx_{min}	dx_{max}	Δx_{min}	Δx_{max}	Ratio	Cek
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		
10	36,4	26,700	26,800	2,200	2,200	1,0000	OKE
9	32,8	24,500	24,600	2,600	2,600	1,0000	OKE
8	29,2	21,900	22,000	3,000	3,000	1,0000	OKE
7	25,6	18,900	19,000	3,100	3,200	1,0159	OKE
6	22	15,800	15,800	3,200	3,100	0,9841	OKE
5	18,4	12,600	12,700	2,900	2,900	1,0000	OKE
4	14,8	9,700	9,800	2,900	2,900	1,0000	OKE
3	11,2	6,800	6,900	2,700	2,700	1,0000	OKE
2	7,6	4,100	4,200	2,400	2,500	1,0204	OKE
1	4	1,700	1,700	1,700	1,700	1,0000	OKE

Tabel 4.12: kontrol ketidakberaturan torsi pada arah y.

Lantai	Elevasi	dx_{min}	dx_{max}	Δx_{min}	Δx_{max}	Ratio	Cek
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		
10	36,4	27,800	27,800	2,300	2,300	1,0000	OKE
9	32,8	25,500	25,500	2,700	2,700	1,0000	OKE
8	29,2	22,800	22,800	3,000	3,000	1,0000	OKE
7	25,6	19,800	19,800	3,200	3,200	1,0000	OKE
6	22	16,600	16,600	3,200	3,200	1,0000	OKE
5	18,4	13,400	13,400	3,000	3,000	1,0000	OKE
4	14,8	10,400	10,400	3,000	3,000	1,0000	OKE
3	11,2	7,400	7,400	2,800	2,800	1,0000	OKE
2	7,6	4,600	4,600	2,500	2,500	1,0000	OKE
1	4	2,100	2,100	2,100	2,100	1,0000	OKE

Berdasarkan Tabel 4.11 dan 4.12 diketahui bahwa tidak terdapat ketidakberaturan torsi pada arah x dan y karena nilai *ratio* dibawah 1,2.

4.2.9. Pengaruh Efek P-Delta

Berdasarkan SNI 1726:2012, 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 4.13 dan 4.14.

Tabel 4.13: Kontrol P-delta model 1 pada arah x.

Lantai	Tinggi (m)	Story Drift (m)	Gaya Geser Seismik, V_x (kN)	Beban Vertikal Total (kN)	Beban Vertikal Kumulatif (kN)	Stability Ratio (θ_x)	Cek
10	36,4	0,0143	684,380	4352,571	4352,571	0,00050	OK
9	32,8	0,0176	1334,939	5090,265	9442,837	0,00076	OK
8	29,2	0,0189	1849,023	5090,265	14533,102	0,00101	OK
7	25,6	0,0208	2267,373	5090,265	19623,367	0,00141	OK
6	22	0,0208	2614,647	5090,265	24713,632	0,00179	OK
5	18,4	0,0189	2922,152	5287,119	30000,751	0,00210	OK
4	14,8	0,0182	3196,050	5409,950	35410,701	0,00272	OK
3	11,2	0,0182	3422,735	5409,950	40820,651	0,00388	OK
2	7,6	0,0156	3591,612	5409,950	46230,601	0,00528	OK
1	4	0,0111	3679,785	5510,954	51741,555	0,00777	OK

Tabel 4.14: Kontrol P-delta model 1 pada arah y.

Lantai	Tinggi (m)	Story Drift (m)	Gaya Geser Seismik, V_y (kN)	Beban Vertikal Total (kN)	Beban Vertikal Kumulatif (kN)	Stability Ratio (θ_x)	Cek
10	36,4	0,0150	666,160	4352,571	4352,571	0,00054	OK
9	32,8	0,0176	1297,435	5090,265	9442,837	0,00078	OK
8	29,2	0,0195	1795,179	5090,265	14533,102	0,00108	OK
7	25,6	0,0208	2197,709	5090,265	19623,367	0,00145	OK
6	22	0,0215	2532,929	5090,265	24713,632	0,00190	OK
5	18,4	0,0195	2831,002	5287,119	30000,751	0,00225	OK
4	14,8	0,0195	3099,293	5409,950	35410,701	0,00301	OK
3	11,2	0,0182	3325,788	5409,950	40820,651	0,00399	OK
2	7,6	0,0163	3499,116	5409,950	46230,601	0,00565	OK
1	4	0,0137	3599,864	5510,954	51741,555	0,00981	OK

Berdasarkan Tabel 4.13 dan 4.14, efek P-delta dapat diabaikan karena syarat *stability ratio* terpenuhi untuk masing-masing arah x dan arah y , yaitu kurang dari 0,1.

4.2.10. Kontrol Desain SCWB (*Strong Column Weak Beam*)

Dalam konsep kolom kuat – balok lemah, kerusakan pertama kali diharapkan terjadi pada balok terlebih dahulu agar tidak terjadi keruntuhan secara total. Berdasarkan SNI 7860:2015 struktur gedung baja harus diperiksa menurut ketentuan rasio momen yaitu hubungan antara balok dan kolom harus memiliki rasio momen yang menghasilkan jumlah kekuatan lentur kolom di atas dan di bawah joint dibagi jumlah kekuatan lentur balok pada joint yang sama harus lebih besar dari 1,0. Untuk itu perlu dilakukan kontrol desain SCWB (*Strong Column Weak Beam*) untuk Model 1.

$$\frac{\sum M_{pc}}{\sum M_{pb}} > 1$$

dimana:

$\sum M_{pc}$ = Jumlah kekuatan lentur nominal kolom di atas dan di bawah joint

$\sum M_{pb}$ = Jumlah kekuatan lentur ekspektasi balok pada lokasi sendi plastis

Hasil kontrol desain SCWB (*Strong Column Weak Beam*) dapat dilihat pada tabel 4.15 di bawah ini. Data perhitungan hasil terdapat pada Lampiran.

Tabel 4.15: Hasil kontrol desain SCWB pada model 1.

$\sum M_{pc}$	$\sum M_{pb}$	Rasio Momen	Kontrol
7944,605	3914,470	2,030	OKE

Berdasarkan Tabel 4.15 dapat diketahui bahwa nilai hasil rasio momen hubungan antara balok dan kolom pada model 1 lebih besar dari 1, maka pada model 1 konsep desain SCWB (*Strong Column Weak Beam*) telah terpenuhi berdasarkan SNI 7860:2015.

4.2.11. Sistem Ganda

Berdasarkan SNI 1726:2012 disyaratkan bahwa 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 atau rangka bresing, dengan distribusi yang proporsional terhadap kekakuannya.

Berikut ini adalah hasil perbandingan persentase *base shear* antara SRPMK dan sistem ganda model 1 yang didapat dari nilai *joint reaction* dari *output software* ETABS versi 15 yang tertera pada Tabel 4.16. Data perhitungan Kontrol sistem ganda terdapat pada Lampiran.

Tabel 4.16: Nilai perbandingan persentase penahan gaya gempa dengan metode respons spektrum antara srpmk dengan sistem ganda.

Load Cases	Beban gempa yang diterima (kN)		Persentase gempa yang dipikul (%)		Selisih (%)
	SRPMK	Sistem Ganda	SRPMK	Sistem Ganda	
Gempa X	1097,021	2477,2748	30,69	69,31	38,62
Gempa Y	1072,876	2612,011	29,12	70,88	41,77

Dari Tabel 4.16 dapat disimpulkan bahwa persentase dari SRPMK nilainya lebih besar dari 25 persen, sehingga konfigurasi stuktur gedung dalam pemodelan ini telah memenuhi syarat sebagai struktur *dual system* menurut SNI 1726:2012.

4.3. Hasil Analisa Struktur Model 2

4.3.1. Gaya geser dasar

Berikut perhitungan gaya geser dasar nominal statik ekivalen pada gempa arah X dan arah Y.

- Gempa Arah X

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

$$V_{Ix} = 0,127 \times 56380,86$$

$$= 7182,276 \text{ kN}$$

- Gempa Arah Y

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

$$V_{Iy} = 0,125 \times 56380,86$$

$$= 7030,033 \text{ kN}$$

Nilai gaya geser dasar nominal analisa statik ekuivalen dan respon spektrum tertera pada Tabel 4.17 dan Tabel 4.18.

Tabel 4.17: Nilai gaya geser dasar nominal analisa statik ekuivalen.

Arah Gempa	V ₁ (kN)
Gempa X	7182,276
Gempa Y	7030,033

Tabel 4.18: Nilai gaya geser dasar nominal analisa respon spektrum *output software* ETABS versi 15.

<i>Base Reactions</i>				
<i>OutputCase</i>	<i>CaseType</i>	<i>StepType</i>	<i>Global F_X</i>	<i>Global F_Y</i>
<i>Text</i>	<i>Text</i>	<i>Text</i>	kN	Kn
Gempa X	<i>LinRespSpec</i>	<i>Max</i>	6197,692	
Gempa Y	<i>LinRespSpec</i>	<i>Max</i>		6386,123

Untuk memenuhi syarat berdasarkan SNI 1726:2012, maka nilai faktor skala harus lebih kecil atau sama dengan 1.

$$\text{Syarat} : 0,85 \frac{V_1}{V_t} \leq 1$$

$$\text{Gempa X} : 0,85 \frac{7182,276}{6197,692} \leq 1$$

$$: 0,9850 \leq 1 \quad (\text{OKE})$$

$$\text{Gempa Y} : 0,85 \frac{7030,033}{6386,123} \leq 1$$

$$: 0,9357 \leq 1 \quad (\text{OKE})$$

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 dapat digunakan tanpa dikalikan dengan faktor skala.

4.3.2. Koreksi Faktor Redundansi

Seperti halnya dengan model 1, Berdasarkan sub Bab 2.11.7 pada tabel 2.10 nilai gaya geser dengan redundansi 1 per lantainya harus dikoreksi dengan 35 persen gaya geser dasar dengan redundansi 1 pada masing-masing arah. Jika persyaratan tersebut tidak terpenuhi, maka nilai faktor redundansi 1 harus diganti dengan redundansi 1,3. Koreksi untuk setiap gaya geser dengan nilai redundansi 1 pada model 2 dapat dilihat pada Tabel 4.19.

Tabel 4.19: Koreksi *story shear* dengan 35% *base shear* dengan redundansi 1.

Story	V _x (kN)	V _y (kN)	35% V _x <i>base shear</i>	35% V _y <i>base shear</i>	Kontrol	Kontrol
10	1150,524	1130,332	2513,796	2460,512	Tidak Oke	Tidak Oke
9	2399,807	2356,603	2513,796	2460,512	Tidak Oke	Tidak Oke
8	3493,700	3429,287	2513,796	2460,512	Oke	Oke
7	4434,916	4351,221	2513,796	2460,512	Oke	Oke
6	5226,493	5125,584	2513,796	2460,512	Oke	Oke
5	5894,164	5777,745	2513,796	2460,512	Oke	Oke
4	6425,662	6295,935	2513,796	2460,512	Oke	Oke
3	6812,215	6671,918	2513,796	2460,512	Oke	Oke
2	7060,418	6912,540	2513,796	2460,512	Oke	Oke
1	7182,276	7030,033	2513,796	2460,512	Oke	Oke
Base	0	0	0	0	Oke	Oke

Dari Tabel 4.19, dapat diketahui gaya geser pada lantai 10 dan 9 dengan redundansi 1 tidak memenuhi syarat lebih besar dari 35 persen gaya geser dasar. Sehingga nilai faktor redundansi yang digunakan pada pemodelan struktur adalah 1,3.

4.3.3. Gaya Geser pada Setiap Lantai

Nilai gaya geser pada setiap lantai yang didapat hasil perhitungan statik ekuivalen arah X dan arah Y model 2 dilihat pada Tabel 4.20. Data perhitungan terdapat pada Lampiran.

Tabel 4.20: Nilai gaya geser lantai statik ekuivalen gedung setiap lantai model 2.

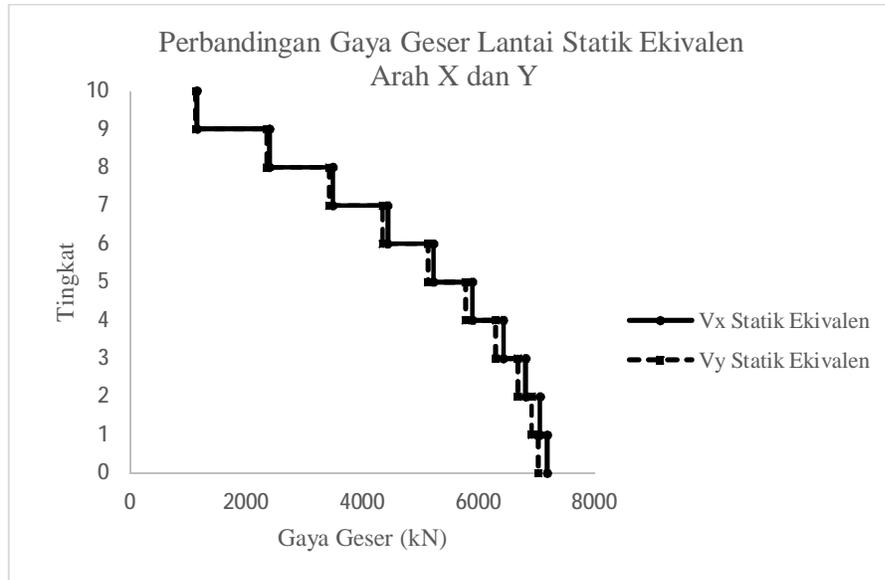
Lantai	Tinggi Lantai (m)	Lokasi	V _x (kN)	V _y (kN)
10	36,4	<i>Top</i>	1150,524	1130,332
		<i>Bottom</i>	1150,524	1130,332
9	32,8	<i>Top</i>	2399,807	2356,603
		<i>Bottom</i>	2399,807	2356,603
8	29,2	<i>Top</i>	3493,700	3429,287
		<i>Bottom</i>	3493,700	3429,287
7	25,6	<i>Top</i>	4434,916	4351,221
		<i>Bottom</i>	4434,916	4351,221
6	22	<i>Top</i>	5226,493	5125,584
		<i>Bottom</i>	5226,493	5125,584
5	18,4	<i>Top</i>	5894,164	5777,745
		<i>Bottom</i>	5894,164	5777,745
4	14,8	<i>Top</i>	6425,662	6295,935
		<i>Bottom</i>	6425,662	6295,935
3	11,2	<i>Top</i>	6812,215	6671,918
		<i>Bottom</i>	6812,215	6671,918
2	7,6	<i>Top</i>	7060,418	6912,540
		<i>Bottom</i>	7060,418	6912,540
1	4	<i>Top</i>	7182,276	7030,033
		<i>Bottom</i>	7182,276	7030,033
<i>Base</i>	0	<i>Top</i>	0	0
		<i>Bottom</i>	0	0

Nilai gaya geser pada setiap lantai yang didapat dari pemodelan struktur dengan menggunakan *software* ETABS versi 15 dapat dilihat pada Tabel 4.21.

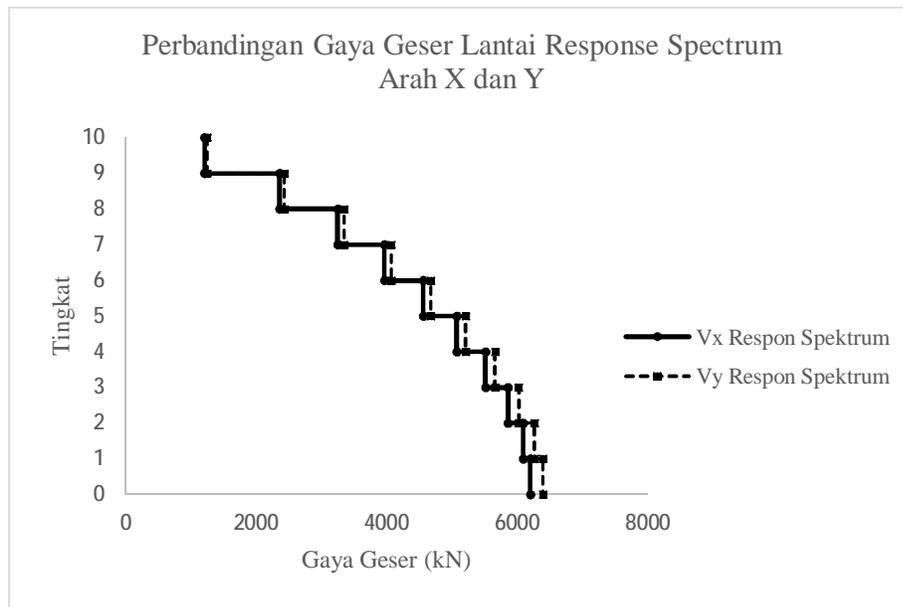
Tabel 4.21: Nilai gaya geser hasil respon spektrum pada setiap lantai model 2.

Lantai	Tinggi Lantai (m)	Lokasi	V _x (kN)	V _y (kN)
10	36,4	<i>Top</i>	1206,810	1250,312
		<i>Bottom</i>	1206,810	1250,312
9	32,8	<i>Top</i>	2356,255	2430,890
		<i>Bottom</i>	2356,255	2430,890
8	29,2	<i>Top</i>	3247,687	3342,839
		<i>Bottom</i>	3247,687	3342,839
7	25,6	<i>Top</i>	3962,841	4071,557
		<i>Bottom</i>	3962,841	4071,557
6	22	<i>Top</i>	4553,846	4675,847
		<i>Bottom</i>	4553,846	4675,847
5	18,4	<i>Top</i>	5069,472	5205,709
		<i>Bottom</i>	5069,472	5205,709
4	14,8	<i>Top</i>	5509,687	5660,424
		<i>Bottom</i>	5509,687	5660,424
3	11,2	<i>Top</i>	5853,397	6019,411
		<i>Bottom</i>	5853,397	6019,411
2	7,6	<i>Top</i>	6086,634	6264,862
		<i>Bottom</i>	6086,634	6264,862
1	4	<i>Top</i>	6197,692	6386,123
		<i>Bottom</i>	6197,692	6386,123
<i>Base</i>	0	<i>Top</i>	0	0
		<i>Bottom</i>	0	0

Grafik hasil gaya geser setiap lantai statik ekuivalen dan hasil respon spektrum model 2 dapat dilihat pada Gambar 4.7 dan 4.8 di bawah ini.

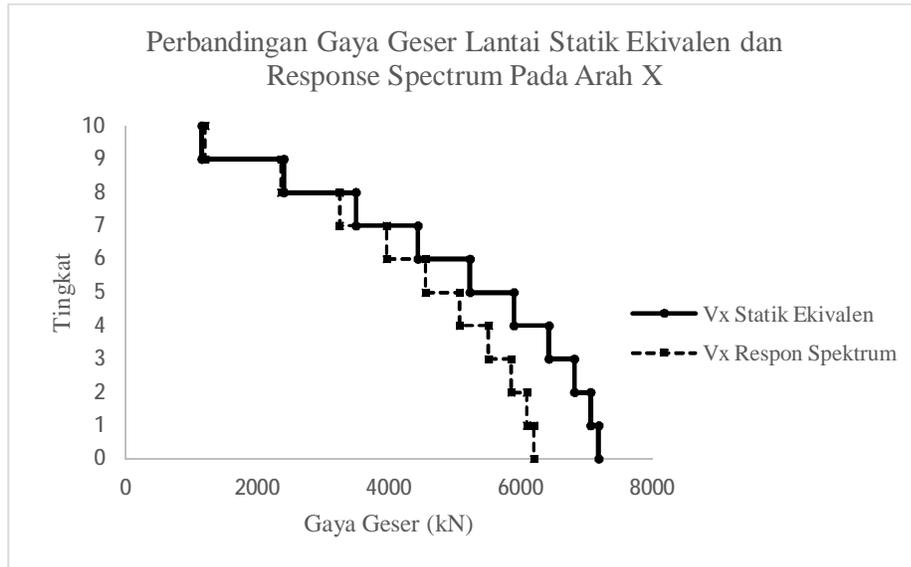


Gambar 4.7: Grafik perbandingan gaya geser lantai statik ekuivalen arah x dan arah y model 2.

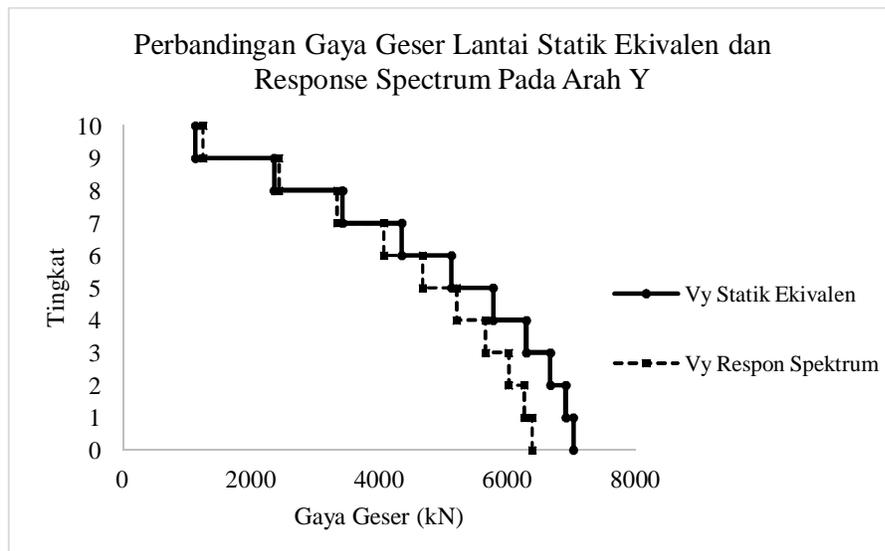


Gambar 4.8: Grafik perbandingan gaya geser lantai respon spektrum arah x dan arah y model 2.

Grafik perbandingan hasil gaya geser setiap lantai statik ekivalen dan hasil respon spektrum pada arah x dan arah y model 2 dapat dilihat pada Gambar 4.9 dan 4.10. di bawah ini.



Gambar 4.9: Grafik perbandingan gaya geser lantai statik ekivalen dan respon spektrum pada arah x model 2.



Gambar 4.10: Grafik perbandingan gaya geser lantai statik ekivalen dan respon spektrum pada arah y model 2.

4.3.4. Koreksi Skala Simpangan Antar Tingkat

Nilai C_sW dan gaya geser dasar nominal analisis respon spektrum (V_t) dapat dilihat pada Tabel 4.17 dan 4.18. Hasil perkalian C_sW berdasarkan analisis statik ekuivalen dapat dilihat pada Tabel 4.22 di bawah ini.

Tabel 4.22: Nilai C_sW berdasarkan analisis statik ekuivalen model 2.

Arah Gempa	C_sW (kN)
Gempa X	7182,276
Gempa Y	7030,033

Berdasarkan Tabel 4.18 nilai V_t sb. x adalah 6197,692 kN dan V_t sb. y adalah 6386,123 kN.

$$\begin{aligned} \text{Syarat} & : V_t \geq 0,85 C_sW \\ \text{Gempa X} & : 6197,692 \geq 0,85 \times 7182,276 \\ & : 6197,692 \geq 6104,934 \quad \text{(OKE)} \\ \text{Gempa Y} & : 6386,123 \geq 0,85 \times 7030,033 \\ & : 6386,123 \geq 5975,528 \quad \text{(OKE)} \end{aligned}$$

Dengan demikian syarat skala simpangan antar lantai telah terpenuhi, yaitu gaya geser dasar respon spektrum (V_t) lebih besar dari nilai $0,85.C_s.W$, sehingga simpangan antar lantai tidak perlu dikalikan dengan faktor skala.

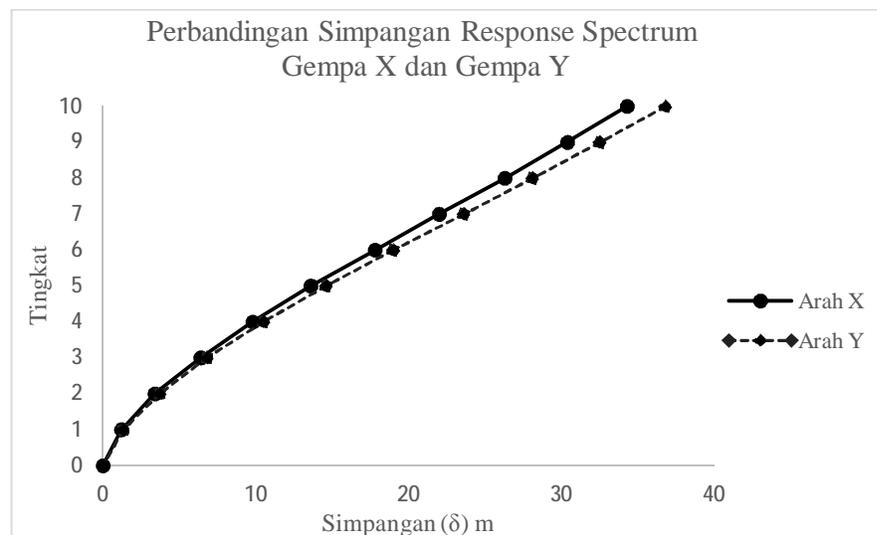
4.3.5. Nilai Simpangan Gedung

Seperti halnya dengan model 1, Berdasarkan peraturan SNI 1726:2012, kontrol simpangan antar lantai hanya terdapat satu kinerja batas, yaitu kinerja batas ultimit. Nilai simpangan antar tingkat yang di dapat harus di kontrol untuk tidak melebihi syarat batas yang di izinkan (Δa). Hasil nilai simpangan gedung untuk Model 2 dapat dilihat pada Tabel 4.23 di bawah ini.

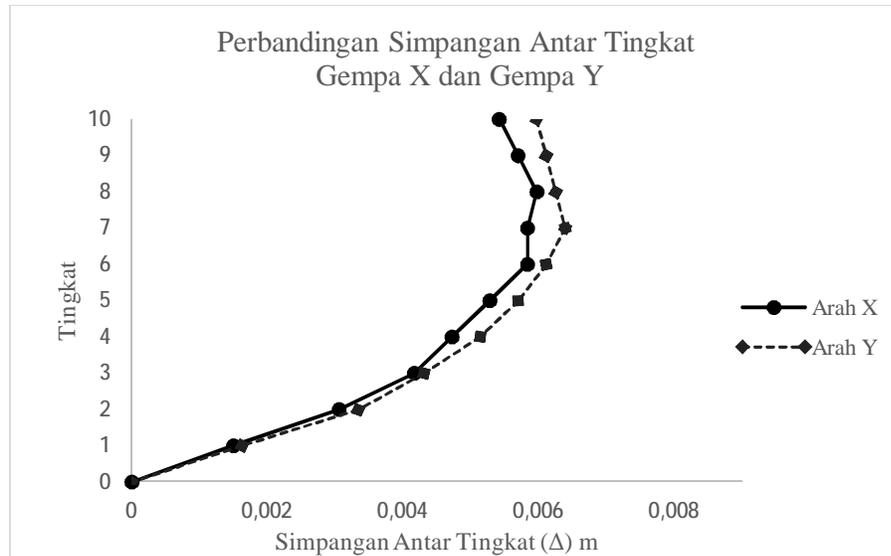
Tabel 4.23: Nilai simpangan model 2 berdasarkan SNI:1726 2012.

Lantai	h (mm)	Perpindahan Elastis (δ_e)		Perpindahan Total ($\delta_e * C_d$)/ I_e		Simpangan Antar Lantai (Δ)		Syarat Δa (mm)	Cek X	Cek Y
		X (mm)	Y (mm)	X (mm)	Y (mm)	X (mm)	Y (mm)			
10	3600	34,3	36,8	171,5	184,0	19,5	21,5	72,0	OK	OK
9	3600	30,4	32,5	152,0	162,5	20,5	22,0	72,0	OK	OK
8	3600	26,3	28,1	131,5	140,5	21,5	22,5	72,0	OK	OK
7	3600	22	23,6	110,0	118,0	21,0	23,0	72,0	OK	OK
6	3600	17,8	19	89,0	95,0	21,0	22,0	72,0	OK	OK
5	3600	13,6	14,6	68,0	73,0	19,0	20,5	72,0	OK	OK
4	3600	9,8	10,5	49,0	52,5	17,0	18,5	72,0	OK	OK
3	3600	6,4	6,8	32,0	34,0	15,0	15,5	72,0	OK	OK
2	3600	3,4	3,7	17,0	18,5	11,0	12,0	72,0	OK	OK
1	4000	1,2	1,3	6,0	6,5	6,0	6,5	80,0	OK	OK
0	0	0	0	0	0	0	0	0		

Berdasarkan Tabel 4.23, seluruh simpangan antar tingkat telah memenuhi syarat yaitu lebih kecil dari Δa . Grafik perbandingan simpangan dan simpangan antar tingkat model 2 dapat dilihat pada Gambar 4.11 dan 4.12 di bawah.



Gambar 4.11: Grafik perbandingan simpangan respon spektrum gempa x dan gempa y model 2.



Gambar 4.12: Grafik perbandingan simpangan antar tingkat respon spektrum gempa x dan gempa y model 2.

4.3.6. Kontrol Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak (*Soft Story*)

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. Hasil kontrol ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak pada arah x dan y untuk Model 2 tertera pada Tabel 4.24 dan 4.25.

Tabel 4.24: Kontrol ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak arah x model 2.

Lantai	Σk_{ix}	Σk_{iy}	Arah X		Arah Y	
	(kN/m)	(kN/m)	$\% \Sigma k_{ix+1}$	$\% \Sigma k_{ix+3}$	$\% \Sigma k_{iy+1}$	$\% \Sigma k_{iy+3}$
10	295762,99	285135,58	-	-	-	-
9	560892,57	540564,22	189,64%	-	189,58%	-
8	757946,10	730227,80	135,13%	-	135,09%	-
7	933857,55	897974,84	123,21%	173,51%	122,97%	173,14%
6	1135272,87	1089720,75	121,57%	151,19%	121,35%	150,74%
5	1374295,44	1315925,12	121,05%	145,84%	120,76%	145,25%
4	1682553,04	1614973,08	122,43%	146,59%	122,73%	146,65%
3	2196492,08	2113780,02	130,55%	157,19%	130,89%	157,72%
2	2772089,72	2674333,47	126,21%	158,30%	126,52%	159,04%
1	5051761,23	4802463,43	182,24%	227,86%	179,58%	225,01%

Tabel 4.25: Kontrol ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak arah y model 2.

Lantai	Σk_{ix}	Σk_{iy}	Arah X		Arah Y	
	(kN/m)	(kN/m)	$\% \Sigma k_{ix+1}$	$\% \Sigma k_{ix+3}$	$\% \Sigma k_{iy+1}$	$\% \Sigma k_{iy+3}$
10	295761,98	285139,12	-	-	-	-
9	560889,02	540571,90	189,64%	-	189,58%	-
8	757940,00	730237,89	135,13%	-	135,09%	-
7	933848,13	897983,13	123,21%	173,51%	122,97%	173,14%
6	1135252,39	1089757,29	121,57%	151,19%	121,36%	150,74%
5	1374274,62	1315941,81	121,05%	145,84%	120,76%	145,25%
4	1682522,57	1614992,75	122,43%	146,59%	122,73%	146,65%
3	2196444,41	2113804,91	130,54%	157,19%	130,89%	157,72%
2	2772022,17	2674364,27	126,20%	158,30%	126,52%	159,04%
1	5051597,77	4802512,82	182,24%	227,86%	179,58%	225,01%

Dari Tabel 4.24 dan 4.25, dapat diketahui bahwa tidak terdapat ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak pada arah x dan y karena persentase diatas 100 persen.

4.3.7. Ketidakberaturan Massa

Kontrol ketidakberaturan massa pada model 2 dilihat pada Tabel 4.26.

Tabel 4.26: Kontrol ketidakberaturan massa pada model 2.

Lantai	Massa X (kg)	Massa Y (kg)	Massa Lantai n/ Lantai n±1 (X)	Massa Lantai n/ Lantai n±1 (Y)	Cek	Cek
					massa (X) < 150%	massa (Y) < 150%
10	614285,37	614285,37	102,22%	102,22%	OKE	OKE
9	600961,03	600961,03	100,00%	100,00%	OKE	OKE
8	600961,03	600961,03	100,00%	100,00%	OKE	OKE
7	600961,03	600961,03	102,09%	102,09%	OKE	OKE
6	588677,9	588677,9	103,45%	103,45%	OKE	OKE
5	569041,76	569041,76	100,00%	100,00%	OKE	OKE
4	569041,76	569041,76	100,00%	100,00%	OKE	OKE
3	569041,76	569041,76	100,00%	100,00%	OKE	OKE
2	569041,76	569041,76	122,30%	122,30%	OKE	OKE
1	465271,43	465271,43	75,74%	75,74%	OKE	OKE

Berdasarkan Tabel 4.26 di ketahui bahwa pada model 2 tidak terdapat ketidakberaturan massa karena pesentase massa efektif di bawah 150 persen.

4.3.8. Ketidakberaturan Torsi

Kontrol ketidakberaturan torsi model 2 pada arah x dan arah y dapat di lihat pada Tabel 4.27 dan 4.28 di bawah ini.

Tabel 4.27: Kontrol ketidakberaturan torsi pada arah x model 2.

Lantai	Elevasi	dx_{min}	dx_{max}	Δx_{min}	Δx_{max}	Ratio	Cek
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		
10	36,4	34,300	34,300	3,900	3,900	1,0000	OKE
9	32,8	30,400	30,400	4,100	4,100	1,0000	OKE
8	29,2	26,300	26,300	4,300	4,300	1,0000	OKE
7	25,6	22,000	22,000	4,200	4,200	1,0000	OKE
6	22	17,800	17,800	4,200	4,200	1,0000	OKE
5	18,4	13,600	13,600	3,800	3,800	1,0000	OKE
4	14,8	9,800	9,800	3,400	3,400	1,0000	OKE
3	11,2	6,400	6,400	3,000	3,000	1,0000	OKE
2	7,6	3,400	3,400	2,200	2,200	1,0000	OKE
1	4	1,200	1,200	1,200	1,200	1,0000	OKE

Tabel 4.28: Kontrol ketidakberaturan torsi pada arah y model 2.

Lantai	Elevasi	dx_{min}	dx_{max}	Δx_{min}	Δx_{max}	Ratio	Cek
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		
10	36,4	36,600	36,800	4,200	4,300	1,0118	OKE
9	32,8	32,400	32,500	4,400	4,400	1,0000	OKE
8	29,2	28,000	28,100	4,500	4,500	1,0000	OKE
7	25,6	23,500	23,600	4,600	4,600	1,0000	OKE
6	22	18,900	19,000	4,300	4,400	1,0115	OKE
5	18,4	14,600	14,600	4,100	4,100	1,0000	OKE
4	14,8	10,500	10,500	3,700	3,700	1,0000	OKE
3	11,2	6,800	6,800	3,100	3,100	1,0000	OKE
2	7,6	3,700	3,700	2,400	2,400	1,0000	OKE
1	4	1,300	1,300	1,300	1,300	1,0000	OKE

Berdasarkan Tabel 4.27 dan 4.28, diketahui bahwa pada model 2 tidak terdapat ketidakberaturan torsi pada arah x dan y karena nilai *ratio* dibawah 1,2.

4.3.9. Pengaruh Efek P-Delta

Berdasarkan SNI 1726:2012, efek P-delta dapat diabaikan jika nilai *stability ratio* lebih kecil dari 0,1. Kontrol pengaruh P-delta untuk arah x dan y pada model 2 tertera pada Tabel 4.29 dan 4.30.

Tabel 4.29: Kontrol P-delta pada arah x model 2.

Lantai	Tinggi (m)	Story Drift (m)	Gaya Geser Seismik, V_x (kN)	Beban Vertikal Total (kN)	Beban Vertikal Kumulatif (kN)	Stability Ratio (θ_x)	Cek
10	36,4	0,0195	1206,810	4652,714	4652,714	0,00041	OK
9	32,8	0,0205	2356,255	5690,418	10343,132	0,00055	OK
8	29,2	0,0215	3247,687	5690,418	16033,550	0,00073	OK
7	25,6	0,0210	3962,841	5690,418	21723,967	0,00090	OK
6	22	0,0210	4553,846	5690,418	27414,385	0,00115	OK
5	18,4	0,0190	5069,472	5886,779	33301,164	0,00136	OK
4	14,8	0,0170	5509,687	6009,610	39310,774	0,00164	OK
3	11,2	0,0150	5853,397	6009,610	45320,384	0,00207	OK
2	7,6	0,0110	6086,634	6009,610	51329,995	0,00244	OK
1	4	0,0060	6197,692	6142,854	57472,848	0,00278	OK

Tabel 4.30: Kontrol P-delta pada arah y model 2.

Lantai	Tinggi (m)	Story Drift (m)	Gaya Geser Seismik, V_y (kN)	Beban Vertikal Total (kN)	Beban Vertikal Kumulatif (kN)	Stability Ratio (θ_x)	Cek
10	36,4	0,0215	1250,312	4652,714	4652,714	0,00044	OK
9	32,8	0,0220	2430,890	5690,418	10343,132	0,00057	OK
8	29,2	0,0225	3342,839	5690,418	16033,550	0,00074	OK
7	25,6	0,0230	4071,557	5690,418	21723,967	0,00096	OK
6	22	0,0220	4675,847	5690,418	27414,385	0,00117	OK
5	18,4	0,0205	5205,709	5886,779	33301,164	0,00143	OK
4	14,8	0,0185	5660,424	6009,610	39310,774	0,00174	OK
3	11,2	0,0155	6019,411	6009,610	45320,384	0,00208	OK
2	7,6	0,0120	6264,862	6009,610	51329,995	0,00259	OK
1	4	0,0065	6386,123	6142,854	57472,848	0,00292	OK

Berdasarkan Tabel 4.29 dan 4.30, efek p-delta pada model 2 dapat diabaikan karena syarat *stability ratio* terpenuhi untuk masing-masing arah x dan arah y, yaitu lebih kecil dari 0,1.

4.3.10. Kontrol Desain SCWB (*Strong Column Weak Beam*)

Seperti dengan model 1, Dalam konsep kolom kuat – balok lemah, kerusakan pertama kali diharapkan terjadi pada balok terlebih dahulu agar tidak terjadi keruntuhan secara total. Berdasarkan SNI 7860:2015 struktur gedung baja harus diperiksa menurut ketentuan rasio momen yaitu hubungan antara balok dan kolom harus memiliki rasio momen yang menghasilkan jumlah kekuatan lentur kolom di atas dan di bawah joint dibagi jumlah kekuatan lentur balok pada joint yang sama harus lebih besar dari 1,0. Untuk itu perlu dilakukan kontrol desain SCWB (*Strong Column Weak Beam*) untuk Model 2.

$$\frac{\sum M_{pc}}{\sum M_{pb}} > 1$$

dimana:

$\sum M_{pc}$ = Jumlah kekuatan lentur nominal kolom di atas dan di bawah joint

$\sum M_{pb}$ = Jumlah kekuatan lentur ekspektasi balok pada lokasi sendi plastis

Hasil kontrol desain SCWB (*Strong Column Weak Beam*) model 2 dapat dilihat pada Tabel 4.31 di bawah ini. Data perhitungan hasil terdapat pada Lampiran.

Tabel 4.31: Hasil kontrol desain SCWB pada model 2.

$\sum M_{pc}$	$\sum M_{pb}$	Rasio Momen	Kontrol
7953,832	3909,838	2,034	OKE

Berdasarkan Tabel 4.31, dapat diketahui bahwa nilai hasil rasio momen hubungan antara balok dan kolom pada model 1 lebih besar dari 1, maka pada model 2 konsep desain SCWB (*Strong Column Weak Beam*) telah terpenuhi berdasarkan SNI 7860:2015.

4.3.10. Sistem Ganda

Seperti dengan model 1, Berdasarkan SNI 1726:2012 disyaratkan bahwa 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 atau rangka bresing, dengan distribusi yang proporsional terhadap kekakuannya.

Berikut ini adalah hasil perbandingan persentase *base shear* antara SRPMK dan sistem ganda model 2 yang didapat dari nilai *joint reaction* dari *output software ETABS* versi 15 yang tertera pada Tabel 4.32.

Tabel 4.32: Nilai perbandingan persentase penahan gaya gempa dengan metode respons spektrum antara srpmk dengan sistem ganda.

Load Cases	Beban gempa yang diterima (kN)		Persentase gempa yang dipikul (%)		Selisih (%)
	SRPMK	Sistem Ganda	SRPMK	Sistem Ganda	
Gempa X	1748,49	4369,50	28,58	71,42	42,84
Gempa Y	1955,85	4405,91	30,74	69,26	38,51

Berdasarkan Tabel 4.32, dapat dilihat bahwa persentase dari SRPMK nilainya lebih besar dari 25 persen, sehingga konfigurasi stuktur gedung dalam pemodelan ini telah memenuhi syarat sebagai struktur *dual system* menurut SNI 1726:2012.

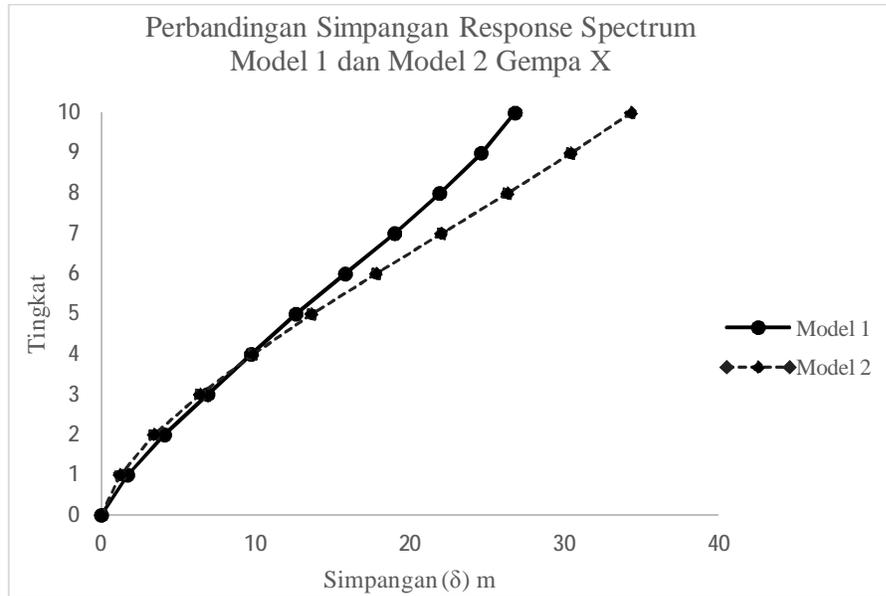
4.4. Perbandingan Kinerja Seismik Struktur

Perbandingan kinerja seismik pada setiap model dilakukan sesuai dengan tujuan penelitian ini, yakni meninjau perbandingan kinerja dari masing-masing struktur untuk bisa diperoleh kesimpulan. Dalam hal ini akan meninjau perbandingan nilai simpangan, simpangan antar tingkat, dan gaya geser yang terjadi pada setiap model struktur.

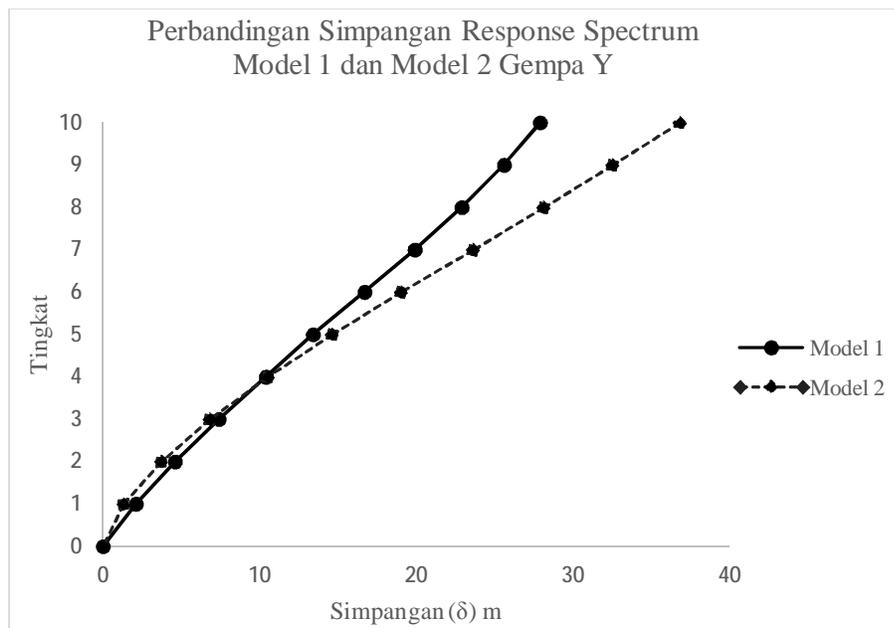
4.4.1. Perbandingan Simpangan Setiap Model Struktur

Perbandingan simpangan dan simpangan antar tingkat yang ditinjau pada setiap model disajikan dalam bentuk grafik . Grafik perbandingan simpangan

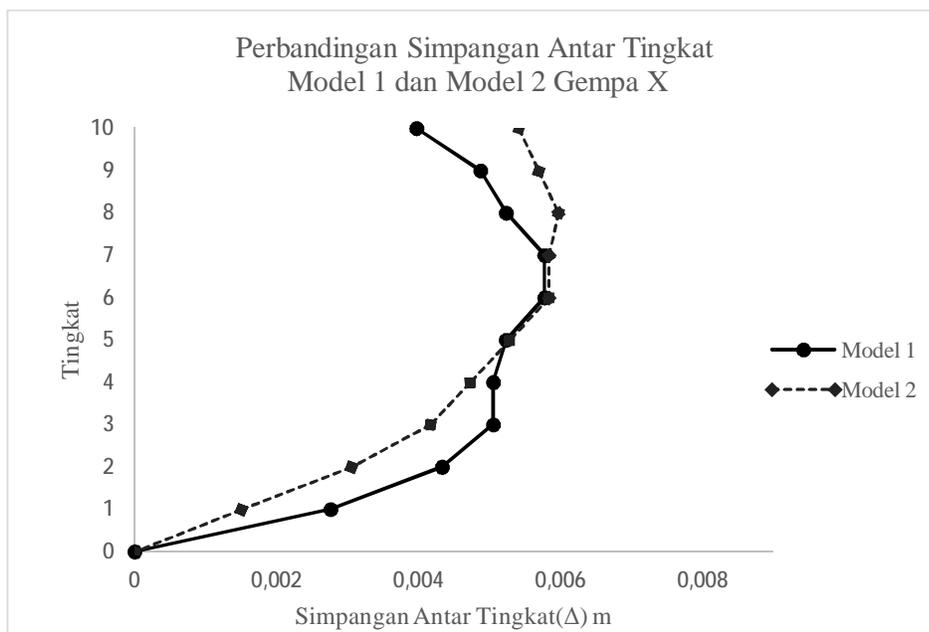
dapat dilihat pada Gambar 4.13 dan 4.14, serta grafik perbandingan simpangan antar tingkat dilihat pada Gambar 4.15 dan 4.16 di bawah ini.



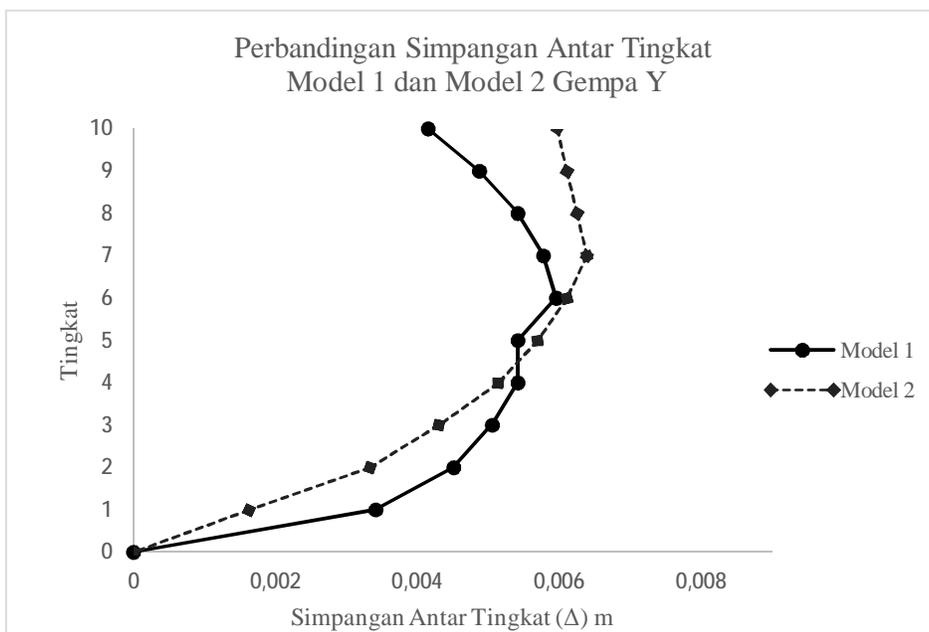
Gambar 4.13: Grafik perbandingan simpangan setiap model pada arah x.



Gambar 4.14: Grafik perbandingan simpangan setiap model pada arah y.



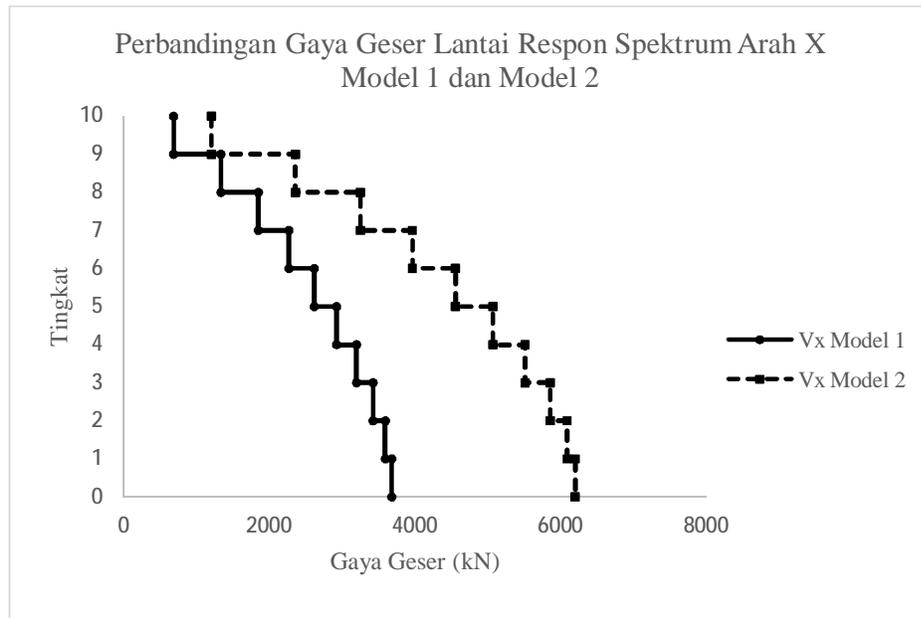
Gambar 4.15: Grafik perbandingan simpangan antar tingkat setiap model pada arah x.



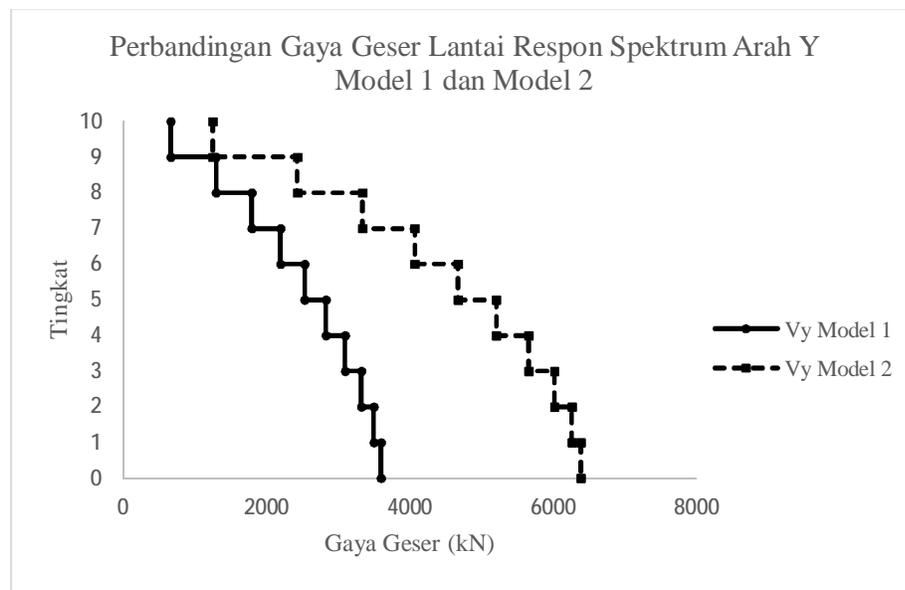
Gambar 4.16: Grafik perbandingan simpangan antar tingkat setiap model pada arah y.

4.4.2. Perbandingan Gaya Geser Respon Spektrum Setiap Model Struktur

Perbandingan gaya geser hasil respon spektrum pada arah x dan y setiap model dapat dilihat pada Gambar 4.17 dan 4.18 di bawah ini.



Gambar 4.17: Grafik perbandingan gaya geser respon spektrum dari setiap model struktur pada arah x.



Gambar 4.18: Grafik perbandingan gaya geser respon spektrum dari setiap model struktur pada arah y.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan analisis data dan pembahasan mengenai perbandingan antara pengaruh kinerja seismik struktur gedung bertingkat tinggi yang menggunakan dinding geser pelat baja (*SPSW*) dan dinding geser beton bertulang, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai gaya geser yang di dapat dari masing-masing model pada arah X dan arah Y adalah sebagai berikut:
 - Model 1: - Gempa X : 3679,785 kN
- Gempa Y : 3599,864 kN
 - Model 2: - Gempa X : 6197,692 kN
- Gempa Y : 6386,123 kN

Dapat diketahui bahwa nilai gaya geser terbesar adalah Model 2. Perbedaan gaya geser yang terjadi pada kedua model di atas diakibatkan oleh berbedanya massa/berat struktur itu sendiri. Semakin berat massa struktur bangunan, maka semakin besar pula gaya geser yang bekerja. Massa/berat sendiri struktur bangunan tersebut juga akan berpengaruh kepada perioda alami getar struktur. Semakin kaku struktur bangunan, maka perioda getar struktur semakin kecil dan memiliki frekuensi yang semakin tinggi, dan begitu sebaliknya.

2. Nilai simpangan yang di dapat dari masing-masing model pada arah X dan arah Y adalah sebagai berikut:
 - Model 1: - Gempa X : 26,8 mm
- Gempa Y : 27,9 mm
 - Model 2: - Gempa X : 34,3 mm
- Gempa Y : 36,8 mm

Dapat diketahui bahwa kinerja seismik pada model 1 yaitu pada model struktur menggunakan dinding geser baja (*SPSW*) lebih efektif dan memiliki

kekakuan yang lebih tinggi karena memiliki nilai simpangan yang lebih kecil dibandingkan simpangan yang diperoleh pada model 2.

3. Dari penelitian yang dilakukan, dapat disimpulkan dinding geser sangat berperan penting untuk menahan beban gempa pada struktur bangunan, dinding geser pelat baja pada model 1, menghasilkan penyerapan energi yang cukup baik dengan pelat tipisnya dibandingkan dengan model 2, serta penggunaan material dinding geser dapat mempengaruhi kekakuan dan kinerja dari struktur.

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).
2. Pada pemodelan penelitian ini, penulis tidak memperhitungkan aspek sambungan pada struktur dan tidak memperhitungkan komponen struktur seperti: tulangan tangga, maupun penulangan dinding geser beton bertulang, Penulis menyarankan untuk memperhitungkan hal-hal tersebut pada penelitian selanjutnya, agar hasil yang di dapat lebih akurat dan sesuai dengan keadaan data di lapangan.
3. Penulis menyarankan nantinya dalam tugas akhir ini sebaiknya dilakukan perbandingan menggunakan analisis *time history*, baik itu gempa dekat (*pulse*) dan gempa jauh (*no pulse*).
4. Dalam penelitian ini, penulis meninjau pada daerah kota padang dengan kondisi tanah sedang, penulis menyarankan untuk penelitian di daerah lain sebagai perbandingan hasil.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional (2012) *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung SNI 1726:2012*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Badan Standarisasi Nasional (2015) *Ketentuan Seismik Untuk Struktur Baja Bangunan Gedung SNI 7860:2015*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Badan Standarisasi Nasional (2015) *Tata Cara Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural SNI 1729:2015*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Badan Standarisasi Nasional (2013) *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung SNI 2847:2013*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Badan Standarisasi Nasional (2013) *Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung Dan Struktur Lain SNI 1727:2013*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Berman, J.W dan Bruneau, M. (2002) *Plastic Analysis And Design Of Steel Plate Shear Walls*. ASCE Journal Of Structural Engineering 129:11. Buffalo: UNIVERSITY AT BUFFALO.
- Budiono, B. dan Supriatna, L. (2011) *Studi Komparasi Desain Bangunan Tahan Gempa dengan Menggunakan SNI 1726:2002 dan SNI 1726:2012*. Bandung: ITB.
- Dipohusodo, dan Istimawan (1999) *Struktur Beton Bertulang*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Faisal, A. (2013) *Catatan Kuliah M.K Vibrasi dan Teori Gempa*. Medan: UMSU.
- Fatchurrohman (2012) *Studi Perilaku Dinding Geser Beton Bertulang Dan Dinding Geser Pelat Baja Dengan Analisis Statik Nonlinear Push Over*. Laporan Tugas Akhir. Program Studi Teknik Sipil. Depok: UI.
- Hidayat, F. (2016) *Analisa Perbandingan Simpangan Struktur Gedung Setback Tanpa Dinding Geser Dan Pemodelan Letak Dinding Geser Di Zona Gempa Tinggi*. Laporan Tugas Akhir. Program Studi Teknik Sipil. Medan: UMSU.
- Imran, I. (2008) *Aplicability Metoda Desain Kapasitas Pada Perancangan Struktur Dinding Geser Beton Bertulang*. Seminar pameran HAKI. Depok.
- Marques (2014) *Desain Beton Bertulang Jilid 1*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- Pawirodikromo, W. (2012) *Seismologi Teknik dan Rekayasa Kegempaan*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.

Putera, T, A. (2007) *Kajian Parameter Daktilitas Dan Energi Disipasi Pada Struktur Dinding Geser Pelat Baja*. Laporan Tesis. Program Studi Teknik Sipil. Bandung: ITB.

Setiawan, A. (2008) *Perencanaan Struktur Baja Dengan Metode LRFD*. Semarang: Erlangga.

Stankevicius, J. *A design guide for steel plate shear wall in Canada*. Canada: UNIVERSITY OF ALBERTA.

Taranath (2005) *Development Of High Level Structure Building System With Braced and shear Wall*. California. UNIVERSITY OF CALIFORNIA

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:

- $l_y = 5700$ mm
- $l_x = 5700$ mm
- $f_y = 400$ Mpa
- $l_n = 5700$ mm
- $\beta = l_y/l_x = 1$

$$\begin{aligned} \bullet \quad h_{\text{maks}} &= \frac{\ln(0,8 + f_y/1500)}{36} \\ &= \frac{5700(0,8 + 400/1500)}{36} \\ &= 168,89 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bullet \quad h_{\text{min}} &= \frac{\ln(0,8 + f_y/1500)}{36 + 9\beta} \\ &= \frac{5700(0,8 + 400/1500)}{36 + 9(1)} \\ &= 135,11 \text{ mm} \end{aligned}$$

Sehingga tebal pelat lantai diambil:

- h di ambil = 140 mm (untuk tebal pelat semua lantai)

A2. Perhitungan Berat Tambahan Beban Mati

Rencana beban tambahan untuk beban mati pada kedua model adalah sama, baik beban tambahan pelat lantai, beban dinding serta rencana beban tangga.

A2.1. Beban Mati Tambahan Pelat Lantai

Berikut ini merupakan perhitungan beban tambahan pada pelat lantai yang dibedakan menjadi pelat lantai untuk lantai 1 – 9 dan pelat atap untuk lantai 10 (atap).

a. Beban Mati Tambahan pada Lantai 1-9

- Spesi Lantai Keramik (t = 2 cm)	=	42 kg/m ²	=	0,42 kN/m ²
- Penutup lantai keramik	=	24 kg/m ²	=	0,24 kN/m ²
- Plafon + penggantung	=	18 kg/m ²	=	0,18 kN/m ²
- M & E	=	60 kg/m ²	=	0,6 kN/m ²
Total beban mati	=	144 kg/m ²	=	1,44 kN/m ²

b. Beban Mati Tambahan pada Lantai 10

- Plafon + penggantung	=	18 kg/m ²	=	0,18 kN/m ²
- Waterproof	=	4 kg/m ²	=	0,04 kN/m ²
- plester	=	42 kg/m ²	=	0,42 kN/m ²
- M & E	=	60 kg/m ²	=	0,6 kN/m ²
Total beban mati	=	124 kg/m ²	=	1,24 kN/m ²

A2.2. Beban Dinding

Berikut ini merupakan perhitungan beban dinding yang dibedakan menjadi beban dinding untuk lantai 1, lantai 2 – 9 dan lantai 10 (atap).

a. Dinding Lt 1

- Dinding Pasangan ½ bata	=	250 kg/m ²	
Beban garis	=	250*1/2(4+3,6)	
	=	950 kg/m	= 9,5 kN/m

b

. Dinding Lt 2-9

Dinding Pasangan ½			
- bata	=	250 kg/m ²	
Beban garis	=	250*1/2(3,6+3,6)	
	=	900 kg/m	= 9,0 kN/m

c. Dinding Lt 10

- Dinding Pasangan ½ bata	=	250 kg/m ²	
Beban garis	=	250*1/2(3,6)	
	=	450 kg/m	= 4,5 kN/m

A2.3. Beban Tangga

Berikut ini merupakan perhitungan beban tangga yang dibedakan menjadi beban tangga dari base ke lantai 1 dan beban tangga dari lantai 1 ke lantai 10 (atap).

Tabel A1: Data perencanaan tangga dari base ke lantai 1:

Data Perencanaan	Panjang (cm)	
Tinggi antar lantai ke bodres	2	m
Lebar tangga	1,35	m
Panjang tangga	3,2	m
Kemiringan (α)	32,005	°
Panjang bordes	1,5	m
<i>Optrade</i>	0,16	m
<i>Antrade</i>	0,3	m

Tabel A2: Data perencanaan tangga dari lantai 1 ke lantai 10:

Data Perencanaan	Panjang (cm)	
Tinggi antar lantai ke bodres	1,8	m
Lebar tangga	1,35	m
Panjang tangga	3,2	m
Kemiringan (α)	29,36	°
Panjang bordes	1,5	m
<i>Optrade</i>	0,16	m
<i>Antrade</i>	0,3	m

a) Perhitungan Struktur Tangga

- Tebal pelat tangga base ke lantai 1:

$$\begin{aligned} H_{\min} &= \frac{\text{Tinggi antar lantai} / \sin \alpha}{27} \\ &= \frac{2 / \sin 32,005}{27} \\ &= 0,139 \text{ m} \quad , \text{ diambil } h = 0,14 \text{ m} \end{aligned}$$

- Tebal pelat tangga lantai 1 ke lantai 10:

$$H_{\min} = \frac{\text{Tinggi antar lantai} / \sin \alpha}{27}$$

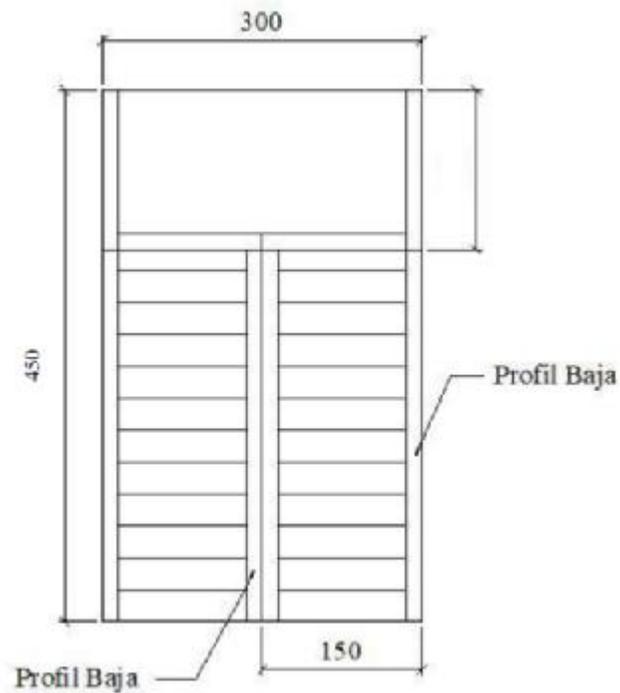
$$= \frac{1,8 / \sin 29,36}{27}$$

$$= 0,136 \text{ m} \quad , \text{ diambil } h = 0,14 \text{ m}$$

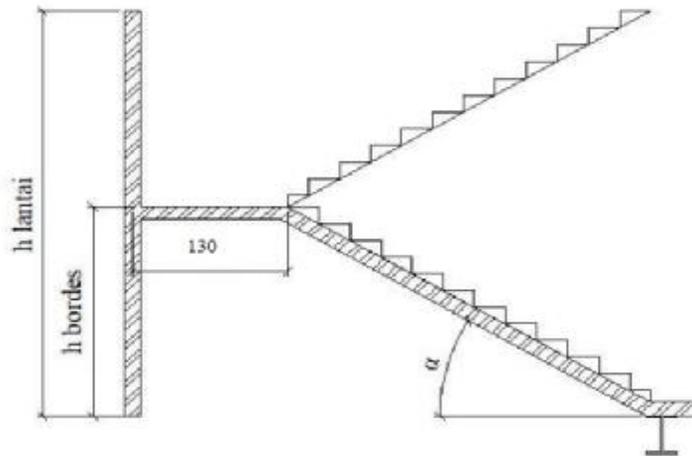
- Tebal pelat bordes diambil $h = 0,13 \text{ m}$

Tabel A3: Profil struktur tangga.

Lantai 1 s/d lantai 10					
	Tebal pelat	Profil digunakan	Berat (kg/m)	Panjang	Jumlah
Pelat tangga	150	150x150x7x10	31,5	3,91	2
Pelat bordes	130	125x125x6,5x9	23,8	1,5	2
Lantai Base s/d lantai 1					
	Tebal pelat	Profil digunakan	Berat	Panjang	Jumlah
Pelat tangga	0	150x150x7x10	31,5	4,03	2
Pelat bordes	0	125x125x6,5x9	23,8	1,5	2



Gambar A1: Denah perencanaan pembebanan pada tangga.



Gambar A2: Tampak samping tangga.

b) Perhitungan Berat Struktur Tangga

- Beban tangga base ke lantai 1:

$$\text{Pelat tangga} = 1,35 \times 0,14 \times 2400 = 453,6 \text{ kg/m} = 4,536 \text{ kN/m}$$

$$\begin{aligned} \text{Profil tangga} &= 2 \times 31,5 &= \underline{63 \text{ kg/m}} &= \underline{0,630 \text{ kN/m}} \\ & & & 516,6 \text{ kg/m} = 5,166 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

- Beban tangga lantai 1 ke lantai 10:

$$\text{Pelat tangga} = 1,35 \times 0,14 \times 2400 = 453,6 \text{ kg/m} = 4,536 \text{ kN/m}$$

$$\begin{aligned} \text{Profil tangga} &= 2 \times 31,5 &= \underline{63 \text{ kg/m}} &= \underline{0,630 \text{ kN/m}} \\ & & & 516,6 \text{ kg/m} = 5,166 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

- Beban pelat bordes:

$$\text{Pelat bordes} = 1,3 \times 0,13 \times 2400 = 405,6 \text{ kg/m} = 4,056 \text{ kN/m}$$

$$\begin{aligned} \text{Profil bordes} &= 2 \times 23,8 &= \underline{47,6 \text{ kg/m}} &= \underline{0,476 \text{ kN/m}} \\ & & & 453,2 \text{ kg/m} = 4,532 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

c) Perhitungan Beban Tambahan Tangga

Data Perencanaan:

1. Berat jenis beton bertulang	2400	Kg/m^3
2. Berat jenis tulangan	7850	Kg/m^3

3. Adukan semen	21	Kg/m ²
4. penutup lantai keramik	24	kg/m ²

- Beban tangga base ke lantai 1:

$$\begin{aligned} \text{Berat anak tangga} &= 0,068 \times 2400 = 162,816 \text{ kg/m}^2 = 1,628 \text{ kN/m}^2 \\ \text{Adukan semen (t = 2cm)} &= 0,02 \times 21 = 0,42 \text{ kg/m}^2 = 0,004 \text{ kN/m}^2 \\ \text{Penutup lantai} &= \underline{24 \text{ kg/m}^2} = \underline{0,24 \text{ kN/m}^2} \\ &= 187,236 \text{ kg/m}^2 = 1,872 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

- Beban tangga lantai 1 ke lantai 10:

$$\begin{aligned} \text{Berat anak tangga} &= 0,070 \times 2400 = 167,34 \text{ kg/m}^2 = 1,673 \text{ kN/m}^2 \\ \text{Adukan semen (t = 2cm)} &= 0,02 \times 21 = 0,42 \text{ kg/m}^2 = 0,004 \text{ kN/m}^2 \\ \text{Penutup lantai} &= \underline{24 \text{ kg/m}^2} = \underline{0,24 \text{ kN/m}^2} \\ &= 191,762 \text{ kg/m}^2 = 1,918 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

- Beban pelat bordes:

$$\begin{aligned} \text{Adukan semen (t = 2cm)} &= 0,02 \times 21 = 0,42 \text{ kg/m}^2 = 0,004 \text{ kN/m}^2 \\ \text{Penutup lantai} &= \underline{24 \text{ kg/m}^2} = \underline{0,240 \text{ kN/m}^2} \\ &= 24,42 \text{ kg/m}^2 = 0,244 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan beban di atas di ubah ke satuan berat per satuan panjang sebagai berikut:

- Beban tangga base ke lantai 1:

$$\text{Pelat tangga} = 1,35 \times 187,236 = 252,768 \text{ kg/m} = 2,528 \text{ kN/m}$$

- Beban tangga lantai 1 ke lantai 10:

$$\text{Pelat tangga} = 1,35 \times 191,762 = 258,879 \text{ kg/m} = 2,589 \text{ kN/m}$$

- Beban pelat bordes:

$$\text{Pelat bordes} = 1,5 \times 24,42 = 36,63 \text{ kg/m} = 0,366 \text{ KN/m}$$

Tabel A4: Rekapitulasi beban mati pada tangga.

REKAPITULASI BEBAN MATI PADA TANGGA			
BEBAN MATI PELAT TANGGA LT 1 KE LT 10			
Berat Sendiri	=	516,6 Kg/m	5,166 kN/m
Beban Tambahan	=	258,879 Kg/m	2,589 kN/m
		TOTAL 775,479 Kg/m	7,755 kN/m
BEBAN MATI PELAT TANGGA LT BASE KE LT 1			
Berat Sendiri	=	516,6 Kg/m	5,166 kN/m
Beban Tambahan	=	252,768 Kg/m	2,528 kN/m
		TOTAL 769,368 Kg/m	7,694 kN/m
BEBAN MATI PELAT BORDES			
Berat Sendiri	=	453,2 Kg/m	4,532 kN/m
Beban Tambahan	=	36,63 Kg/m	0,3663 kN/m
		TOTAL 489,83 Kg/m	4,898 kN/m

Berat keseluruhan beban mati tangga dijadikan beban terpusat dengan bantuan program SAP 2000 v.14 dan hasil reaksi perletakkan yang diperoleh dilihat pada Tabel A5.

Tabel A5: Hasil reaksi perletakkan beban mati tangga.

Berat Beban Mati		
1. Untuk Lt 1 ke Lt 10	Z	Satuan
Reaksi di balok lintel	0,20	kN
Reaksi di balok induk	35,04	kN
2. Untuk Base ke Lt 1	Z	Satuan
Reaksi di balok lintel	0,74	kN
Reaksi di balok induk	36,14	kN

A2.4. Perhitungan Beban Lift

Beban lift diperhitungkan dengan membuat seluruh beban yang bekerja menjadi beban mati terpusat dan diletakkan yang paling mempengaruhi struktur untuk mendapatkan beban maksimal. Terdapat 2 point yang harus dipenuhi:

1. Beban yang bekerja pada balok penumpu:

Beban yang bekerja merupakan beban akibat dari mesin penggerak lift + berat kereta + perlengkapan (R1) dan berat bandul pemberat + perlengkapan (R2).

2. Koefisien kejut oleh keran:

Koefisien kejut ditentukan oleh pasal 3.3.(3) PPIUG 1983.

$$\psi = (1+k1 \cdot k2 \cdot v) \geq 1,15$$

dimana:

ψ = Koefisien kejut yang nilainya tidak boleh diambil kurang dari 1,15

v = Kecepatan angkat maksimum dalam m/det pada pengangkatan muatan maksimum dalam kedudukan keran induk dan keran angkat yang paling menentukan bagi struktur yang ditinjau, tidak perlu diambil lebih dari 1,00m/det.

$k1$ = Koefisien yang bergantung pada kekakuan struktur keran induk, keran induk dengan struktur rangka nilainya dapat diambil sebesar 0,6.

$k2$ = Koefisien yang bergantung pada ifat mesin angkat dari keran angkatnya, diambil sebesar 1,3.

Tabel A6: Spesifikasi lift dari CV. Pribumi Jaya Abadi.

KAPASITAS		OPENING		CAR SIZE	
PERSON	LOAD (Kg)	Widht	height	widht	Length
24	1600	1100	2100	2150	1600
TYPE	HOISTWAY		REACTION		SPEED (m/s)
	widht	Length	R1	R2	
2 Cars	5000	3200	8500	6800	1

Jadi, beban yang bekerja pada balok penumpu adalah:

$$\begin{aligned} P &= \sum R \cdot \Psi \\ &= (8500 + 6800) \times (1 + 0,6 \times 1,3 \times 1) \\ &= 27234 \text{ kg} \\ &= 272,34 \text{ kN} \end{aligned}$$

Beban P diletakkan di tengah bentang balok penumpu yang merupakan tempat yang paling mempengaruhi struktur untuk mendapatkan beban maksimal.

A3. Perhitungan Beban Hidup

Untuk nilai beban hidup sudah ditabelkan pada Tabel 3.6. Namun perlu dihitung faktor reduksi untuk beban hidup.

A3.1. Faktor Reduksi Beban Hidup

Komponen struktur yang memiliki nilai $K_{LL}A_T$ adalah 400 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.

Beban hidup hanya menggunakan beban ruang kantor saja. Berikut merupakan perhitungan faktor reduksi beban hidup.

Data-data:

- $K_{LL} = 1$
- $A_T = 828 \text{ m}^2$
- Faktor reduksi $= 0,25 + \frac{4,57}{\sqrt{K_{LL} \cdot A_T}}$
 $= 0,25 + \frac{4,57}{\sqrt{1 \cdot 828}}$
 $= 0,41 > 0,4 \quad (\text{OKE})$

A3.2. Beban Hidup Tangga

Tidak seperti beban mati tangga, perhitungan untuk beban hidup tangga digabung menjadi satu bagian, karena beban hidup untuk tangga nilainya sama yaitu 479 kg/m^2 yang akan di ubah menjadi beban per satuan panjang. Berikut ini merupakan perhitungan beban hidup tangga.

Data:

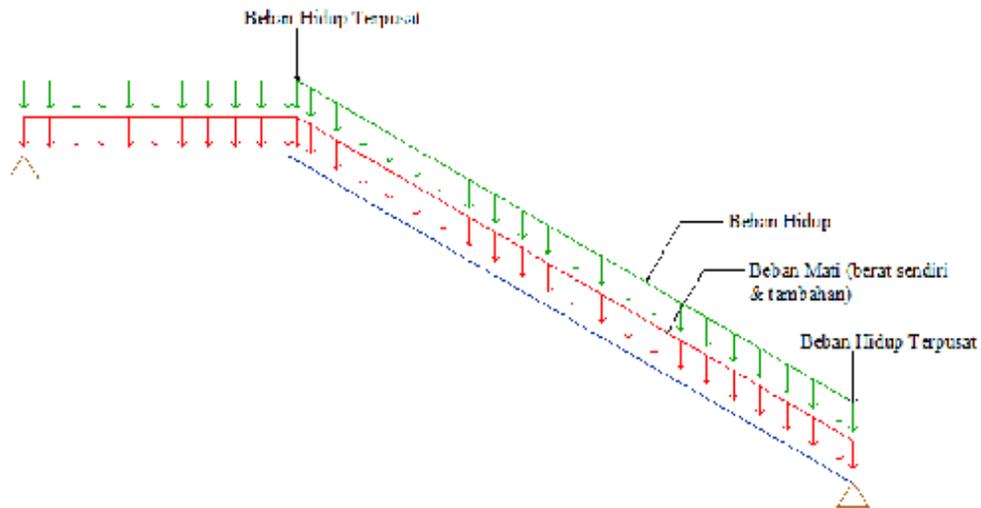
- Beban hidup tangga = 479 kg/m^2
- Beban hidup tangga per satuan panjang (keseluruhan):
Pelat tangga = $1,35 \times 479 = 646,65 \text{ kg/m} = 6,467 \text{ kN/m}$
Pelat bordes = $1,5 \times 479 = 718,5 \text{ kg/m} = 7,185 \text{ kN/m}$
- Beban pada susunan tangga dan sistem pagar pengaman:
 $P = 0,89 \text{ kN}$
(Beban ini diletakkan pada setiap titik pegangan tangga atau di titik atas tangga)

Berat keseluruhan beban hidup tangga dijadikan beban terpusat dengan bantuan program SAP 2000 v.14 dan hasil reaksi perletakkan yang diperoleh dilihat pada Tabel A7.

Tabel A7: Hasil reaksi perletakkan beban hidup pada tangga.

Beban Hidup		
1. Untuk Lt 1 ke Lt 10	Z	Satuan
Reaksi di balok lintel	1,97	kN
Reaksi di balok induk	31,11	kN
2. Untuk Base ke Lt 1	Z	Satuan
Reaksi di balok lintel	1,47	kN
Reaksi di balok induk	32,28	kN

Beban mati tangga dan beban hidup tangga didistribusikan ke sepanjang pelat tangga dan bordes sebagai beban yang akan diinput ke program SAP2000 v.14 untuk mendapatkan reaksi yang di input ke program ETABS v.15. Skema pembebanan untuk input ke program SAP2000 dapat dilihat pada Gambar A3.



Gambar A3: Skema pembebanan tangga.

B. Perhitungan Model 1 (SRPMK dengan dinding geser pelat baja)

B1. Perhitungan Tebal Dinding Geser Pelat Baja

Tebal dinding geser ini dihitung dengan menggunakan transformasi dari rumus yang ada pada SNI 7860:2015. Tebal dinding di seluruh lantai dibuat sama dengan kemampuan untuk memikul gaya geser rencana adalah gaya geser dasar. Berikut ini merupakan perhitungan tebal dinding geser pelat baja:

Data-data:

- $V_s = 2625,069 \text{ kN}$
- $L = 6000 \text{ mm}$
- $f_y = 250 \text{ MPa}$
- $\alpha = 40^\circ$

$$\begin{aligned}
 t_w &= \frac{V_n}{0,42 f_y L \sin 2\alpha} \\
 &= \frac{2625069}{0,42 \cdot 250 \cdot 6000 \sin 2 \cdot 40} \\
 &= 4,192 \text{ mm} \quad , \text{ diambil } t_w = 6 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

B2. Gaya Lateral Statik Ekivalen

Distribusi gaya gempa lateral (F) yang timbul di semua tingkat harus ditentukan dari Pers. 2.38 dan Pers. 2.39 dengan data-data sebagai berikut.

Data-data:

- $V_x = 4211,156 \text{ kN}$ - $T_x = 0,904 \text{ detik}$
- $V_y = 4049,878 \text{ kN}$ - $T_y = 0,940 \text{ detik}$
- $w = \text{Berat per lantai}$
- k_x dan k_y : (interpolasi)

$$\begin{aligned}
 k_x &= 1 + \frac{(2-1)}{(2,5 - 0,5)} (T_x - 0,5) & k_y &= 1 + \frac{(2-1)}{(2,5 - 0,5)} (T_y - 0,5) \\
 &= 1 + \frac{(2-1)}{(2,5 - 0,5)} (0,904 - 0,5) & &= 1 + \frac{(2-1)}{(2,5 - 0,5)} (0,940 - 0,5) \\
 &= 1,202 & &= 1,220
 \end{aligned}$$

Tabel B1: Distribusi gaya gempa arah x.

Lantai	w_i (kN)	h_i (m)	$w_i \cdot h_i^k$	C_{vx}	$F_i = C_{vx} \cdot V_x$ (kN)	Story shear V_x (kN)
10	4352,571	36,4	327483,752	0,170	717,445	717,445
9	5090,265	32,8	337925,348	0,176	740,320	1457,764
8	5090,265	29,2	293853,317	0,153	643,768	2101,532
7	5090,265	25,6	250867,758	0,131	549,596	2651,128
6	5090,265	22	209089,619	0,109	458,069	3109,197
5	5287,119	18,4	175198,379	0,091	383,821	3493,018
4	5409,950	14,8	137990,069	0,072	302,306	3795,324
3	5409,950	11,2	98708,219	0,051	216,248	4011,571
2	5409,950	7,6	61934,294	0,032	135,684	4147,256
1	5510,954	4	29167,748	0,015	63,900	4211,156
TOTAL	51741,55		1922218,50	1,000	4211,156	

Distribusi gaya gempa arah y pada model 1 dapat dilihat pada Tabel B2 di bawah ini.

Tabel B2: Distribusi gaya gempa arah y.

Lantai	wi (kN)	hi (m)	wi.hi ^k	Cvx	Fi = Cvx . Vy (kN)	Story shear Vy (kN)
10	4352,571	36,4	349373,196	0,172	695,232	695,232
9	5090,265	32,8	359837,565	0,177	716,055	1411,287
8	5090,265	29,2	312253,625	0,153	621,366	2032,653
7	5090,265	25,6	265945,819	0,131	529,216	2561,869
6	5090,265	22	221052,830	0,109	439,882	3001,751
5	5287,119	18,4	184627,677	0,091	367,398	3369,149
4	5409,950	14,8	144848,014	0,071	288,239	3657,387
3	5409,950	11,2	103095,388	0,051	205,154	3862,541
2	5409,950	7,6	64237,086	0,032	127,828	3990,369
1	5510,954	4	29904,736	0,015	59,509	4049,878
TOTAL	51741,555		2035175,935	1,000	4049,878	

B3. Perhitungan Data SCWB (*Strong Column Weak Beam*)

Data-data pada perhitungan ini yaitu sebagai berikut:

Tabel B3: Data properti kolom dan balok.

Elemen	Ag	d	b	tw	Tf	Z	Fy
	(m ²)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m ³)	(KN/m ²)
Kolom	0,07704	0,498	0,432	0,045	0,07	0,014464	290000
Balok	0,01929	0,588	0,3	0,012	0,02	0,0045	240000

Tabel B4: Gaya aksial dan gaya geser daerah sendi plastis untuk Model 1.

Pu	Atas	Bawah
	1114,56	1251,61
Vu	Kanan	Kiri
	56,51	60,61

Data-data:

- $R_y = 1,5$ (ASTM A36/A36M, Tabel A3.1 SNI 7860:2015)
- $S_h = 0$ (Asumsi las, SNI 7972:2013 Pasal 10.8)
- $L_h = L - d_c - S_h = 6 - 0,498 - 0$
- $L_h = 5,502$ m (kanan dan kiri)
-

dimana:

L_h = Jarak antara lokasi sendi plastis

L = Jarak antar kolom

d_c = Dua kali jarak dari pusat kolom ke sendi plastis

$$- V_{pr} = \frac{2M_{pr}}{L_h}$$

dimana:

$$M_{pr} = 1,1 \cdot R_y \cdot F_y \cdot Z_b$$

$$= 1,1 \cdot 1,5 \cdot 240000 \cdot 0,0045$$

$$= 1781,881 \text{ kN.m} \quad (\text{kanan dan kiri})$$

$$\bullet \sum M_{pc} = \sum Z_c \left(F_{yc} - \frac{P_{uc}}{A_g} \right)$$

$$\bullet \sum M_{pb} = \sum (1,1 \cdot R_y \cdot F_y \cdot Z_b + M_v)$$

dimana:

$$M_v = [V_{pr} + V_u] \cdot \left(S_h + \frac{d_c}{2} \right)$$

Tabel B5: Momen tambahan akibat amplifikasi geser pada lokasi sendi plastis untuk Model 1.

M _v	Kanan	Kiri
	175,354	176,374

$$*\sum M_{pc} = \sum \left(0,014464 \left(290000 - \frac{1114,56}{0,07704} \right) \right) + \left(0,014464 \left(290000 - \frac{1251,61}{0,07704} \right) \right)$$

$$= 7944,605 \text{ kNm}$$

$$*\sum M_{pb} = \sum (1,1 \cdot 1,5 \cdot 240000 \cdot 0,0045 + 56,51) + (1,1 \cdot 1,5 \cdot 240000 \cdot 0,0045 + 60,61)$$

$$= 3914,370 \text{ kNm}$$

B4. Kontrol SRPMK dengan 25% gaya lateral

Berikut ini merupakan rangkuman untuk *joint reaction* untuk setiap *frame* yang diambil dari program ETABS v.15 untuk model 1 yang merupakan sistem ganda.

Tabel B6: *Joint reaction* untuk *frame* akibat gempa arah x.

<i>Frame 2 SRPMK</i>				
Lantai	<i>Joint</i>	<i>Load cases</i>	Fx	Fy
<i>Base</i>	6	Beban Gempa X	46,1854	13,8463
<i>Base</i>	12	Beban Gempa X	57,1037	18,9824
<i>Base</i>	18	Beban Gempa X	56,7163	13,379
<i>Base</i>	24	Beban Gempa X	56,7206	13,4047
<i>Base</i>	30	Beban Gempa X	57,1023	21,4566
<i>Base</i>	35	Beban Gempa X	46,181	13,9715
	Total		320,0093	95,0405
<i>Frame 3 SRPMK</i>				
Lantai	<i>Joint</i>	<i>Load cases</i>	Fx	Fy
<i>Base</i>	11	Beban Gempa X	57,1012	13,2025
<i>Base</i>	17	Beban Gempa X	56,8608	13,0986
<i>Base</i>	23	Beban Gempa X	56,8607	13,1183
<i>Base</i>	29	Beban Gempa X	57,1021	21,4826
	Total		227,9248	60,902
<i>Frame 4 SRPMK</i>				
Lantai	<i>Joint</i>	<i>Load cases</i>	Fx	Fy
<i>Base</i>	10	Beban Gempa X	57,1648	13,2026
<i>Base</i>	16	Beban Gempa X	56,9148	13,0984
<i>Base</i>	22	Beban Gempa X	56,9143	13,1181
<i>Base</i>	28	Beban Gempa X	57,1655	21,483
	Total		228,1594	60,9021
<i>Frame 5 SRPMK</i>				
Lantai	<i>Joint</i>	<i>Load cases</i>	Fx	Fy
<i>Base</i>	3	Beban Gempa X	46,3201	13,8466
<i>Base</i>	9	Beban Gempa X	57,267	18,9833
<i>Base</i>	15	Beban Gempa X	56,8775	13,383
<i>Base</i>	21	Beban Gempa X	56,8828	13,4085
<i>Base</i>	27	Beban Gempa X	57,2659	21,4568
<i>Base</i>	32	Beban Gempa X	46,3146	13,9718
	Total		320,9279	95,05

Tabel B6: Lanjutan.

<i>Frame 1 Sistem Ganda</i>				
Lantai	<i>Joint</i>	<i>Load cases</i>	Fx	Fy
Base	7	Beban Gempa X	46,1492	10,3422
Base	13	Beban Gempa X	58,9405	20,1213
Base	19	Beban Gempa X	216,5713	10,5591
Base	25	Beban Gempa X	216,5678	10,5901
Base	31	Beban Gempa X	58,9418	10,6308
Base	36	Beban Gempa X	46,1532	10,4476
Base	743	Beban Gempa X	29,4223	0
Base	745	Beban Gempa X	27,8594	0
Base	747	Beban Gempa X	26,2509	0
Base	749	Beban Gempa X	24,5935	0
Base	751	Beban Gempa X	22,8823	0
Base	753	Beban Gempa X	21,1029	0
Base	755	Beban Gempa X	19,2128	0
Base	757	Beban Gempa X	17,1444	0
Base	759	Beban Gempa X	16,5672	0
Base	761	Beban Gempa X	16,0541	0
Base	763	Beban Gempa X	15,3067	0
Base	765	Beban Gempa X	14,2315	0
Base	767	Beban Gempa X	12,725	0
Base	769	Beban Gempa X	10,6757	0
Base	771	Beban Gempa X	7,9772	0
Base	773	Beban Gempa X	4,6264	0
Base	775	Beban Gempa X	2,4878	0
Base	777	Beban Gempa X	7,1121	0
Base	798	Beban Gempa X	29,4226	0
Base	800	Beban Gempa X	27,8591	0
Base	802	Beban Gempa X	26,25	0
Base	804	Beban Gempa X	24,5921	0
Base	806	Beban Gempa X	22,8806	0
Base	808	Beban Gempa X	21,1009	0
Base	810	Beban Gempa X	19,2105	0
Base	812	Beban Gempa X	17,1416	0
Base	814	Beban Gempa X	16,5636	0
Base	816	Beban Gempa X	16,0543	0
Base	818	Beban Gempa X	15,3068	0
Base	820	Beban Gempa X	14,2316	0
Base	822	Beban Gempa X	12,7251	0
Base	824	Beban Gempa X	10,6757	0
Base	826	Beban Gempa X	7,9773	0

Tabel B6: Lanjutan.

<i>Base</i>	828	Beban Gempa X	4,627	0
<i>Base</i>	830	Beban Gempa X	2,4898	0
<i>Base</i>	832	Beban Gempa X	7,1131	0
	Total		1235,7777	72,6911
<i>Frame 6 Sistem Ganda</i>				
<i>Lantai</i>	<i>Joint</i>	<i>Load cases</i>	<i>Fx</i>	<i>Fy</i>
<i>Base</i>	1	Beban Gempa X	46,3764	10,4476
<i>Base</i>	2	Beban Gempa X	46,3719	10,3422
<i>Base</i>	8	Beban Gempa X	59,2215	20,1222
<i>Base</i>	14	Beban Gempa X	217,5591	10,5642
<i>Base</i>	20	Beban Gempa X	217,5671	10,595
<i>Base</i>	26	Beban Gempa X	59,2227	10,6312
<i>Base</i>	1012	Beban Gempa X	29,5567	0
<i>Base</i>	1014	Beban Gempa X	27,9869	0
<i>Base</i>	1016	Beban Gempa X	26,3711	0
<i>Base</i>	1018	Beban Gempa X	24,7062	0
<i>Base</i>	1020	Beban Gempa X	22,9873	0
<i>Base</i>	1022	Beban Gempa X	21,1999	0
<i>Base</i>	1024	Beban Gempa X	19,3013	0
<i>Base</i>	1026	Beban Gempa X	17,2235	0
<i>Base</i>	1028	Beban Gempa X	16,6439	0
<i>Base</i>	1030	Beban Gempa X	16,1285	0
<i>Base</i>	1032	Beban Gempa X	15,3778	0
<i>Base</i>	1034	Beban Gempa X	14,2977	0
<i>Base</i>	1036	Beban Gempa X	12,7844	0
<i>Base</i>	1038	Beban Gempa X	10,7256	0
<i>Base</i>	1040	Beban Gempa X	8,0147	0
<i>Base</i>	1042	Beban Gempa X	4,6487	0
<i>Base</i>	1044	Beban Gempa X	2,5001	0
<i>Base</i>	1046	Beban Gempa X	7,1446	0
<i>Base</i>	1067	Beban Gempa X	29,5575	0
<i>Base</i>	1069	Beban Gempa X	27,9868	0
<i>Base</i>	1071	Beban Gempa X	26,3703	0
<i>Base</i>	1073	Beban Gempa X	24,7047	0
<i>Base</i>	1075	Beban Gempa X	22,9852	0
<i>Base</i>	1077	Beban Gempa X	21,1973	0
<i>Base</i>	1079	Beban Gempa X	19,2982	0
<i>Base</i>	1081	Beban Gempa X	17,2201	0
<i>Base</i>	1083	Beban Gempa X	16,6399	0
<i>Base</i>	1085	Beban Gempa X	16,1287	0
<i>Base</i>	1087	Beban Gempa X	15,378	0
<i>Base</i>	1089	Beban Gempa X	14,298	0

Tabel B6: Lanjutan.

<i>Base</i>	1091	Beban Gempa X	12,7846	0
<i>Base</i>	1093	Beban Gempa X	10,7258	0
<i>Base</i>	1095	Beban Gempa X	8,0147	0
<i>Base</i>	1097	Beban Gempa X	4,6481	0
<i>Base</i>	1099	Beban Gempa X	2,498	0
<i>Base</i>	1101	Beban Gempa X	7,1436	0
		Total	1241,4971	72,7024

Tabel B7: Joint reaction untuk frame akibat gempa arah y.

<i>Frame 8 SRPMK</i>				
Lantai	<i>Joint</i>	<i>Load cases</i>	Fx	Fy
<i>Base</i>	8	Beban Gempa Y	21,5376	55,3328
<i>Base</i>	9	Beban Gempa Y	20,8247	52,2007
<i>Base</i>	10	Beban Gempa Y	20,8956	36,3068
<i>Base</i>	11	Beban Gempa Y	20,8726	36,3068
<i>Base</i>	12	Beban Gempa Y	20,7653	52,2007
<i>Base</i>	13	Beban Gempa Y	21,4354	55,3328
<i>Base</i>		Total	126,3312	287,6806
<i>Frame 9 SRPMK</i>				
Lantai	<i>Joint</i>	<i>Load cases</i>	Fx	Fy
<i>Base</i>	15	Beban Gempa Y	20,6863	36,5579
<i>Base</i>	16	Beban Gempa Y	20,6965	36,0204
<i>Base</i>	17	Beban Gempa Y	20,6769	36,0204
<i>Base</i>	18	Beban Gempa Y	20,6277	36,5577
<i>Base</i>		Total	82,687	145,156
<i>Frame 10 SRPMK</i>				
Lantai	<i>Joint</i>	<i>Load cases</i>	Fx	Fy
<i>Base</i>	21	Beban Gempa Y	20,689	86,6288
<i>Base</i>	22	Beban Gempa Y	20,6964	86,0745
<i>Base</i>	23	Beban Gempa Y	20,6769	86,0745
<i>Base</i>	24	Beban Gempa Y	20,63	86,6287
<i>Base</i>	Total		82,6923	345,4065
<i>Frame 11 SRPMK</i>				
Lantai	<i>Joint</i>	<i>Load cases</i>	Fx	Fy
<i>Base</i>	26	Beban Gempa Y	21,5388	29,2341
<i>Base</i>	27	Beban Gempa Y	20,8264	59,0054
<i>Base</i>	28	Beban Gempa Y	20,912	59,077
<i>Base</i>	29	Beban Gempa Y	20,8891	59,0769
<i>Base</i>	30	Beban Gempa Y	20,767	59,0053
<i>Base</i>	31	Beban Gempa Y	21,4367	29,2341
	Total		126,37	294,6328

Tabel B7: Lanjutan.

<i>Frame 7 Sistem Ganda</i>				
<i>Lantai</i>	<i>Joint</i>	<i>Load cases</i>	<i>Fx</i>	<i>Fy</i>
<i>Base</i>	2	Beban Gempa Y	16,8702	28,4404
<i>Base</i>	3	Beban Gempa Y	16,8443	38,0769
<i>Base</i>	4	Beban Gempa Y	16,9896	200,1305
<i>Base</i>	5	Beban Gempa Y	16,97	200,1414
<i>Base</i>	6	Beban Gempa Y	16,7953	38,0769
<i>Base</i>	7	Beban Gempa Y	16,7893	28,4404
<i>Base</i>	448	Beban Gempa Y	0	35,5467
<i>Base</i>	450	Beban Gempa Y	0	33,7109
<i>Base</i>	452	Beban Gempa Y	0	31,8164
<i>Base</i>	454	Beban Gempa Y	0	19,8968
<i>Base</i>	456	Beban Gempa Y	0	18,0002
<i>Base</i>	588	Beban Gempa Y	0	26,1749
<i>Base</i>	590	Beban Gempa Y	0	24,4474
<i>Base</i>	592	Beban Gempa Y	0	22,8209
<i>Base</i>	594	Beban Gempa Y	0	23,3151
<i>Base</i>	596	Beban Gempa Y	0	23,8159
<i>Base</i>	598	Beban Gempa Y	0	23,9178
<i>Base</i>	600	Beban Gempa Y	0	23,434
<i>Base</i>	602	Beban Gempa Y	0	22,1269
<i>Base</i>	604	Beban Gempa Y	0	19,6989
<i>Base</i>	606	Beban Gempa Y	0	15,7858
<i>Base</i>	608	Beban Gempa Y	0	9,9809
<i>Base</i>	610	Beban Gempa Y	0	2,8327
<i>Base</i>	612	Beban Gempa Y	0	10,8668
<i>Base</i>	688	Beban Gempa Y	0	15,5479
<i>Base</i>	690	Beban Gempa Y	0	13,7112
<i>Base</i>	692	Beban Gempa Y	0	11,8159
<i>Base</i>	694	Beban Gempa Y	0	29,8957
<i>Base</i>	696	Beban Gempa Y	0	27,9984
<i>Base</i>	698	Beban Gempa Y	0	26,1726
<i>Base</i>	700	Beban Gempa Y	0	24,4446
<i>Base</i>	702	Beban Gempa Y	0	22,8177
<i>Base</i>	704	Beban Gempa Y	0	23,311
<i>Base</i>	706	Beban Gempa Y	0	13,8166
<i>Base</i>	708	Beban Gempa Y	0	13,9184
<i>Base</i>	710	Beban Gempa Y	0	23,4345
<i>Base</i>	712	Beban Gempa Y	0	22,1273
<i>Base</i>	714	Beban Gempa Y	0	19,6992
<i>Base</i>	716	Beban Gempa Y	0	15,786

Tabel B7: Lanjutan.

<i>Base</i>	718	Beban Gempa Y	0	9,981
<i>Base</i>	720	Beban Gempa Y	0	2,8324
<i>Base</i>	722	Beban Gempa Y	0	10,866
	Total		101,2587	1249,6719
<i>Frame 12 Sistem Ganda</i>				
Lantai	<i>Joint</i>	<i>Load cases</i>	Fx	Fy
<i>Base</i>	1	Beban Gempa Y	16,8663	28,7304
<i>Base</i>	32	Beban Gempa Y	16,8419	38,4213
<i>Base</i>	33	Beban Gempa Y	17,0337	201,7156
<i>Base</i>	34	Beban Gempa Y	17,014	201,7171
<i>Base</i>	35	Beban Gempa Y	16,7933	38,4212
<i>Base</i>	36	Beban Gempa Y	16,7852	28,7304
<i>Base</i>	902	Beban Gempa Y	0	35,871
<i>Base</i>	904	Beban Gempa Y	0	34,0257
<i>Base</i>	906	Beban Gempa Y	0	32,1211
<i>Base</i>	908	Beban Gempa Y	0	30,191
<i>Base</i>	910	Beban Gempa Y	0	28,2836
<i>Base</i>	912	Beban Gempa Y	0	26,4476
<i>Base</i>	914	Beban Gempa Y	0	24,7092
<i>Base</i>	916	Beban Gempa Y	0	23,0714
<i>Base</i>	918	Beban Gempa Y	0	23,5695
<i>Base</i>	920	Beban Gempa Y	0	24,0723
<i>Base</i>	922	Beban Gempa Y	0	24,1719
<i>Base</i>	924	Beban Gempa Y	0	23,6804
<i>Base</i>	926	Beban Gempa Y	0	22,3587
<i>Base</i>	928	Beban Gempa Y	0	19,9069
<i>Base</i>	930	Beban Gempa Y	0	15,9582
<i>Base</i>	932	Beban Gempa Y	0	10,1017
<i>Base</i>	934	Beban Gempa Y	0	2,8639
<i>Base</i>	936	Beban Gempa Y	0	10,9125
<i>Base</i>	957	Beban Gempa Y	0	35,8705
<i>Base</i>	959	Beban Gempa Y	0	34,0244
<i>Base</i>	961	Beban Gempa Y	0	32,119
<i>Base</i>	963	Beban Gempa Y	0	30,1883
<i>Base</i>	965	Beban Gempa Y	0	28,2803
<i>Base</i>	967	Beban Gempa Y	0	26,4438
<i>Base</i>	969	Beban Gempa Y	0	24,705
<i>Base</i>	971	Beban Gempa Y	0	23,0668
<i>Base</i>	973	Beban Gempa Y	0	23,5639
<i>Base</i>	975	Beban Gempa Y	0	24,0717
<i>Base</i>	977	Beban Gempa Y	0	24,1714

Tabel B7: Lanjutan.

<i>Base</i>	979	Beban Gempa Y	0	23,68
<i>Base</i>	981	Beban Gempa Y	0	22,3583
<i>Base</i>	983	Beban Gempa Y	0	19,9066
<i>Base</i>	985	Beban Gempa Y	0	15,9578
<i>Base</i>	987	Beban Gempa Y	0	10,1013
<i>Base</i>	989	Beban Gempa Y	0	2,864
<i>Base</i>	991	Beban Gempa Y	0	10,9134
Total			101,3344	1362,3391

C. Perhitungan Model 2 (SRPMK dengan dinding geser beton bertulang)

C1. Perhitungan Tebal Dinding Geser Beton bertulang

Menurut (Budiono dan Supriatna 2011), ketebalan dinding geser minimum dapat digunakan metode *empiris*, yaitu :

$$\text{Tebal shear wall} \geq \frac{1}{25} h_w$$

$$\text{Tebal shear wall} \geq \frac{1}{25} l_w$$

Dimana:

h_w = Tinggi bagian dinding

l_w = Panjang bagian dinding

maka,

$$\text{Tebal shear wall} \geq \frac{1}{25} \cdot 4000 \text{ mm} = 160 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal shear wall} \geq \frac{1}{25} \cdot 6000 \text{ mm} = 240 \text{ mm}$$

Diambil , tebal *shear wall* = 300 mm.

C2. Gaya Lateral Statik Ekuivalen

Distribusi gaya gempa lateral (F) yang timbul di semua tingkat harus ditentukan dari Pers. 2.38 dan Pers. 2.39 dengan data-data sebagai berikut.

Data-data:

$$- V_x = 7182,276 \text{ kN} \quad - T_x = 0,785 \text{ detik}$$

$$- V_y = 7030,033 \text{ kN} \quad - T_y = 0,802 \text{ detik}$$

- w = Berat per lantai
- kx dan ky: (interpolasi)

$$\begin{aligned}
 kx &= 1 + \frac{(2-1)}{(2,5 - 0,5)} (T_x - 0,5) & ky &= 1 + \frac{(2-1)}{(2,5 - 0,5)} (T_y - 0,5) \\
 &= 1 + \frac{(2-1)}{(2,5 - 0,5)} (0,785 - 0,5) & &= 1 + \frac{(2-1)}{(2,5 - 0,5)} (0,802 - 0,5) \\
 &= 1,143 & &= 1,151
 \end{aligned}$$

Tabel C1: Distribusi gaya gempa arah x.

Lantai	wi (kN)	hi (m)	wi.hi ^k	Cvx	Fi = Cvx . Vx (kN)	Story shear Vx (kN)
10	4652,714	36,4	282660,235	0,160	1150,524	1150,524
9	5690,418	32,8	306923,403	0,174	1249,283	2399,807
8	5690,418	29,2	268747,261	0,152	1093,893	3493,700
7	5690,418	25,6	231237,518	0,131	941,216	4434,916
6	5690,418	22	194474,226	0,110	791,577	5226,493
5	5886,779	18,4	164033,327	0,093	667,672	5894,164
4	6009,610	14,8	130578,093	0,074	531,497	6425,662
3	6009,610	11,2	94968,133	0,054	386,553	6812,215
2	6009,610	7,6	60978,374	0,035	248,203	7060,418
1	6142,854	4	29938,064	0,017	121,858	7182,276
TOTAL	57472,848		1764538,635	1,000	7182,276	

Tabel C2: Distribusi gaya gempa arah y.

Lantai	wi (kN)	hi (m)	wi.hi ^k	Cvx	Fi = Cvx . Vy (kN)	Story shear Vy (kN)
10	4652,714	36,4	291429,880	0,161	1130,332	1130,332
9	5690,418	32,8	316165,831	0,174	1226,272	2356,603
8	5690,418	29,2	276566,645	0,153	1072,683	3429,287
7	5690,418	25,6	237699,539	0,131	921,935	4351,221
6	5690,418	22	199651,531	0,110	774,363	5125,584
5	5886,779	18,4	168144,647	0,093	652,161	5777,745
4	6009,610	14,8	133603,411	0,074	518,190	6295,935
3	6009,610	11,2	96938,491	0,053	375,983	6671,918
2	6009,610	7,6	62038,710	0,034	240,622	6912,540
1	6142,854	4	30292,926	0,017	117,493	7030,033
TOTAL	57472,848		1812531,610	1,000	7030,033	

C3. Perhitungan Data SCWB (*Strong Column Weak Beam*)

Data-data pada perhitungan ini yaitu sebagai berikut:

Tabel C3: Data properti kolom dan balok.

Elemen	Ag	d	b	Tw	Tf	Z	Fy
	(m ²)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m ³)	(KN/m ²)
Kolom	0,07704	0,498	0,432	0,045	0,07	0,014464	290000
Balok	0,01929	0,588	0,3	0,012	0,02	0,0045	240000

Tabel C4: Gaya aksial dan gaya geser daerah sendi plastis untuk Model 2.

Pu	Atas	Bawah
	1090,47	1226,55
Vu	Kanan	Kiri
	47,21	51,16

Data-data:

- $R_y = 1,5$ (ASTM A36/A36M, Tabel A3.1 SNI 7860:2015)
- $S_h = 0$ (Asumsi las, SNI 7972:2013 Pasal 10.8)
- $L_h = L - d_c - S_h = 6 - 0,498 - 0$
- $L_h = 5,502$ m (kanan dan kiri)
-

dimana:

L_h = Jarak antara lokasi sendi plastis

L = Jarak antar kolom

d_c = Dua kali jarak dari pusat kolom ke sendi plastis

$$- V_{pr} = \frac{2M_{pr}}{L_h}$$

dimana:

$$M_{pr} = 1,1 \cdot R_y \cdot F_y \cdot Z_b$$

$$= 1,1 \cdot 1,5 \cdot 240000 \cdot 0,0045$$

$$= 1781,881 \text{ kN.m} \quad (\text{kanan dan kiri})$$

- $\sum M_{pc} = \sum Z_c (F_{yc} - \frac{P_{uc}}{A_g})$
- $\sum M_{pb} = \sum (1,1 \cdot R_y \cdot F_y \cdot Z_b + M_v)$

dimana:

$$M_v = [V_{pr} + V_u] \cdot \left(Sh + \frac{dc}{2} \right)$$

Tabel C5: Momen tambahan akibat amplifikasi geser pada lokasi sendi plastis untuk Model 2.

M _v	Kanan	Kiri
	173,038	174,021

$$\begin{aligned} * \sum M_{pc} &= \sum \left(0,014464 \left(290000 - \frac{1090,47}{0,07704} \right) \right) + \left(0,014464 \left(290000 - \frac{1226,55}{0,07704} \right) \right) \\ &= 7953,832 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} * \sum M_{pb} &= \sum (1,1 \cdot 1,5 \cdot 240000 \cdot 0,0045 + 47,21) + (1,1 \cdot 1,5 \cdot 240000 \cdot 0,0045 \\ &\quad + 51,16) \\ &= 3909,838 \text{ kNm} \end{aligned}$$

C4. Kontrol SRPMK dengan 25% gaya lateral

Berikut ini merupakan rangkuman untuk *joint reaction* untuk setiap *frame* yang diambil dari program ETABS v.15 untuk model 2 yang merupakan sistem ganda.

Tabel C6: *Joint reaction* untuk *frame* akibat gempa arah x.

Frame 2 SRPM				
Lantai	Joint	Load cases	F _x	F _y
Base	6	Beban Gempa X	75,7625	9,0389
Base	12	Beban Gempa X	84,1481	10,8561
Base	18	Beban Gempa X	83,8316	8,2403
Base	24	Beban Gempa X	83,8402	8,2537
Base	30	Beban Gempa X	84,1459	12,8708
Base	35	Beban Gempa X	75,7533	9,1049
	Total		487,4816	58,3647

Tabel C6: Lanjutan.

<i>Frame 3 SRPM</i>				
Lantai	Joint	Load cases	Fx	Fy
Base	11	Beban Gempa X	84,2541	7,7758
Base	17	Beban Gempa X	84,0118	7,6924
Base	23	Beban Gempa X	84,0108	7,6974
Base	29	Beban Gempa X	84,2554	12,8842
	Total		336,5321	36,0498
<i>Frame 4 SRPM</i>				
Lantai	Joint	Load cases	Fx	Fy
Base	10	Beban Gempa X	84,2866	7,7759
Base	16	Beban Gempa X	84,033	7,6922
Base	22	Beban Gempa X	84,0317	7,6972
Base	28	Beban Gempa X	84,2877	12,8848
	Total		336,639	36,0501
<i>Frame 5 SRPM</i>				
Lantai	Joint	Load cases	Fx	Fy
Base	3	Beban Gempa X	125,8111	9,0401
Base	9	Beban Gempa X	84,2128	10,8573
Base	15	Beban Gempa X	83,8943	8,2465
Base	21	Beban Gempa X	83,9039	8,2597
Base	27	Beban Gempa X	84,2107	12,8712
Base	32	Beban Gempa X	125,8008	9,1061
	Total		587,8336	58,3809
<i>Frame 1 Sistem Ganda</i>				
Lantai	Joint	Load cases	Fx	Fy
Base	7	Beban Gempa X	25,7436	5,5013
Base	13	Beban Gempa X	37,4699	11,8081
Base	19	Beban Gempa X	409,424	8,2226
Base	25	Beban Gempa X	409,4348	8,2573
Base	31	Beban Gempa X	37,472	5,776
Base	36	Beban Gempa X	25,751	5,5576
Base	74	Beban Gempa X	352,111	0,3831
Base	309	Beban Gempa X	466,6361	2,3127
Base	315	Beban Gempa X	466,6389	2,3157
	Total		2230,6813	45,1229
<i>Frame 6 Sistem Ganda</i>				
Lantai	Joint	Load cases	Fx	Fy
Base	1	Beban Gempa X	25,8303	5,5576
Base	2	Beban Gempa X	25,8225	5,5013
Base	8	Beban Gempa X	37,5888	11,8093
Base	14	Beban Gempa X	411,3317	8,2331

Tabel C6: Lanjutan.

<i>Base</i>	20	Beban Gempa X	411,3446	8,2676
<i>Base</i>	26	Beban Gempa X	37,5908	5,7766
<i>Base</i>	109	Beban Gempa X	353,3642	0,3831
<i>Base</i>	256	Beban Gempa X	417,9697	2,3129
<i>Base</i>	263	Beban Gempa X	417,9734	2,3158
	Total		2138,816	45,1455

Tabel C7: Joint reaction untuk frame akibat gempa arah y.

<i>Frame 8 SRPMK</i>				
Lantai	Joint	Load cases	Fx	Fy
<i>Base</i>	8	Beban Gempa Y	12,851	97,6299
<i>Base</i>	9	Beban Gempa Y	11,6975	95,4015
<i>Base</i>	10	Beban Gempa Y	12,1248	118,1987
<i>Base</i>	11	Beban Gempa Y	12,1141	118,1987
<i>Base</i>	12	Beban Gempa Y	11,6754	95,4015
<i>Base</i>	13	Beban Gempa Y	12,8104	97,6299
	Total		73,2732	622,4602
<i>Frame 9 SRPMK</i>				
Lantai	Joint	Load cases	Fx	Fy
<i>Base</i>	15	Beban Gempa Y	11,5907	98,430
<i>Base</i>	16	Beban Gempa Y	11,6353	98,002
<i>Base</i>	17	Beban Gempa Y	11,6281	98,002
<i>Base</i>	18	Beban Gempa Y	11,5693	98,430
	Total		46,423	392,864
<i>Frame 10 SRPMK</i>				
Lantai	Joint	Load cases	Fx	Fy
<i>Base</i>	21	Beban Gempa Y	11,5962	98,463
<i>Base</i>	22	Beban Gempa Y	11,6361	98,0133
<i>Base</i>	23	Beban Gempa Y	11,629	98,0133
<i>Base</i>	24	Beban Gempa Y	11,5745	98,4627
	Total		46,4358	392,9523
<i>Frame 11 SRPMK</i>				
Lantai	Joint	Load cases	Fx	Fy
<i>Base</i>	26	Beban Gempa Y	12,8545	113,515
<i>Base</i>	27	Beban Gempa Y	11,6994	80,1228
<i>Base</i>	28	Beban Gempa Y	12,1442	80,1534
<i>Base</i>	29	Beban Gempa Y	12,1335	80,1533
<i>Base</i>	30	Beban Gempa Y	11,6772	80,1228
<i>Base</i>	31	Beban Gempa Y	12,8138	113,5149
	Total		73,3226	547,5822

Tabel C7: Lanjutan.

<i>Frame 7 Sistem Ganda</i>				
Lantai	Joint	Load cases	Fx	Fy
Base	2	Beban Gempa Y	8,8349	32,8753
Base	3	Beban Gempa Y	8,8313	31,1529
Base	4	Beban Gempa Y	11,0422	469,0028
Base	5	Beban Gempa Y	11,0298	469,008
Base	6	Beban Gempa Y	8,8147	31,1529
Base	7	Beban Gempa Y	8,808	32,8753
Base	50	Beban Gempa Y	0,3654	360,7245
Base	169	Beban Gempa Y	1,8563	372,6062
Base	172	Beban Gempa Y	1,8553	372,6084
	Total		61,4379	2172,0063
<i>Frame 12 Sistem Ganda</i>				
Lantai	Joint	Load cases	Fx	Fy
Base	1	Beban Gempa Y	8,8312	13,0071
Base	32	Beban Gempa Y	8,8208	21,3074
Base	33	Beban Gempa Y	11,1289	473,2191
Base	34	Beban Gempa Y	11,1165	473,2242
Base	35	Beban Gempa Y	8,8046	21,3074
Base	36	Beban Gempa Y	8,804	13,0071
Base	54	Beban Gempa Y	0,3654	465,099
Base	416	Beban Gempa Y	1,8565	376,8649
Base	417	Beban Gempa Y	1,8555	376,867
	Total		61,5834	2233,9032

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



PERSONAL INFO

Nama Lengkap : Agung Pranata
Tempat, Tanggal Lahir : Tebing Tinggi, 28 Desember 1994
Agama : Islam
Alamat KTP : Kabun, Kec. Kabun, Kab. Rohul, Riau
No. Hp : 0853-6300-9155
E-mail : agung.praanata28@gmail.com

EDUCATION HISTORY

Nomor Pokok Mahasiswa : 1307210053
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Sipil
Perguruan Tinggi : Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

No.	Tingkat Pendidikan	Tempat	Tahun Kelulusan
1	SD Negeri 007 Kabun	Kecamatan Kabun	2006
2	SMP Negeri 1 Kabun	Kecamatan Kabun	2009
3	SMA Negeri 2 Bangkinang	Kota Bangkinang	2012
4	Melanjutkan studi di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Tahun 2013 sampai selesai		