

TUGAS AKHIR

KOMPARASI VARIASI BENTUK DAN TATA LETAK DINDING GESER DALAM ANALISIS STRUKTUR GEDUNG APSLC UGM DALAM MENAHAN BEBAN DINAMIK DENGAN MENGACU SNI 1726-2019

VARIATION COMPARISON IN SHAPE AND LAYOUT OF SHEAR WALLS IN STRUCTURAL ANALYSIS OF UGM APSLC BUILDING TO RESIST DYNAMIC LOADS WITH REFERENCE TO SNI 1726-2019

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil**



**Mukhammad Nailul Muna
17511102**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
SIPIL DAN PERENCANAAN UNIVERSITAS ISLAM
INDONESIA 2024**

TUGAS AKHIR

**KOMPARASI VARIASI BENTUK DAN TATA LETAK
DINDING GESER DALAM ANALISIS STRUKTUR
GEDUNG APSLC UGM DALAM MENAHAN BEBAN
DINAMIK DENGAN MENGACU SNI 1726-2019**

***VARIATION COMPARISON IN SHAPE AND LAYOUT
OF SHEAR WALLS IN STRUCTURAL ANALYSIS OF
UGM APSLC BUILDING TO RESIST DYNAMIC LOADS
WITH REFERENCE TO SNI 1726-2019***

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil**



**Disetujui:
Pembimbing**



Prof. Ir. Mochamad Teguh, MSCE., Ph.D.

Tanggal: Januari 2024

TUGAS AKHIR

KOMPARASI VARIASI BENTUK DAN TATA LETAK DINDING GESER DALAM ANALISIS STRUKTUR GEDUNG APSLC UGM DALAM MENAHAN BEBAN DINAMIK DENGAN MENGACU SNI 1726-2019 *VARIATION COMPARISON IN SHAPE AND LAYOUT OF SHEAR WALLS IN STRUCTURAL ANALYSIS OF UGM APSLC BUILDING TO RESIST DYNAMIC LOADS WITH REFERENCE TO SNI*



Disusun oleh

M Nailul Muna
17511102

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji pada tanggal 29 Januari 2024

Oleh Dewan Penguji

Pembimbing

Prof. Ir. M. Teguh, MSCE., Ph.D.
NIP: 855110201

Penguji I

15/24
3

Malik Mushthofa, S.T., M.Eng.
NIP: 185111302

Penguji II

15.03.24.

Astriana Hardawati, S.T., M.Eng.
NIP: 165111301



Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil

26/03
24

Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. (Eng.)
NIP: 095110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk penyelesaian program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan laporan tugas akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian laporan tugas akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang undangan yang berlaku

Yogyakarta, 11 Januari 2024

Yang membuat pernyataan,



M Nailul Muna

(17511102)

DEDIKASI

Bismillahirrohmanirrohim

Dengan Rahmat Allah SWT yang Maha Pengasih lagi Maha penyayang atas segala Rahmat-Nya, sehingga saya dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Tidak lupa juga ucapan terima kasih saya persembahkan kepada :

1. Bapak Habib Ridwan dan Ibu Faizah selaku orang tua saya yang telah mendukung saya dalam hal apapun dan juga yang selalu memberikan motivasi, M Nail Mujtaba selaku adik saya tersayang yang selalu memberikan bantuan dan motivasi di segala situasi dan kondisi yang ada. Terima kasih sebanyak – banyaknya atas kasih sayang yang teramat sangat besar yang telah diberikan kepada saya.
2. Seluruh keluarga saya yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu. Terima kasih atas dukungannya.
3. Teman – teman Teknik Sipil 2017 yang telah memberikan arahan dalam mengerjakan naskah tugas akhir ini, terima kasih atas bantuan dan saran – saran yang kalian berikan.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT yang Maha Pengasih lagi Maha penyayang atas segala Rahmat-Nya, sehingga tugas akhir yang berjudul *Komparasi Variasi Bentuk dan Tata Letak Dinding Geser Dalam Analisis Struktur Gedung APSLC UGM (Advance Pharmaceutical Sciences Learning Center Universitas Gadjah Mada) Dalam Menahan Beban Dinamik Dengan Mengacu SNI 1726-2019* dapat diselesaikan dengan baik. Tugas akhir ini merupakan salah satu persyaratan akademik yang harus dipenuhi untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Dalam penyusunan tugas akhir ini banyak hambatan yang dihadapi, namun berkat saran kritik, serta dorongan semangat dari berbagai pihak, Alhamdulillah tugas akhir ini dapat diselesaikan. Berkaitan dengan ini, ucapan terima kasih sedalam-dalamnya ditujukan kepada:

1. Bapak Prof. Ir. Mochamad Teguh, MSCE., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing.
2. Bapak Malik Mushthofa, ST., M.Eng selaku Dosen Penguji I.
3. Ibu Astriana Hardawati, ST., M.Eng selaku Dosen Penguji II.

Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi pihak yang membacanya.

Yogyakarta, Januari 2024
Penulis,



Mukhammad Nailul Muna
17511102

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	I
HALAMAN PENGESAHAN	II
KATA PENGANTAR	III
PERNYATAAN PLAGIASI	IV
DEDIKASI	V
DAFTAR ISI	IV
DAFTAR TABEL	XI
DAFTAR GAMBAR	XIV
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Penelitian Terdahulu	6
2.2 Perbedaan Penelitian	12
BAB III LANDASAN TEORI	15
3.1 Konsep Umum Gempa	15
3.2 Konsep Bangunan Tahan Gempa	16
3.3 Pembebanan	17
3.3.1 Beban Mati	17
3.3.2 Beban Hidup	20
3.3.3 Beban Gempa	20
3.3.4 Kombinasi Pembebanan	20
3.4 Ketentuan Umum Struktur Bangunan Sesuai SNI 1726-2019	22

3.4.1 Faktor Keutamaan	22
3.4.2 Klasifikasi Situs	25
3.4.3 Parameter Percepatan Tertekan	26
3.4.4 Koefisien Situs dan Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko Tertarget	27
3.4.5 Parameter Percepatan Spektral Desain	30
3.4.6 Penentuan Kategori Desain Seismik	30
3.5 Analisis Beban Gempa Sesuai dengan SNI 1726-2019	31
3.5.1 Metode Equivalen Statik	32
3.5.2 Metode Respons Spektrum	34
3.6 Dinding Geser	36
3.6.1 Variasi Penempatan Dinding Geser	37
3.6.2 Variasi Bentuk Dinding Geser	37
3.6.3 Syarat Minimum Tebal Dimensi Dinding Geser	38
3.6.4 Sistem Ganda pada Struktur	38
3.7 Ketidakberaturan Struktur	38
3.7.1 Ketidakberaturan Horizontal	38
3.7.2 Ketidakberaturan Vertikal	41
3.8 Perpindahan dan Simpangan Antar Lantai	46
3.8.1 Penentuan Simpangan Antar Lantai	46
3.8.2 Batasan Simpangan dan Bentuk Dinding Geser	47
3.9 Optimalisasi Letak dan Bentuk Dinding Geser	49
 BAB IV METODE PENELITIAN	 50
4.1 Umum	50
4.2 Data Penelitian	50
4.2.1 Model Struktur	50
4.2.2 Data Struktur Bangunan	50
4.3 Metode Penelitian	53
4.4 Tahapan Penelitian	53

BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN	57
5.1 Pemodelan Struktur	57
5.2 Perhitungan Pembebanan Struktur	59
5.2.1 Bahan Material/Mutu Bangunan	60
5.2.2 Beban Mati	60
5.2.3 Beban Hidup	61
5.2.4 beban Gempa Respon Spektrum	62
5.3 <i>Base Shear</i>	71
5.4 Cek Ketidakberaturan Struktur	72
5.4.1 Ketidakberaturan Horizontal	72
5.4.2 Ketidakberaturan Vertikal	77
5.5 Simpangan Antar Lantai	82
5.6 <i>Drift Ratio</i>	90
5.7 <i>Displacement</i>	93
5.8 Pola Simpangan Bangunan	95
5.9 Kontrol SRMPK Dengan 25% Gaya Lateral	97
5.10 Komparasi Respons Struktur	98
 BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	 107
6.1 Kesimpulan	107
6.2 Saran	109
 DAFTAR PUSTAKA	 110
LAMPIRAN	112

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian Terdahulu	13
Tabel 3.1 Berat Sendiri Bahan Bangunan	17
Tabel 3.2 Berat Sendiri Komponen Gedung	19
Tabel 3.4 Kategori Risiko Gedung	23
Tabel 3.5 Faktor Keutamaan Gempa	25
Tabel 3.6 Klasifikasi Situs	25
Tabel 3.7 Koefisien Kelas Situs Fa	27
Tabel 3.8 Koefisien Kelas Situs Fv	28
Tabel 3.9 KDS Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Periode Pendek	31
Tabel 3.10 KDS Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Periode 1 Detik	31
Tabel 3.11 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x	33
Tabel 3.12 Ketidakberaturan Horizontal	39
Tabel 3.13 Ketidakberaturan Vertikal	42
Tabel 3.14 Analisis Izin	45
Tabel 3.15 Simpangan Antar Tingkat Izin	48
Tabel 4.1 Data Struktur Bangunan Gedung APSLC UGM	52
Tabel 5.1 Dimensi Balok	59
Tabel 5.2 Dimensi Kolom	60
Tabel 5.3 Dimensi Pelat	60
Tabel 5.4 Spektrum Respons Desain	66
Tabel 5.5 Berat Seismik Efektif	70
Tabel 5.6 Penentuan Nilai K	71
Tabel 5.7 Gaya Seismik Lateral Struktur Dinding Geser Tipe 1	71
Tabel 5.8 Gaya Seismik Lateral Struktur Dinding Geser Tipe 2	72
Tabel 5.9 Gaya Seismik Lateral Struktur Dinding Geser Tipe 3	72
Tabel 5.10 Kontrol Parameter Respons Ragam	73

Tabel 5.11 Cek Ketidakberaturan Torsi Tipe 1a dan 1b Model 1	76
Tabel 5.12 Cek Ketidakberaturan Torsi Tipe 1a dan 1b Model 2	76
Tabel 5.13 Cek Ketidakberaturan Torsi Tipe 1a dan 1b Model 3	77
Tabel 5.14 Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Model 1 Arah X	80
Tabel 5.15 Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Model 2 Arah X	80
Tabel 5.16 Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Model 3 Arah X	81
Tabel 5.17 Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Model 1 Arah Y	81
Tabel 5.18 Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Model 2 Arah Y	82
Tabel 5.19 Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Model 3 Arah Y	82
Tabel 5.20 Ketidakberaturan Berat Struktur Dinding Geser Tipe 1	83
Tabel 5.21 Ketidakberaturan Berat Struktur Dinding Geser Tipe 2	83
Tabel 5.22 Ketidakberaturan Berat Struktur Dinding Geser Tipe 3	83
Tabel 5.23 Ketidakberaturan Diskontinuitas Model 1	84
Tabel 5.24 Ketidakberaturan Diskontinuitas Model 2	85
Tabel 5.25 Ketidakberaturan Diskontinuitas Model 3	85
Tabel 5.26 Rekapitulasi Simpangan Antar Lantai Arah X	90
Tabel 5.27 Rekapitulasi Simpangan Antar Lantai Arah X	90
Tabel 5.28 Nilai <i>Drift Ratio</i> Arah X	93
Tabel 5.29 Nilai <i>Drift Ratio</i> Arah Y	93
Tabel 5.30 Nilai <i>Displacement</i>	95
Tabel 5.31 Komparasi Nilai <i>Base Shear</i>	100
Tabel 5.32 Komparasi Nilai <i>Displacement</i>	101
Tabel 5.33 Komparasi Nilai <i>Drift Ratio</i> Arah X	104
Tabel 5.34 Komparasi Nilai <i>Drift Ratio</i> Arah Y	104
Tabel 5.35 Rekapitulasi Simpangan Antar Lantai Arah X	107
Tabel 5.36 Rekapitulasi Simpangan Antar Lantai Arah X	107

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pemodelan Dinding Geser	7
Gambar 2.2 Model Letak dan Bentuk Dinding Geser	8
Gambar 2.3 Pemodelan Struktur Bangunan Dengan Dinding Geser	11
Gambar 3.1 Peta Transisi Periode Panjang, TL, Wilayah Indonesia	29
Gambar 3.2 Parameter Gerak Tanah (S1) di Indonesia	29
Gambar 3.3 Parameter Gerak Tanah (Ss) di Indonesia	30
Gambar 3.4 Spektrum Respons Desain	36
Gambar 3.5 Ketidakberaturan 1a dan 1b	41
Gambar 3.6 Ketidakberaturan 2	41
Gambar 3.7 Ketidakberaturan 3	41
Gambar 3.8 Ketidakberaturan 4	41
Gambar 3.9 Ketidakberaturan 5	41
Gambar 3.10 Ketidakberaturan 1a dan 1b	44
Gambar 3.11 Ketidakberaturan 2	44
Gambar 3.12 Ketidakberaturan 3	44
Gambar 3.13 Ketidakberaturan 4	44
Gambar 3.14 Ketidakberaturan 5	44
Gambar 3.15 Penentuan Simpangan Antar Lantai	47
Gambar 4.1 Model 1 Penempatan Dinding Geser Eksisting	51
Gambar 4.2 Model 2 Penempatan Dinding Geser Varian <i>L-Shape</i>	51
Gambar 4.3 Model 3 Penempatan Dinding Geser Varian <i>I-Shape</i>	52
Gambar 4.4 Gedung APSLC UGM	53
Gambar 4.5 Denah Horizontal Gedung APSLC UGM	54
Gambar 4.6 Denah Vertikal Gedung APSLC UGM	54
Gambar 4.4 Bagan Alur Penelitian	56
Gambar 5.1 Pemodelan Struktur Dinding Geser Model 1	60
Gambar 5.2 Pemodelan Struktur Dinding Geser Model 2	61
Gambar 5.3 Pemodelan Struktur Dinding Geser Model 3	61
Gambar 5.4 Grafik Respons Spektrum Desain	87

Gambar 5.5 Ketidakberaturan Torsi	75
Gambar 5.6 Ketidakberaturan Sudut Dalam	78
Gambar 5.7 Grafik Simpangan Gempa Arah X Model 1	85
Gambar 5.7 Grafik Simpangan Gempa Arah Y Model 1	85
Gambar 5.8 Grafik Simpangan Gempa Arah X Model 2	86
Gambar 5.9 Grafik Simpangan Gempa Arah Y Model 2	87
Gambar 5.10 Grafik Simpangan Gempa Arah Y Model 3	87
Gambar 5.11 Grafik Simpangan Gempa Arah Y Model 3	88
Gambar 5.12 Rekapitulasi Simpangan Antar Lantai Arah X	91
Gambar 5.13 Rekapitulasi Simpangan Antar Lantai Arah Y	92
Gambar 5.14 Nilai <i>Drift Ratio</i> Arah X	94
Gambar 5.15 Nilai <i>Drift Ratio</i> Arah Y	94
Gambar 5.16 Grafik Nilai <i>Displacement</i> Arah X	96
Gambar 5.16 Grafik Nilai <i>Displacement</i> Arah Y	96
Gambar 5.17 Komparasi Nilai <i>Base Shear</i>	101
Gambar 5.18 Grafik Komparasi Nilai <i>Displacement</i> Arah X	102
Gambar 5.18 Grafik Komparasi Nilai <i>Displacement</i> Arah Y	103
Gambar 5.19 Grafik Komparasi Nilai <i>Drift Ratio</i> Arah X	104
Gambar 5.20 Grafik Komparasi Nilai <i>Drift Ratio</i> Arah Y	105
Gambar 5.21 Komparasi Nilai Simpangan Antar Lantai Arah X	106
Gambar 5.22 Komparasi Nilai Simpangan Antar Lantai Arah Y	106

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Denah Eksisting Struktur Gedung APSLC UGM Lantai 1, 2, dan 3	115
Lampiran 2 Denah Eksisting Struktur Gedung APSLC UGM Lantai 4 dan 5	116
Lampiran 3 Denah Eksisting Struktur Gedung APSLC UGM Lantai 6, 7, dan 8	117
Lampiran 4 Denah Eksisting Struktur Gedung APSLC UGM Lantai 9	118
Lampiran 5 Prosedur Analisis yang Diizinkan	119
Lampiran 6 Kategori Risiko Bangunan Gedung beban gempa	120
Lampiran 7 Faktor R, Cd, dan Ω_0 untuk Sistem Pemikul Gaya Seismik	123
Lampiran 8 Konsekuensi Ketidakberaturan	125
Lampiran 9 Pemodelan Struktur Dinding Geser Model 1 pada ETABS V21	127
Lampiran 10 Pemodelan Struktur Dinding Geser Model 2 pada ETABS V21	128
Lampiran 11 Pemodelan Struktur Dinding Geser Model 3 pada ETABS V21	129
Lampiran 12 Simpangan Antar Lantai Struktur Dinding Geser Model 1 arah x	130
Lampiran 13 Simpangan Antar Lantai Struktur Dinding Geser Model 1 arah y	131
Lampiran 14 Simpangan Antar Lantai Struktur Dinding Geser Model 2 arah x	132
Lampiran 15 Simpangan Antar Lantai Struktur Dinding Geser Model 2 arah y	133
Lampiran 16 Simpangan Antar Lantai Struktur Dinding Geser Model 3 arah x	134
Lampiran 17 Simpangan Antar Lantai Struktur Dinding Geser Model 3 arah y	135
Lampiran 18 Kontrol SRMPK 25% Lateral	136

DAFTAR NOTASI

D	= Beban Mati
E	= Beban Gempa
L	= Beban Hidup
L _r	= Beban Hidup Atap
I _e	= Faktor Keutamaan Gempa
S _s	= Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa MCER Terpetakan Untuk Periode Pendek
S ₁	= Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa MCER Terpetakan Untuk Periode 1 Detik
F _a	= Faktor Amplifikasi Getaran Terkait Percepatan Pada Getaran Periode Pendek
F _v	= Faktor Amplifikasi Getaran Terkait Percepatan Pada Getaran Periode 1 Detik
SMS	= Parameter Respons Spektral Percepatan Pada Periode Pendek
SM ₁	= Parameter Respons Spektral Percepatan Pada Periode 1 Detik
SDS	= Parameter Respons Spektral Percepatan Desain Periode Pendek
SD ₁	= Parameter Respons Spektral Percepatan Desain Periode 1 Detik
T	= Periode Getar Fundamental Struktur
CS	= Koefisien Respons Seismik
W	= Berat Seismik Efektif
P	= Faktor Redudansi

ABSTRAK

Gedung *Advance Pharmaceutical Sciences Learning Center* (APSLC) UGM merupakan salah satu dari 4 gedung yang masuk dalam proyek paket 4 pembangunan (ASPLC, DLC, TILC, dan FRC) di lingkungan Universitas Gadjah Mada pada tahun 2020. Gedung ini berfungsi sebagai gedung perkuliahan dan berlokasi di Yogyakarta yang merupakan salah satu daerah dengan intensitas rawan gempa yang tinggi, sehingga gedung tersebut diharapkan dapat tetap kokoh apabila terjadi gempa. Salah satu cara untuk memperkuat bangunan adalah dengan metode sistem ganda. Sistem ganda (*open frame* dan *shear wall*) banyak digunakan dalam pembangunan struktur gedung bertingkat tahan gempa di Indonesia. Bentuk dan penempatan *shear wall* dapat mempengaruhi kekakuan bangunan. Dalam aplikasinya di lapangan, *shear wall* di tempatkan di sisi luar atau di bagian tengah sebuah struktur bangunan. Penempatan dan bentuk dinding geser dapat berpengaruh pada nilai *base shear*, *displacement*, *drift ratio*, dan simpangan antar tingkat.

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan nilai *base shear*, *displacement*, simpangan antar tingkat, dan *drift ratio* sebagai hasil dari variasi bentuk dan tata letak dinding geser dalam menghadapi beban gempa respons spektrum. Metode yang diterapkan dalam penelitian ini adalah dengan menggunakan metode analisis dinamik yaitu Response Spektrum. Varian perbandingan melibatkan bangunan dengan dinding geser *existing* yang ada di Gedung APSLC UGM, bangunan dengan dinding geser berbentuk L (*L-Shape*), dan dinding geser berbentuk lurus (*straight shape*). Penelitian ini mencakup tiga model struktur termasuk model struktur yang sudah ada atau *existing* (model 1) dan 2 variasi model struktur yaitu model struktur dengan bentuk dinding geser *L-Shape* (model 2) dan model struktur dengan bentuk dinding *straight shape* (model 3). Perhitungan dilakukan dengan bantuan software ETABS V21.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa *base shear* terendah ditemukan pada model 3 yaitu sebesar 21548,528 kN. Pemodelan dengan *displacement* terendah pada arah x adalah pemodelan struktur dengan bentuk dinding geser *existing* (model 1) yaitu sebesar 56,47 mm, sedangkan untuk arah y adalah pemodelan struktur dengan bentuk dinding geser *straight shape* (model 3) yaitu sebesar 48,48 mm. Simpangan terendah terdapat pada pemodelan struktur dengan bentuk dinding geser *existing* (model 1) untuk arah x yaitu sebesar 10,589 mm, sedangkan untuk arah y terdapat pada pemodelan struktur dengan bentuk dinding geser *straight shape* (model 3) yaitu sebesar 8,796 mm. Perbandingan *drift ratio* terendah untuk arah X terdapat pada lantai 1 model 1 yaitu sebesar 0,212 % dan untuk arah Y terdapat pada lantai 1 model 3 yaitu sebesar 0,176 %

Kata kunci: *base shear*, *displacement*, *drift ratio*

ABSTRACT

The UGM Advance Pharmaceutical Sciences Learning Center (APSLC) is one of the four buildings included in the four development package projects (ASPLC, DLC, TILC, and FRC). Gadjah Mada University in 2020. This building functions as a lecture building and is located in Yogyakarta, one of the areas with high earthquake-prone intensity, so the building is expected to remain sturdy if an earthquake occurs. One way to strengthen buildings is with the dual system method. The dual system (open frame and shear wall) has been widely used to construct earthquake-resistant multi-story structures in Indonesia. The shape and placement of shear walls can affect the stiffness of the building. In its application in the field, a shear wall is placed outside or in the middle of a building structure. The placement and shape of shear walls can affect the base shear, displacement, drift ratio, and drift between levels.

This research aims to compare the values of base shear, displacement, deviation between levels, and drift ratio due to variations in the shape and layout of shear walls in dealing with spectrum response earthquake loads. The method applied in this research is to use a dynamic analysis method, namely Response Spectrum. The comparison variant involves buildings with existing shear walls in the UGM APSLC Building and buildings with L-shaped and straight-shaped shear walls. This research includes three structural models, including an existing structural model (model 1) and two variations of structural models, namely a structural model with an L-shaped shear wall shape (model 2) and a structural model with a Straight-shape wall shape (model 3). Calculations were carried out with the help of ETABS V21 software.

Based on the results, model 3 achieved the lowest base shear of 21548,528 kN. The modeling with the lowest displacement in the x direction is structural modeling with the existing shear wall shape (model 1), which is 56,47 mm, while for the y direction is structural modeling with the Straight Shape shear wall shape (model 3), which is 48,48 mm. The lowest deviation is found in structural modeling with an existing shear wall shape (model 1) for the x direction, namely 10,589 mm. In contrast, the y direction is found in structural modeling with a Straight-shape shear wall shape (model 3), namely 8,796 mm. The lowest drift ratio comparison value for the X direction is found on the 1st floor of model 3, which is 0,212%, and for the Y direction is found on the 1st floor of model 3, which is 0,176%.

Key words: base shear, displacement, drift ratio

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Salah satu negara dengan sebagian besar wilayahnya kepulauan adalah Indonesia yang memiliki kerentanan bencana alam yang tinggi. Hampir seluruh wilayah Indonesia memiliki ragam bencana alam yang berbeda beda. Bencana alam yang memiliki kerentanan tinggi terhadap infrastruktur salah satunya adalah gempa bumi. Hal ini dikarenakan Indonesia berada dalam area cincin api pasifik. Cincin api pasifik merupakan daerah yang berada di sekeliling cekungan Samudra Pasifik dan sering mengalami bencana alam gempa bumi serta letusan gunung berapi.

Selain berada di cincin api pasifik, Indonesia juga merupakan titik bertemunya lempeng Pasifik, Eurasia, dan lempeng Indo-Australia. Jika ketiga lempeng ini mengalami beberapa kondisi seperti bergeser, pecah, atau mencuat ke atas, maka akan menyebabkan terjadinya gempa bumi. Oleh karena itu, dalam perencanaan struktur bangunan yang dibangun di wilayah rentan gempa seharusnya perencana mempertimbangkan konsep desain bangunan tahan gempa dengan memperhitungkan beban gempa dan konsekuensinya dalam menganalisis strukturnya.

Gedung bertingkat tinggi umumnya membutuhkan desain struktur yang baik dalam memperhitungkan bangunan tahan gempa. Untuk itu, bangunan bertingkat tahan gempa strukturnya dapat didesain dengan *open frame* atau *dual system*. Struktur *open frame* adalah struktur yang terdiri dari kolom dan balok yang digabungkan dengan hubungan kolom dan balok atau sering disebut *beam column joint*, untuk menahan beban dari gempa, dengan asumsi dinding pengisi (non structural) tidak diperhitungkan untuk memikul gempa. Kekakuan lateral dari portal kaku cenderung bergantung dari kekakuan lentur dari kolom, balok serta sambungannya. Sedangkan struktur *dual system* adalah gabungan sistem antara

portal dan dinding geser. Menurut Nasution (2009) struktur sistem ganda (*dual system*) memiliki kemampuan yang tinggi dalam memikul gaya geser pada sistem gabungan antara portal dengan dinding geser disebabkan adanya interaksi antara keduanya. Interaksi tersebut terjadi karena kedua sistem tersebut mempunyai perilaku struktur yang berbeda akibat beban lateral, dinding geser akan berperilaku *flexural/bending mode*, sedangkan frame akan berdeformasi dalam *shear mode*. Menurut SNI 1726-2019 struktur Gedung harus mampu memikul sekurang-kurangnya 25% dari keseluruhan beban lateral.

Dalam penelitian ini pembahasan difokuskan pada struktur gedung bertingkat yang menggunakan struktur *dual system*. Struktur *dual system* memiliki kemampuan yang tinggi dalam memikul gaya geser pada sistem gabungan antara portal dengan dinding geser disebabkan adanya interaksi antara keduanya, sehingga akan menambah kekakuan gedung dalam menghadapi gaya gempa.

Dinding geser (*shear wall*) adalah dinding slab beton bertulang atau pelat baja yang dipasang vertikal pada posisi gedung tertentu yang berfungsi untuk menahan gaya lateral akibat beban gempa dan angin. Dengan adanya dinding geser, maka bangunan akan lebih kaku dibandingkan dengan bangunan biasa, sehingga dapat menahan gaya lateral yang lebih besar. Penempatan dan bentuk dinding geser berpengaruh signifikan terhadap kemampuan menahan beban gempa baik itu lateral maupun vertikal. Pada penelitian ini tidak berfokus pada biaya tetapi lebih berfokus pada respon struktur yang dihasilkan oleh perbedaan bentuk dan tata letak dinding geser, sehingga didapatkan letak dan bentuk yang paling efisien.

Objek dalam penelitian ini yaitu gedung *Advance Pharmaceutical Sciences Learning Center Universitas Gadjah Mada* (APLSC UGM). Gedung ini memiliki spesifikasi dimensi 32,6 x 57,4 (m) bertingkat 9 dengan tinggi antar lantai yaitu 5 m pada lantai pertama dan 4,5 m di lantai berikutnya. Gedung ini dirancang dengan struktur *dual system* yang dinding gesernya sudah ditempatkan di beberapa sudut dengan mengacu pada ketentuan SNI 1726-2013, sehingga dilakukan penelitian pengoptimalisasi bentuk dan tata letak dinding geser dengan mengacu SNI terbaru yaitu SNI 1726-2019.

Menurut Batu, dkk (2016), perencanaan bangunan bertingkat membutuhkan elemen pengaku seperti dinding geser, *bracing system*, yang dapat digunakan untuk meredam goyangan pada bangunan akibat beban lateral. Dinding geser berfungsi juga sebagai struktur bangunan yang ikut memikul gaya-gaya yang bekerja pada balok dan kolom sekitarnya. Peletakan dinding geser yang tepat pada suatu denah bangunan bertingkat, dapat membantu mereduksi simpangan pada bangunan tersebut. Untuk meninjau pengaruh letak dinding geser dan bentuk dinding geser pada suatu bangunan telah dicoba 8 variasi model struktur dengan posisi dinding geser yang berbeda beda. Model struktur yang ditinjau adalah struktur dengan ketidakberaturan horizontal. Dari 8 variasi model yang telah dicoba, model dengan letak atau posisi dinding geser pada pusat massa bangunan merupakan model struktur yang paling baik. Dinding geser yang terletak pada pusat massa bangunan menjadi variasi model paling baik karena jenis dinding geser ini dekat dengan wilayah inti bangunan yang menjadi poros putaran bangunan.

Tujuan penelitian ini adalah untuk membandingkan respon struktur kondisi eksisting bangunan Gedung UGM APSLC dengan simulasi perpindahan letak dan bentuk dinding geser mengacu pada SNI 2019. Optimalisasi simulasi ini diharapkan memperoleh desain struktur yang efektif, dan efisien dalam menahan beban gempa rencana dengan indikator ketercapaiannya diukur dari *base shear*, *displacement*, *drift ratio*, dan simpangan antar lantai.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang tersebut, maka dalam penelitian ini yang menjadi rumusan masalahnya adalah:

1. bagaimana perbandingan hasil dari variasi penempatan dan bentuk dinding geser terhadap nilai *base shear*, *displacement*, *drift ratio*, dan simpangan antar lantai yang terjadi ?
2. bagaimana nilai kontrol ketidakberaturan horizontal dan vertikal dari variasi letak dan bentuk dinding geser ?
3. bagaimana perbandingan hasil dari variasi letak dan bentuk dinding geser terhadap *base shear*, *displacement*, simpangan antar tingkat, dan *drift ratio*?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk:

1. Menghitung nilai dari *base shear*, *displacement*, *drift ratio* dan simpangan antar lantai dari variasi bentuk dan letak dinding geser.
2. Menghitung ketidakberaturan horizontal dan vertikal dari variasi bentuk dan letak dinding geser.
3. Menentukan desain letak dan bentuk dinding geser yang paling optimal.

1.4 Batasan Masalah

Pada penelitian ini permasalahan dibatasi pada:

1. model struktur bangunan merupakan bangunan gedung APSLC UGM 9 lantai dengan tinggi antar lantai 5 m pada lantai pertama dan 4,5 m lantai berikutnya,
2. pemodelan analisis struktur menggunakan program aplikasi ETABS V21,
3. beban yang dihitung dalam analisis ini mencakup beban mati, beban hidup, dan beban gempa dengan metode respon spektrum,
4. tidak memperhitungkan struktur bawah,
5. tidak memperhitungkan beban atap,
6. tidak memperhitungkan beban angin,
7. lokasi berada di Yogyakarta,
8. penelitian ini pada model 2 dan 3 tidak mengubah denah eksisting dan tidak menganalisis ulang terhadap elemen struktur seperti balok, kolom, dan pelat,
9. asumsi kelas situs tanah sedang mengacu pada penelitian “Prediksi Pencairan Tanah Akibat Gempa di Daerah Istimewa Yogyakarta”. Jhon, dkk (2013),
10. material yang digunakan antara lain :
 - a. mutu beton, pelat, dan kolom yaitu 30 Mpa,
 - b. mutu baja tulangan yaitu 420 Mpa,
11. peraturan yang digunakan antara lain:
 - a. Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI-1727-2013),
 - b. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI-1726-2019),

- c. Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung (SNI 03–2847–2019).

1.5 Manfaat Penelitian

Penyusunan penelitian dimaksudkan untuk:

1. mengoptimalisasikan letak dan bentuk dinding geser bangunan gedung eksisting APSLC UGM mengacu pada SNI terbaru,
2. memahami teknik penempatan dan pemilihan bentuk dinding geser untuk mengoptimalisasikan gedung terhadap respon spektrum beban gempa,
3. menambah wawasan pengetahuan dalam perancangan gedung bertingkat tahan gempa dengan berbagai bentuk model letak dan fungsi bangunan yang berbeda.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

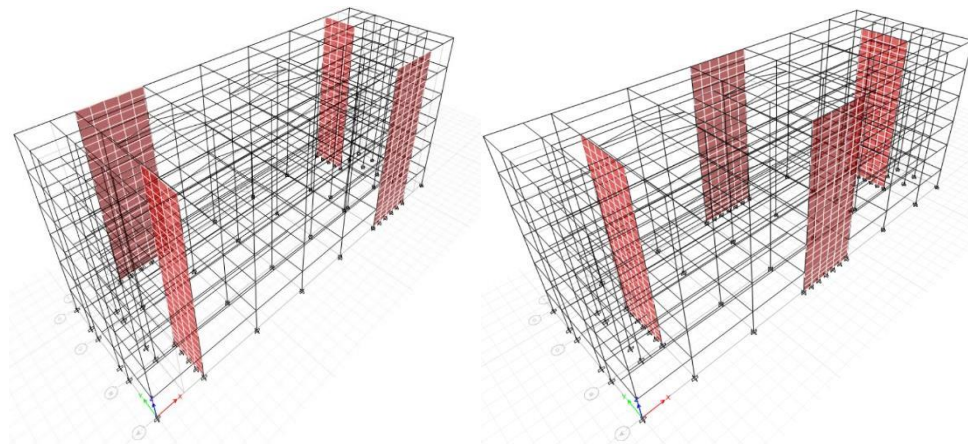
2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian dapat mengacu pada beberapa penelitian terdahulu yang memiliki keterkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan. Referensi tersebut berupa jurnal, literatur dan laporan penelitian dari berbagai peneliti.

2.1.1 Variasi Tata Letak Dinding Geser Pada Bangunan Bertingkat

Variasi tata letak dinding geser dapat mengacu pada judul tugas akhir Pengaruh Variasi Tata Letak Dinding Geser pada Bangunan Beton Bertulang dengan Analisa Pushover pada Gedung Kampus UINSU Medan.

Faddilah (2019) melakukan penelitian tentang variasi letak dinding geser untuk menentukan pengaruh dinding geser terhadap *base shear* struktur bangunan dan pengaruh kekakuan struktur terhadap variasi letak dinding geser dengan metode *pushover*. Beban yang dihitung adalah beban gravitasi (beban hidup dan mati) serta beban lateral (beban gempa). Struktur gedung yang digunakan adalah Gedung Kampus UINSU Medan berbentuk persegi panjang berukuran 18 m x 52,2 m bertingkat 6 dengan penempatan dinding geser searah sumbu x dan sumbu y. Kondisi tanah merupakan tanah lunak dengan mutu kuat tekan beton (f'_c) pada kolom 33,2 MPa dan pada balok 25 MPa. Pemodelan letak dinding geser pada penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.1.



(a) Penempatan dinding geser letak 1 (b) Penempatan dinding geser letak 2

Gambar 2.1 Pemodelan Dinding Geser

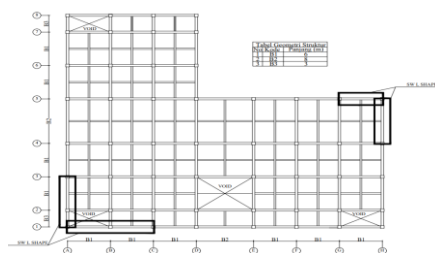
Berdasarkan analisis data yang sudah dilakukan pada gedung UINSU Medan tentang variasi letak dinding geser, maka dapat disimpulkan bahwa :

- a. Dari hasil analisis yang dilakukan dengan metode pushover, nilai perpindahan (*displacement*) dan nilai kekakuan berpengaruh ketika dinding geser dipindahkan. Nilai yang didapatkan pada model 1 arah x sebesar 0,2094 m dan arah Y sebesar 0,1682 m, model 2 arah x sebesar 0,0094 m dan arah y sebesar 0,0136 m, model 3 sebesar 0,0021 m dan arah y sebesar 0,016 m.
- b. Nilai gaya geser yang terjadi pada setiap model adalah sebagai berikut.
 - 1) Model 1 arah x = 16079,98 kN dan Y = 16248,38 kN.
 - 2) Model 2 arah x = 5760,225 kN dan Y = 5086,5 kN.
 - 3) Model 3 arah x = 11656,53 Kn dan arah Y = 8678,26 kN.

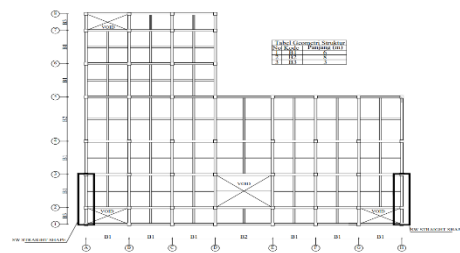
2.1.2 Variasi Bentuk Dan Letak Dinding Geser Pada Bangunan Bertingkat

Variasi tata letak dan bentuk dinding geser dapat mengacu pada judul tugas akhir Komparasi Respon Dinamik Struktur Pada Gedung Bertingkat Dengan Variasi Bentuk Dan Penempatan Dinding Geser Mengacu SNI 1726-2019.

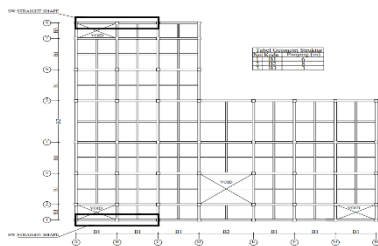
Prathama (2021) melakukan penelitian respon struktur gedung terhadap beban gempa dinamik dengan menggunakan variasi bentuk dan penempatan dinding geser. Struktur yang ditinjau merupakan gedung simulasi berbentuk L dengan tinggi 15 lantai. Penelitian bertujuan untuk mengetahui pengaruh penempatan dan bentuk dinding geser terhadap *drift ratio*, *base shear*, simpangan, dan *displacement* yang terjadi. Model bangunan gedung yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 2.2 berikut.



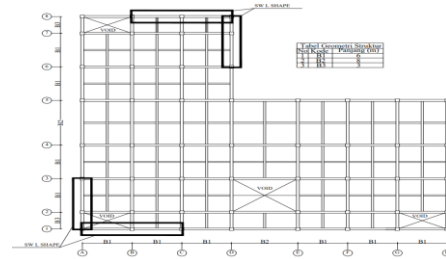
Shear wall Model 1



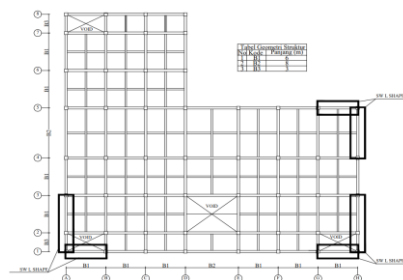
Shear wall Model 2



Shear wall Model 3



shear wall Model 4



Shear wall Model 5

Gambar 2.2 Model Letak dan Bentuk Dinding Geser

Berdasarkan analisis data yang sudah dilakukan pada gedung imajiner yang dilakukan oleh Pratama tentang variasi letak dan bentuk dinding geser, maka dapat

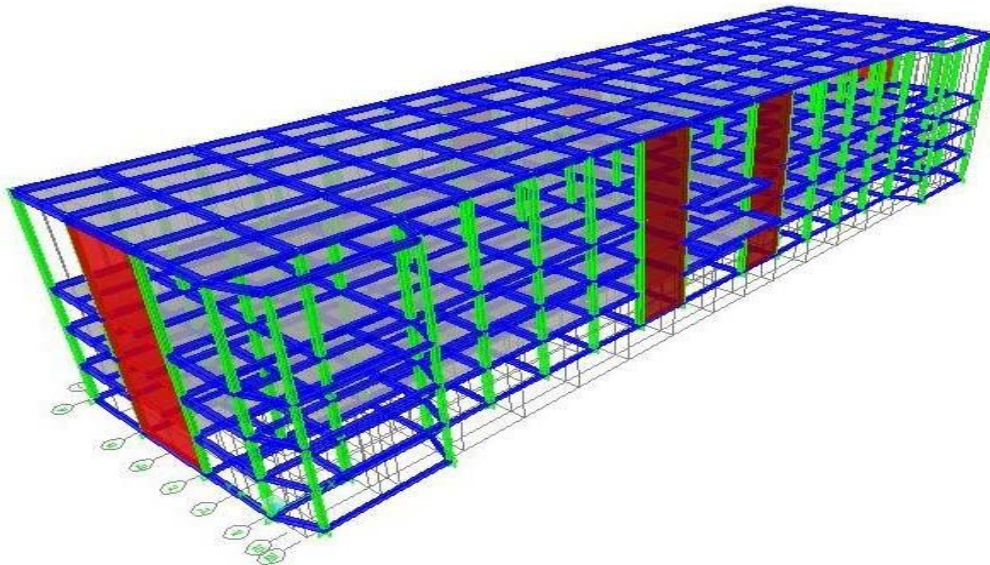
disimpulkan bahwa :

- a Pada masing masing struktur memiliki pola goyangan yang sama yaitu mode 1 translasi arah x mode 2 translasi arah y dan mode 3 rotasi.
- b Nilai gaya geser yang terjadi pada bangunan tanpa dinding geser lebih besar dari pada bangunan yang tidak menggunakan gaya geser.
- c Dari analisis yang dilakukan model 4 memiliki nilai terefektif untuk arah y sedangkan arah y yaitu model 5, selisih nilai jika dibandingkan dengan yang model tanpa dinding geser memiliki nilai yang jauh.
- d Nilai *drift ratio* terefektif yaitu pada arah x adalah model 4 yang memiliki nilai 20,67% dan arah y yaitu model 5 dengan nilai 22,67%.
- e Jika dilihat dari beberapa aspek nilai yang ada, model 5 memiliki nilai yang paling efektif dari ke 4 model lainnya.

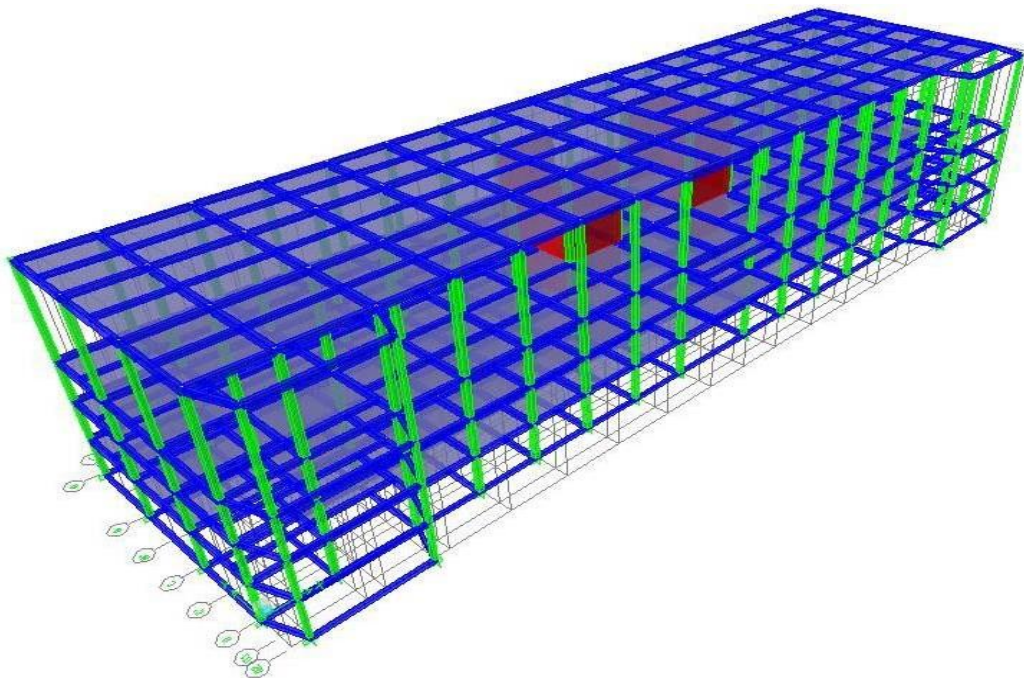
2.1.3 Variasi Letak Dinding Geser Pada Bangunan Bertingkat

Variasi tata letak dinding geser dapat mengacu pada judul tugas akhir Analisis Pengaruh Letak Dinding Geser Pada Gedung Bertingkat Dalam Menghadapi Gaya Lateral Gempa (Struktur Asrama Pusdiklat Bumi Suci Maitreya, Pekanbaru).

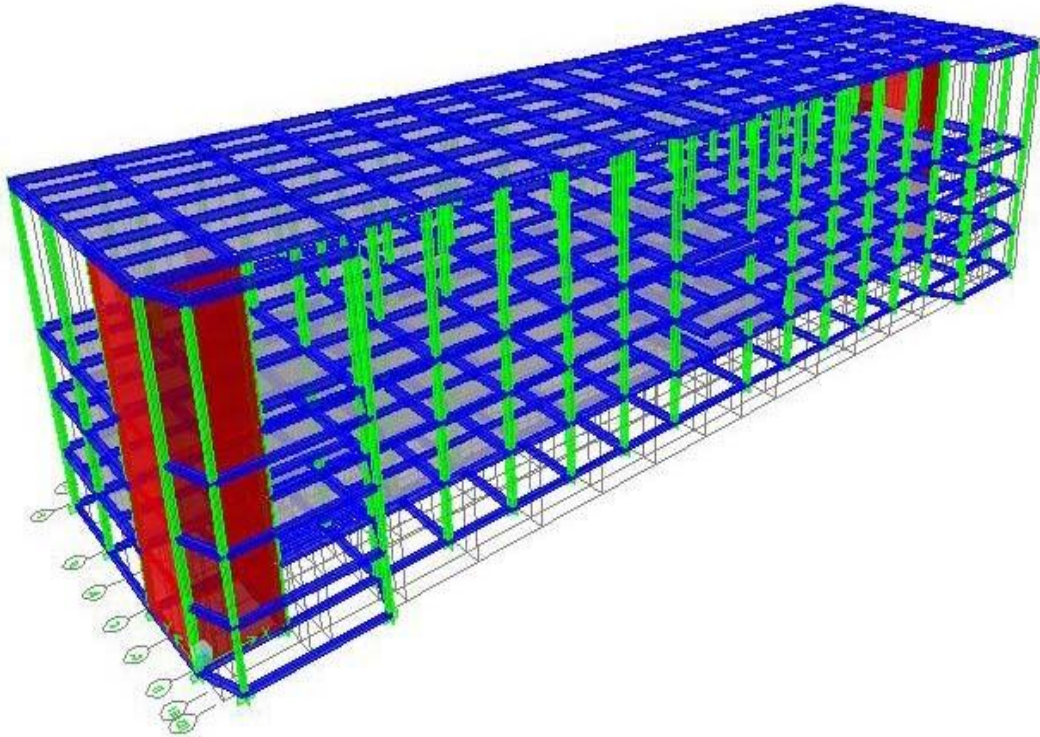
Reksoraharjo (2017) melakukan penelitian pengaruh letak dinding geser untuk menahan gaya lateral gempa. Struktur yang ditinjau merupakan gedung Asrama Pusdiklat Bumi Suci Maitreya, Pekanbaru 4 lantai. Penelitian bertujuan untuk mendapatkan dampak dari penggunaan *shear wall* pada struktur gedung bertingkat dan dampak dari perbedaan peletakan *shear wall* pada struktur gedung bertingkat dalam menahan gaya lateral gempa dengan parameter yang ditinjau berupa periode getar, gaya geser dasar, perpindahan lateral, dan simpangan antar lantai. Model gedung yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 2.3.



(a) Pemodelan struktur bangunan dengan dinding geser lokasi 1 (model 2)



(b) Pemodelan struktur bangunan dengan dinding geser lokasi 2 (model 3)



(c) Pemodelan struktur bangunan dengan dinding geser lokasi 3 (model 4)

Gambar 2.3 Pemodelan Struktur Bangunan Dengan Dinding Geser

Berdasarkan analisis data yang sudah dilakukan pada gedung APBSM Pekanbaru yang dilakukan oleh Reksoraharjo tentang variasi letak dinding geser, maka dapat disimpulkan bahwa :

- a. Penambahan dinding geser menyebabkan nilai periode getar menurun. Pada model 1 yaitu model eksisting nilai T_{max} sebesar 1,69 s sedangkan model 2 T_{max} sebesar 0,669 dan model 3 T_{max} sebesar 0,751 s dan model 4 adalah 0,694 s.
- b. Nilai gaya geser yang didapat adalah sebagai berikut.
 - 1) Model 1 sebesar 1445,69 kN arah x dan arah y sebesar 1560,82 kN.
 - 2) Model 2 sebesar 3963, 11 kN arah x dan arah y sebesar 3525,06 kN.
 - 3) Model 3 sebesar 3894 kN arah x dan arah y sebesar 4051,01 kN.
 - 4) Model 4 sebesar 3806,72 kN arah x dan arah y sebesar 4239,69 kN.

2.2 Perbedaan Penelitian

Berdasarkan dari beberapa penelitian terdahulu, adapun perbedaan dengan penelitian yang sudah dilakukan dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian Terdahulu

Aspek	Penelitian Terdahulu			Penelitian Yang Dilakukan
	Faddilah (2019)	Pratama (2019)	Manggala (2017)	
Judul	Pengaruh Variasi Tata Letak Dinding Geser pada Bangunan Beton Bertulang dengan Analisa Pushover pada Gedung Kampus UINSU Medan	Komparasi Respon Dinamik Struktur Pada Gedung Bertingkat Dengan Variasi Bentuk Dan Penempatan Dinding Geser Mengacu Sni 1726-2019	Analisis Pengaruh Letak Dinding Geser Pada Gedung Bertingkat Dalam Menghadapi Gaya Lateral Gempa	Komparasi Variasi Bentuk dan Tata Letak Dinding Geser Dalam Analisis Struktur Gedung APSLC UGM Dalam Menahan Beban Dinamik Dengan Mengacu SNI 1726-2019
Jenis dan fungsi bangunan	Struktur beton bertulang dengan fungsi bangunan gedung perkuliahan	Gedung simulasi apartemen bertingkat 15	Asrama Pusdiklat Bumi Suci Maitreya bertingkat 4	Gedung APSLC UGM bertingkat 9
Bentuk bangunan	Bangunan persegi panjang (reguler)	Bangunan berbentuk L (irreguler)	Bangunan berbentuk persegi panjang (reguler)	Bangunan berbentuk persegi panjang (reguler)
Jenis tanah	Tanah lunak	Tanah sedang	Tanah sedang	Tanah sedang

Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian Terdahulu (Lanjutan)

Aspek	Penelitian Terdahulu			Penelitian Yang Dilakukan
	Faddilah (2019)	Pratama (2019)	Manggala (2017)	
Standar	SNI 1726-2019	SNI 1726-2019	SNI 1726-2013	SNI 1726 2019
Metode analisis	Analisis menggunakan bantuan aplikasi SAP2000 dengan metode analisis push over	Analisis menggunakan bantuan aplikasi SAP2000 dan ETABS dengan metode analisis respon spectrum	Analisis menggunakan bantuan aplikasi ETABS dengan metode analisis respon spectrum	Analisis menggunakan bantuan aplikasi ETABS V21 dengan metode analisis respon spectrum
Hasil penelitian	Nilai terefektif yang didapatkan adalah model 1	Nilai terefektif yang didapatkan adalah model 5	Nilai terefektif yang didapatkan adalah model 2	Nilai terefektif yang didapatkan adalah model 3

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Ragam atau Klasifikasi Gempa Bumi

Gempa bumi dapat diartikan sebagai suatu peristiwa bergetarnya bumi akibat pelepasan energi di dalam bumi secara tiba-tiba yang ditandai dengan patahnya lapisan batuan pada kerak bumi. Gempa bumi dapat dibedakan dalam beberapa kategori (Hartuti 2009). Jika berdasarkan penyebab terjadinya, gempa bumi dibedakan menjadi lima sebagai berikut :

1. Gempa buatan, yaitu gempa yang disebabkan oleh aktivitas manusia yang disengaja. Salah satu contoh yang disebabkan oleh aktivitas manusia adalah percobaan peledakan nuklir atau peledakan dinamit dan lain sebagainya.
2. Gempa runtuh, yaitu gempa bumi yang diakibatkan oleh tanah longsor, gua-gua yang runtuh, dan sejenisnya.
3. Gempa jatuhan, yaitu gempa yang diakibatkan oleh jatuhnya benda langit seperti meteor. Meteor yang jatuh ini mengakibatkan getaran pada permukaan bumi jika massa meteor cukup besar.
4. Gempa vulkanik, yaitu gempa yang diakibatkan oleh meletusnya gunung berapi sehingga menimbulkan getaran. Contohnya seperti gempa Gunung Bromo, gempa Gunung Una-Una, gempa Gunung Krakatau.
5. Gempa tektonik, yaitu gempa yang disebabkan oleh gesekan antar lempeng tektonik yang kemudian mengakibatkan getaran yang merambat hingga ke permukaan tanah.

Kebanyakan gempa Bumi disebabkan dari pelepasan energi yang dihasilkan oleh tekanan yang disebabkan oleh lempengan yang bergerak. Semakin lama tekanan itu kian membesar dan akhirnya mencapai pada keadaan di mana tekanan tersebut tidak dapat ditahan lagi oleh pinggiran lempengan.

Pada saat itulah gempa Bumi akan terjadi.

Gempa bumi adalah salah satu aspek yang perlu diperhitungkan dalam perencanaan struktur. Hal ini disebabkan gempa bumi tidak terjadi setiap waktu tetapi saat terjadi akan memberi dampak pada struktur. dampak ini terjadi disebabkan adanya gaya gempa yang harus dipikul struktur. Jika pada kondisi normal, struktur hanya memikul beban yang disebabkan oleh berat struktur sendiri.

3.2 Konsep Bangunan Tahan Gempa

Konstruksi bangunan tahan gempa adalah bangunan yang bisa merespon gempa, dengan sikap bertahan dari keruntuhan dan bersifat fleksibel untuk meredam getaran gempa. Filosofi perencanaan bangunan tahan gempa yang diadopsi hampir seluruh negara di dunia mengikuti ketentuan berikut ini (Teruna 2007):

1. pada gempa kecil bangunan tidak boleh mengalami kerusakan,
2. pada gempa menengah komponen struktural tidak boleh rusak, namun komponen non-struktural diijinkan mengalami kerusakan,
3. pada gempa kuat komponen struktural boleh mengalami kerusakan, namun bangunan tidak boleh mengalami keruntuhan.

Konsep bangunan tahan gempa pada dasarnya adalah upaya untuk membuat seluruh elemen struktur bangunan menjadi satu kesatuan yang utuh, yang tidak lepas/runtuh akibat gempa. Penerapan konsep tahan gempa antara lain dengan cara membuat sambungan yang cukup kuat di antara berbagai elemen tersebut serta pemilihan material dan pelaksanaan yang tepat. Pemilihan material yang baik dan berkualitas sesuai dengan mutu yang disyaratkan merupakan hal yang penting, yang harus diperhatikan dalam mendesain bangunan tahan gempa.

Dalam perencanaan struktur gedung terhadap pengaruh gempa rencana, semua elemen struktur gedung maupun bagian dari sistem struktur gedung harus diperhitungkan untuk menanggung gempa rencana. Desain yang disusun diandalkan untuk memiliki opsi untuk menahan beban pengganti yang masuk

inelastik dengan kekuatan pada dasarnya oleh karena itu, energy harus dapat diturunkan dan diserap oleh struktur yang bersangkutan dalam bentuk deformasi.

3.3 Pembebanan

Beban merupakan gaya yang bekerja pada suatu struktur yang dapat menyebabkan tegangan, deformasi, dan perpindahan. Struktur bangunan bertingkat didesain untuk mampu menahan beban tetap, beban hidup, dan beban sementara (angin, gempa, dan khusus) yang bekerja pada struktur bangunan tersebut. Pada penelitian ini pembebanan yang digunakan dalam menganalisis bangunan gedung antara lain beban mati, beban hidup, dan beban gempa.

3.3.1 Beban Mati

Beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, finishing, klading gedung dan komponen arsitektural dan struktural lainnya serta peralatan layan terpasang lainnya termasuk berat derek dan sistem pengangkut material (SNI 1727-2020 pasal 3.1.1)

Penentuan berat mati yang digunakan dalam bangunan mengacu pada peraturan SKBI (1987), peraturan SKBI dapat dilihat pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2 berikut

Tabel 3.1 Berat Sendiri Bahan Bangunan

Bahan Bangunan	Berat Jenis
Baja	7850 kg/m ³
Batu alam	2600 kg/m ³
Batu belah, batu bulat, batu gunung (berat tumpuk)	1500 kg/m ³
Batu karang (berat tumpuk)	700 kg/m ³
Batu pecah	1450 kg/m ³
Batu tuang	7250 kg/m ³

Tabel 3.1 Berat Sendiri Bahan Bangunan (Lanjutan)

Bahan Bangunan	Berat Jenis
Beton ⁽¹⁾	2200 kg/m ³
Beton bertulang ⁽²⁾	2400 kg/m ³
Kayu (Kelas 1) ⁽³⁾	1000 kg/m ³
Kerikil, koral (kering udara sampai lembab, tanpa diayak)	1650 kg/m ³
Pasangan bata merah	1700 kg/m ³
Pasangan batu belah, batu bulat, batu gunung	2200 kg/m ³
Pasangan batu cetak	2200 kg/m ³
Pasangan batu karang	1450 kg/m ³
Pasir (kering udara sampai lembab)	1600 kg/m ³
Pasir (jenuh air)	1800 kg/m ³
Pasir kerikil, koral (kering udara sampai lembab)	1850 kg/m ³
Tanah, lempung dan lanau (kering udara sampai lembab)	1700 kg/m ³
Tanah, lempung dan lanau (basah)	2000 kg/m ³
Timah hitam (timbel)	11400 kg/m ³
Tanah, lempung dan lanau (kering udara sampai lembab)	1700 kg/m ³

Sumber : SKBI (1987)

Tabel 3.2 Berat Sendiri Komponen Gedung

Komponen Gedung	Berat Jenis
Adukan, per cm tebal:	
- dari semen	21 kg/m ²
- dari kapur, semen merah atau tras	17 kg/m ²
Aspal, termasuk bahan-bahan mineral penambah per cm tebal	14 kg/m ²
Dinding pasangan bata merah	
- satu batu	450 kg/m ²
- setengah batu	250 kg/m ²
Dinding pasangan batako : Berlubang:	
- tebal dinding 20 cm (HB 20)	200 kg/m ²
- tebal dinding 10 cm (HB 10)	120 kg/m ²
Tanpa lubang:	
- tebal dinding 15 cm	300 kg/m ²
- tebal dinding 10 cm	200 kg/m ²
Langit-langit dan dinding (termasuk rusuk-rusuknya tanpa penggantung langit-langit atau pengaku), terdiri dari:	11 kg/m ²
- semen asbes (eternit dan bahan lain sejenis), dengan tebal maksimum 4 mm	10 kg/m ²
- kaca, dengan tebal 3-5 mm	
Lantai kayu sederhana dengan balok kayu, tanpa langit-langit dengan bentang maksimum 5 m dan untuk beban hidup maksimum 200 kg/m ²	40 kg/m ²
Penggantung langit-langit (dari kayu), dengan bentang maksimum 5 m dan jarak s.k.s minimum 0,80 m	7 kg/m ²
Penutup atap genting dengan reng dan usuk/kaso, per m ² bidang atap	50 kg/m ²
Penutup atas sirap dengan reng dan usuk/kaso, per m ² bidang atap	40 kg/m ²
Penutup atas sirap dengan reng dan usuk/kaso, per m ² bidang atap	40 kg/m ²
Penutup atap seng gelombang (BJLS-25) tanpa gordeng	10 kg/m ²

Tabel 3.2 Berat Sendiri Komponen Gedung (Lanjutan)

Komponen Gedung	Berat Jenis
Penutup lantai dari ubin semen Portland, teraso dan beton, tanpa adukan, per cm tebal	24 kg/m ²
Semen asbes gelombang (tebal 5 mm)	11 kg/m ²
Langit-langit dan dinding (termasuk rusuk-rusuknya tanpa penggantung langit-langit atau pengaku), terdiri dari:	11 kg/m ²
- semen asbes (eternit dan bahan lain sejenis), dengan tebal maksimum 4 mm	10 kg/m ²
- kaca, dengan tebal 3-5 mm	

Sumber : SKBI (1987)

3.3.2 Beban Hidup

Menurut SNI 1727-2020 beban hidup adalah beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir, atau beban mati. Penentuan nilai beban hidup yang digunakan dalam perancangan bangunan gedung telah diatur pada Tabel 4.3-1 SNI 1727-2020 tentang beban hidup terdistribusi merata minimum, L_o dan beban hidup terpusat minimum

3.3.3 Beban Gempa

Beban gempa adalah beban statik ekuivalen yang bekerja pada bangunan atau bagian dari bangunan akibat pergerakan tanah karena Gempa. Pengaruh gempa pada struktur ditentukan berdasarkan analisa dinamik, maka yang diartikan dalam beban gempa yaitu gaya-gaya didalam struktur tersebut yang terjadi oleh tanah akibat gempa.

3.3.4 Kombinasi Pembebanan

Dalam menganalisis struktur gedung bertingkat kombinasi pembebanan mengacu pada SNI 1726:2019 dimana kombinasi pembebanan yang digunakan

adalah metode ultimit. Dalam metode ultimit terdapat beberapa kombinasi pembebanan seperti kombinasi pembebanan dasar, kombinasi pembebanan dengan pengaruh regangan sendiri, dan kombinasi pembebanan dengan pengaruh beban seismik. Kombinasi pembebanan yang dipakai adalah sebagai berikut.

$$1. \quad 1,4 D \quad (3.1)$$

$$2. \quad 1,2 D + 1,6 L + 0,5 (Lr \text{ atau } R) \quad (3.2)$$

$$3. \quad 1,2 D + 1,6 (Lr \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5 W) \quad (3.3)$$

$$4. \quad 1,2 D + 1,0 W + L + 0,5 (Lr \text{ atau } R) \quad (3.4)$$

$$5. \quad 1,2 D + 1,0 E + L \quad (3.5)$$

$$6. \quad 0,9 D + 1,0 W \quad (3.6)$$

$$7. \quad 0,9 D + 1,0 E \quad (3.7)$$

keterangan :

D = beban mati,

E = beban gempa,

L = beban hidup,

Lr = beban hidup atap,

R = beban hujan,

S = beban salju,

W = beban angin.

Adapun faktor redundansi, ρ harus diaplikasikan pada semua sistem penahan gaya gempa dalam masing-masing kedua arah gempa ortogonal sesuai dengan ketentuan berikut:

1. Kondisi dengan $\rho = 1$ (berdasarkan pada SNI 1726;2019 pasal 7.3.4.1)

Nilai ρ diizinkan sama dengan 1,0 untuk hal-hal berikut ini:

- a. Desain struktur untuk kategori desain seismik B atau C.
- b. Perhitungan simpangan antar tingkat dan pengaruh P-delta.
- c. Desain komponen non struktural.
- d. Desain struktur non gedung yang tidak mirip dengan bangunan gedung.

- e. Desain elemen kolektor, sambungan lewatan, dan sambungan yang memperhitungkan kombinasi pengaruh beban seismik termasuk faktor kuat lebih.
 - f. Desain elemen struktur atau sambungan yang memperhitungkan kombinasi pengaruh beban seismik termasuk faktor kuat lebih.
 - g. Desain dinding struktural terhadap gaya keluar bidang, termasuk sistem angkurnya.
2. Faktor redundansi untuk bangunan dengan kategori desain seismik D, E, dan F harus diambil $\rho = 1,3$ kecuali bila salah satu dari dua ketentuan berikut terpenuhi dapat diambil $\rho = 1,0$, yaitu:
- a. masing-masing tingkat yang menahan lebih dari 35 % geser dasar dalam arah yang ditinjau harus sesuai dengan Tabel 15,
 - b. struktur dengan denah beraturan di semua tingkat dengan sistem pemikul gaya seismik terdiri dari paling sedikit dua bentang perimeter pemikul gaya seismik yang merangka pada masing-masing sisi struktur dalam masing-masing arah ortogonal di setiap 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, h_{sx} , untuk konstruksi rangka ringan.

3.4 Ketentuan Umum Struktur Bangunan sesuai SNI 1726:2019

Struktur bangunan yang mendapat pengaruh beban gempa harus dianalisis dengan mengikuti ketentuan-ketentuan yang disyaratkan dalam SNI 1726:2019. Adapun ketentuan-ketentuannya sebagai berikut:

3.4.1 Faktor keutamaan

Untuk berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan non gedung sesuai Tabel 3.4, pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan I_e menurut Tabel 3.5.

Tabel 3.4 Kategori Risiko Gedung

Jenis Pemanfaatan	Jenis Pemanfaatan
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki resiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, peternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	I
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori I,III,IV, termasuk, tetapi 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 industry - Fasilitas manufaktur - Pabrik 	II

Tabel 3.4 Kategori Risiko Gedung (Lanjutan)

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

Khusus untuk struktur bangunan dengan kategori risiko IV, bila dibutuhkan pintu masuk untuk operasional dari struktur bangunan yang bersebelahan, maka struktur bangunan yang bersebelahan tersebut harus didesain sesuai dengan kategori risiko IV.

Tabel 3.5 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

3.4.2 Klasifikasi Situs

Klasifikasi situs menjelaskan tentang kriteria desain seismik berupa faktor-faktor amplifikasi pada bangunan. Berdasarkan pada SNI 1726;2019 pasal 5.3 kelas situs dibagi menjadi 6, yaitu SA, SB, SC, SD, SE, dan SF. Penentuan Jenis tanah dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 3.6 Klasifikasi Situs

Kelas Situs	v (m/detik)	N atau N_{ch}	s (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	>100
SD (tanah sedang)	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100

Tabel 3.6 Klasifikasi Situs (Lanjutan)

Kelas Situs	v (m/detik)	N atau N_{ch}	s (kPa)
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : <ol style="list-style-type: none"> 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$, 2. Kadar air, $w \geq 40\%$, 3. Kuat geser niralir $su < 25$ kPa 		
SF (tanah khusus,yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik situs)	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 teguh dengan ketebalan $H > 35$ m dengan $su < 50$ KPa 		

Sumber : SNI 1726:2019

3.4.3 Parameter Percepatan Tertekan

Parameter S_s (percepatan batuan dasar pada periode pendek) dan S_1 (percepatan batuan dasar pada periode 1 detik) harus ditetapkan masing-masing dari respons spektral percepatan 0,2 detik dan 1 detik dalam peta gerak tanah seismik pada pasal 0 dengan kemungkinan 2 % terlampaui dalam 50 tahun (MCER, 2 % dalam 50 tahun), dan dinyatakan dalam bilangan desimal terhadap

percepatan gravitasi. Bila $S_1 \leq 0,04$ g dan $S_s \leq 0,15$ g, maka struktur bangunan boleh dimasukkan ke dalam kategori desain seismik A, dan cukup memenuhi persyaratan dalam 0.

3.4.4 Koefisien Situs dan Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget (MCE_R)

Untuk penentuan respons spektral percepatan gempa MCE_R di permukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi seismik pada periode 0,2 detik dan periode 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek (F_a) dan faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik (F_v). Parameter respons spektral percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan perumusan berikut ini:

$$S_{MS} = F_a S_s \quad (3.8)$$

$$S_{M1} = F_v S_s \quad (3.9)$$

keterangan :

S_s = Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R .

S_1 = Parameter respons spektral percepatan gempa MCE untuk perioda pendek.

R Koefisien situs FF_{aa} dan FF_{vv} mengikuti Tabel 3.7 dan 3.8.

Tabel 3.7 Koefisien Kelas Situs F_a

Kelas Situs	Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa Maksimum Yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget (MCE_R) Terpetakan Pada Periode Pendek, $T = 0,2$ Detik, S_s					
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 0,1,0$	$S_s = 1,25$	$S_s \geq 1,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8

Tabel 3.7 Koefisien Kelas Situs Fa (Lanjutan)

Kelas Situs	Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa Maksimum Yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget (MCER) Terpetakan Pada Periode Pendek, $T = 0,2$ Detik, S_s					
SB	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
SC	1,3	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
SE	2,4	1,7	1,3	1,1	0,9	0,8
SF	$SS^{(a)}$					

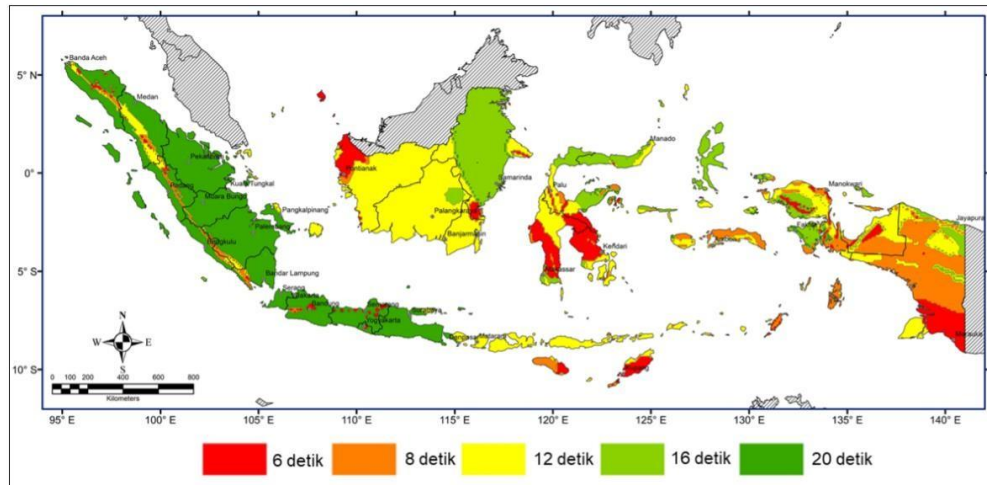
Sumber : SNI 1726:2019

Tabel 3.8 Koefisien Kelas Situs Fv

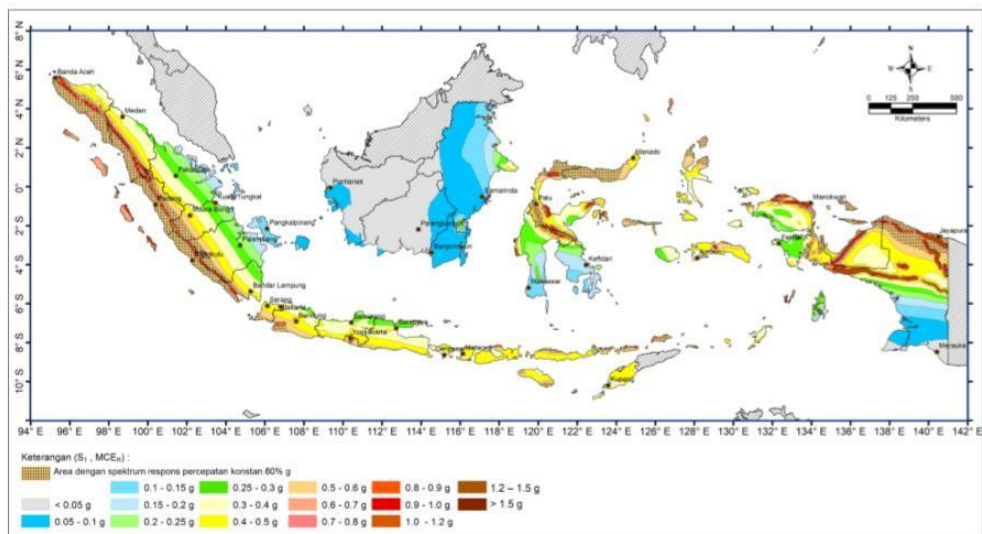
Kelas Situs	Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa Maksimum Yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget (MCER) Terpetakan Pada Periode 1 Detik, S_1					
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 = 0,5$	$S_1 \geq 0,6$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SC	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4
SD	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7
SE	4,2	3,3	2,8	2,4	2,2	2,0
SF	$SS^{(a)}$					

Sumber : SNI 1726:2019

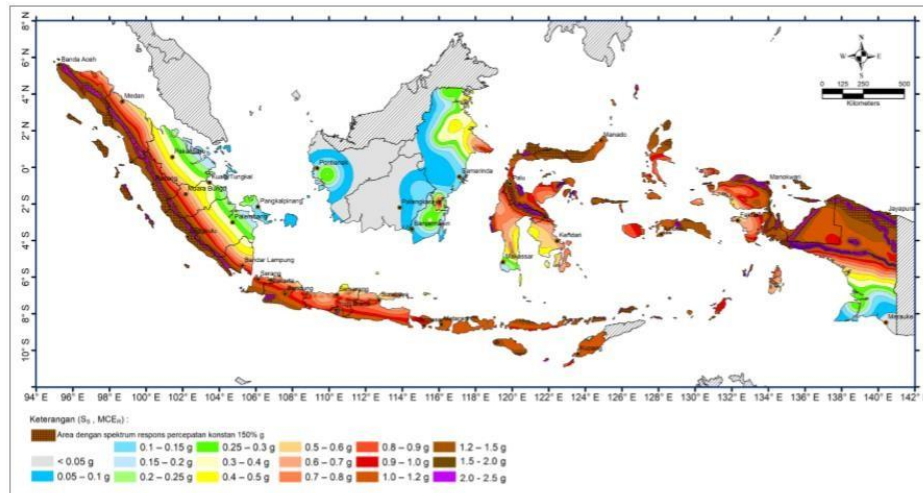
Nilai parameter Periode panjang, S_s dan S_1 dapat ditentukan melalui peta pada Gambar 3.1 dan 3.3.



Gambar 3.1 Peta Transisi Periode Panjang, TL, Wilayah Indonesia
(sumber : SNI 1726-2019)



Gambar 3.2 Parameter Gerak Tanah (S_1) di Indonesia
(sumber : SNI 1726-2019)



Gambar 3.3 Parameter Gerak Tanah (Ss) di Indonesia

(sumber : SNI 1726-2019)

3.4.5 Parameter Percepatan Spektral Desain

Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek, S_{DS} dan pada periode 1 detik, S_{D1} , harus ditentukan melalui perumusan berikut ini:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (3.10)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (3.11)$$

3.4.6 Penentuan Kategori Desain Seismik

Struktur d memiliki suatu kategori desain seismik dengan kategori risiko I, II, atau III yang berlokasi memiliki parameter respons spektral percepatan terpetakan pada periode 1 detik, S_1 , lebih besar dari atau sama dengan 0,75 harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik E. Struktur yang berkategori risiko IV yang berlokasi memiliki parameter respons spektral percepatan terpetakan pada periode 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 respons spektral percepatan desainnya, S_{DS} dan S_{D1} . Masing-masing bangunan dan struktur harus ditetapkan

ke dalam kategori desain seismik yang lebih parah sesuai dengan tabel berikut ini.

Tabel 3.9 KDS Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Periode Pendek

Nilai S_{DS}	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{SD} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{SD} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

Tabel 3.10 KDS Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Periode 1 Detik

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

3.5 Analisis Beban Gempa Sesuai Dengan SNI 1726:2019

Beban gempa adalah beban yang bekerja pada suatu struktur akibat dari pergerakan tanah yang disebabkan karena adanya getaran gempa. Secara umum dalam menganalisis beban gempa ini dapat dilakukan dengan analisis statik dan dinamik, analisis statik dapat dilakukan dengan metode analisis statik ekuivalen, sementara analisis dinamik menggunakan metode respons spektrum/respons ragam dan analisis riwayat waktu (*time history analysis*). Langkah-langkah perhitungan dijelaskan sebagai berikut.

3.5.1 Metode Equivalen Statik

Statik ekivalen adalah suatu representasi dari beban gempa setelah disederhanakan dan dimodifikasi, yang mana gaya inersia yang bekerja pada suatu massa akibat gempa disederhanakan menjadi gaya horizontal (Widodo, 2001). Adapun langkah analisis gempa dengan metoda statik ekuivalen sesuai dengan SNI 1726:2019 adalah sebagai berikut.

1. Geser dasar seismik

Gaya geser dasar seismik, V , dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$V = C_s \times W \quad (3.12)$$

Keterangan:

C_s = koefisien respons seismik yang ditentukan sesuai dengan 0,

W = berat seismik efektif.

2. Perhitungan koefisien respons seismik

Koefisien respons seismik, C_s , harus ditentukan sesuai dengan persamaan :

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3.13)$$

Keterangan:

S_{DS} = parameter percepatan respons spektral desain dalam rentang periode pendek,

R = koefisien modifikasi respons,

I_e = faktor keutamaan gempa.

Nilai C_s yang dihitung sesuai dengan persamaan 3.13 tidak perlu melebihi sesuai persamaan berikut ini.

a. Untuk $T \leq T_L$

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3.14)$$

b. Untuk $T > T_L$

$$C_s = \frac{S_{D1} T_L}{T^2 \left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3.15)$$

c. C_s harus tidak kurang dari

$$CS = 0,44 S_{DS} I_e \geq 0,01$$

- d. untuk struktur yang berlokasi di daerah di mana S_1 sama dengan atau lebih besar dari 0,6g, maka C_s harus tidak kurang dari:

$$CS = \frac{0,5 S_1}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \quad (3.16)$$

Keterangan

S_1 = parameter percepatan respons spektral desain pada periode sebesar 1,0 detik

T = periode fundamental struktur (detik),

S_1 = parameter percepatan respons spektral maksimum yang dipetakan.

3. Periode fundamental pendekatan

Periode fundamental pendekatan (T_a) harus ditentukan dari persamaan 3.17 berikut.

$$T_a = C_t h_n^x \quad (3.17)$$

Keterangan:

h_n adalah ketinggian struktur (m), di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur, dan koefisien C_t , dan x ditentukan pada Tabel 3.11 berikut ini.

Tabel 3.11 Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x

Tipe Struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 % gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya seismik:		
Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9
rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

Sumber : SNI 1726:2019

4. Distribusi vertikal Gaya Seismik

Gaya seismik lateral, F_x , (kN) di sebarang tingkat harus ditentukan dari persamaan berikut :

$$F_x = C_{vx} \times V \quad (3.18)$$

dan

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=0}^n w_i h_i^k} \quad (3.19)$$

Keterangan:

C_{vx} = faktor distribusi vertikal,

V = gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur (kN) ,

w_i dan w_x = bagian berat seismik efektif total struktur () yang ditempatkan atau dikenakan pada tingkat i atau x ,

h_i dan h_x = tinggi dari dasar sampai tingkat i atau x (m) ,

k = eksponen yang terkait dengan periode struktur dengan nilai sebagai berikut:

untuk struktur dengan $T \leq 0,5$ detik, $= 1$,

untuk struktur dengan $T \geq 2,5$ detik, $= 2$,

untuk struktur dengan $0,5 < T < 2,5$ detik, $= 2$ atau ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2.

5. Distribusi horizontal Gaya Seismik

Geser tingkat desain seismik di semua tingkat, V_x (kN), harus ditentukan dari persamaan berikut:

$$V_x = \sum_{i=0}^n F_i \quad (3.20)$$

Keterangan:

F_i adalah bagian dari geser dasar seismik (V) pada tingkat ke- i (kN).

3.5.2 Metode Respons Spectrum

Spektrum respons adalah suatu spektrum yang disajikan dalam bentuk grafik/plot antara periode getar struktur T lawan respons-respons maksimum berdasarkan rasio redaman dan gempa tertentu. Respons-respons maksimum

dapat berupa simpangan maksimum, kecepatan maksimum, dan percepatan maksimum. Nilai spektrum respons dipengaruhi oleh periode getar, rasio redaman, tingkat daktilitas dan jenis tanah.

Bila spektrum respons desain diperlukan oleh tata cara ini dan prosedur gerak tanah dari spesifik-situs tidak digunakan, maka kurva spektrum respons desain harus dikembangkan dengan mengacu Gambar 3 dan mengikuti ketentuan di bawah ini :

1. Untuk periode yang lebih kecil dari T_0 dan lebih kecil dari atau sama dengan T_s , spektrum respons percepatan desain, S_a sama dengan S_{DS} , harus diambil dari persamaan 3.21 berikut.

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (3.21)$$

2. Untuk periode 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 periode lebih besar dari atau sama dengan T_s tetapi lebih kecil dari atau sama dengan T_L , respons spektral percepatan desain, S_a , diambil berdasarkan persamaan 3.22 sebagai berikut.

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (3.22)$$

4. Untuk periode lebih besar dari T_L , respons spektral percepatan desain, S_a , diambil berdasarkan persamaan 3.23 sebagai berikut.

$$S_a = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \quad (3.23)$$

keterangan :

S_{DS} = parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek,

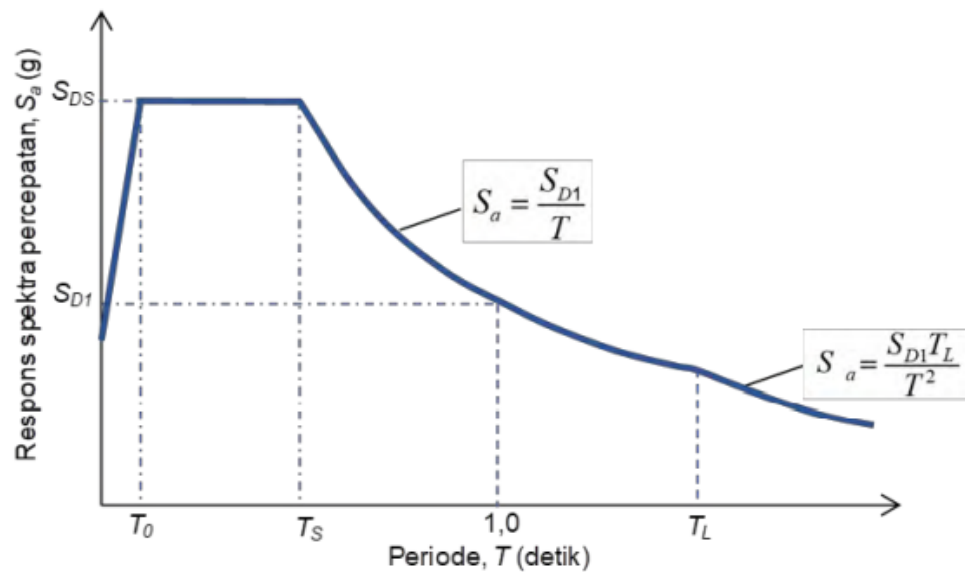
S_{D1} = parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik,

T = periode getar fundamental struktur,

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

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

T_L = Peta transisi periode panjang yang ditunjukkan pada Gambar 3.3 yang nilainya diambil Gambar 3.4 berikut ini.



Gambar 3.4 Spectrum Respons Desain

3.6 Dinding Geser

Gaya lateral dan gaya geser yang bekerja pada struktur konstruksi gedung seperti gaya-gaya yang disebabkan oleh beban angin ataupun beban gempa, memiliki kekuatan yang besar dengan arah yang tidak dapat diprediksi.

Gempa ataupun beban angin yang diterima dapat menyebabkan struktur mengalami simpangan horizontal (*drift*). Salah satu metode yang dapat dilakukan untuk mengurangi simpangan horizontal tersebut yaitu dengan pemasangan dinding geser (*shear wall*). Dalam struktur bertingkat, dinding geser memiliki beragam fungsi, yaitu:

1. Menahan beban atau gaya lateral seperti gaya gempa dan angin yang bekerja pada bangunan.
2. Menyerap beban horizontal atau gaya geser yang besar seiring dengan semakin tingginya suatu struktur.
3. Menambah kekakuan pada struktur.
4. Mencegah kegagalan dinding eksterior dan mendukung beberapa lantai gedung.
5. Memastikan bahwa struktur tidak runtuh akibat adanya gerakan lateral dalam gempa bumi.

3.6.1 Variasi Penempatan Dinding Geser

Dinding geser atau *shear wall* dapat dibangun pada sisi luar bangunan maupun sisi dalam bangunan, tanpa adanya batasan geometris dari dinding geser itu sendiri. Sistem dinding geser dibagi menjadi dua bagian, yaitu sistem terbuka dan sistem tertutup. Dinding geser ini, di sisi luar bangunan ataupun dalam bangunan, dapat diposisikan secara simetris maupun tak simetris (Majore, dkk 2015).

Menurut Usmat, dkk (2019), posisi yang paling optimum untuk penempatan *Shear Wall* pada gedung yang menerima gempa statik dan dinamik dan menunjukkan bahwa *layout shear wall* yang diletakkan simetris sumbu-XY mendekati pusat massa dinilai paling optimum pada struktur gedung sistem ganda karena eksentrisitas pusat massa bangunan dan pusat kekakuan kecil.

Menurut Wijayana, dkk (2020), penempatan posisi dinding geser yang simetris menunjukkan nilai yang aman dengan menghasilkan gaya-gaya dalam, waktu getar dan nilai gaya momen yang lebih kecil dari pada posisi dinding geser yang tidak simetris.

3.6.2 Variasi Bentuk Dinding Geser

Menurut (Mentari 2020), struktur yang terlalu kaku juga bukanlah struktur yang ideal, sehingga pada struktur dapat dikurangi penggunaan dinding gesernya dengan tetap melihat aspek-aspek respon struktur seperti mode shape, partisipasi massa, gaya geser dasar struktur, serta simpangan antar lantai. Dengan mengefektifkan penggunaan dinding geser ini akan mengurangi biaya yang diperlukan dalam pembangunan gedung.

Dinding geser memiliki banyak tipe bila dibagi berdasarkan bentuknya yang diantaranya dinding geser *C-Shape*, *I-Shape*, *L-Shape*, *T-Shape* dan *IWF-Shape* yang dapat disesuaikan dengan denah yang tersedia dan bentuk bangunannya.

Pada penelitian ini ada beberapa bentuk dinding geser yang digunakan sebagai perbandingannya yaitu dinding geser *L-Shape* dan *I-Shape* serta *C-Shape* pada bagian tangga dengan ukuran *I-Shape* 4,5 m dan *L-Shape* masing-

masing lengan 2,5 m.

3.6.3 Syarat Minimum Tebal Dimensi Dinding Geser

Shear wall digunakan dalam menahan gaya lateral karena dampak beban gempa. Ketebalan dinding geser minimum harus disesuaikan dengan SNI 2847:2019 Pasal 11.3.1.1.

3.6.4 Sistem Ganda pada Struktur

Struktur Sistem Ganda (*Dual System*) memiliki kemampuan yang tinggi dalam memikul gaya geser pada sistem gabungan antara portal dengan dinding geser disebabkan adanya interaksi antara keduanya. Interaksi tersebut terjadi karena kedua sistem tersebut mempunyai perilaku defleksi yang berbeda. Akibat beban lateral, dinding geser akan berperilaku flexural/bending mode, sedangkan frame akan berdeformasi dalam shear mode, dengan demikian, gaya geser dipikul oleh frame pada bagian atas dan dinding geser memikul gaya geser pada bagian bawah.

Menurut Standar Perencanaan Gempa untuk Struktur Gedung SNI 03-1726-2002, rangka pemikul momen harus sesuai dengan ketentuan dalam Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung SNI 03-2847-2002 dan harus mampu memikul sekurang-kurangnya 25% dari keseluruhan beban lateral.

3.7 Ketidakberaturan Struktur

Struktur diklasifikasikan menjadi 2 yaitu beraturan dan tidak beraturan. Klasifikasi tersebut didasarkan pada konfigurasi horizontal dan vertikal dari struktur.

3.7.1 Ketidakberaturan Horizontal

Struktur yang mempunyai satu atau lebih tipe ketidakberaturan seperti yang terdapat dalam Tabel 3.12 dinyatakan mempunyai ketidakberaturan struktur horizontal. Tabel ketidakberaturan horizontal dapat dilihat sebagai

berikut.

Tabel 3.12 Ketidakberaturan Horizontal

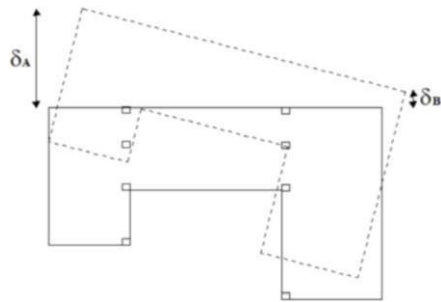
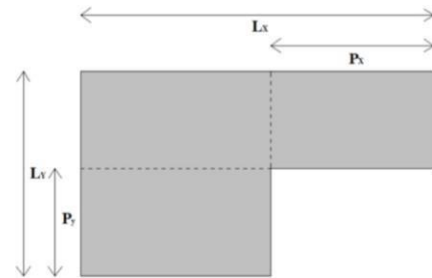
	Tipe dan Penjelasan Ketidakberaturan	Pasal Referensi	Penerapan Kategori Desain Seismik
1a.	Ketidakberaturan Torsi didefinisikan ada jika simpangan antar lantai tingkat maksimum, yang dihitung termasuk torsi tak terduga dengan $A_x = 1,0$, di salah satu ujung struktur melintang terhadap suatu sumbu adalah lebih dari 1,2 kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragmanya kaku atau setengah kaku		D, E, dan F B, C, D, E, dan F C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F
1b.	Ketidakberaturan Torsi Berlebihan didefinisikan ada jika simpangan antar tingkat maksimum yang dihitung termasuk akibat torsi tak terduga dengan $A_x = 1,0$, di salahsatu ujung struktur melintang terhadap suatu sumbu adalah lebih dari 1,4 kali simpangan antar tingkat rata- rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi berlebihan dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragmanya kaku atau setengah kaku.		E dan F D B, C, dan D C dan D C dan D D B, C, dan D

Tabel 3.12 Ketidakberaturan Horizontal (Lanjutan)

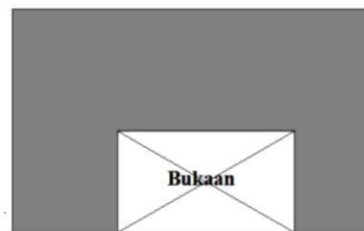
	Tipe Dan Penjelasan Ketidakberaturan	Pasal Referensi	Penerapan Kategori Desain Seismik
2	Ketidakteraturan Sudut Dalam didefinisikan ada jika kedua dimensi proyeksi denah struktur dari lokasi sudut dalam lebih besar dari 15 % dimensi denah struktur dalam arah yang ditinjau.		D, E, dan F D, E, dan F
3	Ketidakteraturan Diskontinuitas Diafragma didefinisikan ada jika terdapat suatu diafragma yang memiliki diskontinuitas atau variasi kekakuan mendadak, termasuk yang mempunyai daerah terpotong atau terbuka lebih besar dari 50 % daerah diafragma bruto yang tertutup, atau perubahan kekakuan diafragma efektif lebih dari 50 % dari suatu tingkat ke tingkat selanjutnya.		D, E, dan F D, E, dan F
4	Ketidakteraturan akibat pergeseran tegak lurus terhadap bidang didefinisikan ada jika terdapat diskontinuitas dalam lintasan tahanan gaya lateral, seperti pergeseran tegak lurus terhadap bidang pada setidaknya satu elemen vertikal pemikul gaya lateral.		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 Non paralel didefinisikan ada jika elemen vertikal pemikul gaya lateral tidak paralel terhadap sumbu sumbu ortogonal utama sistem pemikul gaya seismik.		C, D, E, dan F B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F

Sumber SNI 1726:2019

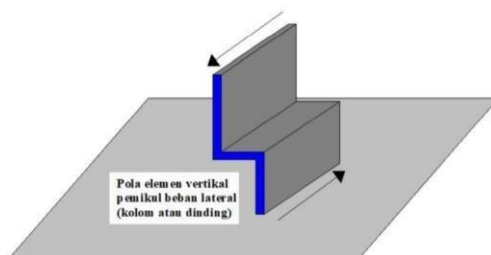
Tabel 3.12 dijelaskan pada Gambar 3.5 sampai dengan Gambar 3.9 Tipe Ketidakberaturan Horizontal Berikut ini.



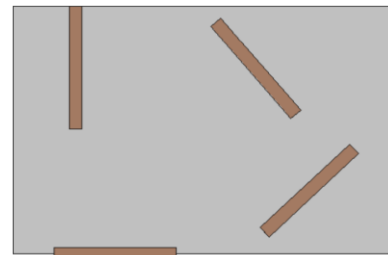
Gambar 3.5 Ketidakberaturan 1a dan 1b Gambar 3.6 Ketidakberaturan 2



Gambar 3.7 Ketidakberaturan 3



Gambar 3.8 Ketidakberaturan 4



Gambar 3.9 Ketidakberaturan 5

3.7.2 Ketidakberaturan Vertikal

Ketidakberaturan vertikal mempunyai satu atau lebih tipe ketidakberaturan seperti yang terdapat dalam Tabel 3.13 harus dinyatakan mempunyai ketidakberaturan vertikal. Tabel Ketidakberaturan horizontal ditunjukkan sebagai berikut.

. Tabel 3.13 Ketidakberaturan Vertikal

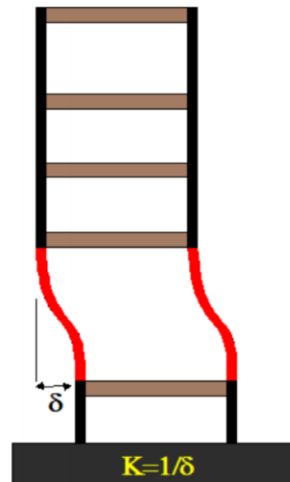
	Tipe Dan Penjelasan Ketidakberaturan	Pasal Referensi	Penerapan Kategori Desain Seismik
1a	Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 70 % kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80 % kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya		D, E, dan F
1b	Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 60 % kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 70 % kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.		E dan F D, E, dan F
2	Ketidakberaturan Berat (Massa) didefinisikan ada jika massa efektif di sebarang tingkat lebih dari 150 % massa efektif tingkat di dekatnya. Atap yang lebih ringan dari lantai di bawahnya tidak perlu ditinjau.		D, E, dan F
3	Ketidakberaturan Geometri Vertikal didefinisikan ada jika dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik di sebarang tingkat lebih dari 130 % dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik tingkat didekatnya.		D, E, dan F

. Tabel 3.13 Ketidakberaturan Vertikal (Lanjutan)

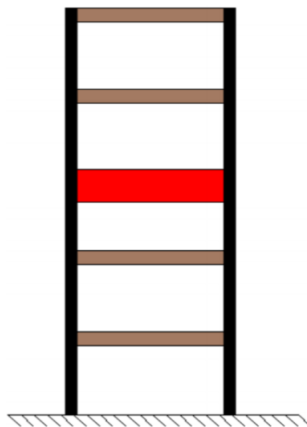
	Tipe Dan Penjelasan Ketidakberaturan	Pasal Referensi	Penerapan Kategori Desain Seismik
4	Ketidakberaturan Akibat Diskontinuitas Bidang pada Elemen Vertikal Pemikul Gaya Lateral didefinisikan ada jika pergeseran arah bidang elemen pemikul gaya lateral lebih besar dari panjang elemen itu atau terdapat reduksi kekakuan elemen pemikul di tingkat di bawahnya.		B, C, D, E, dan F D, E, dan F D, E, dan F
5a	Ketidakberaturan Tingkat Lemah Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat didefinisikan ada jika kekuatan lateral suatu tingkat kurang dari 80 % kekuatan lateral tingkat di atasnya. Kekuatan lateral tingkat adalah kekuatan total semua elemen pemikul seismik yang berbagi geser tingkat pada arah yang ditinjau.		E dan F D, E, dan F
5b	Ketidakberaturan Tingkat Lemah Berlebihan Akibat Diskontinuitas pada Kekuatan Lateral Tingkat didefinisikan ada jika kekuatan lateral suatu tingkat kurang dari 65 % kekuatan lateral tingkat di atasnya. Kekuatan lateral tingkat adalah kekuatan total semua elemen pemikul seismik yang berbagi geser tingkat pada arah yang ditinjau.		D, E, dan F B dan C D, E, dan F

Sumber SNI 1726:2019

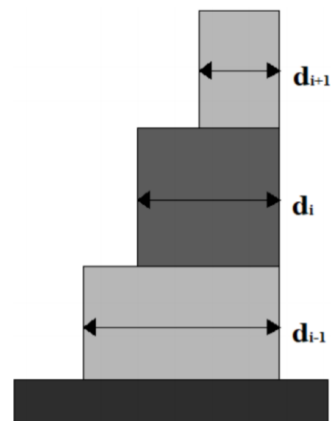
Pada Tabel 3.13 diatas, dijelaskan pada Gambar 3.8 sampai dengan Gambar 3.10 Tipe Ketidakberaturan vertikal Berikut ini.



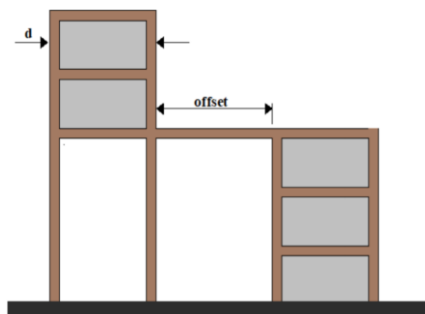
Gambar 3.10 Ketidakberaturan 1a dan 1b



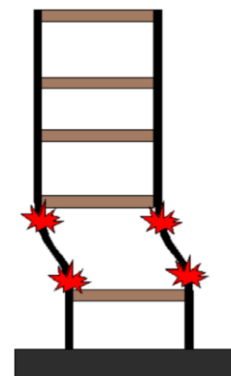
Gambar 3.11 Ketidakberaturan 2



Gambar 3.12 Ketidakberaturan 3



Gambar 3.13 Ketidakberaturan 4



Gambar 3.13 Ketidakberaturan 4

Prosedur analisis yang diizinkan dapat dilihat di Tabel 3.14 sebagai berikut

Tabel 3.14 Analisis Izin

Katego ri Desain Seismic	Karakteristik Struktur	Analisis Spectrum Respons Ragam	Analisis Spectru m Respons Ragam	Prosedur Respons Riwayat Waktu Seismic
B, C	Semua struktur	I	I	I
D, E, F	Bangunan dengan kategori risiko I atau II yang tidak melebihi 2 tingkat diatas dasar	I	I	I
	Struktur tanpa ketidakberaturan struktural dan ketinggiannya tidak melebihi 48,8 m	I	I	I
	Struktur tanpa ketidakberaturan struktural dengan ketinggian melebihi 48,8 m dan $T < 3,5 T$	I	I	I

Tabel 3.14 Analisis Izin (Lanjutan)

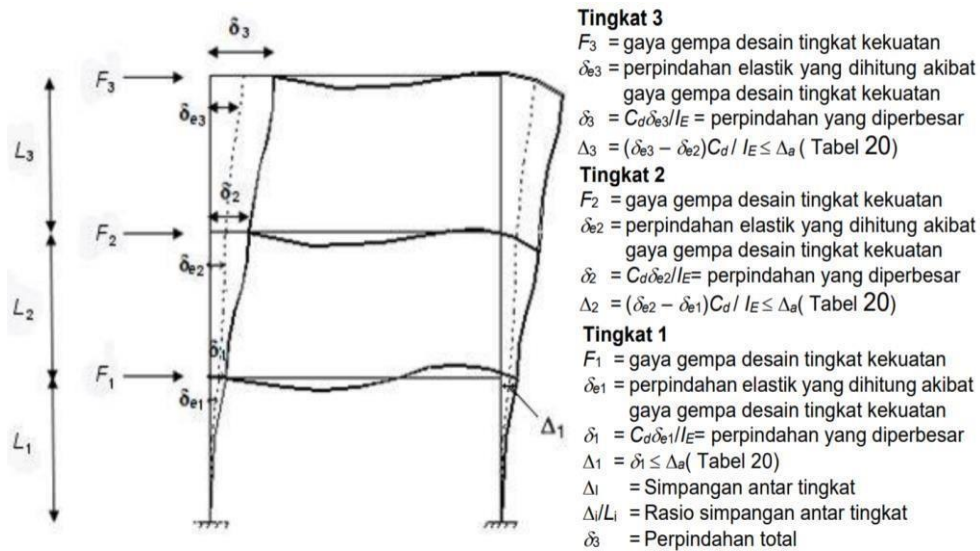
Katego ri desain seismic	Karakteristik Struktur	Analisis spectrum respons ragam	Analisis spectrum respons ragam	Prosed ur respons riwayat waktu seismic
	Struktur dengan ketinggian tidak melebihi 48,8 m dan hanya memiliki ketidakberaturan horizontal tipe 2,3,4 atau 5 atau ketidakberaturan vertikal tipe 4, 5a atau 5b	I	I	I
	Semua struktur lainnya	TI	I	I

Sumber SN1 1726:2019

3.8 Perpindahan dan Simpangan Antar Lantai

3.8.1 Penentuan Simpangan Antar Lantai

Penentuan simpangan antar tingkat desain (Δ) dihitung sebagai perbedaan simpangan pada pusat massa diatas dan dibawah tingkat yang ditinjau. Apabila pusat massa tidak segaris dalam arah vertikal, diizinkan untuk menghitung simpangan di dasar tingkat berdasarkan proyeksi vertikal dari pusat massa tingkat di atasnya. Penentuan simpangan antar tingkat dapat dilihat pada Gambar 3.15 sebagai berikut.



Gambar 3.15 Penentuan Simpangan Antar Lantai

Simpangan pusat massa di tingkat-x (δ_x) (mm) harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \quad (3.24)$$

Keterangan:

C_d = faktor pembesaran simpangan lateral.

δ_{xe} = simpangan di tingkat-x yang ditentukan dengan analisis elastik,

I_e = faktor keutamaan gempa.

3.8.2 Batasan Simpangan Antar Tingkat

Simpangan antar tingkat mempunyai batasan atau simpangan antar lantai yang diizinkan. Simpangan antar lantai yang terjadi tidak boleh melebihi simpangan antar lantai yang diizinkan. Simpangan izin antar tingkat dapat dilihat pada Tabel 3.15.

Tabel 3.15 Simpangan Antar Tingkat Izin

Struktur	Kategori Resiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar tingkat	$0,025 H_{sx}$	$0,02 H_{sx}$	$0,015 H_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata	$0,01 H_{sx}$	$0,01 H_{sx}$	$0,01 H_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,007 H_{sx}$	$0,007 H_{sx}$	$0,007 H_{sx}$
Semua struktur lainnya	$0,02 H_{sx}$	$0,015 H_{sx}$	$0,01 H_{sx}$

Keterangan :

- h_{sx} adalah tinggi tingkat di bawah tingkat $-x$,
- untuk sistem pemikul gaya seismik yang terdiri dari hanya rangka momen dalam kategori desain seismik D, E, dan F, simpangan antar tingkat izin harus sesuai dengan persyaratan,
- Tidak boleh ada batasan simpangan antar tingkat untuk struktur satu tingkat dengan dinding interior, partisi, langit-langit, dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar tingkat. Persyaratan pemisahan struktur dalam tidak diabaikan,
- Struktur di mana sistem struktur dasar terdiri dari dinding geser batu bata yang didesain sebagai elemen vertikal kantilever dari dasar atau pendukung pondasinya yang dikonstruksikan sedemikian agar penyaluran momen di antara dinding geser (kopel) dapat diabaikan.

3.9 Optimalisasi Letak dan Bentuk Dinding Geser

Untuk menentukan optimalisasi letak dan bentuk dinding geser dilakukan dengan cara simulasi. Pada penelitian ini, letak dinding geser ditempatkan pada sisi ujung gedung karena terdapat perbedaan tinggi elevasi gedung. Terdapat ruang yang hanya sampai lantai 5 sehingga, dinding geser di tempatkan di pada batas ruang tersebut untuk mengantisipasi adanya keruntuhan saat terjadi gempa akibat adanya titik lemah perbedaan elevasi tersebut. Dinding geser juga ditempatkan pada lift dan tangga darurat untuk mengantisipasi jalur pelarian orang saat terjadi gempa.

Penempatan dan letak dinding geser disimulasikan dengan 3 model. Model pertama merupakan kondisi eksisting gedung, model kedua merupakan *L-shape* dan model ketiga merupakan *I-shape*. Dari ketiga model yang digunakan akan di analisis dan didapatkan nilai *base shear*, *displacement*, *drift ratio*, dan simpangan antar lantai yang paling optimal.

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Umum

Tahapan penelitian ini bertujuan untuk memberikan gambaran langkah-langkah penelitian secara sistematis agar proses penelitian berjalan lebih teratur dan sesuai dengan pedoman peraturan SNI 1726-2019 “Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung” dan SNI 2847-2019 untuk syarat beton.

Penelitian ini dilakukan dengan membandingkan kinerja dinding geser bangunan gedung APLSC UGM menggunakan metode beban gempa respon spectrum

4.2 Data Penelitian

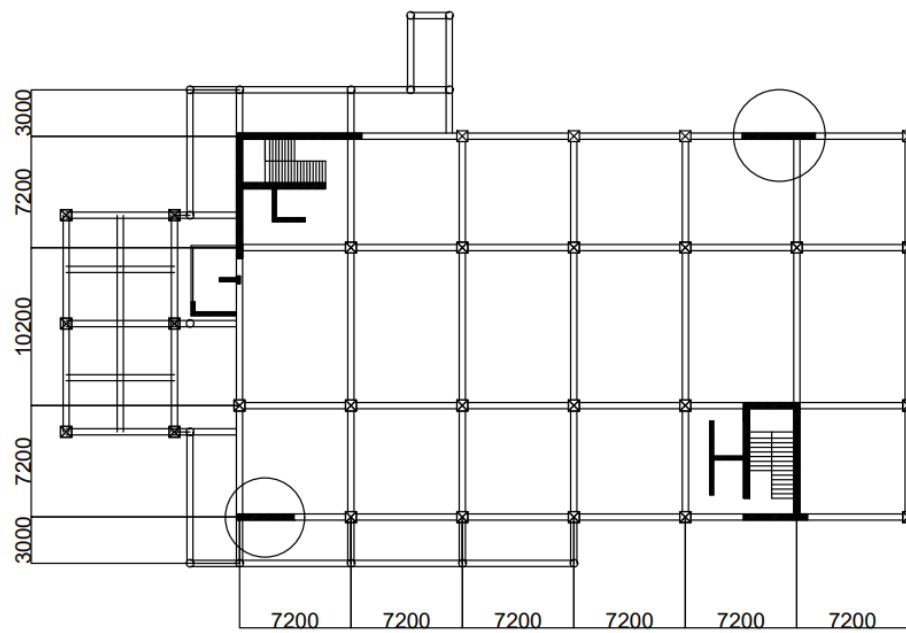
Pada penelitian yang dilakukan ini dibutuhkan data-data agar dapat membantu jalannya penelitian, antara lain :

4.2.1 Model Struktur

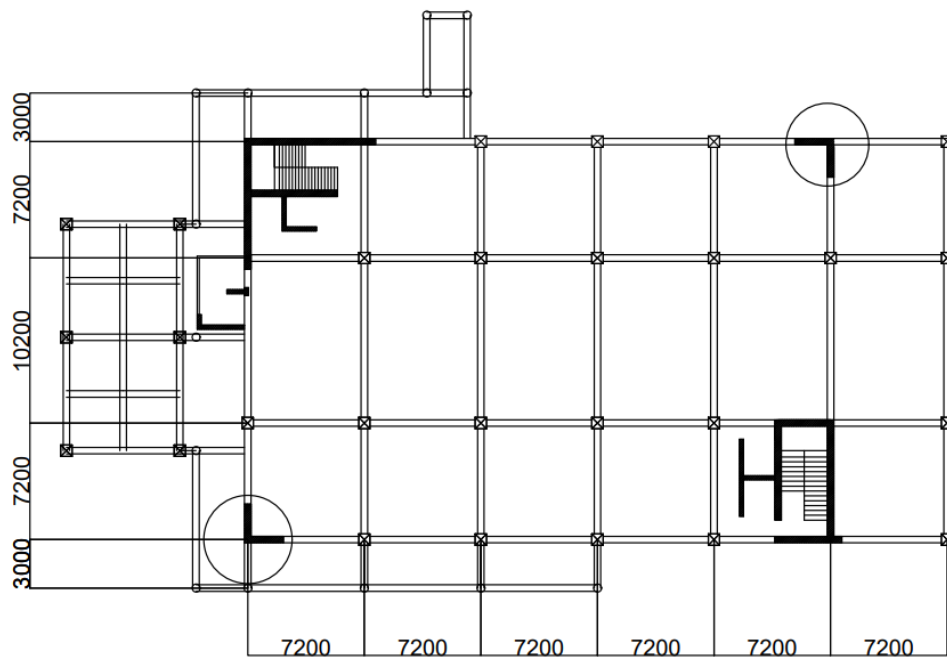
Model bangunan pada penelitian yang akan digunakan adalah model struktur rangka beton bertulang gedung APSLC UGM dengan tinggi bangunan 36,45 m yang memiliki 9 lantai.

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan 3 model bentuk (*L-shape* dan *I-Shape*) dan penempatan dinding geser. Perbandingan letak dinding geser ini bertujuan untuk memperoleh informasi nilai dari geser dasar, *drift ratio*, simpangan, dan bagaimana pola simpangan yang disebabkan oleh variasi penempatan dinding geser.

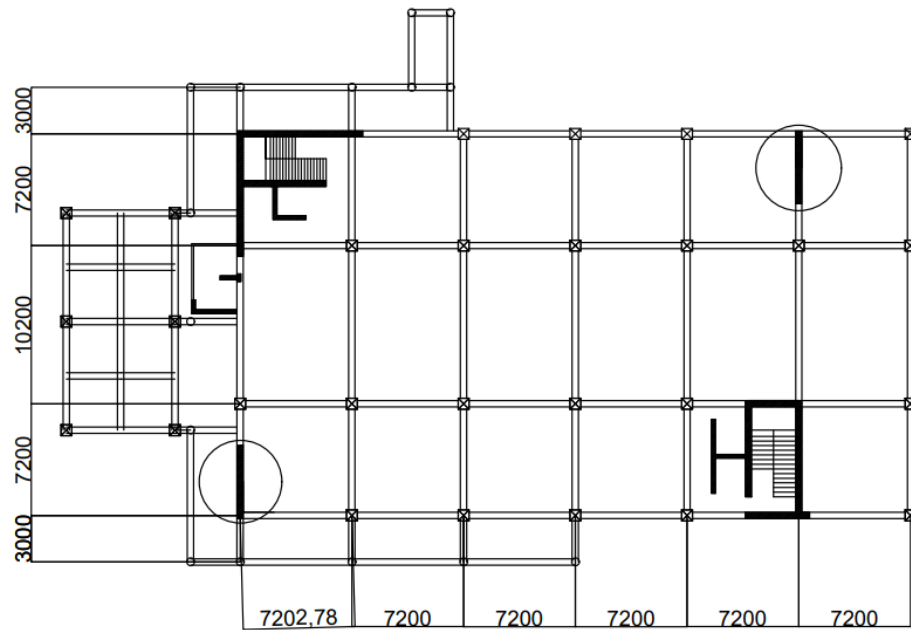
Perencanaan penempatan dan bentuk bentuk dinding geser setiap model mempertimbangkan fungsi ruangan dan arsitektural sehingga perletakan dinding geser hanya dilakukan pada setiap sudut bangunan. Denah objek dari penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.1 sampai dengan 4.3 dibawah ini.



Gambar 4.1 Model 1 Penempatan Dinding Geser Eksisting



Gambar 4.2 Model 2 Penempatan Dinding Geser Varian *L-Shape*



Gambar 4.3 Model 3 Penempatan Dinding Geser Varian *I-Shape*

4.2.2 Data Struktur Bangunan

Data awal yang digunakan untuk penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.1 sebagai berikut.

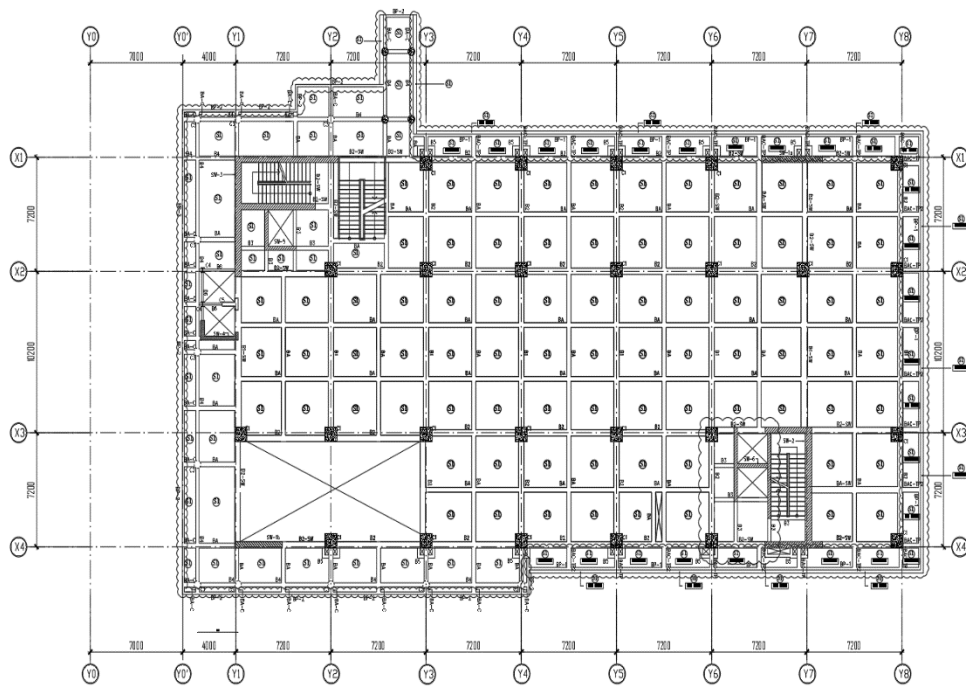
Tabel 4.1 Data Struktur Bangunaan Gedung APSLC UGM

NO	Parameter	Nilai
1	Fungsi Bangunan	Sekolah
2	Letak Bangunan	Yogyakarta
3	Jenis tanah dasar	Tanah Sedang
4	Jumlah Lantai	9 Lantai
5	Tinggi bangunan	36,45 m
6	Panjang bangunan arah x	61,4 m
7	Panjang bangunan arah y	27,8 m

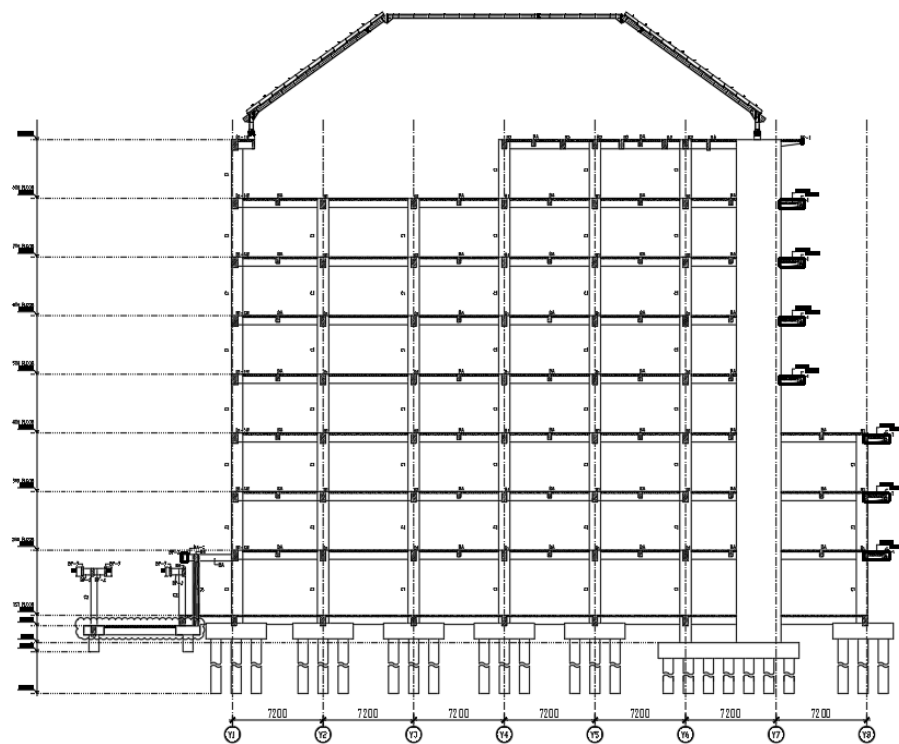
Tabel 4.1 Data Struktur Bangunan Gedung APSLC UGM (Lanjutan)

NO	Parameter	Nilai
8	Luas bangunan	$\pm 150 \text{ m}^2$
9	Jenis struktur	Beton bertulang
10	Sistem struktur	Sistem ganda
11	Mutu beton pelat kolom dan balok (f'_c)	30 MPa
12	Mutu Baja tulangan (f_y)	420 MPa

**Gambar 4.4 Gedung APSLC UGM**



Gambar 4.5 Denah Horizontal Gedung APSLC UGM



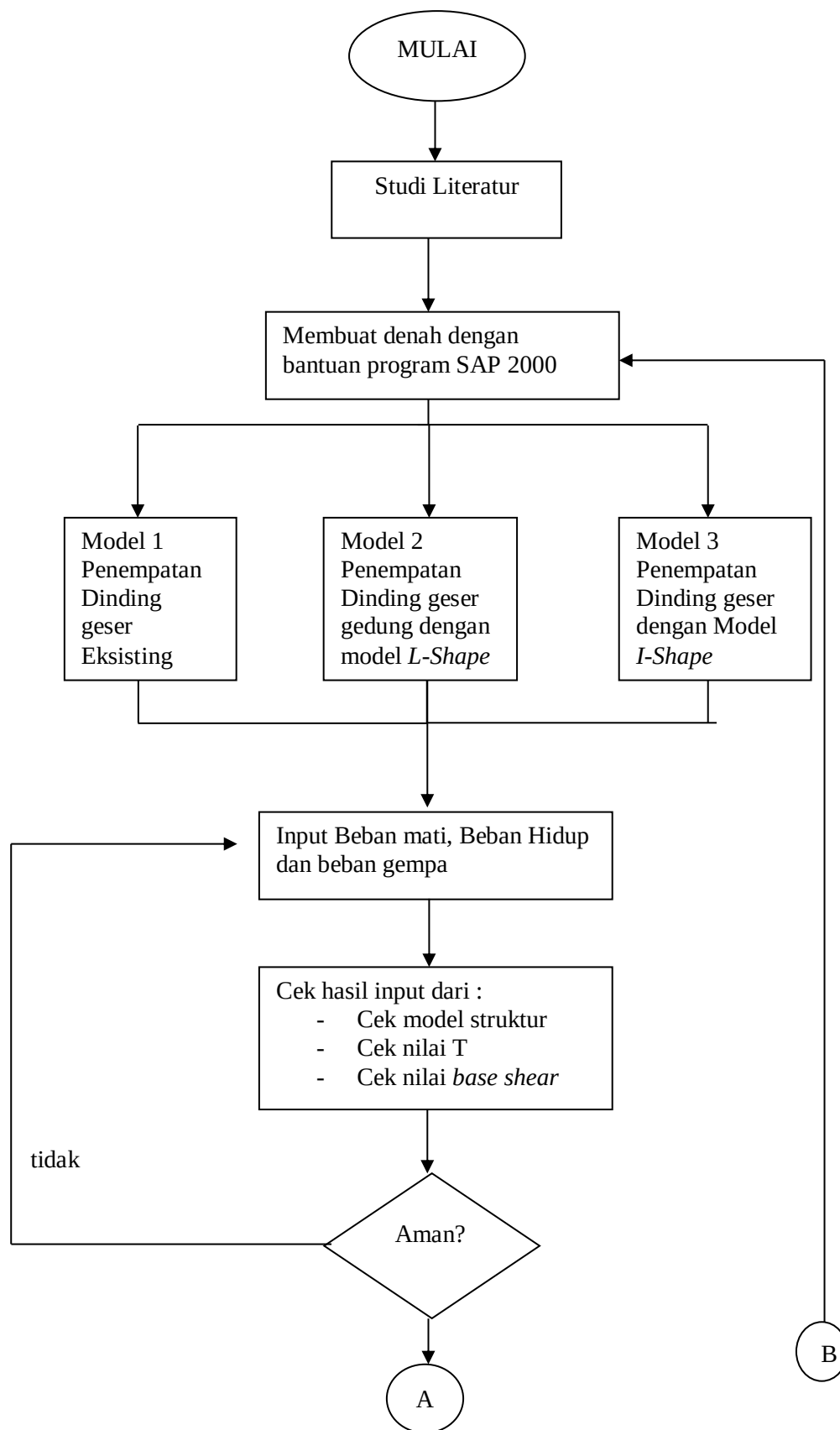
Gambar 4.6 Denah Vertikal Gedung APSLC UGM

4.3 Metode Penelitian

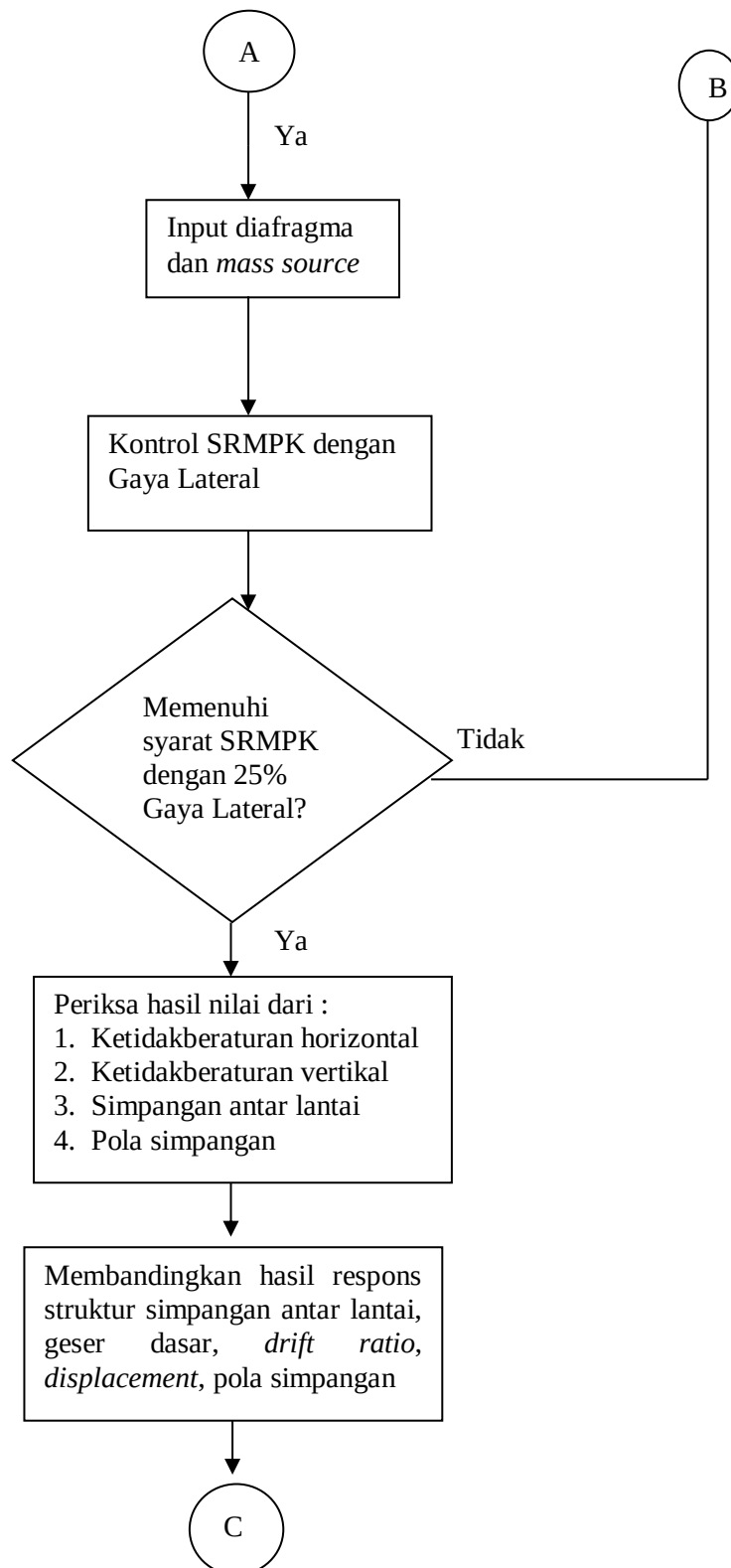
Metode penelitian ini menggunakan metode analisis dinamik, yaitu metode respons spektrum. Variasi pembanding merupakan penempatan asli gedung APSLC UGM, bangunan dengan dinding geser *straight shape*, dan dinding geser *L-shape*.

4.4 Tahapan Penelitian

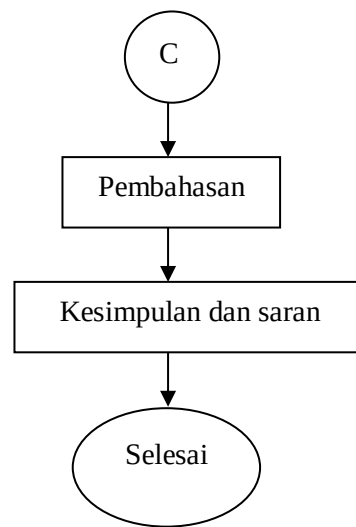
Tahapan penelitian diawali dengan pemodelan dimensi struktur bangunan tanpa dinding geser yang diberikan beban mati, beban hidup, dan beban gempa. Kemudian pemodelan struktur ditambahkan 3 model variasi penempatan dinding geser yang berbeda-beda sehingga diperoleh hasil yang kemudian dibahas untuk selanjutnya diambil kesimpulan dan saran. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.4 berikut ini.



Gambar 4.4 Bagan Alur Penelitian



Gambar 4.4 Bagan Alur Penelitian (Lanjutan)



Gambar 4.4 Bagan Alur Penelitian (Lanjutan)

BAB V

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Pemodelan Struktur

Pemodelan struktur dilakukan dengan menggunakan bantuan program ETABS V21. Data struktural yang dibutuhkan dalam melakukan pemodelan adalah sebagai berikut.

Tabel 5.1 Dimensi Balok

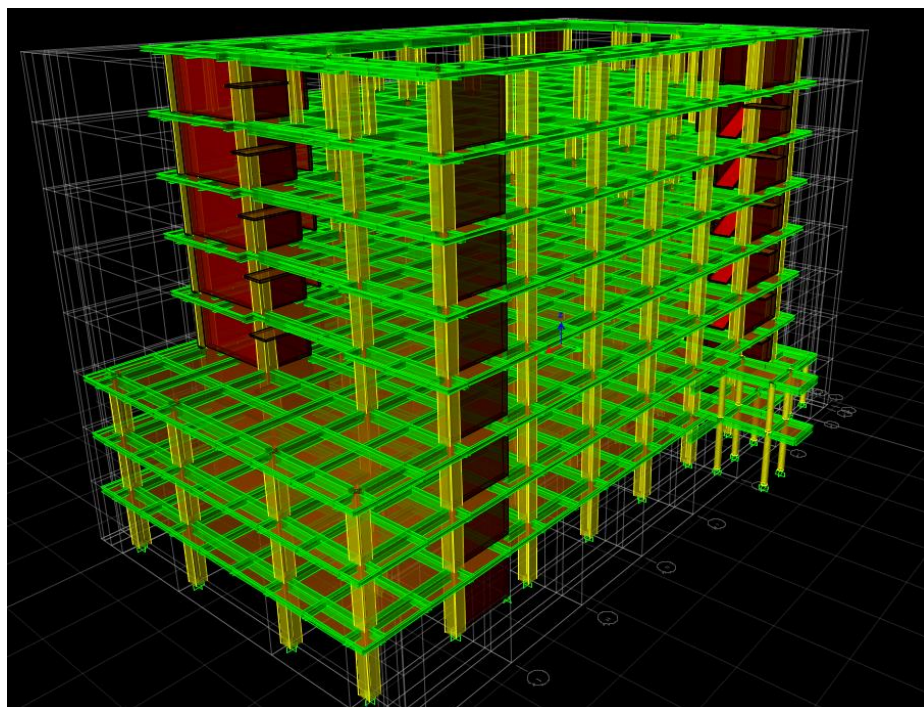
Tipe Balok	Dimensi B*H
	mm
BI 1	400 X 800
BI 1 SW	500 X 800
B 2	400 X 700
B2 SW	400 X 700
BI 3	250 X 700
BI 4	250 X 600
BA 1	300 X 500
BAC	300 X 500
BAC TP	300 X 500
BA 1 SW	400 X 500
BP 1	150 X 300
BP 2	150 X 500
BP 3	150 X 700

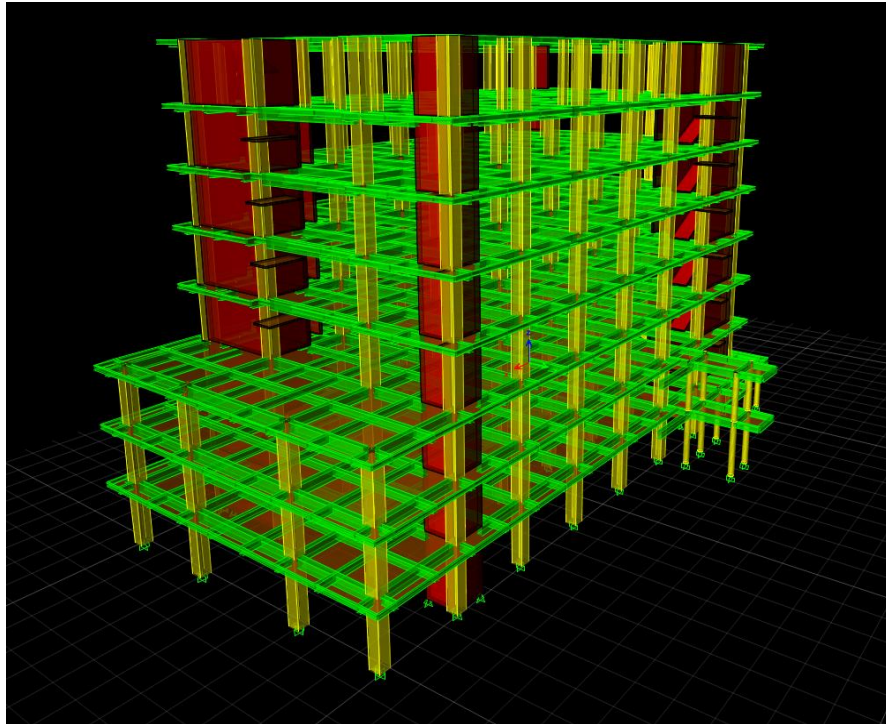
Tabel 5.2 Dimensi Kolom

Tipe Kolom	Dimensi B*H
	mm
K 1	900 x 900
K 2	500 x 500
KL 3	D 500
KT 4	250 x 750 x 1200
K 5	150 x 300

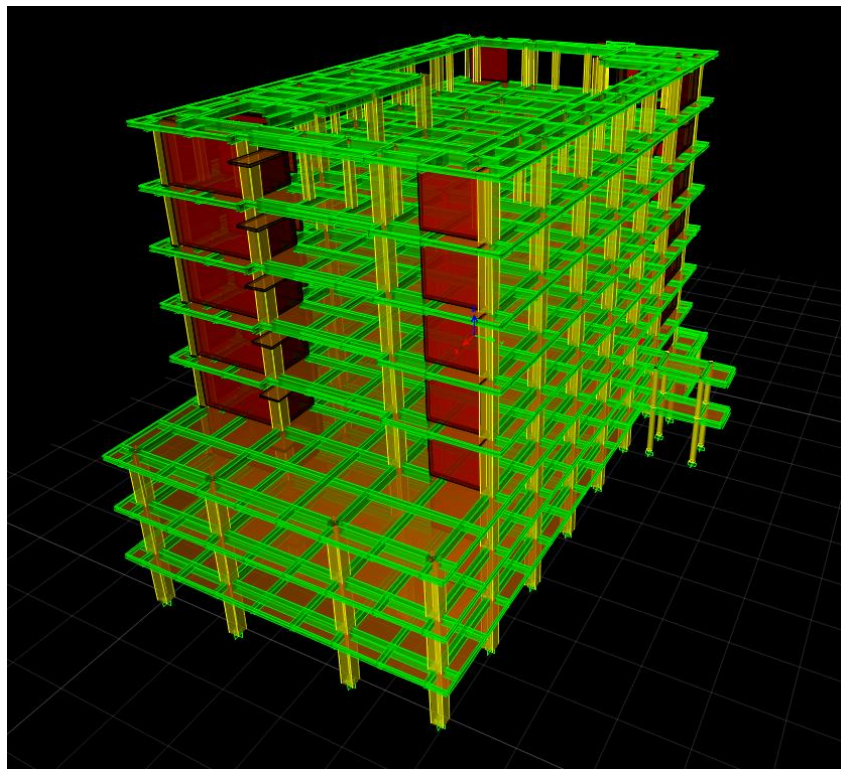
Tabel 5.3 Dimensi Pelat

Tipe Pelat	Ketebalan
	mm
Pelat Lantai	130 dan 150
Pelat Atap	100
Dinding Geser	250 dan 400

**Gambar 5.1 Pemodelan Struktur Dinding Geser Model 1**



Gambar 5.2 Pemodelan Struktur Dinding Geser Model 2



Gambar 5.3 Pemodelan Struktur Dinding Geser Model 3

5.2 Perhitungan Pembebanan Struktur

Perhitungan pembebanan struktur yang digunakan dalam penelitian merupakan kombinasi dari beban mati (DL), beban mati tambahan (ADL), beban hidup (L), dan beban gempa (E)

5.2.1 Bahan Material / Mutu Bangunan

Mutu bangunan yang dipakai pada penelitian ini adalah:

Beton (f'_c) balok, kolom, dan dinding geser = 30 MPa

pelat lantai dan pelat atap = 30 MPa

Baja tulangan $d \leq 12$ mm (f_y) = 240 MPa

Baja tulangan $d \geq 12$ mm (f_y) = 420 MPa

5.2.2 Beban Mati

1. Beban mati pada lantai

Tegel Keramik = 17 kg/m² = 0,17 kN/m²,

Lapis Spesi (3cm) = 21 kg/m² = 0,63 kN /m²,

Lapis Pasir = 90 kg /m² = 0,9 kN /m²,

Plafond = 9 kg /m² = 0,09 kN /m² ,

Rangka Plafond = 5 kg /m² = 0,05 kN /m²,

plumbing dan electrical = 30 kg /m² = 0,3 kN /m²,

partisi = 48 kg /m² = 0,48 kN /m²,

Beban mati pada lantai = 3,30 kN /m².

2. Beban mati pada tangga

Perhitungan tangga hitung pada pemodelan ETABS V21. Perhitungan tangga terbagi menjadi 2 yaitu tangga dan bordes. Tebal pelat tangga diketahui (t) = 300 mm

$$\begin{aligned}
 t_1 &= \frac{1}{2} S \cos \alpha \\
 &= \frac{1}{2} 180 \cos (\tan^{-1} (\text{antrede/optrede})) \\
 &= \frac{1}{2} 180 \cos (\tan^{-1} (170/250)) \\
 &= \frac{1}{2} 180 \cos (34,215)
 \end{aligned}$$

$$= 70,28 \text{ mm}$$

$$t_2 = t + t_1$$

$$= 300 + 70,28$$

$$= 370,28 \text{ mm}$$

Dari perhitungan t_1 dan t_2 dapat dihitung beban mati pada plat sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Pelat tangga} &= (t / \cos \alpha) * BJ \\ &= (300 / \cos (34,215)) * 24 \\ &= 8,706 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban anak tangga/1m} &= \frac{1}{2} * s * a * BJ \\ &= \frac{1}{2} * 1,7 * 2,5 * 24 \\ &= 0,51 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah anak tangga/m} &= 100 / a \\ &= 100 / 25 \\ &= 4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat/ 1m} &= 4 * 0,51 \\ &= 2,04 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\text{Pasir} = 0,04 * 15,696 = 0,627 \text{ kN/m}$$

$$\text{Berat spesi} = 0,03 * 16,677 = 0,5 \text{ kN/m}$$

$$\text{Berat keramik} = 0,17 \text{ kN/m}$$

$$\text{Beban mati pada pelat tangga} = 12,04 \text{ kN/m}$$

Perhitungan beban mati pada pelat bordes adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Bordes} &= t * BJ * 1\text{m} \\ &= 300 * 24 * 1 = 7,2 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\text{Pasir} = 0,04 * 15,696 = 0,627 \text{ kN/m}$$

$$\text{Berat spesi} = 0,03 * 16,677 = 0,5 \text{ kN/m}$$

$$\text{Berat keramik} = 0,17 \text{ kN/m}$$

$$\text{Beban mati pada bordes} = 8,49 \text{ kN/m}$$

5.2.3 Beban Hidup

1. Beban hidup ruang kelas = $2,45 \text{ kN/m}^2$
2. Beban hidup pada koridor = $4,79 \text{ kN/m}^2$ pada lantai pertama dan 3,63

kN/m² pada lantai berikutnya.

5.2.4 Beban Gempa Respons Spektrum

Data yang diperlukan untuk perencanaan penelitian adalah sebagai berikut.

1. Lokasi gedung berada di wilayah Yogyakarta.
2. Fungsi bangunan sebagai gedung perkuliahan.
3. Jenis tanah pada lokasi penelitian adalah tanah sedang (SD).
4. Lantai gedung berjumlah 9 tingkat dengan tinggi antar lantai 5 meter di lantai 1 dan 4,5 di lantai selanjutnya.
5. Berdasarkan kategori risiko bangun gedung merupakan kategori risiko IV, dengan faktor keutamaan gempa (I_e) adalah 1,5.
6. Jenis struktur yang digunakan adalah sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25% gaya seismik yang ditetapkan, dinding geser beton bertulang khusus dengan koefisien modifikasi respons (R) sebesar 7, faktor kuat lebih sistem (Ω) sebesar 2,5, dan faktor pembesaran defleksi (C_d) sebesar 5,5.
7. Nilai SS , $S1$, dan TL didapat dari SNI 1726:2019 seperti pada Gambar 3.7 sampai Gambar 3.9.
 - a. $SS = 1,107$
 - b. $S1 = 0,507$
 - c. $TL = 6$ detik
8. Nilai Faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek (F_a) dan nilai faktor amplifikasi terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik (F_v), yang dapat dilihat pada Tabel 3.3 dan Tabel 3.4.
 - a. $F_a = 1,057$
 - b. $F_v = 1,793$
9. Mencari nilai SDS dan $SD1$

Untuk mencari nilai SDS dan $SD1$, maka harus ditentukan terdahulu parameter respons spektral percepatan pada periode pendek (SMS) dan Periode 1 detik ($SM1$)

$$\begin{aligned}
 \text{a. SMS} &= F_a \times S_S \\
 &= 1,05 \times 1,107 \\
 &= 1,17
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{b. SM1} &= F_V \times S_1 \\
 &= 1,793 \times 0,507 \\
 &= 0,909
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{c. SDS} &= 2/3 \times \text{SMS} \\
 &= 2/3 \times 1,17 \\
 &= 0,78
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{d. SD1} &= 2/3 \times \text{SM1} \\
 &= 2/3 \times 0,909 \\
 &= 0,606
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{e. SDSr} &= C_{rs} \times \text{SDS} \\
 &= 0,935 \times 0,78 \\
 &= 0,729
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{f. SD1r} &= C_{R1} \times \text{SD1} \\
 &= 0,9 \times 0,606 \\
 &= 0,545
 \end{aligned}$$

10. Spektrum respons desain

$$\begin{aligned}
 \text{a. } T_0 &= 0,2 \times (\text{SD1r}/\text{SDSr}) \\
 &= 0,2 \times (0,545 / 0,729) \\
 &= 0,15
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{b. } T_s &= \text{SD1r}/\text{SDSr} \\
 &= 0,545 / 0,729 \\
 &= 0,748
 \end{aligned}$$

$$\text{c. } T_L = 6$$

11. Mencari nilai S_a

a. Spektrum respons percepatan desain S_a untuk

$$\begin{aligned}
 T < T_0 : S_a &= \text{SDSr} (0,4 + 0,6 (T/T_0)) \\
 &= 0,729 (0,4 + 0,6 (0/0,15)) \\
 &= 0,292
 \end{aligned}$$

b. Spektrum respons desain percepatan desain S_a untuk

$$T = T_0 \text{ dan } T \leq T_s : S_a = S_{DS}$$

$$= 0,729$$

c. Spektrum respons desain percepatan desain S_a untuk

$$T > T_s : S_a = S_{D1r} / T$$

$$= 0,545 / 7$$

$$= 0,778$$

d. Spektrum respons desain percepatan desain S_a untuk

$$T > T_L : S_a = (S_{D1r} \times T_L) / T^2$$

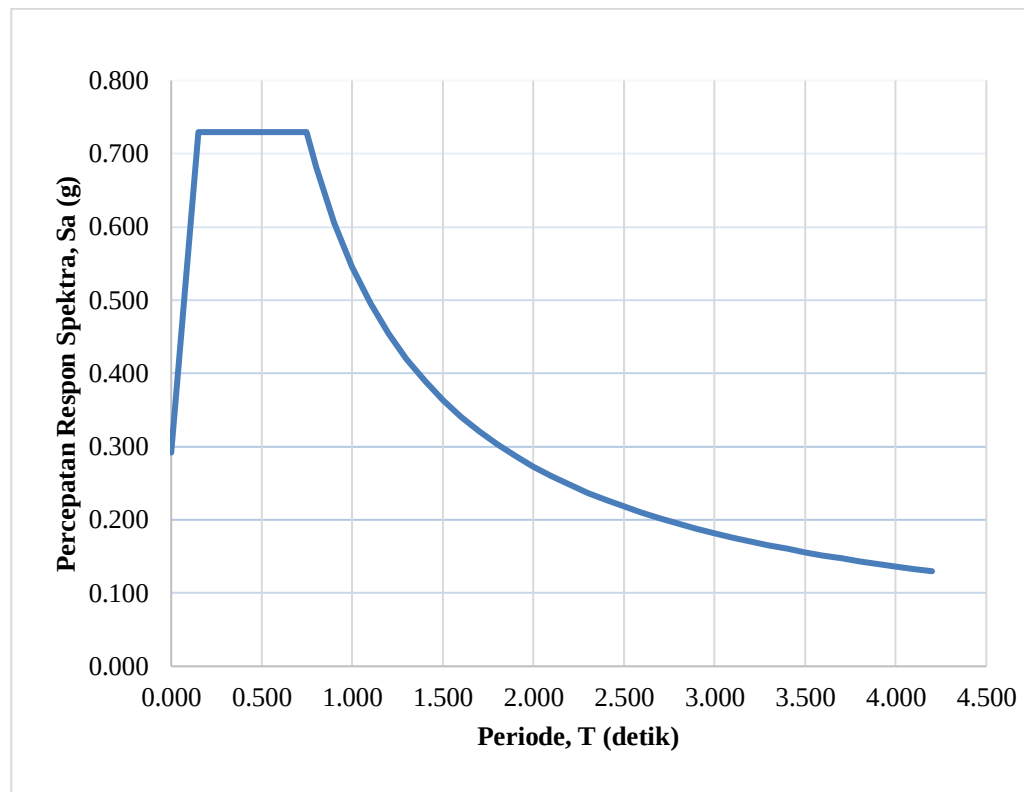
$$= (0,545 \times 6) / 7$$

$$= 0,467$$

Tabel 5.4 Spectrum Respons Desain

T (detik)	S_a (g)	T (detik)	S_a (g)	T (detik)	S_a (g)
0,000	0,292	1,900	0,287	3,300	0,165
0,150	0,729	2,000	0,273	3,400	0,160
0,748	0,729	2,100	0,260	3,500	0,156
0,800	0,682	2,200	0,248	3,600	0,152
0,900	0,606	2,300	0,237	3,700	0,147
1,000	0,545	2,400	0,227	3,800	0,144
1,100	0,496	2,500	0,218	3,900	0,140
1,200	0,455	2,600	0,210	4,000	0,136
1,300	0,420	2,700	0,202	4,100	0,133
1,400	0,390	2,800	0,195	4,200	0,130
1,500	0,364	2,900	0,188		
1,600	0,341	3,000	0,182		
1,700	0,321	3,100	0,176		
1,800	0,303	3,200	0,170		

Grafik respon spektrum desain struktur pada Tabel 5.4 dapat dilihat pada Gambar 5.4 sebagai berikut.



Gambar 5.4 grafik Respons Spectrum desain

12. Periode fundamental struktur (T)

Periode fundamental struktur dapat dicari dengan menggunakan pendekatan sesuai dengan SNI 1726:2019 pada persamaan 3.39 dan didapatkan berdasarkan hasil analisis menggunakan software ETABS V21 sebagai berikut.

a. Struktur dinding geser tipe 1

$$\begin{aligned}
 T_a &= 0,0488 \times H^{0,75} \\
 &= 0,0488 \times 36,45^{0,75} \\
 &= 0,7239
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil analisis menggunakan software ETABS V21, didapatkan nilai periode struktur Teigenvalue sebesar 0,787. Dicari batasan untuk periode fundamental struktur bahwa, periode fundamental struktur tidak boleh melebihi hasil perkalian koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung (C_u) sebesar 1,4.

$$\begin{aligned} Cu \times Ta &= 1,4 \times 0,7239 \\ &= 1,0135 \end{aligned}$$

Dari hasil tersebut maka dapat digunakan untuk menentukan periode getar yang dipakai, syarat dalam menentukan periode getar adalah sebagai berikut.

- 1.) Jika $Ta > Teigenvalue$, maka T yang digunakan $T = Teigenvalue$
 - 2.) Jika $Ta < Teigenvalue < Cu \times Ta$, maka T yang digunakan $T = Teigenvalue$
 - 3.) Jika $Teigenvalue > Cu \times Ta$, maka T yang digunakan $T = Cu \times Ta$
- Maka T yang dipakai untuk arah x sebesar 0,787 dan T yang dipakai untuk arah y sebesar 0,787.

b. Struktur dinding geser tipe 2

$$\begin{aligned} Ta &= 0,0488 \times H^{0,75} \\ &= 0,0488 \times 36,45^{0,75} \\ &= 0,7239 \\ Cu \times Ta &= 1,4 \times 0,7239 \\ &= 1,0135 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil analisis menggunakan software ETABS V21, didapatkan nilai periode struktur $Teigenvalue$ sebesar 0,838.

Maka T yang dipakai untuk arah x sebesar 0,838 dan T yang dipakai untuk arah y sebesar 0,838.

c. Struktur dinding geser tipe 3

$$\begin{aligned} Ta &= 0,0488 \times H^{0,75} \\ &= 0,0488 \times 36,45^{0,75} \\ &= 0,7239 \\ Cu \times Ta &= 1,4 \times 0,7239 \\ &= 1,0135 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil analisis menggunakan software ETABS V21, didapatkan nilai periode struktur $Teigenvalue$ sebesar 0,851.

Maka T yang dipakai untuk arah x sebesar 0,851 dan T yang dipakai untuk arah y sebesar 0,851.

13. Perhitungan koefisien respons seismik

Dalam menghitung koefisien respons seismik digunakan persamaan 3.12 sampai dengan persamaan 3.16 sebagai berikut dengan nilai R sebesar 7.

$$\begin{aligned} C_s &= \frac{S_{Ds}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \\ &= \frac{0,729}{\frac{7}{1,5}} \\ &= 0,1563 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{Smax} &= \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \\ &= \frac{0,507}{1,0135 \frac{7}{1,5}} \\ &= 0,165 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{Smin} &= 0,044 \times S_Ds \times I_e \\ &= 0,044 \times 0,606 \times 1,5 \\ &= 0,0515 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{smin2} &= \frac{0,5 S_1}{\frac{R}{I_e}} \\ &= \frac{0,5 \times 0,507}{\frac{7}{1,5}} \\ &= 0,0543 \end{aligned}$$

Maka CS yang dipakai adalah Cs pakai sebesar 0,165

14. Berat seismik efektif (Wt)

Berat seismik efektif struktur didapatkan dengan menjumlah keseluruhan beban mati dan 25 % beban hidup lantai yang digunakan dalam perencanaan daerah yang digunakan. Berat seismik efektif struktur diperoleh dari hasil analisis software ETABS V21 seperti pada Tabel 5.5 sebagai berikut.

Tabel 5.5 Berat Seismik Efektif

Lantai	dinding geser tipe berat 1 (kN)	dinding geser tipe 2 (kN)	dinding geser tipe 3 (kN)
1	15865,2548	15871,1859	15824,773
2	14079,5274	14085,4584	14043,7527
3	13765,5772	13771,5082	13729,8025
4	12242,1274	12248,0585	12206,3527
5	12242,1274	12248,0585	12206,3527
6	12242,1274	12248,0585	12206,3527
7	12242,1274	12248,7042	12206,3527
8	8977,7374	8979,9615	8938,2558
total	101656,61	101700,993	101361,994

15. Perhitungan gaya geser dasar seismik

a. Struktur dinding geser tipe 1

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Seismik bangunan (Wt)} &= 101656,61 \text{ kN} \\
 C_s &= 0,1563 \\
 V &= C_s \times W_t \\
 &= 0,1563 \times 101656,61 \\
 &= 16817,295 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Maka, didapat gaya geser dasar seismik sebesar 16817,295 kN

b. Struktur dinding geser tipe 2

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Seismik bangunan (Wt)} &= 101700,993 \text{ kN} \\
 C_s &= 0,1563 \\
 V &= C_s \times W_t \\
 &= 0,1563 \times 101700,993 \\
 &= 16824,638 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Maka, didapat gaya geser dasar seismik sebesar 16824,638 kN

c. Struktur dinding geser tipe 3

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Seismik bangunan (Wt)} &= 101361,994 \text{ kN} \\
 C_s &= 0,1563
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V &= C_s \times W_t \\
 &= 0,1563 \times 101361,994 \\
 &= 16768,557 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Maka, didapat gaya geser dasar seismik sebesar 16768,557 kN

16. Perhitungan nilai K

Sesuai dengan SNI 1726:2019 Pasal 7.8.3 tentang distribusi vertikal gaya seismik dibutuhkan nilai eksponen yang terkait dengan periode struktur dari bangunan perencanaan tersebut dengan penentuan nilai k adalah sebagai berikut.

- Untuk struktur dengan $T \leq 0,5$ detik, $k = 1$,
- Untuk struktur dengan $T \geq 2,5$ detik, $k = 2$,
- Untuk struktur dengan $0,5 < T < 2,5$ detik, $k = 2$ atau ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2.

Nilai T yang didapat dalam penelitian setiap pemodelan dapat dilihat pada Tabel 5.6 sebagai berikut.

Tabel 5.6 Penentuan Nilai K

Model Struktur bangunan	T	K
Struktur dinding geser tipe 1	0,787	1,1425
Struktur dinding geser tipe 1	0,838	1,169
Struktur dinding geser tipe 1	0,851	1,1755

17. Gaya seismik lateral (F)

Hasil Perhitungan gaya seismik lateral tingkat dapat dilihat pada Tabel 5.7 sebagai berikut.

Tabel 5. 7 Gaya Seismik Lateral Struktur Dinding Geser Tipe 1

Lantai	Berat (W)	Tinggi	H^k	$W \times H^k$	C_v	$F_i = C_v \times V$
	kN	m			(%)	kN
8	8977,7374	36,45	60,85	546268,72	0,18	2993,88
7	12242,1274	31,95	52,34	640788,72	0,21	3511,91

**Tabel 5. 7 Gaya Seismik Lateral Struktur Dinding Geser Tipe 1
(Lanjutan)**

Lantai	Berat (W)	Tinggi	H^k	$W \times H^k$	C_v	$F_i = C_v \times V$
	kN	m			(%)	kN
6	12242,127	27,45	44,01	538755,27	0,18	2952,70
5	12242,127	22,95	35,87	439087,54	0,14	2406,46
4	12242,127	18,45	27,95	342182,46	0,11	1875,36
3	13765,577	13,95	20,31	279557,06	0,09	1532,14
2	14079,527	9,45	13,01	183239,42	0,06	1004,26
1	15865,254	4,95	6,22	98635,55	0,03	540,58
Total	101656,61			3068514,74		16817,30

Tabel 5.8 Gaya Seismik Lateral Struktur Dinding Geser Tipe 2

Lantai	Berat (W)	Tinggi	H^k	$W \times H^k$	C_v	$F_i = C_v \times V$
	kN	m			(%)	kN
8	8979,96	36,45	66,93	601033,79	0,18	2838,79
7	12248,06	31,95	57,38	702738,41	0,21	3319,16
6	12248,06	27,45	48,05	588468,55	0,18	2779,45
5	12248,06	22,95	38,97	477333,83	0,14	2254,54
4	12248,70	18,45	30,20	369862,16	0,11	1746,93
3	13771,51	13,95	21,78	299908,49	0,09	1416,52
2	14085,46	9,45	13,81	194558,75	0,06	918,94
1	15871,19	4,95	6,49	102944,43	0,03	486,23
total	101700,99			3336848,41		15760,55

Tabel 5. 9 Gaya Seismik Lateral Struktur Dinding Geser Tipe 3

Lantai	Berat (W)	Tinggi	H^k	$W \times H^k$	C_v	$F_i = C_v \times V$
	kN	m			(%)	kN
8	8938,26	36,45	68,51	612390,20	0,18	2791,15

**Tabel 5. 9 Gaya Seismik Lateral Struktur Dinding Geser Tipe 3
(Lanjutan)**

Lantai	Berat (W)	Tinggi	H^k	$W \times H^k$	C_v	$F_i = C_v \times V$
	kN	m			(%)	kN
7	12206,35	31,95	58,68	716294,17	0,21	3264,72
6	12206,35	27,45	49,09	599228,48	0,18	2731,16
5	12206,35	22,95	39,77	485496,35	0,14	2212,79
4	12206,35	18,45	30,77	375633,79	0,11	1712,06
3	13729,80	13,95	22,15	304166,42	0,09	1386,33
2	14043,75	9,45	14,02	196835,43	0,06	897,14
1	15824,77	4,95	6,55	103716,03	0,03	472,72
Total	101361,99			3393760,86		15468,06

5.3 *Base Shear*

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.9.1.4.1 tentang penskalaan gaya disebutkan bahwa apabila kombinasi respons untuk gaya geser dasar kurang dari 100% dari gaya geser yang dihitung melalui metode ekuivalen statik, maka kombinasi respons tersebut diharuskan untuk diskalakan dengan V/V_t . Dari perhitungan ETABS V21 dapat dilihat gaya geser dasar (*base shear*) yang dihasilkan pada analisis statik ekuivalen (V) dan analisis kombinasi respons (V_t) dapat dilihat pada Tabel 5.10 sebagai berikut.

Tabel 5.10 Kontrol Parameter Respons Ragam

Tipe struktur	<i>Trial</i>	Arah Gaya	Vstatik (kN)	100% Vstatik (kN)	Vdinamik (kN)	Cek Status	<i>New Scale</i>
Dinding geser tipe 1	1	x	-21593,85	21593,85	13122,43	not ok	3,46
		y	-21593,85	21593,85	13512,63	not ok	3,36
	2	x	-21593,85	21593,85	21594,36	ok	
		y	-21593,85	21593,85	21598,17	ok	

Tabel 5.10 Kontrol Parameter Respons Ragam (Lanjutan)

Tipe struktur	Trial	Arah Gaya	Vstatik (kN)	100% Vstatik (kN)	Vdinamik (kN)	Cek Status	New Scale
Dinding geser tipe 2	1	x	-21601,27	21601,27	13278,79	not ok	3,42
		y	-21601,27	21601,27	14100,51	not ok	3,22
	2	x	-21601,27	21601,27	21601,52	ok	
		y	-21601,27	21601,27	21601,42	ok	
Dinding geser tipe 3	1	x	-21601,27	21601,27	13278,79	not ok	3,42
		y	-21601,27	21601,27	14100,51	not ok	3,22
	2	x	-21601,27	21601,27	21601,52	ok	
		y	-21601,27	21601,27	21601,42	ok	

5.4 Cek Ketidakberaturan Struktur

Struktur bangunan harus diklasifikasikan menjadi struktur reguler atau struktur irreguler berdasarkan pada SNI 1726:2019 Pasal 7.3.2.1. yang ada.

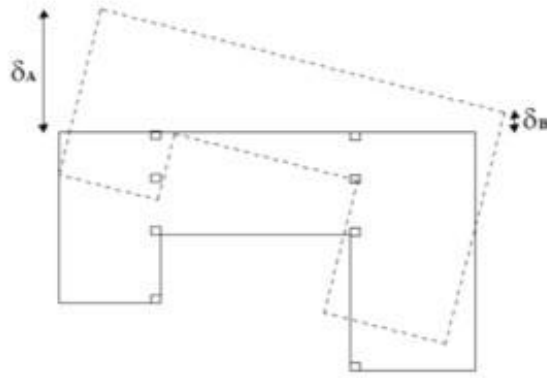
Terdapat beberapa pengecekan dalam ketidakberaturan struktur antara lain sebagai berikut :

5.4.1 Ketidakberaturan Horizontal

1. Ketidakberaturan torsi 1a dan 1b

Ketidakberaturan torsi didefinisikan ada jika simpangan antar tingkat maksimum, yang dihitung termasuk torsi tak terduga dengan $A_x = 1,0$, di salah satu ujung struktur terhadap suatu sumbu adalah lebih dari 1,2 kali simpangan antar tingkat rata – rata. Sedangkan, pada ketidakberaturan torsi berlebihan diartikan jika simpangan antar tingkat maksimum yang berada pada salah satu ujung struktur adalah lebih dari 1,4 kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Pengaruh torsi pada struktur bangunan dibagi dalam klasifikasi torsi 1a dan 1b, dengan klasifikasi sebagai berikut.

- a. $\delta_{\max} < 1,2 \delta_{\text{avg}}$ → Tanpa ketidakberaturan Torsi
- b. $1,2 \delta_{\text{avg}} \leq \delta_{\max} \leq 1,4 \delta_{\text{avg}}$ → Ketidakberaturan Torsi 1a
- c. $\delta_{\max} > 1,4 \delta_{\text{avg}}$ → Ketidakberaturan Torsi 1b



Gambar 5.5 ketidakberaturan Torsi

Rekapitulasi hasil cek ketidakberaturan torsi dapat dilihat pada Tabel 5.11 sampai Tabel 5.16 sebagai berikut.

Tabel 5.11 Cek Ketidakberaturan Torsi Tipe 1A dan 1B Model 1

Lantai	Arah X				Arah Y			
	Max Drift (mm)	Avg Drift (mm)	Max/Avg	Cek	Max Drift (mm)	Avg Drift (mm)	Max/Avg	Cek
8	0,001974	0,001577	1,25174	H.1a	0,002473	0,001722	1,43612	H.1b
7	0,002102	0,001789	1,17496	OK	0,002215	0,001808	1,22511	H.1a
6	0,002191	0,001852	1,18305	OK	0,002214	0,001827	1,21182	H.1a
5	0,002193	0,001847	1,18733	OK	0,002122	0,001774	1,19617	OK
4	0,002064	0,001728	1,19444	OK	0,001935	0,001639	1,1806	OK
3	0,001805	0,001497	1,20574	H.1a	0,001623	0,001397	1,16178	OK
2	0,0014	0,001082	1,2939	H.1a	0,001333	0,001116	1,19444	OK
1	0,000641	0,000526	1,21863	H.1a	0,000609	0,000525	1,16	OK

Tabel 5.12 Cek Ketidakberaturan Torsi Tipe 1A dan 1B Model 2

Lantai	Arah X				Arah Y			
	Max Drift (mm)	Avg Drift (mm)	Max/Avg	Cek	Max Drift (mm)	Avg Drift (mm)	Max/Avg	Cek
8	0,002225	0,001754	1,26853	H.1a	0,002402	0,00168	1,42976	H.1b
7	0,00237	0,002052	1,15497	OK	0,002279	0,001762	1,29342	H.1a
6	0,002486	0,002143	1,16006	OK	0,002266	0,001772	1,27878	H.1a

Tabel 5.12 Cek Ketidakberaturan Torsi Tipe 1A dan 1B Model 2 (Lanjutan)

Lantai	Arah X				Arah Y			
	Max Drift (mm)	Avg Drift (mm)	Max/Avg	Cek	Max Drift (mm)	Avg Drift (mm)	Max/Avg	Cek
5	0,002498	0,002131	1,17222	OK	0,00217	0,001718	1,2631	H.1a
4	0,002373	0,002005	1,18354	OK	0,001975	0,001584	1,24684	H.1a
3	0,002094	0,001747	1,19863	OK	0,001679	0,00136	1,23456	H.1a
2	0,001598	0,001252	1,27636	H.1a	0,001379	0,001094	1,26051	H.1a
1	0,00074	0,000614	1,20521	H.1a	0,000628	0,000506	1,24111	H.1a

Tabel 5.13 Cek Ketidakberaturan Torsi Tipe 1A dan 1B Model 3

Lantai	Arah X				Arah Y			
	max drift (mm)	avg drift (mm)	max/avg	Cek	max drift (mm)	avg drift (mm)	max/avg	Cek
8	0,002264	0,001805	1,25429	H.1a	0,002287	0,001518	1,50659	H.1b
7	0,002451	0,002145	1,14266	OK	0,001946	0,001555	1,25145	H.1a
6	0,002581	0,002238	1,15326	OK	0,001967	0,00158	1,24494	H.1a
5	0,002556	0,002201	1,16129	OK	0,001923	0,001552	1,23905	H.1a
4	0,002404	0,002059	1,16756	OK	0,001757	0,001435	1,22439	H.1a

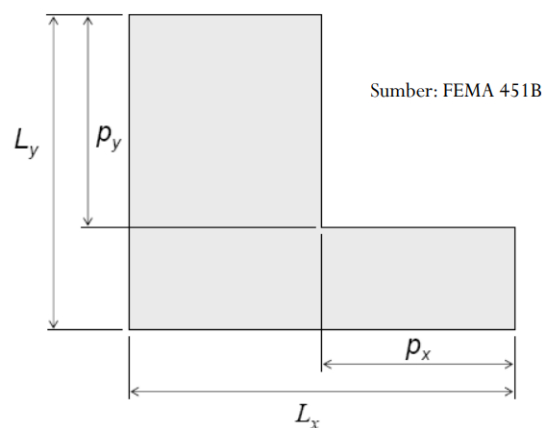
Tabel 5.13 Cek Ketidakberaturan Torsi Tipe 1A dan 1B Model 3 (lanjutan)

Lantai	Arah X				Arah Y			
	max drift (mm)	avg drift (mm)	max/avg	Cek	max drift (mm)	avg drift (mm)	max/avg	Cek
3	0,002112	0,00179	1,17989	OK	0,001504	0,001237	1,21584	H.1a
2	0,001641	0,0013	1,26231	H.1a	0,001221	0,000986	1,23834	H.1a
1	0,000777	0,000647	1,20093	H.1a	0,000544	0,000448	1,21429	H.1a

Akibat adanya ketidakberaturan torsi 1a dan 1b maka bangunan memiliki potensi terjadinya puntir sehingga, pada perencanaan dilakukan konsekuensi ketidakberaturan 1a dan 1b. Tabel konsekuensi ketidakberaturan dapat dilihat pada lampiran.

2. Ketidakberaturan sudut dalam

Ketidakberaturan sudut dalam diartikan jika kedua dimensi dari proyek denah perencanaan gedung dari lokasi sudut dalam lebih besar dari 15% dimensi denah struktur terhadap arah tinjauan.



Gambar 5.6 Ketidakberaturan Sudut Dalam

Berdasarkan pada bentuk bangunan gedung APSLC yang berbentuk persegi panjang maka, bangunan tidak memiliki sudut dalam.

3. Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma

Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma dapat diartikan jika terdapat suatu tingkat yang memiliki diskontinuitas atau daerah yang terbuka lebih besar dari 50% daerah bruto yang tertutup. Berdasarkan denah bangunan didapatkan luas bukaan total sebesar 573,56 m² dan luas bruto sebesar 9087,6 m². Perhitungan ketidakberaturan diskontinuitas diafragma adalah berikut.

$$\frac{\text{luas bukaan}}{\text{luas bruto}} \times 100\% < 50\%$$

$$\frac{574,56}{9087,6} \times 100\%$$

$$= 6,311\% < 50\%$$

Berdasarkan perhitungan diatas maka bangunan tidak memiliki ketidakberaturan diskontinuitas diafragma.

4. Ketidakberaturan Akibat Pergeseran Tegak Lurus Terhadap Bidang
Ketidakberaturan akibat pergeseran tegak lurus terhadap bidang pada bangunan gedung APSLC tidak terjadi. Hal ini dikarenakan semua struktur utama sejajar bertumpu pada sumbu x dan sumbu y.
5. Ketidakberaturan Sistem Non Paralel
Ketidakberaturan sistem non paralel tidak terjadi pada bangunan gedung APSLC. Hal ini disebabkan karena seluruh dinding geser berada pada sumbu x dan sumbu y.

5.4.2 Ketidakberaturan Vertikal

1. Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak
Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak terjadi jika terdapat suatu tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 70% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80% kekakuan rata-rata tingkat di atasnya. Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak berlebihan terjadi jika terdapat suatu tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 60% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 70% kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya. Nilai persentase ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak dapat dilihat pada Tabel berikut.

Tabel 5.14 Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Model 1 Arah x

Lantai	Tinggi Antar Lantai	Tinggi Antar Lantai	Fx	Akumulatif	U1	U1	Δi	K	Cek 70%	Status	Cek 80%	Status
	m	mm			m	mm	mm	kN/mm				
8	31,95	31950	1	1	0,056	56,466	6,941	0,144	0,000	reguler	0,000	reguler
7	27,45	27450	1	2	0,050	49,525	8,306	0,241	0,101	reguler	0,115	reguler
6	22,95	22950	1	3	0,041	41,219	8,746	0,343	0,169	reguler	0,154	reguler
5	18,45	18450	1	4	0,032	32,473	8,700	0,460	0,240	reguler	0,194	reguler
4	13,95	13950	1	5	0,024	23,773	8,215	0,609	0,322	reguler	0,278	reguler
3	9,45	9450	1	6	0,016	15,558	7,169	0,837	0,426	reguler	0,376	reguler
2	4,95	4950	1	7	0,008	8,389	5,501	1,272	0,586	reguler	0,508	reguler
1	0	0	1	8	0,003	2,888	2,888	2,770	0,891	reguler	0,725	reguler

Tabel 5.15 Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Model 2 Arah x

Lantai	Tinggi Antar Lantai	Tinggi Antar Lantai	Fx	Akumulatif	U1	U1	Δi	K	Cek 70%	Status	Cek 80%	Status
	m	mm			m	mm	mm	kN/mm				
8	31,95	31950	1	1	0,065	65,202	7,822	0,128	0,000	reguler	0,000	reguler
7	27,45	27450	1	2	0,057	57,380	9,511	0,210	0,089	reguler	0,102	reguler
6	22,95	22950	1	3	0,048	47,869	10,085	0,297	0,147	reguler	0,135	reguler
5	18,45	18450	1	4	0,038	37,784	10,068	0,397	0,208	reguler	0,169	reguler
4	13,95	13950	1	5	0,028	27,716	9,532	0,525	0,278	reguler	0,241	reguler
3	9,45	9450	1	6	0,018	18,184	8,362	0,718	0,367	reguler	0,325	reguler
2	4,95	4950	1	7	0,010	9,822	6,454	1,085	0,502	reguler	0,437	reguler
1	0	0	1	8	0,003	3,368	3,368	2,375	0,759	reguler	0,620	reguler

Tabel 5.16 Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Model 3 Arah x

Lantai	Tinggi Antar Lantai	Tinggi Antar Lantai	Fx	Akumulatif	U1	U1	Δi	K	Cek 70%	Status	Cek 80%	Status
	m	mm			m	mm	mm	kN /mm				
8	31,95	31950	1	1	0,067	66,824	7,923	0,126	0,000	reguler	0,000	reguler
7	27,45	27450	1	2	0,059	58,901	9,765	0,205	0,088	reguler	0,101	reguler
6	22,95	22950	1	3	0,049	49,136	10,367	0,289	0,143	reguler	0,132	reguler
5	18,45	18450	1	4	0,039	38,769	10,310	0,388	0,203	reguler	0,165	reguler
4	13,95	13950	1	5	0,028	28,459	9,724	0,514	0,272	reguler	0,235	reguler
3	9,45	9450	1	6	0,019	18,735	8,528	0,704	0,360	reguler	0,318	reguler
2	4,95	4950	1	7	0,010	10,207	6,653	1,052	0,492	reguler	0,428	reguler
1	0	0	1	8	0,004	3,554	3,554	2,251	0,737	reguler	0,605	reguler

Tabel 5.17 Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Model 1 Arah y

Lantai	Tinggi Antar Lantai	Tinggi Antar Lantai	Fx	Akumulatif	U2	U2	Δi	K	Cek 70%	Status	Cek 80%	Status
	m	mm			m	mm	mm	kN /mm				
8	31,95	31950	1	1	0,054	53,669	8,712	0,115	0,000	reguler	0,000	reguler
7	27,45	27450	1	2	0,045	44,957	7,844	0,255	0,080	reguler	0,092	reguler
6	22,95	22950	1	3	0,037	37,113	7,938	0,378	0,178	reguler	0,148	reguler
5	18,45	18450	1	4	0,029	29,175	7,823	0,511	0,265	reguler	0,199	reguler
4	13,95	13950	1	5	0,021	21,352	7,307	0,684	0,358	reguler	0,305	reguler
3	9,45	9450	1	6	0,014	14,045	6,365	0,943	0,479	reguler	0,420	reguler
2	4,95	4950	1	7	0,008	7,680	4,967	1,409	0,660	reguler	0,570	reguler
1	0	0	1	8	0,003	2,713	2,713	2,949	0,987	reguler	0,810	reguler

Tabel 5.18 Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Model 2 Arah y

Lantai	Tinggi Antar Lantai	Tinggi Antar Lantai	Fx	Akumulatif	U2	U2	Δi	K	Cek 70%	Status	Cek 80%	Status
	m	mm			m	mm	mm	kN/mm				
8	31,95	31950	1	1	0,052	51,996	8,523	0,117	0,000	reguler	0,000	reguler
7	27,45	27450	1	2	0,043	43,473	7,557	0,265	0,082	reguler	0,094	reguler
6	22,95	22950	1	3	0,036	35,916	7,678	0,391	0,185	reguler	0,153	reguler
5	18,45	18450	1	4	0,028	28,238	7,593	0,527	0,274	reguler	0,206	reguler
4	13,95	13950	1	5	0,021	20,645	7,092	0,705	0,369	reguler	0,315	reguler
3	9,45	9450	1	6	0,014	13,553	6,175	0,972	0,494	reguler	0,433	reguler
2	4,95	4950	1	7	0,007	7,378	4,793	1,460	0,680	reguler	0,588	reguler
1	0	0	1	8	0,003	2,585	2,585	3,095	1,022	reguler	0,837	reguler

Tabel 5.19 Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Model 3 Arah y

Lantai	Tinggi Antar Lantai	Tinggi Antar Lantai	Fx	Akumulatif	U2	U2	Δi	K	Cek 70%	Status	Cek 80%	Status
	m	mm			m	mm	mm	kN/mm				
8	31,95	31950	1	1	0,048	48,476	8,269	0,121	0,000	reguler	0,000	reguler
7	27,45	27450	1	2	0,040	40,207	7,072	0,283	0,085	reguler	0,097	reguler
6	22,95	22950	1	3	0,033	33,135	7,121	0,421	0,198	reguler	0,161	reguler
5	18,45	18450	1	4	0,026	26,014	7,007	0,571	0,295	reguler	0,220	reguler
4	13,95	13950	1	5	0,019	19,007	6,529	0,766	0,400	reguler	0,340	reguler
3	9,45	9450	1	6	0,012	12,478	5,675	1,057	0,536	reguler	0,469	reguler
2	4,95	4950	1	7	0,007	6,803	4,404	1,589	0,740	reguler	0,638	reguler
1	0	0	1	8	0,002	2,399	2,399	3,335	1,113	reguler	0,910	reguler

2. Ketidakberaturan berat (massa)

Nilai dari ketidakberaturan massa dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5.20 Ketidakberaturan Berat Struktur Dinding Geser Tipe 1

Lantai	Massa	Cek
	kg	
8	799526,56	OK
7	1635457,95	V.2
6	1637648,38	OK
5	1637648,38	OK
4	1637648,38	OK
3	1840078,28	OK
2	1883873,3	OK
1	2098252,05	V.2

Tabel 5.21 Ketidakberaturan Berat Struktur Dinding Geser Tipe 2

Lantai	Massa	Cek
	kg	
8	796108,96	OK
7	1626640,35	V.2
6	1628830,78	OK
5	1628830,78	OK
4	1628830,78	OK
3	1831260,68	OK
2	1875055,7	OK
1	2088834,45	V.2

Tabel 5.22 Ketidakberaturan Berat Struktur Dinding Geser Tipe 3

Lantai	Massa	Cek
	kg	
8	798038,56	OK
7	1631809,95	V.2
6	1634000,38	OK
5	1634000,38	OK
4	1634000,38	OK
3	1836430,28	OK
2	1880225,3	OK
1	2094364,05	V.2

Berdasarkan hasil dari data di atas, dapat diketahui bahwa bangunan gedung pada lantai 1 dan 7 memiliki ketidakberaturan massa karena

melebihi 150% dari tingkat atas atau bawah di semua model yang dianalisis.

3. Ketidakberaturan geometri vertikal

Ketidakberaturan ini ada apabila dimensi sistem penahan beban lateral pada sebarang tingkat lebih dari 130% dimensi pada sebarang tingkat yang berada didekatnya. Pada perencanaan bangunan, kolom tidak mengalami perubahan dari awal tingkat hingga tingkat akhir. Elemen dinding geser juga tidak mengalami pengecilan penampang sehingga dapat dikatakan bahwa struktur tidak mengalami ketidakberaturan geometri vertikal.

4. Ketidakberaturan diskontinuitas bidang elemen pada elemen vertikal pemikul gaya lateral

Ketidakberaturan ini ada apabila terdapat pergeseran (offset) elemen penahan yang lebih besar dari lebar (d) elemen tersebut, atau terdapat reduksi kekakuan elemen penahan pada tingkat dibawahnya. Pada bangunan struktur tidak terdapat pergeseran pada elemen penahan gaya lateral yang lebih besar dari elemen itu sendiri, sehingga perencanaan bangunan ini tidak memiliki ketidakberaturan diskontinuitas bidang elemen pada elemen vertikal pemikul gaya lateral.

5. Ketidakberaturan Diskontinuitas Dalam Ketidakberaturan Kuat Lateral

Diskontinuitas dalam Ketidakberaturan Kuat Lateral Tingkat didefinisikan ada jika kuat lateral tingkat kurang dari 80 persen kuat lateral tingkat di atasnya. Nilai ketidakberaturan diskontinuitas dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 5.23 Ketidakberaturan Diskontinuitas Model 1

Lantai	Arah X		Arah Y	
	Kekuatan	Cek	Kekuatan	Cek
	kN		kN	
8	3224,2813		3227,6471	
7	8372,1178	OK	8324,5085	OK
6	12241,465	OK	12271,554	OK
5	15195,112	OK	15330,853	OK

Tabel 5.23 Ketidakberaturan Diskontinuitas Model (Lanjutan)

Lantai	Arah X		Arah Y	
	Kekuatan	Cek	Kekuatan	Cek
	kN		kN	
4	17508,114	OK	17664,444	OK
3	19498,457	OK	19602,642	OK
2	20892,834	OK	20916,283	OK
1	21595,221	OK	21597,038	OK

Tabel 5.24 Ketidakberaturan Diskontinuitas Model 2

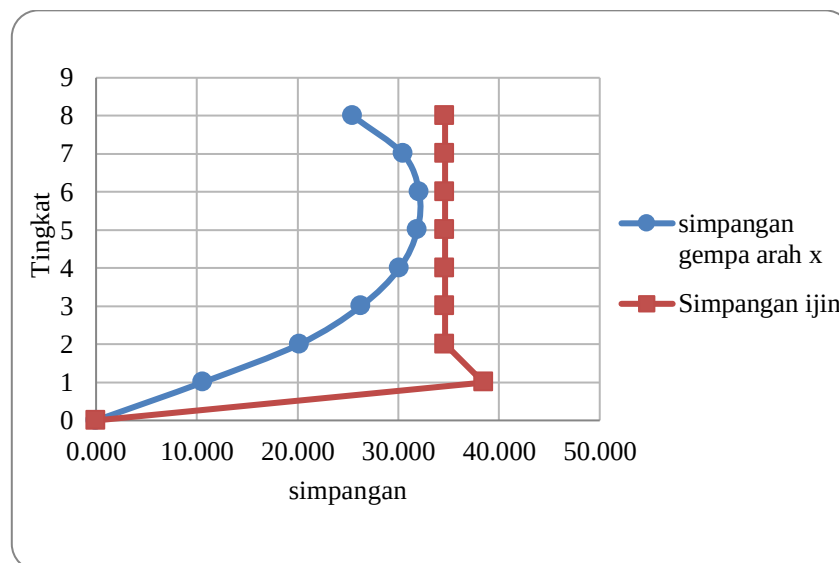
Lantai	Arah X		Arah Y	
	Kekuatan	Cek	Kekuatan	Cek
	kN		kN	
8	3206,382		3177,3444	
7	8293,3618	OK	8212,9291	OK
6	12133,17	OK	12139,716	OK
5	15065,109	OK	15184,566	OK
4	17353,424	OK	17496,256	OK
3	19341,342	OK	19410,444	OK
2	20734,995	OK	20685,29	OK
1	21430,899	OK	21324,625	OK

Tabel 5.25 Ketidakberaturan Diskontinuitas Model 3

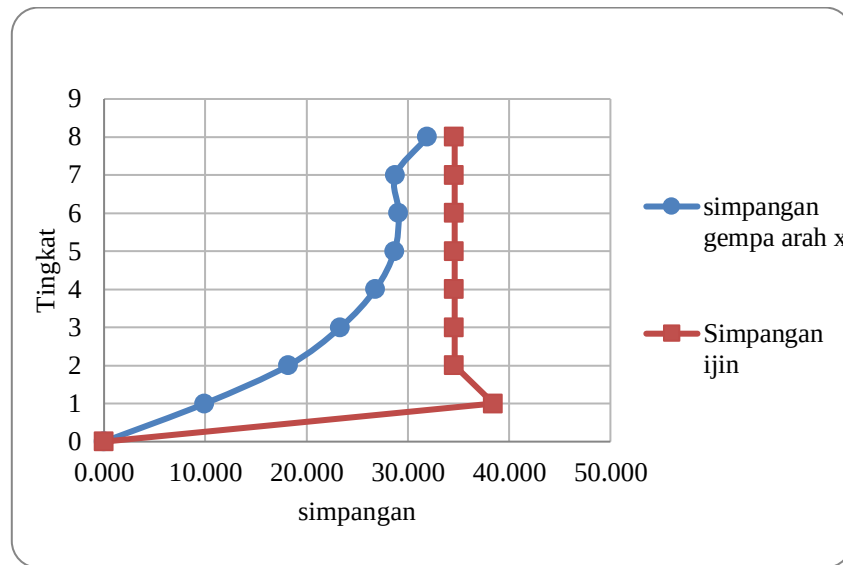
Lantai	Arah X		Arah Y	
	Kekuatan	Cek	Kekuatan	Cek
	kN		kN	
8	3177,7241		3189,5104	
7	8297,906	OK	8284,0129	OK
6	12164,9548	OK	12295,4549	OK
5	15093,8511	OK	15423,6399	OK
4	17375,8277	OK	17780,912	OK
3	19379,9744	OK	19692,0669	OK
2	20809,7307	OK	20935,894	OK
1	21549,5913	OK	21548,5302	OK

5.5 Simpangan Antar Lantai

Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.8.6 dalam penentuan simpangan antar tingkat harus dihitung tidak boleh melebihi simpangan ijin antar tingkat. Fungsi bangunan pada penelitian ini adalah gedung perkuliahan yang menurut Tabel 3.5 dan Tabel 3.6 berada pada kategori desain seismik D, maka menurut SNI 1726:2019 pasal 7.3.4.2 bahwa untuk kategori desain seismik D yang tidak memiliki ketidakberaturan torsi pada faktor redundansi (ρ) harus sebesar 1,3. Nilai simpangan antar lantai ijin dengan kategori risiko IV didapatkan sebesar 0,01 hsx. Berikut merupakan grafik simpangan antar lantai setiap model struktur. Model struktur tanpa dinding geser dapat dilihat pada Gambar 5.6 dan Gambar 5.7 sebagai berikut. Analisa simpangan antar lantai dapat dilihat pada Lampiran 15 sampai dengan Lampiran.

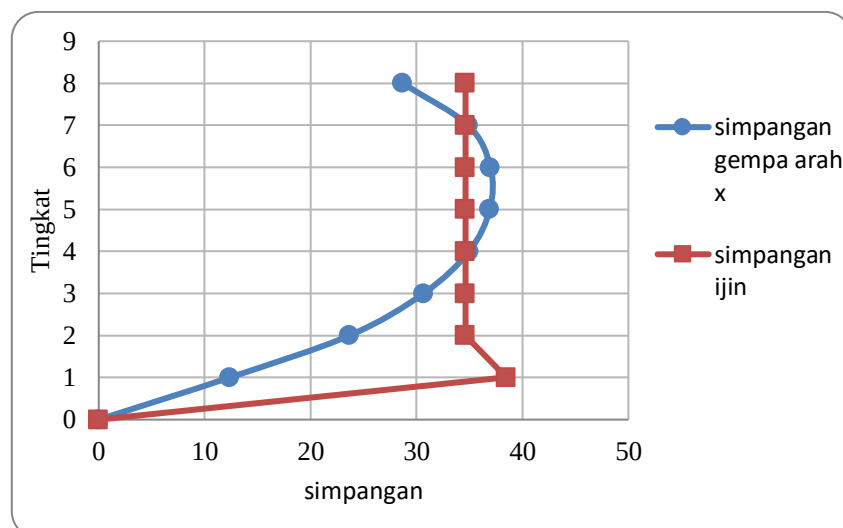


Gambar 5.6 Grafik Simpangan Gempa Arah X Model 1

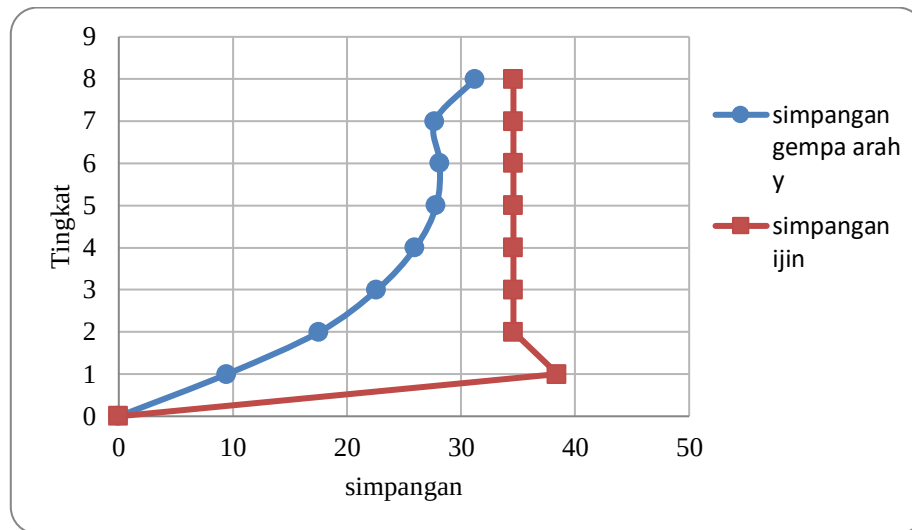


Gambar 5.7 Grafik Simpangan Gempa Arah Y Model 1

Pada grafik yang dapat dilihat pada Gambar 5.6 dan Gambar 5.7 simpangan antar lantai arah x dan arah y untuk struktur dinding geser model 1, simpangan yang terjadi tidak ada yang melebihi dari simpangan izin yang ditentukan sehingga struktur gedung jika dilihat dari simpangan yang terjadi masuk dalam kategori aman.



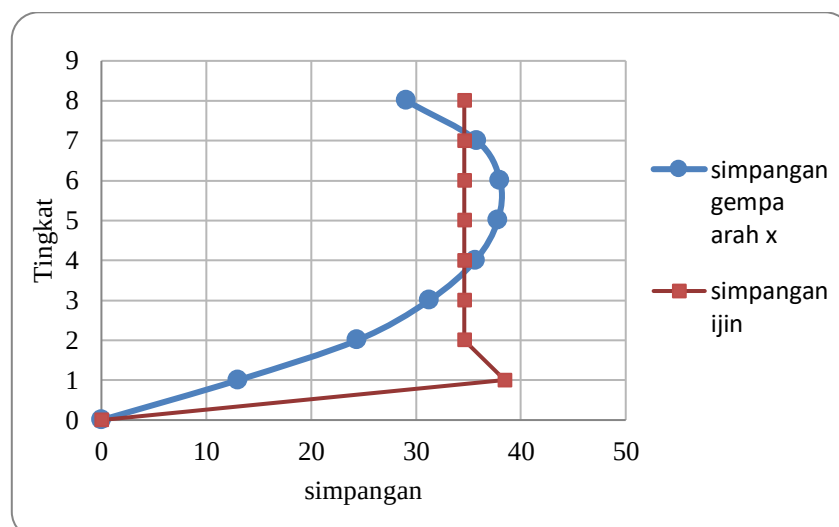
Gambar 5.8 Grafik Simpangan Gempa Arah X Model 2



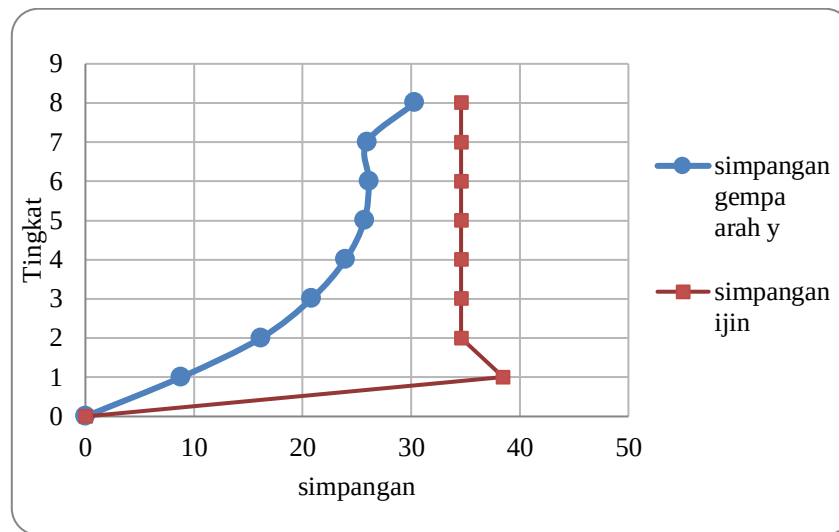
Gambar 5.9 Grafik Simpangan Gempa Arah Y Model 2

Pada grafik yang dapat dilihat pada Gambar 5.8 dan Gambar 5.9 simpangan antar lantai arah x dan arah y untuk struktur dinding geser model 2, terjadi simpangan yang melebihi batas ijin pada arah X yang telah ditetapkan oleh SNI 1726-2019 Pasal 7.12.1 tentang batasan simpangan antar tingkat pada lantai 4 sampai 7 sehingga struktur dinding geser masih belum aman.

Sedangkan untuk nilai simpangan arah Y pada struktur model 2 tidak melebihi dari nilai izin yang ditentukan sehingga pada model 2 simpangan arah x tidak aman terutama pada lantai 4 sampai 7 tetapi untuk arah y aman.



Gambar 5.10 Grafik Simpangan Gempa Arah X Model 3



Gambar 5.11 Grafik Simpangan Gempa Arah Y Model 3

Pada grafik yang dapat dilihat pada Gambar 5.10 dan Gambar 5.11 struktur dinding geser model 3 sama seperti struktur dinding geser model 2 yaitu pada arah x simpangan yang terjadi melebihi simpangan ijin pada lantai 4 sampai 7 tetapi untuk arah y aman.

Simpangan antar tingkat pada bangunan gedung APSLC model 2 dan 3 melebihi batas simpangan ijin yang telah ditentukan sedangkan pada model 1 simpangan ijin yang terjadi memenuhi batas simpangan ijin. Seperti yang dapat dilihat pada grafik rekapitulasi simpangan antar tingkat dapat disimpulkan bahwa peletakan struktur dinding geser mempengaruhi nilai simpangan antar tingkat yang terjadi.

Berdasarkan hasil dari data nilai simpangan antar lantai yang telah dihitung pada Lampiran 15 sampai dengan Lampiran 20, dapat diketahui bahwa nilai simpangan antar lantai dengan desain yang berbeda - beda sesuai dengan variabel penempatan dinding geser sehingga didapatkan hasil optimum pada varian struktur dinding geser pada model ke 1 dengan bentuk *I-shape*.

Hasil rekapitulasi simpangan antar lantai struktur dengan analisis respon spektrum arah x dan arah y dapat dilihat pada Tabel 5.27 dan Tabel 5.28, serta Gambar 5.12 dan Gambar 5.13 sebagai berikut.

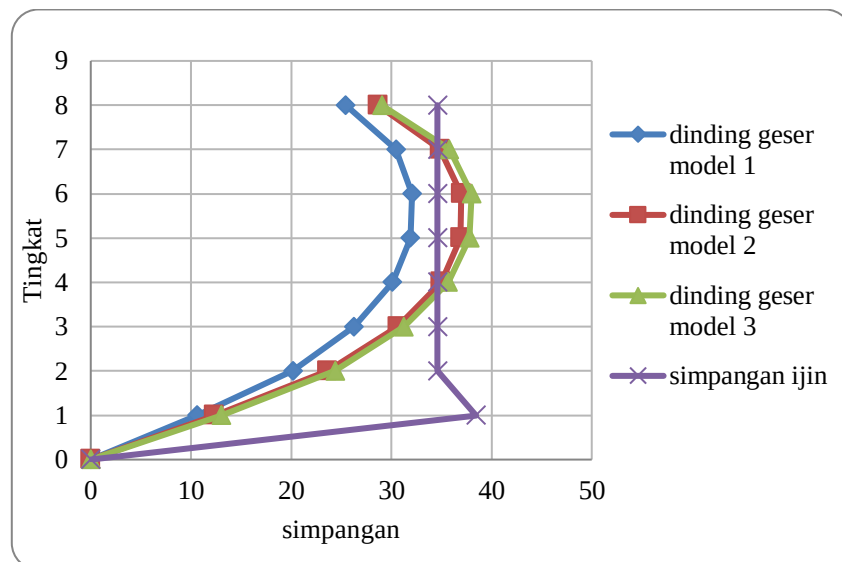
Tabel 5.26 Rekapitulasi Simpangan Antar Lantai Arah X

Lantai	Simpangan Antar Lantai Arah X			
	Struktur Dinding Geser Model 1 (mm)	Struktur Dinding Geser Model 2 (mm)	Struktur Dinding Geser Model 3 (mm)	Simpangan Ijin (mm)
1	10,589	12,349	13,031	38,462
2	20,170	23,665	24,394	34,615
3	26,286	30,661	31,269	34,615
4	30,122	34,951	35,655	34,615
5	31,900	36,916	37,803	34,615
6	32,069	36,978	38,012	34,615
7	30,455	34,874	35,805	34,615
8	25,450	28,681	29,051	34,615

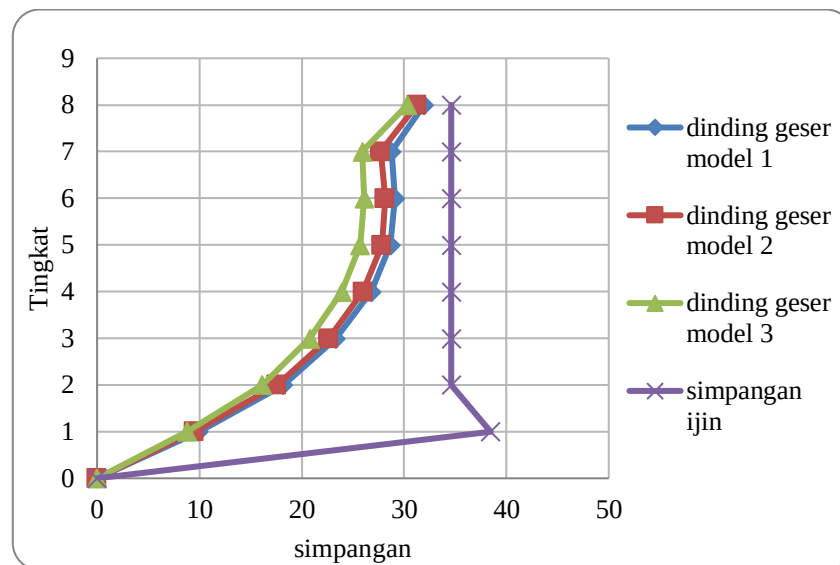
Tabel 5.27 Rekapitulasi Simpangan Antar Lantai Arah Y

Lantai	Simpangan Antar Lantai Arah Y			
	Struktur Dinding Geser Model 1 (mm)	Struktur Dinding Geser Model 2 (mm)	Struktur Dinding Geser Model 3 (mm)	Simpangan Ijin (mm)
1	9,948	9,478	8,796	38,462
2	18,212	17,574	16,148	34,615
3	23,338	22,642	20,808	34,615
4	26,792	26,004	23,940	34,615
5	28,684	27,841	25,692	34,615
6	29,106	28,153	26,110	34,615
7	28,761	27,709	25,931	34,615
8	31,944	31,251	30,320	34,615

Dari data analisis yang didapatkan dapat diketahui bahwa nilai simpangan antar tingkat arah x struktur dinding geser model 1 memiliki nilai simpangan lebih kecil dibanding dengan model struktur dinding geser lainnya dengan nilai simpangan terbesar yaitu 32,069 mm. Sedangkan, untuk arah y memiliki simpangan sebesar 31,944 mm. Hal ini menunjukkan bahwa, struktur dinding geser model 1 merupakan model yang paling optimum pada penelitian ini dengan nilai simpangan yang masih dibawah nilai simpangan ijin yang telah ditentukan jika dibandingkan dengan model lainnya.



Gambar 5.12 Rekapitulasi Simpangan Antar Lantai Arah X



Gambar 5.13 Rekapitulasi Simpangan Antar Lantai Arah Y

Pada Grafik di atas dapat dilihat bahwa simpangan arah x pada lantai 4 sampai 7 terdapat nilai yang melebihi batas ijin. Struktur dinding geser model 3 memiliki nilai simpangan terbesar yaitu 38,012 mm pada lantai 7 yang telah melebihi batas ijin yaitu 34,615 mm. Sedangkan, untuk arah Y semua model struktur aman.

5.6 Drift Ratio

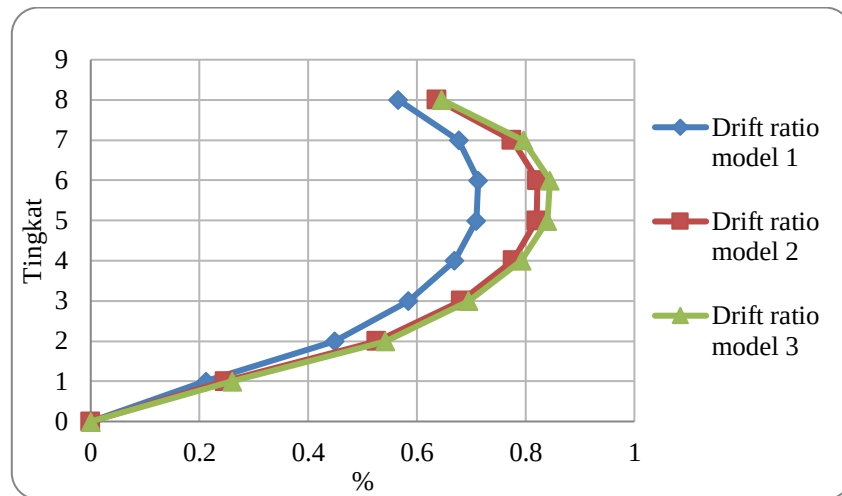
Hasil *drift ratio* akibat beban gempa respons spektrum dapat dilihat pada Tabel 5.29.

Tabel 5.28 Nilai *Drift Ratio* Arah X

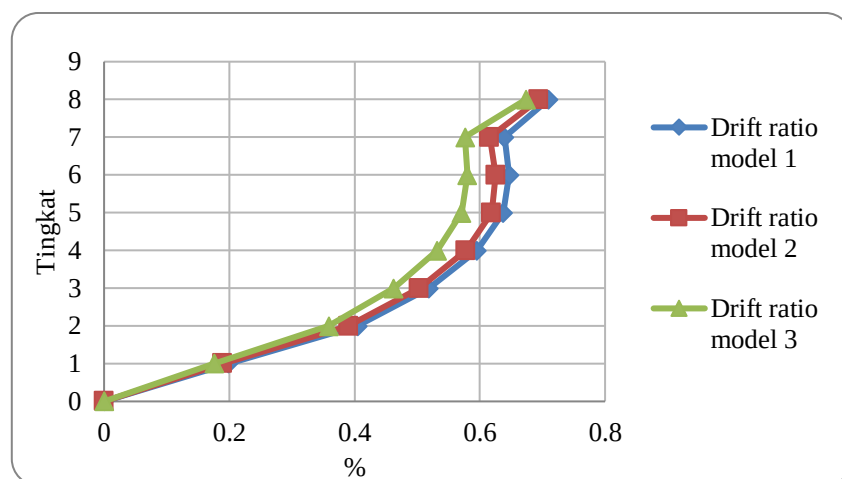
Lantai	<i>Drift Ratio</i> Arah X			
	Tinggi Antar Lantai (mm)	Struktur Model 1 (%)	Struktur Model 2 (%)	Struktur Model 3 (%)
1	5000	0,212	0,247	0,261
2	4500	0,448	0,526	0,542
3	4500	0,584	0,681	0,695
4	4500	0,669	0,777	0,792
5	4500	0,709	0,820	0,840
6	4500	0,713	0,822	0,845
7	4500	0,677	0,775	0,796
8	4500	0,566	0,637	0,646

Tabel 5.29 Nilai *Drift Ratio* Arah Y

Lantai	<i>Drift Ratio</i> Arah Y			
	Tinggi Antar Lantai(mm)	Struktur Model 1 (%)	Struktur Model 2 (%)	Struktur Model 3 (%)
1	5000	0,199	0,190	0,176
2	4500	0,405	0,391	0,359
3	4500	0,519	0,503	0,462
4	4500	0,595	0,578	0,532
5	4500	0,637	0,619	0,571
6	4500	0,647	0,626	0,580
7	4500	0,639	0,616	0,576
8	4500	0,710	0,694	0,674



Gambar 5.14 Nilai *Drift Ratio* Arah X



Gambar 5.15 Nilai *Drift Ratio* Arah Y

Hasil dari nilai *drift ratio* maksimum yang didapat pada masing- masing pemodelan dinding geser pada arah x dan y sebesar 0,845 % dan 0,710% pada pemodelan struktur dinding geser model 1 untuk arah y dan 3 untuk arah x.

Semakin besar nilai *drift ratio* pada suatu struktur bangunan, maka struktur bangunan tersebut memiliki sifat yang fleksibel / kurang kaku. Nilai *drift ratio* pada suatu struktur bangunan bernilai kecil dapat berarti bahwa struktur bangunan tersebut lebih memiliki sifat lebih kaku, Sehingga dengan pemberian dinding geser pada suatu perencanaan bangunan dapat menurunkan nilai simpangan yang terjadi pada setiap lantai bangunan. Pada gambar grafik

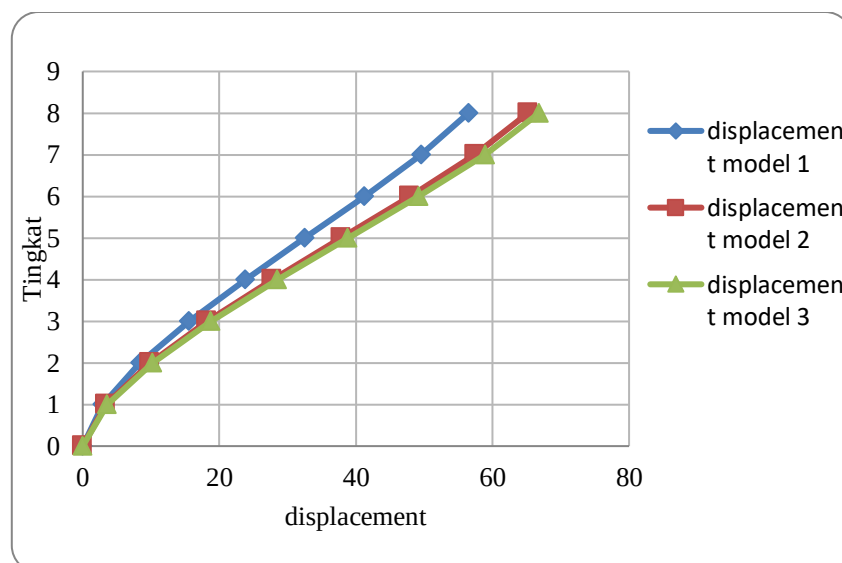
simpangan antar lantai dan grafik *drift ratio* dapat dilihat bahwa model dinding geser 1,2, dan 3 menghasilkan simpangan antar lantai yang berbeda – beda. Hal tersebut menandakan bahwa variabel penempatan dinding geser yang dilakukan dapat mempengaruhi nilai dari simpangan antar lantai yang terjadi.

5.7 Displacement

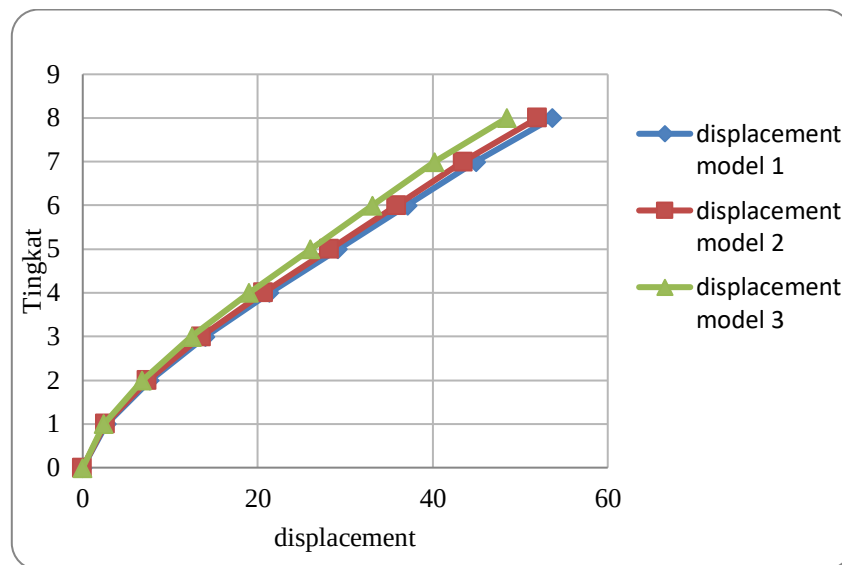
Nilai *displacement* akibat beban respons dapat dilihat pada Tabel 5.31 berikut ini.

Tabel 5.30 Nilai Displacement

Lantai	Displacement					
	Struktur Dinding Geser Model 1 (mm)		Struktur Dinding Geser Model 2 (mm)		Struktur Dinding Geser Model 3 (mm)	
	U1	U2	U1	U2	U1	U2
1	2,89	2,71	3,37	2,59	3,55	2,40
2	8,39	7,68	9,82	7,38	10,21	6,80
3	15,56	4,05	18,18	13,55	18,74	12,48
4	23,77	21,35	27,72	20,65	28,46	19,01
5	32,47	29,18	37,78	28,24	38,77	26,01
6	41,22	37,11	47,87	35,92	49,14	33,14
7	49,53	44,96	57,38	43,47	58,90	40,21
8	56,47	53,67	65,20	52,00	66,82	48,48



Gambar 5.16 Grafik Nilai Displacement X



Gambar 5.16 Grafik Nilai *Displacement* Y

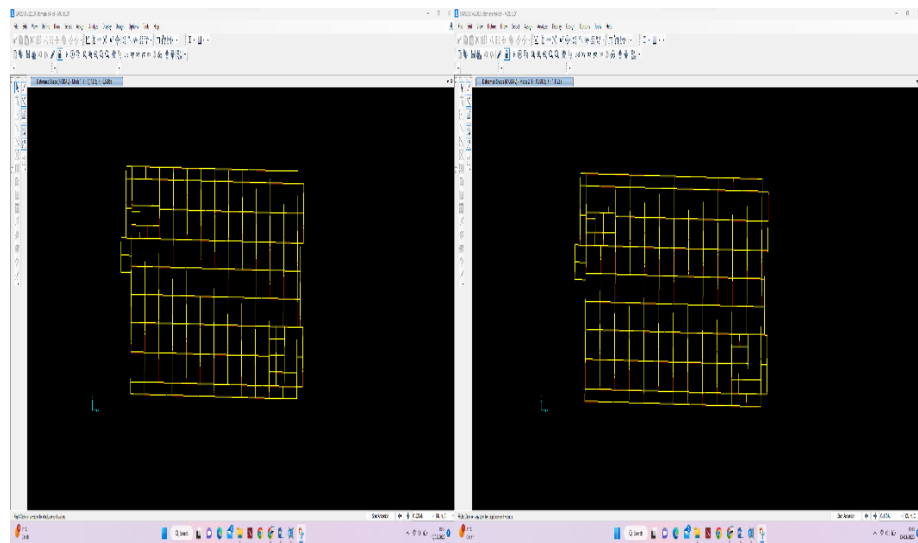
Hasil nilai *displacement* maksimum yang didapat pada masing–masing pemodelan dinding geser pada arah x dan y adalah pemodelan struktur dinding geser model 1 dan 3 yaitu 66,82 mm arah x dan 53,2 mm arah y.

5.8 Pola Simpangan Bangunan

Pola simpangan atau pola goyangan struktur pada bangunan dapat dilihat pada mode shape yang telah ditunjukkan pada aplikasi ETABS V21 sehingga, pada perencanaan gedung dapat dilihat kondisi perlakuan bangunan terhadap beban yang terdapat pada bangunan.

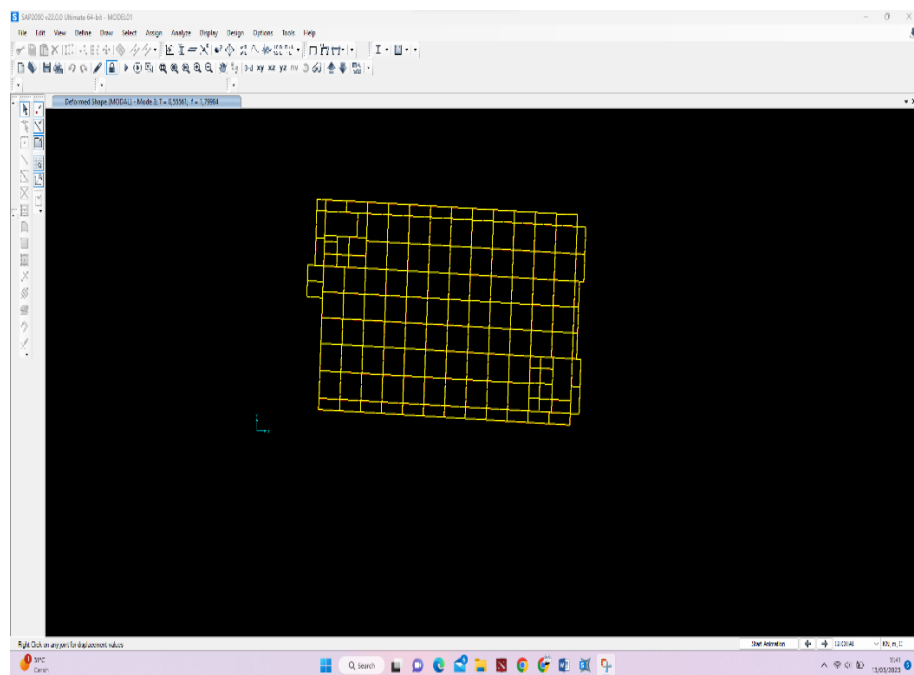
Berdasarkan SNI 1726 2019 Pasal 7.7.3 struktur yang mempunyai ketidakberaturan struktur horizontal Tipe 1a, 1b, 4, atau 5 harus dianalisis menggunakan penggambaran 3 dimensi. Jika model 3 dimensi digunakan, minimum tiga derajat kebebasan dinamik yang terdiri dari translasi dalam dua arah denah ortogonal dan rotasi torsi terhadap sumbu vertikal harus disertakan di masing-masing tingkat struktur. Pola simpangan yang didapatkan dari ETABS V21 dapat dilihat pada gambar berikut ini.

1. Struktur Dinding Geser Model



(a) Mode 1 Translasi

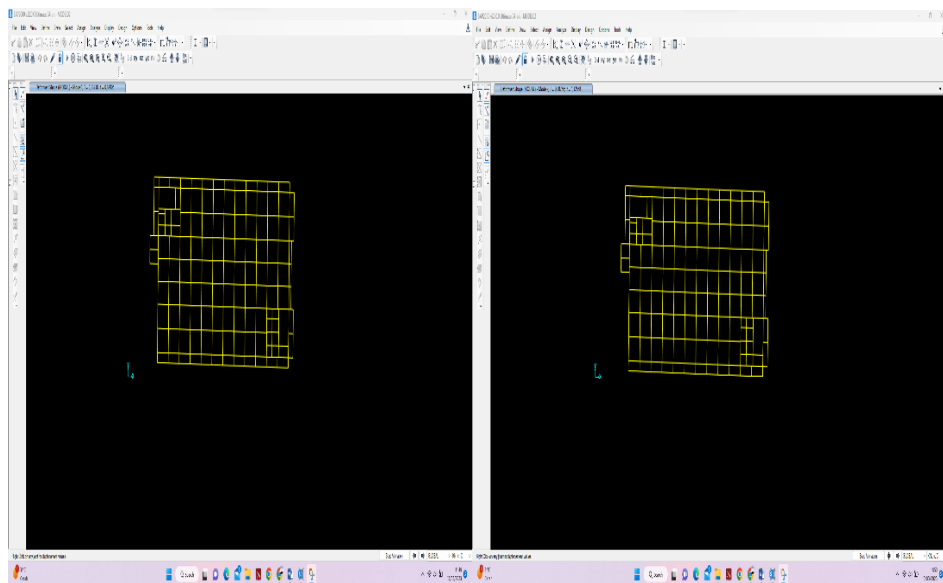
(b) Mode 2 Translasi



(c) Mode 3 Translasi

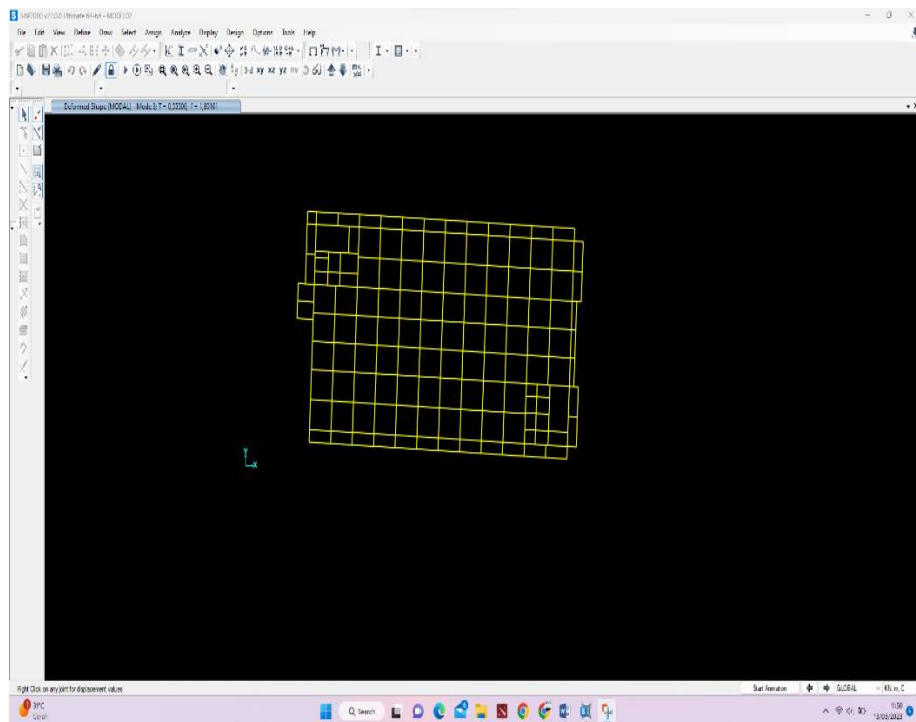
Pola goyangan yang dihasilkan oleh struktur *dinding geser* model 1 menunjukkan pada *mode 1* menunjukkan translasi pada arah x, pada *mode 2* menunjukkan translasi pada arah y, pada *mode 3* menunjukkan pola goyangan rotasi pada perencanaan bangunan.

2. Struktur Dinding Geser Model 2



(a) Mode 1 Translasi

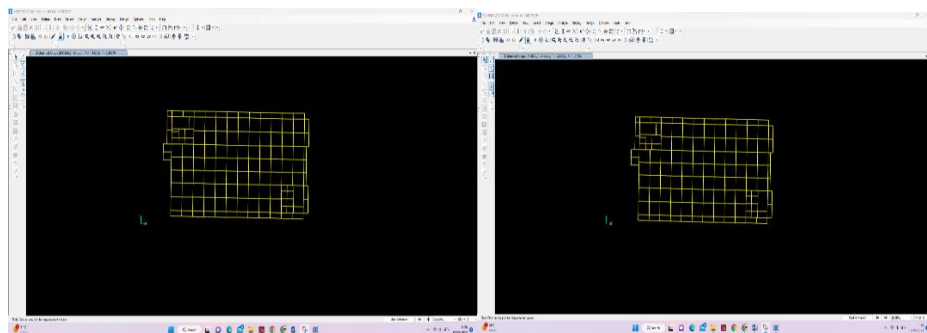
(b) Mode 2 Translasi



(c) Mode 3 Translasi

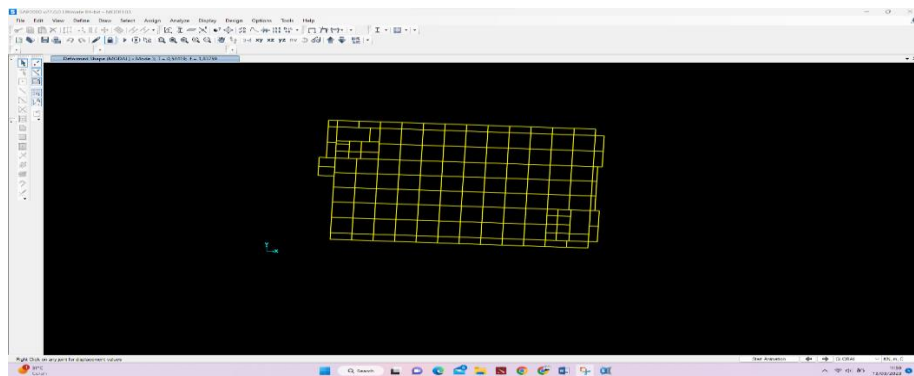
Pola goyangan yang dihasilkan oleh struktur *dinding geser* model 2 menunjukkan pada *mode 1* menunjukkan translasi pada arah x, pada *mode 2* menunjukkan translasi pada arah y, pada *mode 3* menunjukkan pola goyangan rotasi pada perencanaan bangunan.

3. Struktur Dinding Geser Model 3



(a) Mode 1 Translasi

(b) Mode 2 Translasi



(c) Mode 3 Translasi

Pola goyangan yang dihasilkan oleh struktur *dinding geser* model 3 menunjukkan pada *mode 1* menunjukkan translasi pada arah x, pada *mode 2* menunjukkan translasi pada arah y, pada *mode 3* menunjukkan pola goyangan rotasi pada perencanaan bangunan.

5.9 Kontrol SRMPK Dengan 25% Gaya Lateral

Struktur pada model penelitian memiliki sistem ganda, sesuai dengan SNI 1726:2019 Pasal 7.2.2 terkait dengan kombinasi sistem struktur dalam arah yang berbeda yang terdapat pada Tabel 12 bahwa sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25% gaya seismik yang ditetapkan. Untuk itu dilakukan analisis dengan cara menghitung gaya geser yang dipikul pada setiap joint reaction yang ada pada setiap lantai bangunan perencanaan. Frame tersebut dibagi menjadi struktur rangka pemikul

momen dan sistem ganda, kemudian dapat dianalisa presentase yang dipikul oleh masing – masing struktur rangka pemikul momen dan sistem ganda tersebut. Tabel perhitungan kontrol SRMPK dengan 25% gaya lateral dapat dilihat pada lampiran.

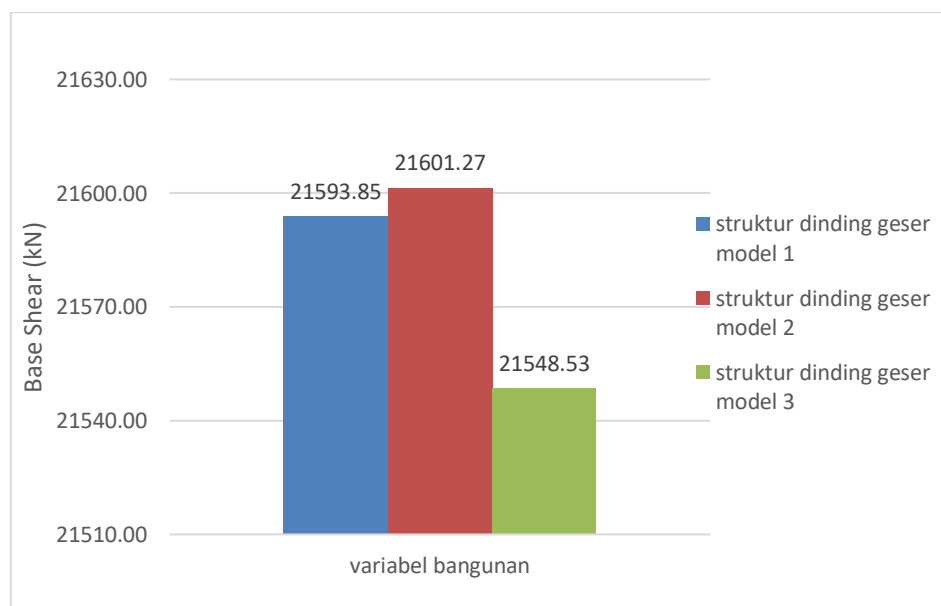
5.10 Komparasi Respon Struktur

1. Base shear

Gaya geser dasar (*base shear*) yang didapatkan pada analisis statik ekuivalen dan analisis kombinasi respons dapat dilihat pada tabel dan gambar berikut ini.

Tabel 5.31 Komparasi Nilai Base Shear

<i>Base Shear</i>		Struktur Model 1 (kN)	Struktur Model 2 (kN)	Struktur Model 3 (kN)
statik	x	21593,8487	21601,2695	21548,528
	y	21593,8487	21601,2694	21548,528
dinamik	x	21594,3624	21601,5211	21549,5913
	y	21598,1681	21601,4249	21548,5302



Gambar 5.17 Komparasi Nilai Base Shear

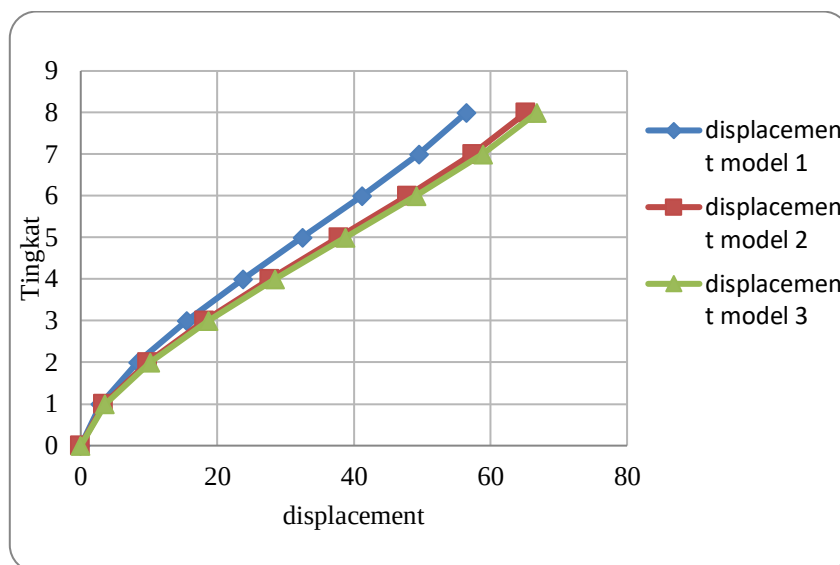
Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.9.1.4.1 tentang penskalaan gaya, disebutkan bahwa kombinasi respons untuk gaya geser dasar (*base shear*) diharuskan tidak boleh kurang dari 100% yang dihitung melalui metode ekuivalen statik. Penskalaan kombinasi respons untuk gaya geser dasar dapat dilakukan dengan V/V_t dengan hasil komparasi harus 100%. Pada model struktur bangunan yang menggunakan dinding geser memiliki nilai geser dasar yang lebih besar dibandingkan dengan struktur tanpa dinding geser.

2. *Displacement*

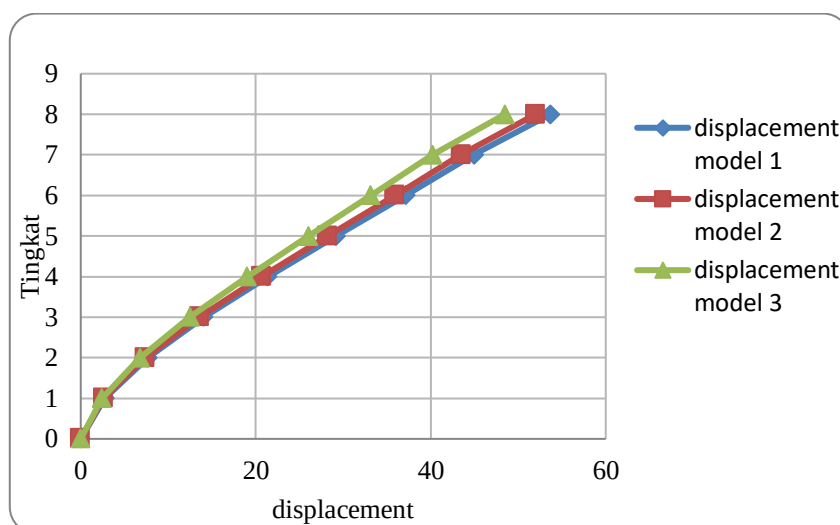
Komparasi *displacement* yang terjadi akibat perbedaan model struktur bangunan dapat dilihat pada Tabel dan Gambar sebagai berikut.

Tabel 5.32 Komparasi Nilai *Displacement*

Lantai	<i>Displacement</i>					
	Struktur Dinding Geser Model 1 (mm)		Struktur Dinding Geser Model 2 (mm)		Struktur Dinding Geser Model 3 (mm)	
	U1	U2	U1	U2	U1	U2
1	2,89	2,71	3,37	2,59	3,55	2,40
2	8,39	7,68	9,82	7,38	10,21	6,80
3	15,56	14,05	18,18	13,55	18,74	12,48
4	23,77	21,35	27,72	20,65	28,46	19,01
5	32,47	29,18	37,78	28,24	38,77	26,01
6	41,22	37,11	47,87	35,92	49,14	33,14
7	49,53	44,96	57,38	43,47	58,90	40,21
8	56,47	53,67	65,20	52,00	66,82	48,48



Gambar 5.18 Grafik Komparasi Nilai *Displacement* arah X



Gambar 5.18 Grafik Komparasi Nilai *Displacement* arah Y

Pada komparasi *displacement* dapat dilihat bahwa penurunan yang signifikan terjadi karena terdapat perletakan dinding geser pada pemodelan dengan struktur dinding geser. Pada hasil komparasi dapat dilihat bahwa nilai *displacement* terbesar pada arah x dan y terletak pada pemodelan struktur dinding geser model 1 dan 3 sedangkan perletakan dinding geser model 1 merupakan nilai yang paling optimum dalam analisis *displacement*.

Menurut Batu, dkk (2016), model struktur yang baik untuk mereduksi efek pada bangunan adalah model struktur dengan perletakan dinding geser yang dipasang mengelilingi pusat massa bangunan, dengan beragam bentuk bangunan yang tidak beraturan dianjurkan untuk menempatkan dinding geser pada pusat massa bangunan ataupun mengarah pada pusat massa bangunan, dengan perletakan dinding geser bentuk L- Shape di setiap sudut bangunan dapat menekan nilai simpangan yang terjadi pada bangunan struktur.

3. Komparasi Nilai *Drift Ratio*

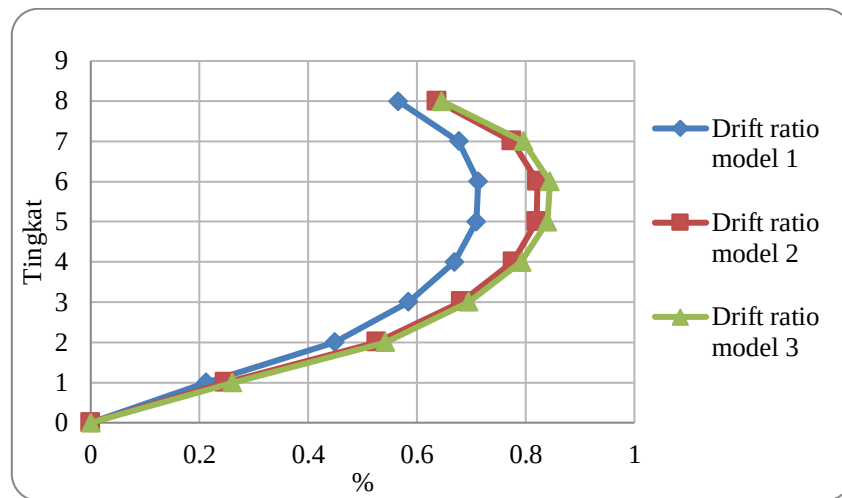
Komparasi *drift ratio* yang terjadi akibat perbedaan model struktur bangunan dapat dilihat pada Tabel dan Gambar sebagai berikut.

Tabel 5.33 Komparasi Nilai *Drift Ratio* Arah X

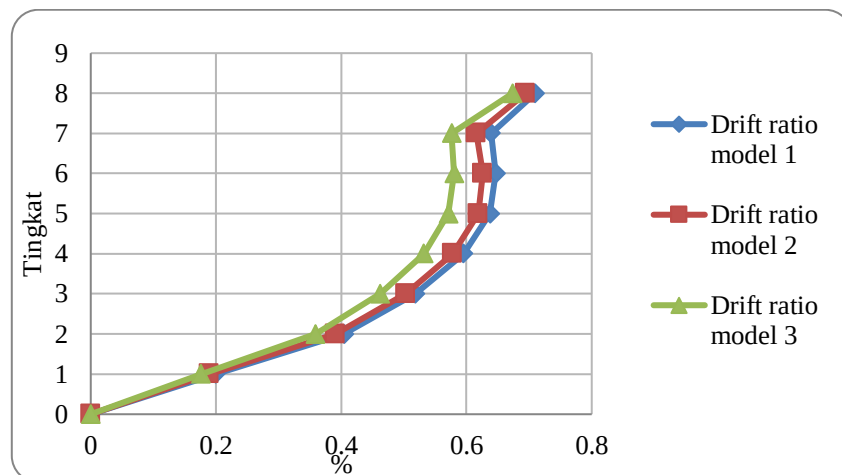
Lantai	<i>Drift Ratio</i> Arah X			
	Tinggi Antar Lantai(mm)	Struktur Dinding Geser Model 1 (%)	Struktur Dinding Geser Model 2 (%)	Struktur Dinding Geser Model 3 (%)
1	5000	0,212	0,247	0,261
2	450	0,448	0,526	0,542
3	4500	0,584	0,681	0,695
4	4500	0,669	0,777	0,792
5	4500	0,709	0,820	0,840
6	4500	0,713	0,822	0,845
7	4500	0,677	0,775	0,796
8	4500	0,566	0,637	0,646

Tabel 5.34 Komparasi Nilai *Drift Ratio* Arah Y

Lantai	<i>Drift Ratio</i> Arah Y			
	Tinggi Antar Lantai(mm)	Struktur Dinding Geser Model 1 (%)	Struktur Dinding Geser Model 2 (%)	Struktur Dinding Geser Model 3 (%)
1	5000	0,199	0,190	0,176
2	4500	0,405	0,391	0,359
3	4500	0,519	0,503	0,462
4	4500	0,595	0,578	0,532
5	4500	0,637	0,619	0,571
6	4500	0,647	0,626	0,580
7	4500	0,639	0,616	0,576
8	4500	0,710	0,694	0,674



Gambar 5.19 Grafik Komparasi Nilai *Drift Ratio* Arah X



Gambar 5.20 Grafik Komparasi Nilai *Drift Ratio* Arah Y

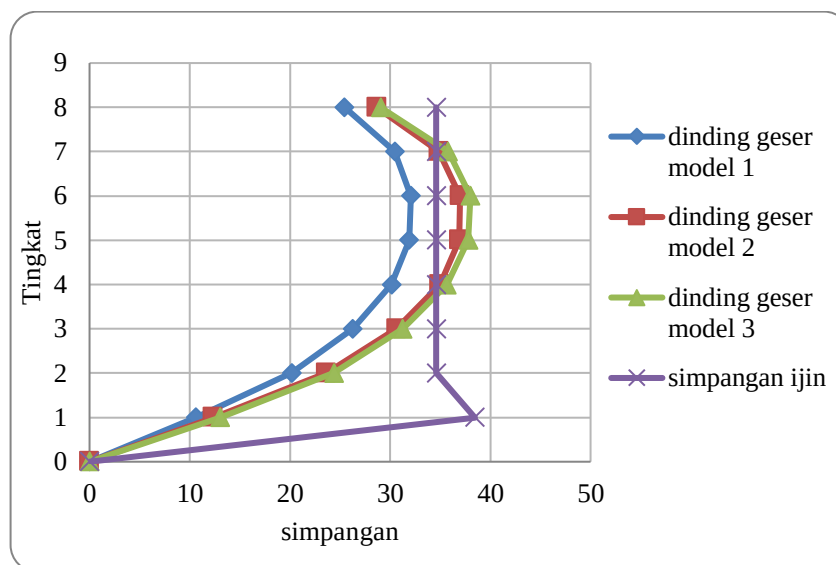
Pada komparasi nilai perbandingan *drift ratio* didapat pada masing – masing pemodelan struktur dinding geser nilai maximum pada arah x dan y terdapat pada pemodelan struktur dinding geser model 1 dan 3.

Pada perencanaan bangunan dengan menggunakan dinding geser dan adanya variasi dinding geser akan mempengaruhi nilai *drift ratio* yang terjadi. Dapat dilihat dari grafik diatas nilai *drift ratio* model 1 memiliki nilai yang signifikan pada arah x jika dibandingkan dengan model 2 dan 3 sedangkan pada arah y model 3 memiliki nilai yang signifikan jika

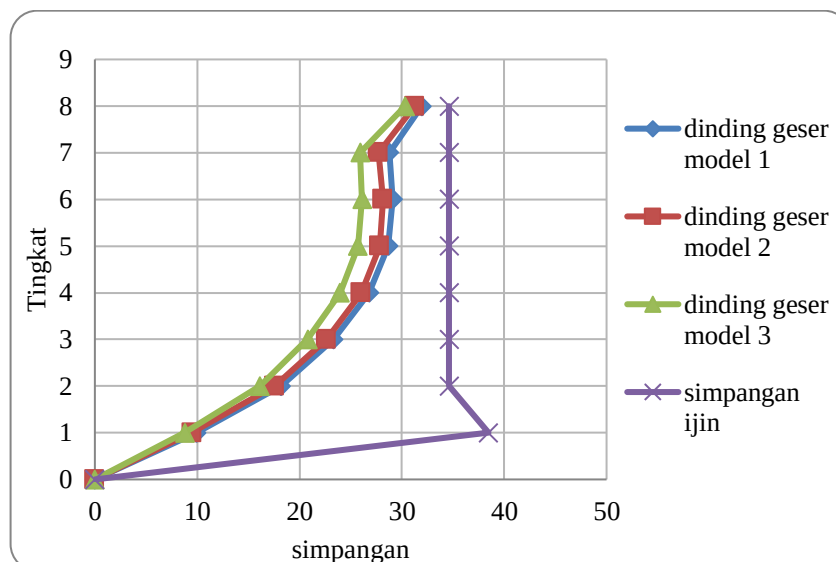
dibandingkan dengan model 1 dan 2.

4. Komparasi Nilai Simpangan Antar Lantai

Komparasi simpangan antar lantai yang terjadi akibat perbedaan model struktur bangunan dapat dilihat pada Tabel dan Gambar sebagai berikut.



Gambar 5.21 Komparasi Nilai Simpangan Antar Lantai Arah X



Gambar 5.22 Komparasi Nilai Simpangan Antar Lantai Arah Y

Tabel 5.35 Rekapitulasi Simpangan Antar Lantai Arah X

Lantai	Simpangan Antar Lantai Arah X			
	Struktur Dinding Geser Model 1 (mm)	Struktur Dinding Geser Model 2 (mm)	Struktur Dinding Geser Model 3 (mm)	Simpangan Ijin (mm)
1	10,589	12,349	13,031	38,462
2	20,170	23,665	24,394	34,615
3	26,286	30,661	31,269	34,615
4	30,122	34,951	35,655	34,615
5	31,900	36,916	37,803	34,615
6	32,069	36,978	38,012	34,615
7	30,455	34,874	35,805	34,615
8	25,450	28,681	29,051	34,615

Tabel 5.36 Rekapitulasi Simpangan Antar Lantai Arah Y

Lantai	Simpangan Antar Lantai Arah Y			
	Struktur Dinding Geser Model 1 (mm)	Struktur Dinding Geser Model 2 (mm)	Struktur Dinding Geser Model 3 (mm)	Simpangan Ijin (mm)
1	9,948	9,478	8,796	38,462
2	18,212	17,574	16,148	34,615
3	23,338	22,642	20,808	34,615
4	26,792	26,004	23,940	34,615
5	28,684	27,841	25,692	34,615
6	29,106	28,153	26,110	34,615
7	28,761	27,709	25,931	34,615
8	31,944	31,251	30,320	34,615

simpangan antar lantai menunjukkan berbagai hasil yang berbeda dari beberapa tipe model dinding geser. Dari ke 3 model yang ada, hanya model 1 yang memenuhi simpangan ijin yang ada untuk arah x dan arah y. Sehingga model 1 merupakan hasil yang paling optimum pada penelitian ini.

Pada penelitian ini, meskipun memiliki batasan untuk tidak melakukan analisis ulang terhadap elemen struktur seperti balok, kolom, dan pelat, namun dilakukan pengecekan menggunakan software ETABS v21 terhadap ketiga elemen tersebut. Hasil pengecekan menunjukkan beberapa nilai yang tidak memenuhi syarat SNI 1726-2019 sehingga, perlu adanya pengecekan ulang terhadap dimensi balok, kolom dan pelat yang digunakan.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang didapatkan dari hasil analisis ETABS V21 sebagai berikut.

1. Dari model struktur didapatkan nilai *base shear* adalah sebagai berikut.
 - a. Ke tiga model struktur memiliki gaya geser dasar yang tidak memenuhi syarat yaitu gaya geser dinamik $> 100\%$ gaya geser statik equivalen sehingga perlu adanya *trial scale factor* yang baru.
 - b. Setelah dilakukan *scale factor* baru didapatkan nilai gaya geser terbesar arah x sebesar 21601,52 kN dan 21601,42 kN pada model 2.
2. *Displacement* yang dihasilkan dari ketiga pemodelan struktur adalah sebagai berikut.
 - a. Pemodelan dinding geser model 3 memiliki nilai *displacement* arah x paling tinggi yaitu 66,82 mm sedangkan, dinding struktur 1 memiliki nilai *displacement* arah y paling tinggi yaitu 53,67 mm pada lantai 8.
 - b. Nilai *displacement* arah x pada model 1 memiliki nilai yang signifikan dibanding yang lain sedangkan untuk arah y nilai *displacement* tidak terlalu signifikan.
 - c. Sehingga struktur model 1 merupakan model yang paling optimum jika dilihat dari nilai *displacement* yang terjadi.
3. Nilai simpangan antar lantai adalah sebagai berikut.
 - a. Struktur dinding geser model 2 dan 3 pada lantai 4

sampai 7 arah x memiliki simpangan antar lantai yang melebihi batas ijin simpangan yaitu 34, 615 mm.

- b. Struktur dinding geser model 3 memiliki nilai simpangan yang terbesar pada arah x yaitu 38,012 mm.
 - c. Pada arah y semua model memiliki nilai yang dibawah simpangan ijin. Nilai terbesar yang didapat adalah pada model 1 yaitu 31,944 mm.
 - d. Jika dilihat dari nilai simpangan lantai yang terjadi, struktur model 1 memiliki nilai yang paling efektif terutama pada arah X karena nilai simpangan yang terjadi masih dibawah nilai simpangan ijin.
4. Perbandingan nilai *Drift ratio* adalah sebagai berikut.
- a. Hasil nilai terbesar dari *drift ratio* arah x maupun arah y adalah 0,845 % dan 0,710% pada pemodelan struktur dinding geser model 3 dan 1.
 - b. Hasil nilai terkecil dari *drift ratio* arah x maupun y yaitu 0,713 % dan 0,674% pada model 1 dan 3.
 - c. Dari hasil grafik komparasi nilai *drift ratio* yang didapatkan, dapat dilihat model 1 memiliki hasil *drift ratio* yang paling efektif dibanding dengan model 2 dan 3 sehingga, apabila dilihat dari segi *drift ratio* yang terjadi model 1 memiliki nilai *drift ratio* yang paling efektif.
5. Pola goyangan pada masing-masing struktur memiliki translasi pada mode pertama, translasi pada mode ke-dua, dan rotasi pada mode ke-tiga. Translasi pada perencanaan bangunan yang dihasilkan dapat terjadi pada arah x maupun arah y tergantung kepada penempatan dinding geser pada bangunan.

6.2 Saran

Beberapa saran yang dapat diberikan sebagai pengembangan dalam penelitian ini diuraikan sebagai berikut ini.

1. Pada penelitian selanjutnya dapat menggunakan variasi bentuk dan penempatan yang berbeda serta dimensi dinding geser yang berbeda.
2. Menggunakan analisis time history dengan menyesuaikan peraturan SNI 1726:2019 ataupun peraturan terbaru lainnya.
3. ada penelitian berikutnya dapat melakukan analisis elemen struktur secara keseluruhan terhadap balok, kolom, dan pelat.
4. Pada penelitian mendatang, bisa dipertimbangkan untuk menambahkan variabel lain dalam merespon gaya lateral, seperti menggabungkan model struktur bracing dan outrigger.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional, (2002). *SNI 1726-2002: Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung SNI*. BSN Jakarta
- Badan Standarisasi Nasional, (2013). *SNI 1727-2013: Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain*. BSN Jakarta
- Badan Standarisasi Nasional, (2019). *SNI 1726-2019: Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung*. BSN Jakarta
- Badan Standarisasi Nasional, (2020). *SNI 1727-2020: Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur lain*. BSN Jakarta
- Hatmoko, John Tri, Suryadharma, and Y Hendra 2013 “Prediksi Pencairan Tanah Akibat Gempa di Daerah Istimewa Yogyakarta.”
- Nasution, Amrinsyah, 2009 “Analisis dan Desain Struktur Beton Bertulang”. Bandung: ITB Press
- Batu, Mikael Lumban, Servie O. Dapas, and Steenie E. Wallah. 2016. “Efisiensi Penggunaan Dinding Geser Untuk Mereduksi Efek Torsi Pada Bangunan Yang Tidak Beraturan.” *Jurnal Sipil Statik* 4(1).
- Faddilah, Alfi. 2019. “Analisis Pengaruh Letak Dinding Geser Pada Gedung Bertingkat Dalam Menghadapi Gaya Lateral Gempa (Struktur Asrama Pusdiklat Bumi Suci Maitreya, Pekanbaru).” (April):33–35.
- Hartuti, Evi Rine. 2009. “Buku Pintar Gempa (Yogyakarta).”
- Majore, Braien Octavianus, Steenie E. Wallah, and Servie O. Dapas. 2015. “Studi Perbandingan Respons Dinamik Bangunan Bertingkat Banyak Dengan Variasi Tata Letak Dinding Geser.” *Jurnal Sipil Statik* 3(6).
- Mentari, Sekar. 2020. “Respon Struktur Gedung Bertingkat Banyak Dengan Layout Persegi Panjang Menggunakan Dinding Geser Di Perimeter Bagian Luar Dan Bagian Dalam.” *Jurnal Teknik Sipil* 16(2):157–71.
- Prathama, Anas Hoga. 2021. “Komparasi Respon Dinamik Struktur Pada Gedung

Bertingkat Dengan Variasi Bentuk Dan Penempatan Dinding Geser Mengacu SNI 1726-2019.”

Purwono, Rachmat, Aman Subakti, I. Wimbadi, and M. Irmawan. 2005. “Perencanaan Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa.” *Surabaya: ITS Pers.*

Reksoraharjo, Joshua Manggala. 2017. “1. Analisis Pengaruh Letak Dinding Geser Pada Gedung Bertingkat Dalam Menghadapi Gaya Lateral Gempa (Struktur Asrama Pusdiklat Bumi Suci Maitreya, Pekanbaru).”

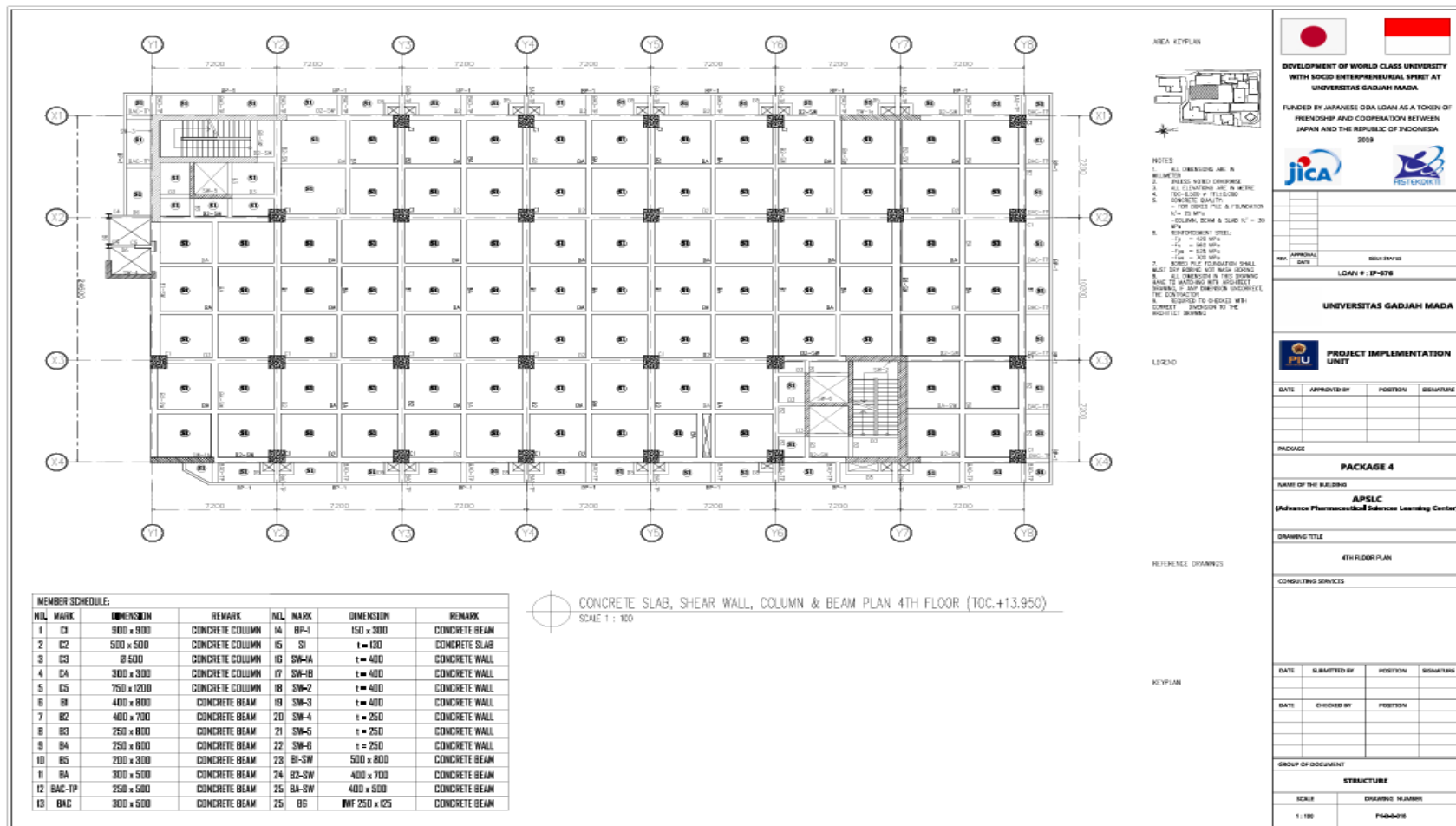
Teruna, Daniel Rumbi. 2007. “Perencanaan Bangunan Tahan Gempa Dengan Menggunakan Base Isolator (LRB).” in *Prosiding Seminar dan Pameran Haki*. Vol. 2007.

Usmat, Nurul Anggraini, Imran Imran, and Mufti Amir Sultan. 2019. “Analisa Letak Dinding Geser (Shear Wall) Terhadap Perilaku Struktur Gedung Akibat Beban Gempa.” *Techno: Jurnal Penelitian* 8(2):297–307.

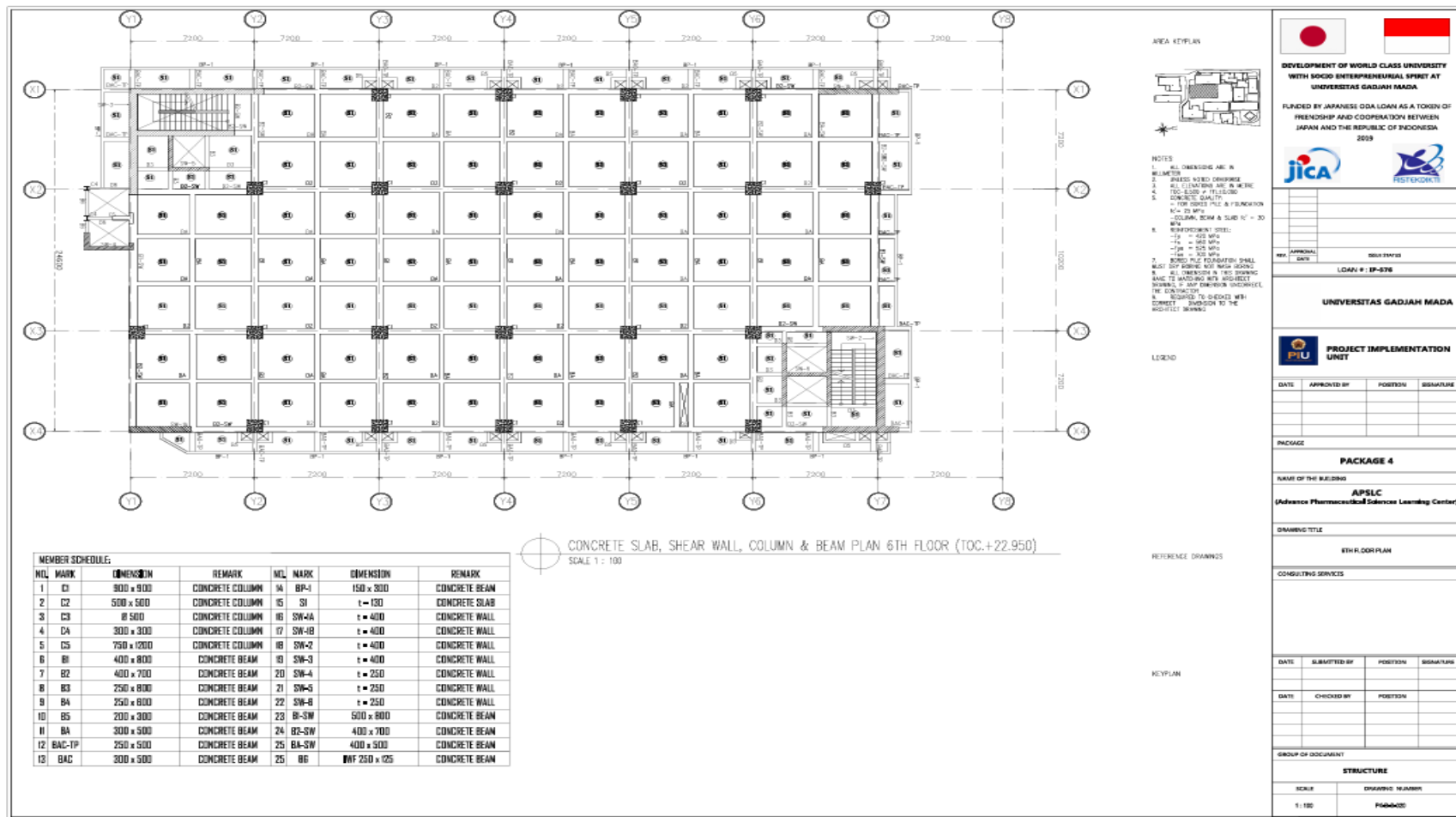
Wijayana, Hendra, Eka Susanti, and Yanisfa Septiarsilia. 2020. “Studi Perbandingan Letak Shear Wall Terhadap Perilaku Struktur Dengan Menggunakan SNI 1726: 2019 Dan SNI 2847: 2019.” Pp. 467–74 in *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan*. Vol. 1.

LAMPIRAN

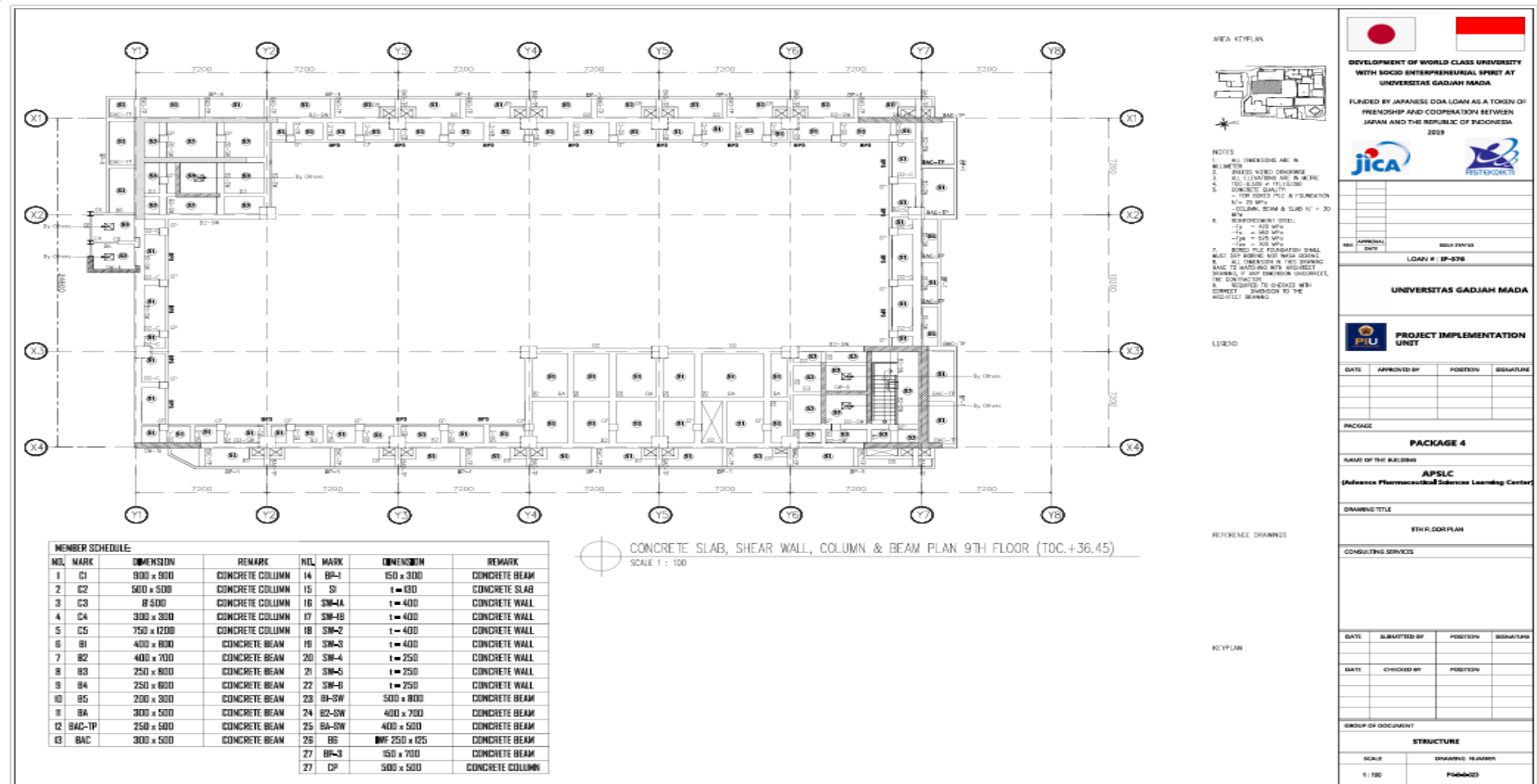
Lampiran 2 Denah Eksisting Struktur Gedung APSLC UGM Lantai 4 dan 5



Lampiran 3 Denah Eksisting Struktur Gedung APSLC UGM Lantai 6, 7 dan 8



Lampiran 4 Denah Eksisting Struktur Gedung APSLC UGM Lantai 9



Lampiran 5 Prosedur Analisis yang Diizinkan

Kategori desain seismik	Karakteristik struktur	Analisis gaya lateral ekuivalen pasal 0	Analisis spektrum respons ragam pasal 0	Prosedur respons riwayat waktu seismik pasal 0
B, C	Semua struktur	I	I	I
D, E, F	Bangunan dengan kategori risiko I atau II yang tidak lebih 2 tingkat diatas dasar	I	I	I
	Struktur tanpa ketidakberaturan struktural dan ketinggiannya tidak melebihi 48,8 m	I	I	I
	Struktur tanpa ketidakberaturan struktural dengan ketinggian melebihi 48,8 m dan $T < 3,5 T_s$	I	I	I
	Struktur dengan ketinggian tidak melebihi 48,8 m dan hanya memiliki ketidakberaturan horizontal tipe 2,3,4 atau 5 atau ketidakberaturan vertikal tipe 4, 5a atau 5b	I	I	I
	Semua struktur lainnya	TI	I	I

Sumber SNI 1726:2019 Pasal 7.7.2

Lampiran 6 Kategori Risiko Bangunan Gedung beban gempa

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
<p>Gedung dan nongedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan - Fasilitas sementara - Gudang penyimpanan - Rumah jaga dan struktur kecil lainnya 	I
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko 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 	II
<p>Gedung dan nongedung yang memiliki risiko 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 bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas penitipan anak - Penjara - Bangunan untuk orang jompo <p>Gedung dan nongedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pusat pembangkit listrik biasa - Fasilitas penanganan air - Fasilitas penanganan limbah - Pusat telekomunikasi <p>Gedung dan nongedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak di mana jumlah kandungan bahannya melebihi nilai batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p>	III

Sumber SNI 1726:2019

Lampiran 6 Kategori Risiko Bangunan Gedung beban gempa (Lanjutan)

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
<p>Gedung dan nongedung yang dikategorikan 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 ibadah - Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat - Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat - Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya - Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat - Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat - Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat <p>Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</p>	IV

Sumber SNI 1726:2019

Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

Sumber SNI 1726:2019

Lampiran 7 Faktor R, Cd, dan Ω_0 untuk sistem pemikul gaya seismik

Sistem pemikul gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat lebih sistem, Ω_0^b	Faktor pembesaran defleksi, C_d^c	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m) ^d				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^e	E ^e	F ^f
A. Sistem dinding penumpu								
1. Dinding geser beton bertulang khusus ^{g,h}	5	2½	5	TB	TB	48	48	30
2. Dinding geser beton bertulang biasa ^g	4	2½	4	TB	TB	TI	TI	TI
3. Dinding geser beton polos didetail ^g	2	2½	2	TB	TI	TI	TI	TI
4. Dinding geser beton polos biasa ^g	1½	2½	1½	TB	TI	TI	TI	TI
5. Dinding geser pracetak menengah ^g	4	2½	4	TB	TB	12'	12'	12'
6. Dinding geser pracetak biasa ^g	3	2½	3	TB	TI	TI	TI	TI
7. Dinding geser batu bata bertulang khusus	5	2½	3½	TB	TB	48	48	30
8. Dinding geser batu bata bertulang menengah	3½	2½	2¼	TB	TB	TI	TI	TI
9. Dinding geser batu bata bertulang biasa	2	2½	1¾	TB	48	TI	TI	TI
10. Dinding geser batu bata polos didetail	2	2½	1¾	TB	TI	TI	TI	TI
11. Dinding geser batu bata polos biasa	1½	2½	1¾	TB	TI	TI	TI	TI
12. Dinding geser batu bata prategang	1½	2½	1¾	TB	TI	TI	TI	TI
13. Dinding geser batu bata ringan (AAC) bertulang biasa	2	2½	2	TB	10	TI	TI	TI
14. Dinding geser batu bata ringan (AAC) polos biasa	1½	2½	1½	TB	TI	TI	TI	TI
15. Dinding rangka ringan (kayu) dilapisi dengan panel struktur kayu yang ditujukan untuk tahanan geser, atau dengan lembaran baja	6½	3	4	TB	TB	20	20	20
16. Dinding rangka ringan (baja canai dingin) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang ditujukan untuk tahanan geser, atau dengan lembaran baja	6½	3	4	TB	TB	20	20	20
17. Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya	2	2½	2	TB	TB	10	TI	TI
18. Sistem dinding rangka ringan (baja canai dingin) menggunakan bresing strip datar	4	2	3½	TB	TB	20	20	20
B. Sistem rangka bangunan								
1. Rangka baja dengan bresing eksentris	8	2	4	TB	TB	48	48	30
2. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	6	2	5	TB	TB	48	48	30
3. Rangka baja dengan bresing konsentris biasa	3¼	2	3¼	TB	TB	10'	10'	TI'
4. Dinding geser beton bertulang khusus ^{g,h}	6	2½	5	TB	TB	48	48	30
5. Dinding geser beton bertulang biasa ^g	5	2½	4½	TB	TB	TI	TI	TI
6. Dinding geser beton polos detail ^g	2	2½	2	TB	TI	TI	TI	TI
7. Dinding geser beton polos biasa ^g	1½	2½	1½	TB	TI	TI	TI	TI
8. Dinding geser pracetak menengah ^g	5	2½	4½	TB	TB	12'	12'	12'
9. Dinding geser pracetak biasa ^g	4	2½	4	TB	TI	TI	TI	TI
10. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing eksentris	8	2	4	TB	TB	48	48	30
11. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	5	2	4½	TB	TB	48	48	30
12. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing biasa	3	2	3	TB	TB	TI	TI	TI
13. Dinding geser pelat baja dan beton komposit	6½	2½	5½	TB	TB	48	48	30
14. Dinding geser baja dan beton komposit khusus	6	2½	5	TB	TB	48	48	30
15. Dinding geser baja dan beton komposit biasa	5	2½	4½	TB	TB	TI	TI	TI
16. Dinding geser batu bata bertulang khusus	5½	2½	4	TB	TB	48	48	30
17. Dinding geser batu bata bertulang menengah	4	2½	4	TB	TB	TI	TI	TI
18. Dinding geser batu bata bertulang biasa	2	2½	2	TB	48	TI	TI	TI

Sumber SNI 1726:2019

Lampiran 7 Faktor R, Cd, dan Ω_0 untuk sistem pemikul gaya seismik (Lanjutan)

Sistem pemikul gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat lebih sistem, Ω_0^b	Faktor pembesaran defleksi, C_d^c	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_s (m) ^d				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^e	E ^e	F ^f
19. Dinding geser batu bata polos didetail	2	2½	2	TB	TI	TI	TI	TI
20. Dinding geser batu bata polos biasa	1½	2½	1¼	TB	TI	TI	TI	TI
21. Dinding geser batu bata prategang	1½	2½	1¼	TB	TI	TI	TI	TI
22. Dinding rangka ringan (kayu) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang dimaksudkan untuk tahanan geser	7	2½	4½	TB	TB	22	22	22
23. Dinding rangka ringan (baja canal dingin) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang dimaksudkan untuk tahanan geser, atau dengan lembaran baja	7	2½	4½	TB	TB	22	22	22
24. Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya	2½	2½	2½	TB	TB	10	TB	TB
25. Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2½	5	TB	TB	48	48	30
26. Dinding geser pelat baja khusus	7	2	6	TB	TB	48	48	30
C. Sistem rangka pemikul momen								
1. Rangka baja pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5½	TB	TB	48	30	TI
3. Rangka baja pemikul momen menengah	4½	3	4	TB	TB	10 ^g	TI ^h	TI ^h
4. Rangka baja pemikul momen biasa	3½	3	3	TB	TB	TI ⁱ	TI ⁱ	TI ⁱ
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus ^m	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
8. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
9. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
10. Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen	6	3	5½	48	48	30	TI	TI
11. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
12. Rangka baja canal dingin pemikul momen khusus dengan pembautan ⁿ	3½	3 ^o	3½	10	10	10	10	10
D. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25 % gaya seismik yang ditetapkan								
1. Rangka baja dengan bresing eksentris	8	2½	4	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus	7	2½	5½	TB	TB	TB	TB	TB
3. Dinding geser beton bertulang khusus ^{a,h}	7	2½	5½	TB	TB	TB	TB	TB
4. Dinding geser beton bertulang biasa ^g	6	2½	5	TB	TB	TI	TI	TI
5. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing eksentris	8	2½	4	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	6	2½	5	TB	TB	TB	TB	TB
7. Dinding geser pelat baja dan beton komposit	7½	2½	6	TB	TB	TB	TB	TB
8. Dinding geser baja dan beton komposit khusus	7	2½	6	TB	TB	TB	TB	TB
9. Dinding geser baja dan beton komposit biasa	6	2½	5	TB	TB	TI	TI	TI
10. Dinding geser batu bata bertulang khusus	5½	3	5	TB	TB	TB	TB	TB
11. Dinding geser batu bata bertulang menengah	4	3	3½	TB	TB	TI	TI	TI
12. Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2½	5	TB	TB	TB	TB	TB
13. Dinding geser pelat baja khusus	8	2½	6½	TB	TB	TB	TB	TB

Sumber SNI 1726:2019

Lampiran 7 Faktor R, Cd, dan Ω_0 untuk sistem pemikul gaya seismik (Lanjutan)

Sistem pemikul gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat lebih sistem, Ω_0^b	Faktor pembesaran defleksi, C_d^c	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m) ^d				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^e	E ^e	F ^f
E. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen menengah mampu menahan paling sedikit 25 % gaya seismik yang ditetapkan								
1. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus ^g	6	2½	5	TB	TB	10	TI	TI
2. Dinding geser beton bertulang khusus ^{g,h}	6½	2½	5	TB	TB	48	30	30
3. Dinding geser batu bata bertulang biasa	3	3	2½	TB	48	TI	TI	TI
4. Dinding geser batu bata bertulang menengah	3½	3	3	TB	TB	TI	TI	TI
5. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing konsentris khusus	5½	2½	4½	TB	TB	48	30	TI
6. Rangka baja dan beton komposit dengan bresing biasa	3½	2½	3	TB	TB	TI	TI	TI
7. Dinding geser baja dan beton komposit biasa	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
8. Dinding geser beton bertulang biasa ^g	5½	2½	4½	TB	TB	TI	TI	TI
F. Sistem interaktif dinding geser-rangka dengan rangka pemikul momen beton bertulang biasa dan dinding geser beton bertulang biasa^g	4½	2½	4	TB	TI	TI	TI	TI
G. Sistem kolom kantilever didetail untuk memenuhi persyaratan untuk :								
1. Sistem kolom baja dengan kantilever khusus	2½	1¼	2½	10	10	10	10	10
2. Sistem kolom baja dengan kantilever biasa	1¼	1¼	1¼	10	10	TI ⁱ	TI ⁱ	TI ⁱ
3. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus ^h	2½	1¼	2½	10	10	10	10	10
4. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	1½	1¼	1½	10	10	TI	TI	TI
5. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	1	1¼	1	10	TI	TI	TI	TI
6. Rangka kayu	1½	1¼	1½	10	10	10	TI	TI
H. Sistem baja tidak didetail secara khusus untuk ketahanan seismik, tidak termasuk sistem kolom kantilever	3	3	3	TB	TB	TI	TI	TI

Sumber SNI 1726:2019

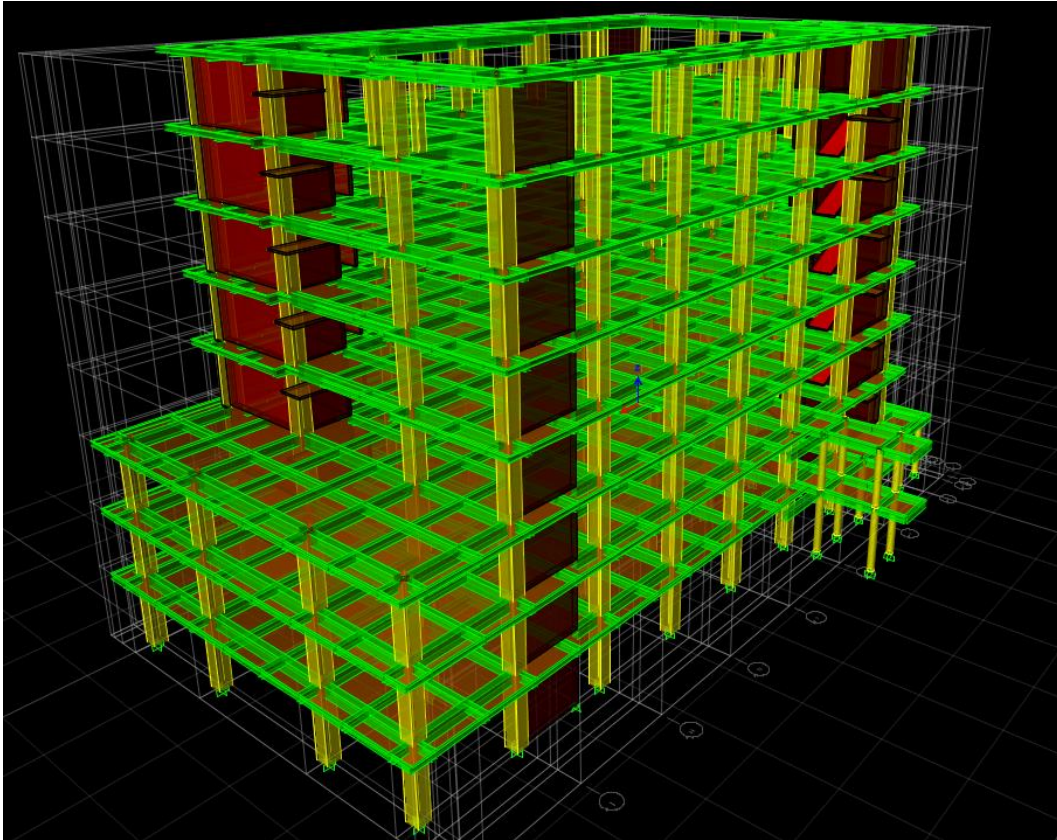
Lampiran 8 Konsekuensi Ketidakberaturan

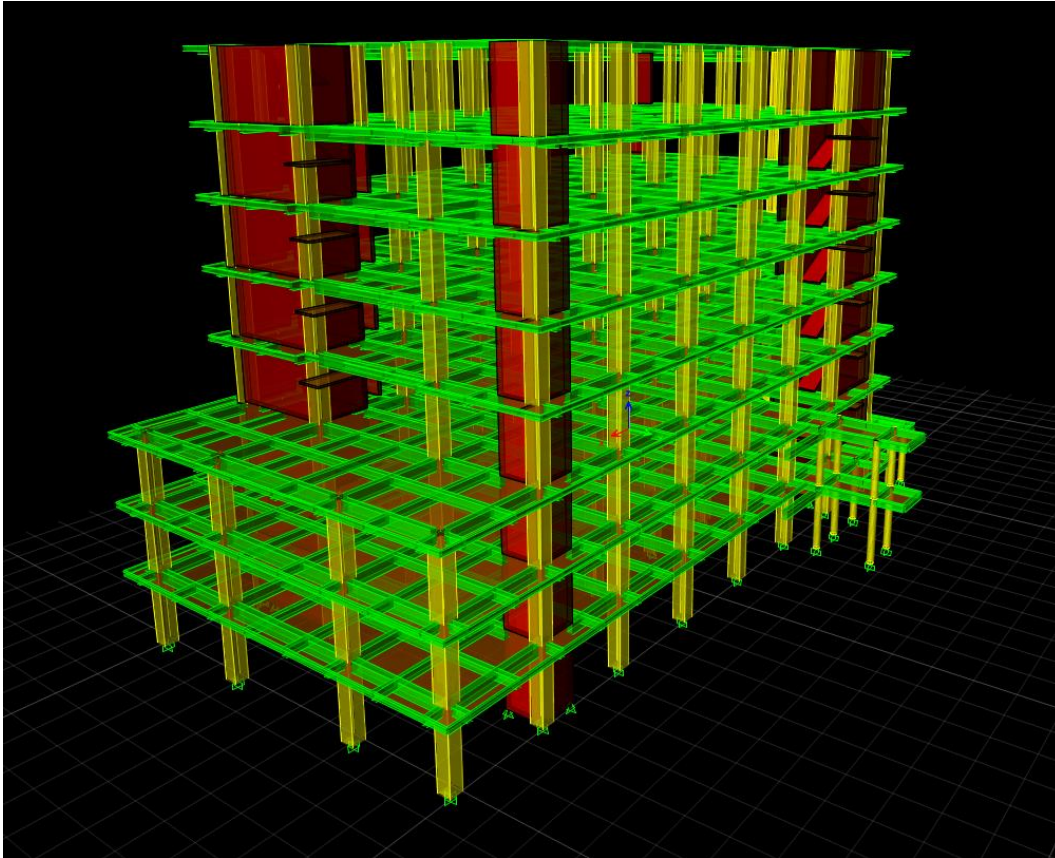
Ketidakberaturan Horizontal		
Tipe	Pasal	Keterangan
Ketidakberaturan Torsi (tipe 1a)	7.3.3.4	Peningkatan gaya desain diafragma sebesar 25 % untuk elemen-elemen sistem pemikul gaya seismik
	7.7.3	Pemodelan menggunakan 3 dimensi dan memperhitungkan penampang retak pada elemen struktur
	7.8.4.3	Pembesaran momen torsi tak terduga
	7.12.1	Batasan simpangan antar tingkat
	Tabel 16	Prosedur analisis yang diizinkan
	11.3.4	Eksentrisitas tak terduga diasumsikan sebesar 5 % dimensi diafragma
Ketidakberaturan Torsi Berlebihan (tipe 1b)	7.3.3.4	Peningkatan gaya desain diafragma sebesar 25 % untuk elemen-elemen sistem pemikul gaya seismik
	7.7.3	Pemodelan menggunakan 3 dimensi dan memperhitungkan penampang retak pada elemen struktur
	7.8.4.3	Pembesaran momen torsi tak terduga
	7.12.1	Batasan simpangan antar tingkat
	Tabel 16	Prosedur analisis yang diizinkan
	11.3.4	Eksentrisitas tak terduga diasumsikan sebesar 5 % dimensi diafragma
	7.3.3.1	Ketidakberaturan horizontal dan vertikal struktur yang terlarang untuk KDS D, E, dan F
	7.3.4.2	Faktor redundansi untuk KDS D, E, dan F
Ketidakberaturan sudut dalam (tipe 2)	7.3.3.4	Peningkatan gaya desain diafragma sebesar 25 % untuk elemen-elemen sistem pemikul gaya seismik
	Tabel 16	Prosedur analisis yang diizinkan
Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma (tipe 3)	7.3.3.4	Peningkatan gaya desain diafragma sebesar 25 % untuk elemen-elemen sistem pemikul gaya seismik
	Tabel 16	Prosedur analisis yang diizinkan
Ketidakberaturan pergeseran melintang terhadap bidang (tipe 4)	7.3.3.4	Peningkatan gaya desain diafragma sebesar 25 % untuk elemen-elemen sistem pemikul gaya seismik
	Tabel 16	Prosedur analisis yang diizinkan
	11.3.4	Eksentrisitas tak terduga diasumsikan sebesar 5 % dimensi diafragma
	7.7.3	Pemodelan menggunakan 3 dimensi dan memperhitungkan penampang retak pada elemen struktur
	7.3.3.3	Elemen yang mendukung dinding tak menerus atau rangka tak menerus
Ketidakberaturan sistem non paralel (tipe 5)	7.5.3	Penerapan kombinasi arah ortogonal untuk pengecekan ketidakberaturan struktur
	Tabel 16	Prosedur analisis yang diizinkan
	11.3.4	Eksentrisitas tak terduga diasumsikan sebesar 5 % dimensi diafragma
	7.7.3	Pemodelan menggunakan 3 dimensi dan memperhitungkan penampang retak pada elemen struktur

Lampiran 8 Konsekuensi Ketidakberaturan (Lanjutan)

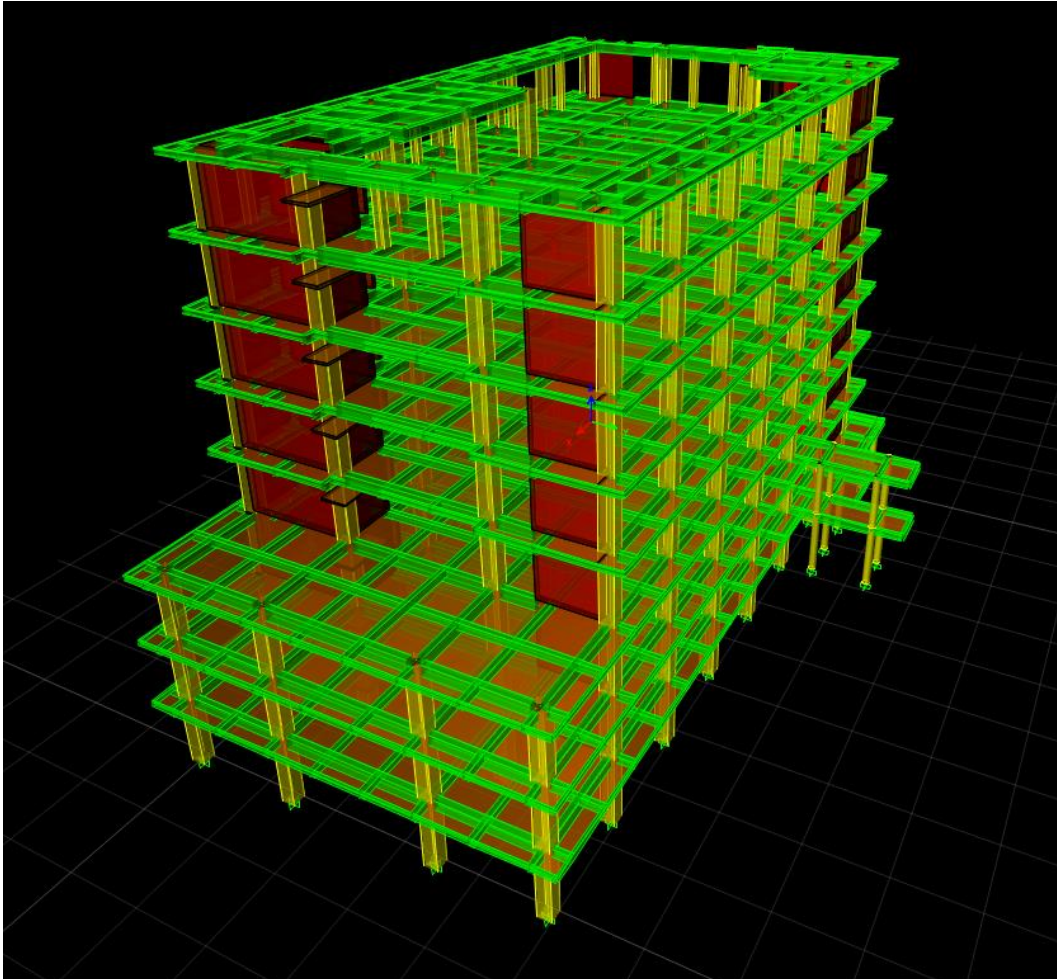
Ketidakberaturan Vertikal		
Tipe	Pasal	Keterangan
Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak (tipe 1a)	Tabel 16	Prosedur analisis yang diizinkan
Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak berlebihan (tipe 1b)	7.3.3.1	Ketidakberaturan horizontal dan vertikal struktur yang terlarang untuk KDS D, E, dan F
	Tabel 16	Prosedur analisis yang diizinkan
Ketidakberaturan berat (tipe 2)	Tabel 16	Prosedur analisis yang diizinkan
Ketidakberaturan geometri vertikal (tipe 3)	Tabel 16	Prosedur analisis yang diizinkan
Ketidakberaturan arah bidang dalam ketidakberaturan elemen penahan gaya lateral vertikal (tipe 4)	Tabel 16	Prosedur analisis yang diizinkan
	7.3.3.3	Elemen yang mendukung dinding tak menerus atau rangka tak menerus
	7.3.3.4	Peningkatan gaya desain diafragma sebesar 25 % untuk elemen-elemen sistem pemikul gaya seismik
Diskontinuitas dalam ketidakberaturan kuat lateral tingkat (tipe 5a)	7.3.3.1	Ketidakberaturan horizontal dan vertikal struktur yang terlarang untuk KDS D, E, dan F
	Tabel 16	Prosedur analisis yang diizinkan
Diskontinuitas dalam ketidakberaturan kuat lateral tingkat berlebihan (tipe 5b)	7.3.3.1	Ketidakberaturan horizontal dan vertikal struktur yang terlarang untuk KDS D, E, dan F
	7.3.3.2	Tingkat lemah berlebihan
	Tabel 16	Prosedur analisis yang diizinkan

Lampiran 9 Pemodelan Struktur Dinding Geser Model 1 pada ETABS V21



Lampiran 10 Pemodelan Struktur Dinding Geser Model 2 pada ETABS V21

Lampiran 11 Pemodelan Struktur Dinding Geser Model 3 pada ETABS V21



Lampiran 12 Simpangan Antar Lantai Struktur Dinding Geser Model 1 arah x

Simpangan Tingkat Gempa Arah X										
Lantai	H	P _x	V _x	U ₁	U ₁	$dx = U_1 \times \frac{Cd}{I}$	$\Delta = dx(i) - dx(i-1)$	$\Delta_{max} = 0.01 \times H_{sx}$	$\Delta_{ijin} = \frac{\Delta_{max}}{\rho}$	$\Delta < \Delta_{ijin}$
		KN	KN	m	mm	mm	mm			
Pondasi										
1	5000	112656,522	1848,271	0,003	2,888	10,589	10,589	50	38,462	true
2	4500	93775,123	2094,016	0,008	8,389	30,760	20,170	45	34,615	true
3	4500	77378,716	2583,828	0,016	15,558	57,046	26,286	45	34,615	true
4	4500	61368,644	2439,230	0,024	23,773	87,168	30,122	45	34,615	true
5	4500	47593,408	2444,398	0,032	32,473	119,068	31,900	45	34,615	true
6	4500	33790,511	2356,461	0,041	41,219	151,136	32,069	45	34,615	true
7	4500	19990,757	2264,132	0,050	49,525	181,592	30,455	45	34,615	true
8	4500	6155,448	1987,102	0,056	56,466	207,042	25,450	45	34,615	true

Lampiran 13 Simpangan Antar Lantai Struktur Dinding Geser Model 1 arah Y

Simpangan Tingkat Gempa Arah Y										
Lantai	h	P _x	V _x	U ₁	U ₁	dx = U ₁ x Cd / I	$\Delta = dx(i) - dx(i-1)$ mm	$\Delta_{max} = 0.01 \times H_{sx}$	$\Delta_{ijin} = \Delta_{max} / \rho$	Cek
	mm	KN	KN	m	mm	mm				
Pondasi										
1	5000	112656,522	1891,863	0,003	2,713	9,948	9,948	50	38,462	true
2	4500	93775,123	1856,161	0,008	7,680	28,160	18,212	45	34,615	true
3	4500	77378,716	2100,468	0,014	14,045	51,498	23,338	45	34,615	true
4	4500	61368,644	1937,242	0,021	21,352	78,291	26,792	45	34,615	true
5	4500	47593,408	1971,300	0,029	29,175	106,975	28,684	45	34,615	true
6	4500	33790,511	1912,543	0,037	37,113	136,081	29,106	45	34,615	true
7	4500	19990,757	1866,408	0,045	44,957	164,842	28,761	45	34,615	true
8	4500	6155,448	1875,385	0,054	53,669	196,786	31,944	45	34,615	true

Lampiran 14 Simpangan Antar Lantai Struktur Dinding Geser Model 2 arah x

Simpangan Tingkat Gempa Arah X										
Lantai	h	P _x	V _x	U ₁	U ₁	dx = U ₁ x Cd / I	Δ = dx (i) - dx (i-1)	Δ _{max} = 0.01 x H _{sx}	Δ _{ijin} = Δ _{max} / ρ	Δ < Δ _{ijin}
	mm	KN	KN	m	mm	mm	mm			
Pondasi		0	0	0	0	0	0	15	11,53846154	true
1	5000	112830,8	2058,0112	0,0034	3,368	12,34933333	12,34933333	50	38,46153846	true
2	4500	94005,52	2336,0152	0,0098	9,822	36,014	23,66466667	45	34,61538462	true
3	4500	77620,86	2790,5377	0,0182	18,184	66,67466667	30,66066667	45	34,61538462	true
4	4500	61601,16	2620,0559	0,0277	27,716	101,6253333	34,95066667	45	34,61538462	false
5	4500	47769,41	2645,0527	0,0378	37,784	138,5413333	36,916	45	34,61538462	false
6	4500	33920,26	2564,4216	0,0479	47,869	175,5196667	36,97833333	45	34,61538462	false
7	4500	20016,57	2469,1516	0,0574	57,38	210,3933333	34,87366667	45	34,61538462	false
8	4500	6022,482	2082,2403	0,0652	65,202	239,074	28,68066667	45	34,61538462	true

Lampiran 15 Simpangan Antar Lantai Struktur Dinding Geser Model 2 arah Y

Simpangan Tingkat Gempa Arah Y										
Lantai	h	Py	Vy	U2	U2	$dx = U2 \times Cd / I$	$\Delta = dx(i) - dx(i-1)$	$\Delta_{max} = 0.01 \times H_{sx}$	$\Delta_{ijin} = \Delta_{max} / \rho$	$\Delta < \Delta_{ijin}$
	mm	KN	KN	m	mm	mm	mm			
Pondasi		0	0	0	0	0	0	15	11,53846154	true
1	5000	112830,8	1716,0678	0,0026	2,585	9,478333333	9,478333333	50	38,46153846	true
2	4500	94005,52	1808,3407	0,0074	7,378	27,05266667	17,57433333	45	34,61538462	true
3	4500	77620,86	2068,2205	0,0136	13,553	49,69433333	22,64166667	45	34,61538462	true
4	4500	61601,16	1863,22	0,0206	20,645	75,69833333	26,004	45	34,61538462	true
5	4500	47769,41	1918,9516	0,0282	28,238	103,5393333	27,841	45	34,61538462	true
6	4500	33920,26	1861,5188	0,0359	35,916	131,692	28,15266667	45	34,61538462	true
7	4500	20016,57	1685,8311	0,0435	43,473	159,401	27,709	45	34,61538462	true
8	4500	6022,482	1885,4183	0,052	51,996	190,652	31,251	45	34,61538462	true

Lampiran 16 Simpangan Antar Lantai Struktur Dinding Geser Model 3 arah X

Simpangan Tingkat Gempa Arah X										
Lantai	h	P _x	V _x	U ₁	U ₁	$dx = U_1 \times Cd / I$	$\Delta = dx(i) - dx(i-1)$	$\Delta_{max} = 0.01 \times H_{sx}$	$\Delta_{ijin} = \Delta_{max} / \rho$	$\Delta < \Delta_{ijin}$
	mm	KN	KN	m	mm	mm	mm			
Pondasi		0	0	0	0	0	0	15	11,5384	true
1	5000	113034,29	2339,1749	0,003554	3,554	13,03133333	13,03133333	50	38,46153846	true
2	4500	94145,4267	2402,026	0,010207	10,207	37,42566667	24,39433333	45	34,61538462	true
3	4500	77704,0568	2812,6791	0,018735	18,735	68,695	31,26933333	45	34,61538462	true
4	4500	61662,4388	2675,395	0,028459	28,459	104,3496667	35,65466667	45	34,61538462	false
5	4500	47794,4949	2699,6531	0,038769	38,769	142,153	37,80333333	45	34,61538462	false
6	4500	33910,96	2640,4627	0,049136	49,136	180,1653333	38,01233333	45	34,61538462	false
7	4500	20047,1604	2603,4661	0,058901	58,901	215,9703333	35,805	45	34,61538462	false
8	4500	6196,6919	2053,9278	0,066824	66,824	245,0213333	29,051	45	34,61538462	true

Lampiran 17 Simpangan Antar Lantai Struktur Dinding Geser Model 3 arah Y

Simpangan Tingkat Gempa Arah Y										
Lantai	h	Py	Vy	U2	U2	$dx = U2 \times Cd / I$	$\Delta = dx(i) - dx(i-1)$	$\Delta_{max} = 0.025 \times H_{sx}$	$\Delta_{ijin} = \Delta_{max} / \rho$	$\Delta < \Delta_{ijin}$
	mm	KN	KN	m	mm	mm	mm			
Pondasi		0	0	0	0	0	0	15	11,5384	true
1	5000	113034,29	1622,7648	0,002399	2,399	8,796333333	8,796333333	50	38,46153846	true
2	4500	94145,4267	1727,1789	0,006803	6,803	24,94433333	16,148	45	34,61538462	true
3	4500	77704,0568	2011,4835	0,012478	12,478	45,75266667	20,80833333	45	34,61538462	true
4	4500	61662,4388	1823,7679	0,019007	19,007	69,69233333	23,93966667	45	34,61538462	true
5	4500	47794,4949	1869,0869	0,026014	26,014	95,38466667	25,69233333	45	34,61538462	true
6	4500	33910,96	1805,2471	0,033135	33,135	121,495	26,11033333	45	34,61538462	true
7	4500	20047,1604	1624,5475	0,040207	40,207	147,4256667	25,93066667	45	34,61538462	true
8	4500	6196,6919	1908,7765	0,048476	48,476	177,7453333	30,31966667	45	34,61538462	true

Lampiran 18 Kontrol SRMPK 25% Lateral

Pengecekan Kontrol SRPMK Dengan Gaya 25% Lateral										
Model Dinding Geser	$\sum$ Shear Wall Dan Rangka		$\sum$ Shear Wall		% Shear Wall		% Rangka		Cek (>25%)	
	kN		kN		SW/ Rangka + SW		1- % Shear wall			
	Fx	Fy	Fx	Fy	X	Y	X	Y	X	Y
1	23804,23	24934,556	17650,4	9931,81	74,15%	39,83%	25,85%	60,17%	OK	OK
2	23523,5	24618,287	16542,6	10282,9	70,32%	41,77%	29,68%	58,23%	OK	OK
3	22937,36	24388,725	15384,9	11243,2	67,07%	46,10%	32,93%	53,90%	OK	OK