

TUGAS AKHIR

**PERBANDINGAN RESPON STRUKTUR TIDAK
BERATURAN PADA GEDUNG TILC-UGM DENGAN
VARIASI GEOMETRI DAN PENEMPATAN DINDING
GESER**

***RESPONSE COMPARISON OF IRREGULAR
BUILDING STRUCTURES IN THE TILC-UGM
BUILDING WITH VARIATION IN GEOMETRY AND
SHEAR WALL POTITIONS***

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



**Aditia Ilham Pratama
17511192**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2023**

TUGAS AKHIR

**PERBANDINGAN RESPON STRUKTUR TIDAK
BERATURAN PADA GEDUNG TILC-UGM DENGAN
VARIASI GEOMETRI DAN PENEMPATAN DINDING
GESER**

***RESPONSE COMPARISON OF IRREGULAR
BUILDING STRUCTURES IN THE TILC-UGM
BUILDING WITH VARIATION IN GEOMETRY AND
SHEAR WALL POTITIONS***

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



Aditia Ilham Pratama 17511192

**Disetujui:
Pembimbing 16/2/2024**

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Mochamad Teguh'.

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

Tanggal: 11 Desember 2023

TUGAS AKHIR

PERBANDINGAN RESPON STRUKTUR TIDAK BERATURAN PADA GEDUNG TILC-UGM DENGAN VARIASI GEOMETRI DAN PENEMPATAN DINDING GESER

RESPONSE COMPARISON OF IRREGULAR BUILDING STRUCTURES IN THE TILC-UGM BUILDING WITH VARIATION IN GEOMETRY AND SHEAR WALL POTITIONS



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

16/24
12

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

Penguji II

16.02.24

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

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil


16/2024
12

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 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 Desember 2023

Yang membuat pernyataan,



Aditia Ilham Pratama

(17511192)

DEDIKASI

Bismillahirrohmanirrohim

Puji syukur dengan menyebut nama Allah SWT atas segala Rahmat dan Karunia-Nya, sehingga saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Tidak lupa juga ucapan terima kasih saya persembahkan kepada:

1. Bapak Muhadi dan Ibu Tuti Purwati selaku orang tua saya yang selalu mendukung saya dalam hal apapun dan selalu memberikan saya motivasi dalam situasi apapun. Shinta Mutia Dewi selaku adik saya tersayang yang selalu memberikan bantuan dan motivasi dalam situasi apapun dan kondisi yang sedang terjadi. Terima kasih atas kasih sayang yang teramat besar yang telah diberikan kepada saya.
2. Keluarga besar saya yang selalu memberikan motivasi dan mendukung saya dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, terima kasih untuk do'a dan dukungannya.
3. Saudari Safitri Diah Alysia Sari terima kasih atas semangat dan motivasi yang diberikan kepada saya untuk menuntaskan Tugas Akhir ini.
4. Teman-teman Teknik Sipil 2017, teman-teman kelompok belajar (Akadskuy), teman-teman OTBS, yang selalu memberikan masukan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini dan seluruh teman saya yang lain, terima kasih atas bantuan, saran, dan motivasi yang selalu kalian berikan.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT yang Maha Pengasih lagi Maha penyayang, sehingga tugas akhir yang berjudul *Perbandingan Resopon Struktur Tidak Beraturan Pada Gedung TILC-UGM dengan variasi Geometri dan Penempatan Dinding Geser* dapat diselesaikan dengan baik. Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Dalam menyusun tugas akhir ini, berbagai tantangan telah dihadapi, namun berkat masukan, evaluasi, dan dukungan semangat dari berbagai pihak berhasil diatasi. Alhamdulillah setelah proses yang cukup lama akhirnya tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik. Berkaitan dengan hal tersebut, ucapan terima kasih yang setulus-tulusnya 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 berbagai pihak yang membacanya.

Yogyakarta, 11 Desember 2023

Yang membuat pernyataan,



Aditia Ilham Pratama

(17511192)

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Halaman Pengesahan	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
DEDIKASI	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xvii
ABSTRAK	xviii
ABSTRACT	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Penelitian Terdahulu	6
2.2 Perbedaan Penelitian	13
BAB III LANDASAN TEORI	15
3.1 Filosofi dan Konsep Bangunan Tahan Gempa	15
3.2 Pembebanan	16
3.2.1 Beban Mati	16
3.2.2 Beban Hidup	16
3.2.3 Beban Gempa	17

3.2.4	Kombinasi Pembebanan untuk Metode Ultimit	17
3.2.5	Kombinasi Pembebanan untuk Metode Tegangan Izin	18
3.2.6	Redundansi	19
3.3	Ketidakteraturan Struktur	20
3.3.1	Ketidakteraturan Horizontal	20
3.3.2	Ketidakteraturan vertikal	24
3.4	Respon Dinamik Struktur	27
3.4.1	Gempa Rencana	27
3.4.2	Faktor Keutamaan Gempa dan Kategori Resiko Struktur Bangunan	28
3.4.3	Klasifikasi Situs	28
3.4.4	Koefisien Situs dan Parameter Respon Spektral Percepatan Gempa Maksimum	29
3.4.5	Parameter Percepatan Spektral Desain	29
3.4.6	Spektrum Respons Desain	30
3.4.7	Kategori Desain Seismik	32
3.4.8	Pemilihan Sistem Struktur	33
3.4.9	Gaya Dasar Seismik	33
3.4.10	Periode Fundamental Pendekatan	34
3.4.11	Distribusi Vertikal Gaya Seismik	35
3.4.12	Distribusi Horizontal Gaya Seismik	36
3.4.13	Penskalaan Gaya	36
3.4.14	Simpangan Antar Tingkat	36
3.4.15	Batasan Simpangan Antar Tingkat	38
3.4.16	Pengaruh P-Delta	38
3.5	Dinding Geser	38
3.5.1	Variasi Geometri Dinding Geser	38
3.5.2	Penempatan atau Alokasi Dinding Geser	40
3.5.3	Alternatif Solusi terhadap Varian Dinding Geser	41
3.5.4	Ketentuan Desain Struktural Khusus	42
3.5.5	Sistem Ganda pada Struktur Tidak Teratur	42
3.5.6	Perilaku Struktural terhadap Varian Dinding Geser	43

BAB IV METODE PENELITIAN	44
4.1 Jenis Penelitian	44
4.2 Data Penelitian	44
4.2.1 Sistem Pemodelan Struktur	44
4.2.2 Data Penelitian Bangunan	48
4.3 Metode Penelitian	48
4.4 Tahapan Penelitian	49
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN	52
5.1 Bahan dan Mutu Material Bangunan	52
5.2 Pembebanan Struktur	52
5.2.1 Beban Mati	52
5.2.2 Beban Hidup	56
5.2.3 Beban Gempa Respons Spektrum	57
5.3 Implikasi Varian Pemodelan Struktur	68
5.4 Analisis Gaya Dasar	73
5.4.1 Pengecekan <i>Base Shear Trial 1</i>	73
5.4.2 Pengecekan <i>Base Shear Trial 2</i>	73
5.5 Kontrol SRPMK Dengan 25 Persen Gaya Lateral	74
5.6 Efek Potensi Torsi pada Struktur Tidak Teratur	76
5.6.1 Titik Pusat Massa dan Titik Pusat Kekakuan Bangunan	76
5.7 Kontrol Ketidakberaturan Struktur	77
5.7.1 Ketidakberaturan Horizontal	77
5.7.2 Ketidakberaturan Vertikal	88
5.8 <i>Displacement</i>	103
5.9 Simpangan Antar Tingkat	105
5.10 Pengaruh P-Delta	111
5.11 <i>Drift Ratio</i>	115
5.12 Pola Simpangan Bangunan	119
5.13 Komparasi Respons Struktur	122
5.13.1 <i>Base Shear</i>	122
5.13.2 <i>Displacement</i>	123

5.13.3 Simpangan Antar Tingkat	125
5.13.4 <i>Drift Ratio</i>	127
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	130
6.1 Kesimpulan	130
6.2 Saran	132
DAFTAR PUSTAKA	133
LAMPIRAN	135

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbedaan Penelitian Terdahulu	13
Tabel 3.1	Faktor Keutamaan Gempa	17
Tabel 4.1	Spesifikasi Dinding Geser Model 1	45
Tabel 4.2	Spesifikasi Dinding Geser Model 2	46
Tabel 4.3	Spesifikasi Dinding Geser Model 3	47
Tabel 4.4	Data Awal Perencanaan	48
Tabel 5.1	Berat Anak Tangga	54
Tabel 5.2	Pembebanan Rangka Atap Lantai 3	56
Tabel 5.3	Pembebanan Rangka Atap <i>Rooftop</i>	56
Tabel 5.4	Spektrum Respons Desain	59
Tabel 5.5	Berat Total Bangunan	65
Tabel 5.6	Penentuan K	66
Tabel 5.7	Gaya Seismik Lateral Dengan Struktur Dinding Geser Model 1	67
Tabel 5.8	Gaya Seismik Lateral Dengan Struktur Dinding Geser Model 2	67
Tabel 5.9	Gaya Seismik Lateral Dengan Struktur Dinding Geser Model 3	67
Tabel 5.10	Dimensi Kolom	68
Tabel 5.11	Dimensi Balok	68
Tabel 5.12	Dimensi Pelat	68
Tabel 5.13	Dimensi Dinding Geser Model 1	69
Tabel 5.14	Dimensi Dinding Geser Model 2	69
Tabel 5.15	Dimensi Dinding Geser Model 3	70
Tabel 5.16	Kontrol Parameter Penskalaan Gaya Model 1 Trial 1	73
Tabel 5.17	Kontrol Parameter Penskalaan Gaya Model 2 Trial 1	73
Tabel 5.18	Kontrol Parameter Penskalaan Gaya Model 3 Trial 1	73
Tabel 5.19	Kontrol Parameter Penskalaan Gaya Model 1 Trial 2	74
Tabel 5.20	Kontrol Parameter Penskalaan Gaya Model 2 Trial 2	74

Tabel 5.21	Kontrol Parameter Penskalaan Gaya Model 3 Trial 2	74
Tabel 5.22	Pemeriksaan Sistem Ganda Model 1	75
Tabel 5.23	Pemeriksaan Sistem Ganda Model 2	75
Tabel 5.24	Pemeriksaan Sistem Ganda Model 3	75
Tabel 5.25	Eksentrisitas Bangunan Model 1	76
Tabel 5.26	Eksentrisitas Bangunan Model 2	77
Tabel 5.27	Eksentrisitas Bangunan Model 3	77
Tabel 5.28	Kontrol Ketidakberaturan Torsi 1a dan 1b Arah X Model 1	79
Tabel 5.29	Kontrol Ketidakberaturan Torsi 1a dan 1b Arah X Model 2	79
Tabel 5.30	Kontrol Ketidakberaturan Torsi 1a dan 1b Arah X Model 3	80
Tabel 5.31	Kontrol Ketidakberaturan Torsi 1a dan 1b Arah Y Model 1	80
Tabel 5.32	Kontrol Ketidakberaturan Torsi 1a dan 1b Arah Y Model 2	81
Tabel 5.33	Kontrol Ketidakberaturan Torsi 1a dan 1b Arah Y Model 3	81
Tabel 5.34	Kontrol Ketidakberaturan Sudut Dalam	83
Tabel 5.35	Rekapitulas Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma	85
Tabel 5.36	Ketidakteraturan Kekakuan Tingkat Lunak 1a Arah X Model 1	90
Tabel 5.37	Ketidakteraturan Kekakuan Tingkat Lunak 1a Arah X Model 2	90
Tabel 5.38	Ketidakteraturan Kekakuan Tingkat Lunak 1a Arah X Model 3	91
Tabel 5.39	Ketidakteraturan Kekakuan Tingkat Lunak 1a Arah Y Model 1	91
Tabel 5.40	Ketidakteraturan Kekakuan Tingkat Lunak 1a Arah Y Model 2	92
Tabel 5.41	Ketidakteraturan Kekakuan Tingkat Lunak 1a Arah Y Model 3	92
Tabel 5.42	Ketidakteraturan Kekakuan Tingkat Lunak 1b Arah X Model 1	93
Tabel 5.43	Ketidakteraturan Kekakuan Tingkat Lunak 1b Arah X Model 2	93
Tabel 5.44	Ketidakteraturan Kekakuan Tingkat Lunak 1b Arah X Model 3	94
Tabel 5.45	Ketidakteraturan Kekakuan Tingkat Lunak 1b Arah Y Model 1	94
Tabel 5.46	Ketidakteraturan Kekakuan Tingkat Lunak 1b Arah X Model 2	95
Tabel 5.47	Ketidakteraturan Kekakuan Tingkat Lunak 1b Arah X Model 3	95
Tabel 5.48	Rekapitulasi Ketidakteraturan Berat (Massa) Model 1	96
Tabel 5.49	Rekapitulasi Ketidakteraturan Berat (Massa) Model 2	97
Tabel 5.50	Rekapitulasi Ketidakteraturan Berat (Massa) Model 3	97
Tabel 5.51	Pengecekan Ketidakteraturan Geometri Vertikal Model 1	98

Tabel 5.52	Pengecekan Ketidakberaturan Geometri Vertikal Model 2	99
Tabel 5.53	Pengecekan Ketidakberaturan Geometri Vertikal Model 3	99
Tabel 5.54	Pengecekan Ketidakberaturan Tipe 5a dan 5b Arah X Model 1	101
Tabel 5.55	Pengecekan Ketidakberaturan Tipe 5a dan 5b Arah X Model 2	101
Tabel 5.56	Pengecekan Ketidakberaturan Tipe 5a dan 5b Arah X Model 3	101
Tabel 5.57	Pengecekan Ketidakberaturan Tipe 5a dan 5b Arah Y Model 1	102
Tabel 5.58	Pengecekan Ketidakberaturan Tipe 5a dan 5b Arah Y Model 2	102
Tabel 5.59	Pengecekan Ketidakberaturan Tipe 5a dan 5b Arah Y Model 3	102
Tabel 5.60	<i>Displacement</i> Pada Model 1	103
Tabel 5.61	<i>Displacement</i> Pada Model 2	104
Tabel 5.62	<i>Displacement</i> Pada Model 3	104
Tabel 5.63	Simpangan Antar Tingkat Pada Model 1 Arah X	106
Tabel 5.64	Simpangan Antar Tingkat Pada Model 1 Arah Y	107
Tabel 5.65	Simpangan Antar Tingkat Pada Model 2 Arah X	108
Tabel 5.66	Simpangan Antar Tingkat Pada Model 2 Arah Y	108
Tabel 5.67	Simpangan Antar Tingkat Pada Model 3 Arah X	110
Tabel 5.68	Simpangan Antar Tingkat Pada Model 3 Arah Y	110
Tabel 5.69	Pengaruh P-Delta Pada Model 1 Arah X	112
Tabel 5.70	Pengaruh P-Delta Pada Model 1 Arah Y	113
Tabel 5.71	Pengaruh P-Delta Pada Model 2 Arah X	113
Tabel 5.72	Pengaruh P-Delta Pada Model 2 Arah Y	114
Tabel 5.73	Pengaruh P-Delta Pada Model 3 Arah X	114
Tabel 5.74	Pengaruh P-Delta Pada Model 3 Arah Y	115
Tabel 5.75	<i>Drift Ratio</i> Pada Model 1	116
Tabel 5.76	<i>Drift Ratio</i> Pada Model 2	117
Tabel 5.77	<i>Drift Ratio</i> Pada Model 3	118
Tabel 5.78	Komparasi <i>Base Shear</i>	123
Tabel 5.79	Komparasi <i>Displacement</i>	123
Tabel 5.80	Komparasi Simpangan Antar Tingkat	125
Tabel 5.81	Komparasi <i>Drift Ratio</i>	127

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Denah Struktur Area Penempatan <i>Shearwall</i> Model 1	7
Gambar 2.2	Denah Struktur Area Penempatan <i>Shearwall</i> Model 2	7
Gambar 2.3	Denah Struktur Area Penempatan <i>Shearwall</i> Model 3	7
Gambar 2.4	Denah Lantai Struktur Model 1	9
Gambar 2.5	Denah Lantai Struktur Model 2	9
Gambar 2.6	Denah Lantai Struktur Model 3	9
Gambar 2.7	Denah Lantai Struktur Model 4	10
Gambar 2.8	Model Perencanaan Alternatif 1	11
Gambar 2.9	Model Perencanaan Alternatif 2	12
Gambar 2.10	Model Perencanaan Alternatif 3	12
Gambar 3.1	Ketidakteraturan Torsi (1a) dan (1b)	21
Gambar 3.2	Ketidakteraturan Sudut Dalam	22
Gambar 3.3	Ketidakteraturan Diskontinuitas Diafragma	22
Gambar 3.4	Ketidakteraturan Akibat Pergeseran Tegak Lurus Terhadap Bidang	23
Gambar 3.5	Ketidakteraturan Sistem Nonpararel	23
Gambar 3.6	Ketidakteraturan Kekakuan Tingkat Lunak (1a) dan Ketidakteraturan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan (1b)	24
Gambar 3.7	Ketidakteraturan Berat (Massa)	25
Gambar 3.8	Ketidakteraturan Geometri Vertikal	25
Gambar 3.9	Ketidakteraturan Akibat Diskontinuitas Bidang Pada Elemen Vertikal Pemikul Gaya Lateral	26
Gambar 3.10	Ketidakteraturan 5a dan 5b	27
Gambar 3.11	Spektrum Respons Desain	31
Gambar 3.12	Peta Transisi Periode Panjang, T_L , Wilayah Indonesia	31
Gambar 3.13	Parameter Gerak Tanah (S_1) di Indonesia	32
Gambar 3.14	Parameter Gerak Tanah (S_s) di Indonesia	32

Gambar 3.15	Penentuan Simpangan Antar Tingkat	37
Gambar 3.16	Variasi Bentuk Dinding Geser	39
Gambar 3.17	Dimensi Minimum Dinding Geser	41
Gambar 4.1	Daerah Bangunan Menggunakan Dinding Geser (Model 1)	45
Gambar 4.2	Daerah Bangunan Menggunakan Dinding Geser (Model 2)	46
Gambar 4.3	Daerah Bangunan Menggunakan Dinding Geser (Model 3)	47
Gambar 4.4	<i>Flow chart</i> penelitian	50
Gambar 5.1	Tinggi Vertikal Pelat Tangga	53
Gambar 5.2	Potongan Rangka Atap Lantai 3	55
Gambar 5.3	Potongan Rangka Atap Pada <i>Rooftop</i>	55
Gambar 5.4	Grafik Spektrum Respons Desain	60
Gambar 5.5	Model Struktur Dinding Geser Model 1	70
Gambar 5.6	Model Struktur Dinding Geser Model 2	71
Gambar 5.7	Model Struktur Dinding Geser Model 3	72
Gambar 5.8	Ketidakteraturan Torsi (1a) dan (1b)	78
Gambar 5.9	Peninjauan Ketidakteraturan Sudut Dalam	82
Gambar 5.10	Peninjauan Ketidakteraturan Diskontinuitas Diafragma	84
Gambar 5.11	Peninjauan Ketidakteraturan Akibat Pergesekan Tegak Lurus Terhadap Bidang	86
Gambar 5.12	Peninjauan Ketidakteraturan Sistem Non Pararel Model 1	86
Gambar 5.13	Peninjauan Ketidakteraturan Sistem Non Pararel Model 2	87
Gambar 5.14	Peninjauan Ketidakteraturan Sistem Non Pararel Model 3	87
Gambar 5.15	Pengecekan Ketidakteraturan Geometri Vertikal	98
Gambar 5.16	Grafik Simpangan Antar Tingkat Pada Model 1	107
Gambar 5.17	Grafik Simpangan Antar Tingkat Pada Model 2	109
Gambar 5.18	Grafik Simpangan Antar Tingkat Pada Model 3	111
Gambar 5.19	<i>Drift Ratio</i> Model 1	116
Gambar 5.20	<i>Drift Ratio</i> Model 2	117
Gambar 5.21	<i>Drift Ratio</i> Model 3	118
Gambar 5.22	Pola Simpangan Bangunan Model 1	120
Gambar 5.23	Pola Simpangan Bangunan Model 2	121

Gambar 5.24	Pola Simpangan Bangunan Model 3	122
Gambar 5.25	Gaya Geser Dasar (<i>Base Shear</i>)	122
Gambar 5.26	Komparasi <i>Displacement</i> Arah X	124
Gambar 5.27	Komparasi <i>Displacement</i> Arah Y	124
Gambar 5.28	Komparasi Simpangan Antar Tingkat Arah X	126
Gambar 5.29	Komparasi Simpangan Antar Tingkat Arah Y	126
Gambar 5.30	Komparasi Simpangan Antar Tingkat Arah X	128
Gambar 5.31	Komparasi Simpangan Antar Tingkat Arah X	128

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Denah Bangunan Model Struktur <i>Existing</i> (Model 1)	136
Lampiran 2	Denah Bangunan Model Struktur Dengan Dinding Geser <i>L-Shape</i> (Model 2)	137
Lampiran 3	Denah Bangunan Model Struktur Dengan Dinding Geser <i>Straight Shape</i> (Model 3)	138
Lampiran 4	Prosedur Analisis yang Di izinkan	139
Lampiran 5	Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Nongedung untuk Beban Gempa	140
Lampiran 6	Faktor R , C_d , dan Ω_0 untuk sistem pemikul gaya seismik	142
Lampiran 7	Pemodelan Struktur Dinding Geser Model 1 dengan ETABS V18	145
Lampiran 8	Pemodelan Struktur Dinding Geser Model 2 dengan ETABS V18	146
Lampiran 9	Pemodelan Struktur Dinding Geser Model 3 dengan ETABS V18	147
Lampiran 10	Denah Bangunan <i>Existing</i> Lantai 1	148
Lampiran 11	Denah Bangunan <i>Existing</i> Lantai 2	149
Lampiran 12	Denah Bangunan <i>Existing</i> Lantai 3	150
Lampiran 13	Denah Bangunan <i>Existing</i> Lantai 4	151
Lampiran 14	Denah Bangunan <i>Existing</i> Lantai 5	152
Lampiran 15	Denah Bangunan <i>Existing</i> Lantai 6	153
Lampiran 16	Denah Bangunan <i>Existing</i> Lantai 7	154
Lampiran 17	Denah Bangunan <i>Existing</i> Lantai 8	155
Lampiran 18	Denah Bangunan <i>Existing</i> Lantai 9	156
Lampiran 19	Denah Bangunan <i>Existing</i> Lantai Atap	157
Lampiran 20	Konsekuensi Ketidakberaturan	158

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
SM1	= Parameter Respons Spektral Percepatan Pada Periode 1 Detik
SDS	= Parameter Respons Spektral Percepatan Desain Periode Pendek
SD1	= 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 *Teaching Industrial Learning Center* (TILC) UGM merupakan salah satu dari 4 gedung yang masuk dalam proyek paket 4 pembangunan (ASPLC, DLC, TILC, dan FRC). Universitas Gadjah Mada pada tahun 2020. Pembangunan gedung ini berfungsi sebagai pusat pengembangan inovasi ide dan kolaborasi mahasiswa dan akademisi Fakultas Teknik Sekolah Vokasi Universitas Gadjah Mada, yang dapat mewujudkan aktivitas yang saling bersinergi. Lokasi Gedung TILC UGM yang berada di Yogyakarta sebagai salah satu daerah rawan gempa. Gedung TILC UGM merupakan gedung yang vital apabila dilihat secara fungsi bangunan karena terdapat banyak aktivitas manusia, sehingga gedung tersebut diharapkan dapat tetap kokoh apabila terjadi gempa. Salah satu cara untuk mengurangi dampak gempa adalah dengan menambahkan struktur dinding geser yang memiliki bentuk dan penempatan yang sesuai. Pada perancangan dinding geser, terdapat berbagai opsi bentuk yang dapat diterapkan, penggunaan variasi bentuk tersebut dapat berpengaruh pada *base shear*, *displacement*, *drift ratio*, dan pola simpangan.

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan *base shear*, *displacement*, simpangan antar tingkat, dan *drift ratio* sebagai hasil variasi bentuk dan penempatan dinding geser dalam menghadapi beban gempa respons spektrum. Metode yang diterapkan dalam penelitian ini adalah dengan menggunakan metode analisis dinamik yaitu Response Spectrum. Variasi perbandingan melibatkan bangunan dengan dinding geser *existing* yang ada di Gedung TILC 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 geser *Straight Shape* (model 3). Simulasi dengan menggunakan software ETABS V18.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa *base shear* terendah ditemukan pada model 3 yaitu sebesar 24961,46 kN lebih rendah 7,582% dibandingkan dengan model struktur *existing*. Pemodelan dengan *displacement* terendah pada arah x adalah pemodelan struktur dengan bentuk dinding geser *L-Shape* (model 2) yaitu sebesar 26,308 mm, sedangkan untuk arah y adalah pemodelan struktur dengan bentuk dinding geser *Straight Shape* (model 3) yaitu sebesar 26,115 mm. Simpangan terendah terdapat pada pemodelan struktur dengan bentuk dinding geser *L-Shape* (model 2) dengan penurunan simpangan antar tingkat untuk arah x yaitu sebesar 10,061 mm dengan prosentase penurunan sebesar 41,50%, sedangkan untuk arah y terdapat pada pemodelan struktur dengan bentuk dinding geser *Straight Shape* (model 3) yaitu sebesar 9,339 mm dengan prosentase penurunan sebesar 38,19%. Perbandingan *drift ratio* terendah untuk arah X terdapat pada lantai 1 model 3 yaitu sebesar 0,110% dan untuk arah Y terdapat pada lantai 1 model 3 yaitu sebesar 0,115%.

Kata kunci: Dinding geser, *base shear*, *displacement*

ABSTRACT

The UGM Teaching Industrial Learning Centre (TILC) building is one of 4 buildings included in the package 4 construction project (ASPLC, DLC, TILC, and FRC). Universitas Gadjah Mada in 2020. The construction of this building serves as a centre for the development of innovative ideas and collaboration of students and academics of the Faculty of Engineering, Vocational School, Universitas Gadjah Mada, which can create synergistic activities. The location of the UGM TILC Building in Yogyakarta is one of the earthquake-prone areas. The TILC UGM building is a vital building when viewed in terms of building function because there are many human activities, so the building is expected to remain strong in the event of an earthquake. One way to reduce the impact of an earthquake is to add a shear wall structure that has the appropriate shape and placement. In shear wall design, there are various shape options that can be applied, the use of these shape variations can affect the base shear, displacement, drift ratio, and deviation pattern.

This study aims to compare the values of base shear, displacement, inter story drift, and drift ratio as a result of variations in the shape and placement of shear walls in the face of spectrum response earthquake loads. The method applied in this study is to use the dynamic analysis method, namely Response Spectrum. The comparison variants involved buildings with existing shear walls in the TILC UGM Building, buildings with L-Shape, and straight shape. This study includes three structural models including an existing structural model (model 1) and 2 variations of structural models, namely a structural model with an L-Shape (model 2) and a structural model with a Straight Shape (model 3). Simulation using ETABS V18.

The results of this study show that the lowest base shear value is found in model 3 which is 24961.46 kN lower by 7.582% compared to the existing structural model. Modeling with the lowest displacement value in the x direction is modeling the structure with the shape of the L-Shape (model 2) which is 26.308 mm, while for the y direction is modeling the structure with the shape of the Straight Shape (model 3) which is 26.115 mm. The lowest deviation value is found in structural modeling with the L-Shape (model 2) with a decrease in the deviation between levels for the x direction of 10.061 mm with a percentage decrease of 41.50%, while for the y direction there is a structural modeling with the Straight Shape shear wall shape (model 3) which is 9.339 mm with a percentage decrease of 38.19%. The lowest drift ratio comparison value for the X direction is found on the 1st floor of model 3 which is 0.110% and for the Y direction is found on the 1st floor of model 3 which is 0.115%.

Keywords: Shear wall, base shear, displacement

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia adalah negara yang rawan gempa bumi karena secara geografis Indonesia terletak pada pertemuan antara tiga lempeng yaitu lempeng Eurasia, lempeng Pasifik, dan lempeng Indo-Australia. Selain itu wilayah Indonesia juga terletak pada daerah Cincin Api Pasifik. Berdasarkan karakteristik geologisnya tersebut Indonesia menjadi negara yang memiliki jumlah gunung aktif lebih tinggi daripada sebagian besar negara lain. Keadaan geografis dan geologis ini seringkali menyebabkan wilayah Indonesia mengalami gempa bumi.

Gempa bumi pada dasarnya tidak dapat diprediksi kapan dan dimana akan terjadi. Baik gempa kecil maupun gempa besar memiliki potensi yang membuat bangunan bergoyang, yang mengakibatkan risiko kerusakan dan bahaya bagi kehidupan manusia. Saat ini, banyak bangunan didesain dengan orientasi vertikal sebagai respons terhadap keterbatasan lahan di daerah perkotaan, dimana pembangunan gedung secara vertikal dianggap sebagai opsi untuk mengakomodasi pertumbuhan aktivitas manusia. Semakin vital fungsi suatu bangunan, sehingga semakin besar perhitungan gaya gempa yang harus diperhitungkan dalam desain.

Penting untuk memahami perilaku struktur utama pada bangunan bertingkat karena struktur atasnya akan sangat dipengaruhi oleh jenis, ukuran, penempatan, dan bahan material dari struktur utama tersebut. Pengetahuan mengenai perilaku ini khususnya berkaitan dengan goyangan horizontal, terutama akibat beban gempa. Menurut SNI 1726-2019 pada Tabel 12 terdapat beberapa sistem pemikul gaya seismik. Beberapa sistem pemikul gaya seismik tersebut adalah sistem dinding penumpu, sistem rangka bangunan, sistem rangka pemikul momen, sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus, sistem ganda dengan rangka pemikul momen, sistem interaktif dinding geser rangka, dan sistem kolom kantilever. Dampak gempa dapat dikurangi dengan menambahkan struktur dinding geser yang

ditempatkan dan dibentuk secara cermat. Penerapan dinding geser dalam desain bangunan bertingkat berpotensi mengurangi ukuran kolom dan balok, serta tetap menjaga agar *displacement* pada bangunan tidak mencapai tingkat yang mengganggu, sehingga meningkatkan kenyamanan bagi pengguna.

Bentuk dan penempatan yang sesuai dari dinding geser dapat mengurangi simpangan antar lantai pada struktur gedung dan meningkatkan kekakuan bangunan, memberikan kontribusi yang signifikan saat torsi terjadi pada gedung. Astriani (2010) menyatakan torsi yang timbul pada bangunan disebabkan oleh beberapa hal yaitu bentuk bangunan, efek gangguan bangunan lain, dan pengaruh dinamis. Beban lateral dapat menyebabkan torsi pada bangunan ketika gaya lateral cenderung memutar bangunan secara vertikal. Hal tersebut terjadi ketika pusat beban tidak selaras dengan pusat kekakuan elemen vertikal dari sistem ketahanan struktur. Saat gempa terjadi, eksentrisitas antara pusat kekakuan dan pusat massa bangunan dapat menghasilkan gerakan torsi. Torsi ini mungkin meningkatkan pergeseran pada titik ekstrim bangunan dan menimbulkan masalah pada elemen penahan gaya lateral yang berada di tepi gedung.

Terdapat berbagai bentuk yang dapat digunakan dalam perencanaan pada dinding geser. Wiryadi (2019) menyatakan terdapat tiga bentuk umum dinding geser pada bangunan, yakni dinding geser dengan bentuk *L-shape*, *C-shape*, dan *straight shape*. Pemilihan variasi bentuk dan lokasi penempatan dinding geser dapat berdampak pada *base shear*, *drift ratio*, *displacement*, dan pola simpangan. Majored dkk (2015) menyatakan dinding geser yang ditempatkan pada sisi luar bangunan memiliki kapasitas untuk menahan gaya lateral yang lebih besar dibandingkan dengan dinding geser yang ditempatkan pada bagian dalam bangunan sebagai inti atau sebaliknya.

Maksud dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi perbandingan *base shear*, *drift ratio*, *displacement*, dan pola simpangan yang berasal dari berbagai penempatan dinding geser pada gedung bertingkat. Objek penelitian dipilih Gedung bertingkat *Teaching Industry Learning Center (TILC)* Universitas Gadjah Mada (UGM). Gedung TILC UGM merupakan bangunan yang berbentuk L yang termasuk dalam kategori bangunan *irregular* karena dalam 1 arah beban gempa

terdapat massa bangunan yang berada pada *strong axis* dan massa sebaliknya berada pada posisi *weak axis*. Struktur *irregular* kurang aman dalam merespon gempa pada bangunan karena gempa akan menyerang bagian-bagian dari bangunanyang lemah dalam aspek struktur, selain itu ketidakberaturan struktur akan menimbulkan momen-momen puntir horizontal akibat adanya eksentrisitas antara pusat massa dan pusat kekakuan. Perbandingan model struktur dilakukan antara model struktur dari perencana (*existing*) dan variasi model struktur dari tugas akhir ini dengan mempertimbangkan bentuk, dimensi, dan alokasi penempatan dinding geser. Pada penelitian ini, dinding geser ditempatkan baik pada sisi luar maupun sisi dalam bangunan dengan variasi bentuk berupa *L-shape*, *T-shape*, dan *straight shape*. Hasil penelitian ini dapat menjadi acuan untuk menentukan posisi dan bentuk dinding geser yang paling efektif pada struktur bangunan gedung tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah berdasarkan latar belakang diatas adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana variasi geometri dan penempatan dinding geser memengaruhi gaya *base shear* bangunan gedung?
2. Bagaimana kontrol ketidakberaturan horizontal dan ketidakberaturan vertikal dari variasi geometri dan penempatan dinding geser?
3. Bagaimana variasi geometri dan penempatan dinding geser mempengaruhi *displacement* bangunan gedung?
4. Bagaimana variasi geometri dan penempatan dinding geser memengaruhi simpangan antar tingkat bangunan gedung?
5. Bagaimana variasi geometri dan penempatan dinding geser memengaruhi *drift ratio* bangunan gedung?
6. Bagaimana perbandingan hasil dari variasi geometri dan penempatan dinding geser terhadap *base shear*, *displacement*, simpangan antar tingkat, dan *drift ratio*?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian berdasarkan rumusan masalah diatas adalah sebagai berikut.

1. Menghitung seberapa besar pengaruh variasi geometri dan penempatan dinding geser terhadap gaya *base shear* bangunan gedung.
2. Menghitung ketidak-beraturan horizontal dan vertikal dari variasi geometri dan penempatan dinding geser.
3. Menghitung seberapa besar pengaruh variasi geometri dan penempatan dinding geser terhadap *displacement* bangunan gedung.
4. Menghitung seberapa besar pengaruh variasi geometri dan penempatan dinding geser terhadap *drift ratio* bangunan gedung.
5. Menghitung seberapa besar pengaruh variasi geometri dan penempatan dinding geser terhadap pola simpangan bangunan gedung.
6. Menghitung perbandingan hasil dari variasi geometri dan penempatan dinding geser terhadap *base shear*, *displacement*, simpangan antar tingkat, dan *drift ratio*.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian diuraikan sebagai berikut.

1. Meningkatkan pemahaman mengenai keefektifan bentuk dan penempatan dinding geser dalam meredam gaya gempa.
2. Meningkatkan pemahaman mengenai referensi perilaku struktur terhadap varian geometri dan penempatan dinding geser.
3. Meningkatkan pemahaman sebagai rujukan untuk penelitian-penelitian berikutnya yang akan membahas tentang dinding geser dengan acuan SNI 1726-2019 dan bisa menjadi acuan atau bahan referensi untuk melakukan penelitian yang lebih komprehensif.

1.5 Batasan Penelitian

Adapun pada penelitian ini permasalahan dibatasi pada:

1. Bangunan yang didesain merupakan bangunan gedung *Teaching Industry Learning Center (TILC)* Universitas Gadjah Mada (UGM) 9 lantai dengan tinggi total 37,4 m dengan bentuk L yang merupakan termasuk kategori bangunan *irregular*.
2. Struktur yang ditinjau adalah struktur beton bertulang pada struktur bagian atas bangunan sehingga tidak dilakukan peninjauan pada bagian fondasi bangunan.
3. Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung menggunakan SNI 1726-2019.
4. Standar beban minimum yang digunakan untuk perancangan bangunan gedung menggunakan SNI 1727-2020.
5. Persyaratan beton struktural yang digunakan menggunakan SNI 2847-2019.
6. Analisis gempa menggunakan analisis respon spektrum.
7. Analisis menggunakan bantuan *software* ETABS versi 18.
8. Beban yang diperhitungkan dalam analisis adalah beban mati, beban hidup, dan beban gempa.
9. Kondisi tanah adalah kondisi tanah sedang mengacu pada penelitian oleh Jhon,dkk (2013), tentang “PREDIKSI PENCAIRAN TANAH AKIBAT GEMPA di DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA”.
10. Penelitian ini pada model 2 dan 3 tidak mengubah denah eksisting dan tidak menganalisis ulang terhadap elemen struktur seperti balok, kolom, dan pelat.

BAB II

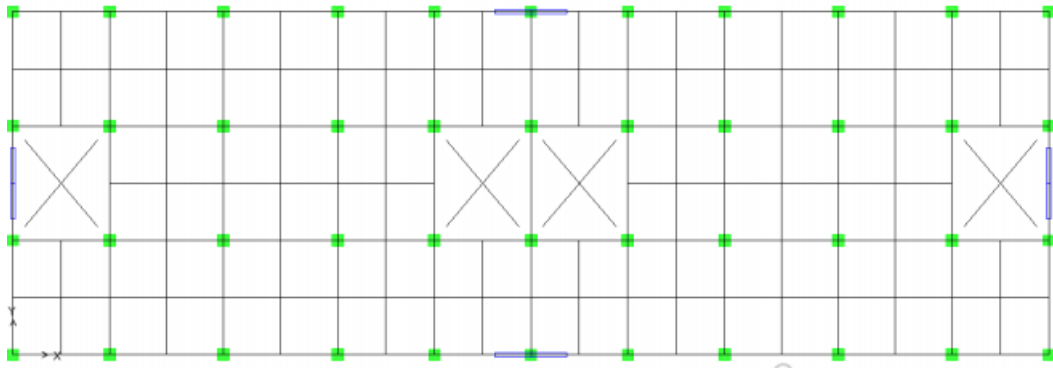
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

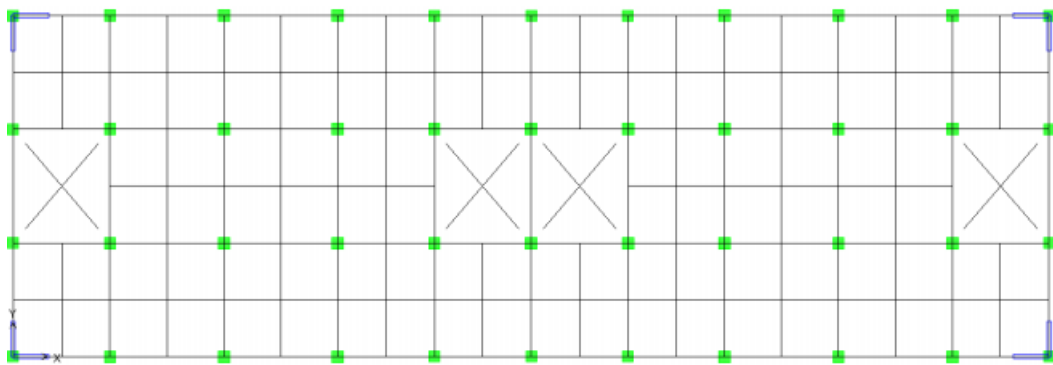
Berikut adalah beberapa sumber rujukan dari peneliti sebelumnya yang dapat digunakan sebagai panduan terkait dengan penelitian yang sedang direncanakan. Sumber-sumber rujukan tersebut mencakup jurnal ilmiah, prosiding, dan tugas akhir. Beberapa penelitian telah dilakukan mengenai dampak penempatan dinding geser terhadap respon struktur. Beberapa penelitian yang relevan untuk tinjauan pustaka dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Respon Struktur Bangunan Bertingkat Dengan Variasi Tata Letak Dinding Geser Akibat Beban Gempa Dinamik Respon Spektrum.

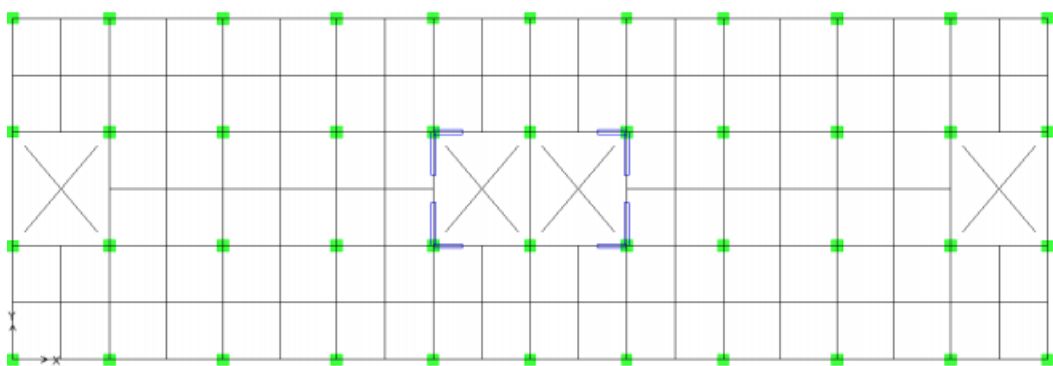
Variasi tata letak dinding geser dalam respon struktur bangunan bertingkat dapat mengacu pada judul tugas akhir Kajian Perbandingan Respon Struktur Bangunan Bertingkat Dengan Variasi Tata Letak Dinding Geser Akibat Beban Gempa Dinamik Respon Spektrum. Jannah (2018) melakukan penelitian dengan tujuan untuk menghitung dampak variasi pemberian dinding geser terhadap *drift ratio* bangunan akibat beban gempa dan menentukan pengaruh penempatan variasi dinding geser terhadap *displacement* serta mengidentifikasi pola goyangan masing-masing model struktur dalam menghadapi beban gempa. Bangunan penelitian ini setinggi 10 lantai, terletak di Yogyakarta dengan tanah keras, dan menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dengan tinggi tiap lantai 4 meter. Gambar 2.1 hingga 2.3 memperlihatkan 3 model struktur yang dianalisis dengan *software* ETABS, dengan model penempatan lokasi dinding geser yang berbeda.



Gambar 2.1 Denah Struktur Lokasi Penempatan *Shearwall* Model 1



Gambar 2.2 Denah Struktur Lokasi Penempatan *Shearwall* Model 2



Gambar 2.3 Denah Struktur Lokasi Penempatan *Shearwall* Model 3

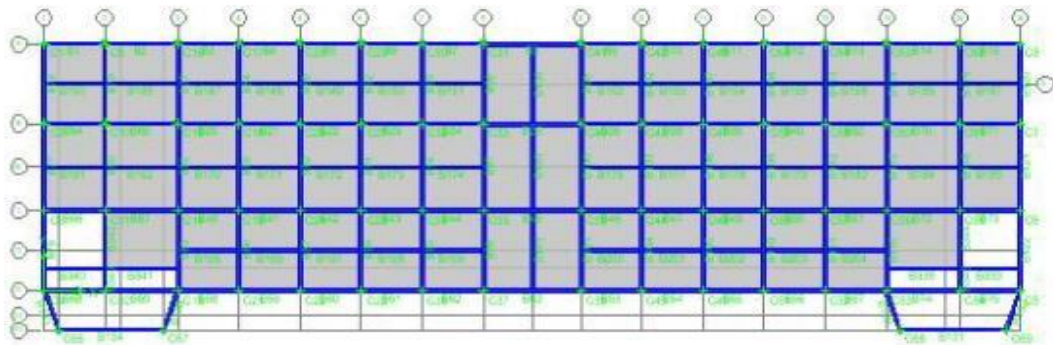
Kesimpulan dari analisis variasi penempatan dinding geser dalam penelitian ini dapat diuraikan sebagai berikut.

- a. Terdapat perbandingan maksimum *drift ratio* pada masing-masing model sebagai akibat dari beban gempa respons spektrum pada arah x, yaitu

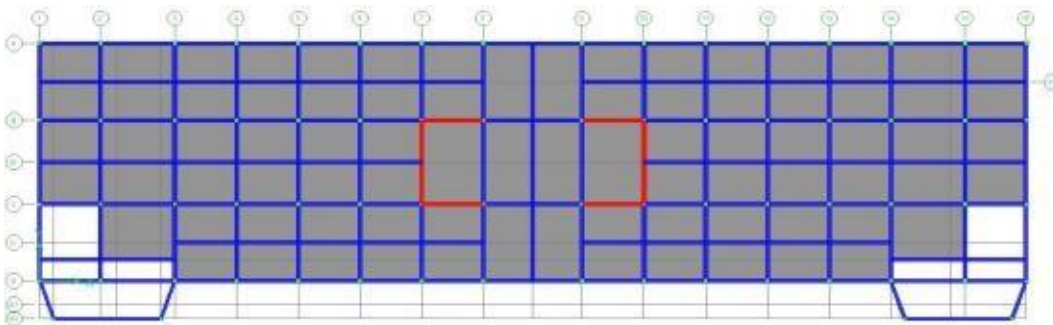
sebesar 8,39% untuk struktur *shearwall* model 1 dan pada arah y sebesar 29,5% untuk struktur *shearwall* model 3. Sedangkan *drift ratio* minimum pada masing-masing model terjadi akibat beban gempa respons spektrum pada arah x sebesar -1,587% untuk struktur *shearwall* model 3 dan pada arah y sebesar 6,333% pada struktur *shearwall* model 2.

- b. Berdasarkan hasil perbandingan penempatan dinding geser, model 1 dianggap sebagai struktur yang direkomendasikan karena menunjukkan kekakuan yang tinggi dengan *displacement* terendah.
 - c. Goyangan pada struktur tanpa dinding geser memiliki pola goyangan *shear mode*, sementara struktur dengan dinding geser termasuk model 1,2,dan 3 menunjukkan pola goyangan kombinasi.
2. Efek Letak Dinding Geser Pada Gedung Bertingkat dalam Menghadapi Gaya Lateral Gempa.

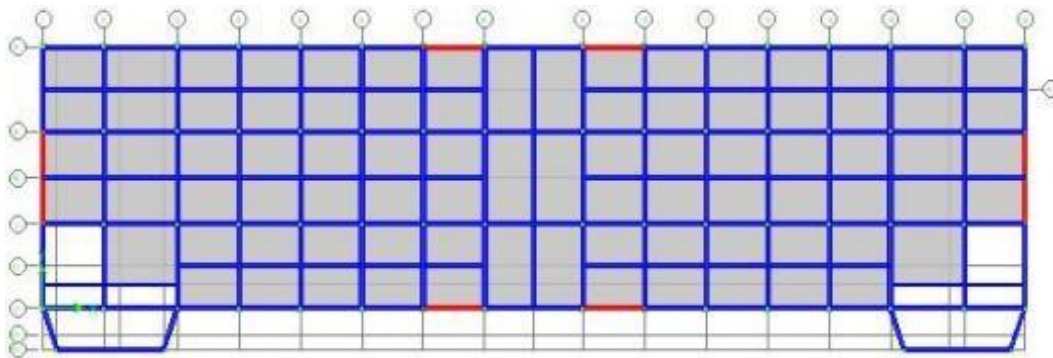
Reksoharjo (2017) melakukan penelitian dengan tujuan untuk mengevaluasi dampak penggunaan dinding geser pada struktur dan memahami pengaruh letak penempatan dinding geser pada bangunan bertingkat dalam mengatasi gaya lateral akibat gempa. Parameter yang dianalisis melibatkan perioda getar, gaya geser dasar, perpindahan lateral, dan simpangan antrair lantai. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk menghitung bagaimana penggunaan dinding geser memengaruhi gaya-gaya internal yang terjadi pada struktur tersebut. Pemodelan gedung dilakukan dengan menggunakan model bangunan 4 lantai, dan jenis tanah diasumsikan sebagai tanah sedang. Perencanaan gedung ini fokus pada struktur primer, sementara fondasi dan struktur sekunder tidak termasuk dalam lingkup penelitian. Proses perancangan dan analisis struktur dilakukan dengan memanfaatkan *software* ETABS V 9.7.4.



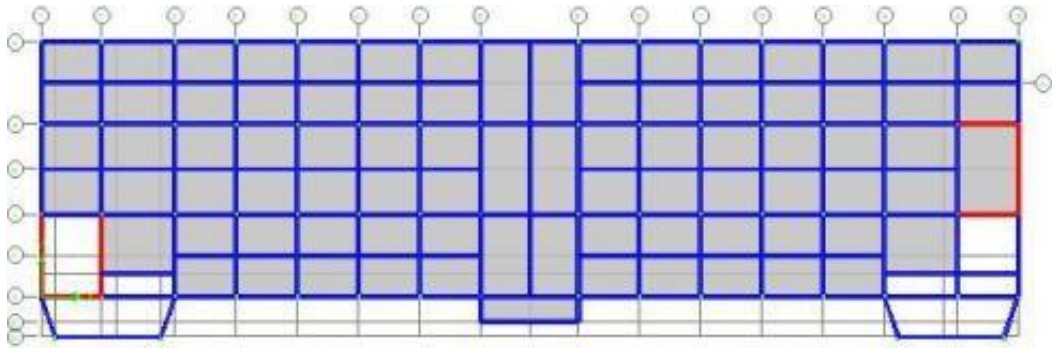
Gambar 2.4 Denah Lantai Struktur Model 1



Gambar 2.5 Denah Lantai Struktur Model 2



Gambar 2.6 Denah Lantai Struktur Model 3

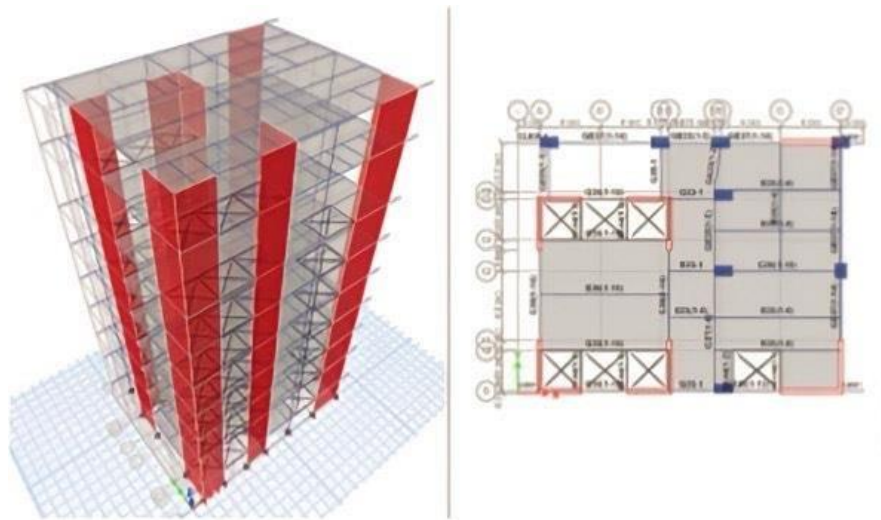


Gambar 2.7 Denah Lantai Struktur Model 4

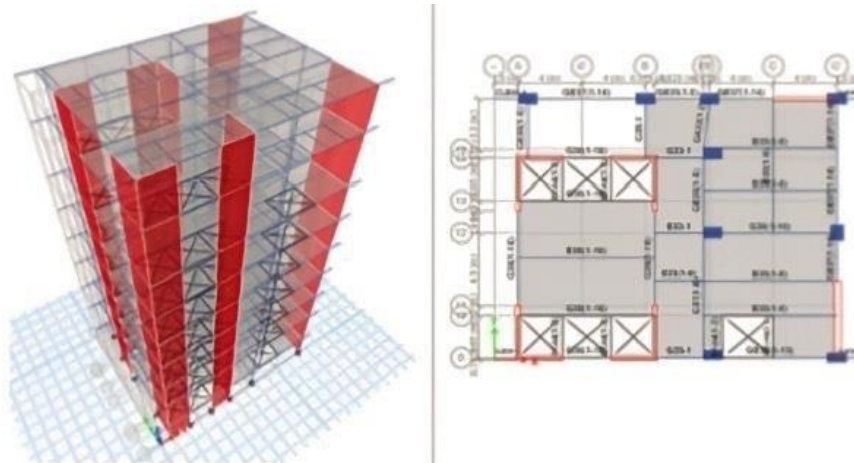
Setelah dilakukan penelitian beberapa kesimpulan yang dapat diambil adalah sebagai berikut.

- a. Periode struktur untuk satu bentang portal 2 dimensi, yang dihitung secara manual menggunakan metode matriks iterasi dan dengan bantuan *software* ETABS v9.7.4, menghasilkan periode terbesar pada mode 1, yakni manual = 0,951 s dan ETABS = 0,990 s (+4,041%). Sementara itu, periode terendah pada mode 3 adalah manual 0,216 s dan ETABS = 0,200 s (-7,490%).
- b. Pada perhitungan struktur 3 dimensi, terjadi penurunan signifikan pada periode getar struktur ketika diberikan struktur pengaku (*bracing*) seperti dinding geser. Penurunan paling mencolok pada model struktur 2, yakni sebesar 0,669 s (menurun 60,41%).
- c. Hasil perhitungan perpindahan struktur portal rangka model 2 menunjukkan defleksi terkecil dalam kedua arah, dengan 89,20 mm pada arah x dan 65,20 mm pada arah y.
- d. Simpangan antar lantai pada struktur dengan dinding geser telah memenuhi batasan simpangan antar lantai yang diizinkan, dengan terendah pada arah x pada mode 2 sebesar 44,40 mm dan pada arah y pada mode 4 sebesar 31,20 mm.
- e. Berdasarkan data perpindahan dan simpangan antar lantai di atas, dapat disimpulkan bahwa penerapan dinding geser pada model 2, khususnya pada bagian tengah struktur, menunjukkan kinerja yang optimal pada model struktur ini.

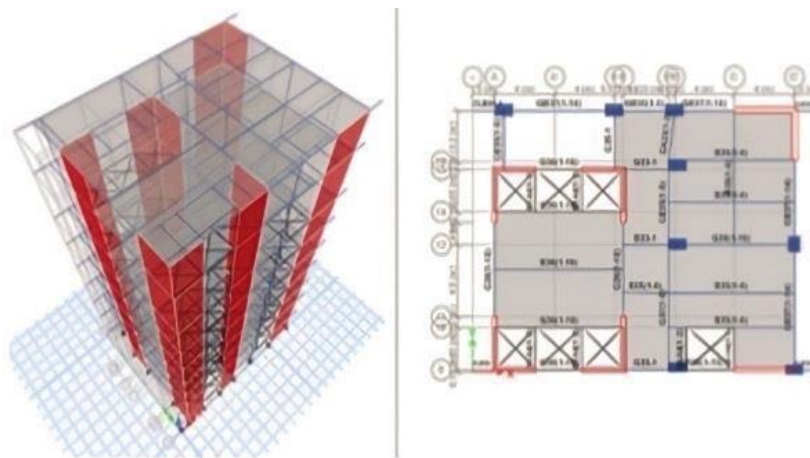
3. Penempatan Dinding Geser Terhadap Perilaku Dinamik Struktur Bangunan
Kalangi dkk (2021) melakukan penelitian dengan tujuan untuk melakukan analisis terhadap tiga opsi penempatan dinding geser dengan lokasi yang berbeda pada proses pembangunan Tahap I dari sebuah gedung. Penempatan tersebut sesuai dengan pedoman perencanaan yang dijelaskan dalam SNI 1726-2019. Gedung yang dimodelkan terletak di Makassar, dan proses pembangunannya terdiri dari dua tahap dengan rentang waktu yang belum ditentukan. Pemodelan gedung hanya mencakup tinggi 9 lantai dari total 22 lantai yang direncanakan. Analisis struktural dilakukan dengan menggunakan *software* ETABS v18 sebagai alat bantu, dengan merujuk pada pedoman SNI 1726-2019 dan SNI 1727-2020.



Gambar 2.8 Model Perencanaan Alternatif 1



Gambar 2.9 Model Perencanaan Alternatif 2



Gambar 2.10 Model Perencanaan Alternatif 3

Kesimpulan dari analisis variasi penempatan dinding geser dalam penelitian ini dapat diuraikan sebagai berikut.

- a. Dari tiga skenario perencanaan yang dievaluasi, dapat disimpulkan bahwa opsi kedua merupakan opsi perencanaan yang paling optimal karena menunjukkan perpindahan struktural yang sangat efektif dalam kedua arah sumbu, X dan Y, dengan rata-rata perpindahan sekitar 19,787 mm untuk sumbu X dan 17,220 mm untuk sumbu Y (dengan batasan maksimal perpindahan 40 mm untuk kedua arah tersebut). Opsi kedua juga terbukti sebagai alternatif yang paling efisien dalam memenuhi persyaratan sistem ganda (dengan minimal 25% beban

lateral yang ditanggung oleh rangka), dengan kontribusi portal mencapai 36,734% untuk sumbu X dan 31,1996% untuk sumbu Y.

- b. Dari tiga skenario perencanaan yang dipertimbangkan, disimpulkan bahwa ketika gempa terjadi, struktur tersebut sudah mengalami translasi pada mode bentuk 1 dan 2, dengan total partisipasi massa melebihi 90%, sesuai dengan persyaratan yang telah ditetapkan.

2.2 Perbedaan Penelitian

Berdasarkan tinjauan pustaka diatas dari ketiga penelitian terdahulu, terdapat beberapa perbedaan substansi penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini sebagaimana diidentifikasi dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Perbedaan Substansi Penelitian Terdahulu

No.	Peneliti	Perbedaan Substansi Penelitian	
		Terdahulu	Baru
1.	Jannah, A.N. (2018)	1. Analisis gempa menggunakan peraturan SNI 1726-2012	1. Analisis gempa menggunakan peraturan SNI 1726-2019
		2. Bangunan yang digunakan sebagai objek penelitian adalah bangunan segi empat	2. Bangunan yang digunakan sebagai objek penelitian adalah bangunan <i>irregular</i>
		3. 4 model struktur, yaitu 1 struktur tanpa <i>shearwall</i> dan 3 variasi <i>shearwall</i>	3. tiga model struktur, yaitu 1 model sesuai kondisi eksisting dan 2 variasi <i>shearwall</i>
2.	Reksoharjo, J.M. (2017)	1. Analisis gempa menggunakan peraturan SNI 1726-2012	1. Analisis gempa menggunakan peraturan SNI 1726-2019
		2. Permodelan menggunakan <i>software</i> ETABS	2. Permodelan struktur menggunakan <i>software</i> ETABS V18

Lanjutan Tabel 2.1 Perbedaan Substansi Penelitian Terdahulu

No.	Peneliti	Substansi penelitian terdahulu	
		Terdahulu	Baru
		3. Bangunan yang ditinjau berupa gedung berbentuk segiempat dengan 4 lantai	3. Bangunan yang ditinjau berupa bangunan irregular dengan 9 lantai
3.	Kalangi, dkk (2021)	1. Permodelan menggunakan <i>software</i> ETABS	1. Permodelan menggunakan <i>software</i> ETABS V18
		2. Bangunan yang digunakan sebagai objek penelitian adalah relatif bangunan segi empat	2. Bangunan yang digunakan sebagai objek penelitian adalah bangunan <i>irregular</i>

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Filosofi dan Konsep Bangunan Tahan Gempa

Pada daerah yang sering mengalami gempa bumi, seperti di Indonesia, perencanaan struktur bangunan harus mampu menahan gaya gempa dan beban strukturalnya. Secara khusus pada bangunan yang memiliki fungsi vital dan berisiko tinggi dalam melindungi nyawa manusia, keberlanjutan bangunan tersebut dalam menghadapi gaya-gaya eksternal menjadi semakin penting, sehingga perhitungan gaya gempa untuk bangunan tersebut harus semakin cermat sesuai dengan kebutuhan.

Bangunan yang dirancang untuk tahan gempa adalah struktur yang memiliki kemampuan untuk bertahan dan tidak runtuh ketika gempa terjadi. Bangunan tahan gempa bukan berarti tidak boleh mengalami kerusakan sama sekali, namun bangunan tahan gempa boleh mengalami kerusakan asalkan masih memenuhi persyaratan yang berlaku. Menurut Widodo (2012) filosofi dari bangunan tahan gempa sebagai berikut.

1. Pada gempa dengan skala kecil yang kerap kali terjadi, integritas struktur pokok bangunan harus dipertahankan tanpa mengalami kerusakan. Apabila terdapat kerusakan kecil pada elemen non-struktural, hal tersebut masih dapat diterima.
2. Pada gempa dengan skala menengah yang kerap kali terjadi, struktur utama bangunan diperbolehkan rusak akan tetapi masih dalam kategori kerusakan ringan yang dapat diperbaiki. Kerusakan yang terjadi pada elemen non-struktural dapat diganti dengan yang baru.
3. Pada gempa berkekuatan skala tinggi yang kerap kali terjadi, bangunan diizinkan mengalami kerusakan, namun tidak boleh mengalami keruntuhan total. Pada kondisi ini, ketika terjadi gempa kuat, bangunan masih dapat memberikan perlindungan optimal bagi penghuninya.

3.2 Pembebanan

Pembebanan yang diterapkan dalam penelitian ini untuk mengevaluasi struktur bangunan mencakup beban mati, beban hidup, dan beban gempa. Adapun penjelasan yang digunakan untuk menganalisis penelitian ini adalah sebagai berikut.

3.2.1 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). Dalam penghitungan beban mati untuk tujuan perancangan, diperlukan penggunaan berat bahan dan struktur yang sebenarnya. Jika informasi tersebut tidak tersedia dengan jelas, maka beban yang digunakan seharusnya disetujui oleh otoritas yang berwenang. Dalam perhitungan beban mati, perlu mempertimbangkan berat peralatan layanan yang digunakan dalam struktur bangunan, seperti sistem plumbing atau sanitasi, peralatan mekanikal elektrikal, pemanas, ventilasi, dan sistem pengkondisian udara.

3.2.2 Beban Hidup

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 (SNI 1727-2020). Beban hidup yang digunakan dalam perancangan bangunan gedung dan struktur lain harus merupakan beban maksimum yang diharapkan terjadi akibat penghunian dan penggunaan bangunan gedung, akan tetapi tidak boleh kurang dari beban merata minimum yang ditetapkan dalam Tabel 4.3-1 SNI 1727-2020 tentang beban hidup terdistribusi merata minimum, L_0 dan beban hidup terpusat minimum.

3.2.3 Beban Gempa

Beban gempa adalah semua beban statik ekuivalen yang bekerja pada gedung atau bagian gedung yang menirukan pengaruh dari gerakan tanah akibat gempa tersebut. Gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlampaui besarnya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2 % (SNI 1726-2019). Terdapat berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan nongedung yang dikelompokkan pada beban gempa di dalam SNI 1726-2019 dapat dilihat pada Lampiran 5 Kategori risiko bangunan gedung dan nongedung untuk beban gempa halaman 140. Berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan nongedung sesuai Lampiran 5 pengaruh gempa rencana harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan gempa I_e yang dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori Risiko	Faktor Keutamaan Gempa (I_e)
I atau II	1,10
III	1,25
IV	1,50

Sumber : SNI 1726-2019

Pada setiap sistem pemikul gaya seismik yang berbeda di izinkan untuk digunakan menahan gaya seismik di masing-masing arah kedua sumbu ortogonal struktur. Apabila sistem yang berbeda digunakan, masing-masing R , C_d , dan Ω_0 harus diterapkan pada setiap sistem, termasuk batasan sistem struktur yang termuat pada SNI 1726-2019 dapat dilihat pada Lampiran 6 Faktor R , C_d , dan Ω_0 untuk sistem pemikul gaya seismik.

3.2.4 Kombinasi Pembebanan untuk Metode Ultimit

Struktur bangunan memiliki komponen-komponen elemen struktur dan elemen fondasi harus didesain sedemikian hingga kuat rencananya sama atau melebihi pengaruh-pengaruh beban terfaktor dengan kombinasi pembebanan.

Berdasarkan SNI 1726-2019 kombinasi pembebanan untuk metode ultimit yang dipakai adalah sebagai berikut.

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

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

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

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

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

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

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

Keterangan notasi:

D = beban mati,

E = beban gempa,

L = beban hidup,

Lr = beban hidup atap,

R = beban hujan,

S = beban salju,

W = beban angin,

3.2.5 Kombinasi Pembebanan untuk Metode Tegangan Izin

Peningkatan tegangan izin tidak boleh diterapkan pada beban atau kombinasi beban yang disampaikan pada tata cara ini, kecuali bila hal tersebut dapat dibuktikan berlaku akibat pengaruh laju atau durasi pembebanan. Berdasarkan SNI 1726-2019 kombinasi pembebanan untuk metode tegangan izin yang dipakai adalah sebagai berikut.

$$1. \quad D \quad (3.8)$$

$$2. \quad D + L \quad (3.9)$$

$$3. \quad D + (Lr \text{ atau } R) \quad (3.10)$$

$$4. \quad D + 0,75 L + 0,75 (Lr \text{ atau } R) \quad (3.11)$$

$$5. \quad D + 0,6 W \quad (3.12)$$

$$6. \quad D + 0,75 (0,6 W) + 0,75 L + 0,75 (Lr \text{ atau } R) \quad (3.13)$$

$$7. \quad 0,6 D + 0,6 W \quad (3.14)$$

$$8. \quad 0,6 D + 0,7 E \quad (3.15)$$

$$9. \quad 1 D + 0,7 E \quad (3.16)$$

$$10. \quad 1 D + 0,525 E + 0,75 L \quad (3.17)$$

Keterangan notasi:

D = beban mati,

E = beban gempa,

L = beban hidup,

Lr = beban hidup atap,

R = beban hujan,

S = beban salju,

W = beban angin,

3.2.6 Redundansi

Faktor redundansi (ρ) harus diaplikasikan pada masing-masing kedua arah orthogonal untuk semua sistem struktur pemikul gaya seismik. Nilai ρ di izinkan sama dengan 1,0 sesuai dalam SNI 1726-2019 pasal 7.3.4.1 berikut ini.

1. Desain struktur untuk kategori desain seismic B atau C.
2. Perhitungan simpangan antar tingkat dan pengaruh P-delta.
3. Desain komponen nonstruktural
4. Desain struktur nongedung yang tidak mirip dengan bangunan gedung
5. Desain elemen kolektor, sambungan lewatan, dan sambungan, yang memperhitungkan kombinasi pengaruh beban seismik termasuk faktor lebih.
6. Desain elemen struktur atau sambungan yang memperhitungkan kombinasi pengaruh beban seismic termasuk faktor kuat lebih.
7. Desain dinding struktural terhadap gaya keluar bidang, termasuk sistem angkurnya.

Pada SNI 1726-2019 pasal 7.3.4.2 untuk bangunan struktur dengan kategori desain seismic D yang memiliki ketidakberaturan torsi berlebihan sesuai dengan Tabel 13, Tipe 1b, ρ harus sebesar 1,3. Kategori seismic desain E dan F tidak di izinkan memiliki ketidakberaturan torsi berlebihan. Untuk struktur dengan kategori

desain seismik D, E, atau F, ρ harus sebesar 1,3, kecuali jika satu dari dua kondisi berikut ini terpenuhi, maka ρ diizinkan diambil sebesar 1,0:

1. Masing-masing tingkat yang menahan lebih dari 35% geser dasar dalam arah yang ditinjau harus sesuai dengan Tabel 15 SNI 1726-2019.
2. Struktur dengan denah beraturan di semua tingkat dengan sistem pemikul gaya seismik terdiri dari paling sedikit dua bentang perimeter pemikul gaya seismik 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.

3.3 Ketidakberaturan Struktur

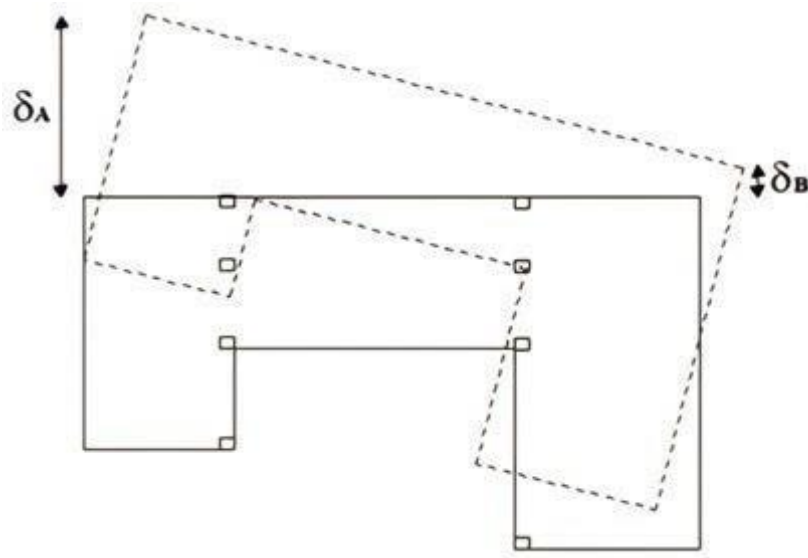
Struktur harus diklasifikasikan beraturan atau tidak beraturan berdasarkan pada kriteria dalam SNI 1726-2019 Pasal 7.3.2. Klasifikasi tersebut harus didasarkan pada konfigurasi horizontal dan vertikal dari struktur.

3.3.1 Ketidakberaturan Horizontal

Struktur yang mempunyai satu atau lebih tipe ketidakberaturan seperti yang terdapat dalam Tabel 13 SNI 1726-2019 harus dinyatakan mempunyai ketidakberaturan struktur horizontal. Struktur-struktur yang didesain untuk kategori desain seismik sebagaimana yang terdapat dalam Tabel 13 SNI 1726-2019 harus memenuhi persyaratan dalam pasal-pasal yang dirujuk dalam tabel tersebut.

1. Ketidakberaturan torsi (1a) dan ketidakberaturan torsi berlebihan (1b)
Ketidakberaturan torsi didefinisikan (1a) ada jika simpangan antar 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 dimana diafragmanya kaku atau setengah kaku.

Ketidakberaturan torsi berlebihan (1b) didefinisikan ada jika simpangan antar tingkat maksimum yang dihitung termasuk akibat torsi tak terduga dengan $A_x = 1,0$, di salah satu ujung struktur melintang terhadap suatu sumbu adalah lebih dari 1,4 kali simpangan antar tingkat rata-rata dikedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi berlebihan dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur dimana diafragmanya kaku atau setengah kaku. Faktor pembesaran torsi (A_x) tidak boleh kurang 1,0 dan tidak perlu melebihi 3,0. Pembebanan yang lebih parah untuk masing-masing elemen harus ditinjau untuk desain. Faktor pembesaran torsi dapat dilihat pada Gambar 3.1 sebagai berikut ini.



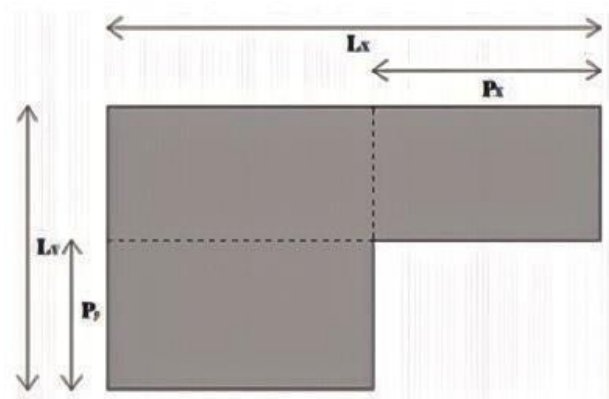
Gambar 3.1 Ketidakberaturan Torsi (1a) dan (1b)

(Sumber : SNI 1726-2019)

2. Ketidak beraturan sudut dalam

Ketidakberaturan 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. Adapun Ketidakberaturan sudut dalam dapat dirumuskan dan dilihat pada Gambar 3.2 sebagai berikut ini.

$$P_y > 0,15 L_y \text{ dan } P_x > 0,15 L_x \quad (3.18)$$



Gambar 3.2 Ketidakberaturan Sudut Dalam

(Sumber : SNI 1726-2019)

3. Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma

Ketidakberaturan 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. Faktor ketidakberaturan diskontinuitas diafragma dapat dilihat pada Gambar 3.3 sebagai berikut ini.



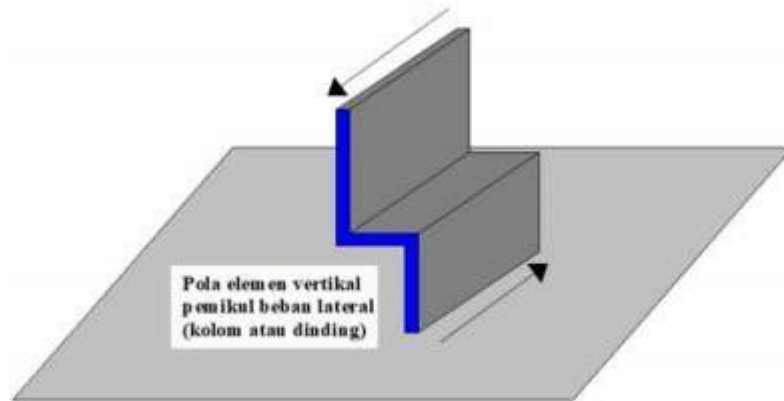
Gambar 3.3 Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma

(Sumber : SNI 1726-2019)

4. Ketidakberaturan akibat pergeseran tegak lurus terhadap bidang

Ketidakberaturan 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. Faktor ketidakberaturan akibat pergeseran tegak lurus terhadap bidang dapat dilihat pada Gambar 3.4 sebagai berikut ini.

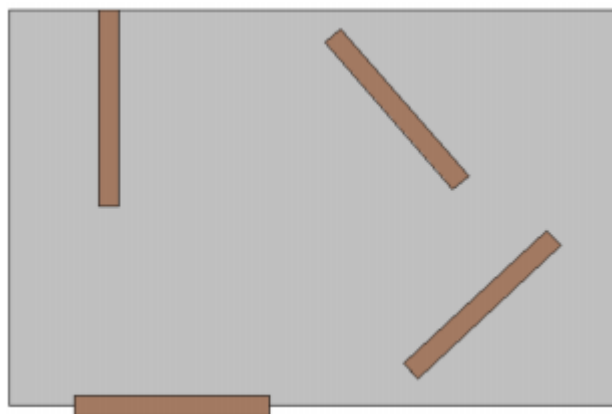


Gambar 3.4 Ketidakberaturan Akibat Pergeseran Tegak Lurus Terhadap Bidang

(Sumber : SNI 1726-2019)

5. Ketidakberaturan sistem nonpararel

Ketidakberaturan sistem nonpararel didefinisikan ada jika elemen vertikal pemikul gaya lateral tidak pararel terhadap sumbu-sumbu ortogonal utama sistem pemikul gaya seismik. Faktor ketidakberaturan sistem nonpararel dapat dilihat pada Gambar 3.5 sebagai berikut ini.



Gambar 3.5 Ketidakberaturan Sistem Nonpararel

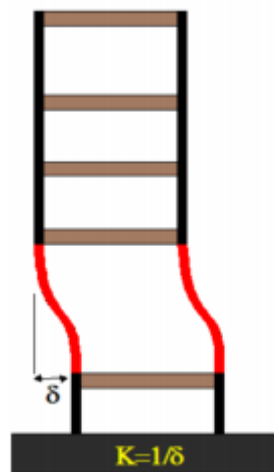
(Sumber : SNI 1726-2019)

3.3.2 Ketidakberaturan vertikal

Struktur yang mempunyai salah satu tipe atau lebih tipe ketidakberaturan seperti yang terdapat dalam Tabel 14 SNI 1726-2019 harus dinyatakan mempunyai ketidakberaturan vertikal. Struktur-struktur yang didesain untuk kategori desain seismik sebagaimana yang terdapat dalam Tabel 14 SNI 1726-2019 harus memenuhi persyaratan dalam pasal-pasal yang dirujuk pada tabel tersebut.

1. Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak (1a) dan ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak berlebihan (1b)

Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak (1a) didefinisikan ada 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 (1b) didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 60% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 70% kekakuan rata-rata tingkat di atasnya. Faktor ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak (1a) dan ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak berlebihan (1b) dapat dilihat pada Gambar 3.6 sebagai berikut ini.

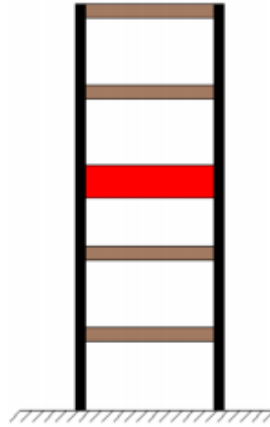


Gambar 3.6 Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak (1a) dan Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan (1b)

(Sumber : SNI 1726-2019)

2. Ketidakberaturan berat (massa)

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. Faktor ketidakberaturan berat (massa) dapat dilihat pada Gambar 3.7 sebagai berikut ini.

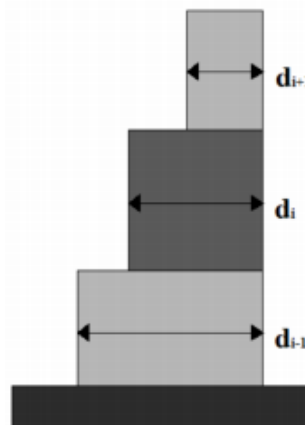


Gambar 3.7 Ketidakberaturan Berat (Massa)

(Sumber : SNI 1726-2019)

3. Ketidakberaturan geometri vertikal

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 di dekatnya. Faktor ketidakberaturan geometri vertikal dapat dilihat pada Gambar 3.8 sebagai berikut ini.

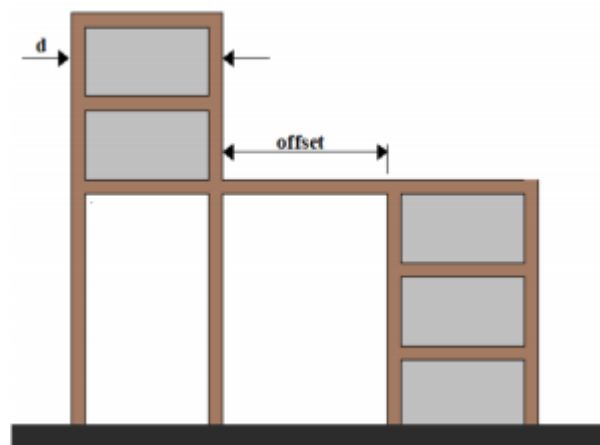


Gambar 3.8 Ketidakberaturan Geometri Vertikal

(Sumber : SNI 1726-2019)

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

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. Faktor ketidakberaturan akibat diskontinuitas bidang pada elemen vertikal pemikul gaya lateral dapat dilihat pada Gambar 3.9 sebagai berikut ini.



Gambar 3.9 Ketidakberaturan Akibat Diskontinuitas Bidang Pada Elemen Vertikal Pemikul Gaya Lateral

(Sumber : SNI 1726-2019)

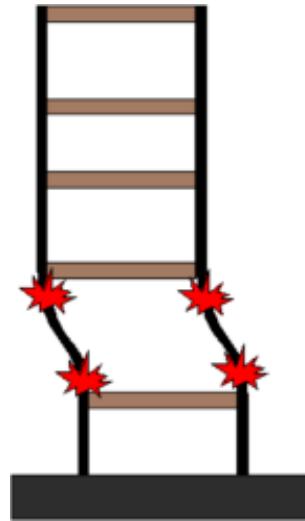
5. Ketidakberaturan tingkat lemah akibat diskontinuitas pada kekuatan lateral tingkat (5a) dan ketidakberaturan tingkat lemah berlebihan akibat diskontinuitas pada kekuatan lateral tingkat (5b)

Ketidakberaturan tingkat lemah akibat diskontinuitas pada kekuatan lateral tingkat (5a) 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.

Ketidakberaturan tingkat lemah berlebihan akibat diskontinuitas pada kekuatan lateral tingkat (5b) 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.

Faktor ketidakberaturan 5a dan 5b dapat dilihat pada Gambar 3.10 sebagai berikut ini.



Gambar 3.10 Ketidakberaturan 5a dan 5b

(Sumber : SNI 1726-2019)

3.4 Respon Dinamik Struktur

3.4.1 Gempa Rencana

Menurut Pasal 4.1.1 SNI 1726-2019 cara menentukan pengaruh gempa rencana yang harus ditinjau dalam perencanaan dan evaluasi struktur bangunan gedung dan nongedung serta berbagai bagian dan peralatannya secara umum. Gempa rencana ditentukan sebagai gempa dengan kemungkinan terlampaui besarnya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2%. Semua elemen struktur, termasuk yang bukan bagian sistem pemikul gaya seismik, harus didesain menggunakan pengaruh beban seismik. Pengaruh beban seismik adalah gaya-gaya elemen aksial, geser dan lentur yang dihasilkan dari penerapan gaya seismik horizontal dan vertikal.

Untuk penggunaan dalam kombinasi beban 5 dan 6, E harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut.

$$E = E_h + E_v \quad (3.19)$$

Untuk penggunaan dalam kombinasi beban 7, E harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut.

$$E = E_h - E_v \quad (3.20)$$

1. Pengaruh beban seismik horizontal

Pengaruh beban seismik horizontal, E_h harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut.

$$E_h = \rho Q_E \quad (3.21)$$

2. Pengaruh beban seismik vertikal

Pengaruh beban seismik horizontal, E_v harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut.

$$E_v = 0,2S_{Ds}D \quad (3.22)$$

3.4.2 Faktor Keutamaan Gempa dan Kategori Resiko Struktur Bangunan

Pada berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan nongedung sesuai Tabel 3 SNI 1726-2019 pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan gempa I_e menurut Tabel 4 SNI 1726-2019. Khusus untuk struktur bangunan dengan kategori risiko IV, apabila dibutuhkan pintu masuk untuk operasional dari struktur bangunan yang bersebelahan, maka struktur bangunan yang bersebelahan tersebut harus didesain sesuai dengan kategori risiko IV. Kategori risiko bangunan gedung dan nongedung untuk beban gempa dapat dilihat pada Tabel 3 SNI 1726-2019.

3.4.3 Klasifikasi Situs

Menurut Pasal 5.1 SNI 1726-2019 klasifikasi situs memberikan penjelasan mengenai prosedur untuk klasifikasi suatu situs untuk memberikan kriteria desain seismic berupa faktor-faktor amplifikasi pada bangunan. Dalam perumusan kriteria desain seismic suatu bangunan di permukaan tanah atau penentuan amplifikasi besaran percepatan gempa puncak dari batuan dasar ke permukaan tanah untuk suatu situs, maka situs tersebut harus diklasifikasikan terlebih dahulu. Profil tanah di situs harus diklasifikasikan sesuai dengan Tabel 5 SNI 1726-2019 yang terbagi menjadi enam kelas situs, yaitu SA (batuan keras), SB (batuan), SC (tanah keras,

sangat padat, dan batuan lunak), SD (tanah sedang), SE (tanah lunak), dan SF (tanah khusus yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs).

3.4.4 Koefisien Situs dan Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa Maksimum

Untuk penentuan respons spektral percepatan gempa 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 pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan perumusan berikut ini.

$$S_{MS} = F_a S_s \quad (3.23)$$

$$S_{M1} = F_v S_1 \quad (3.24)$$

Keterangan notasi:

S_s = parameter respons spektral percepatan gempa untuk periode pendek,

S_1 = parameter respons spektral percepatan gempa 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,

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

S_{M1} = parameter respons spektral percepatan pada periode 1 detik,

Koefisien F_a dan F_v didapatkan melalui SNI 1726-2019 Pasal 6.2 Tabel 6 dan Tabel 7 tentang koefisien situs (F_a) dan koefisien situs (F_v).

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.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (3.25)$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} \quad (3.26)$$

3.4.6 Spektrum Respons Desain

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 3.11 dan mengikuti ketentuan di bawah ini:

1. Untuk periode yang lebih kecil dari T_0 , spektrum respons percepatan desain (S_a) harus diambil dari persamaan:

$$S_a = S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (3.27)$$

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 T_s , tetapi lebih kecil dari atau sama dengan T_L , respons spektral percepatan desain, S_a , diambil berdasarkan persamaan:

$$S_a = \frac{SD1}{T} \quad (3.28)$$

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

$$S_a = \frac{SD1 T_L}{T^2} \quad (3.29)$$

Keterangan notasi:

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

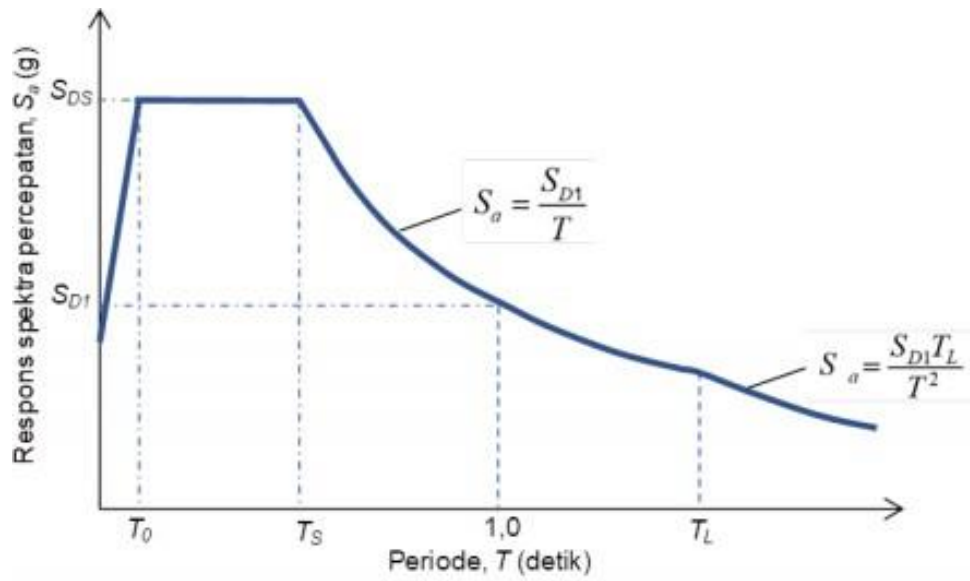
$SD1$ = parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik, T

= periode getar fundamental struktur,

$$T_0 = 0,2 \frac{SD1}{SDS},$$

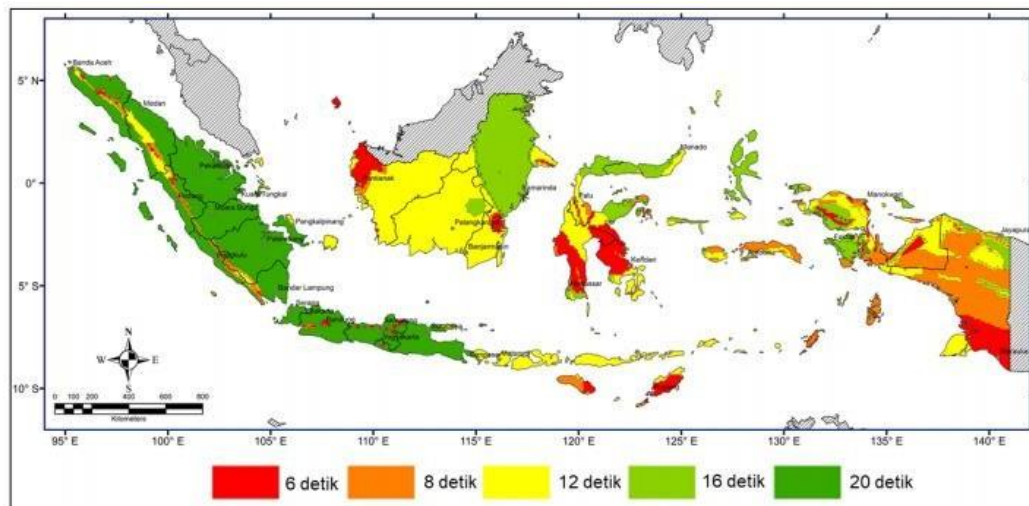
$$T_s = \frac{SD1}{SDS},$$

T_L = peta transisi periode panjang yang ditunjukkan pada Gambar 3.12



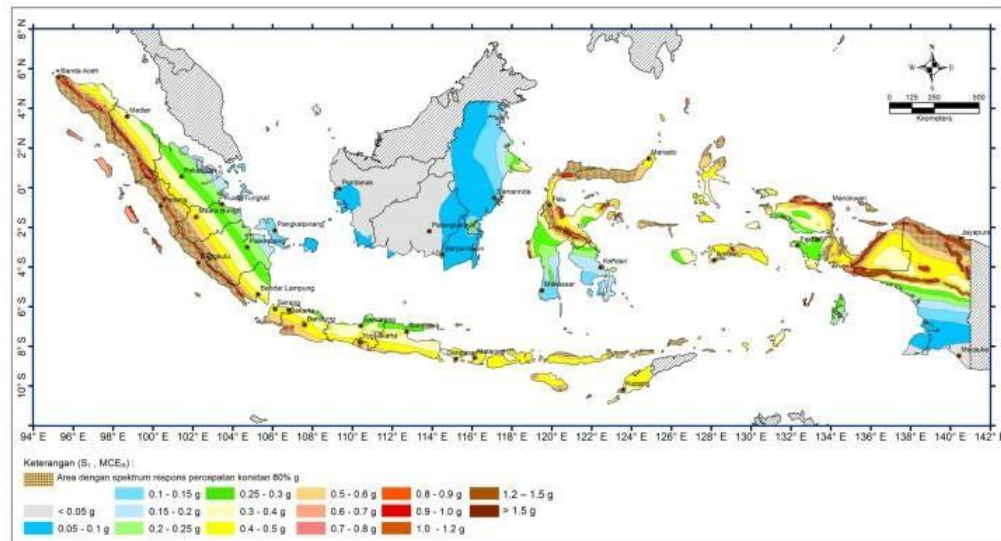
Gambar 3.11 Spektrum Respons Desain

(Sumber : SNI 1726-2019)



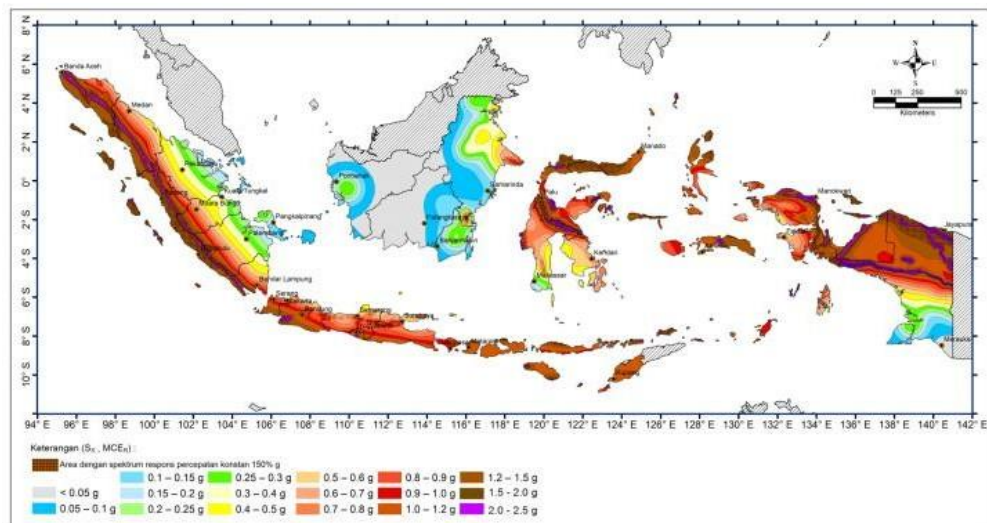
Gambar 3.12 Peta Transisi Periode Panjang, T_L , Wilayah Indonesia

(Sumber : SNI 1726-2019)



Gambar 3.13 Parameter Gerak Tanah (S_1) di Indonesia

(Sumber : SNI 1726-2019)



Gambar 3.14 Parameter Gerak Tanah (S_s) di Indonesia

(Sumber : SNI 1726-2019)

3.4.7 Kategori Desain Seismik

Struktur harus ditetapkan memiliki suatu kategori desain seismik yang mengikuti pasal 6.5 SNI 1726-2019. Struktur dengan kategori risiko I, II, atau III yang berlokasi dimana parameter respons spektral percepatan terpetakan pada periode 1 detik (S_1) lebih besar dari atau sama dengan 0,75 harus ditentukan sebagai

struktur dengan kategori desain seismik E. Struktur yang berkategori risiko IV yang berlokasi dimana parameter respons spektral percepatan terpetakan pada periode 1 detik (S_I) lebih besar dari atau sama dengan 0,75 harus ditentukan sebagai struktur dengan kategori desain seismik F. Semua struktur lainnya harus ditentukan kategori desain seismiknya berdasarkan kategori risikonya dan parameter respons spektral percepatan desainnya, S_{DS} dan S_{DI} sesuai 0. Masing-masing bangunan dan struktur harus ditetapkan ke dalam kategori desain seismik yang lebih parah, dengan mengacu pada Tabel 8 dan Tabel 9 SNI 1726-2019, terlepas dari periode fundamental getaran struktur (T).

3.4.8 Pemilihan Sistem Struktur

Sistem dasar pemikul gaya seismik lateral maupun vertikal serta sistem struktur yang digunakan harus sesuai dengan batasan sistem struktur dan batasan ketinggian struktur (h_n) yang ditunjukkan pada Tabel 12 SNI 1726-2019. Koefisien modifikasi respons (R), faktor kuat lebih sistem (Ω_0), dan faktor pembesaran simpangan lateral (C_d), yang sesuai sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 12 SNI 1726-2019 harus digunakan dalam penentuan geser dasar, gaya desain elemen, dan simpangan antar tingkat desain.

Setiap sistem pemikul gaya seismik yang dipilih harus didesain dan didetailkan sesuai dengan persyaratan khusus untuk sistem tersebut sebagaimana ditetapkan dalam dokumen acuan yang berlaku seperti terdaftar dalam Tabel 12 SNI 1726-2019 tentang faktor R , C_d , dan Ω_0 untuk sistem pemikul gaya seismik.

3.4.9 Gaya Dasar Seismik

Gaya geser dasar seismik (v) dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan persamaan 3.30 sebagai berikut.

$$V = C_s W \quad (3.30)$$

$$C_s = \frac{S_{DS}}{R} \quad (3.31)$$

(\vec{I}_e)

Keterangan notasi:

C_s = koefisien respons seismik yang ditentukan sesuai dengan persamaan

W = berat seismik efektif

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

R = koefisien modifikasi respons dalam Tabel 12 SNI 1726-2019

I_e = faktor keutamaan gempa

C_s yang dihitung sesuai dengan persamaan 3.32 tidak perlu melebihi sesuai dengan persamaan berikut ini.

Untuk $T \leq T_L$

$$C_s = \frac{SD1}{R} T \left(\frac{1}{I_e}\right) \quad (3.32)$$

Untuk $T > T_L$

$$C_s = \frac{SD1 T_L}{R} T \left(\frac{1}{I_e}\right) \quad (3.33)$$

C_s harus tidak dikurangi dari

$$C_s = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01 \quad (3.34)$$

Untuk struktur yang berlokasi di daerah dimana S_I sama dengan atau lebih besar dari 0,6g maka harus C_s harus tidak dikurangi dari:

$$C_s = \frac{0,5 S_1}{R} \left(\frac{1}{I_e}\right) \quad (3.35)$$

Keterangan notasi:

$SD1$ = Parameter percepatan respons spektral desain pada periode sebesar 1 detik,

T = periode fundamental struktur (detik),

S_1 = parameter percepatan respons spektral maksimum yang dipetakan.

3.4.10 Periode Fundamental Pendekatan

Periode fundamental pendekatan (T_a) harus ditentukan dari persamaan 3.36 berikut.

$$T_a = C_t h_n^x \quad (3.36)$$

Keterangan notasi:

h_n adalah ketinggian struktur (m), di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur, dan koefisien C_t dan x ditentukan dari Tabel 18 SNI 1726-2019.

Sebagai alternatif diizinkan untuk menentukan periode fundamental pendekatan (T_a) dalam detik, dari persamaan berikut untuk struktur dengan ketinggian tidak melebihi 12 tingkat dimana sistem pemikul gaya seismik terdiri dari rangka pemikul momen yang seluruhnya beton atau seluruhnya baja dan rata-rata tinggi tingkat sekurang-kurangnya 3m.

$$T_a = 0,1N \quad (3.37)$$

Keterangan notasi:

N = jumlah tingkat

Untuk struktur dinding geser batu bata atau dinding geser beton dengan tinggi tidak melebihi 36,6 m perhitungan periode fundamental pendekatan (T_a) di izinkan menggunakan persamaan 3.38 Sebagai berikut.

$$T_a = \frac{0,00058}{\sqrt{C_w}} h_n \quad (3.38)$$

dimana h_n didefinisikan di atas dan C_w dihitung dari persamaan 3.39 sebagai berikut.

$$C_w = \frac{1000}{A_B} \sum_{I=1}^x \frac{A_i}{[1 + 0,83 \left(\frac{h_n}{D_i}\right)^2]} \quad (3.39)$$

Keterangan notasi:

A_B = luas dasar struktur (m²),

A_i = luas badan dinding geser ke-i (m²),

D_i = panjang dinding geser ke-I (m),

x = jumlah dinding geser dalam bangunan yang efektif memikul gaya lateral dalam arah yang ditinjau

3.4.11 Distribusi Vertikal Gaya Seismik

Gaya seismic lateral F_x (kN) di seberang tingkat harus ditentukan dari persamaan berikut.

$$F_x = C_{vx} V \quad (3.40)$$

dan

$$C_{vx} = \frac{W_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n W_i h_i^k} \quad (3.41)$$

Keterangan notasi:

- 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 (W) yang ditempatkan
 h_i dan h_x = tinggi dari dasar sampai tingkat i atau x (m),
 k = eksponen yang terkait dengan periode struktur dengan nilai 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

3.4.12 Distribusi horizontal gaya seismik

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

$$V_x = \sum_{i=x}^n F_i \quad (3.42)$$

Keterangan notasi:

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

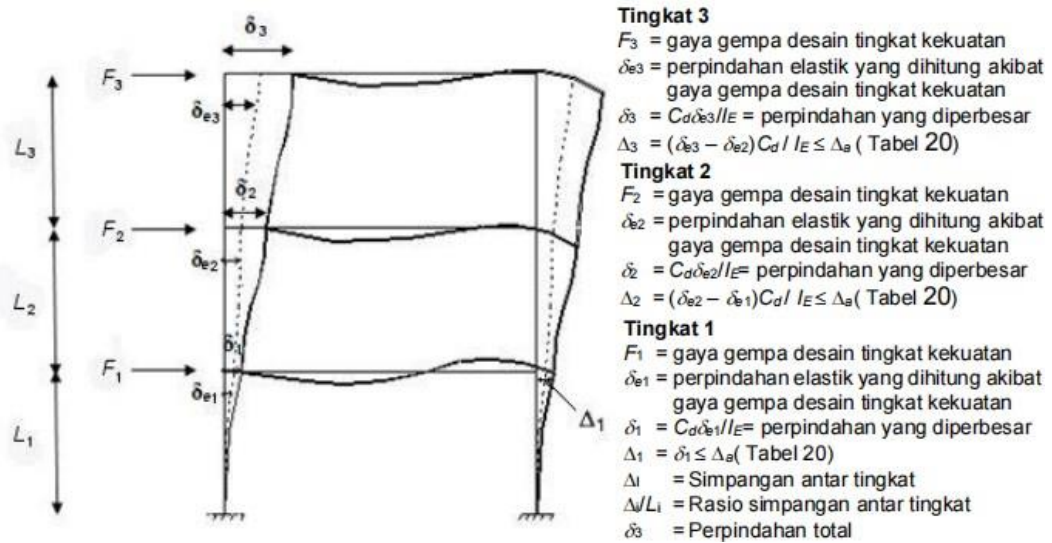
3.4.13 Penskalaan Gaya

Apabila periode fundamental hasil analisis lebih besar dari $C_u T_a$ pada suatu arah tertentu, maka periode struktur T harus diambil sebesar $C_u T_a$. Apabila kombinasi respons untuk gaya geser dasar hasil analisis ragam (V_t) kurang dari 100 % dari gaya geser (V) yang dihitung melalui metode statik ekuivalen, maka gaya tersebut harus dikalikan dengan V/V_t , dimana V adalah gaya geser dasar statik ekuivalen yang dihitung sesuai pasal ini dan 0, dan V_t adalah gaya geser dasar yang didapatkan dari hasil analisis kombinasi ragam.

3.4.14 Simpangan Antar Tingkat

Penentuan simpangan antar tingkat desain (Δ) harus dihitung sebagai perbedaan simpangan pada pusat massa di atas dan di bawah 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 sesuai dengan SNI 1726-2019.



Gambar 3.15 Penentuan Simpangan Antar Tingkat

(Sumber : SNI 1726-2019)

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

$$\delta_x = \frac{C_d \delta M}{I_e} \quad (3.43)$$

Keterangan notasi:

C_d = faktor pembesaran simpangan lateral dalam Tabel 12 SNI 1726-2019,

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

I_e = faktor keutamaan gempa.

Drift ratio adalah rasio antara simpangan antar tingkat dengan tinggi tingkat, seperti yang dipaparkan pada persamaan 3.44 sebagai berikut.

$$DR = \frac{(y_i - y_{(i-1)})}{H} \times 100 \quad (3.44)$$

3.4.15 Batasan Simpangan Antar Tingkat

Simpangan antar tingkat desain (Δ) seperti ditentukan dalam perhitungan simpangan tidak boleh melebihi simpangan antar tingkat izin (Δ_a) seperti didapatkan dari SNI 1726-2019 Pasal 7.12.1 Tabel 20 tentang simpangan antar tingkat izin ($\Delta_a^{a,b}$).

3.4.16 Pengaruh P-Delta

Pengaruh P-delta pada geser tingkat dan momen, gaya dan momen elemen struktur yang dihasilkan, dan simpangan antar tingkat yang diakibatkannya tidak perlu diperhitungkan bila koefisien stabilitas (θ) seperti ditentukan oleh persamaan berikut sama dengan atau kurang dari 0,10:

$$\theta = \left(\frac{P_x \Delta I_e}{V_x h_{sx} C_d} \right) \quad (3.45)$$

Keterangan notasi:

P_x = beban desain vertikal total pada dan di atas tingkat-x, (kN),

Δ = simpangan antar tingkat desain 0, terjadi serentak dengan V_x (mm),

I_e = faktor keutamaan gempa,

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

H_{sx} = tinggi tingkat di bawah tingkat , (mm),

C_d = faktor pembesaran defleksi.

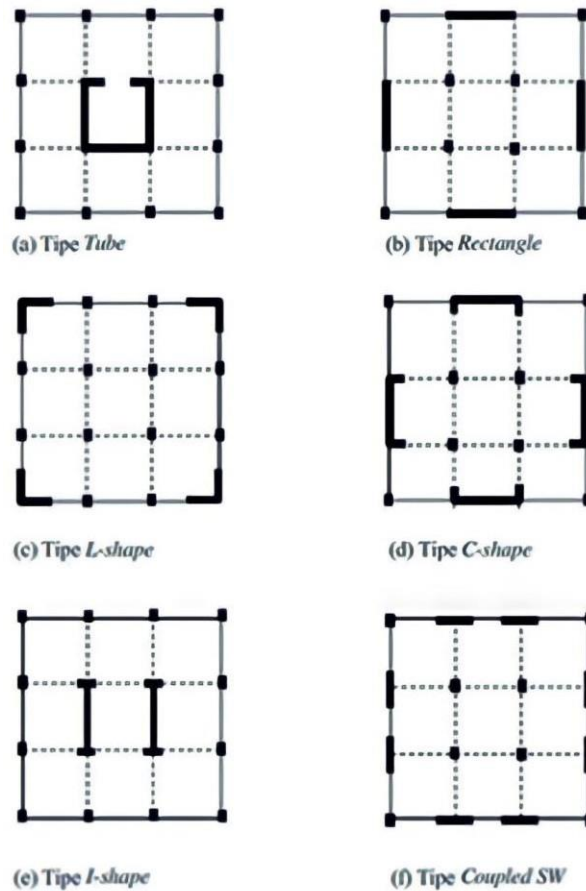
3.5 Dinding Geser

3.5.1 Bentuk Dinding Geser

Menurut Putra (2018), bentuk yang sesuai dari dinding geser memiliki keunggulan utama dalam meningkatkan keamanan respons terhadap gempa pada bangunan. Hal ini dikarenakan bentuk tersebut menyediakan kontinuitas vertikal pada sistem struktural lateral gedung. Disarankan agar bentuk bangunan dan dinding geser lebih sederhana dan simetris.

Dinding geser memiliki kemampuan untuk menggantikan pasangan bata dengan cara menempatkannya sedikit lebih ke dalam, sehingga desain permukaan luar bangunan dapat disesuaikan sesuai keinginan arsitek. Hal ini dapat

memberikan aspek estetika yang meningkat pada struktur tersebut. Adapun variasi bentuk dinding geser dengan kelebihan dan kekurangannya masing-masing dapat dilihat pada Gambar 3.16 berikut.



Gambar 3.16 Variasi Bentuk Dinding Geser

(Sumber : Aisyah G.N., 2015)

Tipe dinding geser pada Gambar 3.16.a adalah tipe *tube*, yang sering dipilih oleh para arsitek karena jangkauannya relatif sama ke semua arah, memberikan kenyamanan penggunaan. Meskipun tipe ini umumnya digunakan untuk ruang tangga, *lift*, dan eskalator, kelemahannya terletak pada aspek keamanan terhadap risiko kebakaran. Solusinya, penggunaan *blower* yang dapat menghembuskan udara segar saat terjadi kebakaran di dalam tipe *tube* dapat diimplementasikan. Dari segi struktur, tipe *tube* ini menunjukkan kekakuan yang seragam ke semua arah dan kekokohnya lebih baik dibandingkan dengan tipe lain, meskipun kemungkinan terjadi momen putar dapat menghasilkan gaya geser yang signifikan.

Pada bentuk-bentuk dinding geser seperti yang terlihat pada Gambar 3.16.b (*rectangle*), Gambar 3.16.c (*L-shape*), Gambar 3.16.d (*C-shape*), Gambar 3.16.e (*I-shape*), dan Gambar 3.16.f (*couple SW*), gaya geser yang dihasilkan cenderung lebih kecil karena panjang lengannya terhadap pusat kekakuan lebih singkat. Pada tipe *couple SW*, terdapat dua dinding geser yang dapat dihubungkan melalui balok penghubung, sehingga umumnya memiliki kekakuan yang lebih tinggi. Namun demikian, jika dinding geser kantilever pada tipe ini tidak cukup kuat untuk menahan gaya lateral atau tidak cukup kaku untuk mengurangi simpangan lateral, hal tersebut dapat mempengaruhi kekakuan keseluruhan.

3.5.2 Penempatan Dinding Geser

Dalam segi estetika bangunan, dinding geser sebenarnya kurang menguntungkan karena dapat menutupi sebagian dinding dan memberikan kesan sempit serta kaku dalam pandangan bebas. Oleh karena itu, penempatan dinding geser perlu diperhatikan agar tidak diletakkan pada lokasi sembarangan.

Menurut Fauziah (2013), struktur yang memiliki dinding geser ditempatkan sejajar dengan arah beban gempa atau sejajar dengan sumbu x dan y akan memiliki kekuatan yang lebih besar dalam menahan beban lateral.

Menurut Manalip (2015), dianjurkan agar penempatan dinding geser dipilih di lokasi yang dapat menjaga kesimetrisan dan titik pusat massa bangunan tetap konsisten.

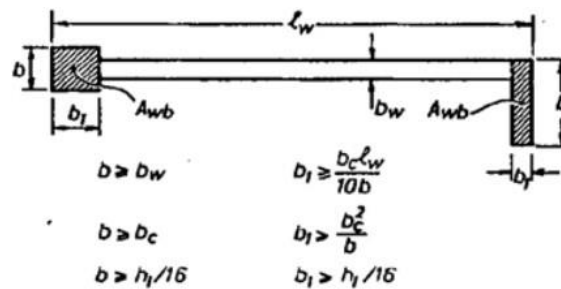
Menurut Andalas (2016), penempatan optimal untuk dinding geser adalah pada sisi eksterior bangunan dan sejajar dengan sumbu x dan y.

Berikut beberapa strategi yang dapat diterapkan untuk menempatkan dinding geser pada struktur bangunan bertingkat tinggi.

1. Posisi sebaiknya diletakkan simetris agar mengurangi efek puntir
2. Posisi simetris pada satu arah maupun dua arah
3. Menempatkan pada *core* bangunan, seperti pada tangga dan lift
4. Menyesuaikan dengan denah gambar dan fungsi ruangan
5. Dinding geser boleh berada disisi dalam struktur maupun sisi luar struktur
6. Penempatan dinding geser pada sisi luar struktur biasanya lebih efektif

3.5.3 Kebutuhan Dimensi Dinding Geser

Dinding geser berfungsi untuk menahan gaya lateral akibat beban gempa sehingga tidak boleh runtuh akibat gaya lateral, apabila dinding geser runtuh karena gaya lateral maka akan mengakibatkan keseluruhan struktur bangunan akan runtuh dikarenakan tidak ada lagi elemen struktur yang mampu menahan gaya lateral tersebut. Oleh karena itu, dalam merencanakan dinding geser perlu diperhatikan bahwa dinding geser harus didesain untuk mampu menahan gaya lateral. Kebutuhan dimensi dinding geser minimum harus disesuaikan dengan SNI 2847:2019 Pasal 11.3.1.1. dengan ketebalan minimum adalah 100 mm. Paulay and Priestley (1992) untuk menentukan dimensi dinding geser dilakukan asumsi terhadap dinding geser dengan memperlakukannya sebagai kolom untuk menghindari tekuk, sehingga dimensi dinding geser dengan komponen batas (boundary element) perlu dibatasi sesuai dengan Gambar 3.17 berikut.



Gambar 3.17 Dimensi Minimum Dinding Geser

(Sumber : Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings)

Adapun dimensi tebal dinding geser (b_w) harus memenuhi persyaratan sebagai berikut.

$$b_w \geq \frac{1}{16} h_w \quad (3.46)$$

dan

$$b_w \geq \frac{1}{25} l_w \quad (3.47)$$

Adapun pada dimensi komponen batas harus memenuhi persyaratan sebagai berikut.

$$b \geq b_w \quad (3.48)$$

$$b \geq b_c \quad (3.49)$$

dan

$$b_1 \geq \frac{b_c \cdot l_w}{10 b} \quad (3.50)$$

$$b_1 \geq \frac{b_c^2}{b} \quad (3.51)$$

$$b \geq \frac{1}{16} h_i; b_1 \geq \frac{1}{16} h_i \quad (3.52)$$

Keterangan notasi:

- b_c = $0,0171 \cdot l_w \cdot \sqrt{\mu\Phi}$,
- $\mu\Phi$ = rasio daktilitas kurva = 5,
- b_w = tebal dinding geser,
- h_i = tinggi lantai pertama,
- h_w = tinggi dinding perlantai,
- l_w = lebar bagian dinding,

3.5.4 Ketentuan Desain Struktural Khusus

Persyaratan terkait dimensi dan detail konstruksi dinding struktural khusus, termasuk balok kopel dan pilar dinding, diatur pada desain elemen vertikal dinding ditentukan oleh rasio elemen dinding pada bidang dinding dan rasio penampang horizontal. Panduan desain untuk elemen vertikal dinding dapat ditemukan dalam Tabel R18.10.1 pada SNI 2847-2019.

3.5.5 Kontrol Sistem Ganda Struktur Redesain

Mengacu pada SNI 1726-2019 Pasal 7.2.2 bahwa sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan 25% dari beban gaya lateral yang bekerja pada struktur bangunan tersebut. Analisis dilakukan dengan menghitung gaya geser yang dipikul pada setiap *joint reaction* yang ada pada setiap lantai struktur bangunan.

3.5.6 Perilaku Dinding Geser

Dinding geser merupakan suatu sistem gedung yang berfungsi sebagai penahan gaya lateral akibat beban gempa. Dinding geser akan mengalami keruntuhan apabila terjadi sendi plastis pada kaki dinding yang disebabkan oleh momen lentur. Semakin tinggi suatu gedung, maka akan semakin besar juga gaya lateral yang diterima dan semakin besar pula simpangan horizontal yang terjadi akibat gaya lateral. Dinding geser adalah sistem dalam sebuah bangunan yang bertugas sebagai penahan gaya lateral yang timbul akibat beban gempa. Keruntuhan dinding geser dapat terjadi jika terjadi sendi plastis pada kaki dinding, yang disebabkan oleh momen lentur. Ketika tinggi sebuah bangunan meningkat, gaya lateral yang diterima juga meningkat, sehingga simpangan horizontal yang dihasilkan juga semakin besar. Penerapan dinding geser pada struktur bangunan tinggi berfungsi untuk memberikan kekakuan tambahan pada struktur, sehingga dapat mengurangi simpangan horizontal yang terjadi.

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Umum

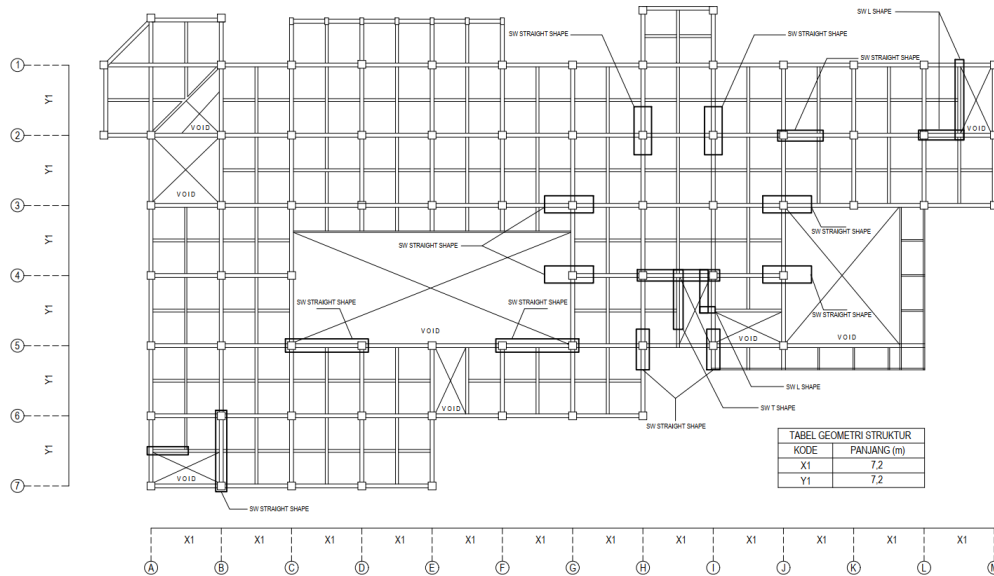
Pendekatan penelitian yang diterapkan adalah pendekatan komparatif, karena penelitian ini fokus pada perbandingan kinerja antara dua variabel atau lebih yang berbeda. Penelitian ini membandingkan kinerja bangunan yang telah ada/eksisting dengan dua model bangunan variasi geometri dan penempatan dinding geser pada Gedung TILC UGM. Hasil dari penelitian ini adalah menghitung perbandingan *base shear*, *displacement*, simpangan antar tingkat, dan *drift ratio*.

4.2 Data Penelitian

4.2.1 Model Struktur

Struktur model yang diterapkan pada objek penelitian ini adalah rangka beton bertulang yang memiliki ketidakberaturan horizontal dan vertikal. Struktur tersebut terdiri dari 9 lantai dengan tinggi antar lantai mencapai 4,2 meter. Denah pada bangunan ini tidak tipikal pada masing-masing lantai. Adapun denah bangunan untuk masing-masing lantai dapat dilihat pada Lampiran 10 hingga Lampiran 19. Pertimbangan penempatan dinding geser difokuskan untuk memperkaku denah lantai yang paling tinggi. Tujuan penempatan dinding geser ini adalah untuk menggali informasi mengenai kontribusi yang diberikan oleh dinding geser terhadap geser dasar, *drift ratio*, simpangan, serta pola simpangan yang dihasilkan oleh variasi penempatan dinding geser. Adapun Ilustrasi objek penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.1 hingga Gambar 4.3.

1. Model struktur yang telah ada/eksisting (model 1)



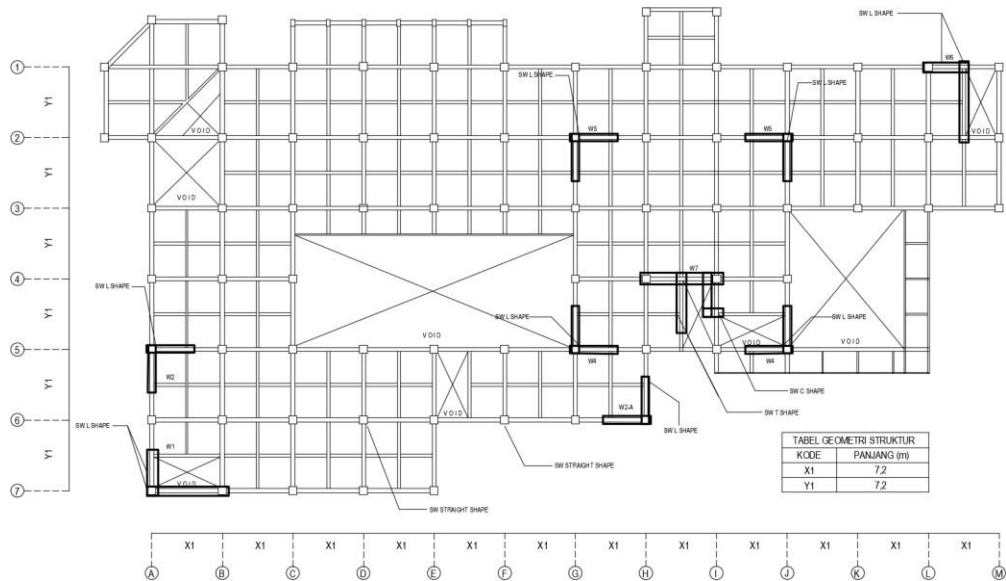
Gambar 4.1 Daerah Bangunan Menggunakan Dinding Geser (Model 1)

Pada model 1 spesifikasi dinding geser dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut.

Tabel 4.1 Spesifikasi Dinding Geser Model 1

No.	Kode	Bentuk	Dimensi		Jumlah (buah)
			Panjang (mm)	Tebal (mm)	
1.	W1	<i>Straight</i>	7950	400	1
2.	W2	<i>Straight</i>	7900	400	1
3.	W2-A	<i>Straight</i>	7150	400	1
4.	W3	<i>Straight</i>	3275	400	1
5.	W4	L	7800	400	1
			5150	400	1
6.	W5	<i>Straight</i>	3300	800	4
7.	W6	<i>Straight</i>	3300	800	4
8.	W7	T	6150	400	1
			5400	400	1
		L	1525	400	2
			3875	400	1
9.	W8	<i>Straight</i>	4000	400	1

2. Model struktur dengan bentuk dinding geser *L-Shape* (model 2)



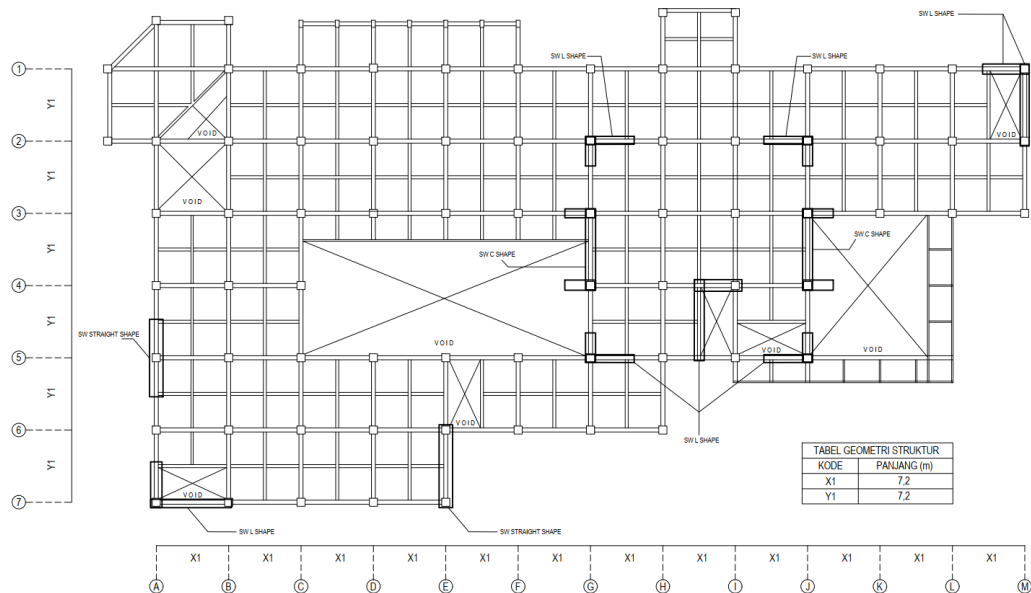
Gambar 4.2 Daerah Bangunan Menggunakan Dinding Geser (Model 2)

Pada model 2 spesifikasi dinding geser dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut.

Tabel 4.2 Spesifikasi Dinding Geser Model 2

No.	Kode	Bentuk	Dimensi		Jumlah (buah)
			Panjang (mm)	Tebal (mm)	
1.	W1	L	7200	400	1
			3950	400	1
2.	W2	L	7200	400	1
3.	W2-A	L	7200	400	1
4.	W4	L	7200	400	2
5.	W5	L	7200	400	2
6.	W6	L	7200	400	1
			4100	400	1
7.	W7	T	6150	400	1
			5400	400	1
		L	1525	400	2
			3875	400	1

3. Model struktur dengan bentuk dinding geser *Straight Shape* (model 3)



Gambar 4.3 Daerah Bangunan Menggunakan Dinding Geser (Model 3)

Pada model 3 spesifikasi dinding geser dapat dilihat pada Tabel 4.3 berikut.

Tabel 4.3 Spesifikasi Dinding Geser Model 3

No.	Kode	Bentuk	Dimensi		Jumlah (buah)
			Panjang (mm)	Tebal (mm)	
1.	W1	L	7200	400	1
			3600	400	1
2.	W2	<i>Straight</i>	7200	400	2
3.	W3	<i>Straight</i>	3600	400	2
4.	W4	T	6150	400	1
			5400	400	1
		L	1525	400	2
			3875	400	1
5.	W5	<i>Straight</i>	7200	400	2
6.	W6	<i>Straight</i>	7200	400	2
7.	W7	L	7200	400	1
			3100	400	1

4.2.2 Data Penelitian Bangunan

Data penelitian yang akan digunakan dapat dilihat pada Tabel 4.4 berikut.

Tabel 4.4 Data awal perencanaan

No.	Parameter	Keterangan
1.	Fungsi Bangunan	Gedung Perkuliahan
2.	Letak Bangunan	Yogyakarta
3.	Jenis Tanah Dasar	Tanah Sedang
4.	Jumlah Lantai	9 Lantai
5.	Tinggi Antar Lantai	4,2 meter
6.	Tinggi Bangunan	43,225 m
7.	Panjang Bangunan Arah X	86,400 m
8.	Panjang Bangunan Arah Y	43,200 m
9.	Luas Bangunan	9864,53 m ²
10.	Jenis Struktur	Struktur beton bertulang
11.	Sistem Struktur	Sistem Ganda
12.	Mutu Beton Pelat	30 MPa
13.	Mutu Beton Balok dan Kolom	30 MPa
14.	Mutu Baja Tulangan $d \leq 12$ mm	240 MPa
15.	Mutu Baja Tulangan $d > 12$ mm	420 MPa

4.3 Metode Penelitian

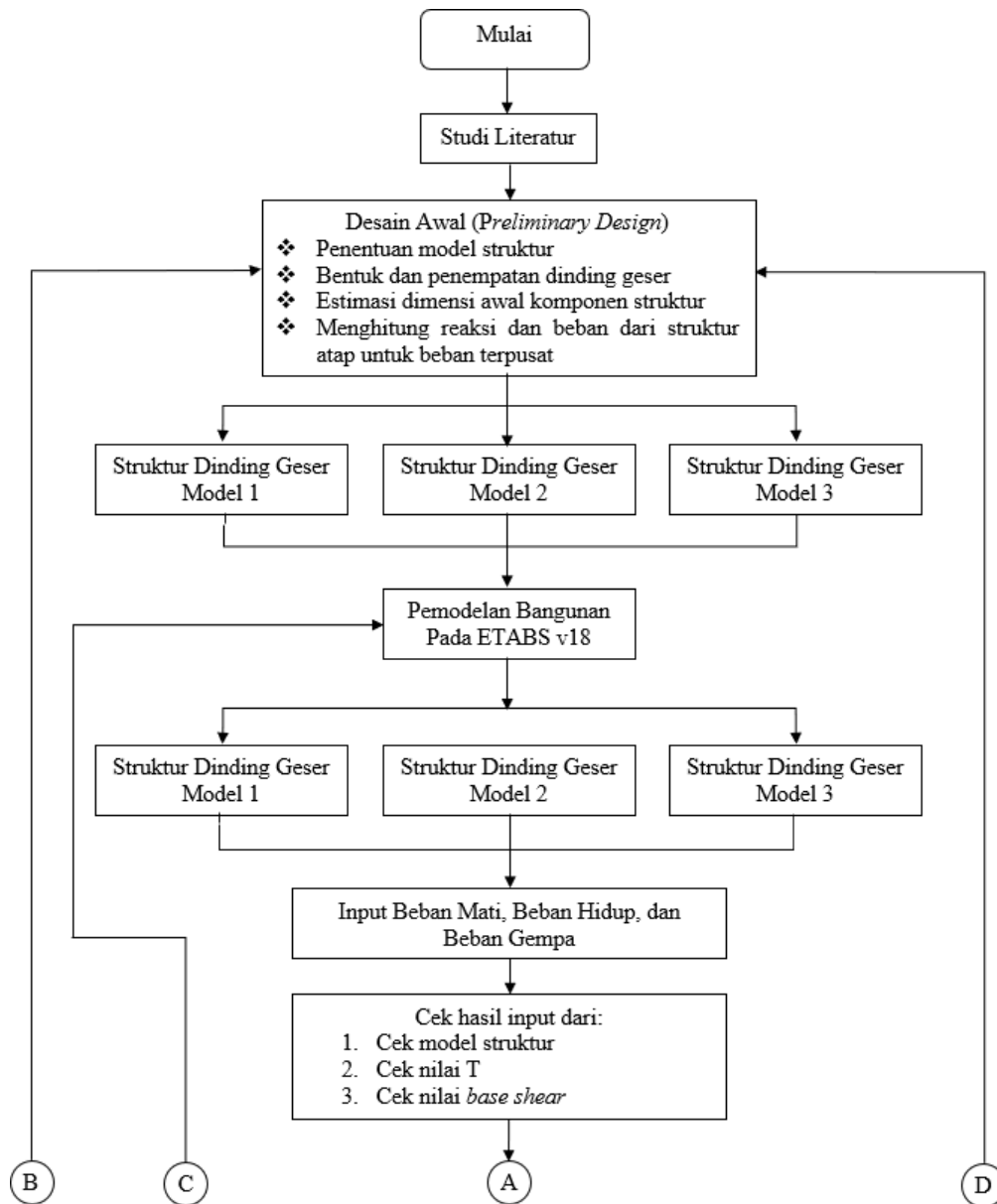
Metode penelitian yang diterapkan dalam penelitian ini adalah dengan menggunakan metode analisis dinamik yaitu *Response Spectrum*. Varian perbandingan melibatkan bangunan dengan dinding geser *existing* yang ada di Gedung TILC UGM, bangunan dengan dinding geser berbentuk L (*L-Shape*), dan dinding geser berbentuk lurus (*straight shape*). Penelitian ini difokuskan pada modifikasi variasi penempatan dan bentuk dinding geser dan tidak melakukan analisis elemen struktur seperti balok, kolom, dan pelat. Hasil dari penelitian ini adalah menghitung perbandingan *base shear*, *displacement*, simpangan antar tingkat, dan *drfit ratio*.

4.4 Tahapan Penelitian

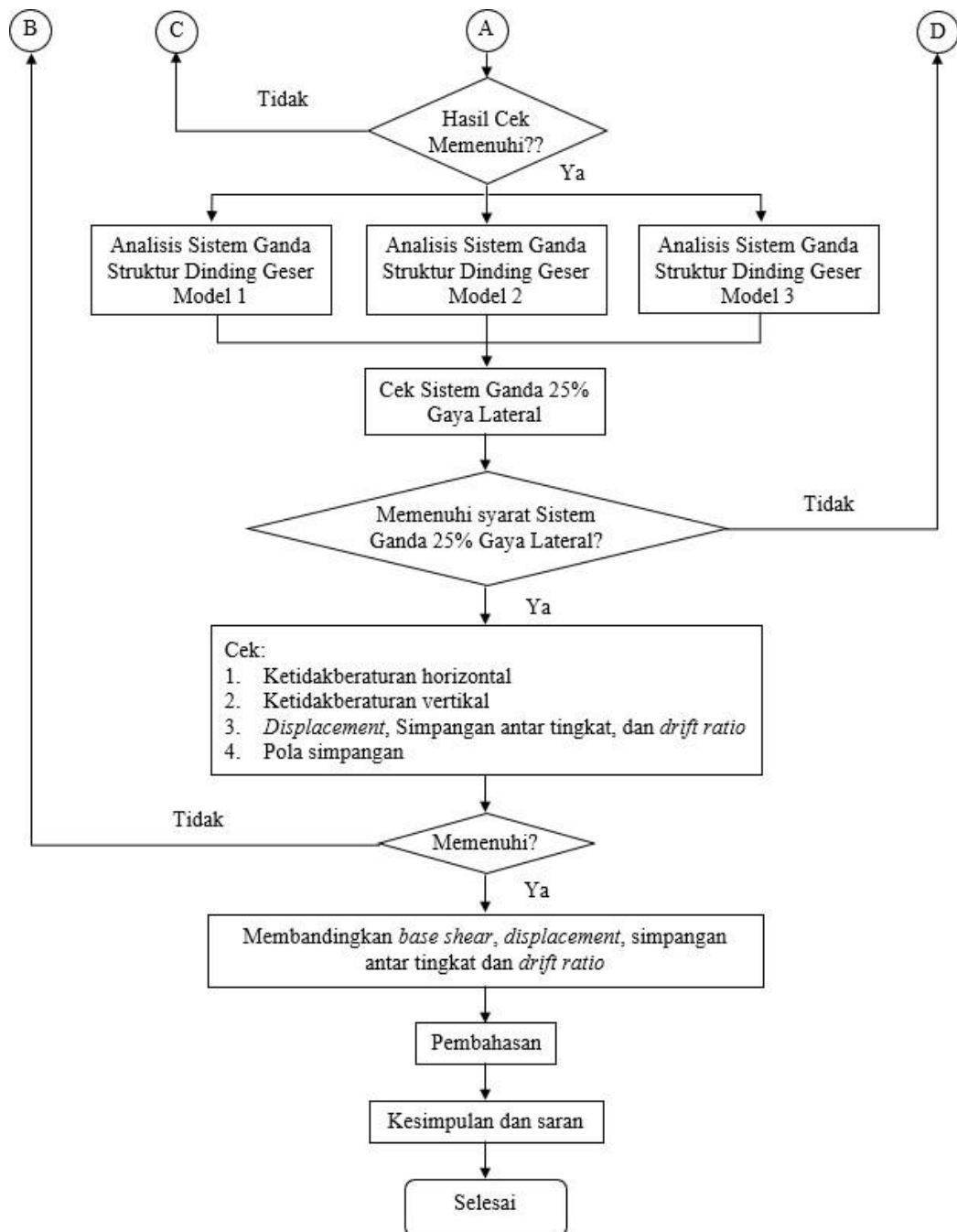
Adapun tahapan penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Studi Literatur
2. Tahap desain awal (*preliminary design*) meliputi penentuan model struktur, fungsi bangunan, spesifikasi mutu beton, mutu baja tulangan, dan perkiraan dimensi awal komponen struktur.
3. Menghitung reaksi dari beban struktur atap yang akan menjadi beban titik atau terpusat pada system portal di bawahnya.
4. Analisis pembebanan, tahapan ini mencakup perhitungan beban mati, beban hidup, dan beban gempa sesuai dengan ketentuan yang telah ditetapkan.
5. Pemodelan penempatan dinding geser bangunan menggunakan *software* ETABS v18 sesuai dengan model yang telah ditentukan.
6. Memasukkan data pembebanan yang telah dianalisis sebelumnya ke dalam ETABS v18 untuk setiap elemen struktur yang terdapat dalam bangunan gedung.
7. Membandingkan hasil kinerja struktur sesuai dengan penempatan dinding geser yang telah ditetapkan pada setiap pemodelan.
8. Membuat pembahasan tentang perbandingan kinerja struktur dari setiap pemodelan dalam sebuah pembahasan.
9. Membuat kesimpulan dan saran dari hasil penelitian yang telah dilakukan.

Langkah-langkah penyelesaian tugas akhir ini dapat diringkas dalam bentuk *flow chart* diuraikan dalam Gambar 4.4 sebagai berikut.



Gambar 4.4 *Flow chart* penelitian



Gambar 4.4 Lanjutan *Flow chart* penelitian

BAB V

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Bahan dan Mutu Material Bangunan

Bahan dan mutu material bangunan yang digunakan sebagai berikut.

1. Beton (f^c) balok, kolom, pelat dan dinding geser = 30 MPa
2. Baja tulangan $d \leq 12$ mm (f_y) = 240 MPa
3. Baja tulangan $d > 12$ mm (f_y) = 420 MPa

5.2 Pembebanan Struktur

Perhitungan pembebanan struktur yang diterapkan dalam penelitian melibatkan kombinasi antara beban mati (DL), beban mati tambahan (ADL), beban hidup (L), dan beban gempa (E).

5.2.1 Beban Mati

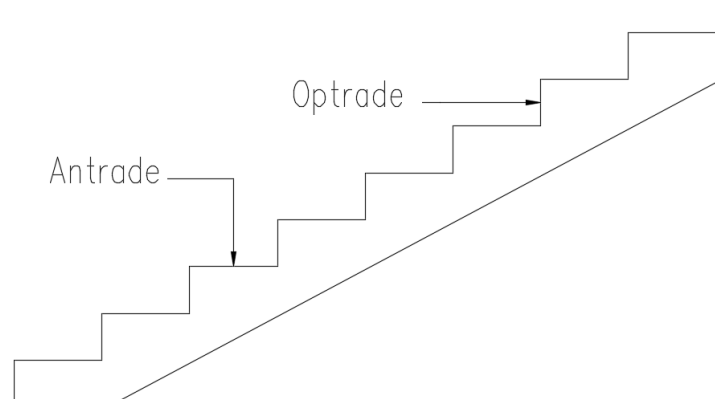
1. Beban mati tambahan pada lantai

Lapis Spesi	= 21 kg/m ²	= 0,20601 kN/m ²
Tegel keramik	= 24 kg/m ²	= 0,23544 kN/m ²
Lapis Pasir	= 90 kg/m ²	= 0,8826 kN/m ²
Plafond dan Penggantung	= 18 kg/m ²	= 0,17652 kN/m ²
Instalasi Listrik	= 20 kg/m ²	= 0,1962 kN/m ²
Total Beban mati tambahan pada lantai		= 1,6971 kN/m ²

2. Beban mati tambahan pada atap

Lapis Spesi	= 21 kg/m ²	= 0,20601 kN/m ²
Plafond dan Penggantung	= 18 kg/m ²	= 0,17652 kN/m ²
Lapis Waterproof	= 5 kg/m ²	= 0,04905 kN/m ²
Instalasi Listrik	= 20 kg/m ²	= 0,1962 kN/m ²
Total beban mati tambahan pada atap		= 0,6278 kN/m ²

3. Beban Dinding
Beban Dinding = 2,45 kN/m²
4. Beban mati pada tangga



Gambar 5.1 Tinggi Vertikal Pelat Tangga

Adapun perhitungan beban mati pada pelat tangga adalah sebagai berikut.

- a. Beban anak tangga

$$\text{Antrade (A)} = 300 \text{ mm}$$

$$\text{Optrade (S)} = 170 \text{ mm}$$

$$\text{Kemiringan tangga} = \text{Atan} \frac{170}{300} = 29,54^\circ$$

$$\text{Panjang sisi miring} = \sqrt{300^2 + 170^2} = 344,819 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} t1 &= \frac{1}{2} S \cdot \cos \alpha \\ &= \frac{1}{2} \cdot 170 \cdot \cos 29,64 \\ &= 74 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Jumlah dalam 1m} = \frac{1000}{344,819} = 2,9 \text{ buah}$$

Pada penelitian ini terdapat enam jenis tangga yang dibedakan berdasarkan lebarnya, adapun berat anak tangga pada masing-masing model tangga dapat dilihat pada Tabel 5.1 berikut.

Tabel 5.1 Berat Anak Tangga

No.	Tipe Tangga	Lebar	Berat 1 anak tangga	Berat per/m ²
		(m)	(kN)	(kN/m ²)
1	Tipe 1	3,15	1,928	5,591
2	Tipe 2	1,625	0,995	2,884
3	Tipe 3	1,425	0,872	2,529
4	Tipe 4	1,625	0,995	2,884
5	Tipe 5	1,8	1,102	3,195
6	Tipe 6	1,55	0,949	2,751

b. Beban mati tambahan

$$\text{Lapis Spesi} = 21 \text{ kg/m}^2 = 0,20601 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Tegel keramik} = 24 \text{ kg/m}^2 = 0,23544 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Lapis Pasir} = 90 \text{ kg/m}^2 = 0,8826 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Total beban mati tambahan} = 1,32435 \text{ kN/m}^2$$

5. Beban mati pada lift

Menurut *planning guide Hyundai elevator*, pembebanan yang terjadi pada struktur lift terdapat pada ruang mesin, sehingga beban tumpuan berada pada ruang mesin. Berdasarkan *planning guide Hyundai elevator*, pembebanan pada lift dapat dihasilkan dengan spesifikasi berikut.

$$\text{Kapasitas} = 10 \text{ orang}$$

$$\text{Tiper pembukaan lift} = 1\text{S-CO}$$

$$\text{Clear Opening (OP)} = 800 \text{ mm}$$

$$\text{Car Size (CA x CB)} = 1400 \text{ mm x } 1350 \text{ mm}$$

$$\text{Hoistway Size} = 1950 \text{ mm x } 2050 \text{ mm}$$

$$\text{Machine Room Size} = 3000 \text{ mm x } 7200 \text{ mm M/C}$$

$$\text{Room (R1)} = 112,7 \text{ kN}$$

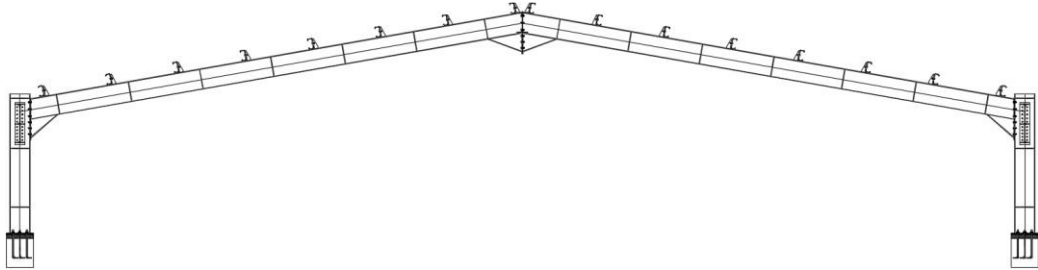
$$\text{M/C Room (R2)} = 63,7 \text{ kN}$$

$$\text{Kapasitas 10 orang (W)} = 800 \text{ kg} = 7,84 \text{ kN}$$

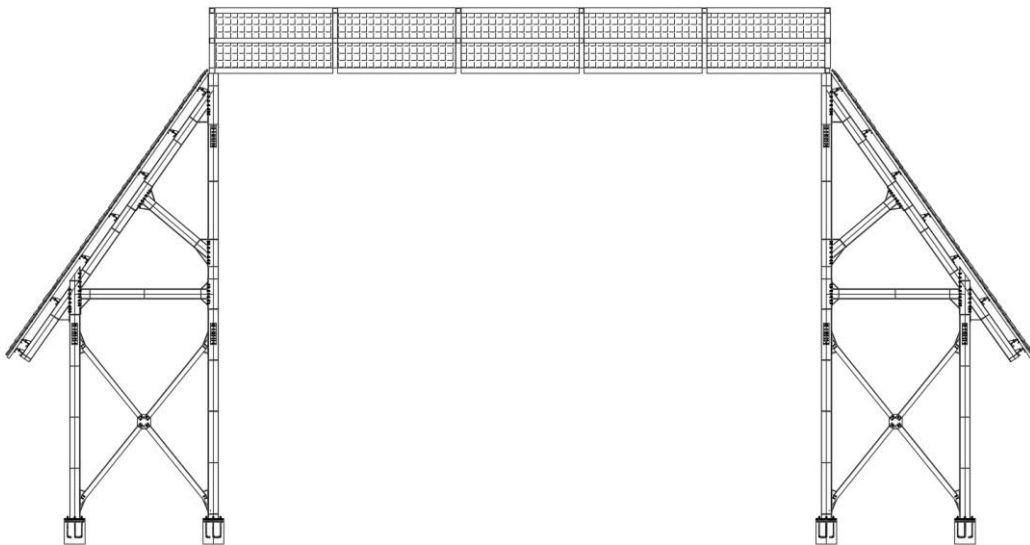
$$\text{Beban Total} = \frac{R1 + R2 + W}{\text{Machine Room Size}}$$

$$\text{Beban Total} = \frac{112,7 + 63,7 + 7,84}{3 \times 7,2} = 8,53 \text{ kN/m}^2$$

6. Beban mati pada rangka atap



Gambar 5.2 Potongan Rangka Atap Lantai 3



Gambar 5.3 Potongan Rangka Atap Pada Rooftop

Pada penelitian ini terdapat dua rangka atap, yang pertama adalah rangka atap lantai 3 dan yang kedua adalah rangka atap *Rooftop*. Adapun pembebanan pada rangka atap lantai 3 dapat dilihat pada Tabel 5.2 berikut.

Tabel 5.2 Pembebanan Rangka Atap Lantai 3

Data			
jarak portal	(a)	3,6	m
jarak purlin	(b)	1,0286	m
luas beban area	(c)	3,70296	m ²
Beban			
Atap	(d)	0,032	kN/m ²
Lr (beban hidup)	(e)	1	kN
R (hujan)	(f)	0,323	kN/m
Input beban pada purlin			
Atap	(d x c) / a	0,033	kN/m
Lr	(e)	1	kN
R	(f)	0,323	kN/m

Adapun pembebanan pada rangka atap *Rooftop* dapat dilihat pada Tabel 5.3 berikut.

Tabel 5.3 Pembebanan Rangka Atap Rooftop

Data			
jarak portal	(a)	3	m
jarak purlin	(b)	1	m
luas beban area	(c)	3	m ²
Beban			
Atap	(d)	0,032	kN/m ²
Lr (beban hidup)	(e)	1	kN
R (hujan)	(f)	0,314	kN/m
Input beban pada purlin			
Atap	(d x c) / a	0,032	kN/m
Lr	(e)	1	kN
R	(f)	0,314	kN/m

5.2.2 Beban Hidup

Ruang Kelas = 3,83 kN/m²

Ruang Kerja = 2,4 kN/m²

Ballroom = 4,79 kN/m²

Laboratorium = 2,87 kN/m²

Atap = 0,96 kN/m²

Tangga = 4,79 kN/m²

5.2.3 Beban Gempa Respons Spektrum

Adapun data yang diperlukan untuk perencanaan penelitian adalah sebagai berikut.

1. Lokasi gedung yang dijadikan model terletak di Yogyakarta.
2. Fungsi bangunan tersebut adalah sebagai pusat pembelajaran.
3. Jenis tanah di lokasi penelitian termasuk dalam kategori tanah sedang (SD).
4. Gedung ini memiliki 9 lantai, dengan tinggi setiap lantainya sebesar 4,2 m.
5. Kategori risiko bangunan ini tergolong dalam kategori risiko IV, dengan faktor keutamaan gempa (I_e) sebesar 1,5.
6. Struktur bangunan menggunakan sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus, dengan syarat 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. S_s , S_1 , dan T_L didapatkan dari SNI 1726:2019 seperti pada Gambar 3.12 samapi Gambar 3.14.

$$S_s = 1,1151$$

$$S_1 = 0,5037$$

$$T_L = 6 \text{ detik}$$

8. 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.

$$F_a = 1,05$$

$$F_v = 1,7963$$

9. Menentukan S_{DS} dan S_{D1}

Sebelum mencari S_{DS} dan S_{D1} harus ditentukan terdahulu parameter respons spektral percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan Periode 1 detik (S_{M1}).

$$\begin{aligned} S_{MS} &= F_a \times S_s \\ &= 1,05 \times 1,1151 \\ &= 1,175 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{M1} &= F_v \times S_1 \\
 &= 1,7963 \times 0,5037 \\
 &= 0,905 \\
 S_{DS} &= \frac{2}{3} \times S_{MS} \\
 &= \frac{2}{3} \times 1,175 \\
 &= 0,784 \\
 S_{D1} &= \frac{2}{3} \times S_{M1} \\
 &= \frac{2}{3} \times 0,905 \\
 &= 0,603
 \end{aligned}$$

10. Spektrum respons desain

$$\begin{aligned}
 T_0 &= 0,2 \times \left(\frac{S_{D1}}{S_{DS}} \right) \\
 &= 0,2 \times \left(\frac{0,603}{0,784} \right) \\
 &= 0,154 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_s &= \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \\
 &= \frac{0,603}{0,784} \\
 &= 0,770 \text{ detik}
 \end{aligned}$$

$$T_L = 6 \text{ detik}$$

11. Menentukan S_a

a. Spektrum respons dengan percepatan desain S_a untuk $T < T_0$

$$\begin{aligned}
 S_a &= S_{DS} \left(0,4 + 0,6 \left(\frac{T}{T_0} \right) \right) \\
 &= 0,784 \left(0,4 + 0,6 \left(\frac{0}{0,154} \right) \right) \\
 &= 0,313
 \end{aligned}$$

b. Spektrum respons dengan percepatan desain S_a untuk $T = T_0$ dan $T \leq T_s$

$$\begin{aligned}
 S_a &= S_{DS} \\
 &= 0,784
 \end{aligned}$$

c. Spektrum respons dengan percepatan desain S_a untuk $T > T_s$

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T}$$

$$= \frac{0,603}{0,77}$$

$$= 0,754$$

d. Spektrum respons dengan percepatan desain S_a untuk $T > T_L$

$$S_a = \left(\frac{SD1 \times T_L}{T^2} \right)$$

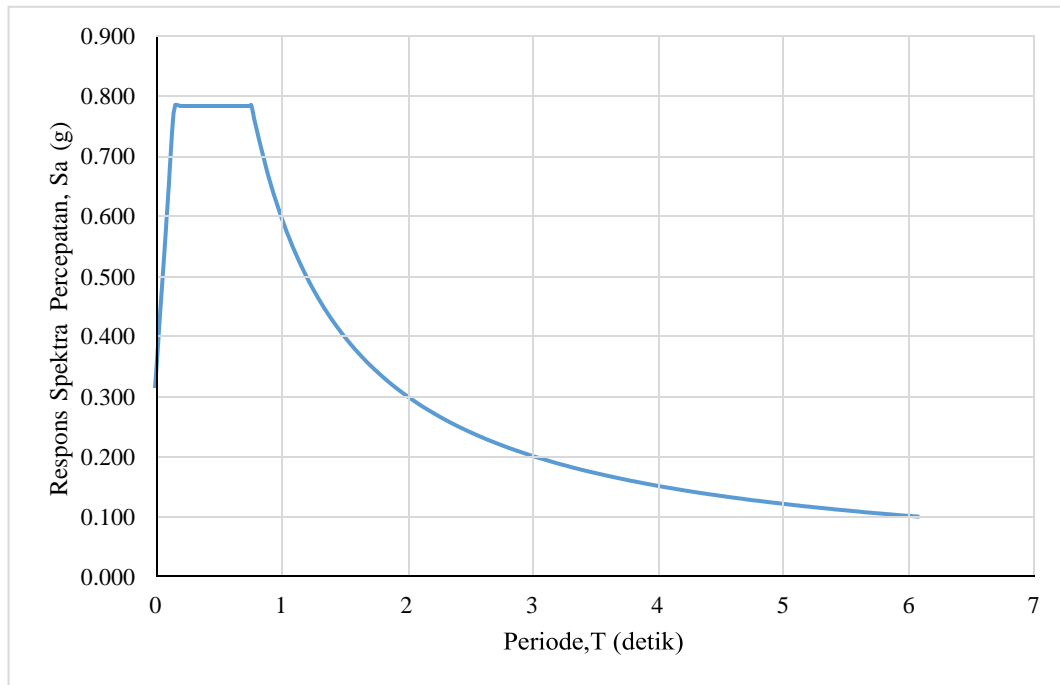
$$= \left(\frac{0,603 \times 6}{6,1^2} \right)$$

$$= 0,099$$

Tabel 5.4 Spektrum Respons Desain

T (detik)	Sa(g)	T (detik)	Sa(g)	T (detik)	Sa(g)
0	0,313	1,4	0,431	3,9	0,155
0,025	0,390	1,5	0,402	4	0,151
0,05	0,466	1,6	0,377	4,1	0,147
0,075	0,542	1,7	0,355	4,2	0,144
0,1	0,619	1,8	0,335	4,3	0,140
0,15	0,784	1,9	0,317	4,4	0,137
0,2	0,784	2	0,302	4,5	0,134
0,25	0,784	2,1	0,287	4,6	0,131
0,3	0,784	2,2	0,274	4,7	0,128
0,35	0,784	2,3	0,262	4,8	0,126
0,4	0,784	2,4	0,251	4,9	0,123
0,45	0,784	2,5	0,241	5	0,121
0,5	0,784	2,6	0,232	5,1	0,118
0,55	0,784	2,7	0,223	5,2	0,116
0,6	0,784	2,8	0,215	5,3	0,114
0,65	0,784	2,9	0,208	5,4	0,112
0,7	0,784	3	0,201	5,5	0,110
0,75	0,784	3,1	0,195	5,6	0,108
0,77	0,784	3,2	0,188	5,7	0,106
0,8	0,754	3,3	0,183	5,8	0,104
0,9	0,670	3,4	0,177	5,9	0,102
1	0,603	3,5	0,172	6	0,101
1,1	0,548	3,6	0,168	6,1	0,099
1,2	0,503	3,7	0,163		
1,3	0,464	3,8	0,159		

Adapun grafik spektrum respons desain struktur pada Tabel 5.4 dapat dilihat pada Gambar 5.4.



Gambar 5.4 Grafik Spektrum Respons Desain

12. Periode fundamental struktur (T)

Periode fundamental struktur dapat dicari dengan menggunakan pendekatan sesuai dengan SNI 1726-2019 pada persamaan 3.36 dan didapatkan berdasarkan hasil analisis dengan menggunakan *software* ETABS V18 sebagai berikut.

a. Struktur dinding geser model 1

$$\begin{aligned} T_a &= C_t \times h^x \\ &= 0,0488 \times 37,45^{0,75} \\ &= 0,74 \text{ detik} \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil analisis dengan menggunakan *software* ETABS V18, didapatkan periode struktur $T_{\text{eigenvalue}}$ arah X sebesar 0,690 dan $T_{\text{eigenvalue}}$ arah Y sebesar 0,613. 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 atau disebut juga dengan periode maksimal.

$$T_{\text{max}} = C_u \times T_a$$

$$= 1,4 \times 0,74$$

$$= 1,034 \text{ detik}$$

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

- 1) Jika $T_{\text{eigenvalue}} > C_u \times T_a$, maka T yang digunakan $T = C_u \times T_a$
- 2) Jika $T_a < T_{\text{eigenvalue}} < C_u \times T_a$, maka T yang digunakan $T = T_{\text{eigenvalue}}$
- 3) Jika $T_{\text{eigenvalue}} < T_a$, maka T yang digunakan $T = T_a$

Berdasarkan persyaratan diatas, maka periode getar T yang digunakan untuk T arah X sebesar 0,739 dan untuk T arah Y sebesar 0,739.

b. Struktur dinding geser model 2

$$T_a = C_t \times h^x$$

$$= 0,048 \times 37,45^{0,75}$$

$$= 0,74 \text{ detik}$$

Berdasarkan hasil analisis dengan menggunakan *software* ETABS V18, didapatkan periode struktur $T_{\text{eigenvalue}}$ arah X sebesar 0,622 dan $T_{\text{eigenvalue}}$ arah Y sebesar 0,573. 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 atau disebut juga dengan periode maksimal.

$$T_{\text{max}} = C_u \times T_a$$

$$= 1,4 \times 0,74$$

$$= 1,034 \text{ detik}$$

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

- 1) Jika $T_{\text{eigenvalue}} > C_u \times T_a$, maka T yang digunakan $T = C_u \times T_a$
- 2) Jika $T_a < T_{\text{eigenvalue}} < C_u \times T_a$, maka T yang digunakan $T = T_{\text{eigenvalue}}$
- 3) Jika $T_{\text{eigenvalue}} < T_a$, maka T yang digunakan $T = T_a$

Berdasarkan persyaratan diatas, maka periode getar T yang digunakan untuk T arah X sebesar 0,739 dan untuk T arah Y sebesar 0,739.

c. Struktur dinding geser model 3

$$\begin{aligned} T_a &= C_t \times h^x \\ &= 0,048 \times 37,45^{0,75} \\ &= 0,74 \text{ detik} \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil analisis dengan menggunakan *software* ETABS V18, didapatkan periode struktur $T_{\text{eigenvalue}}$ arah X sebesar 0,618 dan $T_{\text{eigenvalue}}$ arah Y sebesar 0,549. 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 atau disebut juga dengan periode maksimal.

$$\begin{aligned} T_{\text{max}} &= C_u \times T_a \\ &= 1,4 \times 0,74 \\ &= 1,034 \text{ detik} \end{aligned}$$

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

- 1) Jika $T_{\text{eigenvalue}} > C_u \times T_a$, maka T yang digunakan $T = C_u \times T_a$
- 2) Jika $T_a < T_{\text{eigenvalue}} < C_u \times T_a$, maka T yang digunakan $T = T_{\text{eigenvalue}}$
- 3) Jika $T_{\text{eigenvalue}} < T_a$, maka T yang digunakan $T = T_a$

Berdasarkan persyaratan diatas, maka periode getar T yang digunakan untuk T arah X sebesar 0,739 dan untuk T arah Y sebesar 0,739.

13. Perhitungan koefisien respons seismik

a. Struktur dinding geser model 1

Dalam menghitung koefisien respons seismik digunakan persamaan 3.31 sampai dengan persamaan 3.35, dengan R sebesar 7 sebagai berikut.

$$\begin{aligned} 1) C_s &= \frac{SDS}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \\ &= \frac{0,784}{\left(\frac{7}{1,5}\right)} \\ &= 0,1679 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 2) C_s &= \frac{SD1}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)} \\
 &= \frac{0,603}{0,739 \left(\frac{7}{1,5}\right)} \\
 &= 0,1750
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 3) C_s &= 0,044 S_{DS} \times I_e \\
 &= 0,044 \times 0,784 \times 1,5 \\
 &= 0,0517
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 4) C_s &= \frac{0,5 S1}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \\
 &= \frac{0,5 \times 0,5037}{\left(\frac{7}{1,5}\right)} \\
 &= 0,054
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan koefisien respons seismik (C_s) diatas, maka C_s yang digunakan untuk arah X sebesar 0,1679 dan C_s untuk arah Y sebesar 0,1679.

b. Struktur dinding geser model 2

Dalam menghitung koefisien respons seismik digunakan persamaan 3.31 sampai dengan persamaan 3.35, dengan R sebesar 7 sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 1) C_s &= \frac{SDS}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \\
 &= \frac{0,784}{\left(\frac{7}{1,5}\right)} \\
 &= 0,1679
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 2) C_s &= \frac{SD1}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)} \\
 &= \frac{0,603}{0,739 \left(\frac{7}{1,5}\right)} \\
 &= 0,1750
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 3) C_s &= 0,044 S_{DS} \times I_e \\
 &= 0,044 \times 0,784 \times 1,5 \\
 &= 0,0517
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 4) C_s &= \frac{0,5 S_1}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \\
 &= \frac{0,5 \times 0,5037}{\left(\frac{7}{1,5}\right)} \\
 &= 0,054
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan koefisien respons seismik (C_s) diatas, maka C_s yang digunakan untuk arah X sebesar 0,1679 dan C_s untuk arah Y sebesar 0,1679.

c. Struktur dinding geser model 3

Dalam menghitung koefisien respons seismik digunakan persamaan 3.31 sampai dengan persamaan 3.35, dengan R sebesar 7 sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 1) C_s &= \frac{SDS}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \\
 &= \frac{0,784}{\left(\frac{7}{1,5}\right)} \\
 &= 0,1679
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 2) C_s &= \frac{SD1}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)} \\
 &= \frac{0,603}{0,739 \left(\frac{7}{1,5}\right)} \\
 &= 0,1750
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 3) C_s &= 0,044 S_{DS} \times I_e \\
 &= 0,044 \times 0,784 \times 1,5 \\
 &= 0,0517
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 4) C_s &= \frac{0,5 S_1}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \\
 &= \frac{0,5 \times 0,5037}{\left(\frac{7}{1,5}\right)} \\
 &= 0,054
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan koefisien respons seismik (C_s) diatas, maka C_s yang digunakan untuk arah X sebesar 0,1679 dan C_s untuk arah Y sebesar 0,1679.

14. Berat total bangunan (Wt)

Berat total bangunan merupakan keseluruhan beban mati setiap elemen struktur dan beban hidup yang digunakan dalam perencanaan sesuai dengan acuan SNI 1727-2020. Adapun berat total bangunan tiap model hasil dari *output* ETABS V18 dapat dilihat pada Tabel 5.5 sebagai berikut.

Tabel 5.5 Berat Total Bangunan

Lantai	Struktur Dinding Geser (Existing) Model 1	Struktur Dinding Geser Model 2	Struktur Dinding Geser Model 3
	(kN)	(kN)	(kN)
Rooftop	170957,40	82151,05	82151,05
9	870964,30	720416,35	710997,49
8	875518,60	777101,13	755918,32
7	881473,70	783479,13	762450,09
6	2107795,00	2000951,97	1968139,04
5	2249199,00	2132551,65	2099635,80
4	2519712,00	2403334,43	2369488,69
3	2996736,00	2878607,26	2839883,10
2	3731263,00	3612091,41	3571438,41
Total	16403619,00	15390684,38	15160101,99

15. Perhitungan gaya geser dasar seismik

a. Struktur dinding geser model 1

$$\begin{aligned}
 \text{Berat total bangunan (Wt)} &= 16403619,00 \text{ kN} \\
 C_s &= 0,1679 \\
 V &= C_s \times Wt \\
 &= 0,1679 \times 16403619,00 \\
 &= 2754099,194 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Didapatkan gaya geser dasar seismik sebesar 2754099,194 kN.

b. Struktur dinding geser model 2

$$\begin{aligned}
 \text{Berat total bangunan (Wt)} &= 15390684,38 \text{ kN} \\
 C_s &= 0,1679 \\
 V &= C_s \times Wt
 \end{aligned}$$

$$= 0,1679 \times 15390684,38$$

$$= 2584031,697 \text{ kN}$$

Didapatkan gaya geser dasar seismik sebesar 2584031,697 kN.

c. Struktur dinding geser model 3

$$\text{Berat total bangunan (Wt)} = 15160101,99 \text{ kN}$$

$$C_s = 0,1679$$

$$V = C_s \times Wt$$

$$= 0,1679 \times 15160101,99$$

$$= 2545317,876 \text{ kN}$$

Didapatkan gaya geser dasar seismik sebesar 2545317,876 kN.

16. Perhitungan K

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

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

Adapun penentuan K berdasarkan T yang didapatkan dari analisis setiap model dapat dilihat pada Tabel 5.6 sebagai berikut.

Tabel 5.6 Penentuan K

Model Struktur Bangunan	T	K
Struktur dinding geser model 1	0,739	1,119
Struktur dinding geser model 2	0,739	1,119
Struktur dinding geser model 3	0,739	1,119

17. Gaya seismik lateral (F)

Adapun perhitungan gaya seismik lateral tingkat setiap model dapat dilihat pada Tabel 5.7 sampai Tabel 5.9 sebagai berikut.

Tabel 5.7 Gaya Seismik Lateral Dengan Struktur Dinding Geser Model 1

Lantai	Berat (W)	Tinggi (H)	H ^k	W*(H ^k)	CV _x	F
	(kN)	(m)	(m)	(kNm)		(kN)
Rooftop	170957,40	37,4	57,630	9852263,755	0,0288	79257,186
Lantai 9	870964,30	33,9	51,628	44965788,23	0,1313	361730,250
Lantai 8	875518,60	29,65	44,439	38906936,72	0,1136	312989,419
Lantai 7	881473,70	25,45	37,455	33015243,85	0,0964	265593,307
Lantai 6	2107795,00	21,25	30,607	64513917,63	0,1884	518986,467
Lantai 5	2249199,00	17,05	23,921	53802330,88	0,1572	432816,400
Lantai 4	2519712,00	12,85	17,430	43917731,69	0,1283	353299,090
Lantai 3	2996736,00	8,65	11,191	33537432,54	0,0980	269794,089
Lantai 2	3731263,00	4,45	5,318	19843579,81	0,0580	159632,987
Total				342355225,1	1,0000	2754099,194

Tabel 5.8 Gaya Seismik Lateral Dengan Struktur Dinding Geser Model 2

Lantai	Berat (W)	Tinggi (H)	H ^k	W*(H ^k)	CV _x	F
	(kN)	(m)	(m)	(kNm)		(kN)
Rooftop	82151,05	37,4	57,630	4734359,626	0,0152	39289,228
Lantai 9	720416,35	33,9	51,628	37193360,32	0,1194	308658,092
Lantai 8	777101,13	29,65	44,439	34533389,11	0,1109	286583,678
Lantai 7	783479,13	25,45	37,455	29344896,54	0,0942	243525,718
Lantai 6	2000951,97	21,25	30,607	61243740,77	0,1967	508245,989
Lantai 5	2132551,65	17,05	23,921	51012048,95	0,1638	423335,821
Lantai 4	2403334,43	12,85	17,430	41889309,83	0,1345	347628,565
Lantai 3	2878607,26	8,65	11,191	32215415,97	0,1035	267347,418
Lantai 2	3612091,41	4,45	5,318	19209802,19	0,0617	159417,188
Total				311376323,3	1,0000	2584031,697

Tabel 5.9 Gaya Seismik Lateral Dengan Struktur Dinding Geser Model 3

Lantai	Berat (W)	Tinggi (H)	H ^k	W*(H ^k)	CV _x	F
	(kN)	(m)	(m)	(kNm)		(kN)
Rooftop	82151,05	37,4	57,630	4734359,626	0,0155	39363,846
Lantai 9	710997,49	33,9	51,628	36707087,27	0,1199	305201,176
Lantai 8	755918,32	29,65	44,439	33592051,89	0,1097	279301,206
Lantai 7	762450,09	25,45	37,455	28557262,28	0,0933	237439,434
Lantai 6	1968139,04	21,25	30,607	60239425,52	0,1968	500860,866
Lantai 5	2099635,80	17,05	23,921	50224680	0,1641	417593,237
Lantai 4	2369488,69	12,85	17,430	41299389,98	0,1349	343383,889
Lantai 3	2839883,10	8,65	11,191	31782041,49	0,1038	264251,870
Lantai 2	3571438,41	4,45	5,318	18993601,66	0,0620	157922,352
Total				306129899,7	1,0000	2545317,876

5.3 Implikasi Varian Pemodelan Struktur

Pemodelan struktur dilakukan dengan menggunakan bantuan *software* ETABS V18. Adapun data-data elemen struktural yang dibutuhkan dalam melakukan pemodelan adalah sebagai berikut.

Tabel 5.10 Dimensi Kolom

No.	Nama	Panjang	Lebar	Tebal
		mm	mm	mm
1	C1	800	800	-
2	C2	800	800	-
3	C3	400	700	-
4	C4-1	1000	1000	250
5	C4-2	700	700	250
6	C5	1150	700	250
7	C6	300	300	-

Tabel 5.11 Dimensi Balok

No.	Nama	Lebar	Tinggi
		mm	mm
1	B1-1	400	700
2	B1-w	400	700
3	B1-3	400	700
4	B2-w	400	800
5	B2-2	400	700
6	BA-w	400	500
7	BA-2	300	500
8	BP1	150	700
9	BP2	150	500
10	BL	250	700
11	CB1	400	700
12	CBA	300	500
13	BF	150	300
14	B3	250	400

Tabel 5.12 Dimensi Pelat

Tipe Pelat	Ketebalan
	mm
Pelat Lantai	130
Pelat Atap	130

Tabel 5.13 Dimensi Dinding Geser Model 1

No.	Kode	Dimensi	
		Panjang (mm)	Tebal (mm)
1.	W1	7950	400
2.	W2	7900	400
3.	W2-A	7150	400
4.	W3	3275	400
5.	W4	7800	400
		5150	400
6.	W5	3300	800
7.	W6	3300	800
8.	W7	6150	400
		5400	400
		1525	400
		3875	400
9.	W8	4000	400

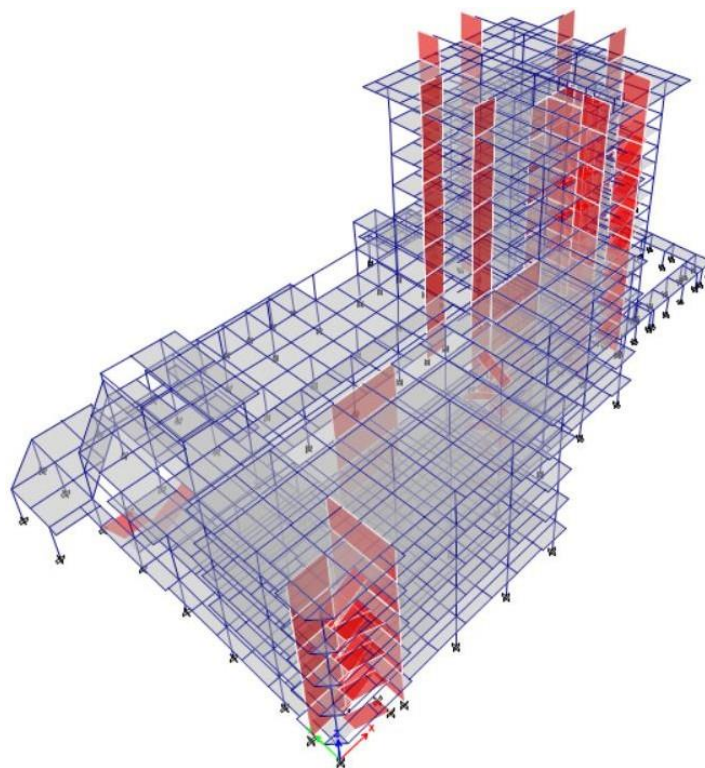
Tabel 5.14 Dimensi Dinding Geser Model 2

No.	Kode	Dimensi	
		Panjang (mm)	Tebal (mm)
1.	W1	7200	400
		3950	400
2.	W2	7200	400
3.	W2-A	7200	400
4.	W4	7200	400
5.	W5	7200	400
6.	W6	7200	400
		4100	400
7.	W7	6150	400
		5400	400
		1525	400
		3875	400

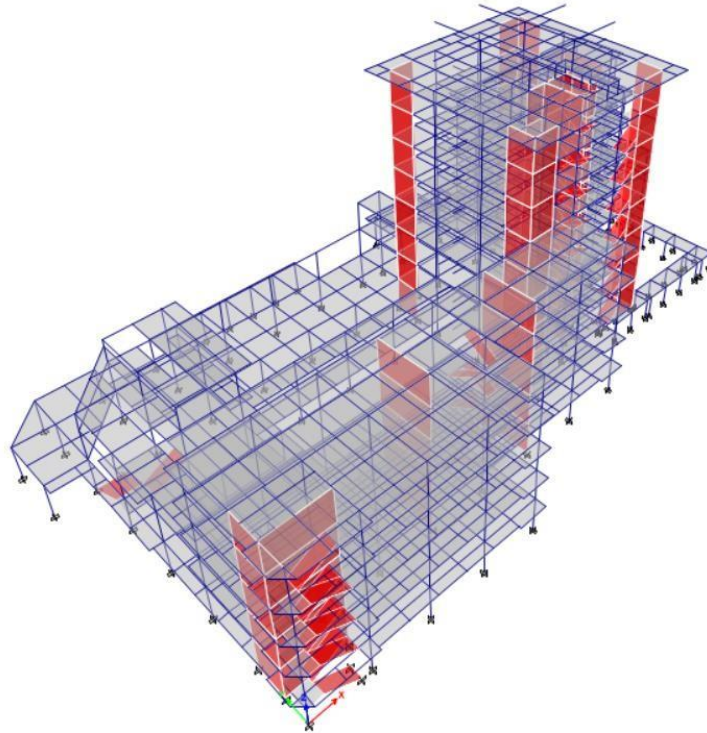
Tabel 5.15 Dimensi Dinding Geser Model 3

No.	Kode	Dimensi	
		Panjang (mm)	Tebal (mm)
1.	W1	7200	400
		3600	400
2.	W2	7200	400
3.	W3	3600	400
4.	W4	6150	400
		5400	400
		1525	400
		3875	400
5.	W5	7200	400
6.	W6	7200	400
7.	W7	7200	400
		3100	400

Adapun bentuk pemodelan dan analisis menggunakan *software* ETABS V18 pada Model 1 dapat dilihat pada Gambar 5.5.

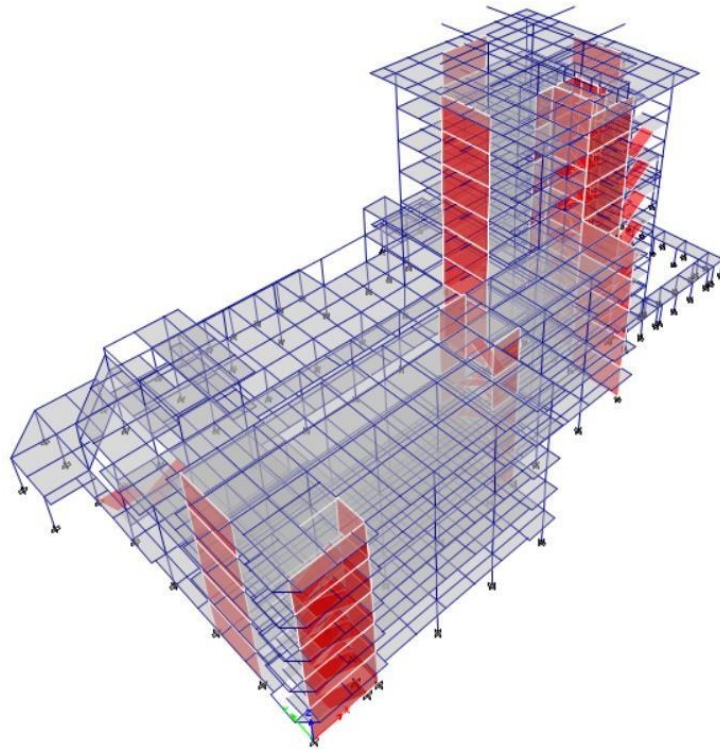
**Gambar 5.5 Model Struktur Dinding Geser Model 1**

Pada model 1 diatas merupakan model struktur bangunan *existing* atau bangunan yang sudah ada di lapangan, sedangkan bentuk pemodelan dan analisis menggunakan *software* ETABS V18 pada Model 2 dapat dilihat pada Gambar 5.6.



Gambar 5.6 Model Struktur Dinding Geser Model 2

Pada model 2 menggunakan dinding geser *L-Shape*, pemilihan bentuk dinding geser *L-Shape* ini dikarenakan biasanya cenderung lebih stabil. Menurut Batu (2016), mencatat bahwa model struktur yang efektif dalam mengurangi dampak pada bangunan adalah struktur dengan dinding geser yang ditempatkan mengelilingi pusat massa bangunan. Pada bangunan dengan bentuk yang tidak beraturan, disarankan untuk menempatkan dinding geser pada pusat massa bangunan atau mengarahkannya ke pusat massa. Pada dinding geser *L-Shape*, penempatan dinding geser di setiap sudut bangunan dapat mengurangi simpangan yang terjadi pada struktur bangunan. Oleh karena itu penulis berasumsi bahwa pemilihan bentuk dinding geser *L-Shape* dan penempatan pada sudut bangunan dapat menurunkan simpangan dan membuat bangunan lebih stabil. Adapun bentuk pemodelan dan analisis menggunakan *software* ETABS V18 pada Model 3 dapat dilihat pada Gambar 5.7.



Gambar 5.7 Model Struktur Dinding Geser Model 3

Pada model 3 dominan menggunakan dinding geser *straight shape* dan dikombinasikan dengan dinding geser *L-Shape*. Penggunaan dinding geser *straight shape* yang paling umum digunakan karena memiliki kesederhanaan dalam desain dan kecepatan konstruksinya dibandingkan dengan dinding geser bentuk *L-Shape* ataupun berbentuk U. Menurut Fauziah (2013), struktur yang memiliki dinding geser ditempatkan sejajar dengan arah beban gempa atau sejajar dengan sumbu x dan y akan memiliki kekuatan yang lebih besar dalam menahan beban lateral. Menurut Manalip (2015), dianjurkan agar penempatan dinding geser dipilih di lokasi yang dapat menjaga kesimetrisan dan titik pusat massa bangunan tetap konsisten. Menurut Andalas (2016), penempatan optimal untuk dinding geser adalah pada sisi eksterior bangunan dan sejajar dengan sumbu x dan y. Oleh karena itu penulis berasumsi bahwa pemilihan bentuk dinding geser *straight shape* dengan menempatkan pada sisi bangunan paling luar dan searah sumbu x dan y dapat maksimal dalam menahan gaya lateral.

5.4 Analisis Gaya Geser Dasar

5.4.1 Pengecekan *Base Shear Trial 1*

Berdasarkan SNI 1726-2019 Pasal 7.9.1.4.1 tentang penskalaan gaya bahwa apabila kombinasi respons untuk gaya geser dasar dinamik kurang dari 100% dari gaya geser dasar yang dihitung melalui metode ekuivalen statik, maka kombinasi tersebut harus diskalakan dengan V/V_t . Gaya geser dasar (*base shear*) yang dihasilkan pada analisis statik ekuivalen (V) dan analisis kombinasi respons (V_t) dapat dilihat pada Tabel 5.16 sampai Tabel 5.18 sebagai berikut.

Tabel 5.16 Kontrol Parameter Penskalaan Gaya Model 1 *Trial 1*

Arah Gaya	V Statik	100% V_s	V Dinamik	Kontrol	Skala Baru
	(V_s)		(V_d)	$V_d = V_s$	V_s/V_d
X	27008,4873	27008,4873	14287,7649	NOT OK	1,8904
Y	27008,4873	27008,4873	14626,6402	NOT OK	1,8466

Tabel 5.17 Kontrol Parameter Penskalaan Gaya Model 2 *Trial 1*

Arah Gaya	V Statik	100% V_s	V Dinamik	Kontrol	Skala Baru
	(V_s)		(V_d)	$V_d = V_s$	V_s/V_d
X	25340,6950	25340,6950	15549,0597	NOT OK	1,6298
Y	25340,6950	25340,6950	14555,7415	NOT OK	1,7410

Tabel 5.18 Kontrol Parameter Penskalaan Gaya Model 3 *Trial 1*

Arah Gaya	V Statik	100% V_s	V Dinamik	Kontrol	Skala Baru
	(V_s)		(V_d)	$V_d = V_s$	V_s/V_d
X	24961,042	24961,042	13396,6811	NOT OK	1,8633
Y	24961,042	24961,042	12410,6219	NOT OK	2,0113

5.4.2 Pengecekan *Base Shear Trial 2*

Gaya geser dasar (*base shear*) yang dihasilkan setelah melakukan penskalaan gaya (*trial 2*) dengan V/V_t , maka dihasilkan analisis statik ekuivalen (V) dan analisis kombinasi respons (V_t) dapat dilihat pada Tabel 5.19 sampai Tabel 5.21 sebagai berikut.

Tabel 5.19 Kontrol Parameter Penskalaan Gaya Model 1 Trial 2

Arah Gaya	V Statik	100% Vs	V Dinamik	Kontrol Vd = Vs	Skala Baru Vs/Vd
	(Vs)		(Vd)		
X	27008,4873	27008,4873	27009,5747	OK	-
Y	27008,4873	27008,4873	27009,5116	OK	-

Tabel 5.20 Kontrol Parameter Penskalaan Gaya Model 2 Trial 2

Arah Gaya	V Statik	100% Vs	V Dinamik	Kontrol Vd = Vs	Skala Baru Vs/Vd
	(Vs)		(Vd)		
X	25340,6950	25340,6950	25341,8379	OK	-
Y	25340,6950	25340,6950	25341,5754	OK	-

Tabel 5.21 Kontrol Parameter Penskalaan Gaya Model 3 Trial 2

Arah Gaya	V Statik	100% Vs	V Dinamik	Kontrol Vd = Vs	Skala Baru Vs/Vd
	(Vs)		(Vd)		
X	24961,042	24961,042	24962,0165	OK	-
Y	24961,042	24961,042	24961,4591	OK	-

5.5 Kontrol SRPMK Dengan 25 Persen Gaya Lateral

Struktur pada model penelitian ini menggunakan sistem ganda karena menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus dan Dinding Geser. Menurut SNI 1726-2019 Pasal 7.2.5.1 rangka pemikul momen harus mampu menahan gaya geser dasar paling sedikit 25% dari gaya gempa desain. Adapun contoh perhitungan pemeriksaan sistem ganda adalah sebagai berikut.

$$\sum V_x \text{ SRPMK} = 12427,02 \text{ kN}$$

$$\sum V_y \text{ SRPMK} = 13267,41 \text{ kN}$$

$$\sum V_x \text{ total} = 27009,575 \text{ kN}$$

$$\sum V_y \text{ total} = 27009,512 \text{ kN}$$

$$\text{Prosentase} = \frac{V_x \text{ total}}{V_x \text{ SRPMK}} \times 100\%$$

$$= \frac{12427,02}{27009,575} \times 100\%$$

$$= 46,010 \% > 25\%$$

Berdasarkan perhitungan diatas, sistem rangka pemikul momen khusus dapat menahan >25% gaya geser desain, sehingga memenuhi syarat SNI 1726-2019. Adapun rekapitulasi pemeriksaan sistem adalah sebagai berikut.

1. Model struktur *existing* (model 1)

Tabel 5.22 Pemeriksaan Sistem Ganda Model 1

ΣV_x	ΣV_y	ΣV_x SRPMK	ΣV_y SRPMK	Persentase arah X	Persentase arah Y	Cek
kN	kN	kN	kN	%	%	
27009,575	27009,512	12427,02	13267,41	46,010	49,121	OK

Berdasarkan perhitungan diatas pemeriksaan sistem ganda pada model 1 tidak terdapat sistem rangka pemikul momen yang kurang dari 25%, sehingga memenuhi syarat SNI 1726-2019.

2. Model struktur dengan bentuk dinding geser *L-Shape* (model 2)

Tabel 5.23 Pemeriksaan Sistem Ganda Model 2

ΣV_x	ΣV_y	ΣV_x SRPMK	ΣV_y SRPMK	Persentase arah X	Persentase arah Y	Cek
kN	kN	kN	kN	%	%	
25341,838	25341,575	12394,09	12415,08	48,908	48,991	OK

Berdasarkan perhitungan diatas pemeriksaan sistem ganda pada model 2 tidak terdapat sistem rangka pemikul momen yang kurang dari 25%, sehingga memenuhi syarat SNI 1726-2019.

3. Model struktur dengan bentuk dinding geser *Straight Shape* (model 3)

Tabel 5.24 Pemeriksaan Sistem Ganda Model 3

ΣV_x	ΣV_y	ΣV_x SRPMK	ΣV_y SRPMK	Persentase arah X	Persentase arah Y	Cek
kN	kN	kN	kN	%	%	
24962,017	24961,459	11291,73	11782,15	45,236	47,201	OK

Berdasarkan perhitungan diatas pemeriksaan sistem ganda pada model 3 tidak terdapat sistem rangka pemikul momen yang kurang dari 25%, sehingga memenuhi syarat SNI 1726-2019.

5.6 Efek Potensi Torsi pada Struktur Tidak Teratur

5.6.1 Titik Pusat Massa dan Titik Pusat Kekakuan Bangunan

Menurut Andalas, dkk (2016), menyebutkan bahwa besarnya defleksi horizontal dipengaruhi oleh tingkat kekakuan struktur, dimana kekakuan ini dapat dipengaruhi oleh jarak antara dinding geser dan pusat massa. Semakin besar jarak antara dinding geser dan pusat massa, semakin tinggi pula kekakuan struktur tersebut. Dengan demikian, semakin kuat kekakuan suatu bangunan, defleksi yang terjadi pada struktur tersebut akan semakin kecil. Posisi pusat massa dan pusat kekakuan diidentifikasi melalui analisis menggunakan *software* ETABS V18. Adapun Rekapitulasi koordinat titik pusat massa dan pusat kekakuan bangunan dapat ditemukan dalam Tabel 5.25 hingga 5.27.

Tabel 5.25 Eksentrisitas Bangunan Model 1

Lantai	Center of Mass		Center of Rigidity		Eksentrisitas	
	XCM	YCM	XCR	YCR	e_x	e_y
	m	m	m	m	m	m
9	54,011	24,9461	53,9114	23,5194	0,0996	1,4267
8	53,724	25,2426	53,6565	23,3159	0,0675	1,9267
7	53,7481	25,2071	52,894	22,7033	0,8541	2,5038
6	45,1014	20,8152	50,9407	21,0842	5,8393	0,269
5	44,9606	20,7711	50,3306	20,9541	5,37	0,183
4	44,8376	21,1175	49,4919	20,861	4,6543	0,2565
3	41,1169	23,1509	48,5125	20,9867	7,3956	2,1642
2	36,114	26,1132	48,0111	21,7195	11,8971	4,3937
Base	-	-	-	-	-	-

Tabel 5.26 Eksentrisitas Bangunan Model 2

Lantai	Center of Mass		Center of Rigidity		Eksentrisitas	
	XCM	YCM	XCR	YCR	e _x	e _y
	m	m	m	m	m	m
9	54,0112	24,9269	53,0127	23,0133	0,9985	1,9136
8	53,7183	25,5052	52,4927	22,6697	1,2256	2,8355
7	53,7433	25,4649	51,5736	21,9305	2,1697	3,5344
6	44,7239	20,8129	50,1981	20,6471	5,4742	0,1658
5	44,2746	20,5881	50,1003	20,5036	5,8257	0,0845
4	44,1752	20,9563	49,9465	20,3507	5,7713	0,6056
3	40,3682	22,8763	49,4192	20,3758	9,051	2,5005
2	35,5706	26,1122	47,5524	20,5109	11,9818	5,6013
Base	-	-	-	-	-	-

Tabel 5.27 Eksentrisitas Bangunan Model 3

Lantai	Center of Mass		Center of Rigidity		Eksentrisitas	
	XCM	YCM	XCR	YCR	e _x	e _y
	m	m	m	m	m	m
9	54,012	24,9238	53,7551	22,9705	0,2569	1,9533
8	53,7191	25,2434	53,3522	22,6753	0,3669	2,5681
7	53,7437	25,2073	52,5024	22,2365	1,2413	2,9708
6	44,7256	20,6821	51,1304	21,7649	6,4048	1,0828
5	44,2948	20,4245	50,6489	21,6889	6,3541	1,2644
4	44,1616	20,7807	49,9788	21,672	5,8172	0,8913
3	40,2388	22,7153	48,8576	21,5744	8,6188	1,1409
2	35,3975	25,9742	46,4749	20,4554	11,0774	5,5188
Base	-	-	-	-	-	-

5.7 Cek Ketidakberaturan Stuktur

Pada struktur bangunan yang harus diklasifikasikan sebagai beraturan atau ketidakberaturan mengacu pada karakteristik dalam SNI 1726-2019 Pasal 7.3.2.1. Adapun karakteristik tersebut harus berdasarkan pada penerapan-penerapan yang telah ditentukan adalah sebagai berikut.

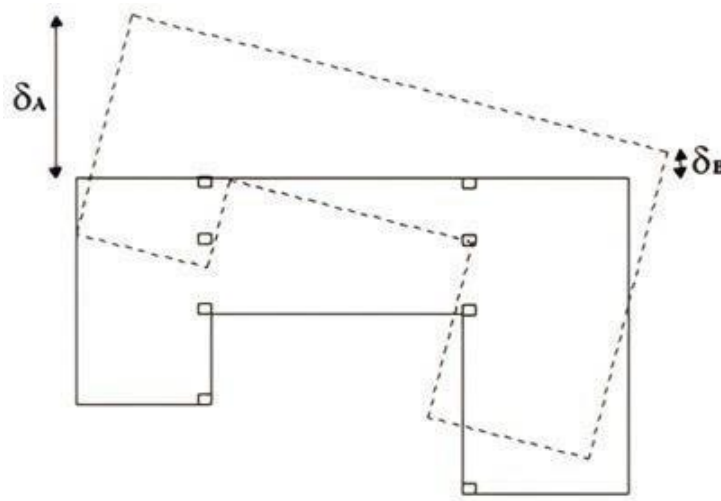
5.7.1 Ketidakberaturan Horizontal

1. Ketidakberaturan torsi 1a dan 1b

Ketidakberaturan torsi didefinisikan (1a) ada jika simpangan antar 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. Ketidakberaturan torsi berlebihan (1b) didefinisikan ada jika simpangan antar tingkat maksimum yang dihitung termasuk akibat torsi tak terduga dengan $A_x = 1,0$, di salah satu ujung struktur melintang terhadap suatu sumbu adalah lebih dari 1,4 kali simpangan antar tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Adapun klasifikasi pengaruh torsi pada ketidakberaturan torsi 1a dan 1b adalah sebagai berikut.

- $\delta_{\max} < 1,2 \delta_{\text{avg}}$ = Tanpa ketidakberaturan torsi
- $1,2 \delta_{\text{avg}} \leq \delta_{\max} \leq 1,4 \delta_{\text{avg}}$ = Ketidakberaturan torsi 1a
- $\delta_{\max} > 1,4 \delta_{\text{avg}}$ = Ketidakberaturan torsi 1b



Gambar 5.8 Ketidakberaturan Torsi (1a) dan (1b)

Contoh perhitungan untuk ketidakberaturan torsi 1a dan 1b adalah sebagai berikut.

Lantai 2

$$\delta_{\max} = 1,315 \text{ mm}$$

$$\delta_{\text{avg}} = 1,072 \text{ mm}$$

$$\frac{\delta_{\max}}{\delta_{\text{avg}}} = 1,227$$

$$1,2 \delta_{\text{avg}} = 1,2 \times 1,072$$

$$= 1,286 \text{ mm}$$

$$1,4 \delta_{avg} = 1,4 \times 1,072$$

$$= 1,501 \text{ mm}$$

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut didapatkan $1,2 \delta_{avg} \leq \delta_{max} \leq 1,4 \delta_{avg}$, maka pada lantai 6 memiliki ketidakberaturan torsi 1a. Adapun rekapitulasi hasil cek ketidakberaturan torsi 1a dan 1b arah x dapat dilihat pada Tabel 5.28 sampai Tabel 5.30 sebagai berikut.

Tabel 5.28 Cek Ketidakberaturan Torsi 1a dan 1b Arah X Model 1

Lantai	δ_{max}	$\delta_{average}$	$\delta_{max}/\delta_{average}$	Cek Ketidakberaturan
	(mm)	(mm)	(mm)	$\delta_{max} > 1.2 \delta_{average} > 1.4 \delta_{average}$
9	4,797	3,778	1,270	Ketidakteraturan torsi 1a
8	5,948	4,506	1,320	Ketidakteraturan torsi 1a
7	6,922	4,924	1,406	Ketidakteraturan torsi 1b
6	4,508	3,248	1,388	Ketidakteraturan torsi 1a
5	3,917	2,856	1,371	Ketidakteraturan torsi 1a
4	1,448	1,095	1,322	Ketidakteraturan torsi 1a
3	1,533	1,177	1,302	Ketidakteraturan torsi 1a
2	1,315	1,072	1,227	Ketidakteraturan torsi 1a
Base	-	-	-	-

Tabel 5.29 Cek Ketidakberaturan Torsi 1a dan 1b Arah X Model 2

Lantai	δ_{max}	$\delta_{average}$	$\delta_{max}/\delta_{average}$	Cek Ketidakberaturan
	(mm)	(mm)	(mm)	$\delta_{max} > 1.2 \delta_{average} > 1.4 \delta_{average}$
9	2,851	2,594	1,099	Tidak terjadi
8	3,175	2,613	1,215	Ketidakteraturan torsi 1a
7	3,265	2,904	1,124	Tidak terjadi
6	3,164	2,555	1,238	Ketidakteraturan torsi 1a
5	3,031	2,559	1,184	Tidak terjadi
4	1,117	0,953	1,172	Tidak terjadi
3	1,27	1,087	1,168	Tidak terjadi
2	1,376	1,121	1,227	Ketidakteraturan torsi 1a
Base	-	-	-	-

Tabel 5.30 Cek Ketidakberaturan Torsi 1a dan 1b Arah X Model 3

Lantai	δ_{\max}	δ_{average}	$\delta_{\max}/\delta_{\text{average}}$	Cek Ketidakberaturan
	(mm)	(mm)	(mm)	$\delta_{\max} > 1.2 \delta_{\text{average}} > 1.4 \delta_{\text{average}}$
9	3,711	3,373	1,100	Tidak terjadi
8	4,03	3,54	1,138	Tidak terjadi
7	4,516	3,763	1,200	Ketidakteraturan torsi 1a
6	3,737	2,942	1,270	Ketidakteraturan torsi 1a
5	3,466	2,87	1,208	Ketidakteraturan torsi 1a
4	1,181	1,038	1,138	Tidak terjadi
3	1,312	1,135	1,156	Tidak terjadi
2	1,381	1,121	1,232	Ketidakteraturan torsi 1a
Base	-	-	-	-

Berdasarkan pemeriksaan ketidakberaturan torsi 1a dan 1b arah x terdapat beberapa lantai yang mengalami ketidakberaturan torsi tipe 1a pada model 1 yaitu lantai 2,3,4,5,6,8, dan 9. Pada model 2 yaitu lantai 2 dan 6. Pada model 3 yaitu lantai 2,5,6, dan 7. Sedangkan ketidakberaturan torsi tipe 1b terdapat pada model 1 yaitu lantai 7.

Adapun rekapitulasi hasil cek ketidakberaturan torsi 1a dan 1b arah y dapat dilihat pada Tabel 5.31 sampai Tabel 5.33 sebagai berikut.

Tabel 5.31 Cek Ketidakberaturan Torsi 1a dan 1b Arah Y Model 1

Lantai	δ_{\max}	δ_{average}	$\delta_{\max}/\delta_{\text{average}}$	Cek Ketidakberaturan
	(mm)	(mm)	(mm)	$\delta_{\max} > 1.2 \delta_{\text{average}} > 1.4 \delta_{\text{average}}$
9	4,737	3,884	1,220	Ketidakteraturan torsi 1a
8	5,826	4,572	1,274	Ketidakteraturan torsi 1a
7	7,151	5,365	1,333	Ketidakteraturan torsi 1a
6	5,385	3,514	1,532	Ketidakteraturan torsi 1b
5	5,167	3,46	1,493	Ketidakteraturan torsi 1b
4	1,877	1,268	1,480	Ketidakteraturan torsi 1b
3	2,21	1,5	1,473	Ketidakteraturan torsi 1b
2	2,075	1,418	1,463	Ketidakteraturan torsi 1b
Base	-	-	-	-

Tabel 5.32 Cek Ketidakberaturan Torsi 1a dan 1b Arah Y Model 2

Lantai	δ_{\max}	δ_{average}	$\delta_{\max}/\delta_{\text{average}}$	Cek Ketidakberaturan
	(mm)	(mm)	(mm)	$\delta_{\max} > 1.2 \delta_{\text{average}} > 1.4 \delta_{\text{average}}$
9	3,354	3,092	1,085	Tidak terjadi
8	3,767	3,383	1,114	Tidak terjadi
7	3,97	3,565	1,114	Tidak terjadi
6	3,986	2,82	1,413	Ketidakteraturan torsi 1b
5	3,937	2,83	1,391	Ketidakteraturan torsi 1a
4	1,515	1,094	1,385	Ketidakteraturan torsi 1a
3	1,718	1,239	1,387	Ketidakteraturan torsi 1a
2	1,75	1,242	1,409	Ketidakteraturan torsi 1b
Base	-	-	-	-

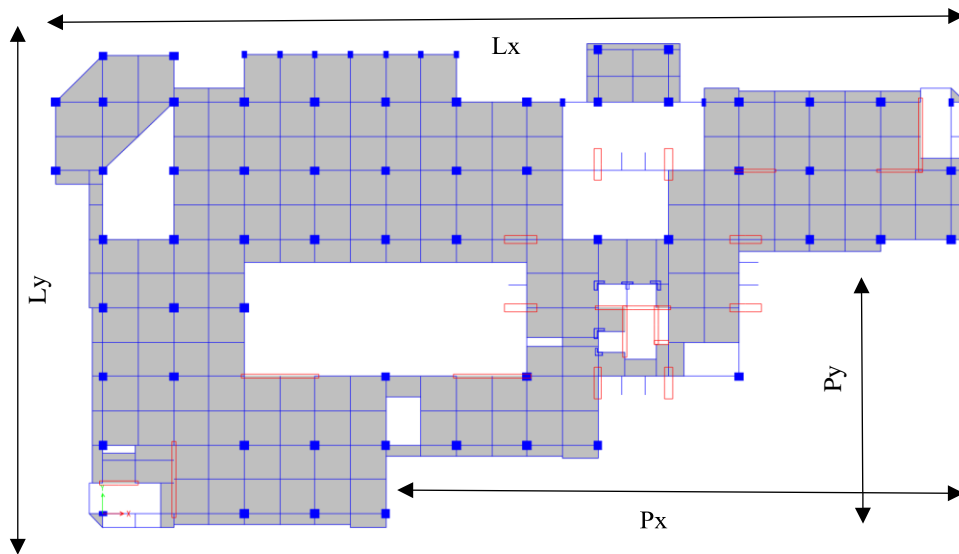
Tabel 5.33 Cek Ketidakberaturan Torsi 1a dan 1b Arah Y Model 3

Lantai	δ_{\max}	δ_{average}	$\delta_{\max}/\delta_{\text{average}}$	Cek Ketidakberaturan
	(mm)	(mm)	(mm)	$\delta_{\max} > 1.2 \delta_{\text{average}} > 1.4 \delta_{\text{average}}$
9	3,527	2,866	1,231	Ketidakteraturan torsi 1a
8	3,897	3,075	1,267	Ketidakteraturan torsi 1a
7	4,566	3,44	1,327	Ketidakteraturan torsi 1a
6	3,768	2,65	1,422	Ketidakteraturan torsi 1b
5	3,539	2,507	1,412	Ketidakteraturan torsi 1b
4	1,366	1,017	1,343	Ketidakteraturan torsi 1a
3	1,598	1,103	1,449	Ketidakteraturan torsi 1b
2	1,361	0,976	1,394	Ketidakteraturan torsi 1a
Base	-	-	-	-

Berdasarkan pemeriksaan ketidakberaturan torsi 1a dan 1b arah y terdapat beberapa lantai yang mengalami ketidakberaturan torsi tipe 1a pada model 1 yaitu lantai 7,8, dan 9. Pada model 2 yaitu lantai 2 3,4,5, dan 6. Pada model 3 yaitu lantai 2,4,7,8 dan 9. Sedangkan ketidakberaturan torsi tipe 1b terdapat pada model 1 yaitu lantai 2,3,4,5, dan 6. Pada model 3 yaitu lantai 3,5, dan 6. Akibat adanya ketidakberaturan tipe ini pada bangunan Gedung TILC UGM memiliki potensi terhadap puntir, sehingga pada perencanaan dapat dilakukan sesuai dengan konsekuensi yang dapat dilihat pada Lampiran 20.

2. Ketidakberaturan sudut dalam

Ketidakberaturan 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.



Gambar 5.9 Peninjauan Ketidakberaturan Sudut Dalam

Ketidakberaturan sudut dalam dapat dikatakan terjadi apabila $P_x > 0,15 L_x$ dan $P_y > 0,15 L_y$.

Contoh perhitungan untuk ketidakberaturan sudut dalam adalah sebagai berikut.

Lantai 2

$$L_x = 91,25 \text{ m}$$

$$P_x = 57,6 \text{ m}$$

$$L_y = 48,05 \text{ m}$$

$$P_y = 28,8 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} 0,15 L_x &= 0,15 \times 91,25 \\ &= 13,6875 \text{ m} < P_x \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0,15 L_y &= 0,15 \times 48,05 \\ &= 7,2075 \text{ m} < P_y \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa $P_x > 0,15 L_x$ dan $P_y > 0,15 L_y$, sehingga pada lantai 2 mengalami ketidakberaturan sudut dalam. Pada semua jenis model struktur baik model 1, model 2, dan model 3

memiliki kesamaan pada denah, sehingga ketidakberaturan sudut dalamnya sama. Adapun rekapitulasi hasil cek ketidakberaturan sudut dalam dapat dilihat pada Tabel 5.34 sebagai berikut.

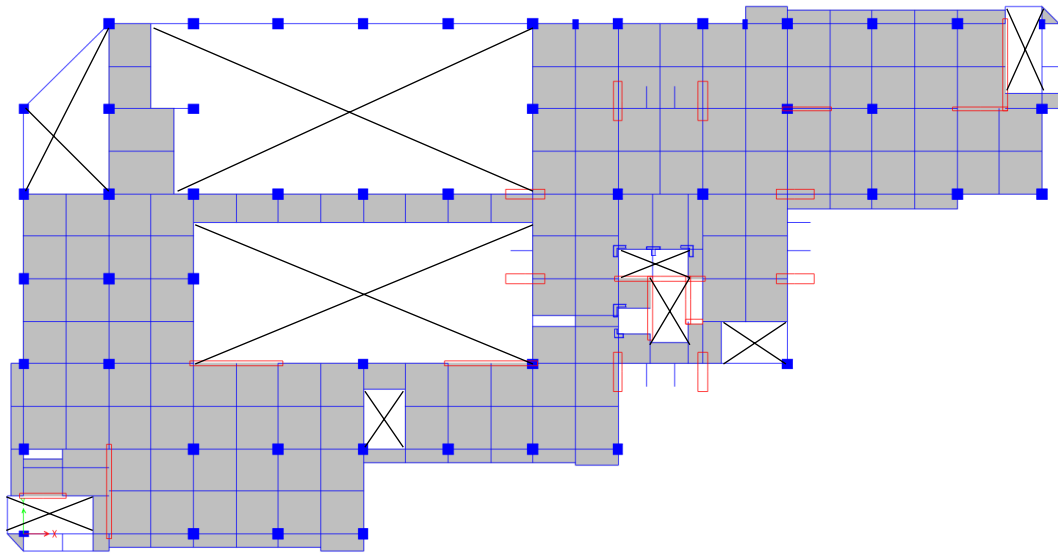
Tabel 5.34 Cek Ketidakberaturan Sudut Dalam

Lantai	Lx	Px	0.15Lx	Ly	Py	0.15Ly	Cek
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	
9	21,6	21,6	3,2400	21,6	21,6	3,2400	Terjadi Tipe H.2
8	21,6	21,6	3,2400	21,6	21,6	3,2400	Terjadi Tipe H.2
7	21,6	21,6	3,2400	21,6	21,6	3,2400	Terjadi Tipe H.2
6	86,4	57,6	12,9600	43,2	28,8	6,4800	Terjadi Tipe H.2
5	86,4	57,6	12,9600	43,2	28,8	6,4800	Terjadi Tipe H.2
4	86,4	57,6	12,9600	43,2	28,8	6,4800	Terjadi Tipe H.2
3	86,4	57,6	12,9600	43,2	28,8	6,4800	Terjadi Tipe H.2
2	91,25	57,6	13,6875	48,05	28,8	7,2075	Terjadi Tipe H.2
Base	91,25	57,6	13,6875	48,05	28,8	7,2075	Terjadi Tipe H.2

Berdasarkan hasil rekapitulasi perhitungan diatas didapatkan pada kedua proyeksi denah sudut dalam arah x dan arah y lebih besar dari 15%, sehingga dapat disimpulkan bahwa semua jenis model struktur baik model 1, model 2, dan model 3 memiliki ketidakberaturan sudut dalam.

3. Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma

Ketidakberaturan 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.



Gambar 5.10 Peninjauan Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma

Contoh perhitungan untuk ketidakberaturan diskontinuitas diafragma adalah sebagai berikut.

Lantai 3

$$\text{Luas total} = 1876,43 \text{ m}^2$$

$$\text{Luas bukaan} = 1027,01 \text{ m}^2$$

$$50\% \text{ Luas total} = 50\% \times 1876,43$$

$$= 938,215 \text{ m}^2 < \text{luas bukaan}$$

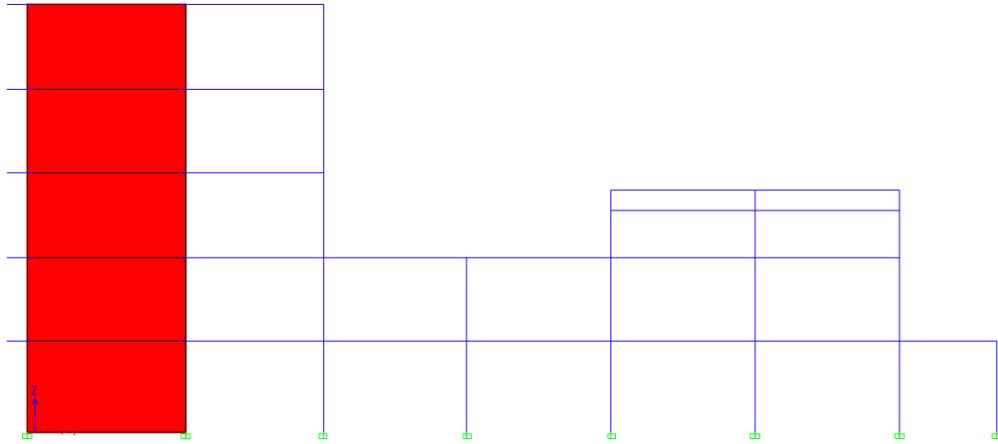
Dari perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa lantai 3 memiliki bukaan yang lebih besar dari 50% luas total, sehingga memiliki ketidakberaturan diskontinuitas diafragma. Adapun rekapitulasi perhitungan ketidakberaturan diskontinuitas diafragma dapat dilihat pada Tabel 5.35 sebagai berikut.

Tabel 5.35 Rekapitulas Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma

Lantai	Luas Terpakai	Bukaan	50% Luas	Cek
	(m ²)	(m ²)	(m ²)	
9	828,84	8,69	414,42	Tidak Terjadi
8	442,98	66,58	221,49	Tidak Terjadi
7	442,98	66,58	221,49	Tidak Terjadi
6	1450,15	66,58	725,075	Tidak Terjadi
5	1365,59	151,13	682,795	Tidak Terjadi
4	1391,51	151,13	695,755	Tidak Terjadi
3	1876,43	1027,01	938,215	Terjadi Tipe H.3
2	2419,06	755,93	1209,53	Tidak Terjadi
Base	-	-	-	-

Pada semua jenis model struktur baik model 1, model 2, dan model 3 memiliki kesamaan pada denah, sehingga ketidakberaturan diskontinuitas diafragma sama. Berdasarkan hasil pengecekan bukaan total terhadap luas bruto bangunan pada lantai 3 sebesar 1027,01 m². Luas bukaan tersebut lebih besar dari 50% luas daerah diafragma bruto yang tertutup yaitu sebesar 938,215 m², sehingga dapat disimpulkan pada lantai 3 model 1, model 2, dan model 3 terjadi ketidakberaturan diskontinuitas diafragma.

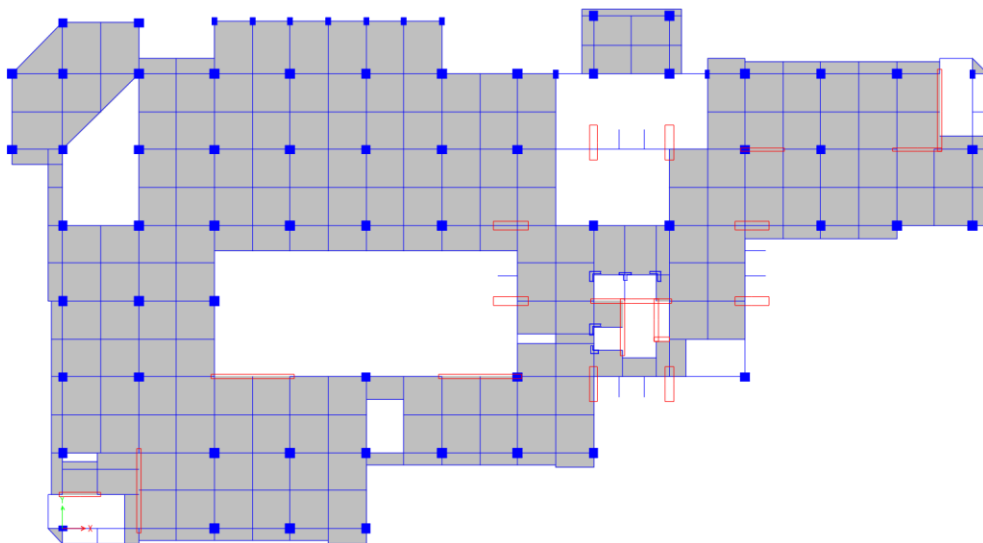
4. Ketidakberaturan akibat gesekan tegak lurus terhadap bidang
Ketidakberaturan akibat geseran tegak lurus terhadap bidang didefinisikan ada jika terdapat diskontinuitas dalam lintasan tahanan gaya lateral, seperti geseran tegak lurus terhadap bidang pada setidaknya satu elemen vertikal pemikul gaya lateral. Berdasarkan hasil tinjauan, pada model 1, model 2, dan model 3 memiliki dinding geser yang menerus dari bawah hingga atas, sehingga tidak terjadi ketidakberaturan tipe ini. Adapun untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.11 sebagai berikut.



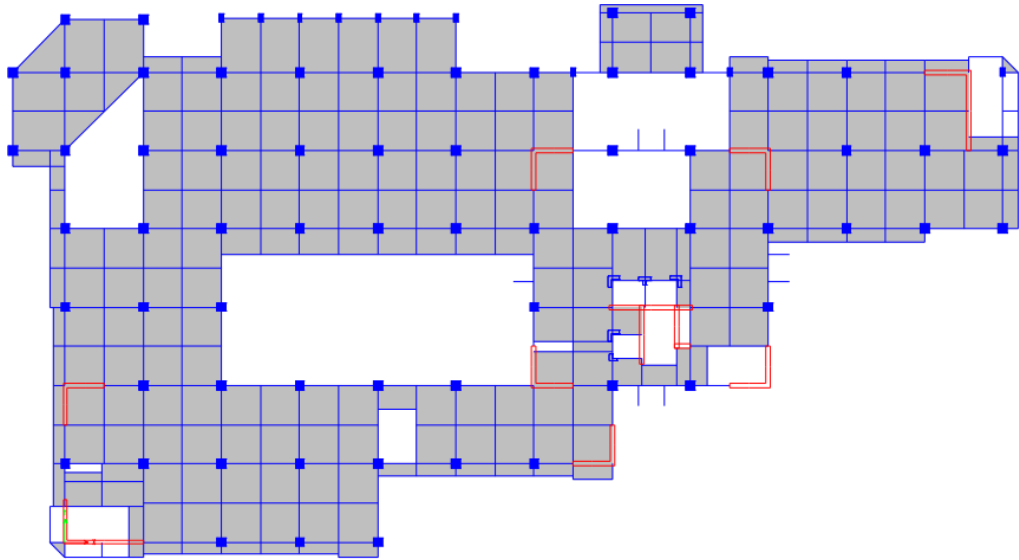
Gambar 5.11 Peninjauan Ketidakberaturan Akibat Pergesekan Tegak Lurus Terhadap Bidang

5. Ketidakberaturan sistem non parallel

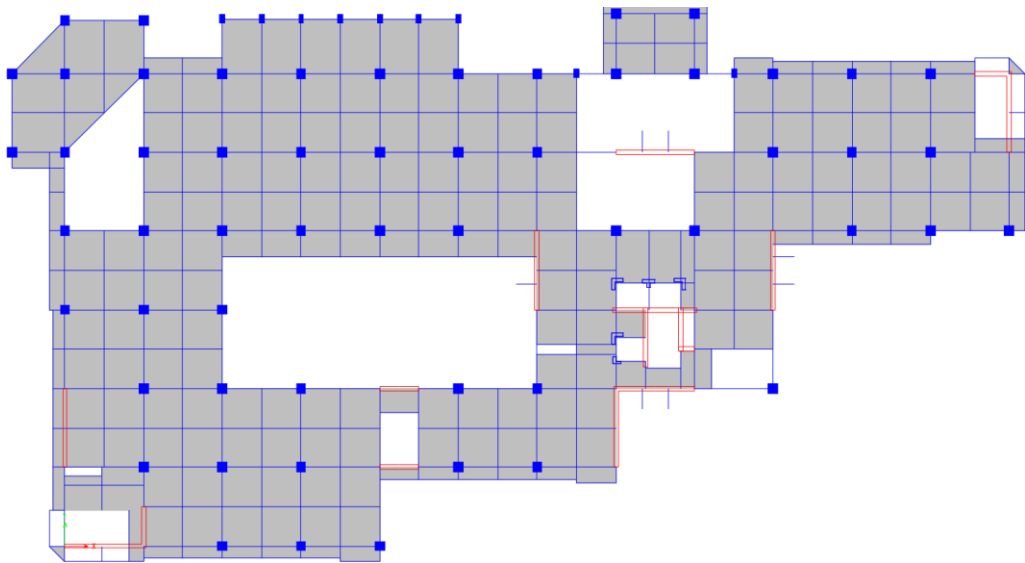
Ketidakteraturan sistem nonpararel didefinisikan ada jika elemen vertikal pemikul gaya lateral tidak paralel terhadap sumbu-sumbu ortogonal utama sistem pemikul gaya seismik. Berdasarkan hasil tinjauan, pada model 1, model 2, dan model 3 memiliki perletakkan dinding geser yang simetris atau sesuai dengan sumbu orthogonal, sehingga tidak terjadi ketidakberaturan tipe ini. Adapun untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.12 sampai Gambar 5.14 sebagai berikut.



Gambar 5.12 Peninjauan Ketidakberaturan Sistem Non Pararel Model 1



Gambar 5.13 Peninjauan Ketidakberaturan Sistem Non Pararel Model 2



Gambar 5.14 Peninjauan Ketidakberaturan Sistem Non Pararel Model 3

5.7.2 Ketidakberaturan Vertikal

1. Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak

Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak (1a) didefinisikan ada 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 (1b) didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat yang kekakuan lateralnya kurang dari 60% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 70% kekakuan rata-rata tingkat di atasnya. Contoh perhitungan untuk ketidakberaturan diskontinuitas diafragma adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \delta x_2 &= \text{Defleksi arah x lantai 2} && = 0,002325 \text{ m} \\
 V_{x2} &= \text{Gaya geser (story force) arah x lantai 2} && = 26844,5838 \text{ kN} \\
 \delta x_3 &= \text{Defleksi arah x lantai 3} && = 0,004288 \text{ m} \\
 V_{x3} &= \text{Gaya geser (story force) arah x lantai 3} && = 25428,4116 \text{ kN} \\
 K_{x2} &= \frac{V_{x2}}{\delta x_2} \\
 &= \frac{26844,5838}{0,002325} \\
 &= 11546057,548 \text{ kN/m} \\
 K_{x3} &= \frac{V_{x3}}{\delta x_3} \\
 &= \frac{25428,4116}{0,004288} \\
 &= 5930133,302 \text{ kN/m} \\
 \text{Cek} &= 70\% \times K_{x3} \\
 &= 70\% \times 5930133,302 \\
 &= 4151093,312 \text{ kN/m} < K_{x2} \\
 \text{Cek} &= 80\% \times \frac{K_{x3} + K_{x4} + K_{x5}}{3} \\
 &= 80\% \times \frac{5930133,302 + 4143751,489 + 3157845,248}{3} \\
 &= 3528461,344 \text{ kN/m} < K_{x2}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas didapatkan kekakuan lantai 2 melebihi 70% kekakuan lantai diatasnya dan melebihi 80% kekakuan rata-rata 3 lantai

diatasnya, sehingga lantai 2 tidak memiliki ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak 1a. Adapun berikut rekapitulasi hasil pengecekan ketidakberaturan tipe ini dapat dilihat pada Tabel 5.36 sampai Tabel 5.47.

Tabel 5.36 Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak 1a Arah X Model 1

Lantai	δ	δ	V_x	Kekakuan	Cek 70% Ki+1	Status	Cek 80% average Ki+3	Status
	mm	m	kN	kN/m	kN/m		kN/m	
9	7,9900	0,007990	5389,5053	674531,3267	-	-	-	-
8	9,5030	0,009503	8882,0136	934653,6462	472171,9287	OK	539625,0613	OK
7	9,8080	0,009808	11520,6430	1174616,9454	654257,5524	OK	643673,9892	OK
6	6,9520	0,006952	15800,7612	2272836,7664	822231,8617	OK	742347,1782	OK
5	6,2500	0,006250	19736,5328	3157845,2480	1590985,7365	OK	1168561,9621	OK
4	5,5060	0,005506	22815,4957	4143751,4893	2210491,6736	OK	1761413,0559	OK
3	4,2880	0,004288	25428,4116	5930133,3022	2900626,0425	OK	2553182,2676	OK
2	2,3250	0,002325	26844,5838	11546057,5484	4151093,3116	OK	3528461,3439	OK
Base	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabel 5.37 Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak 1a Arah X Model 2

Lantai	δ	δ	V_x	Kekakuan	Cek 70% Ki+1	Status	Cek 80% average Ki+3	Status
	mm	m	kN	kN/m	kN/m		kN/m	
9	5,1520	0,005152	4203,2079	815840,0427	-	-	-	-
8	5,8030	0,005803	7407,3482	1276468,758	571088,0299	OK	652672,0342	OK
7	6,1310	0,006131	9883,8595	1612112,135	893528,1303	OK	1021175,0060	OK
6	5,1420	0,005142	14226,4880	2766722,676	1128478,4950	OK	1289689,7080	OK
5	5,1280	0,005128	18090,6417	3527816,244	1936705,8730	OK	1751533,9240	OK
4	4,6820	0,004682	21162,1326	4519891,630	2469471,3710	OK	2108440,2810	OK
3	3,7020	0,003702	23787,6767	6425628,498	3163924,1390	OK	2883848,1460	OK
2	2,0700	0,002070	25086,5247	12119094,060	4497939,9490	OK	3859556,3650	OK
Base	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabel 5.38 Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak 1a Arah X Model 3

Lantai	δ	δ	Vx	Kekakuan	Cek 70% Ki+1	Status	Cek 80% average Ki+3	Status
	mm	m	kN	kN/m	kN/m		kN/m	
9	6,8780	0,006878	4314,0922	627230,6194	-	-	-	-
8	7,2470	0,007247	7461,7728	1029636,0977	439061,4336	OK	501784,4955	OK
7	7,6160	0,007616	9821,9537	1289647,2820	720745,2684	OK	823708,8782	OK
6	5,9210	0,005921	13904,0129	2348254,1631	902753,0974	OK	1031717,8256	OK
5	5,6880	0,005688	17583,0198	3091248,2068	1643777,9142	OK	1455160,5781	OK
4	4,9480	0,004948	20536,3123	4150426,8998	2163873,7447	OK	1794439,9072	OK
3	3,9050	0,003905	23228,0213	5948276,9014	2905298,8298	OK	2557314,4719	OK
2	2,1710	0,002171	24830,1263	11437183,9245	4163793,8310	OK	3517320,5354	OK
Base	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabel 5.39 Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak 1a Arah Y Model 1

Lantai	δ	δ	Vy	Kekakuan	Cek 70% Ki+1	Status	Cek 80% average Ki+3	Status
	mm	m	kN	kN/m	kN/m		kN/m	
9	8,0610	0,008061	5276,6012	654583,9474	-	-	-	-
8	9,7030	0,009703	8875,6111	914728,5479	458208,7632	OK	523667,1579	OK
7	10,7340	0,010734	11818,7999	1101062,0365	640309,9835	OK	627724,9981	OK
6	7,2250	0,007225	16391,3120	2268693,7024	770743,4256	OK	712099,8751	OK
5	7,0580	0,007058	20345,8693	2882667,7954	1588085,5917	OK	1142529,1432	OK
4	6,5520	0,006552	23281,9397	3553409,6001	2017867,4568	OK	1667312,9425	OK
3	5,3100	0,005310	25623,5920	4825535,2166	2487386,7201	OK	2321272,2928	OK
2	2,6390	0,002639	26981,0859	10223981,0155	3377874,6516	OK	3003096,6966	OK
Base	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabel 5.40 Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak 1a Arah Y Model 2

Lantai	δ	δ	V_y	Kekakuan	Cek 70% Ki+1	Status	Cek 80% average Ki+3	Status
	mm	m	kN	kN/m	kN/m		kN/m	
9	6,2150	0,006215	4100,4369	659764,5857	-	-	-	-
8	6,9000	0,006900	7360,1092	1066682,4930	461835,2100	OK	527811,6685	OK
7	7,1830	0,007183	10014,2963	1394166,2680	746677,7449	OK	853345,9940	OK
6	5,6090	0,005609	14678,3588	2616929,7200	975916,3873	OK	1115333,0140	OK
5	5,6910	0,005691	18627,4876	3273148,4100	1831850,8040	OK	1604438,3950	OK
4	5,4660	0,005466	21636,6649	3958409,2390	2291203,8870	OK	1942465,1730	OK
3	4,3390	0,004339	24083,1781	5550398,2710	2770886,4670	OK	2626263,2980	OK
2	2,4440	0,002444	25299,9998	10351882,080	3885278,7900	OK	3408521,5790	OK
Base	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabel 5.41 Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak 1a Arah Y Model 3

Lantai	δ	δ	V_y	Kekakuan	Cek 70% Ki+1	Status	Cek 80% average Ki+3	Status
	mm	m	kN	kN/m	kN/m		kN/m	
9	5,9290	0,005929	4036,7030	680840,4453	-	-	-	-
8	6,3770	0,006377	7105,9994	1114316,9829	476588,3117	OK	544672,3562	OK
7	6,9550	0,006955	9556,0832	1373987,5198	780021,8880	OK	891453,5863	OK
6	5,2810	0,005281	14160,9324	2681486,9154	961791,2638	OK	1099190,0158	OK
5	5,0720	0,005072	18090,5050	3566739,9448	1877040,8407	OK	1622189,7741	OK
4	4,6270	0,004627	21059,2365	4551380,2680	2496717,9614	OK	2032590,5013	OK
3	3,8270	0,003827	23560,8651	6156484,2174	3185966,1876	OK	2879895,2342	OK
2	2,0140	0,002014	25032,5155	12429252,9791	4309538,9522	OK	3806561,1814	OK
Base	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabel 5.42 Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak 1b Arah X Model 1

Lantai	δ	δ	Vx	Kekakuan	Cek 60% Ki+1	Status	Cek 70% average Ki+3	Status
	mm	m	kN	kN/m	kN/m		kN/m	
9	7,9900	0,007990	5389,5053	674531,3267	-	-	-	-
8	9,5030	0,009503	8882,0136	934653,6462	404718,7960	OK	472171,9287	OK
7	9,8080	0,009808	11520,6430	1174616,9454	560792,1877	OK	563214,7405	OK
6	6,9520	0,006952	15800,7612	2272836,7664	704770,1672	OK	649553,7809	OK
5	6,2500	0,006250	19736,5328	3157845,2480	1363702,0598	OK	1022491,7169	OK
4	5,5060	0,005506	22815,4957	4143751,4893	1894707,1488	OK	1541236,4239	OK
3	4,2880	0,004288	25428,4116	5930133,3022	2486250,8936	OK	2234034,4842	OK
2	2,3250	0,002325	26844,5838	11546057,5484	3558079,9813	OK	3087403,6759	OK
Base	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabel 5.43 Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak 1b Arah X Model 2

Lantai	δ	δ	Vx	Kekakuan	Cek 60% Ki+1	Status	Cek 70% average Ki+3	Status
	mm	m	kN	kN/m	kN/m		kN/m	
9	5,1520	0,005215	4203,2079	815840,0427	-	-	-	-
8	5,8030	0,005803	7407,3482	1276468,7575	489504,0256	OK	571088,0299	OK
7	6,1310	0,006131	9883,8595	1612112,1351	765881,2545	OK	732308,0801	OK
6	5,1420	0,005142	14226,4880	2766722,6760	967267,2810	OK	864364,8849	OK
5	5,1280	0,005128	18090,6417	3527816,2441	1660033,6056	OK	1319570,8327	OK
4	4,6820	0,004682	21162,1326	4519891,6275	2116689,7465	OK	1844885,2462	OK
3	3,7020	0,003702	23787,6767	6425628,4981	2711934,9765	OK	2523367,1278	OK
2	2,0700	0,002070	25086,5247	12119094,0580	3855377,0989	OK	3377111,8196	OK
Base	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabel 5.44 Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak 1b Arah X Model 3

Lantai	δ	δ	Vx	Kekakuan	Cek 60% Ki+1	Status	Cek 70% average Ki+3	Status
	mm	m	kN	kN/m	kN/m		kN/m	
9	6,8780	0,006878	4314,0922	627230,6194	-	-	-	-
8	7,2470	0,007247	7461,7728	1029636,0977	376338,3716	OK	439061,4336	OK
7	7,6160	0,007616	9821,9537	1289647,2820	617781,6586	OK	579903,3510	OK
6	5,9210	0,005921	13904,0129	2348254,1631	773788,3692	OK	687519,9331	OK
5	5,6880	0,005688	17583,0198	3091248,2068	1408952,4979	OK	1089092,0933	OK
4	4,9480	0,004948	20536,3123	4150426,8998	1854748,9241	OK	1570134,9188	OK
3	3,9050	0,003905	23228,0213	5948276,9014	2490256,1399	OK	2237650,1629	OK
2	2,1710	0,002171	24830,1263	11437183,9245	3568966,1408	OK	3077655,4685	OK
Base	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabel 5.45 Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak 1b Arah Y Model 1

Lantai	δ	δ	Vy	Kekakuan	Cek 60% Ki+1	Status	Cek 70% average Ki+3	Status
	mm	m	kN	kN/m	kN/m		kN/m	
9	8,0610	0,008061	5276,6012	654583,9474	-	-	-	-
8	9,7030	0,009703	8875,6111	914728,5479	392750,3684	OK	458208,7632	OK
7	10,7340	0,010734	11818,7999	1101062,0365	548837,1287	OK	549259,3733	OK
6	7,2250	0,007225	16391,3120	2268693,7024	660637,2219	OK	623087,3908	OK
5	7,0580	0,007058	20345,8693	2882667,7954	1361216,2215	OK	999713,0003	OK
4	6,5520	0,006552	23281,9397	3553409,6001	1729600,6772	OK	1458898,8247	OK
3	5,3100	0,005310	25623,5920	4825535,2166	2132045,7601	OK	2031113,2562	OK
2	2,6390	0,002639	26981,0859	10223981,0155	2895321,1299	OK	2627709,6095	OK
Base	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabel 5.46 Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak 1b Arah Y Model 2

Lantai	δ	δ	V_y	Kekakuan	Cek 60% Ki+1	Status	Cek 70% average Ki+3	Status
	mm	m	kN	kN/m	kN/m		kN/m	
9	6,2150	0,006215	4100,4369	659764,5857	-	-	-	-
8	6,9000	0,006900	7360,1092	1066682,4928	395858,7514	OK	461835,2100	OK
7	7,1830	0,007183	10014,2963	1394166,2676	640009,4957	OK	604256,4775	OK
6	5,6090	0,005609	14678,3588	2616929,7201	836499,7605	OK	728143,1141	OK
5	5,6910	0,005691	18627,4876	3273148,4098	1570157,8321	OK	1184814,9788	OK
4	5,4660	0,005466	21636,6649	3958409,2389	1963889,0459	OK	1699657,0261	OK
3	4,3390	0,004339	24083,1781	5550398,2715	2375045,5434	OK	2297980,3861	OK
2	2,4440	0,002444	25299,9998	10351882,0786	3330238,9629	OK	2982456,3814	OK
Base	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabel 5.47 Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak 1b Arah Y Model 3

Lantai	δ	δ	V_y	Kekakuan	Cek 60% Ki+1	Status	Cek 70% average Ki+3	Status
	mm	m	kN	kN/m	kN/m		kN/m	
9	5,9290	0,005929	4036,7030	680840,4453	-	-	-	-
8	6,3770	0,006377	7105,9994	1114316,9829	408504,2672	OK	476588,3117	OK
7	6,9550	0,006955	9556,0832	1373987,5198	668590,1897	OK	628305,0999	OK
6	5,2810	0,005281	14160,9324	2681486,9154	824392,5119	OK	739467,1545	OK
5	5,0720	0,005072	18090,5050	3566739,9448	1608892,1492	OK	1206284,6642	OK
4	4,6270	0,004627	21059,2365	4551380,2680	2140043,9669	OK	1778516,6886	OK
3	3,8270	0,003827	23560,8651	6156484,2174	2730828,1608	OK	2519908,3299	OK
2	2,0140	0,002014	25032,5155	12429252,9791	3693890,5304	OK	3330741,0337	OK
Base	-	-	-	-	-	-	-	-

2. Ketidakberaturan berat (massa)

Ketidakberaturan berat (massa) didefinisikan ada jika massa efektif di sembarang tingkat lebih dari 150% massa efektif tingkat di dekatnya. Atap yang lebih ringan dari lantai di bawahnya tidak perlu ditinjau. Contoh perhitungan untuk ketidakberaturan berat (massa) adalah sebagai berikut.

Lantai 6

Massa lantai 5 = 2249,199 ton

Massa lantai 6 = 2107,795 ton

Massa lantai 7 = 881,4737 ton

$$\begin{aligned} 150\% \text{ massa diatas lantai 6} &= 150\% \times \text{massa lantai 7} \\ &= 150\% \times 881,4737 \\ &= 1322,2106 \text{ ton} < \text{massa lantai 6} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 150\% \text{ massa dibawah lantai 6} &= 150\% \times \text{massa lantai 5} \\ &= 150\% \times 2249,199 \\ &= 3373,7985 \text{ ton} > \text{massa lantai 6} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas dapat disimpulkan pada lantai 6 memiliki ketidakberaturan berat (massa) karena rasio massa lantai lebih dari 150% massa lantai diatasnya. Adapun berikut rekapitulasi hasil pengecekan ketidakberaturan tipe ini dapat dilihat pada Tabel 5.48 sampai Tabel 5.50.

Tabel 5.48 Rekapitulasi Ketidakberaturan Berat (Massa) Model 1

Lantai	Massa	Massa	150% w_{i+1}	Cek	150% w_{i-1}	Cek
	kg	ton				
9	870964,300	870,964	-	-	1313,2779	OK
8	875518,600	875,519	1306,446	OK	1322,21055	OK
7	881473,700	881,474	1313,278	OK	3161,6925	OK
6	2107795,000	2107,795	1322,211	Tipe V.2	3373,7985	OK
5	2249199,000	2249,199	3161,693	OK	3779,568	OK
4	2519712,000	2519,712	3373,799	OK	4495,104	OK
3	2996736,000	2996,736	3779,568	OK	5596,8945	OK
2	3731263,000	3731,263	4495,104	OK	-	-
Base	-	-	-	-	-	-

Tabel 5.49 Rekapitulasi Ketidakberaturan Berat (Massa) Model 2

Lantai	Massa	Massa	150% w_{i+1}	Cek	150% w_{i-1}	Cek
	kg	ton				
9	720416,350	720,416	-	-	1165,652	OK
8	777101,130	777,101	1080,625	OK	1175,219	OK
7	783479,130	783,479	1165,652	OK	3001,428	OK
6	2000951,970	2000,952	1175,219	Tipe V.2	3198,827	OK
5	2132551,650	2132,552	3001,428	OK	3605,002	OK
4	2403334,430	2403,334	3198,827	OK	4317,911	OK
3	2878607,260	2878,607	3605,002	OK	5418,137	OK
2	3612091,410	3612,091	4317,911	OK	-	-
Base	-	-	-	-	-	-

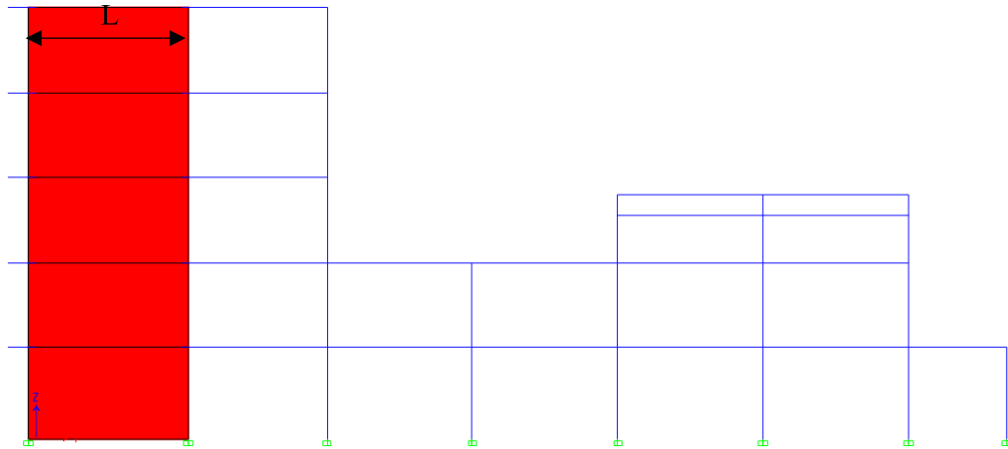
Tabel 5.50 Rekapitulasi Ketidakberaturan Berat (Massa) Model 3

Lantai	Massa	Massa	150% w_{i+1}	Cek	150% w_{i-1}	Cek
	kg	ton				
9	710997,490	710,997	-	-	1133,877	OK
8	755918,320	755,918	1066,496	OK	1143,675	OK
7	762450,090	762,450	1133,877	OK	2952,209	OK
6	1968139,040	1968,139	1143,675	Tipe V.2	3149,454	OK
5	2099635,800	2099,636	2952,209	OK	3554,233	OK
4	2369488,690	2369,489	3149,454	OK	4259,825	OK
3	2839883,100	2839,883	3554,233	OK	5357,158	OK
2	3571438,410	3571,438	4259,825	OK	-	-
Base	-	-	-	-	-	-

Berdasarkan pengecekan ketidakberaturan berat (massa) semua model pada lantai 6 massa efektif di sembarang tingkat lebih dari 150% massa efektif tingkat di dekatnya, Berdasarkan Tabel diatas apabila terdapat satu lantai yang mengalami ketidakberaturan tipe ini, maka dapat disimpulkan pada semua jenis model memiliki ketidakberaturan berat (massa).

3. Ketidakberaturan geometri vertikal

Ketidakberaturan geometri vertikal didefinisikan ada jika dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik di sembarang tingkat lebih dari 130% dimensi horizontal sistem pemikul gaya seismik tingkat didekatnya. Adapun untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.15 sebagai berikut.



Gambar 5.15 Pengecekan Ketidakberaturan Geometri Vertikal

Berdasarkan peninjauan diatas, dinding geser sebagai pemikul gaya seismik tidak lebih dari 130% dari dimensi dinding geser diatasnya. Pada ketidakberaturan tipe ini yang ditinjau adalah kolom dan dinding geser. Penelitian ini memiliki dimensi kolom dan dinding geser yang sama dari lantai dasar sampai lantai atas, sehingga pada model 1, model 2, dan model 3 tidak memiliki ketidakberaturan tipe ini. Adapun berikut rekapitulasi hasil pengecekan ketidakberaturan tipe ini dapat dilihat pada Tabel 5.51 sampai Tabel 5.53.

Tabel 5.51 Pengecekan Ketidakberaturan Geometri Vertikal Model 1

Lantai	L	130% di	Cek
	(m)	(m)	
9	7,95	-	OK
8	7,95	10,335	OK
7	7,95	10,335	OK
6	7,95	10,335	OK
5	7,95	10,335	OK
4	7,95	10,335	OK
3	7,95	10,335	OK
2	7,95	10,335	OK
Base	7,95	10,335	OK

Tabel 5.52 Pengecekan Ketidakberaturan Geometri Vertikal Model 2

Lantai	L	130% di	Cek
	(m)	(m)	
9	7,2	-	OK
8	7,2	9,36	OK
7	7,2	9,36	OK
6	7,2	9,36	OK
5	7,2	9,36	OK
4	7,2	9,36	OK
3	7,2	9,36	OK
2	7,2	9,36	OK
Base	7,2	9,36	OK

Tabel 5.53 Pengecekan Ketidakberaturan Geometri Vertikal Model 3

Lantai	L	130% di	Cek
	(m)	(m)	
9	7,2	-	OK
8	7,2	9,36	OK
7	7,2	9,36	OK
6	7,2	9,36	OK
5	7,2	9,36	OK
4	7,2	9,36	OK
3	7,2	9,36	OK
2	7,2	9,36	OK
Base	7,2	9,36	OK

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

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. Berdasarkan hasil pengecekan, pada model 1, model 2, dan model 3 memiliki dinding geser menerus tanpa ada perpindahan di sepanjang tinggi bangunan, sehingga pada semua jenis model tidak memiliki ketidakberaturan tipe ini.

5. Ketidakberaturan tingkat lemah akibat diskontinuitas pada kekuatan lateral tingkat (5a) dan ketidakberaturan tingkat lemah berlebihan akibat diskontinuitas pada kekuatan lateral tingkat (5b)

Ketidakberaturan tingkat lemah akibat diskontinuitas pada kekuatan lateral tingkat (5a) didefinisikan ada jika kekuatan lateral suatu tingkat kurang dari 80% kekuatan lateral tingkat di atasnya. Sedangkan Ketidakberaturan tingkat lemah berlebihan akibat diskontinuitas pada kekuatan lateral tingkat (5b) didefinisikan ada jika kekuatan lateral suatu tingkat kurang dari 65% kekuatan lateral tingkat di atasnya. Contoh perhitungan untuk ketidakberaturan berat (massa) adalah sebagai berikut.

$$V_{x1} = \text{Gaya geser lantai 2 arah x} = 26856,6096 \text{ kN}$$

$$V_{x2} = \text{Gaya geser lantai 3 arah x} = 25364,7712 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} 80\% V_{x2} &= 80\% \times 25364,7712 \\ &= 20291,81696 \text{ kN} < V_{x1} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 65\% V_{x2} &= 80\% \times 25364,7712 \\ &= 16487,10128 \text{ kN} < V_{x1} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa lantai 2 memiliki gaya geser seismik lebih besar dari 80% maupun 65% gaya geser seismik lantai 3, sehingga tidak memiliki ketidakberaturan tipe 5a dan 5b. Adapun berikut rekapitulasi hasil pengecekan ketidakberaturan tipe ini dapat dilihat pada Tabel 5.54 sampai Tabel 5.59.

Tabel 5.54 Pengecekan Ketidakberaturan Tipe 5a dan 5b Arah X Model 1

Lantai	Vx	0.8 Vx	Cek	0.65 Vx	Cek
	kN	kN		kN	
9	5347,5542	4278,04336	-	3475,91023	-
8	8815,1083	7052,08664	OK	5729,820395	OK
7	11474,2465	9179,3972	OK	7458,260225	OK
6	15760,8042	12608,64336	OK	10244,52273	OK
5	19662,0599	15729,64792	OK	12780,33894	OK
4	22670,9278	18136,74224	OK	14736,10307	OK
3	25364,7712	20291,81696	OK	16487,10128	OK
2	26856,6096	21485,28768	OK	17456,79624	OK
Base	-	-	-	-	-

Tabel 5.55 Pengecekan Ketidakberaturan Tipe 5a dan 5b Arah X Model 2

Lantai	Vx	0.8 Vx	Cek	0.65 Vx	Cek
	kN	kN		kN	
9	4159,8143	3327,85144	-	2703,879295	-
8	7332,6498	5866,11984	OK	4766,22237	OK
7	9828,1954	7862,55632	OK	6388,32701	OK
6	14181,9468	11345,55744	OK	9218,26542	OK
5	18011,8036	14409,44288	OK	11707,67234	OK
4	21005,4253	16804,34024	OK	13653,52645	OK
3	23723,0441	18978,43528	OK	15419,97867	OK
2	25101,2815	20081,0252	OK	16315,83298	OK
Base	-	-	-	-	-

Tabel 5.56 Pengecekan Ketidakberaturan Tipe 5a dan 5b Arah X Model 3

Lantai	Vx	0.8 Vx	Cek	0.65 Vx	Cek
	kN	kN		kN	
9	4269,8931	3415,91448	-	2775,430515	-
8	7390,3830	5912,3064	OK	4803,74895	OK
7	9770,4066	7816,32528	OK	6350,76429	OK
6	13862,8443	11090,27544	OK	9010,848795	OK
5	17509,4215	14007,5372	OK	11381,12398	OK
4	20367,5118	16294,00944	OK	13238,88267	OK
3	23157,2587	18525,80696	OK	15052,21816	OK
2	24847,9057	19878,32456	OK	16151,13871	OK
Base	-	-	-	-	-

Tabel 5.57 Pengecekan Ketidakberaturan Tipe 5a dan 5b Arah Y Model 1

Lantai	Vy	0.8Vy	Cek	0.65 Vy	Cek
	kN	kN		kN	
9	5233,8291	4187,06328	-	3401,988915	-
8	8804,7189	7043,77512	OK	5723,067285	OK
7	11761,6608	9409,32864	OK	7645,07952	OK
6	16345,5882	13076,47056	OK	10624,63233	OK
5	20279,7465	16223,7972	OK	13181,83523	OK
4	23178,1716	18542,53728	OK	15065,81154	OK
3	25572,1704	20457,73632	OK	16621,91076	OK
2	27001,9818	21601,58544	OK	17551,28817	OK
Base	-	-	-	-	-

Tabel 5.58 Pengecekan Ketidakberaturan Tipe 5a dan 5b Arah Y Model 2

Lantai	Vy	0.8Vy	Cek	0.65 Vy	Cek
	kN	kN		kN	
9	4056,6639	3245,33112	-	2636,831535	-
8	7284,8473	5827,87784	OK	4735,150745	OK
7	9955,1129	7964,09032	OK	6470,823385	OK
6	14632,0061	11705,60488	OK	9510,803965	OK
5	18554,1633	14843,33064	OK	12060,20615	OK
4	21507,1039	17205,68312	OK	13979,61754	OK
3	24027,4982	19221,99856	OK	15617,87383	OK
2	25322,7805	20258,2244	OK	16459,80733	OK
1	0	0	-	0	-

Tabel 5.59 Pengecekan Ketidakberaturan Tipe 5a dan 5b Arah Y Model 3

Lantai	Vy	0.8Vy	Cek	0.65 Vy	Cek
	kN	kN		kN	
9	3993,9692	3195,17536	-	2596,07998	-
8	7038,7094	5630,96752	OK	4575,16111	OK
7	9503,5797	7602,86376	OK	6177,326805	OK
6	14119,1548	11295,32384	OK	9177,45062	OK
5	18017,799	14414,2392	OK	11711,56935	OK
4	20911,8072	16729,44576	OK	13592,67468	OK
3	23498,6083	18798,88664	OK	15274,0954	OK
2	25042,9619	20034,36952	OK	16277,92524	OK
Base	-	-	-	-	-

5.8 Displacement

Displacement didapatkan berdasarkan hasil analisis menggunakan *software* ETABS V18. Adapun rekapitulasi *displacement* pada semua model adalah sebagai berikut.

1. Model struktur *existing* (model 1)

Berikut merupakan rekapitulasi *displacement* pada model 1 berdasarkan hasil analisis menggunakan *software* ETABS V18 dapat dilihat pada Tabel 5.60.

Tabel 5.60 Displacement Pada Model 1

Lantai	UX	UY
	mm	mm
9	35,638	41,669
8	30,220	36,390
7	23,608	30,019
6	17,069	23,350
5	12,315	17,232
4	8,176	11,445
3	4,474	6,131
2	1,577	1,984
Base	-	-

Displacement menunjukkan nilai perpindahan dari posisi awal akibat adanya respon bangunan terhadap gaya lateral. Berdasarkan Tabel 5.60 diatas terjadi penurunan *displacement* pada setiap lantainya. Semakin tinggi lantai maka *displacement*nya semakin besar. *Displacement* terbesar untuk arah X yaitu sebesar 35,638 mm dan untuk arah Y yaitu sebesar 41,669 mm.

2. Model struktur dengan bentuk dinding geser *L-Shape* (model 2)

Berikut merupakan rekapitulasi *displacement* pada model 2 berdasarkan hasil analisis menggunakan *software* ETABS V18 dapat dilihat pada Tabel 5.61.

Tabel 5.61 Displacement Pada Model 2

Lantai	UX	UY
	mm	mm
9	26,308	31,779
8	22,853	27,909
7	18,985	23,526
6	15,030	18,907
5	11,133	14,227
4	7,404	9,596
3	4,003	5,239
2	1,483	1,882
1	0	0

Berdasarkan Tabel 5.61 diatas semakin tinggi lantai maka *displacement*nya semakin besar. *Displacement* terbesar terjadi pada arah X yaitu sebesar 26,308 mm dan pada arah Y yaitu sebesar 31,779 mm. Pada model 2 ini, *displacement* yang terjadi lebih kecil dibandingkan dengan model 1 (eksisting). Hasil analisis *displacement* juga ditentukan oleh perletakan dinding geser, sehingga dapat dilihat pada struktur dinding geser *L-Shape* (model 2) lebih stabil dibanding struktur dinding geser eksisting (model 1).

3. Model struktur dengan bentuk dinding geser *Straight Shape* (model 3)

Tabel 5.62 Displacement Pada Model 3

Lantai	UX	UY
	mm	mm
9	27,095	26,115
8	23,010	22,423
7	18,725	18,462
6	14,433	14,340
5	10,410	10,462
4	6,849	6,845
3	3,635	3,624
2	1,353	1,416
Base	-	-

Berdasarkan Tabel 5.62 diatas terjadi penurunan displacement pada setiap lantainya. Displacement terbesar terdapat pada lantai 9 untuk arah X yaitu sebesar

27,095 mm dan untuk arah Y yaitu sebesar 26,115 mm. Pada model 3 ini *displacement* yang terjadi lebih rendah dibandingkan dengan model 1 baik pada arah X maupun arah Y. Pada struktur dinding geser *straight shape* (model 3) perletakan dinding geser berada searah dengan sumbu X dan sumbu Y. Apabila dibandingkan dengan model 2 *displacement* untuk arah Y pada model 3 lebih kecil, namun pada arah X hasilnya lebih besar. Pada Gedung TILC UGM ini, untuk arah X lebih stabil dengan menggunakan struktur dinding geser *L-Shape* dan untuk arah Y lebih stabil dengan menggunakan struktur dinding geser *straight shape*.

5.9 Simpangan Antar Tingkat

Berdasarkan SNI 1726-2019 Pasal 7.8.6 pada penentuan simpangan antar tingkat harus ditentukan dalam perhitungan tidak boleh melebihi simpangan izin antar tingkat. Fungsi bangunan pada penelitian ini adalah sebagai gedung pusat pembelajaran yang menurut SNI 1726-2019 berada pada kategori desain seismik D, maka berdasarkan SNI 1726-2019 Pasal 7.3.4.2 bahwa untuk kategori desain seismik D yang tidak memiliki ketidakberaturan torsi maka faktor reduksi (ρ) harus sebesar 1,3. Simpangan izin antar lantai dengan kategori risiko IV didapatkan 0,010 h_{sx} . Adapun contoh perhitungan simpangan antar tingkat adalah sebagai berikut.

Model struktur *existing* (model 1)

$$h_{sx} = 4200 \text{ mm}$$

$$C_d = 5,5$$

$$I_e = 1,5$$

$$\delta_3 = 4,474 \text{ mm}$$

$$\delta_4 = 8,176 \text{ mm}$$

Berdasarkan data diatas dapat dihitung simpangan antar tingkat pada model 1 lantai 4 arah X sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \Delta_{e4} &= \delta_4 - \delta_3 \\ &= 8,176 - 4,474 \\ &= 3,702 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta_{izin} &= 0,010 h_{sx} \\
 &= 0,010 \times 4200 \\
 &= 32,308 \text{ mm} \\
 \Delta_{x4} &= \frac{\delta e4 \times Cd}{Ie} \\
 &= \frac{3,702 \times 5,5}{1,5} \\
 &= 13,574 \text{ mm} < \Delta_{izin}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan simpangan antar tingkat pada model 1 lantai 4 arah X memenuhi syarat karena simpangan antar tingkat lebih kecil dibandingkan dengan simpangan izin antar tingkat. Adapun rekapitulasi hasil perhitungan simpangan antar tingkat pada semua model dapat dilihat pada Tabel 5.63 sampai Tabel 5.68.

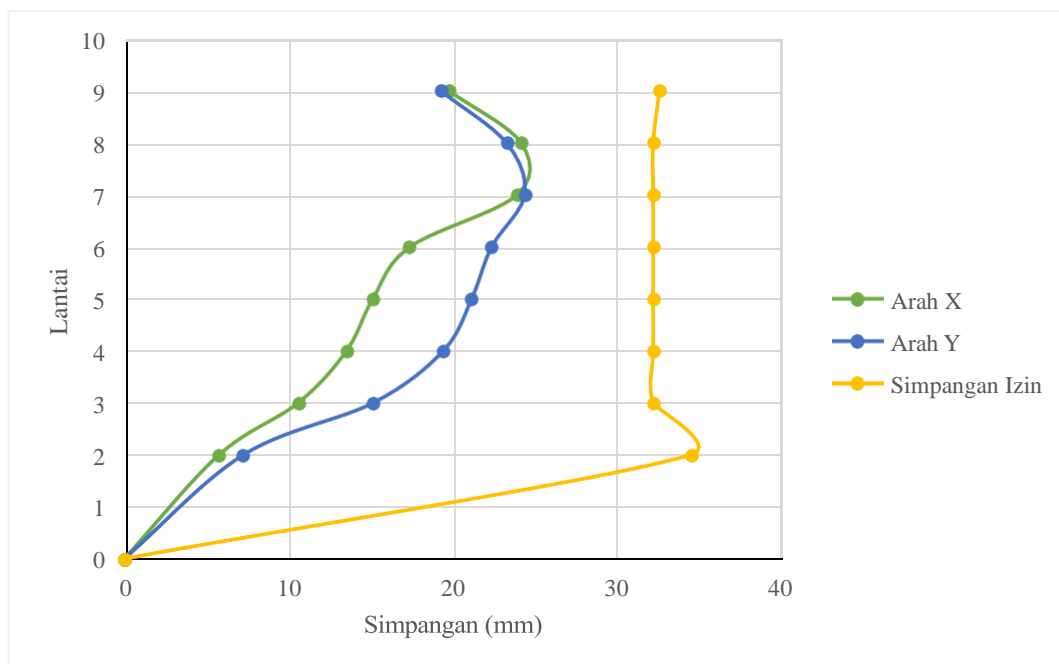
1. Model struktur *existing* (model 1)

Tabel 5.63 Simpangan Antar Tingkat Pada Model 1 Arah X

Lantai	δ	δe	Cd	Ie	Δx	Tinggi Lantai	Δ_{izin}	Cek
	mm	mm			mm	mm	mm	
9	35,638	5,418	5,5	1,5	19,866	4250	32,692	OK
8	30,220	6,612			24,244	4200	32,308	OK
7	23,608	6,539			23,976	4200	32,308	OK
6	17,069	4,754			17,431	4200	32,308	OK
5	12,315	4,139			15,176	4200	32,308	OK
4	8,176	3,702			13,574	4200	32,308	OK
3	4,474	2,897			10,622	4200	32,308	OK
2	1,577	1,577			5,782	4500	34,615	OK
Base	-	-			-	-	-	-

Tabel 5.64 Simpangan Antar Tingkat Pada Model 1 Arah Y

Lantai	δ	δe	Cd	Ie	Δy	Tinggi Lantai	Δ_{izin}	Cek
	mm	mm			mm	mm	mm	
9	41,669	5,279	5,5	1,5	19,356	4250	32,6923	OK
8	36,390	6,371			23,360	4200	32,3077	OK
7	30,019	6,669			24,453	4200	32,3077	OK
6	23,35	6,118			22,433	4200	32,3077	OK
5	17,232	5,787			21,219	4200	32,3077	OK
4	11,445	5,314			19,485	4200	32,3077	OK
3	6,131	4,147			15,206	4200	32,3077	OK
2	1,984	1,984			7,275	4500	34,6154	OK
Base	-	-			-	-	-	-



Gambar 5.16 Grafik Simpangan Antar Tingkat Pada Model 1

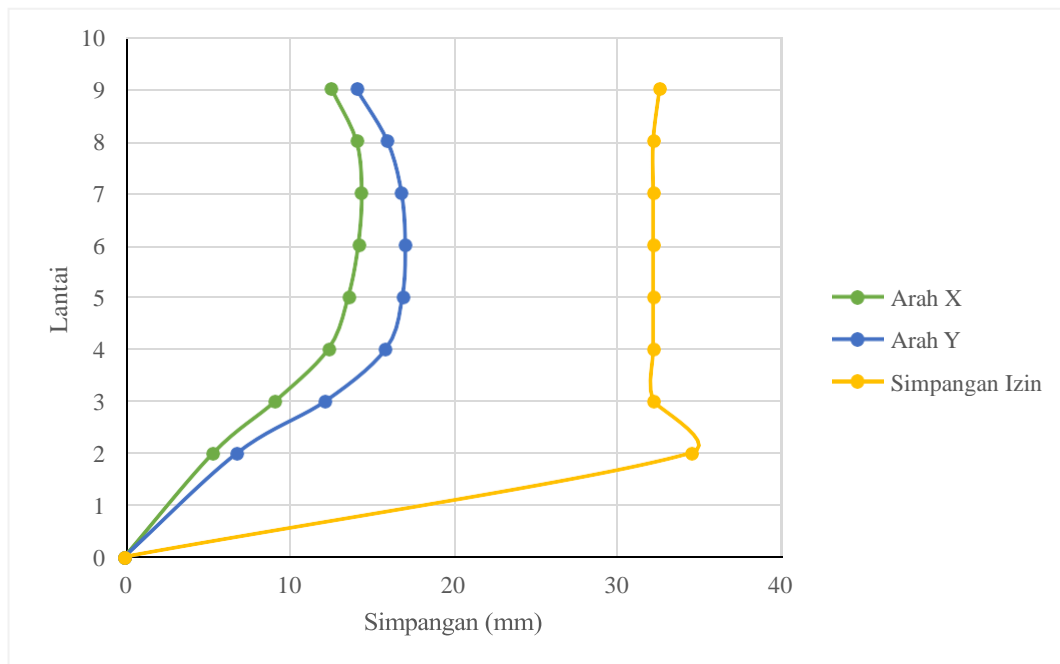
Berdasarkan Gambar 5.16 diatas simpangan terbesar untuk arah x berada pada lantai 8 sebesar 24,244 mm, sedangkan untuk arah y simpangan terbesar berada pada lantai 7 sebesar 24,453 mm. Berdasarkan perhitungan simpangan antartingkat diatas tidak terdapat simpangan antar tingkat yang melebihi simpangan izin pada setiap lantainya, sehingga pada model struktur *existing* (mdoel 1) pemeriksaan simpangan antar tingkat memenuhi syarat SNI 1726-2019.

2. Model struktur dengan bentuk dinding geser *L-Shape* (model 2)**Tabel 5.65 Simpangan Antar Tingkat Pada Model 2 Arah X**

Lantai	δ	δe	Cd	Ie	Δx	Tinggi Lantai	$\Delta izin$	Cek
	mm	mm			mm	mm	mm	
9	26,308	3,455	5,5	1,5	12,668	4250	32,692	OK
8	22,853	3,868			14,183	4200	32,308	OK
7	18,985	3,955			14,502	4200	32,308	OK
6	15,03	3,897			14,289	4200	32,308	OK
5	11,133	3,729			13,673	4200	32,308	OK
4	7,404	3,401			12,470	4200	32,308	OK
3	4,003	2,52			9,240	4200	32,308	OK
2	1,483	1,483			5,438	4500	34,615	OK
Base	-	-			-	-	-	-

Tabel 5.66 Simpangan Antar Tingkat Pada Model 2 Arah Y

Lantai	δ	δe	Cd	Ie	Δy	Tinggi Lantai	$\Delta izin$	Cek
	mm	mm			mm	mm	mm	
9	31,779	3,870	5,5	1,5	14,190	4250	32,692	OK
8	27,909	4,383			16,071	4200	32,308	OK
7	23,526	4,619			16,936	4200	32,308	OK
6	18,907	4,680			17,160	4200	32,308	OK
5	14,227	4,631			16,980	4200	32,308	OK
4	9,596	4,357			15,976	4200	32,308	OK
3	5,239	3,357			12,309	4200	32,308	OK
2	1,882	1,882			6,901	4500	34,615	OK
Base	-	-			-	-	-	-



Gambar 5.17 Grafik Simpanan Antar Tingkat Pada Model 2

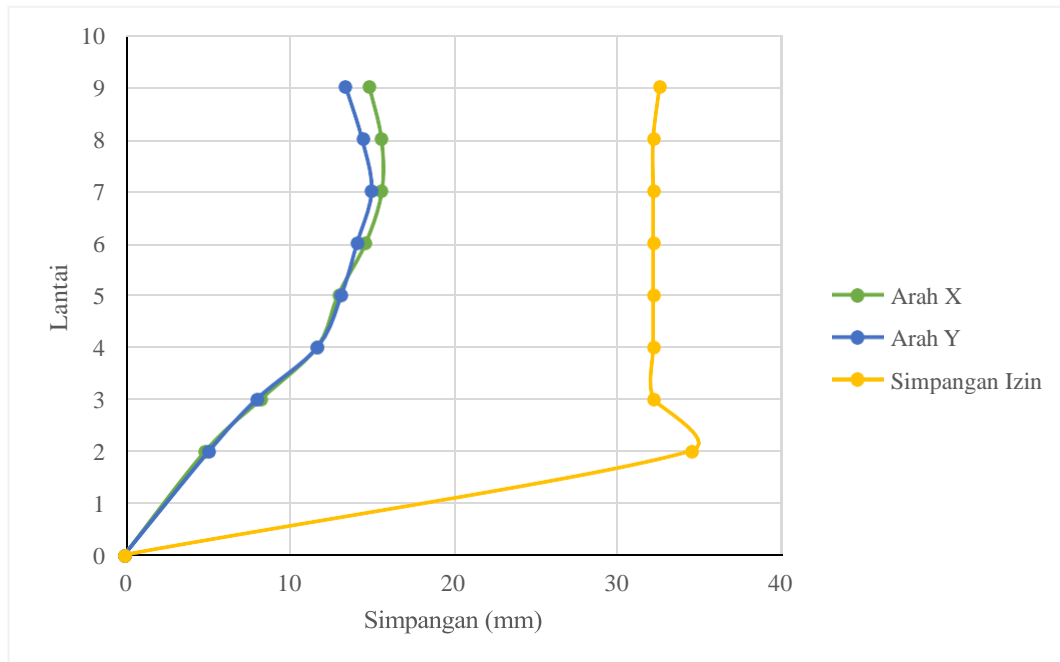
Berdasarkan Gambar 5.17 diatas simpangan terbesar untuk arah x berada pada lantai 7 sebesar 14,502 mm, sedangkan untuk arah y simpangan terbesar beradapada lantai 6 sebesar 17,160 mm. Berdasarkan perhitungan simpangan antar tingkat diatas tidak terdapat simpangan antar tingkat yang melebihi simpangan izin pada setiap lantainya, sehingga pada model struktur dengan bentuk dinding geser *L-Shape* (model 2) pemeriksaan simpangan antar tingkat memenuhi syarat SNI 1726-2019.

3. Model struktur dengan bentuk dinding geser *Straight Shape* (model 3)**Tabel 5.67 Simpangan Antar Tingkat Pada Model 3 Arah X**

Lantai	δ	δe	Cd	Ie	Δx	Tinggi Lantai	$\Delta izin$	Cek
	mm	mm			mm	mm	mm	
9	27,095	4,085	5,5	1,5	14,978	4200	32,308	OK
8	23,01	4,285			15,712	4200	32,308	OK
7	18,725	4,292			15,737	4200	32,308	OK
6	14,433	4,023			14,751	4200	32,308	OK
5	10,41	3,561			13,057	4200	32,308	OK
4	6,849	3,214			11,785	4200	32,308	OK
3	3,635	2,282			8,367	4200	32,308	OK
2	1,353	1,353			4,961	4500	34,615	OK
Base	-	-			-	-	-	-

Tabel 5.68 Simpangan Antar Tingkat Pada Model 3 Arah Y

Lantai	δ	δe	Cd	Ie	Δy	Tinggi Lantai	$\Delta izin$	Cek
	mm	mm			mm	mm	mm	
9	26,115	3,692	5,5	1,5	13,537	4200	32,3077	OK
8	22,423	3,961			14,524	4200	32,3077	OK
7	18,462	4,122			15,114	4200	32,3077	OK
6	14,34	3,878			14,219	4200	32,3077	OK
5	10,462	3,617			13,262	4200	32,3077	OK
4	6,845	3,221			11,810	4200	32,3077	OK
3	3,624	2,208			8,096	4200	32,3077	OK
2	1,416	1,416			5,192	4500	34,6154	OK
Base	-	-			-	-	-	-



Gambar 5.18 Grafik Simpangan Antar Tingkat Pada Model 3

Berdasarkan Gambar 5.18 diatas simpangan terbesar untuk arah x berada pada lantai 7 sebesar 15,737 mm, sedangkan untuk arah y simpangan terbesar beradapada lantai 7 sebesar 15,114 mm. Berdasarkan perhitungan simpangan antar tingkat diatas tidak terdapat simpangan antar tingkat yang melebihi simpangan izin pada setiap lantainya, sehingga pada model struktur dengan bentuk dinding geser *Straight Shape* (model 3) pemeriksaan simpangan antar tingkat memenuhi syarat SNI 1726-2019.

5.10 Pengaruh P-Delta

Berdasarkan SNI 1726-2019 Pasal 7.8.7 menyebutkan bahwa koefisien stabilitas (Θ) tidak boleh lebih besar dari Θ_{maks} yang akan berpotensi mengakibatkan bangunan tidak stabil. Adapun contoh perhitungan pada pengaruh P-Delta adalah sebagai berikut.

Model struktur *existing* (model 1) pada lantai 2

$$P_x = 176076,866 \text{ kN}$$

$$\Delta_x = 5,782 \text{ mm}$$

$$I_e = 1,5$$

Tabel 5.74 Pengaruh P-Delta Pada Model 3 Arah Y

Lantai	Px	Δy	Ie	Vy	hsx	Cd	Θ	Θmax	Cek
	kN	mm		kN	mm				
9	6881,8288	13,5373	1,5	1975,2770	4200	5,5	0,0031	0,0909	Stabil
8	14938,2511	14,5237		3489,2011	4200		0,0040	0,0909	Stabil
7	23425,9713	15,1140		4720,7641	4200		0,0049	0,0909	Stabil
6	44227,1987	14,2193		7017,7506	4200		0,0058	0,0909	Stabil
5	67205,2933	13,2623		8945,6160	4200		0,0065	0,0909	Stabil
4	91294,9937	11,8103		10371,6157	4200		0,0068	0,0909	Stabil
3	123427,0779	8,0960		11685,6043	4200		0,0056	0,0909	Stabil
2	164240,1014	5,1920		12401,4915	4500		0,0042	0,0909	Stabil
Base	-	-		-	-		-	-	-

Berdasarkan Tabel 5.74 diatas pada tiap lantainya koefisien stabilitas (Θ) tidak melebihi batas maksimum (Θ_{maks}), sehingga pada model struktur dengan bentuk dinding geser *Straight Shape* (model 3) dapat dikatakan stabil dalam konteks keamanan dan kinerja struktur terhadap beban lateral memenuhi persyaratan SNI 1726-2019.

5.11 Drift Ratio

Drift ratio adalah rasio antara simpangan antar tingkat dengan tinggi tingkat. Adapun contoh perhitungan *drift ratio* adalah sebagai berikut.

Model struktur eksisting (model 1) lantai 4 Arah X

$$\Delta_n = 13,574 \text{ mm}$$

$$L = 4200 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Drift ratio} &= \frac{\Delta_n}{L} \\ &= \frac{13,574}{4200} \\ &= 0,323 \% \end{aligned}$$

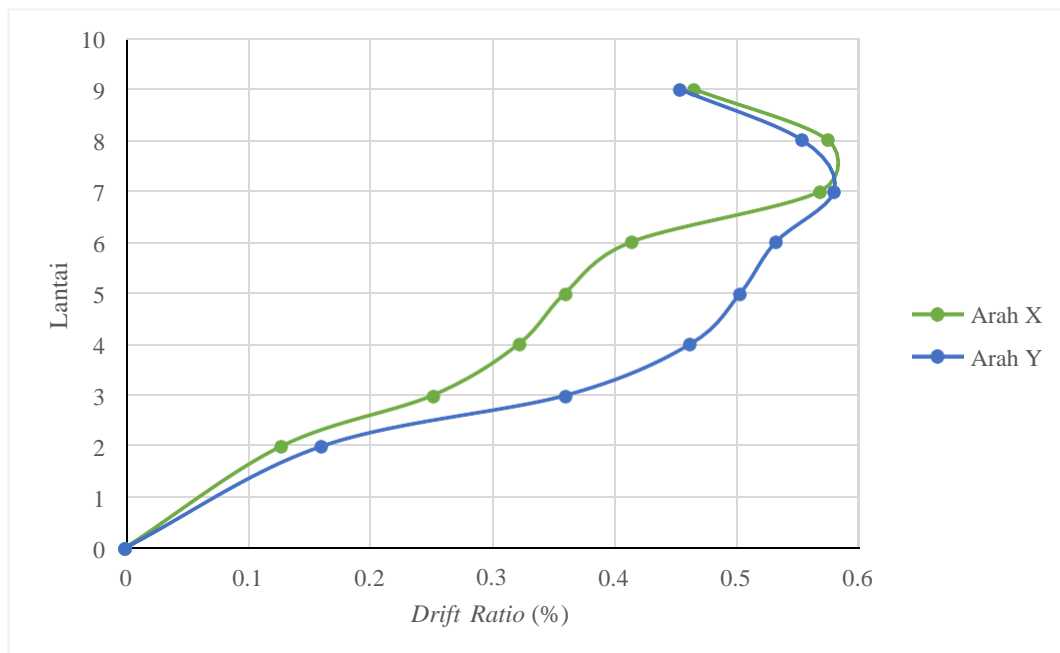
Berdasarkan perhitungan diatas pada model 1 lantai 4 arah x, rasio antara simpangan antar tingkat dengan tinggi tingkat didapatkan sebesar 0,2411%. Rekapitulasi perhitungan *drift ratio* pada semua model dapat dilihat pada Tabel 5.75 sampai Tabel 5.77.

1. Model struktur eksisting (model 1)

Tabel 5.75 Drift Ratio Pada Model 1

Lantai	Δx	Δy	Tinggi	DRX	DRY
	mm	mm		%	%
9	19,86600	19,35633	4250	0,467	0,455
8	24,24400	23,36033	4200	0,577	0,556
7	23,97633	24,45300	4200	0,571	0,582
6	17,43133	22,43267	4200	0,415	0,534
5	15,17633	21,21900	4200	0,361	0,505
4	13,57400	19,48467	4200	0,323	0,464
3	10,62233	15,20567	4200	0,253	0,362
2	5,78233	7,27467	4500	0,128	0,162
Base	-	-	-	-	-

Berdasarkan hasil perhitungan diatas, maka dapat digambarkan pada grafik *drift ratio* seperti pada Gambar 5.19 berikut.

**Gambar 5.19 Drift Ratio Model 1**

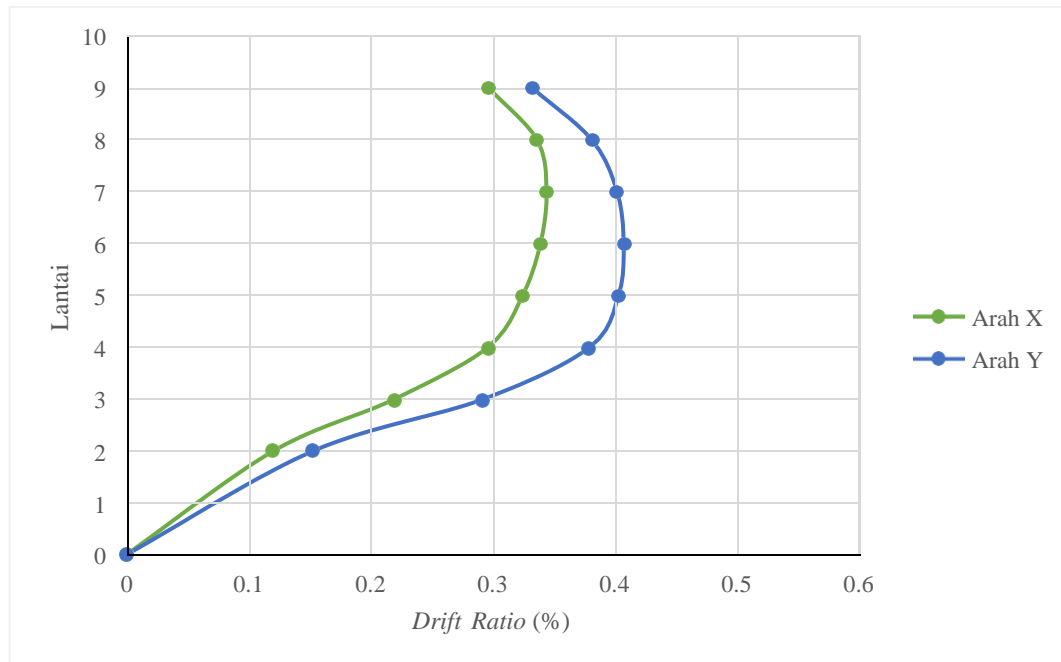
Berdasarkan Gambar 5.19 diatas, *drift ratio* terbesar pada arah x berada pada lantai 8 dan pada arah y berada pada lantai 7. Semakin besar *drift ratio* suatu bangunan, maka struktur tersebut semakin fleksibel / kurang kaku.

2. Model struktur dengan bentuk dinding geser *L-Shape* (model 2)

Tabel 5.76 Drift Ratio Pada Model 2

Lantai	Δx	Δy	Tinggi	DRX	DRY
	mm	mm			
9	12,66833	14,19000	4250	0,298	0,334
8	14,18267	16,07100	4200	0,338	0,383
7	14,50167	16,93633	4200	0,345	0,403
6	14,28900	17,16000	4200	0,340	0,409
5	13,67300	16,98033	4200	0,326	0,404
4	12,47033	15,97567	4200	0,297	0,380
3	9,24000	12,30900	4200	0,220	0,293
2	5,43767	6,90067	4500	0,121	0,153
Base	-	-	-	-	-

Berdasarkan hasil perhitungan diatas, maka dapat digambarkan pada grafik *drift ratio* seperti pada Gambar 5.20 berikut.



Gambar 5.20 Drift Ratio Model 2

Berdasarkan Gambar 5.20 diatas, *drift ratio* terbesar pada arah x berada pada lantai 7 dan pada arah y berada pada lantai 6. Penilaian *drift ratio* penting dalam perencanaan dan perancangan struktur untuk memastikan bahwa struktur dapat

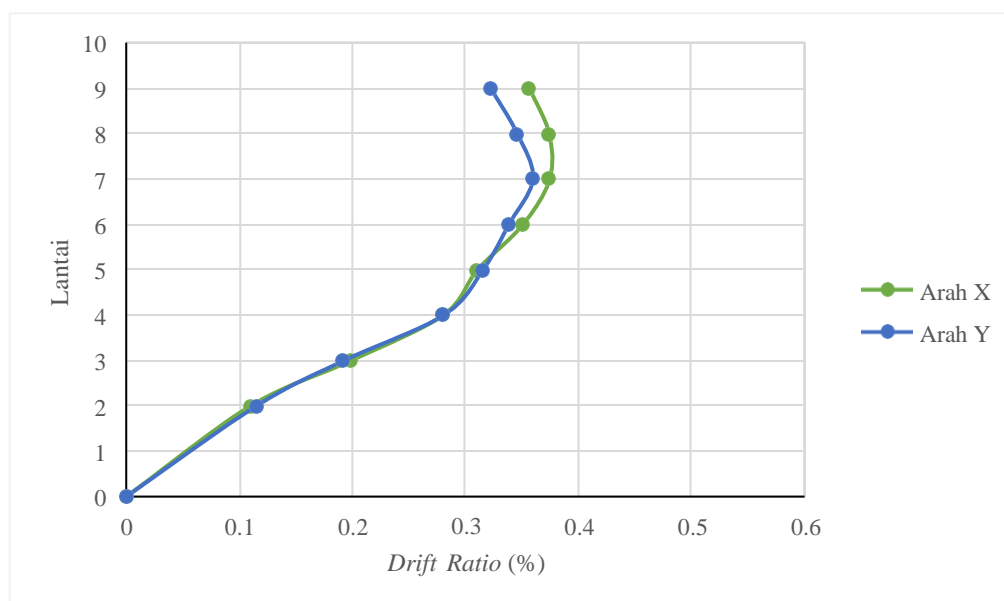
menanggung beban lateral tanpa mengalami deformasi yang berlebihan atau bahkan kerusakan. Struktur yang terlalu lentur atau fleksibel dapat mengalami *drift ratio* yang tinggi, dan ini dapat menimbulkan risiko bagi keamanan struktur dan penghuni.

3. Model struktur dengan bentuk dinding geser *Straight Shape* (model 3)

Tabel 5.77 Drift Ratio Pada Model 3

Lantai	Δx	Δy	Tinggi	DRX	DRY
	mm	mm	mm	%	%
9	14,97833	13,53733	4200	0,357	0,322
8	15,71167	14,52367	4200	0,374	0,346
7	15,73733	15,11400	4200	0,375	0,360
6	14,75100	14,21933	4200	0,351	0,339
5	13,05700	13,26233	4200	0,311	0,316
4	11,78467	11,81033	4200	0,281	0,281
3	8,36733	8,09600	4200	0,199	0,193
2	4,96100	5,19200	4500	0,110	0,115
Base	-	-	-	-	-

Berdasarkan hasil perhitungan diatas, maka dapat digambarkan pada grafik *drift ratio* seperti pada Gambar 5.21 berikut.



Gambar 5.21 Drift Ratio Model 3

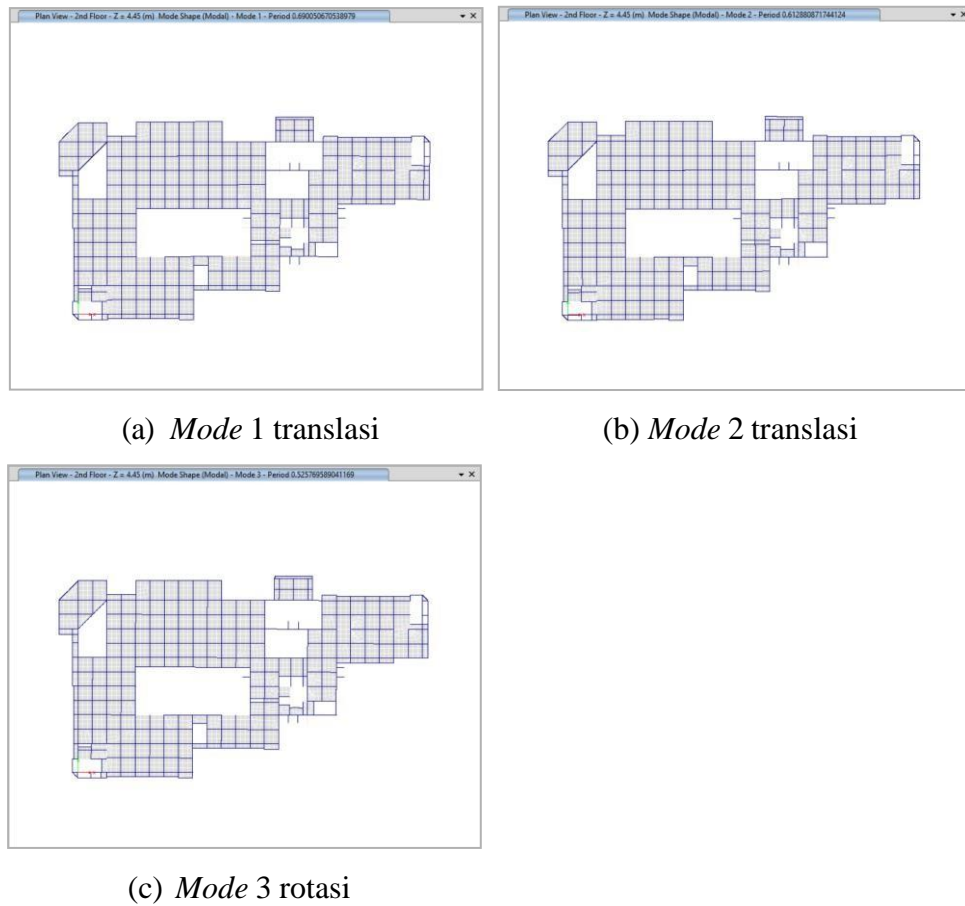
Berdasarkan Gambar 5.21 diatas, *drift ratio* terbesar pada arah x berada pada lantai 7 dan pada arah y berada pada lantai 7. *Drift ratio* memberikan gambaran tentang seberapa jauh suatu struktur dapat bergerak lateral dalam kondisi tertentu. Pergeseran lateral ini diukur pada level tertentu di struktur, seperti lantai atau pusat massa. Ketinggian efektif seringkali diukur dari dasar struktur hingga level yang diinginkan, yang biasanya berhubungan dengan tinggi lantai atau tinggi pusat massa.

5.12 Pola Simpangan Bangunan

Pola simpangan atau pola goyangan struktur pada bangunan dapat dilihat pada mode shape yang telah ditampilkan pada *software* ETABS V18, sehingga pada perencanaan gedung dapat dilihat kondisi dimana perlakuan bangunan terhadap beban yang terdapat pada bangunan. Berdasarkan SNI Pasal 7.7.2 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. Adapun pola simpangan bangunan pada keseluruhan model adalah sebagai berikut.

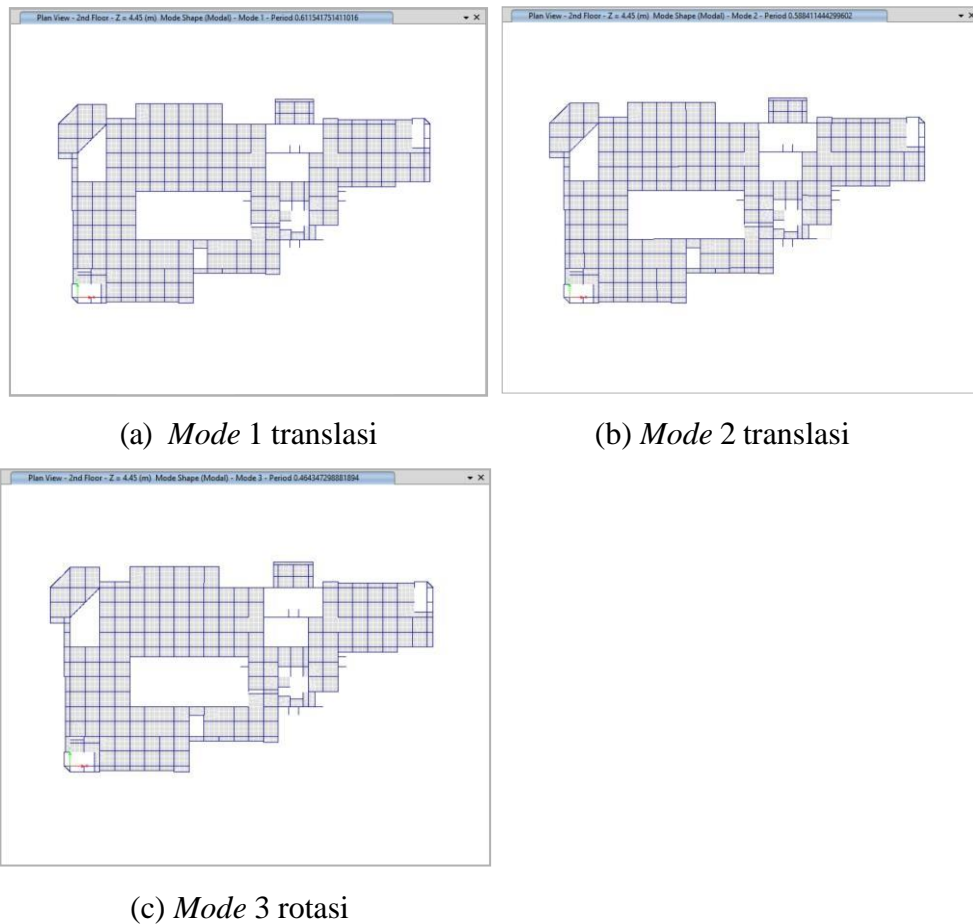
1. Model struktur *existing* (model 1)

Pola simpangan yang dihasilkan oleh struktur *existing* menunjukkan bahwa pada *mode* 1 menunjukkan translasi pada arah x, pada *mode* 2 menunjukkan translasi pada arah y, dan pada *mode* 3 menunjukkan pola simpangan rotasi pada perencanaan bangunan, sehingga evaluasi deformasi struktur telah memenuhi persyaratan.



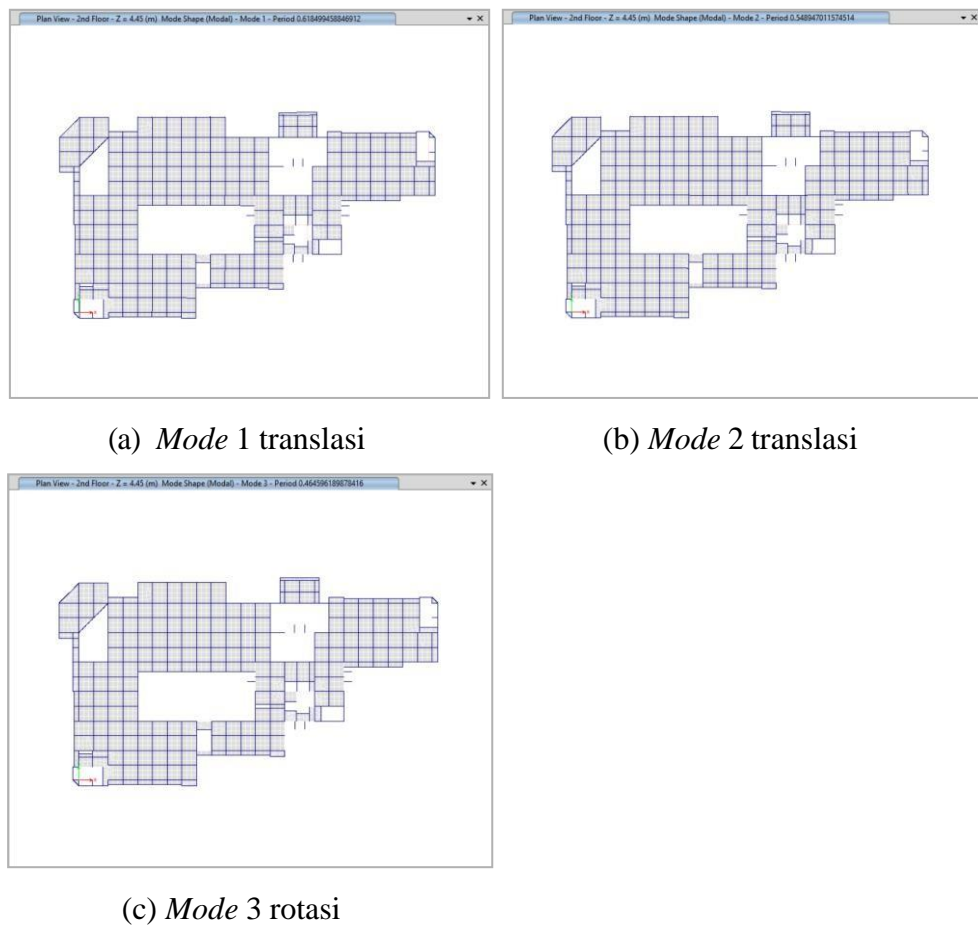
Gambar 5.22 Pola Simpangan Bangunan Model 1

2. Model struktur dengan bentuk dinding geser *L-Shape* (model 2)
 Pada penelitian ini, evaluasi deformasi struktur telah memenuhi persyaratan karena pola simpangan yang dihasilkan oleh struktur dengan bentuk dinding geser *L-Shape* (model 2) bahwa pada *mode 1* menunjukkan translasi pada arah x, pada *mode 2* menunjukkan translasi pada arah y, dan pada *mode 3* menunjukkan pola simpangan rotasi pada perencanaan bangunan.



Gambar 5.23 Pola Simpangan Bangunan Model 2

3. Model struktur dengan bentuk dinding geser *Straight Shape* (model 3)
 Pola simpangan yang dihasilkan oleh struktur dengan bentuk dinding geser *Straight Shape* (model 3) menunjukkan bahwa pada *mode 1* menunjukkan translasi pada arah x, pada *mode 2* menunjukkan translasi pada arah y, dan *mode 3* menunjukkan pola simpangan rotasi pada perencanaan bangunan.

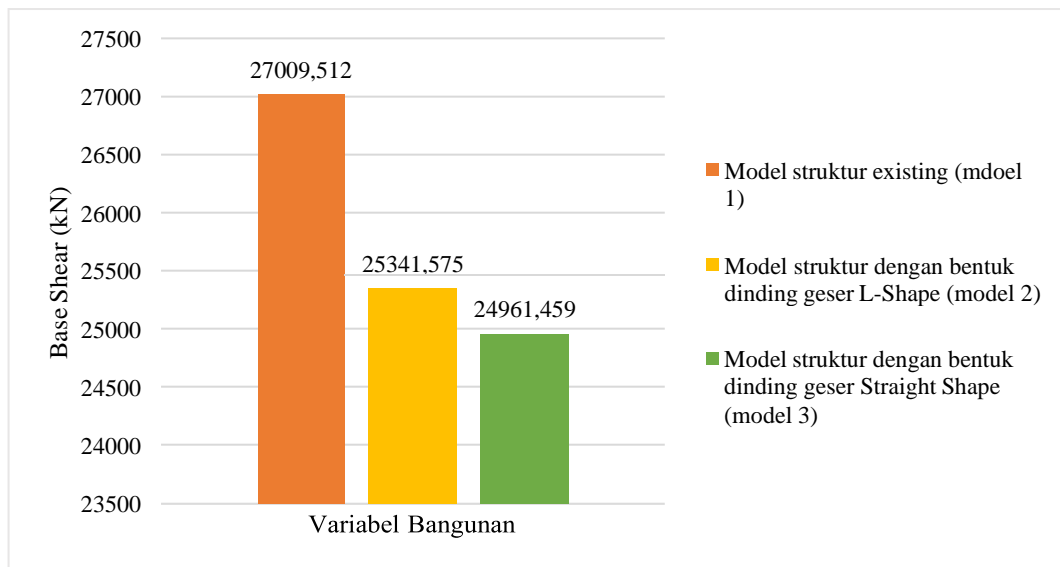


Gambar 5.24 Pola Simpangan Bangunan Model 3

5.13 Komparasi Respons Struktur

5.13.1 Base Shear

Komparasi gaya geser dasar (*base shear*) semua model yang dihasilkan pada analisis statik ekuivalen (V_s) dan analisis kombinasi respons (V_D) adalah sebagai berikut.



Gambar 5.25 Gaya Geser Dasar (*Base Shear*)

Tabel 5.78 Komparasi *Base Shear*

No.	Jenis Model	Statik		Dinamik	
		EQX	EQY	RSX	RSY
		kN	kN	kN	kN
1	Model 1	27008,49	27008,49	27009,57	27009,51
2	Model 2	25340,70	25340,70	25341,84	25341,58
3	Model 3	24961,04	24961,04	24962,02	24961,46

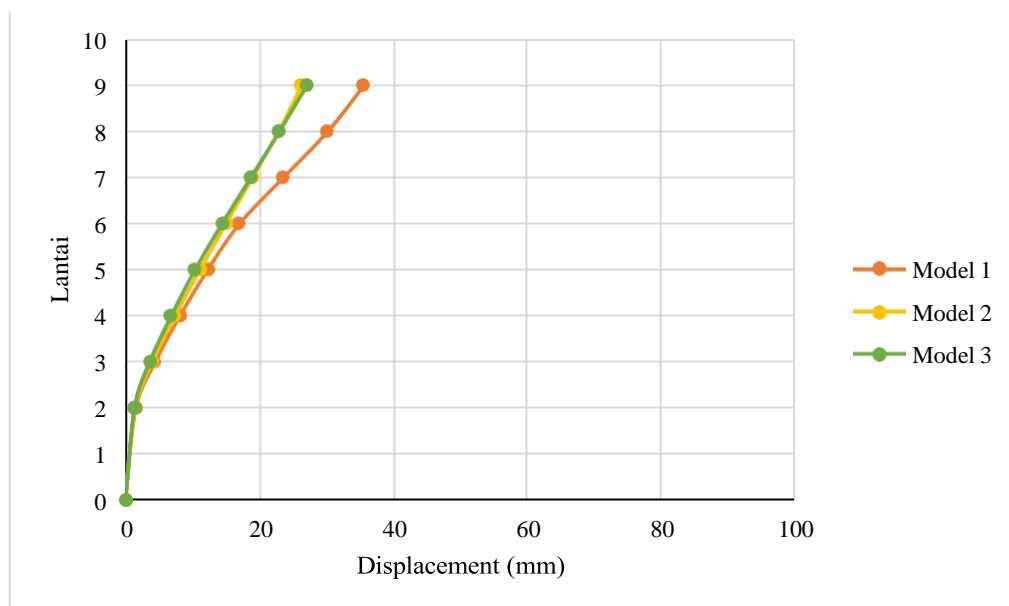
Berdasarkan SNI 1726-2019 Pasal 7.9.1.4.1 tentang penskalaan gaya menyatakan bahwa kombinasi respons untuk gaya geser dasar (*base shear*) dinamik diharuskan tidak boleh kurang dari 100% gaya geser metode statik. Penskalaan kombinasi respons untuk gaya geser dasar dapat dilakukan dengan V_s/V_D dengan hasil komparasi 100%. Pada penelitian ini model struktur bangunan dengan model struktur *existing* (model 1) lebih besar dibandingkan dengan model 2 dan model 3.

5.13.2 Displacement

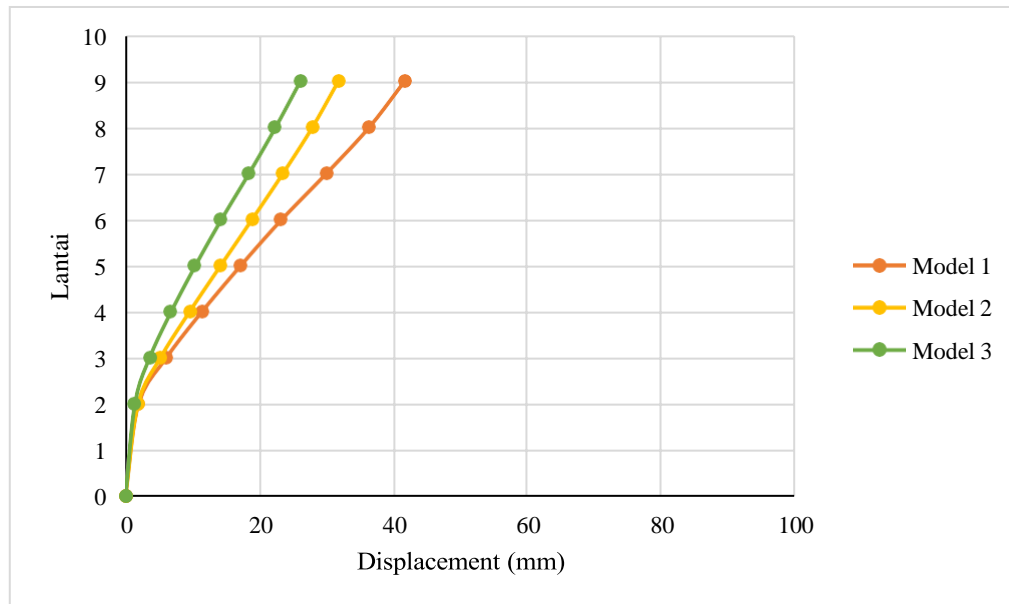
Komparasi *displacement* yang terjadi akibat perbedaan model struktur bangunan pada semua model struktur dinding geser dapat adalah sebagai berikut.

Tabel 5.79 Komparasi *Displacement*

Lantai	Model 1		Model 2		Model 3	
	U1	U2	U1	U2	U1	U2
	mm	mm	mm	mm	mm	mm
9	35,638	41,669	26,308	31,779	27,095	26,115
8	30,220	36,390	22,853	27,909	23,010	22,423
7	23,608	30,019	18,985	23,526	18,725	18,462
6	17,069	23,350	15,030	18,907	14,433	14,340
5	12,315	17,232	11,133	14,227	10,410	10,462
4	8,176	11,445	7,404	9,596	6,849	6,845
3	4,474	6,131	4,003	5,239	3,635	3,624
2	1,577	1,984	1,483	1,882	1,353	1,416
Base	-	-	-	-	-	-



Gambar 5.26 Komparasi *Displacement* Arah X



Gambar 5.27 Komparasi *Displacement* Arah Y

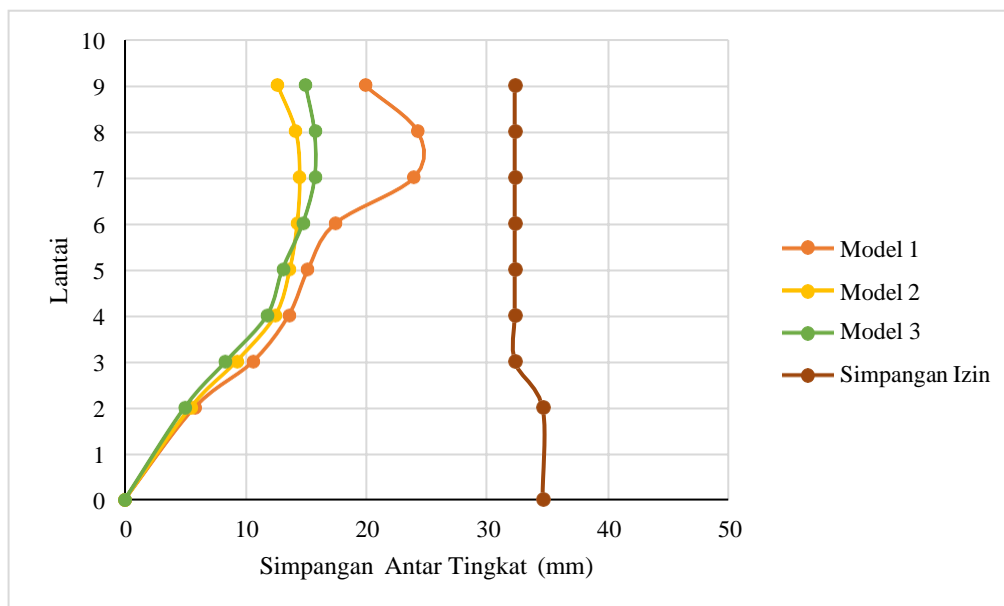
Berdasarkan komparasi *displacement* diatas, bahwa *displacement* terbesar untuk arah X berada pada model struktur *existing* (model 1) yaitu sebesar 35,638 mm dan untuk arah Y juga berada pada model struktur *existing* (model 1) yaitu sebesar 41,669 mm, sehingga menempatkan model struktur *existing* (model 1) sebagai model struktur yang memiliki *displacement* tertinggi. Pada *displacement* terendah untuk arah X dimiliki oleh model struktur dengan bentuk dinding geser *L-Shape* (model 2) yaitu sebesar 26,308 mm dan untuk arah Y dimiliki oleh model struktur dengan bentuk dinding geser *Straight Shape* (model 3) yaitu sebesar 26,115 mm. Pada model 2 untuk arah X memiliki *displacement* lebih kecil sebesar 26,180% dari model struktur *existing* dan pada model 3 untuk arah Y memiliki *displacement* lebih kecil sebesar 37,328% dari model struktur *existing*. Secara keseluruhan menempatkan model 3 sebagai model struktur yang paling optimum dalam hal memperkecil *displacement* yang terjadi pada bangunan Gedung TILC UGM.

5.13.3 Simpangan Antar Tingkat

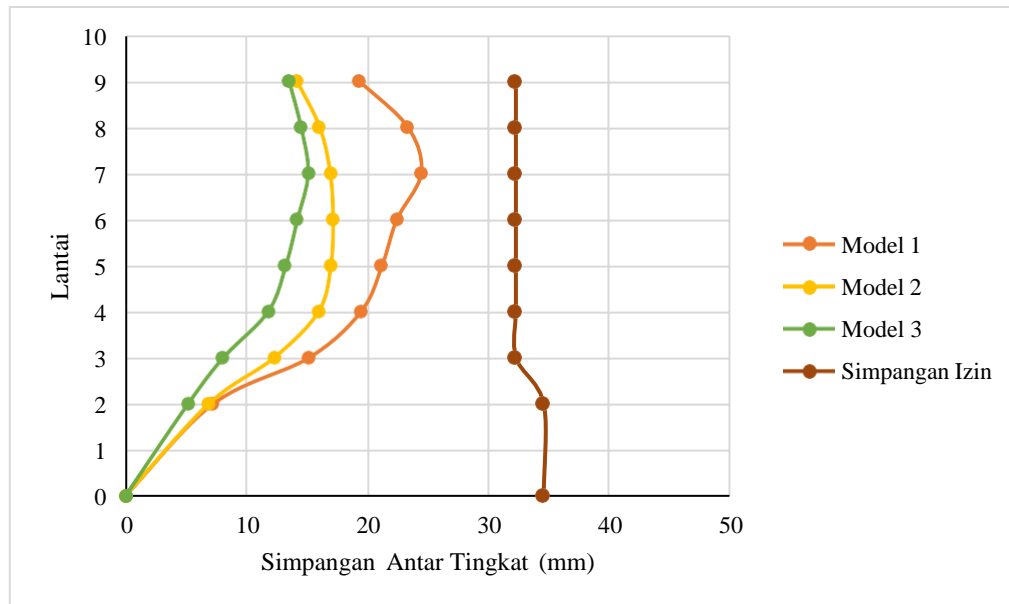
Komparasi simpangan antar tingkat yang terjadi akibat perbedaan model struktur bangunan adalah sebagai berikut.

Tabel 5.80 Komparasi Simpangan Antar Tingkat

Lantai	Model 1		Model 2		Model 3		Simpangan Izin
	Δx	Δy	Δx	Δy	Δx	Δy	Δ izin
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
9	19,87	19,36	12,67	14,19	14,98	13,54	32,31
8	24,24	23,36	14,18	16,07	15,71	14,52	32,31
7	23,98	24,45	14,50	16,94	15,74	15,11	32,31
6	17,43	22,43	14,29	17,16	14,75	14,22	32,31
5	15,18	21,22	13,67	16,98	13,06	13,26	32,31
4	13,57	19,48	12,47	15,98	11,78	11,81	32,31
3	10,62	15,21	9,24	12,31	8,37	8,10	32,31
2	5,78	7,27	5,44	6,90	4,96	5,19	34,62
Base	-	-	-	-	-	-	-



Gambar 5.28 Komparasi Simpangan Antar Tingkat Arah X



Gambar 5.29 Komparasi Simpangan Antar Tingkat Arah Y

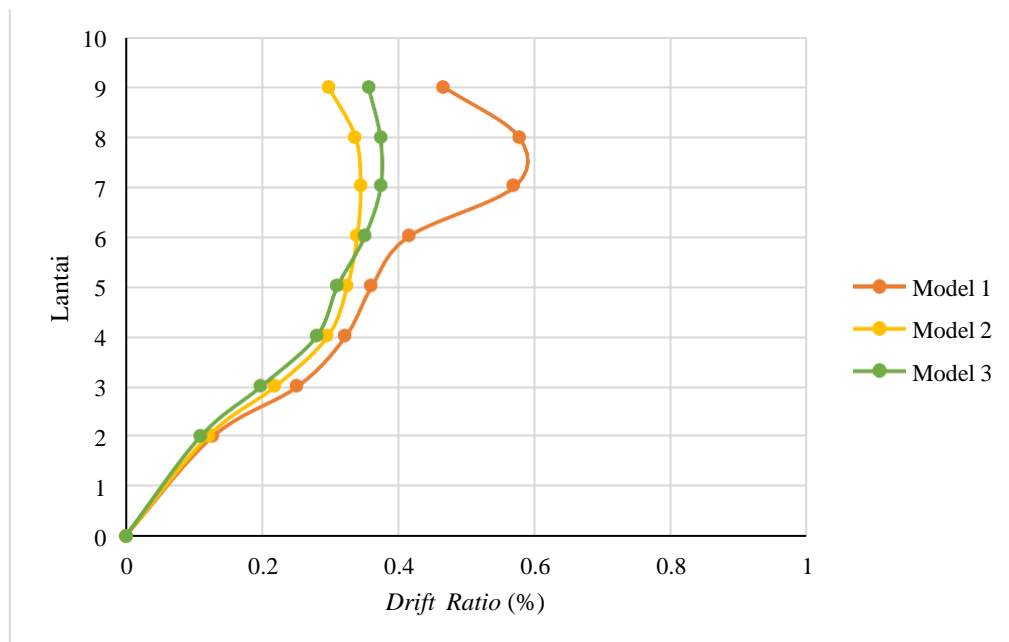
Berdasarkan komparasi simpangan antar tingkat diatas, bahwa simpangan antar tingkat pada semua model memenuhi batas izin simpangan antar tingkat. Simpangan antar tingkat terbesar untuk arah X berada pada model struktur *existing* (model 1) dan untuk arah Y juga berada pada model struktur *existing* (model 1), sehingga menempatkan model struktur *existing* (model 1) sebagai model struktur yang memiliki simpangan antar tingkat tertinggi. Penurunan terekstrim simpangan pada lantai 8 arah X antara model 2 dan model 1 adalah sebesar 10,061 mm dengan prosentase sebesar 41,50% lebih kecil. Berdasarkan grafik secara keseluruhan simpangan antar tingkat diatas, menempatkan model 3 sebagai model struktur yang paling optimum dibandingkan dengan kedua model lainnya.

5.13.4 Drift Ratio

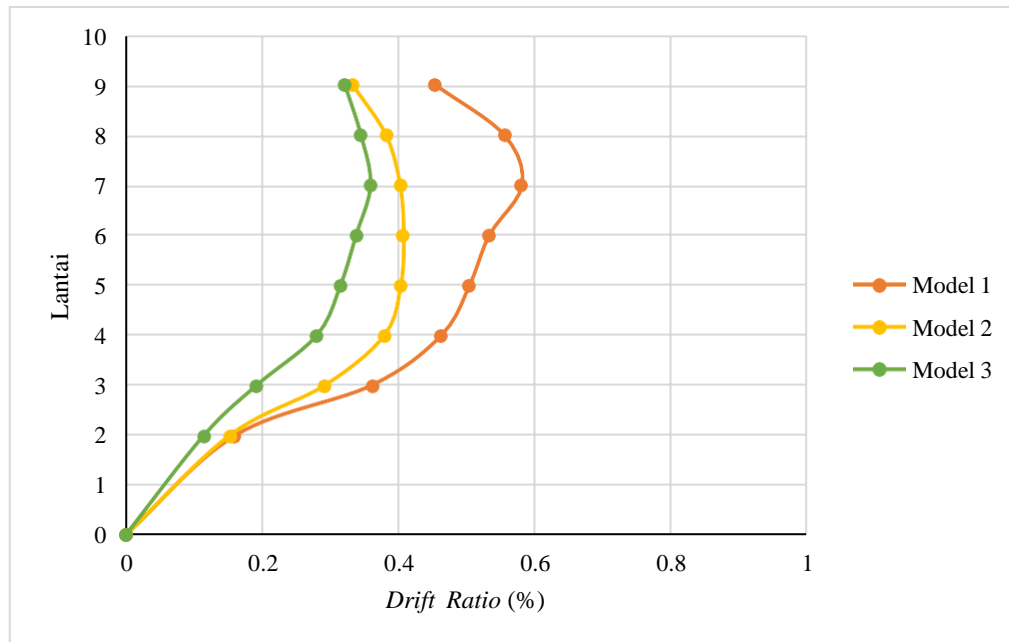
Komparasi *drift ratio* yang terjadi akibat perbedaan model struktur bangunan adalah sebagai berikut.

Tabel 5.81 Komparasi *Drift Ratio*

Lantai	Model 1		Model 2		Model 3	
	DR X	DR Y	DR X	DR Y	DR X	DR Y
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
9	0,467	0,455	0,298	0,334	0,357	0,322
8	0,577	0,556	0,338	0,383	0,374	0,346
7	0,571	0,582	0,345	0,403	0,375	0,360
6	0,415	0,534	0,340	0,409	0,351	0,339
5	0,361	0,505	0,326	0,404	0,311	0,316
4	0,323	0,464	0,297	0,380	0,281	0,281
3	0,253	0,362	0,220	0,293	0,199	0,193
2	0,128	0,162	0,121	0,153	0,110	0,115
Base	-	-	-	-	-	-



Gambar 5.30 Komparasi *Drift Ratio* Arah X



Gambar 5.31 Komparasi *Drift Ratio* Arah Y

Drift ratio menunjukkan sifat bangunan yang dilakukan analisis tersebut kaku atau fleksibel. Semakin kecil *drift ratio* maka semakin kaku bangunan tersebut. Berdasarkan hasil perhitungan di atas, *drift ratio* terbesar untuk arah X berada pada lantai 8 model struktur *existing* (model 1) dan untuk arah Y berada pada lantai 7 model struktur *existing* (model 1). Sehingga, menempatkan model struktur *existing* (model 1) sebagai model struktur yang memiliki *drift ratio* tertinggi. Sedangkan *drift ratio* terendah untuk arah X terdapat pada lantai 1 model 3 dan untuk arah Y terdapat pada lantai 1 model 3. Berdasarkan grafik secara keseluruhan *drift ratio* di atas, menempatkan model 3 sebagai model struktur yang paling optimum dibandingkan dengan kedua model lainnya.

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 v18 terhadap ketiga elemen tersebut. Hasil pengecekan menunjukkan bahwa balok, kolom, dan pelat telah memenuhi persyaratan SNI 1726-2019 untuk syarat minimum dimensi yang diperlukan.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari hasil analisis terhadap perbandingan variasi bentuk dan penempatan dinding geser berdasarkan SNI 1726-2019 adalah sebagai berikut.

1. Hasil dari pemodelan struktur bangunan menunjukkan dasar geser (*base shear*) sebagai berikut.
 - a. Geser dasar (*base shear*) terkecil didapatkan pada model struktur dengan bentuk dinding geser *Straight Shape* (model 3) yaitu sebesar 24961,46 kN.
 - b. Geser dasar (*base shear*) pada model 3 untuk arah x lebih kecil 7,582% dibandingkan dengan model struktur *existing* (model 1) dan untuk arah y lebih kecil 7,581% dibandingkan dengan model struktur *existing* (model 1).
2. Pada kontrol ketidakberaturan untuk masing-masing model terdapat ketidakberaturan horizontal tipe 1a, 1b, 2, dan 3, sedangkan untuk ketidakberaturan vertikal terdapat tipe 2. Berdasarkan adanya ketidakberaturan tersebut maka perencanaan dilakukan sesuai dengan konsekuensi yang ada berdasarkan SNI 1726-2019 yang dapat dilihat pada Lampiran 20.
3. Hasil dari pemodelan struktur bangunan menunjukkan *displacement* sebagai berikut.
 - a. Pemodelan dengan terefektif pada arah x adalah pemodelan struktur dengan bentuk dinding geser *Straight Shape* (model 3) dan untuk arah y juga adalah pemodelan struktur dengan bentuk dinding geser *Straight Shape* (model 3). Hasil dikatakan efektif karena memiliki selisih paling besar dibandingkan dengan model struktur *existing* (model 1).

- b. Pemodelan dengan *displacement* terkecil pada arah x adalah pemodelan struktur dengan bentuk dinding geser *L-Shape* (model 2) yaitu sebesar 26,308 mm, sedangkan untuk arah y adalah pemodelan struktur dengan bentuk dinding geser *Straight Shape* (model 3) yaitu sebesar 26,115 mm.
4. Hasil dari pemodelan struktur bangunan menunjukkan simpangan antar tingkat sebagai berikut.
 - a. Simpangan terkecil terdapat pada pemodelan struktur dengan bentuk dinding geser *L-Shape* (model 2) dengan penurunan simpangan antar tingkat untuk arah x yaitu sebesar 10,061 mm dengan prosentase penurunan sebesar 41,50%, sedangkan untuk arah y terdapat pada pemodelan struktur dengan bentuk dinding geser *Straight Shape* (model 3) yaitu sebesar 9,339 mm dengan prosentase penurunan sebesar 38,19%.
 - b. Pemodelan struktur dengan bentuk dinding geser *Straight Shape* (model 3) merupakan model terefektif dalam parameter simpangan antar tingkat, dengan simpangan yang relatif kecil dibandingkan model lainnya.
5. Hasil dari pemodelan struktur bangunan menunjukkan *drift ratio* sebagai berikut.
 - a. Perbandingan *drift ratio* terendah untuk arah X terdapat pada lantai 1 model 3 yaitu sebesar 0,110% dan untuk arah Y terdapat pada lantai 1 model 3 yaitu sebesar 0,115%.
 - b. Semakin kecil *drift ratio* maka semakin kaku bangunan tersebut, oleh karena itu pemodelan struktur dengan bentuk dinding geser *Straight Shape* (model 3) merupakan model terefektif, dengan *drift ratio* yang relatif kecil dibandingkan model lainnya.
6. Hasil perbandingan dari variasi dan penempatan dinding geser terhadap *base shear*, *displacement*, simpangan antar tingkat, dan *drift ratio* menunjukkan bahwa secara keseluruhan model 3 merupakan model yang terbaik dibandingkan dengan model 1 dan model 2.

6.2 Saran

Berikut adalah beberapa saran yang dapat diberikan sebagai upaya pengembangan dalam penelitian ini.

1. Penelitian berikutnya dapat melanjutkan eksplorasi menggunakan variasi bentuk dan penempatan dinding geser yang berbeda, sesuai dengan karakteristik bangunan.
2. Pengembangan penelitian selanjutnya bisa mempertimbangkan analisis *time history* dengan merujuk pada ketentuan SNI 1726-2019 atau regulasi terbaru lainnya.
3. Pada 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*.

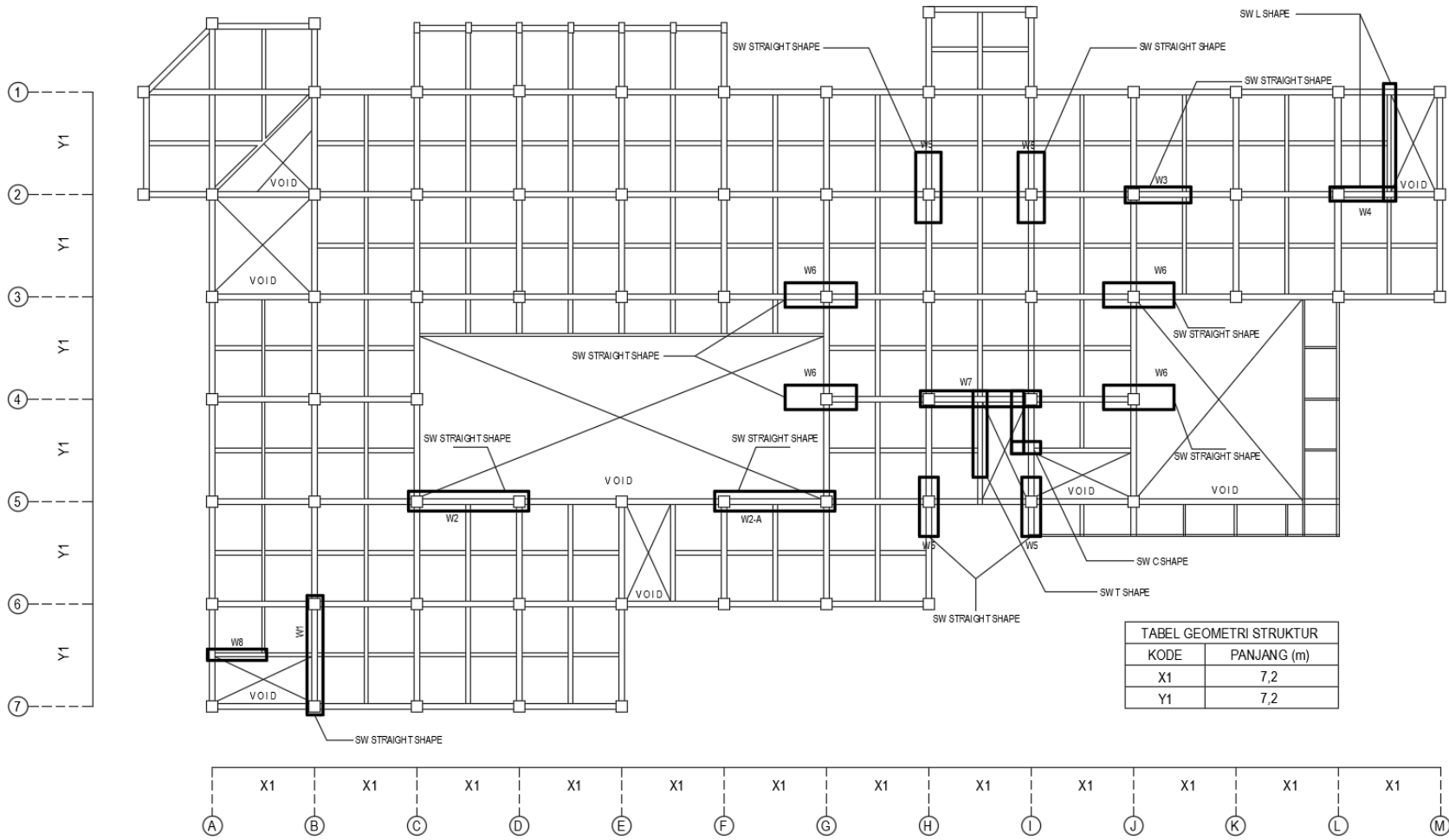
DAFTAR PUSTAKA

- Andalas, G. 2016. Analisis *Layout Shearwall* Terhadap Perilaku Struktur Gedung. Vol.1. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Universitas Lampung. Lampung.
- Astriani, N. K. 2010. Pengaruh Torsi Pada Bangunan. *GaneC Swara*. Vol.4 (25-31). Fakultas Teknik Universitas Ngurah Rai Denpasar. Denpasar.
- Fauziah, L. Sumajouw, M. D. J. Dapas. dan Windah, R. S. 2013. Pengaruh Penempatan dan Posisi Dinding Geser Terhadap Simpangan Bangunan Beton Bertulang Bertingkat Banyak Akibat Beban Gempa. *Jurnal Sipil Statik*. Vol.1 (466-472). Universitas Sam Ratulangi. Manado.
- Hyundai Elevator*. 2020. *Planning Guide Hyundai Elevator. China Factory Production*. C-CPG.E0111/Ver 1. Korea
- Jannah, A. N. 2018. Kajian Perbandingan Respon Struktur Bangunan Bertingkat Dengan Variasi Tata Letak Dinding Geser Akibat Beban Gempa Dinamik Respon Spektrum. Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Kalangi, H.T, Tanijaya, J, Thetrawan, M. 2021. Analisis Pengaruh Penempatan Dinding Geser Terhadap Perilaku Dinamik Struktur Bangunan. Bandung.
- Lumban, M. B. 2016. Efisiensi Penggunaan Dinding Geser untuk Mereduksi Efek Torsi Pada Bangunan yang Tidak Beraturan. *Jurnal Sipil Statik*. Vol.4. Manado.
- Majore, B.O. Wallah, S.E. dan Dapas, S.O. 2015. Studi Perbandingan Respons Dinamik Bangunan Bertingkat Banyak dengan Variasi Tata Letak Dinding Geser. *Jurnal Sipil Statik*. Vol.3 (435-446). Universitas Sam Ratulangi. Manado.
- Manalip, H. Kumaat, E. J. Runtu, F. I. 2015. Penempatan Dinding Geser Pada Bangunan Beton Bertulang dengan Analisa Pushover. *Jurnal Ilmiah Media Engineering*. Vol.5. Universitas Sam Ratulangi. Manado.
- Paulay T. and Priestly M.J.N. 1992. *Seismic Design of Reinforced Concrete and Mansory Buildings*. John Wiley Sons, INC. New York.
- Pawirodikromo, W. 2012. *Seismologi Teknik dan Rekayasa Kegempaan*. Yogyakarta. Pustaka Pelajar.

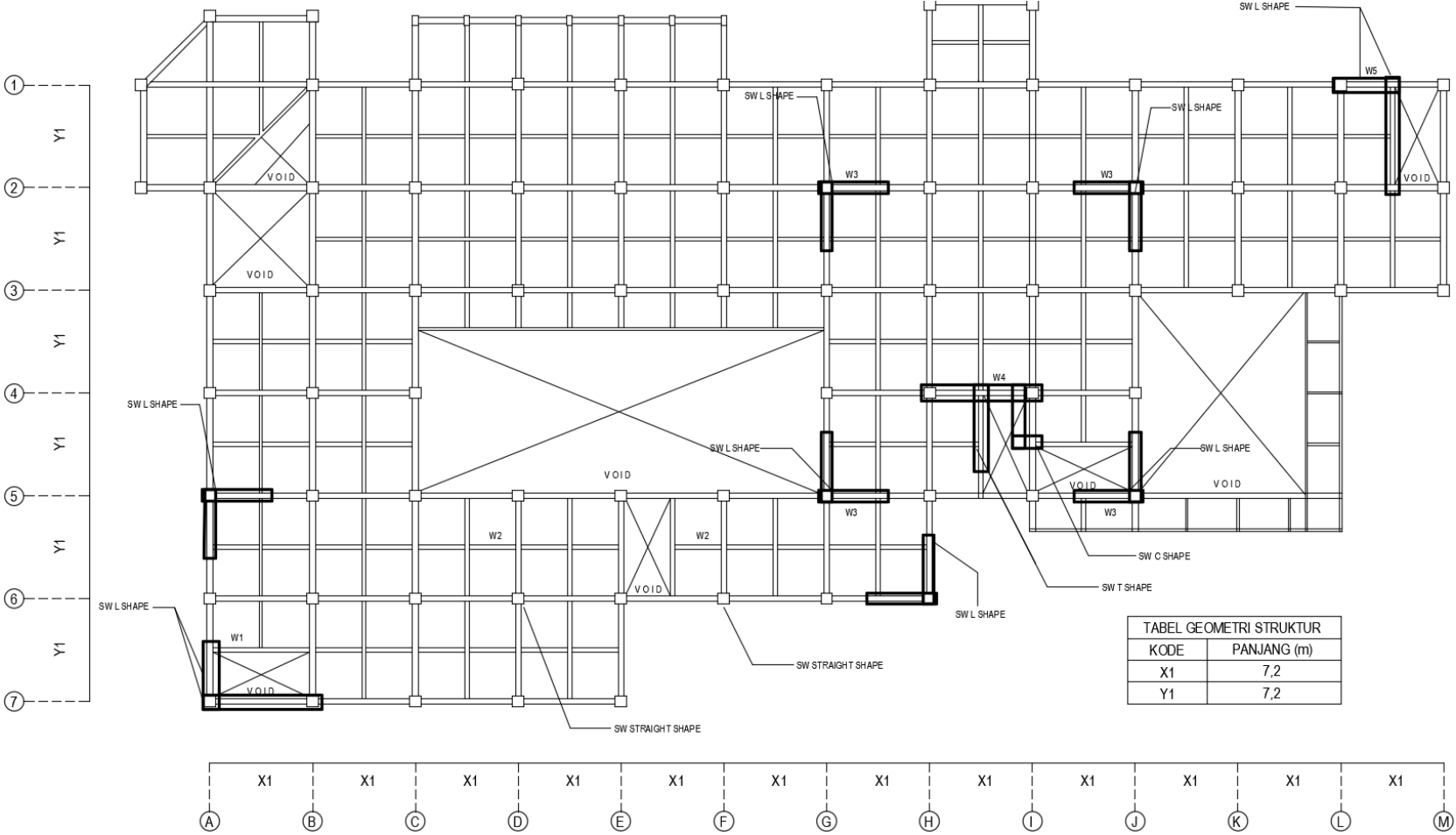
- PPURG. 1987. Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung. Yayasan Badan Penerbit PU. Jakarta.
- Reksoharjo J.M. 2017. Analisis Pengaruh Letak Dinding Geser Pada Gedung Bertingkat Dalam Menghadapi Gaya Lateral Gempa. Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Standar Nasional Indonesia. 2019. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung. SNI 1726. Jakarta.
- Standar Nasional Indonesia. 2019. Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan. SNI 2847. Jakarta
- Standar Nasional Indonesia. 2020. Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain. SNI 1727. Jakarta.
- Wiryadi, I. G. G. dan Sudarsana, I. K. 2019. Analisis Pengaruh Bentuk Dinding Geser Beton Bertulang Terhadap Kapasitas dan Luas Tulangan. Jurnal Spektran. Vol.7. No.2. Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas Udayana. Denpasar.

LAMPIRAN

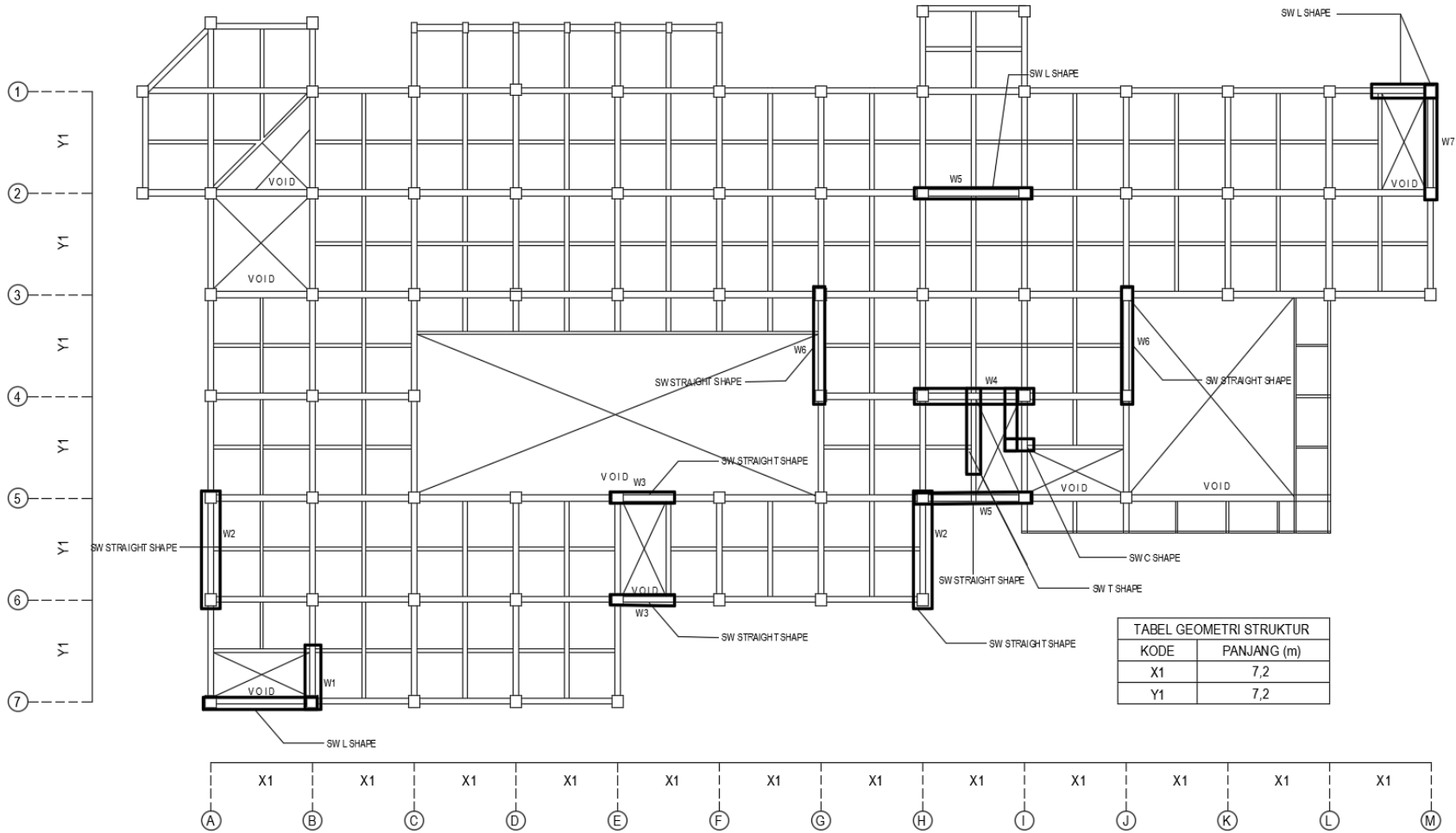
Lampiran 1 Denah Bangunan Model Struktur Existing (Model 1)



Lampiran 2 Denah Bangunan Model Struktur Dengan Dinding Geser L-Shape (Model 2)



Lampiran 3 Denah Bangunan Model Struktur Dengan Dinding Geser *Straight Shape* (Model 3)



Lampiran 4 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

CATATAN I: Diizinkan, TI: Tidak Diizinkan

Sumber SNI 1726-2019 Pasal 7.7.2

Lampiran 5 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Nongedung untuk 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, 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 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 Pasal 4.1.2

Lanjutan Lampiran 5 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Nongedung untuk Beban Gempa

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 Pasal 4.1.2

Lanjutan Lampiran 5 Faktor Keutamaan Gempa

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

Sumber SNI 1726-2019 Pasal 4.1.2

Lampiran 6 Faktor R , C_d , 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 ⁱ	12 ⁱ	12 ⁱ
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	2½	TB	TB	TI	TI	TI
9. Dinding geser batu bata bertulang biasa	2	2½	1½	TB	48	TI	TI	TI
10. Dinding geser batu bata polos didetail	2	2½	1½	TB	TI	TI	TI	TI
11. Dinding geser batu bata polos biasa	1½	2½	1½	TB	TI	TI	TI	TI
12. Dinding geser batu bata prategang	1½	2½	1½	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	3½	2	3½	TB	TB	10 ⁱ	10 ⁱ	TI ⁱ
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 ⁱ	12 ⁱ	12 ⁱ
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 Pasal 7.2.2

Lanjutan Lampiran 6 Faktor R , C_d , dan Ω_0 untuk sistem pemikul gaya seismik

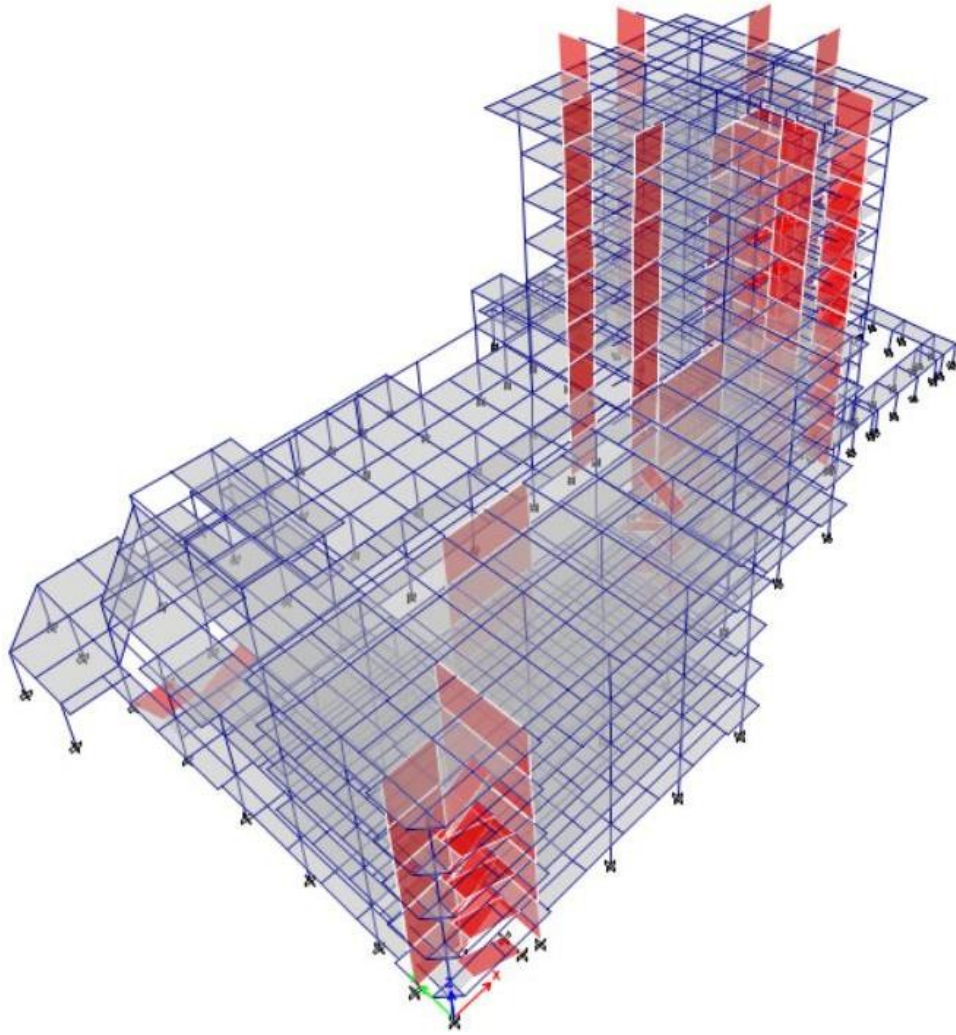
Sistem pemikul gaya seismik	Koefisien modifikasi respons, R^a	Faktor kuat lebih sistem, Ω_0^b	Faktor pembesaran defleksi, C_d^c	Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, h_n (m) ^d				
				Kategori desain seismik				
				B	C	D ^e	E ^e	F ^f
19. Dinding geser batu bata polos didetail	2	2½	2	TB	TI	TI	TI	TI
20. Dinding geser batu bata polos biasa	1½	2½	1½	TB	TI	TI	TI	TI
21. Dinding geser batu bata prategang	1½	2½	1½	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 canai 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 ^k	TI ^k	TI ^k
4. Rangka baja pemikul momen biasa	3½	3	3	TB	TB	TI ^l	TI ^l	TI ^l
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 canai 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 ^{ph}	7	2½	5½	TB	TB	TB	TB	TB
4. Dinding geser beton bertulang biasa ^q	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

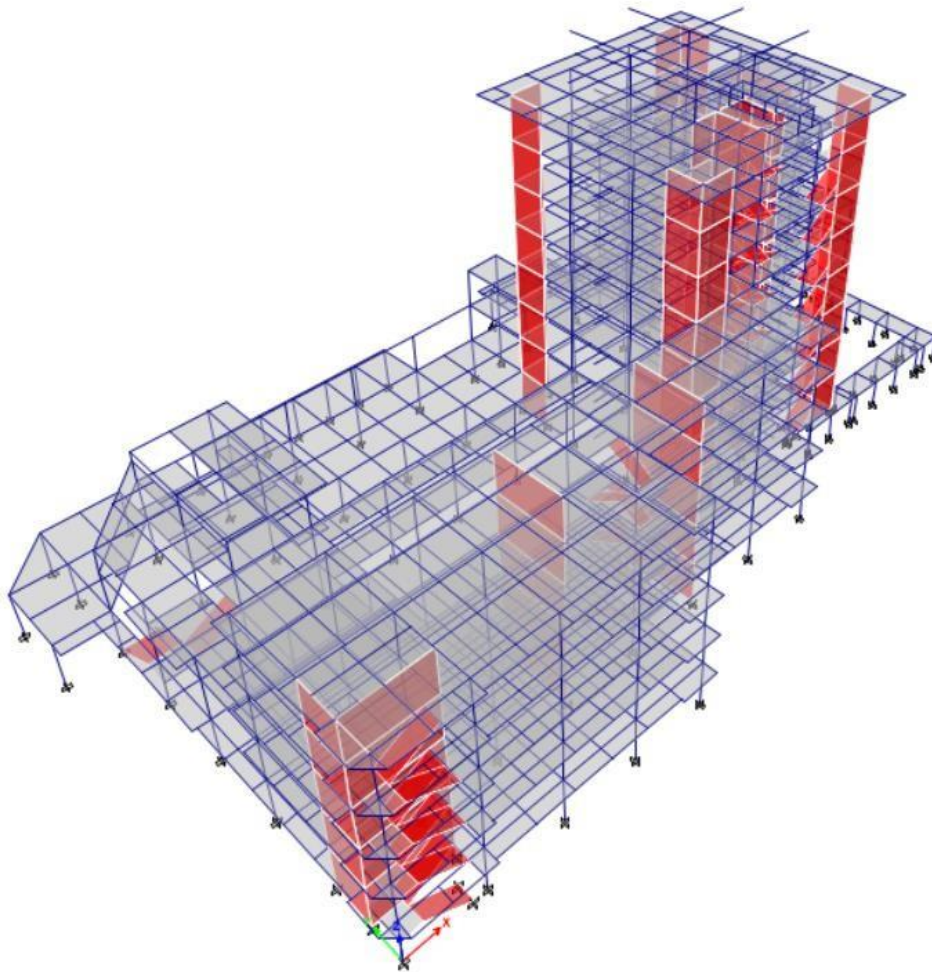
Sumber SNI 1726-2019 Pasal 7.2.2

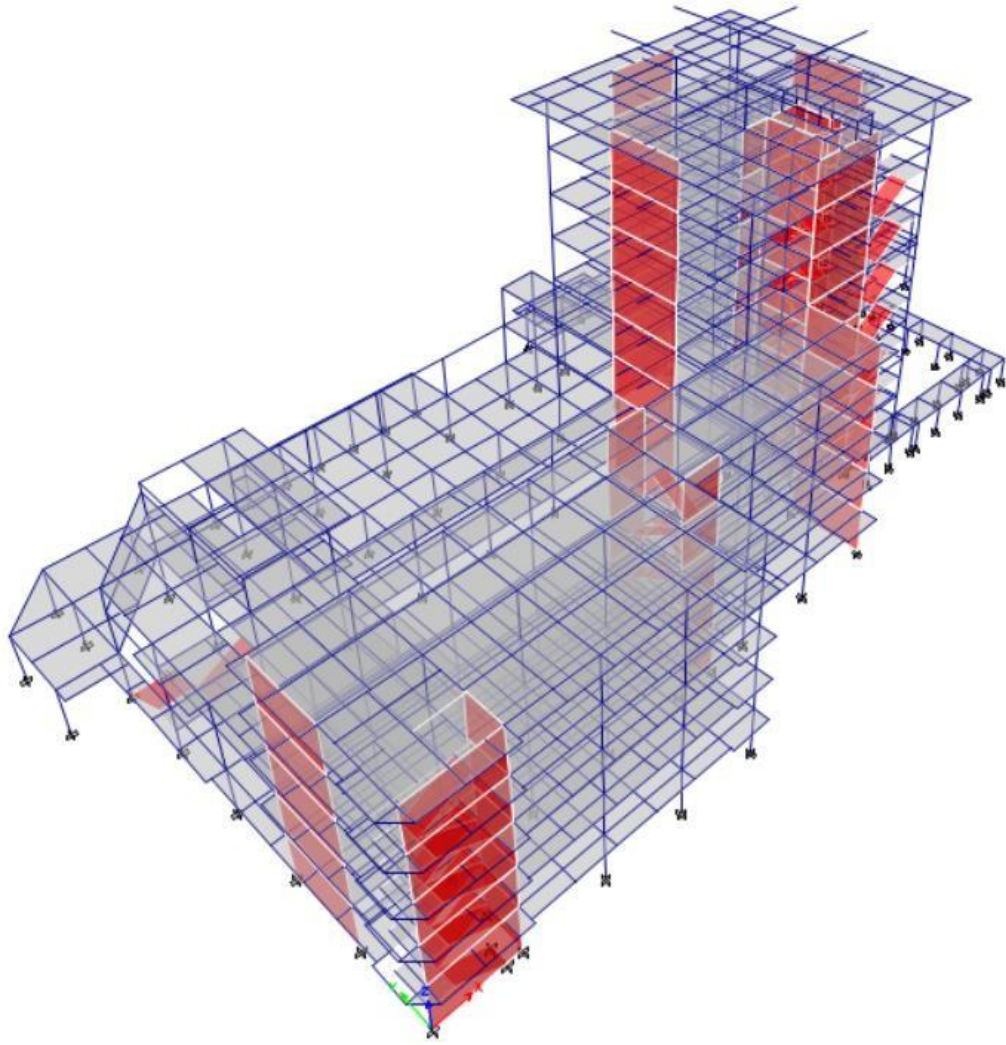
Lanjutan Lampiran 6 Faktor R , C_d , dan Ω_0 untuk sistem pemikul gaya seismik

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
E. Sistem ganda dengan rangka pemikul momen menengah mampu menahan paling sedikit 25 % gaya seismik yang ditetapkan								
1. Rangka baja dengan bresing konsentris khusus ^p	6	2½	5	TB	TB	10	TI	TI
2. Dinding geser beton bertulang khusus ^{q,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 ^q	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^q	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 ^m	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	1½	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

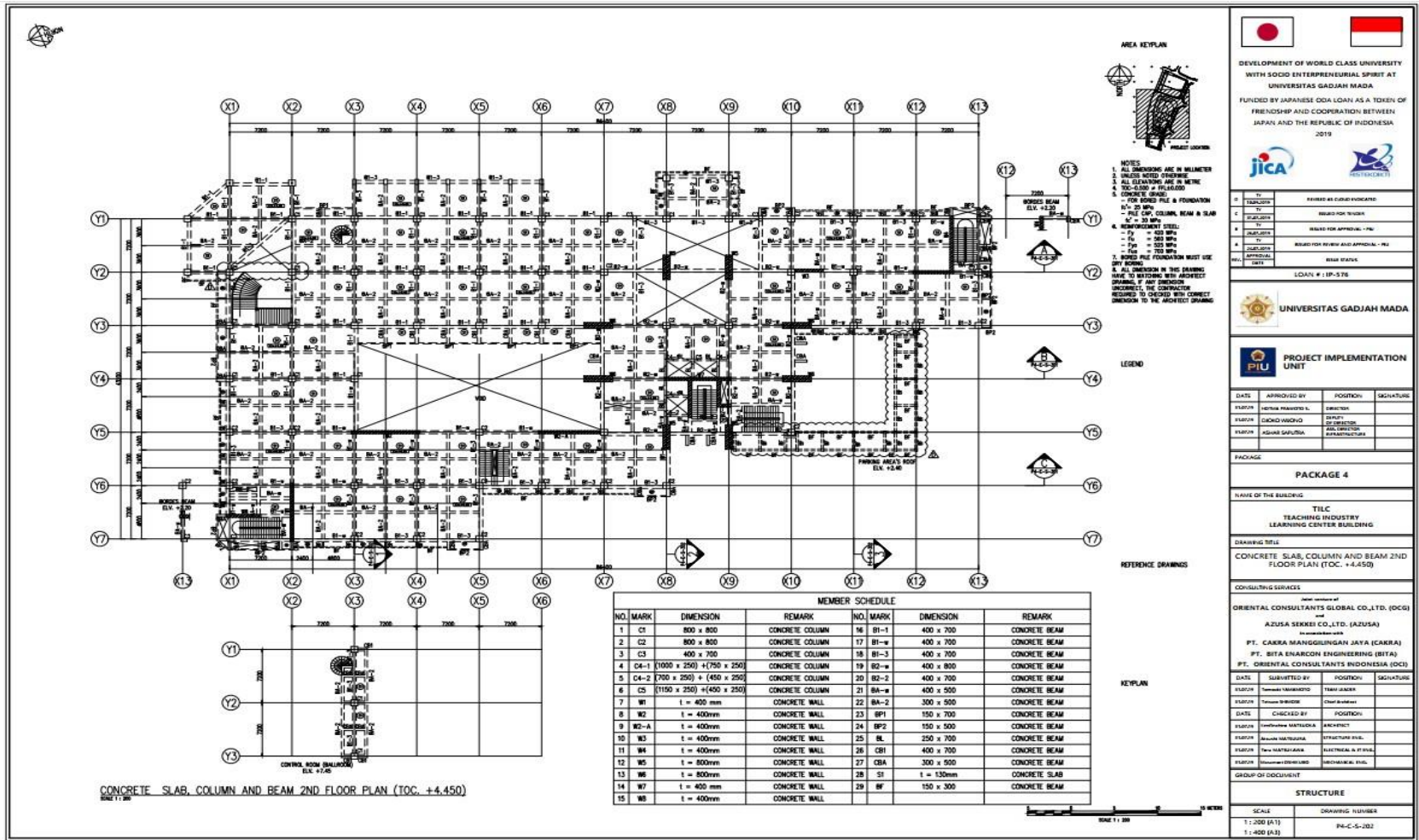
Sumber SNI 1726-2019 Pasal 7.2.2

Lampiran 7 Pemodelan Struktur Dinding Geser Model 1 dengan ETABS V18

Lampiran 8 Pemodelan Struktur Dinding Geser Model 2 dengan ETABS V18

Lampiran 9 Pemodelan Struktur Dinding Geser Model 3 dengan ETABS V18

Lampiran 11 Denah Bangunan Existing Lantai 2



DEVELOPMENT OF WORLD CLASS UNIVERSITY WITH SOCIO ENTREPRENEURIAL SPIRIT AT UNIVERSITAS GADJAH MADA

FUNDED BY JAPANESE ODA LOAN AS A TOKEN OF FRIENDSHIP AND COOPERATION BETWEEN JAPAN AND THE REPUBLIC OF INDONESIA 2019

LOAN # : IP-576

UNIVERSITAS GADJAH MADA

PROJECT IMPLEMENTATION UNIT

DATE	APPROVED BY	POSITION	SIGNATURE
	HERIKA PRATIWI S.	DIRECTOR	
	LOKESWARA WIDYANINGRAT	DEPUTY DIRECTOR	
	AGUSRI SUDIRMAN	MANAGEMENT ESTABLISHMENT	

PACKAGE 4

NAME OF THE BUILDING
TILC TEACHING IN INDUSTRY LEARNING CENTER BUILDING

DRAWING TITLE
CONCRETE SLAB, COLUMN AND BEAM 2ND FLOOR PLAN (TOC, +4.450)

CONSULTING SERVICES

ORIENTAL CONSULTANTS GLOBAL CO., LTD. (OCG) and AZUSA SEKISU CO., LTD. (AZUSA)

PT. CAKRA MANGGULINGAN JAYA (CAKRA)

PT. BITA ENRACON ENGINEERING (BITA)

PT. ORIENTAL CONSULTANTS INDONESIA (OCI)

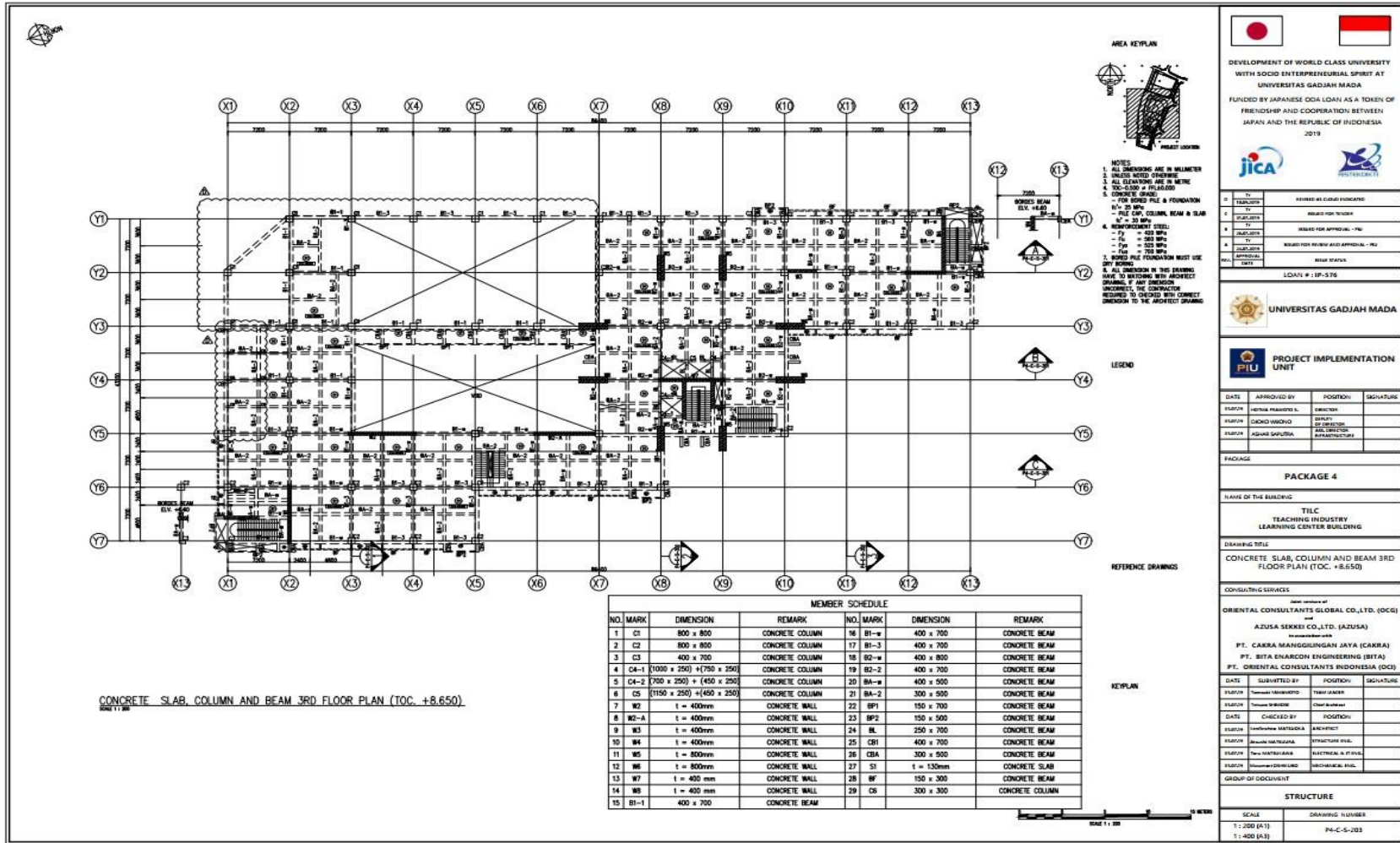
DATE	SUBMITTED BY	POSITION	SIGNATURE
	Yusuf Mulyono	TEAM LEADER	
	Yusuf Mulyono	Chief Architect	

DATE	CHECKED BY	POSITION
	Indahwati MATUDA	ARCHITECT
	Bejo Nugroho	STRUCTURE ENGR.
	Yusuf Mulyono	ELECTRICAL & PIPING
	Yusuf Mulyono	Mechanical ENGR.

GROUP OF DOCUMENT

STRUCTURE

Lampiran 12 Denah Bangunan Existing Lantai 3



DEVELOPMENT OF WORLD CLASS UNIVERSITY WITH SOCIO-ENTREPRENEURIAL SPIRIT AT UNIVERSITAS GADJAH MADA

FUNDED BY JAPANESE ODA LOAN AS A TOKEN OF FRIENDSHIP AND COOPERATION BETWEEN JAPAN AND THE REPUBLIC OF INDONESIA

2019

NO.	TITEL	REVISI	REVISI	REVISI	REVISI	REVISI	REVISI	REVISI	REVISI
1	REVISI	1	1	1	1	1	1	1	1
2	REVISI	2	2	2	2	2	2	2	2
3	REVISI	3	3	3	3	3	3	3	3
4	REVISI	4	4	4	4	4	4	4	4
5	REVISI	5	5	5	5	5	5	5	5
6	REVISI	6	6	6	6	6	6	6	6
7	REVISI	7	7	7	7	7	7	7	7
8	REVISI	8	8	8	8	8	8	8	8
9	REVISI	9	9	9	9	9	9	9	9
10	REVISI	10	10	10	10	10	10	10	10
11	REVISI	11	11	11	11	11	11	11	11
12	REVISI	12	12	12	12	12	12	12	12
13	REVISI	13	13	13	13	13	13	13	13
14	REVISI	14	14	14	14	14	14	14	14
15	REVISI	15	15	15	15	15	15	15	15
16	REVISI	16	16	16	16	16	16	16	16
17	REVISI	17	17	17	17	17	17	17	17
18	REVISI	18	18	18	18	18	18	18	18
19	REVISI	19	19	19	19	19	19	19	19
20	REVISI	20	20	20	20	20	20	20	20
21	REVISI	21	21	21	21	21	21	21	21
22	REVISI	22	22	22	22	22	22	22	22
23	REVISI	23	23	23	23	23	23	23	23
24	REVISI	24	24	24	24	24	24	24	24
25	REVISI	25	25	25	25	25	25	25	25
26	REVISI	26	26	26	26	26	26	26	26
27	REVISI	27	27	27	27	27	27	27	27
28	REVISI	28	28	28	28	28	28	28	28
29	REVISI	29	29	29	29	29	29	29	29
30	REVISI	30	30	30	30	30	30	30	30
31	REVISI	31	31	31	31	31	31	31	31
32	REVISI	32	32	32	32	32	32	32	32
33	REVISI	33	33	33	33	33	33	33	33
34	REVISI	34	34	34	34	34	34	34	34
35	REVISI	35	35	35	35	35	35	35	35
36	REVISI	36	36	36	36	36	36	36	36
37	REVISI	37	37	37	37	37	37	37	37
38	REVISI	38	38	38	38	38	38	38	38
39	REVISI	39	39	39	39	39	39	39	39
40	REVISI	40	40	40	40	40	40	40	40
41	REVISI	41	41	41	41	41	41	41	41
42	REVISI	42	42	42	42	42	42	42	42
43	REVISI	43	43	43	43	43	43	43	43
44	REVISI	44	44	44	44	44	44	44	44
45	REVISI	45	45	45	45	45	45	45	45
46	REVISI	46	46	46	46	46	46	46	46
47	REVISI	47	47	47	47	47	47	47	47
48	REVISI	48	48	48	48	48	48	48	48
49	REVISI	49	49	49	49	49	49	49	49
50	REVISI	50	50	50	50	50	50	50	50
51	REVISI	51	51	51	51	51	51	51	51
52	REVISI	52	52	52	52	52	52	52	52
53	REVISI	53	53	53	53	53	53	53	53
54	REVISI	54	54	54	54	54	54	54	54
55	REVISI	55	55	55	55	55	55	55	55
56	REVISI	56	56	56	56	56	56	56	56
57	REVISI	57	57	57	57	57	57	57	57
58	REVISI	58	58	58	58	58	58	58	58
59	REVISI	59	59	59	59	59	59	59	59
60	REVISI	60	60	60	60	60	60	60	60
61	REVISI	61	61	61	61	61	61	61	61
62	REVISI	62	62	62	62	62	62	62	62
63	REVISI	63	63	63	63	63	63	63	63
64	REVISI	64	64	64	64	64	64	64	64
65	REVISI	65	65	65	65	65	65	65	65
66	REVISI	66	66	66	66	66	66	66	66
67	REVISI	67	67	67	67	67	67	67	67
68	REVISI	68	68	68	68	68	68	68	68
69	REVISI	69	69	69	69	69	69	69	69
70	REVISI	70	70	70	70	70	70	70	70
71	REVISI	71	71	71	71	71	71	71	71
72	REVISI	72	72	72	72	72	72	72	72
73	REVISI	73	73	73	73	73	73	73	73
74	REVISI	74	74	74	74	74	74	74	74
75	REVISI	75	75	75	75	75	75	75	75
76	REVISI	76	76	76	76	76	76	76	76
77	REVISI	77	77	77	77	77	77	77	77
78	REVISI	78	78	78	78	78	78	78	78
79	REVISI	79	79	79	79	79	79	79	79
80	REVISI	80	80	80	80	80	80	80	80
81	REVISI	81	81	81	81	81	81	81	81
82	REVISI	82	82	82	82	82	82	82	82
83	REVISI	83	83	83	83	83	83	83	83
84	REVISI	84	84	84	84	84	84	84	84
85	REVISI	85	85	85	85	85	85	85	85
86	REVISI	86	86	86	86	86	86	86	86
87	REVISI	87	87	87	87	87	87	87	87
88	REVISI	88	88	88	88	88	88	88	88
89	REVISI	89	89	89	89	89	89	89	89
90	REVISI	90	90	90	90	90	90	90	90
91	REVISI	91	91	91	91	91	91	91	91
92	REVISI	92	92	92	92	92	92	92	92
93	REVISI	93	93	93	93	93	93	93	93
94	REVISI	94	94	94	94	94	94	94	94
95	REVISI	95	95	95	95	95	95	95	95
96	REVISI	96	96	96	96	96	96	96	96
97	REVISI	97	97	97	97	97	97	97	97
98	REVISI	98	98	98	98	98	98	98	98
99	REVISI	99	99	99	99	99	99	99	99
100	REVISI	100	100	100	100	100	100	100	100

CONSULTING SERVICES

ORIENTAL CONSULTANTS GLOBAL CO., LTD. (OCG) and AZUSA SEKKEI CO., LTD. (AZUSA)

PT. CAKRA MANGUNINGRAN JAYA (CAKRA)

PT. BITA ENARCON ENGINEERING (BITA)

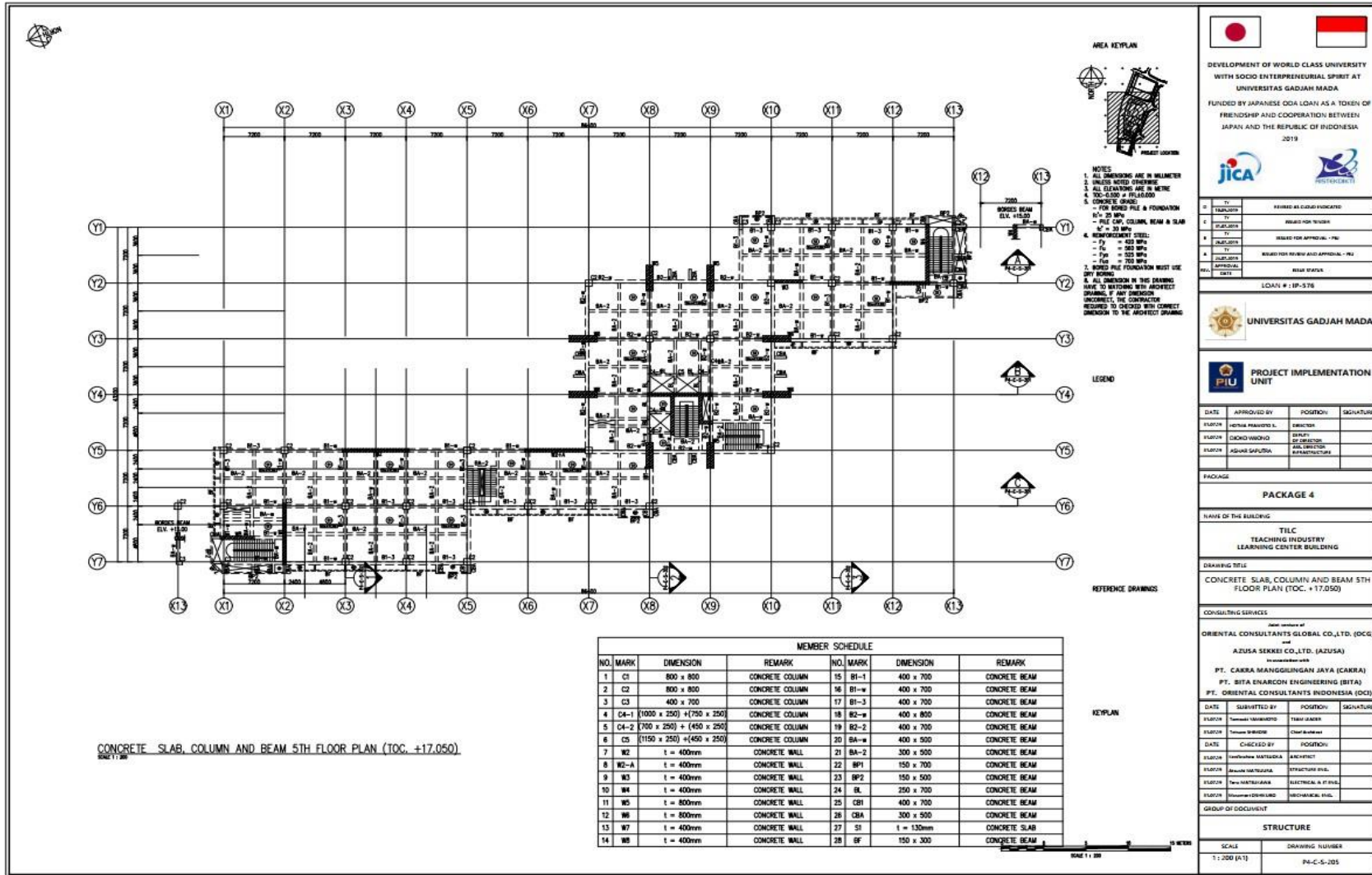
PT. ORIENTAL CONSULTANTS INDONESIA (OCI)

STRUCTURE

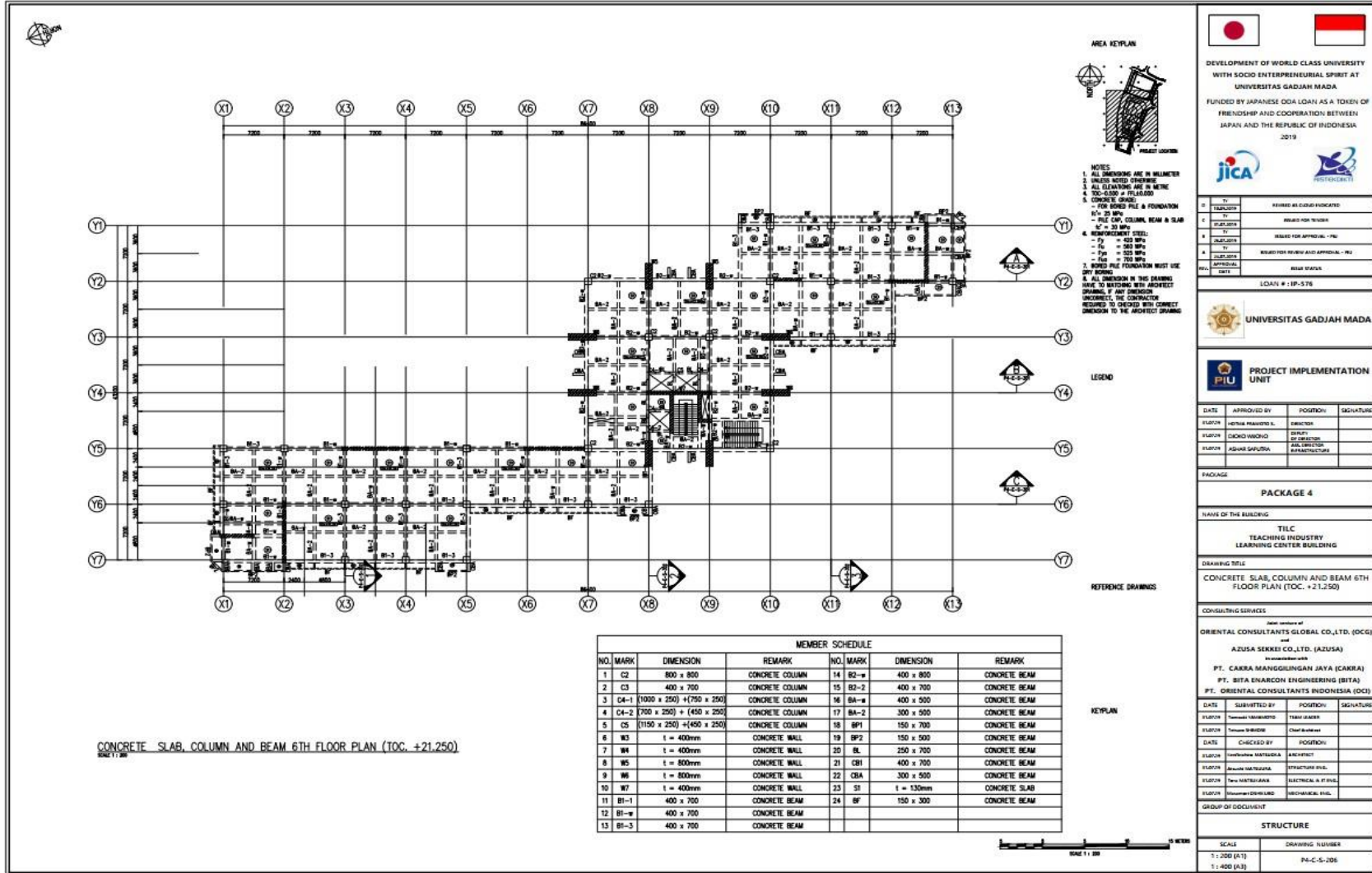
SCALE: 1:200 (A-1), 1:400 (A-3)

DRAWING NUMBER: PA-C-5-203

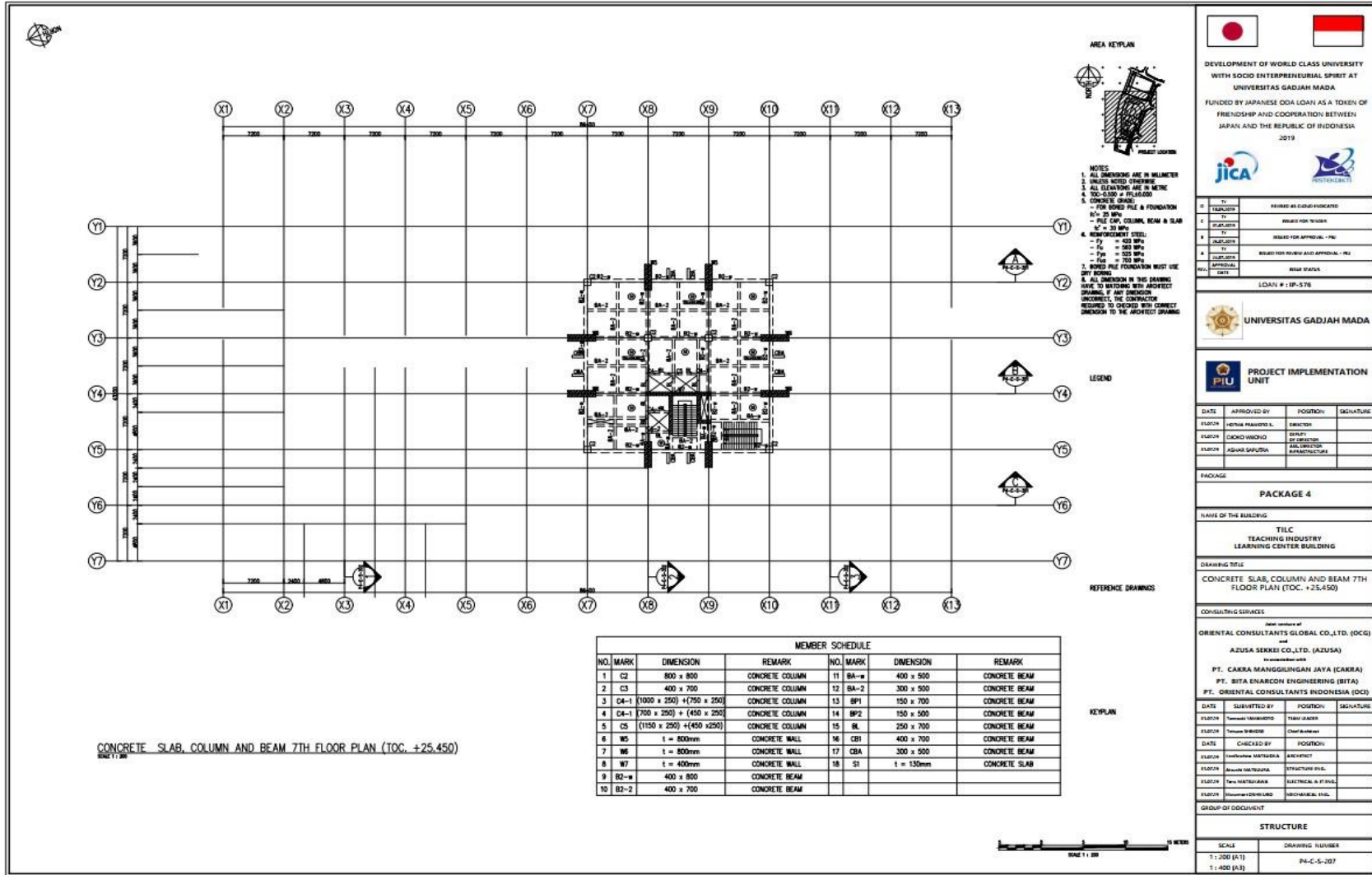
Lampiran 14 Denah Bangunan Existing Lantai 5



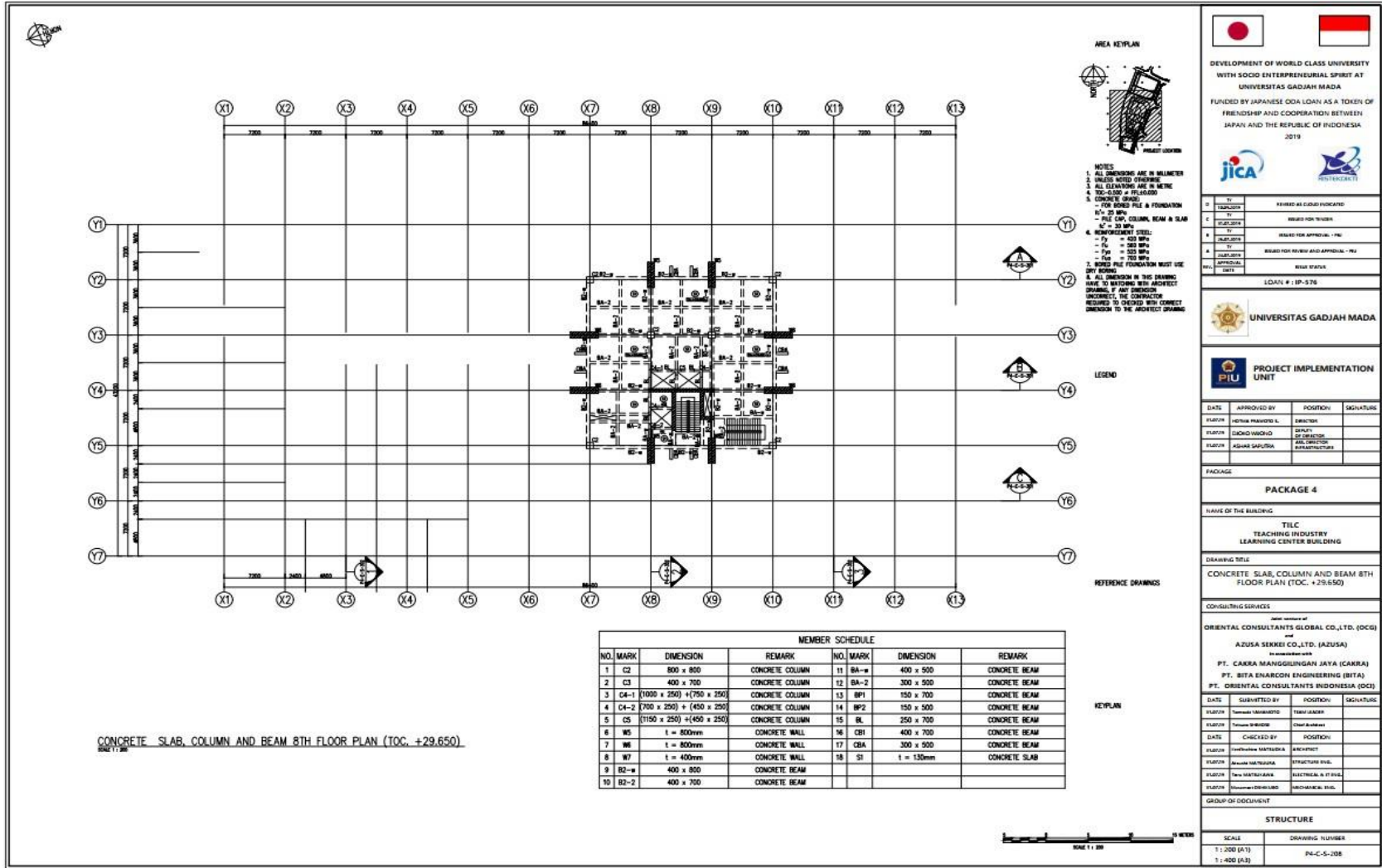
Lampiran 15 Denah Bangunan Existing Lantai 6



Lampiran 16 Denah Bangunan Existing Lantai 7



Lampiran 17 Denah Bangunan Existing Lantai 8



DEVELOPMENT OF WORLD CLASS UNIVERSITY WITH SOCIO-ENTREPRENEURIAL SPIRIT AT UNIVERSITAS GADJAH MADA
FUNDED BY JAPANESE ODA LOAN AS A TOKEN OF FRIENDSHIP AND COOPERATION BETWEEN JAPAN AND THE REPUBLIC OF INDONESIA 2019

NO.	BY	REVISION AS CADD INDICATED
1	INDONESIA	
2	IT	ISSUED FOR TENDER
3	INDONESIA	
4	JULY 2019	ISSUED FOR APPROVAL - PKI
5	IT	
6	AUGUST 2019	ISSUED FOR REVIEW AND APPROVAL - PKI
7	INDONESIA	
8	AUGUST 2019	ISSUED FOR REVIEW AND APPROVAL - PKI
9	INDONESIA	
10	AUGUST 2019	ISSUED FOR REVIEW AND APPROVAL - PKI
11	INDONESIA	
12	AUGUST 2019	ISSUED FOR REVIEW AND APPROVAL - PKI
13	INDONESIA	
14	AUGUST 2019	ISSUED FOR REVIEW AND APPROVAL - PKI
15	INDONESIA	
16	AUGUST 2019	ISSUED FOR REVIEW AND APPROVAL - PKI
17	INDONESIA	
18	AUGUST 2019	ISSUED FOR REVIEW AND APPROVAL - PKI
19	INDONESIA	
20	AUGUST 2019	ISSUED FOR REVIEW AND APPROVAL - PKI

LOAN # : 1P-376

UNIVERSITAS GADJAH MADA

PROJECT IMPLEMENTATION UNIT

DATE	APPROVED BY	POSITION	SIGNATURE
	INDONESIA	DIRECTOR	
	INDONESIA	DEPUTY DIRECTOR	
	INDONESIA	DEPUTY DIRECTOR	
	INDONESIA	DEPUTY DIRECTOR	

PACKAGE 4

NAME OF THE BUILDING
TILC
TEACHING INDUSTRY
LEARNING CENTER BUILDING

DRAWING TITLE
CONCRETE SLAB, COLUMN AND BEAM 8TH
FLOOR PLAN (T.O.C. +29.650)

CONSULTING SERVICES
General Consultant of
ORIENTAL CONSULTANTS GLOBAL CO., LTD. (OCG)
+
AZUSA SEKI CO., LTD. (AZUSA)
+
PT. BAKRA MANGGILUNGAN JAYA (CAKRA)
+
PT. BITA ENERCON ENGINEERING (BITA)
+
PT. ORIENTAL CONSULTANTS INDONESIA (OCI)

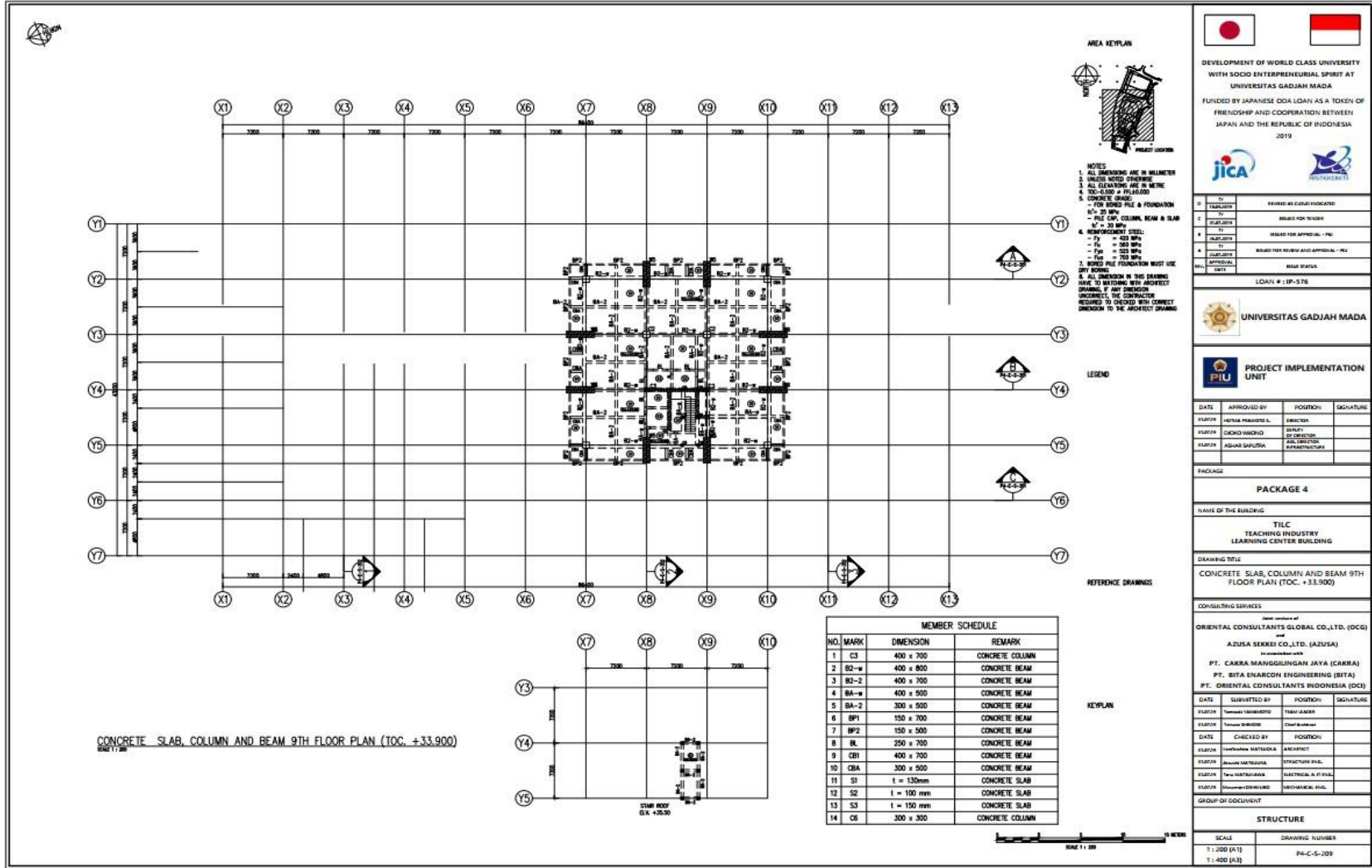
DATE	SUBMITTED BY	POSITION	SIGNATURE
	INDONESIA	TEAM LEADER	
	INDONESIA	Chief Architect	

DATE	CHECKED BY	POSITION
	INDONESIA	ARCHITECT
	INDONESIA	STRUCTURE ENG.
	INDONESIA	PRACTICAL & FIELD
	INDONESIA	MECHANICAL ENG.

GROUP OF DOCUMENT
STRUCTURE

SCALE	DRAWING NUMBER
1 : 200 (A1)	PK-C-5-338
1 : 400 (A3)	

Lampiran 18 Denah Bangunan Existing Lantai 9



DEVELOPMENT OF WORLD CLASS UNIVERSITY WITH SOCIO-ENTREPRENEURIAL SPIRIT AT UNIVERSITAS GADJAH MADA
FUNDED BY JAPANESE ODA LOAN AS A TOKEN OF FRIENDSHIP AND COOPERATION BETWEEN JAPAN AND THE REPUBLIC OF INDONESIA
2019

D	T1	REVIEWED AS CHECKED INDICATED	SIGNATURE	DATE
E	T1	REVIEWED FOR REVIEW	SIGNATURE	DATE
F	T1	REVIEWED FOR APPROVAL - PKI	SIGNATURE	DATE
G	T1	REVIEWED FOR REVIEW AND APPROVAL - PKI	SIGNATURE	DATE
H	T1	REVIEWED FOR APPROVAL	SIGNATURE	DATE

LOAN # : JP-576

UNIVERSITAS GADJAH MADA

PROJECT IMPLEMENTATION UNIT

DATE	APPROVED BY	POSITION	SIGNATURE

PACKAGE: **PACKAGE 4**

NAME OF THE BUILDING: **TILC TEACHING INDUSTRY LEARNING CENTER BUILDING**

DRAWING TITLE: **CONCRETE SLAB, COLUMN AND BEAM 9TH FLOOR PLAN (T.O.C. +33.900)**

CONSULTING SERVICES:

Member of Oriental Consultants Global Co., Ltd. (OCGI) and AZUSA SEKKEI CO., LTD. (AZUSA)

PT. CAKRA MANGGILUNGAN JAYA (CAKRA)
PT. BITA ENARGCON ENGINEERING (BITA)
PT. ORIENTAL CONSULTANTS INDONESIA (OCI)

DATE	SUBMITTED BY	POSITION	SIGNATURE

DATE	CHECKED BY	POSITION

DATE	DESIGNED BY	ARCHITECT

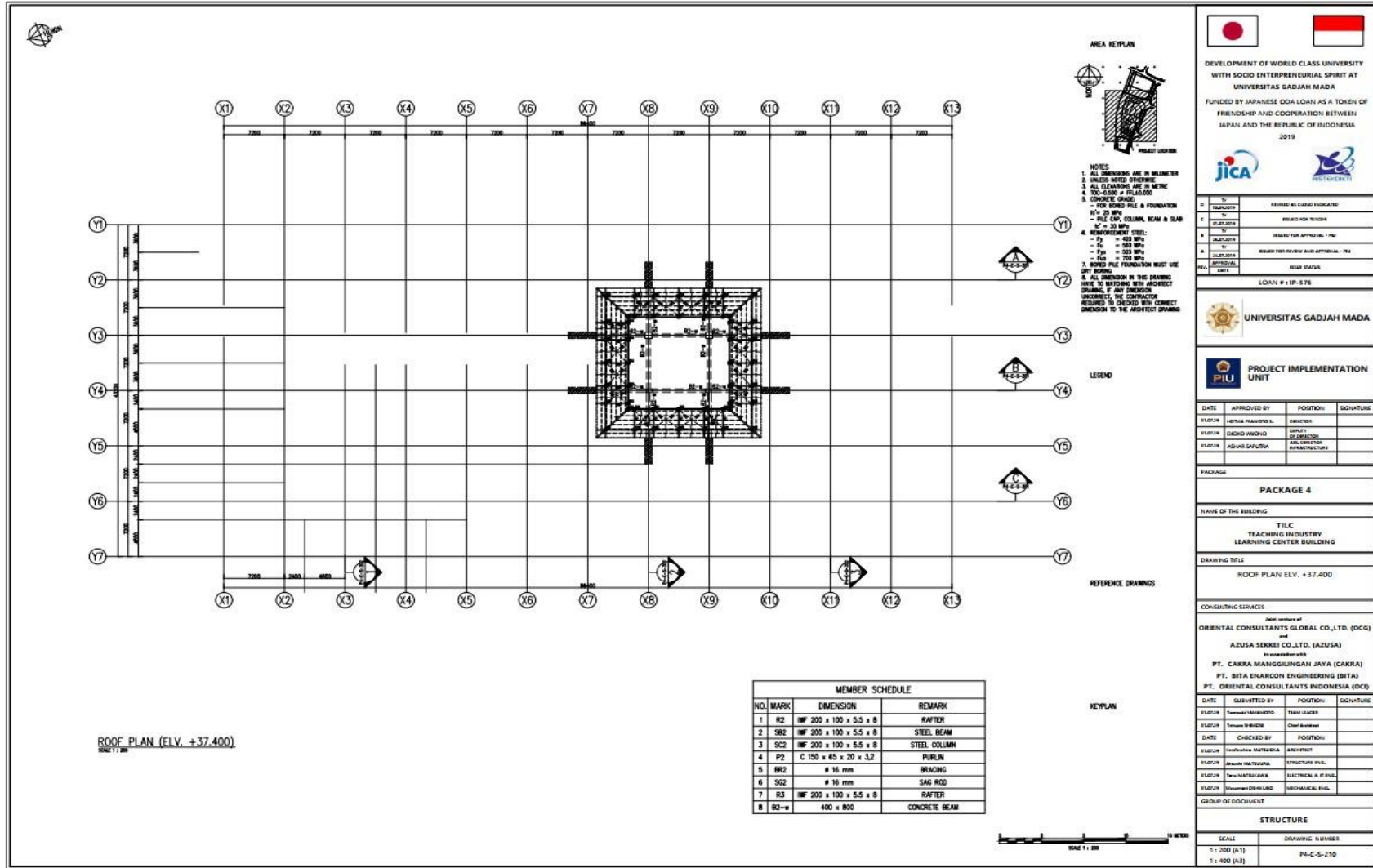
DATE	STRUCTURAL ENGINEER	STRUCTURAL FILE

DATE	MECHANICAL ENGINEER	MECHANICAL FILE

GROUP OF DOCUMENT

STRUCTURE	
SCALE	DRAWING NUMBER
1:200 (A1)	PK-C-5-109
1:400 (A3)	

Lampiran 19 Denah Bangunan Existing Lantai Atap



DEVELOPMENT OF WORLD CLASS UNIVERSITY WITH SOCIO ENTREPRENEURIAL SPIRIT AT UNIVERSITAS GADJAH MADA
 FUNDED BY JAPANESE ODA LOAN AS A TOKEN OF FRIENDSHIP AND COOPERATION BETWEEN JAPAN AND THE REPUBLIC OF INDONESIA 2019

NO.	TO	REVISION AS CORRECT INDICATED
1	TO	ISSUED FOR TENDER
2	TO	ISSUED FOR APPROVAL - PIU
3	TO	ISSUED FOR REVIEW AND APPROVAL - PIU
4	TO	ISSUED FOR REVIEW AND APPROVAL - PIU
5	TO	ISSUED FOR REVIEW AND APPROVAL - PIU
6	TO	ISSUED FOR REVIEW AND APPROVAL - PIU
7	TO	ISSUED FOR REVIEW AND APPROVAL - PIU
8	TO	ISSUED FOR REVIEW AND APPROVAL - PIU
9	TO	ISSUED FOR REVIEW AND APPROVAL - PIU
10	TO	ISSUED FOR REVIEW AND APPROVAL - PIU
11	TO	ISSUED FOR REVIEW AND APPROVAL - PIU
12	TO	ISSUED FOR REVIEW AND APPROVAL - PIU
13	TO	ISSUED FOR REVIEW AND APPROVAL - PIU
14	TO	ISSUED FOR REVIEW AND APPROVAL - PIU
15	TO	ISSUED FOR REVIEW AND APPROVAL - PIU
16	TO	ISSUED FOR REVIEW AND APPROVAL - PIU
17	TO	ISSUED FOR REVIEW AND APPROVAL - PIU
18	TO	ISSUED FOR REVIEW AND APPROVAL - PIU
19	TO	ISSUED FOR REVIEW AND APPROVAL - PIU
20	TO	ISSUED FOR REVIEW AND APPROVAL - PIU

LOAN # 11P-076

UNIVERSITAS GADJAH MADA

PROJECT IMPLEMENTATION UNIT

DATE	APPROVED BY	POSITION	SIGNATURE
	HETIKA PRASETIYO S.	DIRECTOR	
	DICKO WISNOJO	DEPUTY DIRECTOR	
	AGUNG SAPUTRA	MANAGER	

PACKAGE

PACKAGE 4

NAME OF THE BUILDING

TILC TEACHING INDUSTRY LEARNING CENTER BUILDING

DRAWING TITLE

ROOF PLAN ELV. +37.400

CONSULTING SERVICES

Joint venture of
ORIENTAL CONSULTANTS GLOBAL CO.,LTD. (OCG)
 and
AZUSA SEKKI CO.,LTD. (AZUSA)
 PT. CAKRA MANGOLINGAN JAYA (CAKRA)
 PT. BITA ENARCON ENGINEERING (BITA)
 PT. ORIENTAL CONSULTANTS INDONESIA (OCI)

DATE	SUBMITTED BY	POSITION	SIGNATURE
	Yusuf Hidayatullo	TEAM LEADER	
	Yusuf Hidayatullo	Chief Architect	
		CHECKED BY	
	Yusuf Hidayatullo	ARCHITECT	
	Yusuf Hidayatullo	STRUCTURE ENG.	
	Yusuf Hidayatullo	ELECTRICAL & IT ENG.	
	Yusuf Hidayatullo	MECHANICAL ENG.	

GROUP OF DOCUMENT

STRUCTURE

SCALE	DRAWING NUMBER
1 : 200 (A1)	PI-C-5-210
1 : 400 (A3)	

Lampiran 20 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	Ketidakteraturan 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

Lanjutan Lampiran 20 Konsekuensi Ketidakberaturan

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