

**TUGAS AKHIR**

**KAJIAN PERBANDINGAN RESPON STRUKTUR  
BANGUNAN BERTINGKAT DENGAN VARIASI  
TATA LETAK DINDING GESER AKIBAT BEBAN  
GEMPA DINAMIK RESPON SPEKTRUM  
(*STUDY OF COMPARISON BETWEEN MULTI-  
STOREY BUILDING STRUCTURE RESPONSE WITH  
VARIATION OF SHEARWALL PLACEMENT DUE TO  
SPEKTRUM RESPONSE DYNAMIC EARTHQUAKE  
LOAD*)**

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



**Amalia Nur Jannah  
12511220**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
2018**

**TUGAS AKHIR**

**KAJIAN PERBANDINGAN RESPON STRUKTUR  
BANGUNAN BERTINGKAT DENGAN VARIASI  
TATA LETAK DINDING GESER AKIBAT BEBAN  
GEMPA DINAMIK RESPON SPEKTRUM  
(*STUDY OF COMPARISON BETWEEN MULTI-  
STOREY BUILDING STRUCTURE RESPONSE WITH  
VARIATION OF SHEARWALL PLACEMENT DUE TO  
SPEKTRUM RESPONSE DYNAMIC EARTHQUAKE  
LOAD*)**

Disusun oleh :

**Amalia Nur Jannah  
12 511 220**

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



oleh Dewan Penguji

Pembimbing

**Yunalia Muntafi, S.T., M.T.**  
NIK : 095110101

Penguji I

**Prof. Jr. Sarwidi, MSCE, Ph.D IP-U**  
NIK : 845110401

Penguji II

**Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng.**  
NIK : 155111306

Mengesahkan,  
Ketua Program Studi Teknik Sipil

  
**Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D.**  
NIK : 955110103

## PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk penyelesaian program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila dikemudian 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, 28 Juni 2018

Yang membuat pernyataan,



Amalia Nur Jannah

(12511220)

## DEDIKASI

*Bismillahirrohmanirrohim*

Dengan Rahmat Allah SWT yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang atas segala Rahmat-Nya saya dapat menyelesaikan tugas akhir ini, dengan segala ucapan terima kasih saya persembahkan tugas akhir ini untuk:

1. Bapak Sapto Giri dan Ibu Siti Aisyah selaku orang tua saya yang telah mendukung saya dalam hal apapun, Rosyidudin S Rijal, Fathimah Ummu dan Eksa Riantika kakak-kakak saya tersayang yang selalu memberikan motivasi, adik-adik saya Ahmad Hasan dan Alma Multi yang ikut serta memberi supportnya. Terima kasih sebanyak-banyaknya atas kasih sayang yang teramat sangat besar.
2. Seluruh keluarga saya yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu. Terimakasih untuk kebahagiaan yang kalian berikan, *i'm beyond grateful*.
3. Teman-teman Teknik Sipil 2012 Galuh, Reza, Ongki, Asadul, Dio yang telah memberikan arahan dalam mengerjakan naskah tugas akhir ini dan teman-teman angkatan yang tidak dapat saya sebutkan namanya satu per satu, terimakasih atas saran-saran yang kalian berikan.
4. Terima kasih juga kepada teman saya Nurul Mentari, Yolanda Pradita dan Fauzan Satrianugraha atas dukungan dan semangat yang kalian berikan kepada saya dan tak terlupakan teman-teman kost Tri, Wulan, Desi dan Via atas dukungan yang kalian berikan.

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul *Kajian Perbandingan Respon Struktur Bangunan Bertingkat Dengan Variasi Tata Letak Dinding Geser Akibat Beban Gempa Dinamik Respon Spektrum*. Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini banyak hambatan yang dihadapi penulis, namun berkat saran, kritik, serta dorongan semangat dari berbagai pihak, Alhamdulillah Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Berkaitan dengan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada:

1. Ibu Yunalia Muntafi, S.T.,M.T. selaku Dosen Pembimbing,
2. Bapak Prof. Ir. Sarwidi, MSCE, Ph.D IP-U selaku Penguji I,
3. Ibu Novi Rahmayanti, S.T., M.Eng.selaku Penguji II, dan
4. Bapak dan Ibu penulis yang telah berkorban begitu banyak baik material maupun spiritual hingga Tugas Akhir ini.

Akhirnya Penulis berharap agar Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pihak yang membacanya.

Yogyakarta, 28 Juni 2018

Penulis,

Amalia Nur Jannah

12511220

## DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Halaman Pengesahan	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
DEDIKASI	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xvii
ABSTRAK	xx
<i>ABSTRACT</i>	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Masalah	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Sistem Struktur	5
2.2 Dinding Geser	5
2.3 Penelitian Terdahulu	6
2.4 Keaslian Penelitian	15
BAB III LANDASAN TEORI	16
3.1 Prinsip Perencanaan Bangunan Tahan Gempa	16
3.2 Prinsip <i>Shear Building</i>	17
3.2.1 Penempatan Dinding Geser	19
3.2.2 Tipe dan Sistem Penempatan Dinding Geser	22
3.2.3 Konsep Perencanaan Dimensi Dinding Geser	24

3.3 Perilaku Goyangan Struktur Utama	25
3.3.1 Perilaku Goyangan Portal Terbuka	25
3.3.2 Perilaku Goyangan Struktur Dinding ( <i>Structure Wall</i> )	26
3.4 Elemen Struktur Dinding Geser	27
3.4.1 Perilaku Struktur Rangka Kaku ( <i>Rigid Frame</i> )	29
3.4.2 Perilaku Dinding Geser ( <i>Shearwall/Cantilever Wall</i> )	30
3.4.3 Perilaku Struktur Rangka-Dinding Geser ( <i>Dual System</i> )	31
3.5 Jenis Pembebanan	32
3.5.1 Beban Mati	32
3.5.2 Beban Hidup	34
3.5.3 Beban Gempa	36
3.6 Analisis Dinamik	39
3.6.1 Analisis Ragam Respons Spektrum	39
3.7 Kekakuan	47
3.7.1 Kekakuan Kolom Jepit-jepit	47
3.7.2 Kekakuan Menurut Cara Muto (1975)	50
3.7.3 Kekakuan dengan Cara Matrik	52
3.7.4 Kekakuan Struktur Dinding ( <i>Structural Wall</i> )	53
3.8 Bangunan Gedung Beraturan dan Tidak Beraturan	54
3.9 Simpangan Antar Lantai	58
<b>BAB IV METODOLOGI PENELITIAN</b>	62
4.1 Umum	62
4.2 Data Penelitian	62
4.2.1 Data Struktur	62
4.2.2 Model Struktur	62
4.3 Tahapan Penelitian	64
<b>BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN</b>	67
5.1 Perhitungan Estimasi Dimensi Struktur	67
5.1.1 Estimasi Dimensi Balok	67
5.1.2 Estimasi Dimensi Kolom	68
5.1.3 Estimasi Dimensi Pelat	69
5.2 Perhitungan Dimensi Dinding Geser dan <i>Boundary Element</i>	72

5.2.1	Model Dinding Geser	72
5.3	Perhitungan Pembebanan Struktur	74
5.3.1	Bahan/Material	74
5.3.2	Beban Mati	74
5.3.3	Beban Hidup	75
5.3.4	Beban Dinding	75
5.3.5	Beban Gempa Respons Spektrum	77
5.3.6	Gaya Geser Dasar ( <i>Base Shear</i> )	100
5.3.7	Mengecek Ketidakberaturan Struktur	101
5.3.8	Simpangan Antar Lantai	106
5.3.9	Kontrol Partisipasi Massa	117
5.4	<i>Drift Ratio</i>	119
5.5	<i>Displacement</i>	122
5.6	Pola Goyangan Pada Struktur	124
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		130
6.1	Kesimpulan	130
6.2	Saran	131
DAFTAR PUSTAKA		132
LAMPIRAN		134



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang akan dilakukan	10
Tabel 3.1	Berat Sendiri Bahan Bangunan	33
Tabel 3.2	Berat Sendiri Komponen Gedung	34
Tabel 3.3	Beban Hidup pada Lantai Gedung	35
Tabel 3.4	Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung untuk Beban Gempa	36
Tabel 3.5	Faktor Keutamaan Gempa	38
Tabel 3.6	Faktor $R$ , $C_d$ , $\Omega_0$ untuk Sistem Penahan Beban Lateral	38
Tabel 3.7	Koefisien Situs, $F_a$	43
Tabel 3.8	Koefisien Situs, $F_v$	43
Tabel 3.9	Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode Pendek	45
Tabel 3.10	Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode Pendek 1 Detik	45
Tabel 3.11	Nilai Parameter Periode Pendekatan $C_t$ dan $x$	46
Tabel 3.12	Koefisien untuk Batas Atas pada Periode yang Dihitung	46
Tabel 3.13	Ketidakteraturan Horisontal pada Struktur	55
Tabel 3.14	Ketidakteraturan Vertikal pada Struktur	56
Tabel 3.15	Simpangan Antar Lantai Ijin. $\Delta a^{a,b}$	60
Tabel 5.1	Hasil Estimasi Ukuran Balok	68
Tabel 5.2	Hasil Estimasi Ukuran Kolom	69
Tabel 5.3	Hasil Estimasi Ukuran Pelat	72
Tabel 5.4	Spektrum Respon Desain	79
Tabel 5.5	Berat Total Struktur	85
Tabel 5.6	Gaya Horisontal Tingkat Struktur Tanpa <i>Shearwall</i>	87
Tabel 5.7	Gaya Horisontal Tingkat Dengan Struktur <i>Shearwall</i> Model 1	88
Tabel 5.8	Gaya Horisontal Tingkat Dengan Struktur <i>Shearwall</i> Model 2	88
Tabel 5.9	Gaya Horisontal Tingkat dengan Struktur <i>Shearwall</i> Model 3	89

Tabel 5.10	Nilai Kekakuan Arah y Struktur Tanpa <i>Shearwall</i>	93
Tabel 5.11	Nilai Kekakuan Arah x Struktur Tanpa <i>Shearwall</i>	94
Tabel 5.12	Nilai Kekakuan Arah y Struktur <i>Shearwall</i> Model 1	94
Tabel 5.13	Nilai Kekakuan Arah x Struktur <i>Shearwall</i> Model 1	95
Tabel 5.14	Nilai Kekakuan Arah y Struktur <i>Shearwall</i> Model 2	96
Tabel 5.15	Nilai Kekakuan Arah x Struktur <i>Shearwall</i> Model 2	97
Tabel 5.16	Nilai Kekakuan Arah y Struktur <i>Shearwall</i> Model 3	97
Tabel 5.17	Nilai Kekakuan Arah x Struktur <i>Shearwall</i> Model 3	98
Tabel 5.18	Nilai Kekakuan Cara Matrik Struktur Tanpa <i>Shearwall</i>	99
Tabel 5.19	Nilai Kekakuan Cara Matrik Struktur <i>Shearwall</i> Model 1	99
Tabel 5.20	Nilai Kekakuan Cara Matrik Struktur <i>Shearwall</i> Model 2	100
Tabel 5.21	Nilai Kekakuan Cara Matrik Struktur <i>Shearwall</i> Model 3	100
Tabel 5.22	Gaya Geser Dasar ( <i>Base Shear</i> )	101
Tabel 5.23	Pemeriksaan Pengaruh Torsi Arah x Struktur Tanpa <i>Shearwall</i>	102
Tabel 5.24	Pemeriksaan Pengaruh Torsi Arah y Struktur Tanpa <i>Shearwall</i>	103
Tabel 5.25	Pemeriksaan Pengaruh Torsi Arah x Struktur <i>Shearwall</i> Model 1	103
Tabel 5.26	Pemeriksaan Pengaruh Torsi Arah y Struktur <i>Shearwall</i> Model 1	104
Tabel 5.27	Pemeriksaan Pengaruh Torsi Arah x Struktur <i>Shearwall</i> Model 2	104
Tabel 5.28	Pemeriksaan Pengaruh Torsi Arah y Struktur <i>Shearwall</i> Model 2	105
Tabel 5.29	Pemeriksaan Pengaruh Torsi Arah x Struktur <i>Shearwall</i> Model 3	105
Tabel 5.30	Pemeriksaan Pengaruh Torsi Arah y Struktur <i>Shearwall</i> Model 3	106
Tabel 5.31	Simpangan Antar Lantai Desain yang Terjadi Terhadap Simpangan Antar Lantai Ijin Arah x untuk Struktur Tanpa <i>Shearwall</i>	108
Tabel 5.32	Simpangan Antar Lantai Desain yang Terjadi Terhadap Simpangan Antar Lantai Ijin Arah y untuk Struktur Tanpa <i>Shearwall</i>	109
Tabel 5.33	Simpangan Antar Lantai Desain yang Terjadi Terhadap Simpangan Antar Lantai Ijin Arah x untuk Struktur <i>Shearwall</i> Model 1	110
Tabel 5.34	Simpangan Antar Lantai Desain yang Terjadi Terhadap Simpangan Antar Lantai Ijin Arah y untuk Struktur <i>Shearwall</i> Model 1	111
Tabel 5.35	Simpangan Antar Lantai Desain yang Terjadi Terhadap Simpangan Antar Lantai Ijin Arah x untuk Struktur <i>Shearwall</i> Model 2	112

Tabel 5.36	Simpangan Antar Lantai Desain yang Terjadi Terhadap Simpangan Antar Lantai Ijin Arah y untuk Struktur <i>Shearwall</i> Model 2	113
Tabel 5.37	Simpangan Antar Lantai Desain yang Terjadi Terhadap Simpangan Antar Lantai Ijin Arah x untuk Struktur <i>Shearwall</i> Model 3	114
Tabel 5.38	Simpangan Antar Lantai Desain yang Terjadi Terhadap Simpangan Antar Lantai Ijin Arah y untuk Struktur <i>Shearwall</i> Model 3	115
Tabel 5.39	Hasil <i>Modal Participating Mass Rations</i> Struktur Tanpa <i>Shearwall</i>	117
Tabel 5.40	Hasil <i>Modal Participating Mass Rations</i> Struktur <i>Shearwall</i> Model 1	118
Tabel 5.41	Hasil <i>Modal Participating Mass Rations</i> Struktur <i>Shearwall</i> Model 2	118
Tabel 5.42	Hasil <i>Modal Participating Mass Rations</i> Struktur <i>Shearwall</i> Model 3	119
Tabel 5.43	Nilai <i>Drift Ratio</i> Akibat Beban Dinamik Respons Spektrum	119
Tabel 5.44	Presentase Perbandingan <i>Drift Ratio</i> Akibat Beban Gempa Respons Spektrum	121
Tabel 5.45	Nilai <i>Displacement Joint</i> 1 Akibat Gempa Respons Spektrum	123

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Perilaku Sistem Gabungan Penahan Gaya Lateral	6
Gambar 2.2	Penempatan Dinding Geser Penelitian oleh Windah R.S	7
Gambar 2.3	Penempatan Dinding Geser Penelitian oleh Lilik Fauziah dkk	8
Gambar 2.4	Penempatan Dinding Geser Penelitian oleh Hasan dan Astria	9
Gambar 3.1	Pola Goyangan Struktur Bertingkat Banyak	18
Gambar 3.2	Dinding Geser Mengelilingi Lift Atau Tangga	20
Gambar 3.3	Dinding Geser Melintang Bangunan	20
Gambar 3.4	Dinding Geser Menerima Gaya Lateral $V_u$	21
Gambar 3.5	Beberapa Tipe Dinding Geser	22
Gambar 3.6	Sistem Penempatan Dinding Geser	24
Gambar 3.7	Dimensi Minimum Dinding Geser	24
Gambar 3.8	Hubungan Antara $b_c$ dan $\mu_\Delta$	25
Gambar 3.9	Pola Simpangan pada Portal	26
Gambar 3.10	Letak dan Pola Goyangan Struktur Dinding ( <i>Structural Walls</i> )	27
Gambar 3.11	<i>Shearwall</i> Berdasarkan Letak dan Fungsinya	28
Gambar 3.12	Respons Lenturan Balok dan Kolom	29
Gambar 3.13	Simpangan pada Struktur Rangka Kaku	30
Gambar 3.14	Superimpos <i>Mode</i> Individu dari Deformasi	32
Gambar 3.15	$S_s$ , Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget ( $MCRE_R$ ), Kelas Situs SB	40
Gambar 3.16	$S_1$ , Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget ( $MCE_R$ ), Kelas Situs SB	41
Gambar 3.17	$C_{RS}$ , Koefisien Risiko Terpetakan, Periode Respons Spektral 0,2 detik	41
Gambar 3.18	$C_{R1}$ , Koefisien Risiko Terpetakan, Periode Respons Spektral 1 detik	42
Gambar 3.19	Spektrum Respons Desain	44
Gambar 3.20	Kekakuan Kolom Jepit-jepit dan Jepit-sendi	48
Gambar 3.21	Pegas Paralel dan Pegas Seri	49

Gambar 3.22	Beberapa Kondisi Pengekangan Kolom oleh Balok-balok	51
Gambar 3.23	Model Struktur Bangunan Gedung 3 Lantai	52
Gambar 3.24	Struktur Dinding dengan Potongan	54
Gambar 3.25	Faktor Pembesaran Torsi, $A_x$	58
Gambar 3.26	Penentuan Simpangan Antar Lantai	59
Gambar 4.1	Pemodelan 3D Struktur Tanpa Dinding Geser	63
Gambar 4.2	Denah Struktur Tanpa Dinding Geser (TS)	63
Gambar 4.3	Denah Struktur Dengan Dinding Geser Model 1 (SW1)	63
Gambar 4.4	Denah Struktur Dengan Dinding Geser Model 2 (SW2)	64
Gambar 4.5	Denah Struktur Dengan Dinding Geser Model 3 (SW3)	64
Gambar 4.6	Bagan Tahapan Penelitian	65
Gambar 4.7	Lanjutan Bagan Tahapan Penelitian	66
Gambar 5.1	Denah Estimasi Balok	67
Gambar 5.2	Luasan Kolom	68
Gambar 5.3	Denah Estimasi Kolom	69
Gambar 5.4	Bagian Slab Yang Disertakan Dengan Balok	70
Gambar 5.5	Penampang Balok B1	70
Gambar 5.6	Penampang Balok B2	71
Gambar 5.7	<i>Shearwall</i> Model 1	73
Gambar 5.8	<i>Shearwall</i> Model 2	73
Gambar 5.9	<i>Shearwall</i> Model 3	74
Gambar 5.10	Beban Dinding pada Portal 1	76
Gambar 5.11	Beban Dinding pada Portal A	77
Gambar 5.12	Grafik Respon Spektrum Desain Struktur 10 Tingkat	79
Gambar 5.13	Perbandingan Periode Fundamental Struktur Struktur Tanpa <i>Shearwall</i> (T)	80
Gambar 5.14	Perbandingan Periode Fundamental Struktur <i>Shearwall</i> Model 1 (T)	81
Gambar 5.15	Perbandingan Periode Fundamental Struktur <i>Shearwall</i> Model 2 (T)	82
Gambar 5.16	Perbandingan Periode Fundamental Struktur <i>Shearwall</i> Model 3 (T)	83

Gambar 5.17	Kekakuan pada Portal Arah x	89
Gambar 5.18	Kekakuan pada Portal Arah y	90
Gambar 5.19	Titik <i>Joint</i> yang Ditinjau	102
Gambar 5.20	Simpangan Antar Lantai Desain yang Terjadi Terhadap Simpangan Antar Lantai Ijin Arah x untuk Struktur Tanpa <i>Shearwall</i>	108
Gambar 5.21	Simpangan Antar Lantai Desain yang Terjadi Terhadap Simpangan Antar Lantai Ijin Arah y untuk Struktur Tanpa <i>Shearwall</i>	109
Gambar 5.22	Simpangan Antar Lantai Desain yang Terjadi Terhadap Simpangan Antar Lantai Ijin Arah x untuk Struktur <i>Shearwall</i> Model 1	110
Gambar 5.23	Simpangan Antar Lantai Desain yang Terjadi Terhadap Simpangan Antar Lantai Ijin Arah y untuk Struktur <i>Shearwall</i> Model 1	111
Gambar 5.24	Simpangan Antar Lantai Desain yang Terjadi Terhadap Simpangan Antar Lantai Ijin Arah x untuk Struktur <i>Shearwall</i> Model 2	112
Gambar 5.25	Simpangan Antar Lantai Desain yang Terjadi Terhadap Simpangan Antar Lantai Ijin Arah y untuk Struktur <i>Shearwall</i> Model 2	113
Gambar 5.26	Simpangan Antar Lantai Desain yang Terjadi Terhadap Simpangan Antar Lantai Ijin Arah x untuk Struktur <i>Shearwall</i> Model 3	114
Gambar 5.27	Simpangan Antar Lantai Desain yang Terjadi Terhadap Simpangan Antar Lantai Ijin Arah y untuk Struktur <i>Shearwall</i> Model 3	115
Gambar 5.28	Grafik Nilai Perbandingan Simpangan Antar Lantai Desain Arah x dengan Analisis Respons Spektrum	116
Gambar 5.29	Grafik Nilai Perbandingan Simpangan Antar Lantai Desain Arah y dengan Analisis Respons Spektrum	116
Gambar 5.30	Nilai <i>Drift Ratio</i> Akibat Beban Gempa Dinamik Respons Spektrum Arah x	120
Gambar 5.31	Nilai <i>Drift Ratio</i> Akibat Beban Gempa Dinamik Respons Spektrum Arah y	120
Gambar 5.32	<i>Joint</i> 1 portal A	122
Gambar 5.33	Nilai <i>Displacement Joint</i> 1 Arah x Akibat Gempa Respons Spektrum	123
Gambar 5.34	Nilai <i>Displacement Joint</i> 1 Arah y Akibat Gempa Respons Spektrum	124

Gambar 5.35	Pola Goyangan Struktur Tanpa <i>Shearwall</i>	125
Gambar 5.36	Pola Goyangan Struktur <i>Shearwall</i> Model 1	126
Gambar 5.37	Pola Goyangan Struktur <i>Shearwall</i> Model 2	127
Gambar 5.38	Pola Goyangan Struktur <i>Shearwall</i> Model 3	128

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Denah Balok	135
Lampiran 2	Denah Kolom	142
Lampiran 3	Denah Pelat	144
Lampiran 4	Struktur Tanpa Dinding Geser	146
Lampiran 5	Struktur dengan Dinding Geser Model 1	148
Lampiran 6	Struktur dengan Dinding Geser Model 2	150
Lampiran 7	Struktur dengan Dinding Geser Model 3	152
Lampiran 8	Beban Dinding	154
Lampiran 9	Grafik Nilai Perbandingan Simpangan Antar Lantai Desain Arah x dengan Analisis Respons Spektrum	155
Lampiran 10	Grafik Nilai Perbandingan Simpangan Antar Lantai Desain Arah y dengan Analisis Respons Spektrum	155
Lampiran 11	Grafik Nilai <i>Drift Ratio</i> Akibat Beban Gempa Dinamik Respons Spektrum Arah x	156
Lampiran 12	Grafik Nilai <i>Drift Ratio</i> Akibat Beban Gempa Dinamik Respons Spektrum Arah y	156
Lampiran 13	<i>Displacement Joint</i> 1 Portal A	157
Lampiran 14	Grafik Nilai <i>Displacement Joint</i> 1 Arah x Akibat Gempa Respons Spektrum	158
Lampiran 15	Grafik Nilai <i>Displacement Joint</i> 1 Arah y Akibat Gempa Respons Spektrum	158
Lampiran 16	Pola Goyangan Struktur Tanpa <i>Shearwall</i> Akibat Gempa Respons Spektrum	159
Lampiran 17	Pola Goyangan Struktur <i>Shearwall</i> Model 1 Akibat Gempa Respons Spektrum	160
Lampiran 18	Pola Goyangan Struktur <i>Shearwall</i> Model 2 Akibat Gempa Respons Spektrum	161
Lampiran 19	Pola Goyangan Struktur <i>Shearwall</i> Model 3 Akibat Gempa Respons Spektrum	162



## DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

$A_g$	= luas bruto penampang beton
$A_r$	= rasio aspek dinding
$A_{wb}$	= luasan <i>boundary element</i>
$b_c$	= lebar keseluruhan kolom, lebar kritis dinding, mm
$b_w$	= lebar ketebalan dinding, mm
$Cd$	= faktor implifikasi defleksi
$C_m$	= koefisien kekakuan Muto
$C_{RS}$	= nilai terpetta koefisien risiko spesifik situs pada perioda pendek
$C_{RI}$	= nilai terpetta koefisien risiko spesifik situs pada perioda 1 detik
$C_s$	= koefisien respons gempa
$C_{VX}$	= faktor distribusi vertikal
$dx$	= simpangan horisontal arah x
$dy$	= simpangan horizontal arah y
$f'c$	= mutu beton
$F_a$	= koefisien situs untuk perioda pendek (pada perioda 0,2 detik)
$F_{PGA}$	= koefisien situs untuk PGA
$F_V$	= koefisien situs untuk perioda panjang (pada perioda 1 detik)
$f_y$	= mutu baja
$h_n$	= ketinggian struktur, m
$h_{sx}$	= tinggi tingkat di bawah tingkat x
$h_w$	= tinggi total dinding dari dasar ke atas
$I_e$	= faktor keutamaan
$k$	= eksponen yang terkait dengan perioda struktur
$K$	= kekakuan
$K_f$	= kekakuan kolom jepit-jepit
$K_m$	= kekakuan Muto
$l_w$	= panjang keseluruhan dinding
$L_x$	= bentang pendek
$L_y$	= bentang panjang

$PGA$	= percepatan muka tanah puncak $MCE_G$ terpeta
$PGA_M$	= percepatan muka tanah puncak $MCE_G$ yang sudah disesuaikan akibat pengaruh kelas situs
$qd$	= beban mati
$ql$	= beban hidup
$R$	= koefisien modifikasi respons
$S$	= jenis tanah
$S_I$	= parameter percepatan respons spektral MCE dari peta gempa pada periode 1 detik, redaman 5 persen
$S_a$	= spektrum respons percepatan desain
$S_{D1}$	= parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik
$S_{DS}$	= parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek
$S_{MI}$	= parameter percepatan respons spektral MCE pada periode 1 detik yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs
$S_{MS}$	= parameter percepatan respons spektral MCE pada periode pendek yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs
$SNI$	= Standar Nasional Indonesia
$S_S$	= parameter percepatan respons spektral MCE dari peta gempa pada periode pendek, redaman 5 persen
$SA$	= percepatan maksimum
$SD$	= simpangan maksimum
$SV$	= kecepatan maksimum
$T$	= periode getar fundamental struktur
$T_a$	= periode fundamental pendekatan
$T_0$	= $0,2 \cdot \frac{S_{DS}}{S_{D1}}$
$T_S$	= $\frac{S_{DS}}{S_{D1}}$
$V$	= gaya geser seismik
$V_t$	= geser dasar dari kombinasi ragam yang disyaratkan
$W_t$	= berat seismik efektif
$\Delta$	= simpangan antar lantai tingkat desain
$\Delta a$	= simpangan antar lantai yang diijinkan

$\delta_{xe}$	= defleksi pada lokasi yang disyaratkan yang ditentukan dengan analisis elastis
$\rho$	= faktor redundansi struktur
$\Omega_0$	= faktor kuat lebih
$\mu$	= datalitas struktur
$\mu_\Delta$	= <i>displacement ductility ratio</i>
$\xi$	= rasio redaman

## ABSTRAK

Secara geologi Indonesia terletak di antara 4 lempeng utama dunia yang aktif, sehingga merupakan wilayah yang rawan terjadi gempa bumi. Akibat pengaruh gempa ini maka diperlukan perencanaan struktur yang lebih kompleks, yaitu dengan menggunakan analisis dinamis. Gempa tidak dapat diprediksi waktu dan tempat kejadiannya. Semakin penting suatu bangunan maka semakin lama bangunan itu harus bertahan, sehingga semakin besar gaya gempa yang harus diperhitungkan terhadap bangunan tersebut. Penelitian ini membandingkan nilai drift ratio, nilai displacement serta pola goyangan terhadap variasi model struktur yang terjadi akibat beban gempa repons spektrum. Metode analisis yang digunakan adalah metode analisis respon spektrum dengan dimodelkan 4 model struktur bangunan yaitu, 1 model struktur rangka dan 3 model struktur bangunan dengan variasi penempatan dinding geser menggunakan program ETABS. Hasil analisis menunjukkan nilai drift ratio maksimum yaitu sebesar 8,39% pada arah x struktur dinding geser model 1 dan 29,5% pada arah y struktur dinding geser model 3 dan nilai displacement terkecil akibat beban respon spektrum pada penempatan dinding geser adalah model 1, maka model dinding geser yang direkomendasikan pada perencanaan struktur ini adalah model 1, pola goyangan yang ditunjukkan pada struktur tanpa dinding geser memiliki pola goyangan berupa shear mode sedangkan struktur dengan dinding geser baik model 1, 2 dan 3 berupa kombinasi.

**Kata kunci :** Dinding geser, drift ratio, displacement, respon spektrum.

## **ABSTRACT**

*According to the geology study, Indonesia is located between 4 active main plates of the earth, so that this region is prone of earthquake. Because of the earthquake, a more complex structure planning is needed by using dynamic analysis. An earthquake can't be predicted the time and the place of the occurrence. If there is a more important building, it should be last for a long-time, so the earthquake energy that should be calculated towards the building is bigger. This study is comparing the drift ratio value, displacement value and the wobble scheme towards variation of structure model that are happened because of spectrum response of earthquake load. The analysis method is spectrum response analysis with 4 models of building structure which are, 1 frame structure model and 3 building structure model with variation of shearwall placement by using ETABS program. The analysis result showed that the maximum score of drift ratio is 8,39% towards x direction of shearwall structure model 1 and 29,5% towards y direction of shearwall structure model 3 and the smallest displacement value because of spectrum response load in the shearwall placement is model 1, then the recommended shearwall model in the structure planning is model 1, the wobble scheme showed in the without shearwall structure has a scheme in the form of shear mode, while the one with shearwall structure has either model 1, 2 and 3 in the form of combination with mode shape in which the mode 1 is more dominant in all structure models.*

**Keywords :** *Shearwall, drift ratio, displacement, spectrum response.*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Secara geologi Indonesia terletak di antara 4 lempeng utama dunia yang aktif, yaitu lempeng Pasifik, lempeng Indo-Australia, lempeng Eurasia, dan lempeng Filipina. Oleh karena itu Indonesia masuk dalam kawasan cincin api Pasifik atau yang biasa disebut *Pacific Ring of Fire*, yang berarti merupakan wilayah yang rawan terjadi gempa bumi.

Gempa bumi tidak dapat diprediksi waktu dan tempat terjadinya. Baik gempa kecil maupun gempa besar pada kenyataannya peristiwa ini dapat membuat kerusakan serta korban jiwa. Pada era-pembangunan saat ini, semakin banyak bangunan gedung bertingkat yang dibangun untuk memenuhi kebutuhan manusia. Semakin penting suatu bangunan maka semakin lama bangunan itu harus bertahan, sehingga semakin besar gaya gempa yang harus diperhitungkan terhadap bangunan tersebut. Agar bangunan tetap *survive* pada gempa yang lebih besar, maka bangunan harus mempunyai daktilitas yang baik.

Struktur utama pada bangunan bertingkat banyak haruslah benar-benar diketahui sifat perilakunya, karena struktur atas pada bangunan bertingkat akan terletak pada jenis, penempatan, ukuran dan bahan dari struktur utama. Perilaku yang harus diketahui yaitu perilaku goyangan horisontal, terutama oleh beban gempa. Struktur utama yang dipakai pada struktur beton adalah *shear wall* atau istilah yang lebih tepat sesuai fungsinya adalah *Structural wall*.

Pawirodikromo (2012) menyatakan, tujuan utama memperkaku *wall* pada hakekatnya adalah untuk mengendalikan simpangan antara tingkat yang cukup besar yang umumnya terjadi pada tingkat-tingkat bawah struktur portal terbuka. Oleh karena itu, kadang-kadang portal terbuka lebih ditujukan untuk menahan beban vertikal saja.

Penelitian ini akan membandingkan nilai *drift ratio* serta mengetahui nilai *displacement* pada suatu bangunan yang diberi dinding geser pada struktur bangunannya dan pola goyangan yang terjadi pada strukturnya. Penambahan

dinding geser pada struktur bangunan berfungsi untuk menahan gaya geser, gaya lateral akibat gempa bumi. Adanya dinding geser (*shearwall*) ini juga berfungsi sebagai pengaku pada struktur bangunan terhadap gaya geser yang terjadi akibat gempa bumi. Pada penelitian ini juga akan diberikan beberapa variasi penempatan dinding geser, untuk mengetahui variasi penempatan dinding geser mana yang berkontribusi paling besar pada bangunan yang difungsikan sebagai perkantoran dengan lokasi wilayah di Yogyakarta dan dengan jenis tanah keras.

Penelitian ini perlu dilakukan karena wilayah Yogyakarta merupakan wilayah yang rawan terjadi gempa bumi. Penggunaan struktur dinding geser ini berfungsi untuk memperkuat bangunan, sehingga dapat meminimalisir atau mengurangi dampak kerusakan pada struktur bangunan bertingkat dan mengurangi adanya korban jiwa. Pemberian variasi penempatan dinding geser ini juga dapat dijadikan rekomendasi untuk para perencana, penempatan dinding geser mana yang efektif digunakan pada struktur bangunan yang difungsikan sebagai perkantoran.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah yang diambil dalam penelitian ini sebagai berikut.

1. Berapa besar pengaruh pemberian variasi dinding geser terhadap nilai *drift ratio* bangunan yang ditinjau akibat beban gempa?
2. Bagaimana pengaruh variasi penempatan dinding geser terhadap nilai *displacementnya*?
3. Bagaimanakah pola goyangan masing-masing struktur model dalam menahan beban gempa?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui besar pengaruh pemberian variasi dinding geser terhadap nilai *drift ratio* bangunan yang ditinjau akibat beban gempa.
2. Menentukan pengaruh variasi penempatan dinding geser terhadap nilai *displacementnya*.

3. Mengetahui pola goyangan masing-masing struktur model dalam menahan beban gempa.

#### **1.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang diharapkan dapat diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut. ini.

1. Memberikan informasi mengenai pengaruh pemasangan dinding geser terhadap simpangan horisontal gedung bertingkat tinggi.
2. Menjadi salah satu referensi bagi para perencana struktur terkait penggunaan dan penempatan dinding geser.

#### **1.5 Batasan Masalah**

Adapun batasan-batasan masalah dalam penelitian ini, agar dalam pengerjaannya lebih terarah dan tidak meluas. Batasan-batasan masalah yang digunakan sebagai berikut ini.

1. Struktur dimodelkan dengan 4 variasi, yaitu sebuah struktur tanpa *shear wall* dan 3 model struktur dengan variasi penempatan *shear wall*.
2. Tinggi struktur bangunan yang dimodelkan tiap lantai 4 m dengan total 10 tingkat.
3. Struktur gedung yang ditinjau adalah bangunan beton bertulang dengan sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK).
4. Lokasi gedung berada di Yogyakarta dengan jenis tanah keras.
5. Data material struktur digunakan beton ( $f_c'$ ) = 30 MPa dan baja tulangan ( $f_y$ ) = 380 MPa
6. Peraturan yang digunakan berdasarkan SNI 1726-2012 “Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung” dan SNI 2847-2013 untuk syarat beton.
7. Perencanaan pembebanan menggunakan SKBI 1987 “Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah Dan Gedung”.
8. Ruang *lift* dan tangga tidak dimodelkan.
9. Tumpuan yang dimodelkan berupa jepit.
10. Beban angin tidak diperhitungkan



11. Metode analisis dinamik yang digunakan adalah metode analisis respons spektrum yang dilakukan berdasarkan parameter-parameter yang ada dalam SNI 1726-2012.
12. Analisis struktur menggunakan bantuan *software* ETABS.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Sistem Struktur**

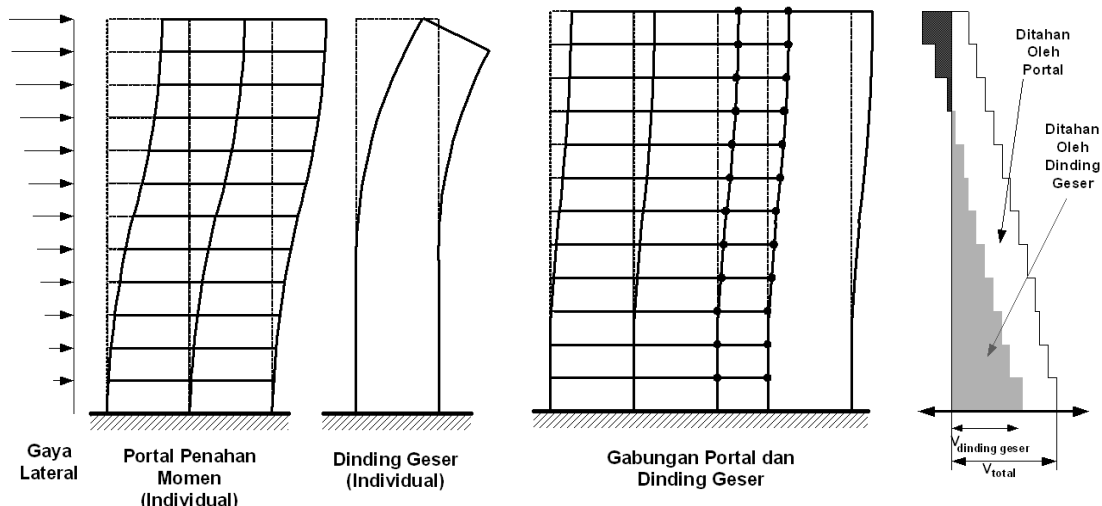
Juwana (2005) menyatakan, sistem struktur pada bangunan tinggi merupakan gabungan berbagai elemen struktur secara tiga dimensi yang memiliki fungsi utama untuk memikul secara aman dan efektif beban yang bekerja pada bangunan serta menyalurkannya ke tanah melalui fondasi. Sistem struktur dibagi menjadi dua bagian yaitu sistem vertikal dan sistem horisontal. Sistem vertikal mencakup sistem struktur lateral yang dapat meningkatkan nilai kekakuan dan kekuatan komponen vertikal. Sedangkan sistem horisontal mencakup pengaku-pengaku horisontal atau *horizontal bracing* berupa lantai dan sistem *deck framing* yang biasa disebut dengan diafragma horisontal. Untuk meningkatkan kekakuan lateral, sistem struktur dasar dapat dimulai dari kolom kantilever (*cantilever column*), rangka tanpa pengaku (*unbraced frame*), rangka pengaku (*braced frame*), rangka dengan pengisi (*infilled frame*), dinding struktural (*structural wall*), dan inti struktural (*structural core*). Sistem penahan bebas lateral antara lain: rangka penahan momen (*Moment Resisting Frames*), rangka pengaku (*Braced Frame*), dinding struktural, *Hybrid System* dan *Tube System*.

#### **2.2 Dinding Geser**

Fungsi dari dinding geser adalah sebagai penahan gaya lateral dan juga sebagai dinding pelindung pada suatu struktur bangunan. Dalam perencanaan struktur, dinding geser sangat efisien dalam menahan beban vertikal dan lateral. Dinding geser apabila ditempatkan secara hati-hati dan simetris maka dalam persyaratan arsitektur pun tidak akan terganggu. Dinding geser juga dapat difungsikan pada ruang *lift*, tangga dan juga toilet. Pada dinding geser, tidak mungkin digunakan tanpa beberapa bukaan seperti jendela, pintu, dan saluran-saluran mekanikal dan elektrik.

Dalam perencanaan struktur bangunan tinggi, pada daerah atau lokasi yang terkena pengaruh gempa bumi sering digunakan struktur gabungan antara portal penahan momen dengan dinding geser. Penggabungan struktur ini populer

digunakan pada bangunan bertingkat tinggi dengan struktur beton, karena struktur bangunan akan memperoleh kekenyalan atau daktilitas (*ductility*) dan kekakuan sistem struktur dengan hasil baik. Disajikan pada Gambar 2.1.



**Gambar 2.1 Perilaku Sistem Gabungan Penahan Gaya Lateral**

(Sumber : Juwana, 2005)

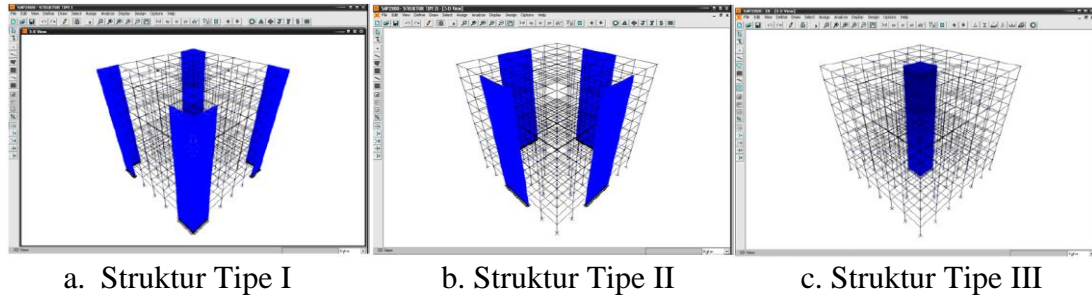
### 2.3 Penelitian Terdahulu

Sebelum penelitian lebih lanjut, ada beberapa referensi yang dapat digunakan sebagai acuan terkait dengan penelitian yang akan dilakukan. Referensi tersebut berupa tugas akhir ataupun jurnal dari berbagai peneliti. Berikut penelitian yang digunakan sebagai acuan.

1. Penelitian dengan judul “Penggunaan Dinding Geser Sebagai Elemen Penahan Gempa Pada Bangunan Bertingkat 10 Lantai”.

Penelitian yang dilakukan oleh Windah R.S., (2010) bertujuan untuk membandingkan besarnya simpangan pada struktur yang menggunakan dinding geser dan struktur yang tidak menggunakan dinding geser akibat beban gempa. Untuk analisis beban gempa digunakan analisis statik ekuivalen.

Penempatan dinding geser pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.2 berikut.



a. Struktur Tipe I                      b. Struktur Tipe II                      c. Struktur Tipe III

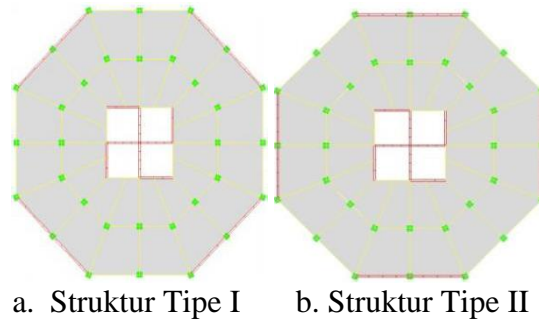
**Gambar 2.2 Penempatan Dinding Geser Penelitian oleh Windah R.S**  
(Sumber: Windah R.S., 2010)

Dari penelitian tersebut, didapat kesimpulan sebagai berikut.

- 1) Penggunaan dinding geser pada suatu struktur yang mengalami pembebanan gempa statik, dapat mereduksi besarnya simpangan lateral yang terjadi pada struktur sebesar 19,7 %, 37,07 % dan 30,3 %.
  - 2) Variasi letak dinding geser pada ketiga struktur yang ditinjau tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap besarnya simpangan yang terjadi pada struktur yaitu sebesar 14,5 % dan 8,9 % .
  - 3) Dalam analisa struktur yang menggunakan dinding geser, selain *kekakuan akibat lentur* perlu juga ditinjau *kekakuan akibat geser*.
  - 4) *Inersia penampang (I)* merupakan faktor yang paling berpengaruh dalam meningkatkan kekakuan geser maupun kekakuan struktur secara umum.
2. Penelitian dengan judul “Pengaruh Penempatan dan Posisi Dinding Geser Terhadap Simpangan Bangunan Beton Bertulang Bertingkat Banyak Akibat Beban Gempa.”.

Penelitian yang dilakukan oleh Lilik Fauziah M., dkk (2013) bertujuan untuk mengetahui bagaimana pengaruh penempatan dan posisi dinding geser terhadap besarnya simpangan horisontal sesuai dengan perencanaan beban gempa yang ditentukan. Penempatan yang dimaksud merupakan letak dari dinding geser, yaitu ditempatkan pada sisi bagian manakah dinding geser tersebut. sedangkan posisi yang dimaksud merupakan orientasi dinding geser tersebut terhadap sumbu-x dan sumbu-y. Bangunan yang ditinjau merupakan bangunan segi 8.

Penempatan dinding geser pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.3 berikut.



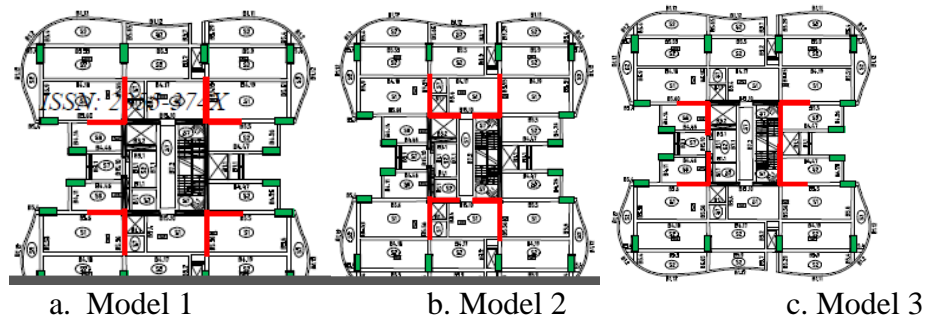
**Gambar 2.3 Penempatan Dinding Geser Penelitian oleh Lilik Fauziah dkk**  
(Sumber: Lilik Fauziah M, 2013)

Kesimpulan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

- 1) Perbandingan simpangan horisontal maksimum pada penempatan dinding geser diagonal dan dinding geser searah beban gempa adalah sebesar 27.81% akibat beban gempa statik dan 24.40% akibat beban gempa dinamik.
- 2) Struktur dengan penempatan dinding geser searah beban gempa rencana (sumbu-x dan sumbu-y) lebih kuat menahan beban lateral (gempa) karena menghasilkan simpangan horisontal yang lebih kecil dibandingkan penempatan dinding geser diagonal.
3. Penelitian dengan judul “Analisis Perbandingan Simpangan Lateral Bangunan Tinggi Dengan Variasi Bentuk dan Posisi Dinding Geser Studi Kasus: Proyek Apartemen The Royale Springhill Residences.”.

Penelitian yang dilakukan oleh Hasan A. dan Astria I.F., (2013) bertujuan untuk membandingkan besarnya simpangan lateral struktur bertingkat tinggi akibat pembebanan lateral pada pemasangan dinding geser dengan variasi bentuk dan penempatan dinding geser. Variasi bentuk dan posisi dinding geser yang dirancang yaitu 3 model.

Penempatan dinding geser pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.4 berikut.



**Gambar 2.4 Penempatan Dinding Geser Penelitian oleh Hasan dan Astria**  
(Sumber: Hasan A. dan Astria I.F., 2013)

Kesimpulan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

- 1) Dengan volume bangunan yang sama, namun penempatan dan variasi bentuk yang berbeda, dapat mempengaruhi kekakuan struktur terhadap beban lateral yang diterima.
- 2) Dari hasil analisis ke empat model yang ada, ternyata struktur yang menerima beban lateral dari sumbu-x lebih lemah dibandingkan menerima beban lateral dari sumbu-y.
- 3) Pada semua model yang dibuat, masih bisa memenuhi syarat kinerja struktur dari SNI-03-1726-2002.
- 4) Pada struktur bangunan ini, beban lateral sepenuhnya diterima oleh dual sistem struktur dimana struktur portal menerima tidak kurang dari 30% beban lateral rencana dan dinding geser menerima sekitar 70% beban lateral rencana.

Perbandingan penelitian terdahulu dengan penelitian yang dilakukan disajikan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang dilakukan

Nama peneliti, Tahun	Penelitian Terdahulu				Penelitian yang Dilakukan
	Prasetyaningrum A., 2010	Manalip H., dkk, 2015	Majore. B.O., dkk, 2015	Nursandrah A., 2016	
Judul	Efek Penempatan Dinding Geser Terhadap Biaya Struktur Bangunan <i>Frame-Walled</i> Bertingkat Banyak Tidak Beraturan Akibat Beban Gempa Statik Ekuivalen dan Dinamik.	Penempatan Dinding Geser pada Bangunan Beton Bertulang Dengan Analisa Pushover.	Studi Perbandingan Respon Dinamik Bangunan Bertingkat Banyak dengan Variasi Tata Letak Dinding Geser.	Pengaruh Bentuk Dinding Geser Terhadap Deformasi Gedung pada Gempa Zone 5	Kajian Perbandingan Respon Struktur Bangunan Bertingkat Dengan Variasi Tata Letak Dinding Geser Akibat Beban Gempa Dinamik
Model Struktur	2 model shearwall, yaitu <i>shearwall</i> pada bagian tepi dan <i>shearwall</i> pada tengah bangunan	20 model <i>shearwall</i> dengan tetap mempertahankan kesimetrisan terhadap titik pusat massa gedung	9 model shearwall, yaitu <i>shearwall</i> pada sisi bagian luar dan <i>shearwall</i> pada inti bangunan	10 model <i>shearwall</i>	4 model struktur, yaitu 1 struktur tanpa <i>shearwall</i> dan 3 variasi <i>shearwall</i>
Metode	Metode statik ekuivalen dan metode <i>time history</i>	Metode analisis <i>pushover</i>	Metode respon spektrum dan metode <i>equivalent lateral load (ELF)</i>	Metode respon spektrum	Metode respon spektrum
Peraturan yang digunakan	SNI 03-1726-2002	SNI 1726-2012 SNI 2847-2013	SNI 1726-2012	SNI 03-1726-2002 SNI 03-2847-2002	SNI 1726-2012 SNI 2847-2013

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang dilakukan

Nama peneliti, Tahun	Penelitian Terdahulu				Penelitian yang Dilakukan
	Prasetyaningrum A., 2010	Manalip H., dkk, 2015	Majore. B.O., dkk, 2015	Nursandrah A., 2016	
Hasil	<p>1. Dengan <i>displacement</i> yang hampir sama, penempatan dinding geser di tepi menghasilkan tebal yang lebih tipis dibandingkan dengan dinding geser di tengah.</p> <p>2. Nilai <i>base shear</i> dari beban gempa statik lebih besar dibandingkan dengan beban gempa El Centro yang berfrekuensi menengah dan Chi-chi Taiwan yang berfrekuensi tinggi, tapi lebih kecil dibandingkan beban gempa Bucharest dan Parkfield yang berfrekuensi rendah.</p>	<p>1. Model penempatan dinding sesuai dengan kelas situs tanah dan hazard gempa adalah sebagai berikut :</p> <p>a. Untuk hazard gempa 2500 tahun, penempatan dinding geser pada kelas Situs A mengikuti pola model 19, kelas situs B dan C mengikuti pola model 13, kelas situs D mengikuti pola model 12, dan kelas situs E mengikuti model 4.</p> <p>b. Untuk hazard gempa 500</p>	<p>1. Dinding geser memberikan kontribusi besar terhadap struktur bangunan bertingkat banyak, dalam menahan gaya lateral seperti beban gempa. Terdapat perbedaan nilai respons dinamik, yaitu nilai simpangan horisontal yang terjadi akibat beban gempa, antara bangunan bertingkat banyak yang menggunakan rangka kaku (<i>rigid frame</i>), dan bangunan yang menggunakan kombinasi antara dinding geser (<i>shearwall</i>) dan rangka kaku (<i>rigid frame</i>). Model I yang</p>	<p>Bentuk shear yang efektif adalah bentuk shear wall yang mempunyai nilai deformasi yang kecil dan dipasang sesuai dengan sumbu lemah dari struktur yang ditinjau atau direncanakan sehingga dapat menahan gaya geser akibat beban gempa yang terjadi. Jadi bentuk shear yang efektif adalah bentuk shear wall 9 dengan</p>	<p>1. Perbandingan nilai maksimum dan minimum <i>drift ratio</i> adalah sebagai berikut.</p> <p>a) Nilai <i>drift ratio</i> maksimum yang didapat pada masing-masing model akibat beban gempa respons spektrum arah x sebesar 8,39% pada struktur <i>shearwall</i> model 1 dan pada arah y sebesar 29,5% pada struktur <i>shearwall</i> model 3.</p> <p>b) Nilai <i>drift ratio</i> minimum yang didapat pada masing-masing model akibat beban gempa respons spektrum pada arah x</p>



**Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang dilakukan**

Nama peneliti, Tahun	Penelitian Terdahulu				Penelitian yang Dilakukan
	Prasetyaningrum A., 2010	Manalip H., dkk, 2015	Majore. B.O., dkk, 2015	Nursandrah A., 2016	
Hasil	<p>3. Beban dinamik riwayat waktu Chi-chi Taiwan (1999) yang berfrekuensi tinggi ternyata menghasilkan respon struktur displacement terkecil pada kasus gedung apartemen 10 tingkat yang menjadi objek penelitian ini. Sedangkan beban dinamik riwayat waktu Bucharest NS (1977) yang berfrekuensi gempa rendah menghasilkan respon struktur displacement terbesar.</p> <p>4. Secara umum beban gempa statik menghasilkan momen dan gaya geser balok yang lebih</p>	<p>tahun, penempatan dinding geser pada kelas seluruh kelas situs dari A sampai E mengikuti pola model 11.</p> <p>c. Untuk hazard gempa 1000 tahun, penempatan dinding geser pada kelas Situs A mengikuti pola model 19 dan atau 20, kelas situs B dan C, mengikuti pola model 19 dan atau 4, kelas situs D, mengikuti pola model 11 dan atau 19, dan kelas situs E mengikuti pola</p>	<p>dengan rangka kaku nilai simpangan sebesar 1168,6 mm untuk beban gempa statis (ELF), dan 735,6 mm untuk beban gempa dinamis (RSP). Model A yang dengan kombinasi <i>rigid frame</i> dan <i>shearwall</i>, menghasilkan 122,4 mm untuk beban ELF, dan 62,4 mm untuk beban RSP.</p> <p>2. Respons dinamik suatu bangunan bertingkat banyak, dalam hal ini simpangan horisontal, dipengaruhi oleh berbagai faktor, salah satunya adalah tata letak dinding geser.</p>	<p>bentuk H.</p>	<p>-1,587% pada struktur <i>shearwall</i> model 3 dan pada arah y sebesar 6,333% pada struktur <i>shearwall</i> model 2.</p> <p>2. Penempatan dinding geser model 1 merupakan model struktur yang direkomendasikan karena memiliki nilai kekakuan yang tinggi dengan nilai <i>displacement</i> terkecil. Perbandingan dari penelitian Windah (2011) dengan penempatan dinding geser yang sama namun model struktur yang berbeda, sama-sama</p>

**Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang dilakukan**

Nama peneliti, Tahun	Penelitian Terdahulu				Penelitian yang Dilakukan
	Prasetyaningrum A., 2010	Manalip H., dkk, 2015	Majore. B.O., dkk, 2015	Nursandrah A., 2016	
Hasil	<p>besar dibandingkan dengan beban gempa dinamik riwayat waktu Chi-chi Taiwan, El Centro, dan Parkfield namun lebih kecil dibandingkan dengan beban gempa Bucharest.</p> <p>5. Beban gempa Bucharest NS (1977) menghasilkan momen, gaya geser dan gaya aksial kolom terbesar dibandingkan dengan ketiga beban dinamik yang lain.</p> <p>6. Beban gempa Bucharest NS (1977) menghasilkan momen, gaya geser, dan gaya aksial dinding geser terbesar</p>	<p>model 4 dan atau 12.</p> <p>d. Tipe model penempatan dinding geser direkomendasikan – 17, 236 di mana nilai X merupakan prosentase perbandingan antara besarnya base shear terhadap berat total struktur, nilai Y memenuhi <math>\{Y   Y \in A, Y \leq 20\}</math>.</p> <p>2. Kombinasi antara desain berbasis kinerja dan penempatan dinding geser yang tepat</p>	<p>Dinding geser yang diposisikan mendekati pusat massa suatu bangunan, baik sumbu <math>x</math> maupun sumbu <math>y</math> dalam arah ortogonal, menghasilkan nilai simpangan horizontal yang lebih kecil dengan <i>shearwall</i> yang diletakkan pada pusat massa bangunan memiliki nilai simpangan paling kecil diantara model-model lainnya, dan menghasilkan persentasi selisih rata-rata dengan Model B sebesar 124.72 % untuk beban ELF, dan 106.21% untuk beban RSP. Model B dengan</p>		<p>menghasilkan nilai <i>displacement</i> terkecil pada penempatan dinding geser model 1.</p> <p>3. Pola goyangan yang dimiliki struktur tanpa dinding geser memiliki pola goyangan <i>shear mode</i> sedangkan struktur dengan dinding geser baik model 1, 2, dan 3 memiliki pola goyangan kombinasi.</p>

**Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang dilakukan**

Nama peneliti, Tahun	Penelitian Terdahulu				Penelitian yang Dilakukan
	Prasetyaningrum A., 2010	Manalip H., dkk, 2015	Majore. B.O., dkk, 2015	Nursandrah A., 2016	
Hasil	<p>dibandingkan dengan ketiga beban dinamik yang lain.</p> <p>7. Penempatan dinding geser di tepi lebih ekonomis dibandingkan penempatan dinding geser di tengah.</p>	<p>menghasilkan desain strutur yang optimal.</p>	<p><i>shearwall</i> yang diletakkan pada sisi bagian luar bangunan, menghasilkan nilai simpangan sebesar 268,9 mm untuk beban ELF, dan 120,9 mm untuk beban RSP.</p>		.

## **2.4 Keaslian Penelitian**

Penelitian tentang perbandingan respon struktur bangunan bertingkat dengan variasi tata letak dinding geser akibat beban gempa dinamik pernah dilakukan oleh beberapa peneliti, perbedaan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya adalah sebagai berikut:

1. Desain bangunan yang digunakan berbeda dengan penelitian sebelumnya, penelitian ini menggunakan bangunan berbentuk persegi panjang dan merupakan bangunan tinggi beraturan.
2. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode dinamik respons spektrum sesuai peraturan SNI 1726-2012.
3. Variasi penempatan dinding geser yang digunakan 3 model.

Adanya perbedaan-perbedaan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penelitian ini dapat dipertanggungjawabkan keasliannya.

## **BAB III**

### **LANDASAN TEORI**

#### **3.1 Prinsip Perencanaan Bangunan Tahan Gempa**

Suatu bangunan bertingkat banyak harus memiliki struktur yang kuat terhadap beban mati dan beban hidup yang diterima sesuai fungsi dari bangunan tersebut. Struktur yang kuat adalah struktur yang tidak rusak bahkan tidak runtuh terhadap gempa pada suatu daerah bangunan tersebut.

Tjokrodimulyo (2007) menyatakan bahwa struktur tahan gempa adalah struktur yang tahan (tidak rusak dan tidak runtuh) apabila terlanda gempa, bukan struktur yang semata-mata (dalam perencanaan) sudah diperhitungkan dengan beban gempa.

Beban gempa yang diperhitungkan dapat memberikan peluang keruntuhan yang seragam terhadap gempa rencana. Untuk memperoleh peluang keruntuhan struktur yang seragam tersebut maka digunakan parameter  $MCE_R$  (*Maximum Considered Earthquake Risk Targeted*) yaitu percepatan respon gerak tanah gempa maksimum yang terjadi di suatu wilayah dengan mempertimbangkan risiko tertarget. Jika spektrum respon gempa maksimum  $MCE_R$  dibutuhkan, maka spektrum respon desain harus dikalikan dengan angka 1,5. Resiko gempa maksimum  $MCE_R$  diambil sebagai gempa dengan periode ulang sekitar 2500 tahun dengan gempa yang kemungkinan terlewatinya besarnya selama umur struktur bangunan 50 tahun sebesar 2%. Pengambilan nilai gempa ini mungkin akan lebih kecil terjadinya dengan gempa yang terjadi, namun hal ini dilakukan agar dalam perencanaan struktur akan lebih ekonomis.

Eliza I (2013) menjelaskan prinsip-prinsip dasar yang perlu diperhatikan dalam perencanaan, perancangan dan pelaksanaan struktur bangunan beton bertulang tahan gempa yaitu :

- a. Sistem struktur yang digunakan haruslah sesuai dengan tingkat kerawanan daerah dimana struktur bangunan tersebut berada terhadap gempa.
- b. Aspek kontinuitas dan integritas struktur bangunan perlu diperhatikan. Dalam pendetailan penulangan dan sambungan-sambungan, unsur-unsur struktur

bangunan harus terikat secara efektif menjadi satu kesatuan untuk meningkatkan struktur secara menyeluruh.

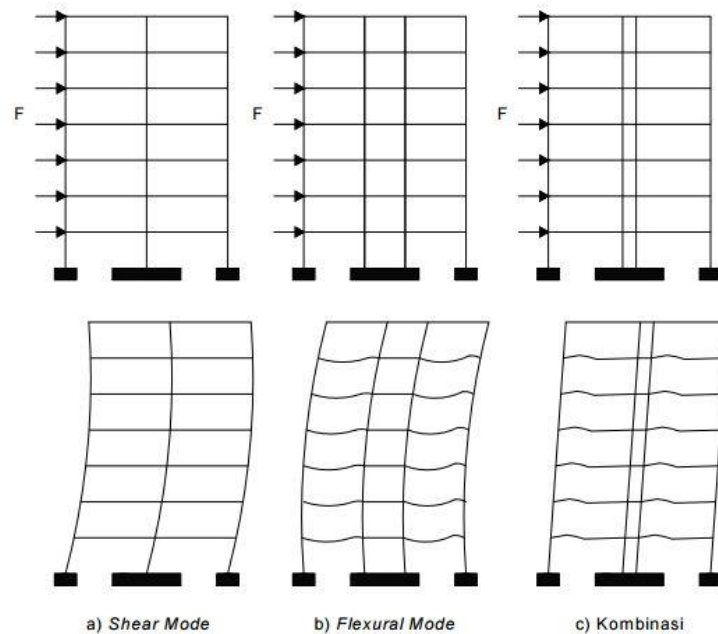
- c. Konsistensi sistem struktur yang diasumsikan dalam desain dengan sistem struktur yang dilaksanakan harus terjaga.
- d. Materi beton yang digunakan haruslah memiliki daya tahan yang tinggi dilingkungannya.
- e. Unsur-unsur arsitektural yang memiliki masa yang besar harus terikat dengan kuat pada sistem portal utama dan harus diperhitungkan pengaruhnya terhadap sistem struktur.
- f. Metode pelaksanaan, sistem *quality control* dan *quality assurance* dalam tahapan konstruksi harus dilaksanakan dengan baik dan harus sesuai dengan kaidah yang berlaku.

Besarnya gaya gempa yang diterima pada suatu struktur bangunan pada dasarnya dipengaruhi oleh karakteristik gempa yang terjadi, karakteristik tanah pada daerah bangunan, serta karakteristik struktur bangunan (bentuk bangunan, massa bangunan, beban gravitasi yang bekerja, kekakuan dan lainnya). Hal-hal tersebut juga perlu diperhatikan dalam perencanaan struktur bangunan bertingkat.

### **3.2 Prinsip *Shear building***

Suatu struktur bangunan bertingkat banyak apabila bergoyang ke arah horisontal, maka umumnya terdapat 3 macam pola goyangan yang terjadi. Kombinasi antara kelangsingan struktur, jenis struktur utama penahan beban dan jenis bahan yang dipakai akan berpengaruh terhadap pola goyangan yang dimaksud. Struktur bangunan dengan *core cantilever concrete wall* misalnya, akan mempunyai pola goyangan yang berbeda dengan struktur portal terbuka beton bertulang (*open moment resisting concrete frame*).

Struktur dengan sistem portal terbuka sebagai struktur utamanya biasanya memiliki pola goyangan yang memiliki dominasi geser atau disebut *shear mode*. Pada sistem struktur bangunan ini biasanya strukturnya akan relatif fleksibel sedangkan plat-plat lantainya relatif kaku terhadap arah horisontal. Pola goyangan ini tampak seperti pada Gambar 3.1.a.



**Gambar 3.1 Pola Goyangan Struktur Bertingkat Banyak**

(Sumber : Widodo, 2001)

Bangunan yang memiliki sistem struktur kaku pada *frame-walls* atau *cantilever wall*-nya, yang mana struktur kedua-duanya ini dijepit secara kaku pada pondasinya biasanya memiliki pola goyangan yang didominasi oleh lentur (*flexural mode*) seperti tampak pada Gambar 3.1.b. Struktur dinding yang kaku dan anggapan jepit pada pondasi akan membuat struktur dinding berperilaku seperti struktur dinding kantilever. Sebagaimana sifat-sifat kantilever, maka struktur seperti ini akan berdeformasi menurut prinsip lentur.

Pola goyangan selanjutnya adalah kombinasi diantara dua pola goyangan di atas atau seperti tampak pada Gambar 3.1.c. Struktur portal terbuka yang dikombinasikan dengan struktur dinding (*structural walls*) yang tidak terlalu kaku berkemungkinan mempunyai perilaku goyangan kombinasi.

Umumnya pada analisis dinamika struktur pola goyangan pertamalah yang diadopsi, artinya struktur dianggap cukup fleksibel dengan lantai-lantai tingkat yang relatif kaku. Untuk sampai pada anggapan hanya terdapat satu derajat kebebasan pada setiap tingkat, maka terdapat beberapa penyederhanaan/ anggapan-anggapan. Anggapan-anggapan tersebut adalah sebagai berikut :

1. Massa struktur akibat beban berguna, beban sendiri, beban hidup dan berat kolom pada setengah tingkat di bawah dan di atas tingkat yang bersangkutan harus dianggap terkonsentrasi pada tiap lantai tingkat di satu titik (*lumped mass*) elevasi tingkat yang bersangkutan. Bertujuan agar struktur yang terdiri atas tak terhingga derajat kebebasan berkurang menjadi satu derajat kebebasan saja.
2. Dibandingkan dengan kolom-kolom pada struktur bangunan, lantai-lantai pada tiap tingkatnya dianggap sangat kaku karena balok-baloknya disatukan secara monolit oleh plat lantai. Berarti sebelum dan sesudah goyangan, lantai tingkat tetap horisontal karena dianggap *beam column joint* tidak berotasi. Sehingga simpangan massa yang terjadi hanya ke arah horisontal saja tanpa terjadi punter, yang berkemungkinan mempunyai tak terhingga derajat kebebasan.
3. Beban aksial kolom atau deformasi aksial kolom diabaikan, simpangan massa dan pengaruh P-delta dianggap tidak terpengaruh terhadap momen kolom tersebut. Oleh karena itu dengan anggapan ini dan anggapan-anggapan sebelumnya lantai tingkat tetap pada elevasinya dan tetap horisontal baik sebelum maupun setelah terjadi penggoyangan.

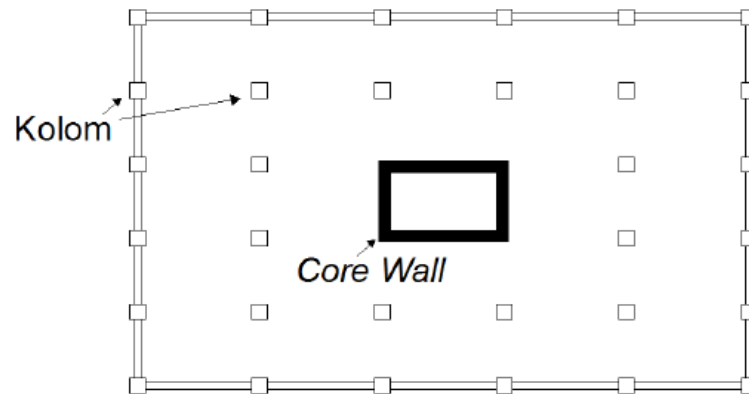
Dari anggapan-anggapan di atas maka struktur portal dianggap bergoyang akibat gaya lintang saja yang berarti lentur balok dianggap tidak ada, atau pola goyangan pada struktur bangunan ini didominasi oleh geser (*shear mode*). Dengan perilaku atau anggapan tersebut, maka struktur bangunan tersebut disebut dengan *shear building*. Dengan perilaku pola goyangan ini, maka hanya akan mempunyai satu derajat kebebasan saja pada tiap tingkatnya, dan pada struktur portal bangunan akan mempunyai N-derajat kebebasan pada tiap N-tingkatnya.

### 3.2.1 Penempatan Dinding Geser

Penempatan dinding geser pada struktur bangunan dapat ditempatkan pada sisi luar bangunan atau pusat bangunan. Dinding geser ini biasanya disebut dengan *structural core/corewall* atau inti struktural karena diletakkan pada bagian dalam bangunan, biasanya digunakan pada ruang *lift* maupun pada tangga, seperti

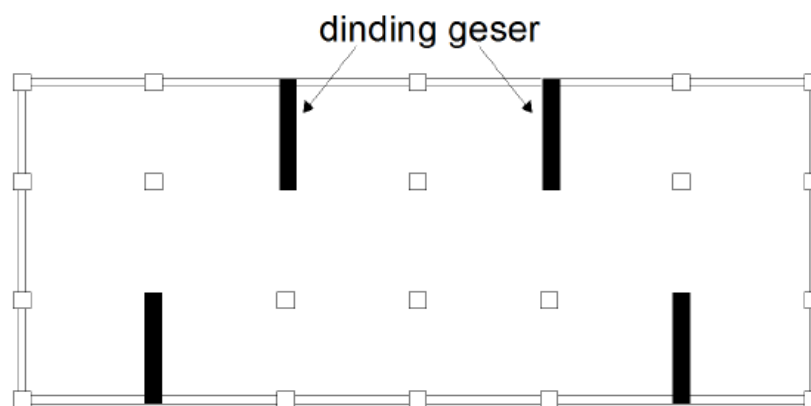


pada Gambar 3.2 dan pada Gambar 3.3 dinding geser diletakkan pada arah melintang.



**Gambar 3.2 Dinding Geser Mengelilingi Lift Atau Tangga**

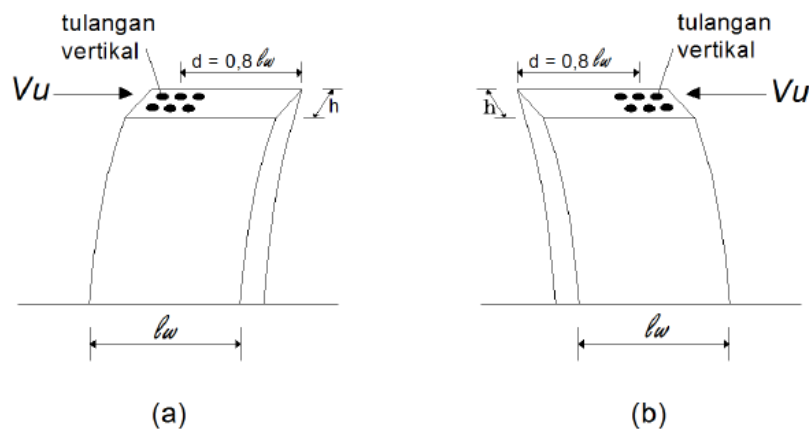
(Sumber : McCormac, 2003)



**Gambar 3.3 Dinding Geser Melintang Bangunan**

(Sumber : McCormac, 2003)

Pada Gambar 3.4 adalah dinding yang balok kantilevernya memiliki lebar  $h$  dan tinggi keseluruhan  $l_w$  yang mampu menerima gaya lateral  $V_u$ . Gambar bagian (a) memperlihatkan bahwa akibat gaya  $V_u$  dinding tertekuk dari arah kiri ke arah kanan akibatnya dinding pada bagian kiri atau pada sisi tarik memerlukan tulangan pada dindingnya. Sedangkan pada gambar bagian (b) menunjukkan sebaliknya, yang mana pada sisi bagian kanan dinding akan memerlukan tulangan tarik. Oleh karena gaya lateral  $V_u$  yang dapat datang dari kedua arah tersebut, maka tulangan tarik sangat diperlukan pada dinding geser dikedua arah tersebut. Perhitungan lentur dan tinggi balok yang diperlukan dari sisi tekan dinding ke titik berat tulangan tarik adalah sekitar  $0,8 \times$  panjang dinding  $l_w$ .



**Gambar 3.4 Dinding Geser Menerima Gaya Lateral  $V_u$**

(Sumber : Mosley dan Bungey, 1989)

Apabila sebuah balok kantilever vertikal dan dalam pada dinding geser yang bekerja akan menghasilkan tahanan lateral yang mampu menerima gaya tekuk maupun geser pada dinding. Maka akan terjadi gaya geser maksimum  $V_u$  dan terjadi pula momen maksimum  $M_u$  pada dasar dindingnya. Pengaruh tegangan lentur harus dimasukkan dalam tahapan analisis jika besar tegangan lentur tersebut dipengaruhi oleh beban aksial desain  $N_u$ .

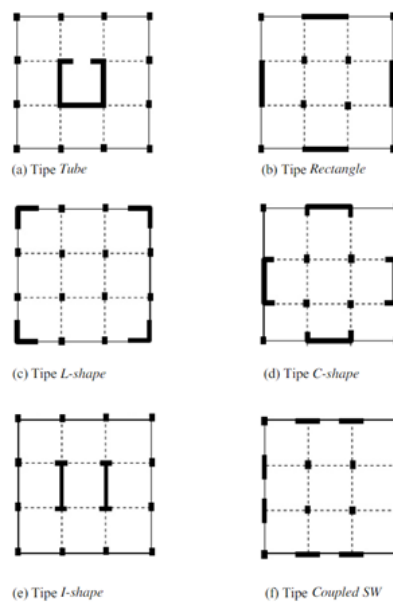
Dinding yang memiliki perbandingan tinggi dan panjang yang kecil maka akan mempengaruhi gaya gesernya sedangkan dinding yang memiliki tulangan yang terdistribusi secara merata akan mempengaruhi nilai momen yang lebih tinggi. Untuk mencegah terjadinya retak tarik diagonal pada dinding yang akan berkembang dan menyebar dari pojok bukaan, maka sebaiknya tulangan di tempatkan mengelilingi semua bukaan yang ada pada struktur dinding, meskipun pada analisa struktur tidak diperlukan.

Pada umumnya, dinding geser merupakan dinding beton yang mengelilingi tangga maupun lorong *lift* dengan bentuk dan penempatan yang disesuaikan menurut denah bangunan yang ada. Pada beberapa denah bangunan yang ada, terdapat bangunan yang penempatan dinding gesernya terdapat di inti bangunan atau yang biasa disebut dinding inti (*core wall*). dalam analisa struktur, perhitungan pada penempatan dinding ini cukup sulit, deformasi yang terjadi pada struktur ini biasanya berbeda susunannya dengan struktur portal biasa. Deformasi yang terjadi pada dinding geser akan menyerupai deformasi pada balok kantilever

yang arahnya tegak lurus tanah dan selain deformasi lentur, dinding mengalami deformasi geser dan rotasi secara bersamaan. Pada dinding geser, deformasi yang terjadi adalah pada struktur lantai dasar akan menghasilkan deformasi yang lebih kecil dan pada struktur lantai atas akan mengalami deformasi yang besar.

### 3.2.2 Tipe dan Sistem Penempatan Dinding Geser

Dinding geser sebenarnya kurang bagus dalam aspek keindahan bangunan itu sendiri, karena dinding geser akan menutup sebagian dinding dalam pandangan bebas dan memberi kesan yang sempit serta kaku. Namun, bagi seorang ahli struktur dalam perencanaannya harus mampu menyelesaikan persoalan-persoalan non-struktur ini dengan tetap menggunakan dinding geser sebagai struktur utama dalam bangunan tinggi. Yaitu dapat menggantikan pasangan bata dengan dinding geser atau dengan menempatkan dinding geser sedikit lebih ke dalam sehingga permukaan luar bangunan dapat disesuaikan dengan keinginan arsitek dan mampu memberi keindahan pada bangunan tersebut. Ada beberapa tipe dinding geser yang disajikan pada Gambar 3.5. dengan kekurangan dan kelebihan masing-masing.



**Gambar 3.5 Beberapa Tipe Dinding Geser**

(Sumber : Aisyah G.N., 2015)

Tipe dinding geser pada Gambar 3.5.a. adalah tipe dinding geser tipe *tube*, tipe ini disukai oleh ahli arsitektur karena jarak jangkauan yang relatif sama ke segala arah sehingga membuat nyaman bagi pemakainya. Namun untuk sisi keamanan tipe ini kurang bagus terhadap bahaya kebakaran, karena tipe ini biasa digunakan untuk keperluan akses vertikal, seperti ruang tangga/*lift/escalator*. Tetapi bila diletakkan *blower* di dalam *tube*, tipe ini dapat digunakan karena fungsi blower yang dapat menghembuskan udara segar saat terjadi kebakaran. Dari sisi struktur tipe ini memiliki kekakuan yang sama ke segala arah dan sangat kokoh dibandingkan dengan tipe lain, namun akan menghasilkan gaya geser yang lebih besar jika terjadi momen puntir.

Untuk tipe penempatan dinding geser dengan tipe *rectangle* (Gambar 3.5.b), tipe *L-shape* (Gambar 3.5.c), tipe *C-shape* (Gambar 3.5.d), tipe *I-shape* (Gambar 3.5.e), dan tipe *Couple SW* (Gambar 3.5.f) akan menghasilkan gaya geser yang lebih kecil karena lengannya terhadap pusat kekakuan lebih pendek. Sedangkan tipe *couple SW* yang memiliki dua buah lebih dinding geser yang dapat dirangkai menggunakan balok penghubung (*couple beam*) maka umumnya akan memiliki nilai kekakuan yang tinggi apabila dinding geser kantilevernya tidak cukup kuat menahan gaya lateral atau tidak cukup kaku untuk mengurangi simpangan lateral.

Dibawah ini disebutkan beberapa sistem penempatan dinding geser yang dapat digunakan pada struktur bangunan tingkat tinggi, yaitu sebagai berikut.

1. posisi harus simetris untuk mereduksi efek putir,
2. simetris dalam satu arah ataupun dua arah,
3. boleh berada di diti dalam struktur ataupun di bagian sisi luar struktur,
4. namun lebih efektif jika ditempatkan sepanjang sisi luar struktur.

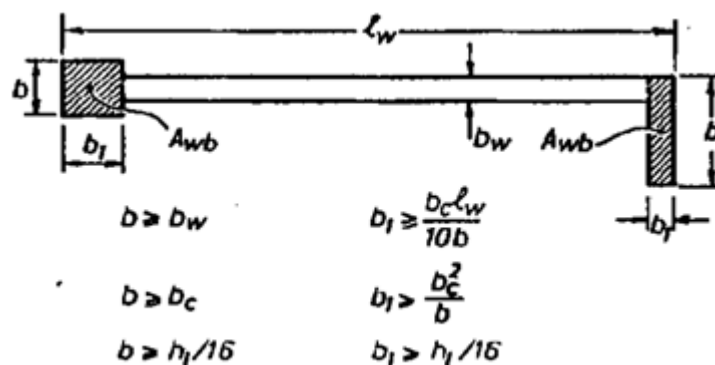


**Gambar 3.6 Sistem Penempatan Dinding Geser**

(Sumber : Nishar N.U, dkk, 2015)

### 3.2.3 Konsep Perencanaan Dimensi Dinding Geser

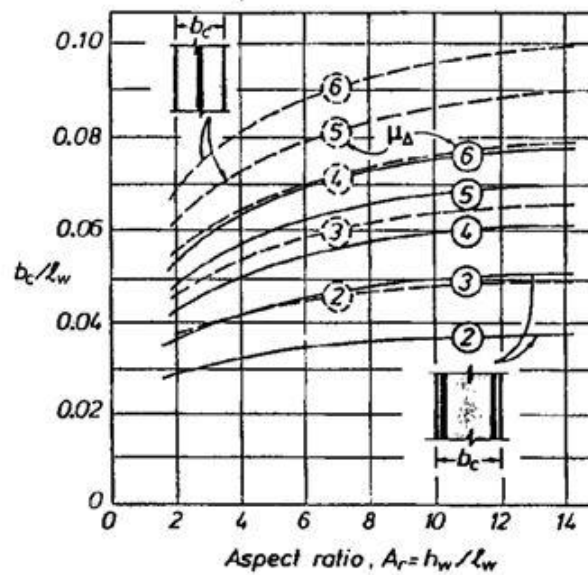
Dilakukan asumsi terhadap dinding geser untuk menghindari tekuk adalah dengan memperlakukannya sebagai kolom, dimana dimensi dinding geser dengan komponen batas (*boundary element*) perlu dibatasi sesuai Gambar 3.7.



**Gambar 3.7 Dimensi Minimum Dinding Geser**

(Sumber : Paulay and Priestley, 1992)

yang mana nilai  $b_c$  didapat dari hubungan antara ketebalan kritis dinding geser ( $b_c$ ) dan daktilitas *displacement* ( $\mu_\Delta$ ) sesuai dengan Gambar 3.8.



**Gambar 3.8 Hubungan Antara  $b_c$  dan  $\mu_\Delta$**

(Sumber : Paulay and Priestley, 1992)

$l_w$  adalah panjang dinding geser dan  $\mu_\Delta$  merupakan faktor daktilitas desain yang diambil  $\leq 5$ . Untuk memenuhi kriteria stabilitas semua persyaratan yang terdapat pada Gambar 3.7 harus terpenuhi dan luasan *boundary element* ( $A_{wb}$ ) harus memenuhi syarat sesuai Persamaan 3.1.

$$b_c^2 \leq A_{wb} \leq b_c \cdot l_w / 10 \quad (3.1)$$

### 3.3 Perilaku Goyangan Struktur Utama

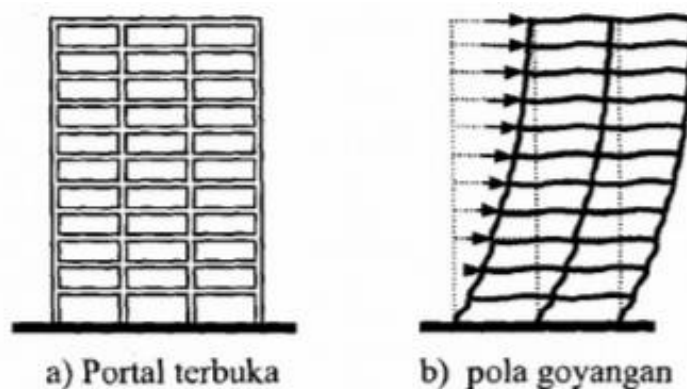
Pada kekuatan struktur atas bangunan gedung bertingkat banyak ini akan terletak pada jenis, penempatan, ukuran dan bahan dari struktur utama. Maka dari itu harus benar-benar perlu diketahui sifat-sifat perilaku struktur utamanya. Dan perilaku tersebut adalah perilaku goyangan horisontal yang terjadi akibat beban gempa.

#### 3.3.1 Perilaku Goyangan Portal Terbuka

Portal merupakan gabungan antara balok dan kolom yang dihubungkan secara kaku dan membentuk bangun kisi-kisi ("*grid*"). Portal termasuk struktur utama bangunan yang bersifat fleksibel, yaitu mampu berubah cukup besar, karena balok dan kolom bertampang ramping. Pada kenyataannya kekuatan portal akan bergantung pada:

1. Kekakuan dasar balok dan kolom EI (*flexural rigidity*). Konstanta EI akan bergantung pada jenis, mutu bahan dan dimensi potongan.
2. Jenis *joint* yaitu jenis hubungan antara balok dan kolom. Apabila *joint* bersifat kaku, maka sifat kaku tersebut akan mampu mengekang/menahan terjadinya rotasi ujung batang. Sifat pengekangan pada *joint* inilah yang memberikan andil kekuatan dan portal.

Pola goyangan pada portal terbuka dapat dilihat pada Gambar 3.9 dibawah ini.



**Gambar 3.9 Pola Simpangan pada Portal**

(Sumber : Pawirodikromo, 2012)

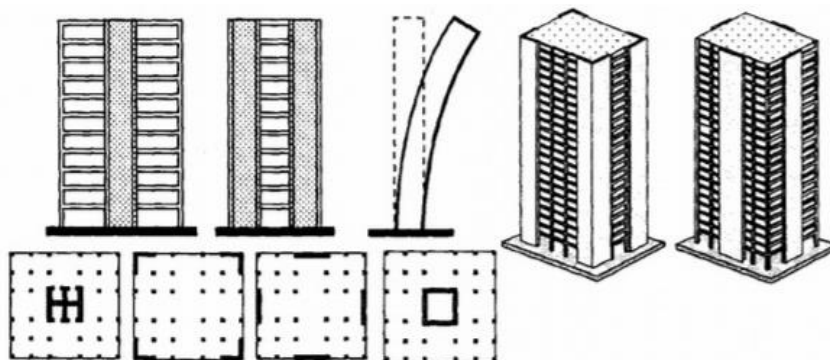
Chopa (1998) dalam Pawirodikromo (2012) menyatakan bahwa perubahan tempat yang dominan untuk kombinasi beban vertikal dan horisontal adalah pada arah mendatar yang sebenarnya sangat dipengaruhi oleh *Shear mode*. Namun demikian pola goyangan tersebut akan dipengaruhi oleh rasio kekakuan antara balok dengan kolom. Pada Gambar 3.9 diperlihatkan pola goyangan horisontal pada struktur portal terbuka untuk berbagai rasio kekakuan antara balok dengan kolom. Pada gambar terlihat bahwa simpangan antara tingkat yang terjadi pada tingkat tingkat bawah cukup besar.

### 3.3.2 Pola Goyangan Struktur Dinding (*Structural Walls*)

Pada dinding beton yang pendek, apabila dibebani secara horisontal, maka proses deformasi akan didominasi oleh gaya geser, oleh karena itu konstruksinya disebut dinding geser. Tetapi pada bangunan tinggi, dinding beton menjadi

ramping, lentur, sehingga dinding beton akan lebih tepat disebut “*Cantilever Wall*”.

Pawirodikromo (2012) menyatakan bahwa, tujuan utama memperkaku *walls* adalah untuk mengendalikan simpangan antara tingkat yang cukup besar yang umumnya terjadi pada tingkat-tingkat bawah struktur portal terbuka. Oleh karena itu kadang-kadang portal terbuka lebih ditujukan untuk menahan beban vertikal saja. Menurut Wolfgang Schueller (1977) dalam Pawirodikromo (2012) menyatakan, walaupun struktur utama jenis ini sangat populer tetapi berdasarkan pengalaman, jenis “*moment resisting frame*” ini hanya efektif untuk 20-tingkat ke bawah pada konstruksi beton dan 30-tingkat ke bawah untuk konstruksi baja. Karena struktur dinding merupakan struktur yang kaku, maka perilaku goyangan lebih dipengaruhi oleh lentur/*flexure*, kecuali untuk struktur dinding yang pendek. Pola goyangan struktur dinding yang didominasi oleh “*flexural mode*” tersebut adalah seperti pada Gambar 3.10.



**Gambar 3.10 Letak dan Pola Goyangan Struktur Dinding (*Structural Walls*)**

(Sumber : Pawirodikromo, 2012)

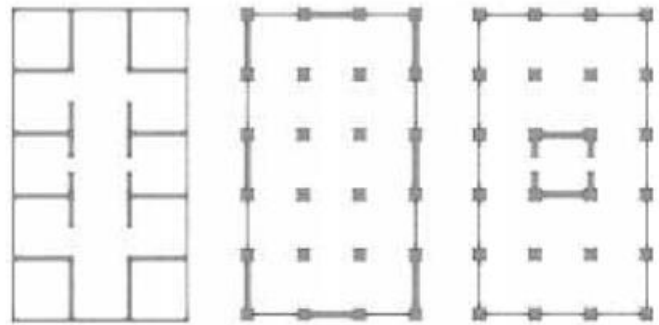
### 3.4 Elemen Struktur Dinding Geser

Berdasarkan letak dan fungsinya, dinding geser dapat diklasifikasikan dalam 3 jenis yaitu :

1. *Bearing wall*, adalah dinding geser yang juga mendukung sebagian besar beban gravitasi. Tembok-tembok ini juga menggunakan dinding partisi yang berdekatan.
2. *Frame wall*, adalah dinding geser yang menahan beban lateral, dimana beban gravitasi berasal dari *frame* beton bertulang. Tembok-tembok ini dibangun diantara baris kolom.



3. *Core wall*, adalah dinding geser yang terletak di dalam wilayah inti pusat dalam gedung yang biasanya diisi tangga atau poros *lift*. Dinding yang terletak dikawasan inti pusat memiliki fungsi ganda dan dianggap menjadi pilihan paling ekonomis.



(a) *Bearing Walls* (b) *Frame Walls* (c) *Core Walls*

**Gambar 3.11. Shearwall Berdasarkan Letak dan Fungsinya**

(Sumber : Nugroho, F., 2017)

Umumnya, dinding geser dikategorikan berdasarkan geometrinya, yaitu:

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

Pada penelitian ini didapatkan nilai  $h_w/l_w$  sebesar  $8 \geq 2$ , maka dinding geser tersebut masuk kategori *Flexural wall* atau dinding langsing.

Dinding geser kantilever, dinding geser berangkai, dan sistem rangka-dinding geser (*dual system*) merupakan dinding struktural yang biasa digunakan dalam perencanaan gedung. Berdasarkan SNI 1726-2012, ada beberapa macam sistem struktur yang disebutkan, diantaranya sebagai berikut ini.

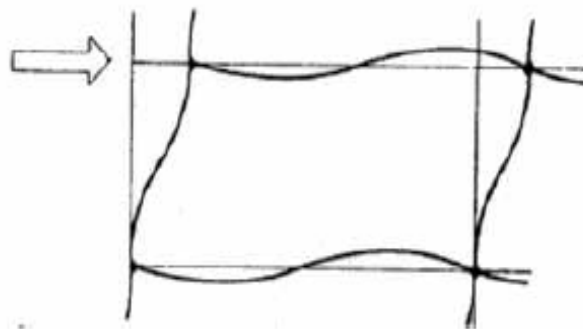
- 1) Pasal 3.49 tentang Sistem ganda, yaitu sistem struktur gabungan dari sistem rangka pemikul momen dengan dinding geser atau *bresing*. Rangka pemikul momen sekurang-kurangnya mampu menahan 25% dari gaya lateral dan

sisanya ditahan oleh dinding geser. Nilai koefisien modifikasi respons ( $R$ ) yang direkomendasikan untuk sistem ganda dengan sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) adalah 7.

- 2) Pasal 3.50 tentang Sistem interaksi dinding geser dan rangka, yaitu sistem struktur yang merupakan gabungan dari sistem rangka beton bertulang dan dinding geser biasa. Nilai  $R$  yang direkomendasikan untuk sistem ini adalah 4,5.
- 3) Pasal 3.52 tentang Sistem rangka gedung, yaitu sistem struktur yang memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap. Pada sistem ini, gaya lateral akibat gempa yang terjadi dipikul oleh dinding geser atau rangka *bresing*.

#### 3.4.1 Perilaku Struktur Rangka Kaku (*Rigid Frame*)

Schueller (1989) menyatakan sistem rangka kaku atau *rigid frame* adalah terdiri dari balok horisontal dan kolom vertikal yang biasanya berbentuk segi-empat teratur yang secara kaku (*rigid*) akan terhubung pada suatu bidang struktur, sehingga pertemuan antara kolom dan balok dapat menahan momen. Struktur bangunan tinggi yang memiliki sampai 30 tingkat pada tinggi bangunannya pada sistem ini akan lebih ekonomis bila digunakan pada struktur bangunan rangka baja sedangkan pada bangunan yang memiliki sampai 20 lantai akan lebih ekonomis digunakan untuk struktur rangka beton bertulang. Gambar 3.12 menunjukkan bahwa mekanisme struktur rangka kaku memiliki sifat hubungan yang kontinuitas antar kolom dan balok karena kedua jenis elemen tersebut memiliki sifat yang lentur dalam menahan beban lateral.



**Gambar 3.12 Respons Lenturan Balok dan Kolom**

(Sumber : Schueller, 1989)

Pada struktur rangka kaku, terjadi lendutan lateral pada balok dan kolom yang disebabkan oleh dua hal, yaitu:

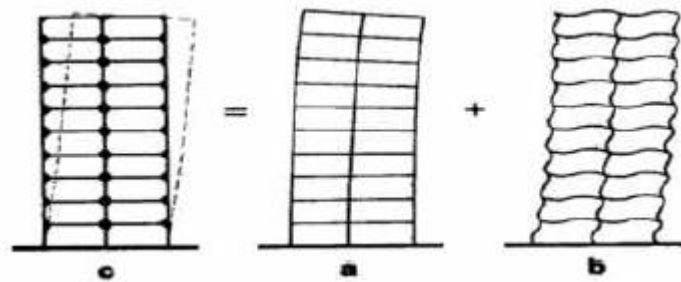
1. Lendutan oleh lentur kantilever

Dikenal sebagai *chord drift*, dimana saat menahan momen guling (*overtuning moment*) akibat beban lateral, struktur rangka beraksi sebagai suatu balok kantilever vertikal yang melentur dalam bentuk deformasi aksial dari kolom-kolom penyusunnya. Lentur kantilever ini kira-kira menyumbang 20% dari total simpangan struktur.

2. Defleksi karena lentur balok dan kolom

Dikenal sebagai *shear lag* atau *frame wracking*. Adanya gaya geser yang terjadi pada kolom dan balok akan menimbulkan momen lentur pada kedua elemen tersebut. Lentur pada kolom dan balok menyebabkan terjadi distorsi secara keseluruhan pada rangka gedung. Tipe deformasi ini menyebabkan  $\pm 80\%$  dari total simpangan struktur yang terdiri dari 65% akibat lenturan balok dan 15% akibat lenturan kolom.

Suatu struktur yang mendapat gaya lateral akan maka struktur tersebut akan mengalami simpangan kearah beban yang bekerja, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.13.c yaitu struktur rangka kaku. Sedangkan pada Gambar 3.13.a di atas merupakan kombinasi simpangan yang diakibatkan oleh lentur kantilever sebesar 20% dari total keseluruhan simpangan dan Gambar 3.13.b menunjukkan lentur balok dan kolom sebesar 80% dari total keseluruhan simpangan.



**Gambar 3.13 Simpangan pada Struktur Rangka Kaku**

(Sumber : Schueller, 1989)

### 3.4.2 Perilaku Dinding Geser (*Shearwall/Cantilever Wall*)

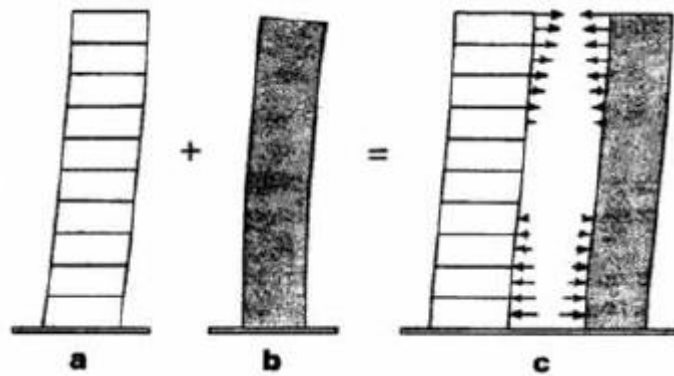
Dinding geser pada suatu bangunan bertingkat memiliki fungsi utama yaitu mampu menahan gaya lateral akibat beban gempa, yang momen lentur pada

strukturnya terjadi akibat terjadi sendi plastis pada kaki dinding sehingga menyebabkan dinding geser runtuh. Karena sifatnya yang dapat memperkaku struktur bangunan sehingga dapat menghasilkan nilai simpangan yang kecil, maka sistem struktur dengan dinding geser sering digunakan pada perencanaan bangunan tinggi. Pada struktur bangunan tinggi yang diakibatkan oleh gaya lateral, sistem ini juga berfungsi untuk mereduksi momen yang diterima struktur rangka sehingga dimensi struktur rangka dapat dibuat seefisien mungkin.

Schueller (1989) menyatakan bahwa, dinding geser memiliki kekakuan yang besar terhadap gaya lateral yang terjadi pada suatu gedung, baik yang diakibatkan oleh beban gempa maupun angin yang akan disebar melalui struktur lantai yang berfungsi sebagai diafragma horisontal yang kemudian akan ditahan oleh dinding geser. Dinding geser dianggap sebagai balok yang tebal karena sifat kaku dan interaksinya terhadap gaya lateral dan lentur terhadap momen guling (*overtuning moment*). Namun, kemampuan ini bergantung dari nilai konfigurasi geometri, orientasi dan lokasi dinding geser pada suatu bangunan.

#### 3.4.3 Perilaku Struktur Rangka-Dinding Geser (*Dual System*)

Struktur dengan kombinasi antara rangka kaku dengan dinding geser atau disebut juga *dual system*, lebih ekonomis digunakan daripada struktur rangka saja bila digunakan untuk menahan gaya lateral. Ini disebabkan karena, pada sistem rangka dimensi struktur balok dan kolom yang yang dibutuhkan akan semakin besar untuk menahan gaya lateral, dan ini kurang ekonomis digunakan pada bangunan tinggi. Dinding geser dan kolom-kolom struktur pada kombinasi struktur ini, oleh balok-balok pada setiap lantainya akan dihubungkan secara kaku (*rigid*). Karena adanya hubungan ini, antara struktur rangka dan dinding geser akan saling bekerjasama dalam menahan beban yang bekerja terhadap beban gravitasi maupun beban lateral dan juga simpangan yang terjadi akan jauh berkurang seiring dengan peningkatan jumlah lantai struktur. Maka, bila suatu struktur gedung yang semakin tinggiakan semakin kecil pula simpangan yang terjadi. Cara menggabungkan kedua elemen tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.14.



**Gambar 3.14 Superimpos *Mode* Individu dari Deformasi**

(Sumber : Schueller, 1989)

Gambar 3.14.a menunjukkan deformasi *mode* geser untuk rangka kaku, sudut deformasi (lendutan) pada struktur ini paling besar terjadi pada dasar struktur dimana terjadi geser maksimum. Gambar 3.14.b menunjukkan deformasi *mode* lentur untuk dinding geser, sudut deformasi (lendutan) paling besar terjadi pada bagian atas bangunan sehingga sistem dinding geser memberikan kekakuan paling kecil pada bagian atas bangunan. Dan Gambar 3.14.c menunjukkan interaksi antara struktur rangka kaku dan dinding geser, interaksi ini diperoleh dengan membuat superposisi *mode* s defleksi terpisah yang menghasilkan kurva S datar. Perbedaan sifat deflesi antara dinding geser dan rangka kaku menyebabkan dinding geser menahan simpangan rangka kaku pada bagian bawah, sedangkan rangka kaku akan menahan simpangan dinding geser pada bagian atas. Dengan demikian, geser akibat gaya lateral akan dipikul oleh rangka pada bagian atas bangunan dan dibagian bawah bangunan akan dipikul oleh dinding geser.

### 3.5 Jenis Pembebanan

Beban-beban yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

#### 3.5.1 Beban Mati

Dalam SKBI (1987) menjelaskan bahwa beban mati adalah berat dari semua bagian dari suatu gedung yang bersifat tetap, termasuk segala unsur tambahan, penyelesaian-penyelesaian, mesin-mesin serta peralatan tetap yang merupakan bagian tak terpisahkan dari gedung itu.

Berat sendiri dari bahan-bahan bangunan penting dan dari beberapa komponen gedung yang harus ditinjau di dalam menentukan beban mati dari suatu gedung, harus diambil menurut Tabel 3.1 dan Tabel 3.2 berikut.

**Tabel 3.1 Berat Sendiri Bahan Bangunan**

BAHAN BANGUNAN	BERAT JENIS
Baja	7850 kg/m <sup>3</sup>
Batu alam	2600 kg/m <sup>3</sup>
Batu belah, batu bulat, batu gunung (berat tumpuk)	1500 kg/m <sup>3</sup>
Batu karang (berat tumpuk)	700 kg/m <sup>3</sup>
Batu pecah	1450 kg/m <sup>3</sup>
Batu tuang	7250 kg/m <sup>3</sup>
Beton <sup>(1)</sup>	2200 kg/m <sup>3</sup>
Beton bertulang <sup>(2)</sup>	2400 kg/m <sup>3</sup>
Kayu (Kelas 1) <sup>(3)</sup>	1000 kg/m <sup>3</sup>
Kerikil, koral (kering udara sampai lembab, tanpa diayak)	1650 kg/m <sup>3</sup>
Pasangan bata merah	1700 kg/m <sup>3</sup>
Pasangan batu belah, batu bulat, batu gunung	2200 kg/m <sup>3</sup>
Pasangan batu cetak	2200 kg/m <sup>3</sup>
Pasangan batu karang	1450 kg/m <sup>3</sup>
Pasir (kering udara sampai lembab)	1600 kg/m <sup>3</sup>
Pasir (jenuh air)	1800 kg/m <sup>3</sup>
Pasir kerikil, koral (kering udara sampai lembab)	1850 kg/m <sup>3</sup>
Tanah, lempung dan lanau (kering udara sampai lembab)	1700 kg/m <sup>3</sup>
Tanah, lempung dan lanau (basah)	2000 kg/m <sup>3</sup>
Timah hitam (timbel)	11400 kg/m <sup>3</sup>
Tanah, lempung dan lanau (kering udara sampai lembab)	1700 kg/m <sup>3</sup>

Catatan : (1) Nilai ini tidak berlaku untuk beton pengisi.

(2) Untuk beton getar, beton kejut, beton mampat dan beton padat lain sejenis, berat sendirinya harus ditentukan tersendiri.

(3) Nilai ini adalah nilai rata-rata, untuk jenis-jenis kayu tertentu lihat

Pedoman Perencanaan Konstruksi Kayu

Sumber : SKBI (1987)

**Tabel 3.2 Berat Sendiri Komponen Gedung**

KOMPONEN GEDUNG	BERAT JENIS
Adukan, per cm tebal: - dari semen - dari kapur, semen merah atau tras	21 kg/m <sup>2</sup> 17 kg/m <sup>2</sup>
Aspal, termasuk bahan-bahan mineral penambah per cm tebal	14 kg/m <sup>2</sup>
Dinding pasangan bata merah - satu batu - setengah batu	450 kg/m <sup>2</sup> 250 kg/m <sup>2</sup>
Dinding pasangan batako : Berlubang: - tebal dinding 20 cm (HB 20) - tebal dinding 10 cm (HB 10)	200 kg/m <sup>2</sup> 120 kg/m <sup>2</sup>
Tanpa lubang: - tebal dinding 15 cm - tebal dinding 10 cm	300 kg/m <sup>2</sup> 200 kg/m <sup>2</sup>
Langit-langit dan dinding (termasuk rusuk-rusuknya tanpa penggantung langit-langit atau pengaku), terdiri dari: - semen asbes (eternit dan bahan lain sejenis), dengan tebal maksimum 4 mm - kaca, dengan tebal 3-5 mm	11 kg/m <sup>2</sup> 10 kg/m <sup>2</sup>
Lantai kayu sederhana dengan balok kayu, tanpa langit-langit dengan bentang maksimum 5 m dan untuk beban hidup maksimum 200 kg/m <sup>2</sup>	40 kg/m <sup>2</sup>
Penggantungan langit-langit (dari kayu), dengan bentang maksimum 5 m dan jarak s.k.s minimum 0,80 m	7 kg/m <sup>2</sup>
Penutup atap genting dengan reng dan usuk/kaso, per m <sup>2</sup> bidang atap	50 kg/m <sup>2</sup>
Penutup atas sirap dengan reng dan usuk/kaso, per m <sup>2</sup> bidang atap	40 kg/m <sup>2</sup>
Penutup atas sirap dengan reng dan usuk/kaso, per m <sup>2</sup> bidang atap	40 kg/m <sup>2</sup>
Penutup atap seng gelombang (BJLS-25) tanpa gordeng	10 kg/m <sup>2</sup>
Penutup lantai dari ubin semen Portland, teraso dan beton, tanpa adukan, per cm tebal	24 kg/m <sup>2</sup>
Semen asbes gelombang (tebal 5 mm)	11 kg/m <sup>2</sup>
Langit-langit dan dinding (termasuk rusuk-rusuknya tanpa penggantung langit-langit atau pengaku), terdiri dari: - semen asbes (eternit dan bahan lain sejenis), dengan tebal maksimum 4 mm - kaca, dengan tebal 3-5 mm	11 kg/m <sup>2</sup> 10 kg/m <sup>2</sup>

Sumber : SKBI (1987)

### 3.5.2 Berat Hidup

Dalam SKBI (1987) menjelaskan bahwa beban hidup adalah semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung, dan ke dalamnya termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah, mesin-mesin serta peralatan yang tidak merupakan bagian yang

terpisahkan dari gedung itu, sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai dan atap tersebut.

1. Beban hidup pada lantai gedung

Beban hidup pada pada lantai gedung harus diambil menurut Tabel 3.3. kedalam beban hidup tersebut sudah termasuk perlengkapan ruang sesuai dengan kegunaan lantai ruang yang bersangkutan, dan juga dinding-dinding pemisah ringan dengan berat tidak lebih dari  $100 \text{ kg/m}^2$ .

**Tabel 3.3 Beban Hidup pada Lantai Gedung**

KEGUNAAN LANTAI RUANG	BERAT JENIS
a. Panggung penonton dengan tempat duduk tidak tetap atau untuk penonton yang berdiri	$500 \text{ kg/m}^2$
b. Tangga, bordes tangga dan gang dari yang disebut dalam c	$300 \text{ kg/m}^2$
c. Tangga, bordes tangga dan gang dari yang disebut dalam d, e, f dan g	$500 \text{ kg/m}^2$
d. Lantai ruang pelengkap dari yang disebut dalam c, d, e, f dan g	$250 \text{ kg/m}^2$
e. Lantai untuk pabrik, bengkel, gudang, perpustakaan, ruang arsip, toko buku, toko besi, ruang alat-alat dan ruang mesin, harus direncanakan terhadap beban hidup yang ditentukan tersendiri, dengan minimum	$400 \text{ kg/m}^2$
f. Lantai gedung parker bertingkat:	
- untuk lantai bawah	$800 \text{ kg/m}^2$
- untuk lantai tingkat lainnya	$400 \text{ kg/m}^2$
Balkon-balkon yang menjorok bebas keluar harus di rencanakan terhadap beban hidup dari lantai ruang yang berbatasan,dengan minimum	$300 \text{ kg/m}^2$

Sumber : SKBI (1987)

2. Beban hidup pada atap gedung

Beban hidup pada atap dan/atau bagian atap serta pada struktur tudung (*canopy*) yang dapat dicapai dan dibebani, harus diambil minimum sebesar  $100 \text{ kg/m}^2$  atau  $0,1 \text{ T/m}^2$  bidang datar.



### 3.5.3 Beban Gempa

Berdasarkan SNI 1726-2012, gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlewati besarnya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2% selama periode ulang 2500 tahun.

Berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan non gedung sesuai Tabel 3.4 pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan faktor keutamaan  $I_e$  menurut Tabel 3.5.

**Tabel 3.4 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung untuk Beban Gempa**

Jenis pemanfaatan	Kategori risiko
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk, antara lain: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan</li> <li>• Fasilitas sementara</li> <li>• Gudang penyimpanan</li> <li>• Rumah jaga dan struktur kecil lainnya</li> </ul>	I
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I, II, III, IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Perumahan, Gedung apartemen/rumah susun</li> <li>• Rumah toko dan rumah kantor</li> <li>• Pasar</li> <li>• Gedung perkantoran</li> <li>• Bangunan industri</li> <li>• Fasilitas manufaktur</li> <li>• Pabrik</li> </ul>	II
Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bioskop</li> <li>• Gedung pertemuan</li> <li>• Stadion</li> <li>• Fasilitas kesehatan yang tidak memiliki unit bedah dan unit gawat darurat</li> <li>• Fasilitas penitipan anak</li> <li>• Penjara</li> <li>• Bangunan untuk orang jompo</li> </ul>	III

**Lanjutan Tabel 3.4 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung  
untuk Beban Gempa**

Jenis pemanfaatan	Kategori resiko
<p>Gedung dan non gedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan massal terhadap kehidupan masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pusat pembangkit listrik biasa</li> <li>• Fasilitas penanganan air</li> <li>• Fasilitas penanganan limbah</li> <li>• Pusat telekomunikasi</li> </ul> <p>Gedung dan non gedung yang tidak termasuk dalam kategori risiko IV, (termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk fasilitas manufaktur, proses, penanganan, penyimpanan, penggunaan atau tempat pembuangan bahan bakar berbahaya, bahan kimia berbahaya, limbah berbahaya, atau bahan yang mudah meledak) yang mengandung bahan beracun atau peledak 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
<p>Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bangunan-bangunan monumental</li> <li>• Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan</li> <li>• Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat</li> <li>• Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat</li> <li>• Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya</li> <li>• Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat</li> <li>• Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat</li> <li>• Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat</li> </ul> <p>Gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV</p>	IV

Sumber: SNI 1726-2012

**Tabel 3.5 Faktor Keutamaan Gempa**

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

Sumber: SNI 1726-2012

Pada setiap sistem struktur memiliki masing-masing nilai  $R$ ,  $C_d$  dan  $\Omega_0$  yang harus dikenakan pada setiap sistem strukturnya, termasuk batasan sistem struktur yang termuat dalam Tabel 3.6.

**Tabel 3.6 Faktor  $R$ ,  $C_d$ ,  $\Omega_0$  untuk Sistem Penahan Beban Lateral**

Sistem penahan gaya lateral		$R$	$C_d$	$\Omega_0$	Batasan sistemstruktur dan batasan tinggi struktur, $h_n$ (m)				
					Kategori desain seismic				
					B	C	D	E	F
Sistem dinding penumpu	Dinding geser beton bertulang khusus	5	2,5	5	TB	TB	48	48	30
	Dinding geser beton bertulang biasa	4	2,5	4	TB	TB	TI	TI	TI
Sistem rangka bangunan	Dinding geser beton bertulang khusus	6	2,5	5	TB	TB	48	48	30
	Dinding geser beton bertulang biasa	5	2,5	4,5	TB	TB	TI	TI	TI
Sistem rangka pemikul momen	Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5,5	TB	TB	TB	TB	TB
	Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4,5	TB	TB	TI	TI	TI
	Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2,5	TB	TI	TI	TI	TI

**Lanjutan Tabel 3.6 Faktor  $R$ ,  $C_d$ ,  $\Omega_0$  untuk Sistem Penahan Beban Lateral**

Sistem penahan gaya lateral		$R$	$C_d$	$\Omega_0$	Batasan sistemstruktur dan batasan tinggi struktur, $h_n$ (m)				
					Kategori desain seismic				
					B	C	D	E	F
Sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25% gaya gempa yang ditetapkan	Dinding geser beton bertulang khusus	7	2,5	5,5	TB	TB	TB	TB	TB
	Dinding geser beton bertulang biasa	6	2,5	5	TB	TB	TI	TI	TI
Sistem ganda dengan rangka pemikul momen menengah paling sedikit 25% gaya gempa yang ditetapkan	Dinding geser beton bertulang khusus	6,5	2,5	5	TB	TB	48	30	30
	Dinding geser beton bertulang biasa	3	3	2,5	TB	48	TI	TI	TI
Sistem interaktif dinding geser-rangka dengan rangka pemikul momen beton bertulang biasa		4,5	2,5	4	TB	TI	TI	TI	TI

Catatan :

TB = Tidak dibatasi

TI = Tidak diijinkan

Sumber : SNI 1726-2012

### 3.6 Analisis Dinamik

Analisis dinamik adalah analisis struktur dimana pembagian gaya geser gempa di seluruh tingkat diperoleh dengan memperhitungkan pengaruh dinamis gerakan tanah terhadap struktur .

#### 3.6.1 Analisis Ragam Respons Spektrum

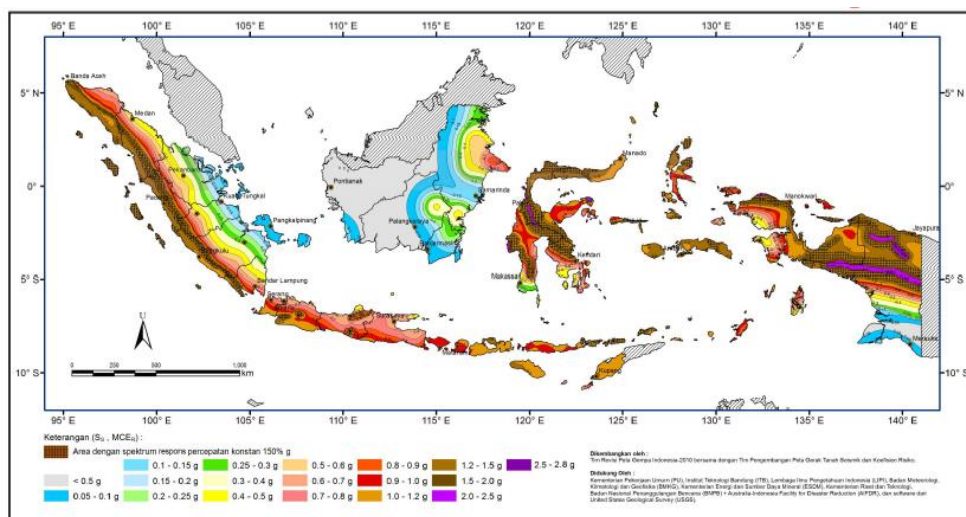
Menurut Widodo (2012), respons spektrum adalah suatu spektrum yang disajikan dalam bentuk grafik/plot antara periode getar struktur  $T$ , lawan respons-respons maksimumnya untuk suatu rasio redaman dan beban gempa tertentu respons maksimum dapat berupa simpangan maksimum (*Spectral Displacement, SD*), kecepatan maksimum (*Spectral Velocity, SV*), atau percepatan maksimum (*Spectral Acceleration, SA*) suatu massa struktur dengan derajat kebebasan tunggal (*Singel Degree of Freedom, SDOF*). Suatu spektrum maksimum suatu gempa tertentu kadang-kadang dinyatakan dalam fungsi :

$$\begin{aligned}
 &SD(\xi, T, \mu, S) \\
 &SV(\xi, T, \mu, S) \\
 &SA(\xi, T, \mu, S)
 \end{aligned}
 \tag{3.2}$$

dengan  $\xi$  adalah rasio redaman,  $T$  adalah periode getar dan  $\mu$  adalah daktalitas struktur dan  $S$  adalah jenis tanah.

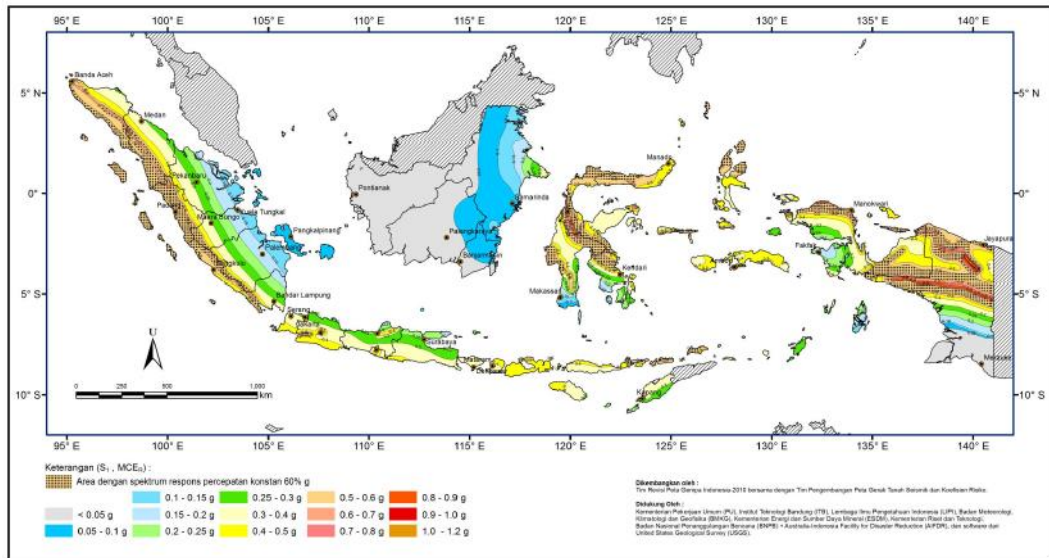
Dari persamaan (3.2) dapat diketahui bahwa respons spektrum suatu struktur SDOF akan bergantung pada beban gempa, rasio redaman, periode getar, daktalitas struktur dan jenis tanah setempat. Umumnya beban gempa, rasio redaman, daktalitas dan jenis tanah sudah dijadikan suatu variable kontrol sehingga grafik yang ada tinggalah plot antara periode getar  $T$  lawan nilai simpangan, kecepatan atau percepatan maksimum.

Parameter  $S_s$  (percepatan batuan dasar pada perioda pendek) dan  $S_1$  (percepatan batuan dasar pada perioda 1 detik) harus ditetapkan masing-masing respons spektral percepatan 0,2 detik dan 1 detik dalam peta gerak tanah seismik dengan kemungkinan 2 persen terlampaui dalam 50 tahun ( $MCE_R$ , 2 persen dalam 50 tahun), dan dinyatakan dalam bilangan desimal terhadap percepatan gravitasi. Bila  $S_1 < 0,04g$  dan  $S_s < 0,15g$ , maka struktur bangunan boleh dimasukkan ke dalam kategori desain seismik A, dan cukup memenuhi persyaratan dalam kategori desain seismik A. Nilai parameter  $S_s$  dan  $S_1$  dapat dilihat pada Gambar 3.15 dan Gambar 3.16 berikut.



**Gambar 3.15  $S_s$ , Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget ( $MCRE_R$ ), Kelas Situs SB**

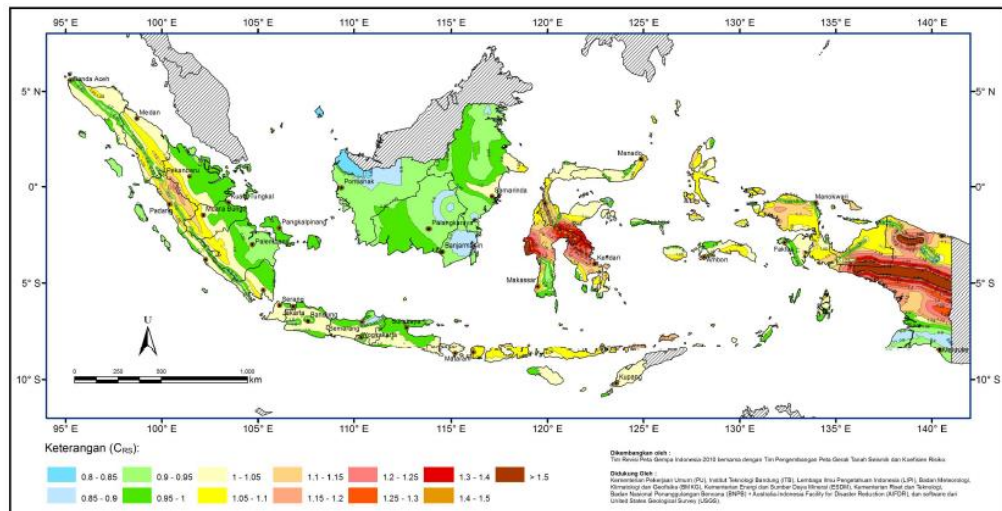
(Sumber : SNI 1726-2012)



**Gambar 3.16  $S_1$ , Gempa Maksimum yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget ( $MCE_R$ ), Kelas Situs SB**

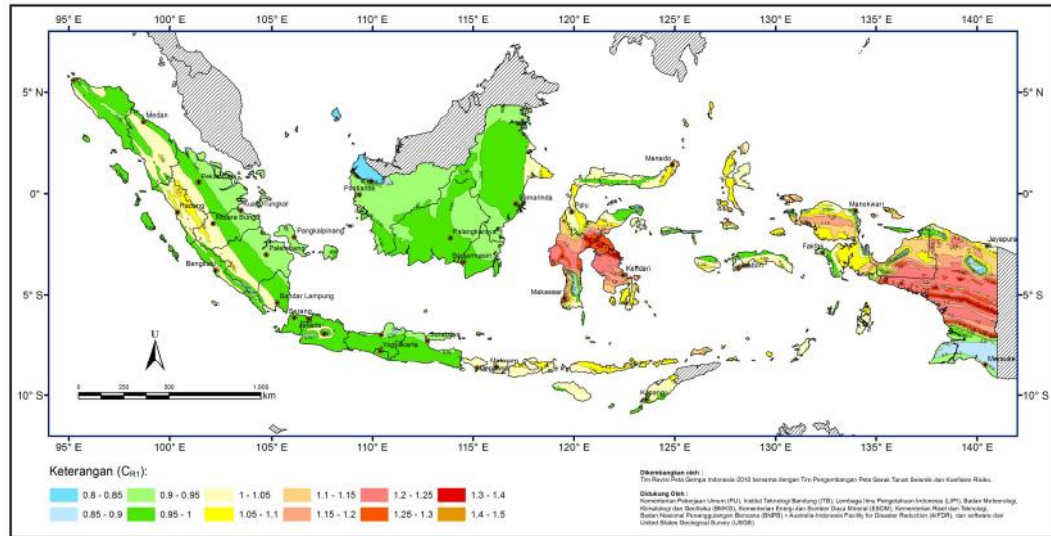
(Sumber : SNI 1726-2012)

Koefisien risiko terpetakan masing-masing  $CR_S$  dan  $CR_1$ , dengan  $CR_S$  adalah koefisien risiko terpetakan untuk spektrum respon periode pendek dan  $CR_1$  adalah koefisien risiko terpetakan untuk spektrum respon periode 1 detik. Nilai  $CR_S$  dan  $CR_1$  dapat dilihat pada Gambar 3.17 dan Gambar 3.18.



**Gambar 3.17  $CR_{RS}$ , Koefisien Risiko Terpetakan, Periode Respons Spektral 0,2 detik**

(Sumber : SNI 1726-2012)



**Gambar 3.18 C<sub>R1</sub>, Koefisien Risiko Terpetakan, Perioda Respons Spektral 1 detik**

(Sumber : SNI 1726-2012)

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

$$SM_S = F_a \cdot S_S \quad (3.3)$$

$$SM_1 = F_v \cdot S_1 \quad (3.4)$$

Keterangan:

$S_S$  = parameter respons spektral percepatan gempa  $MCE_R$  terpetakan untuk perioda pendek

$S_1$  = parameter respons spektral percepatan gempa  $MCE_R$  terpetakan untuk perioda 1,0 detik

Koefisiensi situs nilai  $F_a$  dan  $F_v$  dapat dilihat pada Tabel 3.7 dan Tabel 3.8 berikut.

**Tabel 3.7 Koefisien Situs, Fa**

Klasifikasi <i>site</i>	Parameter respons spektral percepatan gempa ( $MCE_R$ ) terpetakan untuk periode pendek, $T = 0,2$ detik, $S_s$				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	$SS^b$				

Catatan:

- (a) Untuk nilai-nilai antara  $S_s$  dapat dilakukan interpolasi linier
- (b)  $S_s =$  Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik

Sumber : SNI 1726-2012

**Tabel 3.8 Koefisien Situs, Fv**

Klasifikasi <i>site</i>	Parameter respons spectral percepatan gempa ( $MCE_R$ ) terpetakan untuk periode 1,0 detik, $S_1$				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	$SS^b$				

Catatan:

- (a) Untuk nilai-nilai antara  $S_1$  dapat dilakukan interpolasi linier
- (b)  $S_1 =$  Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik

Sumber : SNI 1726-2012

Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek ( $SD_s$ ) dan pada periode 1 detik ( $SD_1$ ), harus ditentukan melalui rumus:



$$SD_S = \frac{2}{3} \cdot SM_S \quad (3.5)$$

$$SD_1 = \frac{2}{3} \cdot SM_1 \quad (3.6)$$

Desain respons spektrum diperlukan oleh tata cara ini dan prosedur gerak tanah dari spesifik-situs tidak digunakan, maka kurva spektrum respons desain harus dikembangkan dengan mengacu Gambar 3.19 dan mengikuti ketentuan di bawah ini:

1. Untuk perioda yang lebih kecil dari  $T_0$ , spektrum respons percepatan desain,  $S_a$ , harus diambil dari persamaan :

$$S_a = SDS \left( 0,4 + 0,6 \cdot \frac{T}{T_0} \right) \quad (3.7)$$

2. Untuk perioda lebih besar dari atau sama dengan  $T_0$  dan lebih kecil dari atau sama dengan  $T_S$ , spektrum respons percepatan desain,  $S_a$ , sama dengan  $SDS$ .

3. Untuk perioda lebih besar dari  $T_S$ , spektrum respons percepatan desain,  $S_a$ , diambil berdasarkan persamaan :

$$S_a = \frac{SD_1}{T} \quad (3.8)$$

Keterangan:

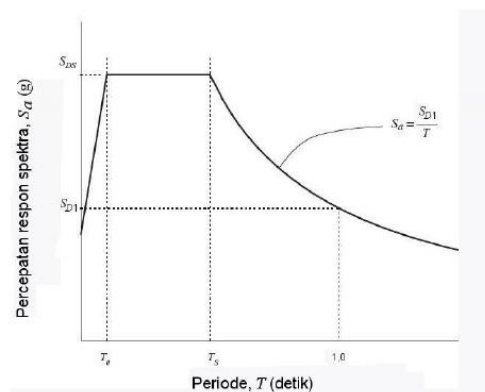
$SDS$  = Parameter respons spektral percepatan desain pada perioda pendek,

$SD_1$  = Parameter respons spektral percepatan desain pada perioda 1 detik,

$T$  = Perioda getar fundamental struktur.

$$T_0 = 0,2 \frac{SD_1}{SDS} \quad (3.9)$$

$$T_S = \frac{SD_1}{SDS} \quad (3.10)$$



**Gambar 3.19 Spektrum Respons Desain**

(Sumber : SNI 1726-2012)

Masing-masing bangunan dan struktur harus ditetapkan ke dalam kategori desain seismiknya berdasarkan kategori risikonya dan parameter respons spectral percepatan desainnya,  $S_{DS}$  dan  $S_{D1}$  sesuai Tabel 3.9 dan Tabel 3.10.

**Tabel 3.9 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode Pendek**

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

Sumber: SNI 1726-2012

**Tabel 3.10 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode Pendek 1 Detik**

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

Sumber: SNI 1726-2012

Periode fundamental,  $T$ , tidak boleh melebihi hasil koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung ( $C_u$ ) dari Tabel 3.12 dan periode fundamental pendekatan,  $T_a$ , yang ditentukan sesuai dengan Persamaan 3.11. Periode fundamental diijinkan secara langsung menggunakan periode fundamental pendekatan ( $T_a$ ).

$$T_a = C_t \cdot h_n^x \quad (3.11)$$

Keterangan :

$h_n$  adalah ketinggian struktur, dalam (m), di atas dasar sampai tingkat tertinggi struktur, dan koefisien  $C_t$  dan  $x$  ditentukan dari Tabel 3.11.

**Tabel 3.11 Nilai Parameter Periode Pendekatan  $C_t$  dan  $X$** 

Tipe struktur	$C_t$	$X$
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka pemikul 100% gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa:		
Rangka baja pemikul momen	0,0724 <sup>a</sup>	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466 <sup>a</sup>	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731 <sup>a</sup>	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731 <sup>a</sup>	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488 <sup>a</sup>	0,75

Sumber : SNI 1726-2012

**Tabel 3.12 Koefisien untuk Batas Atas pada Periode yang Dihitung**

Parameter percepatan respons spektral desain pada 1 detik, $S_{D1}$	Koefisien $C_u$
$\geq 0,4$	1,4
0,3	1,4
0,2	1,5
0,15	1,6
$\leq 0,1$	1,7

Sumber : SNI 1726-2012

Gaya dasar seismik,  $V$ , dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai Persamaan 3.12.

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

Keterangan:

 $C_s$  = koefisien respons seismik $W$  = berat seismik efektif

Nilai koefisien respons seismik ( $C_s$ ) dihitung menggunakan rumus.

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

Keterangan:

$S_{DS}$  = parameter percepatan spektrum respons desain dalam rentang periode pendek

$R$  = faktor modifikasi respons

$I_e$  = faktor keutamaan gempa

Nilai  $C_s$  yang dihitung sesuai Persamaan 3.13 tidak perlu melebihi

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

$C_s$  harus tidak kurang dari,

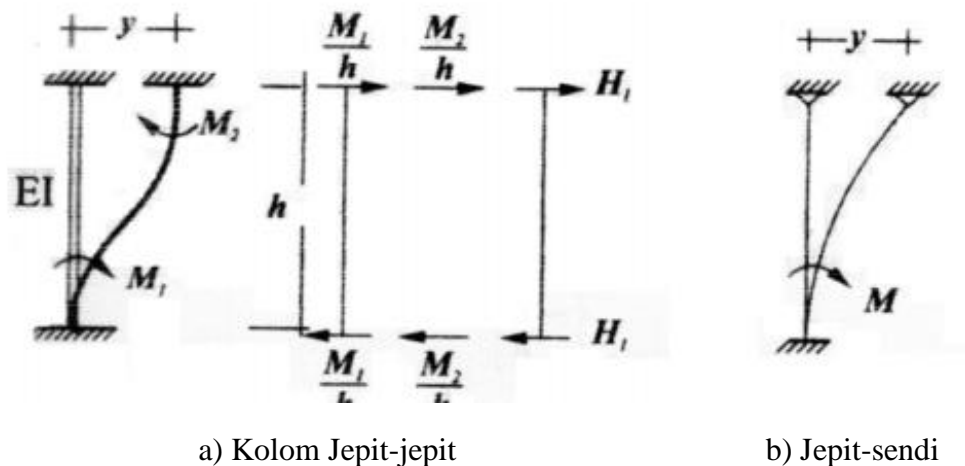
$$C_s = 0,0044 \cdot S_{DS} \cdot I_e \geq 0,01 \quad (3.15)$$

### 3.7 Kekakuan

Bangunan geser (*shear building*) balok pada lantai tingkat prinsipnya baik sebelum maupun sesudah penggoyangan dianggap horisontal. Plat lantai yang menyatu secara kaku dengan balok diharapkan dapat membantu kekakuan balok sehingga anggapan tersebut tidak terlalu kasar. Pada prinsip desain bangunan tahan gempa dikehendaki agar kolom lebih kuat dibanding dengan balok, namun rasio tersebut tidak selalu linier dengan kekakuannya. Maka pada prinsip *shear building* dimungkinkan pemakaian *lumped mass* model, yaitu kekakuan setiap kolom dapat dihitung berdasarkan rumus standar. Widodo (2001) menyatakan pada prinsipnya, semakin kaku balok maka semakin besar kemampuannya dalam mengekang rotasi ujung kolom, sehingga akan menambah kekakuan kolom.

#### 3.7.1 Kekakuan Kolom Jepit-jepit

Untuk menyederhanakan proses analisis dinamik, maka beberapa asumsi perlu diambil. Salah satunya adalah bahwa titik pertemuan antara kolom dengan balok dianggap tidak berotasi agar balok tetap horisontal sebelum dan sesudah penggoyangan. Namun karena kenyataannya join-join struktur bangunan dapat berotasi secara bebas, maka untuk menghitung kekakuan kolom ini diambil model kolom jepit-jepit yang join atasnya mengalami perubahan tempat secara horisontal seperti pada Gambar 3.20.



**Gambar 3.20 Kekakuan Kolom Jepit-jepit dan Jepit-sendi**

(Sumber : Widodo, 2001)

Menurut prinsip mekanika, suatu kolom jepit-jepit panjang  $h$  dengan kekakuan lentur (*flexural rigidity*)  $EI$  yang salah satu ujungnya mengalami perpindahan tempat sebesar  $y$ , maka ujung-ujung elemen tersebut akan timbul momen sebesar,

$$M_1 = \frac{6EI}{h^2} y, \text{ dan } M_2 = \frac{6EI}{h^2} y \quad (3.16)$$

Karena elemen tersebut mempunyai potongan yang prismaatik maka  $M_1$  akan sama dengan  $M_2$ . Adanya momen akan menimbulkan gaya geser yang bekerja pada masing-masing join sebesar,

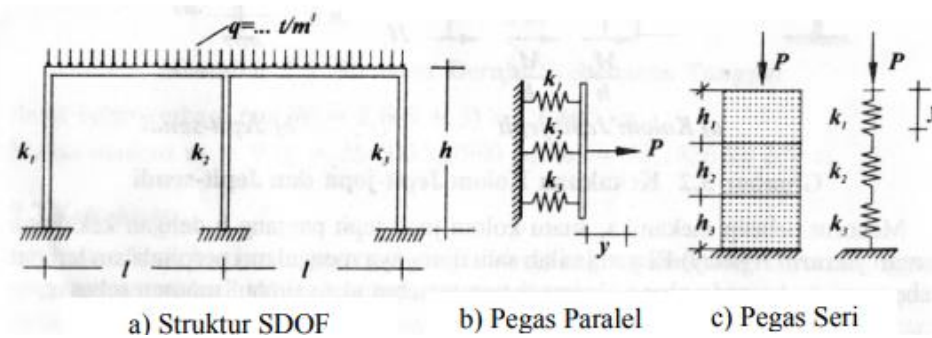
$$H_1 = \frac{M_1}{h} + \frac{M_2}{h} = \left\{ \frac{6EI}{h^3} + \frac{6EI}{h^3} \right\} y = \frac{12EI}{h^3} y \quad (3.17)$$

Pada hakekatnya gaya horisontal yang bekerja pada join atas  $P = H_1 = H_2$ , maka kekakuan kolom dapat dihitung dengan,

$$K = \frac{P}{y} = \frac{12EI y}{h^2 h y} = \frac{12EI}{h^3} \quad (3.18)$$

Persamaan 3.18 adalah kekakuan kolom prismaatik jepit-jepit dengan mengabaikan efek P-delta. Untuk kolom jepit-sendi maka kekakuannya dapat dicari dengan cara yang sama dan dapat dihitung dengan,

$$K = \frac{3EI}{h^3} \quad (3.19)$$



**Gambar 3.21 Pegas Paralel dan Pegas Seri**

(Sumber : Widodo,2001)

Struktur bangunan umumnya didukung oleh beberapa kolom, kolom tersebut memiliki fungsi utama menahan beban baik beban vertikal maupun horisontal. Kolom-kolom tersebut akan memperkuat satu sama lain dalam menahan beban. Pemodelan kekakuan kolom dimodelkan sebagai serangkaian pegas paralel yang bekerja secara bersamaan. Ciri-ciri rangkaian pegas paralel adalah apabila kolom-kolom/pegas-pegas tersebut berhubungan dengan massa secara bersamaan. Pegas yang tersusun secara paralel menganut prinsip persamaan regangan artinya seluruh pegas memiliki regangan yang sama, sehingga kekakuan total yang merupakan kekakuan ekuivalen dihitung dengan rumus,

$$K_{eq} = \sum_{i=1}^n K_i \quad (3.20)$$

dimana  $i = 1, 2, 3, \dots, n$  adalah jumlah kolom,  $K_i$  adalah kekakuan kolom  $i$  menurut persamaan 3.19.

Pada rangkaian pegas seri, sebelum bertemu dengan massa maka pegas yang satu saling bertemu/berhubungan dengan pegas lain. Oleh karena itu pegas-pegas tersebut tidak saling memperkuat sebagaimana rangkaian paralel tetapi justru saling memperlemah. Pembebanan vertikal pada lapisan-lapisan tanah yang mana tiap-tiap lapis mempunyai kekakuan masing-masing adalah salah satu contoh dari pemodelan kekakuan tanah dengan pegas seri. Pendekatan pegas merupakan jumlah dari pendekatan masing-masing pegas dan menganut prinsip persamaan tegangan/beban sepanjang pegas sehingga,

$$y_1 = \frac{P}{K_1}, y_2 = \frac{P}{K_2}, y_3 = \frac{P}{K_3} \quad (3.21)$$

dimana  $y$  adalah pendekatan yang dialami oleh masing-masing pegas.

Total pendekatan yang dialami pegas seri adalah jumlah dari pendekatan yang dialami oleh masing-masing pegas sehingga,

$$y = y_1 + y_2 + y_3 = \frac{P}{K_1} + \frac{P}{K_2} + \frac{P}{K_3} = P \left\{ \frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2} + \frac{1}{K_3} \right\} = P \left\{ \frac{1}{K_{eq}} \right\} \quad (3.22)$$

Dengan demikian kekakuan ekivalen rangkaian pegas seri dapat dihitung dengan rumus,

$$\frac{1}{K_{eq}} = \sum_{i=1}^n \left\{ \frac{1}{K_i} \right\} \quad (3.23)$$

### 3.7.2 Kekakuan Menurut Cara Muto (1975)

Muto (1975) dalam Widodo (2001) memberikan alternatif tata cara menghitung kekakuan kolom dengan memperhitungkan kekakuan balok. Hal ini berarti bahwa join-join dimungkinkan untuk berotasi. Kekakuan relatif balok dan kolom dinyatakan dalam,

$$K_{kc} = \frac{I_c}{h_c}, \quad K_{kb} = \frac{I_b}{h_b} \quad (3.24)$$

yang mana  $K$  adalah koefisien  $k_c$  dan  $k_b$  masing-masing adalah kekakuan relatif kolom dan balok,  $h_c$  dan  $I_b$  berturut-turut adalah tinggi kolom dan panjang balok.

Kekakuan Muto dapat ditulis seperti pada persamaan berikut,

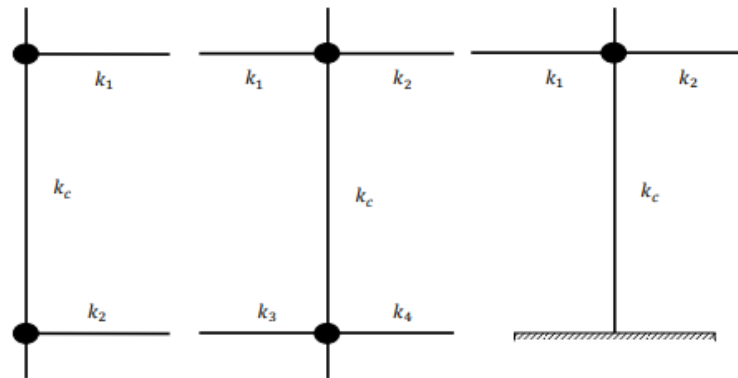
$$K_m = C_m \cdot K_f \quad (3.25)$$

dengan,

$$C_m = \frac{k'}{k'+2} \quad \text{dan} \quad K_f = \frac{12EI}{h^3} \quad (3.26)$$

yang mana  $K_m$  adalah kekakuan Muto,  $K_f$  adalah kolom jepit-jepit dan  $C_m$  adalah koefisien, sedangkan nilai  $k'$  adalah bentuk persamaan umum.

Ada terdapat perbedaan kekakuan relatif antar balok seperti pada Gambar 3.22 berikut.



a) Kolom Tepi

b) Kolom Tengah

c) Kolom Bawah

**Gambar 3.22 Beberapa Kondisi Pengekangan Kolom oleh Balok-balok**

(Sumber : Widodo, 2001)

Nilai  $k'$  yang didapatkan berdasarkan letak/kondisi masing-masing kolom seperti ditunjukkan pada Gambar 3.22 diatas, yaitu:

- a) Kolom tepi yaitu kolom yang dipegang oleh dua balok, maka koefisien  $k'$  adalah,

$$k' = \frac{k_1+k_2}{2k_c} = \frac{\Sigma k_b}{2k_c} \quad \text{dan} \quad C_m = \frac{k'}{k'+2} \quad (3.27)$$

- b) Kolom tengah yaitu kolom yang dipegang oleh 4 balok, maka koefisien  $k'$  adalah,

$$k' = \frac{k_1+k_2+k_3+k_4}{2k_c} = \frac{\Sigma k_b}{2k_c} \quad \text{dan} \quad C_m = \frac{k'}{k'+2} \quad (3.28)$$

- c) Kolom bawah (dasar).

$$k' = \frac{\Sigma k_b}{k_c} \quad (3.29)$$

$$C_m = \frac{k'+0,5}{k'+2} \quad (3.30)$$

yang mana kolom dasar dapat berotasi yang dikontrol oleh adanya balok-balok sloof



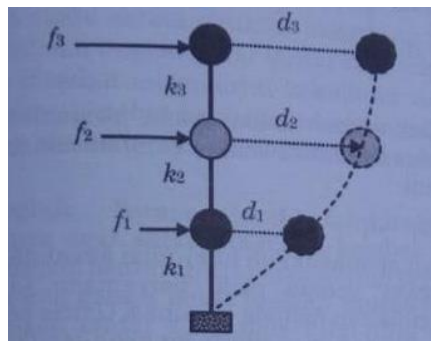
$$C_m = \frac{k'+1}{k'+2} \quad (3.31)$$

yang mana titik balik kolom terletak pada  $1/3h$  dari join atas dengan  $h$  tinggi kolom. Apabila kekakuan tingkat dasar diambil rata-rata dari kekakuan kolom jepit-jepit dan kekakuan normal.

### 3.7.3 Kekakuan dengan Cara Matrik

Matrik hubungan antara kekakuan  $K$ , simpangan  $d$ , dan gaya  $F$  dapat ditulis sebagai berikut:

$$\bar{K} \bar{d} = F \quad (3.32)$$



**Gambar 3.23 Model Struktur Bangunan Gedung 3 Lantai (Gedung Bertingkat 3)**

(Sumber : Sarwidi, 2013)

Mengacu dari Gambar 3.23 matrik kekakuan struktur  $K$  dan matrik gaya gempa  $F$  disusun sebagai berikut.

$$K = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 \\ 0 & -k_3 & k_3 \end{bmatrix} \quad (3.33)$$

$$F = \begin{Bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \end{Bmatrix} \quad (3.34)$$

$$d = \begin{Bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \end{Bmatrix} \quad (3.35)$$

menjadi,

$$\begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 \\ 0 & -k_3 & k_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \end{Bmatrix} \quad (3.36)$$

Dengan menggunakan metode eliminasi Gauss, maka didapatkan,

$$\rightarrow (k_1 + k_2)d_1 - k_2.d_2 = f_1 \quad (3.37)$$

$$\rightarrow -k_2.d_1 + (k_2 + k_3)d_2 - k_3.d_3 = f_2 \quad (3.38)$$

$$\rightarrow -k_3.d_2 + k_3.d_3 = f_3 \quad (3.39)$$

Kemudian nilai-nilai F dan d dimasukan dalam persamaan 3.37, 3.38, 3.39 maka akan didapatkan nilai kekakuan tingkatnya.

#### 3.7.4 Kekakuan Struktur Dinding (*Structural Wall*)

Struktur dinding (*structural wall*) sangat sering dipakai sebagai struktur utama penahan beban horisontal. Sebagaimana diketahui bahwa pada portal bangunan bertingkat sangat banyak, karena *deflected shape* portal mengikuti pola *shear mode* maka simpangan antar tingkat pada tingkat-tingkat bawah umumnya menjadi sangat besar. Simpangan antar tingkat yang besar dapat mengakibatkan terjadinya sendi-sendi plastik pada balok. Sesuatu yang perlu diperhatikan adalah bahwa terbentuknya sendi-sendi plastik jangan sampai terjadi terlalu dini karena begitu tingginya bangunan. Oleh karena itu diperlukan elemen struktur yang lain yaitu struktur dinding beton bertulang yang dapat mengendalikan simpangan antar lantai tingkat yang berlebihan pada tingkat-tingkat bawah.

Antara struktur dinding dan portal mempunyai pola simpangan yang saling berlawanan (*conflict of deformation modes*). Struktur portal akan mengalami pola simpangan yang didominasi *shear*, sedangkan struktur dinding mempunyai pola simpangan yang didominasi oleh lentur (*flexure*). Tingkat-tingkat bawah struktur portal umumnya dibantu oleh struktur dinding. Namun sebaliknya pada tingkat-tingkat atas struktur dinding mempunyai pengaruh yang kurang baik.

Untuk keperluan analisis perlu ditetapkan besarnya kekakuan elemen struktur dinding. Walaupun perilaku struktur dinding dan kolom pada portal sangat berbeda, namun rumus kekakuan kolom dapat diaplikasikan pada struktur dinding. Pada struktur dinding, selain kekakuan akibat lentur, maka kekakuan

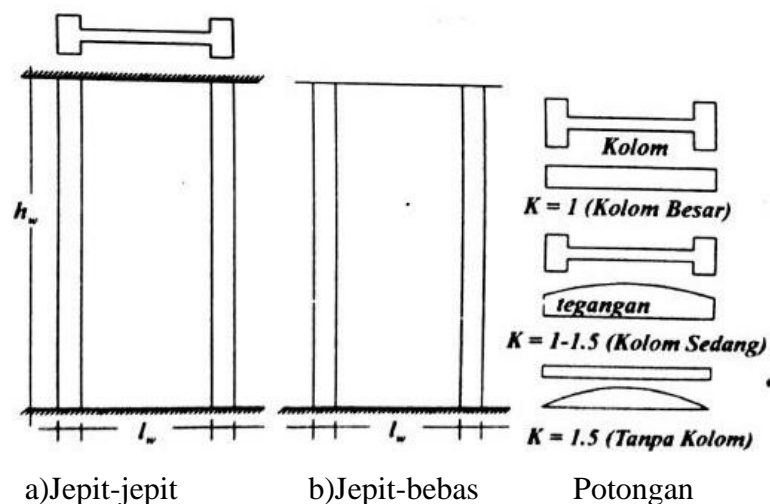
akibat pengaruh geser perlu diikutsertakan.oleh karena itu kekakuan struktur dinding adalah jumlah dari pengaruh lentur dan geser.

Blume dkk (1961) dalam Widodo (2001) mengatakan bahwa untuk struktur dinding dengan dukungan jepit-jepit (join tidak mengalami rotasi), kekakuan dapat dihitung menurut rumus,

$$K_w = \frac{12EI}{h^3} + \frac{GA}{K(Iw)} \quad (3.40)$$

yang mana  $G$  adalah modulus geser bahan,  $A$  adalah luas tampang struktur dinding,  $Iw$  adalah panjang struktur dinding dan  $K$  adalah suatu koefisien yang bergantung pada potongan.

Sedangkan menurut Muto (1975) dalam Widodo (2001) menyatakan nilai  $K = 1$ ,  $K = 1-1,5$  dan  $K = 1,5$  untuk struktur dinding dengan potongan berturut-turut seperti Gambar 3.24.



**Gambar 3.24 Struktur Dinding dengan Potongan**

(Sumber : Widodo, 2001)

### 3.8 Bangunan Gedung Beraturan dan Tidak Beraturan

Suatu struktur gedung bertingkat yang dianalisis perlu diklarifikasikan sebagai gedung beraturan atau tidak beraturan. Berdasarkan SNI 1726-2012 Pasal 7.3.2 klasifikasi tersebut didasarkan pada konfigurasi horisontal dan vertikal yang struktur bangunan gedungnya mempunyai satu atau lebih tipe ketidakberaturan sesuai Tabel 3.13 dan Tabel 3.14 berikut.

Tabel 3.13 Ketidakberaturan Horisontal pada Struktur

	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal referensi	Penerapan kategori desain seismik
1a.	<b>Ketidakberaturan Torsi</b> didefinisikan ada jika simpangan antar lantai tingkat maksimum, torsi yang dihitung termasuk tak terduga, di sebuah ujung struktur melintang terhadap sumbu lebih dari 1,2 kali simpangan antar lantai tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragmanya kaku atau setengah kaku.	7.3.3.4 7.7. 7.8.4.3 7.12.1 Tabel 13 12.2.2	D, E, dan F B, C, D, E, dan F C, D, E, dan F C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F
1b.	<b>Ketidakberaturan Torsi Berlebihan</b> didefinisikan ada jika simpangan antar lantai tingkat maksimum, torsi yang dihitung termasuk tak terduga, di sebuah ujung struktur melintang terhadap sumbu lebih dari 1,4 kali simpangan antar lantai tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Persyaratan ketidakberaturan torsi berlebihan dalam pasal-pasal referensi berlaku hanya untuk struktur di mana diafragmanya kaku atau setengah kaku.	7.3.3.7 7.3.3.4 7.7.3 7.8.4.3 7.12.1 Tabel 13 12.2.2	E dan F D B, C, dan D C dan D C dan D D B, C, dan D
2.	<b>Ketidakberaturan Sudut Dalam</b> didefinisikan ada jika kedua proyeksi denah struktur dari sudut dalam lebih besar dari 15 persen dimensi denah struktur dalam arah yang ditentukan.	7.3.3.4 Tabel 13	D, E, dan F D, E, dan F
3.	<b>Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma</b> didefinisikan ada jika terdapat diafragma dengan diskontinuitas atau variasi kekakuan mendadak, termasuk yang mempunyai daerah terpotong atau terbuka lebih besar dari 50 persen daerah diafragma bruto yang melingkupinya, atau perubahan kekakuan diafragma efektif lebih dari 50 persen dari suatu tingkat ke tingkat selanjutnya.	7.3.3.4 Tabel 13	D, E, dan F D, E, dan F
4.	<b>Ketidakberaturan Pergeseran Melintang terhadap Bidang</b> didefinisikan ada jika terdapat diskontinuitas dalam lintasan tahanan gaya lateral, seperti pergeseran melintang terhadap bidang elemen vertikal.	7.3.3.3 7.3.3.4 7.7.3 Tabel 13 12.2.2	B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F
5.	<b>Ketidakberaturan Sistem Nonparalel</b> didefinisikan ada jika elemen penahan gaya lateral vertikal tidak paralel atau simetris terhadap sumbu-sumbu orthogonal utama sistem penahan gaya gempa.	7.5.3 7.7.3 Tabel 13 12.2.2	C, D, E, dan F B, C, D, E, dan F D, E, dan F B, C, D, E, dan F

Sumber: SNI 1726-2012

Tabel 3.14 Ketidakberaturan Vertikal pada Struktur

	Tipe dan penjelasan ketidakberaturan	Pasal referensi	Penerapan kategori desain seismik
1a.	<b>Ketidakteraturan Kekakuan Tingkat Lunak</b> didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat di mana kekakuan lateralnya kurang dari 70 persen kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80 persen kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.	Tabel 13	D, E, dan F
1b.	<b>Ketidakteraturan Kekakuan Tingkat Lunak Berlebihan</b> didefinisikan ada jika terdapat suatu tingkat di mana kekakuan lateralnya kurang dari 60 persen kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 70 persen kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya.	7.3.3.1 Tabel 13	E dan F D, E, dan F
2.	<b>Ketidakteraturan Berat (Massa)</b> didefinisikan ada jika massa efektif semua tingkat lebih dari 150 persen massa efektif tingkat di dekatnya. Atap yang lebih ringan dari lantai di bawahnya tidak perlu ditinjau.	Tabel 13	D, E, dan F
3.	<b>Ketidakteraturan Geometri Vertikal</b> didefinisikan ada jika dimensi horisontal sistem penahan gaya gempa di semua tingkat lebih dari 130 persen dimensi horisontal sistem penahan gaya gempa tingkat di dekatnya.	Tabel 13	D, E, dan F
4.	<b>Diskontinuitas Arah Bidang dalam Ketidakteraturan Elemen Penahan Gaya Lateral Vertikal</b> didefinisikan ada jika pegeseran arah bidang elemen penahan gaya lateral lebih besar dari panjang elemen itu atau terdapat reduksi kekakuan elemen penahan di tingkat di bawahnya.	7.3.3.3 7.3.3.4 Tabel 13	B, C, D, E, dan F D, E, dan F D, E, dan F
5a.	<b>Diskontinuitas dalam Ketidakteraturan Kuat Lateral Tingkat</b> didefinisikan ada jika kuat lateral tingkat kurang dari 80 persen kuat lateral tingkat di atasnya. Kuat lateral tingkat adalah kuat lateral total semua elemen penahan seismik yang berbagi geser tingkat untuk arah yang ditinjau.	7.3.3.1 Tabel 13	E dan F D, E, dan F
5b.	<b>Diskontinuitas dalam Ketidakteraturan Kuat Lateral Tingkat yang Berlebihan</b> didefinisikan ada jika kuat lateral tingkat kurang dari 65 persen kuat lateral tingkat di atasnya. Kuat tingkat adalah kuat total semua elemen penahan seismik yang berbagi geser tingkat untuk arah yang ditinjau.	7.3.3.1 7.3.3.2 Tabel 13	D, E, dan F B dan C D, E, dan F

**PENGECEUALIAN:**

1. Ketidakteraturan struktur vertikal Tipe 1a, 1b, atau 2 tidak berlaku jika tidak ada rasio simpangan antar lantai akibat gaya gempa lateral desain yang nilainya lebih besar dari 130 persen rasio simpangan antar lantai tingkat di atasnya.

Pengaruh torsi tidak perlu ditinjau pada perhitungan simpangan antar lantai. Hubungan rasio simpangan antar lantai tingkat untuk dua tingkat teratas struktur bangunan tidak perlu dievaluasi:

2. Ketidakberaturan struktur vertikal Tipe 1a, 1b, dan 2 tidak perlu ditinjau pada bangunan satu tingkat dalam semua kategori desain seismik atau bangunan dua tingkat yang dirancang untuk kategori desain seismik B, C, atau D.

Sumber: SNI 1726-2012

Dari Tabel 3.13 dapat disimpulkan, untuk menentukan pengaruh torsi yang terjadi pada struktur bangunan dibagi dalam pengaruh ketidakberaturan torsi 1a dan 1b. adapun ketentuannya adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \delta_{\max} < 1,2\delta_{\text{avg}} & \rightarrow \text{tanpa ketidakberaturan torsi} \\ 1,2\delta_{\text{avg}} \leq \delta_{\max} \leq 1,4\delta_{\text{avg}} & \rightarrow \text{ketidakberaturan torsi 1a} \\ \delta_{\max} > 1,4\delta_{\text{avg}} & \rightarrow \text{ketidakberaturan 1b} \end{aligned}$$

Struktur yang dirancang untuk kategori desain seismik C, D, E, atau F dimana tipe 1a atau 1b ketidakberaturan torsi terjadi seperti didefinisikan dalam Tabel 3.13 di atas harus mempunyai pengaruh yang diperhitungkan dengan mengalikan  $M_{ta}$  di masing-masing tingkat dengan faktor pembesaran torsi ( $A_x$ ) seperti pada Gambar 3.25 dan ditentukan dari persamaan.

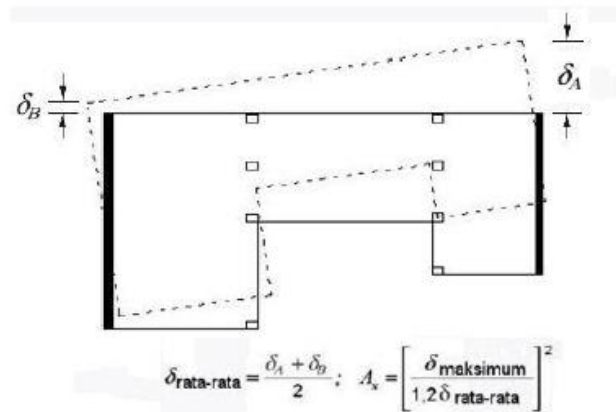
$$A_x = \left( \frac{\delta_{\max}}{1,2\delta_{\text{avg}}} \right)^2 \quad (3.41)$$

Keterangan:

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

$\delta_{\text{avg}}$  = rata-rata perpindahan dititik-titik terjauh struktur di tingkat x yang dihitung dengan mengasumsikan  $A_x = 1$  (mm)

Dengan faktor pembesaran tosi ( $A_x$ ) tidak disyaratkan melebihi 3,0. Pembebanan yang lebih parah untuk masing-masing elemen harus ditinjau untuk desain.



**Gambar 3.25 Faktor Pembesaran Torsi,  $A_x$**

(Sumber : SNI 1726-2012)

### 3.9 Simpangan Antar Lantai

Simpangan (*drift*) didefinisikan sebagai perpindahan lateral, atau biasa juga disebut sebagai *displacement*. Simpangan yang terjadi pada tiap tingkat di suatu struktur bangunan merupakan parameter yang sangat penting untuk diketahui besarnya, sehingga diketahui seberapa kaku atau fleksibel struktur bangunan tersebut. Pawirodikromo (2012) menyatakan bahwa untuk bangunan bertingkat *displacement* dapat terjadi pada balok biasa atau balok kantilever yang bentangnya panjang serta pada bangunan gedung yang jumlah tingkatnya sangat banyak (*hige rise building*). Lendutan balok umumnya diproporsikan terhadap bentang sedangkan simpangan tingkat biasanya diproporsikan terhadap tinggi tingkat dalam istilah *drift ratio* atau *drift index*. *Drift ratio* adalah rasio antara simpangan antar tingkat dengan tinggi tingkat, seperti ditunjukkan pada persamaan 3.42.

$$\text{Drift ratio} = \frac{\Delta}{h} \quad (3.42)$$

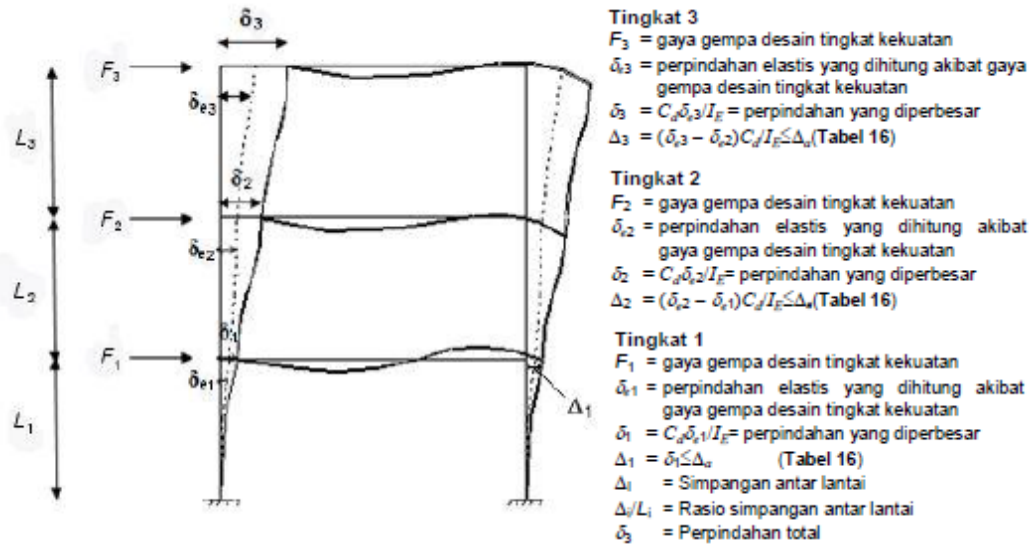
Keterangan:

$\Delta$  = simpangan antar tingkat

$h$  = tinggi tingkat

Dalam SNI 2012 pasal 7.8.6 dinyatakan bahwa penentuan simpangan antar lantai tingkat desain ( $\Delta$ ) harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa di tingkat teratas dan terbawah yang ditinjau (Gambar 3.26). Apabila pusat massa tidak terletak segaris dalam arah vertikal, diijinkan untuk menghitung

defleksi di dasar tingkat berdasarkan proyeksi vertikal dari pusat massa tingkat di atasnya. Jika desain tegangan ijin digunakan,  $\Delta$  harus dihitung menggunakan gaya gempa tingkat kekuatan yang ditetapkan pasal 7.8 tanpa reduksi untuk desain tegangan ijin.



**Gambar 3.26 Penentuan Simpangan Antar Lantai**

(Sumber : SNI 1726-2012)

Defleksi pusat massa di tingkat  $x$  ( $\delta_x$ ) (mm) harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$\delta_x = \frac{C_d \cdot \delta_{xe}}{I_e} \quad (3.43)$$

Keterangan:

$C_d$  = faktor amplifikasi defleksi dalam Tabel 3.6

$\Delta_{xe}$  = defleksi pada lokasi yang disyaratkan pada pasal ini yang ditentukan dengan analisis elastis

$I_e$  = faktor keutamaan gempa sesuai dengan Tabel 3.5

Pasal 7.12.1 menyatakan simpangan antar lantai tingkat desain ( $\Delta$ ) tidak boleh melebihi simpangan antar lantai tingkat ijin ( $\Delta_a$ ) seperti didapatkan dari Tabel 3.13 untuk semua tingkat.



**Tabel 3.15 Simpangan Antar Lantai Ijin,  $\Delta_a^{a,b}$** 

Struktur			
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar lantai tingkat.	$0,025h_{sx}^c$	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata <sup>d</sup>	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$	$0,010h_{sx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$	$0,007h_{sx}$
Semua struktur lainnya	$0,020h_{sx}$	$0,015h_{sx}$	$0,010h_{sx}$

<sup>a</sup>  $h_{sx}$  adalah tinggi tingkat di bawah tingkat  $x$

<sup>b</sup> Untuk sistem penahan gaya gempa yang terdiri dari hanya rangka momen dalam kategori desain seismik D, E, dan F, simpangan antar lantai tingkat ijin harus sesuai dengan persyaratan 7.12.1.1.

<sup>c</sup> Tidak boleh ada batasan simpangan antar lantai untuk struktur satu tingkat dengan dinding interior, partisi, langit-langit, dan sistem dinding eksterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antar lantai tingkat. Pemisahan struktur dalam 7.12.3 tidak diabaikan.

<sup>d</sup> Struktur di mana sistem struktur dasar terdiri dari dinding geser batu bata yang didesain sebagai elemen vertikal kantilever dari dasar atau pendukung fondasinya yang dikonstruksikan sedemikian agar penyaluran momen di antara dinding geser (kopel) dapat diabaikan.

Sumber : SNI 1726-2012

Dalam Pasal 7.12.1.1 menyebutkan bahwa untuk sistem penahan gaya gempa yang terdiri dari hanya rangka momen pada struktur yang dirancang untuk kategori desain seismik D, E, dan F, simpangan antar lantai tingkat desain ( $\Delta$ ) tidak boleh melebihi  $\frac{\Delta_a}{\rho}$  untuk semua tingkat,  $\rho$  harus ditentukan sesuai dengan Pasal 7.3.4.2.

Sesuai Pasal 7.4.2.3 kombinasi dasar untuk desain tegangan ijin yang digunakan untuk pengecekan simpangan antar lantai tingkat desain adalah sebagai berikut.

1.  $U = (1,0 + 0,10 S_{DS})D + 0,525 \rho E_x + 0,1575 \rho E_y + 0,75 L$
2.  $U = (1,0 + 0,10 S_{DS})D + 0,525 \rho E_x - 0,1575 \rho E_y + 0,75 L$

3.  $U = (1,0 + 0,10 S_{DS})D - 0,525 \rho E_x + 0,1575 \rho E_y + 0,75 L$
4.  $U = (1,0 + 0,10 S_{DS})D - 0,525 \rho E_x - 0,1575 \rho E_y + 0,75 L$
5.  $U = (1,0 + 0,10 S_{DS})D + 0,525 \rho E_x + 0,1575 \rho E_y + 0,75 L$
6.  $U = (1,0 + 0,10 S_{DS})D + 0,525 \rho E_x - 0,1575 \rho E_y + 0,75 L$
7.  $U = (1,0 + 0,10 S_{DS})D - 0,525 \rho E_x + 0,1575 \rho E_y + 0,75 L$
8.  $U = (1,0 + 0,10 S_{DS})D - 0,525 \rho E_x - 0,1575 \rho E_y + 0,75 L$

## **BAB IV**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **4.1 Umum**

Tahapan penelitian bertujuan untuk memberikan gambaran langkah-langkah penelitian secara sistematis agar proses penelitian berjalan lebih teratur dan sesuai dengan pedoman peraturan SNI 1726-2012 “Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung” dan SNI 2847-2013 untuk syarat beton.

#### **4.2 Data Penelitian**

Dalam penelitian ini dibutuhkan data-data untuk membantu jalannya penelitian, antara lain:

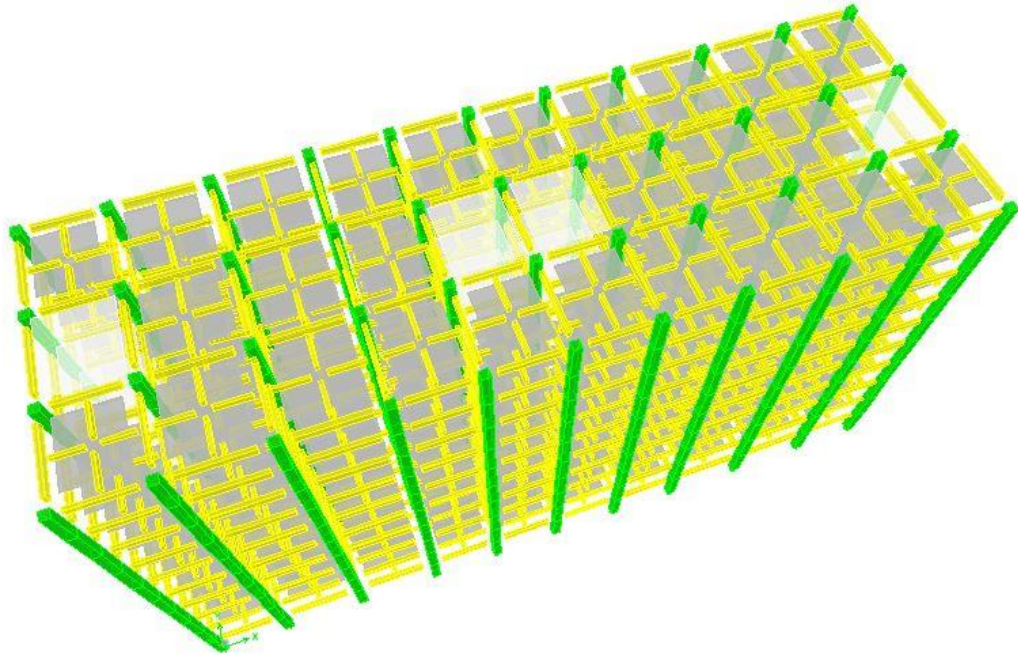
##### **4.2.1 Data Struktur**

Pada penelitian ini digunakan data struktur dengan mutu beton struktur ( $f'c$ ) sebesar 30 MPa dan mutu baja tulangan ( $f_y$ ) sebesar 380 MPa.

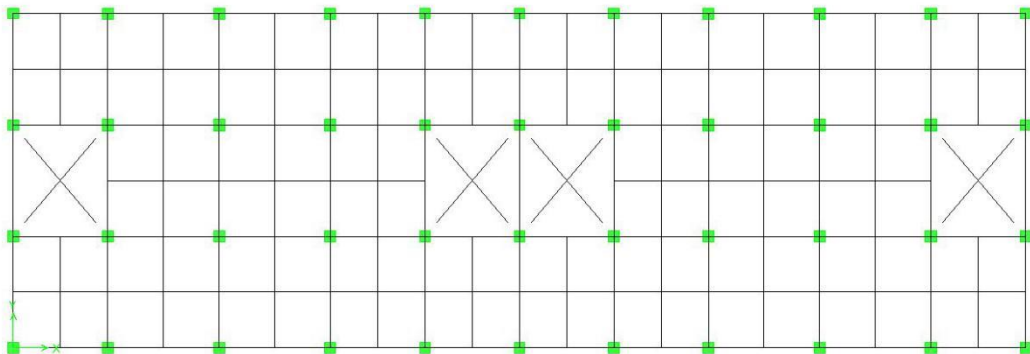
##### **4.2.2 Model Struktur**

Dimodelkan 4 model struktur, yakni 1 model struktur tanpa dinding geser dan 3 model struktur dengan variasi dinding geser dengan luas dan tebal dinding geser sebagai variabel tetap. Desain tinggi struktur bangunan yang dimodelkan tiap lantai tingginya 4 m dengan jumlah 10 lantai. Fungsi dari gedung ini merupakan gedung perkantoran dan berlokasi di Yogyakarta dengan jenis tanah, tanah keras.

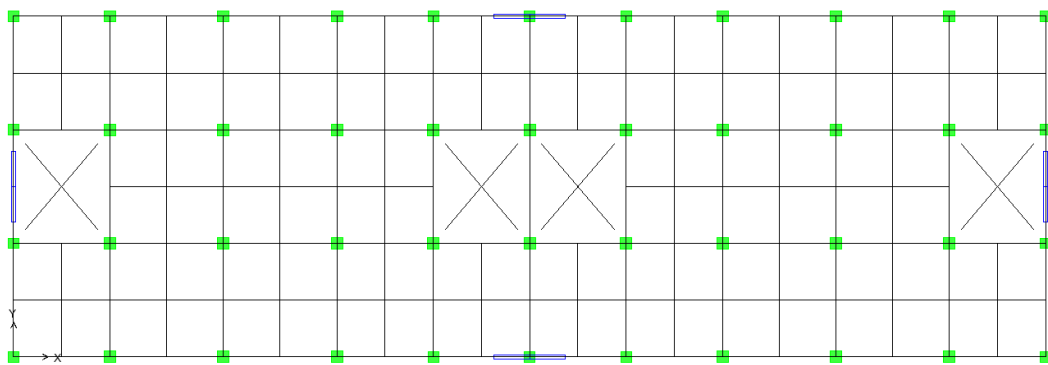
Penelitian ini dilakukan menggunakan metode respons spektrum dengan dimodelkan 4 model struktur bangunan, yaitu 1 untuk desain bangunan tanpa dinding geser dan untuk 3 model bangunan dengan variasi penempatan dinding geser seperti yang disajikan pada Gambar 4.1 sampai Gambar 4.5.



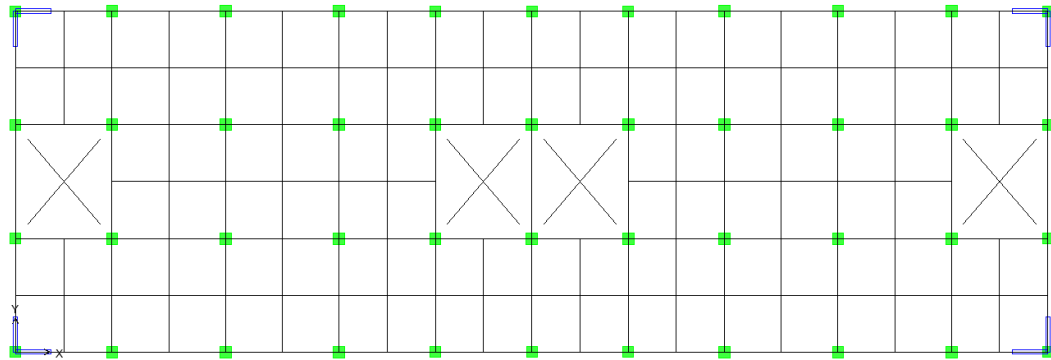
**Gambar 4.1** Pemodelan 3D Struktur Tanpa Dinding Geser



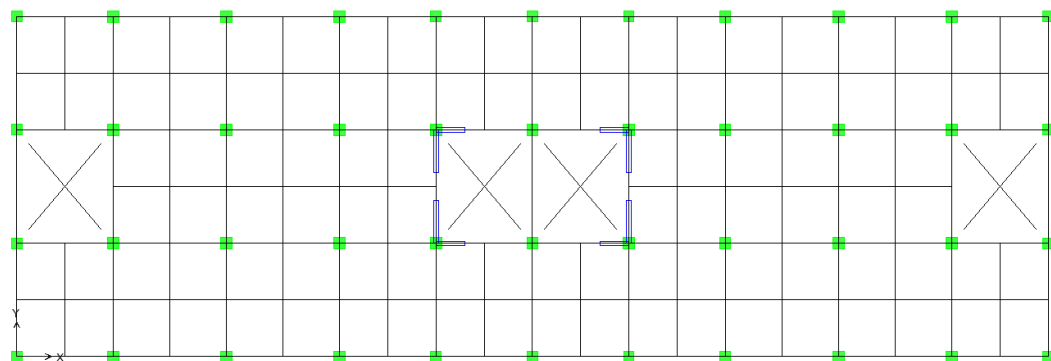
**Gambar 4.2** Denah Struktur Tanpa *Shearwall* (TS)



**Gambar 4.3** Denah Struktur Area Penempatan *Shearwall* Model 1 (SW1)



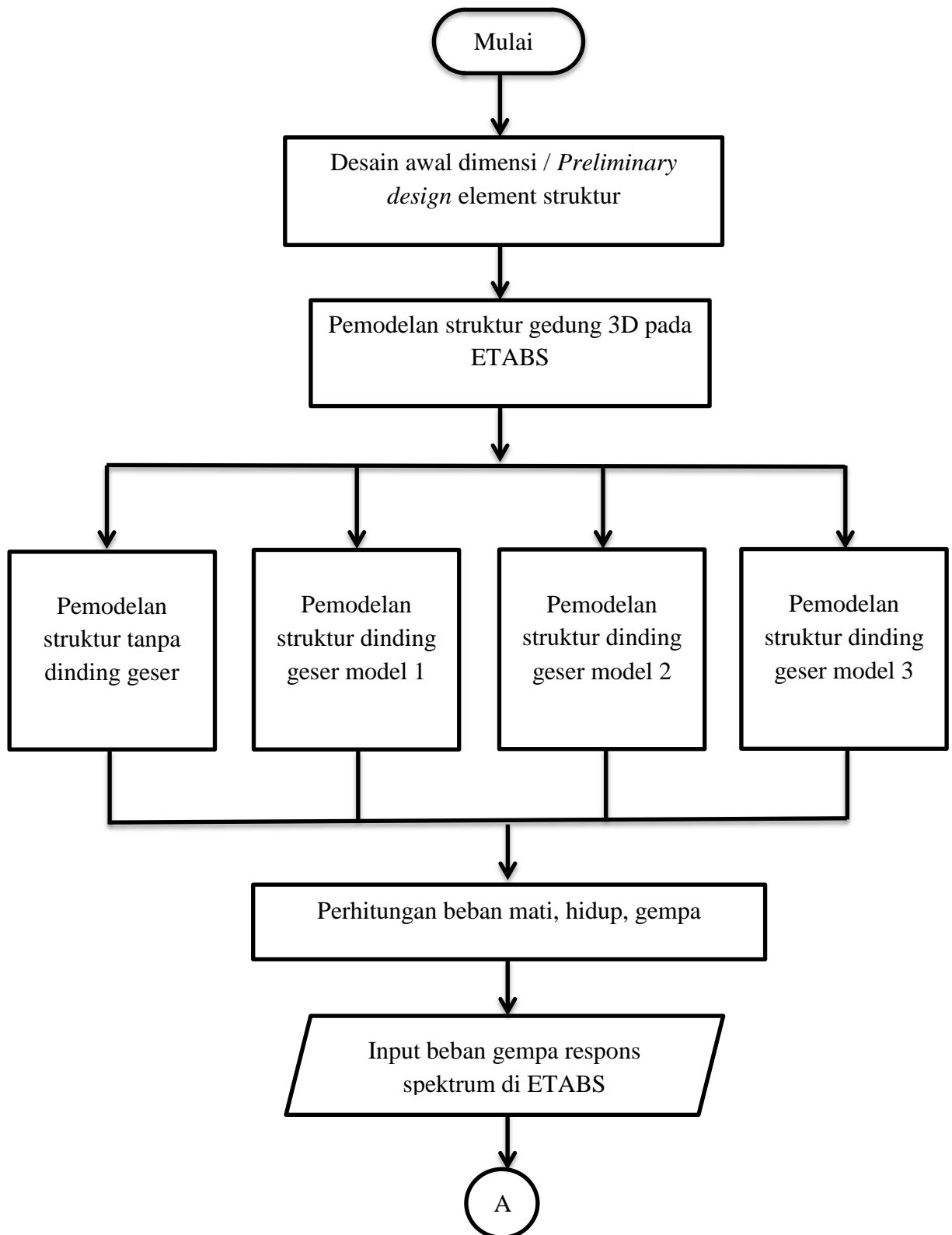
**Gambar 4.4 Denah Struktur Area Penempatan *Shearwall* Model 2 (SW2)**



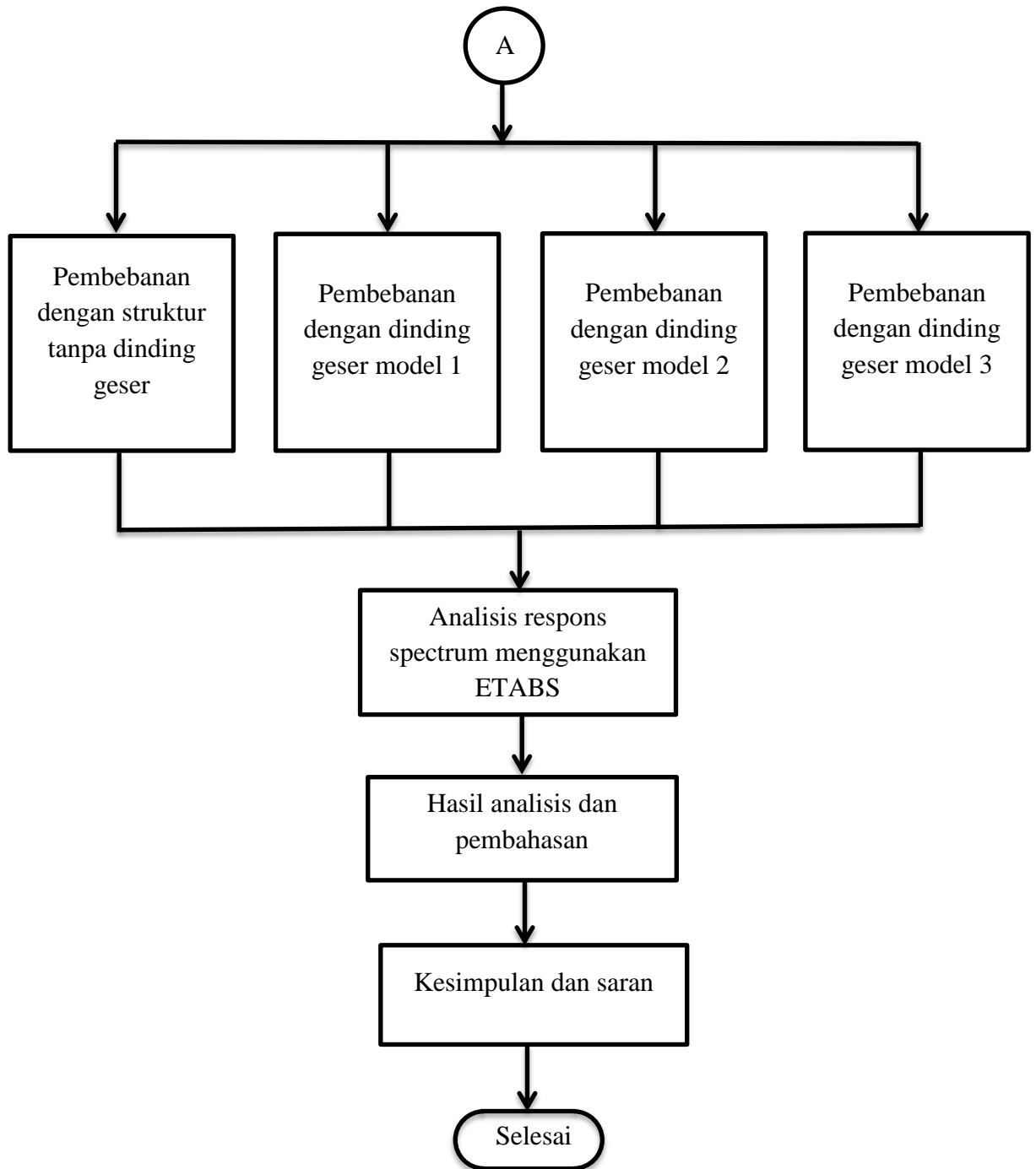
**Gambar 4.5 Denah Struktur Area Penempatan *Shearwall* Model 3 (SW3)**

### 4.3 Tahapan Penelitian

Metode penelitian ini menggunakan metode analisis dinamik, yaitu metode respons spektrum. Tahapan penelitian dimulai dengan pemodelan awal dimensi struktur bangunan tanpa dinding geser yang diberikan beban mati, beban hidup, dan beban gempa kemudian pemodelan struktur tersebut diberikan 3 model variasi penempatan dinding geser yang berbeda-beda sehingga diperoleh hasil yang kemudian dibahas untuk selanjutnya diambil kesimpulan dan saran. Analisis menggunakan program aplikasi ETABS. Diagram alir penelitian disajikan pada Gambar 4.6.



**Gambar 4.6 Bagan Tahapan Penelitian**



**Gambar 4.7 Lanjutan Bagan Tahapan Penelitian**

## BAB V

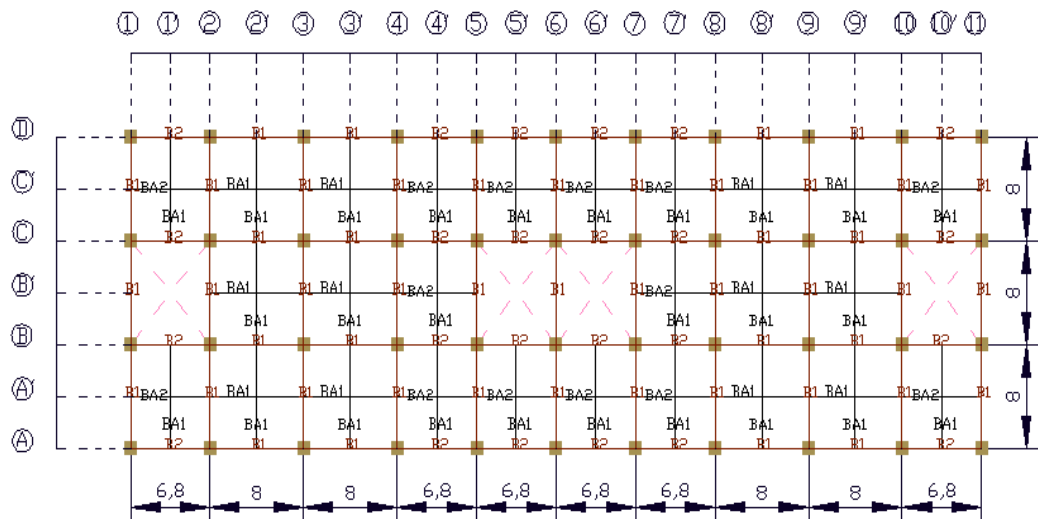
### ANALISIS DAN PEMBAHASAN

#### 5.1 Perhitungan Estimasi Dimensi Struktur

Sebelum dimulainya tahap desain struktur, maka terlebih dahulu dilakukan estimasi dimensi struktur secara singkat untuk mengetahui dimensi yang digunakan pada elemen-elemen struktur yang digunakan.

##### 5.1.1 Estimasi Dimensi Balok

Pada struktur bangunan yang digunakan sebagai model pada penelitian ini, estimasi dimensi balok dapat dilihat pada Gambar 5.1.



**Gambar 5.1 Denah Estimasi Balok**

Berikut ini adalah contoh perhitungan estimasi balok induk B1 dan balok anak Ba1 =

##### 1. Balok Induk 1 (B1)

Panjang bentang (L) = 8 m = 8000 mm

$$h = (1/10 - 1/12) \times L \rightarrow (1/12) \times L$$

$$h = (1/12) \times (8000) = 666,67 \text{ mm}$$

dipakai, h = 700 mm

$$b = \frac{h}{2} = 700 \times \frac{2}{3} = 466,6 \text{ mm}$$

b/h = 0,5 > 0,30 dan b > 250 mm → memenuhi syarat SRPMK



2. Balok Anak 1 (Ba1)

Panjang bentang (L) = 8 m = 8000 mm

$$h = (1/12 - 1/14) \times L \rightarrow (1/14) \times L$$

$$h = (1/14) \times (8000) = 571,43 \text{ mm}$$

dipakai, h = 600 mm

$$b = \frac{h}{2} = 600 \times \frac{2}{3} = 400 \text{ mm}$$

b/h = 0,5 > 0,30 dan b > 250 mm  $\rightarrow$  memenuhi syarat SRPMK

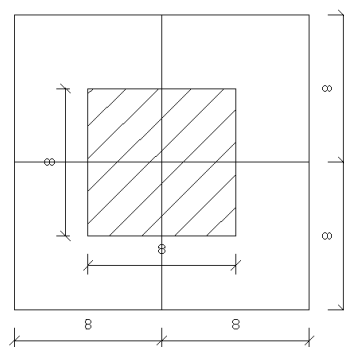
Untuk perhitungan estimasi ukuran balok yang lain dilakukan dengan cara yang sama hingga didapatkan estimasi ukuran balok seperti pada Tabel 5.1.

**Tabel 5.1 Hasil Estimasi Ukuran Balok**

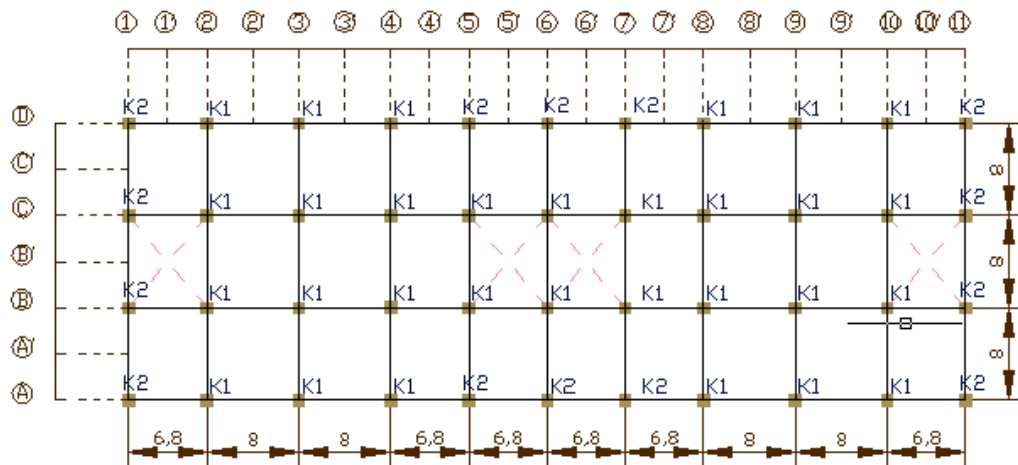
Balok	Tinggi balok, h (mm)	Lebar balok, d (mm)
B1	700	500
B2	600	400
B3	900	600
B4	800	550
Ba1	600	300
Ba2	500	250

5.1.2 Estimasi Dimensi Kolom

Untuk memudahkan dalam menentukan dimensi kolom, maka dalam analisis ini estimasi kolom dari lantai 1 hingga lantai 10 diestimasi sama.



**Gambar 5.2 Luasan Kolom**



**Gambar 5.3 Denah Estimasi Kolom**

Berikut adalah perhitungan untuk kolom lantai 1 K1.

$$\begin{aligned}
 P_u &= \text{luasan pelat} \times \text{berat gravitasi ekivalen tiap m}^3 \times n \text{ lantai} \\
 &= (8 \times 8) \times 1,1 \text{ t/m}^3 \times 10 \\
 &= 704 \text{ Ton} = 6906240 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$A_g = \frac{P_u}{0,4 \times f_c} = \frac{6906240}{0,4 \times 30} = 575520 \text{ mm}^2$$

$$b = h = \sqrt{A_g} = \sqrt{575520} = 758,630 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Maka dipakai, } h &= 800 \text{ mm} \\
 &= 800 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

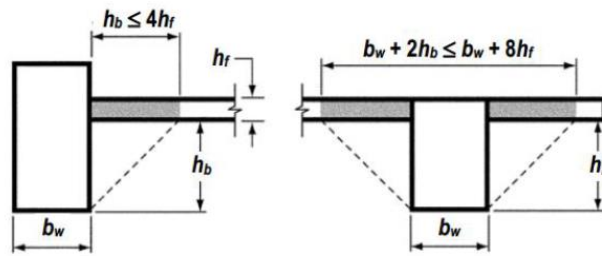
Untuk perhitungan estimasi ukuran kolom yang lain dilakukan dengan cara yang sama hingga didapatkan estimasi ukuran kolom seperti pada Tabel 5.2.

**Tabel 5.2 Hasil Estimasi Ukuran Kolom**

Kolom	Tinggi kolom, h (mm)	Lebar kolom, d (mm)
K1	800	800
K2	750	750
K3	900	900

### 5.1.3 Estimasi Dimensi Pelat

Pelat lantai dan pelat atap pada struktur yang digunakan masing-masing dibedakan menjadi 2 tipe. Asumsi tebal pelat awal adalah 120 mm dimana perkiraan tebal pelat dilakukan dengan memperhatikan rasio kekakuan pelat dengan balok.



**Gambar 5.4 Bagian Slab Yang Disertakan Dengan Balok**

Berikut adalah contoh perhitungan dimensi pelat lantai PL2 :

$$f'c = 30 \text{ MPa}$$

$$f_y = 380 \text{ MPa}$$

$$L_y = 4 \text{ m}$$

$$L_x = 3,4 \text{ m}$$

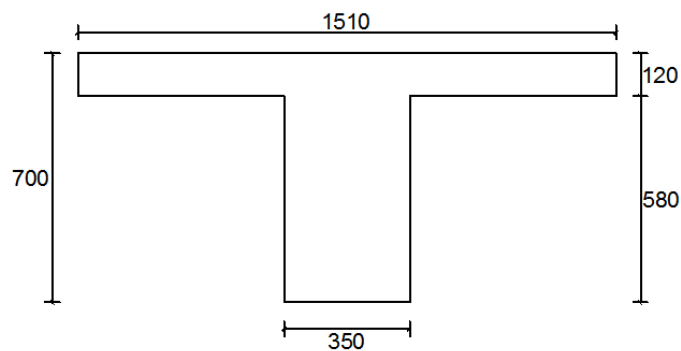
$$\frac{L_y}{L_x} = \frac{4}{3,4} = 1,764705 < 2 \rightarrow \text{Pelat 2 arah}$$

$$L_{nx} = 3400 - \left(\frac{350}{2}\right) - \left(\frac{350}{2}\right) = 3050 \text{ mm}$$

$$L_{ny} = 4000 - \left(\frac{300}{2}\right) - \left(\frac{300}{2}\right) = 3700 \text{ mm}$$

$$\text{Nilai } \beta = \frac{L_{ny}}{L_{nx}} = \frac{3700}{3050} = 1,2131$$

$$E_{\text{pelat}} = e_{\text{balok}} = 4700 \sqrt{f'c} = 4700 \sqrt{30} = 25742,9602 \text{ MPa}$$



**Gambar 5.5 Penampang Balok B1**

$$A_1 = p \times l = 1510 \times 120 = 181200 \text{ mm}^2$$

$$A_2 = p \times l = 350 \times 580 = 203000 \text{ mm}^2$$

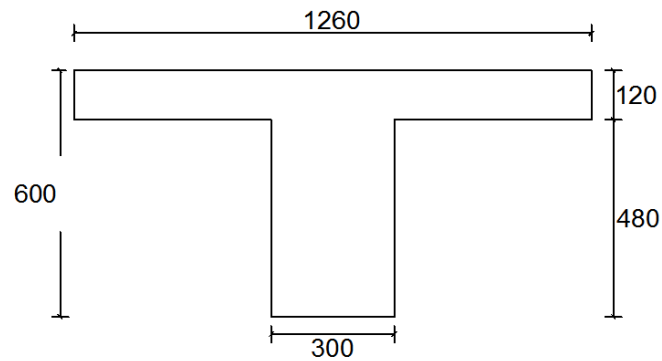
$$y_1 = 1/2 \times 120 = 60$$

$$y_2 = (1,2 \times 580) + 120 = 410$$

$$y = \frac{(A_1 \times y_1) + (A_2 \times y_2)}{A_1 + A_2} = \frac{(181200 \times 60) + (203000 \times 410)}{(181200 + 203000)} = 244,9297 \text{ mm}$$

Momen inersia balok terhadap sumbu x

$$\begin{aligned} I_b &= 1/12 \times 1510 \times 120^3 + 181200 \times (244,9297 - 60)^2 + 1/12 \times 350 \times 580^3 + \\ & 203000 \times (244,9297 - 410)^2 \\ &= 17636449769 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$



**Gambar 5.6 Penampang Balok B2**

$$A_1 = p \times l = 1260 \times 120 = 151200 \text{ mm}^2$$

$$A_2 = p \times l = 300 \times 480 = 144000 \text{ mm}^2$$

$$y_1 = 1/2 \times 120 = 60$$

$$y_2 = (1.2 \times 480) + 120 = 360$$

$$y = \frac{(A_1 \times y_1) + (A_2 \times y_2)}{A_1 + A_2} = \frac{(151200 \times 60) + (144000 \times 410)}{(151200 + 144000)} = 206,3415 \text{ mm}$$

Momen inersia balok terhadap sumbu x

$$\begin{aligned} I_b &= 1/12 \times 1260 \times 120^3 + 151200 \times (206,3415 - 60)^2 + 1/12 \times 300 \times 480^3 + \\ & 144000 \times (206,3415 - 360)^2 \\ &= 9584288780 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

Momen inersia pelat

$$\text{Arah x, } I_{p1} = 1/12 \times 3400 \times 120^3 = 489600000 \text{ mm}^4$$

$$\text{Arah y, } I_{p2} = 1/12 \times 4000 \times 120^3 = 576000000 \text{ mm}^4$$

Kekakuan pelat-balok

$$\alpha_1 = \alpha_4 = \frac{E_b \times I_b}{E_p \times I_p} = \frac{25742,9602 \times 17636449769}{25742,9602 \times 489600000} = 36,0222$$

$$\alpha_2 = \alpha_3 = \frac{E_b \times I_b}{E_p \times I_p} = \frac{25742,9602 \times 9584288780}{25742,9602 \times 576000000} = 16,6394$$

$$\alpha_m = \frac{2(\alpha_1 + \alpha_2)}{4} = \frac{2(36,0222 + 16,6394)}{4} = 26,3308 > 2$$

Jika  $\alpha_m$  lebih besar dari 2,0, ketebalan pelat minimum tidak boleh kurang dari:

$$h = \frac{L_n(0,8 + \frac{f_y}{1400})}{36 + 9\beta} \quad (\text{SNI 2847:2013 pasal 9.5.3.3.})$$

$$h = \frac{3700(0,8 + \frac{380}{1400})}{36 + 9 \times 1,2131} = 84,4939 \text{ mm}$$

Maka dapat dipakai tebal pelat lantai PL2,  $h = 120 \text{ mm}$

Untuk perhitungan estimasi ukuran pelat yang lain dilakukan dengan cara yang sama hingga didapatkan estimasi ukuran pelatlantai dan pelat atap seperti pada Tabel 5.3

**Tabel 5.3 Hasil Estimasi Ukuran Pelat**

Tipe Pelat	Tebal (h), mm
PL1	120
PL2	120
PL3	120
PL4	120
PL5	120
PA1	100
PA2	100

## 5.2 Perhitungan Dimensi Dinding Geser Dan *Boundary Element*

### 5.2.1 Pemodelan Variasi Struktur Dinding Geser

Pada SNI 2847-2013 Pasal 14.5.3.1 disebutkan bahwa tebal minimum dinding geser tidak boleh kurang dari 100 mm. Namun SNI tidak mendetailkan perhitungan perencanaan tebal dinding geser pada struktur bangunan bertingkat, maka pada tugas akhir ini dimensi dinding geser dihitung sesuai persyaratan dalam buku “*Seismic Design of Reinforced concrete And Masonry Building*” karangan Paulay and Priestley (1992).

Dari Gambar 3.8 dapat dicari nilai ketebalan kritis dari ujung yang bersebrangan dari penampang dinding struktur (bc), dengan asumsi:

$$\mu_{\Delta} = 4$$

$$A_r = \frac{h_w}{l_w} = \frac{40}{5} = 8 \text{ m}$$

Didapatkan nilai  $\frac{b_c}{l_w}$  dari kedua nilai tersebut, yaitu:

$$\frac{b_c}{l_w} = 0,055$$

Sehingga,  $b_c = 0,055 \times l_w = 0,055 \times 5 = 27,5 \text{ cm}$

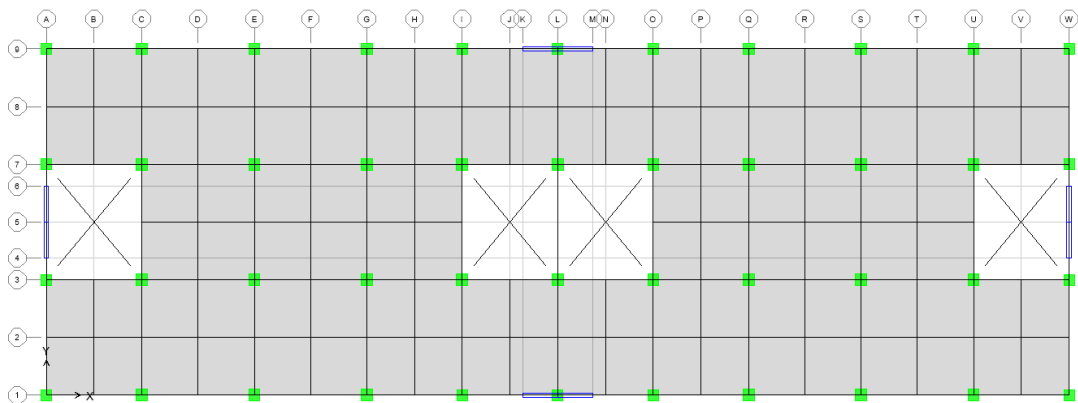
Karena nilai  $b_w > b_c$ , maka dinding geser didesain menggunakan komponen batas. Menurut Paulay and Priestley (1992) lebar *boundary element* setidaknya harus sama dengan  $h/16 = 40/1,6 = 25 \text{ cm}$  dan luasan *boundary element* harus memenuhi persamaan berikut.

$$b_c^2 \leq A_{wb} \leq b_c l_w / 10$$

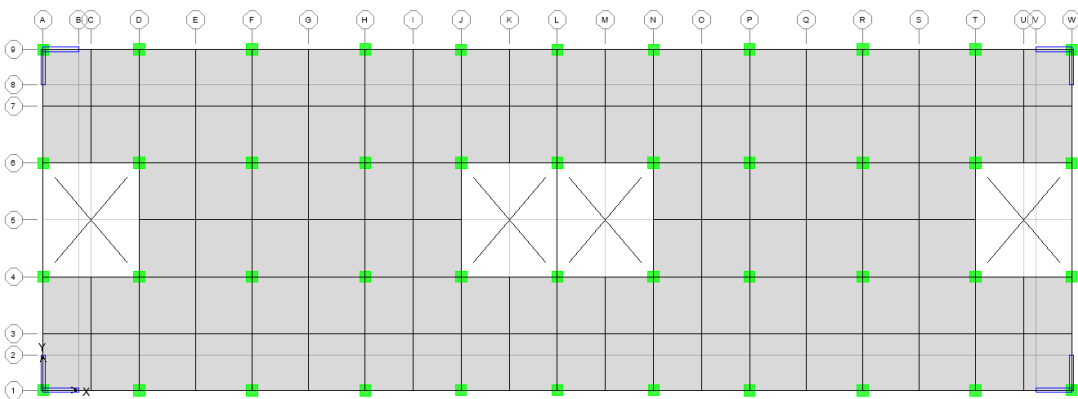
$$27,5^2 \leq A_{wb} \leq \frac{27,5 \cdot 500}{10} = 756,25 \leq 900 \leq 1375$$

Maka, tebal *boundary element* diambil sebesar 30 cm

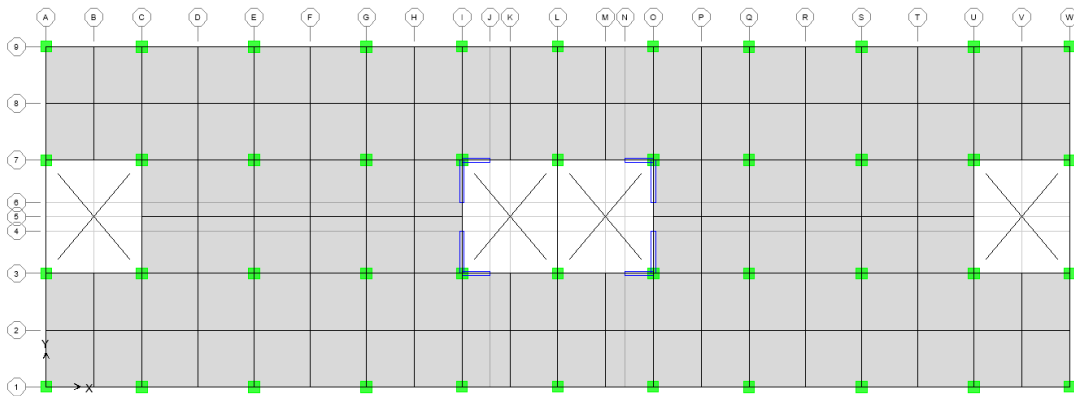
Dari hasil perhitungan diatas, maka model dinding geser yang digunakan adalah sebagai berikut.



**Gambar 5.7 Shearwall Model 1**



**Gambar 5.8 Shearwall Model 2**



**Gambar 5.9 Shearwall Model 3**

### 5.3 Perhitungan Pembebanan Struktur

Beban-beban yang digunakan dalam perancangan adalah kombinasi dari beban mati, beban hidup dan beban gempa.

#### 5.3.1 Bahan/Material

Bahan/material yang dipakai pada penelitian ini adalah:

Beton ( $f'c$ ) = 30 MPa

Baja tulangan pokok ( $f_y$ ) = 380 MPa

Baja tulangan sengkang ( $f_{ys}$ ) = 320 MPa

Berat volume beton = 2400 kg/m<sup>3</sup>

$E_c = 4700 \sqrt{f'c} = 4700 \sqrt{30} = 23500$

Poisson's ratio = 0,3

#### 5.3.2 Beban Mati

##### 1. Beban mati pada lantai

$$\text{Pelat lantai} = 0,12 \text{ m} \times 2,4 \text{ T/m}^3 = 0,288 \text{ T/m}^2$$

$$\text{Pasir} = 0,05 \text{ m} \times 1,8 \text{ T/m}^3 = 0,09 \text{ T/m}^2$$

$$\text{Spesi} = 0,02 \text{ m} \times 1,9 \text{ T/m}^3 = 0,038 \text{ T/m}^2$$

$$\text{Keramik} = 0,01 \text{ m} \times 2,4 \text{ T/m}^3 = 0,024 \text{ T/m}^2$$

$$\text{Ducting AC} = 0,02 \text{ m} \times 1 \text{ T/m}^3 = 0,02 \text{ T/m}^2$$

$$\text{Plafon} = 0,015 \text{ m} \times 1 \text{ T/m}^3 = 0,015 \text{ T/m}^2 +$$

$$\text{qd lantai} = 0,475 \text{ T/m}^2$$

Beban mati yang diinput di ETABS = Qd – berat sendiri pelat lantai

$$= 0,475 \text{ T/m}^2 - 0,288 \text{ T/m}^2$$

$$= 0,187 \text{ T/m}^2$$

## 2. Beban mati pada atap

$$\begin{aligned}
 \text{Pelat atap} &= 0,1 \text{ m} \times 2,4 \text{ T/m}^3 &= 0,24 \text{ T/m}^2 \\
 \text{Pasir} &= 0,05 \text{ m} \times 1,8 \text{ T/m}^3 &= 0,09 \text{ T/m}^2 \\
 \text{Eternit} &= 0,015 \text{ m} \times 1 \text{ T/m}^3 &= 0,015 \text{ T/m}^2 \\
 \text{Ducting AC} &= 0,02 \text{ m} \times 1 \text{ T/m}^3 &= 0,02 \text{ T/m}^2 + \\
 \text{qd atap} &&= \underline{0,365 \text{ T/m}^2}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Beban mati yang diinput di ETABS} &= Q_d - \text{berat sendiri pelat atap} \\
 &= 0,365 \text{ T/m}^2 - 0,24 \text{ T/m}^2 \\
 &= 0,125 \text{ T/m}^2
 \end{aligned}$$

## 5.3.3 Beban Hidup

1. Beban hidup pada lantai ( $q_l$  lantai) =  $0,25 \text{ T/m}^2$
2. Beban hidup pada atap ( $q_l$  atap) =  $0,1 \text{ T/m}^2$

## 5.3.4 Beban Dinding

1. Dinding full di atas balok bentang 8 m

$$\begin{aligned}
 \text{Tinggi dinding} &= \text{tinggi lantai} - h \text{ balok} \\
 &= 4 - 0,7 \\
 &= 3,3 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat dinding} &= \text{tebal dinding} \times B_j \text{ dinding} \times \text{tinggi dinding} \\
 &= 0,15 \times 1,8 \times 3,3 \\
 &= 0,891 \text{ Ton}
 \end{aligned}$$

2. Dinding full di atas balok bentang 6,8 m

$$\begin{aligned}
 \text{Tinggi dinding} &= \text{tinggi lantai} - h \text{ balok} \\
 &= 4 - 0,6 \\
 &= 3,4 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat dinding} &= \text{tebal dinding} \times B_j \text{ dinding} \times \text{tinggi dinding} \\
 &= 0,15 \times 1,8 \times 3,4 \\
 &= 0,918 \text{ Ton}
 \end{aligned}$$

3. Dinding berjendela di atas balok bentang 8 m

$$\begin{aligned}
 \text{Tinggi dinding} &= \text{tinggi lantai} - h \text{ balok} \\
 &= 4 - 0,7 \\
 &= 3,3 \text{ m}
 \end{aligned}$$



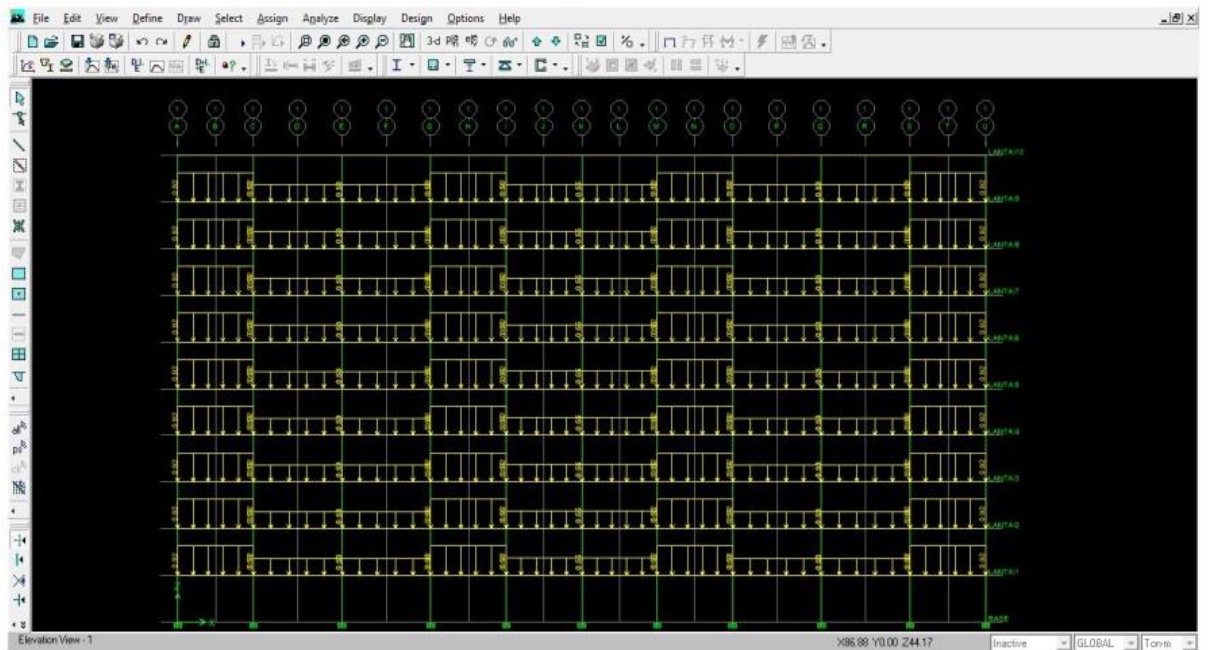
$$\begin{aligned}
 \text{Berat dinding} &= \text{tebal dinding} \times \text{Bj dinding} \times \beta \times \text{tinggi dinding} \\
 &= 0,15 \times 1,8 \times 0,6 \times 3,3 \\
 &= 0,5346 \text{ Ton}
 \end{aligned}$$

4. Dinding berjendela diatas balok bentang 6,8 m

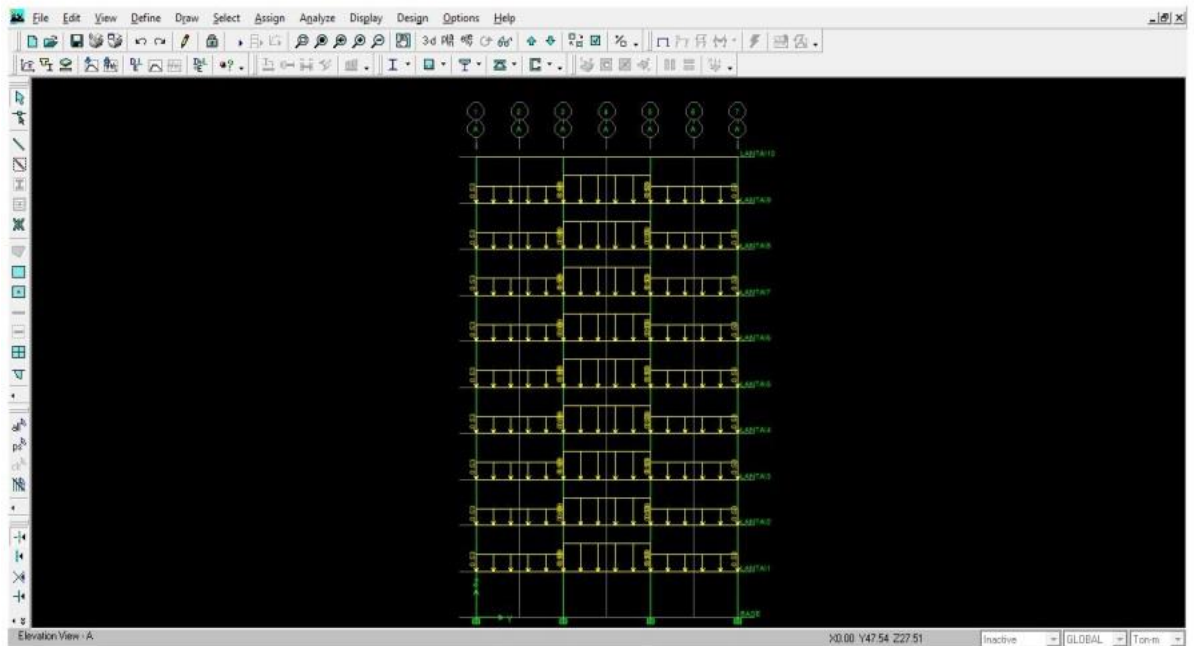
$$\begin{aligned}
 \text{Tinggi dinding} &= \text{tinggi lantai} - h \text{ balok} \\
 &= 4 - 0,6 \\
 &= 3,4 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat dinding} &= \text{tebal dinding} \times \text{Bj dinding} \times \beta \times \text{tinggi dinding} \\
 &= 0,15 \times 1,8 \times 0,6 \times 3,3 \\
 &= 0,5508 \text{ Ton}
 \end{aligned}$$

Berikut dapat dilihat pada Gambar 5.10 beban dinding yang diinput di ETABS.



**Gambar 5.10 Beban Dinding pada Portal 1**



**Gambar 5.11 Beban Dinding pada Portal A**

### 5.3.5 Beban Gempa Respons Spektrum

Data-data yang diperlukan sebagai acuan dalam mendesain adalah sebagai berikut.

1. Lokasi bangunan yang dimodelkan berada di wilayah Yogyakarta.
2. Fungsi bangunan sebagai gedung perkantoran.
3. Jenis tanah pada lokasi bangunan adalah tanah keras (SC).
4. Lantai gedung berjumlah 10 tingkat, dengan tinggi masing-masing lantai 4 m.
5. Berdasarkan kategori risiko bangunan, maka gedung perkantoran termasuk kategori risiko II, dengan faktor keutamaan gempa  $I_e$  sebesar 1,0.
6. Jenis struktur yang digunakan adalah sistem rangka pemikul momen khusus untuk gedung beton bertulang dengan nilai R sebesar 8 dan untuk gedung dengan struktur *shear wall* nilai R yang digunakan sesuai sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus yang mampu menahan paling sedikit 25% gaya gempa yang ditetapkan yaitu sebesar 7.
7. Nilai  $S_S$  dan  $S_1$  didapat dari SNI 1726:2012 seperti pada Gambar 3.15 untuk mengetahui nilai  $S_S$  dan Gambar 3.16 untuk mengetahui nilai  $S_1$ . Yaitu:

$$S_S = 1,212$$

$$S_1 = 0,444$$

8. Nilai  $F_a$  dan  $F_v$  didapat dari tabel faktor amplikasi percepatan pada getaran periode pendek dan tabel faktor amplikasi percepatan pada getaran periode 1 detik, yang dapat dilihat pada Tabel 3.7 dan Tabel 3.8.

$$F_a = 1,0$$

$$F_v = 1,356$$

9. Mencari nilai  $S_{DS}$  dan  $S_{D1}$

Untuk mencari nilai  $S_{DS}$  dan  $S_{D1}$ , maka dicari terlebih dahulu nilai  $S_{MS}$  dan  $S_{M1}$ .

$$S_{MS} = F_a \times S_s = 1 \times 1,212 = 1,212$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1 = 1,356 \times 0,444 = 0,602$$

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times S_{MS} = \frac{2}{3} \times 1,212 = 0,808$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \times S_{M1} = \frac{2}{3} \times 0,602 = 0,401$$

10. Nilai  $C_{RS}$  dan  $C_{R1}$  didapat dari SNI 1726:2012 seperti pada Gambar 3.17 dan Gambar 3.18.

$$C_{RS} = 1,0$$

$$C_{R1} = 1,0$$

11. Mencari nilai  $S_{DSR}$  dan  $S_{D1R}$ .

$$S_{DSR} = S_{DS} \times C_{RS} = 0,808 \times 1 = 0,808$$

$$S_{D1R} = S_{D1} \times C_{R1} = 0,401 \times 1 = 0,401$$

12. Spektrum respons desain

$$T_0 = 0,2 \times \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0,2 \times \frac{0,401}{0,808} = 0,099$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0,401}{0,808} = 0,497$$

13. Mencari nilai  $S_a$ .

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

$$\begin{aligned} S_a &= S_{DS} \left( 0,4 + 0,6 \times \frac{T}{T_0} \right) \\ &= 0,808 \left( 0,4 + 0,6 \times \frac{0}{0,099} \right) \\ &= 0,323 \end{aligned}$$

- b. Spektrum respons percepatan desain  $S_a$  untuk  $T = T_0$ :

$$S_a = S_{DSR} = 0,808$$

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

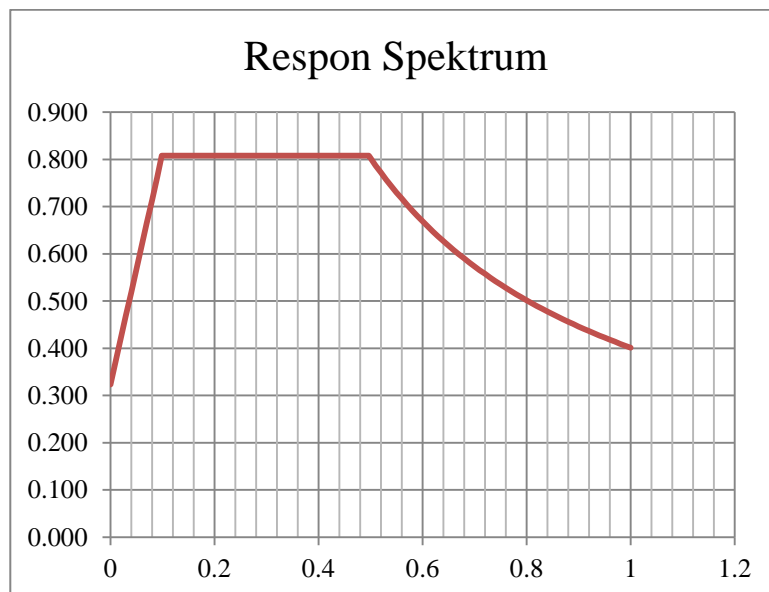
$$S_a = \frac{S_{D1R}}{T} = \frac{0.401}{0,5} = 0,802$$

Spektrum respons desain struktur 10 tingkat yang dibangun dapat dilihat pada Tabel 5.4.

**Tabel 5.4 Spektrum Respons Desain**

T (detik)	S <sub>a</sub>	T (detik)	S <sub>a</sub>
0	0,3232	0,765	0,5253
0,099	0,808	0,799	0,5033
0,497	0,808	0,832	0,4830
0,531	0,7577	0,866	0,4643
0,564	0,7127	0,899	0,4470
0,598	0,6727	0,933	0,4309
0,631	0,6369	0,966	0,4159
0,665	0,6048	1	0,402
0,698	0,5758		
0,732	0,5494		

Grafik spektrum respons desain struktur 10 tingkat dari Tabel 5.4 di atas dapat dilihat pada Gambar 5.14 berikut.



**Gambar 5.12 Grafik Respons Spektrum Desain Struktur 10 Tingkat**

#### 14. Periode Fundamental Struktur (T)

*Periode* fundamental struktur dapat dicari menggunakan rumus dan dapat dicari berdasarkan hasil analisis menggunakan *software* ETABS. Perhitungan rumus tersebut sebagai berikut.

1) Struktur tanpa *shearwall*

$$T_a = 0,0466 \times H^{0,9}$$

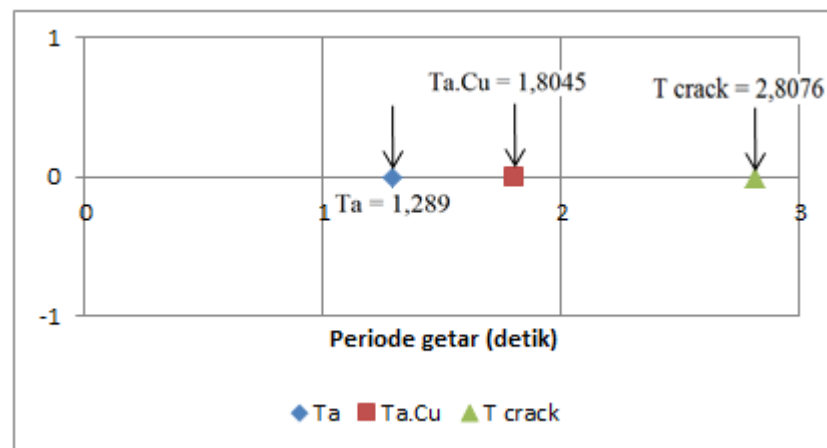
$$= 0,0466 \times (40)^{0,9} = 1,289 \text{ detik}$$

Berdasarkan hasil analisis menggunakan *software* ETABS, didapatkan nilai periode struktur  $T_{uncrack}$  sebesar 1,9052 detik dan  $T_{crack}$  sebesar 2,8076 detik. Lalu dicari batasan untuk periode struktur. Koefisien batasan struktur ( $C_u$ ) yang didapatkan dari SNI 1726-2012 adalah 1,4.

$$C_u \times T_a = 1,4 \times 1,289$$

$$= 1,8045 \text{ detik}$$

Maka didapatkan perbandingan periode fundamental struktur tanpa *shearwall* ( $T$ ) seperti Gambar 5.15.



**Gambar 5.13 Perbandingan Periode Fundamental Struktur Tanpa *Shearwall* ( $T$ )**

Dari hasil tersebut maka dapat digunakan untuk menentukan periode getar yang dipakai, syarat untuk menentukan periode getar yaitu

- Jika  $T_c > C_u \cdot T_a$ , maka  $T_a$  yang digunakan  $T = C_u \cdot T_a$ .
- Jika  $T_a < T_c < C_u \cdot T_a$ , maka  $T_a$  yang digunakan  $T = T_c$ .
- Jika  $T_c < T_a$ , maka  $T_a$  yang digunakan  $T = T_a$ .

Maka  $T$  yang dipakai sebesar 1,8045 detik.

2) Struktur *shearwall* model 1

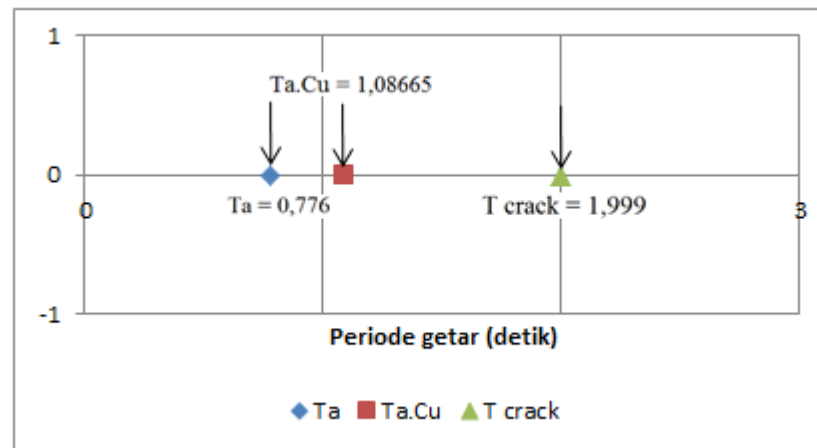
$$T_a = 0,0488 \times H^{0,75}$$

$$= 0,0488 \times (40)^{0,75} = 0,776 \text{ detik}$$

Berdasarkan hasil analisis menggunakan *software* ETABS, didapatkan nilai periode struktur *Tuncrack* sebesar 1,5127 detik dan *Tcrack* sebesar 1,999 detik. Lalu dicari batasan untuk periode struktur. Koefisien batasan struktur ( $C_u$ ) yang didapatkan dari SNI 1726-2012 adalah 1,4.

$$\begin{aligned} C_u \times T_a &= 1,4 \times 0,776 \\ &= 1,0866 \text{ detik} \end{aligned}$$

Maka didapatkan perbandingan periode fundamental struktur *shearwall* model 1 (T) seperti Gambar 5.16.



**Gambar 5.14 Perbandingan Periode Fundamental Struktur *Shearwall* Model 1 (T)**

Dari hasil tersebut maka dapat digunakan untuk menentukan periode getar yang dipakai, syarat untuk menentukan periode getar yaitu

- Jika  $T_c > C_u.T_a$ , maka  $T_a$  yang digunakan  $T = C_u.T_a$ .
- Jika  $T_a < T_c < C_u.T_a$ , maka  $T_a$  yang digunakan  $T = T_c$ .
- Jika  $T_c < T_a$ , maka  $T_a$  yang digunakan  $T = T_a$ .

Maka  $T$  yang dipakai sebesar 1,0866 detik.

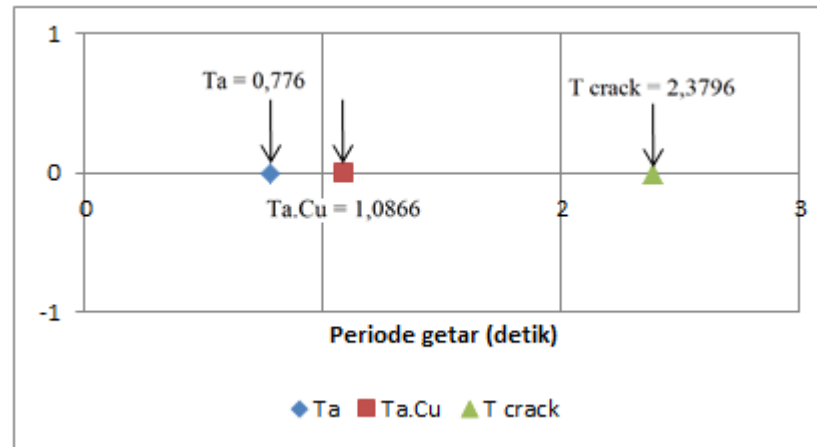
### 3) Struktur *shearwall* model 2

$$\begin{aligned} T_a &= 0,0488 \times H^{0,75} \\ &= 0,0488 \times (40)^{0,75} = 0,776 \text{ detik} \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil analisis menggunakan *software* ETABS, didapatkan nilai periode struktur *Tuncrack* sebesar 1,7011 detik dan *Tcrack* sebesar 2,3796 detik. Lalu dicari batasan untuk periode struktur. Koefisien batasan struktur ( $C_u$ ) yang didapatkan dari SNI 1726-2012 adalah 1,4.

$$\begin{aligned} Cu \times Ta &= 1,4 \times 0,776 \\ &= 1,0866 \text{ detik} \end{aligned}$$

Maka didapatkan perbandingan periode fundamental struktur *shearwall* model 2 (T) seperti Gambar 5.17.



**Gambar 5.15 Perbandingan Periode Fundamental Struktur *Shearwall* Model 2 (T)**

Dari hasil tersebut maka dapat digunakan untuk menentukan periode getar yang dipakai, syarat untuk menentukan periode getar yaitu

- Jika  $T_c > Cu.T_a$ , maka  $T_a$  yang digunakan  $T = Cu.T_a$ .
- Jika  $T_a < T_c < Cu.T_a$ , maka  $T_a$  yang digunakan  $T = T_c$ .
- Jika  $T_c < T_a$ , maka  $T_a$  yang digunakan  $T = T_a$ .

Maka  $T$  yang dipakai sebesar 1,0866 detik.

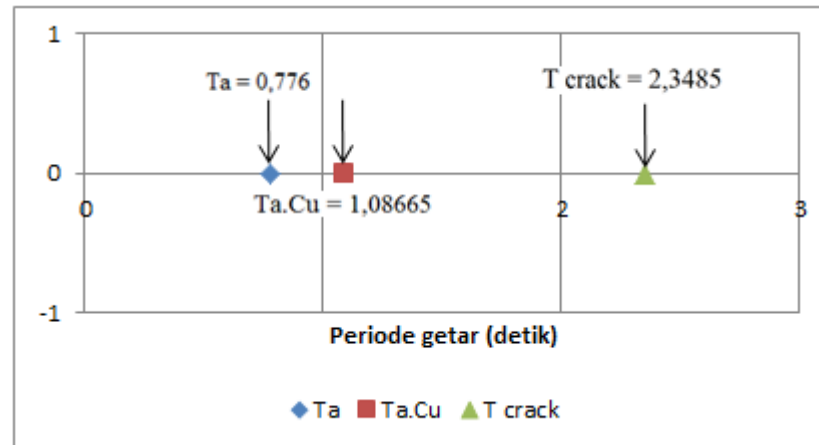
4) Struktur *shearwall* model 3

$$\begin{aligned} T_a &= 0,0488 \times H^{0,75} \\ &= 0,0488 \times (40)^{0,75} = 0,776 \text{ detik} \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil analisis menggunakan *software* ETABS, didapatkan nilai periode struktur  $T_{uncrack}$  sebesar 1,6202 detik dan  $T_{crack}$  sebesar 2,3485 detik. Lalu dicari batasan untuk periode struktur. Koefisien batasan struktur ( $C_u$ ) yang didapatkan dari SNI 1726-2012 adalah 1,4.

$$\begin{aligned} Cu \times Ta &= 1,4 \times 0,776 \\ &= 1,0866 \text{ detik} \end{aligned}$$

Maka didapatkan perbandingan periode fundamental struktur *shearwall* model 3 (T) seperti Gambar 5.18.



**Gambar 5.16 Perbandingan Periode Fundamental Struktur *Shearwall* Model 3 (T)**

Dari hasil tersebut maka dapat digunakan untuk menentukan periode getar yang dipakai, syarat untuk menentukan periode getar yaitu

- Jika  $T_c > C_u.T_a$ , maka  $T_a$  yang digunakan  $T = C_u.T_a$ .
- Jika  $T_a < T_c < C_u.T_a$ , maka  $T_a$  yang digunakan  $T = T_c$ .
- Jika  $T_c < T_a$ , maka  $T_a$  yang digunakan  $T = T_a$ .

Maka  $T$  yang dipakai sebesar 1,0866 detik.

#### 15. Koefisien Respons Seismik ( $C_s$ )

##### 1) Struktur tanpa *shearwall*

Dalam menghitung koefisien respons seismik digunakan 3 persamaan, dengan nilai  $R$  sebesar 8.

$$C_{S1} = \frac{S_{DSR}}{R/I} = \frac{0,808}{8/1} = 0,101$$

$$C_{S2} = \frac{S_{D1r}}{T \times (\frac{R}{I})} = \frac{0,401}{1,8045 \times (\frac{8}{1})} = 0,028$$

$$\begin{aligned} C_{S3} &= 0,044 \times S_{DSR} \times 1 \\ &= 0,044 \times 0,808 \times 1 \\ &= 0,036 > 0,01 \end{aligned}$$

Maka  $C_s$  yang dipakai sebesar 0,036



2) Struktur *shearwall* model 1

Dalam menghitung koefisien respons seismik digunakan 3 persamaan, dengan nilai R sebesar 7.

$$C_{S1} = \frac{S_{DSR}}{R/I} = \frac{0,808}{7/1} = 0,115$$

$$C_{S2} = \frac{S_{D1r}}{T \times (\frac{R}{I})} = \frac{0,401}{1,08665 \times (\frac{7}{1})} = 0,053$$

$$\begin{aligned} C_{S3} &= 0,044 \times S_{DSR} \times 1 \\ &= 0,044 \times 0,808 \times 1 \\ &= 0,036 > 0,01 \end{aligned}$$

Maka Cs yang dipakai sebesar 0,053

3) Struktur *shearwall* model 2

Dalam menghitung koefisien respons seismik digunakan 3 persamaan, dengan nilai R sebesar 7.

$$C_{S1} = \frac{S_{DSR}}{R/I} = \frac{0,808}{7/1} = 0,115$$

$$C_{S2} = \frac{S_{D1r}}{T \times (\frac{R}{I})} = \frac{0,401}{1,0866 \times (\frac{7}{1})} = 0,053$$

$$\begin{aligned} C_{S3} &= 0,044 \times S_{DSR} \times 1 \\ &= 0,044 \times 0,808 \times 1 \\ &= 0,036 > 0,01 \end{aligned}$$

Maka Cs yang dipakai sebesar 0,053

4) Struktur *shearwall* model 3

Dalam menghitung koefisien respons seismik digunakan 3 persamaan, dengan nilai R sebesar 7.

$$C_{S1} = \frac{S_{DSR}}{R/I} = \frac{0,808}{7/1} = 0,115$$

$$C_{S2} = \frac{S_{D1r}}{T \times (\frac{R}{I})} = \frac{0,401}{1,0866 \times (\frac{7}{1})} = 0,053$$

$$\begin{aligned} C_{S3} &= 0,044 \times S_{DSR} \times 1 \\ &= 0,044 \times 0,808 \times 1 \\ &= 0,036 > 0,01 \end{aligned}$$

Maka Cs yang dipakai sebesar 0,053

## 16. Berat Total (Wt)

Berat total struktur didapat dengan menjumlahkan beban mati dan beban hidup yang terjadi pada struktur. Beban hidup yang bekerja pada struktur bangunan umumnya dapat direduksi sehubungan dengan kecilnya kemungkinan bekerjanya beban hidup penuh dan pengaruh beban gempa penuh secara bersamaan pada struktur secara keseluruhan. Bangunan yang difungsikan sebagai perkantoran beban hidup direduksi diambil 30%. Berat total struktur diperoleh dari hasil analisis menggunakan *software* ETABS seperti pada Tabel 5.5 berikut.

**Tabel 5.5 Berat Total Struktur**

Lantai	Berat struktur tanpa <i>shearwall</i> (Ton)	Berat struktur <i>shearwall</i> model 1 (Ton)	Berat struktur <i>shearwall</i> model 2 (Ton)	Berat struktur <i>shearwall</i> model 3 (Ton)
10	2541,49	2541,49	2541,49	2541,49
9	3170,16	3170,16	3170,16	3170,16
8	3193,08	3193,08	3193,08	3193,08
7	3216,00	3216,00	3216,00	3216,00
6	3261,93	3261,93	3261,93	3261,93
5	3284,76	3284,76	3284,76	3284,76
4	3336,80	3336,80	3336,80	3336,80
3	3376,01	3376,01	3376,01	3376,01
2	3376,01	3376,01	3376,01	3376,01
1	3399,32	3399,32	3399,32	3399,32
Total	32155,59	32155,59	32155,59	32155,59

## 17. Perhitungan Gaya Geser Dasar Seismik

### 1) Struktur tanpa *shearwall*

$$\text{Berat total bangunan (Wt)} = 28896,89 \text{ T}$$

$$C_s = 0,036$$

$$V = C_s \times W_t$$

$$= 0,036 \times 32155,59 = 1143,195 \text{ T}$$

Maka didapat gaya geser seismik sebesar 1143,195 T

2) Struktur *shearwall* model 1

$$\text{Berat total bangunan (Wt)} = 30038,14 \text{ T}$$

$$C_s = 0,053$$

$$V = C_s \times W_t$$

$$= 0,053 \times 32155,59 = 1696,747 \text{ T}$$

Maka didapat gaya geser seismik sebesar 1696,747 T

3) Struktur *shearwall* model 2

$$\text{Berat total bangunan (Wt)} = 30038,14 \text{ T}$$

$$C_s = 0,053$$

$$V = C_s \times W_t$$

$$= 0,053 \times 32155,59 = 1696,747 \text{ T}$$

Maka didapat gaya geser seismik sebesar 1696,747 T

4) Struktur *shearwall* model 3

$$\text{Berat total bangunan (Wt)} = 30038,14 \text{ T}$$

$$C_s = 0,053$$

$$V = C_s \times W_t$$

$$= 0,053 \times 32155,59 = 1696,747 \text{ T}$$

Maka didapat gaya geser seismik sebesar 1696,747 T

## 18. Perhitungan Nilai k

Sesuai dengan SNI 1726:20012 Pasal 7.8.3, syarat untuk menentukan nilai k adalah sebagai berikut:

- a. Untuk struktur yang mempunyai perioda sebesar 0,5 detik atau kurang, nilai k = 1
- b. Untuk struktur yang mempunyai perioda sebesar 2,5 detik atau lebih, nilai k = 2
- c. Untuk struktur yang mempunyai perioda antara 0,5 dan 2,5 detik, nilai k harus sebesar 2 atau harus ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2.

Nilai T yang di dapat sebesar:

$$T \text{ tanpa } shearwall = 1,8045 \text{ detik}$$

$$T \text{ } shearwall \text{ model 1} = 1,0866 \text{ detik}$$

$$T \text{ } shearwall \text{ model 2} = 1,0866 \text{ detik}$$

T *shearwall* model 3 = 1,0866 detik

Maka untuk menentukan nilai k menggunakan cara interpolasi.

$$k \text{ tanpa } shearwall = 2 - \frac{2,5-T}{2,5-0,5} \times (2-1) = 2 - \frac{2,5-1,8045}{2,5-0,5} \times (2-1) = 1,652$$

$$k \text{ } shearwall \text{ model 1} = 2 - \frac{2,5-T}{2,5-0,5} \times (2-1) = 2 - \frac{2,5-1,0866}{2,5-0,5} \times (2-1) = 1,293$$

$$k \text{ } shearwall \text{ model 2} = 2 - \frac{2,5-T}{2,5-0,5} \times (2-1) = 2 - \frac{2,5-1,0866}{2,5-0,5} \times (2-1) = 1,293$$

$$k \text{ } shearwall \text{ model 3} = 2 - \frac{2,5-T}{2,5-0,5} \times (2-1) = 2 - \frac{2,5-1,0866}{2,5-0,5} \times (2-1) = 1,293$$

#### 19. Gaya Horisontal Gempa (F)

Hasil perhitungan gaya horisontal tingkat dapat dilihat pada Tabel berikut.

**Tabel 5.6 Gaya Horisontal Tingkat dengan Struktur Tanpa *Shearwall***

Lantai	Berat (W) T	Tinggi (H) m	H <sup>k</sup>	WH <sup>k</sup>	CV <sub>x</sub> = $\frac{WH^k}{\sum WH^k}$	F = CV <sub>x</sub> · V T
10	2541,49	40	443,65	1127533,82	0,19	220,89
9	3170,16	36	372,77	1181728,72	0,20	231,51
8	3193,08	32	306,84	979779,82	0,17	191,95
7	3216,00	28	246,09	791436,75	0,14	155,05
6	3261,93	24	190,76	622244,62	0,11	121,90
5	3284,76	20	141,14	463618,17	0,08	90,83
4	3336,80	16	97,62	325735,77	0,06	63,81
3	3376,01	12	60,69	204883,17	0,04	40,14
2	3376,01	8	31,06	104846,87	0,02	20,54
1	3399,32	4	9,88	33586,13	0,01	6,58
Σ	32155,59			5835393,85		1143,195

**Tabel 5.7 Gaya Horizontal Tingkat dengan Struktur *Shearwall* Model 1**

Lantai	Berat (W) T	Tinggi (H) m	H <sup>k</sup>	WH <sup>k</sup>	$CV_x = \frac{WH^k}{\sum WH^k}$	F = CV <sub>x</sub> .V T
10	2541,49	40	118,03	299971,32	0,17	285,98
9	3170,16	36	102,99	326506,87	0,18	311,28
8	3193,08	32	88,44	282399,50	0,16	269,23
7	3216,00	28	74,41	239313,67	0,13	228,15
6	3261,93	24	60,96	198857,78	0,11	189,58
5	3284,76	20	48,16	158184,35	0,09	150,81
4	3336,80	16	36,08	120407,57	0,07	114,79
3	3376,01	12	24,87	83973,19	0,05	80,06
2	3376,01	8	14,72	49704,62	0,03	47,39
1	3399,32	4	6,01	20419,93	0,01	19,47
Σ	32155,59			1779738,80		1696,747

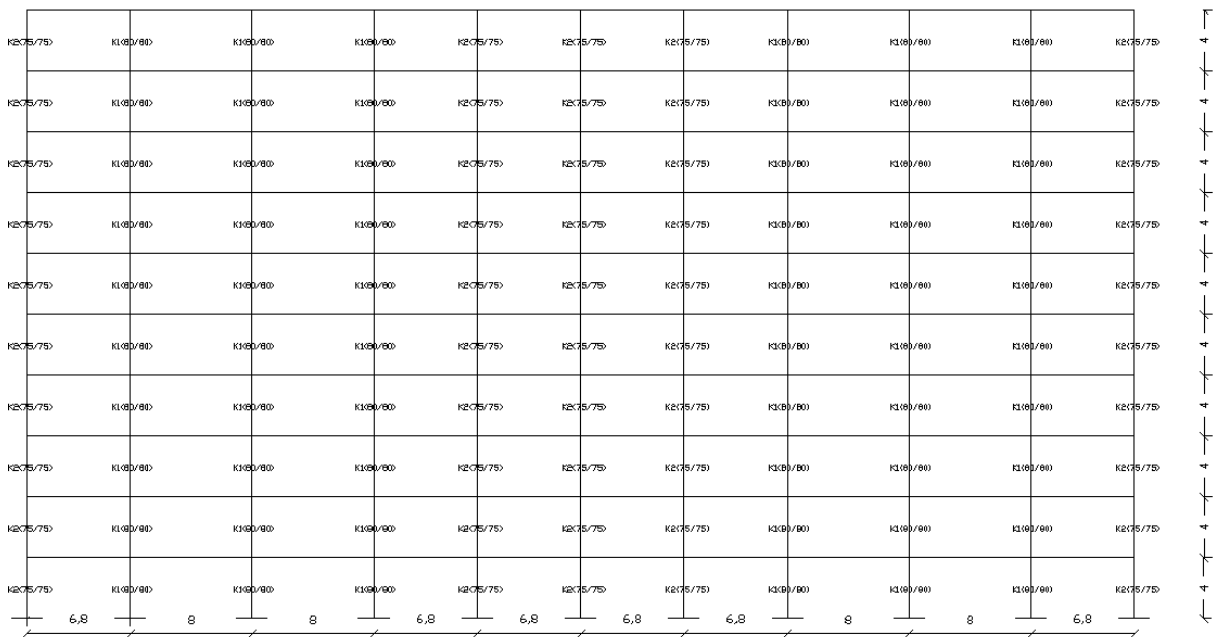
**Tabel 5.8 Gaya Horizontal Tingkat dengan Struktur *Shearwall* Model 2**

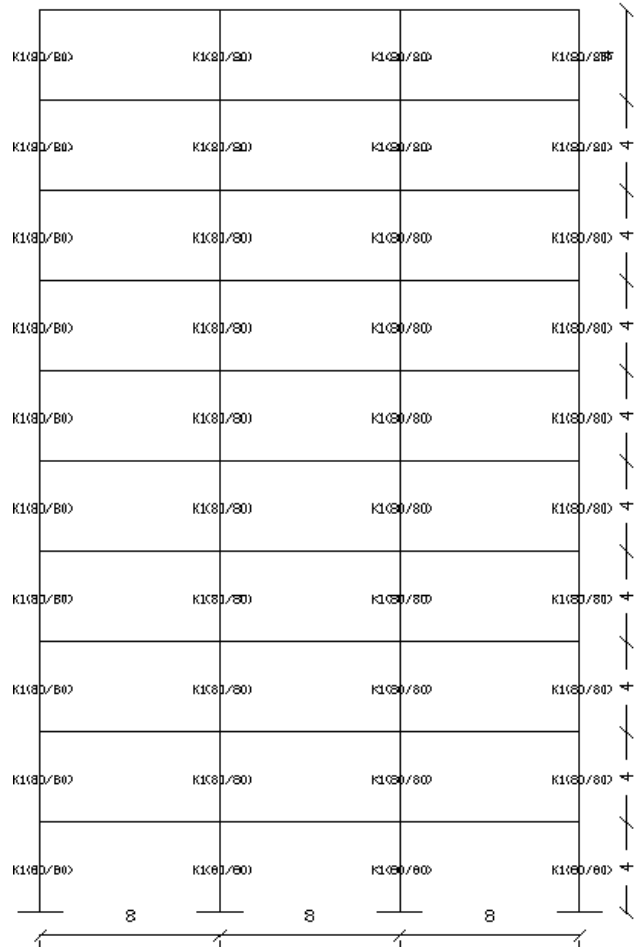
Lantai	Berat (W) T	Tinggi (H) m	H <sup>k</sup>	WH <sup>k</sup>	$CV_x = \frac{WH^k}{\sum WH^k}$	F = CV <sub>x</sub> .V T
10	2541,49	40	118,03	299971,32	0,17	285,98
9	3170,16	36	102,99	326506,87	0,18	311,28
8	3193,08	32	88,44	282399,50	0,16	269,23
7	3216,00	28	74,41	239313,67	0,13	228,15
6	3261,93	24	60,96	198857,78	0,11	189,58
5	3284,76	20	48,16	158184,35	0,09	150,81
4	3336,80	16	36,08	120407,57	0,07	114,79
3	3376,01	12	24,87	83973,19	0,05	80,06
2	3376,01	8	14,72	49704,62	0,03	47,39
1	3399,32	4	6,01	20419,93	0,01	19,47
Σ	32155,59			1779738,80		1696,747

**Tabel 5.9 Gaya Horizontal Tingkat dengan Struktur Shearwall Model 3**

Lantai	Berat (W) T	Tinggi (H) m	H <sup>k</sup>	WH <sup>k</sup>	$CV_x = \frac{WH^k}{\sum WH^k}$	F = CV <sub>x</sub> .V T
10	2541,49	40	118,03	299971,32	0,17	285,98
9	3170,16	36	102,99	326506,87	0,18	311,28
8	3193,08	32	88,44	282399,50	0,16	269,23
7	3216,00	28	74,41	239313,67	0,13	228,15
6	3261,93	24	60,96	198857,78	0,11	189,58
5	3284,76	20	48,16	158184,35	0,09	150,81
4	3336,80	16	36,08	120407,57	0,07	114,79
3	3376,01	12	24,87	83973,19	0,05	80,06
2	3376,01	8	14,72	49704,62	0,03	47,39
1	3399,32	4	6,01	20419,93	0,01	19,47
Σ	32155,59			1779738,80		1696,747

## 20. Perhitungan Kekakuan

**Gambar 5.17 Kekakuan pada Portal Arah x**



**Gambar 5.18 Kekakuan pada Portal Arah y**

$$f'c = 30 \text{ MPa}$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$Ec = 4700 \sqrt{f'c} = 4700 \sqrt{30}$$

$$= 25742,9602 \text{ MPa}$$

$$= 262506,1138 \text{ kg/cm}^4$$

Tinggi (L)= 4 m

a) Menghitung Momen Inersia dan I/L Balok

- Balok B1 (50/70)

$$I_{b1} = 1/12.50.70^3 = 1429166,667 \text{ cm}^4 = 0,01429 \text{ m}^4$$

$$I/L = I_{b1}/800 = 1786,458 \text{ cm}^3 = 0,001786 \text{ m}^3$$

- Balok B2 (40/60)

$$I_{b1} = 1/12.40.60^3 = 720000 \text{ cm}^4 = 0,0072 \text{ m}^4$$

$$I/L = I_{b1}/680 = 1058,824 \text{ cm}^3 = 0,001058 \text{ m}^3$$

- Balok B3 (60/90)

$$I_{b1} = 1/12.60.90^3 = 3645000\text{cm}^4 = 0,03645 \text{ m}^4$$

$$I/L = I_{b1}/800 = 4556,250 \text{ cm}^3 = 0,004556 \text{ m}^3$$

- Balok B4 (55/80)

$$I_{b1} = 1/12.55.80^3 = 2346666,667\text{cm}^4 = 0,023467 \text{ m}^4$$

$$I/L = I_{b1}/680 = 3450,980 \text{ cm}^3 = 0,003451 \text{ m}^3$$

b) Menghitung Momen Inersia dan I/L Kolom

- Kolom K1 (80/80)

$$I_{b1} = 1/12.80.80^3 = 3413333,33\text{cm}^4 = 0,03413 \text{ m}^4$$

$$I/L = I_{b1}/400 = 8533,33 \text{ cm}^3 = 0,008533 \text{ m}^3$$

- Kolom K2 (75/75)

$$I_{b1} = 1/12.75.75^3 = 2636718,750\text{cm}^4 = 0,02637 \text{ m}^4$$

$$I/L = I_{b1}/400 = 6591,7959 \text{ cm}^3 = 0,006591 \text{ m}^3$$

- Kolom K3 (90/90)

$$I_{b1} = 1/12.90.90^3 = 5467500 \text{ cm}^4 = 0,54675 \text{ m}^4$$

$$I/L = I_{b1}/400 = 13668,75 \text{ cm}^3 = 0,01367 \text{ m}^3$$

c) Kekakuan kolom jepit-jepit (prinsip *shear building*), dihitung menggunakan persamaan 3.18.

$$k_1 = (12.262506.3413333,33)/(400)^3 = 168003,9128 = 16800,39128 \text{ t/m}$$

$$k_2 = (12.262506.2636718,75)/(400)^3 = 129779,0235 = 12977,9023 \text{ t/m}$$

$$k_3 = (12.262506.5467500)/(400)^3 = 269109,7832 = 26910,9783 \text{ t/m}$$

d) Kekakuan kolom *structural wall*, dihitung menggunakan persamaan 3.32.

$$\begin{aligned} K_{sw1} &= ((12.262506.341333.2636718,75)/(400)^3)+(262506.(5.4))/(1.5.5) \\ &= 829795,3269 = 82979,53269 \text{ t/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_{sw2} &= ((12.262506.341333.2636718,7)/(400)^3)+(262506.(2,5.4))/(1.5.5) \\ &= 479787,1752 = 47978,71752 \text{ t/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_{sw3h} &= ((12.262506.341333.2636718,75)/(400)^3)+(262506.(2.4))/(1.5.5) \\ &= 409785,5449 = 40978,55449 \text{ t/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_{sw3v} &= ((12.262506.341333.3413333,33)/(400)^3)+(262506.(3.4))/(1.5.5) \\ &= 588013,6949 = 58801,36949 \text{ t/m} \end{aligned}$$

e) Koefisien k, diambil nilai  $K = 1000 \text{ cm}^3$

$$k_{b1} = 1,7864 ; k_{b2} = 1,0588 ; k_{b3} = 4,5562 ; k_{b4} = 3,4509$$



$$k_{k1} = 8,5333 ; k_{k2} = 6,5918 ; k_{k3} = 13,6687$$

f)  $K = C_m \cdot K_f$ , Menurut Cara Muto (1975)

- Koefisien kekakuan kolom tepi, dihitung menggunakan persamaan 3.27.

$$C_{m10} = (1,7864+1,7864)/(1,7864+1,7864+4.6,5918) = 0,0743$$

$$C_{m9} = (1,7864+8,5333)/(1,7864+8,5333+4.6,5918) = 0,1461$$

$$C_{m8} = (3,4509+3,4509)/(3,4509+3,4509+4.6,5918) = 0,2075$$

$$C_{m7} = C_{m6} = C_{m5} = C_{m4} = C_{m3} = C_{m2} = C_{m8} = 0,2075$$

Kekakuan kolom dasar menggunakan persamaan 3.30 atau 3.31.

$$C_{m1} = (3,4509+6,5918)/(3,4509+2.6,5918) = 0,6037 \quad (\text{pers.3.31})$$

$$C_{m1} = (3,4509+0,5.6,5918)/(3,4509+2.6,5918) = 0,4056 \quad (\text{pers.3.30})$$

- Koefisien kekakuan kolom tengah, dihitung menggunakan persamaan 3.28.

$$C_{m10} = 2(1,0588+1,7864)/(2(1,0588+1,7864)+4.8,5333) = 0,1429$$

$$C_{m9} = (1,0588+3,4509+2.1,7864)/(1,0588+3,4509+2.1,7864+4.8,5333) \\ = 0,1915$$

$$C_{m8} = 2(3,4509+1,7864)/(2(3,4509+1,7864)+4.8,5333) = 0,2446$$

$$C_{m7} = C_{m6} = C_{m8} = 0,2446$$

$$C_{m5} = (2.3,4509+1,7864+4,5562)/(2.3,4509+1,7864+4,5562)+4.8,5333 \\ = 0,2795$$

$$C_{m4} = 2(3,4509+4,5562)/(2(3,4509+4,5562)+4.8,5333) = 0,3193$$

$$C_{m3} = C_{m2} = C_{m4} = 0,3193$$

$$C_{m1} = (3,4509+4,5562+8,5333)/(3,4509+4,5562+8,5333+2.8,5333) \\ = 0,6037 \quad (\text{pers. 3.31})$$

$$C_{m1} = (3,4509+4,5562+0,5.8,5333)/(3,4509+4,5562+2.8,5333) \\ = 0,4895 \quad (\text{pers.3.30})$$

Maka nilai kekakuan kolom yang didapatkan dengan cara Muto (1975) dapat dilihat pada Tabel 5.10 untuk nilai kekakuan pada portal arah x struktur tanpa dinding geser dan Tabel 5.11 pada portal arah y struktur tanpa dinding geser. Nilai kekakuan struktur dinding geser model 1, 2, dan 3 berturut-turut pada portal arah y dapat dilihat pada Tabel 5.12, Tabel 5.14 dan Tabel 5.16. Sedangkan untuk nilai kekakuan struktur dinding geser model 1, 2, dan 3 pada portal arah x berturut-turut dapat dilihat pada Tabel 5.13, Tabel 5.15, dan Tabel 5.17.

**Tabel 5.10 Nilai Kekakuan Arah y Struktur Tanpa Shearwall**

Tingkat	Kolom					
	1	2	3	4	5	6
10	8631,89	9000,525	8631,89	8631,89	8914,077	8914,077
9	8631,89	9000,525	8631,89	8631,89	8914,077	8914,077
8	8631,89	9000,525	8631,89	8631,89	8914,077	8914,077
7	8631,89	9000,525	8631,89	8631,89	8914,077	8914,077
6	8631,89	9000,525	8631,89	8631,89	8914,077	8914,077
5	8631,89	9000,525	8631,89	8631,89	8914,077	8914,077
4	12126,42	10747,59	8631,89	8631,89	8914,077	8914,077
3	15097,61	12287,94	8631,89	8631,89	8914,077	8914,077
2	15097,61	12287,94	8631,89	8631,89	8914,077	8914,077
1	33504,61	39744,75	60144,02	60144,02	34235,33	34235,33
	24301,11	26016,35	36394,07	36394,07	21574,7	21574,7

**Tabel 5.10 Lanjutan**

Tingkat	Kolom					
	7	8	9	10	11	Total
10	8914,077	8631,89	8631,89	9000,525	8631,89	96534,62
9	8914,077	8631,89	8631,89	9000,525	8631,89	96534,62
8	8914,077	8631,89	8631,89	9000,525	8631,89	96534,62
7	8914,077	8631,89	8631,89	9000,525	8631,89	96534,62
6	8914,077	8631,89	8631,89	9000,525	8631,89	96534,62
5	8914,077	8631,89	8631,89	9000,525	8631,89	96534,62
4	8914,077	8631,89	8631,89	10747,59	12126,42	107017,8
3	8914,077	8631,89	8631,89	12287,94	15097,61	116040,9
2	8914,077	8631,89	8631,89	12287,94	15097,61	116040,9
1	34235,33	60144,02	60144,02	39744,75	33504,61	489780,8
	21574,7	36394,07	36394,07	26016,35	24301,11	310935,3

**Tabel 5.11 Nilai Kekakuan Arah x Struktur Tanpa *Shearwall***

Tingkat	Kolom				
	1	2	3	4	total
10	23000,33	22737,22	22737,22	23000,33	91475,1
9	26493,64	22737,22	22737,22	26493,64	98461,72
8	33126,71	22737,22	22737,22	33126,71	111727,9
7	38722,17	27742,31	27742,31	38722,17	132929
6	40952,61	33565,99	33565,99	40952,61	149037,2
5	47635,41	34968,17	34968,17	47635,41	165207,1
4	51919,8	34968,17	34968,17	51919,8	173775,9
3	51919,8	34968,17	34968,17	51919,8	173775,9
2	51919,8	34968,17	34968,17	51919,8	173775,9
1	108805,8	112378,7	112378,7	108805,8	442369
	80362,81	72549,61	72549,61	80362,81	305824,8

**Tabel 5.12 Nilai Kekakuan Arah y Struktur *Shearwall* Model 1**

Tingkat	Kolom					
	1	2	3	4	5	6
10	40114,27	9000,525	8631,89	8631,89	8914,077	8914,077
9	3097,448	9000,525	8631,89	8631,89	8914,077	8914,077
8	3097,448	9000,525	8631,89	8631,89	8914,077	8914,077
7	3097,448	9000,525	8631,89	8631,89	8914,077	8914,077
6	3139,283	9000,525	8631,89	8631,89	8914,077	8914,077
5	3097,448	9000,525	8631,89	8631,89	8914,077	8914,077
4	5033,036	10747,59	8631,89	8631,89	8914,077	8914,077
3	6666,414	12287,94	8631,89	8631,89	8914,077	8914,077
2	6666,414	12287,94	8631,89	8631,89	8914,077	8914,077
1	16311,11	39744,75	60144,02	60144,02	34235,33	34235,33
	271797,1	26016,35	36394,07	36394,07	21574,7	21574,7

**Tabel 5.12 Lanjutan**

Tingkat	Kolom					
	7	8	9	10	11	Total
10	8914,077	8631,89	8631,89	9000,525	40114,27	156239,2
9	8914,077	8631,89	8631,89	9000,525	3097,448	85465,74
8	8914,077	8631,89	8631,89	9000,525	3097,448	85465,74
7	8914,077	8631,89	8631,89	9000,525	3097,448	85465,74
6	8914,077	8631,89	8631,89	9000,525	3139,283	85549,41
5	8914,077	8631,89	8631,89	9000,525	3097,448	85465,74
4	8914,077	8631,89	8631,89	10747,59	5033,036	92831,04
3	8914,077	8631,89	8631,89	12287,94	6666,414	99178,5
2	8914,077	8631,89	8631,89	12287,94	6666,414	99178,5
1	34235,33	60144,02	60144,02	39744,75	16311,11	455393,8
	21574,7	36394,07	36394,07	26016,35	271797,1	805927,2

**Tabel 5.13 Nilai Kekakuan Arah x Struktur *Shearwall* Model 1**

Tingkat	Kolom				
	1	2	3	4	total
10	33217,38	22737,22	22737,22	33217,38	110851,1
9	36710,69	22737,22	22737,22	36710,69	117837,8
8	43343,75	22737,22	22737,22	43343,75	131103,9
7	57538,92	27742,31	27742,31	57538,92	168613,9
6	66320,65	33565,99	33565,99	66320,65	197146,2
5	73003,45	34968,17	34968,17	73003,45	213316,2
4	77287,84	34968,17	34968,17	77287,84	221885
3	77287,84	34968,17	34968,17	77287,84	221885
2	77287,84	34968,17	34968,17	77287,84	221885
1	158401,9	112378,7	112378,7	158401,9	536425,2
	117844,9	72549,61	72549,61	117844,9	376907,4

**Tabel 5.14 Nilai Kekakuan Arah y Struktur Shearwall Model 2**

Tingkat	Kolom					
	1	2	3	4	5	6
10	17897,89	9000,525	8631,89	8631,89	8914,077	8914,077
9	17897,89	9000,525	8631,89	8631,89	8914,077	8914,077
8	17897,89	9000,525	8631,89	8631,89	8914,077	8914,077
7	17897,89	9000,525	8631,89	8631,89	8914,077	8914,077
6	17897,89	9000,525	8631,89	8631,89	8914,077	8914,077
5	17897,89	9000,525	8631,89	8631,89	8914,077	8914,077
4	27182,72	10747,59	8631,89	8631,89	8914,077	8914,077
3	35040,14	12287,94	8631,89	8631,89	8914,077	8914,077
2	35040,14	12287,94	8631,89	8631,89	8914,077	8914,077
1	82299,18	39744,75	60144,02	60144,02	34235,33	34235,33
	58669,66	26016,35	36394,07	36394,07	21574,7	21574,7

**Tabel 5.14 Lanjutan**

Tingkat	Kolom					
	7	8	9	10	11	Total
10	8914,077	8631,89	8631,89	9000,525	17897,89	113242
9	8914,077	8631,89	8631,89	9000,525	17897,89	113242
8	8914,077	8631,89	8631,89	9000,525	17897,89	113242
7	8914,077	8631,89	8631,89	9000,525	17897,89	113242
6	8914,077	8631,89	8631,89	9000,525	17897,89	113242
5	8914,077	8631,89	8631,89	9000,525	17897,89	113242
4	8914,077	8631,89	8631,89	10747,59	27182,72	134165,6
3	8914,077	8631,89	8631,89	12287,94	35040,14	151998,9
2	8914,077	8631,89	8631,89	12287,94	35040,14	151998,9
1	34235,33	60144,02	60144,02	39744,75	82299,18	577761,4
	21574,7	36394,07	36394,07	26016,35	58669,66	372904,6

**Tabel 5.15 Nilai Kekakuan Arah x Struktur *Shearwall* Model 2**

Tingkat	Kolom				
	1	2	3	4	total
10	28772,81	22737,22	22737,22	28772,81	101883,4
9	37834,48	22737,22	22737,22	37834,48	118910,2
8	49235,14	22737,22	22737,22	49235,14	140772,7
7	54830,6	27742,31	27742,31	54830,6	161973,8
6	57061,04	33565,99	33565,99	57061,04	178082
5	63743,84	34968,17	34968,17	63743,84	194252
4	68028,23	34968,17	34968,17	68028,23	202820,8
3	68028,23	34968,17	34968,17	68028,23	202820,8
2	68028,23	34968,17	34968,17	68028,23	202820,8
1	155683,3	112378,7	112378,7	155683,3	526893,1
	111855,8	72549,61	72549,61	111855,8	362609,3

**Tabel 5.16 Nilai Kekakuan Arah y Struktur *Shearwall* Model 3**

Tingkat	Kolom					
	1	2	3	4	5	6
10	8631,89	9000,525	8631,89	8631,89	23455,65	8914,077
9	8631,89	9000,525	8631,89	8631,89	23455,65	8914,077
8	8631,89	9000,525	8631,89	8631,89	23455,65	8914,077
7	8631,89	9000,525	8631,89	8631,89	23455,65	8914,077
6	8631,89	9000,525	8631,89	8631,89	23455,65	8914,077
5	8631,89	9000,525	8631,89	8631,89	23455,65	8914,077
4	12126,42	10747,59	8631,89	8631,89	23455,65	8914,077
3	15097,61	12287,94	8631,89	8631,89	23455,65	8914,077
2	15097,61	12287,94	8631,89	8631,89	23455,65	8914,077
1	33504,61	39744,75	60144,02	60144,02	83507,1	34235,33
	24301,11	26016,35	36394,07	36394,07	53481,37	21574,7

**Tabel 5.16 Lanjutan**

Tingkat	Kolom					
	7	8	9	10	11	Total
10	23455,65	8631,89	8631,89	9000,525	8631,89	125617,8
9	23455,65	8631,89	8631,89	9000,525	8631,89	125617,8
8	23455,65	8631,89	8631,89	9000,525	8631,89	125617,8
7	23455,65	8631,89	8631,89	9000,525	8631,89	125617,8
6	23455,65	8631,89	8631,89	9000,525	8631,89	125617,8
5	23455,65	8631,89	8631,89	9000,525	8631,89	125617,8
4	23455,65	8631,89	8631,89	10747,59	12126,42	136101
3	23455,65	8631,89	8631,89	12287,94	15097,61	145124
2	23455,65	8631,89	8631,89	12287,94	15097,61	145124
1	83507,1	60144,02	60144,02	39744,75	33504,61	588324,3
	53481,37	36394,07	36394,07	26016,35	24301,11	374748,6

**Tabel 5.17 Nilai Kekakuan Arah x Struktur *Shearwall* Model 3**

Tingkat	Kolom				
	1	2	3	4	total
10	23000,33	31545,68	31545,68	23000,33	106975,9
9	26493,64	31545,68	31545,68	26493,64	113962,6
8	33126,71	31545,68	31545,68	33126,71	127228,7
7	38722,17	35038,99	35038,99	38722,17	145406,2
6	40952,61	45198,58	45198,58	40952,61	169231,2
5	47635,41	51190,73	51190,73	47635,41	193755,1
4	51919,8	51190,73	51190,73	51919,8	202323,9
3	51919,8	51190,73	51190,73	51919,8	202323,9
2	51919,8	51190,73	51190,73	51919,8	202323,9
1	108805,8	129970,1	129970,1	108805,8	467958,3
	80362,81	87334,84	87334,84	80362,81	328649,9

Berdasarkan hasil perhitungan nilai kekakuan dengan cara Muto (1975) pada arah x dan arah y tersebut menunjukkan bahwa nilai kekakuan terbesar didapatkan pada struktur *shearwall* model 1.

g)  $K \cdot d = F$ , Kekakuan dengan Cara Matrik

Pada penelitian ini struktur bangunan yang dimodelkan adalah 10 tingkat. Dengan menggunakan cara matrik yang mana nilai gaya dan simpangan sudah diketahui, maka didapatkan nilai kekakuan yang dapat dilihat pada Tabel 5.18 untuk struktur tanpa *shearwall*, Tabel 5.19 struktur *shearwall* model 1, Tabel 20 struktur *shearwall* model 2, dan Tabel 5.21 struktur *shearwall* model 1.

**Tabel 5.18 Nilai Kekakuan Cara Matrik Struktur Tanpa *Shearwall***

Lantai	Arah x (T/m)			Arah y (T/m)		
	F	d	K	F	d	K
10	220.89	0.01045	33468.48	220.89	0.01155	30893.98
9	231.51	0.01705	1930.39468	231.51	0.0187	1378.8533
8	191.95	0.02255	54948.0955	191.95	0.0264	25360.659
7	155.05	0.02585	15927.6273	155.05	0.03355	4778.2882
6	121.90	0.0275	86928.7212	121.90	0.03905	19317.494
5	90.83	0.0286	4359.52078	90.83	0.044	2906.3472
4	63.81	0.0297	53653.1797	63.81	0.04565	53653.18
3	40.14	0.0308	17164.0145	40.14	0.04455	45071.172
2	20.54	0.0319	120.715403	20.54	0.04235	6594.8668
1	6.58	0.01815	453.972498	6.58	0.0242	5218.0412

**Tabel 5.19 Nilai Kekakuan Cara Matrik Struktur *Shearwall* Model 1**

Lantai	Arah x (T/m)			Arah y (T/m)		
	F	d	K	F	d	K
10	285.98	0.0143	64996.17	285.98	0.01705	57774.37
9	311.28	0.0187	7666.10741	311.28	0.022	9199.3289
8	269.23	0.022	110878.439	269.23	0.02475	88702.751
7	228.15	0.0242	14344.097	228.15	0.0275	5737.6388
6	189.58	0.0253	158005.629	189.58	0.03025	158005.63
5	150.81	0.0264	20907.4998	150.81	0.03135	41815
4	114.79	0.0275	83449.5522	114.79	0.0308	83509.701
3	80.06	0.0264	62491.5935	80.06	0.02915	49510.996
2	47.39	0.02365	22145.3218	47.39	0.02475	25381.357
1	19.47	0.01375	17360.4652	19.47	0.0143	19909.293



**Tabel 5.20 Nilai Kekakuan Cara Matrik Struktur *Shearwall* Model 2**

Lantai	Arah x (T/m)			Arah y (T/m)		
	F	d	K	F	d	K
10	285.98	0.0143	74281.34	285.98	0.01595	47269.94
9	311.28	0.01815	5749.58056	311.28	0.022	4599.6644
8	269.23	0.02255	88702.7514	269.23	0.0275	40319.432
7	228.15	0.0253	9562.73134	228.15	0.03355	3586.0243
6	189.58	0.02695	158005.629	189.58	0.03795	52668.543
5	150.81	0.02805	20907.4998	150.81	0.04125	41815
4	114.79	0.02915	166899.104	114.79	0.0418	27816.517
3	80.06	0.0286	62491.5935	80.06	0.0385	31245.797
2	47.39	0.02585	19930.7896	47.39	0.033	14236.278
1	19.47	0.01485	16074.5048	19.47	0.0176	13562.863

**Tabel 5.21 Nilai Kekakuan Cara Matrik Struktur *Shearwall* Model 3**

Lantai	Arah x (T/m)			Arah y (T/m)		
	F	d	K	F	d	K
10	285.98	0.0132	51996.93	285.98	0.01375	74281.34
9	311.28	0.0187	5749.58056	311.28	0.0176	6570.9492
8	269.23	0.0231	63359.1082	269.23	0.02145	73918.96
7	228.15	0.02695	9562.73134	228.15	0.02475	5737.6388
6	189.58	0.0286	158005.629	189.58	0.0275	79002.815
5	150.81	0.0297	41814.9996	150.81	0.0297	41815
4	114.79	0.03025	166899.104	114.79	0.03025	83449.552
3	80.06	0.0308	5335.0604	80.06	0.02915	39057.246
2	47.39	0.0286	4886.27577	47.39	0.02475	19930.79
1	19.47	0.0165	4763.13011	19.47	0.01375	17360.465

Berdasarkan hasil perhitungan nilai kekakuan dengan cara matrik didapatkan nilai arah x sebesar 166899,10 T/m pada struktur *Shearwall* model 2 dan arah y sebesar 158005,63 T/m pada struktur *shearwall* model 1.

### 5.3.6 Gaya Geser Dasar (*Base Shear*)

Berdasarkan SNI 1726-2012 Pasal 7.9.4.1 gaya geser dasar ragam ( $V_t$ ) struktur gedung tidak kurang dari 85% gaya geser yang dihitung menggunakan prosedur gaya lateral ekuivalen ( $V_t \geq 0,85 V$ ). Apabila nilai yang dihasilkan kurang dari 85%, maka untuk keperluan analisis yang lebih lanjut gaya geser tingkat nominal akibat gempa rencana harus dikalikan dengan  $0,85 \frac{V}{V_t}$ .

$V_{\text{statik}} = 1143,195 \text{ T}$

$85\% V_{\text{statik}} = 971,716 \text{ T}$

Gaya geser struktur tanpa *shearwall* arah x =  $1143,195 \text{ T} > 971,716 \text{ T}$

=  $V_{\text{respons spektrum}} > 85\% V_{\text{statik}}$

(Oke !)

Gaya geser (*base shear*) yang dihasilkan pada analisis statik ekuivalen (V) dan analisis dinamik (Vt) dapat dilihat pada Tabel 5.22.

**Tabel 5.22 Gaya Geser Dasar (*Base shear*)**

<i>Base shear, V</i>		Sistem Rangka	<i>Shearwall</i> model 1	<i>Shearwall</i> model 2	<i>Shearwall</i> model 3
Statik, V	EQ	1143,195	1696,747	1696,747	1696,747
85% V Statik	EQ	971,716	1442,234	1442,234	1442,234
V Respons spektrum	RSx	1306,35	1530,14	1533,97	1533,23
	RSy	1299,2	1535,42	1518,58	1535,02

### 5.3.7 Mengecek Ketidakberaturan Struktur

Untuk mengetahui struktur bangunan yang dianalisis merupakan bangunan yang beraturan, maka perlu mencari memperhitungkan pengaruh torsi yang terjadi pada struktur bangunan tersebut. Pengaruh torsi pada struktur bangunan dibagi dalam pengaruh ketidakberaturan torsi 1a dan 1b, dengan ketentuan sebagai berikut.

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

Hasil pemeriksaan pengaruh torsi arah x dan arah y dapat dilihat pada Tabel-tabel berikut.



**Tabel 5.24 Pemeriksaan Pengaruh Torsi Arah y Struktur Tanpa *Shearwall***

Lantai	$\delta$ arah x (mm)						Keterangan
	$\delta_a$	$\delta_b$	$\delta_{max}$	$\delta_{avg}$	$1,2\delta_{avg}$	$1,4\delta_{avg}$	
10	31,5	31,5	31,5	31,5	37,8	44,1	Tidak ada
9	30,4	30,4	30,4	30,4	36,48	42,56	Tidak ada
8	28,6	28,6	28,6	28,6	34,32	40,04	Tidak ada
7	26,1	26,1	26,1	26,1	31,32	36,54	Tidak ada
6	22,9	22,9	22,9	22,9	27,48	32,06	Tidak ada
5	19,1	19,1	19,1	19,1	22,92	26,74	Tidak ada
4	15	15	15	15	18	21	Tidak ada
3	10,6	10,6	10,6	10,6	12,72	14,84	Tidak ada
2	6,3	6,3	6,3	6,3	7,56	8,82	Tidak ada
1	2,3	2,3	2,3	2,3	2,76	3,22	Tidak ada

**Tabel 5.25 Pemeriksaan Pengaruh Torsi Arah x Struktur *Shearwall* Model 1**

Lantai	$\delta$ arah x (mm)						Keterangan
	$\delta_a$	$\delta_b$	$\delta_{max}$	$\delta_{avg}$	$1,2\delta_{avg}$	$1,4\delta_{avg}$	
10	21,2	21,2	21,2	21,2	25,44	29,68	Tidak ada
9	19,8	19,8	19,8	19,8	23,76	27,72	Tidak ada
8	18,1	18,1	18,1	18,1	21,72	25,34	Tidak ada
7	16	16	16	16	19,2	22,4	Tidak ada
6	13,7	13,7	13,7	13,7	16,44	19,18	Tidak ada
5	11,2	11,2	11,2	11,2	13,44	15,68	Tidak ada
4	8,7	8,7	8,7	8,7	10,44	12,18	Tidak ada
3	6,1	6,1	6,1	6,1	7,32	8,54	Tidak ada
2	3,6	3,6	3,6	3,6	4,32	5,04	Tidak ada
1	1,3	1,3	1,3	1,3	1,56	1,82	Tidak ada

**Tabel 5.26 Pemeriksaan Pengaruh Torsi Arah y Struktur *Shearwall* Model 1**

Lantai	$\delta$ arah x (mm)						Keterangan
	$\delta_a$	$\delta_b$	$\delta_{max}$	$\delta_{avg}$	$1,2\delta_{avg}$	$1,4\delta_{avg}$	
10	24	24	24	24	28,8	33,6	Tidak ada
9	22,4	22,4	22,4	22,4	26,88	31,36	Tidak ada
8	20,3	20,3	20,3	20,3	24,36	28,42	Tidak ada
7	18	18	18	18	21,6	25,2	Tidak ada
6	15,3	15,3	15,3	15,3	18,36	21,42	Tidak ada
5	12,5	12,5	12,5	12,5	15	17,5	Tidak ada
4	9,5	9,5	9,5	9,5	11,4	13,3	Tidak ada
3	6,5	6,5	6,5	6,5	7,8	9,1	Tidak ada
2	3,7	3,7	3,7	3,7	4,44	5,18	Tidak ada
1	1,4	1,4	1,4	1,4	1,68	1,96	Tidak ada

**Tabel 5.27 Pemeriksaan Pengaruh Torsi Arah x Struktur *Shearwall* Model 2**

Lantai	$\delta$ arah x (mm)						Keterangan
	$\delta_a$	$\delta_b$	$\delta_{max}$	$\delta_{avg}$	$1,2\delta_{avg}$	$1,4\delta_{avg}$	
10	22,3	22,3	22,3	22,3	26,76	31,22	Tidak ada
9	21	21	21	21	25,2	29,4	Tidak ada
8	19,2	19,2	19,2	19,2	23,04	26,88	Tidak ada
7	17,1	17,1	17,1	17,1	20,52	23,94	Tidak ada
6	14,7	14,7	14,7	14,7	17,64	20,58	Tidak ada
5	12,1	12,1	12,1	12,1	14,52	16,94	Tidak ada
4	9,4	9,4	9,4	9,4	11,28	13,16	Tidak ada
3	6,6	6,6	6,6	6,6	7,92	9,24	Tidak ada
2	3,9	3,9	3,9	3,9	4,68	5,46	Tidak ada
1	1,4	1,4	1,4	1,4	1,68	1,96	Tidak ada

**Tabel 5.28 Pemeriksaan Pengaruh Torsi Arah y Struktur *Shearwall* Model 2**

Lantai	$\delta$ arah x (mm)						Keterangan
	$\delta_a$	$\delta_b$	$\delta_{max}$	$\delta_{avg}$	$1,2\delta_{avg}$	$1,4\delta_{avg}$	
10	29,5	29,5	29,5	29,5	35,4	41,3	Tidak ada
9	28	28	28	28	33,6	39,2	Tidak ada
8	25,9	25,9	25,9	25,9	31,08	36,26	Tidak ada
7	23,2	23,2	23,2	23,2	27,84	32,48	Tidak ada
6	20,1	20,1	20,1	20,1	24,12	28,14	Tidak ada
5	16,4	16,4	16,4	16,4	19,68	22,96	Tidak ada
4	12,5	12,5	12,5	12,5	15	17,5	Tidak ada
3	8,5	8,5	8,5	8,5	10,2	11,9	Tidak ada
2	4,8	4,8	4,8	4,8	5,76	6,72	Tidak ada
1	1,7	1,7	1,7	1,7	2,04	2,38	Tidak ada

**Tabel 5.29 Pemeriksaan Pengaruh Torsi Arah x Struktur *Shearwall* Model 3**

Lantai	$\delta$ arah x (mm)						Keterangan
	$\delta_a$	$\delta_b$	$\delta_{max}$	$\delta_{avg}$	$1,2\delta_{avg}$	$1,4\delta_{avg}$	
10	23,5	23,5	23,5	23,5	28,2	32,9	Tidak ada
9	22,3	22,3	22,3	22,3	26,76	31,22	Tidak ada
8	20,5	20,5	20,5	20,5	24,6	28,7	Tidak ada
7	18,2	18,2	18,2	18,2	21,84	25,48	Tidak ada
6	15,7	15,7	15,7	15,7	18,84	21,98	Tidak ada
5	13	13	13	13	15,6	18,2	Tidak ada
4	10,1	10,1	10,1	10,1	12,12	14,14	Tidak ada
3	7,2	7,2	7,2	7,2	8,64	10,08	Tidak ada
2	4,3	4,3	4,3	4,3	5,16	6,02	Tidak ada
1	1,6	1,6	1,6	1,6	1,92	2,24	Tidak ada

**Tabel 5.30 Pemeriksaan Pengaruh Torsi Arah y Struktur *Shearwall* Model 3**

Lantai	$\delta$ arah x (mm)						Keterangan
	$\delta_a$	$\delta_b$	$\delta_{max}$	$\delta_{avg}$	$1,2\delta_{avg}$	$1,4\delta_{avg}$	
10	22,2	22,2	22,2	22,2	26,64	31,08	Tidak ada
9	20,9	20,9	20,9	20,9	25,08	29,26	Tidak ada
8	19,2	19,2	19,2	19,2	23,04	26,88	Tidak ada
7	17,2	17,2	17,2	17,2	20,64	24,08	Tidak ada
6	14,8	14,8	14,8	14,8	17,76	20,72	Tidak ada
5	12,2	12,2	12,2	12,2	14,64	17,08	Tidak ada
4	9,3	9,3	9,3	9,3	11,16	13,02	Tidak ada
3	6,4	6,4	6,4	6,4	7,68	8,96	Tidak ada
2	3,7	3,7	3,7	3,7	4,44	5,18	Tidak ada
1	1,3	1,3	1,3	1,3	1,56	1,82	Tidak ada

Berdasarkan hasil pemeriksaan pengaruh torsi pada arah x dan arah y tersebut menunjukkan bahwa pengaruh torsi pada struktur tanpa *sheawall* dan *shearwall* model 1, 2, dan 3 tidak perlu diperhitungkan.

### 5.3.8 Simpangan Antar Lantai

Berdasarkan SNI Pasal 7.12.1.1 simpangan antar lantai tingkat desain ( $\Delta$ ) tidak boleh melebihi simpangan antar lantai tingkat ijin ( $\Delta a$ ). Fungsi bangunan pada penelitian ini adalah perkantoran yang berada pada kategori desain seismik D, maka simpangan antar lantai maksimum yang diijinkan sebesar  $\Delta a/\rho$  dengan nilai  $\rho$  adalah faktor redundansi sebesar 1,0. Nilai simpangan antar lantai ijin dengan kategori risiko II didapatkan  $0,02 \cdot h_{sx}$ . Berikut contoh hitungan simpangan antar lantai pada lantai 10 arah x dan arah y.

Arah x:

$$C_d = 5,5$$

$$I_e = 1,0$$

$$h_{sx} = 4000 \text{ mm}$$

$$\delta_{e10} = 23,2 \text{ mm}$$

$$\delta_{e9} = 22,2 \text{ mm}$$

$$\Delta_{10} = \frac{(\delta_{e10} - \delta_{e9}) \times Cd}{Ie} = \frac{(23,2 - 22,2) \times 5,5}{1,0} = 5,5 \text{ mm}$$

$$\Delta a = 0,02 \cdot 0,020 \cdot h_{sx} = 0,020 \cdot 4 \cdot 1000 = 80 \text{ mm}$$

$$\frac{\Delta a}{\rho} = \frac{80}{1,0} = 80 \text{ mm}$$

$$\text{Didapatkan} = 5,5 \text{ mm} < 80 \text{ mm}$$

$$\Delta_{10} < \Delta a \rightarrow \text{Aman.}$$

Arah y:

$$Cd = 5,5$$

$$Ie = 1,0$$

$$h_{sx} = 4000 \text{ mm}$$

$$\delta_{e10} = 31,5 \text{ mm}$$

$$\delta_{e9} = 30,4 \text{ mm}$$

$$\Delta_{10} = \frac{(\delta_{e10} - \delta_{e9}) \times Cd}{Ie} = \frac{(31,5 - 30,4) \times 5,5}{1,0} = 6,05 \text{ mm}$$

$$\Delta a = 0,02 \cdot 0,020 \cdot h_{sx} = 0,020 \cdot 4 \cdot 1000 = 80 \text{ mm}$$

$$\frac{\Delta a}{\rho} = \frac{80}{1,0} = 80 \text{ mm}$$

$$\text{Didapatkan} = 6,05 \text{ mm} < 80 \text{ mm}$$

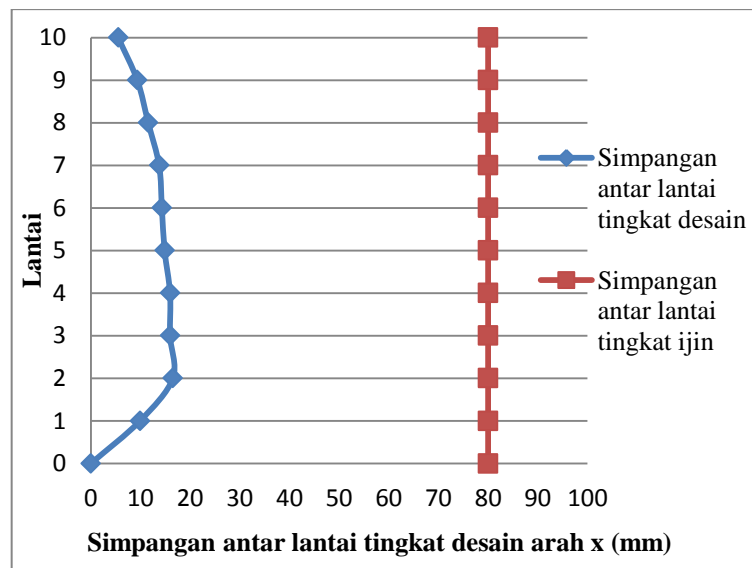
$$\Delta_{10} < \Delta a \rightarrow \text{Aman.}$$

Untuk perhitungan simpangan antar lantai tingkat desain pada lantai-lantai lainnya dapat dilakukan dengan cara yang sama. Rekap hasil hitungan antar lantai disajikan pada Tabel berikut.



**Tabel 5.31 Simpangan Antar Lantai Desain yang Terjadi Terhadap Simpangan Antar Lantai Ijin Arah x untuk Struktur Tanpa *Shearwall***

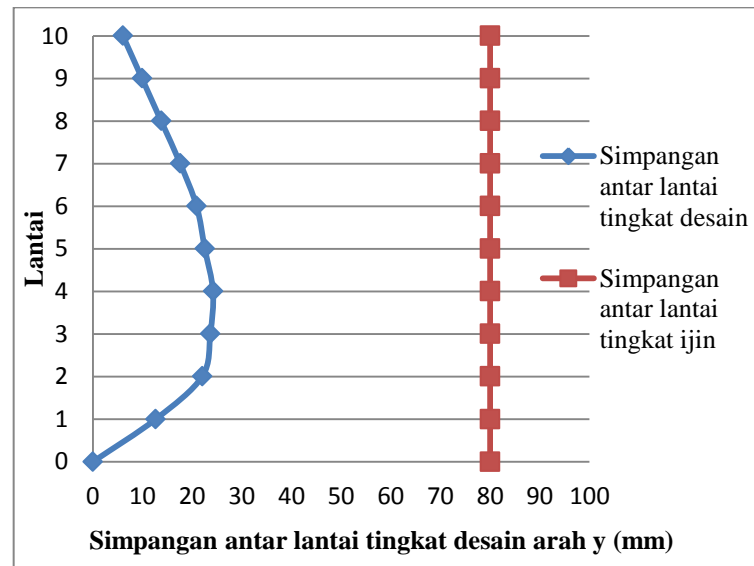
Lantai	$h_{sx}$ (mm)	Defleksi Elastik, $\delta_e$ (mm)	Simpangan antar lantai tingkat desain, $\Delta$ (mm)	Simpangan antar lantai tingkat ijin, $\Delta a$ (mm)	Ket
10	4000	23,2	5,5	80	Aman
9	4000	22,2	9,35	80	Aman
8	4000	20,5	11,55	80	Aman
7	4000	18,4	13,75	80	Aman
6	4000	15,9	14,3	80	Aman
5	4000	13,3	14,85	80	Aman
4	4000	10,6	15,95	80	Aman
3	4000	7,7	15,95	80	Aman
2	4000	4,8	16,5	80	Aman
1	4000	1,8	9,9	80	Aman



**Gambar 5.20 Simpangan Antar Lantai Desain yang Terjadi Terhadap Simpangan Antar Lantai Ijin Arah x untuk Struktur Tanpa *Shearwall***

**Tabel 5.32 Simpangan Antar Lantai Desain yang terjadi Terhadap Simpangan Antar Lantai Ijin Arah y untuk Struktur Tanpa *Shearwall***

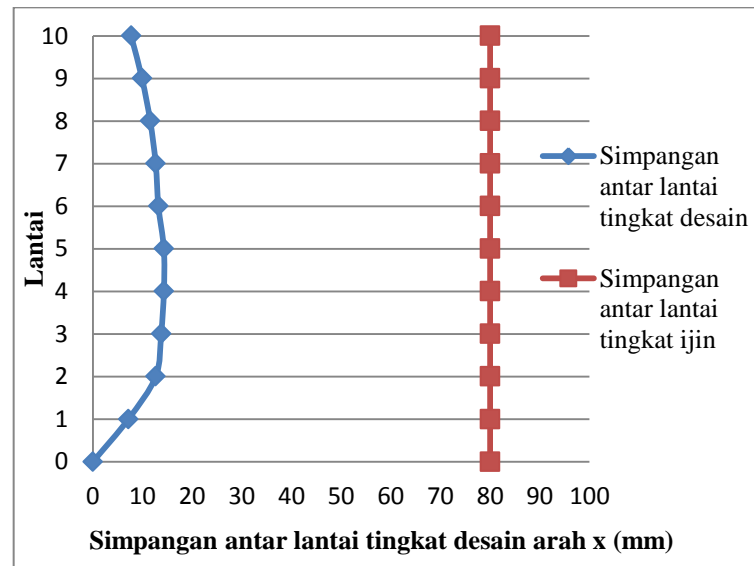
Lantai	$h_{sx}$ (mm)	Defleksi Elastik, $\delta_e$ (mm)	Simpangan antar lantai tingkat desain, $\Delta$ (mm)	Simpangan antar lantai tingkat ijin, $\Delta a$ (mm)	Ket
10	4000	31,5	6,05	80	Aman
9	4000	30,4	9,9	80	Aman
8	4000	28,6	13,75	80	Aman
7	4000	26,1	17,6	80	Aman
6	4000	22,9	20,9	80	Aman
5	4000	19,1	22,55	80	Aman
4	4000	15	24,2	80	Aman
3	4000	10,6	23,65	80	Aman
2	4000	6,3	22	80	Aman
1	4000	2,3	12,65	80	Aman



**Gambar 5.21 Simpangan Antar Lantai Desain yang Terjadi Terhadap Simpangan Antar Lantai Ijin Arah y untuk Struktur Tanpa *Shearwall***

**Tabel 5.33 Simpangan Antar Lantai Desain yang Terjadi Terhadap Simpangan Antar Lantai Ijin Arah x untuk Struktur *Shearwall* Model 1**

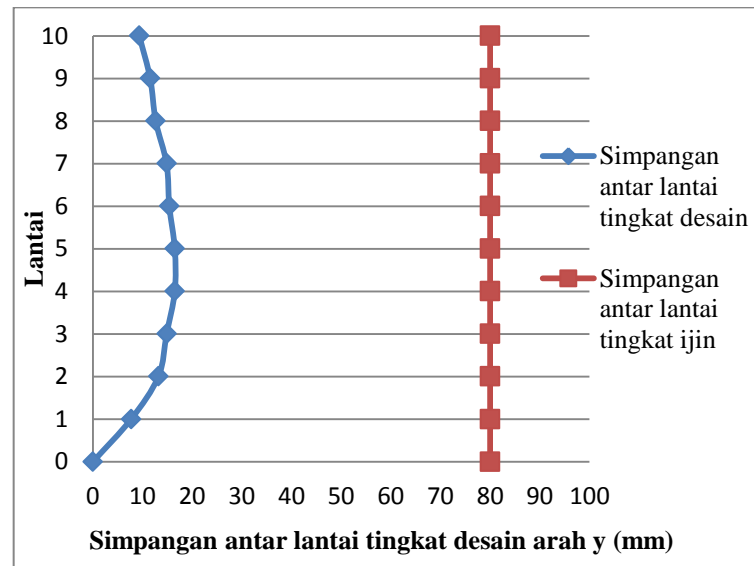
Lantai	$h_{sx}$ (mm)	Defleksi Elastik, $\delta_e$ (mm)	Simpangan antar lantai tingkat desain, $\Delta$ (mm)	Simpangan antar lantai tingkat ijin, $\Delta a$ (mm)	Ket
10	4000	21,3	7,7	80	Aman
9	4000	19,9	9,9	80	Aman
8	4000	18,1	11,55	80	Aman
7	4000	16	12,65	80	Aman
6	4000	13,7	13,2	80	Aman
5	4000	11,3	14,3	80	Aman
4	4000	8,7	14,3	80	Aman
3	4000	6,1	13,75	80	Aman
2	4000	3,6	12,65	80	Aman
1	4000	1,3	7,15	80	Aman



**Gambar 5.22 Simpangan Antar Lantai Desain yang Terjadi Terhadap Simpangan Antar Lantai Ijin Arah x untuk Struktur *Shearwall* Model 1**

**Tabel 5.34 Simpangan Antar Lantai Desain yang Terjadi Terhadap Simpangan Antar Lantai Ijin Arah y untuk Struktur *Shearwall* Model 1**

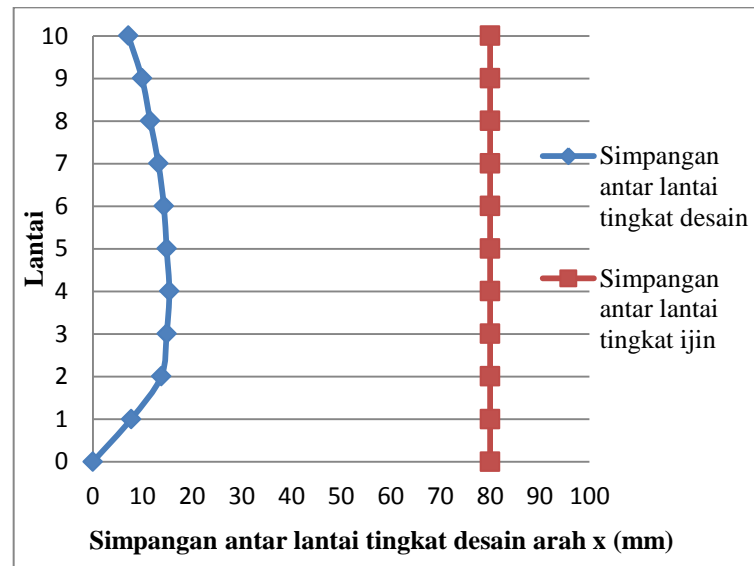
Lantai	$h_{sx}$ (mm)	Defleksi Elastik, $\delta_e$ (mm)	Simpangan antar lantai tingkat desain, $\Delta$ (mm)	Simpangan antar lantai tingkat ijin, $\Delta a$ (mm)	Ket
10	4000	24,1	9,35	80	Aman
9	4000	22,4	11,55	80	Aman
8	4000	20,3	12,65	80	Aman
7	4000	18	14,85	80	Aman
6	4000	15,3	15,4	80	Aman
5	4000	12,5	16,5	80	Aman
4	4000	9,5	16,5	80	Aman
3	4000	6,5	14,85	80	Aman
2	4000	3,8	13,2	80	Aman
1	4000	1,4	7,7	80	Aman



**Gambar 5.23 Simpangan Antar Lantai Desain yang Terjadi Terhadap Simpangan Antar Lantai Ijin Arah y untuk Struktur *Shearwall* Model 1**

**Tabel 5.35 Simpangan Antar Lantai Desain yang Terjadi Terhadap Simpangan Antar Lantai Ijin Arah x untuk Struktur *Shearwall* Model 2**

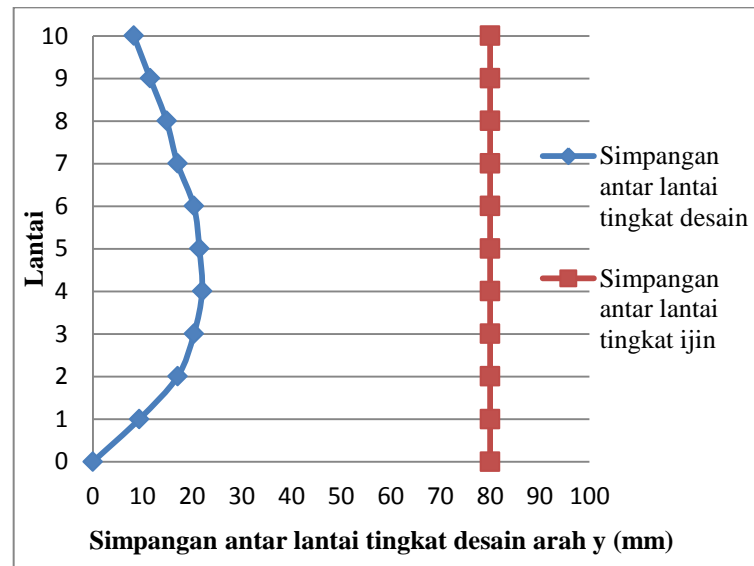
Lantai	$h_{sx}$ (mm)	Defleksi Elastik, $\delta_e$ (mm)	Simpangan antar lantai tingkat desain, $\Delta$ (mm)	Simpangan antar lantai tingkat ijin, $\Delta a$ (mm)	Ket
10	4000	22,3	7,15	80	Aman
9	4000	21	9,9	80	Aman
8	4000	19,2	11,55	80	Aman
7	4000	17,1	13,2	80	Aman
6	4000	14,7	14,3	80	Aman
5	4000	12,1	14,85	80	Aman
4	4000	9,4	15,4	80	Aman
3	4000	6,6	14,85	80	Aman
2	4000	3,9	13,75	80	Aman
1	4000	1,4	7,7	80	Aman



**Gambar 5.24 Simpangan Antar Lantai Desain yang Terjadi Terhadap Simpangan Antar Lantai Ijin Arah x untuk Struktur *Shearwall* Model 2**

**Tabel 5.36 Simpangan Antar Lantai Desain yang Terjadi Terhadap Simpangan Antar Lantai Ijin Arah y untuk Struktur *Shearwall* Model 2**

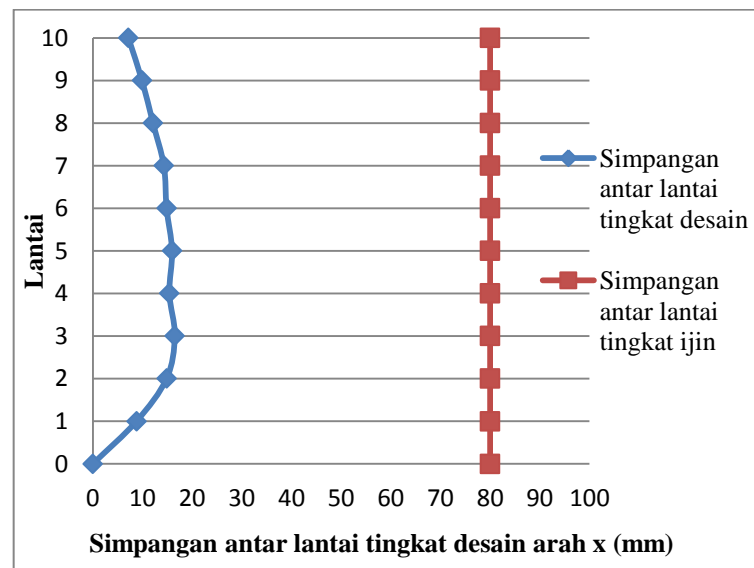
Lantai	$h_{sx}$ (mm)	Defleksi Elastik, $\delta_e$ (mm)	Simpangan antar lantai tingkat desain, $\Delta$ (mm)	Simpangan antar lantai tingkat ijin, $\Delta a$ (mm)	Ket
10	4000	29,5	8,25	80	Aman
9	4000	28	11,55	80	Aman
8	4000	25,9	14,85	80	Aman
7	4000	23,2	17,05	80	Aman
6	4000	20,1	20,35	80	Aman
5	4000	16,4	21,45	80	Aman
4	4000	12,5	22	80	Aman
3	4000	8,5	20,35	80	Aman
2	4000	4,8	17,05	80	Aman
1	4000	1,7	9,35	80	Aman



**Gambar 5.25 Simpangan Antar Lantai Desain yang Terjadi Terhadap Simpangan Antar Lantai Ijin Arah y untuk Struktur *Shearwall* Model 2**

**Tabel 5.37 Simpangan Antar Lantai Desain yang Terjadi Terhadap Simpangan Antar Lantai Ijin Arah x untuk Struktur *Shearwall* Model 3**

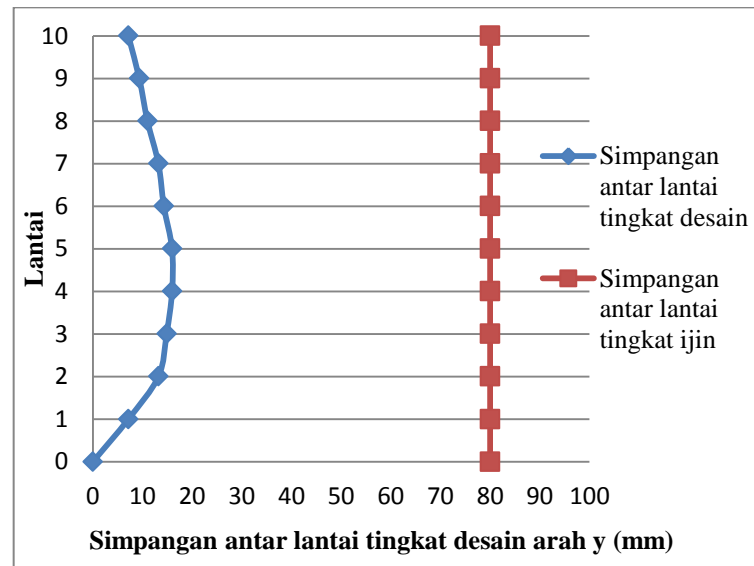
Lantai	$h_{sx}$ (mm)	Defleksi Elastik, $\delta_e$ (mm)	Simpangan antar lantai tingkat desain, $\Delta$ (mm)	Simpangan antar lantai tingkat ijin, $\Delta a$ (mm)	Ket
10	4000	23,6	7,15	80	Aman
9	4000	22,3	9,9	80	Aman
8	4000	20,5	12,1	80	Aman
7	4000	18,3	14,3	80	Aman
6	4000	15,7	14,85	80	Aman
5	4000	13	15,95	80	Aman
4	4000	10,1	15,4	80	Aman
3	4000	7,3	16,5	80	Aman
2	4000	4,3	14,85	80	Aman
1	4000	1,6	8,8	80	Aman



**Gambar 5.26 Simpangan Antar Lantai Desain yang Terjadi Terhadap Simpangan Antar Lantai Ijin Arah x untuk Struktur *Shearwall* Model 3**

**Tabel 5.38 Simpangan Antar Lantai Desain yang Terjadi Terhadap Simpangan Antar Lantai Ijin Arah y untuk Struktur *Shearwall* Model 3**

Lantai	$h_{sx}$ (mm)	Defleksi Elastik, $\delta_e$ (mm)	Simpangan antar lantai tingkat desain, $\Delta$ (mm)	Simpangan antar lantai tingkat ijin, $\Delta a$ (mm)	Ket
10	4000	22,2	7,15	80	Aman
9	4000	20,9	9,35	80	Aman
8	4000	19,2	11	80	Aman
7	4000	17,2	13,2	80	Aman
6	4000	14,8	14,3	80	Aman
5	4000	12,2	15,95	80	Aman
4	4000	9,3	15,95	80	Aman
3	4000	6,4	14,85	80	Aman
2	4000	3,7	13,2	80	Aman
1	4000	1,3	7,15	80	Aman

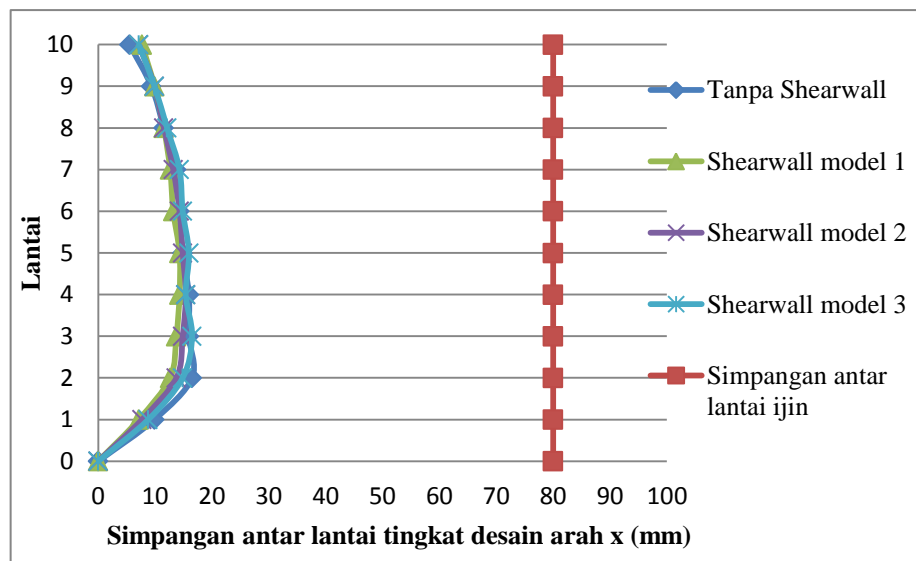


**Gambar 5.27 Simpangan Antar Lantai Desain yang Terjadi Terhadap Simpangan Antar Lantai Ijin Arah y untuk Struktur *Shearwall* Model 3**

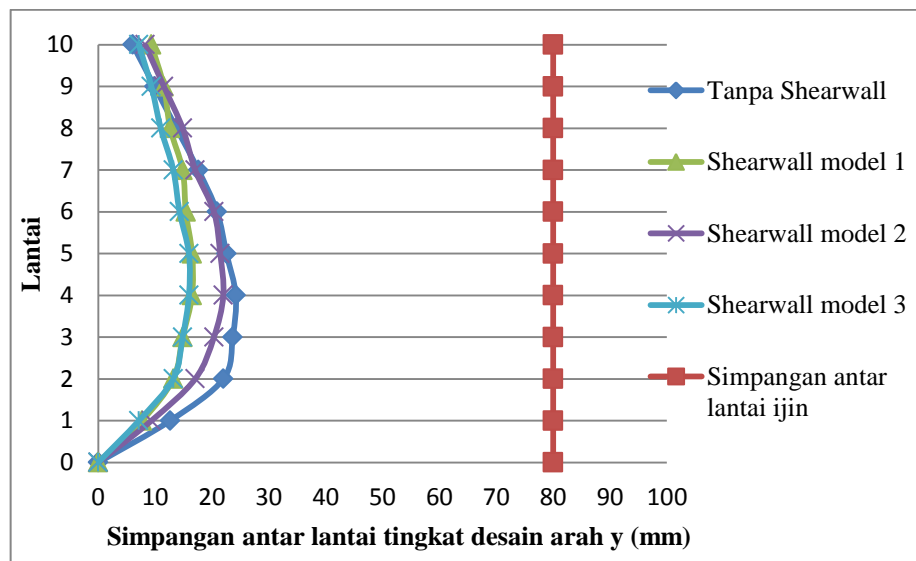


Berdasarkan hasil kontrol nilai simpangan antar lantai yang disajikan pada Tabel 5.31 sampai dengan Tabel 5.38, dapat diketahui bahwa nilai-nilai simpangan antar lantai desain tidak ada yang melebihi besar simpangan antar lantai ijin, sehingga struktur aman dari segi simpangan antar lantainya.

Hasil simpangan antar lantai tingkat desain pada ke-empat model struktur dengan analisis respons spektrum arah x dan arah y, secara lebih informatif disajikan pada Gambar 5.28 dan Gambar 5.29.



**Gambar 5.28 Grafik Nilai Perbandingan Simpangan Antar Lantai Desain Arah x dengan Analisis Respon Spektrum**



**Gambar 5.29 Grafik Nilai Perbandingan Simpangan Antar Lantai Desain Arah y dengan Analisis Respon Spektrum**

Dari grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa simpangan antar lantai tingkat desain pada tiap struktur baik struktur tanpa *shearwall* dan struktur dengan model *shearwall* telah memenuhi syarat, karena simpangan yang dihasilkan lebih kecil dari simpangan lantai ijinnya, yaitu sebesar 80 mm.

Pada analisis ini, arah x struktur *shearwall* model 1 memiliki nilai simpangan lebih kecil dibanding struktur *shearwall* model lainnya dengan nilai maksimum sebesar 14,3 mm, dan pada arah y struktur *shearwall* model 3 simpangannya lebih kecil dibanding struktur *shearwall* lainnya dengan nilai maksimum sebesar 15,95 mm. Hal ini berarti bahwa, struktur dengan model struktur *shearwall* tersebut memiliki struktur yang lebih kuat karena menghasilkan nilai simpangan yang kecil dibandingkan dengan struktur model lainnya.

### 5.3.9 Kontrol Partisipasi Massa

Menurut SNI 1726:2012 Pasal 7.9.1, bahwa analisis harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar paling sedikit 90%.

Berdasarkan analisis ETABS, maka didapatkan hasil modal partisipasi massa model struktur rangka dan model struktur dengan *shearwall* dapat dilihat pada Tabel 5.39, Tabel 5.40, Tabel 5.41, dan Tabel 5.42 berikut.

**Tabel 5.39 Hasil Modal Participating Mass Ratios Struktur Tanpa Shearwall**

Mode	Period	UX	UY	Sum UX	Sum UY
1	1,905203	0	78,2548	0	78,2548
2	1,671649	0	0	0	78,2548
3	1,612051	78,1528	0	78,1528	78,2548
4	0,626934	0	11,2963	78,1528	89,5511
5	0,572293	11,5157	0	89,6684	89,5511
6	0,567268	0	0	89,6684	89,5511
7	0,353254	0	4,2004	89,6684	<b>93,7515</b>
8	0,325505	0	0	89,6684	93,7515
9	0,324009	4,1643	0	<b>93,8327</b>	93,7515
10	0,232796	0	2,2448	93,8327	95,9963
11	0,217329	2,3096	0	96,1423	95,9963
12	0,21505	0	0	96,1423	95,9963

**Tabel 5.40 Hasil Modal Participating Mass Ratios Struktur Shearwall****Model 1**

Mode	Period	UX	UY	Sum UX	Sum UY
1	1,512734	0	74,5435	0	74,5435
2	1,422576	75,4831	0	75,4831	74,5435
3	1,138015	0	0	75,4831	74,5435
4	0,480587	12,6889	0	88,172	74,5435
5	0,459637	0	14,3966	88,172	88,9401
6	0,336726	0	0	88,172	88,9401
7	0,252042	5,0908	0	<b>93,2628</b>	88,9401
8	0,239398	0	4,9499	93,2628	<b>93,8901</b>
9	0,170461	0	0	93,2628	93,8901
10	0,159785	2,7689	0	96,0317	93,8901
11	0,15776	0	2,4807	96,0317	96,3708
12	0,117213	0	1,4663	96,0317	97,837

**Tabel 5.41 Hasil Modal Participating Mass Ratios Struktur Shearwall****Model 2**

Mode	Period	UX	UY	Sum UX	Sum UY
1	1,701078	0	75,5507	0	75,5507
2	1,465319	75,9477	0	75,9477	75,5507
3	1,346108	0	0	75,9477	75,5507
4	0,531784	0	12,4997	75,9477	88,0504
5	0,493113	12,4388	0	88,3865	88,0504
6	0,40844	0	0	88,3865	88,0504
7	0,280601	0	5,0391	88,3865	<b>93,0895</b>
8	0,263018	4,8413	0	<b>93,2278</b>	93,0895
9	0,205698	0	0	93,2278	93,0895
10	0,175429	0	2,7215	93,2278	95,811
11	0,167546	2,7152	0	95,943	95,811
12	0,124844	0	0	95,943	95,811

**Tabel 5.42 Hasil Modal Participating Mass Ratios Struktur Shearwall****Model 3**

Mode	Period	UX	UY	Sum UX	Sum UY
1	1,620192	0	0	0	0
2	1,510356	76,5689	0	76,5689	0
3	1,467893	0	75,636	76,5689	75,636
4	0,544117	0	0	76,5689	75,636
5	0,523393	12,114	0	88,6829	75,636
6	0,45301	0	13,0392	88,6829	88,6753
7	0,307751	0	0	88,6829	88,6753
8	0,283814	4,6004	0	<b>93,2833</b>	88,6753
9	0,237073	0	4,8542	93,2833	<b>93,5294</b>
10	0,20197	0	0	93,2833	93,5294
11	0,183328	2,612	0	95,8953	93,5294
12	0,15165	0	2,6318	95,8953	96,1612

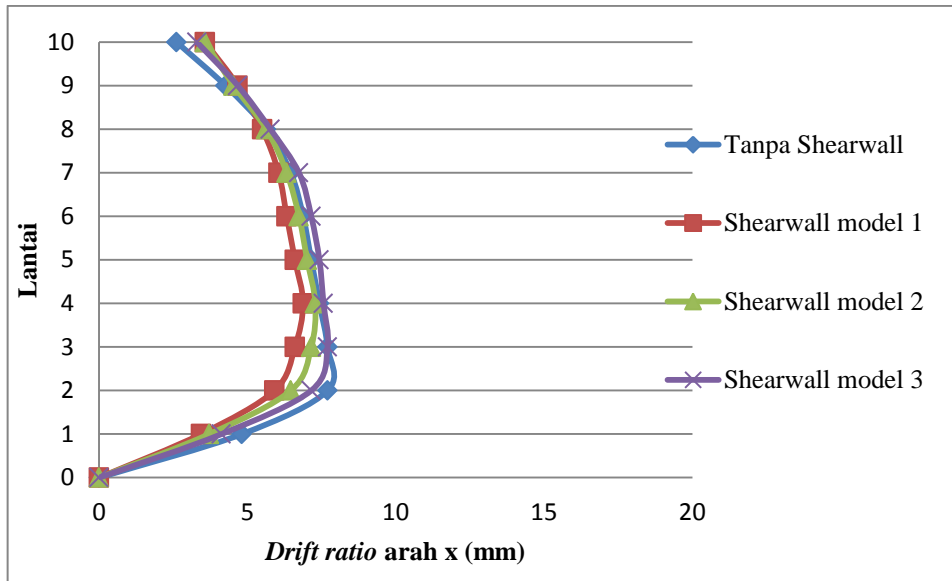
Berdasarkan Tabel 5.39 sampai Tabel 5.42 diperoleh bahwa struktur sistem rangka dan struktur dengan *shearwall*, baik model 1, 2 dan 3 ini sudah memenuhi syarat partisipasi massa atau sudah melebihi 90%. Berarti tidak perlu menambah jumlah pola ragam getar kembali.

**5.4 Drift Ratio**

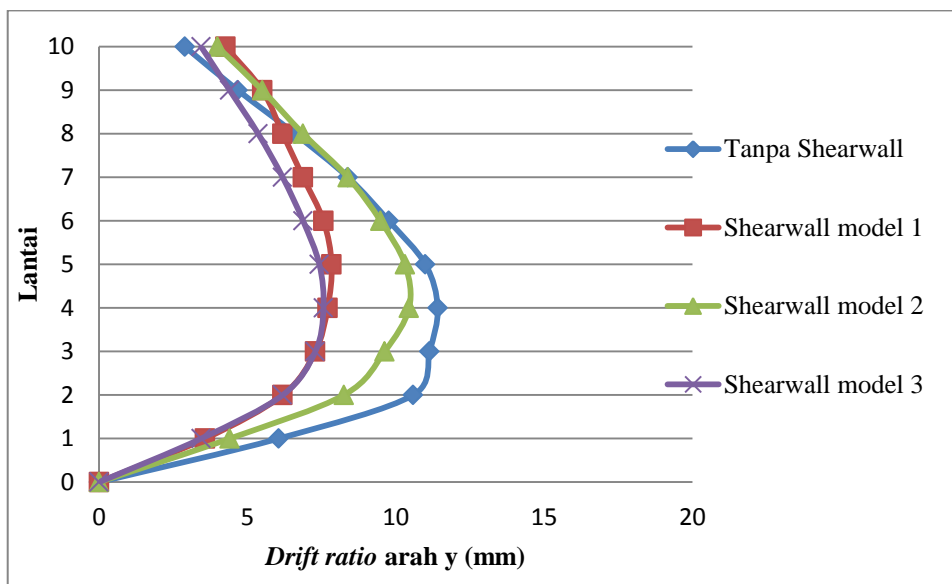
Hasil *drift ratio* akibat beban gempa respons spektrum dapat dilihat pada Tabel 5.43 berikut.

**Tabel 5.43 Nilai Drift Ratio Akibat Beban Dinamik Respons Spektrum**

Lantai	<i>Drift Ratio</i> (mm)							
	Tanpa <i>shearwall</i>		<i>Shearwall</i> model 1		<i>Shearwall</i> model 2		<i>Shearwall</i> model 3	
	$\Delta x$	$\Delta y$	$\Delta x$	$\Delta y$	$\Delta x$	$\Delta y$	$\Delta x$	$\Delta y$
1	4,813	6,05	3,438	3,575	3,712	4,4	4,125	3,437
2	7,7	10,588	5,912	6,188	6,462	8,250	7,15	6,187
3	7,7	11,137	6,6	7,287	7,15	9,625	7,7	7,288
4	7,425	11,413	6,875	7,7	7,287	10,450	7,562	7,563
5	7,150	11	6,6	7,837	7,012	10,313	7,425	7,425
6	6,875	9,762	6,325	7,562	6,738	9,487	7,150	6,875
7	6,462	8,388	6,05	6,875	6,325	8,387	6,738	6,188
8	5,637	6,6	5,5	6,187	5,638	6,875	5,775	5,363
9	4,263	4,675	4,675	5,5	4,537	5,500	4,675	4,4
10	2,612	2,887	3,575	4,262	3,575	3,988	3,3	3,437



**Gambar 5.30 Nilai *Drift Ratio* Akibat Beban Gempa Dinamik Respons Spektrum Arah x**



**Gambar 5.31 Nilai *Drift Ratio* Akibat Beban Gempa Dinamik Respons Spektrum Arah y**

Dari hasil analisis di atas, selanjutnya dilakukan perhitungan persentase perbandingan nilai *drift ratio*, yang dapat dilihat pada Tabel 5.44 berikut.

**Tabel 5.44 Persentase Perbandingan *Drift Ratio* Akibat Beban Gempa Respons Spektrum**

Lantai	Persentase Perbandingan <i>Drift Ratio</i> (%)							
	Tanpa <i>shearwall</i>		<i>Shearwall</i> model 1		<i>Shearwall</i> model 2		<i>Shearwall</i> model 3	
	$\Delta x$	$\Delta y$	$\Delta x$	$\Delta y$	$\Delta x$	$\Delta y$	$\Delta x$	$\Delta y$
1	4,813	6,05	3,438	3,575	3,712	4,4	4,125	3,437
2	7,7	10,588	5,912	6,188	6,462	8,250	7,15	6,187
3	7,7	11,137	6,6	7,287	7,15	9,625	7,7	7,288
4	7,425	11,413	6,875	7,7	7,287	10,450	7,562	7,563
5	7,150	11	6,6	7,837	7,012	10,313	7,425	7,425
6	6,875	9,762	6,325	7,562	6,738	9,487	7,150	6,875
7	6,462	8,388	6,05	6,875	6,325	8,387	6,738	6,188
8	5,637	6,6	5,5	6,187	5,638	6,875	5,775	5,363
9	4,263	4,675	4,675	5,5	4,537	5,500	4,675	4,4
10	2,612	2,887	3,575	4,262	3,575	3,988	3,3	3,437
$\Sigma$	60,638	82,5	55,55	62,975	58,437	77,275	61,6	58,163
% <i>drift ratio</i> maks (lantai 4)			7,407	32,53	1,852	8,434	-1,852	33,735
% Pernurunan <i>drift ratio</i>			8,39	23,667	3,628	6,333	-1,587	29,5

Hasil nilai perbandingan *drift ratio* maksimum yang didapat pada masing-masing model dinding geser adalah sebesar 8,39% pada arah x yaitu pada struktur *shearwall* model 1 dan 29,5% pada arah y yaitu pada struktur *shearwall* model 3 akibat pengaruh beban gempa respons spektrum.

Sedangkan nilai perbandingan *drift ratio* minimum yang didapat pada masing-masing model dinding geser didapatkan sebesar -1,5873% pada arah x yaitu pada struktur *shearwall* model 3 dan 6,333% pada arah y yaitu pada struktur *shearwall* model 2 akibat pengaruh beban gempa respons spektrum.

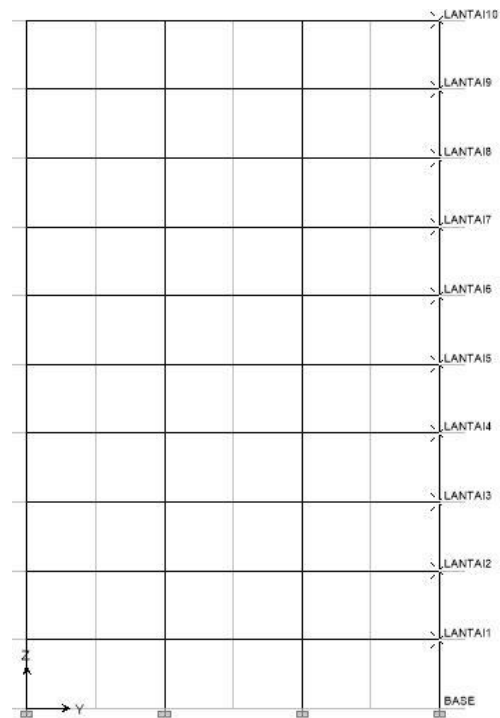
Semakin besar nilai *drift ratio* pada suatu struktur bangunan maka struktur bangunan tersebut memiliki sifat yang fleksibel/kurang kaku, sehingga dengan pemberian dinding geser pada suatu struktur bangunan bisa menurunkan nilai simpangan yang terjadi pada setiap tingkat bangunan dan membuat bangunan tersebut lebih kaku dibanding struktur bangunan tanpa dinding geser.

Hal ini berarti penggunaan struktur yang diberi beban gempa respons spektrum di wilayah Yogyakarta dengan jenis tanah keras yang lebih efektif

digunakan adalah struktur *shearwall* model 1, karena memiliki perbandingan nilai *drift ratio* yang besar dibandingkan dengan struktur model lainnya.

### 5.5 Displacement

Nilai *displacement* akibat beban respons spektrum diambil pada *joint* 1 portal A yang dapat dilihat pada Gambar 5.32 berikut.

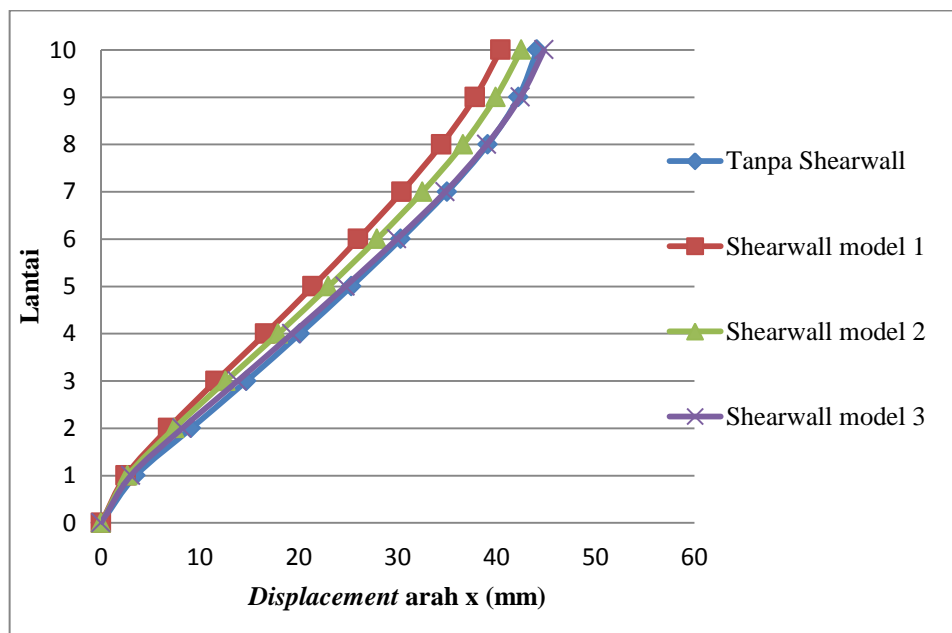


**Gambar 5.32 Joint 1 Portal A**

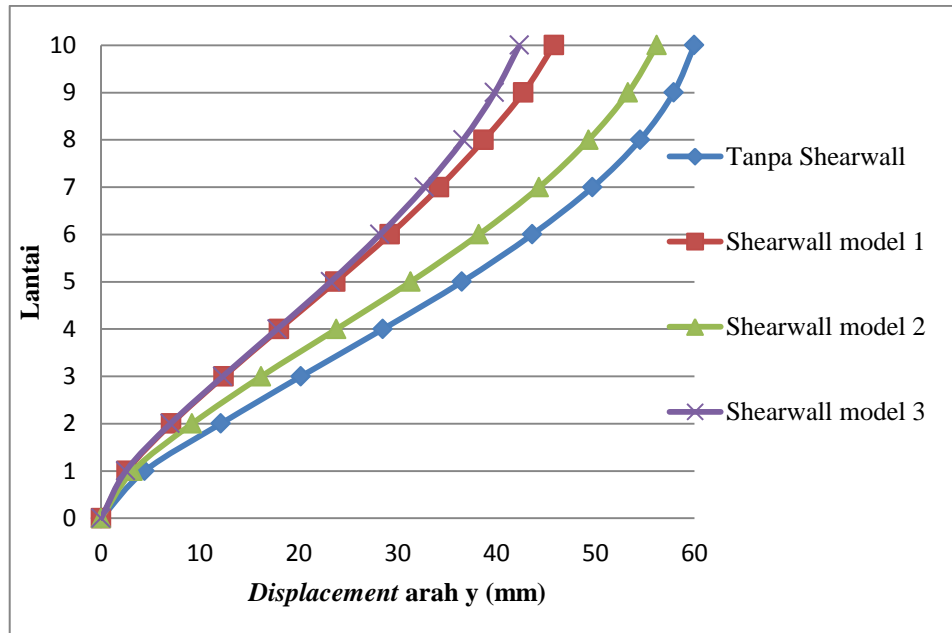
Hasil *displacement* akibat gempa dinamik respons spektrum dapat dilihat pada Tabel 5.45 berikut.

Tabel 5.45 Nilai *Displacement Joint 1* Akibat Gempa Respons Spektrum

Lantai	Displacement (mm)							
	Tanpa <i>shearwall</i>		<i>Shearwall</i> model 1		<i>Shearwall</i> model 2		<i>Shearwall</i> model 3	
	$\delta_{ex}$	$\delta_{ey}$	$\delta_{ex}$	$\delta_{ey}$	$\delta_{ex}$	$\delta_{ey}$	$\delta_{ex}$	$\delta_{ey}$
1	3,5	4,4	2,5	2,6	2,7	3,2	3	2,5
2	9,1	12,1	6,8	7,1	7,4	9,2	8,2	7
3	14,7	20,2	11,6	12,4	12,6	16,2	13,8	12,3
4	20,1	28,5	16,6	18	17,9	23,8	19,3	17,8
5	25,3	36,5	21,4	23,7	23	31,3	24,7	23,2
6	30,3	43,6	26	29,2	27,9	38,2	29,9	28,2
7	35	49,7	30,4	34,2	32,5	44,3	34,8	32,7
8	39,1	54,5	34,4	38,7	36,6	49,3	39	36,6
9	42,2	57,9	37,8	42,7	39,9	53,3	42,4	39,8
10	44,1	60	40,4	45,8	42,5	56,2	44,8	42,3
$\Sigma$	263,4	367,4	227,9	254,4	243	325	259,9	242,4
%Perbandingan			13,478	30,757	7,745	11,541	1,329	34,022

Gambar 5.33 Nilai *Displacement Joint 1* Arah x Akibat Gempa Respons Spektrum





**Gambar 5.34 Nilai *Displacement Joint 1* Arah y Akibat Gempa Respons Spektrum**

Berdasarkan Tabel 5.45 dan Gambar 5.33 menunjukkan bahwa struktur dengan dinding geser model 1 memiliki nilai *displacement joint 1* arah x akibat beban gempa respons spektrum lebih kecil dibandingkan dengan struktur model lainnya sebesar 13,478%, dan dari Gambar 5.34 menunjukkan bahwa nilai *displacement joint 1* arah y akibat beban respons spektrum yang lebih kecil ditunjukkan pada struktur dinding geser model 3 sebesar 34,023%. Nilai *displacement* arah x pada struktur bangunan ini tidak terlalu signifikan dan yang lebih memberi pengaruh terhadap nilai *displacement*nya adalah arah y sehingga nilai pada arah x yang didapatkan tidak terlalu besar.

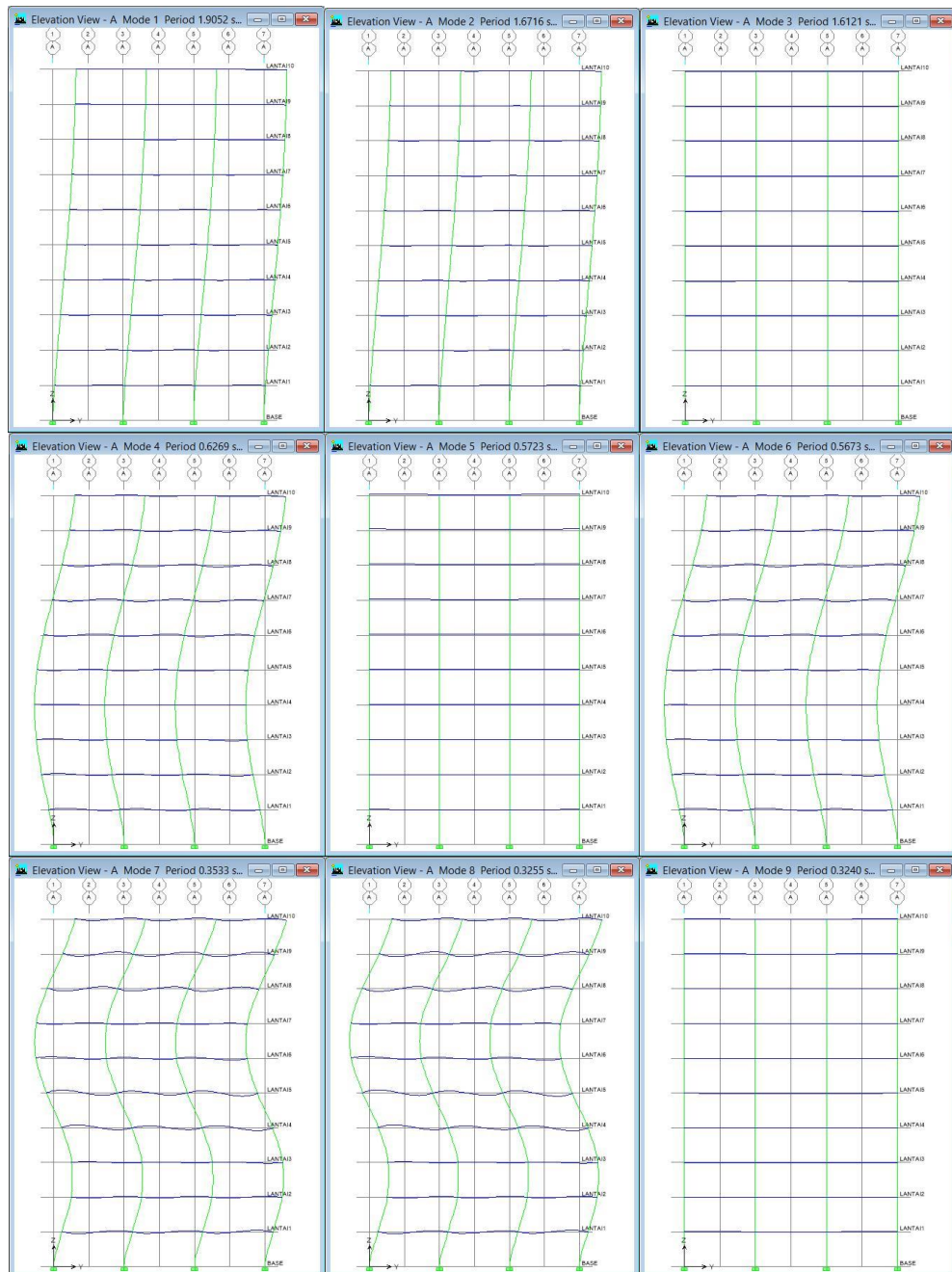
Hal ini berarti bahwa pemberian struktur dinding geser pada model tersebut memiliki kekakuan yang besar terhadap gempa respons spektrum, karena memiliki nilai simpangan yang lebih kecil dibandingkan dengan struktur model lainnya.

## 5.6 Pola Goyangan Struktur

Berdasarkan analisis respons spektrum dengan menggunakan program ETABS menunjukkan deformasi atau *mode shape* berikut ini.

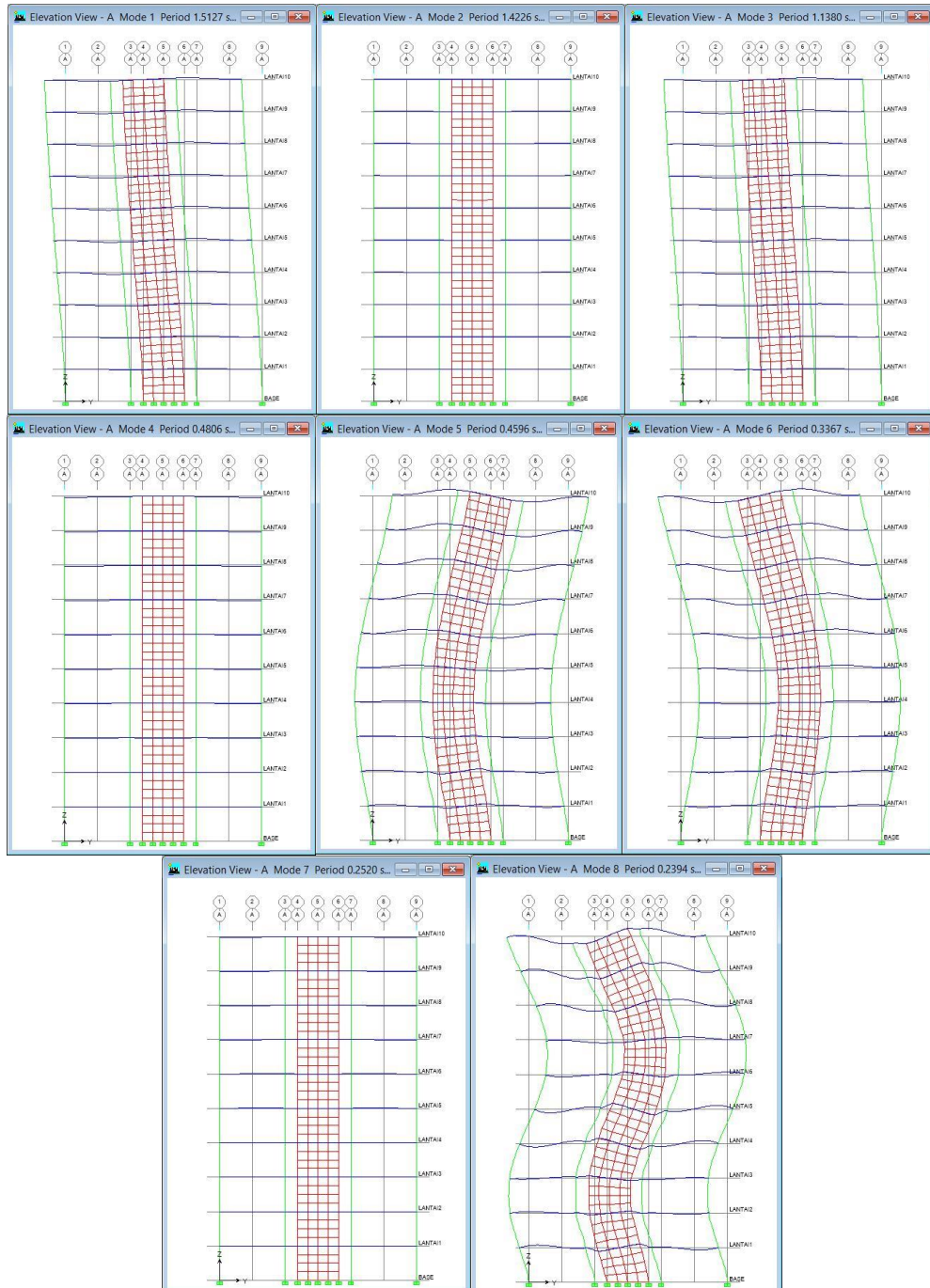
1. Akibat gempa Respon Spektrum struktur tanpa *shearwall*

Pola goyangan yang didapatkan pada struktur tanpa *shearwall* menunjukkan pada *mode* 1 hingga 3 terlihat dominan geser (*shear mode*) sedangkan pada *mode* 4 hingga 8 mulai muncul pola goyangan yang dominan lentur (*flexural mode*) dan pada *mode* ke 9 terjadi pola goyangan kombinasi di antara keduanya.



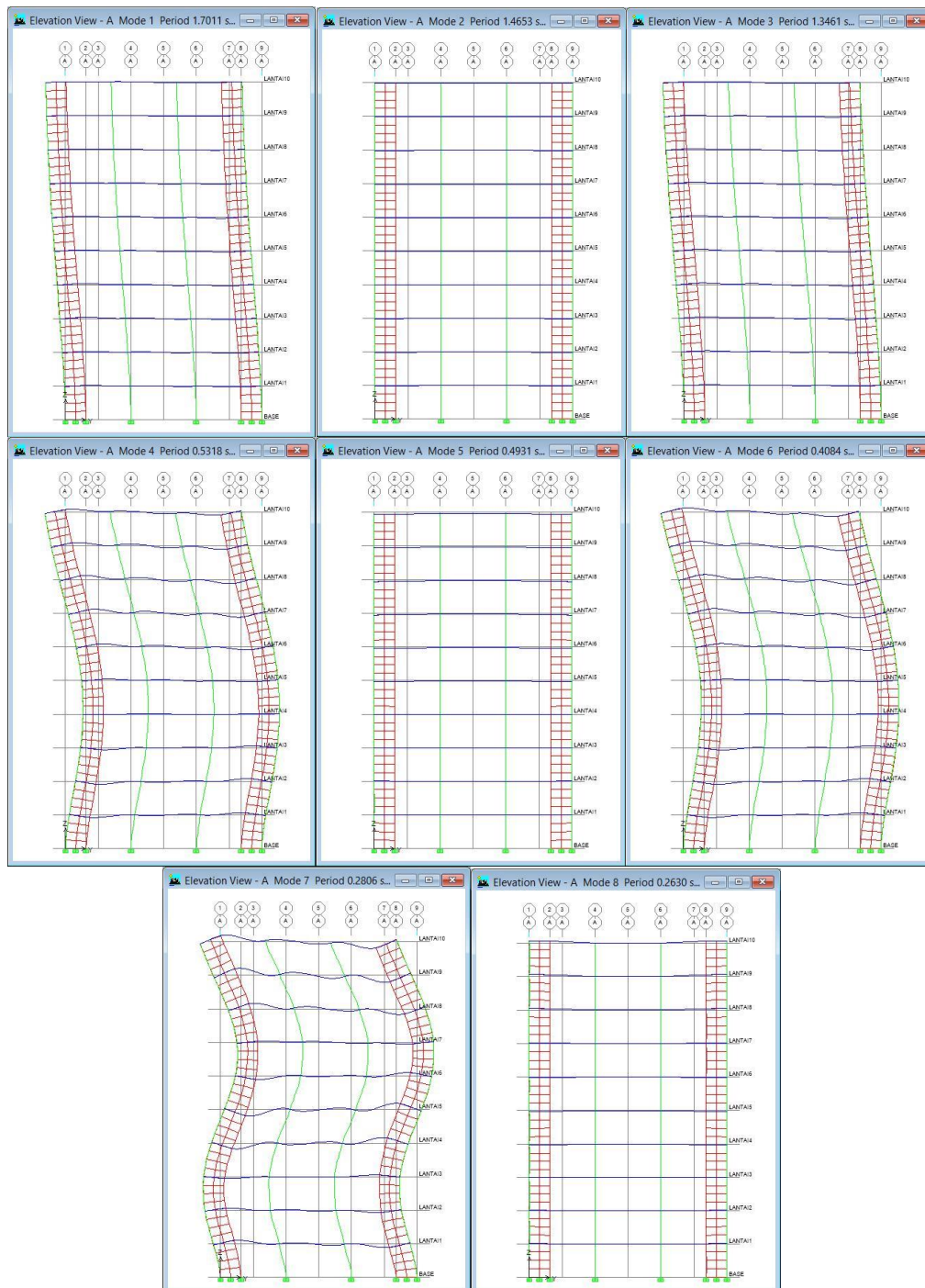
**Gambar 5.35 Pola Goyangan Struktur Tanpa *Shearwall***

2. Akibat gempa Respon Spektrum dengan struktur *shearwall* model 1  
 Pola goyangan yang didapatkan pada struktur *shearwall* model 1 menunjukkan pola goyangan kombinasi terjadi pada *mode* 1 hingga 4 sedangkan pada *mode* 5 hingga 8 terjadi pola goyangan *flexural* atau yang dominan lentur.



**Gambar 5.36 Pola Goyangan Struktur *Shearwall* Model 1**

3. Akibat gempa Respon Spektrum dengan struktur *shearwall* model 2  
 Pola goyangan yang didapatkan pada struktur *shearwall* model 2 menunjukkan pola goyangan kombinasi terjadi pada *mode* 1-3, 5 dan 8 sedangkan pada *mode* 4, 6 dan 7 terjadi pola goyangan *flexural* atau yang dominan lentur.



**Gambar 5.37** Pola Goyangan Struktur *Shearwall* Model 2



4. Akibat gempa Respon Spektrum dengan struktur *shearwall* model 3 Pola goyangan yang didapatkan pada struktur *shearwall* model 3 menunjukkan pola goyangan kombinasi terjadi pada *mode* 1-5 dan 8 sedangkan pada *mode* 6 dan 7 terjadi pola goyangan *flexural* atau yang dominan lentur.



**Gambar 5.38 Pola Goyangan Struktur *Shearwall* Model 3**

Berdasarkan hasil analisis tersebut, dilihat dari Gambar 5.35 sampai Gambar 5.38 maka struktur tanpa dinding geser memiliki pola goyangan berupa *shear mode* sedangkan struktur dengan dinding geser baik model 1, 2, dan 3 memiliki pola goyangan yang dominan berupa kombinasi.

## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 6.1 Kesimpulan

Beberapa kesimpulan yang dapat diambil berdasarkan hasil analisis terhadap variasi penempatan dinding geser dengan analisis respons spektrum sebagai berikut.

1. Perbandingan nilai maksimum dan minimum *drift ratio* adalah sebagai berikut.
  - a) Nilai *drift ratio* maksimum yang didapat pada masing-masing model akibat beban gempa respons spektrum arah x sebesar 8,39% pada struktur *shearwall* model 1 dan pada arah y sebesar 29,5% pada struktur *shearwall* model 3.
  - b) Nilai *drift ratio* minimum yang didapat pada masing-masing model akibat beban gempa respons spektrum pada arah x sebesar -1,587% pada struktur *shearwall* model 3 dan pada arah y sebesar 6,333% pada struktur *shearwall* model 2.
2. Penempatan dinding geser model 1 merupakan model struktur yang direkomendasikan karena memiliki nilai kekakuan yang tinggi dengan nilai *displacement* terkecil. Perbandingan dari penelitian Windah (2011) dengan penempatan dinding geser yang sama namun model struktur yang berbeda, sama-sama menghasilkan nilai *displacement* terkecil pada penempatan dinding geser model 1.
3. Pola goyangan yang dimiliki struktur tanpa dinding geser adalah pola goyangan *shear mode* sedangkan struktur dengan dinding geser baik model 1, 2, dan 3 memiliki pola goyangan kombinasi.

## 6.2 Saran

Beberapa saran yang dapat diberikan sebagai pengembangan dalam penelitian selanjutnya :

1. Pada penelitian selanjutnya, dapat menggunakan beberapa variasi penempatan dinding geser yang lebih bervariasi lagi dengan memperhatikan bentuk geometri struktur gedung.
2. Dapat menggunakan analisis jenis lain, misal analisis *time history* sesuai peraturan SNI 1726-2012.
3. Menggunakan struktur dengan denah bangunan tidak beraturan.
4. Menggunakan peraturan pembebanan terbaru yaitu SNI 2847-2013 "*Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*".
5. Untuk penelitian selanjutnya penempatan dinding geser lebih difokuskan pada bentang pendek.
6. Pada penelitian selanjutnya, dapat dilakukan analisis perbedaan kekakuan menggunakan cara Muto (1975) dengan hasil kekakuan dari ETABS.



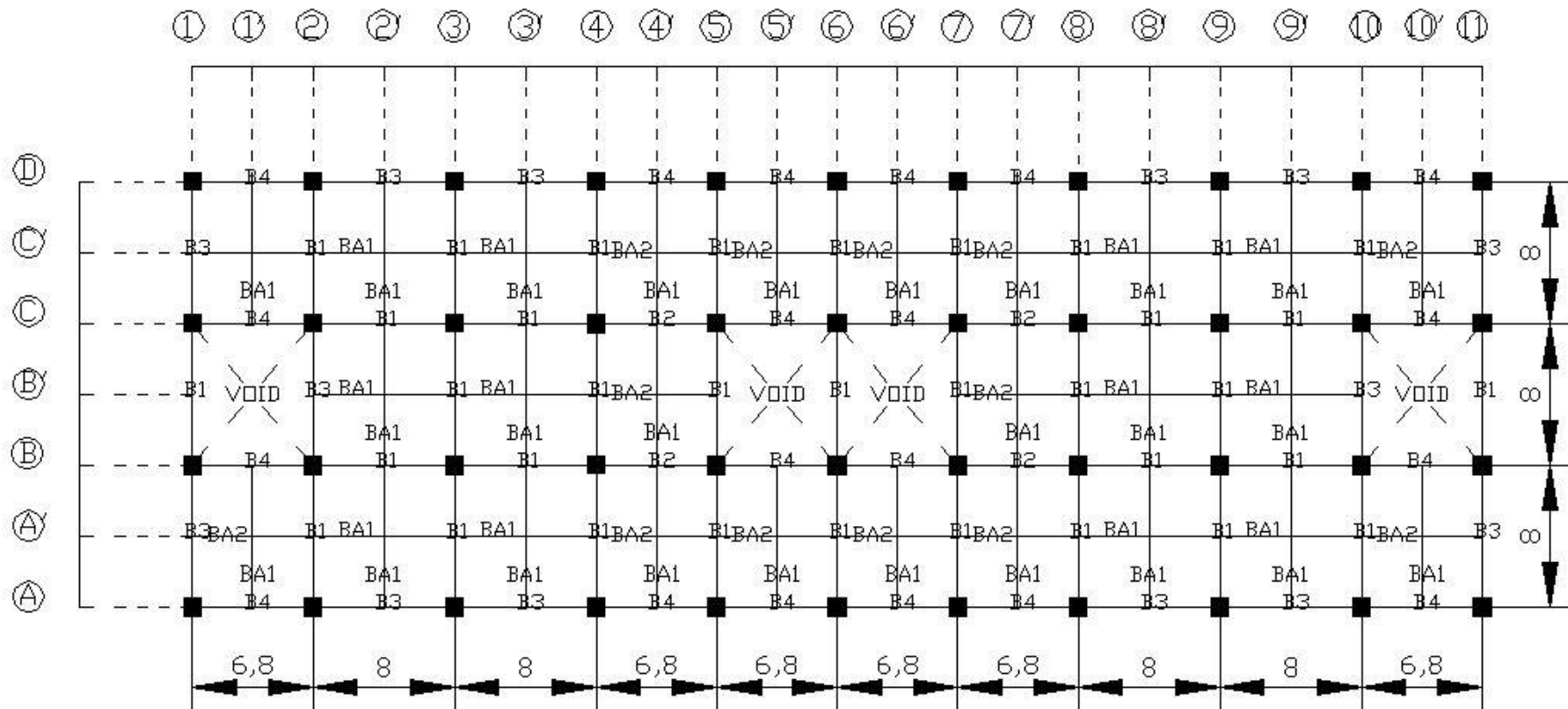
## DAFTAR PUSTAKA

- Aisyah G.N, 2015, Dinding Geser, (Online), (<https://www.scribd.com/doc/279381633/Dinding-Geser>). Diakses 8 September 2015)
- Elliza I.N, 2013, Evaluasi Kinerja Struktur pada Gedung Bertingkat Dengan Analisis Respon Spektrum Menggunakan Software ETABS 9.50, *Tugas Akhir*. Universitas Sebalas Maret, Solo.
- Fauziah L., dkk, 2013, Pengaruh Penempatan Dan Posisi Dinding Geser Terhadap Simpangan Bangunan Beton Bertulang Bertingkat Banyak Akibat Beban Gempa, *Jurnal Sipil Statik*, Vol.1 No.7:466-472, Manado.
- Hasan A., Astira I.F., 2013, Analisis Perbandingan Simpangan Lateral Bangunan Tinggi Dengan Variasi Bentuk Dan Posisi Dinding Geser Studi Kasus: Proyek Apartemen The Royale Springhill Residences, *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, Vol.1 No.1:2355-374X, Palembang.
- Juwana J.S., 2005, *Sistem Bangunan Tinggi Untuk Arsitek Dan Praktisi Bangunan*, Erlangga, Jakarta.
- Kamajaya D., 2016, Studi Analisis Beban Gempa Metode Riwayat Waktu Terhadap Gedung Hotel Cordela Kartika Dewi Yogyakarta, (Tidak Diterbitkan), Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Khoiruli I. dan Hidayah N., 2010, Perencanaan Konstruksi Gedung Hotel Gumaya Tower Semarang, *Tugas Akhir*, Universitas Diponegoro, Semarang.
- Majore B.O., dkk, 2015, Studi Perbandingan Respons Dinamik Bangunan Bertingkat Banyak Dengan Variasi TataLetak Dinding Geser, *Jurnal Sipil Statik*, Vol.3 No.6:435-466, Manado.
- Manalip. H., dkk, 2015, Penempatan Dinding Geser Pada Bangunan Beton Bertulang Dengan Analisa Pushover, *Jurnal Ilmiah Media Engineering*, Vol.5 No.1:283-293, Manado.
- McCormac, Jack C. 2003. *Desain Beton Bertulang Edisi Kelima Jilid 2*. Erlangga. Jakarta.
- Nishar N.U, dkk, 2015, Sistem Struktur Penahan Gaya Lateral: *Dual System Shear Wall-Rigid Frame*. (<https://www.slideshare.net/DeboraElluisaa/keompok-2-teknik-sipil-2012-b-sistem-ganda>). Diakses 14 Juli 2015)
- Nugroho F. 2017. Pengaruh Dinding Geser Terhadap Perencanaan Kolom dan Balok Bangunan Gedung Beton Bertulang, Vol.19, Padang.
- Nursandrah A, 2016, Pengaruh Bentuk Dinding Geser Terhadap Deformasi Gedung Pada Gempa Zone 5, Vol.1 No.1:2541-01318, Surabaya.

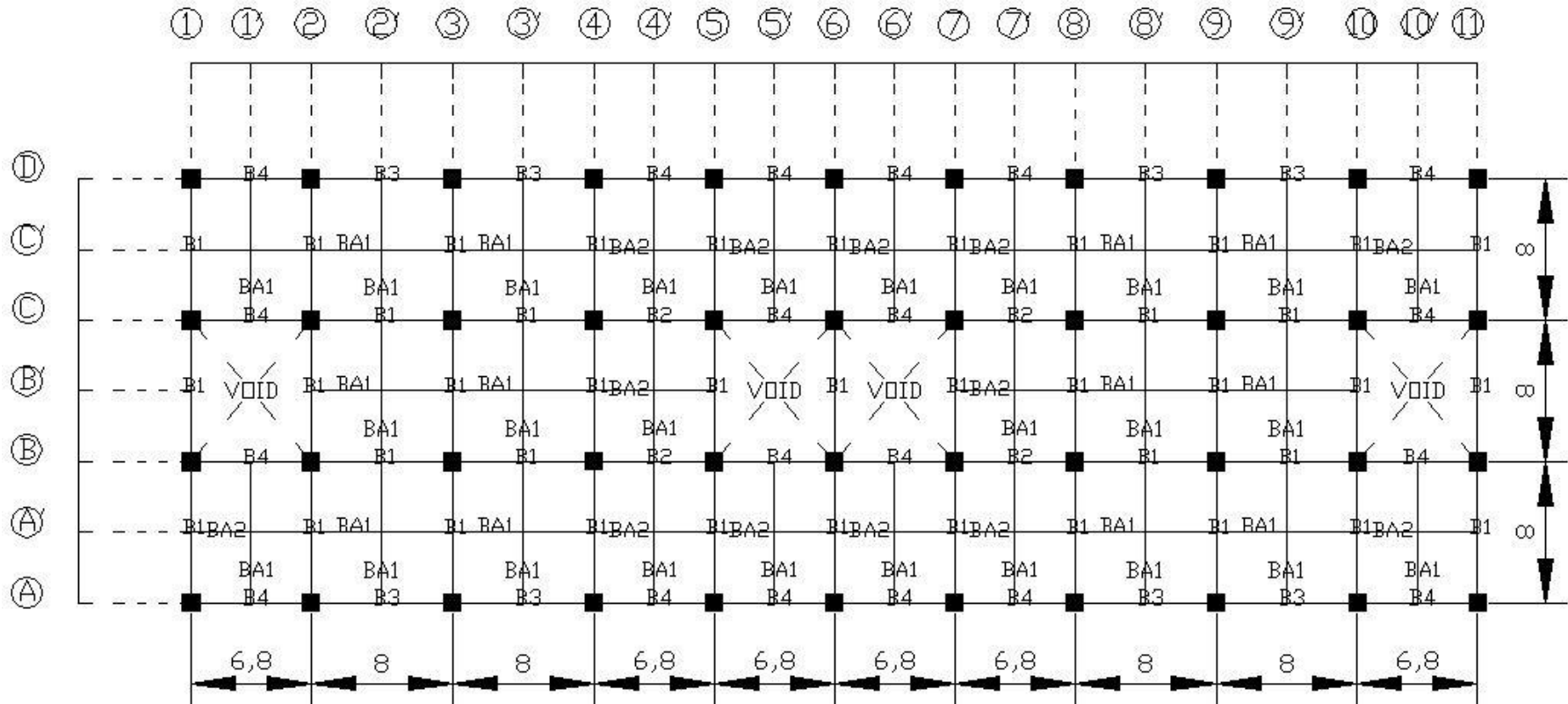
- Pawirodikromo W, 2012, *Seismologi Teknik dan Rekayasa Kegempaan*, Pustaka Pelajar, Yogyakarta.
- Paulay T. and Priestley M.J.N., 1992, *Seismic Design of Reinforced Concrete And Masonry Buildings*, John Wiley Sons, INC. New York.
- Prasetyaningrum A., 2010, Efek Penempatan Dinding Geser Terhadap Biaya Struktur Bangunan *Frame-Walled* Bertingkat Banyak Tidak Beraturan Akibat Beban Gempa Statik Ekuivalen Dan Dinamik, *Tugas Akhir*, (Tidak Diterbitkan), Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Sarwidi. 2013. *Diktat Kuliah Metode Numerik*. Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Schueller W., 1989, *Struktur Bangunan Bertingkat Tinggi*, Eresco, Bandung.
- SKBI – 1.3.53.1987. *Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung*. Departemen Pekerjaan Umum. Jakarta.
- SNI 1726, 2012, *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung*, Badan Standarisasi Nasional , Jakarta.
- SNI 2847, 2013, *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- Widodo. 2001. *Respons Dinamik Struktur Elastik*. UII Press. Yogyakarta.
- Windah R.S., 2011, Penggunaan Dinding Geser Sebagai Elemen Penahan Gempa Pada Bangunan Bertingkat 10 Lantai, *Jurnal Ilmiah Media Engineering*, Vol.1No.2:2087-9334(151-155), Manado.

# LAMPIRAN

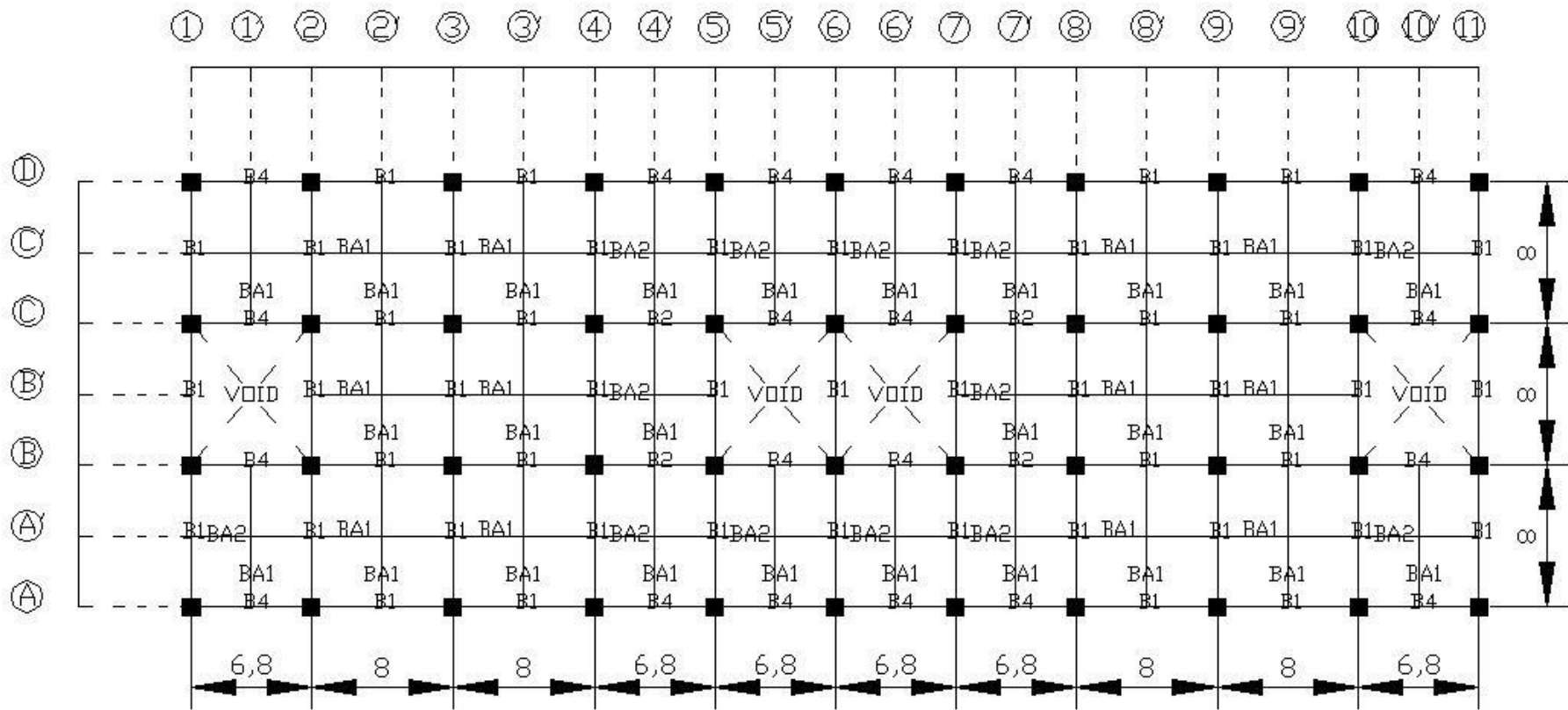
## Lampiran 1 Denah Balok



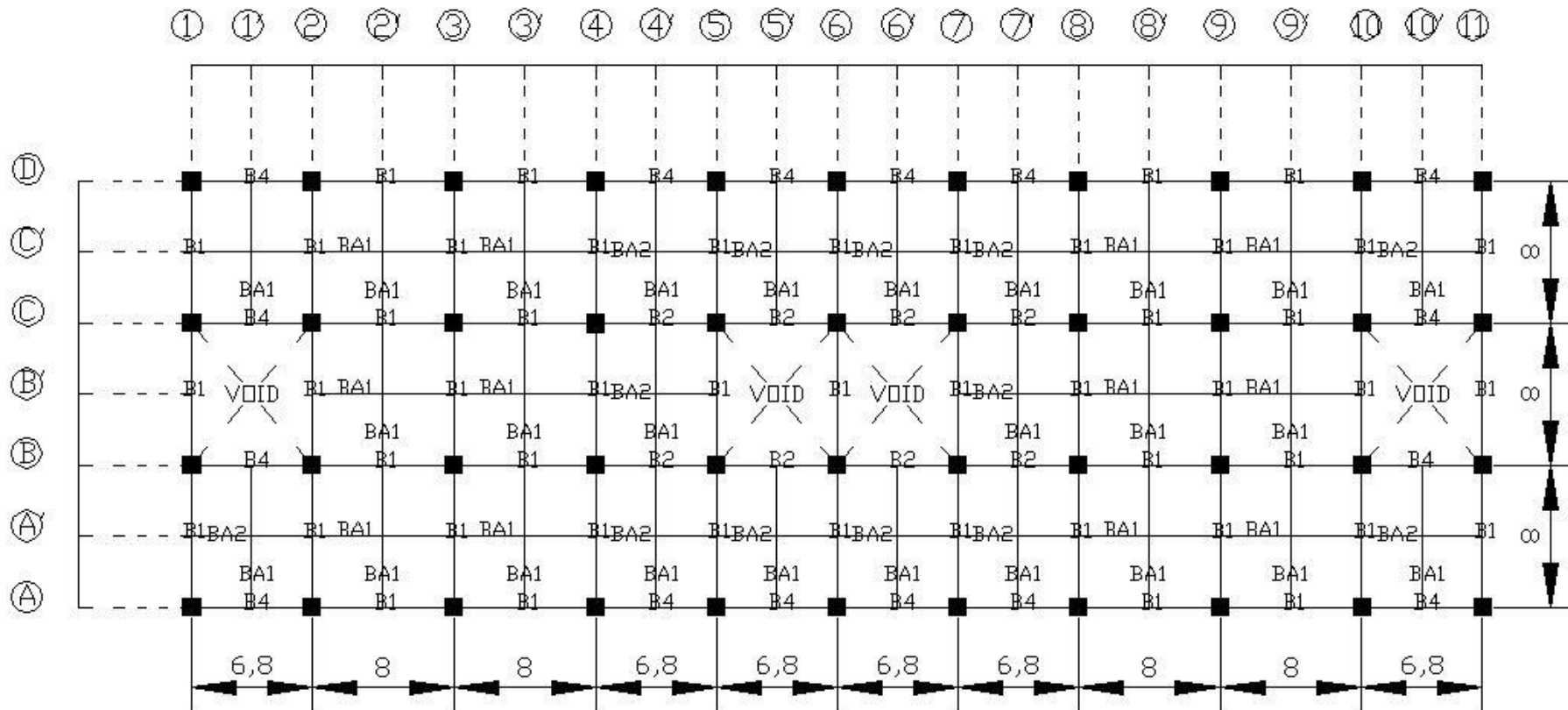
Gambar L-1.1 Denah Balok Lantai 1-3



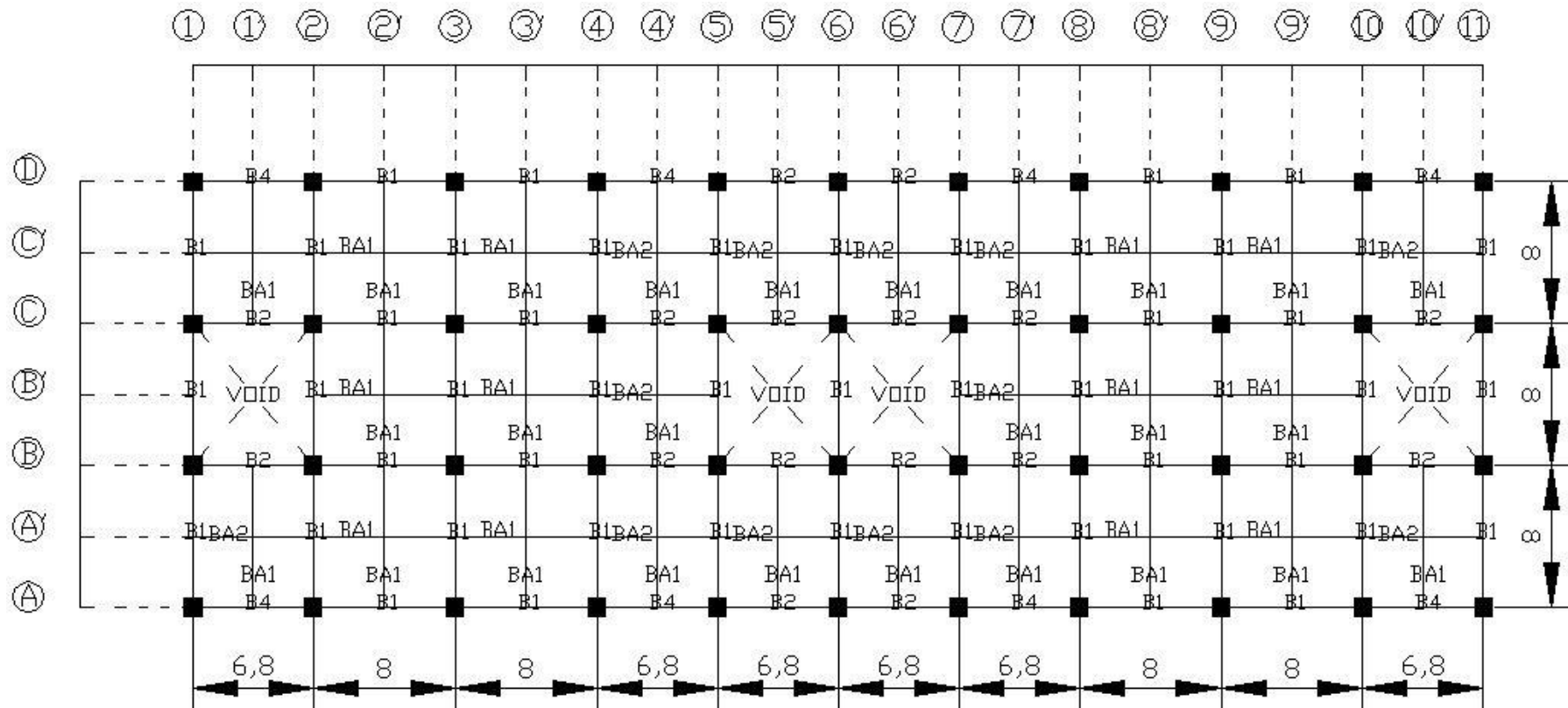
Gambar L-1.2 Denah Balok Lantai 4



Gambar L-1.3 Denah Balok Lantai 5

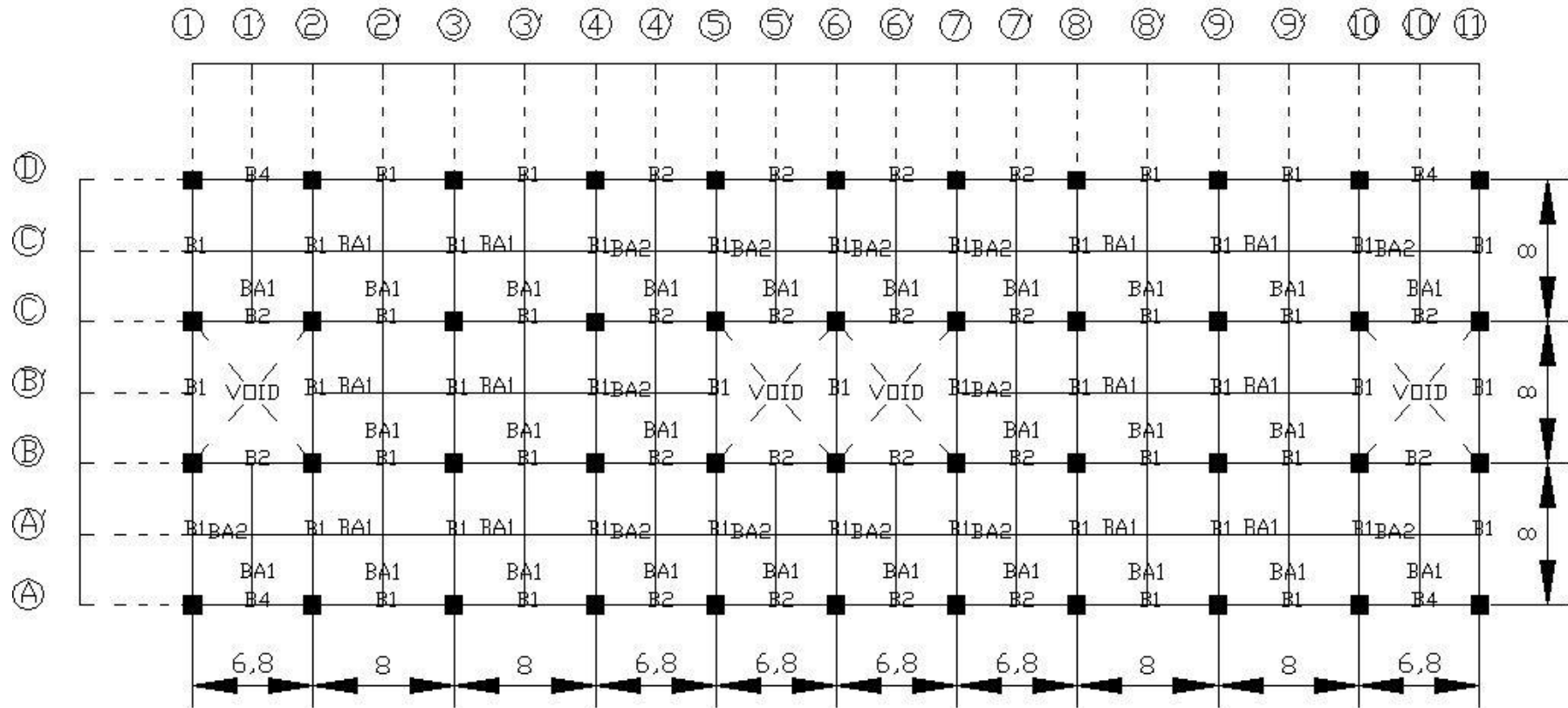


Gambar L-1.4 Denah Balok Lantai 6

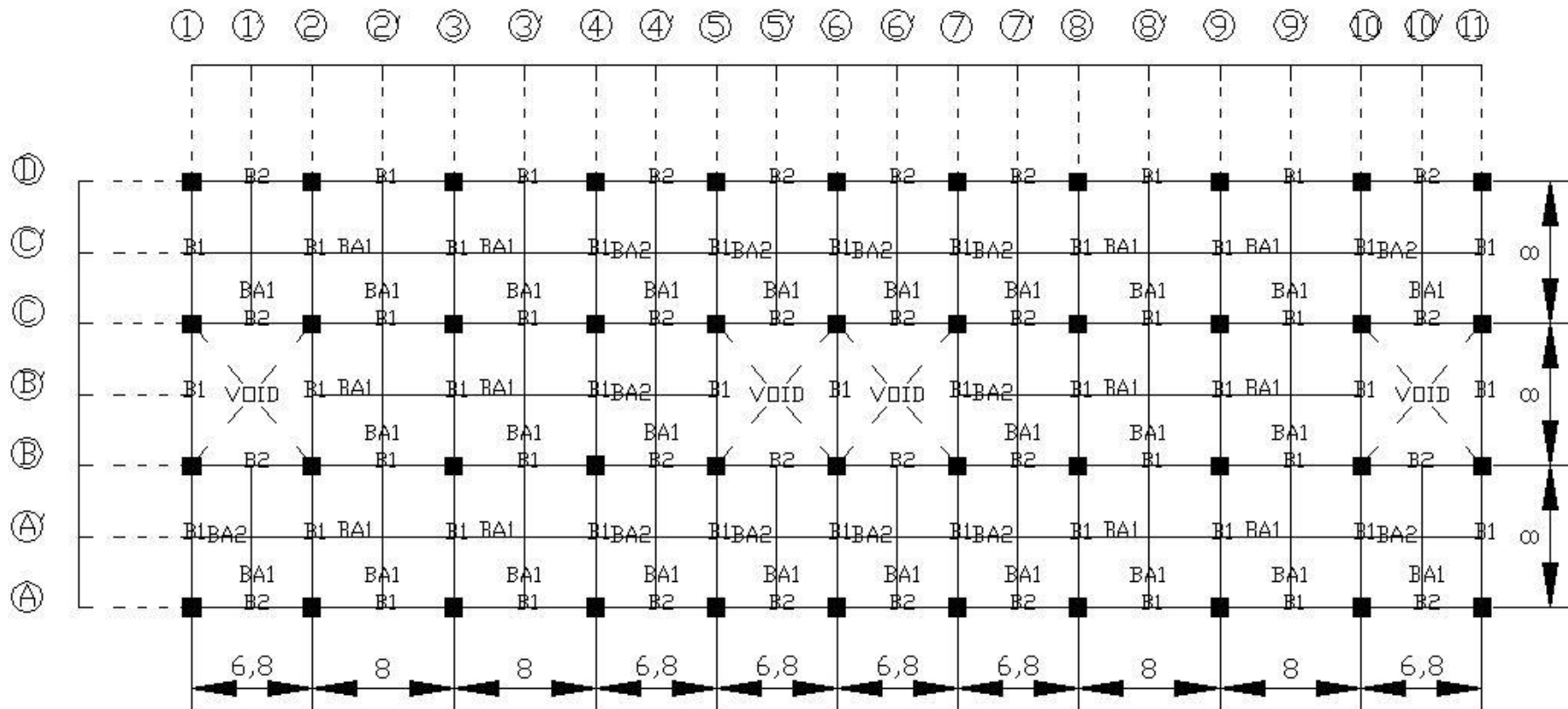


Gambar L-1.5 Denah Balok Lantai 7



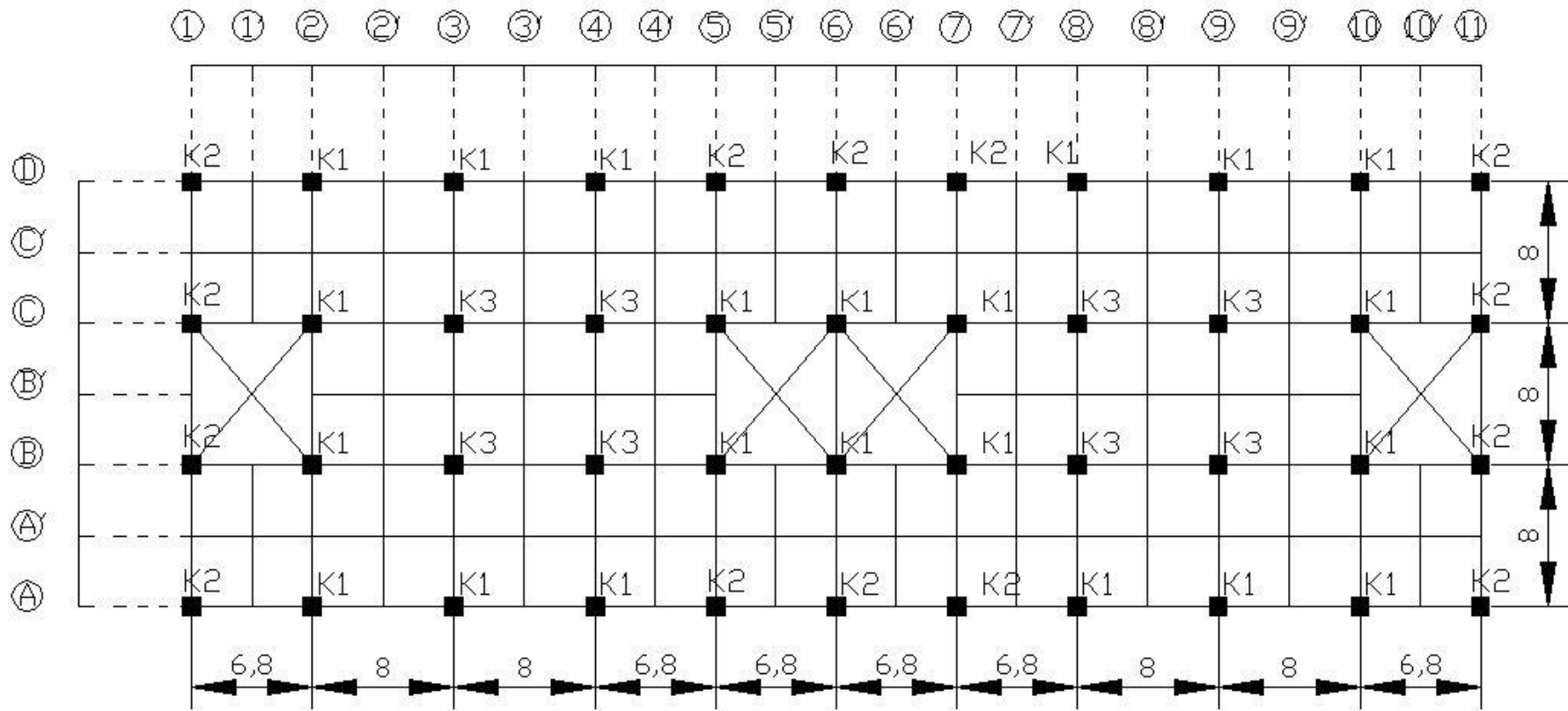


Gambar L-1.6 Denah Balok Lantai 8

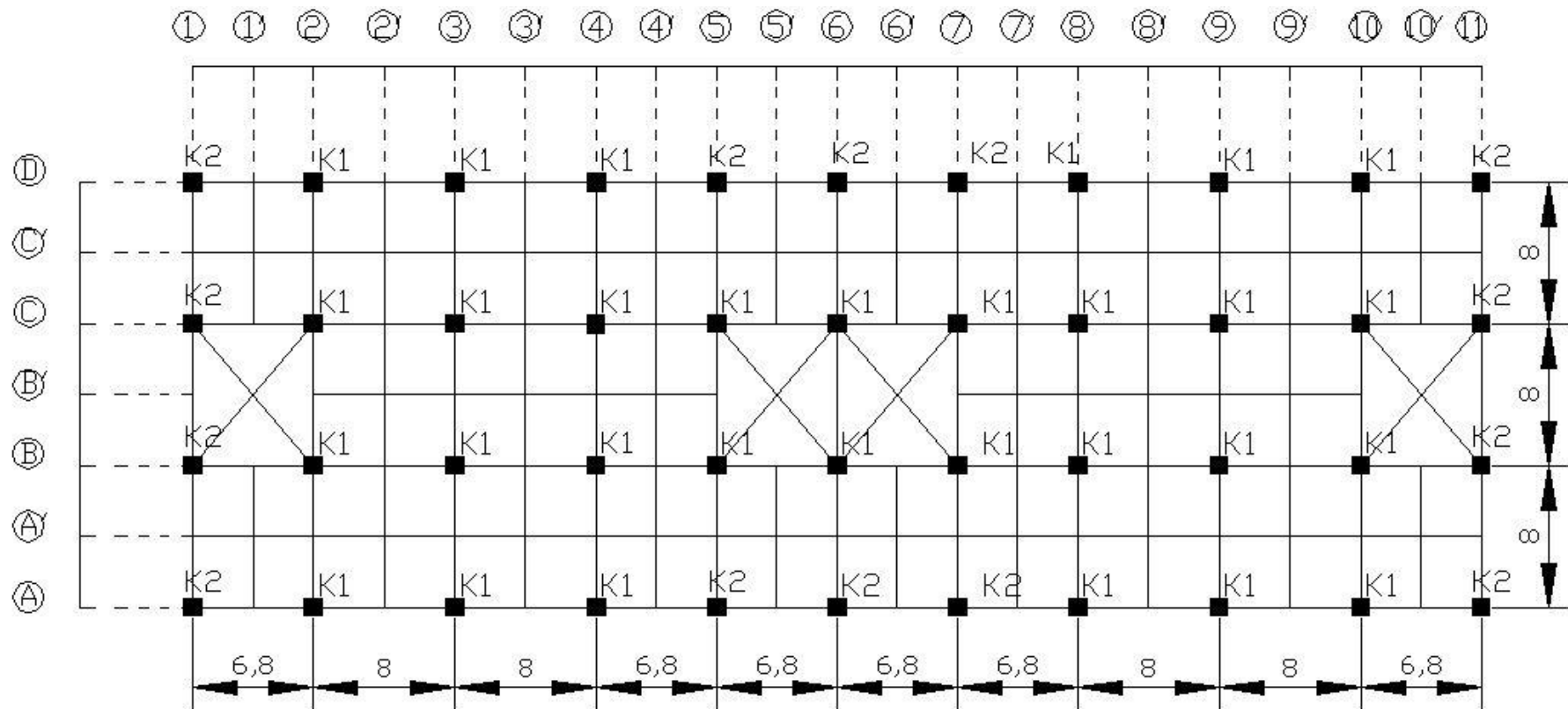


Gambar L-1.7 Denah Balok Lantai 9-10

## Lampiran 2 Denah Kolom

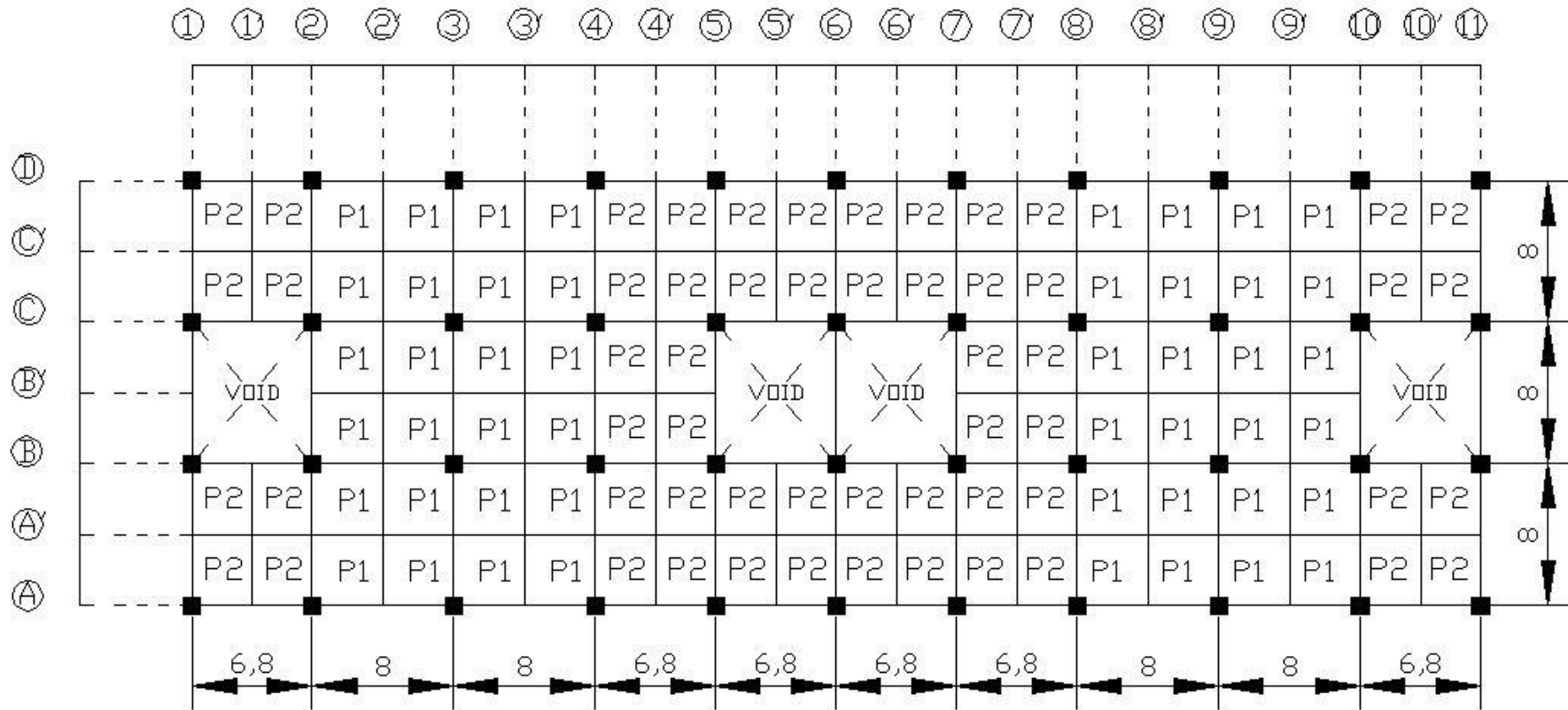


Gambar L-2.1 Denah Kolom Lantai 1

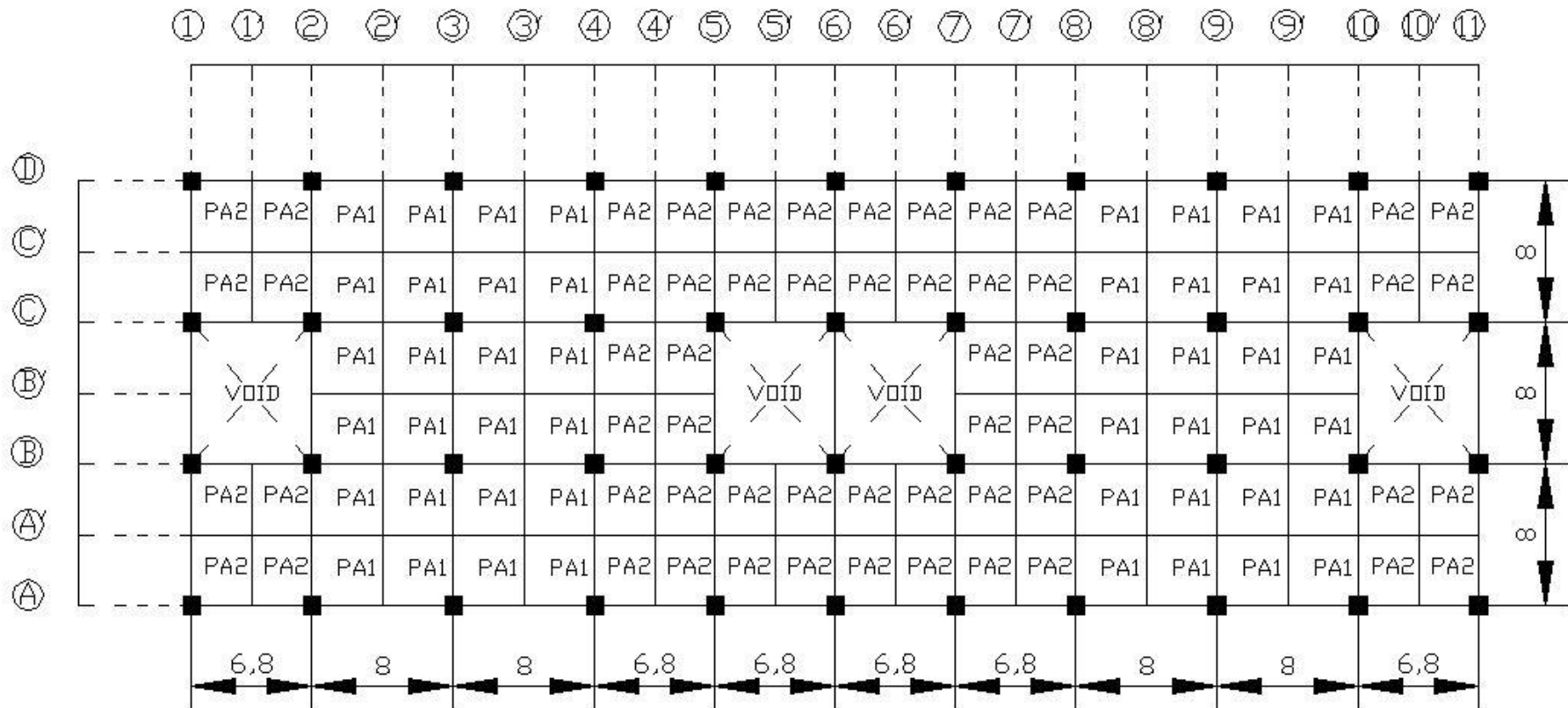


**Gambar L-2.2 Denah Kolom Lantai 2-10**

Lampiran 3 Denah Pelat

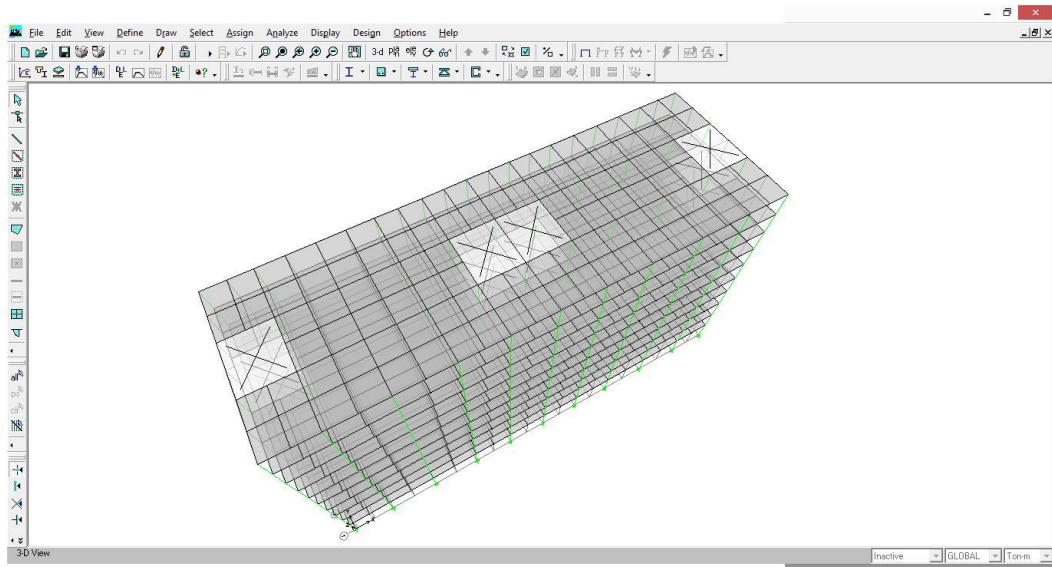


Gambar L-3.1 Denah Pelat Lantai 1-9

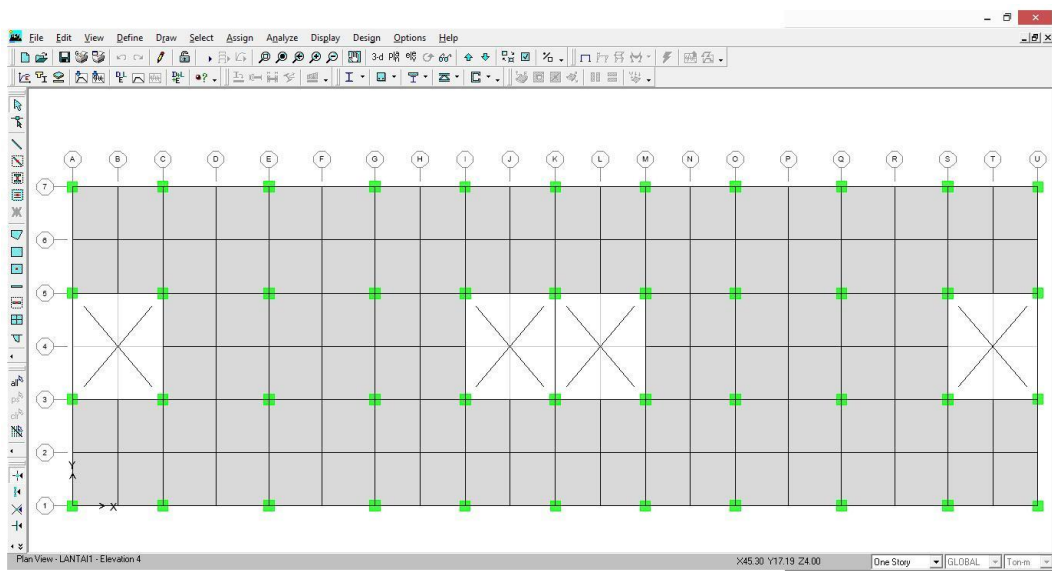


Gambar L-3.2 Denah Pelat Lantai 10

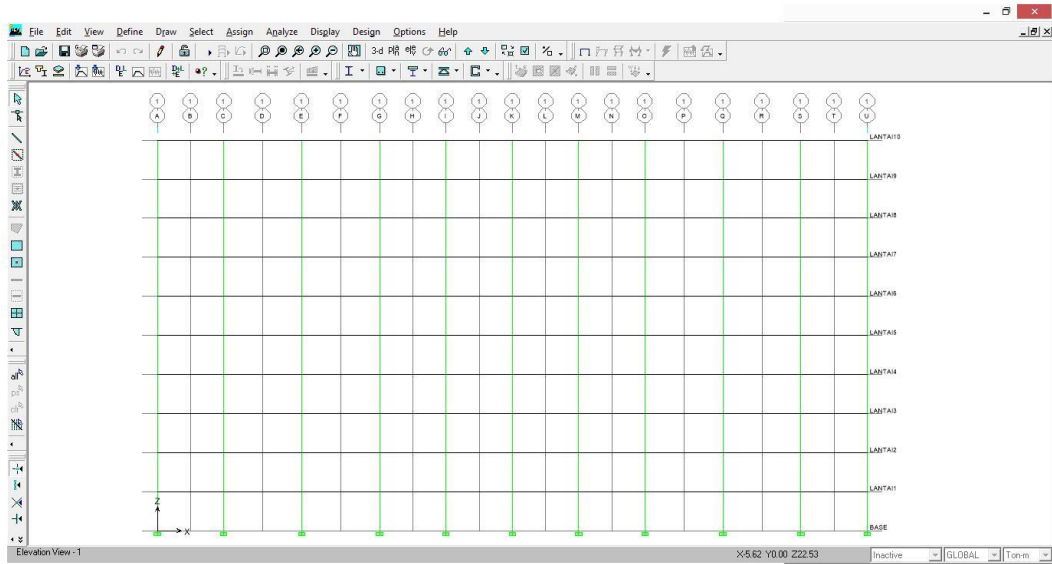
## Lampiran 4 Struktur Tanpa Dinding Geser



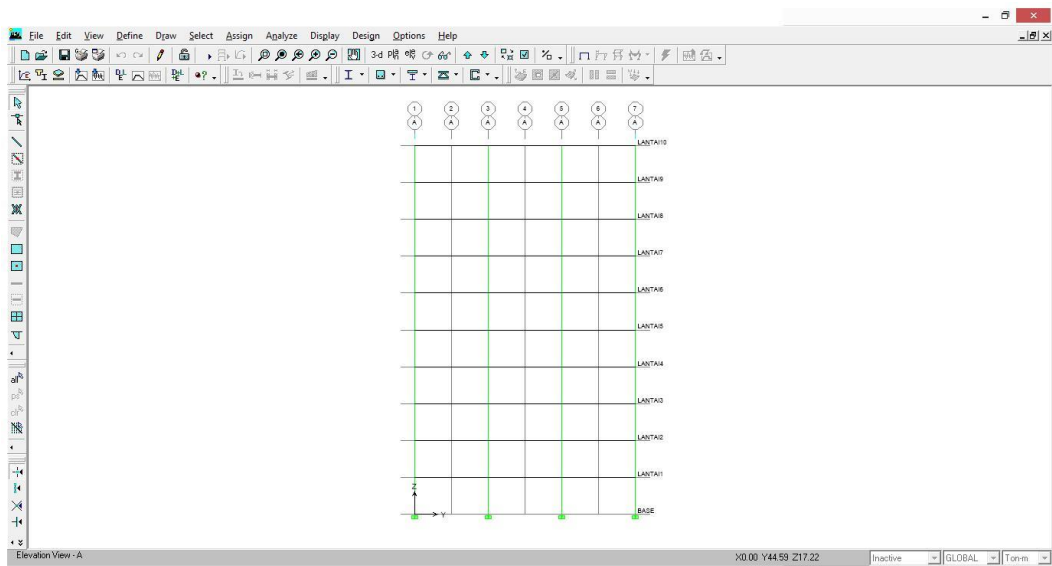
**Gambar L-4.1 Model 3-Dimensi Struktur Tanpa *Shearwall***



**Gambar L-4.2 Denah Struktur Tanpa *Shearwall***



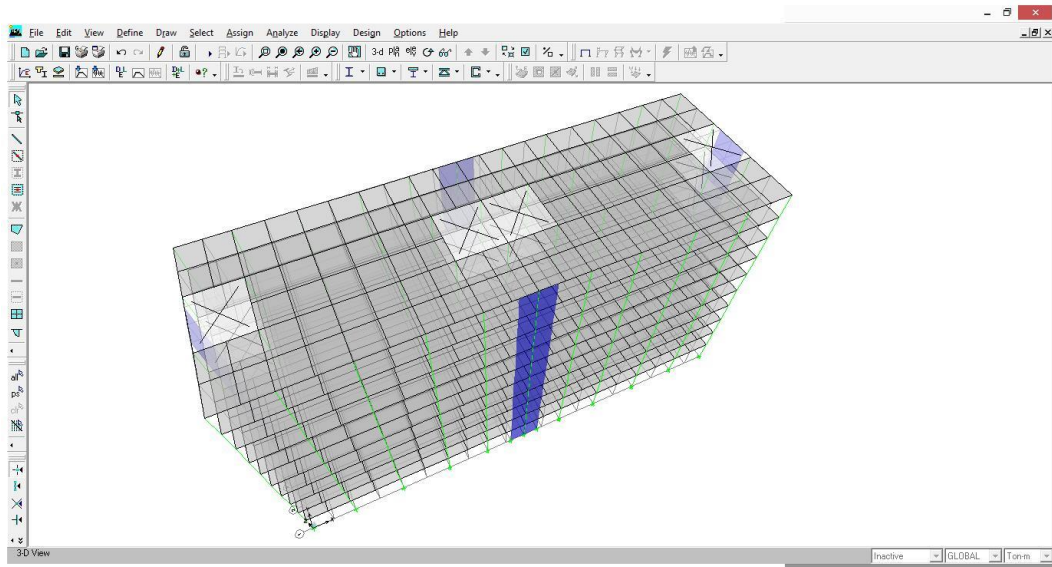
**Gambar L-4.3 Denah Tampak Samping Arah x Struktur Tanpa *Shearwall***



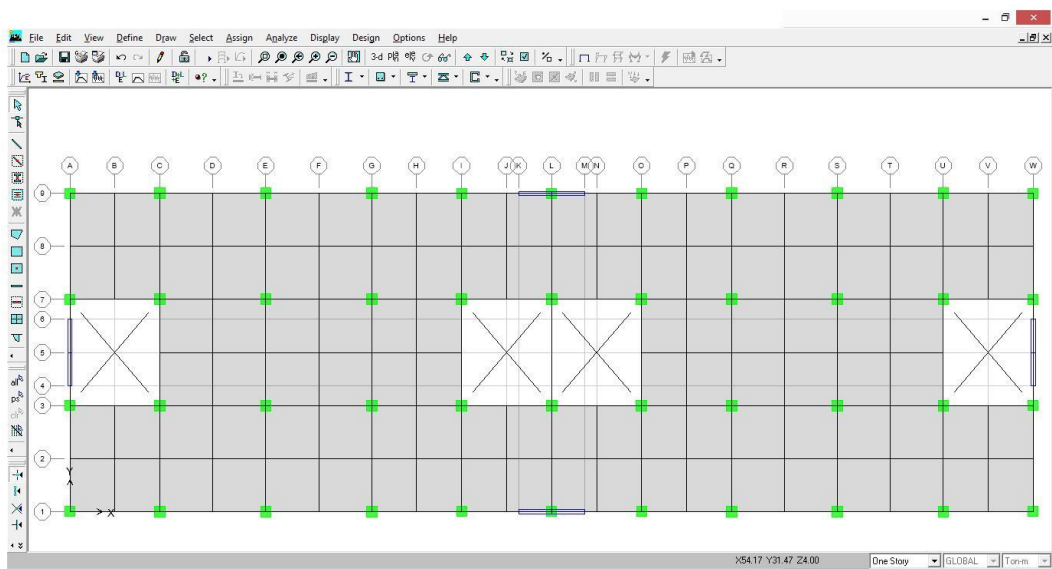
**Gambar L-4.4 Denah Tampak Samping Arah y Struktur Tanpa *Shearwall***



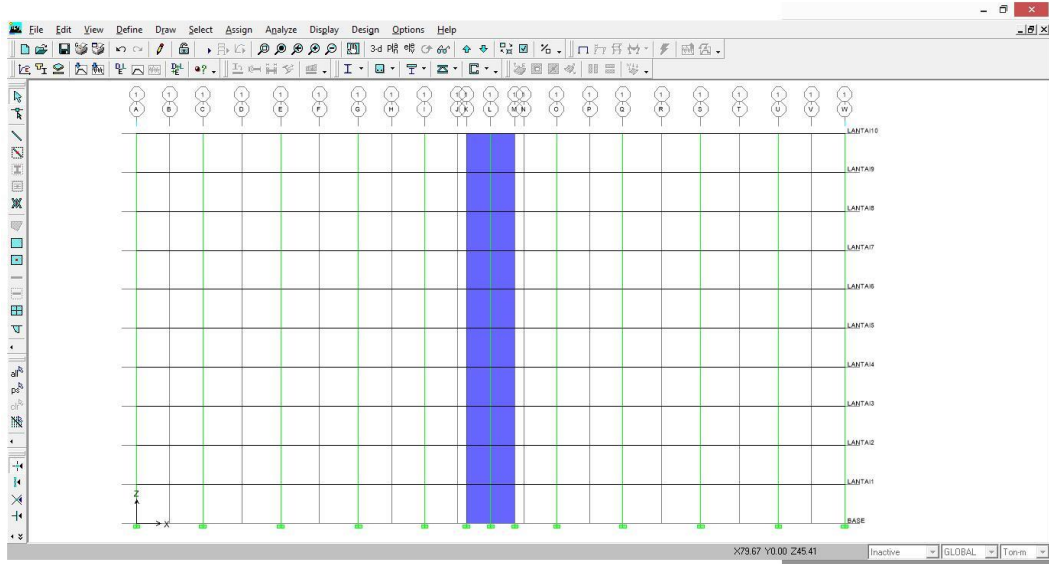
## Lampiran 5 Struktur Dengan Dinding Geser Model 1



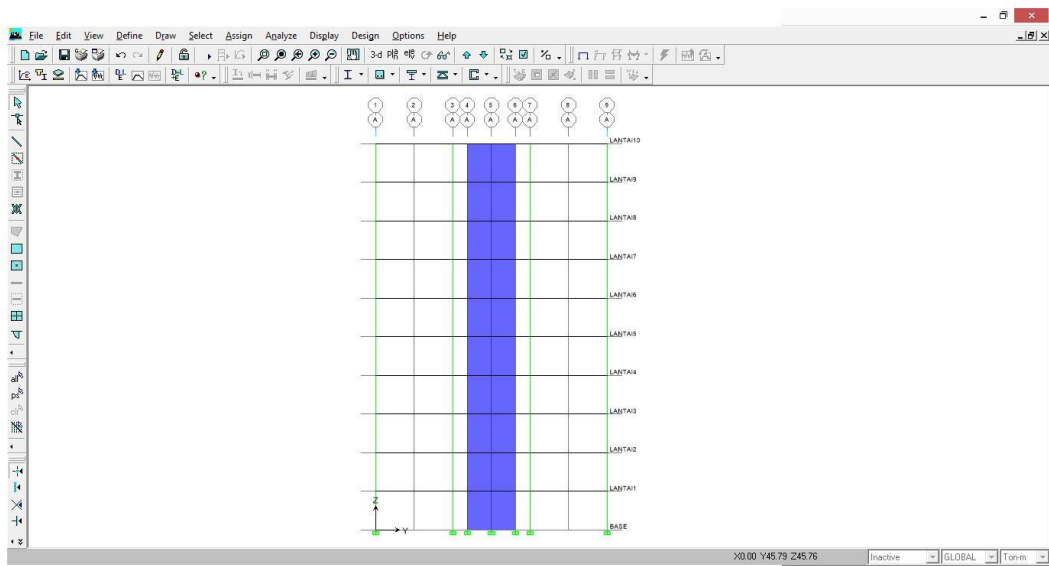
**Gambar L-5.1 Model 3-Dimensi Struktur *Shearwall* Model 1**



**Gambar L-5.2 Denah Struktur *Shearwall* Model 1**

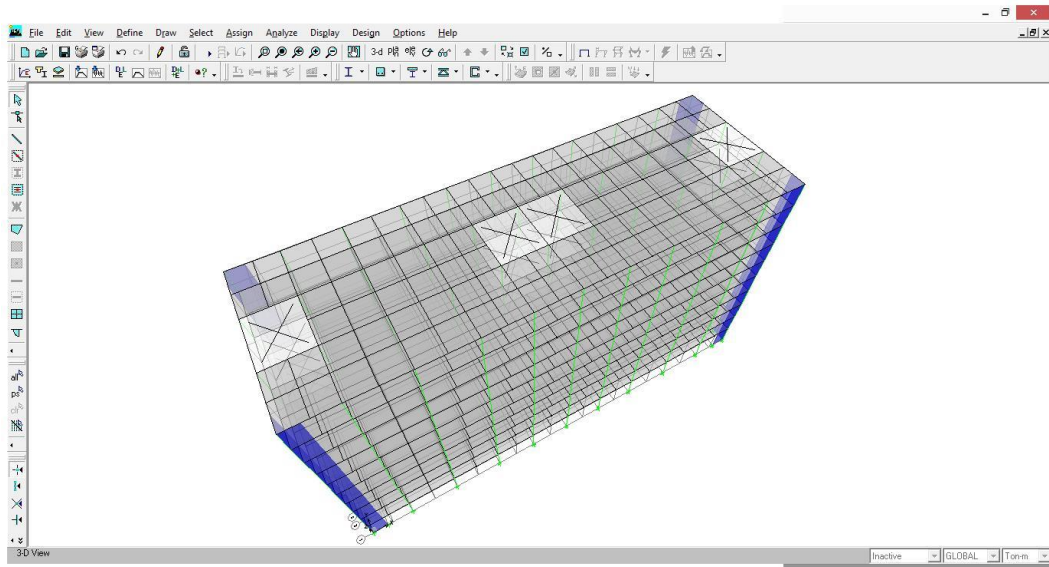


**Gambar L-5.3 Denah Tampak Samping Arah x Struktur *Shearwall* Model 1**

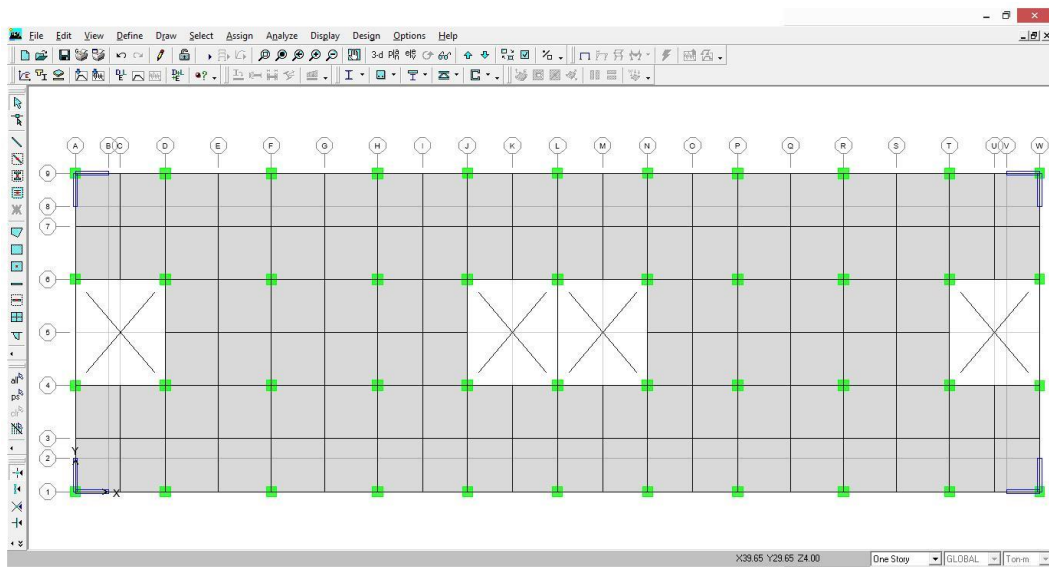


**Gambar L-5.4 Denah Tampak Samping Arah y Struktur *Shearwall***

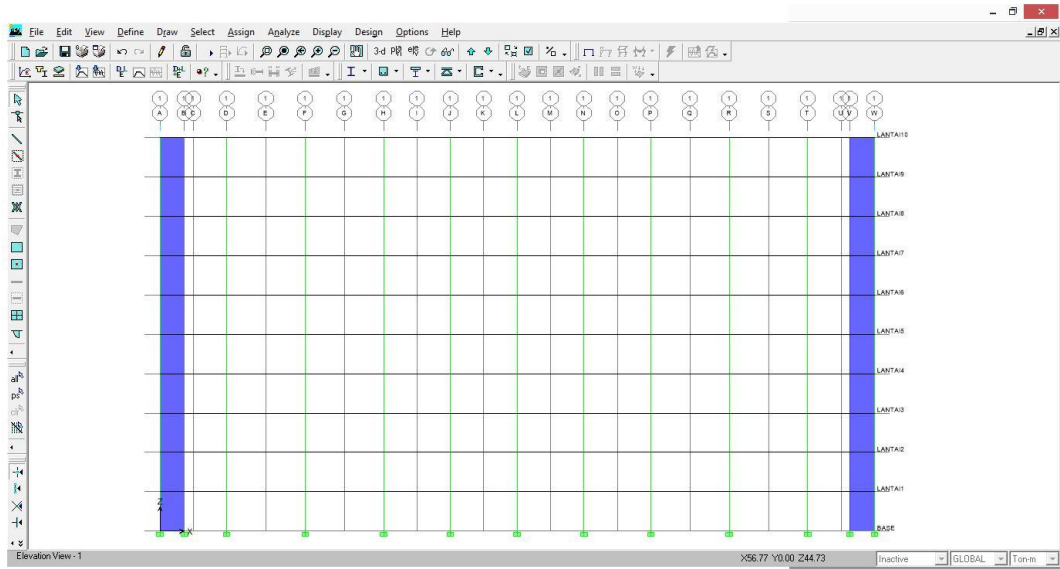
## Lampiran 6 Struktur Dengan Dinding Geser Model 2



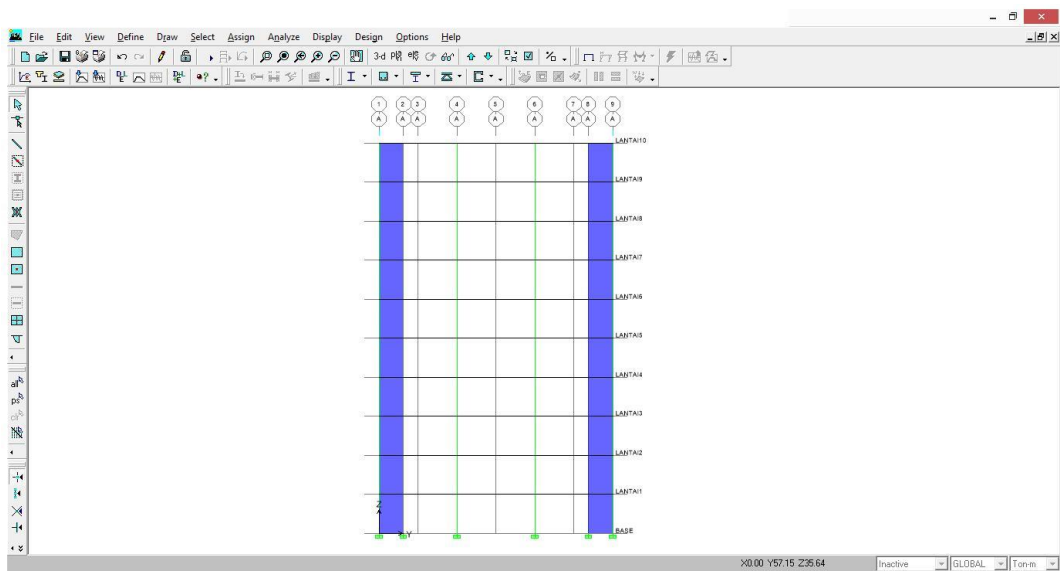
**Gambar L-6.1 Model 3-Dimensi Struktur *Shearwall* Model 2**



**Gambar L-6.2 Denah Struktur *Shearwall* Model 2**

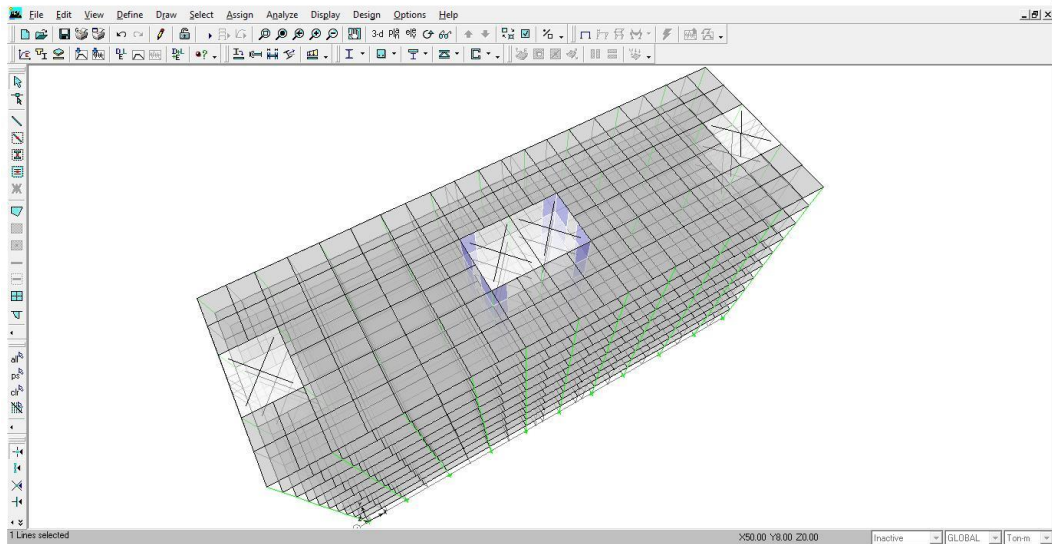


**Gambar L-6.3 Denah Tampak Samping Arah x Struktur *Shearwall* Model 2**

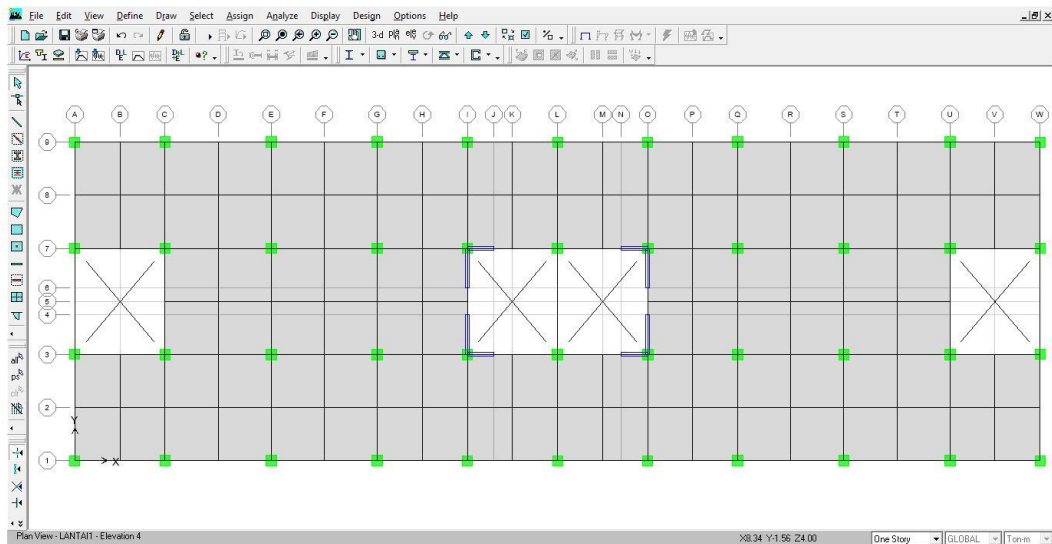


**Gambar L-6.4 Denah Tampak Samping Arah y Struktur *Shearwall* Model 2**

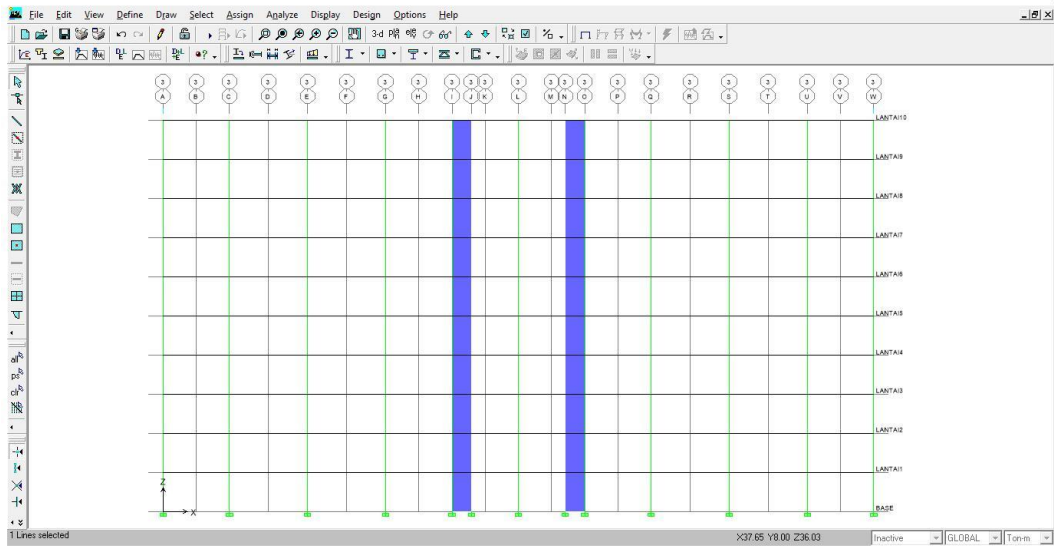
## Lampiran 7 Struktur Dengan Dinding Geser Model 3



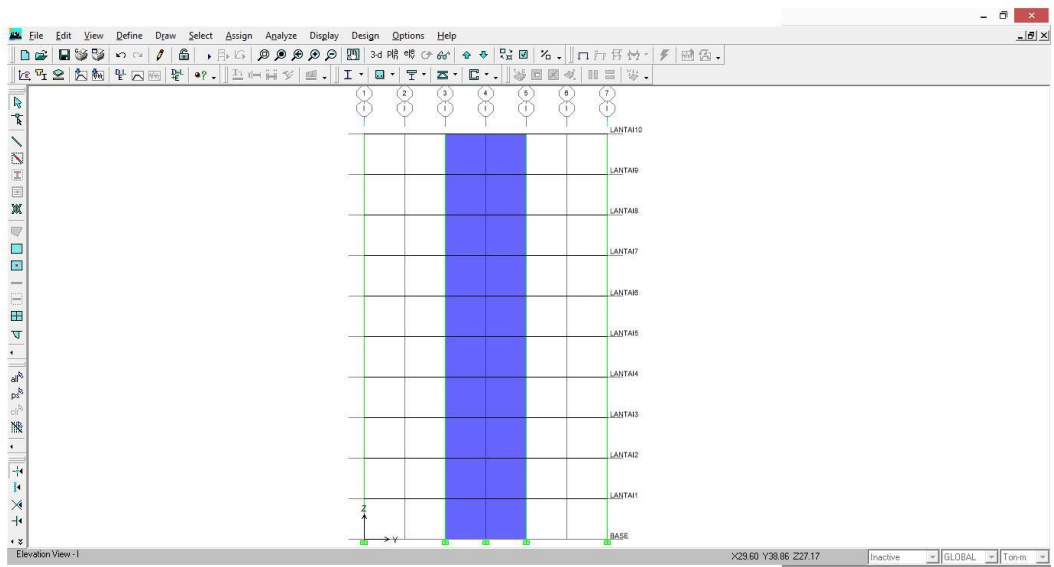
**Gambar L-7.1 Model 3-Dimensi Struktur *Shearwall* Model 3**



**Gambar L-7.2 Denah Struktur *Shearwall* Model 3**



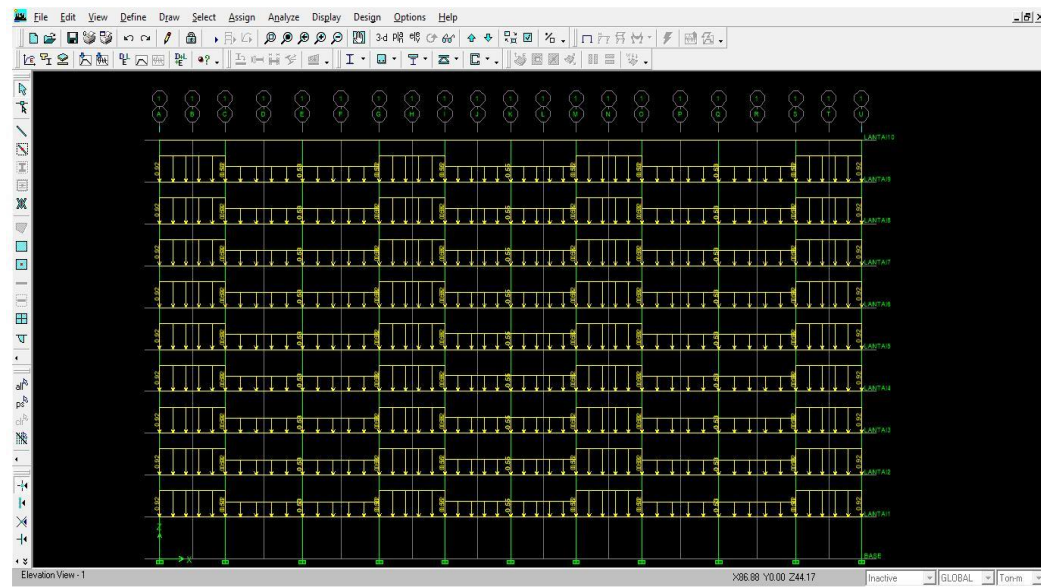
**Gambar L-7.3 Denah Tampak Samping Arah x Struktur *Shearwall* Model 3**



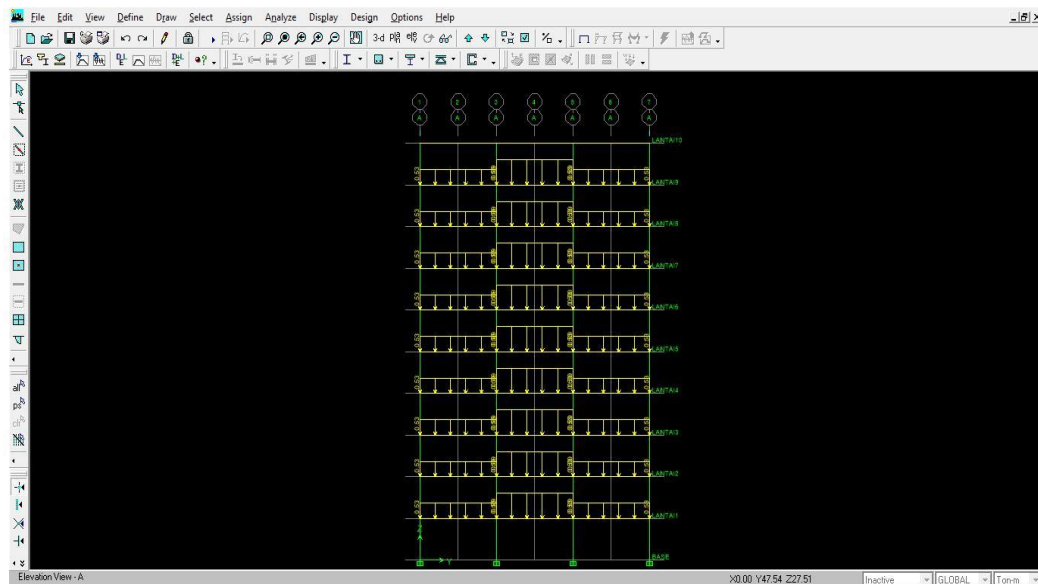
**Gambar L-7.4 Denah Tampak Samping Arah y Struktur *Shearwall* Model 3**



## Lampiran 8 Beban Dinding

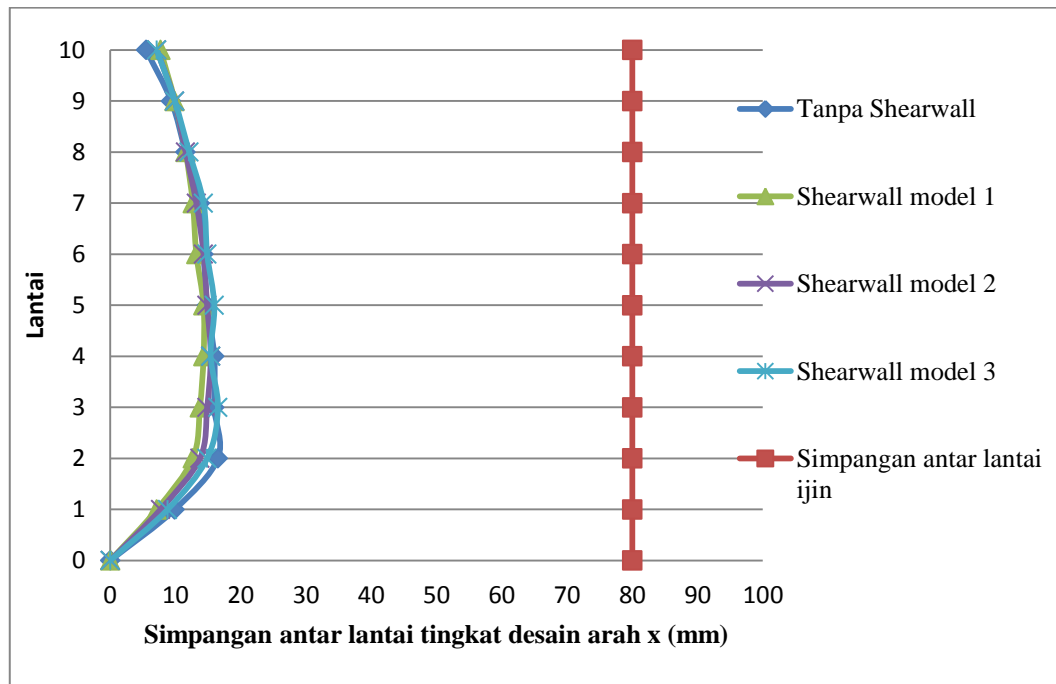


**Gambar L-8.1 Beban Dinding Arah x**

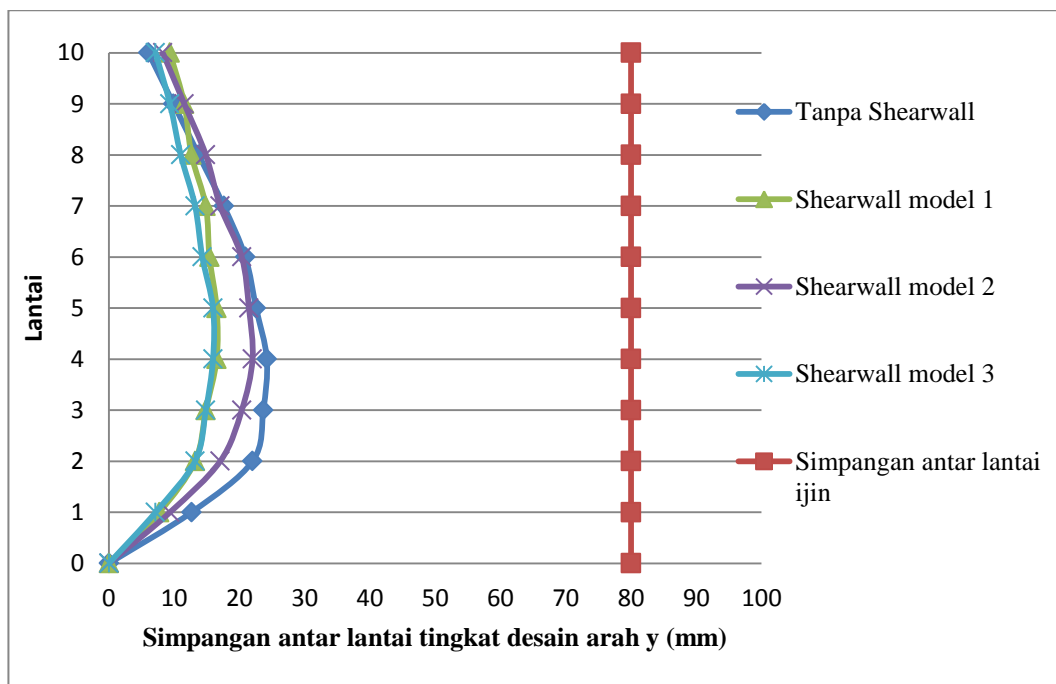


**Gambar L-8.2 Beban Dinding Arah y**

**Lampiran 9 Grafik Nilai Perbandingan Simpangan Antar Lantai Desain Arah x dengan Analisis Respons Spektrum**

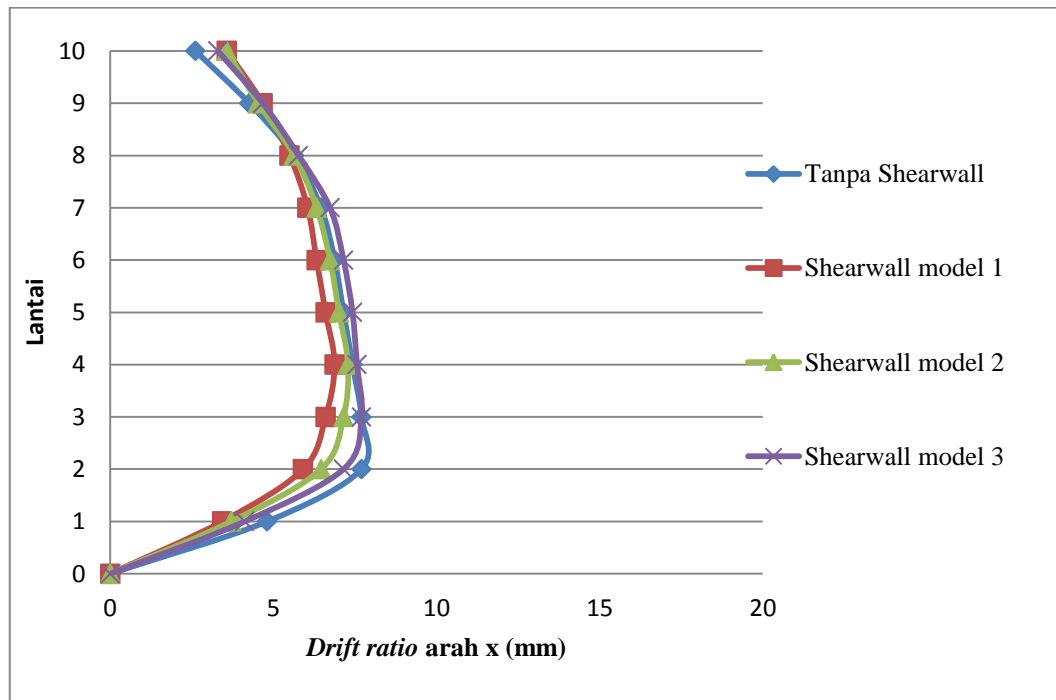


**Lampiran 10 Grafik Nilai Perbandingan Simpangan Antar Lantai Desain Arah y dengan Analisis Respons Spektrum**

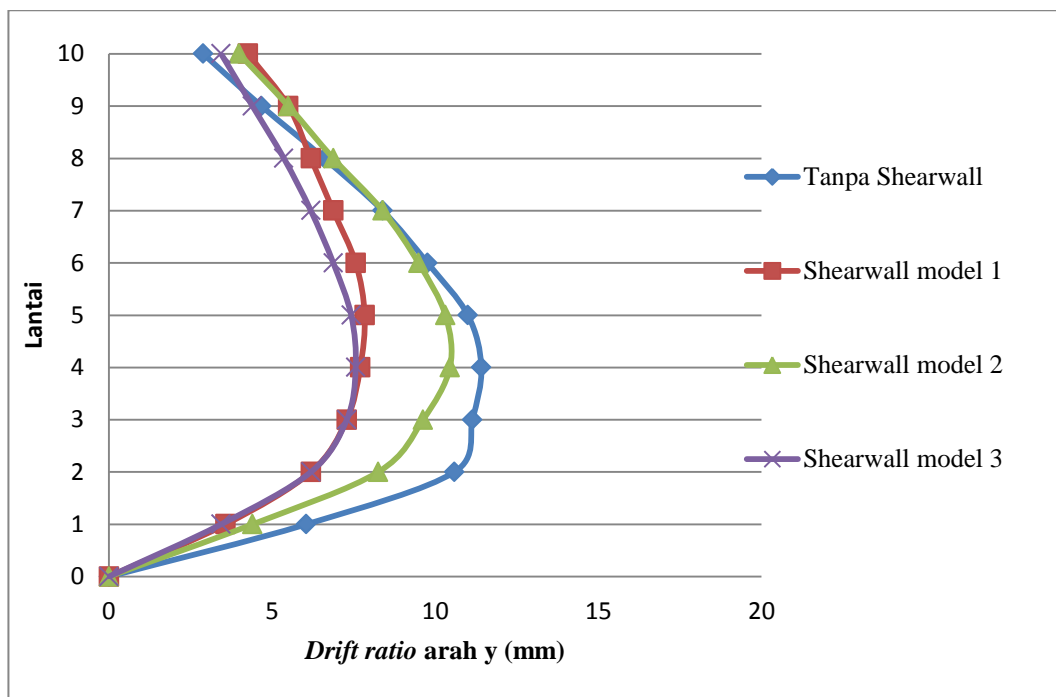


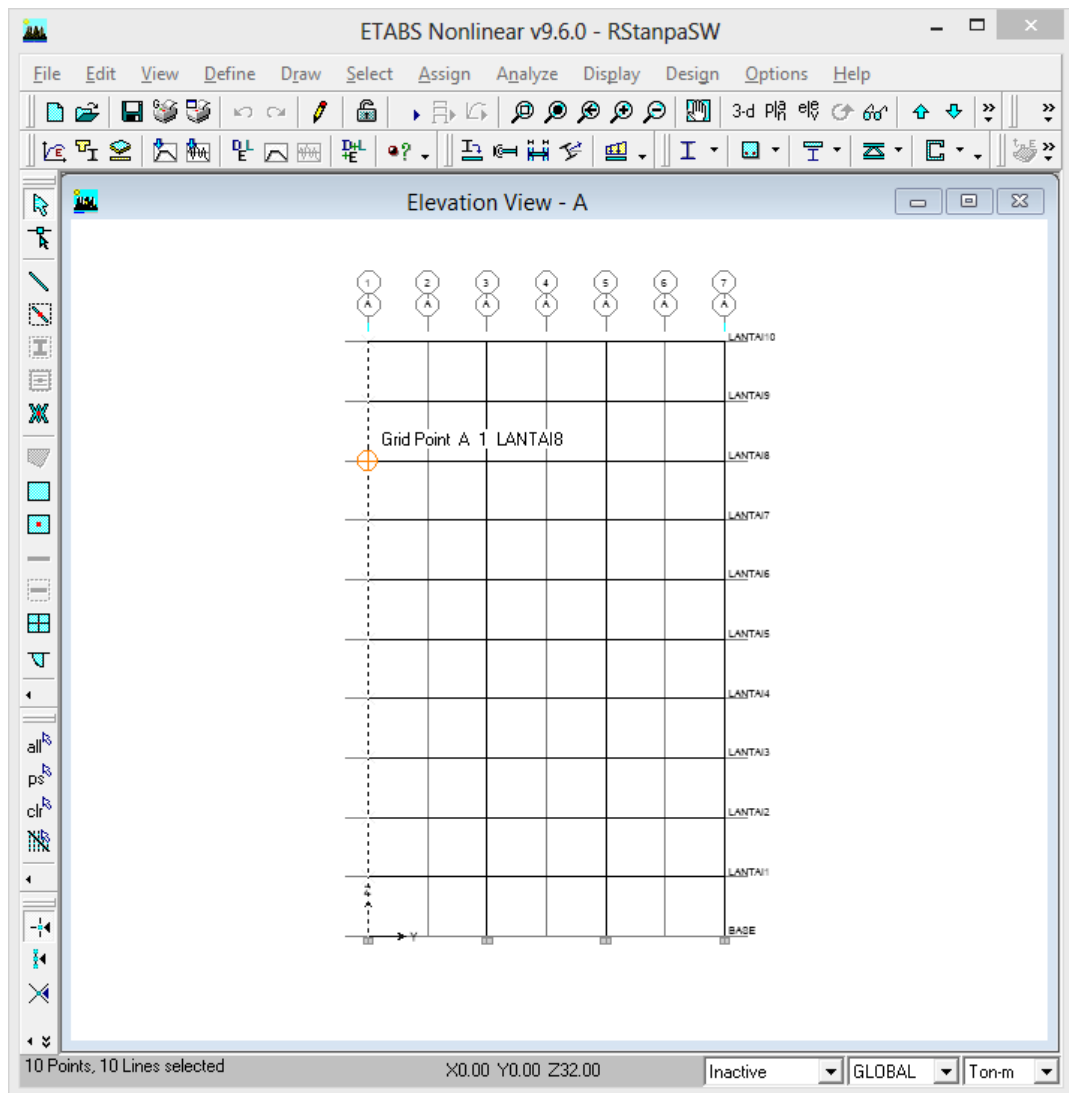


Lampiran 11 Grafik Nilai *Drift Ratio* Akibat Beban Gempa Dinamik Respons Spektrum Arah x

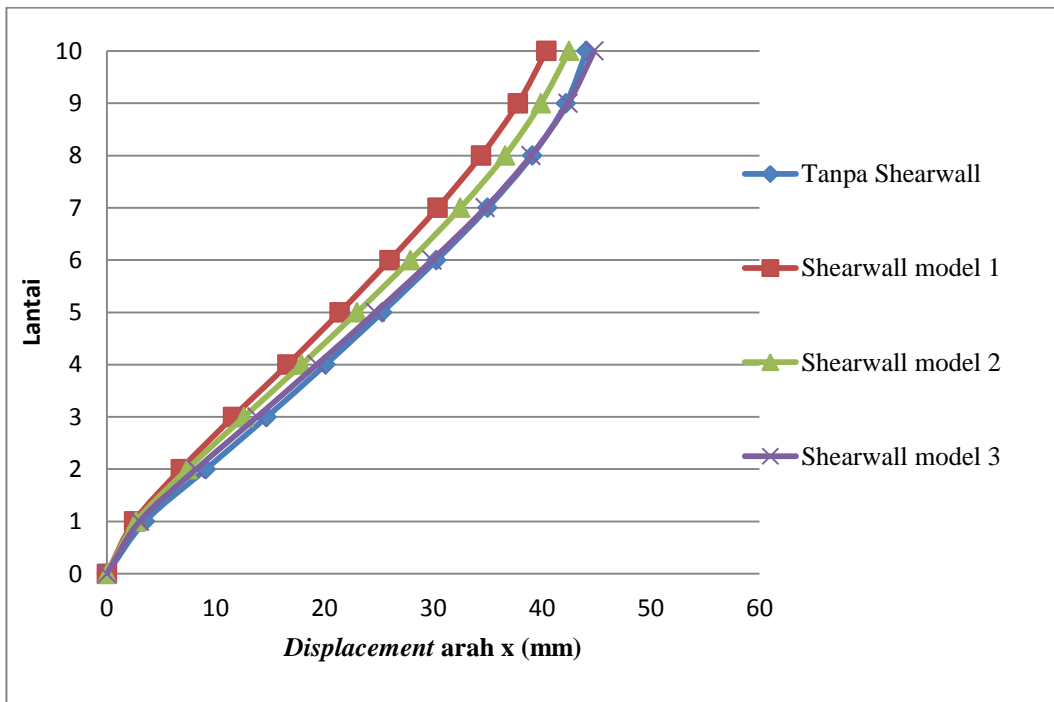


Lampiran 12 Grafik Nilai *Drift Ratio* Akibat Beban Gempa Dinamik Respons Spektrum Arah Y

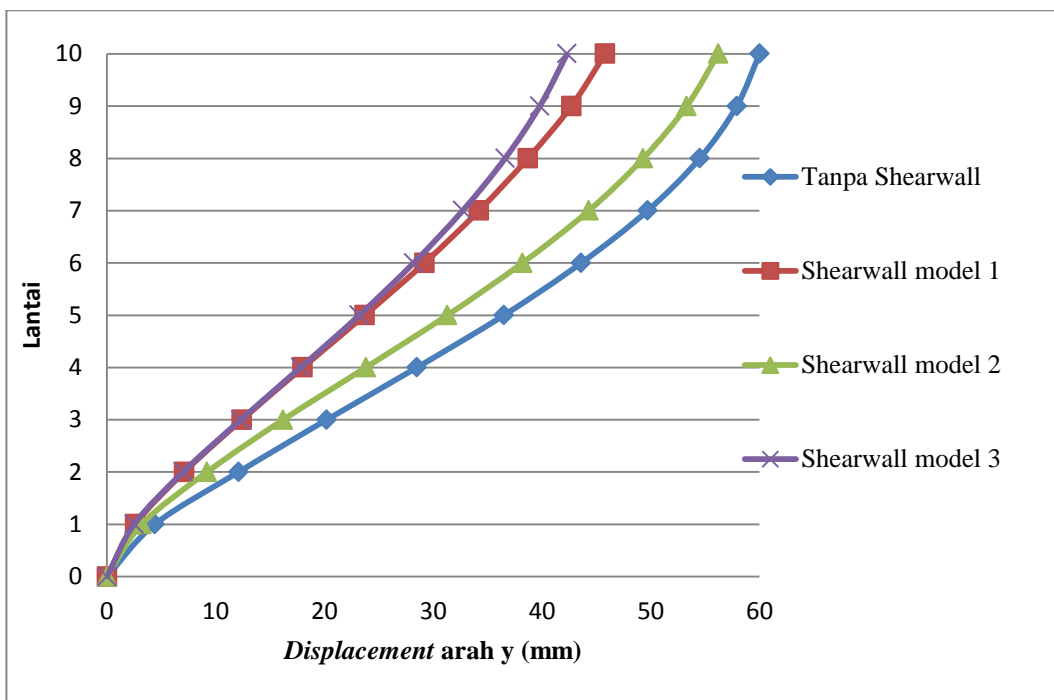


**Lampiran 13 Displacement Joint 1 Portal A**

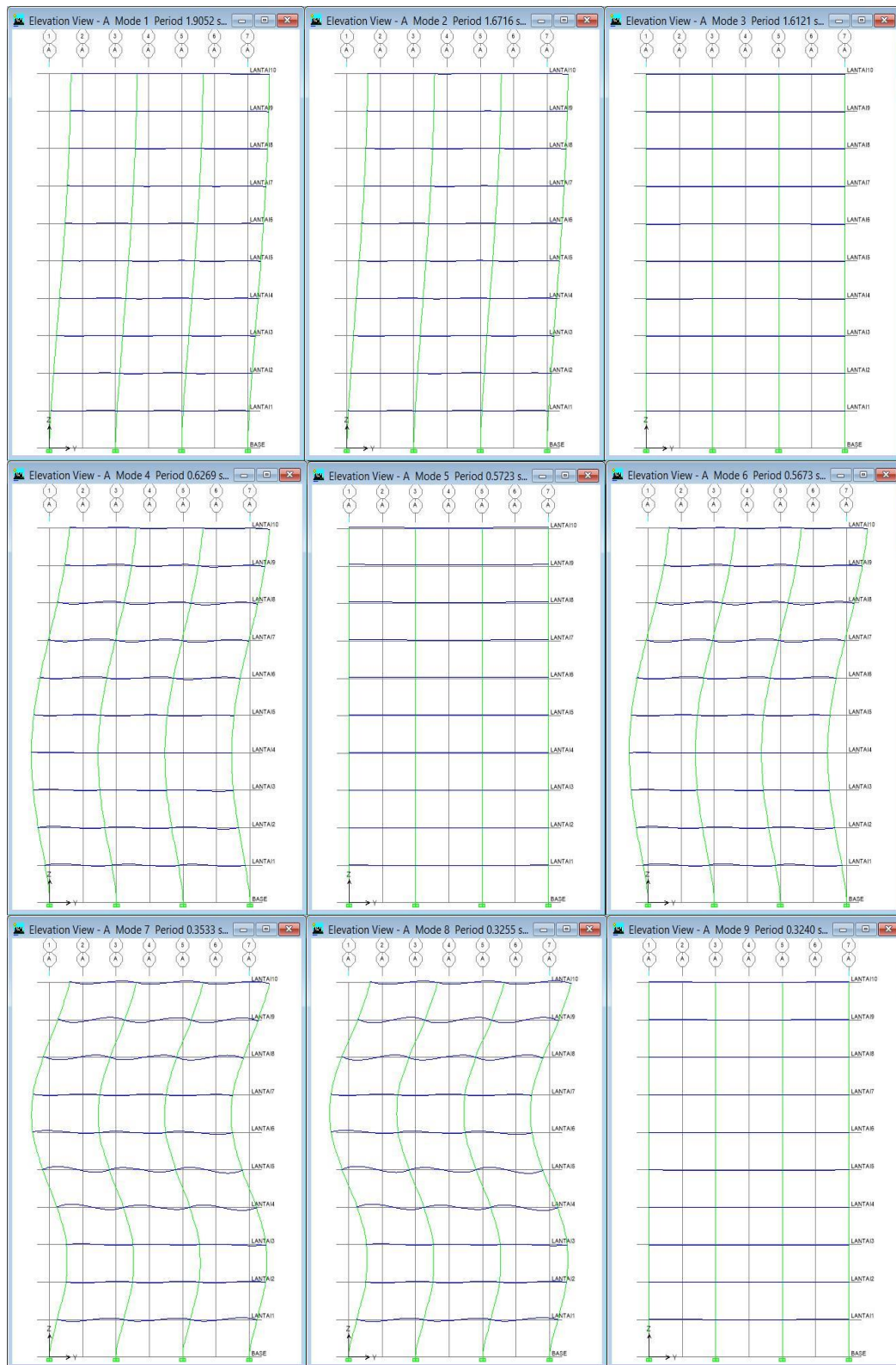
Lampiran 14 Grafik Nilai *Displacement Joint 1* Arah x Akibat Gempa Respons Spektrum



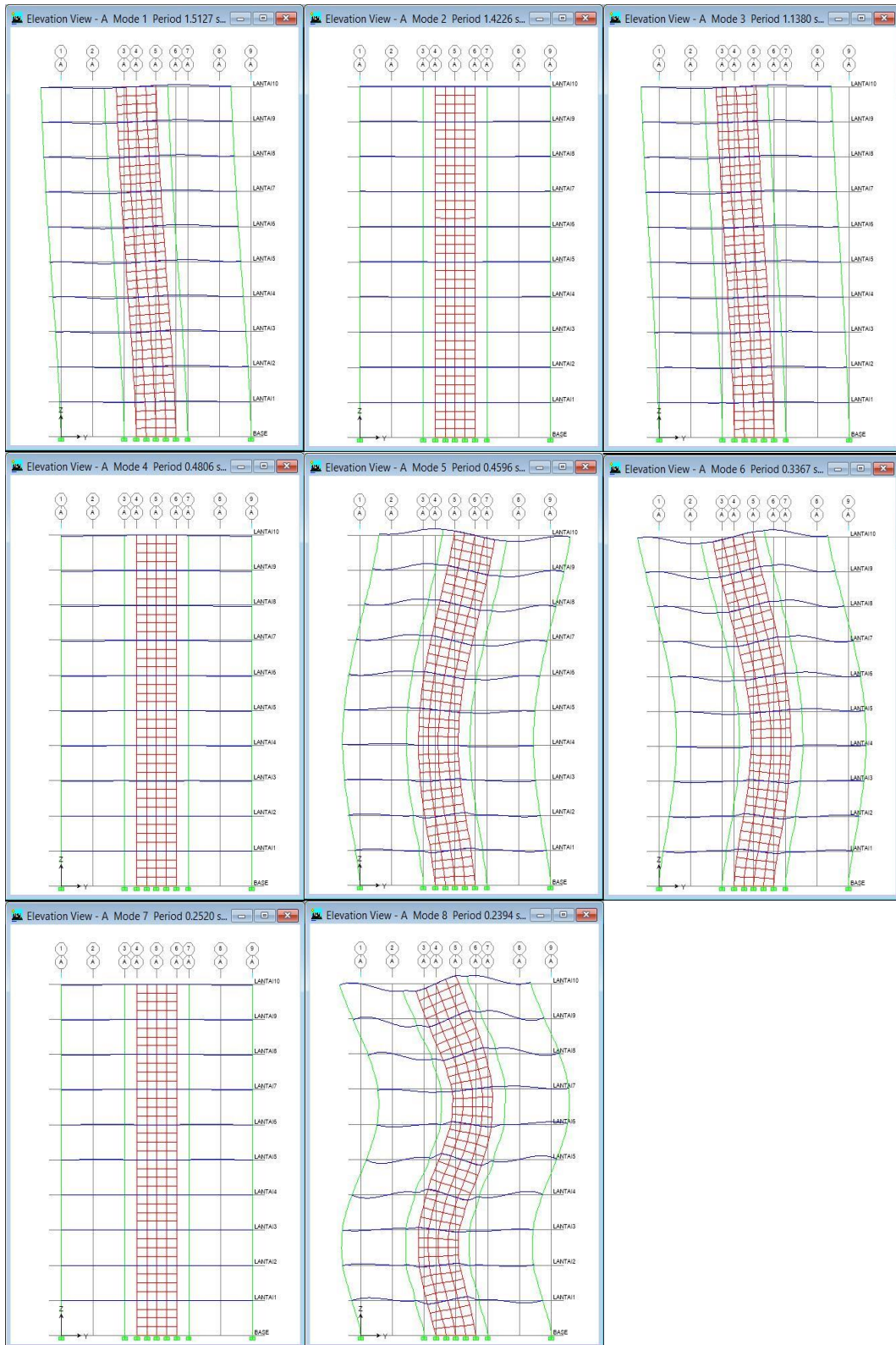
Lampiran 15 Grafik Nilai *Displacement Joint 1* Arah Y Akibat Gempa Respons Spektrum



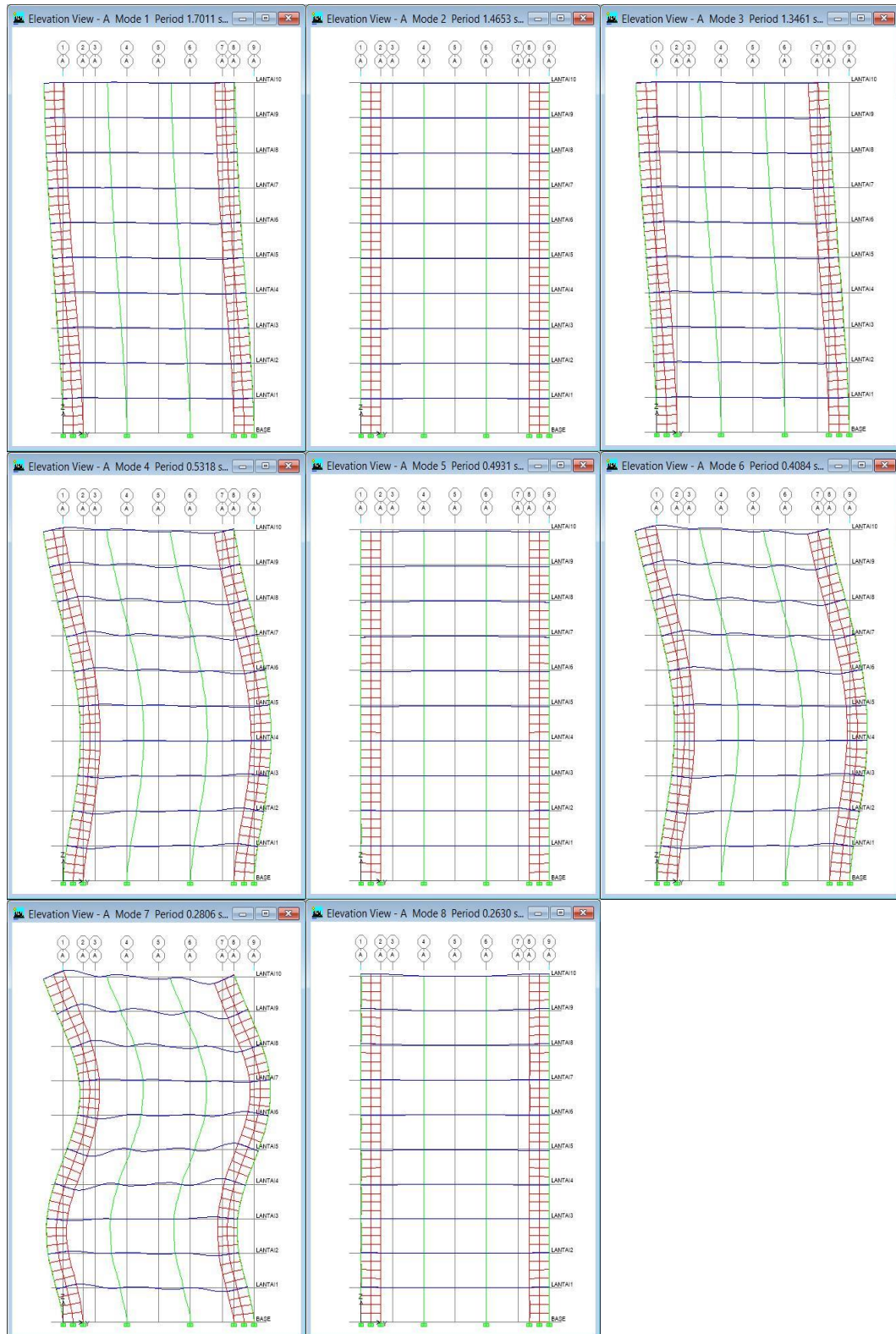
## Lampiran 16 Pola Goyangan Struktur Tanpa *Shearwall* Akibat Gempa Respons Spektrum



### Lampiran 17 Pola Goyangan Struktur *Shearwall* Model 1 Akibat Gempa Respons Spektrum



## Lampiran 18 Pola Goyangan Struktur *Shearwall* Model 2 Akibat Gempa Respons Spektrum





## Lampiran 19 Pola Goyangan Struktur *Shearwall* Model 3 Akibat Gempa Respons Spektrum

