

**TUGAS AKHIR**

**PENGARUH VARIASI DIMENSI KOLOM  
TERHADAP KINERJA BATAS ULTIMIT PADA  
GEDUNG PERHOTELAN DI DAERAH RAWAN  
GEMPA MENGACU PADA SNI 1726-2012  
*(THE EFFECT OF COLUMN DIMENSION  
VARIATION ON THE PERFORMANCE OF ULTIMITE  
LIMITS IN HOSPITALITY BUILDING IN  
EARTHQUAKE AREA REFERRING AT SNI 1726-2012)***

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



**Nurfadila Turrohman  
14511385**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
2021**

## TUGAS AKHIR

### PENGARUH VARIASI DIMENSI KOLOM TERHADAP KINERJA BATAS ULTIMIT PADA GEDUNG PERHOTELAN DI DAERAH RAWAN GEMPA MENGACU PADA SNI 1726- 2012

*(THE EFFECT OF COLUMN DIMENSION VARIATION ON  
THE PERFORMANCE OF ULTIMITE LIMITS IN  
HOSPITALITY BUILDING IN EARTHQUAKE AREA  
REFERRING AT SNI 1726-2012)*

Disusun oleh

**Nurfadila Turrohman**  
14511385

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

Diuji pada tanggal 30 Juni 2021  
Oleh Dewan Penguji

**Pembimbing I**

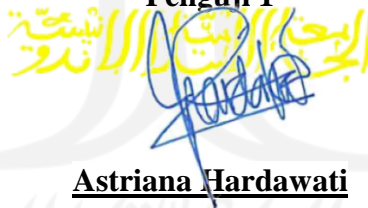


**Prof. Ir. Sarwidi,**

**MSCE., Ph.D**

**NIK: 845110101**

**Penguji 1**



**Astriana Hardawati**

**S.T., M.Eng.**

**NIK: 165111301**

**Penguji 2**



**Ir. Suharyatma,**

**M.T.**

**NIK: 865110201**

Mengesahkan

Ketua Program Studi Teknik Sipil



**Dr. Ir. Sri Amini Yuni Astusti, M.T**

**NIK: 885110101**

## 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 dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian laporan Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya sandang sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 17 Juni 2021.

Yang membuat pernyataan,



Nurfadila Turrohman

(14511385)

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul Pengaruh Variasi Dimensi Kolom Terhadap Kinerja Batas Ultimit Pada Gedung Perhotelan Di Daerah Rawan Gempa Mengacu Pada SNI 1726-2012. Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat strata satu 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. Kedua orang tua, Bapak Oman Rochman dan Ibu Nurjanah, yang selalu mendoakan saya, dan memberikan banyak dukungan moral serta membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir,
2. Ibu Dr.Ir. Sri Amini Yuni Astuti, M.T, selaku kepala prodi teknik sipil yang telah membantu untuk kelancaran dalam masalah akademik selama ini,
3. Bapak Prof. Ir. H. Sarwidi, MSCE., Ph.D., IP-U, selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, dan nasihat baik serta motivasi yang membangkitkan semangat penulis selama penyusunan tugas akhir sehingga menghasilkan yang terbaik,
4. Teman-teman Sekte Budsky yang telah selalu menemani penulis dalam kondisi apapun serta merepotkan penulis,
5. Kosema 2014 yang selalu ada untuk Teknik Sipil angkatan 2014, terutama Yogi Kurniawan yang selalu saya repotkan dari kuliah hingga seterusnya dan memberi kesempatan pengalaman dalam organisasi,
6. Kawan-kawan gaming, Kukuh, Azfari, dan Fadil yang selalu menyempatkan waktu untuk bermain melepas penat dan juga membantu hal-hal terkait penulisan tugas akhir,

7. Dan semua pihak yang ikut membantu kelancaran penelitian ini yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

Semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan banyak manfaat yang berarti bagi dunia Teknik Sipil Indonesia dan dapat bermanfaat untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

*Wassalamu'alaikum wr.wb.*

Yogyakarta, 30 Juni 2021



Nurfadila Turrohman  
(14511385)

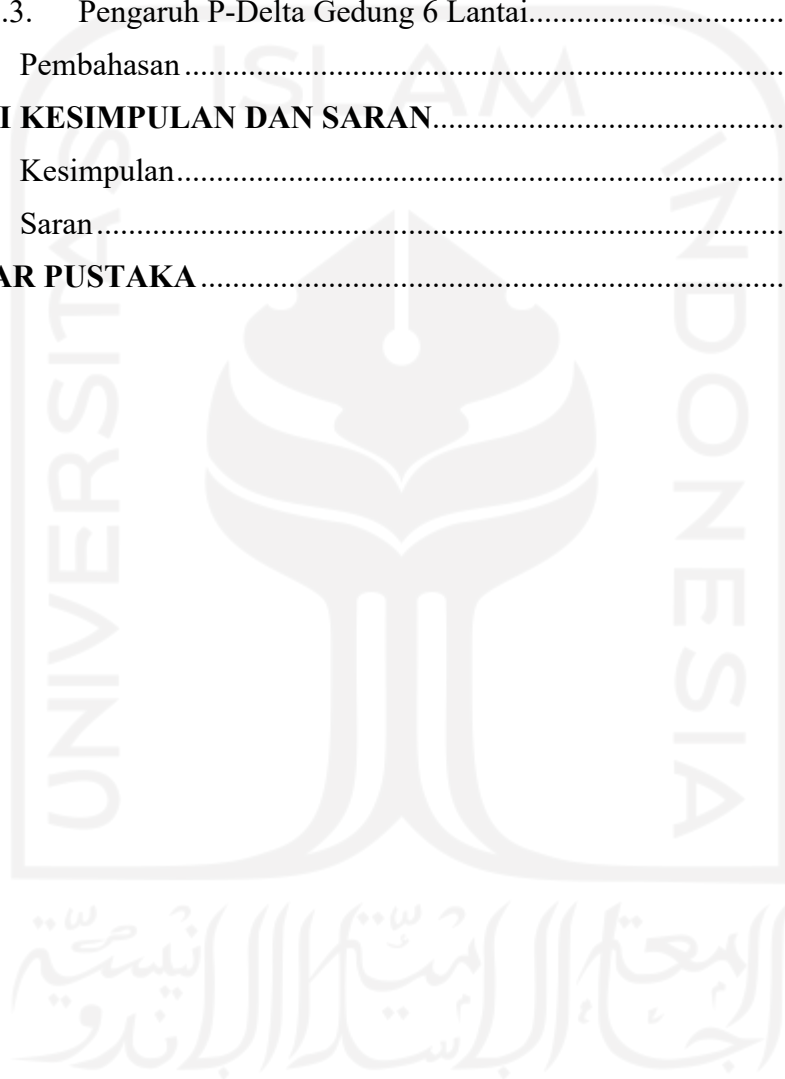
الجمعة الإسلامية الأندلسية

## DAFTAR ISI

<b>TUGAS AKHIR .....</b>	<b>i</b>
<b>TUGAS AKHIR .....</b>	<b>ii</b>
<b>PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI .....</b>	<b>iii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>iv</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN.....</b>	<b>xiv</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Batasan Masalah.....	3
1.5. Manfaat Penelitian.....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>4</b>
2.1. Tinjauan Umum.....	4
2.2. Keaslian Penelitian .....	5
<b>BAB III LANDASAN TEORI.....</b>	<b>8</b>
3.1 Ketentuan Umum Perncaanan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Berdasarkan SNI 1726:2012.....	8
3.1.1 Penentuan Gempa Rencana Dan Kategori Risiko Struktur Bangunan 8	
3.1.2 Desain Respons Spektrum .....	12
3.1.3 Kategori Desain Seismik.....	16
3.1.4 Desain Statik Ekuivalen .....	18
3.1.5 Kombinasi Beban Gempa .....	22
3.1.6 Simpangan Antar Lantai .....	23
3.1.7 Redundansi.....	25
3.1.8 Sistem struktur penahan beban gempa.....	27

3.1.9	Pengaruh P-delta .....	28
3.2	Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah Dan Gedung 1987. 29	
3.2.1	Beban Mati (Dead Load) .....	30
3.2.2	Beban Hidup ( <i>Life Load</i> ) .....	32
<b>BAB IV</b>	<b>METODE PENELITIAN .....</b>	<b>36</b>
4.1	Pemodelan Struktur .....	36
4.2	Desain Struktur .....	39
4.2.1	Pembebanan .....	39
4.2.2	Analisis Struktur .....	40
4.2.3	Perencanaan Kolom dan Balok .....	40
4.3	Bagan Alir Penelitian .....	40
4.4	<i>Time Schedule</i> Penelitian.....	42
<b>BAB V</b>	<b>ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>43</b>
5.1	Data Perencanaan .....	43
5.1.1	Data Bangunan .....	43
5.1.2	Perencanaan Awal.....	47
5.2	Pembebanan.....	50
5.2.1	Beban Mati .....	50
5.2.2	Beban Hidup .....	51
5.3	Berat Bangunan .....	51
5.4	<i>Response Spektrum</i> dan Gaya Geser Gempa.....	54
5.4.1	Desain Seismik.....	54
5.4.2	Periode Fundamental Bangunan .....	58
5.4.3	Gaya Geser Dasar Statik .....	59
5.5	Kombinasi Pembebanan .....	61
5.6	<i>Output</i> Analisis SAP .....	62
5.6.1	<i>Participating Mass Ratio</i> .....	62
5.6.2	<i>Base Shear</i> .....	63
5.6.3.	Gaya Vertikal Gempa.....	65
5.6.4.	Gaya Horizontal Gempa.....	66
5.7	Simpangan Antar Lantai.....	68
5.7.1.	Simpangan Pada Gedung Portal 10 Lantai .....	68

5.7.2.	Simpangan Pada Gedung Portal 8 Lantai .....	73
5.7.3.	Simpangan Pada Gedung Portal 6 Lantai .....	78
5.8	Cek Pengaruh P-Delta .....	82
5.8.1.	Pengaruh P-Delta Gedung 10 Lantai.....	82
5.8.2.	Pengaruh P-Delta Gedung 8 Lantai.....	92
5.8.3.	Pengaruh P-Delta Gedung 6 Lantai.....	101
5.9.	Pembahasan .....	110
<b>BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>		<b>133</b>
6.1.	Kesimpulan.....	133
6.2.	Saran.....	136
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>		<b>137</b>





## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbedaan Penelitian Terdahulu dan Penelitian Sekarang	6
Tabel 3. 1 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung Untuk Beban Gempa	9
Tabel 3. 2 Faktor Keutamaan Gempa	12
Tabel 3. 3 Koefisien Situs $F_a$	14
Tabel 3. 4 Koefisien Situs $F_v$	14
Tabel 3. 5 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode Pendek ( $S_{DS}$ )	17
Tabel 3. 6 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Periode 1 Detik ( $S_{D1}$ )	17
Tabel 3. 7 Nilai Parameter Periode Pendekatan $C_t$ dan $x$	19
Tabel 3. 8 Koefisien Untuk Batas Atas Pada Periode Yang Dihitung	19
Tabel 3. 9 Simpangan Antar Lantai Izin ( $\Delta_a$ )	24
Tabel 3. 10 Persyaratan untuk masing-masing tingkat yang menahan lebih dari 35 persen	25
Tabel 3. 11 faktor $R$ , $\Omega_0$ , dan $C_d$ untuk sistem penahan gempa	28
Tabel 3. 12 Berat Sendiri Bahan Bangunan Dan Komponen Gedung	30
Tabel 3. 13 Beban Hidup Pada Lantai Gedung	33
Tabel 3. 14 Koefisien Reduksi Beban Hidup	35
Tabel 4. 1 Informasi Mengenai Model Bangunan	36
Tabel 4.2 Time Schedule Penelitian	42
Tabel 5. 1 Beban Mati Pada Pelat Lantai	50
Tabel 5. 2 Beban Mati Pada Pelat Atap	50
Tabel 5. 3 Pembebanan Lantai Dan Atap	52
Tabel 5. 4 Rekapitulasi Kesalahan Relatif Berat Bangunan	54
Tabel 5. 5 Hubungan Percepatan Respon Spektrum dan Periode	57
Tabel 5. 6 Penentuan Kategori Desain Seismik	58
Tabel 5. 7 Rekapitulasi Periode Gedung	59

Tabel 5. 8 Rekapitulasi Geser Dasar Statik	60
Tabel 5. 9 Rekapitulasi Gaya Geser Dinamik	65
Tabel 5. 10 Gaya Vertikal Gempa Pada Gedung 10 Lantai	65
Tabel 5. 11 Gaya Vertikal Gempa Pada Gedung 8 Lantai	66
Tabel 5. 12 Gaya Vertikal Gempa Pada Gedung 6 Lantai	66
Tabel 5. 13 Gaya Horizontal Gempa Pada Gedung 10 Lantai	67
Tabel 5. 14 Gaya Horizontal Gempa Pada Gedung 8 Lantai	67
Tabel 5. 15 Gaya Horizontal Gempa Pada Gedung 6 Lantai	67
Tabel 5. 16 Simpangan Lantai Gedung 10 Lantai Kolom 90x90 cm	69
Tabel 5. 17 Simpangan Lantai Gedung 10 Lantai Kolom 80x80 cm	70
Tabel 5. 18 Simpangan Lantai Gedung 10 Lantai Kolom 70x70 cm	70
Tabel 5. 19 Simpangan Lantai Gedung 8 Lantai Kolom 90x90 cm	74
Tabel 5. 20 Simpangan Lantai Gedung 8 Lantai Kolom 80x80 cm	74
Tabel 5. 21 Simpangan Lantai Gedung 8 Lantai Kolom 70x70 cm	75
Tabel 5. 22 Simpangan Lantai Gedung 6 Lantai Kolom 90x90 cm	78
Tabel 5. 23 Simpangan Lantai Gedung 6 Lantai Kolom 80x80 cm	79
Tabel 5. 24 Simpangan Lantai Gedung 6 Lantai Kolom 70x70 cm	79
Tabel 5. 25 P-Delta Gedung 10 Lantai Kolom 90x90 Cm Arah X	85
Tabel 5. 26 P-Delta Gedung 10 Lantai Kolom 90x90 Cm Arah Y	85
Tabel 5. 27 P-Delta Gedung 10 Lantai Kolom 80x80 Cm Arah X	88
Tabel 5. 28 P-Delta Gedung 10 Lantai Kolom 80x80 Cm Arah Y	88
Tabel 5. 29 P-Delta Gedung 10 Lantai Kolom 70x70 Cm Arah X	91
Tabel 5. 30 P-Delta Gedung 10 Lantai Kolom 70x70 Cm Arah Y	91
Tabel 5. 31 P-Delta Gedung 8 Lantai Kolom 90x90 Cm Arah X	94
Tabel 5. 32 P-Delta Gedung 8 Lantai Kolom 90x90 Cm Arah Y	94
Tabel 5. 33 P-Delta Gedung 8 Lantai Kolom 80x80 Cm Arah X	97
Tabel 5. 34 P-Delta Gedung 8 Lantai Kolom 80x80 Cm Arah Y	97
Tabel 5. 35 P-Delta Gedung 8 Lantai Kolom 70x70 Cm Arah X	100
Tabel 5. 36 P-Delta Gedung 8 Lantai Kolom 70x70 Cm Arah Y	100
Tabel 5. 37 P-Delta Gedung 6 Lantai Kolom 90x90 Cm Arah X	103
Tabel 5. 38 P-Delta Gedung 6 Lantai Kolom 90x90 Cm Arah Y	103

Tabel 5. 39 P-Delta Gedung 6 Lantai Kolom 80x80 Cm Arah X	106
Tabel 5. 40 P-Delta Gedung 6 Lantai Kolom 80x80 Cm Arah Y	106
Tabel 5. 41 P-Delta Gedung 6 Lantai Kolom 70x70 Cm Arah X	109
Tabel 5. 42 P-Delta Gedung 6 Lantai Kolom 70x70 Cm Arah Y	109



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Percepatan Batuan Dasar Pada Periode Pendek( $S_s$ )	12
Gambar 3. 2 Percepatan Batuan Dasar Pada Periode 1 Detik ( $S_1$ )	13
Gambar 3. 3 Spektrum Respons Desain	16
Gambar 3. 4 Penentuan Simpangan Antar Lantai	24
Gambar 4.1 Denah Struktur Bangunan	37
Gambar 4.2 Tampak Arah X	38
Gambar 4.3 Tampak Arah Y	39
Gambar 4. 4 Flowchart Penelitian	41
Gambar 5. 1 Denah Struktur Bangunan	44
Gambar 5. 2 Portal 10 Lantai Arah X	45
Gambar 5. 3 Portal 10 Lantai Arah Y	46
Gambar 5. 4 Portal 10 Lantai pada SAP2000	47
Gambar 5. 5 <i>Output</i> Berat Struktur SAP2000	53
Gambar 5. 6 Grafik Respon Spektrum	57
Gambar 5. 7 Periode Hasil Analisa Struktur	58
Gambar 5. 8 Nilai Partisipasi Massa Struktur Hasil Pemodelan SAP2000	62
Gambar 5. 9 Gaya Geser Dinamik Hasil SAP2000	64
Gambar 5. 10 Penentuan Simpangan Antar Lantai	68
Gambar 5. 11 Simpangan Gedung 10 Lantai Arah X	71
Gambar 5. 12 Simpangan Gedung 10 Lantai Arah Y	72
Gambar 5. 13 Simpangan Antar Lantai Gedung 10 Lantai Arah X	72
Gambar 5. 14 Simpangan Antar Lantai Gedung 10 Lantai Arah Y	73
Gambar 5. 15 Simpangan Gedung 8 Lantai Arah X	76
Gambar 5. 16 Simpangan Gedung 8 Lantai Arah Y	76
Gambar 5. 17 Simpangan Antar Lantai Gedung 8 Lantai Arah X	77
Gambar 5. 18 Simpangan Antar Lantai Gedung 8 Lantai Arah Y	77
Gambar 5. 19 Simpangan Gedung 6 Lantai Arah X	80
Gambar 5. 20 Simpangan Gedung 6 Lantai Arah Y	81

Gambar 5. 21 Simpangan Antar Lantai Gedung 6 Lantai Arah X

81

Gambar 5. 22 Simpangan Antar Lantai Gedung 6 Lantai Arah Y

82



## DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

$\alpha$	= Sudut ( $^{\circ}$ )
$\beta$	= Kebutuhan gaya geser
$C_d$	= Faktor amplifikasi defleksi
$C_{RS}$	= Nilai terpetak koefisien risiko spesifik situs pada periode pendek
$C_{R1}$	= Nilai terpetak koefisien risiko spesifik situs pada periode pendek
$C_s$	= Koefisien respons gempa
$C_{VX}$	= Faktor distribusi vertikal
$D$	= Pengaruh dari beban mati
$E$	= Pengaruh gaya gempa
$f'_c$	= Kekuatan tekan beton yang disyaratkan
$f_y$	= Kekuatan leleh tulangan yang disyaratkan
$F_a$	= Koefisien situs untuk periode pendek
$F_v$	= Koefisien situs untuk periode panjang
$F_i, F_x$	= Bagian dari gaya geser dasar
$g$	= Percepatan gaya gravitasi
$h$	= Tinggi bangunan
$h_t$	= Tebal balok atau kolom
$I_e$	= Faktor keutamaan
$k$	= Eksponen yang terkait dengan periode struktur
$L$	= Pengaruh beban hidup
$n$	= Jumlah tulangan
$Q_E$	= Pengaruh gaya gempa horizontal
$S_s$	= Parameter percepatan respon spektral pada peta gempa periode pendek, redaman 5%
$S_1$	= Parameter percepatan respon spektral pada peta gempa periode 1 detik, redaman 5%
$S_{DS}$	= Parameter percepatan respons spektral pada periode pendek, redaman 5%
$S_{D1}$	= Parameter percepatan respons spektral pada periode 1 detik, redaman 5%

- $S_{MS}$  = Parameter percepatan respons spektral pada periode pendek yang sudah disesuaikan dengan kelas situs  
 $S_{M1}$  = Parameter percepatan respons spektral pada periode 1 detik yang sudah disesuaikan dengan kelas situs  
 $T$  = Periode fundamental struktur  
 $V$  = Gaya geser dasar bangunan  
 $V_t$  = Gaya geser dwasar bangunan akibat gempa  
 $V_x$  = Gaya geser dasar bangunan akibat gempa tingkat  $x$   
 $W$  = Berat seismik bangunan  
 $\Delta$  = Simpangan antar lantai desain  
 $\Delta_a$  = Simpangan antar lantai izin  
 $\delta_{max}$  = Perpindahan maksimum di tingkat  $x$   
 $\delta_{avg}$  = Rata-rata perpindahan di titik terjauh  
 $\delta_x$  = Defleksi pusat massa di tingkat  $x$   
 $\theta$  = Koefisien stabilitas pengaruh P-Delta  
 $\rho$  = Faktor redundansi struktur  
 $\Omega_0$  = Faktor kuat lebih sistem

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Pada tahun 2018 Indonesia banyak sekali dilanda bencana gempa bumi, itu dikarenakan wilayah Indonesia terletak diantara lempengan tektonik yang saling berdekatan yaitu lempengan Eurasia, lempengan Indo-Australia dan lempengan Pasifik. Hal ini menyebabkan wilayah Indonesia yang terletak di daerah antar lempengan memiliki risiko bencana gempa bumi yang sangat tinggi. Risiko bencana yang sangat tinggi ini dikarenakan pusat gempa bumi berada diantara lempengan tektonik. Gempa bumi itu sendiri adalah pergeseran lempeng bumi akibat pelepasan energi dari dalam bumi secara tiba-tiba. Meskipun teknologi di dunia sudah sangat maju, tetapi gempa bumi masih belum bisa diprediksi kapan akan terjadi, dimana kejadiannya dan seberapa besar gempa yang akan terjadi. Saat gempa bumi terjadi, banyak sekali kerusakan dan kerugian yang terjadi terutama pada struktur bangunan.

Bangunan pada daerah rawan gempa harus direncanakan mampu bertahan terhadap bencana gempa bumi. Bangunan tahan gempa adalah bangunan yang strukturnya berdiri kokoh saat terjadi bencana gempa bumi. Bangunan yang hanya rusak pada nonstrukturalnya saja saat terjadi bencana gempa bumi. Pada dasarnya bangunan yang didesain tahan gempa kolomnya kuat. Desain bangunan dengan kolom yang kuat sudah umum digunakan pada bangunan gedung bertingkat, yang biasa disebut dengan konsep *Strong Column Weak Beam*. Konsep *Strong Column Weak Beam* adalah dimana kolom didesain lebih kuat dari balok di atasnya supaya struktur memiliki daktilitas tinggi sehingga mampu berdeformasi saat terjadi bencana gempa bumi.

Bangunan gedung biasanya memiliki tinggi dan bentuk yang bermacam – macam. Bangunan gedung ada yang tinggi dan ada yang rendah. Bangunan gedung yang tinggi dan gedung yang rendah memiliki reaksi yang berbeda – beda terhadap



gempa bumi. Reaksi dari gempa bumi sangat berpengaruh terhadap struktur gedung. Salah satu struktur gedung yang sangat penting untuk kekokohan bangunan adalah kolom, oleh karena itu gedung yang tinggi maupun gedung yang rendah harus memiliki kolom yang kuat.

Kolom merupakan bagian dari suatu kerangka bangunan yang menempati posisi terpenting dalam sistem struktur bangunan. Bila terjadi kegagalan pada kolom maka dapat berakibat keruntuhan komponen struktur lain yang berhubungan dengannya, atau bahkan terjadi keruntuhan total pada keseluruhan struktur bangunan (Istimawan D., 1999). Kolom pada suatu bangunan biasanya memiliki dimensi yang berbeda – beda. Kolom juga memiliki variasi bentuk seperti bujur sangkar, persegi panjang, bulat, dan lainnya. Bentuk kolom paling umum digunakan adalah kolom dengan bentuk bujur sangkar atau kotak. Pada gedung yang tinggi biasanya menggunakan dimensi kolom yang cukup besar sedangkan gedung yang tingginya rendah menggunakan kolom dengan dimensi yang cukup kecil. Hal tersebut merupakan sebuah logika yang masuk akal, tetapi tidak semua harus gedung tinggi menggunakan kolom besar dan dan gedung rendah dengan kolom yang kecil. Oleh karena itu, variasi dimensi digunakan untuk menentukan seberapa kuat, dan stabil jika variasi dimensi kolom digunakan pada suatu gedung yang tinggi dan rendah, agar mengetahui kolom mana yang memiliki kondisi batas atau tidak pada suatu bangunan.

Perencanaan bangunan tahan gempa umumnya dilakukan dengan cara analisa elastis yang di berikan faktor beban untuk simulasi kondisi ultimit (batas). Perilaku runtuh suatu struktur bangunan pada saat terjadi gempa adalah saat bangunan pada kondisi kaku. Salah satu aspek yang mempengaruhi beban gempa dalam perencanaan bangunan gedung tahan gempa yaitu periode bangunan. Periode bangunan sangat dipengaruhi oleh massa bangunan dan kekakuan struktur. Kekakuan struktur dipengaruhi oleh kondisi struktur bahan dan dimensi struktur.

Kondisi batas menunjukkan kemampuan batas struktur agar bisa digunakan. Perencanaan struktur harus dipastikan bahwa struktur yang direncanakan tidak melewati kondisi batas yang ditetapkan. Untuk tujuan tersebut perlu dilakukan pemilihan kombinasi gaya, faktor tahanan, dan nilai ketahanan yang tidak mungkin

terlampau berdasarkan kriteria perencanaan yang ada. Kondisi batas ultimit adalah kondisi dimana kegagalan pada kolom yang meliputi keruntuhan sebagian atau keseluruhan struktur. Perencanaan struktur sebisa mungkin harus bisa mencegah kegagalan struktur pada kondisi batas ini karena bisa melahirkan korban jiwa dan kerugian finansial yang besar.

### **1.2. Rumusan Masalah**

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, maka rumusan masalah dapat diambil, yaitu sebagai berikut ini.

1. Bagaimana pengaruh variasi dimensi kolom terhadap kinerja batas ultimit pada gedung perhotelan di wilayah rawan gempa ?
2. Bagaimana pengaruh variasi tinggi bangunan terhadap kinerja batas ultimit pada gedung perhotelan di wilayah rawan gempa ?
3. Bagaimana pengaruh P-Delta atau Kestabilan bangunan tersebut ?

### **1.3. Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui :

1. pengaruh dimensi kolom terhadap nilai kinerja batas ultimit struktur bangunan pada sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK),
2. pengaruh tinggi bangunan terhadap nilai kinerja batas ultimit struktur bangunan pada sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK), dan
3. pengaruh kestabilan bangunan.

### **1.4. Batasan Masalah**

Agar tinjauan penelitian tidak terlalu luas dan tidak menyimpang dari rumusan masalah di atas, maka masalah perlu dibatasi batasan masalah berikut ini.

1. Sistem struktur yang digunakan adalah Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK).
2. Zona gempa yang digunakan adalah wilayah gempa 3 mengacu pada SNI 03-1726-2012.
3. Tinggi balok digunakan  $1/10$  dari panjang bentang balok.

4. Lebar balok digunakan  $\frac{2}{3}$  dari tinggi balok.
5. Anggaran biaya tidak diperhitungkan.
6. Denah ruang tidak didesain.
7. Struktur bagian bawah tidak diperhitungkan.
8. Struktur tangga tidak di perhitungkan.
9. Kebutuhan tulangan tidak diperhitungkan.
10. Perencanaan gempa mengacu pada SNI 1726-2012.
11. Perencanaan pembebanan mengacu pada PPPURG 1987.

### **1.5. Manfaat Penelitian**

Berdasarkan tujuan yang telah disebutkan, penelitian ini diharapkan memiliki manfaat, yaitu :

1. untuk memberi pengetahuan kepada pembaca tentang pengaruh variasi dimensi kolom terhadap kinerja batas ultimit,
2. untuk dijadikan referensi dalam mendesain bangunan struktur serta referensi penelitian selanjutnya tentang kinerja batas ultimit terhadap struktur bangunan bertingkat, dan
3. menambah ilmu ketekniksipilan dalam bidang perencanaan struktur bangunan bertingkat.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

Pada BAB I telah disebutkan latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan penelitian dan manfaat penelitian. Pada penelitian ini dibutuhkan bahan perbandingan dan bahan pembedaan, maka pada BAB II akan diuraikan hasil penelitian sejenis yang sudah pernah dilakukan sebagai bahan referensi.

#### **2.1. Tinjauan Umum**

Perencanaan struktur dilakukan agar bangunan tahan terhadap gempa dan aman untuk digunakan. Wilayah Indonesia sangat rawan gempa, dikarenakan wilayah Indonesia berada pada tiga lempengan aktif sehingga sebagian besar wilayah Indonesia terletak pada wilayah gempa dengan intensitas menengah hingga tinggi. Padatnya penduduk Indonesia serta keterbatasan lahan untuk pemukiman terutama di kota-kota besar seperti Jakarta, Pekanbaru, Tangerang dan Yogyakarta merupakan salah satu penyebab utama dibangunnya gedung-gedung tinggi. Perencanaan struktur bangunan harus dilakukan dengan baik dan benar serta mengikuti aturan yang tersedia agar terhindar dari kegagalan struktur. Kegagalan struktur mempunyai banyak contoh salah satunya yaitu keruntuhan struktur sebagian atau keseluruhan.

Keruntuhan dapat terjadi oleh banyak faktor seperti struktur kolom tidak dapat menahan beban yang terjadi pada bangunan. Simpangan yang terjadi melebihi batas pada kolom adalah salah satu penyebab keruntuhan struktur. Simpangan biasanya terjadi pada struktur kolom. Kinerja batas ultimit pada struktur kolom didesain agar struktur kolom mampu menahan beban dan memiliki kuat kolom di atas kuat kolom rencana supaya dapat meminimalisir keruntuhan struktur.

## 2.2. Keaslian Penelitian

Dalam proses pengerjaan Tugas Akhir, penelitian yang dilakukan sebelumnya sangat penting untuk dipahami, sebab dapat dijadikan sebagai bahan pembandingan, bahan pembeda serta bahan acuan yang sangat berguna dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini. 3 (tiga) penelitian terkait yang pernah dilakukan dapat dilihat pada Tabel 2.1.



**Tabel 2. 1 Perbedaan Penelitian Terdahulu dan Penelitian Sekarang**

Penulis	Judul	Metode Penelitian	Kesimpulan
<p><b>Arie Waedhono (2010)</b></p>	<p>Studi perilaku struktur beton bertulang terhadap kinerja batas akibat pengaruh tinggi bangunan dan dimensi kolom berdasarkan SNI 03 – 1726 -2002</p>	<p>Analisis dilakukan dengan menggunakan program SAP 2000 nonlinier menghitung gaya-gaya dalam berdasarkan distribusi gaya gempa dasar menggunakan metode statis ekuivalen. Analisis dilakukan dengan bantuan SAP 2000 Nonlinear berdasarkan SNI 03-1726-2002</p>	<p>Semakin tinggi bangunan yang direncanakan maka semakin besar pula nilai drift <math>\Delta_s</math> dan drift <math>\Delta_m</math> antar tingkat terhadap batas drift <math>\Delta_s</math> (KBL) dan batas drift <math>\Delta_m</math> (KBU).</p>
<p><b>Muhammad Gery Rachmat (2013)</b></p>	<p>Studi Pengaruh Variasi Dimensi Kolom Terhadap Kinerja Batas Layan Dan Batas Ultimit Pada Portal Gedung Perkantoran Di Daerah Rawan Gempa Yang Mengacu Pada SNI 03 – 1726 - 2002</p>	<p>Analisis dinamik respon spektrum dengan menggunakan program SAP2000 versi 8</p>	<p>Berdasar perhitungan kinerja batas layan (KBL) dan kinerja batas ultimit (KBU), ada indikasi struktur gedung 4 lantai aman menggunakan kolom dengan dimensi persegi dengan ukuran diatas (40 x 40) cm, gedung 6 lantai aman dengan kolom (45 x 45) cm, gedung 6, 8, 10 lantai aman dengan kolom ukuran (60 x 60) cm</p>

**Lanjutan Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian Terdahulu dan Penelitian Sekarang**

Penulis	Judul	Metode Penelitian	Kesimpulan
<p><b>Fajri Pratama ( 2014 )</b></p>	<p>Evaluasi Kinerja Struktur Gedung 10 Lantai Dengan Analisis <i>Time History</i> Pada Tinjauan <i>Drift</i> Dan <i>Dsplacement</i> Menggunakan Software ETABS</p>	<p>Analisis dinamik time history dengan menggunakan program ETABS</p>	<p>Untuk Gempa Rencana bila bangunan dianalisis dengan rekaman gempa El Centro 1940, displacement untuk arah x aman dan arah y terdapat 4 lantai yang tidak memenuhi syarat kinerja batas ultimit. Bila dianalisis dengan analisis statik, displacement untuk arah x aman dan arah y terdapat 3 lantai yang tidak memenuhi syarat kinerja batas ultimit.</p>
<p><b>Penulis (2019)</b></p>	<p>Pengaruh Variasi Dimensi Kolom Terhadap Kinerja Batas Ultimit Pada Gedung Perhotelan Di Daerah Rawan Gempa Mengacu Pada SNI 1726 2012</p>	<p>Permodelan struktur menggunakan bangunan non existing yang dimodelkan dengan SAP2000 dan dianalisis dengan respon spektrum</p>	<p>Dari hasil analisis yang akan diperoleh, akan diketahui hasil desain kolom yang memenuhi syarat kinerja batas pada beberapa gedung mengacu pada SNI 1726 2012.</p>

## **BAB III**

### **LANDASAN TEORI**

Pada bab ini akan berisi tentang teori-teori yang menunjang dalam melakukan penelitian. Teori-teori yang digunakan adalah:

1. SNI 1726:2012 tentang ketentuan umum perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung dan
2. PPPRUG 1987 tentang pedoman perencanaan pembebanan untuk rumah dan gedung.

#### **3.1 Ketentuan Umum Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Berdasarkan SNI 1726:2012**

Peraturan ini mengatur tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung. Peraturan SNI 1726:2012 adalah bentuk baru dari peraturan lama yaitu SNI 1726:2002. Perubahan utama dalam standar ini adalah ruang lingkup yang diperluas dan menggunakan peta gempa yang terbaru. Ada beberapa struktur bangunan yang tidak termasuk dalam peraturan ini yaitu:

1. struktur bangunan dengan sistem yang tidak biasa atau yang membutuhkan pembuktian terkait struktur bangunan tersebut dan
2. struktur jembatan kendaraan lalu lintas (jalan raya dan kereta api), struktur reaktor energi, struktur keairan dan bendungan, struktur menara transmisi listrik, serta struktur anjungan pelabuhan, anjungan lepas pantai, dan struktur penahan gelombang.

Struktur bangunan yang disebutkan diatas, perencanaan harus dilakukan dengan menggunakan standar dan pedoman perencanaan yang terkait dan melibatkan tenaga ahli utama di bidang rekayasa struktur dan geoteknik. Berikut adalah penjelasan 9 (sembilan) hal dalam perencanaan bangunan gedung bertingkat.

##### **3.1.1 Penentuan Gempa Rencana Dan Kategori Risiko Struktur Bangunan**

Prosedur dalam menentukan pengaruh gempa rencana yang ditinjau dalam perencanaan dan evaluasi struktur bangunan gedung dan non gedung serta berbagai



bagian dan peralatannya secara luas. Gempa rencana ditetapkan sebagai gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlewatinya besarnya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2%. Untuk berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan  $I_e$ . Nilai faktor keutamaan ditentukan berdasarkan kategori risiko bangunan. Berikut kategori risiko gedung dan faktor keutamaan gempa dapat dilihat pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2.

**Tabel 3. 1 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung Untuk Beban Gempa**

Jenis Pemanfaatan	Kategori Risiko
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko rendah terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk, antara lain :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. fasilitas pertanian, perkebunan, perternakan, dan perikanan,</li> <li>2. fasilitas sementara,</li> <li>3. gudang penyimpanan, dan</li> <li>4. rumah jaga dan struktur kecil lainnya.</li> </ol>	I
<p>Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I, III, IV, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. perumahan,</li> <li>2. rumah toko dan rumah kantor,</li> <li>3. pasar,</li> <li>4. gedung perkantoran,</li> <li>5. gedung apartemen/rumah susun,</li> <li>6. pusat perbelanjaan/mall,</li> <li>7. bangunan industri,</li> <li>8. fasilitas manufaktur, dan</li> <li>9. Pabrik.</li> </ol>	II

**Lanjutan Tabel 3.1 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung  
Untuk Beban Gempa**

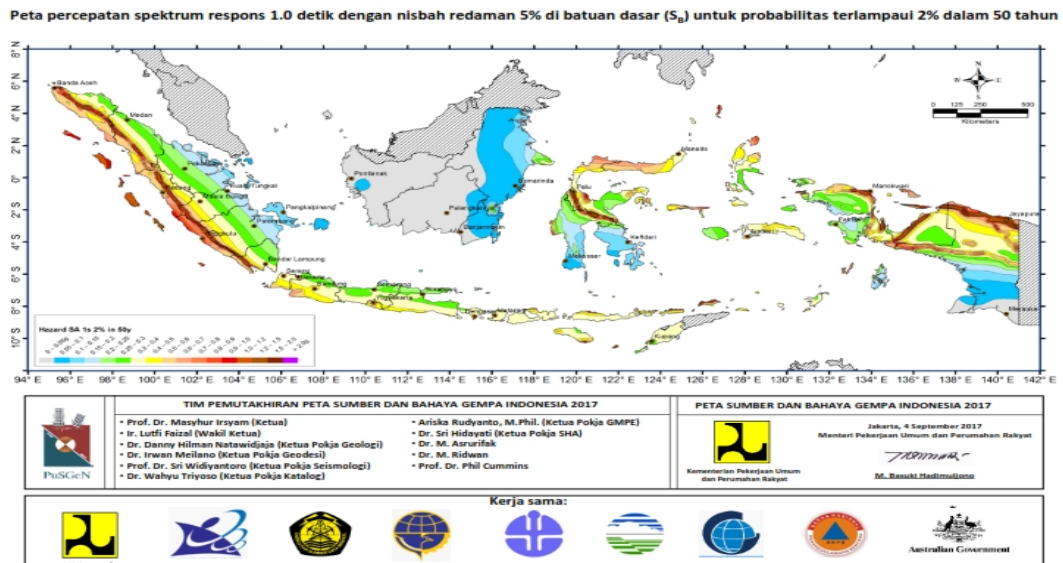
<b>Jenis emanaftaan</b>	<b>Kategori Risiko</b>
<p>Gedung dan non gedung yang memiliki risiko tinggi terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. bioskop,</li> <li>2. gedung pertemuan,</li> <li>3. stadion,</li> <li>4. gawat darurat,</li> <li>5. fasilitas penitipan anak,</li> <li>6. penjara, dan</li> <li>7. bangunan untuk orang jompo.</li> </ol> <p>Gedung dan non gedung, tidak termasuk kedalam kategori risiko IV, yang memiliki potensi untuk menyebabkan dampak ekonomi yang besar dan/atau gangguan misal terhadap kehidupan Masyarakat sehari-hari bila terjadi kegagalan, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. pusat pembangkit listrik biasa,</li> <li>2. fasilitas penanganan air,</li> <li>3. fasilitas penanganan limbah,</li> <li>4. pusat telekomunikasi.</li> </ol> <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</p>	III

**Lanjutan Tabel 3.1 Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung Untuk Beban Gempa**

<b>Jenis Pemanfaatan</b>	<b>Kategori Risiko</b>
<p>batas yang disyaratkan oleh instansi yang berwenang dan cukup menimbulkan bahaya bagi masyarakat jika terjadi kebocoran.</p>	
<p>Gedung dan non gedung yang ditunjukkan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk :</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. bangunan – bangunan monumental,</li> <li>2. gedung sekolah dan fasilitas pendidikan, rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat,</li> <li>3. fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisis, serta garasi kendaraan darurat, tempat perlindungan terhadap gempa bumi, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya,</li> <li>4. fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat, pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat,</li> <li>5. struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyiapan 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, dan</li> <li>6. gedung dan non gedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</li> </ol>	IV

Sumber : SNI 1726:2012





**Gambar 3. 2 Percepatan Batuan Dasar Pada Periode 1 Detik ( $S_1$ )**

(Sumber : Peta Sebaran Gempa 2017)

Untuk penentuan respon spektral percepatan gempa  $MCE_R$  dipermukaan tanah, diperlukan suatu faktor amplifikasi sesimik pada periode 0,2 detik dan periode 1 detik. Faktor amplifikasi meliputi faktor amplifikasi getaran terkait percepatan pada getaran periode pendek ( $F_a$ ) dan faktor amplifikasi getaran terkait percepatan yang mewakili getaran periode 1 detik ( $F_v$ ). parameter spektrum respon percepatan pada periode pendek ( $S_{MS}$ ) dan periode 1 detik ( $S_{M1}$ ) yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs, harus ditentukan dengan perumusan berikut.

$$S_{MS} = F_a \cdot S_s \quad (3.1)$$

$$S_{M1} = F_v \cdot S_1 \quad (3.2)$$

Keterangan :

$S_s$  = Parameter respons spektral percepatan gempa  $MCE_R$  terpetakan untuk periode pendek.

$S_1$  = Parameter respons spektral percepatan gempa  $MCE_R$  terpetakan untuk periode 1,0 detik.

Koefisien  $F_a$  dan  $F_v$  dapat dilihat pada Tabel 3.3 dan Tabel 3.4

**Tabel 3. 3 Koefisien Situs  $F_a$**

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa ( $MCE_R$ ) terpetakan pada perioda 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 (batuan keras)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
SB (batuan)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
SD (tanah sedang)	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
SE (tanah lunak)	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
SF (tanah khusus)	SS <sup>b</sup>				

Sumber: SNI 1726:2012

Catatan:

1. Untuk nilai-nilai antara  $S_s$  dapat dilakukan interpolasi linier.
2. SS = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik.

**Tabel 3. 4 Koefisien Situs  $F_v$**

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa ( $MCE_R$ ) terpetakan pada perioda pendek, $T = 1$ detik, $S_I$				
	$S_I \leq 0.1$	$S_I = 0.2$	$S_I = 0.3$	$S_I = 0.4$	$S_I \geq 0.5$
SA (batuan keras)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
SB (batuan)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

Lanjutan Tabel 3.4 Koefisien Situs  $F_v$ 

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa ( $MCE_R$ ) terpetakan pada perioda pendek, $T = 1$ detik, $S_I$				
	SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	1.7	1.6	1.5	1.4
SD (tanah sedang)	2.4	2	1.8	1.6	1.5
SE (tanah lunak)	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
SF (tanah khusus)	$SS^b$				

Sumber: SNI 1726:2012

Catatan:

1. Untuk nilai-nilai antara  $S_S$  dapat dilakukan interpolasi linier.
2.  $SS$  = Situs yang memerlukan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons situs-spesifik.

Parameter percepatan spektral desain untuk perioda pendek,  $S_{DS}$  dan pada perioda 1 detik,  $S_{DI}$ , harus ditentukan melalui perumusan berikut ini.

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} \quad (3.3)$$

$$S_{DI} = \frac{2}{3} S_{MI} \quad (3.4)$$

Bila desain respon spektrum diperlukan oleh tata cara ini dan prosedur gerak tanah dari spesifik-spesifik tidak digunakan, maka kurva desain respon spektrum harus dikembangkan dengan mengacu Gambar 3.3 dan mengikuti ketentuan di bawah ini.

1. Periode yang lebih kecil dari  $T_0$ , percepatan desain respon spektrum ( $S_a$ ) harus diambil dari persamaan berikut.

$$S_a = S_{DS} \left( 0.4 + 0.6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (3.5)$$

2. Periode lebih besar dari atau sama dengan  $T_0$  dan lebih kecil dari atau sama dengan  $T_S$ , desain percepatan respon spektrum,  $S_a$ , sama dengan  $S_{DS}$ .
3. Periode lebih besar dari  $T_S$ , desain percepatan respon spektrum,  $S_a$ , diambil

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (3.6)$$

Keterangan:

$S_{DS}$  = Parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek.

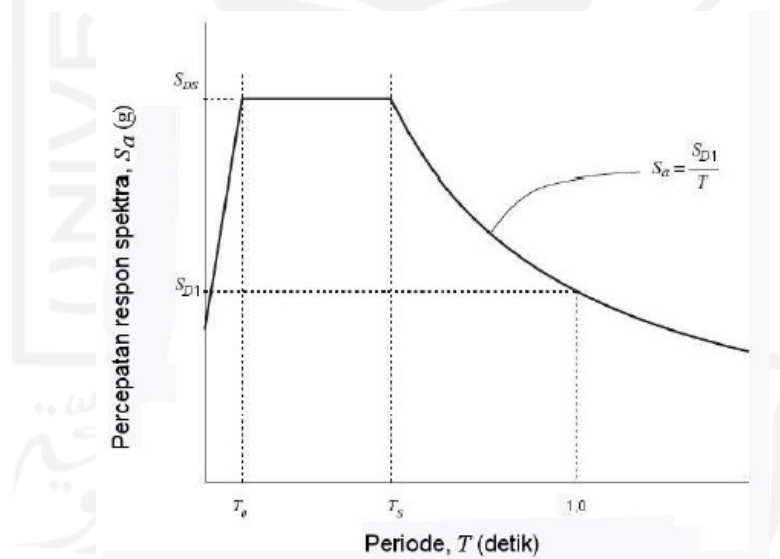
$S_{D1}$  = Parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik.

$T$  = Periode getar fundamental struktur.

$$T_0 = 0,2 \cdot \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (3.7)$$

$$T_S = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (3.8)$$

Gambar respon spektrum desain dapat dilihat pada Gambar 3.3



**Gambar 3.3 Spektrum Respons Desain**

(Sumber: SNI 1726:2012)

### 3.1.3 Kategori Desain Seismik

Struktur harus ditetapkan memiliki suatu kategori desain seismik yang mengikuti SNI 1726:2012. Dengan kategori risiko I, II atau III yang berlokasi



dimana parameter respon spektral percepatan terpetakan pada periode 1 detik ( $S_I$ ), lebih besar dari atau sama dengan 0,75 harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik E. struktur yang berkategori risiko IV yang berlokasi dimana parameter respon spektral percepatan terpetakan pada periode 1 detik ( $S_I$ ), lebih besar atau sama dengan 0,75 harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori risiko F. semua struktur lainnya harus ditetapkan kategori desain sesimiknya berdasarkan kategori risikonya dan parameter respon spektral percepatan desainnya,  $S_{DS}$  dan  $S_{DI}$ . Berikut merupakan tabel kategori desain seismik, dapat dilihat pada Tabel 3.5 dan Tabel 3.6.

**Tabel 3. 5 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Perioda Pendek ( $S_{DS}$ )**

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	B
$0.33 \leq S_{DS} < 0.50$	C	C
$0.50 \leq S_{DS}$	D	D

Sumber : SNI 1726:2012

**Tabel 3. 6 Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan Pada Perioda 1 Detik ( $S_{DI}$ )**

Nilai $S_{DI}$	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DI} < 0.067$	A	A
$0.067 \leq S_{DI} < 0.133$	B	B
$0.133 \leq S_{DI} < 0.20$	C	C
$0.20 \leq S_{DI}$	D	D

Sumber : SNI 1726:2012

### 3.1.4 Desain Statik Ekuivalen

#### 1. Berat Seismik Efektif

Berat seismik efektif struktur ( $W$ ) harus menyertakan seluruh beban mati dan beban lainnya yang terdaftar dibawah ini.

- a. Dalam daerah yang digunakan untuk penyimpanan minimum sebesar 25% beban hidup lantai (beban hidup lantai di garasi publik dan struktur parkir terbuka, serta beban penyimpanan yang tidak melebihi 5% dari berat seismik efektif pada suatu lantai, tidak perlu disertakan).
- b. Jika ketentuan untuk partisi disyaratkan dalam desain beban lantai diambil yang terbesar diantara berat partisi actual atau berat daerah lantai minimum sebesar  $0,48 \text{ kN/m}^2$ .
- c. Berat operasional total dari peralatan yang permanen.
- d. Berat lansekap dan beban lainnya pada ataman atap dan luasan lainnya.

#### 2. Periode Fundamental Struktur

Periode fundamental struktur ( $T$ ), dalam arah yang ditinjau harus diperoleh menggunakan properti struktur dan karakteristik deformasi elemen penahan dalam analisis yang teruji. Periode fundamental struktur ini tidak boleh melebihi hasil koefisien untuk batasan atas pada periode yang dihitung ( $C_u$ ) dan periode fundamental pendekatan ( $T_a$ ).

Periode fundamental pendekatan ( $T_a$ ), dalam detik harus ditentukan dari persamaan berikut:

$$T_a = C_t \cdot h_n^x \quad (3.9)$$

Keterangan:

$h_n$  = Tinggi total bangunan (m),

$C_t$  dan  $x$  ditentukan pada Tabel 3.7.

**Tabel 3. 7 Nilai Parameter Periode Pendekatan  $C_t$  dan  $x$**

Tipe Struktur	$C_t$	$x$
Sistem rangka pemikul momen dimana rangka pemikul momen 100% gaya gempa disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah dari defleksi jika dikenakan gaya gempa		
Rangka baja pemikul momen	0,0466 <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 lainnya	0,0488 <sup>a</sup>	0,75

Sumber : SNI 1726:2012

Kemudian untuk nilai  $C_u$  ditentukan pada Tabel 3.8.

**Tabel 3. 8 Koefisien Untuk Batas Atas Pada Periode Yang Dihitung**

Parameter Percepatan Respon 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

### 3. Koefisien Respon Sesimik

Koefisien respons seismik ( $C_s$ ) harus ditentukan sesuai dengan persamaan dibawah ini

$$C_s = \frac{S_{DS}}{R} \frac{1}{I_e} \quad (3.10)$$

Nilai  $C_s$  yang dihitung sesuai dengan persamaan diatas tidak perlu melebihi dari

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left( \frac{R}{I_e} \right)} \quad (3.11)$$

Dan nilai  $C_s$  harus tidak kurang dari

$$C_s = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01 \quad (3.12)$$

Sebagai tambahan, untuk struktur yang berlokasi dimana  $S_1$  sama dengan atau lebih besar dari 0,6g maka  $C_s$  harus tidak kurang dari

$$C_s = \frac{0,5 S_1}{\left( \frac{R}{I_e} \right)} \quad (3.13)$$

Keterangan:

$S_{DS}$  = Parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek.

$S_{D1}$  = Parameter respons spektral percepatan desain pada perioda 1 detik.

$R$  = Faktor modifikasi respon.

$I_e$  = Faktor keutamaan gempa.

$T$  = Periode fundamental struktur (detik)

Hubungan antara nilai maksimum  $S_s$  dalam penentuan  $C_s$  adalah ketika bangunan tersebut beraturan dengan ketinggian lima tingkat atau kurang  $C_s$  diijinkan dihitung menggunakan nilai sebesar 1,5 untuk  $S_s$ .

#### 4. Geser dasar seismik

Geser dasar seismik ( $V$ ), dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai persamaan berikut:

$$V = C_s \cdot W \quad (3.14)$$

Keterangan:

$C_s$  = Koefisien respon seismik yang ditentukan.

$W$  = Berat seismik efektif (kN)

5. Skala gaya

Gaya geser dasar harus dihitung dalam asing-masing dua arah horizontal ortogonal menggunakan periode fundamental struktur yang dihitung. Bila periode melebihi  $C_u T_a$ , harus digunakan sebagai pengganti dari  $T$  dalam arah itu. Kombinasi respons untuk geser dasar ragam ( $V_t$ ) lebih kecil 85% dari geser dasar yang dihitung ( $V$ ) menggunakan prosedur gaya lateral ekuivalen, maka gaya harus dikalikan dengan  $0,85 \cdot \frac{V}{V_t}$ .

6. Distribusi Vertikal Gaya Gempa

Gaya gempa lateral ( $F_x$ ) yang timbul disemua tingkat harus ditentukan dari persamaan berikut

$$F_x = C_{vx} V \quad (3.15)$$

$$C_{vx} = \frac{W_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \quad (3.16)$$

Keterangan:

$C_{vx}$  = Faktor distribusi vertikal.

$V$  = Gaya lateral desain total desain total atau geser (kN).

$w_i$  dan  $w_x$  = Bagian berat seismik efektif total struktur ( $W$ ) yang ditempatkan atau dikenakan pada tingkat  $i$  atau  $x$ .

$h_i$  dan  $h_x$  = Tinggi dari dasar sampai  $i$  atau  $x$  (m)

$k$  = Eksponen yang terkait dengan periode struktur

Untuk struktur yang mempunyai periode sebesar 0,5 detik atau kurang, maka  $k=1$ .

Untuk struktur yang mempunyai periode sebesar 2,5 detik atau lebih, maka  $k=2$ .

Untuk struktur yang mempunyai periode antara 0,5 dan 2,5 detik,  $k$  harus sebesar 2 atau harus ditentukan dengan interpolasi linier antara 1 dan 2.

## 7. Distribusi Horizontal Gaya Gempa

Geser tingkat desain gempa disemua tingkat ( $V_x$ ) harus ditentukan dari persamaan berikut

$$V_x = \sum_{i=x}^n F_i \quad (3.17)$$

Keterangan:

$F_i$  = Bagian dari geser dasar seismik ( $V$ ) yang timbul ditingkat  $i$  (kN)

Geser tingkat desain gempa ( $V_x$ ) harus didistribusikan pada berbagai elemen vertikal sistem penahan gaya gempa ditingkat yang ditinjau berdasarkan pada kekakuan lateral relative elemen penahan vertikal dan diafragmanya.

### 3.1.5 Kombinasi Beban Gempa

Struktur, komponen elemen struktur dan elemen-elemen pondasi harus dirancang hingga kuat rencananya sama atau melebihi pengaruh dari beban-beban terfaktor berikut

1.  $1,4D$  (3.18)

2.  $1,2D + 1,6L$  (3.19)

3.  $1,2D + 1,0E + 1,0L$  (3.20)

4.  $0,9D + 1,0E$  (3.21)

Dari kombinasi 3 dan 4 dijabarkan lagi menjadi persamaan berikut:

3.  $(1,2 + 0,2S_{DS})D + \rho Q_E + L$  (3.22)

4.  $(0,9 - 0,2S_{DS})D + \rho Q_E$  (3.23)

Keterangan:

$D$  = Beban mati pada bangunan (kN).

$L$  = Beban hidup pada bangunan (kN).

$Q_E$  = Pengaruh beban gempa.

$\rho$  = Faktor Redundansi.

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

### 3.1.6 Simpangan Antar Lantai

Penentuan simpangan antar lantai ( $\Delta$ ) harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa ditingkat teratas dan terbawah yang ditinjau. Lihat Gambar 3.7 apabila pusat massa tidak terletak segaris dalam arah vertikal, diizinkan untuk menghitung defleksi di dasar tingkat berdasarkan proyeksi vertikal dari pusat massa tingkat di atasnya. Jika desain tegangan izin digunakan,  $\Delta$  harus dihitung menggunakan gaya gempa tingkat kekuatan yang ditetapkan dalam perhitungan gaya gempa lateral (desain statik ekuivalen) tanpa reduksi untuk desain tegangan izin.

Bagi struktur yang dirancang untuk kategori desain seismik C, D, E, atau F yang memiliki ketidakberaturan horizontal tipe 1a atau 1b, simpangan antar lantai desain ( $\Delta$ ) harus dihitung sebagai selisih terbesar dari defleksi titik-titik di atas dan di bawah tingkat yang diperhatikan yang letaknya segaris secara vertikal, disepanjang salah satu bagian tepi struktur,

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

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

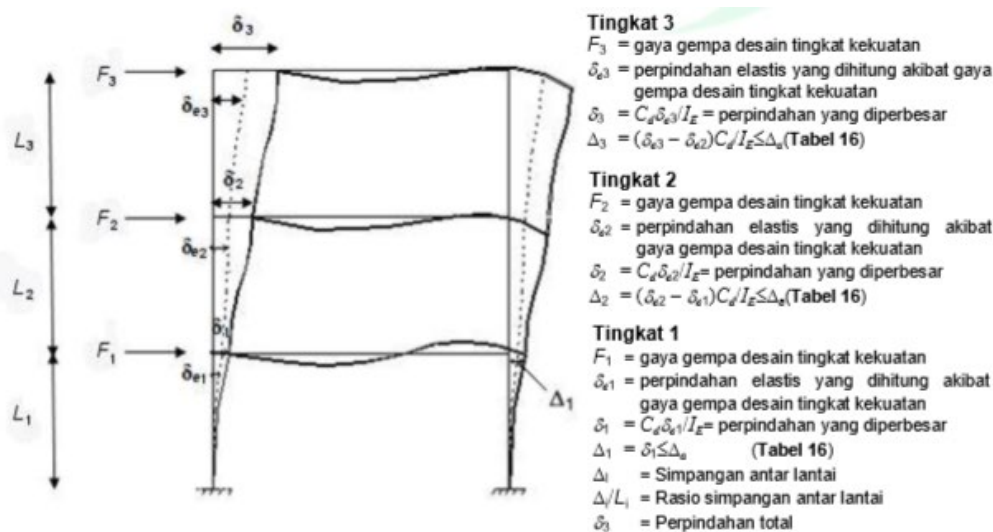
Keterangan:

$C_d$  = Faktor amplifikasi defleksi.

$\delta_{xe}$  = Defleksi pada lokasi yang ditentukan dengan analitis elastis.

$I_e$  = Faktor keutamaan gempa.

Berikut merupakan gambar penentuan simpangan antar lantai berdasarkan SNI 1726:2012



**Gambar 3. 4 Penentuan Simpangan Antar Lantai**

(Sumber: SNI 1726:2012)

Simpangan antar lantai ( $\Delta$ ) seperti ditentukan di atas tidak boleh melebihi simpangan antar lantai tingkat izin ( $\Delta_a$ ) seperti didapatkan dari Tabel 3.9 untuk semua tingkat.

**Tabel 3. 9 Simpangan Antar Lantai Izin ( $\Delta_a$ )**

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

Sumber : SNI 1726:2012



Untuk sistem penahan gaya gempa yang terdiri dari hanya rangka momen pada struktur yang dirancang untuk kategori desain seismic D, E, atau F, simpangan antar lantai tingkat desain ( $\Delta$ ) tidak boleh melebihi  $\Delta_a/\rho$  untuk semua tingkat.

### 3.1.7 Redundansi

Faktor redundansi  $\rho$  harus dikenakan pada sistem penahan gaya gempa dalam masing-masing kedua arah orthogonal untuk semua struktur. Nilai  $\rho$  1,0 diijinkan untuk hal-hal berikut ini :

1. Struktur dirancang untuk kategori desain seismic B atau C
2. Perhitungan simpangan antar lantai dan pengaruh P-delta
3. Desain komponen nonstruktural
4. Desain struktur non gedung yang tidak mirip dengan bangunan gedung
5. Desain elemen kolektor, sambungan lewatan, dan sambungannya di mana kombinasi beban dengan faktor kuat lebih
6. Desain elemen struktur atau sambungan di mana kombinasi beban dengan faktor kuat-lebih
7. Beban diafragma ditentukan menggunakan persamaan 37
8. Struktur dengan sistem peredam
9. Desain dinding struktural terhadap gaya keluar bidang, termasuk sistem angkutnya.

**Tabel 3. 10 Persyaratan untuk masing-masing tingkat yang menahan lebih dari 35 persen**

Elemental penahan gaya lateral	Persyaratan
Rangka dengan bresing	Pelepasan bresing individu, atau sambungan yang terhubung, tidak akan mengakibatkan reduksi kuat tingkat sebesar lebih dari 33 persen, atau sistem yang dihasilkan tidak mempunyai ketidak beraturan torsi yang berlebihan

**Lanjutan Tabel 3.10 Persyaratan untuk masing-masing tingkat yang menahan lebih dari 35 persen**

<b>Elemental penahan gaya lateral</b>	<b>Persyaratan</b>
Rangka pemikul momen	Kehilangan tahanan momen di sambungan balok ke kolom di kedua ujung balok tunggal tidak akan mengakibatkan lebih dari reduksi kuat tingkat sebesar 33 persen, atau sistem yang dihasilkan dari ketidakberaturan torsi yang berlebihan
Dinding geser atau pilar dinding dengan rasio lebih tinggi terhadap panjang lebih besar dari 1,0	Pelepasan dinding geser atau pilar dinding dengan rasio tinggi terhadap panjang lebih dari 1,0 di semua tingkat. Atau sambungan kolektor yang terhubung tidak akan mengakibatkan lebih dari reduksi kuat tingkat sebesar 33 persen, atau sistem yang dihasilkan dari ketidakberaturan torsi yang berlebihan
Kolom kantilever	Kehilangan tahanan momen di sambungan dasar semua kolom kantilever tunggal tidak akan mengakibatkan lebih dari reduksi kuat tingkat sebesar 33 persen, atau sistem yang dihasilkan dari ketidakberaturan torsi yang berlebihan
Lainnya	Tidak ada persyaratan

Sumber : SNI 1726:2012

Untuk struktur yang dirancang untuk kategori desain sesmik D, E, dan F,  $\rho$  harus sama dengan 1,3 kecuali jika satu dari dua kondisi dipenuhi, dimana  $\rho$  diizinkan sebesar 1,0 :

1. Masing – masing tingkat yang menahan lebih dari 35 persen geser dasar dalam arah yang ditinjau,;
2. Struktur dengan denah beraturan disemua tingkat dengan sistem penahan gaya gempa terdiri dari paling sedikit dua bentang perimeter penahan gaya gempa yang merangka pada masing – masing sisi struktur dalam masing –

masing arah orthogonal di setiap tingkat yang menahan lebih dari 35 persen geser dasar. Jumlah bentang untuk dinding geser harus dihitung sebagai dinding geser dibagi dengan tinggi tingkat atau dua kali panjang dinding geser dibagi dengan tinggi tingkat ( $h_{sx}$ ) untuk konstruksi rangka ringan.

#### 3.1.8 Sistem struktur penahan beban gempa

Sistem penahan gaya gempa lateral dan vertikal dasar harus memenuhi salah satu tipe yang ditunjukkan dalam Tabel 3.11. pembagian setiap tipe berdasarkan pada elemen vertikal yang digunakan untuk menahan gaya gempa lateral. Sistem struktur yang harus digunakan harus sesuai dengan batasan sistem struktur dan batasan ketinggian struktur yang ditunjukkan dalam Tabel 3.11. koefisien modifikasi respons yang sesuai  $R$  faktor kuat lebih  $\Omega_0$  dan koefisien amplifikasi defleksi  $C_d$  sebagaimana ditunjukkan dalam tabel harus digunakan dalam penentuan geser dasar, gaya desain elemen, dan simpangan antar lantai tingkat desain.

Setiap sistem penahan gaya gempa yang dipilih harus dirancang dan didetailkan sesuai dengan persyaratan khusus bagi sistem tersebut yang ditetapkan dalam dokumen acuan yang berlaku pada tabel.

Sistem penahan gaya gempa yang tidak termuat dalam tabel diijinkan apabila data analisis dan data uji diserahkan kepada pihak berwenang memberi persetujuan, yang membentuk karakteristik dinamis dan menunjukkan tahanan gempa lateral dan kapasitas disipasi energi agar ekuivalen dengan sistem struktur yang terdaftar.

Untuk nilai – nilai ekuivalen dari koefisien modifikasi respons  $R$  koefisien kuat-lebih sistem  $\Omega_0$  dan faktor amplifikasi  $C_d$  yang dikenakan pada setiap sistem penahan gaya gempa masuk batasan sistem struktur yang termuat dalam Tabel 3.11 dibawah ini.

Tabel 3. 11 faktor  $R$ ,  $\Omega_0$ , dan  $C_d$  untuk sistem penahan gempa

Sistem penahan gaya seismik	$R$	$\Omega_0$	$C_d$	Batasan sistem struktur dan tinggi struktur				
				Kategori desain seismik				
Sistem rangka pemikul momen				B	C	D	E	F
1. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus	8	3	5,5	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4,5	TB	TB	TI	TI	TI
3. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2,5	TB	TI	TI	TI	TI

Sumber : SNI 1726:2012

\*TB : tidak dibatasi dan TI : tidak diijinkan.

### 3.1.9 Pengaruh P-delta

Pengaruh P-delta pada geser dan momen tingkat, gaya dan momen elemen struktur yang dihasilkan, dan simpangan antar lantai yang timbul oleh pengaruh ini tidak disyaratkan untuk diperhitungkan bila koefisien stabilitas ( $\theta$ ) seperti ditentukan oleh persamaan berikut sama dengan atau kurang dari 0,10:

$$\theta = \frac{P_x \Delta I_e}{V_x h_{sx} C_d} \quad (3.25)$$

Koefisien stabilitas ( $\theta$ ) harus tidak melebihi  $\theta_{max}$  yang ditentukan sebagai berikut:

$$\theta_{max} = \frac{0,5}{\beta C_d} \leq 0,25 \quad (3.26)$$

Keterangan:

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

$\Delta$  = Simpangan antar lantai tingkat desain (mm).

$I_e$  = Faktor keutamaan gempa.

- $V_x$  = Gaya geser seismic yang bekerja antara tingkat  $x$  dan  $x-1$  (kN).  
 $h_{sx}$  = Tinggi tingkat di bawah  $x$  (mm).  
 $C_d$  = Faktor pembesaran defleksi.  
 $\beta$  = Kebutuhan geser terhadap kapasitas geser.

dimana  $\beta$  adalah kebutuhan geser terhadap kapasitas geser untuk tingkat antara tingkat  $x$  dan  $x-1$ . Rasio ini diizinkan secara konservatif diambil 1,0. Jika koefisien stabilitas ( $\theta$ ) lebih besar dari 0,10 tetapi kurang dari atau sama dengan  $\theta_{max}$ , faktor peningkatan terkait dengan pengaruh P-delta pada perpindahan dan gaya komponen struktur harus ditentukan dengan analisis rasional. Sebagai alternatif, diizinkan untuk mengalikan perpindahan dan gaya komponen struktur dengan  $\frac{1,0}{1-\theta}$ .

jika  $\theta$  lebih besar dari  $\theta_{max}$ , struktur berpotensi tidak stabil dan harus didesain ulang. Jika pengaruh P-delta disertakan dalam analisis otomatis, Persamaan 3.26 masih harus dipenuhi. Akan tetapi, nilai  $\theta$  yang dihitung dari Persamaan 3.25 menggunakan hasil analisis P-delta diizinkan dibagi dengan  $(1+\theta)$  sebelum diperiksa dengan Persamaan 3.26.

### 3.2 Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah Dan Gedung 1987

Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung dimaksudkan untuk memberikan pedoman dalam menentukan beban yang diijinkan untuk merencanakan bangunan rumah dan gedung. Dalam merencanakan beban untuk rumah dan gedung diharuskan memperhatikan penggunaan beban - beban yang diijinkan dalam perencanaan tersebut seperti, beban - beban hidup untuk atap miring, gedung parkir bertingkat dan landasan helikopter pada atap gedung tinggi di mana parameter - parameter pesawat helikopter yang dimuat praktis sudah mencakup semua jenis pesawat yang biasa dioperasikan. Termasuk juga reduksi beban hidup untuk perencanaan balok induk dan portal serta peninjauan gempa, yang pemakaiannya optional bukan keharusan,terlebih bila reduksi tersebut membahayakan konstruksi atau unsur konstruksi yang ditinjau.

Dalam buku pedoman ini dimuat ketentuan mengenai pembebanan, beban mati, beban hidup, beban angin, beban gempa, beban khusus, juga peninjauan beban batas dan beban kerja faktor keamanan dalam peninjauan kemandapan.

### 3.2.1 Beban Mati (Dead Load )

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 yang 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 dari Tabel 3.12 . Bahan bangunan dan komponen gedung yang tidak tercantum dalam tabel berikut harus ditentukan sendiri.

**Tabel 3. 12 Berat Sendiri Bahan Bangunan Dan Komponen Gedung**

<b>Berat Sendiri</b>	
<b>Bahan Bangunan</b>	<b>Kg/m<sup>3</sup></b>
Baja	7850
Batu alam	2600
Batu belah, batu bulat, batu gunung (berat tumpuk)	1500
Batu karang (berat tumpuk)	700
Batu pecah	1450
Besi tuang	7250
Beton	2200
Beton bertulang	2400
Kayu (Kelas 1)	1000
Kerikil, koral (kering udara sampai lembab, tanpa diayak)	1650
Pasangan bata merah	1700
Pasangan batu belah, batu bulat, batu gunung	2200
Pasangan batu cetak	2200
Pasangan batu karang	1450

**Lanjutan Tabel 3.12 Berat Sendiri Bahan Bangunan Dan Komponen Gedung**

<b>Berat Sendiri</b>	
<b>Bahan Bangunan</b>	<b>Kg/m<sup>3</sup></b>
Pasir (kering udara sampai lembab)	1600
Pasir (jenuh air)	1800
Pasir kerikil, koral (kering udara sampai lembab)	1850
Tanah, lempung, dan lanau (kering udara sampai lembab)	1700
Tanah, lempung, dan lanau (basah)	2000
Timah hitam (timbel)	11400
<b>Komponen bangunan</b>	<b>Kg/m<sup>2</sup></b>
Adukan, per cm tebal:	
1. Dari semen	21
2. Dari kapur, semen merah atau tras	17
Aspal, termasuk bahan-bahan mineral penambah, per cm tebal	14
Dinding pasangan bata merah:	
1. Satu batu	450
2. Setengah batu	250
Dinding pasangan batako:	
Berlubang:	
1. Tebal dinding 20 cm (HB20)	200
2. Tebal dinding 10 cm (HM10)	120
Tanpa Lubang:	
1. Tebal dinding 15 cm	300
2. Tebal dinding 10 cm	200
Langit-langit dan dinding (termasuk rusuk-rusuknya, tanpa penggantung langit-langit atau pengaku), terdiri dari:	
1. Semen asbes (eternit dan bahan lain sejenis) dengan tebal maksimum 4 mm	11
2. Kaca, dengan tebal 3 – 5 mm	10

**Lanjutan Tabel 3.12 Berat Sendiri Bahan Bangunan Dan Komponen Gedung**

<b>Berat Sendiri</b>	
<b>Komponen bangunan</b>	<b>Kg/m<sup>2</sup></b>
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
Penggantung langit-langit (dari kayu), dengan bentang maksimum 5 m dan jarak s.k.k. minimum 0,80 m	7
Penutup atap genting dengan reng dan usuk/kaso per m <sup>2</sup> bidang atap	50
Penutup atas sirap dengan reng dan usuk/kaso per m <sup>2</sup> bidang atap	40
Penutup atap seng gelombang (BJLS-25) tanpa usuk	10
Penutup lantai dari ubin semen portland, teraso, dan beton, tanpa adukan, per cm tebal	24
Semen asbes gelombang (tebal 5 mm)	11

Sumber: PPPURG 1987

### 3.2.2 Beban Hidup (*Life Load*)

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 tak terpisahkan dari gedung dan dapat diganti selama masa hidup dari gedung itu, sehingga mengakibatkan perubahan dalam pembebanan lantai dan atap tersebut.

Beban hidup pada lantai gedung harus diambil menurut Tabel 3.13. Kedalam beban hidup tersebut sudah termasuk perlengkapan ruang yang bersangkutan, dan juga dinding-dinding pemisah ringan dengan berat tidak lebih dari 100 kg/m<sup>2</sup> beban-beban berat, misalnya yang disebabkan oleh lemari-lemari arsip dan perpustakaan serta oleh alat-alat, mesin-mesin dan barang-barang lain tertentu yang sangat berat, harus ditentukan tersendiri.



Beban hidup pada atap dan bagian atap serta pada struktur tudung (*canopy*) yang dapat dicapai dan terbebani oleh orang, harus diambil minimum sebesar 100 kg/m<sup>2</sup> bidang datar.

Beban hidup pada atap dan bagian atap yang tidak dapat dicapai dan dibebani oleh orang, harus diambil yang paling menentukan diantara dua macam beban berikut:

1. Beban terbagi rata per m<sup>2</sup> bidang datar berasal dari beban air hujan sebesar  $(40 - 0,8 \alpha)$  kg/m<sup>2</sup> di mana  $\alpha$  adalah sudut kemiringan atap dalam derajat, dengan ketentuan bahwa beban tersebut tidak perlu diambil lebih besar dari 20 kg/m<sup>2</sup> dan tidak perlu ditinjau bila kemiringan atapnya adalah lebih besar dari 50° .;
2. Beban terpusat berasal dari seorang pekerja atau seorang pemadam kebakaran dengan peralatannya sebesar minimum 100 kg.

**Tabel 3. 13 Beban Hidup Pada Lantai Gedung**

<b>Penggunaan</b>	<b>Beban</b>
a. Lantai dan tangga rumah tinggal, kecuali disebut dalam b	200 kg/m <sup>2</sup>
b. Lantai dan tangga rumah tinggal sederhana dan gudang-gudang tidak penting yang bukan untuk toko, pabrik atau bengkel	125 kg/m <sup>2</sup>
c. Lantai sekolah, ruang kuliah, kantor, toko, toserba, restoran, hotel, asrama, dan rumah sakit	250 kg/m <sup>2</sup>
d. Lantai ruang olahraga	400 kg/m <sup>2</sup>
e. Lantai ruang dansa	500 kg/m <sup>2</sup>
f. Lantai dan balkon-dalam dari ruang-ruang untuk pertemuan yang lain dari pada yang disebut dalam a s/d e, seperti mesjid, gereja, ruang pagelaran, ruang rapat, bioskop dan panggung penonton dengan tempat duduk tetap	400 kg/m <sup>2</sup>
g. Panggung penonton dengan tempat duduk tidak tetap atau penonton yang berdiri	500 kg/m <sup>2</sup>
h. Tangga, bordes tangga dan gang dari yang disebut dalam c	300 kg/m <sup>2</sup>

**Lanjutan Tabel 3.13 Beban Hidup Pada Lantai Gedung**

<b>Penggunaan</b>	<b>Beban</b>
i. Tangga, bordes tangga dan gang dari yang disebut dalam d, e, f, dan g	500 kg/m <sup>2</sup>
j. Lantai ruang pelengkap dari yang disebut dalam c, d, e, f dan g	250 kg/m <sup>2</sup>
k. 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 kg/m <sup>2</sup>
l. Lantai gedung parkir bertingkat <ul style="list-style-type: none"> <li>- Untuk lantai bawah</li> <li>- Untuk lantai tingkat lainnya</li> </ul>	800 kg/m <sup>2</sup> 400 kg/m <sup>2</sup>
m. Balkon-balok yang menjorok bebas keluar harus direncanakan terhadap beban hidup dari lantai ruang yang berbatasan, dengan minimum	300 kg/m <sup>2</sup>

Sumber: PPPURG 1987

Peluang untuk tercapainya suatu prosentase tertentu dari beban hidup yang membebani struktur pemikul suatu gedung selama umur gedung tersebut, bergantung pada bagian atau unsur struktur yang ditinjau dan bergantung pula pada penggunaan gedung itu dan untuk apa beban hidup tersebut ditinjau. Berhubung terjadinya beban hidup penuh yang membebani semua bagian dan semua unsur struktur pemikul secara serempak selama umur gedung tersebut adalah sangat kecil. Beban hidup tersebut dapat dianggap tidak efektif sepenuhnya, sehingga beban hidup terbagi rata dapat dikalikan dengan suatu koefisien reduksi.

Tabel 3. 14 Koefisien Reduksi Beban Hidup

Penggunaan gedung	Koefisien reduksi beban hidup	
	Untuk perencanaan balok induk dan portal	Untuk peninjauan gempa
Perumahan / Penghunian: Rumah tinggal, asrama, hotel, rumah sakit	0,75	0,30
Pendidikan: Sekolah, ruang kuliah	0,90	0,50
Pertemuan Umum: Mesjid, gereja, bioskop, restoran, ruang dansa, ruang pagelaran	0,90	0,50
Kantor: Kantor, bank	0,60	0,30
Perdagangan: Toko, toserba, pasar	0,80	0,80
Penyimpanan: Gudang perpustakaan, ruang arsip	0,80	0,80
Industri: Pabrik, bengkel	1,00	0,90
Tempat Kendaraan: Garasi, tempat parkir	0,90	0,50
Gang Dan Tangga:		
1. Perumahan/penghunian	0,75	0,30
2. Pendidikan, kantor	0,75	0,50
3. Pertemuan umum, perdagangan, penyimpanan, industri, tempat kendaraan	0,90	0,50

Sumber: PPPURG 1987

## BAB IV METODE PENELITIAN

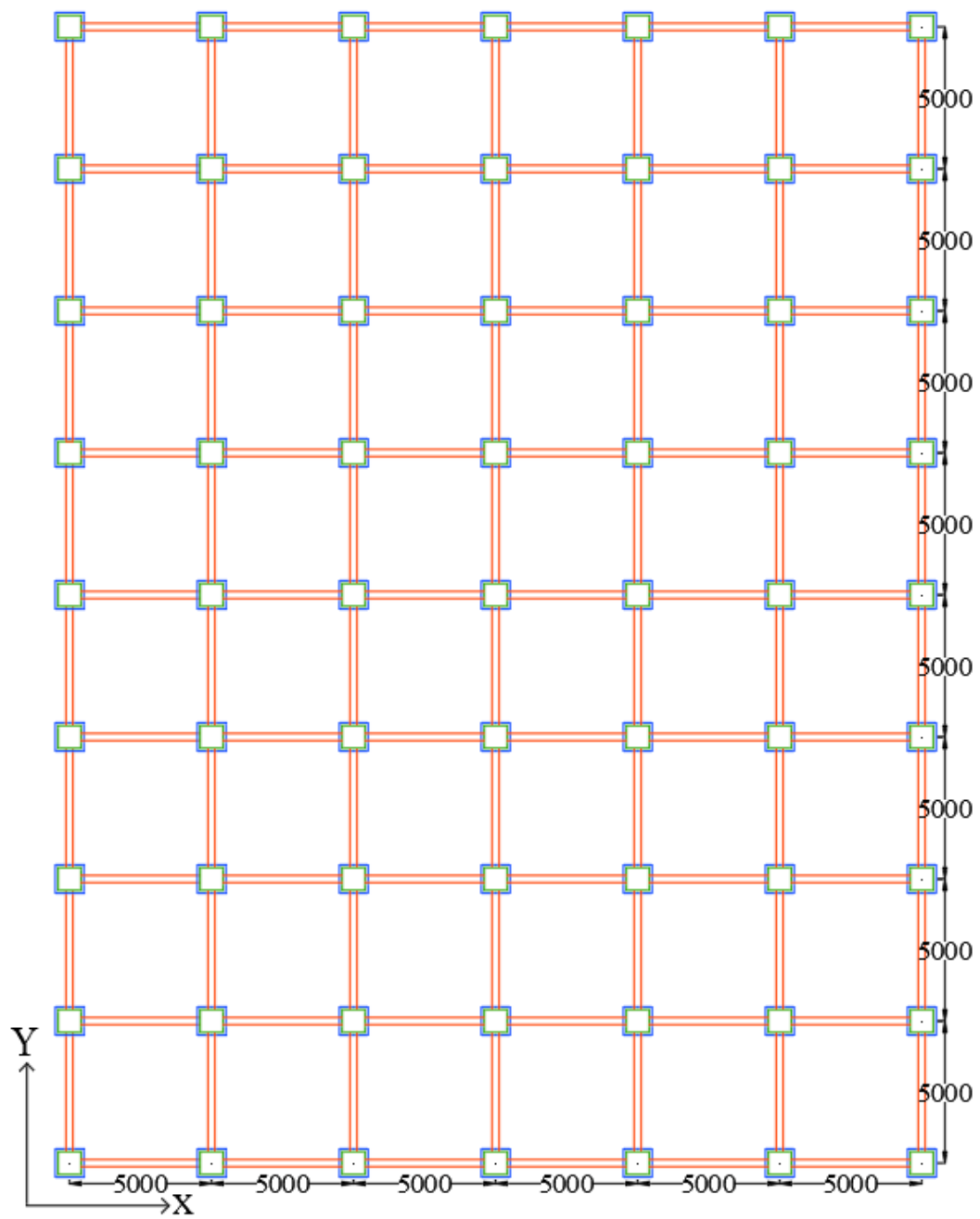
### 4.1 Pemodelan Struktur

Dalam penelitian ini, model struktur yang digunakan adalah model portal tiga dimensi. Adapun beberapa informasi atau data yang berhubungan dengan model bangunan yang akan dianalisis dapat dilihat pada Tabel 4.1.

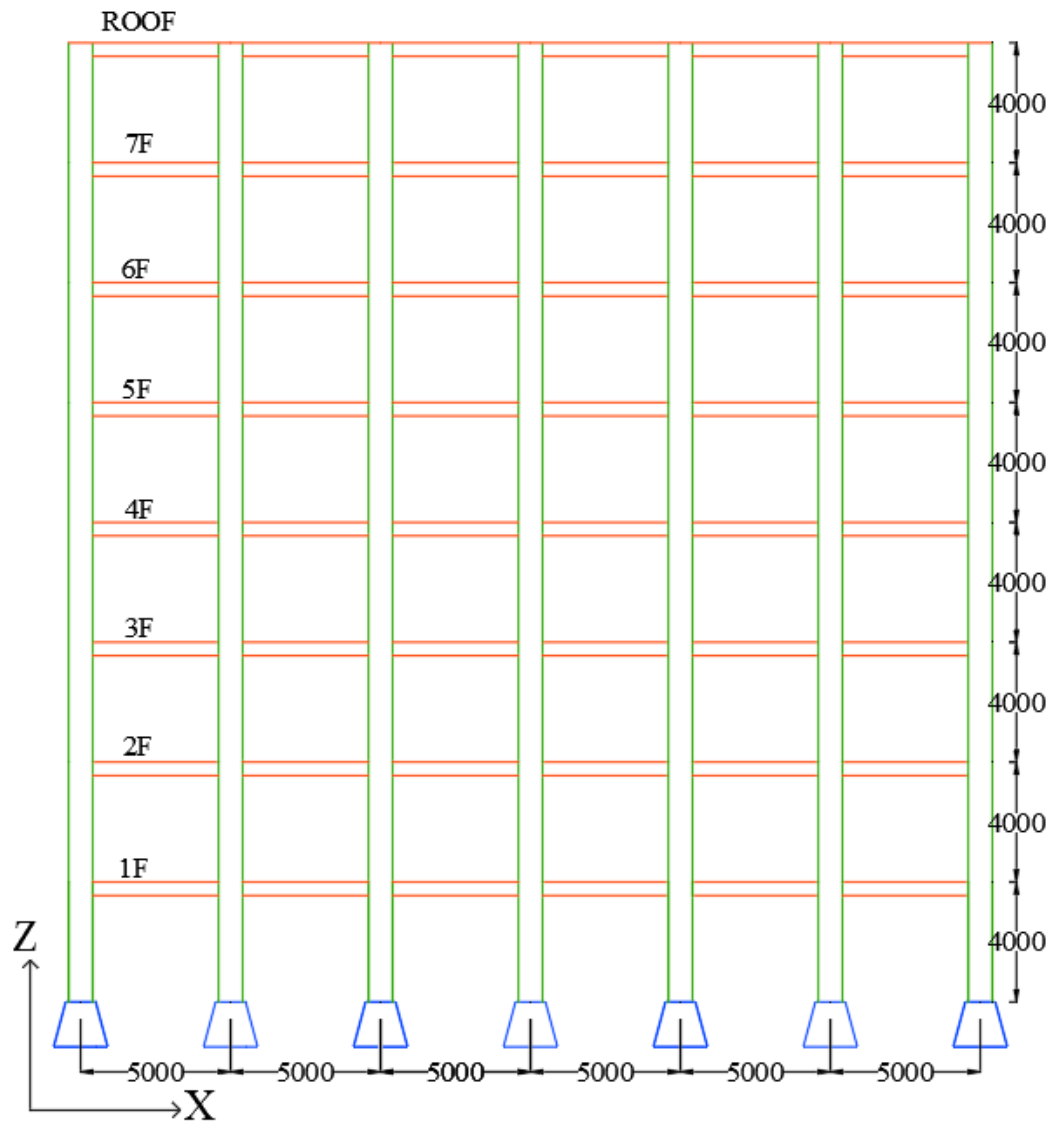
**Tabel 4. 1 Informasi Mengenai Model Bangunan**

Informasi	Keterangan
Fungsi bangunan	Hunian atau untuk tempat tinggal (perhotelan, hotel)
Jenis Bangunan	<i>Non - Existing</i>
Lokasi bangunan	Yogyakarta
Jenis tanah	Tanah Keras
Jumlah lantai	6, 8, dan 10 lantai
Tinggi lantai	4 meter
Dimensi Kolom	70x70 cm, 80x80 cm, 90x90 cm
Panjang bangunan arah X	6@5 m = 30 meter
Panjang bangunan arah Y	8@5 m = 40 meter
Permodelan	3 dimensi
Mutu beton ( $f'c$ )	30 MPa
Mutu tulangan $F_y$	420 Mpa

Denah struktur bangunan seluruh portal bangunan, serta tampak samping arah x dan tampak samping arah y untuk portal gendung 8 lantai dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

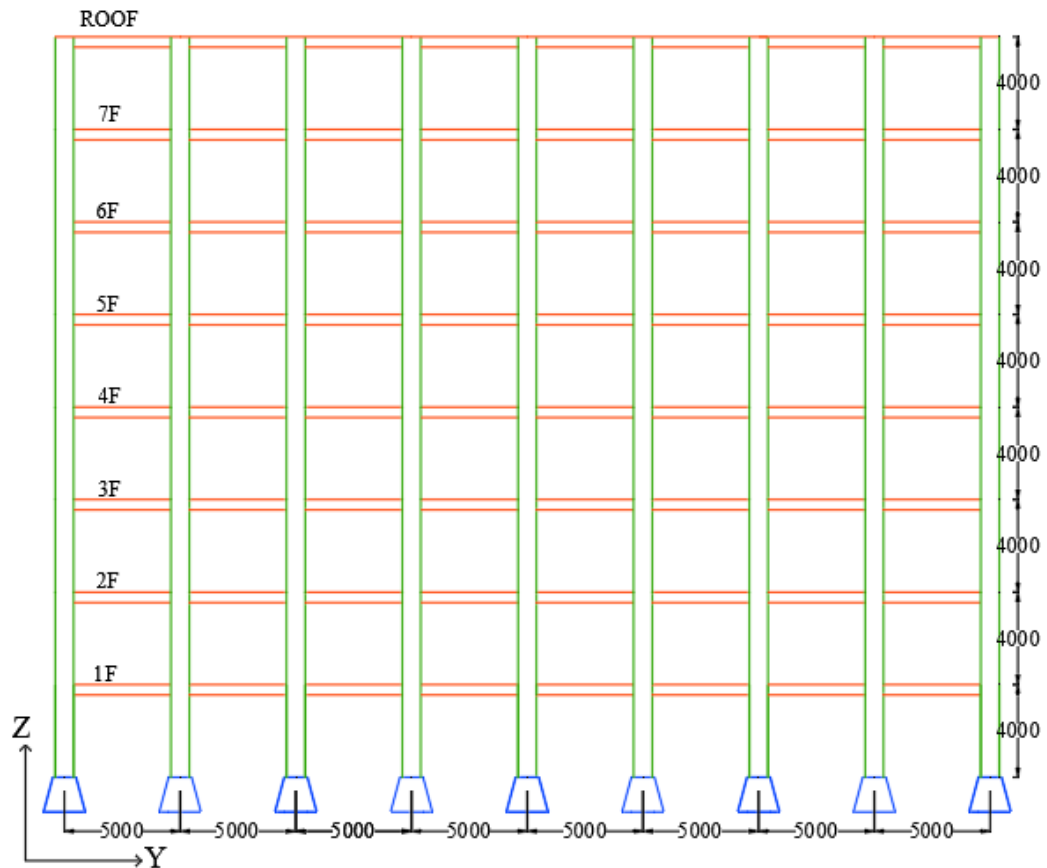


**Gambar 4.1 Denah Struktur Bangunan**



Gambar 4.2 Tampak Arah X

الجمهورية الإسلامية الجزائرية  
الجامعة الجزائرية  
الكلية الهندسية  
الهندسة المدنية



**Gambar 4.3 Tampak Arah Y**

## 4.2 Desain Struktur

Desain struktur meliputi pembebanan struktur, analisis struktur, serta desain kolom dan balok.

### 4.2.1 Pembebanan

Perhitungan pembebanan mengacu pada buku Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung tahun 1987 (PPPURG 1987). Beban-beban yang bekerja antara lain :

1. **Beban mati**

Beban mati terdiri dari berat struktur bangunan yang terdiri dari balok, kolom pelat dan dinding.

2. **Beban hidup**

Beban hidup untuk hotel adalah  $250 \text{ kg/m}^2$  dan beban hidup untuk atap adalah  $100 \text{ kg/m}^2$ .

### 3. Beban gempa

Beban gempa akan dihitung dengan mengacu pada SNI 1726 – 2012 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur gedung dan non-gedung.

#### 4.2.2 Analisis Struktur

Metode analisis merupakan metode atau cara yang digunakan untuk mempermudah dalam pengolahan data. Data yang digunakan adalah data yang penulis rancang sendiri atau data bangunan *non-existing*. Data tersebut akan dibuat permodelan strukturnya lalu dianalisis dengan menggunakan program bantu SAP2000 untuk mempermudah penelitian. Analisis struktur mengacu pada pedoman dan standar yang digunakan.

#### 4.2.3 Perencanaan Kolom dan Balok

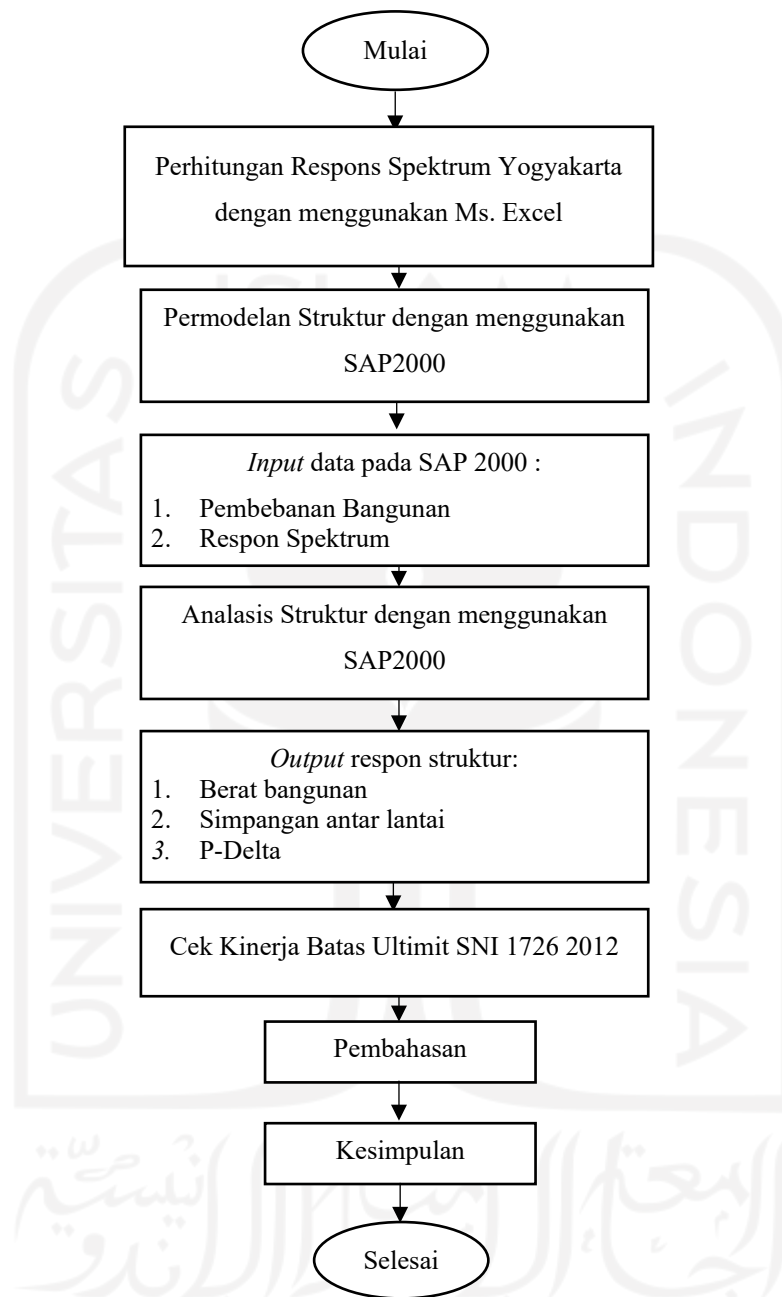
Bangunan yang digunakan adalah bangunan dengan dimensi kolom seragam pada tiap tingkatnya. Bangunan yang semua kolom yang setingkat mau pun beda tingkat menggunakan dimensi yang sama. Adapun beberapa rencana desain kolom dan balok sebagai berikut.

1. Dimensi kolom yang akan digunakan adalah 70x70 cm, 80x80 cm, dan 90x90 cm, yang akan dianalisis pada portal gedung tingkat 6, 8, dan 10 lantai.;
2. Tinggi balok yang digunakan adalah 1/12 panjang bentang balok, dan lebar balok yang digunakan adalah ½ tinggi balok.
3. Tidak menghitung kebutuhan tulangan pada balok, kolom dan pelat.

### 4.3 Bagan Alir Penelitian

Bagan alir penelitian ini akan menunjukkan bagaimana proses penelitian yang akan dilakukan sampai dengan hasil dan kesimpulan. Bagan alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.4





**Gambar 4. 4 Flowchart Penelitian**



## BAB V

### ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pada BAB V akan menjelaskan hasil analisis serta pembahasan dari analisis yang telah dilakukan. Hasil analisis yang ditulis dibawah ini adalah hasil analisis dari portal 10 lantai dengan menggunakan kolom ukuran 90 mm x 90 mm.

#### 5.1 Data Perencanaan

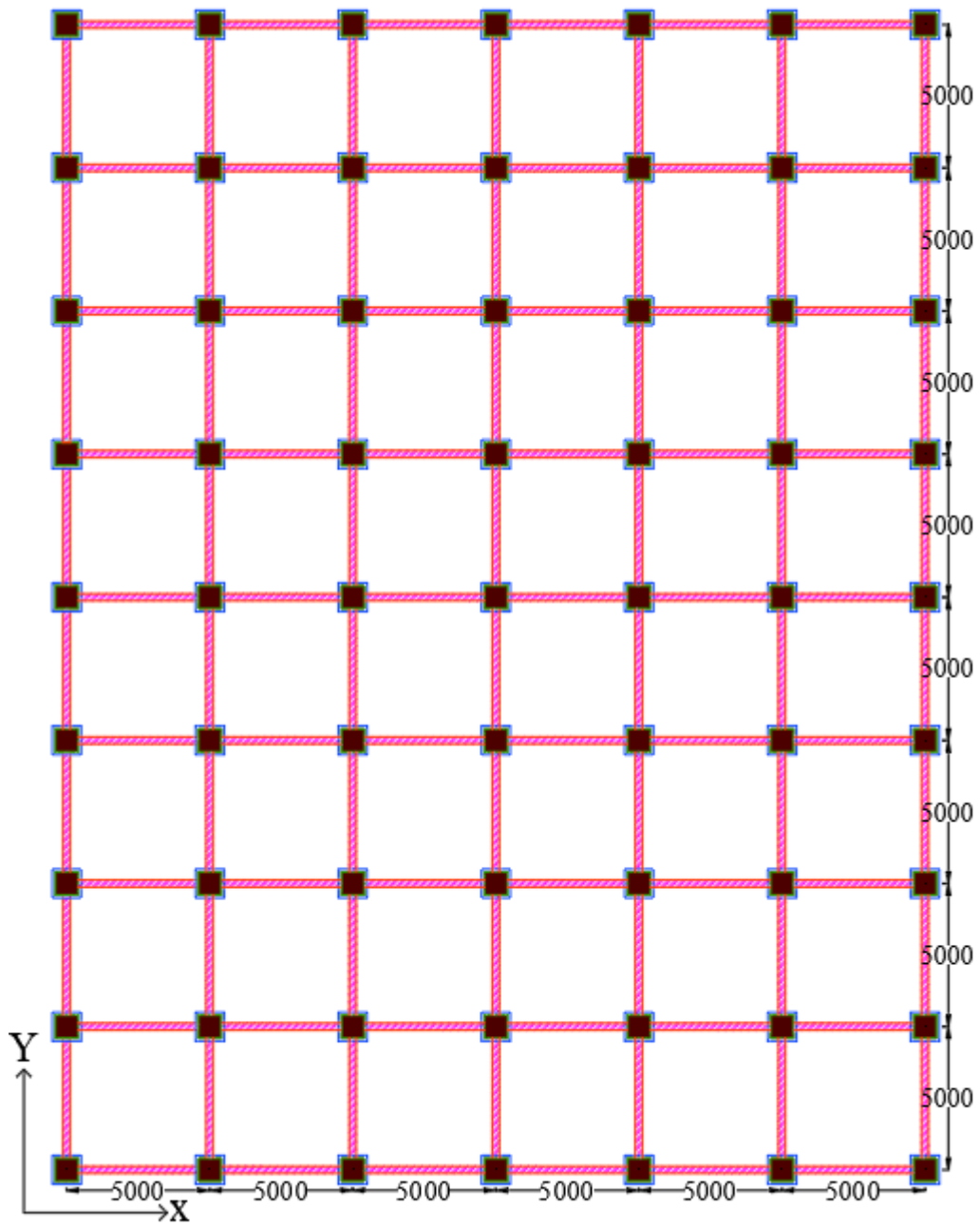
Sebagai dasar dalam merencanakan struktur bangunan bertingkat, maka diperlukan data-data tentang perencanaan struktur bangunan terlebih dahulu yaitu sebagai berikut.

##### 5.1.1 Data Bangunan

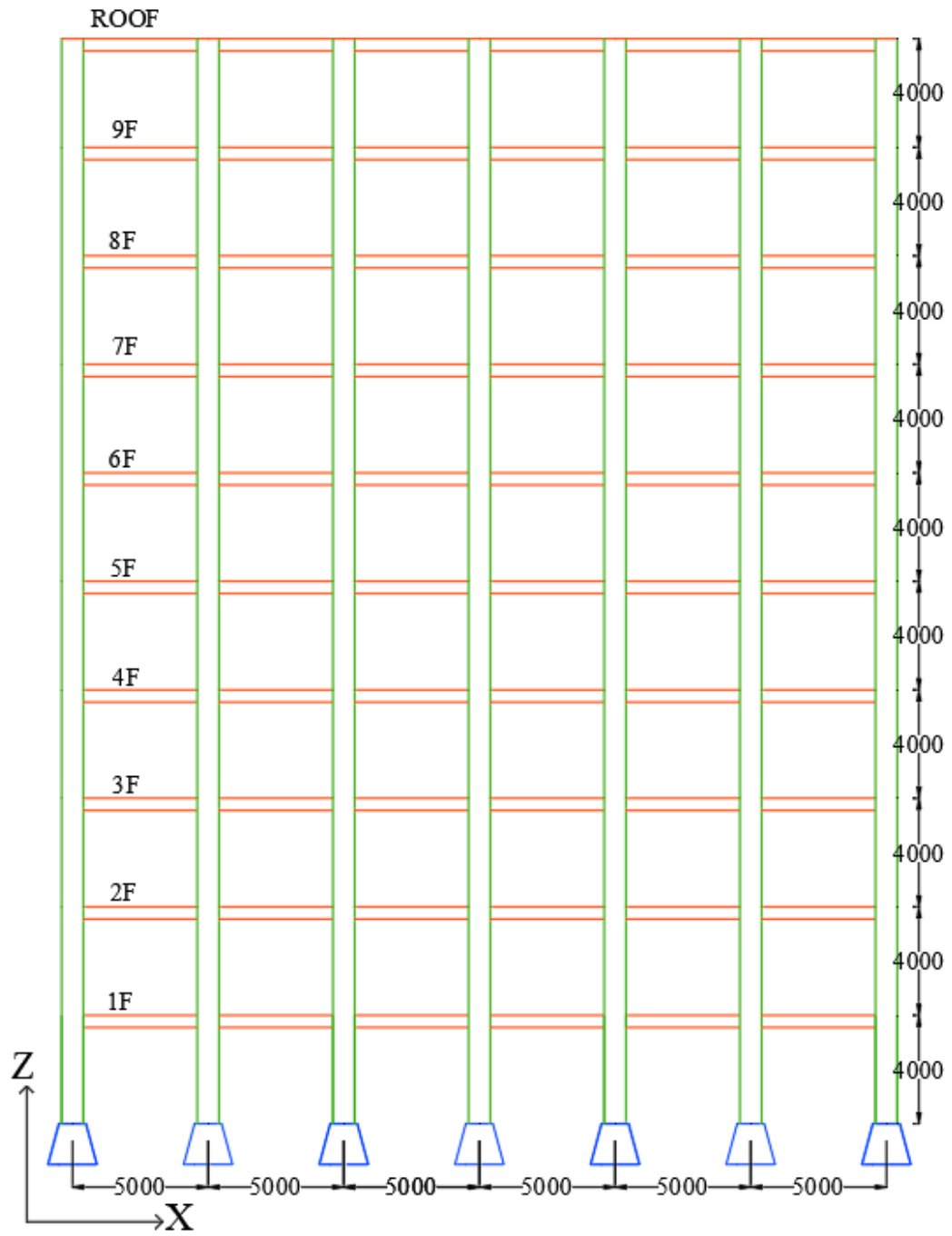
Data bangunan dapat dilihat dibawah ini :

1. Fungsi bangunan : Hunian atau tempat untuk tinggal ( Hotel )
2. Jenis bangunan : *Non-Existing*
3. Lokasi : Yogyakarta
4. Jenis tanah : Tanah keras
5. Model bangunan : Portal 6 lantai, portal 8 lantai, dan portal 10 lantai
6. Dimensi kolom : 70x70 cm, 80x80 cm, 90x90 cm
7. Tinggi lantai : 4 meter
8. Panjang bangunan arah X : 6@5 meter
9. Panjang bangunan arah Y : 8@5 meter
10. Sistem struktur : Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)
11. Peta gempa : Peta Sebaran Gempa 2017
12. Mutu beton : 30 Mpa
13. Mutu tulangan : 420 Mpa

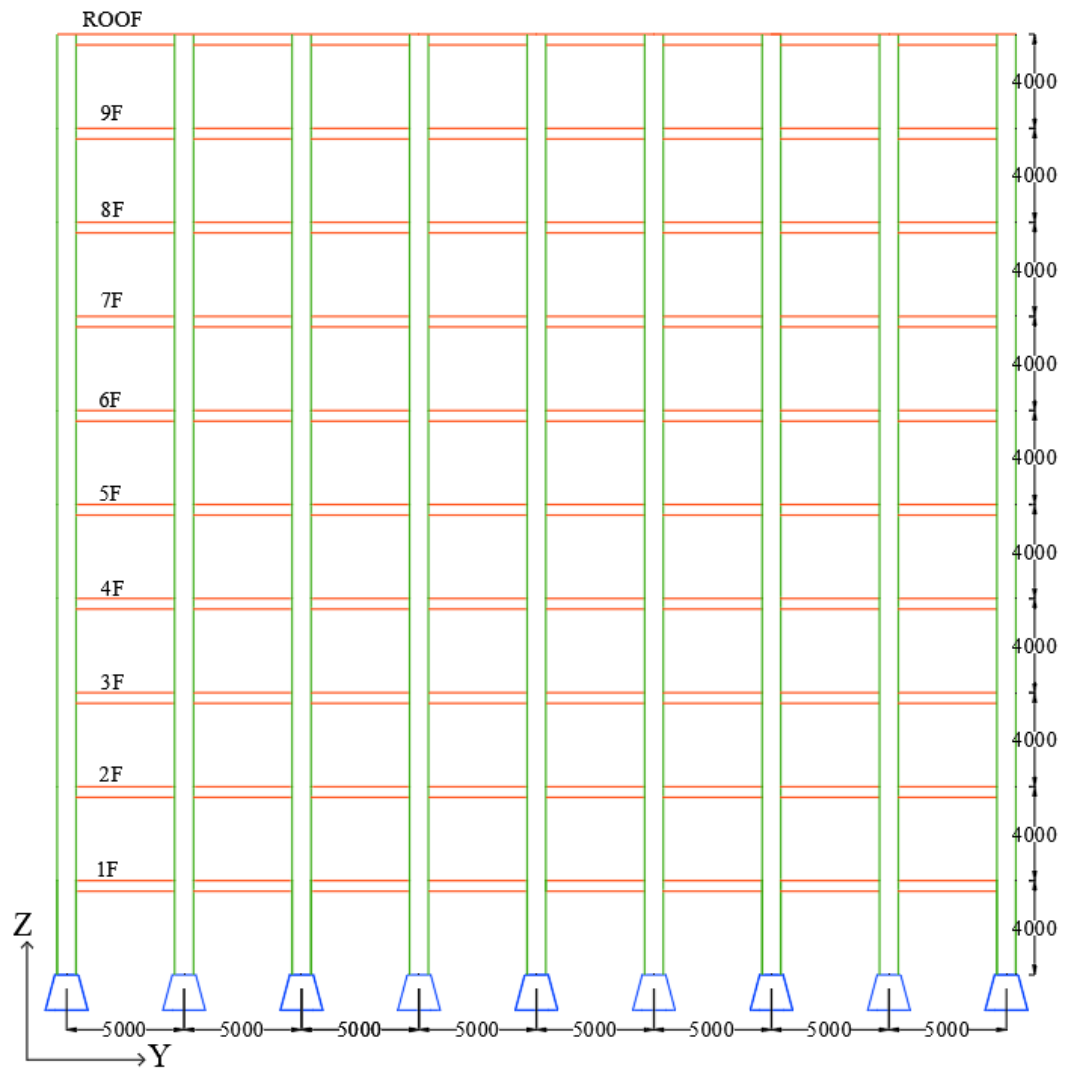
Denah struktur bangunan seluruh portal bangunan, serta tampak samping arah x dan tampak samping arah y untuk portal gendung 10 lantai dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 5. 1 Denah Struktur Bangunan

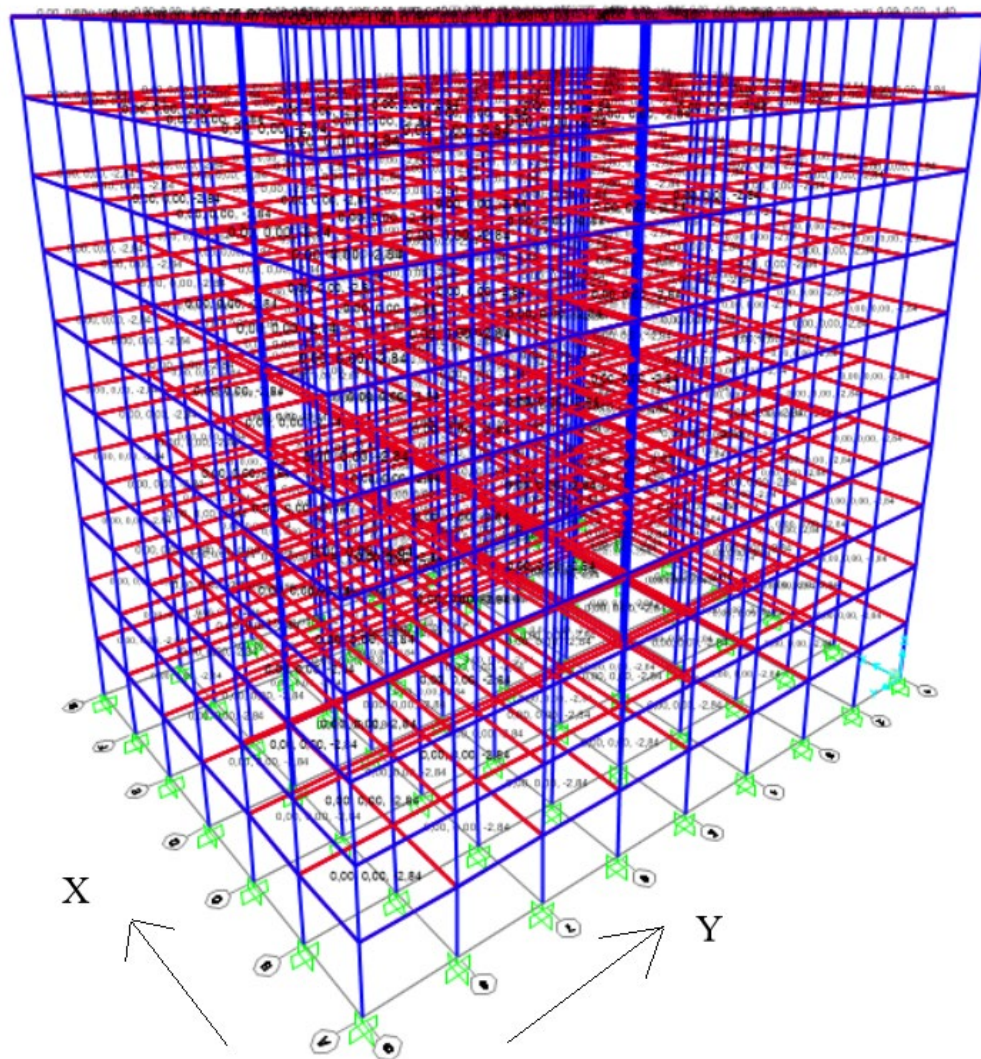


**Gambar 5. 2 Portal 10 Lantai Arah X**



**Gambar 5. 3 Portal 10 Lantai Arah Y**

الجامعة الإسلامية  
الاستدراك التمهيدية



**Gambar 5. 4 Portal 10 Lantai pada SAP2000**

### 5.1.2 Perencanaan Awal

Perencanaan awal adalah perencanaan yang meliputi dimensi struktur seperti perencanaan dimensi balok, pelat dan kolom sebagai elemen – elemen dari struktur gedung.

#### 1. Perencanaan Balok

Pada model portal bangunan ini memiliki panjang balok arah X dan arah Y yang sama pada tiap lantainya yaitu 5 meter, maka dimensi balok yang dihitung pada arah x dan arah y juga mempunyai hasil yang sama.

Diketahui :  $L = 5000 \text{ mm}$

$$\begin{aligned}
 F_y &= 420 \text{ Mpa} \\
 h &= 1/12 \times L \\
 &= 1/12 \times 5000 \\
 &= 416.7 \text{ mm} \\
 h_{\text{pakai}} &= 450 \text{ mm} \\
 b &= h/2 \\
 &= 450/2 \\
 &= 225 \text{ mm} \\
 b_{\text{pakai}} &= 250 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Jadi, dimensi balok yang dipakai adalah tinggi 450 mm dan lebar 250 mm untuk balok arah X dan arah Y.

## 2. Perencanaan Pelat

Pada perencanaan pelat harus dihitung dulu bentang bersih pelat, rasio dimensi dan menghitung rasio kekakuan pelat yang bertujuan untuk memperhitungkan efek kekakuan balok yang berada disepanjang tepi pelat yang mengurangi defleksi pelat tumpuannya. Pada perhitungan ini diperuntukan untuk mencari tebal pelat lantai dan tebal pelat balok.

### a. Bentang Bersih Pelat

$$\begin{aligned}
 L_{ny} &= L_y - (1/2 b \text{ balok tumpuan kiri}) - (1/2 b \text{ balok tumpuan kanan}) \\
 &= 5000 - (1/2 \times 250) - (1/2 \times 250) \\
 &= 4750 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L_{nx} &= L_x - (1/2 b \text{ balok tumpuan kiri}) - (1/2 b \text{ balok tumpuan kanan}) \\
 &= 5000 - (1/2 \times 250) - (1/2 \times 250) \\
 &= 4750 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

### b. Rasio Dimensi ( $\beta$ )

$$\begin{aligned}
 \beta &= L_{ny}/L_{nx} \\
 &= 4750/4750 \\
 &= 1
 \end{aligned}$$

Karena hasil rasio dimensinya 1 dapat disimpulkan pelat dua arah sesuai dengan SNI 2847 2013.



c. Rasio Kekakuan ( $\alpha_m$ )

Tebal pelat minimal yang digunakan  $h_{min} = 120$  mm

$$\begin{aligned}\alpha_m &= \frac{\frac{1}{12} \times b \times h^3}{\frac{1}{12} \times Lx \times h^3} \\ &= \frac{\frac{1}{12} \times 250 \times 450^3}{\frac{1}{12} \times 5000 \times 120^3} \\ &= 2.673\end{aligned}$$

Dikarenakan semua sisinya sama pada arah X maupun arah Y dan tiap lantainya sama maka nilai rasio kekakuan diambil 2.673.

## d. Perhitungan Tebal Pelat

Berdasarkan peraturan SNI 2347 2013 pasal 9.5.3.3. tebal pelat minimum ( $h_{min}$ ) apabila nilai  $\alpha_m$  rata – ratanya melebihi 2, dapat dihitung dengan rumus berikut.

$$\begin{aligned}h_{min} &= \frac{Lny \times (0.8 \times \frac{f_y}{1400})}{36 + 9\beta} \\ &= \frac{4750 \times (0.8 \times \frac{420}{1400})}{36 + 9 \times 1} \\ &= 116.111 \text{ mm}\end{aligned}$$

Sedangkan untuk menghitung tebal maksimumnya ( $h_{max}$ ) digunakan rumus sebagai berikut

$$\begin{aligned}h_{max} &= \frac{Lny \times (0.8 \times \frac{f_y}{1400})}{36} \\ &= \frac{4750 \times (0.8 \times \frac{420}{1400})}{36} \\ &= 145.1388 \text{ mm}\end{aligned}$$

Jadi, tebal pelat lantai dan tebal pelat atap yang akan digunakan adalah  $h = 120$  mm

## 3. Perencanaan Kolom

Pada perencanaan bangunan ini akan menggunakan kolom berbentuk bujur sangkar yang dimensinya telah ditetapkan penulis yaitu:

Kolom 1 = 70 cm x 70 cm

Kolom 2 = 80 cm x 80 cm

Kolom 3 = 90 cm x 90 cm

Dimana kolom - kolom ini akan digunakan pada permodelan secara seragam di semua portalnya.

## 5.2 Pembebanan

Pembebanan terdiri dari beban mati dan beban hidup bangunan yang didasarkan pada PPPURG 1987, dapat dilihat pada detail berikut ini.

### 5.2.1 Beban Mati

Beban mati pada pemodelan struktur terdiri dari beban mati pada pelat lantai, pelat atap, dan dinding. Dapat dilihat pada Tabel 5.1 sampai Tabel 5.2 sebagai berikut.

#### 1. Pelat Lantai

**Tabel 5. 1 Beban Mati Pada Pelat Lantai**

No	Material	Berat Volume		Tebal/Tinggi (m)	Beban (kN/m <sup>2</sup> )
		Nilai	Satuan		
1	Berat sendiri pelat	24	kN/m <sup>3</sup>	0,12	2,88
2	Spesi	17	kN/m <sup>2</sup>	0.03	0,51
3	Pasir	17	kN/m <sup>3</sup>	0,04	0,68
4	Keramik/ Tegel	0,25	kN/m <sup>2</sup>	1	0,25
5	Plafon/ Langit-langit	0,25	kN/m <sup>2</sup>	1	0,25
6	Pengantung Langit2	0,1	kN/m <sup>3</sup>	1	0,1
7	Water Proofing	20	kN/m <sup>2</sup>	0,03	0,6
8	Ducting AC	0,25	kN/m <sup>2</sup>	1	0,2
9	Mekanikal electrical	0,25	kN/m <sup>2</sup>	1	0,25
<b>Beban Mati (Qd)</b>					5,74

#### 2. Pelat Atap

**Tabel 5. 2 Beban Mati Pada Pelat Atap**

No	Material	Berat Volume		Tebal/Tinggi (m)	Beban (t/m <sup>2</sup> )
		Nilai	Satuan		
1	Berat sendiri pelat	24	kN/m <sup>3</sup>	0,12	2,88
2	Water proofing	20	kN/m <sup>3</sup>	0,03	0,6
3	Plafon/ Langit-langit	0,25	kN/m <sup>2</sup>	1	0,25
4	Penggantung langit-langit	0,1	kN/m <sup>2</sup>	1	0,1
5	Duckting AC	0,2	kN/m <sup>2</sup>	1	0,2
6	Mekanikal Elektrikal	0,25	kN/m <sup>2</sup>	1	0,25
<b>Beban Mati (Qd)</b>					4,28

### 3. Dinding Batako

Pada penelitian ini dinding diasumsikan berada pada seluruh balok disetiap lantainya kecuali pada balok lantai atap. Dinding yang digunakan yaitu dinding tanpa lubang dengan tebal 10 cm. Berikut ini contoh perhitungan dinding.

$$\text{a. Tinggi dinding} = \text{Tinggi lantai} - H_{\text{balok}}$$

$$= 4 \text{ m} - 0,45 \text{ m}$$

$$= 3,65 \text{ m}$$

$$\text{b. Berat dinding} = BJ \text{ pasangan batako tebal } 10 \text{ cm} \times \text{Tinggi dinding}$$

$$= (1,962 \text{ KN/m}^2 \times 3,65 \text{ m})$$

$$= 7,1613 \text{ kN/m}$$

#### 5.2.2 Beban Hidup

Beban hidup dibedakan atas fungsi bangunan berdasarkan PPPURG 1987. Fungsi bangunan pada penelitian ini adalah Hotel, sehingga diperoleh beban hidup sebagai berikut.

##### 1. Pelat Lantai

$$Q_{l \text{ lantai}} = 2,4517 \text{ kN/m}^2$$

##### 2. Pelat Atap

$$Q_{l \text{ atap}} = 0,981 \text{ kN/m}^2$$

### 5.3 Berat Bangunan

Berat total bangunan adalah akumulasi seluruh beban mati seperti berat pelat lantai dan atap, balok, kolom, dinding dijumlahkan dengan akumulasi seluruh beban hidup pada seluruh lantai. Berat total bangunan ini digunakan untuk mendapatkan beban Gempa.

Pada Tabel 5.3 dibawah ini akan menjelaskan perhitungan rincian beban per lantainya serta beban atap.

Tabel 5. 3 Pembebanan Lantai Dan Atap

Kodefikasi	Panjang <i>L(m)</i>	Lebar <i>B(m)</i>	Tinggi <i>H(m)</i>	Jumlah	Luas <i>(m<sup>2</sup>)</i>	Berat Volume	Berat <i>(kN)</i>	
<b>Lantai</b>								
Pelat Beban Mati			0,12	54	22,6	5,72	kN/ m <sup>2</sup>	6969,10 5
Pelat Beban Hidup					22,6	2,451	kN/ m <sup>2</sup>	896,127
Balok Induk	5	0,25	0,45	110		24	kN/ m <sup>3</sup>	1485
Kolom 90 x 90	0,9	0,9	4	63		24	kN/ m <sup>3</sup>	4898,88
Dinding full tembok lebar 10 cm	550	-	3,65	-	-	1,962	kN/ m <sup>2</sup>	3938,71 5
Jumlah Beban								18187,8 3
<b>Atap</b>								
Pelat Beban Mati			0,12	54	22,6	4,28	kN/ m <sup>2</sup>	5214,64 5
Pelat Beban Hidup					22,6	0,981	kN/ m <sup>2</sup>	358,567
Balok Induk	5	0,25	0,45	110		24	kN/ m <sup>3</sup>	1485
Kolom 90 x 90	0,9	0,9	4	63		24	kN/ m <sup>3</sup>	4898,88
Dinding full tembok	0	-	0	-	-	1,962	kN/ m <sup>2</sup>	0
Jumlah Beban								11957,0 9
Sub beban lantai				9 lantai				163690, 4
Sub beban atap				1 atap				11957,0 9
<b>Total Berat (Ton)</b>								<b>175647, 5357</b>

Tabel 5.3 di atas merupakan perhitungan beban per lantai serta atap. Dari tabel tersebut didapatkan berat total keseluruhan bangunan portal 10 lantai dengan kolom 90cm x 90cm adalah 175647,5357 kN. Hasil tersebut dapat dikonversikan ke ukuran Ton dengan hasil 17904,947 Ton.

Rekapitulasi berat bangunan pada lantai 1 sampai lantai 10 dapat dilihat sebagai berikut.

Berat bangunan Lantai 1 = 1854,008868 Ton

Berat bangunan Lantai 2 = 1854,008868 Ton

Berat bangunan Lantai 3 = 1854,008868 Ton

Berat bangunan Lantai 4	= 1854,008868 Ton
Berat bangunan Lantai 5	= 1854,008868 Ton
Berat bangunan Lantai 6	= 1854,008868 Ton
Berat bangunan Lantai 7	= 1854,008868 Ton
Berat bangunan Lantai 8	= 1854,008868 Ton
Berat bangunan Lantai 9	= 1854,008868 Ton
Berat bangunan Lantai 10	= 1218,867764 Ton
Berat Total Lantai 1-10	= 17904,94758 Ton
	= 175647,5357 kN

Hasil perhitungan SAP2000 didapatkan besarnya *base reactions* dapat dilihat pada Gambar 5.5 sebagai berikut.

	OutputCase	CaseType Text	GlobalFX KN	GlobalFY KN	GlobalFZ KN	GlobalMX KN-m	GlobalMY KN-m	GlobalMZ KN-m
▶	DEAD	LinStatic	1,492E-13	6,395E-14	164408,055	3288161,11	-2466120,83	-1,819E-12
	LIVE	LinStatic	3,819E-14	3,553E-15	27655,56	553111,2	-414833,4	2,842E-14

**Gambar 5.5 Output Berat Struktur SAP2000**

Berdasarkan SNI 03-1726-2012, berat seismik efektif struktur yang diperhitungkan untuk gedung adalah seluruh beban mati dan beban lainnya. Pada penelitian ini yang dimaksud beban lainnya adalah beban hidup sebesar 30%. Berat total beban mati dan beban hidup yang diperoleh dari pemodelan SAP2000 sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 W \text{ beban mati} &= 164408,055 \text{ kN} \\
 W \text{ beban hidup} &= 27655,56 \text{ kN} \\
 W \text{ efektif bangunan} &= W \text{ beban mati} + 30\% W \text{ beban hidup} \\
 &= 164408,055 + (30\% \times 27655,56) \\
 &= 172704,723 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Sehingga selisih perhitungan excel dengan hasil SAP :

Selisih = Perhitungan excel – hasil SAP

$$= 175647,5357 \text{ kN} - 172704,723 \text{ kN}$$

$$= 2942,813 \text{ kN}$$

Kesalahan Relatif ( $\epsilon$ ) =  $| 2942,813 / 175647,5357 | \times 100\%$

$$= 1.67 \%$$

Tabel 5.4 dibawah ini adalah tabel rekapitulasi kesalahan relatif dari semua portal gedung yang ditinjau.

**Tabel 5. 4 Rekapitulasi Kesalahan Relatif Berat Bangunan**

	Berat Bangunan	Beban Mati (SAP)	Beban Hidup (SAP)	Total (SAP)	Selisih	Rasio
	kN	kN	kN	kN	kN	%
<b>G10-90</b>	175647,5357	164408,055	27655,56	172704,723	2942,812	1,675
<b>G10-80</b>	165365,9357	154313,614	27655,56	162610,282	2755,653	1,6663
<b>G10-70</b>	156293,9357	145406,754	27655,56	153703,422	2590,513	1,6574
<b>G8-90</b>	139271,8817	130393,101	21771,48	136924,545	2347,336	1,6854
<b>G8-80</b>	131046,6017	122317,548	21771,48	128848,992	2197,609	1,6769
<b>G8-70</b>	123789,0017	115192,06	21771,48	121723,504	2065,497	1,6685
<b>G6-90</b>	102896,2277	96378,147	15887,4	101144,367	1751,860	1,7025
<b>G6-80</b>	96727,26774	90321,483	15887,4	95087,703	1639,564	1,6950
<b>G6-70</b>	91284,06774	84977,367	15887,4	89743,587	1540,480	1,6875

Kesalahan relatif ( $\epsilon$ ) lebih kecil dari 5% menunjukkan pemodelan bangunan pada SAP2000 sudah mendekati desain bangunan yang direncanakan yang ditinjau dari berat bangunan tersebut.

#### 5.4 *Response Spektrum dan Gaya Geser Gempa*

Perhitungan besarnya beban gempa mengacu pada SNI 03-1726-2012 dengan menggunakan peta sebaran gempa 2017. Prosedur perhitungan adalah sebagai berikut.

##### 5.4.1 Desain Seismik

1. Penentuan Kategori Risiko Bangunan Dan Faktor Keutamaan Beban Gempa. Sesuai dengan Tabel 3.1, Hotel termasuk dalam kategori risiko II. Dan berdasarkan Tabel 3.2, bangunan dengan kategori II memiliki faktor keutamaan gempa  $I_e$  sebesar 1.

2. Klasifikasi Situs, Wilayah Gempa, dan Respon Spektrum.

Berdasarkan informasi yang penulis dapat, tanah disekitar bangunan Hotel termasuk dalam kategori tanah Keras ( $SC$ ). Berdasarkan peta seismik pada Gambar 3.1 wilayah Yogyakarta memiliki nilai  $S_s$  1.0 – 1.2g dan diambil nilai maksimal 1,2g. Sedangkan nilai  $S_1$  memiliki nilai 0,4 – 0,5g dan diambil nilai 0,5g.

3. Respon Spektral Percepatan Gempa  $MCE_R$

Berdasarkan Tabel 3.3 sesuai kelas situs, diperoleh koefisien situs  $F_a$  sebesar 1,0. Sedangkan berdasarkan Tabel 3.4 nilai koefisien situs  $F_v$  sebesar 1,3.

4. Penentuan nilai  $S_{MS}$  dan  $S_{M1}$

Nilai  $S_{MS}$  dan  $S_{M1}$  ditentukan dalam pasal 6.2 SNI 1726-2012. Dengan perhitungan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} S_{MS} &= F_a \cdot S_s \\ &= 1,0 \times 1,2 \\ &= 1,2 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{M1} &= F_v \cdot S_1 \\ &= 1,3 \times 0,5 \\ &= 0,65 \text{ g} \end{aligned}$$

5. Penentuan Nilai  $S_{DS}$  dan  $S_{D1}$

Nilai  $S_{DS}$  dan  $S_{D1}$  ditentukan dalam pasal 6.3 SNI 1726-2012. Dengan perhitungan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} S_{DS} &= \frac{2}{3} S_{MS} \\ &= \frac{2}{3} \cdot 1,2 \\ &= 0,8 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{D1} &= \frac{2}{3} S_{M1} \\ &= \frac{2}{3} \cdot 0,56 \\ &= 0,43335 \text{ g} \end{aligned}$$

6. Penentuan Nilai  $C_{RS}$  dan  $C_{RI}$

Penentuan nilai  $C_{RS}$  dan  $C_{RI}$  didasarkan peta gempa SNI 03-1726-2012. Lokasi bangunan yang berada di daerah Yogyakarta, sehingga diambil nilai  $C_{RS}$  sebesar 1,0 dan nilai  $C_{RI}$  sebesar 1,0.

7. Penentuan Nilai  $S_{DSR}$  dan  $S_{D1R}$

Nilai  $S_{DS}$  dan  $S_{D1}$  perlu dikalikan dengan nilai  $C_{RS}$  dan  $C_{RI}$ . Dengan perhitungan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} S_{DSR} &= S_{DS} \cdot C_{RS} \\ &= 0,8 \times 1 \\ &= 0,8 \text{ g} \\ S_{D1R} &= S_{D1} \cdot C_{RI} \\ &= 0,43335 \times 1 \\ &= 0,43335 \text{ g} \end{aligned}$$

8. Pembuatan Spektrum Desain Respon

Kurva spektrum desain diperoleh dari parameter percepatan spektral dengan mengacu pada Gambar 3.3 dan ketentuan pada persamaan (3.6), (3.7) serta (3.8), dengan perhitungan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} T_0 &= 0,2 \frac{S_{D1R}}{S_{DSR}} \\ &= 0,2 \frac{0,4333}{0,8} \\ &= 0,1083 \text{ detik} \end{aligned}$$

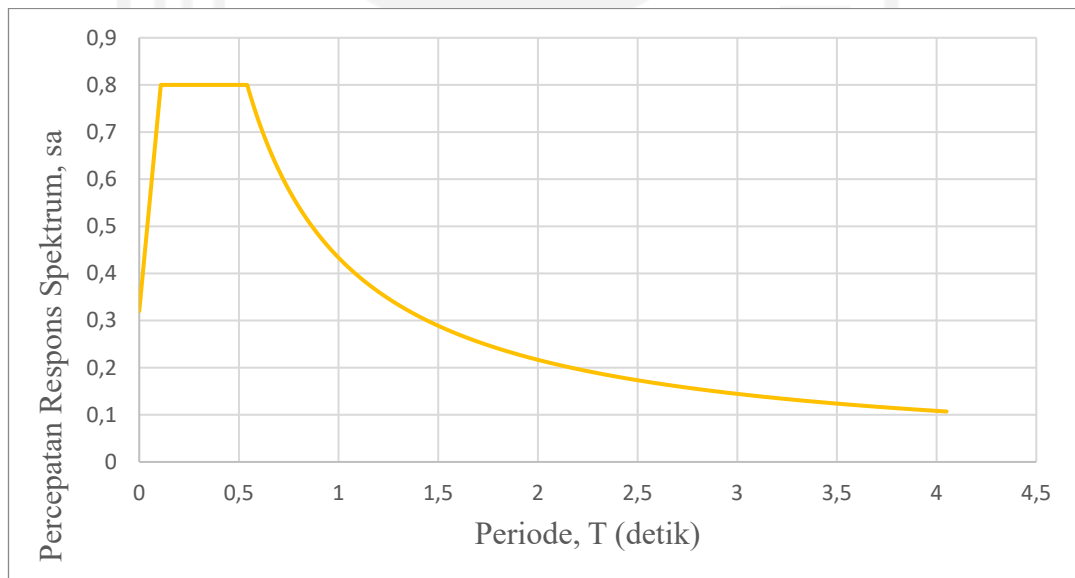
$$\begin{aligned} T_S &= \frac{S_{D1R}}{S_{DSR}} \\ &= \frac{0,4333}{0,800} \\ &= 0.5416 \text{ detik} \end{aligned}$$

Nilai percepatan respon spektrum hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 5.5 dan Gambar 5.6.



**Tabel 5. 5 Hubungan Percepatan Respon Spektrum dan Periode**

$T$ (detik)	$S_a$ (g)
0	0,32
0,1083	0,8
0,5416	0,8
1	0,4333
1,2	0,3611
1,6	0,2708
1,8	0,2407
2	0,2167
2,25	0,1925
2,5	0,1733
2,75	0,1575
3	0,1444
3,25	0,1333
3,5	0,12381

**Gambar 5. 6 Grafik Respon Spektrum**

9. Kategori desain seismik

Bangunan gedung yang diteliti memiliki nilai  $S_{DSR} = 0,8g$  dan nilai  $S_{DIR} = 0,4335$ . Untuk mengetahui kategori desain seismik, harus dibandingkan

dengan Tabel 3.5 dan Tabel 3.6. Hasil dari penentuan kategori desain seismik dapat dilihat pada Tabel 5.6.

**Tabel 5. 6 Penentuan Kategori Desain Seismik**

Kategori Resiko	II
Faktor Keutamaan	1.0
$S_I$	0.5
$S_{DSR}$	0.8
$S_{DIR}$	0,43335
Kategori Desain Seismik	D

#### 5.4.2 Periode Fundamental Bangunan

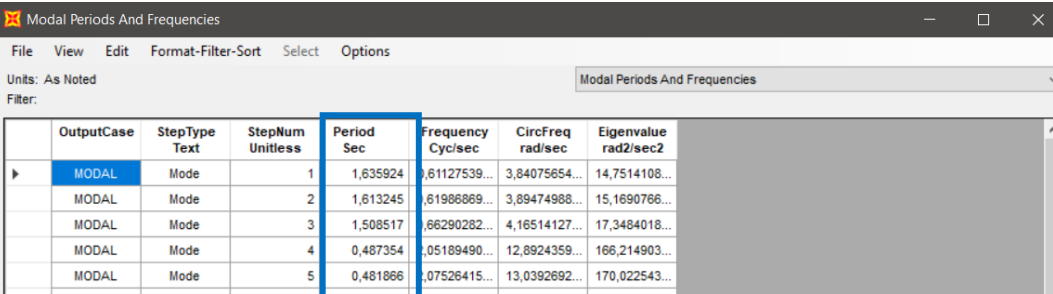
Berdasarkan SNI 03-1726-2012, periode fundamental struktur hasil *output* SAP2000 ( $T_c$ ) harus lebih dari periode pendekatan ( $T_a$ ) dan kurang dari periode pendekatan dikali batas atas periode ( $C_u \cdot T_a$ ). Berdasarkan Tabel 3.7 didapat nilai  $C_u$  sebesar 1,4. Sedangkan nilai  $C_t$  dan  $x$  pada Tabel 3.7 sebesar 0.0466 dan 0.9. Tinggi struktur gedung yaitu 40 m. Nilai periode minimum struktur dapat ditentukan dengan persamaan (3.32).

$$\begin{aligned} T_a &= C_t \cdot h_n^x \\ &= 0,0466 \cdot 40^{0,9} \\ &= 1.2889 \text{ detik} \end{aligned}$$

Sedangkan perhitungan batas atas periode fundamental alami ( $C_u \cdot T_a$ ) adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} C_u \times T_a &= 1.4 \times 1.2889 \\ &= 1,8045 \text{ detik} \end{aligned}$$

Periode hasil analisa struktur SAP2000 ( $T_c$ ) dapat dilihat pada Gambar 5.3 berikut.



	OutputCase	StepType Text	StepNum Unitless	Period Sec	Frequency Cyc/sec	CircFreq rad/sec	Eigenvalue rad/sec2
▶	MODAL	Mode	1	1,635924	,61127539...	3,84075654...	14,7514108...
	MODAL	Mode	2	1,613245	,61986869...	3,89474988...	15,1690766...
	MODAL	Mode	3	1,508517	,66290282...	4,16514127...	17,3484018...
	MODAL	Mode	4	0,487354	,05189490...	12,8924359...	166,214903...
	MODAL	Mode	5	0,481866	,07526415...	13,0392692...	170,022543...

**Gambar 5. 7 Periode Hasil Analisa Struktur**

Berdasarkan hasil tersebut didapat bahwa  $T_c$  sebesar 1,635924 detik, periode tersebut diatas batas minimal dan tidak melebihi batas maksimal periode fundamental,  $T_a < T_c < C_u T_a$ . Sehingga periode yang digunakan yaitu sebesar 1,635924 detik. Rekapitulasi periode struktur dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

**Tabel 5. 7 Rekapitulasi Periode Gedung**

Gedung	$T_c$	$T_a$	$C_u T_a$	$T_{pakai}$
<b>G10-90</b>	1,635924	1,288961391	1,804545947	1,635924
<b>G10-80</b>	1,704809	1,288961391	1,804545947	1,704809
<b>G10-70</b>	1,786757	1,288961391	1,804545947	1,786757
<b>G8-90</b>	1,252383	1,054437632	1,476212685	1,252383
<b>G8-80</b>	1,315056	1,054437632	1,476212685	1,315056
<b>G8-70</b>	1,388562	1,054437632	1,476212685	1,388562
<b>G6-90</b>	0,876737	0,813909344	1,139473081	0,876737
<b>G6-80</b>	0,930772	0,813909344	1,139473081	0,930772
<b>G6-70</b>	0,994292	0,813909344	1,139473081	0,994292

#### 5.4.3 Gaya Geser Dasar Statik

Langkah-langkah dan persamaan perhitungan nilai gaya geser statik adalah sebagai berikut.

##### 1. Sistem Penahan Gaya Gempa

Bangunan yang dijadikan penelitian memiliki struktur penahan gaya seismik berupa rangka beton bertulang pemikul momen khusus, maka berdasarkan Tabel 3.11 yang mengacu pada SNI 1726-2012, nilai koefisien modifikasi respon ( $R$ ), faktor kuat lebih sistem ( $\Omega_o$ ) dan faktor pembesaran defleksi ( $C_d$ ) adalah sebagai berikut.

$$R = 8$$

$$\Omega_o = 3$$

$$C_d = 5,5$$

##### 2. Koefisien Respon Struktur

Berikut adalah perhitungan dari koefisien respons struktur mengacu pada SNI 1276 2012.

$$C_s = \frac{S_{DS}}{(R/I_e)}$$

$$C_s = \frac{0,8}{(8/1,0)}$$

$$C_s = 0,1$$

Koefisien respon maksimum

$$C_{s \text{ maks}} = \frac{S_{D1}}{T (R/I_e)}$$

$$C_{s \text{ maks}} = \frac{0,4333}{1,635924 (8/1)}$$

$$C_{s \text{ maks}} = 0,03311$$

Koefisien respon minimum

$$C_{s \text{ min } 1} = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01$$

$$C_{s \text{ min } 1} = 0,044 \times 0,8 \times 1$$

$$= 0,0352 \geq 0,01$$

Dengan demikian, nilai  $C_s$  yang dipakai = 0,0352

### 3. Geser Dasar Statik

$$V = C_s \times W_{\text{seismik efektif bangunan}}$$

$$= 0,0352 \times 172704,723$$

$$= 6182,793 \text{ kN}$$

Gaya geser dasar minimal struktur dengan analisis respon spektrum,

$$V_{\text{min}} = 0,85 \cdot V_s$$

$$= 0,85 \times 6182,793$$

$$= 5255,374 \text{ kN}$$

Rekapitulasi dari geser dasar statik akan diperlihatkan pada Tabel 5.8 di bawah ini.

**Tabel 5. 8 Rekapitulasi Geser Dasar Statik**

Portal	Cs	W	V
G6-70	0,0352	91284,07	3213,199
G6-80	0,0352	96727,27	3404,8
G6-90	0,0352	102896,2	3621,947
G8-70	0,0352	123789	4357,373
G8-80	0,0352	131046,6	4612,84
G8-90	0,0352	139271,9	4902,37
G10-70	0,0352	156293,9	5501,547
G10-80	0,0352	165365,9	5820,881
G10-90	0,0352	175647,5	6182,793

## 5.5 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan yang digunakan dalam analisis struktur didasarkan pada Pasal 7.4.2 SNI 1726-2012. Kombinasi beban yang digunakan tidak hanya dipengaruhi oleh beban gempa horizontal tetapi juga memperhatikan beban gempa vertikal. Pengaruh beban vertikal didasarkan pada nilai faktor reduksi ( $\rho$ ) dan nilai  $S_{Ds}$ . Bangunan dengan kategori risiko D, maka nilai faktor reduksi sebesar 1,3. Nilai  $S_{Ds}$  yang telah diperhitungkan sebesar 0,8. Penjabaran kombinasi pembebanan yang digunakan dalam perhitungan analisis struktur adalah sebagai berikut.

1.  $1,4D$
2.  $1,2D + 1,6L$
3.  $1,3581D + 1L + 0,39Q_{ex} + 1,3Q_{ey}$
4.  $1,1149D + 1L + 0,39Q_{ex} - 1,3Q_{ey}$
5.  $1,2851D + 1L - 0,39Q_{ex} + 1,3Q_{ey}$
6.  $1,0419D + 1L - 0,39Q_{ex} - 1,3Q_{ey}$
7.  $1,3581D + 1L + 1,3Q_{ex} + 0,39Q_{ey}$
8.  $1,1149D + 1L + 1,3Q_{ex} - 0,39Q_{ey}$
9.  $1,2851D + 1L - 1,3Q_{ex} + 0,39Q_{ey}$
10.  $1,0419D + 1L - 1,3Q_{ex} - 0,39Q_{ey}$
11.  $0,7419D + 0,39Q_{ex} + 1,3Q_{ey}$
12.  $0,9851D + 0,39Q_{ex} - 1,3Q_{ey}$
13.  $0,8149D - 0,39Q_{ex} + 1,3Q_{ey}$
14.  $1,0581D - 0,39Q_{ex} - 1,3Q_{ey}$
15.  $0,7419D + 1,3Q_{ex} + 0,39Q_{ey}$
16.  $0,8149D + 1,3Q_{ex} - 0,39Q_{ey}$
17.  $0,9851D - 1,3Q_{ex} + 0,39Q_{ey}$
18.  $1,0581D - 1,3Q_{ex} - 0,39Q_{ey}$

## 5.6 Output Analisis SAP

Struktur bangunan yang telah dilakukan analisis perlu diperiksa terlebih dahulu hasil analisisnya sehingga hasil yang dikeluarkan sesuai dengan peraturan dan ketentuan yang ada dalam peraturan. Peninjauan hasil analisis dengan penjabaran sebagai berikut.

### 5.6.1 Participating Mass Ratio

Pada SNI 03-1726-2012 Pasal 7.9.1, disyaratkan bahwa analisis menggunakan respon spektrum harus memenuhi minimal 90% partisipasi massa dan gaya gesernya harus lebih besar atau sama dengan 85% dari gaya geser dengan menggunakan analisis statik ekuivalen. Nilai partisipasi massa struktur dapat dilihat pada Gambar 5.8 berikut.

OutputCase	StepType	StepNum	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX
		Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	1	1,635924	0,77104	0	0	0,77104	0	0	0
MODAL	Mode	2	1,613245	0	0,77239	0	0,77104	0,77239	0	0,112
MODAL	Mode	3	1,508517	0	0	0	0,77104	0,77239	0	0
MODAL	Mode	4	0,487354	0,10963	0	0	0,88067	0,77239	0	0
MODAL	Mode	5	0,481866	0	0,10885	0	0,88067	0,88124	0	0,21341
MODAL	Mode	6	0,451898	0	0	0	0,88067	0,88124	0	0
MODAL	Mode	7	0,246733	0,04736	0	0	0,92802	0,88124	0	0
MODAL	Mode	8	0,244828	0	0,0471	0	0,92802	0,92834	0	0,03356
MODAL	Mode	9	0,14814	0,02703	0	0	0,95505	0,92834	0	0
MODAL	Mode	10	0,147314	0	0,0269	0	0,95505	0,95524	0	0,04201
MODAL	Mode	11	0,098664	2,998E-09	0,00014	0	0,95505	0,95538	0	0,21143
MODAL	Mode	12	0,098206	0,01588	8,049E-10	0	0,97093	0,95538	0	2,188E-07
MODAL	Mode	13	0,09775	3,56E-08	0,01692	0	0,97093	0,9723	0	0,02561
MODAL	Mode	14	0,097696	0,00124	3,801E-07	0	0,97217	0,9723	0	3,627E-06
MODAL	Mode	15	0,093033	1,326E-09	1,705E-05	0	0,97217	0,97232	0	0,05757

**Gambar 5. 8 Nilai Partisipasi Massa Struktur Hasil Pemodelan SAP2000**

Partisipasi massa bangunan arah X dan arah Y dapat dilihat pada kolom *SumUX* dan *SumUY* pada gambar tersebut. Nilai partisipasi massa untuk arah X pada modal ke 7 sudah melebihi 90%, dan untuk arah Y pada modal ke 8 sudah melebihi 90%, maka persyaratan massa sudah terpenuhi.

### 5.6.2 Base Shear

Hasil gaya geser dinamik ( $V_d$ ) tidak dapat langsung digunakan untuk analisa struktur portal bangunan. Hasil gaya geser dasar dinamik ( $V_d$ ) perlu disetarakan dengan gaya geser dasar statik ( $V_s$ ) sesuai dengan Pasal 7.9.4.1 SNI 03-1726-2012.

Dalam peraturan SNI 1726:2012 telah diterangkan bahwa gaya geser dasar ( $V$ ) harus dihitung dalam masing-masing dua arah horizontal orthogonal menggunakan periode fundamental struktur yang dihitung ( $T$ ) dalam masing-masing arah. Kombinasi respon spektrum untuk geser dasar ragam ( $V_d$ ) lebih kecil dari 85% dari gaya dasar yang dihitung ( $V$ ) menggunakan prosedur gaya lateral ekuivalen. Maka harus dikalikan dengan  $0,85 \times \frac{V}{V_d}$ .

Gaya geser dinamik pada gedung portal 10 lantai dengan ukuran kolom 90x90 adalah sebagai berikut.

$$V_{D \text{ arah } x} = 4629,878 \text{ kN}$$

$$V_{D \text{ arah } y} = 4678,615 \text{ kN}$$

Gaya geser dasar statik berdasarkan perhitungan SAP2000 adalah

$$V_s = 5702,513 \text{ kN}$$

$$0,85V_s = 4847,136 \text{ kN}$$

Dari hasil diatas dapat dilihat bahwa  $V_{D \text{ arah } x}$  dan  $V_{D \text{ arah } y}$  tidak melebihi dari  $0,85V_s$  sehingga belum memenuhi persyaratan dan perlu dilakukan skala ulang di kedua arah.

Gaya Geser Seismik Arah X

$$\begin{aligned} \text{Skala normal} &= \left( \frac{g \times I}{R} \right) \\ &= \left( \frac{9,81 \times 1}{8} \right) \\ &= 1,22625 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Skala ulang} &= \left( \frac{g \times I}{R} \right) \times 0,85 \times \frac{V}{V_{dx}} \\ &= \left( \frac{9,81 \times 1}{8} \right) \times 0,85 \times \frac{5702,513}{4629,878} \\ &= 1,2838 \end{aligned}$$

Gaya Geser Seismik Arah Y

$$\begin{aligned}\text{Skala normal} &= \left(\frac{g \times I}{R}\right) \\ &= \left(\frac{9,81 \times 1}{8}\right) \\ &= 1,22625\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Skala ulang} &= \left(\frac{g \times I}{R}\right) \times 0,85 \times \frac{V}{V_{dy}} \\ &= \left(\frac{9,81 \times 1}{8}\right) \times 0,85 \times \frac{5702,513}{4678,615} \\ &= 1,2705\end{aligned}$$

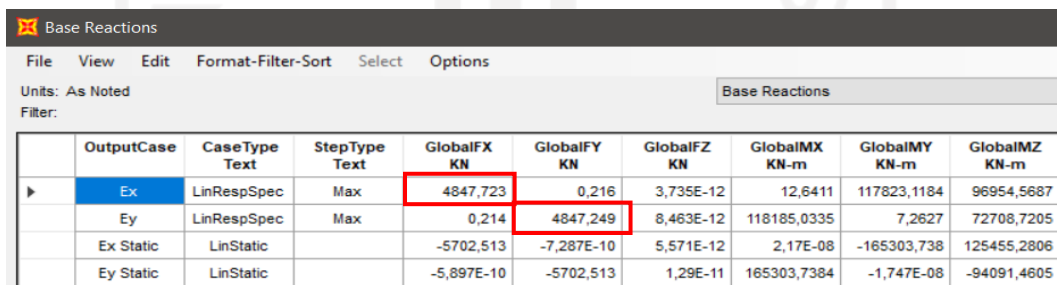
Gaya geser dinamik pada gedung portal 10 lantai dengan ukuran kolom 90x90 hasil skala ulang adalah sebagai berikut.

$$V_{D \text{ arah } x} = 4847,723 \text{ kN}$$

$$V_{D \text{ arah } y} = 4847,249 \text{ kN}$$

$$0,85V_s = 4847,136 \text{ kN}$$

Dari hasil diatas dapat dilihat bahwa  $V_{D \text{ arah } x}$  dan  $V_{D \text{ arah } y}$  telah melebihi dari  $0,85V_s$  sehingga gaya geser seismik sudah memenuhi persyaratan dan tidak perlu dilakukan skala ulang di kedua arahnya.



	OutputCase	CaseType Text	StepType Text	GlobalFX KN	GlobalFY KN	GlobalFZ KN	GlobalMX KN-m	GlobalMY KN-m	GlobalMZ KN-m
▶	Ex	LinRespSpec	Max	4847,723	0,216	3,735E-12	12,6411	117823,1184	96954,5687
	Ey	LinRespSpec	Max	0,214	4847,249	8,463E-12	118185,0335	7,2627	72708,7205
	Ex Static	LinStatic		-5702,513	-7,287E-10	5,571E-12	2,17E-08	-165303,738	125455,2806
	Ey Static	LinStatic		-5,897E-10	-5702,513	1,29E-11	165303,7384	-1,747E-08	-94091,4605

**Gambar 5. 9 Gaya Geser Dinamik Hasil SAP2000**

Gambar di atas menunjukkan hasil skala ulang pada Gedung portal 10 lantai dengan ukuran kolom 90x90 cm. Rekapitulasi hasil gaya geser dinamik akan diperlihatkan pada Tabel 5.9 di bawah ini.



**Tabel 5. 9 Rekapitulasi Gaya Geser Dinamik**

Portal	Vs	0,85Vs	Vrsx	Vrsy	Skala x	Skala y
<b>G10-90</b>	5702,513	4847,136	4847,723	4847,249	1,283792053	1,270418827
<b>G10-80</b>	5364,955	4560,212	4233,855	4283,897	1,305344096	1,320772596
<b>G10-70</b>	5067,109	4307,043	3658,612	3704,457	1,443583263	1,425718007
<b>G8-90</b>	5535,604	4705,263	4705,706	4705,407	1,251831	1,238412
<b>G8-80</b>	4959,949	4215,957	4243,717	4243,717	1,233203	<b>1,22625</b>
<b>G8-70</b>	4436,798	3771,278	3792,852	3846,002	<b>1,22625</b>	<b>1,22625</b>
<b>G6-90</b>	5805,869	4934,989	4937,057	4937,057	1,284409	1,270407
<b>G6-80</b>	5145,718	4373,860	4375,577	4374,95	1,263453	1,247638
<b>G6-70</b>	4550,112	3867,595	3867,695	3868,459	1,251917	1,233674

Dari Tabel 5.9 beberapa gedung di atas telah diskala ulang dikarenakan sebelumnya tidak memenuhi syarat bahwa  $V_{\text{respons}} > 0,85V_{\text{statik}}$ , sehingga gedung – gedung di atas harus diskala ulang untuk memenuhi syarat tersebut.

### 5.6.3. Gaya Vertikal Gempa

Gaya vertikal gempa adalah gaya yang terjadi pada bangunan akibat gempa arah vertical. Gaya vertikal didapatkan dari hasil analisis SAP2000. Gaya vertical gempa untuk Gedung portal 10 lantai hingga Gedung portal 4 lantai dapat dilihat pada Tabel 5.10, Tabel 5.11, dan Tabel 5.12 berikut.

**Tabel 5. 10 Gaya Vertikal Gempa Pada Gedung 10 Lantai**

Lantai	Px Kn		
	G10-70	G10-80	G10-90
<b>Pondasi</b>	0	0	0
<b>1</b>	173062,3	181969,2	192063,6
<b>2</b>	155012,9	163029,1	172114,1
<b>3</b>	136963,5	144089	152164,6
<b>4</b>	118914,2	125149	132215,1
<b>5</b>	100864,8	106208,9	112265,5
<b>6</b>	82815,38	87268,81	92316,03
<b>7</b>	64765,99	68328,74	72366,51
<b>8</b>	46716,61	49388,66	52417
<b>9</b>	28667,22	30448,59	32467,48
<b>10</b>	10617,83	11508,52	12517,96

**Tabel 5. 11 Gaya Vertikal Gempa Pada Gedung 8 Lantai**

Lantai	Px Kn		
	G8-40	G8-50	G8-60
<b>Pondasi</b>	0	0	0
<b>1</b>	136963,5	144089	152164,6
<b>2</b>	118914,2	125149	132215,1
<b>3</b>	100864,8	106208,9	112265,5
<b>4</b>	82815,38	87268,81	92316,03
<b>5</b>	64765,99	68328,74	72366,51
<b>6</b>	46716,61	49388,66	52417
<b>7</b>	28667,22	30448,59	32467,48
<b>8</b>	10617,83	11508,52	12517,96

**Tabel 5. 12 Gaya Vertikal Gempa Pada Gedung 6 Lantai**

Lantai	Px Kn		
	G6-70	G6-80	G6-90
<b>Pondasi</b>	0	0	0
<b>1</b>	100864,8	106208,9	112265,5
<b>2</b>	82815,38	87268,81	92316,03
<b>3</b>	64765,99	68328,74	72366,51
<b>4</b>	46716,61	49388,66	52417
<b>5</b>	28667,22	30448,59	32467,48
<b>6</b>	10617,83	11508,52	12517,96

#### 5.6.4. Gaya Horizontal Gempa

Gaya horizontal gempa adalah gaya yang terjadi pada bangunan akibat gempa arah horizontal. Gempa arah horizontal dibagi menjadi dua yaitu gaya horizontal gempa arah X dan gaya horizontal gempa arah Y. Gaya horizontal gempa didapat dari hasil analisis SAP2000. Tabel gaya gempa horizontal dapat dilihat pada tabel – tabel berikut.

**Tabel 5. 13 Gaya Horizontal Gempa Pada Gedung 10 Lantai**

Lantai	G10-70		G10-80		G10-90	
	VxeX (kN)	VxeY (kN)	VxeX (kN)	VxeY (kN)	VxeX (kN)	VxeY (kN)
<b>Pondasi</b>	0	0	0	0	0	0
<b>1</b>	4529,57	4538,773	4560,811	4562,317	4847,723	4847,249
<b>2</b>	4348,862	4360,154	4390,568	4394,833	4677,386	4679,566
<b>3</b>	4037,902	4051,319	4084,474	4092,97	4359,828	4366,252
<b>4</b>	3696,545	3710,362	3738,037	3749,238	3993,187	4002,637
<b>5</b>	3382,531	3394,555	3413,055	3423,058	3639,211	3648,088
<b>6</b>	3091,396	3099,631	3113,203	3117,548	3309,194	3313,171
<b>7</b>	2767,094	2769,965	2786,045	2782,321	2955,105	2951,591
<b>8</b>	2326,057	2322,967	2347,091	2336,277	2491,166	2480,695
<b>9</b>	1680,13	1672,564	1705,248	1691,592	1821,088	1807,566
<b>10</b>	744,089	736,953	765,834	756,492	826,668	817,206

**Tabel 5. 14 Gaya Horizontal Gempa Pada Gedung 8 Lantai**

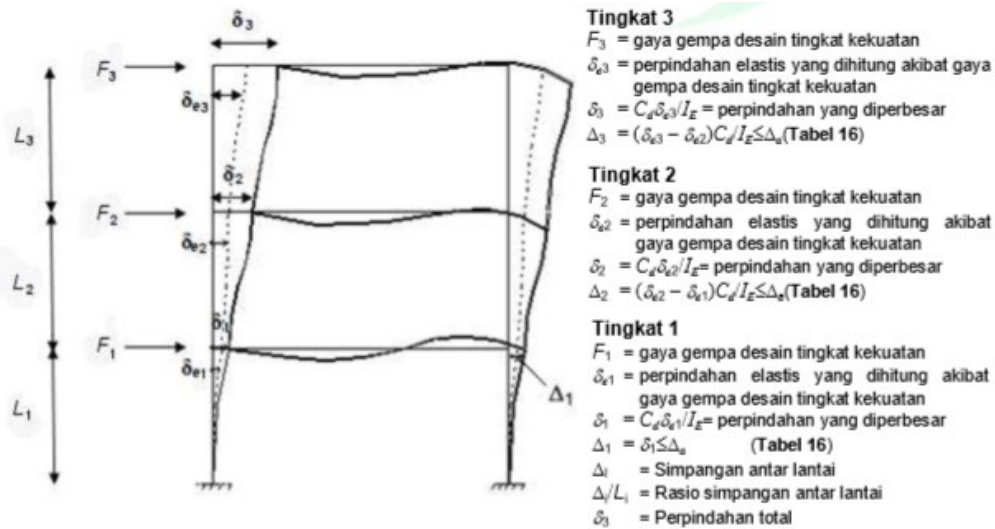
Lantai	G8-70		G8-80		G8-90	
	VxeX (kN)	VxeY (kN)	VxeX (kN)	VxeY (kN)	VxeX (kN)	VxeY (kN)
<b>Pondasi</b>	0	0	0	0	0	0
<b>1</b>	3792,852	3846,002	4216,118	4243,717	4705,706	4705,407
<b>2</b>	3614,545	3667,823	4032,48	4061,317	4512,334	4514,478
<b>3</b>	3305,359	3356,989	3699,671	3729,013	4149,064	4154,024
<b>4</b>	2951,203	2997,363	3304,64	3331,229	3708,8	3713,953
<b>5</b>	2577,073	2613,32	2877,662	2897,33	3225,266	3226,667
<b>6</b>	2136,961	2160,509	2378,949	2389,027	2663,345	2658,445
<b>7</b>	1541,876	1552,873	1718,441	1719,623	1929,197	1919,364
<b>8</b>	690,149	691,322	777,717	774,369	879,956	871,33

**Tabel 5. 15 Gaya Horizontal Gempa Pada Gedung 6 Lantai**

Lantai	G6-70		G6-80		G6-90	
	VxeX (kN)	VxeY (kN)	VxeX (kN)	VxeY (kN)	VxeX (kN)	VxeY (kN)
<b>Pondasi</b>	0	0	0	0	0	0
<b>1</b>	3867,695	3868,459	4375,577	4374,95	4937,057	4937,09
<b>2</b>	3629,672	3632,379	4125,998	4127,241	4670,848	4672,656
<b>3</b>	3183,998	3186,864	3634,597	3636,273	4129,144	4131,486
<b>4</b>	2594,464	2593,541	2964,47	2962,877	3375,766	3374,872
<b>5</b>	1837,338	1831,053	2097,846	2091,275	2393,213	2387,106
<b>6</b>	813,068	805,536	931,826	924,133	1068,083	1060,557

## 5.7 Simpangan Antar Lantai

Analisis simpangan hanya meninjau satu kolom pada ujung struktur yang dianggap mewakili, karena bangunan yang digunakan simetris. Simpangan yang ditinjau yaitu simpangan arah X dan simpangan arah Y.



**Gambar 5. 10 Penentuan Simpangan Antar Lantai**

Parameter untuk menghitung simpangan antar lantai adalah tinggi ( $h$ ), perpindahan yang terjadi pada struktur ( $\delta$ ), faktor pembesaran defleksi ( $C_d$ ) dan faktor keutamaan gempa ( $I_e$ ). Selain dari parameter diatas juga membutuhkan perpindahan struktur elastis ( $\delta_e$ ) yang diperoleh dari hasil analisis SAP2000.

### 5.7.1. Simpangan Pada Gedung Portal 10 Lantai

Berikut merupakan perhitungan simpangan pada gedung 10 lantai tinjauan kolom Kolom 1 untuk arah X.

$$\begin{aligned} \text{Tinggi tipikal lantai } (h_x) &= 4 \text{ m} \\ \text{Faktor pembesaran defleksi } (C_d) &= 5.5 \text{ untuk SRPMK} \\ \text{Faktor keutamaan gempa } (I_e) &= 1.0 \text{ untuk kategori risiko II} \\ \text{Perpindahan struktur lantai 1, } (\delta_{e1}) &= 0,00183 \text{ m} \\ \text{Perpindahan struktur lantai 2, } (\delta_{e2}) &= 0,005544 \text{ m} \\ \text{Simpangan antar lantai 1 } (\Delta_1) &= \frac{C_d \delta_{e1}}{I_e} = \frac{5.5 \times 0,00183}{1.0} = 0.010065 \text{ m} \\ \text{Simpangan antar lantai 2 } (\Delta_2) &= \frac{(\delta_{e2} - \delta_{e1}) C_d}{I_e} = \frac{(0,005544 - 0,00183) \times 5,5}{1,0} \end{aligned}$$

$$= 0,020247 \text{ m}$$

Simpangan ijin antar lantai ( $\Delta_a$ ) =  $0,02h_x$  untuk kategori risiko II

$$= 0,02 \times 4 = 0,08 \text{ m}$$

$$\Delta a/\rho = \frac{0,020 \times 4000}{1,3} = 61,53846 \text{ mm}$$

$$\text{Drift ratio 1} = \frac{\Delta_1}{\Delta_a} = \frac{0,010065}{0,061} = 0,1635$$

$$\text{Drift ratio 2} = \frac{\Delta_2}{\Delta_a} = \frac{0,020247}{0,061} = 0,3319$$

Dibawah ini adalah rekapitulasi simpangan gedung portal.

**Tabel 5. 16 Simpangan Lantai Gedung 10 Lantai Kolom 90x90 cm**

Lantai	$\delta_{ex}$	Cd	Ie	$\Delta$	hx	$\Delta_i/\Delta_a$	$\Delta a/\rho$	Ket.
Satuan	m			mm	mm		mm	
<b>Arah X</b>								
10	0,031069	5,5	1	7,733	4000	0,12566125	61,53846	Memenuhi
9	0,029663	5,5	1	10,505	4000	0,17070625	61,53846	Memenuhi
8	0,027753	5,5	1	13,8985	4000	0,225850625	61,53846	Memenuhi
7	0,025226	5,5	1	17,1875	4000	0,279296875	61,53846	Memenuhi
6	0,022101	5,5	1	20,1575	4000	0,327559375	61,53846	Memenuhi
5	0,018436	5,5	1	22,638	4000	0,3678675	61,53846	Memenuhi
4	0,01432	5,5	1	24,222	4000	0,3936075	61,53846	Memenuhi
3	0,009916	5,5	1	24,046	4000	0,3907475	61,53846	Memenuhi
2	0,005544	5,5	1	20,427	4000	0,33193875	61,53846	Memenuhi
1	0,00183	5,5	1	10,065	4000	0,16355625	61,53846	Memenuhi
<b>Arah Y</b>								
10	0,030218	5,5	1	7,326	4000	0,1190475	61,53846	Memenuhi
9	0,028886	5,5	1	10,0595	4000	0,163466875	61,53846	Memenuhi
8	0,027057	5,5	1	13,409	4000	0,21789625	61,53846	Memenuhi
7	0,024619	5,5	1	16,654	4000	0,2706275	61,53846	Memenuhi
6	0,021591	5,5	1	19,5965	4000	0,318443125	61,53846	Memenuhi
5	0,018028	5,5	1	22,0495	4000	0,358304375	61,53846	Memenuhi
4	0,014019	5,5	1	23,639	4000	0,38413375	61,53846	Memenuhi
3	0,009721	5,5	1	23,5235	4000	0,382256875	61,53846	Memenuhi
2	0,005444	5,5	1	20,0365	4000	0,325593125	61,53846	Memenuhi
1	0,001801	5,5	1	9,9055	4000	0,160964375	61,53846	Memenuhi

Tabel 5. 17 Simpangan Lantai Gedung 10 Lantai Kolom 80x80 cm

Lantai	$\delta_{ex}$	Cd	Ie	$\Delta$	hx	$\Delta_i/\Delta_a$	$\Delta_a/\rho$	Ket.
Satuan	m			mm	mm		mm	
<b>Arah X</b>								
10	0,032976	5,5	1	6,985	4000	0,11350625	61,53846	Memenuhi
9	0,031706	5,5	1	10,2245	4000	0,166148125	61,53846	Memenuhi
8	0,029847	5,5	1	14,014	4000	0,2277275	61,53846	Memenuhi
7	0,027299	5,5	1	17,6	4000	0,286	61,53846	Memenuhi
6	0,024099	5,5	1	20,8615	4000	0,338999375	61,53846	Memenuhi
5	0,020306	5,5	1	23,727	4000	0,38556375	61,53846	Memenuhi
4	0,015992	5,5	1	25,8995	4000	0,420866875	61,53846	Memenuhi
3	0,011283	5,5	1	26,4825	4000	0,430340625	61,53846	Memenuhi
2	0,006468	5,5	1	23,4245	4000	0,380648125	61,53846	Memenuhi
1	0,002209	5,5	1	12,1495	4000	0,197429375	61,53846	Memenuhi
<b>Arah Y</b>								
10	0,032065	5,5	1	6,589	4000	0,10707125	61,53846	Memenuhi
9	0,030867	5,5	1	9,7735	4000	0,158819375	61,53846	Memenuhi
8	0,02909	5,5	1	13,5135	4000	0,219594375	61,53846	Memenuhi
7	0,026633	5,5	1	17,0555	4000	0,277151875	61,53846	Memenuhi
6	0,023532	5,5	1	20,2675	4000	0,329346875	61,53846	Memenuhi
5	0,019847	5,5	1	23,1055	4000	0,375464375	61,53846	Memenuhi
4	0,015646	5,5	1	25,2615	4000	0,410499375	61,53846	Memenuhi
3	0,011053	5,5	1	25,8775	4000	0,420509375	61,53846	Memenuhi
2	0,006348	5,5	1	22,9625	4000	0,373140625	61,53846	Memenuhi
1	0,002173	5,5	1	11,9515	4000	0,194211875	61,53846	Memenuhi

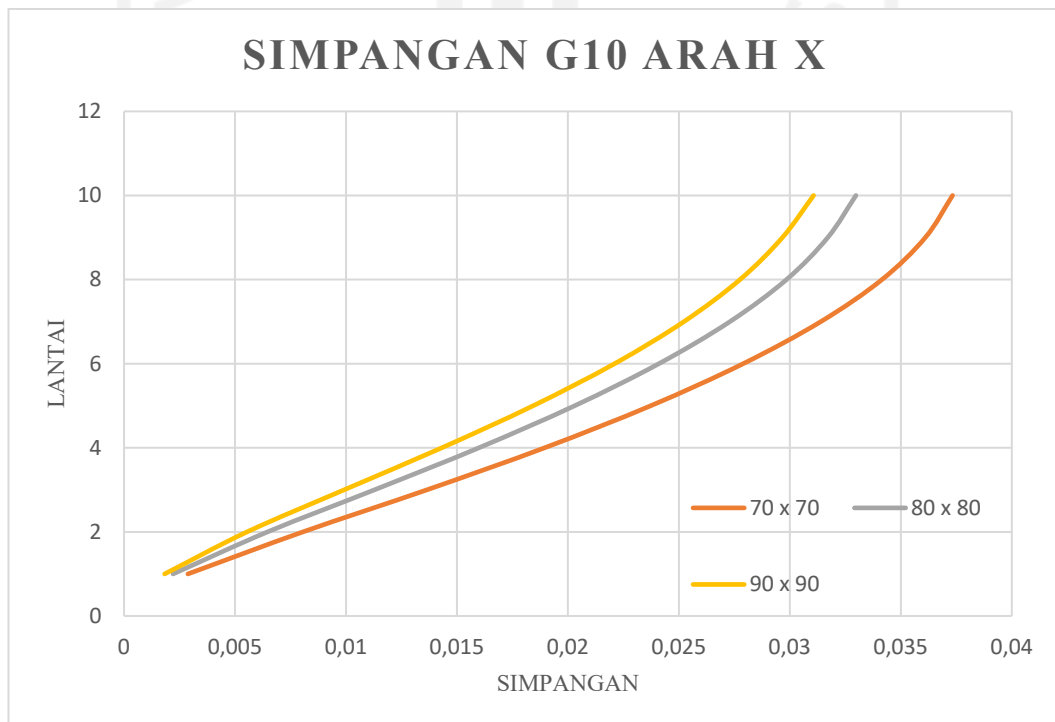
Tabel 5. 18 Simpangan Lantai Gedung 10 Lantai Kolom 70x70 cm

Lantai	$\delta_{ex}$	Cd	Ie	$\Delta$	hx	$\Delta_i/\Delta_a$	$\Delta_a/\rho$	Ket.
Satuan	m			mm	mm		mm	
<b>Arah X</b>								
10	0,03733	5,5	1	6,7485	4000	0,109663125	61,53846	Memenuhi
9	0,036103	5,5	1	10,736	4000	0,17446	61,53846	Memenuhi
8	0,034151	5,5	1	15,1635	4000	0,246406875	61,53846	Memenuhi
7	0,031394	5,5	1	19,2335	4000	0,312544375	61,53846	Memenuhi
6	0,027897	5,5	1	22,9075	4000	0,372246875	61,53846	Memenuhi
5	0,023732	5,5	1	26,29	4000	0,4272125	61,53846	Memenuhi
4	0,018952	5,5	1	29,1775	4000	0,474134375	61,53846	Memenuhi
3	0,013647	5,5	1	30,723	4000	0,49924875	61,53846	Memenuhi
2	0,008061	5,5	1	28,5065	4000	0,463230625	61,53846	Memenuhi

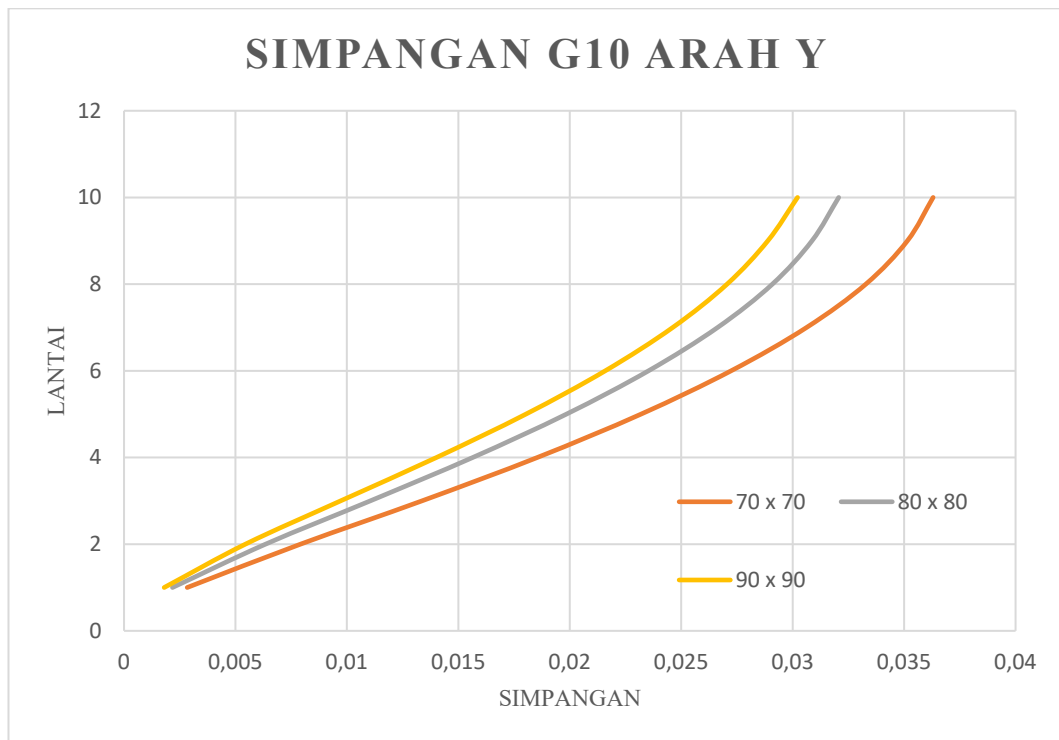
Lanjutan Tabel 5.18 Simpangan Lantai Gedung 10 Lantai Kolom 70x70 cm

Lantai	$\delta_{ex}$	Cd	Ie	$\Delta$	hx	$\Delta_i/\Delta_a$	$\Delta_a/\rho$	Ket.
Satuan	m			mm	mm		mm	
<b>Arah X</b>								
1	0,002878	5,5	1	15,829	4000	0,25722125	61,53846	Memenuhi
<b>Arah Y</b>								
10	0,036301	5,5	1	6,3415	4000	0,103049	61,53846	Memenuhi
9	0,035148	5,5	1	10,2575	4000	0,166684	61,53846	Memenuhi
8	0,033283	5,5	1	14,6245	4000	0,237648	61,53846	Memenuhi
7	0,030624	5,5	1	18,623	4000	0,302624	61,53846	Memenuhi
6	0,027238	5,5	1	22,2475	4000	0,361522	61,53846	Memenuhi
5	0,023193	5,5	1	25,575	4000	0,415594	61,53846	Memenuhi
4	0,018543	5,5	1	28,4405	4000	0,462158	61,53846	Memenuhi
3	0,013372	5,5	1	30,008	4000	0,48763	61,53846	Memenuhi
2	0,007916	5,5	1	27,9455	4000	0,454114	61,53846	Memenuhi
1	0,002835	5,5	1	15,5925	4000	0,253378	61,53846	Memenuhi

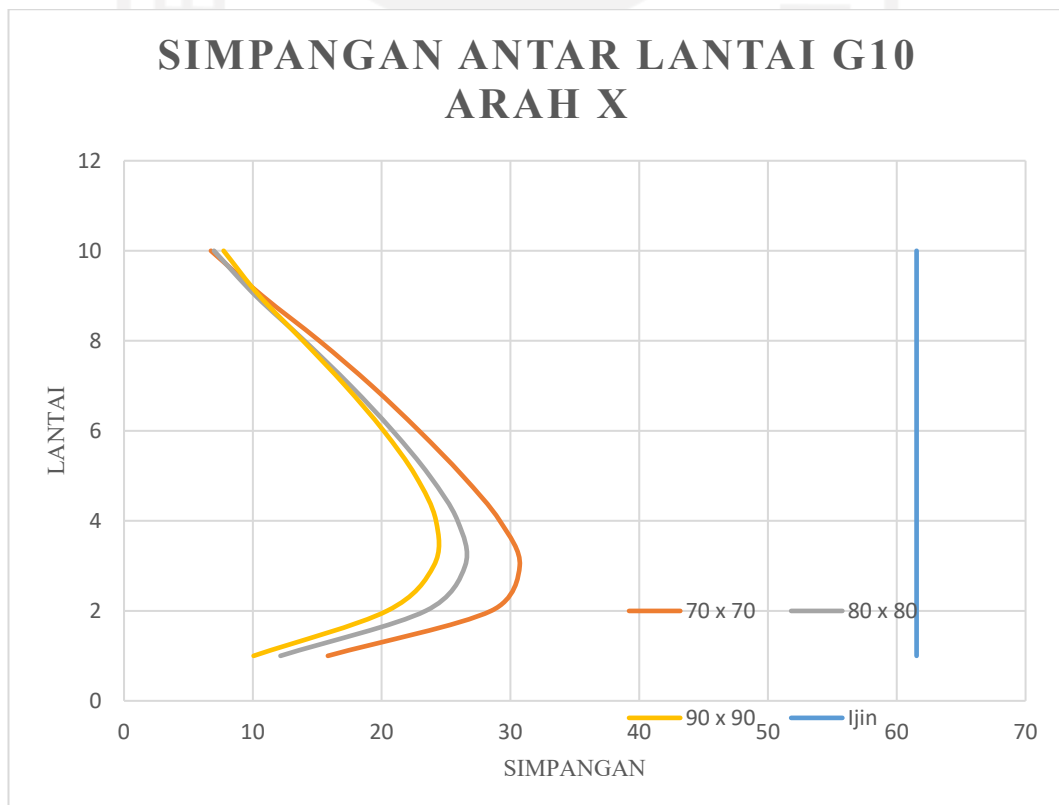
Dibawah ini akan diperlihatkan grafik simpangan dan simpangan antar lantai gedung portal 10 lantai arah X dan Arah Y.



Gambar 5. 11 Simpangan Gedung 10 Lantai Arah X

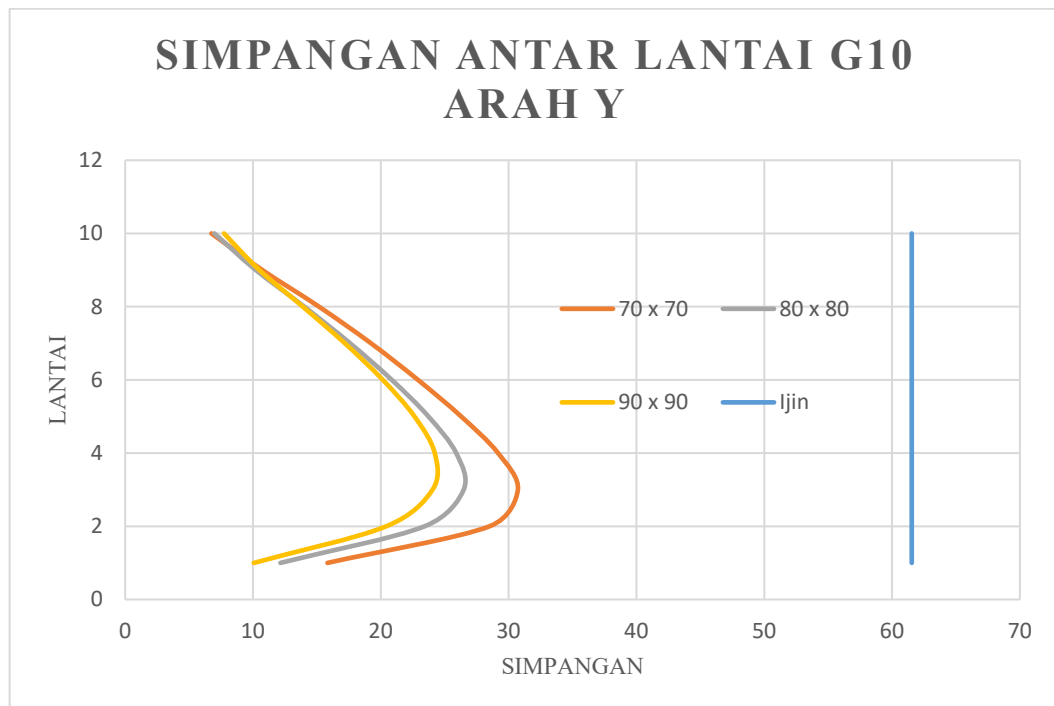


**Gambar 5. 12 Simpangan Gedung 10 Lantai Arah Y**



**Gambar 5. 13 Simpangan Antar Lantai Gedung 10 Lantai Arah X**





**Gambar 5. 14 Simpangan Antar Lantai Gedung 10 Lantai Arah Y**

Dilihat dari grafik diatas dapat disimpulkan gedung 10 lantai dengan dimensi kolom 90x90 cm, 80x80 cm, dan 70x70 cm aman karena  $\Delta < \Delta_a/\rho$  maka simpangan antar lantai tidak melebihi batas ijin, sehingga simpangan antar lantai dinyatakan aman.

#### 5.7.2. Simpangan Pada Gedung Portal 8 Lantai

Berikut merupakan perhitungan simpangan pada gedung 8 lantai tinjauan kolom 90x90 cm untuk arah X.

$$\text{Tinggi tipikal lantai } (h_x) = 4 \text{ m}$$

$$\text{Faktor pembesaran defleksi } (C_d) = 5,5 \text{ untuk SRPMK}$$

$$\text{Faktor keutamaan gempa } (I_e) = 1.0 \text{ untuk kategori risiko II}$$

$$\text{Perpindahan struktur lantai 1, } (\delta_{e1}) = 0,00175 \text{ m}$$

$$\text{Perpindahan struktur lantai 2, } (\delta_{e2}) = 0,00526 \text{ m}$$

$$\text{Simpangan antar lantai 1 } (\Delta_1) = \frac{C_d \delta_{e1}}{I_e} = \frac{5,5 \times 0,00175}{1,0} = 0,009642 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Simpangan antar lantai 2 } (\Delta_2) &= \frac{(\delta_{e2} - \delta_{e1}) C_d}{I_e} = \frac{(0,00526 - 0,00175) \times 5,5}{1,0} \\ &= 0,019305 \text{ m} \end{aligned}$$

Simpangan ijin antar lantai ( $\Delta_a$ ) =  $0,02hx$  untuk kategori risiko II

$$= (0,02 \times 4) = 0,08 \text{ m}$$

$$\Delta a/\rho = \frac{0,020 \times 4000}{1,3} = 61,53846 \text{ mm}$$

$$\text{Drift ratio 1} = \frac{\Delta_1}{\Delta_a} = \frac{0,009642}{0,061} = 0,1566$$

$$\text{Drift ratio 2} = \frac{\Delta_2}{\Delta_a} = \frac{0,019305}{0,061} = 0,3137$$

Dibawah ini adalah rekapitulasi simpangan gedung portal.

**Tabel 5. 19 Simpangan Lantai Gedung 8 Lantai Kolom 90x90 cm**

Lantai	$\delta_{ex}$	Cd	Ie	$\Delta$	hx	$\Delta_i/\Delta_a$	$\Delta a/\rho$	Ket.
Satuan	m			mm	mm		mm	
<b>Arah X</b>								
8	0,023532	5,5	1	8,8055	4000	0,143089	61,53846	Memenuhi
7	0,021931	5,5	1	12,1165	4000	0,196893	61,53846	Memenuhi
6	0,019728	5,5	1	15,9665	4000	0,259456	61,53846	Memenuhi
5	0,016825	5,5	1	19,415	4000	0,315494	61,53846	Memenuhi
4	0,013295	5,5	1	21,8405	4000	0,354908	61,53846	Memenuhi
3	0,009324	5,5	1	22,3355	4000	0,362952	61,53846	Memenuhi
2	0,005263	5,5	1	19,305	4000	0,313706	61,53846	Memenuhi
1	0,001753	5,5	1	9,6415	4000	0,156674	61,53846	Memenuhi
<b>Arah Y</b>								
8	0,022912	5,5	1	8,3985	4000	0,136476	61,53846	Memenuhi
7	0,021385	5,5	1	11,6765	4000	0,189743	61,53846	Memenuhi
6	0,019262	5,5	1	15,4715	4000	0,251412	61,53846	Memenuhi
5	0,016449	5,5	1	18,8925	4000	0,307003	61,53846	Memenuhi
4	0,013014	5,5	1	21,3015	4000	0,346149	61,53846	Memenuhi
3	0,009141	5,5	1	21,8515	4000	0,355087	61,53846	Memenuhi
2	0,005168	5,5	1	18,9365	4000	0,307718	61,53846	Memenuhi
1	0,001725	5,5	1	9,4875	4000	0,154172	61,53846	Memenuhi

**Tabel 5. 20 Simpangan Lantai Gedung 8 Lantai Kolom 80x80 cm**

Lantai	$\delta_{ex}$	Cd	Ie	$\Delta$	hx	$\Delta_i/\Delta_a$	$\Delta a/\rho$	Ket.
Satuan	m			mm	mm		mm	
<b>Arah X</b>								
8	0,024006	5,5	1	7,59	4000	0,123338	61,53846	Memenuhi
7	0,022626	5,5	1	11,3135	4000	0,183844	61,53846	Memenuhi
6	0,020569	5,5	1	15,554	4000	0,252753	61,53846	Memenuhi
5	0,017741	5,5	1	19,3985	4000	0,315226	61,53846	Memenuhi

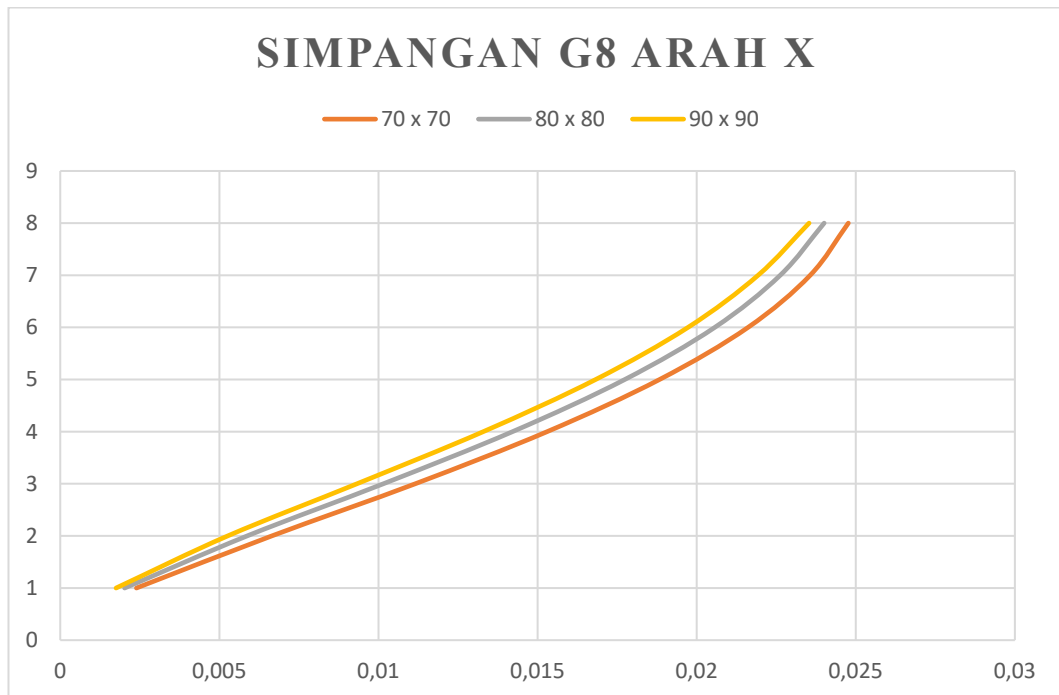
Lanjutan Tabel 5.18 Simpangan Lantai Gedung 10 Lantai Kolom 70x70 cm

Lantai	$\delta_{ex}$	Cd	Ie	$\Delta$	hx	$\Delta_i/\Delta_a$	$\Delta_a/\rho$	Ket.
Satuan	m			mm	mm		mm	
<b>Arah X</b>								
4	0,014214	5,5	1	22,33	4000	0,362863	61,53846	Memenuhi
3	0,010154	5,5	1	23,54	4000	0,382525	61,53846	Memenuhi
2	0,005874	5,5	1	21,186	4000	0,344273	61,53846	Memenuhi
1	0,002022	5,5	1	11,121	4000	0,180716	61,53846	Memenuhi
<b>Arah Y</b>								
8	0,023515	5,5	1	7,271	4000	0,118154	61,53846	Memenuhi
7	0,022193	5,5	1	10,967	4000	0,178214	61,53846	Memenuhi
6	0,020199	5,5	1	15,1635	4000	0,246407	61,53846	Memenuhi
5	0,017442	5,5	1	18,9805	4000	0,308433	61,53846	Memenuhi
4	0,013991	5,5	1	21,901	4000	0,355891	61,53846	Memenuhi
3	0,010009	5,5	1	23,1495	4000	0,376179	61,53846	Memenuhi
2	0,0058	5,5	1	20,889	4000	0,339446	61,53846	Memenuhi
1	0,002002	5,5	1	11,011	4000	0,178929	61,53846	Memenuhi

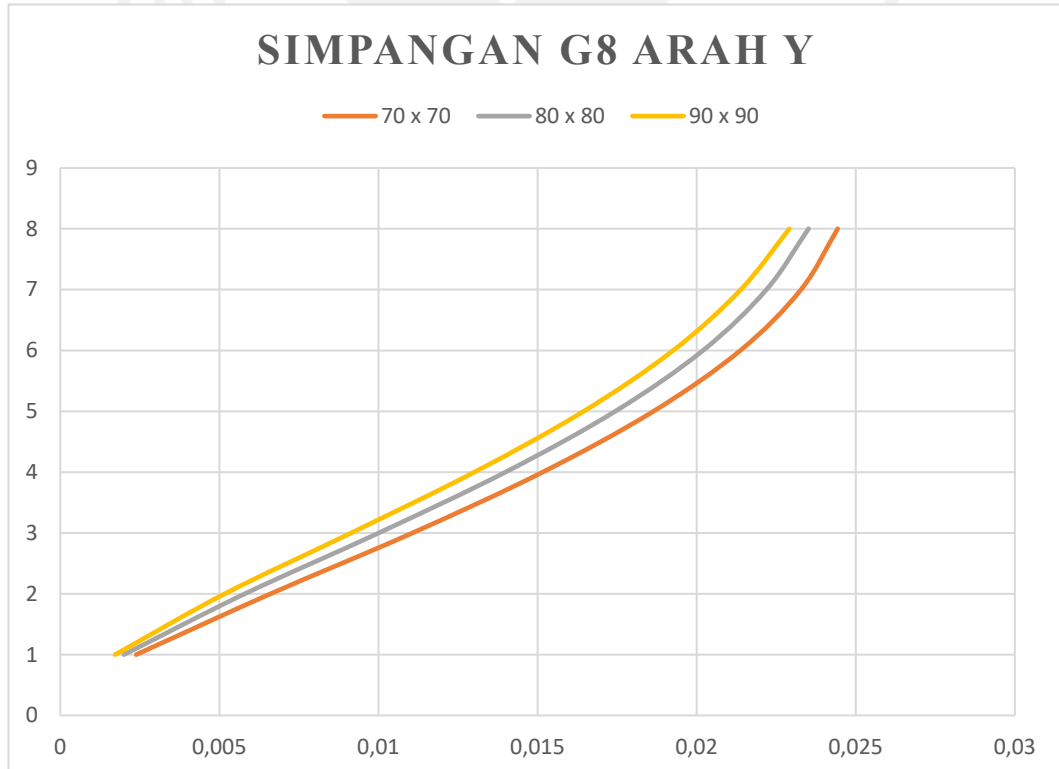
Tabel 5. 21 Simpangan Lantai Gedung 8 Lantai Kolom 70x70 cm

Lantai	$\delta_{ex}$	Cd	Ie	$\Delta$	hx	$\Delta_i/\Delta_a$	$\Delta_a/\rho$	Ket.
Satuan	m			mm	mm		mm	
<b>Arah X</b>								
8	0,024766	5,5	1	6,589	4000	0,107071	61,53846	Memenuhi
7	0,023568	5,5	1	10,7415	4000	0,174549	61,53846	Memenuhi
6	0,021615	5,5	1	15,301	4000	0,248641	61,53846	Memenuhi
5	0,018833	5,5	1	19,4205	4000	0,315583	61,53846	Memenuhi
4	0,015302	5,5	1	22,803	4000	0,370549	61,53846	Memenuhi
3	0,011156	5,5	1	24,7885	4000	0,402813	61,53846	Memenuhi
2	0,006649	5,5	1	23,408	4000	0,38038	61,53846	Memenuhi
1	0,002393	5,5	1	13,1615	4000	0,213874	61,53846	Memenuhi
<b>Arah Y</b>								
8	0,024431	5,5	1	6,3415	4000	0,103049	61,53846	Memenuhi
7	0,023278	5,5	1	10,4775	4000	0,170259	61,53846	Memenuhi
6	0,021373	5,5	1	15,0205	4000	0,244083	61,53846	Memenuhi
5	0,018642	5,5	1	19,14	4000	0,311025	61,53846	Memenuhi
4	0,015162	5,5	1	22,517	4000	0,365901	61,53846	Memenuhi
3	0,011068	5,5	1	24,5245	4000	0,398523	61,53846	Memenuhi
2	0,006609	5,5	1	23,2265	4000	0,377431	61,53846	Memenuhi
1	0,002386	5,5	1	13,123	4000	0,213249	61,53846	Memenuhi

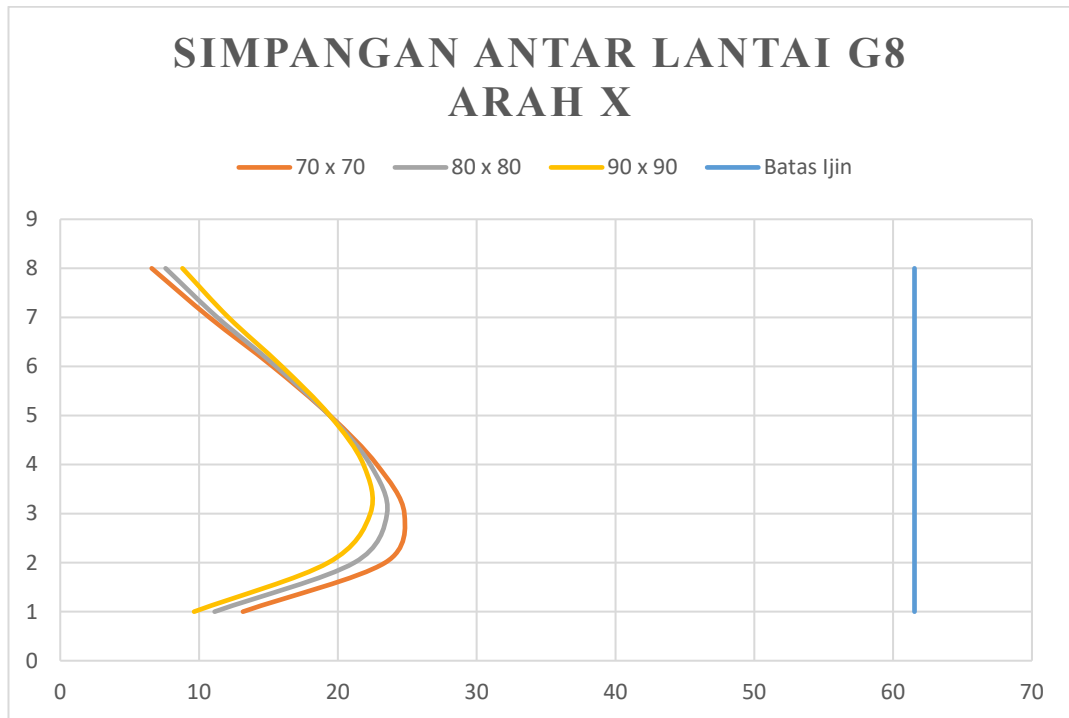
Dibawah ini akan diperlihatkan grafik simpangan dan simpangan antar lantai gedung portal 8 lantai arah X dan Arah Y.



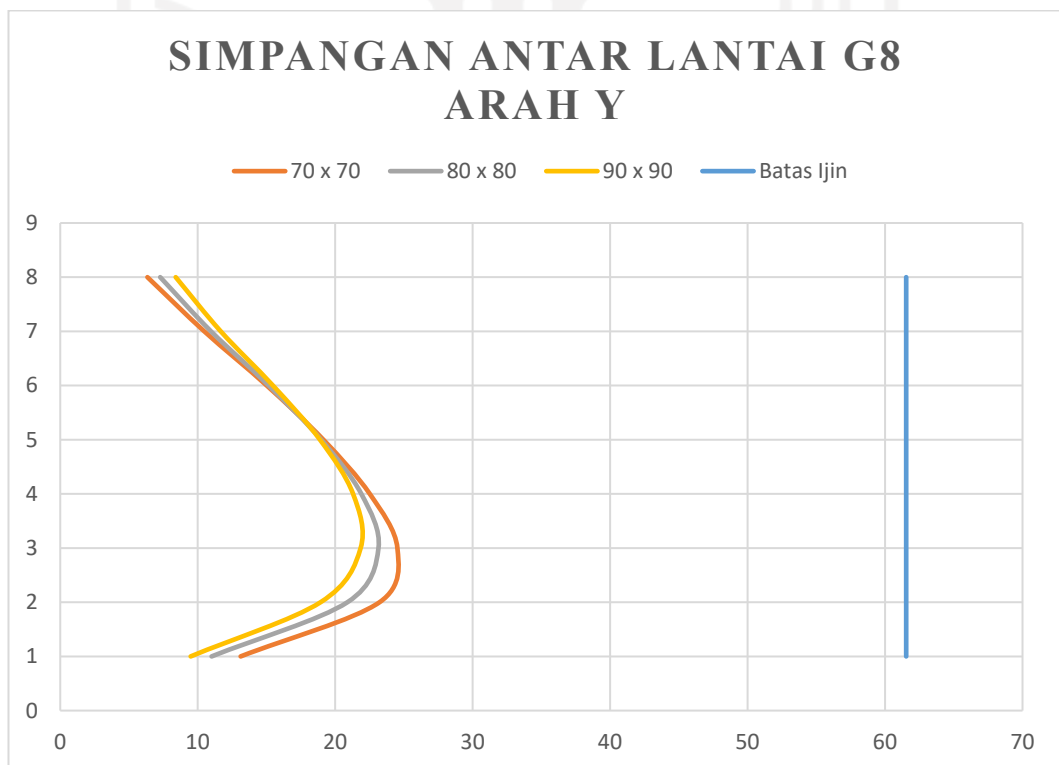
**Gambar 5. 15 Simpangan Gedung 8 Lantai Arah X**



**Gambar 5. 16 Simpangan Gedung 8 Lantai Arah Y**



**Gambar 5. 17 Simpangan Antar Lantai Gedung 8 Lantai Arah X**



**Gambar 5. 18 Simpangan Antar Lantai Gedung 8 Lantai Arah Y**

Dilihat dari grafik diatas dapat disimpulkan gedung 8 lantai dengan dimensi kolom 90x90 cm, 80x80 cm, dan 70x70 cm aman karena  $\Delta < \Delta_a/\rho$  maka simpangan antar lantai tidak melebihi batas ijin, sehingga simpangan antar lantai dinyatakan aman.

### 5.7.3. Simpangan Pada Gedung Portal 6 Lantai

Berikut merupakan perhitungan simpangan pada gedung 6 lantai tinjauan kolom Kolom 1 untuk arah Y.

$$\begin{aligned} \text{Tinggi tipikal lantai } (h_x) &= 4 \text{ m} \\ \text{Faktor pembesaran defleksi } (C_d) &= 5,5 \text{ untuk SRPMK} \\ \text{Faktor keutamaan gempa } (I_e) &= 1,0 \text{ untuk kategori risiko II} \\ \text{Perpindahan struktur lantai 1, } (\delta_{e1}) &= 0,001767 \text{ m} \\ \text{Perpindahan struktur lantai 2, } (\delta_{e2}) &= 0,005238 \text{ m} \\ \text{Simpangan antar lantai 1 } (\Delta_1) &= \frac{C_d \delta_{e1}}{I_e} = \frac{5,5 \times 0,001767}{1,0} = 0,009718 \text{ m} \\ \text{Simpangan antar lantai 2 } (\Delta_2) &= \frac{(\delta_{e2} - \delta_{e1}) C_d}{I_e} = \frac{(0,005238 - 0,001767) \times 5,5}{1,0} \\ &= 0,01909 \text{ m} \\ \text{Simpangan ijin antar lantai } (\Delta_a) &= 0,02 h_x \text{ untuk kategori risiko II} \\ &= 0,02 \times 4 = 0,08 \text{ m} \\ \Delta_a/\rho &= \frac{0,020 \times 4000}{1,3} = 61,53846 \text{ mm} \\ \text{Drift ratio 1} &= \frac{\Delta_1}{\Delta_a} = \frac{0,009718}{0,061} = 0,1579 \\ \text{Drift ratio 2} &= \frac{\Delta_2}{\Delta_a} = \frac{0,01909}{0,061} = 0,3102 \end{aligned}$$

Dibawah ini adalah rekapitulasi simpangan gedung portal.

**Tabel 5. 22 Simpangan Lantai Gedung 6 Lantai Kolom 90x90 cm**

Lantai	$\delta_{ex}$	Cd	Ie	$\Delta$	hx	$\Delta_i/\Delta_a$	$\Delta_a/\rho$	Ket.
Satuan	m			mm	mm		mm	
<b>Arah X</b>								
6	0,017367	5,5	1	11,2255	4000	0,182414	61,53846	Memenuhi
5	0,015326	5,5	1	15,1855	4000	0,246764	61,53846	Memenuhi
4	0,012565	5,5	1	19,162	4000	0,311383	61,53846	Memenuhi
3	0,009081	5,5	1	21,1365	4000	0,343468	61,53846	Memenuhi
2	0,005238	5,5	1	19,0905	4000	0,310221	61,53846	Memenuhi

Lanjutan Tabel 5.22 Simpangan Lantai Gedung 6 Lantai Kolom 90x90 cm

Lantai	$\delta_{ex}$	Cd	Ie	$\Delta$	hx	$\Delta_i/\Delta_a$	$\Delta_a/\rho$	Ket.
Satuan	m			mm	mm		mm	
<b>Arah X</b>								
1	0,001767	5,5	1	9,7185	4000	0,157926	61,53846	Memenuhi
<b>Arah Y</b>								
6	0,016945	5,5	1	10,7965	4000	0,175443	61,53846	Memenuhi
5	0,014982	5,5	1	14,718	4000	0,239168	61,53846	Memenuhi
4	0,012306	5,5	1	18,678	4000	0,303518	61,53846	Memenuhi
3	0,00891	5,5	1	20,6855	4000	0,336139	61,53846	Memenuhi
2	0,005149	5,5	1	18,744	4000	0,30459	61,53846	Memenuhi
1	0,001741	5,5	1	9,5755	4000	0,155602	61,53846	Memenuhi

Tabel 5. 23 Simpangan Lantai Gedung 6 Lantai Kolom 80x80 cm

Lantai	$\delta_{ex}$	Cd	Ie	$\Delta$	hx	$\Delta_i/\Delta_a$	$\Delta_a/\rho$	Ket.
Satuan	m			mm	mm		mm	
<b>Arah X</b>								
6	0,017804	5,5	1	9,8395	4000	0,159892	61,53846	Memenuhi
5	0,016015	5,5	1	14,52	4000	0,23595	61,53846	Memenuhi
4	0,013375	5,5	1	19,305	4000	0,313706	61,53846	Memenuhi
3	0,009865	5,5	1	22,1705	4000	0,360271	61,53846	Memenuhi
2	0,005834	5,5	1	20,9055	4000	0,339714	61,53846	Memenuhi
1	0,002033	5,5	1	11,1815	4000	0,181699	61,53846	Memenuhi
<b>Arah Y</b>								
6	0,017357	5,5	1	9,4435	4000	0,153457	61,53846	Memenuhi
5	0,01564	5,5	1	14,0525	4000	0,228353	61,53846	Memenuhi
4	0,013085	5,5	1	18,7935	4000	0,305394	61,53846	Memenuhi
3	0,009668	5,5	0	21,6645	4000	0,352048	61,53846	Memenuhi
2	0,005729	5,5	1	20,504	4000	0,33319	61,53846	Memenuhi
1	0,002001	5,5	1	11,0055	4000	0,178839	61,53846	Memenuhi

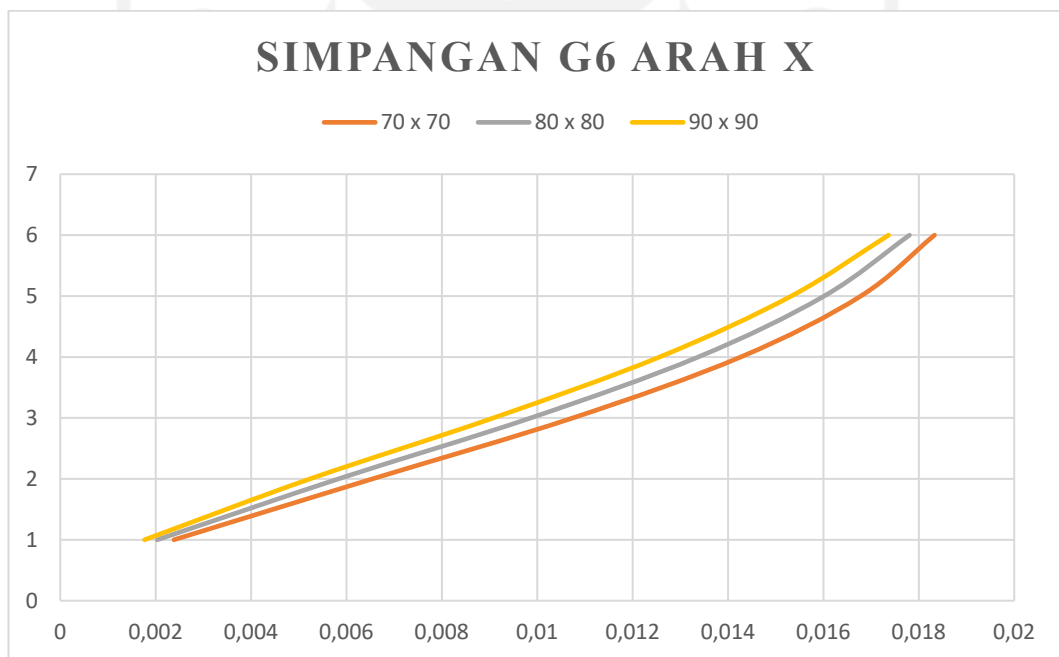
Tabel 5. 24 Simpangan Lantai Gedung 6 Lantai Kolom 70x70 cm

Lantai	$\delta_{ex}$	Cd	Ie	$\Delta$	hx	$\Delta_i/\Delta_a$	$\Delta_a/\rho$	Ket.
Satuan	m			mm	mm		mm	
<b>Arah X</b>								
6	0,018328	5,5	1	8,4975	4000	0,138084	61,53846	Memenuhi
5	0,016783	5,5	1	13,8435	4000	0,224957	61,53846	Memenuhi
4	0,014266	5,5	1	19,3545	4000	0,314511	61,53846	Memenuhi
3	0,010747	5,5	1	23,1055	4000	0,375464	61,53846	Memenuhi
2	0,006546	5,5	1	22,8965	4000	0,372068	61,53846	Memenuhi

Lanjutan Tabel 5.24 Simpangan Lantai Gedung 6 Lantai Kolom 70x70 cm

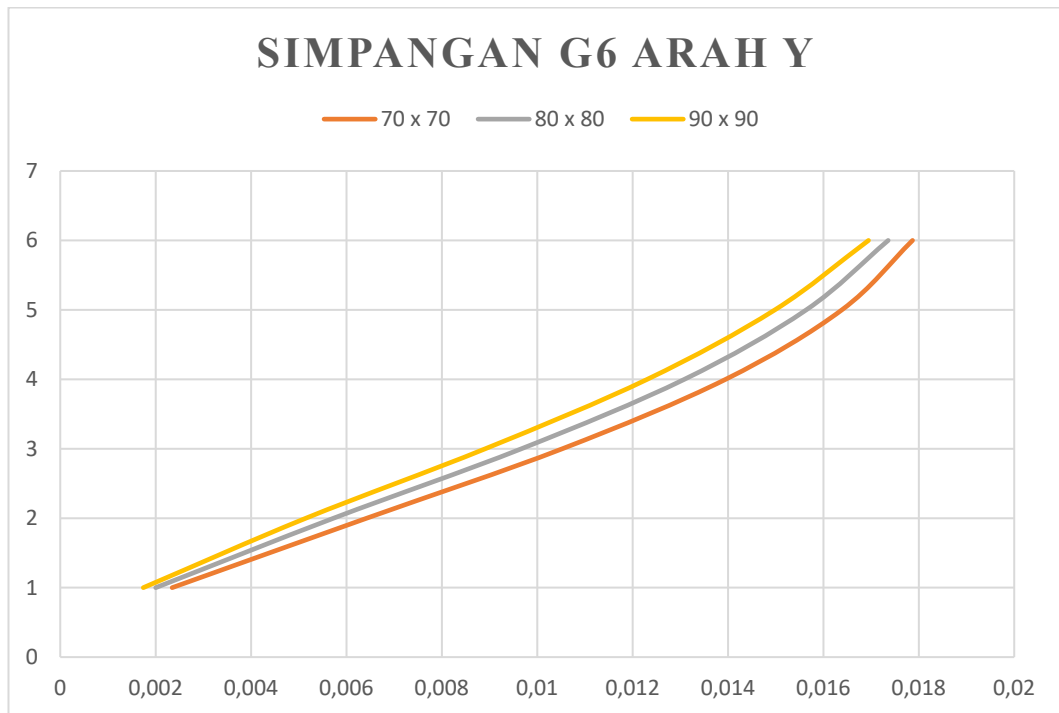
Lantai	$\delta_{ex}$	Cd	Ie	$\Delta$	hx	$\Delta_i/\Delta_a$	$\Delta a/\rho$	Ket.
Satuan	m			mm	mm		mm	
<b>Arah X</b>								
1	0,002383	5,5	1	13,1065	4000	0,212981	61,53846	Memenuhi
<b>Arah Y</b>								
6	0,017868	5,5	1	8,1455	4000	0,132364	61,53846	Memenuhi
5	0,016387	5,5	1	13,4035	4000	0,217807	61,53846	Memenuhi
4	0,01395	5,5	1	18,8375	4000	0,306109	61,53846	Memenuhi
3	0,010525	5,5	0	22,5555	4000	0,366527	61,53846	Memenuhi
2	0,006424	5,5	1	22,429	4000	0,364471	61,53846	Memenuhi
1	0,002346	5,5	1	12,903	4000	0,209674	61,53846	Memenuhi

Dibawah ini akan diperlihatkan grafik simpangan dan simpangan antar lantai gedung portal 6 lantai arah X dan Arah Y.



Gambar 5. 19 Simpangan Gedung 6 Lantai Arah X

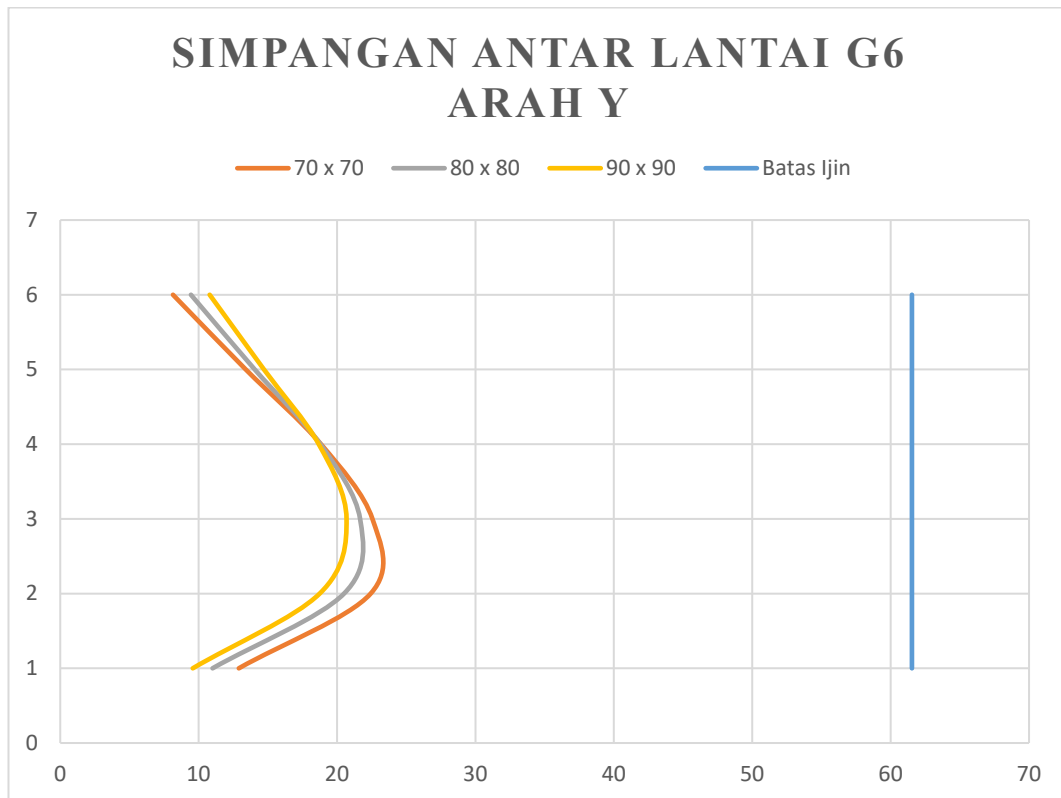




**Gambar 5. 20 Simpangan Gedung 6 Lantai Arah Y**



**Gambar 5. 21 Simpangan Antar Lantai Gedung 6 Lantai Arah X**



**Gambar 5. 22 Simpangan Antar Lantai Gedung 6 Lantai Arah Y**

Dilihat dari grafik diatas dapat disimpulkan gedung 6 lantai dengan dimensi kolom 90x90 cm, 80x80 cm, dan 70x70 cm aman karena  $\Delta < \Delta_a/\rho$  maka simpangan antar lantai tidak melebihi batas ijin, sehingga simpangan antar lantai dinyatakan aman.

### 5.8 Cek Pengaruh P-Delta

Pengaruh P-Delta pada geser dan momen tingkat, gaya dan momen tingkat, gaya dan momen elemen struktur yang dihasilkan, dan simpangan antar lantai tingkat yang timbul oleh pengaruh ini tidak disyaratkan bila koefisien stabilitas ( $\theta$ ) kurang dari 0,10. Selain itu,  $\theta$  harus tidak melebihi  $\theta_{max}$ .

Untuk pengecekan p-delta ini menggunakan nilai simpangan antar lantai yang terbesar di titik yang ditinjau.

#### 5.8.1. Pengaruh P-Delta Gedung 10 Lantai

1. Pengecekan P-Delta Pada Gedung 10 Lantai Kolom 90x90 cm Lantai 3 Titik 1 arah X

$$\Delta = 23,524 \text{ mm}$$

$$P_x = 152164,6 \text{ kN}$$

$$I_e = 1,00$$

$$C_d = 5,50$$

$$V_x = 4359,83 \text{ kN}$$

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

$$\beta = 0,75 \text{ (disamakan dengan faktor kuat geser)}$$

$$\begin{aligned} \theta &= \frac{P_x \cdot \Delta \cdot I_e}{V_x \cdot h_{sx} \cdot C_d} \\ &= \frac{152164,6 \times 23,524 \times 1,00}{4359,83 \times 4000 \times 5,50} \\ &= 0,037 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \theta_{\max} &= \frac{0,5}{\beta \cdot C_d} \\ &= \frac{0,5}{0,75 \cdot 5,50} \\ &= 0,12 \end{aligned}$$

Karena  $\theta < \theta_{\max}$ , maka efek P-Delta diabaikan.

Lantai 3 Titik 1 arah Y

$$\Delta = 23,523 \text{ mm}$$

$$P_x = 152164,6 \text{ kN}$$

$$I_e = 1,00$$

$$C_d = 5,50$$

$$V_x = 4366,252 \text{ kN}$$

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

$$\beta = 0,75 \text{ (disamakan dengan faktor kuat geser)}$$

$$\begin{aligned} \theta &= \frac{P_x \cdot \Delta \cdot I_e}{V_x \cdot h_{sx} \cdot C_d} \\ &= \frac{152164,6 \times 23,523 \times 1,00}{4366,252 \times 4000 \times 5,50} \\ &= 0,037 \end{aligned}$$

$$\theta_{\max} = \frac{0,5}{\beta \cdot C_d}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{0,5}{0,75 \cdot 5,50} \\ &= 0,12 \end{aligned}$$

Karena  $\theta < \theta_{\max}$ , maka efek P-Delta diabaikan.

Dibawah ini adalah Tabel 5.25 rekapan P-Delta arah X dan Tabel 5.26 rekapan P-Delta Arah Y dari portal gedung 10 lantai dengan kolom ukuran 90x90 cm.



**Tabel 5. 25 P-Delta Gedung 10 Lantai Kolom 90x90 Cm Arah X**

Lantai	Cd	Ie	$\Delta$ (mm)	Hsx (mm)	Px (kN)	Vx (kN)	$\beta$	$\theta$	$\theta_{max}$	Keterangan
1	5,50	1,00	9,906	4000	192063,6	4847,72	0,75	0,018	0.12	Efek P-Delta Diabaikan
2	5,50	1,00	20,037	4000	172114,1	4677,39	0,75	0,034	0.12	Efek P-Delta Diabaikan
3	5,50	1,00	23,524	4000	152164,6	4359,83	0,75	0,037	0.12	Efek P-Delta Diabaikan
4	5,50	1,00	23,639	4000	132215,1	3993,19	0,75	0,036	0.12	Efek P-Delta Diabaikan
5	5,50	1,00	22,050	4000	112265,5	3639,21	0,75	0,031	0.12	Efek P-Delta Diabaikan
6	5,50	1,00	19,597	4000	92316,0	3309,19	0,75	0,025	0.12	Efek P-Delta Diabaikan
7	5,50	1,00	16,654	4000	72366,5	2955,11	0,75	0,019	0.12	Efek P-Delta Diabaikan
8	5,50	1,00	13,409	4000	52417,0	2491,17	0,75	0,013	0.12	Efek P-Delta Diabaikan
9	5,50	1,00	10,060	4000	32467,5	1821,09	0,75	0,008	0.12	Efek P-Delta Diabaikan
10	5,50	1,00	7,326	4000	12518,0	826,67	0,75	0,005	0.12	Efek P-Delta Diabaikan

**Tabel 5. 26 P-Delta Gedung 10 Lantai Kolom 90x90 Cm Arah Y**

Lantai	Cd	Ie	$\Delta$ (mm)	Hsx (mm)	Px (kN)	Vx (kN)	$\beta$	$\theta$	$\theta_{max}$	Keterangan
1	5,50	1,00	9,9055	4000	192063,615	4847,249	0,75	0,018	0,12	Efek P-Delta Diabaikan
2	5,50	1,00	20,0365	4000	172114,098	4679,566	0,75	0,033	0,12	Efek P-Delta Diabaikan
3	5,50	1,00	23,5235	4000	152164,581	4366,252	0,75	0,037	0,12	Efek P-Delta Diabaikan
4	5,50	1,00	23,639	4000	132215,064	4002,637	0,75	0,035	0,12	Efek P-Delta Diabaikan
5	5,50	1,00	22,0495	4000	112265,547	3648,088	0,75	0,031	0,12	Efek P-Delta Diabaikan
6	5,50	1,00	19,5965	4000	92316,03	3313,171	0,75	0,025	0,12	Efek P-Delta Diabaikan
7	5,50	1,00	16,654	4000	72366,513	2951,591	0,75	0,019	0,12	Efek P-Delta Diabaikan
8	5,50	1,00	13,409	4000	52416,996	2480,695	0,75	0,013	0,12	Efek P-Delta Diabaikan
9	5,50	1,00	10,0595	4000	32467,479	1807,566	0,75	0,008	0,12	Efek P-Delta Diabaikan
10	5,50	1,00	7,326	4000	12517,962	817,206	0,75	0,005	0,12	Efek P-Delta Diabaikan

Berdasarkan hasil analisis P-Delta di atas dapat diketahui bahwa  $\theta < 0,10$  dan tidak melebihi  $\theta < \theta_{\max}$ , Sehingga analisis P-delta untuk gedung 10 lantai dengan ukuran kolom 90x90 cm pada arah X dan arah Y dapat disimpulkan efek P-Deltanya dapat diabaikan.

2. Pengecekan P-Delta Pada Gedung 10 Lantai Kolom 80x80 cm.

Lantai 4 Titik 1 arah X

$$A = 25,8995 \text{ mm}$$

$$P_x = 125149 \text{ kN}$$

$$I_e = 1,00$$

$$C_d = 5,50$$

$$V_x = 3738,037 \text{ kN}$$

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

$$\beta = 0,75 \text{ (disamakan dengan faktor kuat geser)}$$

$$\begin{aligned} \theta &= \frac{P_x \cdot \Delta \cdot I_e}{V_x \cdot h_{sx} \cdot C_d} \\ &= \frac{125149 \times 25,8995 \times 1,00}{3738,037 \times 4000 \times 5,50} \\ &= 0,039 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \theta_{\max} &= \frac{0,5}{\beta \cdot C_d} \\ &= \frac{0,5}{0,75 \times 5,50} \\ &= 0,12 \end{aligned}$$

Karena  $\theta < \theta_{\max}$ , maka efek P-Delta diabaikan.

Lantai 4 Titik 1 arah Y

$$A = 25,2615 \text{ mm}$$

$$P_x = 125149 \text{ kN}$$

$$I_e = 1,00$$

$$C_d = 5,50$$

$$V_x = 3749,238 \text{ kN}$$

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

$$\beta = 0,75 \text{ (disamakan dengan faktor kuat geser)}$$

$$\begin{aligned}\theta &= \frac{P_x \cdot \Delta \cdot I_e}{V_x \cdot h_{sx} \cdot C_d} \\ &= \frac{125149 \times 25,2615 \times 1,00}{3749,238 \times 4000 \times 5,50} \\ &= 0,038\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\theta_{\max} &= \frac{0,5}{\beta \cdot C_d} \\ &= \frac{0,5}{0,75 \times 5,50} \\ &= 0,12\end{aligned}$$

Karena  $\theta < \theta_{\max}$ , maka efek P-Delta diabaikan.

Dibawah ini adalah Tabel 5.27 rekapan P-Delta arah X dan Tabel 5.28 rekapan P-Delta Arah Y dari gedung 10 lantai dengan kolom ukuran 80x80 cm.

**Tabel 5. 27 P-Delta Gedung 10 Lantai Kolom 80x80 Cm Arah X**

Lantai	Cd	Ie	$\Delta$ (mm)	Hsx (mm)	Px (kN)	Vx (kN)	$\beta$	$\theta$	$\theta_{max}$	Keterangan
1	5,50	1,00	12,1495	4000	181969,174	4560,811	0,75	0,022	0,12	Efek P-Delta Diabaikan
2	5,50	1,00	23,4245	4000	163029,101	4390,568	0,75	0,040	0,12	Efek P-Delta Diabaikan
3	5,50	1,00	26,4825	4000	144089,028	4084,474	0,75	0,042	0,12	Efek P-Delta Diabaikan
4	5,50	1,00	25,8995	4000	125148,955	3738,037	0,75	0,039	0,12	Efek P-Delta Diabaikan
5	5,50	1,00	23,727	4000	106208,883	3413,055	0,75	0,034	0,12	Efek P-Delta Diabaikan
6	5,50	1,00	20,8615	4000	87268,81	3113,203	0,75	0,027	0,12	Efek P-Delta Diabaikan
7	5,50	1,00	17,6	4000	68328,737	2786,045	0,75	0,020	0,12	Efek P-Delta Diabaikan
8	5,50	1,00	14,014	4000	49388,664	2347,091	0,75	0,013	0,12	Efek P-Delta Diabaikan
9	5,50	1,00	10,2245	4000	30448,591	1705,248	0,75	0,008	0,12	Efek P-Delta Diabaikan
10	5,50	1,00	6,985	4000	11508,518	765,834	0,75	0,005	0,12	Efek P-Delta Diabaikan

**Tabel 5. 28 P-Delta Gedung 10 Lantai Kolom 80x80 Cm Arah Y**

Lantai	Cd	Ie	$\Delta$ (mm)	Hsx (mm)	Px (kN)	Vx (kN)	$\beta$	$\theta$	$\theta_{max}$	Keterangan
1	5,50	1,00	11,9515	4000	181969,174	4562,317	0,75	0,022	0,12	Efek P-Delta Diabaikan
2	5,50	1,00	22,9625	4000	163029,101	4394,833	0,75	0,039	0,12	Efek P-Delta Diabaikan
3	5,50	1,00	25,8775	4000	144089,028	4092,97	0,75	0,041	0,12	Efek P-Delta Diabaikan
4	5,50	1,00	25,2615	4000	125148,955	3749,238	0,75	0,038	0,12	Efek P-Delta Diabaikan
5	5,50	1,00	23,1055	4000	106208,883	3423,058	0,75	0,033	0,12	Efek P-Delta Diabaikan
6	5,50	1,00	20,2675	4000	87268,81	3117,548	0,75	0,026	0,12	Efek P-Delta Diabaikan
7	5,50	1,00	17,0555	4000	68328,737	2782,321	0,75	0,019	0,12	Efek P-Delta Diabaikan
8	5,50	1,00	13,5135	4000	49388,664	2336,277	0,75	0,013	0,12	Efek P-Delta Diabaikan
9	5,50	1,00	9,7735	4000	30448,591	1691,592	0,75	0,008	0,12	Efek P-Delta Diabaikan
10	5,50	1,00	6,589	4000	11508,518	756,492	0,75	0,005	0,12	Efek P-Delta Diabaikan



Berdasarkan hasil analisis P-Delta di atas dapat diketahui bahwa  $\theta < 0,10$  dan tidak melebihi  $\theta < \theta_{\max}$ , Sehingga analisis P-delta untuk gedung 10 lantai dengan ukuran kolom 80x80 cm pada arah X dan arah Y dapat disimpulkan efek P-Deltanya dapat diabaikan.

3. Pengecekan P-Delta Pada Gedung 10 Lantai Kolom 70x70 cm.

Lantai 5 Titik 1 arah X

$$A = 26,29 \text{ mm}$$

$$P_x = 100864,767 \text{ kN}$$

$$I_e = 1,00$$

$$C_d = 5,50$$

$$V_x = 3382,531 \text{ kN}$$

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

$$\beta = 0,75 \text{ (disamakan dengan faktor kuat geser)}$$

$$\begin{aligned} \theta &= \frac{P_x \cdot \Delta \cdot I_e}{V_x \cdot h_{sx} \cdot C_d} \\ &= \frac{100864,767 \times 26,29 \times 1,00}{3382,531 \times 4000 \times 5,50} \\ &= 0,036 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \theta_{\max} &= \frac{0,5}{\beta \cdot C_d} \\ &= \frac{0,5}{0,75 \cdot 5,50} \\ &= 0,12 \end{aligned}$$

Karena  $\theta < \theta_{\max}$ , maka efek P-Delta diabaikan.

Lantai 5 Titik 1 arah Y

$$A = 25,575 \text{ mm}$$

$$P_x = 100864,767 \text{ kN}$$

$$I_e = 1,00$$

$$C_d = 5,50$$

$$V_x = 3394,555 \text{ kN}$$

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

$$\beta = 0,75 \text{ (disamakan dengan faktor kuat geser)}$$

$$\begin{aligned}\theta &= \frac{P_x \cdot \Delta \cdot I_e}{V_x \cdot h_{sx} \cdot C_d} \\ &= \frac{100864,767 \times 25,575 \times 1,00}{3394,555 \times 4000 \times 5,50} \\ &= 0,035\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\theta_{\max} &= \frac{0,5}{\beta \cdot C_d} \\ &= \frac{0,5}{0,75 \cdot 5,50} \\ &= 0,12\end{aligned}$$

Karena  $\theta < \theta_{\max}$ , maka efek P-Delta diabaikan.

Dibawah ini adalah Tabel 5.29 rekapan P-Delta arah X dan Tabel 5.30 rekapan P-Delta Arah Y dari gedung 10 lantai dengan kolom ukuran 70x70 cm.

**Tabel 5. 29 P-Delta Gedung 10 Lantai Kolom 70x70 Cm Arah X**

Lantai	Cd	Ie	$\Delta$ (mm)	Hsx (mm)	Px (kN)	Vx (kN)	$\beta$	$\theta$	$\theta_{max}$	Keterangan
1	5,50	1,00	15,829	4000	173062,314	4529,57	0,75	0,027	0,12	Efek P-Delta Diabaikan
2	5,50	1,00	28,5065	4000	155012,927	4348,862	0,75	0,046	0,12	Efek P-Delta Diabaikan
3	5,50	1,00	30,723	4000	136963,54	4037,902	0,75	0,047	0,12	Efek P-Delta Diabaikan
4	5,50	1,00	29,1775	4000	118914,153	3696,545	0,75	0,043	0,12	Efek P-Delta Diabaikan
5	5,50	1,00	26,29	4000	100864,767	3382,531	0,75	0,036	0,12	Efek P-Delta Diabaikan
6	5,50	1,00	22,9075	4000	82815,38	3091,396	0,75	0,028	0,12	Efek P-Delta Diabaikan
7	5,50	1,00	19,2335	4000	64765,993	2767,094	0,75	0,020	0,12	Efek P-Delta Diabaikan
8	5,50	1,00	15,1635	4000	46716,606	2326,057	0,75	0,014	0,12	Efek P-Delta Diabaikan
9	5,50	1,00	10,736	4000	28667,219	1680,13	0,75	0,008	0,12	Efek P-Delta Diabaikan
10	5,50	1,00	6,7485	4000	10617,832	744,089	0,75	0,004	0,12	Efek P-Delta Diabaikan

**Tabel 5. 30 P-Delta Gedung 10 Lantai Kolom 70x70 Cm Arah Y**

Lantai	Cd	Ie	$\Delta$ (mm)	Hsx (mm)	Px (kN)	Vx (kN)	$\beta$	$\theta$	$\theta_{max}$	Keterangan
1	5,50	1,00	15,5925	4000	173062,314	4538,773	0,75	0,027	0,12	Efek P-Delta Diabaikan
2	5,50	1,00	27,9455	4000	155012,927	4360,154	0,75	0,045	0,12	Efek P-Delta Diabaikan
3	5,50	1,00	30,008	4000	136963,54	4051,319	0,75	0,046	0,12	Efek P-Delta Diabaikan
4	5,50	1,00	28,4405	4000	118914,153	3710,362	0,75	0,041	0,12	Efek P-Delta Diabaikan
5	5,50	1,00	25,575	4000	100864,767	3394,555	0,75	0,035	0,12	Efek P-Delta Diabaikan
6	5,50	1,00	22,2475	4000	82815,38	3099,631	0,75	0,027	0,12	Efek P-Delta Diabaikan
7	5,50	1,00	18,623	4000	64765,993	2769,965	0,75	0,020	0,12	Efek P-Delta Diabaikan
8	5,50	1,00	14,6245	4000	46716,606	2322,967	0,75	0,013	0,12	Efek P-Delta Diabaikan
9	5,50	1,00	10,2575	4000	28667,219	1672,564	0,75	0,008	0,12	Efek P-Delta Diabaikan
10	5,50	1,00	6,3415	4000	10617,832	736,953	0,75	0,004	0,12	Efek P-Delta Diabaikan

Berdasarkan hasil analisis P-Delta di atas dapat diketahui bahwa  $\theta < 0,10$  dan tidak melebihi  $\theta < \theta_{\max}$ , Sehingga analisis P-delta untuk gedung 10 lantai dengan ukuran kolom 70x70 cm pada arah X dan arah Y dapat disimpulkan efek P-Deltanya dapat diabaikan.

### 5.8.2. Pengaruh P-Delta Gedung 8 Lantai

#### 1. Pengecekan P-Delta Pada Gedung 8 Lantai Kolom 90x90 cm.

Lantai 3 Titik 1 arah X

$$\Delta = 22,336 \text{ mm}$$

$$P_x = 112265,5 \text{ kN}$$

$$I_e = 1,00$$

$$C_d = 5,50$$

$$V_x = 4149,064 \text{ kN}$$

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

$$\beta = 0,75 \text{ (disamakan dengan faktor kuat geser)}$$

$$\begin{aligned} \theta &= \frac{P_x \cdot \Delta \cdot I_e}{V_x \cdot h_{sx} \cdot C_d} \\ &= \frac{112265,5 \times 22,336 \times 1,00}{4149,064 \times 4000 \times 5,50} \\ &= 0,027 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \theta_{\max} &= \frac{0,5}{\beta \cdot C_d} \\ &= \frac{0,5}{0,75 \times 5,50} \\ &= 0,12 \end{aligned}$$

Karena  $\theta < \theta_{\max}$ , maka efek P-Delta diabaikan.

Lantai 3 Titik 1 arah Y

$$\Delta = 21,852 \text{ mm}$$

$$P_x = 112265,5 \text{ kN}$$

$$I_e = 1,00$$

$$C_d = 5,50$$

$$V_x = 4154,024 \text{ kN}$$

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

$$\beta = 0,75 \text{ (disamakan dengan faktor kuat geser)}$$

$$\begin{aligned} \theta &= \frac{P_x \cdot \Delta \cdot I_e}{V_x \cdot h_{sx} \cdot C_d} \\ &= \frac{112265,5 \times 21,852 \times 1,00}{4154,024 \times 4000 \times 5,50} \\ &= 0,027 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \theta_{\max} &= \frac{0,5}{\beta \cdot C_d} \\ &= \frac{0,5}{0,75 \times 5,50} \\ &= 0,12 \end{aligned}$$

Karena  $\theta < \theta_{\max}$ , maka efek P-Delta diabaikan.

Dibawah ini adalah Tabel 5.31 rekapan P-Delta arah X dan Tabel 5.32 rekapan P-Delta Arah Y dari gedung 8 lantai dengan kolom ukuran 90x90 cm.

**Tabel 5. 31 P-Delta Gedung 8 Lantai Kolom 90x90 Cm Arah X**

Lantai	Cd	Ie	$\Delta$ (mm)	Hsx (mm)	Px (kN)	Vx (kN)	$\beta$	$\theta$	$\theta_{max}$	Keterangan
1	5,50	1,00	9,642	4000	152164,6	4705,706	0,75	0,014	0.12	Efek P-Delta Diabaikan
2	5,50	1,00	19,305	4000	132215,1	4512,334	0,75	0,026	0.12	Efek P-Delta Diabaikan
3	5,50	1,00	22,336	4000	112265,5	4149,064	0,75	0,027	0.12	Efek P-Delta Diabaikan
4	5,50	1,00	21,841	4000	92316,0	3708,800	0,75	0,025	0.12	Efek P-Delta Diabaikan
5	5,50	1,00	19,415	4000	72366,5	3225,266	0,75	0,020	0.12	Efek P-Delta Diabaikan
6	5,50	1,00	15,967	4000	52417,0	2663,345	0,75	0,014	0.12	Efek P-Delta Diabaikan
7	5,50	1,00	12,117	4000	32467,5	1929,197	0,75	0,009	0.12	Efek P-Delta Diabaikan
8	5,50	1,00	8,806	4000	12518,0	879,956	0,75	0,006	0.12	Efek P-Delta Diabaikan

**Tabel 5. 32 P-Delta Gedung 8 Lantai Kolom 90x90 Cm Arah Y**

Lantai	Cd	Ie	$\Delta$ (mm)	Hsx (mm)	Px (kN)	Vx (kN)	$\beta$	$\theta$	$\theta_{max}$	Keterangan
1	5,50	1,00	9,488	4000	152164,6	4705,407	0,75	0,014	0.12	Efek P-Delta Diabaikan
2	5,50	1,00	18,937	4000	132215,1	4514,478	0,75	0,025	0.12	Efek P-Delta Diabaikan
3	5,50	1,00	21,852	4000	112265,5	4154,024	0,75	0,027	0.12	Efek P-Delta Diabaikan
4	5,50	1,00	21,302	4000	92316,0	3713,953	0,75	0,024	0.12	Efek P-Delta Diabaikan
5	5,50	1,00	18,893	4000	72366,5	3226,667	0,75	0,019	0.12	Efek P-Delta Diabaikan
6	5,50	1,00	15,472	4000	52417,0	2658,445	0,75	0,014	0.12	Efek P-Delta Diabaikan
7	5,50	1,00	11,677	4000	32467,5	1919,364	0,75	0,009	0.12	Efek P-Delta Diabaikan
8	5,50	1,00	8,398	4000	12518,0	871,33	0,75	0,005	0.12	Efek P-Delta Diabaikan

Berdasarkan hasil analisis P-Delta di atas dapat diketahui bahwa  $\theta < 0,10$  dan tidak melebihi  $\theta < \theta_{\max}$ , Sehingga analisis P-delta untuk gedung 8 lantai dengan ukuran kolom 90x90 cm pada arah X dan arah Y dapat disimpulkan efek P-Deltanya dapat diabaikan.

2. Pengecekan P-Delta Pada Gedung 8 Lantai Kolom 80x80 cm.

Lantai 3 Titik 1 arah X

$$A = 23,54 \text{ mm}$$

$$P_x = 106208,883 \text{ kN}$$

$$I_e = 1,00$$

$$C_d = 5,50$$

$$V_x = 3699,671 \text{ kN}$$

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

$$\beta = 0,75 \text{ (disamakan dengan faktor kuat geser)}$$

$$\begin{aligned} \theta &= \frac{P_x \cdot \Delta \cdot I_e}{V_x \cdot h_{sx} \cdot C_d} \\ &= \frac{106208,883 \times 23,54 \times 1,00}{3699,671 \times 4000 \times 5,50} \\ &= 0,031 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \theta_{\max} &= \frac{0,5}{\beta \cdot C_d} \\ &= \frac{0,5}{0,75 \times 5,50} \\ &= 0,12 \end{aligned}$$

Karena  $\theta < \theta_{\max}$ , maka efek P-Delta diabaikan.

Lantai 3 Titik 1 arah Y

$$A = 23,54 \text{ mm}$$

$$P_x = 106208,883 \text{ kN}$$

$$I_e = 1,00$$

$$C_d = 5,50$$

$$V_x = 3699,671 \text{ kN}$$

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

$$\beta = 0,75 \text{ (disamakan dengan faktor kuat geser)}$$

$$\begin{aligned}\theta &= \frac{P_x \cdot \Delta \cdot I_e}{V_x \cdot h_{sx} \cdot C_d} \\ &= \frac{106208,883 \times 23,54 \times 1,00}{3699,671 \times 4000 \times 5,50} \\ &= 0,031\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\theta_{\max} &= \frac{0,5}{\beta \cdot C_d} \\ &= \frac{0,5}{0,75 \cdot 5,50} \\ &= 0,12\end{aligned}$$

Karena  $\theta < \theta_{\max}$ , maka efek P-Delta diabaikan.

Dibawah ini adalah Tabel 5.33 rekapan P-Delta arah X dan Tabel 5.34 rekapan P-Delta Arah Y dari gedung 8 lantai dengan kolom ukuran 80x80 cm.



**Tabel 5. 33 P-Delta Gedung 8 Lantai Kolom 80x80 Cm Arah X**

Lantai	Cd	Ie	$\Delta$ (mm)	Hsx (mm)	Px (kN)	Vx (kN)	$\beta$	$\theta$	$\theta_{max}$	Keterangan
1	5,50	1,00	11,121	4000	144089,028	4216,118	0,75	0,017	0.12	Efek P-Delta Diabaikan
2	5,50	1,00	21,186	4000	125148,955	4032,48	0,75	0,030	0.12	Efek P-Delta Diabaikan
3	5,50	1,00	23,54	4000	106208,883	3699,671	0,75	0,031	0.12	Efek P-Delta Diabaikan
4	5,50	1,00	22,33	4000	87268,81	3304,64	0,75	0,027	0.12	Efek P-Delta Diabaikan
5	5,50	1,00	19,3985	4000	68328,737	2877,662	0,75	0,021	0.12	Efek P-Delta Diabaikan
6	5,50	1,00	15,554	4000	49388,664	2378,949	0,75	0,015	0.12	Efek P-Delta Diabaikan
7	5,50	1,00	11,3135	4000	30448,591	1718,441	0,75	0,009	0.12	Efek P-Delta Diabaikan
8	5,50	1,00	7,59	4000	11508,518	777,717	0,75	0,005	0.12	Efek P-Delta Diabaikan

**Tabel 5. 34 P-Delta Gedung 8 Lantai Kolom 80x80 Cm Arah Y**

Lantai	Cd	Ie	$\Delta$ (mm)	Hsx (mm)	Px (kN)	Vx (kN)	$\beta$	$\theta$	$\theta_{max}$	Keterangan
1	5,50	1,00	11,011	4000	144089,028	4243,717	0,75	0,017	0,12	Efek P-Delta Diabaikan
2	5,50	1,00	20,889	4000	125148,955	4061,317	0,75	0,029	0,12	Efek P-Delta Diabaikan
3	5,50	1,00	23,1495	4000	106208,883	3729,013	0,75	0,030	0,12	Efek P-Delta Diabaikan
4	5,50	1,00	21,901	4000	87268,81	3331,229	0,75	0,026	0,12	Efek P-Delta Diabaikan
5	5,50	1,00	18,9805	4000	68328,737	2897,33	0,75	0,020	0,12	Efek P-Delta Diabaikan
6	5,50	1,00	15,1635	4000	49388,664	2389,027	0,75	0,014	0,12	Efek P-Delta Diabaikan
7	5,50	1,00	10,967	4000	30448,591	1719,623	0,75	0,009	0,12	Efek P-Delta Diabaikan
8	5,50	1,00	7,271	4000	11508,518	774,369	0,75	0,005	0,12	Efek P-Delta Diabaikan

Berdasarkan hasil analisis P-Delta di atas dapat diketahui bahwa  $\theta < 0,10$  dan tidak melebihi  $\theta < \theta_{\max}$ , Sehingga analisis P-delta untuk gedung 8 lantai dengan ukuran kolom 80x80 cm pada arah X dan arah Y dapat disimpulkan efek P-Deltanya dapat diabaikan.

3. Pengecekan P-Delta Pada Gedung 8 Lantai Kolom 70x70 cm.

Lantai 3 Titik 1 arah X

$$A = 24,7885 \text{ mm}$$

$$P_x = 100864,767 \text{ kN}$$

$$I_e = 1,00$$

$$C_d = 5,50$$

$$V_x = 3305,359 \text{ kN}$$

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

$$\beta = 0,75 \text{ (disamakan dengan faktor kuat geser)}$$

$$\begin{aligned} \theta &= \frac{P_x \cdot \Delta \cdot I_e}{V_x \cdot h_{sx} \cdot C_d} \\ &= \frac{100864,767 \times 24,7885 \times 1,00}{3305,359 \times 4000 \times 5,50} \\ &= 0,047 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \theta_{\max} &= \frac{0,5}{\beta \cdot C_d} \\ &= \frac{0,5}{0,75 \cdot 5,50} \\ &= 0,12 \end{aligned}$$

Karena  $\theta < \theta_{\max}$ , maka efek P-Delta diabaikan.

Lantai 3 Titik 1 arah Y

$$A = 24,525 \text{ mm}$$

$$P_x = 100864,767 \text{ kN}$$

$$I_e = 1,00$$

$$C_d = 5,50$$

$$V_x = 3356,989 \text{ kN}$$

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

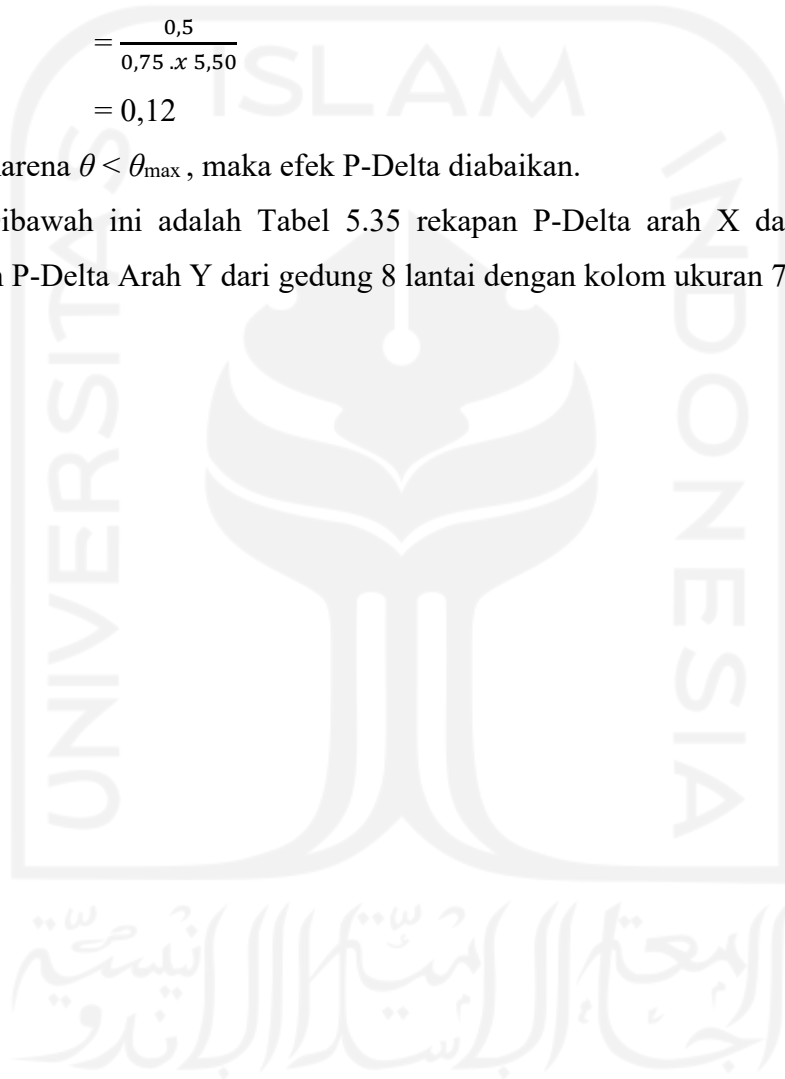
$$\beta = 0,75 \text{ (disamakan dengan faktor kuat geser)}$$

$$\begin{aligned}\theta &= \frac{P_x \cdot \Delta \cdot I_e}{V_x \cdot h_{sx} \cdot C_d} \\ &= \frac{100864,767 \times 24,525 \times 1,00}{3356,989 \times 4000 \times 5,50} \\ &= 0,045\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\theta_{\max} &= \frac{0,5}{\beta \cdot C_d} \\ &= \frac{0,5}{0,75 \cdot 5,50} \\ &= 0,12\end{aligned}$$

Karena  $\theta < \theta_{\max}$ , maka efek P-Delta diabaikan.

Dibawah ini adalah Tabel 5.35 rekapan P-Delta arah X dan Tabel 5.36 rekapan P-Delta Arah Y dari gedung 8 lantai dengan kolom ukuran 70x70 cm.



**Tabel 5. 35 P-Delta Gedung 8 Lantai Kolom 70x70 Cm Arah X**

Lantai	Cd	Ie	$\Delta$ (mm)	Hsx (mm)	Px (kN)	Vx (kN)	$\beta$	$\theta$	$\theta_{max}$	Keterangan
1	5,50	1,00	13,1615	4000	136963,54	3792,852	0,75	0,022	0.12	Efek P-Delta Diabaikan
2	5,50	1,00	23,408	4000	118914,153	3614,545	0,75	0,046	0.12	Efek P-Delta Diabaikan
3	5,50	1,00	24,7885	4000	100864,767	3305,359	0,75	0,047	0.12	Efek P-Delta Diabaikan
4	5,50	1,00	22,803	4000	82815,38	2951,203	0,75	0,042	0.12	Efek P-Delta Diabaikan
5	5,50	1,00	19,4205	4000	64765,993	2577,073	0,75	0,035	0.12	Efek P-Delta Diabaikan
6	5,50	1,00	15,301	4000	46716,606	2136,961	0,75	0,027	0.12	Efek P-Delta Diabaikan
7	5,50	1,00	10,7415	4000	28667,219	1541,876	0,75	0,021	0.12	Efek P-Delta Diabaikan
8	5,50	1,00	6,589	4000	10617,832	690,149	0,75	0,020	0.12	Efek P-Delta Diabaikan

**Tabel 5. 36 P-Delta Gedung 8 Lantai Kolom 70x70 Cm Arah Y**

Lantai	Cd	Ie	$\Delta$ (mm)	Hsx (mm)	Px (kN)	Vx (kN)	$\beta$	$\theta$	$\theta_{max}$	Keterangan
1	5,50	1,00	13,123	4000	136963,54	3846,002	0,75	0,021	0.12	Efek P-Delta Diabaikan
2	5,50	1,00	23,2265	4000	118914,153	3667,823	0,75	0,045	0.12	Efek P-Delta Diabaikan
3	5,50	1,00	24,5245	4000	100864,767	3356,989	0,75	0,045	0.12	Efek P-Delta Diabaikan
4	5,50	1,00	22,517	4000	82815,38	2997,363	0,75	0,041	0.12	Efek P-Delta Diabaikan
5	5,50	1,00	19,14	4000	64765,993	2613,32	0,75	0,034	0.12	Efek P-Delta Diabaikan
6	5,50	1,00	15,0205	4000	46716,606	2160,509	0,75	0,026	0.12	Efek P-Delta Diabaikan
7	5,50	1,00	10,4775	4000	28667,219	1552,873	0,75	0,020	0.12	Efek P-Delta Diabaikan
8	5,50	1,00	6,3415	4000	10617,832	691,322	0,75	0,019	0.12	Efek P-Delta Diabaikan

Berdasarkan hasil analisis P-Delta di atas dapat diketahui bahwa  $\theta < 0,10$  dan tidak melebihi  $\theta < \theta_{\max}$ , Sehingga analisis P-delta untuk gedung 8 lantai dengan ukuran kolom 70x70 cm pada arah X dan arah Y dapat disimpulkan efek P-Deltanya dapat diabaikan.

### 5.8.3. Pengaruh P-Delta Gedung 6 Lantai

#### 1. Pengecekan P-Delta Pada Gedung 6 Lantai Kolom 90x90 cm

Lantai 3 Titik 1 arah X

$$\Delta = 21,137 \text{ mm}$$

$$P_x = 72366,5 \text{ kN}$$

$$I_e = 1,00$$

$$C_d = 5,50$$

$$V_x = 4129,1 \text{ kN}$$

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

$$\beta = 0,75 \text{ (disamakan dengan faktor kuat geser)}$$

$$\begin{aligned} \theta &= \frac{P_x \cdot \Delta \cdot I_e}{V_x \cdot h_{sx} \cdot C_d} \\ &= \frac{72366,5 \times 21,137 \times 1,00}{4129,1 \times 4000 \times 5,50} \\ &= 0,017 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \theta_{\max} &= \frac{0,5}{\beta \cdot C_d} \\ &= \frac{0,5}{0,75 \times 5,50} \\ &= 0,12 \end{aligned}$$

Karena  $\theta < \theta_{\max}$ , maka efek P-Delta diabaikan.

Lantai 3 Titik 1 arah Y

$$\Delta = 20,686 \text{ mm}$$

$$P_x = 72366,5 \text{ kN}$$

$$I_e = 1,00$$

$$C_d = 5,50$$

$$V_x = 4131,486 \text{ kN}$$

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

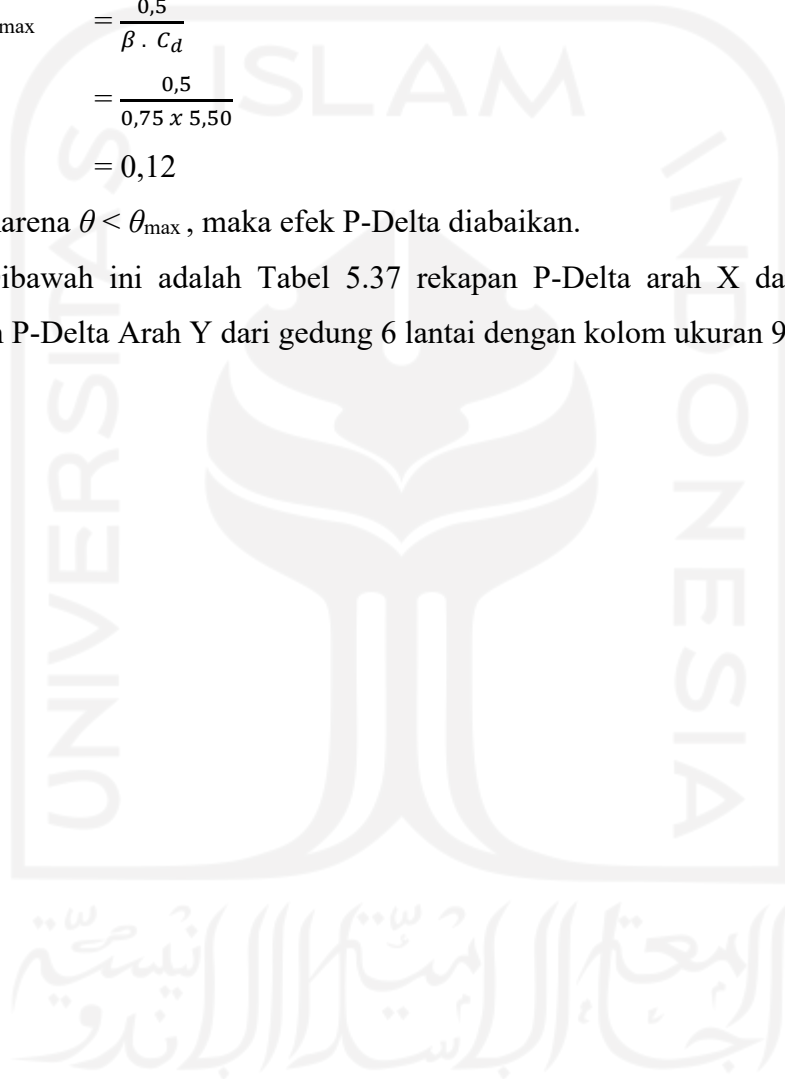
$$\beta = 0,75 \text{ (disamakan dengan faktor kuat geser)}$$

$$\begin{aligned} \theta &= \frac{P_x \cdot \Delta \cdot I_e}{V_x \cdot h_{sx} \cdot C_d} \\ &= \frac{72366,5 \times 20,686 \times 1,00}{4131,486 \times 4000 \times 5,50} \\ &= 0,016 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \theta_{\max} &= \frac{0,5}{\beta \cdot C_d} \\ &= \frac{0,5}{0,75 \times 5,50} \\ &= 0,12 \end{aligned}$$

Karena  $\theta < \theta_{\max}$ , maka efek P-Delta diabaikan.

Dibawah ini adalah Tabel 5.37 rekapan P-Delta arah X dan Tabel 5.38 rekapan P-Delta Arah Y dari gedung 6 lantai dengan kolom ukuran 90x90 cm.



**Tabel 5. 37 P-Delta Gedung 6 Lantai Kolom 90x90 Cm Arah X**

Lantai	Cd	Ie	$\Delta$ (mm)	Hsx (mm)	Px (kN)	Vx (kN)	$\beta$	$\theta$	$\theta_{max}$	Keterangan
1	5,50	1,00	9,719	4000	112265,5	4937,1	0,75	0,010	0.12	Efek P-Delta Diabaikan
2	5,50	1,00	19,091	4000	92316,0	4670,8	0,75	0,017	0.12	Efek P-Delta Diabaikan
3	5,50	1,00	21,137	4000	72366,5	4129,1	0,75	0,017	0.12	Efek P-Delta Diabaikan
4	5,50	1,00	19,162	4000	52417,0	3375,8	0,75	0,014	0.12	Efek P-Delta Diabaikan
5	5,50	1,00	15,186	4000	32467,5	2393,2	0,75	0,009	0.12	Efek P-Delta Diabaikan
6	5,50	1,00	11,226	4000	12518,0	1068,1	0,75	0,006	0.12	Efek P-Delta Diabaikan

**Tabel 5. 38 P-Delta Gedung 6 Lantai Kolom 90x90 Cm Arah Y**

Lantai	Cd	Ie	$\Delta$ (mm)	Hsx (mm)	Px (kN)	Vx (kN)	$\beta$	$\theta$	$\theta_{max}$	Keterangan
1	5,50	1,00	9,576	4000	112265,5	4937,09	0,75	0,010	0.12	Efek P-Delta Diabaikan
2	5,50	1,00	18,744	4000	92316,0	4672,656	0,75	0,017	0.12	Efek P-Delta Diabaikan
3	5,50	1,00	20,686	4000	72366,5	4131,486	0,75	0,016	0.12	Efek P-Delta Diabaikan
4	5,50	1,00	18,678	4000	52417,0	3374,872	0,75	0,013	0.12	Efek P-Delta Diabaikan
5	5,50	1,00	14,718	4000	32467,5	2387,106	0,75	0,009	0.12	Efek P-Delta Diabaikan
6	5,50	1,00	10,797	4000	12518,0	1060,557	0,75	0,006	0.12	Efek P-Delta Diabaikan

Berdasarkan hasil analisis P-Delta di atas dapat diketahui bahwa  $\theta < 0,10$  dan tidak melebihi  $\theta < \theta_{\max}$ , Sehingga analisis P-delta untuk gedung 6 lantai dengan ukuran kolom 90x90 cm pada arah X dan arah Y dapat disimpulkan efek P-Deltanya dapat diabaikan.

2. Pengecekan P-Delta Pada Gedung 6 Lantai Kolom 80x80 cm

Lantai 3 Titik 1 arah X

$$A = 22,1705 \text{ mm}$$

$$P_x = 68328,737 \text{ kN}$$

$$I_e = 1,00$$

$$C_d = 5,50$$

$$V_x = 3634,597 \text{ kN}$$

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

$$\beta = 0,75 \text{ (disamakan dengan faktor kuat geser)}$$

$$\begin{aligned} \theta &= \frac{P_x \cdot \Delta \cdot I_e}{V_x \cdot h_{sx} \cdot C_d} \\ &= \frac{68328,737 \times 22,1805 \times 1,00}{3634,597 \times 4000 \times 5,50} \\ &= 0,019 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \theta_{\max} &= \frac{0,5}{\beta \cdot C_d} \\ &= \frac{0,5}{0,75 \times 5,50} \\ &= 0,12 \end{aligned}$$

Karena  $\theta < \theta_{\max}$ , maka efek P-Delta diabaikan.

Lantai 3 Titik 1 arah Y

$$A = 21,665 \text{ mm}$$

$$P_x = 68328,737 \text{ kN}$$

$$I_e = 1,00$$

$$C_d = 5,50$$

$$V_x = 3636,273 \text{ kN}$$

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

$$\beta = 0,75 \text{ (disamakan dengan faktor kuat geser)}$$



$$\begin{aligned}\theta &= \frac{P_x \cdot \Delta \cdot I_e}{V_x \cdot h_{sx} \cdot C_d} \\ &= \frac{68328,737 \times 21,665 \times 1,00}{3636,273 \times 4000 \times 5,50} \\ &= 0,019\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\theta_{\max} &= \frac{0,5}{\beta \cdot C_d} \\ &= \frac{0,5}{0,75 \times 5,50} \\ &= 0,12\end{aligned}$$

Karena  $\theta < \theta_{\max}$ , maka efek P-Delta diabaikan.

Dibawah ini adalah Tabel 5.39 rekapan P-Delta arah X dan Tabel 5.40 rekapan P-Delta Arah Y dari gedung 6 lantai dengan kolom ukuran 80x80 cm.

**Tabel 5. 39 P-Delta Gedung 6 Lantai Kolom 80x80 Cm Arah X**

Lantai	Cd	Ie	$\Delta$ (mm)	Hsx (mm)	Px (kN)	Vx (kN)	$\beta$	$\theta$	$\theta_{max}$	Keterangan
1	5,50	1,00	11,1815	4000	106208,883	4375,577	0,75	0,012	0.12	Efek P-Delta Diabaikan
2	5,50	1,00	20,9055	4000	87268,81	4125,998	0,75	0,020	0.12	Efek P-Delta Diabaikan
3	5,50	1,00	22,1705	4000	68328,737	3634,597	0,75	0,019	0.12	Efek P-Delta Diabaikan
4	5,50	1,00	19,305	4000	49388,664	2964,47	0,75	0,015	0.12	Efek P-Delta Diabaikan
5	5,50	1,00	14,52	4000	30448,591	2097,846	0,75	0,010	0.12	Efek P-Delta Diabaikan
6	5,50	1,00	9,8395	4000	11508,518	931,826	0,75	0,006	0.12	Efek P-Delta Diabaikan

**Tabel 5. 40 P-Delta Gedung 6 Lantai Kolom 80x80 Cm Arah Y**

Lantai	Cd	Ie	$\Delta$ (mm)	Hsx (mm)	Px (kN)	Vx (kN)	$\beta$	$\theta$	$\theta_{max}$	Keterangan
1	5,50	1,00	11,0055	4000	106208,883	4374,95	0,75	0,012	0.12	Efek P-Delta Diabaikan
2	5,50	1,00	20,504	4000	87268,81	4127,241	0,75	0,020	0.12	Efek P-Delta Diabaikan
3	5,50	1,00	21,6645	4000	68328,737	3636,273	0,75	0,019	0.12	Efek P-Delta Diabaikan
4	5,50	1,00	18,7935	4000	49388,664	2962,877	0,75	0,014	0.12	Efek P-Delta Diabaikan
5	5,50	1,00	14,0525	4000	30448,591	2091,275	0,75	0,009	0.12	Efek P-Delta Diabaikan
6	5,50	1,00	9,4435	4000	11508,518	924,133	0,75	0,005	0.12	Efek P-Delta Diabaikan

Berdasarkan hasil analisis P-Delta di atas dapat diketahui bahwa  $\theta < 0,10$  dan tidak melebihi  $\theta < \theta_{\max}$ , Sehingga analisis P-delta untuk gedung 6 lantai dengan ukuran kolom 80x80 cm pada arah X dan arah Y dapat disimpulkan efek P-Deltanya dapat diabaikan.

### 3. Pengecekan P-Delta Pada Gedung 6 Lantai Kolom 70x70 cm

Lantai 3 Titik 1 arah X

$$A = 23,1055 \text{ mm}$$

$$P_x = 64765,993 \text{ kN}$$

$$I_e = 1,00$$

$$C_d = 5,50$$

$$V_x = 3183,998 \text{ kN}$$

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

$$\beta = 0,75 \text{ (disamakan dengan faktor kuat geser)}$$

$$\begin{aligned} \theta &= \frac{P_x \cdot \Delta \cdot I_e}{V_x \cdot h_{sx} \cdot C_d} \\ &= \frac{64765,993 \times 23,105 \times 1,00}{3183,993 \times 4000 \times 5,50} \\ &= 0,021 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \theta_{\max} &= \frac{0,5}{\beta \cdot C_d} \\ &= \frac{0,5}{0,75 \times 5,50} \\ &= 0,12 \end{aligned}$$

Karena  $\theta < \theta_{\max}$ , maka efek P-Delta diabaikan.

Lantai 3 Titik 1 arah Y

$$A = 22,556 \text{ mm}$$

$$P_x = 64765,993 \text{ kN}$$

$$I_e = 1,00$$

$$C_d = 5,50$$

$$V_x = 3186,864 \text{ kN}$$

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

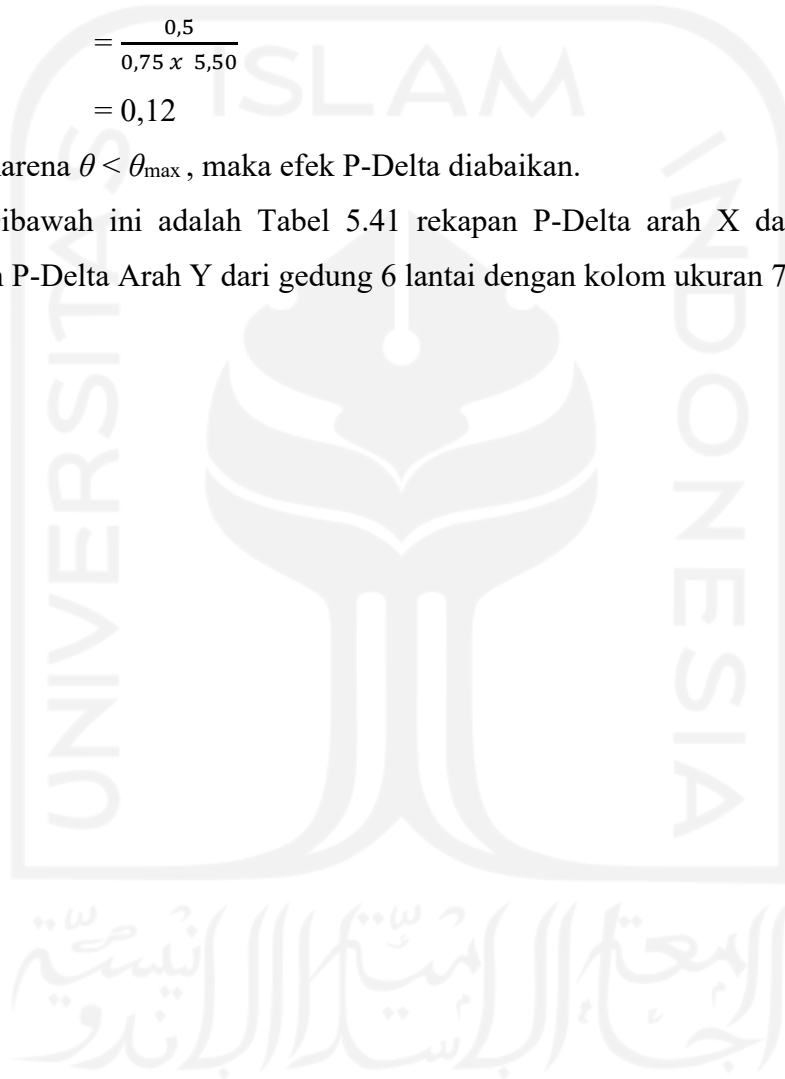
$$\beta = 0,75 \text{ (disamakan dengan faktor kuat geser)}$$

$$\begin{aligned}\theta &= \frac{P_x \cdot \Delta \cdot I_e}{V_x \cdot h_{sx} \cdot C_d} \\ &= \frac{64765,993 \times 22,556 \times 1,00}{3186,864 \times 4000 \times 5,50} \\ &= 0,021\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\theta_{\max} &= \frac{0,5}{\beta \cdot C_d} \\ &= \frac{0,5}{0,75 \times 5,50} \\ &= 0,12\end{aligned}$$

Karena  $\theta < \theta_{\max}$ , maka efek P-Delta diabaikan.

Dibawah ini adalah Tabel 5.41 rekap P-Delta arah X dan Tabel 5.42 rekap P-Delta Arah Y dari gedung 6 lantai dengan kolom ukuran 70x70 cm.



Tabel 5. 41 P-Delta Gedung 6 Lantai Kolom 70x70 Cm Arah X

Lantai	Cd	Ie	$\Delta$ (mm)	Hsx (mm)	Px (kN)	Vx (kN)	$\beta$	$\theta$	$\theta_{max}$	Keterangan
1	5,50	1,00	13,1065	4000	100864,767	3867,695	0,75	0,016	0.12	Efek P-Delta Diabaikan
2	5,50	1,00	22,8965	4000	82815,38	3629,672	0,75	0,024	0.12	Efek P-Delta Diabaikan
3	5,50	1,00	23,1055	4000	64765,993	3183,998	0,75	0,021	0.12	Efek P-Delta Diabaikan
4	5,50	1,00	19,3545	4000	46716,606	2594,464	0,75	0,016	0.12	Efek P-Delta Diabaikan
5	5,50	1,00	13,8435	4000	28667,219	1837,338	0,75	0,010	0.12	Efek P-Delta Diabaikan
6	5,50	1,00	8,4975	4000	10617,832	813,068	0,75	0,005	0.12	Efek P-Delta Diabaikan

Tabel 5. 42 P-Delta Gedung 6 Lantai Kolom 70x70 Cm Arah Y

Lantai	Cd	Ie	$\Delta$ (mm)	Hsx (mm)	Px (kN)	Vx (kN)	$\beta$	$\theta$	$\theta_{max}$	Keterangan
1	5,50	1,00	12,903	4000	100864,767	3868,459	0,75	0,015	0.12	Efek P-Delta Diabaikan
2	5,50	1,00	22,429	4000	82815,38	3632,379	0,75	0,023	0.12	Efek P-Delta Diabaikan
3	5,50	1,00	22,5555	4000	64765,993	3186,864	0,75	0,021	0.12	Efek P-Delta Diabaikan
4	5,50	1,00	18,8375	4000	46716,606	2593,541	0,75	0,015	0.12	Efek P-Delta Diabaikan
5	5,50	1,00	13,4035	4000	28667,219	1831,053	0,75	0,010	0.12	Efek P-Delta Diabaikan
6	5,50	1,00	8,1455	4000	10617,832	805,536	0,75	0,005	0.12	Efek P-Delta Diabaikan

Berdasarkan hasil analisis P-Delta di atas dapat diketahui bahwa  $\theta < 0,10$  dan tidak melebihi  $\theta < \theta_{max}$ , Sehingga analisis P-delta untuk gedung 6 lantai dengan ukuran kolom 70x70 cm pada arah X dan arah Y dapat disimpulkan efek P-Deltanya dapat diabaikan.

## 5.9. Pembahasan

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan sebelumnya dapat dilakukan pembahasan. Pembahasan tersebut antara lain adalah sebagai berikut ini.

1. Berat bangunan adalah berat yang berasal dari beban mati dan beban hidup yang terjadi pada tiap lantai dan atap yang terjadi pada bangunan tersebut. Berat bangunan yang digunakan untuk beban gempa adalah beban bangunan efektif dimana beban hidupnya yang digunakan hanya 30%nya. Berat bangunan ini akan berpengaruh pada periode fundamental, gaya geser, simpangan dan kestabilan struktur. Berdasarkan Tabel 5.4 berat bangunan yang dihitung dengan program Ms.Excel dan program SAP2000 meningkat. Tiap bangunan portal dengan kolom-kolom yang bervariasi menimbulkan berat bangunan yang bervariasi juga. Tiap bangunan portal dengan kolom yang berbeda dari ukuran kecil ke ukuran yang lebih besar berat bangunannya akan meningkat, begitu juga dengan satu ukuran kolom dengan tinggi bangunan dari bangunan yang rendah ke bangunan yang tinggi berat bangunannya juga akan meningkat. Berat bangunan dibahas berdasarkan perhitungan Ms.Excel dengan cara membandingkan per-portal gedung dimensi kolomnya,
  - a. Berat bangunan pada portal gedung 10 lantai yang menggunakan kolom ukuran 70x70 cm sebesar 156293,935 kN, dan berat bangunan pada portal gedung 10 lantai dengan ukuran kolom 80x80 cm sebesar 165365,935 kN, sehingga ada peningkatan berat bangunan sebesar 5,80 % dari bangunan 10 lantai dengan ukuran kolom 70x70 cm ke bangunan 10 lantai dengan ukuran kolom 80x80 cm. Berat bangunan 10 lantai dengan ukuran kolom 90x90 cm sebesar 175647,535 kN, sehingga ada peningkatan berat bangunan sebesar 6,21 % dari

bangunan 10 lantai dengan ukuran kolom 80x80 cm ke bangunan 10 lantai dengan ukuran kolom 90x90 cm, dan adanya peningkatan berat bangunan sebesar 12,38 % dari bangunan 10 lantai dengan ukuran kolom 70x70 cm ke bangunan 10 lantai dengan ukuran kolom 90x90 cm.

- b. Berat bangunan pada portal gedung 8 lantai yang menggunakan kolom ukuran 70x70 cm sebesar 123789,001 kN, dan berat bangunan pada portal gedung 8 lantai dengan ukuran kolom 80x80 cm sebesar 131049,601 kN, sehingga ada peningkatan berat bangunan sebesar 5,86 % dari bangunan 8 lantai dengan ukuran kolom 70x70 cm ke bangunan 8 lantai dengan ukuran kolom 80x80 cm. Berat bangunan 8 lantai dengan ukuran kolom 90x90 cm sebesar 139721,881 kN, sehingga ada peningkatan berat bangunan sebesar 6,27 % dari bangunan 8 lantai dengan ukuran kolom 80x80 cm ke bangunan 8 lantai dengan ukuran kolom 90x90 cm, dan adanya peningkatan berat bangunan sebesar 12,51 % dari bangunan 8 lantai dengan ukuran kolom 70x70 cm ke bangunan 8 lantai dengan ukuran kolom 90x90 cm.
- c. Berat bangunan pada portal gedung 6 lantai yang menggunakan kolom ukuran 70x70 cm sebesar 91284,067 kN, dan berat bangunan pada portal gedung 6 lantai dengan ukuran kolom 80x80 cm sebesar 96727,267 kN, sehingga ada peningkatan berat bangunan sebesar 5,96 % dari bangunan 6 lantai dengan ukuran kolom 70x70 cm ke bangunan 8 lantai dengan ukuran kolom 80x80 cm. Berat bangunan 6 lantai dengan ukuran kolom 90x90 cm sebesar 102896,227 kN, sehingga ada peningkatan berat bangunan sebesar 6,37 % dari bangunan 6 lantai dengan ukuran kolom 80x80 cm ke bangunan 6 lantai dengan ukuran kolom 90x90 cm, dan adanya peningkatan berat bangunan sebesar 12,72 % dari bangunan 6 lantai dengan ukuran kolom 70x70 cm ke bangunan 6 lantai dengan ukuran kolom 90x90 cm.

Berat bangunan dibahas berdasarkan perhitungan Ms.Excel dengan cara membandingkan per-tinggi gedungnya.

- a. Berat bangunan pada kolom ukuran 90x90 cm dengan portal gedung 6 lantai sebesar 102869,227 kN, dan berat bangunan pada kolom ukuran 90x90 cm dengan portal gedung 8 lantai sebesar 139271,881 kN, sehingga ada peningkatan berat bangunan sebesar 35,351 % dari kolom ukuran 90x90 cm dengan bangunan 6 lantai ke kolom ukuran 90x90 cm dengan bangunan 8 lantai. Berat bangunan pada kolom ukuran 90x90 cm dengan portal gedung 10 lantai sebesar 175647,535 kN, sehingga ada peningkatan berat bangunan sebesar 26,118 % dari kolom ukuran 90x90 cm dengan bangunan 8 lantai ke kolom ukuran 90x90 cm dengan bangunan 10 lantai, dan adanya peningkatan berat bangunan sebesar 70,703 % dari kolom ukuran 90x90 cm dengan bangunan 6 lantai ke kolom ukuran 90x90 cm dengan bangunan 10 lantai.
- b. Berat bangunan pada kolom ukuran 80x80 cm dengan portal gedung 6 lantai sebesar 96727,267 kN, dan berat bangunan pada kolom ukuran 80x80 cm dengan portal gedung 8 lantai sebesar 131046,601 kN, sehingga ada peningkatan berat bangunan sebesar 35,480 % dari kolom ukuran 80x80 cm dengan bangunan 6 lantai ke kolom ukuran 80x80 cm dengan bangunan 8 lantai. Berat bangunan pada kolom ukuran 80x80 cm dengan portal gedung 10 lantai sebesar 165365,935 kN, sehingga ada peningkatan berat bangunan sebesar 26,188 % dari kolom ukuran 80x80 cm dengan bangunan 8 lantai ke kolom ukuran 80x80 cm dengan bangunan 10 lantai, dan adanya peningkatan berat bangunan sebesar 70,961 % dari kolom ukuran 80x80 cm dengan bangunan 6 lantai ke kolom ukuran 80x80 cm dengan bangunan 10 lantai.
- c. Berat bangunan pada kolom ukuran 70x70 cm dengan portal gedung 6 lantai sebesar 91284,067 kN, dan berat bangunan pada kolom ukuran 70x70 cm dengan portal gedung 8 lantai sebesar 123789,001 kN, sehingga ada peningkatan berat bangunan sebesar 35,608 % dari kolom ukuran 70x70 cm dengan bangunan 6 lantai ke kolom ukuran 70x70 cm dengan bangunan 8 lantai. Berat bangunan pada kolom ukuran 70x70 cm dengan portal gedung 10 lantai sebesar 156293,935 kN, sehingga



ada peningkatan berat bangunan sebesar 26,258 % dari kolom ukuran 70x70 cm dengan bangunan 8 lantai ke kolom ukuran 70x70 cm dengan bangunan 10 lantai, dan adanya peningkatan berat bangunan sebesar 71,217 % dari kolom ukuran 70x70 cm dengan bangunan 6 lantai ke kolom ukuran 70x70 cm dengan bangunan 10 lantai.

Berat bangunan dibahas berdasarkan perhitungan program SAP2000 dengan cara membandingkan per-ukuran kolomnya.

- a. Berat bangunan pada portal gedung 10 lantai yang menggunakan kolom ukuran 70x70 cm sebesar 153703,422 kN, dan berat bangunan pada portal gedung 10 lantai dengan ukuran kolom 80x80 cm sebesar 162610,282 kN, sehingga ada peningkatan berat bangunan sebesar 5,79 % dari bangunan 10 lantai dengan ukuran kolom 70x70 cm ke bangunan 10 lantai dengan ukuran kolom 80x80 cm. Berat bangunan 10 lantai dengan ukuran kolom 90x90 cm sebesar 172704,723 kN, sehingga ada peningkatan berat bangunan sebesar 6,21 % dari bangunan 10 lantai dengan ukuran kolom 80x80 cm ke bangunan 10 lantai dengan ukuran kolom 90x90 cm, dan adanya peningkatan berat bangunan sebesar 12,36 % dari bangunan 10 lantai dengan ukuran kolom 70x70 cm ke bangunan 10 lantai dengan ukuran kolom 90x90 cm.
- b. Berat bangunan pada portal gedung 8 lantai yang menggunakan kolom ukuran 70x70 cm sebesar 121723,504 kN, dan berat bangunan pada portal gedung 8 lantai dengan ukuran kolom 80x80 cm sebesar 128848,992 kN, sehingga ada peningkatan berat bangunan sebesar 5,85 % dari bangunan 8 lantai dengan ukuran kolom 70x70 cm ke bangunan 8 lantai dengan ukuran kolom 80x80 cm. Berat bangunan 8 lantai dengan ukuran kolom 90x90 cm sebesar 136924,545 kN, sehingga ada peningkatan berat bangunan sebesar 6,267 % dari bangunan 8 lantai dengan ukuran kolom 80x80 cm ke bangunan 8 lantai dengan ukuran kolom 90x90 cm, dan adanya peningkatan berat bangunan sebesar 12,488 % dari bangunan 8 lantai dengan ukuran

kolom 70x70 cm ke bangunan 8 lantai dengan ukuran kolom 90x90 cm.

- c. Berat bangunan pada portal gedung 6 lantai yang menggunakan kolom ukuran 70x70 cm sebesar 89743,587 kN, dan berat bangunan pada portal gedung 6 lantai dengan ukuran kolom 80x80 cm sebesar 95087,703 kN, sehingga ada peningkatan berat bangunan sebesar 5,95 % dari bangunan 6 lantai dengan ukuran kolom 70x70 cm ke bangunan 8 lantai dengan ukuran kolom 80x80 cm. Berat bangunan 6 lantai dengan ukuran kolom 90x90 cm sebesar 101144,367 kN, sehingga ada peningkatan berat bangunan sebesar 6,37 % dari bangunan 6 lantai dengan ukuran kolom 80x80 cm ke bangunan 6 lantai dengan ukuran kolom 90x90 cm, dan adanya peningkatan berat bangunan sebesar 12,70 % dari bangunan 6 lantai dengan ukuran kolom 70x70 cm ke bangunan 6 lantai dengan ukuran kolom 90x90 cm.

Berat bangunan dibahas berdasarkan perhitungan program SAP2000 dengan cara membandingkan per-tinggi gedungnya.

- a. Berat bangunan pada kolom ukuran 90x90 cm dengan portal gedung 6 lantai sebesar 101144,367 kN, dan berat bangunan pada kolom ukuran 90x90 cm dengan portal gedung 8 lantai sebesar 136924,545 kN, sehingga ada peningkatan berat bangunan sebesar 35,375 % dari kolom ukuran 90x90 cm dengan bangunan 6 lantai ke kolom ukuran 90x90 cm dengan bangunan 8 lantai. Berat bangunan pada kolom ukuran 90x90 cm dengan portal gedung 10 lantai sebesar 172704,723 kN, sehingga ada peningkatan berat bangunan sebesar 26,131 % dari kolom ukuran 90x90 cm dengan bangunan 8 lantai ke kolom ukuran 90x90 cm dengan bangunan 10 lantai, dan adanya peningkatan berat bangunan sebesar 70,750 % dari kolom ukuran 90x90 cm dengan bangunan 6 lantai ke kolom ukuran 90x90 cm dengan bangunan 10 lantai.
- b. Berat bangunan pada kolom ukuran 80x80 cm dengan portal gedung 6 lantai sebesar 95087,703 kN, dan berat bangunan pada kolom ukuran

80x80 cm dengan portal gedung 8 lantai sebesar 128848,992 kN, sehingga ada peningkatan berat bangunan sebesar 35,505 % dari kolom ukuran 80x80 cm dengan bangunan 6 lantai ke kolom ukuran 80x80 cm dengan bangunan 8 lantai. Berat bangunan pada kolom ukuran 80x80 cm dengan portal gedung 10 lantai sebesar 162610,282 kN, sehingga ada peningkatan berat bangunan sebesar 26,202 % dari kolom ukuran 80x80 cm dengan bangunan 8 lantai ke kolom ukuran 80x80 cm dengan bangunan 10 lantai, dan adanya peningkatan berat bangunan sebesar 71,010 % dari kolom ukuran 80x80 cm dengan bangunan 6 lantai ke kolom ukuran 80x80 cm dengan bangunan 10 lantai.

- c. Berat bangunan pada kolom ukuran 70x70 cm dengan portal gedung 6 lantai sebesar 89743,587 kN, dan berat bangunan pada kolom ukuran 70x70 cm dengan portal gedung 8 lantai sebesar 121723,504 kN, sehingga ada peningkatan berat bangunan sebesar 35,634 % dari kolom ukuran 70x70 cm dengan bangunan 6 lantai ke kolom ukuran 70x70 cm dengan bangunan 8 lantai. Berat bangunan pada kolom ukuran 70x70 cm dengan portal gedung 10 lantai sebesar 153703,422 kN, sehingga ada peningkatan berat bangunan sebesar 26,272 % dari kolom ukuran 70x70 cm dengan bangunan 8 lantai ke kolom ukuran 70x70 cm dengan bangunan 10 lantai, dan adanya peningkatan berat bangunan sebesar 71,269 % dari kolom ukuran 70x70 cm dengan bangunan 6 lantai ke kolom ukuran 70x70 cm dengan bangunan 10 lantai.

Semakin tinggi bangunan akan semakin bertambah berat bangunan dikarenakan adanya penambahan portal tiap lantainnya sehingga beban bangunan bertambah. Semakin besar ukuran kolom akan semakin bertambah berat bangunan dikarenakan kolom yang diperbesar berakibat bertambahnya berat dari kolom itu sendiri sehingga beban bangunan bertambah.

2. Rasio kesalahan relatif berat bangunan yang dihitung menggunakan program Ms.Excel dan yang dihitung menggunakan program SAP2000, tidak boleh melebihi dari 5 % ( $\varepsilon < 5\%$ ). Rasio kesalahan relatif paling kecil terdapat pada gedung 10 lantai dengan ukuran kolom 70x70 cm yaitu sebesar 1,657 %

$< 5 \%$ , sedangkan rasio kelasahan relatif terbesar terdapat pada gedung 6 lantai dengan ukuran kolom 90x90 cm yaitu sebesar  $1,702 \% < 5 \%$ . Rasio kesalahan relatif rata-rata berada di angka  $1,6 \%$  yang dapat dilihat pada Tabel 5. 4 di atas.

3. **Periode** getar T adalah waktu yang diperlukan untuk menempuh satu putaran lengkap dari suatu getaran ketika terganggu dari posisi keseimbangan statis dan kembali ke posisi aslinya. Periode getar juga sering disebut secara lengkap dengan “periode getar alami struktur” (natural fundamental period), dimana istilah “alami” tersebut digunakan untuk menggambarkan setiap getaran untuk menekankan fakta bahwa hal tersebut merupakan properti alami dari struktur yang bergantung pada massa dan kekakuan yang bergetar secara bebas tanpa adanya gaya luar. Periode fundamental struktur ( $T_c$ ) pada gedung didapatkan dari hasil analisis menggunakan program SAP2000. Periode struktur harus berada diantara batas atas dan batas bawah atau  $T_a < T_c < C_u T_a$ .
  - a. Berdasarkan Tabel 5. 7 periode struktur pada portal 10 lantai, periode tertinggi dimiliki oleh kolom ukuran 70x70 cm sebesar 1,7867 detik, sedangkan terendah dimiliki oleh kolom ukuran 90x90 cm dengan periode sebesar 1,6359 detik. Periode struktur pada portal 8 lantai, periode tertinggi dimiliki oleh kolom ukuran 70x70 cm sebesar 1,3885 detik, sedangkan terendah dimiliki oleh kolom ukuran 90x90 cm dengan periode sebesar 1,2523 detik. Periode struktur pada portal 6 lantai, periode tertinggi dimiliki oleh kolom ukuran 70x70 cm sebesar 0,9942 detik, sedangkan terendah dimiliki oleh kolom ukuran 90x90 cm dengan periode sebesar 0,8767 detik.
  - b. Jika periode struktur dibahas berdasarkan tinggi bangunannya, pada kolom dengan ukuran 90x90 cm, periode struktur tertinggi terjadi pada gedung portal 10 lantai, sedangkan terendahnya terjadi pada gedung portal 6 lantai. Periode struktur pada kolom ukuran 80x80 cm, tertinggi terjadi pada Gedung portal 10 lantai dan terendah terjadi pada gedung portal 6 lantai. Periode struktur pada kolom ukuran 70x70 cm, tertinggi

terjadi pada gedung portal 10 lantai dan terendah terjadi pada gedung portal 6 lantai.

Periode fundamental pada bangunan yang ukuran kolomnya bertambah, periodenya akan semakin kecil. Hal itu disebabkan karena saat bangunan bergetar akibat gaya gempa bangunan tersebut, getaran yang diakibatkan gaya gempa tertahan massa bangunan yang semakin bertambah akibat bertambahnya ukuran kolom dan meningkatnya kekakuan karena penampang kolom yang bertambah, sehingga periode fundamentalnya mengecil. Periode fundamental pada bangunan yang tinggi bangunannya bertambah, periodenya akan semakin besar. Hal ini disebabkan karena saat bangunan bergetar akibat gaya gempa, getaran yang diakibatkan gaya gempa tertahan massa bangunan yang semakin bertambah akibat bertambahnya portal lantainya dan menurunkan kekakuan karena penampang kolom yang tetap dan portal lantainya bertambah, sehingga periode fundamentalnya mengecil.

4. Gaya geser seismik merupakan pengganti atau penyederhanaan dari getaran gempa bumi yang bekerja pada dasar bangunan dan selanjutnya digunakan sebagai gaya gempa rencana yang harus ditinjau dalam perencanaan dan evaluasi struktur bangunan gedung. Gaya geser seismik yang didapatkan dari *program SAP2000* telah dicek dan diskala ulang pada beberapa gedungnya. Berdasarkan Tabel 5. 9 gaya geser yang didapat berbeda-beda di arah X dan di arah Y. Gaya geser seismik arah X dibahas berdasarkan dimensi kolomnya.
  - a. Pada gedung 10 lantai, kolom 70x70 cm memiliki gaya geser seismik sebesar 3658,612 kN, kolom 80x80 cm memiliki gaya geser 4233,855 kN, sehingga kolom 70x70 cm ke kolom 80x80 cm ada peningkatan gaya geser sebesar 15,722 %, sedangkan kolom 90x90 cm memiliki gaya geser sebesar 4847,723 kN, sehingga ada peningkatan gaya geser sebesar 14,499 % dari kolom 80x80 cm ke kolom ukuran 90x90 cm dan adanya peningkatan gaya geser sebesar 32,501 % dari kolom 70x70 cm ke kolom 90x90 cm.
  - b. Pada gedung 8 lantai, kolom 70x70 cm memiliki gaya geser seismik sebesar 3792,852 kN, kolom 80x80 cm memiliki gaya geser 4243,717

kN, sehingga kolom 70x70 cm ke kolom 80x80 cm ada peningkatan gaya geser sebesar 11,887 %, sedangkan kolom 90x90 cm memiliki gaya geser sebesar 4705,407 kN, sehingga ada peningkatan gaya geser sebesar 10,886 % dari kolom 80x80 cm ke kolom ukuran 90x90 cm dan adanya peningkatan gaya geser sebesar 24,067 % dari kolom 70x70 cm ke kolom 90x90 cm.

- c. Pada gedung 6 lantai, kolom 70x70 cm memiliki gaya geser seismik sebesar 3867,695 kN, kolom 80x80 cm memiliki gaya geser 4375,577 kN, sehingga kolom 70x70 cm ke kolom 80x80 cm ada peningkatan gaya geser sebesar 13,1314 %, sedangkan kolom 90x90 cm memiliki gaya geser sebesar 4937,057 kN, sehingga ada peningkatan gaya geser sebesar 12,832 % dari kolom 80x80 cm ke kolom ukuran 90x90 cm dan adanya peningkatan gaya geser sebesar 27,648 % dari kolom 70x70 cm ke kolom 90x90 cm.

Gaya geser seismic arah X dibahas berdasarkan tinggi bangunannya.

- a. Pada kolom 90x90 cm, gedung portal 6 lantai memiliki gaya geser seismik sebesar 4937,057 kN, gedung portal 8 lantai memiliki gaya geser 4705,706 kN, sehingga gedung portal 6 lantai ke gedung portal 8 lantai ada penurunan gaya geser sebesar -4,686 %, sedangkan gedung portal 10 lantai memiliki gaya geser sebesar 4847,723 kN, sehingga ada peningkatan gaya geser sebesar 3,0179 % dari gedung portal 8 lantai ke gedung portal 10 lantai dan adanya penurunan gaya geser sebesar -1,809 % dari gedung portal 6 lantai ke gedung portal 10 lantai.
- b. Pada kolom 80x80 cm, gedung portal 6 lantai memiliki gaya geser seismik sebesar 4375,577 kN, gedung portal 8 lantai memiliki gaya geser 4243,717 kN, sehingga gedung portal 6 lantai ke gedung portal 8 lantai ada penurunan gaya geser sebesar -3,0135 %, sedangkan gedung portal 10 lantai memiliki gaya geser sebesar 4233,855 kN, sehingga ada penurunan gaya geser sebesar -0,2324 % dari gedung portal 8 lantai ke gedung portal 10 lantai dan adanya penurunan gaya geser sebesar -3,2389 % dari gedung portal 6 lantai ke gedung portal 10 lantai.

- c. Pada kolom 70x70 cm, gedung portal 6 lantai memiliki gaya geser seismik sebesar 3867,695 kN, gedung portal 8 lantai memiliki gaya geser 3792,852 kN, sehingga gedung portal 6 lantai ke gedung portal 8 lantai ada penurunan gaya geser sebesar -1,935 %, sedangkan gedung portal 10 lantai memiliki gaya geser sebesar 3658,612 kN, sehingga ada penurunan gaya geser sebesar -3,539 % dari gedung portal 8 lantai ke gedung portal 10 lantai dan adanya penurunan gaya geser sebesar -5,405 % dari gedung portal 6 lantai ke gedung portal 10 lantai.

Gaya geser seismik arah Y dibahas berdasarkan dimensi kolomnya.

- a. Pada gedung 10 lantai, kolom 70x70 cm memiliki gaya geser seismik sebesar 3704,457 kN, kolom 80x80 cm memiliki gaya geser 4283,897 kN, sehingga kolom 70x70 cm ke kolom 80x80 cm ada peningkatan gaya geser sebesar 15,641 %, sedangkan kolom 90x90 cm memiliki gaya geser sebesar 4847,249 kN, sehingga ada peningkatan gaya geser sebesar 13,150 % dari kolom 80x80 cm ke kolom ukuran 90x90 cm dan adanya peningkatan gaya geser sebesar 30,849 % dari kolom 70x70 cm ke kolom 90x90 cm.
- b. Pada gedung 8 lantai, kolom 70x70 cm memiliki gaya geser seismik sebesar 3846,002 kN, kolom 80x80 cm memiliki gaya geser 4243,717 kN, sehingga kolom 70x70 cm ke kolom 80x80 cm ada peningkatan gaya geser sebesar 10,340 %, sedangkan kolom 90x90 cm memiliki gaya geser sebesar 4705,407 kN, sehingga ada peningkatan gaya geser sebesar 10,879 % dari kolom 80x80 cm ke kolom ukuran 90x90 cm dan adanya peningkatan gaya geser sebesar 22,345 % dari kolom 70x70 cm ke kolom 90x90 cm.
- c. Pada gedung 6 lantai, kolom 70x70 cm memiliki gaya geser seismik sebesar 3868,459 kN, kolom 80x80 cm memiliki gaya geser 4374,95 kN, sehingga kolom 70x70 cm ke kolom 80x80 cm ada peningkatan gaya geser sebesar 13,092 %, sedangkan kolom 90x90 cm memiliki gaya geser sebesar 4937,057 kN, sehingga ada peningkatan gaya geser sebesar 12,848 % dari kolom 80x80 cm ke kolom ukuran 90x90 cm dan

adanya peningkatan gaya geser sebesar 27,623 % dari kolom 70x70 cm ke kolom 90x90 cm.

Gaya geser seismik arah Y dibahas berdasarkan tinggi bangunannya.

- a. Pada kolom 90x90 cm, gedung portal 6 lantai memiliki gaya geser seismik sebesar 4937,057 kN, gedung portal 8 lantai memiliki gaya geser 4705,407 kN, sehingga gedung portal 6 lantai ke gedung portal 8 lantai ada penurunan gaya geser sebesar -4,686 %, sedangkan gedung portal 10 lantai memiliki gaya geser sebesar 4847,249 kN, sehingga ada peningkatan gaya geser sebesar 3,014 % dari gedung portal 8 lantai ke gedung portal 10 lantai dan adanya penurunan gaya geser sebesar -1,819 % dari gedung portal 6 lantai ke gedung portal 10 lantai.
  - b. Pada kolom 80x80 cm, gedung portal 6 lantai memiliki gaya geser seismik sebesar 4374,95 kN, gedung portal 8 lantai memiliki gaya geser 4243,717 kN, sehingga gedung portal 6 lantai ke gedung portal 8 lantai ada penurunan gaya geser sebesar -3,014 %, sedangkan gedung portal 10 lantai memiliki gaya geser sebesar 4283,897 kN, sehingga ada peningkatan gaya geser sebesar 0,946 % dari gedung portal 8 lantai ke gedung portal 10 lantai dan adanya penurunan gaya geser sebesar -2,081 % dari gedung portal 6 lantai ke gedung portal 10 lantai.
  - c. Pada kolom 70x70 cm, gedung portal 6 lantai memiliki gaya geser seismik sebesar 3868,459 kN, gedung portal 8 lantai memiliki gaya geser 3846,002 kN, sehingga gedung portal 6 lantai ke gedung portal 8 lantai ada penurunan gaya geser sebesar -1,935 %, sedangkan gedung portal 10 lantai memiliki gaya geser sebesar 3704,457 kN, sehingga ada peningkatan gaya geser sebesar -3,680 % dari gedung portal 8 lantai ke gedung portal 10 lantai dan adanya penurunan gaya geser sebesar -4,239 % dari gedung portal 6 lantai ke gedung portal 10 lantai.
5. Gaya vertikal gempa pada gedung didapatkan dari hasil analisis menggunakan *program SAP2000*. Berdasarkan tabel 5.10, 5.11 dan 5.12 semakin tinggi bangunan, gaya vertikal yang terjadi pada lantai terendahnya semakin besar. Semakin besar kolom, gaya vertikal yang terjadi pada lantai



terendahnya semakin besar. Gaya vertikal gempa dibahas berdasarkan ukuran kolomnya.

- a. Pada gedung 10 lantai, kolom 70x70 cm memiliki gaya vertikal tertinggi sebesar 173062,3 kN, kolom 80x80 cm memiliki gaya vertikal tertinggi sebesar 181969,17 kN, sehingga kolom 70x70 cm ke kolom 80x80 cm ada peningkatan gaya vertikal gempa sebesar 5,146 %. Sedangkan kolom 90x90 cm memiliki gaya vertikal gempa sebesar 192063,6 kN, sehingga ada peningkatan gaya vertikal sebesar 5,547 % dari kolom 80x80 cm ke kolom ukuran 90x90 cm dan adanya peningkatan gaya vertikal gempa sebesar 10,979 % dari kolom 70x70 cm ke kolom 90x90 cm.
- b. Pada gedung 8 lantai, kolom 70x70 cm memiliki gaya vertikal tertinggi sebesar 136963,5 kN, kolom 80x80 cm memiliki gaya vertikal tertinggi sebesar 144089 kN, sehingga kolom 70x70 cm ke kolom 80x80 cm ada peningkatan gaya vertikal gempa sebesar 5,202 %. Sedangkan kolom 90x90 cm memiliki gaya vertikal gempa sebesar 152164,6 kN, sehingga ada peningkatan gaya vertikal sebesar 5,604 % dari kolom 80x80 cm ke kolom ukuran 90x90 cm dan adanya peningkatan gaya vertikal gempa sebesar 11,098 % dari kolom 70x70 cm ke kolom 90x90 cm.
- c. Pada gedung 6 lantai, kolom 70x70 cm memiliki gaya vertikal tertinggi sebesar 100864,8 kN, kolom 80x80 cm memiliki gaya vertikal tertinggi sebesar 106208,9 kN, sehingga kolom 70x70 cm ke kolom 80x80 cm ada peningkatan gaya vertikal gempa sebesar 5,298 %. Sedangkan kolom 90x90 cm memiliki gaya vertikal gempa sebesar 112265,5 kN, sehingga ada peningkatan gaya vertikal sebesar 5,702 % dari kolom 80x80 cm ke kolom ukuran 90x90 cm dan adanya peningkatan gaya vertikal gempa sebesar 11,303 % dari kolom 70x70 cm ke kolom 90x90 cm.

Gaya vertikal gempa dibahas berdasarkan tinggi bangunannya.

- a. Pada kolom 90x90 cm, gedung portal 6 lantai memiliki gaya vertikal tertinggi sebesar 112265,5 kN, gedung portal 8 lantai memiliki gaya vertikal tertinggi 152164,6 kN, sehingga gedung portal 6 lantai ke gedung portal 8 lantai ada peningkatan gaya vertikal gempa sebesar 26,221 %, sedangkan gedung portal 10 lantai memiliki gaya vertikal tertinggi sebesar 192063,6 kN, sehingga ada peningkatan gaya vertikal gempa sebesar 30,1773 % dari gedung portal 8 lantai ke gedung portal 10 lantai dan adanya peningkatan gaya geser sebesar 71,079 % dari gedung portal 6 lantai ke gedung portal 10 lantai.
  - b. Pada kolom 80x80 cm, gedung portal 6 lantai memiliki gaya vertikal tertinggi sebesar 106208,9 kN, gedung portal 8 lantai memiliki gaya vertikal tertinggi 144089 kN, sehingga gedung portal 6 lantai ke gedung portal 8 lantai ada peningkatan gaya vertikal gempa sebesar 26,289 %, sedangkan gedung portal 10 lantai memiliki gaya vertikal tertinggi sebesar 181969,2 kN, sehingga ada peningkatan gaya vertikal gempa sebesar 30,268 % dari gedung portal 8 lantai ke gedung portal 10 lantai dan adanya peningkatan gaya geser sebesar 71,331 % dari gedung portal 6 lantai ke gedung portal 10 lantai.
  - c. Pada kolom 70x70 cm, gedung portal 6 lantai memiliki gaya vertikal tertinggi sebesar 106208,9 kN, gedung portal 8 lantai memiliki gaya vertikal tertinggi 144089 kN, sehingga gedung portal 6 lantai ke gedung portal 8 lantai ada peningkatan gaya vertikal gempa sebesar 26,289 %, sedangkan gedung portal 10 lantai memiliki gaya vertikal tertinggi sebesar 181969,2 kN, sehingga ada peningkatan gaya vertikal gempa sebesar 30,268 % dari gedung portal 8 lantai ke gedung portal 10 lantai dan adanya peningkatan gaya geser sebesar 71,331 % dari gedung portal 6 lantai ke gedung portal 10 lantai.
6. Gaya horizontal gempa pada gedung didapatkan dari hasil analisis menggunakan *program SAP2000*. Berdasarkan tabel 5.13, 5.14, dan 5.15. Semakin besar kolom, gaya horizontal yang terjadi pada lantai terendahnya

semakin besar. Gaya horizontal gempa arah X dibahas berdasarkan ukuran kolomnya.

- a. Pada gedung 10 lantai, kolom 70x70 cm memiliki gaya horizontal tertinggi sebesar 4529,57 kN, kolom 80x80 cm memiliki gaya horizontal tertinggi sebesar 4560,811 kN, sehingga kolom 70x70 cm ke kolom 80x80 cm ada peningkatan gaya horizontal gempa sebesar 0,689 %. Sedangkan kolom 90x90 cm memiliki gaya horizontal gempa sebesar 4847,723 kN, sehingga ada peningkatan gaya horizontal sebesar 6,290 % dari kolom 80x80 cm ke kolom ukuran 90x90 cm dan adanya peningkatan gaya horizontal gempa sebesar 7,023 % dari kolom 70x70 cm ke kolom 90x90 cm.
- b. Pada gedung 8 lantai, kolom 70x70 cm memiliki gaya horizontal tertinggi sebesar 3792,852 kN, kolom 80x80 cm memiliki gaya horizontal tertinggi sebesar 4216,118 kN, sehingga kolom 70x70 cm ke kolom 80x80 cm ada peningkatan gaya horizontal gempa sebesar 11,156 %. Sedangkan kolom 90x90 cm memiliki gaya horizontal gempa sebesar 4705,706 kN, sehingga ada peningkatan gaya horizontal sebesar 11,612 % dari kolom 80x80 cm ke kolom ukuran 90x90 cm dan adanya peningkatan gaya horizontal gempa sebesar 24,067 % dari kolom 70x70 cm ke kolom 90x90 cm.
- c. Pada gedung 6 lantai, kolom 70x70 cm memiliki gaya horizontal tertinggi sebesar 3867,695 kN, kolom 80x80 cm memiliki gaya horizontal tertinggi sebesar 4375,577 kN, sehingga kolom 70x70 cm ke kolom 80x80 cm ada peningkatan gaya horizontal gempa sebesar 13,131 %. Sedangkan kolom 90x90 cm memiliki gaya horizontal gempa sebesar 4937,057 kN, sehingga ada peningkatan gaya horizontal sebesar 12,832 % dari kolom 80x80 cm ke kolom ukuran 90x90 cm dan adanya peningkatan gaya horizontal gempa sebesar 27,648 % dari kolom 70x70 cm ke kolom 90x90 cm.

Gaya horizontal gempa arah X dibahas berdasarkan tinggi bangunannya.

- a. Pada kolom 90x90 cm, gedung portal 6 lantai memiliki gaya horizontal tertinggi sebesar 4937,057 kN, gedung portal 8 lantai memiliki gaya horizontal tertinggi 4705,706 kN, sehingga gedung portal 6 lantai ke gedung portal 8 lantai ada penurunan gaya horizontal gempa sebesar -4,686 %, sedangkan gedung portal 10 lantai memiliki gaya horizontal tertinggi sebesar 4847,723 kN, sehingga ada peningkatan gaya vertikal gempa sebesar 3,0179 % dari gedung portal 8 lantai ke gedung portal 10 lantai dan adanya penurunan gaya horizontal gempa sebesar -1,809 % dari gedung portal 6 lantai ke gedung portal 10 lantai.
- b. Pada kolom 80x80 cm, gedung portal 6 lantai memiliki gaya horizontal tertinggi sebesar 4375,577 kN, gedung portal 8 lantai memiliki gaya horizontal tertinggi 4216,118 kN, sehingga gedung portal 6 lantai ke gedung portal 8 lantai ada penurunan gaya horizontal gempa sebesar -3,644 %, sedangkan gedung portal 10 lantai memiliki gaya horizontal tertinggi sebesar 4560,811 kN, sehingga ada peningkatan gaya vertikal gempa sebesar 8,175 % dari gedung portal 8 lantai ke gedung portal 10 lantai dan adanya peningkatan gaya horizontal gempa sebesar 4,233 % dari gedung portal 6 lantai ke gedung portal 10 lantai.
- c. Pada kolom 70x70 cm, gedung portal 6 lantai memiliki gaya horizontal tertinggi sebesar 3867,695 kN, gedung portal 8 lantai memiliki gaya horizontal tertinggi 3792,852 kN, sehingga gedung portal 6 lantai ke gedung portal 8 lantai ada penurunan gaya horizontal gempa sebesar -1,935 %, sedangkan gedung portal 10 lantai memiliki gaya horizontal tertinggi sebesar 4529,57 kN, sehingga ada peningkatan gaya vertikal gempa sebesar 19,424 % dari gedung portal 8 lantai ke gedung portal 10 lantai dan adanya peningkatan gaya horizontal gempa sebesar 17,113 % dari gedung portal 6 lantai ke gedung portal 10 lantai.

Gaya horizontal gempa arah Y dibahas berdasarkan ukuran kolomnya.

- a. Pada gedung 10 lantai, kolom 70x70 cm memiliki gaya horizontal tertinggi sebesar 4538,773 kN, kolom 80x80 cm memiliki gaya horizontal tertinggi sebesar 4562,317 kN, sehingga kolom 70x70 cm ke

kolom 80x80 cm ada peningkatan gaya horizontal gempa sebesar 0,518 %. Sedangkan kolom 90x90 cm memiliki gaya horizontal gempa sebesar 4847,249 kN, sehingga ada peningkatan gaya horizontal sebesar 6,245 % dari kolom 80x80 cm ke kolom ukuran 90x90 cm dan adanya peningkatan gaya horizontal gempa sebesar 6,794 % dari kolom 70x70 cm ke kolom 90x90 cm.

- b. Pada gedung 8 lantai, kolom 70x70 cm memiliki gaya horizontal tertinggi sebesar 3868,459 kN, kolom 80x80 cm memiliki gaya horizontal tertinggi sebesar 4243,717 kN, sehingga kolom 70x70 cm ke kolom 80x80 cm ada peningkatan gaya horizontal gempa sebesar 10,341 %. Sedangkan kolom 90x90 cm memiliki gaya horizontal gempa sebesar 4705,407 kN, sehingga ada peningkatan gaya horizontal sebesar 10,879 % dari kolom 80x80 cm ke kolom ukuran 90x90 cm dan adanya peningkatan gaya horizontal gempa sebesar 22,345 % dari kolom 70x70 cm ke kolom 90x90 cm.
- c. Pada gedung 6 lantai, kolom 70x70 cm memiliki gaya horizontal tertinggi sebesar 3868,459 kN, kolom 80x80 cm memiliki gaya horizontal tertinggi sebesar 4374,95 kN, sehingga kolom 70x70 cm ke kolom 80x80 cm ada peningkatan gaya horizontal gempa sebesar 13,092 %. Sedangkan kolom 90x90 cm memiliki gaya horizontal gempa sebesar 4937,09 kN, sehingga ada peningkatan gaya horizontal sebesar 12,849 % dari kolom 80x80 cm ke kolom ukuran 90x90 cm dan adanya peningkatan gaya horizontal gempa sebesar 27,624 % dari kolom 70x70 cm ke kolom 90x90 cm.

Gaya horizontal gempa arah Y dibahas berdasarkan tinggi bangunannya.

- a. Pada kolom 90x90 cm, gedung portal 6 lantai memiliki gaya horizontal tertinggi sebesar 4937,09 kN, gedung portal 8 lantai memiliki gaya horizontal tertinggi 4705,407 kN, sehingga gedung portal 6 lantai ke gedung portal 8 lantai ada penurunan gaya horizontal gempa sebesar -4,6927 %, sedangkan gedung portal 10 lantai memiliki gaya horizontal tertinggi sebesar 4847,249 kN, sehingga ada peningkatan gaya vertikal

- gempa sebesar 3,0144 % dari gedung portal 8 lantai ke gedung portal 10 lantai dan adanya penurunan gaya horizontal gempa sebesar - 1,829 % dari gedung portal 6 lantai ke gedung portal 10 lantai.
- b. Pada kolom 80x80 cm, gedung portal 6 lantai memiliki gaya horizontal tertinggi sebesar 4374,95 kN, gedung portal 8 lantai memiliki gaya horizontal tertinggi 4243,717 kN, sehingga gedung portal 6 lantai ke gedung portal 8 lantai ada penurunan gaya horizontal gempa sebesar - 2,999 %, sedangkan gedung portal 10 lantai memiliki gaya horizontal tertinggi sebesar 4562,317 kN, sehingga ada peningkatan gaya vertikal gempa sebesar 7,507 % dari gedung portal 8 lantai ke gedung portal 10 lantai dan adanya peningkatan gaya horizontal gempa sebesar 4,282 % dari gedung portal 6 lantai ke gedung portal 10 lantai.
- c. Pada kolom 70x70 cm, gedung portal 6 lantai memiliki gaya horizontal tertinggi sebesar 3868,459 kN, gedung portal 8 lantai memiliki gaya horizontal tertinggi 3846,002 kN, sehingga gedung portal 6 lantai ke gedung portal 8 lantai ada penurunan gaya horizontal gempa sebesar - 0,5805 %, sedangkan gedung portal 10 lantai memiliki gaya horizontal tertinggi sebesar 4538,773 kN, sehingga ada peningkatan gaya vertikal gempa sebesar 18,0127 % dari gedung portal 8 lantai ke gedung portal 10 lantai dan adanya peningkatan gaya horizontal gempa sebesar 17,327 % dari gedung portal 6 lantai ke gedung portal 10 lantai.
7. Kinerja batas ultimit struktur gedung ditentukan oleh simpangan dan simpangan antar-tingkat maksimum struktur gedung akibat pengaruh gempa rencana dalam kondisi struktur gedung di ambang keruntuhan, yaitu untuk membatasi kemungkinan terjadinya keruntuhan struktur gedung yang dapat menimbulkan korban jiwa manusia dan untuk mencegah benturan berbahaya antar gedung atau antar bagian struktur gedung yang dipisah dengan sela pemisah sela delatasi. Berdasarkan tabel 5. 16 sampai tabel 5. 24 batas ultimit yang terjadi pada gedung 6 lantai, 8 lantai, dan 10 lantai dengan masing-masing tiap gedung portal menggunakan dimensi kolom yang berukuran 70x70 cm, 80x80 cm, dan 90x90 cm yang telah dianalisis dengan

menggunakan *program SAP2000* dengan hasil simpangan antar lantai seluruh gedung tidak melebihi simpangan antar lantai ijin di kedua arahnya. Batas ultimit atau simpangan antar lantai arah X dibahas berdasarkan ukuran kolomnya.

- a. Pada gedung 10 lantai, kolom 70x70 cm memiliki simpangan antar lantai tertinggi di lantai 3 sebesar 30,723 mm, kolom 80x80 cm memiliki simpangan antar lantai tertinggi di lantai 3 sebesar 26,483 mm, dan kolom 90x90 cm memiliki simpangan antar lantai tertinggi di lantai 4 sebesar 24,222 mm.
- b. Pada gedung 8 lantai, kolom 70x70 cm memiliki simpangan antar lantai tertinggi di lantai 3 sebesar 24,788 mm, kolom 80x80 cm memiliki simpangan antar lantai tertinggi di lantai 3 sebesar 23,54 mm, dan kolom 90x90 cm memiliki simpangan antar lantai tertinggi di lantai 3 sebesar 22,335 mm.
- c. Pada gedung 6 lantai, kolom 70x70 cm memiliki simpangan antar lantai tertinggi di lantai 3 sebesar 23,105 mm, kolom 80x80 cm memiliki simpangan antar lantai tertinggi di lantai 3 sebesar 22,171 mm, dan kolom 90x90 cm memiliki simpangan antar lantai tertinggi di lantai 3 sebesar 21,137 mm.

Batas ultimit atau simpangan antar lantai arah X dibahas berdasarkan tinggi bangunannya.

- a. Pada kolom 90x90 cm, gedung portal 6 lantai memiliki simpangan antar lantai tertinggi di lantai 3 sebesar 21,137 mm, gedung portal 8 lantai memiliki simpangan antar lantai tertinggi di lantai 3 sebesar 22,335 mm, dan gedung portal 10 lantai memiliki simpangan antar lantai tertinggi di lantai 4 sebesar 24,222 mm.
- b. Pada kolom 80x80 cm, gedung portal 6 lantai memiliki simpangan antar lantai tertinggi di lantai 3 sebesar 22,171 mm, gedung portal 8 lantai memiliki simpangan antar lantai tertinggi di lantai 3 sebesar 23,54 mm, dan gedung portal 10 lantai memiliki simpangan antar lantai tertinggi di lantai 3 sebesar 26,483 mm.

- c. Pada kolom 70x70 cm, gedung portal 6 lantai memiliki simpangan antar lantai tertinggi di lantai 3 sebesar 23,105 mm, gedung portal 8 lantai memiliki simpangan antar lantai tertinggi di lantai 3 sebesar 24,788 mm, dan gedung portal 10 lantai memiliki simpangan antar lantai tertinggi di lantai 4 sebesar 30,723 mm.

Batas ultimit atau simpangan antar lantai arah Y dibahas berdasarkan ukuran kolomnya.

- a. Pada gedung 10 lantai, kolom 70x70 cm memiliki simpangan antar lantai tertinggi di lantai 3 sebesar 30,008 mm, kolom 80x80 cm memiliki simpangan antar lantai tertinggi di lantai 3 sebesar 25,8775 mm, dan kolom 90x90 cm memiliki simpangan antar lantai tertinggi di lantai 4 sebesar 23,639 mm.
- b. Pada gedung 8 lantai, kolom 70x70 cm memiliki simpangan antar lantai tertinggi di lantai 3 sebesar 24,5245 mm, kolom 80x80 cm memiliki simpangan antar lantai tertinggi di lantai 3 sebesar 23,1495 mm, dan kolom 90x90 cm memiliki simpangan antar lantai tertinggi di lantai 3 sebesar 21,8515 mm.
- c. Pada gedung 6 lantai, kolom 70x70 cm memiliki simpangan antar lantai tertinggi di lantai 3 sebesar 22,555 mm, kolom 80x80 cm memiliki simpangan antar lantai tertinggi di lantai 3 sebesar 21,6645 mm, dan kolom 90x90 cm memiliki simpangan antar lantai tertinggi di lantai 3 sebesar 20,6855 mm.

Batas ultimit atau simpangan antar lantai arah Y dibahas berdasarkan tinggi bangunannya.

- a. Pada kolom 90x90 cm, gedung portal 6 lantai memiliki simpangan antar lantai tertinggi di lantai 3 sebesar 20,6855 mm, gedung portal 8 lantai memiliki simpangan antar lantai tertinggi di lantai 3 sebesar 21,8515 mm, dan gedung portal 10 lantai memiliki simpangan antar lantai tertinggi di lantai 4 sebesar 23,639 mm.
- b. Pada kolom 80x80 cm, gedung portal 6 lantai memiliki simpangan antar lantai tertinggi di lantai 3 sebesar 21,6645 mm, gedung portal 8 lantai



memiliki simpangan antar lantai tertinggi di lantai 3 sebesar 23,1495 mm, dan gedung portal 10 lantai memiliki simpangan antar lantai tertinggi di lantai 3 sebesar 25,8775 mm.

- c. Pada kolom 70x70 cm, gedung portal 6 lantai memiliki simpangan antar lantai tertinggi di lantai 3 sebesar 22,5555 mm, gedung portal 8 lantai memiliki simpangan antar lantai tertinggi di lantai 3 sebesar 24,5245 mm, dan gedung portal 10 lantai memiliki simpangan antar lantai tertinggi di lantai 4 sebesar 30,008 mm.

Semakin besar ukuran kolom, simpangan bangunannya semakin kecil. Hal ini terjadi dikarenakan gaya lateral yang terjadi tertahan berat bangunannya semakin berat, dan tertahan dengan ukuran kolom yang semakin besar, momen inersia semakin besar karena ukuran penampangannya semakin besar dan membuat kekakuan bangunannya semakin kaku, sehingga simpangan bangunannya semakin kecil.

Pada bangunan dengan variasi tinggi, semakin tinggi bangunannya, simpangannya semakin besar. Hal ini terjadi karena gaya lateral yang terjadi semakin bertambah karena penambahan portal lantainya, gaya lateral bangunan tertahan massa bangunan yang semakin bertambah, tetapi kekakuannya menurun karena bertambahnya portal lantai dan ukuran kolom yang tetap, sehingga simpangannya semakin meningkat.

8. Beban gravitasi ( $P$ ) yang memiliki pengaruh terhadap perpindahan horizontal ( $\Delta$ ) dikenal dengan sebutan *P-Delta Effect*. Ketika beban lateral akibat gempa bekerja pada suatu elemen struktural sehingga menyebabkan simpangan atau *drift* ( $\Delta$ ) yang mengakibatkan timbulnya eksentrisitas beban gravitasi ( $P$ ) terhadap sumbu vertikal kolom. Apabila simpangan atau *drift* ( $\Delta$ ) terlalu besar, maka akan timbul *P-Delta Effect*. *P-Delta Effect* akan sangat membahayakan kestabilan struktur, karena akan menimbulkan momen kolom yang sangat besar. Berdasarkan tabel 5. 25 sampai tabel 5. 42 pengaruh *P-Delta* terjadi pada gedung 6 lantai, 8 lantai, dan 10 lantai dengan masing-masing tiap gedung portal menggunakan dimensi kolom yang berukuran 70x70 cm, 80x80 cm, dan 90x90 cm yang telah dianalisis dengan menggunakan *program*

*SAP2000* dengan hasil P-Delta seluruh gedung tidak melebihi P-delta maksimum di kedua arahnya. P-Delta arah X dibahas berdasarkan dimensi kolomnya.

- a. Pada gedung 10 lantai, kolom 70x70 cm memiliki P-Delta tertinggi di lantai 3 sebesar 0,0474, kolom 80x80 cm memiliki P-Delta tertinggi di lantai 3 sebesar 0,0425, dan kolom 90x90 cm memiliki P-Delta tertinggi di lantai 3 sebesar 0,0373.
- b. Pada gedung 8 lantai, kolom 70x70 cm memiliki P-Delta tertinggi di lantai 3 sebesar 0,0467, kolom 80x80 cm memiliki P-Delta tertinggi di lantai 3 sebesar 0,0307, dan kolom 90x90 cm memiliki P-Delta tertinggi di lantai 3 sebesar 0,0275.
- c. Pada gedung 6 lantai, kolom 70x70 cm memiliki P-Delta tertinggi di lantai 2 sebesar 0,0237, kolom 80x80 cm memiliki P-Delta tertinggi di lantai 2 sebesar 0,0201, dan kolom 90x90 cm memiliki P-Delta tertinggi di lantai 2 sebesar 0,0172.

P-Delta arah X dibahas berdasarkan tinggi bangunannya.

- a. Pada kolom 90x90 cm, gedung 6 lantai memiliki P-Delta tertinggi di lantai 2 sebesar 0,0172, gedung 8 lantai memiliki P-Delta tertinggi di lantai 3 sebesar 0,0275 dan gedung 10 lantai memiliki P-Delta tertinggi di lantai 3 sebesar 0,0373.
- b. Pada kolom 80x80 cm, gedung 6 lantai memiliki P-Delta tertinggi di lantai 2 sebesar 0,0201, gedung 8 lantai memiliki P-Delta tertinggi di lantai 3 sebesar 0,0307 dan gedung 10 lantai memiliki P-Delta tertinggi di lantai 3 sebesar 0,0425.
- c. Pada kolom 70x70 cm, gedung 6 lantai memiliki P-Delta tertinggi di lantai 2 sebesar 0,0237, gedung 8 lantai memiliki P-Delta tertinggi di lantai 3 sebesar 0,0467 dan gedung 10 lantai memiliki P-Delta tertinggi di lantai 3 sebesar 0,0474.

P-Delta arah Y dibahas berdasarkan dimensi kolomnya.

- a. Pada gedung 10 lantai, kolom 70x70 cm memiliki P-Delta tertinggi di lantai 3 sebesar 0,0461, kolom 80x80 cm memiliki P-Delta tertinggi di

lantai 3 sebesar 0,0414, dan kolom 90x90 cm memiliki P-Delta tertinggi di lantai 3 sebesar 0,0373.

- b. Pada gedung 8 lantai, kolom 70x70 cm memiliki P-Delta tertinggi di lantai 3 sebesar 0,0455, kolom 80x80 cm memiliki P-Delta tertinggi di lantai 3 sebesar 0,030, dan kolom 90x90 cm memiliki P-Delta tertinggi di lantai 3 sebesar 0,0268.
- c. Pada gedung 6 lantai, kolom 70x70 cm memiliki P-Delta tertinggi di lantai 2 sebesar 0,0232, kolom 80x80 cm memiliki P-Delta tertinggi di lantai 2 sebesar 0,0197, dan kolom 90x90 cm memiliki P-Delta tertinggi di lantai 2 sebesar 0,0168.

P-Delta arah Y dibahas berdasarkan tinggi bangunannya.

- a. Pada kolom 90x90 cm, gedung 6 lantai memiliki P-Delta tertinggi di lantai 2 sebesar 0,0168, gedung 8 lantai memiliki P-Delta tertinggi di lantai 3 sebesar 0,0268 dan gedung 10 lantai memiliki P-Delta tertinggi di lantai 3 sebesar 0,0373.
- b. Pada kolom 80x80 cm, gedung 6 lantai memiliki P-Delta tertinggi di lantai 2 sebesar 0,0197, gedung 8 lantai memiliki P-Delta tertinggi di lantai 3 sebesar 0,0300 dan gedung 10 lantai memiliki P-Delta tertinggi di lantai 3 sebesar 0,0414.
- c. Pada kolom 70x70 cm, gedung 6 lantai memiliki P-Delta tertinggi di lantai 2 sebesar 0,0232, gedung 8 lantai memiliki P-Delta tertinggi di lantai 3 sebesar 0,0455 dan gedung 10 lantai memiliki P-Delta tertinggi di lantai 3 sebesar 0,0461.

Pada bangunan yang ukuran kolomnya semakin besar, nilai P-Deltanya semakin kecil. Hal ini disebabkan karena gaya lateral yang bekerja pada bangunan tersebut menimbulkan simpangan atau *drift* ( $\Delta$ ) yang semakin kecil, karena ukuran penampang kolom yang semakin besar membuat bangunan semakin kaku, sehingga menghasilkan nilai P-Delta yang semakin kecil dan tetap berada dibawah nilai kontrolnya. Eksentrisitas gaya gravitasi (P) yang terjadi akibat perpindahan horizontal ( $\Delta$ ) diabaikan,

Pada bangunan yang tinggi bangunannya semakin tinggi, nilai P-Deltanya semakin besar. Hal ini disebabkan karena gaya lateral yang bekerja pada bangunan tersebut bertambah seiring bertambahnya lantai yang menimbulkan simpangan atau *drift* ( $\Delta$ ) yang semakin besar, karena ukuran penampang kolom yang tetap membuat kekakuan bangunannya menurun, sehingga menghasilkan nilai P-Delta yang semakin besar tetapi tetap berada dibawah nilai kontrolnya. Eksentrisitas gaya gravitasi (P) yang terjadi akibat perpindahan horizontal ( $\Delta$ ) diabaikan,



## BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

### 6.1. Kesimpulan

Berdasarkan analisis dan pembahasan yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Berdasarkan pembahasan di atas, semakin tinggi bangunan berat bangunan akan semakin besar karena adanya penambahan portal lantai yang memiliki beban sehingga berat bangunan bertambah. Semakin besar kolom berat bangunan akan semakin bertambah karena perubahan volume kolom yang membuat beban kolom semakin bertambah sehingga berat bangunan bertambah.
2. Rasio kesalahan relatif berat bangunan yang dihitung menggunakan program Ms.Excel dan yang dihitung menggunakan program SAP2000, tidak boleh melebihi dari 5 % ( $\varepsilon < 5\%$ ). Berdasarkan pembahasan di atas, rasio relatif terendah sebesar 1,657 %, sedangkan rasio kesalahan relatif tertinggi sebesar 1,702 %. Dari kedua indikator tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa kesalahan relatif ( $\varepsilon$ ) lebih kecil dari 5% menunjukkan pemodelan bangunan pada SAP2000 sudah mendekati desain bangunan yang direncanakan yang ditinjau dari berat bangunan tersebut.
3. Periode fundamental struktur hasil *output* SAP2000 ( $T_c$ ) harus lebih dari periode pendekatan ( $T_a$ ) dan kurang dari periode pendekatan dikali batas atas periode ( $C_u.T_a$ ). Berdasarkan pembahasan di atas, semakin tinggi bangunan pada satu ukuran kolom, maka periode strukturnya akan semakin besar, sedangkan semakin besar ukuran kolom pada satu gedung, periode strukturnya akan semakin kecil. Periode fundamental struktur yang digunakan melebihi batas bawah ( $T_a$ ) dan tidak melebihi batas atasnya ( $C_u.T_a$ ).
4. Hasil gaya geser dinamik ( $V_d$ ) tidak dapat langsung digunakan untuk analisa struktur portal bangunan. Hasil gaya geser dasar dinamik ( $V_d$ ) perlu dikontrol

dengan gaya geser dasar statik ( $V_s$ ). Beberapa gedung yang dianalisa harus diskala ulang dikarenakan gaya geser yang tidak memenuhi syarat. Berdasarkan pembahasan di atas, semakin besar ukuran kolom pada satu gedung, maka semakin besar gaya gesernya. Sedangkan semakin tinggi bangunan pada satu kolom tidak membuat gaya geser semakin besar, ada juga yang turun. Hal tersebut terjadi karena periode fundamental struktur yang kecil atau terlalu besar.

5. Dari hasil pembahasan di atas, semakin tinggi bangunan, gaya vertikal yang terjadi pada lantai terendahnya semakin besar. Semakin besar ukuran kolom, gaya vertikal yang terjadi pada lantai terendahnya semakin besar.
6. Dari hasil pembahasan di atas, semakin besar ukuran kolom pada satu gedung, gaya horizontal yang terjadi pada lantai terendahnya semakin besar. Sedangkan semakin tinggi bangunan pada satu kolom tidak membuat seluruh gaya horizontal semakin besar, tetapi ada juga yang gaya horizontalnya menurun. Hal tersebut terjadi karena periode fundamental struktur yang kecil atau terlalu besar dan terjadinya skala ulang karena kontrol gaya geser yang tidak memenuhi syarat.
7. Dari hasil pembahasan di atas, simpangan antar lantai tertinggi adalah 30,723 mm yaitu pada gedung 10 lantai dengan dimensi kolom 70x70 cm di lantai 4, batas ijin simpangan antar lantai adalah 61,538 mm. Simpangan antar lantai tidak melebihi simpangan antar lantai ijin ( $\Delta_i < \Delta_a / \rho$ ), perhitungan kinerja batas ultimit pada gedung portal 6 lantai, 8 lantai dan 10 lantai dengan variasi dimensi kolom 70x70 cm, 80x80 cm, dan 90x90 cm. Adanya indikasi pada gedung portal 10 lantai aman menggunakan kolom persegi berukuran 70x70 cm. Pada gedung portal 8 lantai aman menggunakan ukuran kolom 70x70 cm. Pada gedung portal 6 lantai aman menggunakan ukuran kolom 70x70 cm. Sehingga keseluruhan gedung serta ukuran kolom tidak mencapai batas ultimit dan dapat dinyatakan aman.
8. Berdasarkan pembahasan pengaruh P-Delta gedung di atas, semakin tinggi bangunan pada satu kolom, P-Delta yang terjadi semakin besar. Semakin besar ukuran kolom pada satu gedung, P-Delta yang terjadi semakin besar.

Gedung 10 lantai dengan ukuran kolom 70x70 cm, 80x80 cm, dan 90x90 cm berdasarkan perhitungan dan analisis yang telah dilakukan, gedung 10 lantai dengan semua ukuran kolomnya dinyatakan stabil karena hasil analisis P-Deltanya  $\theta < 0,10$  dan tidak melebihi  $\theta < \theta_{\max}$ , Sehingga gedung 10 lantai dengan ukuran kolom 70x70 cm, 80x80 cm, dan 90x90 cm pada arah X dan arah Y dapat disimpulkan efek P-Deltanya dapat diabaikan. Gedung 8 lantai dengan ukuran kolom 70x70 cm, 80x80 cm, dan 90x90 cm berdasarkan perhitungan dan analisis yang telah dilakukan, gedung 8 lantai dengan semua ukuran kolomnya dinyatakan stabil karena hasil analisis P-Deltanya  $\theta < 0,10$  dan tidak melebihi  $\theta < \theta_{\max}$ , Sehingga gedung 8 lantai dengan ukuran kolom 70x70 cm, 80x80 cm, dan 90x90 cm pada arah X dan arah Y dapat disimpulkan efek P-Deltanya dapat diabaikan. Gedung 6 lantai dengan ukuran kolom 70x70 cm, 80x80 cm, dan 90x90 cm berdasarkan perhitungan dan analisis yang telah dilakukan, gedung 6 lantai dengan semua ukuran kolomnya dinyatakan stabil karena hasil analisis P-Deltanya  $\theta < 0,10$  dan tidak melebihi  $\theta < \theta_{\max}$ , Sehingga gedung 6 lantai dengan ukuran kolom 70x70 cm, 80x80 cm, dan 90x90 cm pada arah X dan arah Y dapat disimpulkan efek P-Deltanya dapat diabaikan.

9. Semakin besar ukuran kolom pada satu portal gedung, berat bangunan semakin meningkat, periode fundamental struktur semakin menurun, gaya geser semakin meningkat, gaya vertikal gempa meningkat, dan gaya horizontal meningkat. Hal tersebut berdampak pada perubahan simpangan, simpangan antar lantai dan pengaruh P-Deltanya, sehingga simpangan antar lantainya semakin menurun dan nilai P-Deltanya semakin meningkat.
10. Semakin tinggi bangunan pada satu dimensi kolom, berat bangunan semakin meningkat, periode fundamental struktur semakin meningkat, dan gaya vertikal gempa meningkat. Sedangkan gaya gesernya dominan menurun meskipun ada beberapa yang meningkat dan gaya horizontalnya dominan meningkat meskipun ada beberapa yang menurun. Hal tersebut berdampak pada perubahan simpangan, simpangan antar lantai dan pengaruh P-Deltanya,

sehingga sehingga simpangan antar lantainya semakin meningkat dan nilai P-Deltanya semakin menurun.

## 6.2. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat diberikan beberapa saran sebagai berikut.

1. Penggunaan peraturan SNI 03-1726-2019 yang terbaru sangat direkomendasikan, dikarenakan adanya perbedaan dalam perhitungan respons spektrumnya, serta penggunaan peta distribusi sebaran gempa yang terbaru.
2. Penggunaan variasi bentuk kolom seperti bentuk bulat, persegi dan sebagainya, perlu dianjurkan untuk mendapatkan hasil yang berbeda.
3. Kinerja struktur gedung perlu dievaluasi lebih mendalam, salah satunya dengan menggunakan *pushover analysis* dan *time History*.
4. Menlanjutkan analisis hingga ke kebutuhan tulangan kolom sangat dianjurkan.



## DAFTAR PUSTAKA

- Haryata, Agung Budi. 2018. *Perbandingan Respon Struktur Akibat Beban Gempa Dinamik Pada Gedung Bertingkat Menurut SNI 03-1726-2002 Dan SNI 03-1726-2012 (Studi Kasus: Gedung Bank Mandiri Syariah Yogyakarta)*. Tugas Akhir. Universitas Islam Indonesia. D.I. Yogyakarta.
- Jaya, Aris Mukti Tirta. 2016. *Komparasi Perancangan Struktur Gedung Bertingkat Berdasarkan SNI 03-1726-2002 Dengan SNI 1726:2012 (Studi Kasus: Gedung Yellow Star Hotel, Jl. Adisucipto, Sleman, DIY)*. Jurnal. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. D.I. Yogyakarta
- Pamungkas, Anugrah dan Erny Harianti. 2018. *Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa*. D.I. Yogyakarta: Andi Publisher
- PPPURG 1987. 1987. *Pedoman Perencanaan Pembangunan Untuk Rumah dan Gedung*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Pratama, Fajri. 2014. *Evaluasi Kinerja Struktur Gedung 10 Lantai Dengan Analisis Time History Pada Tinjauan Drift Dan Displacement Menggunakan Software ETABS*. Jurnal. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Rachmat, Mohammad Gery. 2013. *Studi Pengaruh Variasi Dimensi Kolom Terhadap Kinerja Batas Layan Dan Batas Ultimit Pada Portal Gedung Perkantoran Di Daerah Rawan Gempa Yang Mengacu Pada SNI 03 – 1726 – 2002*. Jurnal. Universitas Negeri Surabaya. Surabaya.
- SNI-03-2847-2012. 2012. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 2847:2013. 2013. *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Wardhoenoe, Arie. 2010. *Studi Perilaku Struktur Beton Bertulang Terhadap Kinerja Batas Akibat Perngaruh Tinggi Bangunan Dan Dimensi Kolom Berdasarkan SNI 03 – 1726 -2002*. Jurnal. Universitas Negeri Surabaya. Surabaya.
- Wibowo, Bayu Kurnia. 2019. *Perilaku Struktur Bangunan Rusunawa Di Cilacap Dengan Membandingkan Peta Gempa Tahun 2010 Dan 2017 Menggunakan Metode SNI 1726:2012*. Tugas Akhir. Universitas Islam Indonesia. D.I. Yogyakarta.

Wibowo, Muhammad Iqbal. 2019. *Studi Perbandingan Desain Kolom Menggunakan Metode SNI 03-2847-2013 Dan ACI 318-14*. Tugas Akhir. Universitas Islam Indonesia. D.I. Yogyakarta.

