

BAB V

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Perancangan Struktur Bangunan

5.1.1 Estimasi Ukuran Balok

Pada penelitian tugas akhir ini menggunakan dimensi balok induk dan balok anak dengan ukuran yang sama pada setiap model gedung.

1. Balok induk

Balok induk dibagi menjadi 2 berdasarkan arahnya, yaitu:

a. Balok induk arah Y (B1)

Jika panjang bentang arah Y adalah 7200 mm, maka tinggi balok dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned}h &= \frac{1}{12} \times L \text{ bentang} \\ &= \frac{1}{12} \times 7200 \\ &= 600 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}b &= \frac{1}{2} \times h \text{ balok} \\ &= \frac{1}{2} \times 600 \\ &= 300 \text{ mm}\end{aligned}$$

b. Balok induk arah X (B2)

Jika panjang bentang arah X adalah 7200 mm, maka tinggi balok dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned}h &= \frac{1}{12} \times L \text{ bentang} \\ &= \frac{1}{12} \times 7200 \\ &= 600 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}b &= \frac{1}{2} \times h \text{ balok} \\ &= \frac{1}{2} \times 600 \\ &= 300 \text{ mm}\end{aligned}$$

2. Balok anak

Balok anak dibagi menjadi 2 berdasarkan arahnya, yaitu :

a. Balok anak arah X (Ba1)

Jika panjang bentang adalah 7200 mm, maka tinggi balok dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} h &= \frac{1}{16} \times L \text{ bentang} \\ &= \frac{1}{16} \times 7200 \\ &= 450 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b &= \frac{1}{2} \times h \text{ balok} \\ &= \frac{1}{2} \times 450 \\ &= 225 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$b_{\text{pakai}} = 250 \text{ mm}$$

Berikut adalah rekapitulasi estimasi dimensi balok induk dan balok anak dapat dilihat pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Rekapitulasi Estimasi Balok Induk dan Balok Anak

Tipe Balok	Panjang bentang (mm)	h min (mm)	b (mm)	h pakai	b pakai
B1	7200	600	300	600	300
B2	7200	600	300	600	300
Ba1	7200	450	225	450	250

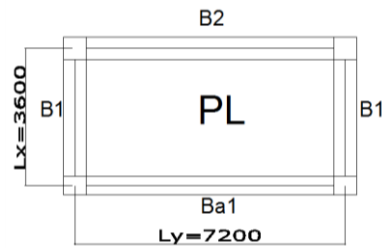
5.1.2 Estimasi Ukuran Pelat

Pada penelitian tugas akhir ini menggunakan tebal pelat lantai dan pelat atap dengan ukuran tebal yang sama pada setiap model gedung.

1. Pelat lantai

a. PA

Jika pelat memiliki panjang bentang :



Gambar 5.1 Pelat Lantai (PL)

Jika pelat memiliki panjang bentang :

$$L_x = 3600 \text{ mm}$$

$$L_y = 7200 \text{ mm}$$

$$\frac{L_y}{L_x} = \frac{7200}{3600} = 2 \geq 2 \text{ tipe pelat 1 arah}$$

Maka perhitungan tebal pelat berdasarkan dengan Tabel 9.5(a) SNI 2847:2013 untuk pelat rusuk satu arah adalah sebagai berikut :

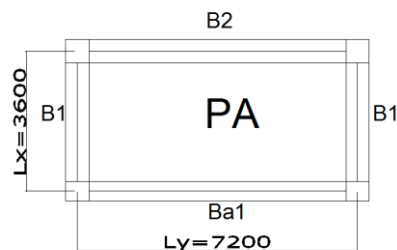
$$\begin{aligned} h_{\min} &= \frac{L_y \cdot (0,4 + \frac{f_y}{700})}{21} \\ &= \frac{3600}{21} \times (0,4 + \frac{390}{700}) \\ &= 164,08 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$h_{\text{pakai}} = 165 \text{ mm}$$

2. Pelat Atap

a. PL

Jika pelat memiliki panjang bentang :



Gambar 5.2 Pelat Atap (PA)

$$L_x = 7200 \text{ mm}$$

$$L_y = 3600 \text{ mm}$$

Maka perhitungan tebal pelat berdasarkan dengan Tabel 9.5(a) SNI 2847:2013 untuk pelat rusuk satu arah adalah sebagai berikut :

$$\frac{L_y}{L_x} = \frac{7200}{3600} = 2 \geq 2 \text{ tipe pelat 1 arah}$$

$$\begin{aligned} h_{\min} &= \frac{L_y \cdot (0,4 + \frac{f_y}{700})}{21} \\ &= \frac{3600}{21} \times (0,4 + \frac{390}{700}) \\ &= 164,08 \text{ mm} \end{aligned}$$

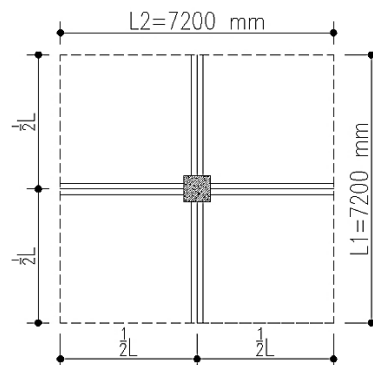
$$h_{\text{pakai}} = 165 \text{ mm}$$

Tabel 5.2 Rekapitulasi Tebal Pelat

Jenis Pelat	Tebal Pelat (mm)	Jumlah Pelat
Pelat Lantai (PL)	165	48
Pelat Atap (PA)	165	50

5.1.3 Estimasi Ukuran Kolom

Pada penelitian tugas akhir ini digunakan dua variasi kolom yaitu kolom bujur sangkar dan kolom persegi panjang. Untuk mendapatkan dimensi kolom yang sesuai diperlukan perhitungan untuk mencari luasan kolom. Pada penelitian ini digunakan luasan pelat terbesar karena satu model gedung direncanakan memiliki satu jenis luasan kolom yang sama besar. Jika data yang dimiliki adalah sebagai berikut :



Gambar 5.3 Area Pelat Luasan Maksimum

1. Menghitung Penampang Kolom

$$\text{Luas pelat (Ae)} = 51,84 \text{ m}^2$$

$$\text{Jumlah Lantai (n)} = 9$$

$$Q_u = 10,45 \text{ kN/m}^2$$

$$L_1 = 7,2 \text{ m}$$

$$L_2 = 7,2 \text{ m}$$

$$f'_c = 32,5 \text{ MPa}$$

$$q_{d1} = 6,6674 \text{ kN/m}$$

$$q_{d2} = 9,9994 \text{ kN/m}$$

Maka dapat dihitung luasan kolom yang diperlukan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} P_u &= \{(A_e \times Q_u) + (q_{d1} \times L_1) + (q_{d2} \times L_2)\} \times n \\ &= \{(51,84 \times 10,45) + (6,6674 \times 7,2) + (9,9994 \times 7,2)\} \times 9 \\ &= 5955,561 \text{ kN} \\ &= 5955560,64 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_g &= P_u \times \frac{1000}{0,4 \times f'_c \times 0,75} \\ &= 5955560,64 \times \frac{1000}{0,4 \times 32,5 \times 0,75} \\ &= 610826,7323 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jadi, luasan kolom yang didapat dari hasil perhitungan sebesar 610826,7321 mm². Dari luasan yang telah diperhitungkan, dapat mencari dimensi kolom dengan persamaan sebagai berikut :

$$S = \sqrt{A_g} = \sqrt{610826,7323} = 781,55 \text{ mm} \approx 782 \text{ mm}$$

Dimensi kolom bujursangkar yang didapat adalah 782 x 782 mm.

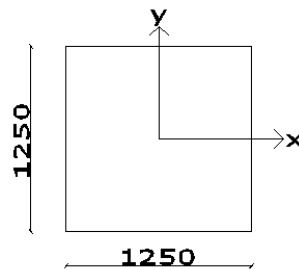
Namun setelah dilakukan analisis hingga simpangan antar lantai bangunan dimensi tersebut tidak dapat menghasilkan nilai simpangan antar lantai sesuai dengan nilai simpangan antar lantai ijin bangunan, sehingga perlu adanya pembesaran pada dimensi kolom. Setelah dilakukan *trial and error* didapatkan luasan yang memenuhi syarat ijin simpangan antar lantai sebesar 1562500 mm². Sehingga dimensi kolom yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 5.4 berikut.

Tabel 5.3 Rekapitulasi Dimensi Kolom

Model Gedung	b (mm)	h (mm)
Model 1	1250	1250
Model 2	1631	958
Model 3	958	1631
Model 4	K1	1631
	K2	958

2. Perhitungan Kekakuan Kolom

a. Kolom Bujur Sangkar

**Gambar 5.4 Arah Penempatan Kolom Bujur Sangkar**

$$f'_c = 32,5 \text{ MPa}$$

$$L_k = 4000 \text{ mm}$$

$$b = 1250 \text{ mm}$$

$$h = 1250 \text{ mm}$$

$$E = 4700 \sqrt{f'_c} = 26794,122 \text{ MPa}$$

$$I_{kx} = \frac{1}{12} b h^3 = 2,034 \times 10^{11} \text{ mm}^4$$

$$I_{ky} = \frac{1}{12} h b^3 = 2,034 \times 10^{11} \text{ mm}^4$$

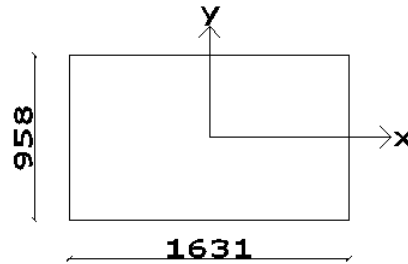
$$EI_{kx} = E \times I_{kx} = 5,451 \times 10^{15} \text{ Nmm}^2$$

$$EI_{ky} = E \times I_{ky} = 5,451 \times 10^{15} \text{ Nmm}^2$$

$$\text{Kekakuan} = K_{kx} = \frac{12EI_{kx}}{L^3} = 1022062,5 \text{ N/mm}$$

$$\text{Kekakuan} = K_{ky} = \frac{12EI_{ky}}{L^3} = 1022062,5 \text{ N/mm}$$

b. Kolom Persegi Panjang



Gambar 5.5 Arah Penempatan Kolom Persegi Panjang

$$f'c = 32,5 \text{ MPa}$$

$$L_k = 4000 \text{ mm}$$

$$h = 958 \text{ mm}$$

$$b = 1631 \text{ mm}$$

$$E = 4700\sqrt{f'c} = 26794,122 \text{ MPa}$$

$$I_{kx} = \frac{1}{12} b x h^3 = 1,195 \times 10^{11} \text{ mm}^4$$

$$I_{ky} = \frac{1}{12} h x b^3 = 3,464 \times 10^{11} \text{ mm}^4$$

$$EI_{kx} = E \times I_{kx} = 3,202 \times 10^{15} \text{ Nmm}^2$$

$$EI_{ky} = E \times I_{ky} = 9,281 \times 10^{15} \text{ Nmm}^2$$

$$\text{Kekakuan} = K_{kx} = \frac{12EI_{kx}}{L^3} = 600357 \text{ N/mm}$$

$$\text{Kekakuan} = K_{ky} = \frac{12EI_{ky}}{L^3} = 1740187,5 \text{ N/mm}$$

Nilai inersia dan kekakuan pada kolom persegi panjang mempengaruhi perletakan arah penampang kolom pada gedung model 4. Dilihat dari hasil perhitungan nilai inersia dan kekakuan kolom persegi panjang diatas apabila penempatan kolom diletakan seperti Gambar 5.5 menghasilkan inersia kolom arah X (I_{kx}) lebih kecil dari arah Y (I_{ky}), sehingga besar kekakuan kolom arah X lebih kecil dari arah Y. Pada penelitian ini digunakan gedung dengan denah L sehingga mencari nilai inersia bangunan menggunakan alat bantu AUTOCAD. Hasil yang diperoleh nilai inersia arah X sebesar $1,2338 \times 10^{17} \text{ mm}^4$ dan arah Y sebesar $2,1393 \times 10^{17} \text{ mm}^4$. Pada gedung model 4 kolom ditempatkan memanjang arah X untuk bentang yang memanjang arah Y dan penempatan kolom

memanjang arah Y untuk bentang yang memanjang arah X. Hal tersebut diharapkan agar gedung model 4 memiliki kekakuan yang optimun dari arah X maupun arah Y.

Tabel 5.4 Rekapitulasi Inersia dan Kekakuan Kolom

Model Kolom	Ukuran Dimensi		I_{kx} (mm^4) $\times 10^{11}$	I_{ky} (mm^4) $\times 10^{11}$	K_{kx} (N/mm)	K_{ky} (N/mm)	
	b (mm)	h (mm)					
Model 1	1250	1250	2,0345	2,0345	1022062,5	1022062,5	
Model 2	1631	958	1,195	3,464	600357	1740187,5	
Model 3	958	1631	3,464	1,195	1740187,5	600357	
Model 4	K1	1631	958	1,195	3,464	600357	1740187,5
	K2	958	1631	3,464	1,195	1740187,5	600357

5.2 Pembebanan Struktur

5.2.1 Beban Mati

Perhitungan beban mati struktur berdasarkan Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPUG 1987).

1. Beban mati lantai

Berikut adalah perhitungan beban mati pada pelat lantai (PL) dapat dilihat pada Tabel 5.5.

Tabel 5.5 Perhitungan Berat Beban Mati Lantai

Beban Mati	B_j (kN/m^3)	Tebal (m)	Berat Beban (kN/m^2)
Keramik			0,175
Spesi	19	0,03	0,57
Pasir	16	0,05	0,8
Plafon			0,11
Jumlah			1,655

Pada semua model gedung yang digunakan dalam tugas akhir ini juga menggunakan berat mati pada pelat lantai dengan nilai yang sama.

2. Beban mati atap

Berikut adalah perhitungan beban mati pada pelat (PA) dapat dilihat pada Tabel 5.6.

Tabel 5.6 Perhitungan Berat Beban Mati Atap

Beban Mati	Bj (kN/m ³)	Tebal (m)	Berat Beban (kN/m ²)
Lapisan kedap air	17	0,03	0,51
plafon			0,11
Jumlah			0,62

Pada semua model bangunan yang digunakan dalam tugas akhir ini juga menggunakan berat mati pada pelat lantai dengan nilai yang sama.

3. Beban mati dinding

Beban mati dinding pada setiap model bangunan dalam tugas akhir digunakan nilai yang sama. Berikut adalah perhitungan beban mati pada dinding. Dapat dilihat pada Tabel 5.7.

Tabel 5.7 Perhitungan Beban Mati Dinding

No.	Jenis Dinding	Qd (kN/m ²)	Tinggi (m)	qd (kN/m)
1	Dinding Tepi	1,961	3,4	6,6674
2	Dinding Dalam	2,941	3,4	9,9994

5.2.2 Beban Hidup

1. Beban hidup lantai

Bangunan struktur yang digunakan dalam tugas akhir ini berfungsi sebagai bangunan hotel, sehingga dalam Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPUG 1987) bangunan tersebut memiliki beban hidup sebesar 2,5 kN/m².

2. Beban hidup atap

Bangunan struktur yang digunakan dalam tugas akhir ini berfungsi sebagai bangunan hotel, sehingga dalam PPPUG 1987 Pasal 2.1.2.2 Ayat (1) bangunan tersebut memiliki beban mati sebesar 1 kN/m².

5.2.3 Beban Gempa

Analisis beban gempa pada penelitian ini menggunakan metode respon spektrum dengan pedoman SNI 03-1726-2012. Dalam penelitian ini semua bangunan berada di wilayah Kota Bandung, Jawa Barat dengan jenis tanah sedang. Berikut adalah data karakteristik gempa yang akan digunakan dalam penelitian tugas akhir ini dapat dilihat pada Tabel 5.8.

Tabel 5.8 Karakteristik Gempa

Uraian	Nilai	Keterangan
Lokasi	Bandung	-
Fungsi Bangunan	Hotel	-
Kategori Risiko	II	SNI 1726 Hal 14 Tabel 1
Faktor Keutamaan (I)	1	SNI 1726 Hal 15 Tabel 2
Jenis Tanah	Sedang	-
Klasifikasi Situs	SD	SNI 1726 Hal 17 Tabel 3
S _s	1,35	SNI 1726 Hal 134 Gambar 9
S ₁	0,45	SNI 1726 Hal 135 Gambar 10
F _a	1	SNI 1726 Hal 22 Tabel 4
F _v	1,55	SNI 1726 Hal 22 Tabel 5
C _{RS}	0,95	SNI 1726 Hal 137 Gambar 12
C _{R1}	0,95	SNI 1726 Hal 138 Gambar 13

Sebelum menentukan parameter respon spektrum, perlu ditentukan hubungan koefisien situs dengan parameter spektrum respon sebagai berikut.

1. Parameter spektrum respon percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1})

$$S_{MS} = F_a \times S_s = 1 \times 1,35 = 1,35$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1 = 1,55 \times 0,45 = 0,6975$$

2. Parameter percepatan desain untuk periode pendek (S_{DS}) dan periode 1 detik (S_{D1})

$$S_{DSR} = 2/3 \times S_{MS} \times C_{RS} = 2/3 \times 1,35 \times 0,95 = 0,855$$

$$S_{D1R} = 2/3 \times S_{M1} \times C_{R1} = 2/3 \times 0,6975 \times 0,95 = 0,442$$

3. Kurva respon spektrum desain

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1R}}{S_{DSR}} = 0,2 \times \frac{0,442}{0,855} = 0,129 \text{ s}$$

$$T_s = \frac{S_{D1R}}{S_{DSR}} = \frac{0,442}{0,855} = 0,517 \text{ s}$$

a) Untuk periode yang lebih kecil dari T_0

$$S_a = S_{DSR} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) = 0,855 \times \left(0,4 + 0,6 \times \frac{0}{0,129} \right) = 0,342$$

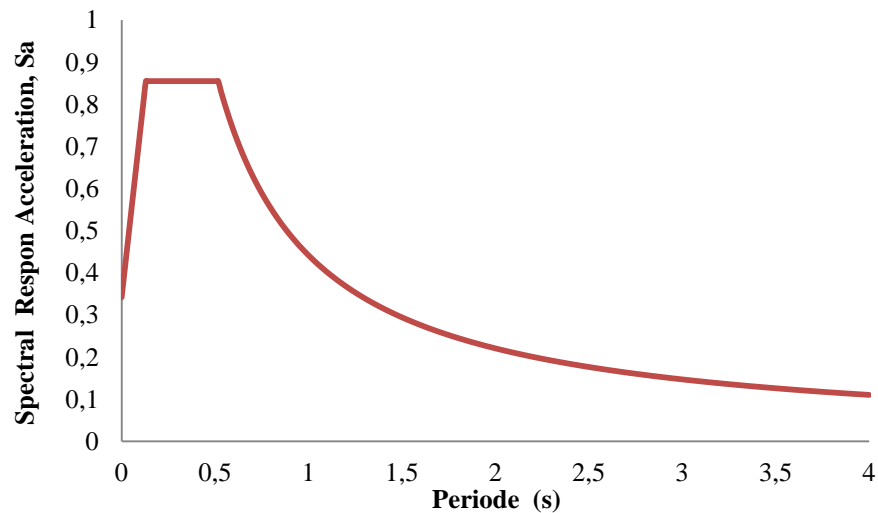
b) Untuk periode yang lebih besar dari T_0 tetapi lebih kecil dari T_S maka

$$S_a = S_{DSR} = 0,855$$

c) Untuk periode lebih besar dari T_0

$$S_a = \frac{S_{DSR}}{T} = \frac{0,855}{0,53} = 0,8335$$

Berikut adalah grafik respon spektrum berdasarkan parameter-parameter diatas.



Gambar 5.6 Grafik Respon Spektrum

Semua bangunan yang digunakan dalam penelitian ini memiliki grafik respon spektrum yang sama karena karakteristik gempa dari empat bangunan adalah sama.

5.3 Verifikasi Hasil Analisis Struktur

5.3.1 Massa Bangunan

Berikut adalah rekapitulasi massa bangunan per lantai yang didapatkan dari hasil program analisis ETABS V.13 dapat dilihat pada Tabel 5.9.

Tabel 5.9 Rekapitulasi Massa Bangunan Per lantai

Lantai	Massa per Lantai (kN)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model4
9	10301,07	10301,07	10301,07	10301,07
8	18758,65	18758,65	18758,65	18758,65
7	18758,65	18758,65	18758,65	18758,65
6	18758,65	18758,65	18758,65	18758,65
5	18758,65	18758,65	18758,65	18758,65
4	18758,65	18758,65	18758,65	18758,65
3	18758,65	18758,65	18758,65	18758,65
2	18758,65	18758,65	18758,65	18758,65
1	18758,65	18758,65	18758,65	18758,65
Jumlah	160370,28	160370,28	160370,28	160370,28

Massa bangunan yang tertera pada Tabel 5.9 pada semua model gedung memiliki nilai yang sama sebesar 160370,28 kN.

5.3.2 Periode Getar Struktur

Nilai periode getar struktur yang akan dibandingkan diperoleh dari hasil program analisis ETABS V.13 dan perhitungan sesuai dengan peraturan SNI 1726:2012. Jika diketahui data sebagai berikut:

$$C_t = 0,0046$$

$$x = 0,9$$

$$C_u = 1,4$$

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

Maka periode pendekatan dan periode getar maksimum dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} T_a &= C_t h_n^x \\ &= 0,0046 \times 4^{0,9} \\ &= 1,172 \text{ s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_{mak} &= T_a C_u \\ &= 1,172 \times 1,4 \\ &= 1,641 \text{ s} \end{aligned}$$

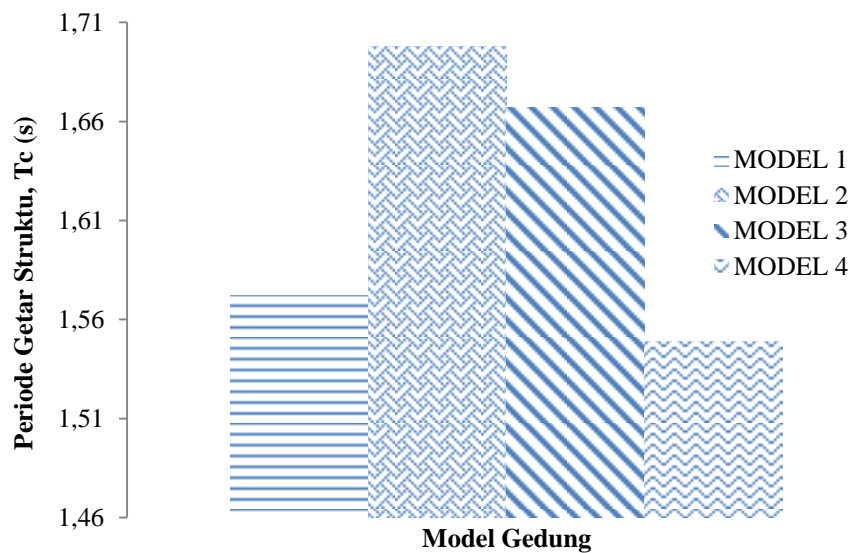
Sehingga didapatkan perbandingan periode getar struktur yang didapat. Adapun syarat untuk menentukan periode getar, yaitu:

1. Jika $T_c > T_{maks} \rightarrow$ gunakan $T = T_{maks}$
2. Jika $T_a < T_c < T_{maks} \rightarrow$ gunakan $T = T_c$, dan
3. Jika $T_c < T_a \rightarrow$ gunakan T_a

Berikut adalah rekapitulasi nilai periode getar dari struktur bangunan yang memiliki model kolom dan arah yang berbeda.

Tabel 5.10 Rekapitulasi Periode Getar Struktur

Model Bangunan	Periode Getar Hasil ETABS V.13, T_c (s)	Periode Getar Maksimum, T_{maks} (s)	Periode Getar Pendekatan, T_a (s)	Periode Getar Digunakan (s)
Model 1	1,572	1,641	1,172	1,572
Model 2	1,698	1,641	1,172	1,641
Model 3	1,667	1,641	1,172	1,641
Model 4	1,549	1,641	1,172	1,549



Gambar 5.7 Grafik Periode Getar Struktur Hasil ETABS V.13

Jika digunakan gedung model 1 sebagai pengontrol diantara semua model gedung yang digunakan, maka didapatkan nilai rasio kenaikan dan penurunan nilai periode antara model setiap gedung terhadap gedung model 1.

Tabel 5.11 Rekapitulasi Persentase Periode Getar Struktur

Model Gedung	Periode Getar Hasil ETABS V.13 (%)	Periode Getar Digunakan (%)
Model 1	0	0
Model 2	8,0153	4,4080
Model 3	6,0433	4,4080
Model 4	-1,4631	-1,4631

Masing-masing gedung dengan pemodelan kolom dan penempatan tampang kolom yang berbeda memberikan nilai periode getar struktur yang berbeda. Periode getar struktur menggambarkan setiap getaran dari struktur yang bergantung pada massa dan kekakuan yang bergetar bebas tanpa adanya gaya luar. Selain massa dan kekakuan, ketinggian dari gedung mempengaruhi besarnya nilai periode getar struktur. Dari Grafik 5.7 dapat dilihat nilai periode getar struktur yang paling besar adalah gedung dengan model 2, yaitu penampang kolom persegi panjang ditempatkan memanjang pada arah X sumbu global bangunan gedung. Untuk nilai periode getar struktur yang kecil pada bangunan gedung model 4, yaitu penampang kolom persegi panjang ditempatkan pada arah X dan arah Y sumbu global bangunan gedung.

Nilai massa berbanding terbalik dengan nilai periode bangunan, sehingga semakin besar massa bangunan akan semakin kecil nilai periode getar strukturnya dan sebaliknya. Dari Tabel 5.9 nilai massa bangunan dari 4 buah model gedung yang digunakan adalah sama. Dikarenakan semua gedung memiliki tinggi yang sama nilai kekakuan struktur bisa menjadi hal lain yang mempengaruhi perbedaan nilai periode getar struktur tersebut. Semakin besar nilai periode getar struktur maka kekakuan struktur semakin kecil sesuai dengan persamaan umum sebagai berikut :

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \quad 5.1$$

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad 5.2$$

$$k = \frac{12EI}{L^3} \quad 5.3$$

dengan:

T = Periode getar struktur (s)

ω = Frekuensi sudut dalam (rad/s)

k = Kekakuan struktur (N/mm)

m = Massa struktur (kN)

E = Modulus Elastisitas (MPa)

I = Momen Inersia (mm^4)

L = Panjang Bentang (mm)

Dari persamaan 5.3 dapat dilihat jika kekakuan dipengaruhi oleh nilai modulus elastisitas, momen inersia, dan panjang bentang elemen. Dalam penelitian ini semua nilai modulus elastisitas dari 4 model gedung yang digunakan adalah sama. Panjang bentang elemen balok dan tinggi kolom yang digunakan adalah sama. Besar momen inersia balok adalah sama karena digunakan ukuran dimensi yang sama. Namun momen inersia kolom berbeda dikarenakan menggunakan ukuran penampang dan penempatan tampang kolom yang berbeda. Semakin besar nilai momen inersia maka periode getar akan semakin kecil, karena besar nilai momen inersia berbanding lurus dengan kekakuan. Besarnya nilai momen inersia kolom dapat dilihat pada Tabel 5.4, gedung model 2, 3, dan 4 memiliki estimasi ukuran penampang yang sama. Namun penempatan tampang kolom diletakkan dengan arah yang berbeda sehingga didapatkan nilai momen inersia yang berbeda.

Dalam perencanaan bangunan nilai periode bangunan berpengaruh terhadap respon struktur terhadap gempa. Nilai periode bangunan juga berpengaruh terhadap nilai gaya geser dasar bangunan, semakin besar periode getar struktur maka nilai gaya geser dasar akan semakin kecil (Gosh & Fanella, 2003).

5.3.3 Koefisien Respon Seismik

Koefisien respon seismik didapatkan dari perhitungan berdasarkan persamaan dalam Pasal 7.8.1.1 SNI 02-1726-2012. Berikut adalah contoh perhitungan koefisien respon spektrum pada kolom model 1, jika data yang diketahui sebagai berikut:

$$S_{DSR} = 0,855$$

$$S_{D1r} = 0,442$$

$$S_1 = 0,45$$

$$R = 8$$

$$I_C = 1$$

$$T_{Pakai} = 1,572$$

Maka respon seismik dapat dihitung sebagai berikut:

$$C_{S1} = \frac{S_{DSR}}{\frac{R}{I_C}} = \frac{0,855}{\frac{8}{1}} = 0,1069$$

$$C_{S2} = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_C}\right)} = \frac{0,442}{1,572 \times \left(\frac{8}{1}\right)} = 0,03512$$

$$C_{S3} = \frac{S_1}{\frac{R}{I_C}} = \frac{0,45}{\frac{8}{1}} = 0,0376$$

Didapatkan nilai $C_{S1} > C_{S3} > C_{S2} = 0,1069 > 0,0376 > 0,0349$

Nilai koefisien respon yang digunakan adalah nilai C_{S3} sebesar 0,0376.

Rekapitulasi perhitungan dapat dilihat pada Tabel 5.12.

Tabel 5.12 Rekapitulasi Koefisien Respon Seismik

Model Bangunan	Koefisien respon seismik			
	Cs1	Cs2	Cs3	Cs pakai
Model 1	0,1069	0,0351	0,038	0,038
Model 2	0,1069	0,0336	0,038	0,038
Model 3	0,1069	0,0336	0,038	0,038
Model 4	0,1069	0,0356	0,038	0,038

Dari Tabel 5.12 nilai koefisien respon spektrum yang digunakan nilainya sama dikarenakan semua model gedung yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini berada di wilayah gempa yang sama. Koefisien respon seismik digunakan sebagai faktor pengali dalam mencari besar gaya geser dasar statik.

5.3.4 Gaya Statik Ekuivalen Per Lantai

Perhitungan statik ekuivalen berpedoman pada peraturan SNI 1726:2012. Berikut adalah hasil perhitungan statik ekuivalen berdasarkan model kolom dan penempatan tampang kolom yang berbeda.

Tabel 5.13 Perhitungan Statik Ekuivalen Gedung Model 1

Lantai	Tinggi, H (m)	Berat, W (kN)	W x H ^k (kNm)	Cv	F (kN)
9	36	10301,07	2531413,873	0,152	917,358
8	32	18758,65	3846909,507	0,231	1394,080
7	28	18758,65	3133547,914	0,188	1135,565
6	24	18758,65	2472897,246	0,149	896,152
5	20	18758,65	1868889,727	0,112	677,266
4	16	18758,65	1326569,161	0,080	480,735
3	12	18758,65	852754,456	0,051	309,029
2	8	18758,65	457454,415	0,027	165,777
1	4	18758,65	157748,686	0,009	57,166
Jumlah			16648184,984	1,000	6033,130

Tabel 5.14 Perhitungan Statik Ekuivalen Gedung Model 2

Lantai	Tinggi, H (m)	Berat, W (kN)	W x H ^k (kNm)	Cv	F (kN)
9	36	10301,07	2866050,5280	0,1541	929,5524
8	32	18758,65	4337708,7947	0,2332	1406,8585
7	28	18758,65	3517025,6447	0,1891	1140,6845
6	24	18758,65	2760741,7521	0,1484	895,3973
5	20	18758,65	2073289,8595	0,1115	672,4346
4	16	18758,65	1460322,0239	0,0785	473,6294
3	12	18758,65	929424,3052	0,0500	301,4422
2	8	18758,65	491628,3030	0,0264	159,4509
1	4	18758,65	165510,3356	0,0089	53,6803
Jumlah			18601701,5467	1,0000	6033,1300

Tabel 5.15 Perhitungan Statik Ekuivalen Gedung Model 3

Lantai	Tinggi, H (m)	Berat, W (kN)	W x H ^k (kNm)	Cv	F (kN)
9	36	10301,07	2866050,5280	0,1541	929,5524
8	32	18758,65	4337708,7947	0,2332	1406,8585
7	28	18758,65	3517025,6447	0,1891	1140,6845
6	24	18758,65	2760741,7521	0,1484	895,3973
5	20	18758,65	2073289,8595	0,1115	672,4346

Lanjutan Tabel 5.15 Perhitungan Statik Ekivalen Gedung Model 3

Lantai	Tinggi, H (m)	Berat, W (kN)	$W \times H^k$ (kNm)	Cv	F (kN)
4	16	18758,65	1460322,0239	0,0785	473,6294
3	12	18758,65	929424,3052	0,0500	301,4422
2	8	18758,65	491628,3030	0,0264	159,4509
1	4	18758,65	165510,3356	0,0089	53,6803
Jumlah			18601701,5467	1,0000	6033,1300

Tabel 5.16 Perhitungan Statik Ekivalen Bangunan Model 4

Lantai	Tinggi, H (m)	Berat, W (kN)	$W \times H^k$ (kNm)	Cv	F (kN)
9	36	10301,07	2429213,4498	0,1514	913,3092
8	32	18758,65	3696602,4371	0,2304	1389,8084
7	28	18758,65	3015740,8744	0,1879	1133,8254
6	24	18758,65	2384150,3609	0,1486	896,3669
5	20	18758,65	1805601,1885	0,1125	678,8503
4	16	18758,65	1284939,0185	0,0801	483,0974
3	12	18758,65	828730,6728	0,0516	311,5771
2	8	18758,65	446644,8068	0,0278	167,9247
1	4	18758,65	155253,7362	0,0097	58,3706
Jumlah			16046876,5449	1,0000	6033,1300

Nilai statik ekivalen tiap lantai pada gedung model 2 dan 3 adalah sama sedangkan pada gedung model 1 dan 4 berbeda. Hal tersebut dikarenakan besarnya angka eksponen yang digunakan berbeda. Angka eksponen yang berbeda terkait terhadap nilai periode getar struktur yang dimiliki masing-masing model gedung.

5.3.5 Gaya Geser Dasar

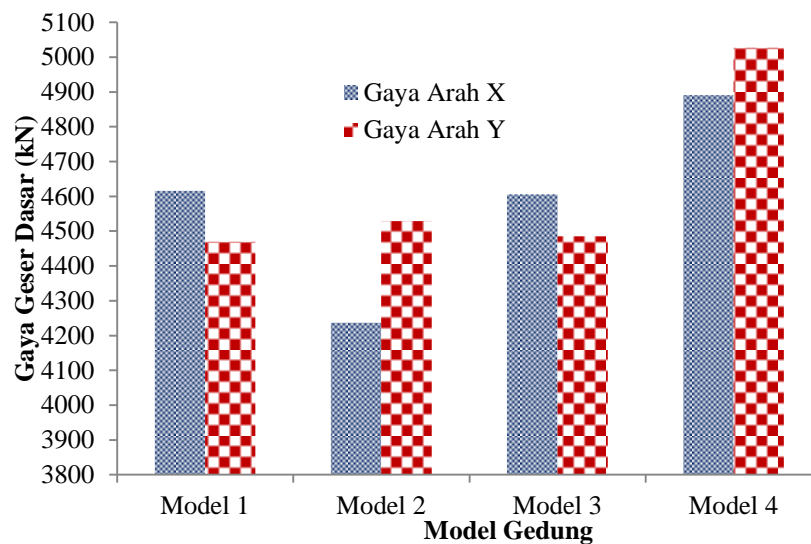
Pada penelitian ini metode analisis beban gempa yang digunakan adalah metode respon spektrum, sehingga nilai gaya geser dasar sangat diperlukan untuk menghitung nilai skala gaya. Terdapat 2 jenis nilai gaya dasar, yaitu:

1. Gaya Geser Dasar Dinamik

Nilai gaya geser dasar dinamik didapat dari hasil (*output*) program bantu ETABS V.13. Dengan penempatan tampang kolom yang berbeda didapatkan variasi nilai gaya geser dasar dinamik. Nilai gaya geser dasar dapat dilihat pada Tabel 5.17.

Tabel 5.17 Rekapitulasi Gaya Geser Dasar Dinamik

Model Gedung	Gaya Geser Dasar Dinamik	
	FX (kN)	FY (kN)
Model 1	4615,1425	4468,8431
Model 2	4236,0497	4529,113
Model 3	4605,5763	4484,3984
Model 4	4890,4568	5026,3943



Gambar 5.8 Gaya Geser Dasar Dinamik

Jika digunakan model 1 sebagai pengontrol perbedaan nilai gaya geser dasar terhadap semua model gedung, maka didapatkan nilai sebagai berikut.

Tabel 5.18 Rekapitulasi Persentase Gaya Geser Dasar Dinamik

Model Bangunan	Gaya Geser Dasar Dinamik	
	FX %	FY %
Model 1	0	0
Model 2	-8,214	1,349
Model 3	-0,207	0,348
Model 4	5,965	12,476

Dari hasil yang ditunjukkan pada Tabel 5.17 dan Gambar 5.8 gaya geser dasar terbesar terjadi pada gedung model 4. Dari Tabel 5.18 nilai minus (-) menandakan jika gaya geser tersebut memiliki nilai lebih kecil dari pembanding. Gaya geser dasar gedung model 2 arah X memiliki nilai terkecil sebesar 8,214 % dari gedung model 1.

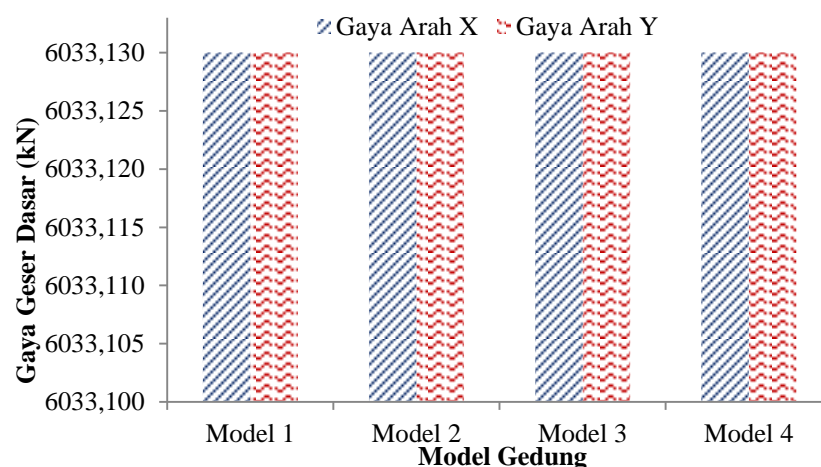
Pada pembahasan periode getar struktur disebutkan bahwa nilai periode getar berbanding terbalik dengan gaya geser dasar dari sebuah bangunan gedung, jika pada gedung model 4 memiliki nilai periode getar yang terkecil diantara model gedung lainnya. Maka pada penelitian ini menunjukkan bahwa nilai gaya geser dasar terbesar terjadi pada gedung model 4.

2. Gaya Geser Dasar Statik

Nilai gaya geser dasar statik didapatkan dari perhitungan sesuai dengan Pasal 7.8.1 SNI 02-1726-2012, gaya geser dasar diperoleh dari perkalian antara berat bangunan dengan koefisien respon seismik. Dari perhitungan didapatkan nilai gaya geser dasar statik yang tertera pada Tabel 5.19.

Tabel 5.19 Rekapitulasi Gaya Geser Dasar Statik

Model Bangunan	Massa Bangunan (kN)		Cs Pakai	Gaya Geser Dasar Statik (kN)	
	Arah X	Arah Y		Arah X	Arah Y
Model 1	160370,347	160370,347	0,038	6033,130	6033,130
Model 2	160370,282	160370,282	0,038	6033,130	6033,130
Model 3	160370,282	160370,282	0,038	6033,130	6033,130
Model 4	160370,282	160370,282	0,038	6033,130	6033,130



Gambar 5.9 Gaya Geser Dasar Statik

5.3.6 Skala Gaya

Berdasarkan peraturan SNI 03-1726-2012 Pasal 7.9.4.1, bila gaya geser dasar spektrum respons (V_t) lebih kecil dari 85% dari gaya geser dasar statik ekuivalen (V) maka gaya harus dikalikan dengan $0,85 \frac{V}{V_t}$.

Tabel 5.20 Skala Gaya Arah X

Model Gedung	Arah X			
	Gaya Geser Dasar Dinamik (kN)	85% Gaya Geser Dasar Statik (kN)	Faktor Pengali Respon	Skala Gaya
Model 1	4615,1425	5128,1626	1,226	1,3626
Model 2	4236,0497	5128,1605	1,226	1,4856
Model 3	4605,5763	5128,1605	1,226	1,3654
Model 4	4890,4568	5128,1605	1,226	1,2812

Tabel 5.21 Skala Gaya Arah Y

Model Gedung	Arah Y			
	Gaya Geser Dasar Dinamik (kN)	85% Gaya Geser Dasar Statik (kN)	Faktor Pengali Respon	Skala Gaya
Model 1	4468,8431	5128,1626	1,226	1,4072
Model 2	4529,113	5128,1605	1,226	1,3874
Model 3	4484,3984	5128,1605	1,226	1,4023
Model 4	5026,3943	5128,1605	1,226	1,2484

5.3.7 Partisipasi Massa Ragam

Menurut SNI 03-1726-2012 Pasal 7.9.1, massa ragam terkombinasi sebesar paling sedikit 90% dari massa aktual dalam masing-masing arah horizontal ortogonal dari respon yang ditinjau oleh model. Berikut adalah nilai partisipasi massa yang dihasilkan dari masing-masing model bangunan.

Tabel 5.22 Partisipasi Massa Ragam

Model Gedung	Jumlah Massa		Cek	
	Arah X (%)	Arah Y (%)	Arah X	Arah Y
Model 1	99,67	99,76	Ok	Ok
Model 2	98,72	99,94	Ok	Ok
Model 3	99,9	98,79	Ok	Ok
Model 4	99,9	98,79	Ok	Ok

Dari Tabel 5.22 dapat dilihat bahwa semua bangunan gedung dengan penempatan tampang kolom yang berbeda memiliki nilai partisipasi massa yang telah memenuhi syarat batas partisipasi massa pada masing-masing arah horizontal. Untuk arah X partisipasi massa terbesar pada bangunan model 3 dan 4, sedangkan untuk arah Y pada bangunan model 2.

5.3.8 Kombinasi Ragam

Metode yang digunakan adalah metode SRSS (*Square Root of the Squares*) yaitu struktur gedung mempunyai waktu getar alami yang berjauhan (lebih besar dari 15%). Banyaknya periode yang diperhitungkan hanya 10 kali periode. Hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5.23 Kombinasi Ragam Gedung Model 1

Uraian	T	ΔT (%)	Kombinasi Ragam (%)	CEK
T1	1,572	1,908397	50,96918756	OK
T2	1,542	10,50584	128,4284372	OK
T3	1,38	70,07246	77,70017587	OK
T4	0,413	1,210654	31,52133388	OK
T5	0,408	10,04902	90,21896853	OK
T6	0,367	50,40872	59,25456963	OK
T7	0,182	0,549451	18,6967576	OK
T8	0,181	9,944751	66,12886825	OK
T9	0,163	38,03681	38,03680982	OK
T10	0,101			

Tabel 5.24 Kombinasi Ragam Gedung Model 2

Uraian	T	ΔT (%)	Kombinasi Ragam (%)	CEK
T1	1,698	16,19552	74,45959575	OK
T2	1,423	3,654252	105,668864	OK
T3	1,371	65,57257	28,1615693	OK
T4	0,472	21,82203	45,77209421	OK
T5	0,369	6,233062	40,6902167	OK
T6	0,346	36,41618	4,972548994	NOT OK
T7	0,22	25,90909	19,43375685	OK
T8	0,163	10,42945	18,33767543	OK
T9	0,146	14,38356	14,38356164	NOT OK
T10	0,125			

Tabel 5.25 Kombinasi Ragam Gedung Model 3

Uraian	T	ΔT (%)	Kombinasi Ragam (%)	CEK
T1	1,667	13,67726	64,88637526	OK
T2	1,439	7,018763	100,2487041	OK
T3	1,338	65,24664	22,99670454	OK
T4	0,465	23,22581	51,07975505	OK
T5	0,357	4,201681	38,49642545	OK
T6	0,342	36,25731	18,14695941	OK
T7	0,218	29,81651	33,15210087	OK
T8	0,153	5,228758	22,35744873	OK
T9	0,145	13,7931	13,79310345	NOT OK
T10	0,125			

Tabel 5.26 Kombinasi Ragam Gedung Model 4

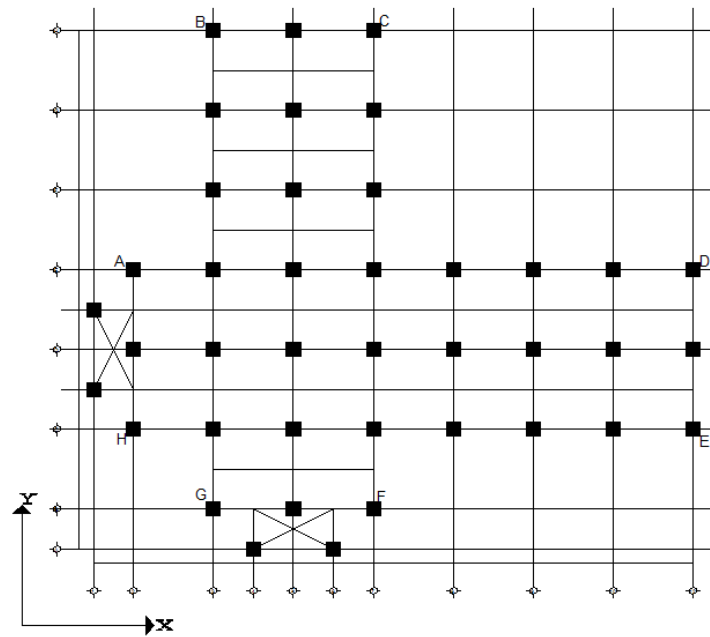
Uraian	T	ΔT (%)	Kombinasi Ragam (%)	CEK
T1	1,549	3,292447	45,39962731	OK
T2	1,498	13,15087	116,3676945	OK
T3	1,301	68,40892	68,24607161	OK
T4	0,411	7,29927	22,29290967	OK
T5	0,381	14,4357	62,91185215	OK
T6	0,326	43,86503	38,95366189	OK
T7	0,183	10,38251	4,76215311	NOT OK
T8	0,164	15,85366	36,32025451	OK
T9	0,138	26,08696	26,08695652	OK
T10	0,102			

Dari hasil yang telah dicantumkan pada Tabel 5.23, Tabel 5.24, Tabel 5.25, dan Tabel 5.26 semua model gedung hampir semua memenuhi syarat untuk menggunakan metode SRSS (*Square Root of the Squares*) karena nilai waktu getar alami yang berjauhan. Namun pada gedung model 2, 3, dan 4 terdapat nilai periode getar yang berjarak dekat.

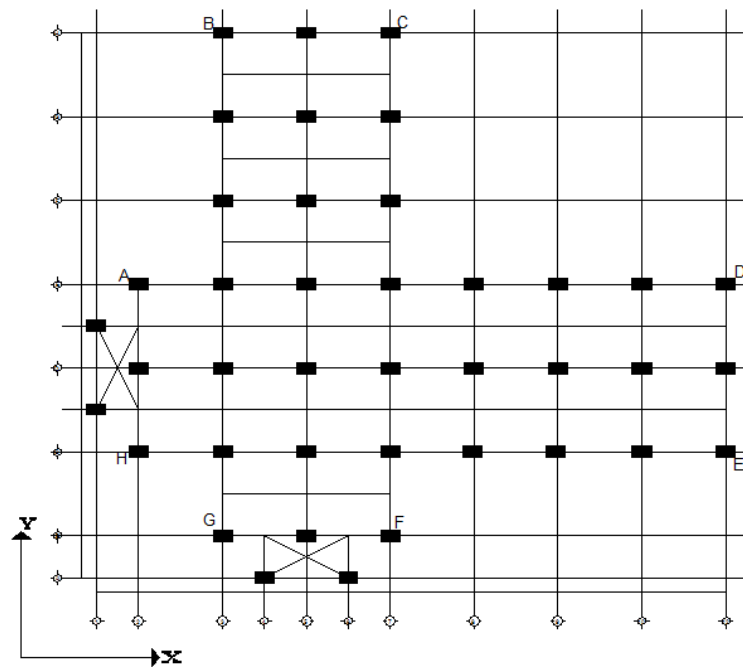
5.4 Verifikasi Respon Struktur

5.4.1 Simpangan Antar Lantai

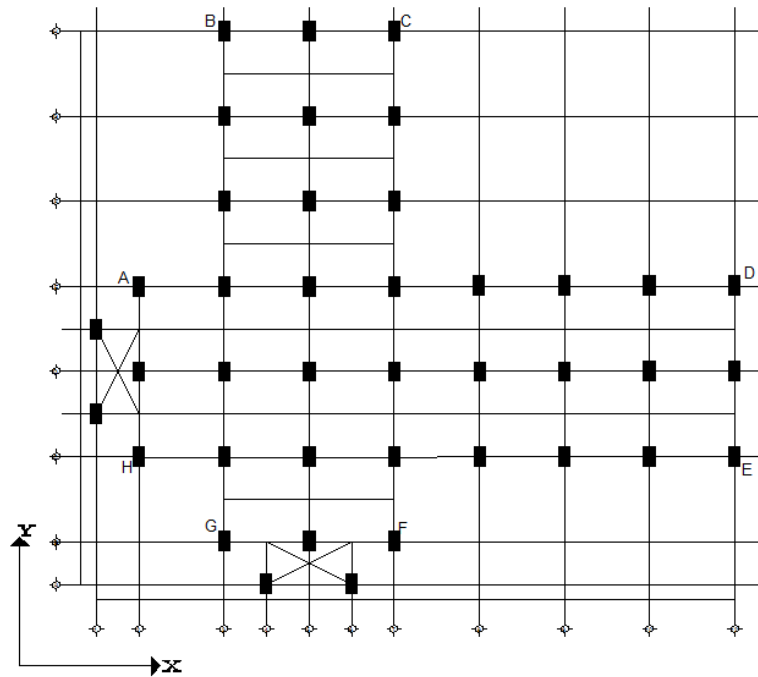
Persyaratan simpangan antar lantai yang digunakan berpedoman pada SNI 03-1726-2012. Lokasi joint-joint yang ditinjau dari keempat model gedung ini adalah sama sebanyak 8 titik pertemuan (*joint*).



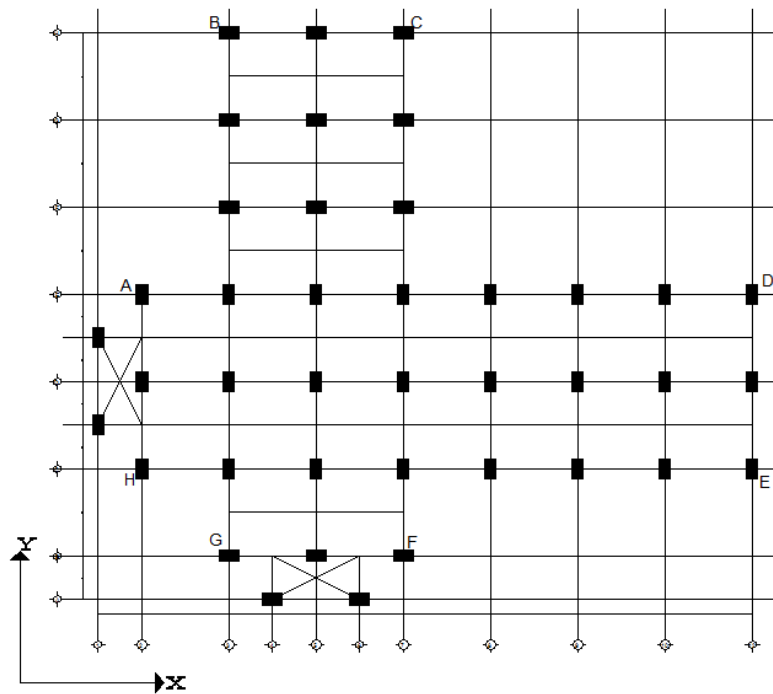
Gambar 5.10 Denah Perletakan *Joint* yang Ditinjau Gedung Model 1



Gambar 5.11 Denah Perletakan *Joint* yang Ditinjau Gedung Model 2



Gambar 5.12 Denah Perletakan *Joint* yang Ditinjau Gedung Model 3



Gambar 5.13 Denah Perletakan *Joint* yang Ditinjau Gedung Model 4

1. Simpangan antar lantai semua *joint*

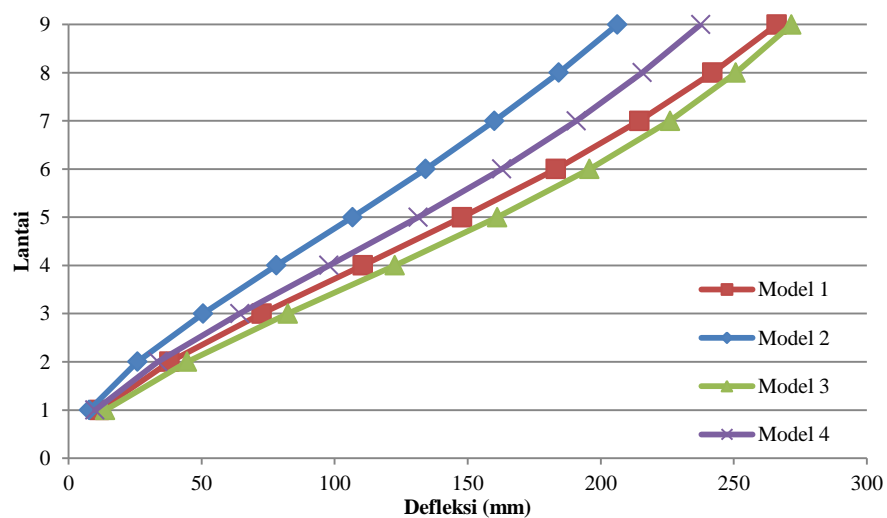
Setelah dilakukan pemeriksaan bangunan gedung untuk mengetahui apakah gedung tersebut mengalami torsi akibat simpangan bangunan arah X dan arah Y, maka didapatkan nilai simpangan yang telah dimasukkan nilai pembesaran torsi dan eksentrisitas baru akibat torsi serta hasil perhitungan simpangan antar lantai berdasarkan Persamaan 3.25 sebagai berikut.

a. *Joint A*

Berikut adalah nilai perhitungan defleksi pada *joint A* arah X dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5.27 Rekapitulasi Defleksi Arah X *Joint A*

Lantai	Defleksi Arah X (mm)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	266,2	206,25	271,7	237,6
8	242	184,25	250,8	215,6
7	214,5	160,05	226,05	190,85
6	183,15	134,2	195,8	162,8
5	147,95	106,7	161,15	131,45
4	110,55	78,1	122,65	97,9
3	72,6	50,6	82,5	64,35
2	37,95	25,85	44,55	33,55
1	11,55	7,7	13,75	9,9

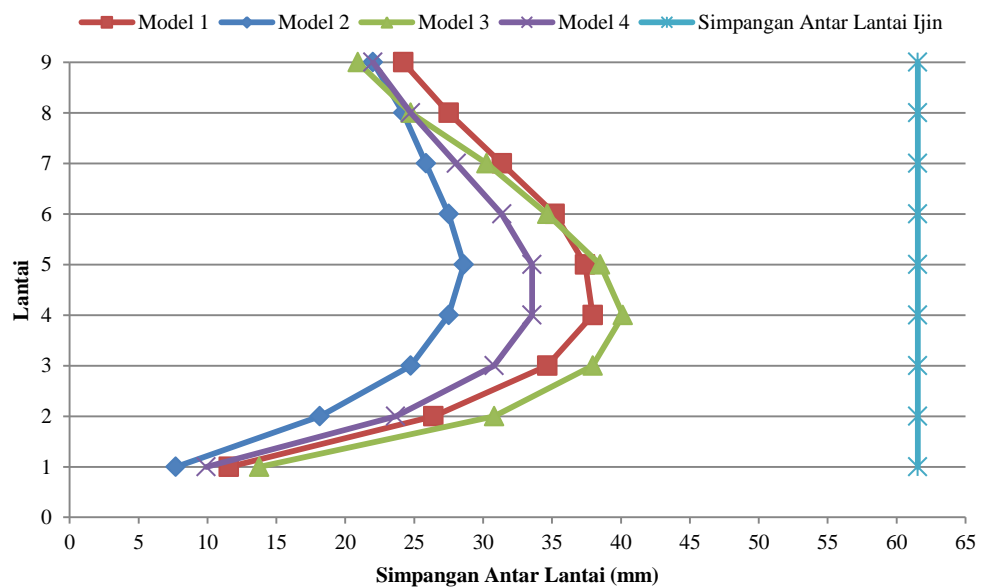


Gambar 5.14 Grafik Defleksi *Joint A* Arah X

Berikut adalah hasil rekapitulasi perhitungan simpangan antar lantai dan simpangan antar lantai ijin pada *joint A* arah X pada semua model gedung. Dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5.28 Rekapitulasi Simpangan Antar Lantai Arah X *Joint A*

Lantai	Simpangan Antar Lantai Arah X (mm)				Simpangan Antar Lantai Ijin, Δa (mm)
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	
9	24,2	22	20,9	22	61,5385
8	27,5	24,2	24,75	24,75	61,5385
7	31,35	25,85	30,25	28,05	61,5385
6	35,2	27,5	34,65	31,35	61,5385
5	37,4	28,6	38,5	33,55	61,5385
4	37,95	27,5	40,15	33,55	61,5385
3	34,65	24,75	37,95	30,8	61,5385
2	26,4	18,15	30,8	23,65	61,5385
1	11,55	7,7	13,75	9,9	61,5385

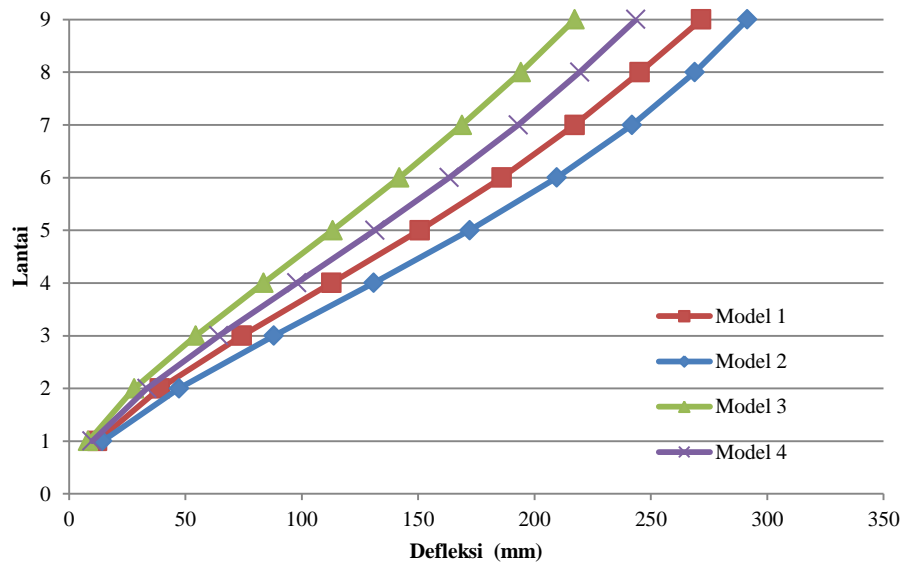


Gambar 5.15 Grafik Simpangan Antar Lantai *Joint A* Arah X

Berikut adalah nilai perhitungan defleksi pada *joint A* arah Y dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5.29 Rekapitulasi Defleksi Arah Y *Joint A*

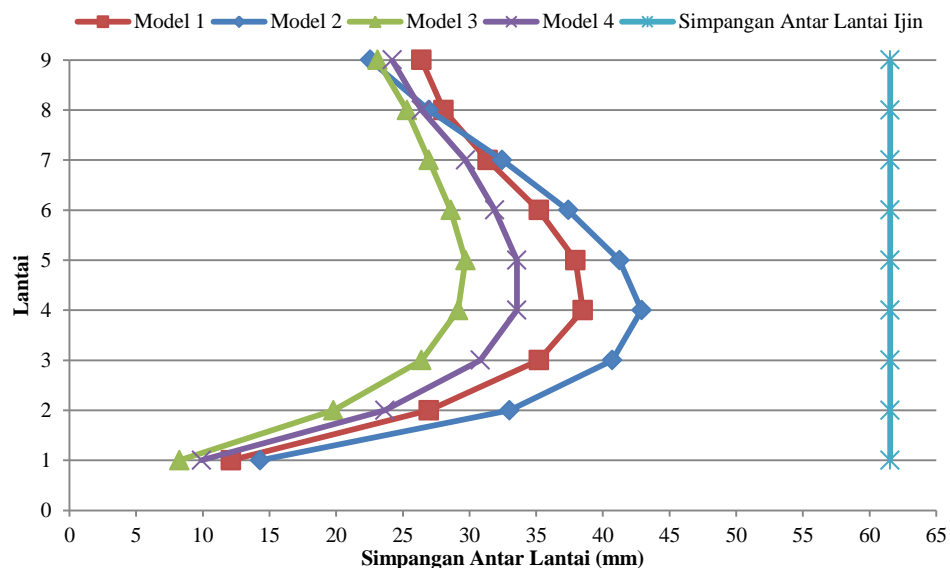
Lantai	Defleksi Arah Y (mm)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	271,7	291,5	217,25	243,65
8	245,3	268,95	194,15	219,45
7	217,25	242	168,85	193,05
6	185,9	209,55	141,9	163,35
5	150,7	172,15	113,3	131,45
4	112,75	130,9	83,6	97,9
3	74,25	88	54,45	64,35
2	39,05	47,3	28,05	33,55
1	12,1	14,3	8,25	9,9

**Gambar 5.16 Grafik Defleksi *Joint A* Arah Y**

Berikut adalah hasil rekapitulasi perhitungan simpangan antar lantai dan simpangan antar lantai ijin pada *joint A* arah Y ke semua model gedung. Dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5.30 Rekapitulasi Simpangan Antar Lantai Arah Y Joint A

Lantai	Simpangan Antar Lantai Arah Y (mm)				Simpangan Antar Lantai Ijin, Δa (mm)
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	
9	26,4	22,55	23,1	24,2	61,5385
8	28,05	26,95	25,3	26,4	61,5385
7	31,35	32,45	26,95	29,7	61,5385
6	35,2	37,4	28,6	31,9	61,5385
5	37,95	41,25	29,7	33,55	61,5385
4	38,5	42,9	29,15	33,55	61,5385
3	35,2	40,7	26,4	30,8	61,5385
2	26,95	33	19,8	23,65	61,5385
1	12,1	14,3	8,25	9,9	61,5385

**Gambar 5.17 Grafik Simpangan Antar Lantai Joint A Arah Y**

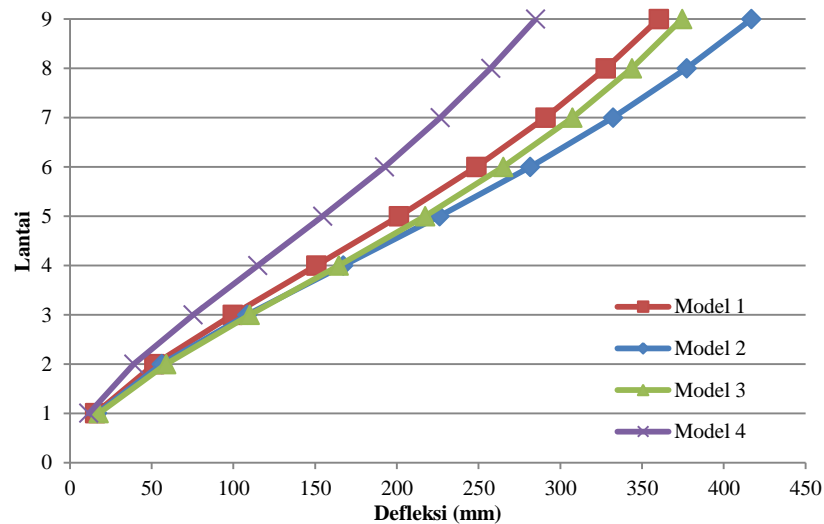
Dari hasil perhitungan untuk *joint A* arah X simpangan antar lantai terbesar terjadi pada gedung model 3, sedangkan untuk arah Y terjadi pada gedung model 2. Hal tersebut disebabkan karena di *joint A* kolom model 3 ditempatkan pada sumbu lemah ketika menerima beban gempa arah X dan model 2 ditempatkan pada sumbu lemah ketika menerima beban arah Y.

b. *Joint B*

Berikut adalah nilai perhitungan defleksi pada *joint B* arah X dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5.31 Rekapitulasi Defleksi Arah X Joint B

Lantai	Defleksi Arah X (mm)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	360,25	416,9	374,55	284,9
8	327,8	377,3	343,75	257,4
7	290,95	332,2	307,45	226,6
6	248,6	281,6	265,1	192,5
5	201,3	226,05	217,25	154,55
4	150,7	167,2	164,45	114,95
3	99,55	108,35	110	75,35
2	51,7	56,1	58,85	39,05
1	15,4	16,5	17,6	11,55

**Gambar 5.18 Grafik Defleksi Joint B Arah X**

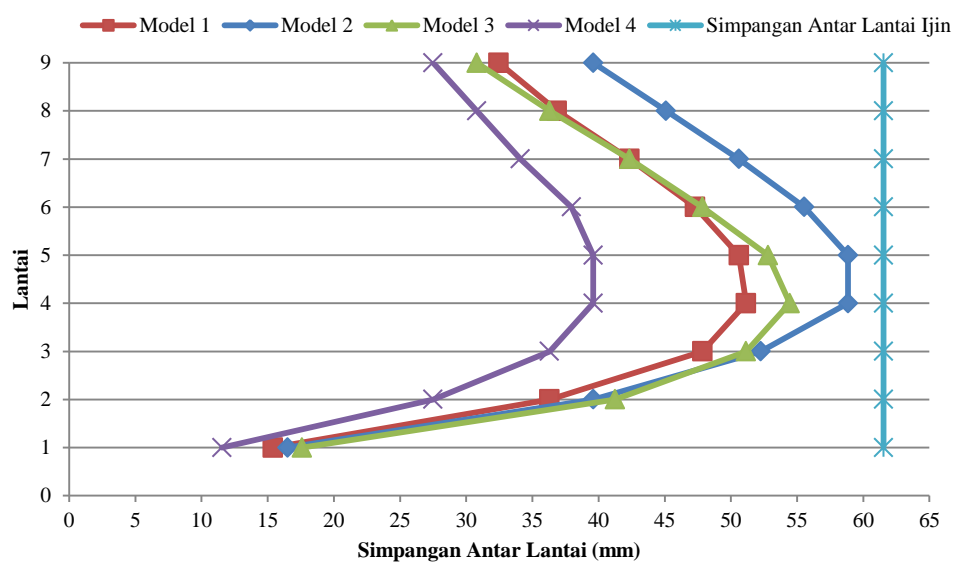
Berikut adalah hasil rekapitulasi perhitungan simpangan antar lantai dan simpangan antar lantai ijin pada *joint* B arah X pada semua model gedung. Dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5.32 Rekapitulasi Simpangan Antar Lantai Arah X Joint B

Lantai	Simpangan Antar Lantai Arah X (mm)				Simpangan Antar Lantai Ijin, Δa (mm)
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	
9	32,45	39,6	30,8	27,5	61,5385
8	36,85	45,1	36,3	30,8	61,5385
7	42,35	50,6	42,35	34,1	61,5385
6	47,3	55,55	47,85	37,95	61,5385

**Lanjutan Tabel 5.32 Rekapitulasi Simpangan Antar Lantai Arah X
Joint B**

Lantai	Simpangan Antar Lantai Arah X (mm)				Simpangan Antar Lantai Ijin, Δa (mm)
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	
5	50,6	58,85	52,8	39,6	61,5385
4	51,15	58,85	54,45	39,6	61,5385
3	47,85	52,25	51,15	36,3	61,5385
2	36,3	39,6	41,25	27,5	61,5385
1	15,4	16,5	17,6	11,55	61,5385

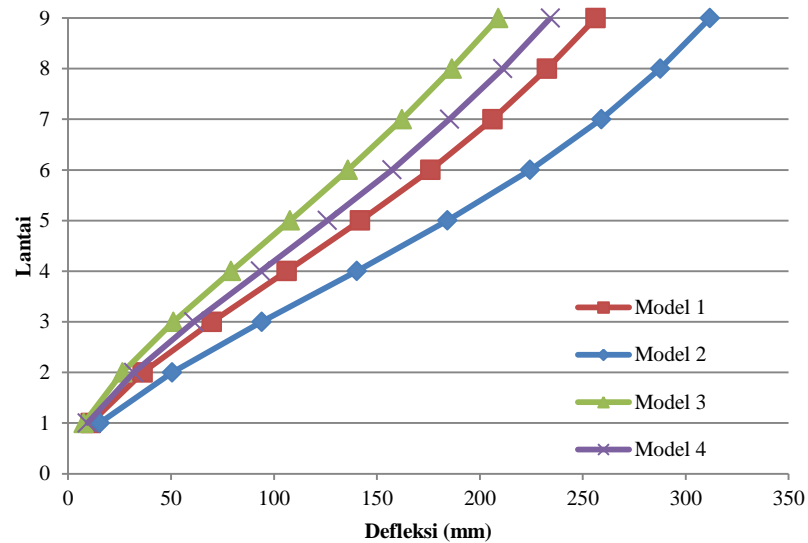


Gambar 5.19 Grafik Simpangan Antar Lantai Joint B Arah X

Berikut adalah nilai perhitungan defleksi pada *joint* B arah Y dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5.33 Rekapitulasi Defleksi Arah Y Joint B

Lantai	Defleksi Arah Y (mm)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	256,3	311,85	209	234,3
8	232,65	287,65	186,45	211,2
7	206,25	259,05	162,25	185,35
6	176	224,4	135,85	157,3
5	141,9	184,25	107,8	125,95
4	106,15	140,25	79,2	93,5
3	69,85	94,05	51,15	61,05
2	36,3	50,6	26,4	31,9
1	11	15,4	7,7	9,35

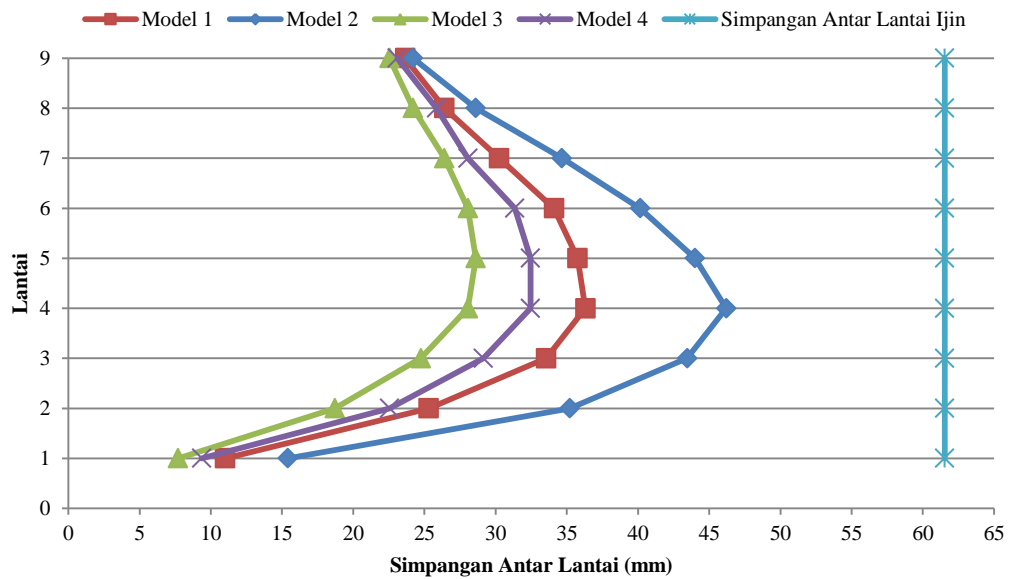


Gambar 5.20 Grafik Defleksi Joint B Arah Y

Berikut adalah hasil rekapitulasi perhitungan simpangan antar lantai dan simpangan antar lantai ijin pada *joint* B arah Y pada semua model gedung. Dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5.34 Rekapitulasi Simpangan Antar Lantai Arah Y Joint B

Lantai	Simpangan Antar Lantai Arah Y (mm)				Simpangan Antar Lantai Ijin, Δa (mm)
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	
9	23,65	24,2	22,55	23,1	61,5385
8	26,4	28,6	24,2	25,85	61,5385
7	30,25	34,65	26,4	28,05	61,5385
6	34,1	40,15	28,05	31,35	61,5385
5	35,75	44	28,6	32,45	61,5385
4	36,3	46,2	28,05	32,45	61,5385
3	33,55	43,45	24,75	29,15	61,5385
2	25,3	35,2	18,7	22,55	61,5385
1	11	15,4	7,7	9,35	61,5385



Gambar 5.21 Grafik Simpangan Antar Lantai *Joint B* Arah Y

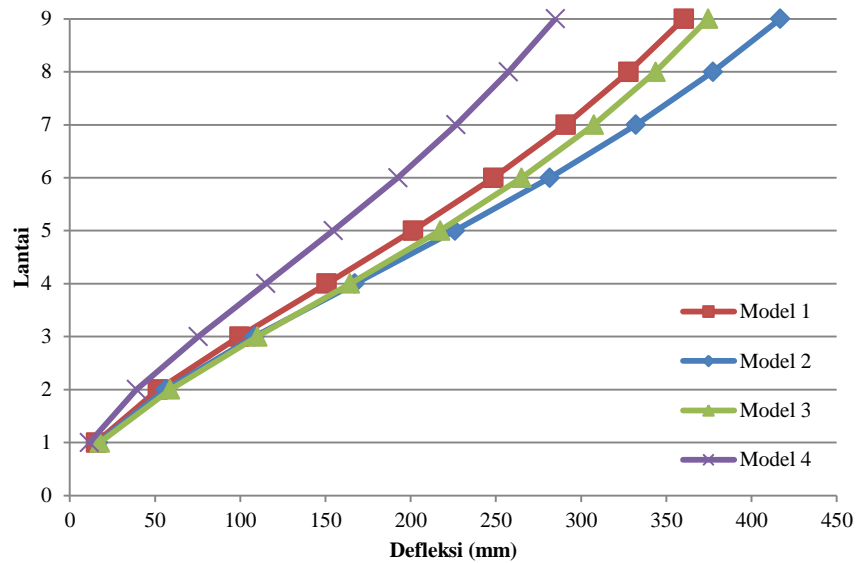
Dari hasil perhitungan didapatkan untuk *joint B* arah X dan arah Y simpangan antar lantai terbesar terjadi pada gedung model 2. Hal tersebut disebabkan karena di *joint B* kolom model 2 ditempatkan pada sumbu lemah ketika menerima beban arah X maupun arah Y.

c. *Joint C*

Berikut adalah nilai perhitungan defleksi pada *joint C* arah X dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5.35 Rekapitulasi Defleksi Arah X *Joint C*

Lantai	Defleksi Arah X (mm)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	360,25	416,9	374,55	284,9
8	327,8	377,3	343,75	257,4
7	290,95	332,2	307,45	226,6
6	248,6	281,6	265,1	192,5
5	201,3	226,05	217,25	154,55
4	150,7	167,2	164,45	114,95
3	99,55	108,35	110	75,35
2	51,7	56,1	58,85	39,05
1	15,4	16,5	17,6	11,55

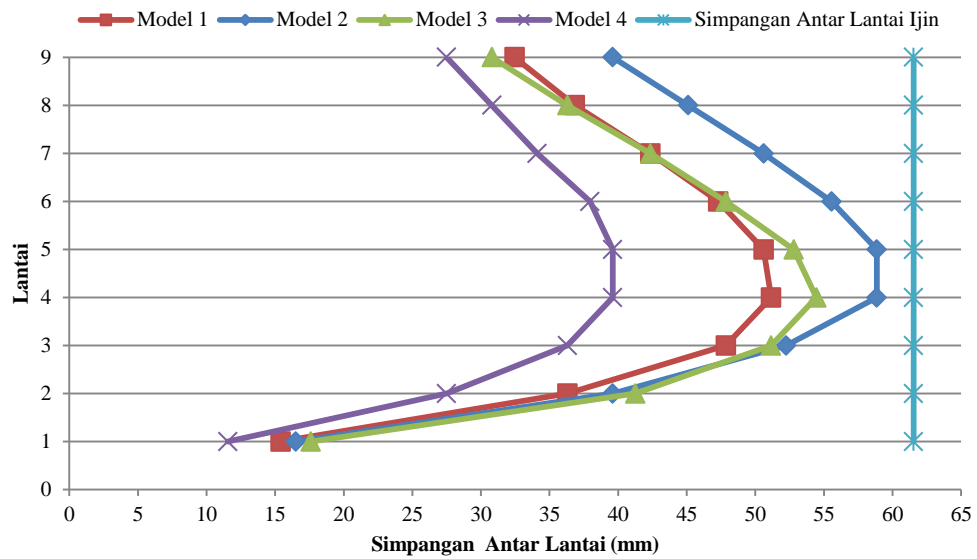


Gambar 5.22 Grafik Defleksi Joint C Arah X

Berikut adalah hasil rekapitulasi perhitungan simpangan antar lantai dan simpangan antar lantai ijin pada *joint C* arah X pada semua model gedung. Dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5.36 Rekapitulasi Simpangan Antar Lantai Arah X Joint C

Lantai	Simpangan Antar Lantai Arah X (mm)				Simpangan Antar Lantai Ijin, Δa (mm)
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	
9	32,45	39,6	30,8	27,5	61,5385
8	36,85	45,1	36,3	30,8	61,5385
7	42,35	50,6	42,35	34,1	61,5385
6	47,3	55,55	47,85	37,95	61,5385
5	50,6	58,85	52,8	39,6	61,5385
4	51,15	58,85	54,45	39,6	61,5385
3	47,85	52,25	51,15	36,3	61,5385
2	36,3	39,6	41,25	27,5	61,5385
1	15,4	16,5	17,6	11,55	61,5385

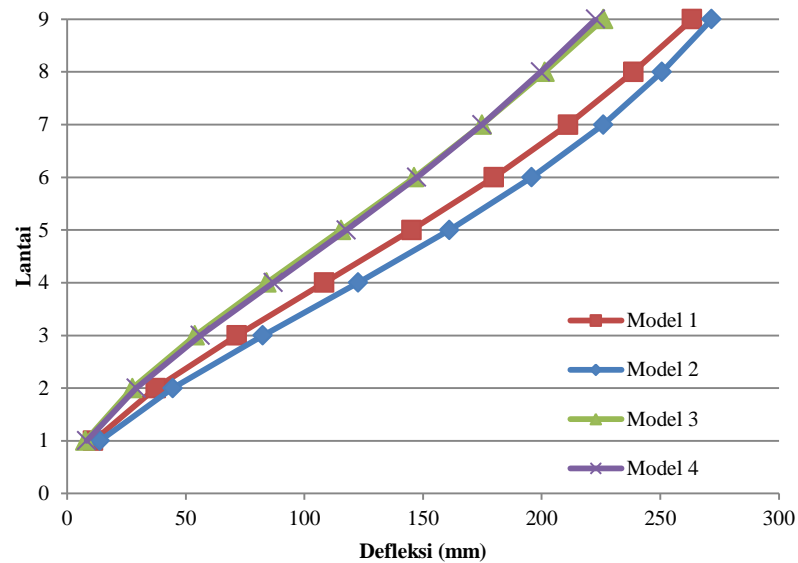


Gambar 5.23 Grafik Simpangan Antar Lantai *Joint C* Arah X

Berikut adalah nilai perhitungan defleksi pada *joint C* arah Y dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5.37 Rekapitulasi Defleksi Arah Y *Joint C*

Lantai	Defleksi Arah Y (mm)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	263,45	271,7	226,05	222,75
8	238,7	250,8	201,3	199,65
7	211,2	226,05	174,9	174,9
6	179,85	195,8	146,3	147,4
5	145,2	161,15	115,5	117,7
4	108,35	122,65	84,15	86,9
3	71,5	82,5	53,9	56,1
2	37,4	44,55	27,5	29,15
1	11	13,75	7,7	8,25

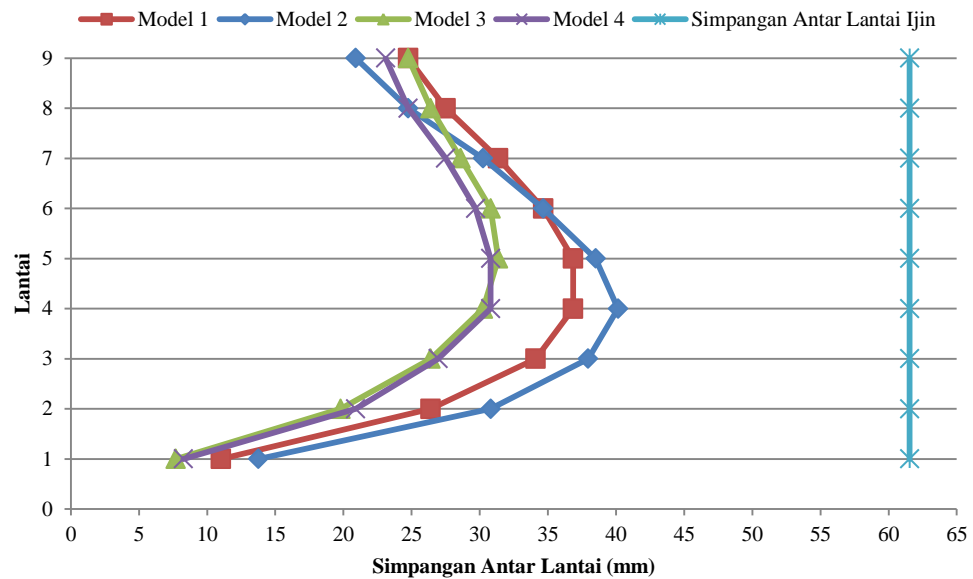


Gambar 5.24 Grafik Defleksi Joint C Arah Y

Berikut adalah hasil rekapitulasi perhitungan simpangan antar lantai dan simpangan antar lantai ijin pada *joint C* arah Y pada semua model gedung. Dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5.38 Rekapitulasi Simpangan Antar Lantai Arah Y Joint C

Lantai	Simpangan Antar Lantai Arah Y (mm)				Simpangan Antar Lantai Ijin, Δa (mm)
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	
9	24,75	20,9	24,75	23,1	61,5385
8	27,5	24,75	26,4	24,75	61,5385
7	31,35	30,25	28,6	27,5	61,5385
6	34,65	34,65	30,8	29,7	61,5385
5	36,85	38,5	31,35	30,8	61,5385
4	36,85	40,15	30,25	30,8	61,5385
3	34,1	37,95	26,4	26,95	61,5385
2	26,4	30,8	19,8	20,9	61,5385
1	11	13,75	7,7	8,25	61,5385



Gambar 5.25 Grafik Simpangan Antar Lantai *Joint C* Arah Y

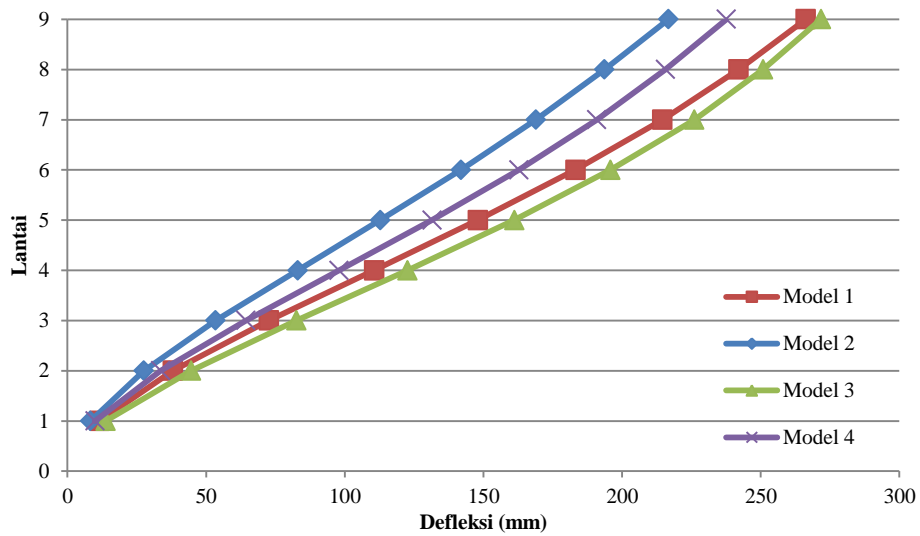
Dari hasil perhitungan didapatkan untuk *joint C* arah X dan arah Y simpangan antar lantai terbesar terjadi pada gedung model 2. Hal tersebut disebabkan karena di *joint C* kolom model 2 ditempatkan pada sumbu lemah ketika menerima beban arah X maupun arah Y.

d. *Joint D*

Berikut adalah nilai perhitungan defleksi pada *joint D* arah X dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5.39 Rekapitulasi Defleksi Arah X *Joint D*

Lantai	Defleksi Arah X (mm)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	266,2	216,7	271,7	237,6
8	242	193,6	250,8	215,6
7	214,5	168,85	226,05	190,85
6	183,15	141,9	195,8	162,8
5	147,95	112,75	161,15	131,45
4	110,55	83,05	122,65	97,9
3	72,6	53,35	82,5	64,35
2	37,95	27,5	44,55	33,55
1	11,55	8,25	13,75	9,9

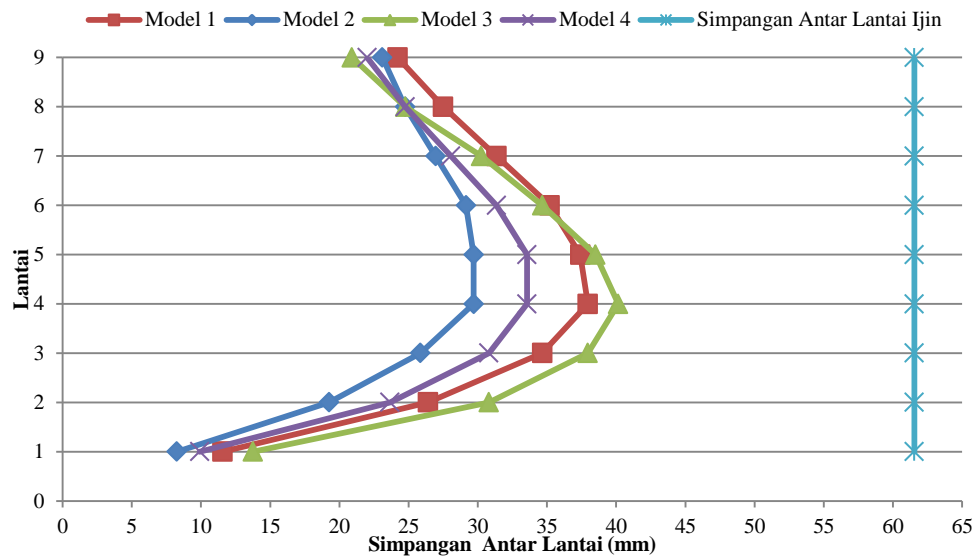


Gambar 5.26 Grafik Defleksi Joint D Arah X

Berikut adalah hasil rekapitulasi perhitungan simpangan antar lantai dan simpangan antar lantai ijin pada *joint* D arah X pada semua model gedung. Dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5.40 Rekapitulasi Simpangan Antar Lantai Arah X Joint D

Lantai	Simpangan Antar Lantai Arah X (mm)				Simpangan Antar Lantai Ijin, Δa (mm)
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	
9	24,2	23,1	20,9	22	61,5385
8	27,5	24,75	24,75	24,75	61,5385
7	31,35	26,95	30,25	28,05	61,5385
6	35,2	29,15	34,65	31,35	61,5385
5	37,4	29,7	38,5	33,55	61,5385
4	37,95	29,7	40,15	33,55	61,5385
3	34,65	25,85	37,95	30,8	61,5385
2	26,4	19,25	30,8	23,65	61,5385
1	11,55	8,25	13,75	9,9	61,5385

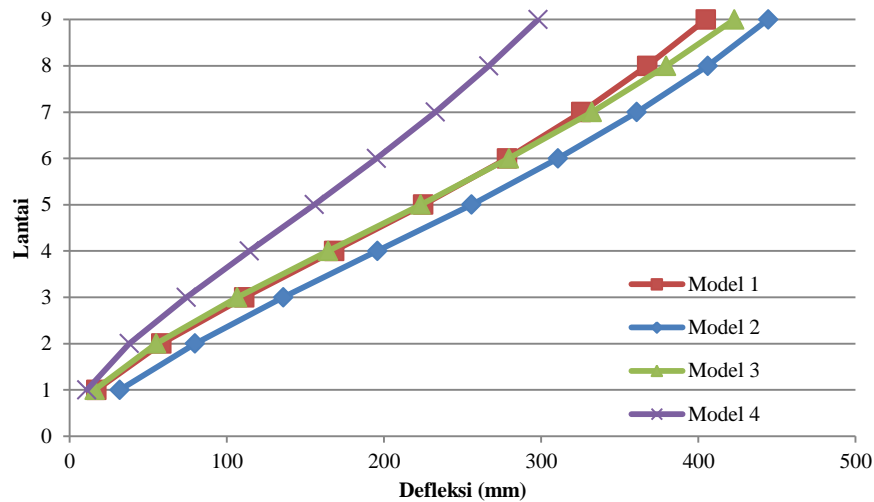


Gambar 5.27 Grafik Simpangan Antar Lantai *Joint D* Arah X

Berikut adalah nilai perhitungan defleksi pada *joint D* arah Y dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5.41 Rekapitulasi Defleksi Arah Y *Joint D*

Lantai	Defleksi Arah Y (mm)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	404,8	444,4	422,95	298,1
8	367,4	405,9	379,5	266,75
7	325,6	360,8	332,2	232,65
6	278,3	310,75	279,4	195,25
5	224,95	255,75	223,3	155,65
4	168,3	195,8	164,45	114,4
3	111,1	135,85	106,7	74,25
2	58,3	79,75	55	37,95
1	17,05	31,9	15,95	11

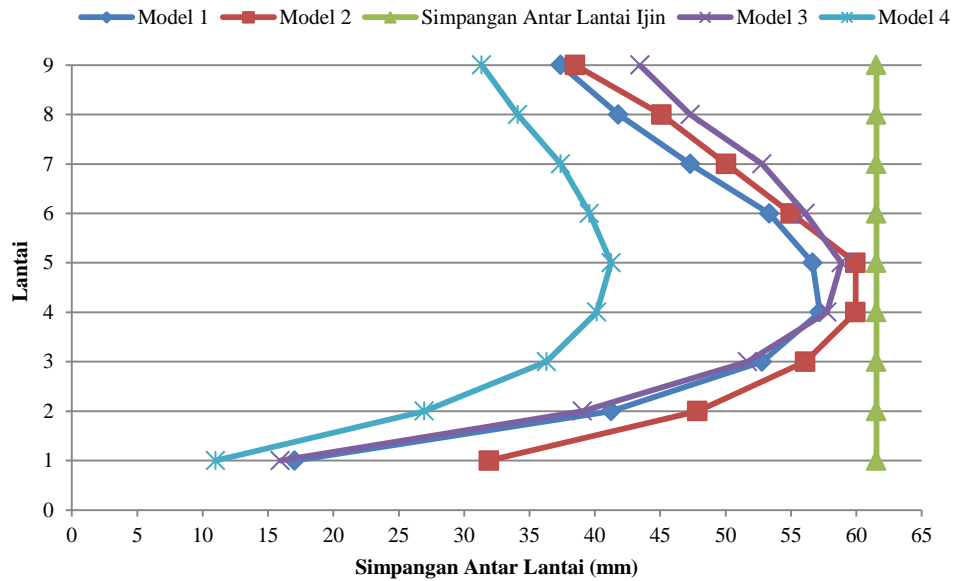


Gambar 5.28 Grafik Defleksi Joint D Arah Y

Berikut adalah hasil rekapitulasi perhitungan simpangan antar lantai dan simpangan antar lantai ijin pada *joint* D arah Y pada semua model gedung. Dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5.42 Rekapitulasi Simpangan Antar Lantai Arah Y Joint D

Lantai	Simpangan Antar Lanatai Arah Y (mm)				Simpangan Antar Lantai Ijin, Δa (mm)
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	
9	37,4	38,5	43,45	31,35	61,5385
8	41,8	45,1	47,3	34,1	61,5385
7	47,3	50,05	52,8	37,4	61,5385
6	53,35	55	56,1	39,6	61,5385
5	56,65	59,95	58,85	41,25	61,5385
4	57,2	59,95	57,75	40,15	61,5385
3	52,8	56,1	51,7	36,3	61,5385
2	41,25	47,85	39,05	26,95	61,5385
1	17,05	31,9	15,95	11	61,5385



Gambar 5.29 Grafik Simpangan Antar Lantai *Joint D* Arah Y

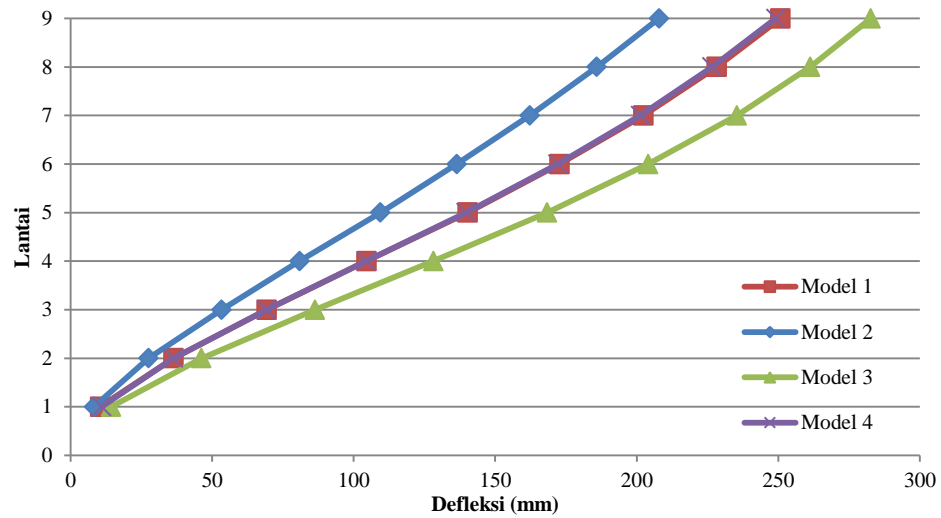
Dari hasil perhitungan untuk *joint D* arah X simpangan antar lantai terbesar terjadi pada gedung model 3, sedangkan untuk arah Y terjadi pada gedung model 2. Hal tersebut disebabkan karena di *joint D* kolom model 3 ditempatkan pada sumbu lemah ketika menerima beban gempa arah X dan model 2 ditempatkan pada sumbu lemah ketika menerima beban arah Y.

e. *Joint E*

Berikut adalah nilai perhitungan defleksi pada *joint E* arah X dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5.43 Rekapitulasi Defleksi Arah X *Joint E*

Lantai	Defleksi Arah X (mm)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	250,8	207,9	282,7	249,15
8	228,25	185,9	261,25	226,6
7	202,4	162,25	235,4	201,3
6	172,7	136,4	204,05	172,15
5	140,25	109,45	168,3	139,7
4	104,5	80,85	128,15	104,5
3	69,3	53,35	86,35	69,3
2	36,3	27,5	46,2	36,3
1	10,45	8,25	14,3	11

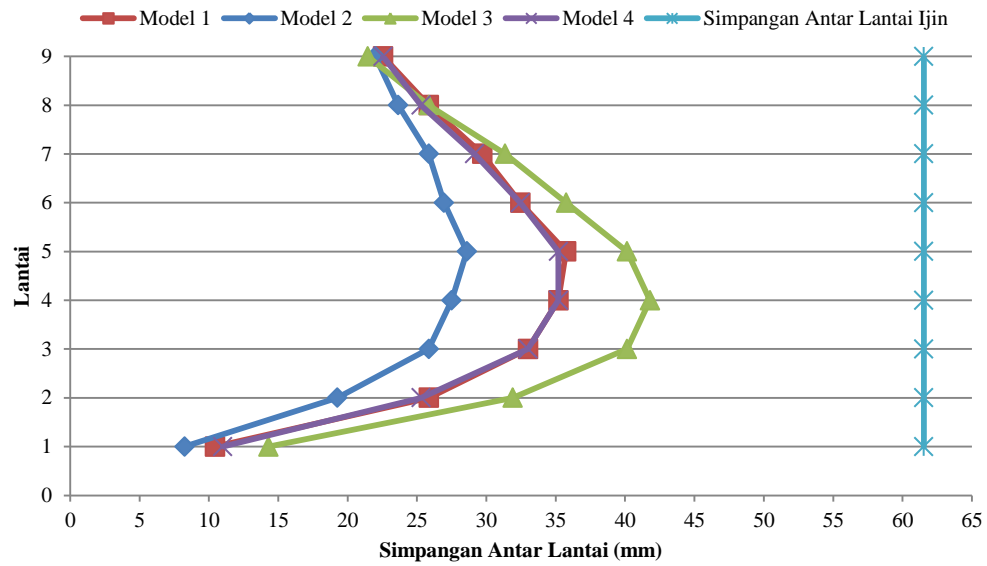


Gambar 5.30 Grafik Defleksi Joint E Arah X

Berikut adalah hasil rekapitulasi perhitungan simpangan antar lantai dan simpangan antar lantai ijin pada joint E arah X pada semua model bangunan. Dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5.44 Rekapitulasi Simpangan Antar Lantai Arah X Joint E

Lantai	Simpangan Antar Lantai Arah X (mm)				Simpangan Antar Lantai Ijin, Δa (mm)
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	
9	22,55	22	21,45	22,55	61,5385
8	25,85	23,65	25,85	25,3	61,5385
7	29,7	25,85	31,35	29,15	61,5385
6	32,45	26,95	35,75	32,45	61,5385
5	35,75	28,6	40,15	35,2	61,5385
4	35,2	27,5	41,8	35,2	61,5385
3	33	25,85	40,15	33	61,5385
2	25,85	19,25	31,9	25,3	61,5385
1	10,45	8,25	14,3	11	61,5385

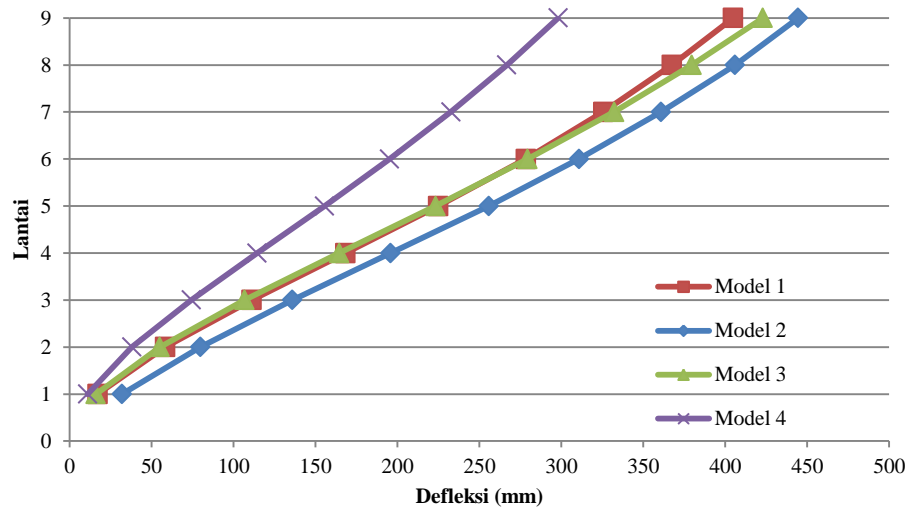


Gambar 5.31 Grafik Simpangan Antar Lantai *Joint E* Arah X

Berikut adalah nilai perhitungan defleksi pada *joint E* arah Y dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5.45 Rekapitulasi Defleksi Arah Y *Joint E*

Lantai	Defleksi Arah Y (mm)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	404,8	444,4	422,95	298,1
8	367,4	405,9	379,5	266,75
7	325,6	360,8	332,2	232,65
6	278,3	310,75	279,4	195,25
5	224,95	255,75	223,3	155,65
4	168,3	195,8	164,45	114,4
3	111,1	135,85	106,7	74,25
2	58,3	79,75	55	37,95
1	17,05	31,9	15,95	11

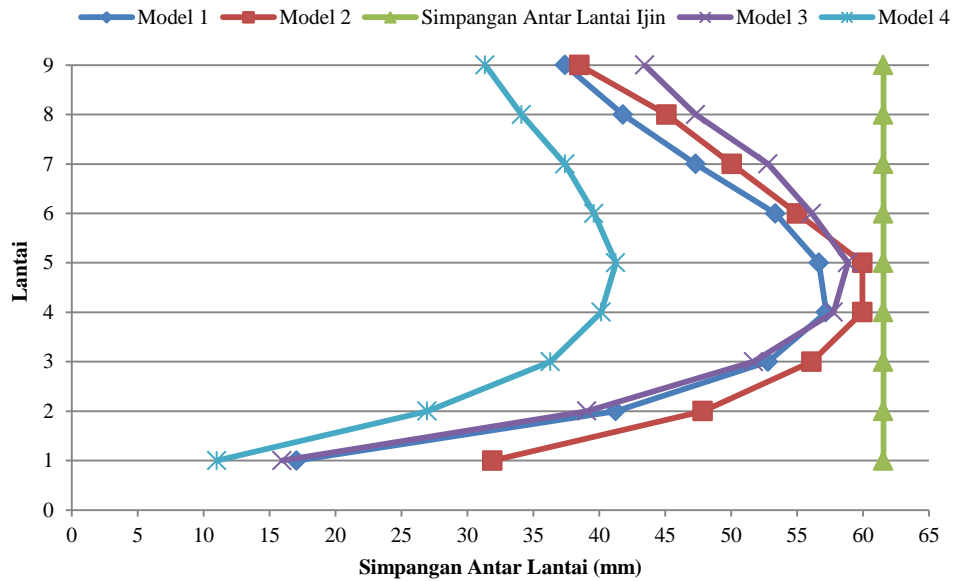


Gambar 5.32 Grafik Defleksi Joint E Arah Y

Berikut adalah hasil rekapitulasi perhitungan simpangan antar lantai dan simpangan antar lantai ijin pada *joint* E arah X pada semua model gedung. Dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5.46 Rekapitulasi Simpangan Antar Lantai Arah Y Joint E

Lantai	Simpangan Antar Lantai Arah Y (mm)				Simpangan Antar Lantai Ijin, Δa (mm)
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	
9	37,4	38,5	43,45	31,35	61,5385
8	41,8	45,1	47,3	34,1	61,5385
7	47,3	50,05	52,8	37,4	61,5385
6	53,35	55	56,1	39,6	61,5385
5	56,65	59,95	58,85	41,25	61,5385
4	57,2	59,95	57,75	40,15	61,5385
3	52,8	56,1	51,7	36,3	61,5385
2	41,25	47,85	39,05	26,95	61,5385
1	17,05	31,9	15,95	11	61,5385



Gambar 5.33 Grafik Simpangan Antar Lantai *Joint E* Arah Y

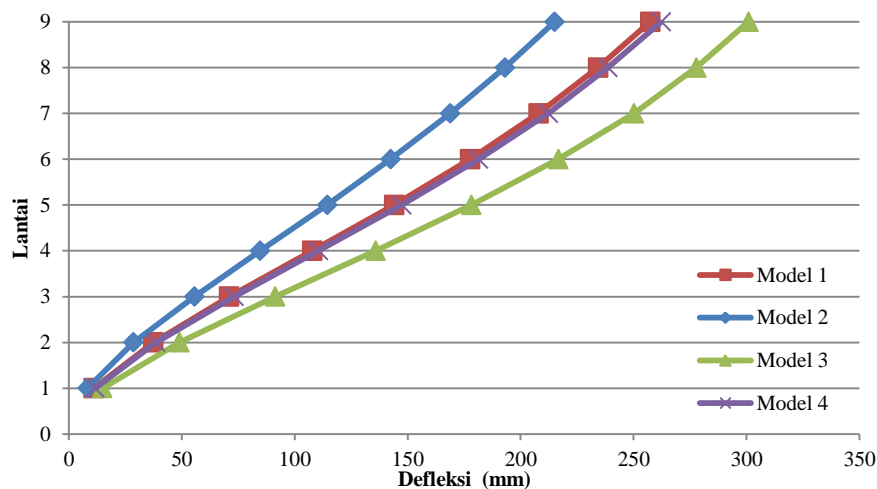
Dari hasil perhitungan untuk *joint E* arah X simpangan antar lantai terbesar terjadi pada gedung model 3, sedangkan untuk arah Y terjadi pada gedung model 2. Hal tersebut disebabkan karena di *joint E* kolom model 3 ditempatkan pada sumbu lemah ketika menerima beban gempa arah X dan model 2 ditempatkan pada sumbu lemah ketika menerima beban arah Y.

f. *Joint F*

Berikut adalah nilai perhitungan defleksi pada *joint F* arah X dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5.47 Rekapitulasi Simpangan Arah X *Joint F*

Lantai	Simpangan Arah X (mm)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	257,4	215,05	300,85	262,35
8	234,3	193,05	277,75	238,7
7	207,9	168,85	250,25	212,3
6	177,65	142,45	216,7	181,5
5	144,1	114,4	178,2	147,4
4	107,8	84,7	135,85	110,55
3	70,95	55,55	91,3	73,15
2	37,4	28,6	48,95	38,5
1	11	8,25	14,85	11,55

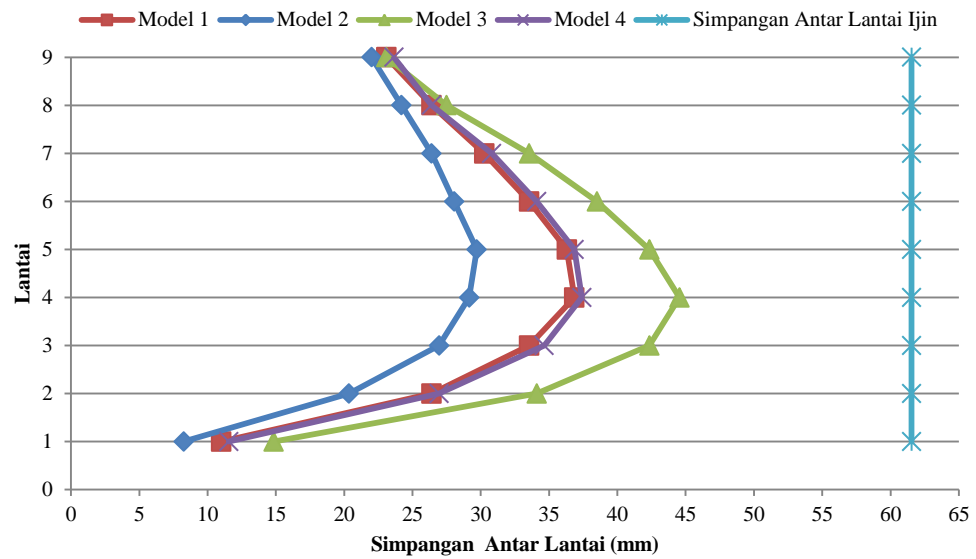


Gambar 5.34 Grafik Defleksi Joint F Arah X

Berikut adalah hasil rekapitulasi perhitungan simpangan antar lantai dan simpangan antar lantai ijin pada *joint* F arah X pada semua model gedung. Dapat dilihat pada tabel berikut

Tabel 5.48 Rekapitulasi Simpangan Antar Lantai Arah X Joint F

Lantai	Simpangan Antar Lantai Arah X (mm)				Simpangan Antar Lantai Ijin, Δa (mm)
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	
9	23,1	22	23,1	23,65	61,5385
8	26,4	24,2	27,5	26,4	61,5385
7	30,25	26,4	33,55	30,8	61,5385
6	33,55	28,05	38,5	34,1	61,5385
5	36,3	29,7	42,35	36,85	61,5385
4	36,85	29,15	44,55	37,4	61,5385
3	33,55	26,95	42,35	34,65	61,5385
2	26,4	20,35	34,1	26,95	61,5385
1	11	8,25	14,85	11,55	61,5385

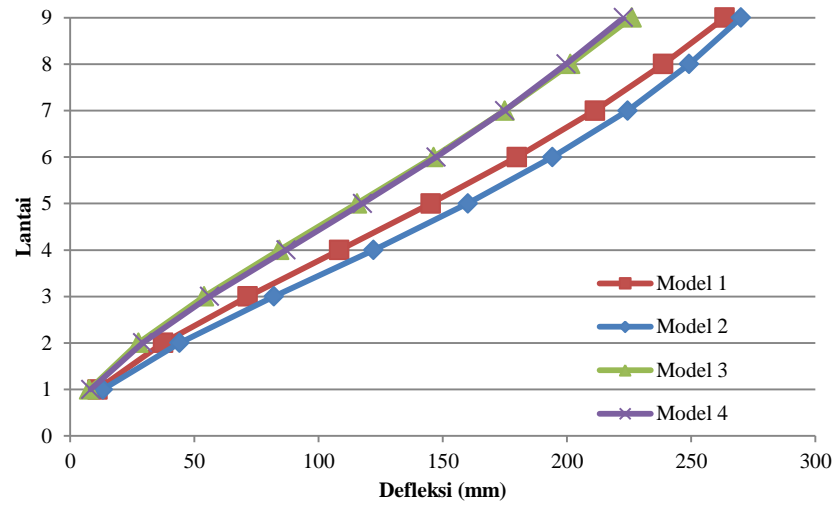


Gambar 5.35 Grafik Simpangan Antar Lantai *Joint F* Arah X

Berikut adalah nilai perhitungan defleksi pada *joint F* arah Y dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5.49 Rekapitulasi Defleksi Arah Y *Joint F*

Lantai	Defleksi Arah Y (mm)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	263,45	270,05	226,05	222,75
8	238,7	249,15	201,3	199,65
7	211,2	224,4	174,9	174,9
6	179,85	194,15	146,3	147,4
5	145,2	160,05	115,5	117,7
4	108,35	122,1	84,15	86,9
3	71,5	81,95	53,9	56,1
2	37,4	44	27,5	29,15
1	11	13,2	7,7	8,25

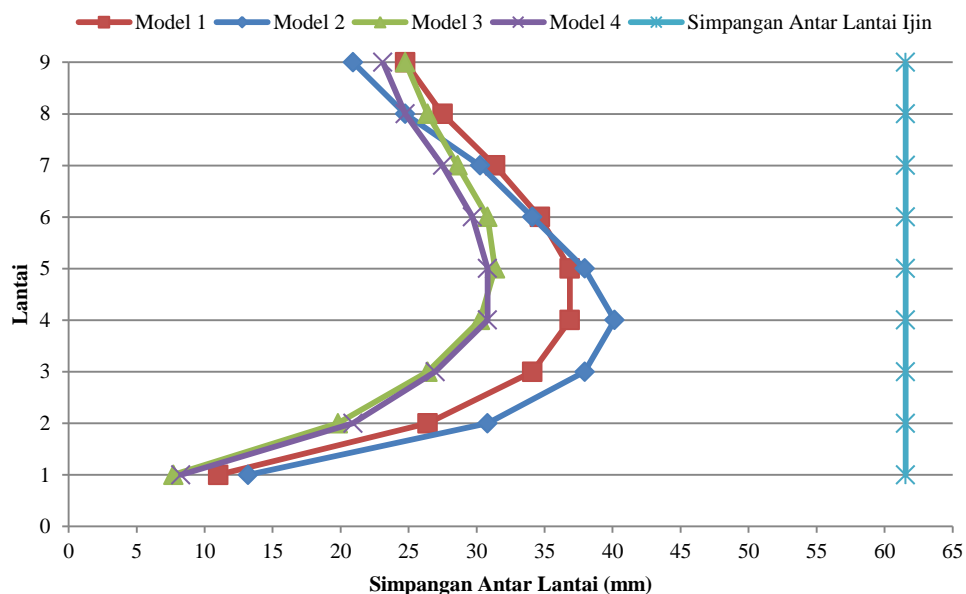


Gambar 5.36 Grafik Defleksi Joint F Arah Y

Berikut adalah hasil rekapitulasi perhitungan simpangan antar lantai dan simpangan antar lantai ijin pada *joint* F arah Y pada semua model gedung. Dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5.50 Rekapitulasi Simpangan Antar Lantai Arah Y Joint F

Lantai	Simpangan Antar Lantai Arah Y (mm)				Simpangan Antar Lantai Ijin, Δa (mm)
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	
9	24,75	20,9	24,75	23,1	61,5385
8	27,5	24,75	26,4	24,75	61,5385
7	31,35	30,25	28,6	27,5	61,5385
6	34,65	34,1	30,8	29,7	61,5385
5	36,85	37,95	31,35	30,8	61,5385
4	36,85	40,15	30,25	30,8	61,5385
3	34,1	37,95	26,4	26,95	61,5385
2	26,4	30,8	19,8	20,9	61,5385
1	11	13,2	7,7	8,25	61,5385



Gambar 5.37 Grafik Simpangan Antar Lantai *Joint F* Arah Y

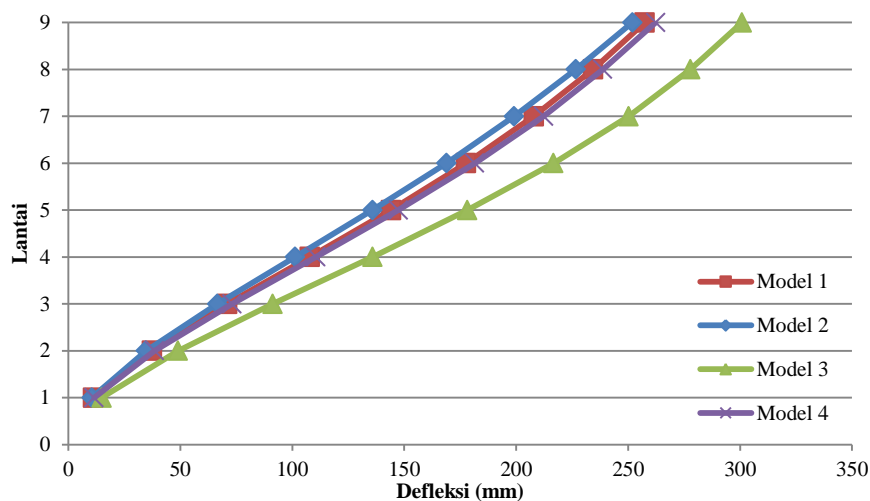
Dari hasil perhitungan untuk *joint E* arah X simpangan antar lantai terbesar terjadi pada gedung model 3, sedangkan untuk arah Y terjadi pada gedung model 2. Hal tersebut disebabkan karena di *joint E* kolom model 3 ditempatkan pada sumbu lemah ketika menerima beban gempa arah X dan model 2 ditempatkan pada sumbu lemah ketika menerima beban arah Y.

g. *Joint G*

Berikut adalah nilai perhitungan defleksi pada *joint G* arah X dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5.51 Rekapitulasi Defleksi Arah X *Joint G*

Lantai	Defleksi Arah X (mm)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	257,4	251,9	300,85	262,35
8	234,3	226,6	277,75	238,7
7	207,9	199,1	250,25	212,3
6	177,65	168,85	216,7	181,5
5	144,1	135,85	178,2	147,4
4	107,8	101,2	135,85	110,55
3	70,95	66,55	91,3	73,15
2	37,4	34,65	48,95	38,5
1	11	10,45	14,85	11,55

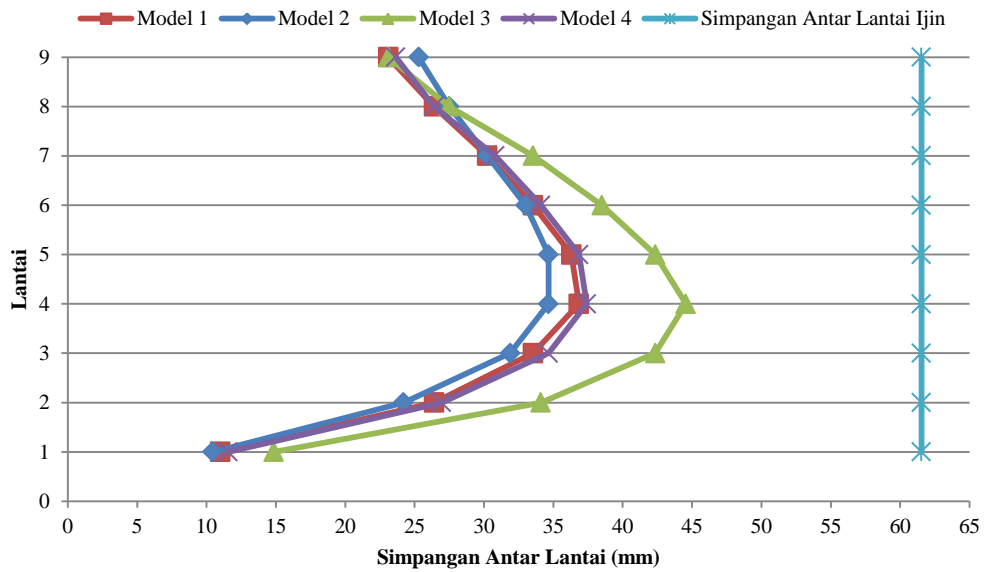


Gambar 5.38 Grafik Defleksi Joint G Arah X

Berikut adalah hasil rekapitulasi perhitungan simpangan antar lantai dan simpangan antar lantai ijin pada *joint* G arah X pada semua model gedung. Dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5.52 Rekapitulasi Simpangan Antar Lantai Arah X Joint G

Lantai	Simpangan Antar Lantai Arah X (mm)				Simpangan Antar Lantai Ijin, Δa (mm)
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	
9	23,1	25,3	23,1	23,65	61,5385
8	26,4	27,5	27,5	26,4	61,5385
7	30,25	30,25	33,55	30,8	61,5385
6	33,55	33	38,5	34,1	61,5385
5	36,3	34,65	42,35	36,85	61,5385
4	36,85	34,65	44,55	37,4	61,5385
3	33,55	31,9	42,35	34,65	61,5385
2	26,4	24,2	34,1	26,95	61,5385
1	11	10,45	14,85	11,55	61,5385

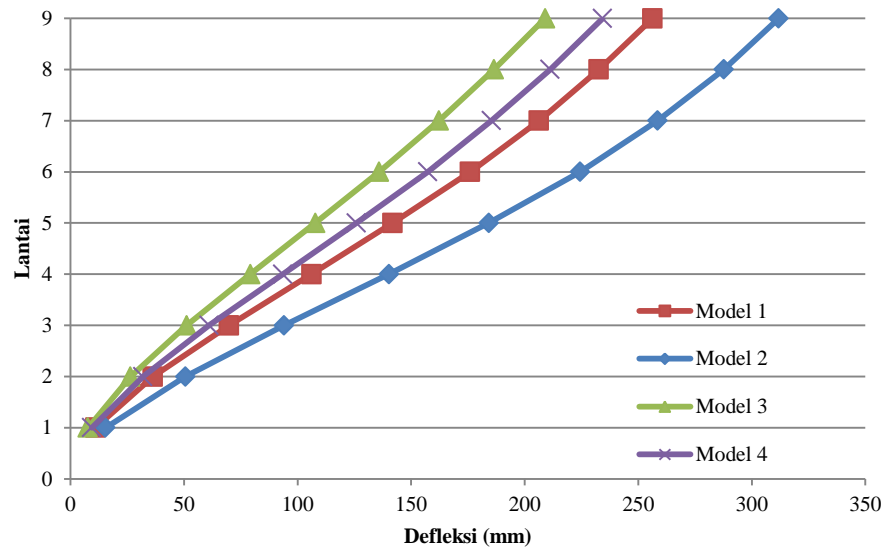


Gambar 5.39 Grafik Simpangan Antar Lantai *Joint G* Arah X

Berikut adalah nilai perhitungan defleksi pada *joint G* arah Y dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5.53 Rekapitulasi Defleksi Arah Y *Joint G*

Lantai	Defleksi Arah Y (mm)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	256,3	311,85	209	234,3
8	232,65	287,65	186,45	211,2
7	206,25	258,5	162,25	185,35
6	176	224,4	135,85	157,3
5	141,9	184,25	107,8	125,95
4	106,15	140,25	79,2	93,5
3	69,85	94,05	51,15	61,05
2	36,3	50,6	26,4	31,9
1	11	15,4	7,7	9,35

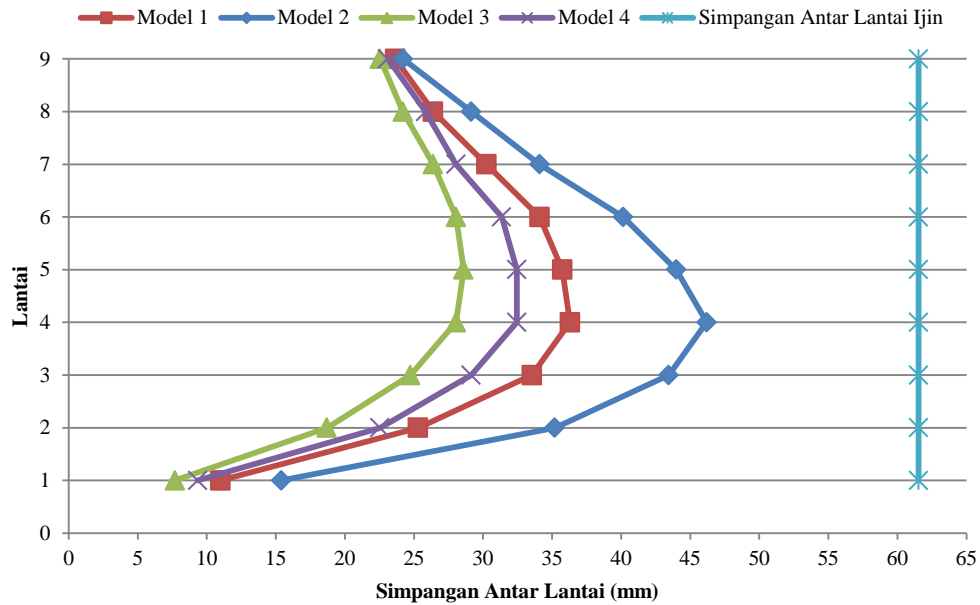


Gambar 5.40 Grafik Defleksi Joint G Arah Y

Berikut adalah hasil rekapitulasi perhitungan simpangan antar lantai dan simpangan antar lantai ijin pada *joint* G arah Y pada semua model gedung. Dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5.54 Rekapitulasi Simpangan Antar Lantai Arah Y Joint G

Lantai	Simpangan Antar Lantai Arah Y (mm)				Simpangan Antar Lantai Ijin, Δa (mm)
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	
9	23,65	24,2	22,55	23,1	61,5385
8	26,4	29,15	24,2	25,85	61,5385
7	30,25	34,1	26,4	28,05	61,5385
6	34,1	40,15	28,05	31,35	61,5385
5	35,75	44	28,6	32,45	61,5385
4	36,3	46,2	28,05	32,45	61,5385
3	33,55	43,45	24,75	29,15	61,5385
2	25,3	35,2	18,7	22,55	61,5385
1	11	15,4	7,7	9,35	61,5385



Gambar 5.41 Grafik Simpangan Antar Lantai *Joint G* Arah Y

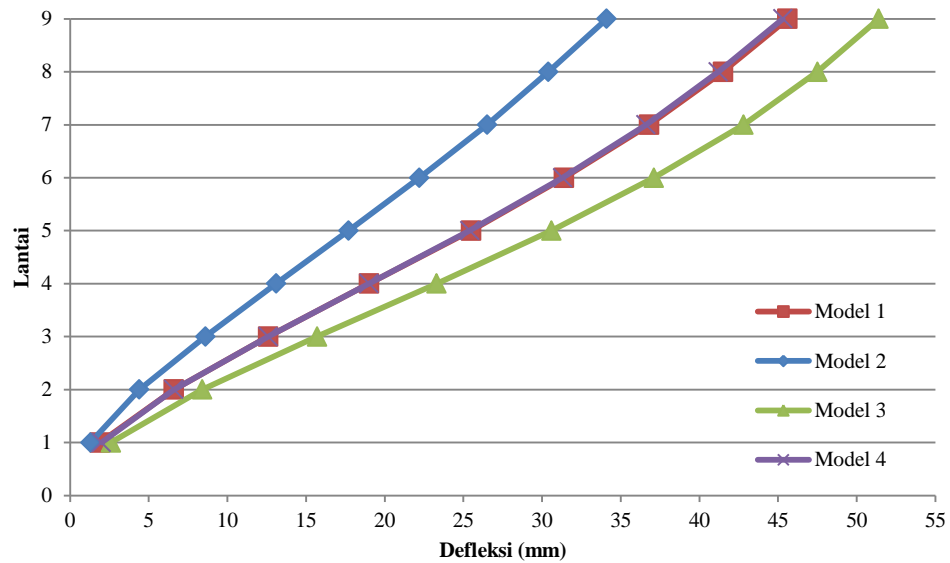
Dari hasil perhitungan untuk *joint G* arah X simpangan antar lantai terbesar terjadi pada gedung model 3, sedangkan untuk arah Y terjadi pada gedung model 2. Hal tersebut disebabkan karena di *joint G* kolom model 3 ditempatkan pada sumbu lemah ketika menerima beban gempa arah X dan model 2 ditempatkan pada sumbu lemah ketika menerima beban arah Y.

h. *Joint H*

Berikut adalah nilai perhitungan defleksi pada *joint H* arah X dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5.55 Rekapitulasi Defleksi Arah X *Joint H*

Lantai	Defleksi Arah X (mm)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	250,8	187,55	282,7	249,15
8	228,25	167,2	261,25	226,6
7	202,4	145,75	235,4	201,3
6	172,7	122,1	204,05	172,15
5	140,25	97,35	168,3	139,7
4	104,5	72,05	128,15	104,5
3	69,3	47,3	86,35	69,3
2	36,3	24,2	46,2	36,3
1	10,45	7,15	14,3	11

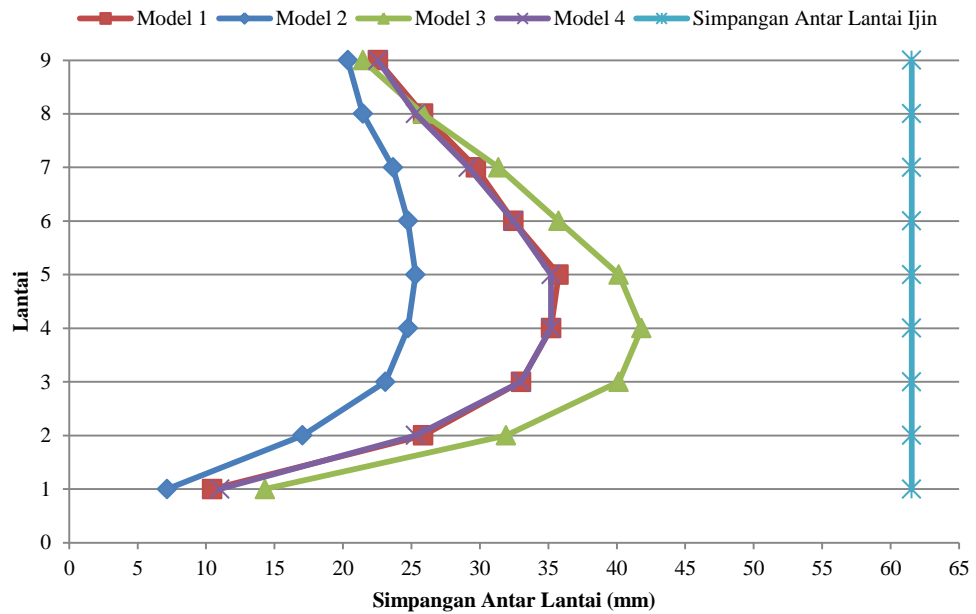


Gambar 5.42 Grafik Defleksi Joint H Arah X

Berikut adalah hasil rekapitulasi perhitungan simpangan antar lantai dan simpangan antar lantai ijin pada *joint* H arah X pada semua model gedung. Dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5.56 Rekapitulasi Simpangan Antar Lantai Arah X Joint H

Lantai	Simpangan Antar Lantai Arah X (mm)				Simpangan Antar Lantai Ijin, Δa (mm)
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	
9	22,55	20,35	21,45	22,55	61,5385
8	25,85	21,45	25,85	25,3	61,5385
7	29,7	23,65	31,35	29,15	61,5385
6	32,45	24,75	35,75	32,45	61,5385
5	35,75	25,3	40,15	35,2	61,5385
4	35,2	24,75	41,8	35,2	61,5385
3	33	23,1	40,15	33	61,5385
2	25,85	17,05	31,9	25,3	61,5385
1	10,45	7,15	14,3	11	61,5385

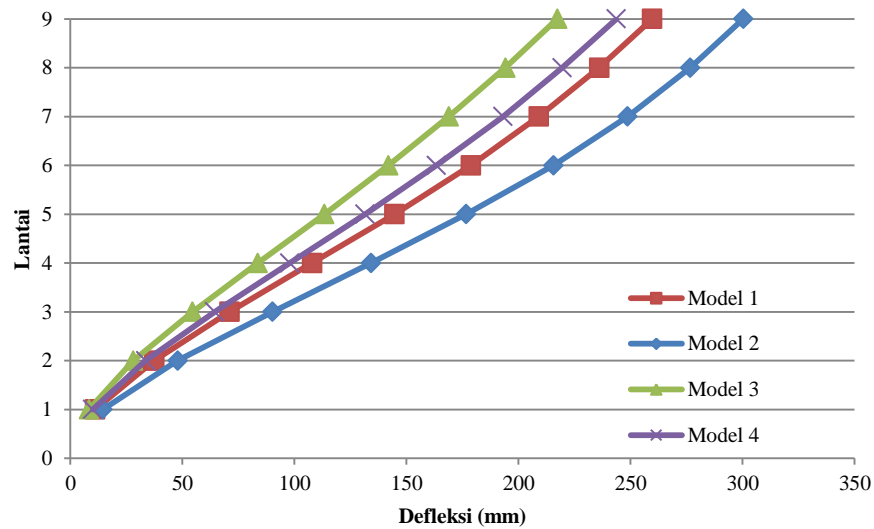


Gambar 5.43 Grafik Simpangan Antar Lantai *Joint H* Arah X

Berikut adalah nilai perhitungan defleksi pada *joint H* arah Y dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5.57 Rekapitulasi Defleksi Arah Y *Joint H*

Lantai	Defleksi Arah Y (mm)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	259,6	300,3	217,25	243,65
8	235,95	276,65	194,15	219,45
7	209	248,6	168,85	193,05
6	178,75	215,6	141,9	163,35
5	144,65	176,55	113,3	131,45
4	107,8	134,2	83,6	97,9
3	70,95	90,2	54,45	64,35
2	37,4	47,85	28,05	33,55
1	11	14,3	8,25	9,9

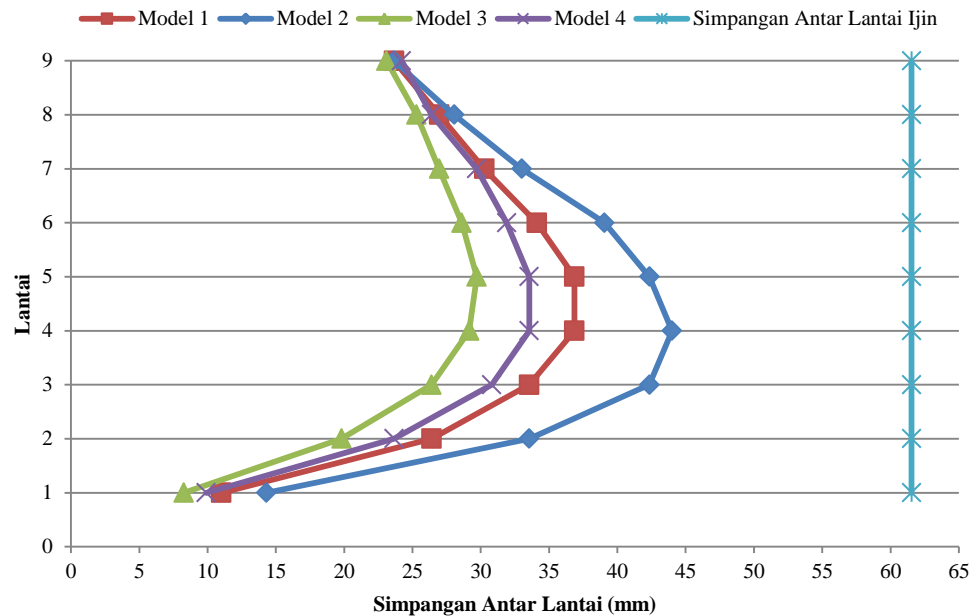


Gambar 5.44 Grafik Defleksi Joint H Arah Y

Berikut adalah hasil rekapitulasi perhitungan simpangan antar lantai dan simpangan antar lantai ijin pada *joint* H arah Y pada semua model gedung. Dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5.58 Rekapitulasi Simpangan Antar Lantai Arah Y Joint H

Lantai	Simpangan Antar Lantai Arah Y (mm)				Simpangan Antar Lantai Ijin, Δa (mm)
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	
9	23,65	23,65	23,1	24,2	61,5385
8	26,95	28,05	25,3	26,4	61,5385
7	30,25	33	26,95	29,7	61,5385
6	34,1	39,05	28,6	31,9	61,5385
5	36,85	42,35	29,7	33,55	61,5385
4	36,85	44	29,15	33,55	61,5385
3	33,55	42,35	26,4	30,8	61,5385
2	26,4	33,55	19,8	23,65	61,5385
1	11	14,3	8,25	9,9	61,5385



Gambar 5.45 Grafik Simpangan Antar Lantai *Joint H* Arah Y

Dari hasil perhitungan untuk *joint H* arah X simpangan antar lantai terbesar terjadi pada gedung model 3, sedangkan untuk arah Y terjadi pada gedung model 2. Hal tersebut disebabkan karena di *joint H* kolom model 3 ditempatkan pada sumbu lemah ketika menerima beban gempa arah X dan model 2 ditempatkan pada sumbu lemah ketika menerima beban arah Y.

i. *Joint* Kritis

Dari semua titik pertemuan (*joint*) antar elemen-elemen struktur yang ditinjau terdapat daerah kritis dalam menerima gaya gempa sehingga memiliki simpangan antar lantai yang maksimum. Untuk arah X terjadi pada daerah portal antara *joint B* dan *joint C*, sedangkan untuk arah Y terjadi pada porta antara *joint D* dan *joint E*. Untuk lebih mengetahui model gedung yang paling aman menerima gaya gempa maka perlu menghitung selisih antara simpang antar lantai ijin dengan simpang antar lantai berdasarkan arah datangnya gempa di daerah *joint* kritis.

Tabel 5.59 Angka Selisih Antara Simpangan Antar Lantai Ijin dengan Simpangan Antar Lantai Arah X

Lantai ke-	Portal Arah X							
	Model 1		Model 2		Model 3		Model 4	
	<i>Joint B</i> (mm)	<i>Joint C</i> (mm)	<i>Joint B</i> (mm)	<i>Joint C</i> (mm)	<i>Joint B</i> (mm)	<i>Joint C</i> (mm)	<i>Joint B</i> (mm)	<i>Joint C</i> (mm)
9	29,088	29,088	21,938	21,938	30,738	30,738	34,038	34,038
8	24,688	24,688	16,438	16,438	25,238	25,238	30,738	30,738
7	19,188	19,188	10,938	10,938	19,188	19,188	27,438	27,438
6	14,238	14,238	5,988	5,988	13,688	13,688	23,588	23,588
5	10,938	10,938	2,688	2,688	8,738	8,738	21,938	21,938
4	10,388	10,388	2,688	2,688	7,088	7,088	21,938	21,938
3	13,688	13,688	9,288	9,288	10,388	10,388	25,238	25,238
2	25,238	25,238	21,938	21,938	20,288	20,288	34,038	34,038
1	46,138	46,138	45,038	45,038	43,938	43,938	49,988	49,988

Tabel 5.60 Angka Selisih Antara Simpangan Antar Lantai Ijin Dengan Simpangan Antar Lantai Arah Y

Lantai ke-	Portal Arah Y							
	Model 1		Model 2		Model 3		Model 4	
	<i>Joint D</i> (mm)	<i>Joint E</i> (mm)	<i>Joint D</i> (mm)	<i>Joint E</i> (mm)	<i>Joint D</i> (mm)	<i>Joint E</i> (mm)	<i>Joint D</i> (mm)	<i>Joint E</i> (mm)
9	24,138	24,138	23,038	23,038	18,088	18,088	30,188	30,188
8	19,738	19,738	16,438	16,438	14,238	14,238	27,438	27,438
7	14,238	14,238	11,488	11,488	8,738	8,738	24,138	24,138
6	8,188	8,188	6,538	6,538	5,438	5,438	21,938	21,938
5	4,888	4,888	1,588	1,588	2,688	2,688	20,288	20,288
4	4,338	4,338	1,588	1,588	3,788	3,788	21,388	21,388
3	8,738	8,738	5,438	5,438	9,838	9,838	25,238	25,238
2	20,288	20,288	13,688	13,688	22,488	22,488	34,588	34,588
1	44,488	44,488	29,638	29,638	45,588	45,588	50,538	50,538

Dari perhitungan angka selisih pada Tabel 5.59 dan 5.60 dapat diketahui jika gedung model 4 memiliki nilai simpangan yang optimal karena lebih mampu menahan gaya gempa dari arah X maupun arah Y. Karena semakin besar angka selisishnya maka nilai simpangan antar lantai yang dihasilkan lebih kecil dibanding dengan model gedung lainnya. Gedung dengan model 4, yaitu menggunakan penampang kolom persegi panjang ditempatkan pada arah X dan arah Y sumbu global bangunan dinyatakan lebih aman dari kerusakan bangunan akibat simpangan yang cukup besar.

Posisi kolom persegi panjang yang dikombinasikan menghasilkan momen inersia yang besar. Momen inersia yang besar menghasilkan kekakuan bangunan yang lebih besar, akibatnya nilai periodenya semakin kecil. Nilai periode yang semakin kecil mengakibatkan besarnya gaya geser dasar seismik, sehingga nilai skala gaya yang dihasilkan akan lebih kecil dari model gedung yang lain. Jika nilai skala gaya kecil maka nilai simpangan bangunan yang dihasilkan juga kecil, karena faktor pengali gempa pada analisis metode respon spektrum semakin kecil.

5.4.2 Ketidakberaturan Horizontal

1. Ketidakberaturan Torsi

Menurut SNI 03-1726-2012 terdapat dua tipe ketidakberaturan torsi yaitu tipe 1a dan 1b. Berikut adalah hasil perhitungan torsi dari 4 buah model gedung.

a. Model 1

Perhitungan hasil torsi untuk gedung model 1 arah Y dapat dilihat pada tabel-tabel berikut.

Tabel 5.61 Rekapitulasi Perhitungan Torsi Model 1 Arah Y

Lantai	δA (mm)	δD (mm)	δ avg (mm)	δ Max	1.2 δ Aavg	1.4 δ Aavg	ket
9	40,5	58,8	49,65	58,8	59,58	69,51	Tanpa
8	36,8	53,3	45,05	53,3	54,06	63,07	Tanpa
7	32,5	47,1	39,8	47,1	47,76	55,72	Tanpa
6	27,6	40,1	33,85	40,1	40,62	47,39	Tanpa
5	22,3	32,4	27,35	32,4	32,82	38,29	Tanpa
4	16,6	24,1	20,35	24,1	24,42	28,49	Tanpa
3	10,9	15,9	13,4	15,9	16,08	18,76	Tanpa
2	5,7	8,3	7	8,3	8,4	9,8	Tanpa
1	1,7	2,4	2,05	2,4	2,46	2,87	Tanpa

Tabel 5.62 Rekapitulasi Perhitungan Torsi Model 1 Arah X

Lantai	δB (mm)	δg (mm)	δ avarg (mm)	δ Max	1.2 δ Avarg	1.4 δ Avarg	Ket
9	54,8	40,6	47,7	54,8	57,24	66,78	Tanpa
8	49,7	36,9	43,3	49,7	51,96	60,62	Tanpa
7	44	32,7	38,35	44	46,02	53,69	Tanpa
6	37,5	27,9	32,7	37,5	39,24	45,78	Tanpa
5	30,3	22,5	26,4	30,3	31,68	36,96	Tanpa
4	22,6	16,8	19,7	22,6	23,64	27,58	Tanpa
3	14,9	11,1	13	14,9	15,6	18,2	Tanpa
2	7,8	5,8	6,8	7,8	8,16	9,52	Tanpa
1	2,3	1,7	2	2,3	2,4	2,8	Tanpa

b. Model 2

Perhitungan hasil torsi untuk gedung model 2 arah Y dapat dilihat pada tabel-tabel berikut.

Tabel 5.63 Rekapitulasi Perhitungan Torsi Model 2 Arah Y

Lantai	δA (mm)	δD (mm)	δ avarg (mm)	δ Max	1.2 δ Avarg	1.4 δ Avarg	Ket
9	52,8	69,6	61,2	69,6	73,44	85,68	Tanpa
8	48,8	63,9	56,35	63,9	67,62	78,89	Tanpa
7	43,9	57,2	50,55	57,2	60,66	70,77	Tanpa
6	38	49,3	43,65	49,3	52,38	61,11	Tanpa
5	31,2	40,3	35,75	40,3	42,9	50,05	Tanpa
4	23,8	30,4	27,1	30,4	32,52	37,94	Tanpa
3	16	20,3	18,15	20,3	21,78	25,41	Tanpa
2	8,5	10,8	9,65	10,8	11,58	13,51	Tanpa
1	2,6	3,2	2,9	3,2	3,48	4,06	Tanpa

Tabel 5.64 Rekapitulasi Perhitungan Torsi Model 2 Arah X

Lantai	δB (mm)	δg (mm)	δ avarg (mm)	δ Max	1.2 δ Avarg	1.4 δ Avarg	Ket
9	63,7	37,8	50,75	63,7	60,9	71,05	Torsi 1a
8	57,5	33,9	45,7	57,5	54,84	63,98	Torsi 1a
7	50,5	29,6	40,05	50,5	48,06	56,07	Torsi 1a
6	42,7	25	33,85	42,7	40,62	47,39	Torsi 1a
5	34,1	20,1	27,1	34,1	32,52	37,94	Torsi 1a
4	25,1	14,9	20	25,1	24	28	Torsi 1a
3	16,2	9,8	13	16,2	15,6	18,2	Torsi 1a
2	8,3	5,1	6,7	8,3	8,04	9,38	Torsi 1a
1	2,4	1,5	1,95	2,4	2,34	2,73	Torsi 1a

c. Model 3

Perhitungan hasil torsi untuk gedung model 3 arah Y dapat dilihat pada tabel-tabel berikut

Tabel 5.65 Rekapitulasi Perhitungan Torsi Model 3 Arah Y

Lantai	δA (mm)	δD (mm)	δ avarg (mm)	δ Max	1.2 δ Avarg	1.4 δ Avarg	Ket
9	32,1	65,5	48,8	65,5	58,56	68,32	Torsi 1a
8	28,6	58,6	43,6	58,6	52,32	61,04	Torsi 1a
7	24,8	51,1	37,95	51,1	45,54	53,13	Torsi 1a
6	20,7	42,9	31,8	42,9	38,16	44,52	Torsi 1a
5	16,4	34,2	25,3	34,2	30,36	35,42	Torsi 1a
4	12,1	25,1	18,6	25,1	22,32	26,04	Torsi 1a
3	7,8	16,2	12	16,2	14,4	16,8	Torsi 1a
2	4	8,3	6,15	8,3	7,38	8,61	Torsi 1a
1	1,2	2,4	1,8	2,4	2,16	2,52	Torsi 1a

Tabel 5.66 Rekapitulasi Perhitungan Torsi Model 3 Arah X

Lantai	δB (mm)	δg (mm)	δ avarg (mm)	δ Max	1.2 δ Avarg	1.4 δ Avarg	Ket
9	59,1	48,8	53,95	59,1	64,74	75,53	Tanpa
8	54,3	45,1	49,7	54,3	59,64	69,58	Tanpa
7	48,6	40,6	44,6	48,6	53,52	62,44	Tanpa
6	42	35,3	38,65	42	46,38	54,11	Tanpa
5	34,4	29,1	31,75	34,4	38,1	44,45	Tanpa
4	26,1	22,2	24,15	26,1	28,98	33,81	Tanpa
3	17,5	15	16,25	17,5	19,5	22,75	Tanpa
2	9,3	8	8,65	9,3	10,38	12,11	Tanpa
1	2,8	2,5	2,65	2,8	3,18	3,71	Tanpa

d. Model 4

Perhitungan hasil torsi untuk gedung model 4 arah Y dapat dilihat pada tabel-tabel berikut.

Tabel 5.67 Rekapitulasi Perhitungan Torsi Model 4 Arah Y

Lantai	δA (mm)	δD (mm)	δ avarg (mm)	δ Max	1.2 δ Avarg	1.4 δ Avarg	Ket
9	44,3	48	46,15	48	55,38	64,61	Tanpa
8	39,9	42,9	41,4	42,9	49,68	57,96	Tanpa
7	35,1	37,4	36,25	37,4	43,5	50,75	Tanpa
6	29,7	31,4	30,55	31,4	36,66	42,77	Tanpa
5	23,8	25	24,4	25	29,28	34,16	Tanpa
4	17,7	18,4	18,05	18,4	21,66	25,27	Tanpa
3	11,6	11,9	11,75	11,9	14,1	16,45	Tanpa
2	6	6,1	6,05	6,1	7,26	8,47	Tanpa
1	1,8	1,8	1,8	1,8	2,16	2,52	Tanpa

Tabel 5.68 Rekapitulasi Perhitungan Torsi Model 4 Arah X

Lantai	δB (mm)	δg (mm)	δ avarg (mm)	δ Max	1.2 δ Avarg	1.4 δ Avarg	ket
9	41,9	41,9	41,9	41,9	50,28	58,66	Tanpa
8	37,8	38,2	38	38,2	45,6	53,2	Tanpa
7	33,3	33,9	33,6	33,9	40,32	47,04	Tanpa
6	28,3	29	28,65	29	34,38	40,11	Tanpa
5	22,7	23,5	23,1	23,5	27,72	32,34	Tanpa
4	16,9	17,6	17,25	17,6	20,7	24,15	Tanpa
3	11,1	11,6	11,35	11,6	13,62	15,89	Tanpa
2	5,8	6,1	5,95	6,1	7,14	8,33	Tanpa
1	1,7	1,8	1,75	1,8	2,1	2,45	Tanpa

Dari data diatas ditunjukkan bahwa bangunan gedung terjadi torsi pada gedung model 2 dan model 3. Pada gedung model 2 akan terjadi torsi arah X dan torsi arah Y terjadi pada gedung model 3. Tipe torsi yang terjadi adalah torsi 1a. Torsi 1a berdasarkan SNI 1726:2012 didefinisikan ada jika simpangan antar lantai maksimum, torsi yang dihitung termasuk tak terduga, di sebuah ujung struktur melintang terhadap sumbu lebih dari 1,2 kali simpangan antar lantai tingkat rata-rata di kedua ujung struktur.

Faktor terjadinya torsi diakibatkan dari perbedaan yang signifikan antara simpangan antar lantai tingkat maksimum pada sebuah ujung struktur dengan simpangan antar lantai tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Akibat besarnya simpangan yang terjadi di gedung model 2 dan 3 maka benar terjadi perbedaan simpangan yang signifikan. Pada gedung model 1 dan model 4

memiliki simpangan yang kecil sehingga simpangan antar lantai yang terjadi lebih kecil dan tidak mengakibatkan terjadinya torsi. Pengaruh besarnya simpangan terhadap terjadinya torsi dapat dilihat dengan menghitung amplifikasi torsi tak terduga (A_x). Amplifikasi torsi tak terduga dihitung berdasarkan persamaan 3.29.

Berikut adalah contoh perhitungan amplifikasi torsi pada gedung model 3 lantai 9, jika diketahui data sebagai berikut :

$$\delta_{Max} = 59,1 \text{ mm}$$

$$\delta_{average} = 53,95 \text{ mm}$$

Maka A_x arah X dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$A_x = \left[\frac{\delta_{max}}{1,2\delta_{avg}} \right]^2 = \left[\frac{59,1}{1,2 \times 53,95} \right]^2 = 0,833$$

Hasil perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5.69 Amplifikasi Torsi Tak Terduga Arah Y

Lantai	Amplifikasi Tak Terduga Arah Y			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	0,973988	0,8982	1,2511	0,7512
8	0,972081	0,8930	1,2545	0,7457
7	0,972553	0,8892	1,2591	0,7392
6	0,974561	0,8859	1,2639	0,7336
5	0,97457	0,8825	1,2690	0,7290
4	0,973964	0,8739	1,2646	0,7216
3	0,977737	0,8687	1,2656	0,7123
2	0,976332	0,8698	1,2649	0,7060
1	0,951814	0,8456	1,2346	0,6944

Tabel 5.70 Amplifikasi Torsi Tak Terduga Arah X

Lantai	Amplifikasi Tak Terduga Arah X			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	0,916562	1,0941	0,8334	0,6944
8	0,914902	1,0994	0,8289	0,7018
7	0,914139	1,1041	0,8246	0,7069
6	0,913281	1,1050	0,8200	0,7115
5	0,914776	1,0995	0,8152	0,7187
4	0,913949	1,0938	0,8111	0,7229
3	0,91227	1,0784	0,8054	0,7254
2	0,913711	1,0657	0,8027	0,7299
1	0,918403	1,0519	0,7753	0,7347

Dari Tabel 5.69 dan Tabel 5.70 dapat dilihat jika nilai amplifikasi torsi tak terduga terkecil arah X dan arah Y terjadi pada gedung model 4. Untuk arah X nilai amplifikasi terbesar terjadi pada model 2 dan model 3 untuk arah Y.

Salah satu faktor lain terjadinya torsi adalah akibat adanya eksentrisitas antara pusat massa bangunan dengan pusat rotasi bangunan, sehingga beban lateral pusat beban tidak tepat dengan pusat kekakuan elemen vertikal beban lateral. Berikut adalah rekapitulasi nilai pusat massa pada Tabel 5.71 dan pusat rotasi pada Tabel 5.72.

Tabel 5.71 Rekapitulasi Pusat Massa

Lantai Ke-	Pusat Masa Arah X, XCCM (m)				Pusat Masa Arah Y, YCCM (m)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	24,224	24,224	24,224	24,224	21,407	21,407	21,407	21,407
8	23,968	23,968	23,968	23,968	21,008	21,202	21,202	21,202
7	23,968	23,968	23,968	23,968	21,008	21,202	21,202	21,202
6	23,968	23,968	23,968	23,968	21,008	21,202	21,202	21,202
5	23,968	23,968	23,968	23,968	21,008	21,202	21,202	21,202
4	23,968	23,968	23,968	23,968	21,008	21,202	21,202	21,202
3	23,968	23,968	23,968	23,968	21,008	21,202	21,202	21,202
2	23,968	23,968	23,968	23,968	21,008	21,202	21,202	21,202
1	23,968	23,968	23,968	23,968	21,008	21,202	21,202	21,202

Tabel 5.72 Rekapitulasi Pusat Rotasi

Lantai Ke-	Pusat Rotasi Arah X, XCR (m)				Pusat Rotasi Arah Y, YCR (m)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	23,342	23,327	23,364	23,353	20,790	20,798	20,784	20,794
8	23,361	23,343	23,382	23,371	20,798	20,806	20,791	20,802
7	23,383	23,362	23,404	23,394	20,807	20,815	20,799	20,811
6	23,407	23,383	23,428	23,417	20,816	20,825	20,807	20,820
5	23,431	23,405	23,452	23,442	20,826	20,834	20,816	20,830
4	23,456	23,430	23,477	23,466	20,835	20,843	20,825	20,839
3	23,483	23,458	23,502	23,493	20,845	20,853	20,836	20,849
2	23,513	23,492	23,528	23,521	20,856	20,862	20,848	20,859
1	23,548	23,536	23,556	23,552	20,869	20,872	20,864	20,870

Dari Tabel 5.71 dan Tabel 5.72 telah didapatkan nilai pusat massa (CCM) dan pusat rotasi (CR). Dikarenakan semua model gedung yang digunakan dalam penelitian ini memiliki diafragma nonfleksibel sehingga eksentrisitas bangunan didapat dari hasil selisih antara pusat massa dan pusat rotasi.

Contoh perhitungan eksentrisitas model 1 arah X sebagai berikut :

$$\begin{aligned} EoX &= XCCM - XCR \\ &= 24,22 - 23,342 \\ &= 0,881 \text{ m} \end{aligned}$$

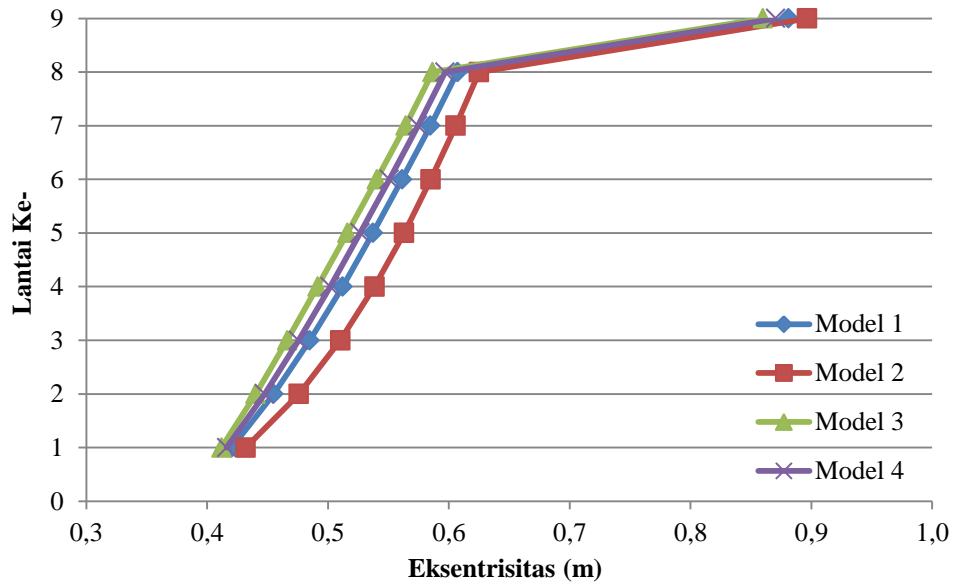
Contoh perhitungan eksentrisitas model 1 arah Y sebagai berikut :

$$\begin{aligned} EoY &= YCCM - YCR \\ &= 21,407 - 20,790 \\ &= 0,617 \text{ m} \end{aligned}$$

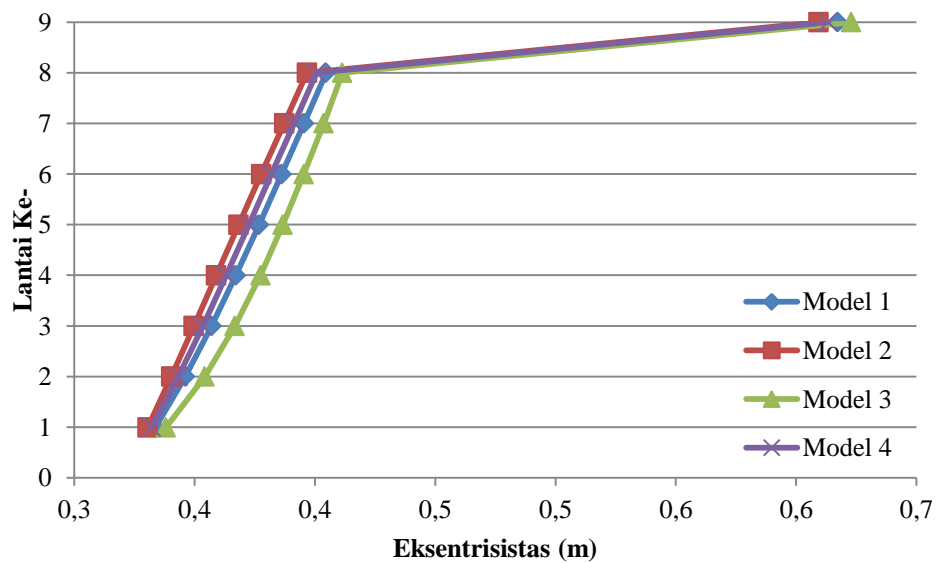
Perhitungan eksentrisitas selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 5.73.

Tabel 5.73 Rekapitulasi Eksentrisitas

Lantai Ke-	Eksentrisitas X (m)				Eksentrisitas Y (m)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	0,881	0,897	0,860	0,871	0,617	0,609	0,623	0,613
8	0,607	0,625	0,587	0,597	0,405	0,397	0,411	0,401
7	0,585	0,606	0,564	0,574	0,396	0,387	0,404	0,391
6	0,561	0,585	0,540	0,551	0,386	0,378	0,395	0,382
5	0,537	0,563	0,516	0,527	0,377	0,368	0,387	0,373
4	0,512	0,538	0,491	0,502	0,367	0,359	0,377	0,363
3	0,485	0,510	0,466	0,476	0,357	0,350	0,367	0,353
2	0,455	0,476	0,440	0,447	0,346	0,340	0,354	0,343
1	0,420	0,432	0,412	0,416	0,334	0,331	0,338	0,332



Gambar 5.46 Eksentrisitas Arah X



Gambar 5.47 Eksentrisitas Arah Y

Dari Gambar 5.46 dan Gambar 5.47 dapat dilihat jika eksentrisitas terbesar bangunan arah X terjadi pada gedung model 2 dan untuk arah Y eksentrisitas terbesar terjadi pada gedung model 3.

Sehingga benar jika eksentrisitas bangunan dan besarnya simpangan antar lantai bangunan dapat menyebabkan terjadinya torsi pada suatu bangunan gedung. Saat bangunan yang direncanakan terjadi torsi maka yang harus

dilakukan dalam perancangan adalah memperhitungkan amplifikasi torsi tak terduga dan mencari eksentrisitas baru pengaruh perkalian amplifikasi torsi tak terduga.

Berikut adalah contoh perhitungan eksentrisitas baru akibat adanya amplifikasi torsi tak terduga pada gedung model 2 lantai 1 arah X, jika data yang diketahui:

$$A_x = 1,0519$$

$$L_x = 50,4 \text{ m}$$

$$E_{0x} = 0,8965 \text{ m}$$

Dari hasil perhitungan $A_x = 1,0519 > 1$, sehingga faktor pembesaran torsi pakai adalah 1,06912.

Jika semua bangunan gedung memiliki torsi tak terduga yaitu sebesar 5% dari dimensi tegak lurus terhadap gaya yang diterapkan. Maka pada bangunan ini torsi tak terduga yang dimiliki sebesar 5% $L_x = 2,52 \text{ m}$.

Untuk menghitung eksentrisitas akibat adanya amplifikasi torsi tak terduga digunakan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} E_{tx} &= E_{0x} + (5\%L_x \times A_{x\text{pakai}}) \\ &= 0,8965 + (2,52 \times 1,0519) \\ &= 3,43625 \text{ m} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 5.74 untuk model 2 dan 5.75 untuk model 3.

Tabel 5.74 Perhitungan Pembesaran Torsi dan Eksentrisitas Baru Model 2

Lantai	Ax	Ay	Ax pakai	Ay pakai	Eksentrisitas		5% Lx (m)	5%Ly (m)	etx (m)	ety (m)
	(m)	(m)			e0X (m)	e0Y (m)				
9	1,09407	0,898159	1,09407	1	0,8965	0,6094	2,52	2,16	3,653551	-
8	1,09936	0,893	1,09936	1	0,625	0,3967	2,52	2,16	3,395393	-
7	1,10412	0,889175	1,10412	1	0,6057	0,3873	2,52	2,16	3,388076	-
6	1,10503	0,885855	1,10503	1	0,585	0,3777	2,52	2,16	3,369687	-
5	1,09953	0,882461	1,09953	1	0,563	0,3683	2,52	2,16	3,333819	-
4	1,09377	0,873869	1,09377	1	0,5385	0,359	2,52	2,16	3,294794	-
3	1,0784	0,868713	1,0784	1	0,5101	0,3497	2,52	2,16	3,227674	-
2	1,06572	0,869822	1,06572	1	0,4759	0,3403	2,52	2,16	3,16152	-
1	1,05194	0,845554	1,05194	1	0,4319	0,3305	2,52	2,16	3,082788	-

Pada bangunan model 2 torsi terjadi pada simpangan arah X, sehingga pada arah Y hanya perlu memperbesar amplifikasi torsi tak terduga dan tidak memperhitungkan eksentrisitas baru pengaruh torsi.

Tabel 5.75 Perhitungan Pembesaran torsi dan Eksentrisitas Baru Model 3

Lantai	Ax	Ay	Ax pakai	Ay pakai	Eksentrisitas		5% Lx (m)	5%Ly (m)	etx (m)	ety (m)
	(m)	(m)			e0X (m)	e0Y (m)				
9	0,83335	1,251067	1	1,25107	0,8599	0,6229	2,52	2,16	-	3,325204
8	0,82894	1,254469	1	1,25447	0,5866	0,4114	2,52	2,16	-	3,121052
7	0,82459	1,259087	1	1,25909	0,5642	0,4037	2,52	2,16	-	3,123328
6	0,82004	1,263857	1	1,26386	0,5403	0,3954	2,52	2,16	-	3,125331
5	0,81521	1,268962	1	1,26896	0,516	0,3867	2,52	2,16	-	3,127658
4	0,81112	1,264617	1	1,26462	0,4914	0,3774	2,52	2,16	-	3,108973
3	0,80539	1,265625	1	1,26563	0,4662	0,3667	2,52	2,16	-	3,10045
2	0,80273	1,264863	1	1,26486	0,4401	0,3542	2,52	2,16	-	3,086304
1	0,77529	1,234568	1	1,23457	0,4119	0,3381	2,52	2,16	-	3,004767

Pada bangunan model 3 torsi terjadi pada simpangan arah Y, sehingga pada arah X hanya perlu memperbesar amplifikasi torsi tak terduga dan tidak memperhitungkan eksentrisitas baru pengaruh torsi.

2. Ketidakberaturan Sudut Dalam

Berdasarkan pedoman FEMA 451B dan SNI 03-1726-2012 sebuah bangunan memiliki ketidakberaturan sudut dalam apabila $P_y > 0,15 L_y$ dan $P_x > 0,15 L_x$.

Keterangan :

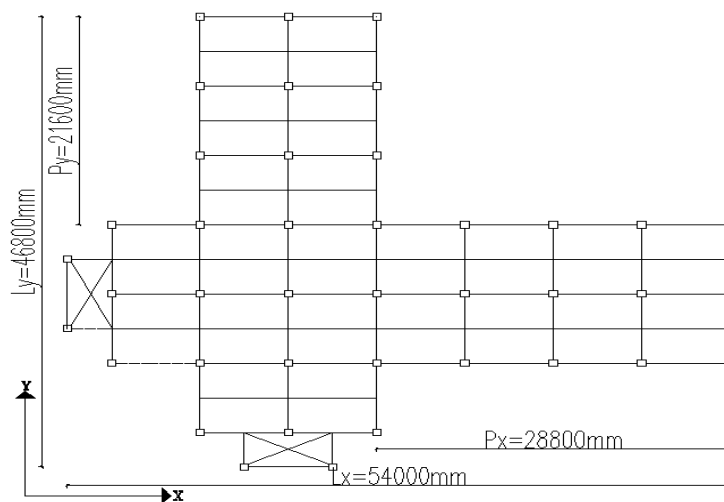
P_y = Proyeksi denah sudut dalam arah Y

L_y = Proyeksi denah sudut luar arah Y

P_x = Proyeksi denah sudut dalam arah X

L_x = Proyeksi denah sudut luar arah X

4 model gedung yang digunakan dalam penelitian ini memiliki denah struktur yang sama, gambar denah struktur dapat dilihat pada Gambar 5.41.



Gambar 5.48 Denah Struktur Bangunan

Tabel 5.76 Rekapitulasi Perhitungan Ketidakberaturan Sudut Dalam

Model Bangunan	Px (m)	Py (m)	Lx (m)	Ly (m)	0,15 Lx (m)	0,15 Ly (m)	Ketidakberaturan Sudut Dalam	
							Arah X	Arah Y
Model 1	28,8	21,6	54	47	8,1	7,02	OK	OK
Model 2	28,8	21,6	54	47	8,1	7,02	OK	OK
Model 3	28,8	21,6	54	47	8,1	7,02	OK	OK
Model 4	28,8	21,6	54	47	8,1	7,02	OK	OK

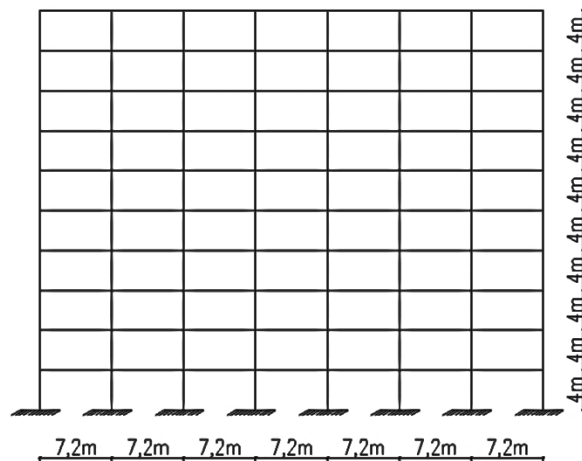
Dari hasil perhitungan yang dapat dilihat rekapitulasinya pada Tabel 5.76 semua model gedung memiliki ketidakberaturan sudut dalam.

3. Ketidakberaturan Diskontinuitas diafragma

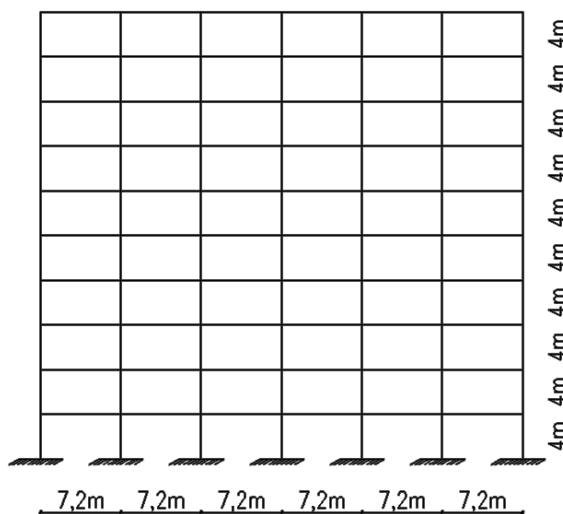
Berdasarkan pedoman FEMA 451B dan SNI 03-1726-2012 ketidakberaturan diskontinuitas diafragma ada jika daerah yang terbuka atau terpotong lebih besar dari 50% daerah diafragma bruto yang melingkupinya atau perubahan kekakuan diafragma efektif lebih dari 50% dari suatu tingkat ke tingkat lainnya. Gedung yang digunakan pada penelitian ini semua pelatnya tertutup tidak terdapat bukaan atau potongan sehingga tidak terdapat ketidakberaturan diskontinuitas diafragma.

4. Ketidakberaturan pergeseran melintang terhadap bidang

Gedung yang digunakan dalam penelitian ini adalah tipikal dari lantai bawah hingga lantai paling atas, sehingga tidak ada elemen struktur yang keluar bidang. Gedung yang digunakan dalam penelitian ini tidak memiliki ketidakberaturan pergeseran melintang terhadap bidang, dapat dilihat pada gambar potongan portal arah X dan arah Y pada Gambar 5.46 dan Gambar 5.47. Bangunan gedung dikatakan memiliki pergeseran melintang terhadap bidang apabila terjadi diskontinuitas dalam lintasan tahan gaya lateral, seperti pergeseran melintang terhadap bidang elemen vertikal.



Gambar 5.49 Portal Arah X



Gambar 5.50 Portal Arah Y

5. Ketidakberaturan sistem nonparalel

Bangunan gedung dikatakan memiliki ketidakberaturan sistem nonparalel apabila elemen penahan gaya lateral vertikal tidak paralel atau simetri terhadap sumbu-sumbu ortogonal utama sistem penahan gaya gempa. Pada penelitian ini gedung memiliki kesimetrian sumbu-sumbu utama dengan struktur semua elemennya lurus terhadap sumbu-sumbu ortogonal utama. Maka gedung pada penelitian ini tidak memiliki ketidakberaturan sistem nonparalel.

5.5 Gaya Dalam Elemen Struktur

5.5.1 Momen

1. Balok

a. Balok induk arah Y (B1)

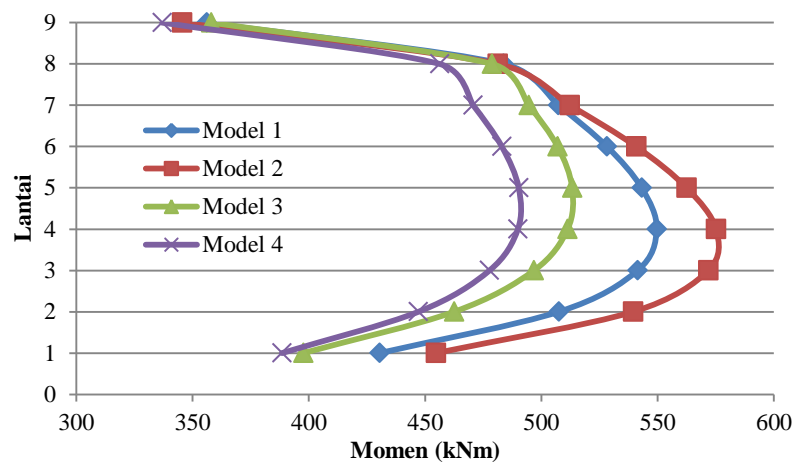
Rekapitulasi nilai momen daerah tumpuan balok B1 yang merupakan *output* dari program ETABS V.13 dapat dilihat pada Tabel 5.77.

Tabel 5.77 Rekapitulasi Nilai Momen Tumpuan B1

Lantai	Momen Tumpuan Balok B1 (kNm)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	356,0649	345,4715	358,04	336,9205
8	483,7479	481,2221	478,7624	456,2661
7	507,3302	512,2238	494,549	470,7023

Lanjutan Tabel 5.77 Rekapitulasi Nilai Momen Tumpuan B1

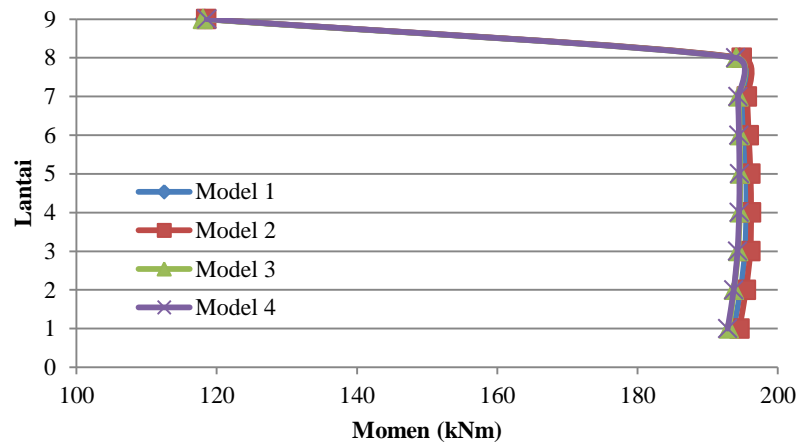
Lantai	Momen Tumpuan Balok B1 (kNm)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
6	528,2331	540,8033	507,0046	483,0099
5	543,159	562,5337	513,2603	490,2787
4	549,6001	575,1424	511,3017	489,9153
3	541,3725	571,795	496,8417	477,7081
2	507,4945	539,4499	462,4929	447,1431
1	430,4222	454,7012	397,6322	388,4403

**Gambar 5.51 Nilai Momen Daerah Tumpuan B1**

Rekapitulasi nilai momen daerah lapangan balok B1 yang merupakan *output* dari program ETABS V.13 dapat dilihat pada Tabel 5.78.

Tabel 5.78 Rekapitulasi Nilai Momen Lapangan B1

Lantai	Momen lapangan balok B1 (kNm)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	118,3225	118,5174	118,0434	118,5812
8	194,6011	194,8425	194,0769	194,0021
7	195,1095	195,5638	194,4043	194,3138
6	195,333	195,8476	194,5596	194,4572
5	195,4977	196,1009	194,6401	194,5314
4	195,5116	196,1884	194,5812	194,4791
3	195,3191	196,0763	194,3333	194,2502
2	194,6979	195,4594	193,7655	193,7084
1	193,6834	194,5176	193,0462	192,8457



Gambar 5.52 Nilai Momen Daerah Lapangan B1

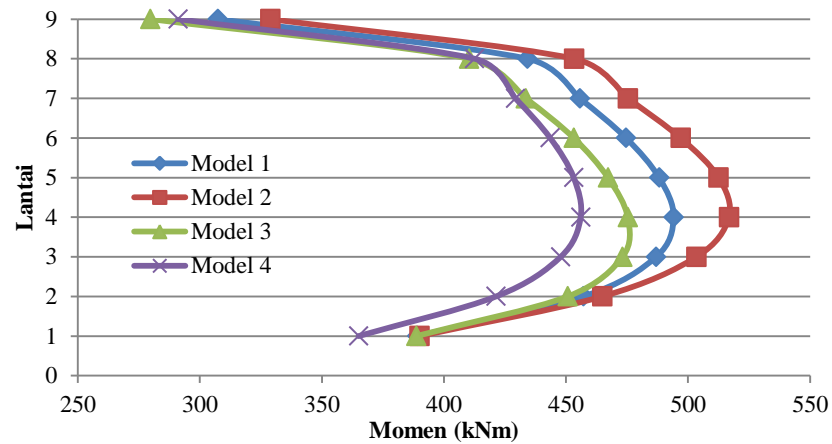
Dari semua data momen untuk balok B1 dihasilkan momen daerah tumpuan terbesar pada gedung model 2 pada lantai 4 dan daerah lapangan semua nilai rata-rata sama.

b. Balok induk arah X (B2)

Rekapitulasi nilai momen daerah tumpuan balok B2 yang merupakan *output* dari program ETABS V.13 dapat dilihat pada Tabel 5.79.

Tabel 5.79 Rekapitulasi Nilai Momen Tumpuan B2

Lantai	Momen tumpuan balok B2 (kNm)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	307,3275	328,919	279,7223	291,1295
8	434,2165	453,2857	410,3283	412,6169
7	455,6664	475,413	433,5143	429,2952
6	474,6201	496,9984	453,1725	443,5447
5	488,1781	512,5368	467,2045	453,1777
4	494,0932	516,7511	475,3187	456,0295
3	486,9563	503,4643	473,181	447,8547
2	457,1112	464,8751	450,7282	421,3188
1	389,0376	389,9916	388,6638	365,0221

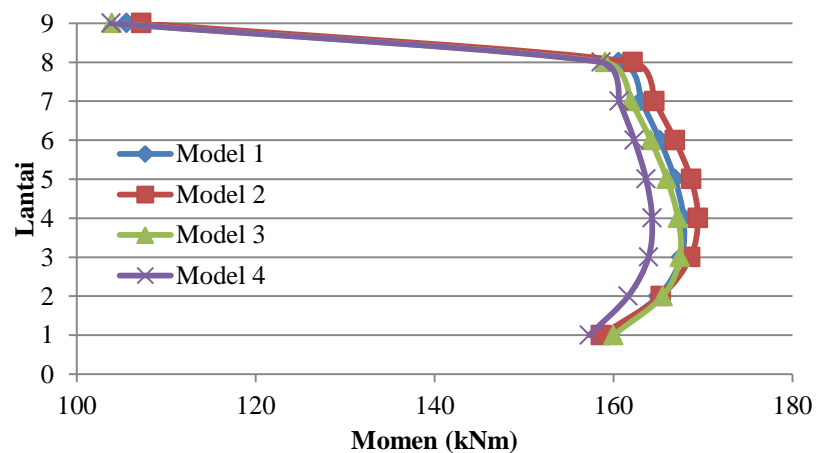


Gambar 5.53 Nilai Momen Daerah Tumpuan B2

Rekapitulasi nilai momen daerah lapangan balok B2 yang merupakan *output* dari program ETABS V.13 dapat dilihat pada Tabel 5.80.

Tabel 5.80 Rekapitulasi Nilai Momen Lapangan B2

Lantai	Momen lapangan balok B2 (kNm)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	105,5542	107,2073	103,8998	103,8232
8	160,5688	162,1227	159,0448	158,6275
7	163,0757	164,572	161,9158	160,6329
6	165,1808	166,8704	164,1651	162,3291
5	166,8624	168,6715	165,9833	163,6426
4	167,8291	169,441	167,2108	164,315
3	167,5659	168,5905	167,4416	163,919
2	165,0139	165,28	165,4876	161,6401
1	158,9771	158,6102	159,9738	157,2941



Gambar 5.54 Nilai Momen Daerah Lapangan B2

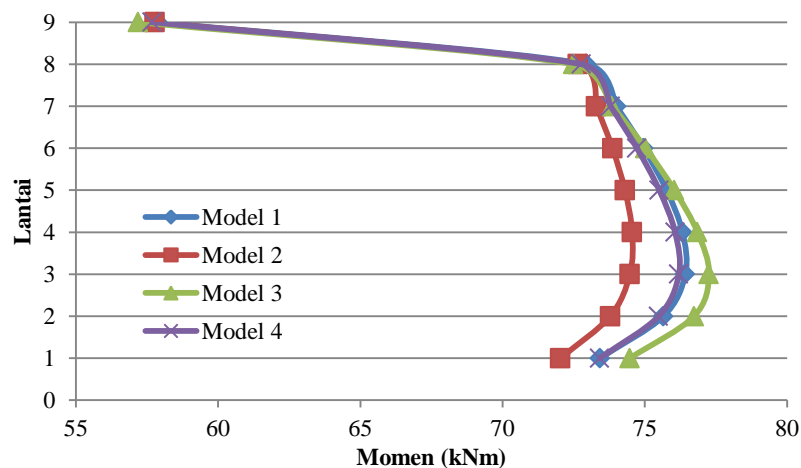
Dari semua data momen untuk balok B2 dihasilkan momen daerah tumpuan dan lapangan terbesar pada gedung model 2 di lantai 4.

c. Balok anak arah X (Ba1)

Rekapitulasi nilai momen daerah tumpuan balok Ba1 yang merupakan *output* dari program ETABS V.13 dapat dilihat pada Tabel 5.81.

Tabel 5.81 Rekapitulasi Nilai Momen Tumpuan Balok Ba1

Lantai	Momen Tumpuan Balok Ba1 (kNm)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	57,8699	57,7737	57,1921	57,6802
8	72,9474	72,6556	72,4941	72,7761
7	73,9984	73,2926	73,8424	73,7956
6	74,9607	73,8626	75,0259	74,7248
5	75,7663	74,3006	76,0433	75,5093
4	76,3246	74,556	76,852	76,0662
3	76,4242	74,4758	77,2566	76,1987
2	75,6541	73,7832	76,7321	75,4886
1	73,4258	72,0359	74,4749	73,4203

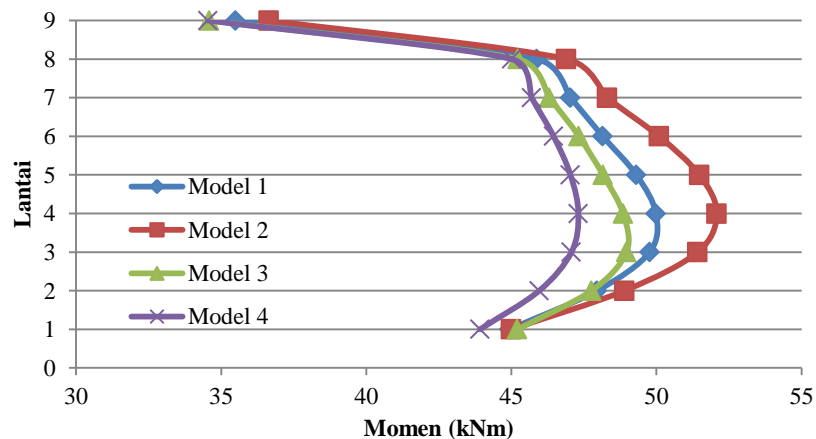


Gambar 5.55 Nilai Momen Daerah Tumpuan Balok Ba1

Rekapitulasi nilai momen daerah lapangan balok Ba1 yang merupakan *output* dari program ETABS V.13 dapat dilihat pada Tabel 5.82.

Tabel 5.82 Rekapitulasi Nilai Momen Lapangan Balok Ba1

Lantai	Momen Lapangan Balok Ba1 (kNm)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	35,4959	36,6467	34,5844	34,5409
8	45,8737	46,8939	45,2216	45,0108
7	47,0376	48,3063	46,3073	45,6974
6	48,1488	50,0882	47,3254	46,4552
5	49,3081	51,4812	48,1585	47,0365
4	49,9821	52,0776	48,8502	47,3102
3	49,7656	51,4164	48,967	47,0705
2	47,9492	48,8936	47,7583	45,9597
1	44,9385	44,9957	45,2076	43,9195

**Gambar 5.56 Nilai Momen Daerah Lapangan Balok Ba1**

Dari semua data momen untuk balok Ba1 dihasilkan momen daerah tumpuan yang terbesar pada gedung model 3 di lantai 3 dan daerah lapangan pada gedung model 2 di lantai 4.

Nilai momen terbesar yang didapatkan dari semua balok yang ditinjau pada daerah tumpuan maupun lapangan gedung model 2 di lantai 4 lebih dominan memiliki momen terbesar. Hal tersebut dikarenakan gedung model 2 mempunyai simpangan bangunan dan simpangan antar lantai yang besar di lantai 4, sehingga membutuhkan kekuatan yang besar dari elemen struktur seperti balok agar tidak terjadi puntir. Besarnya momen mempengaruhi dalam merencanakan kebutuhan tulangan balok. Semakin besar momen

hasil analisis struktur maka momen yang tersedia harus lebih besar sehingga membutuhkan tulangan yang lebih banyak dalam perencanaan.

2. Kolom

Kolom yang ditinjau nilai momennya adalah kolom tengah, kolom tepi, dan kolom pada joint yang ditinjau simpangannya. Nilai momen didapatkan dari program ETABS V.13.

a. Kolom Tengah

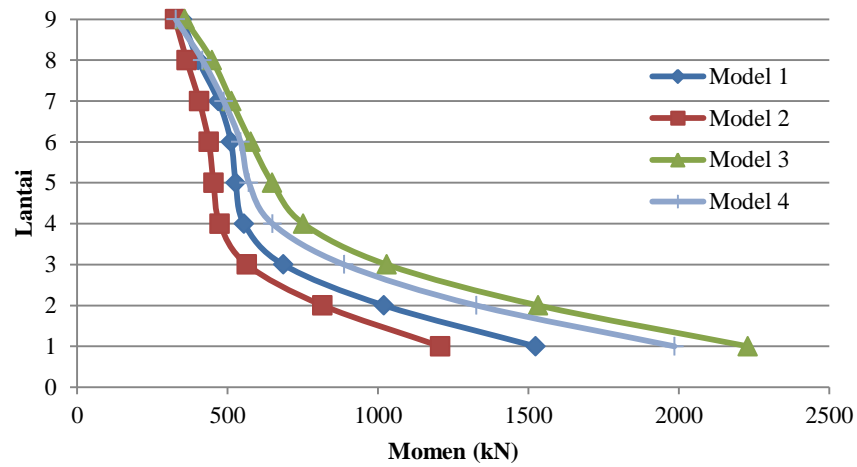
Rekapitulasi momen kolom tengah pada tabel-tabel berikut.

Tabel 5.83 Rekapitulasi Momen Kolom Tengah M2

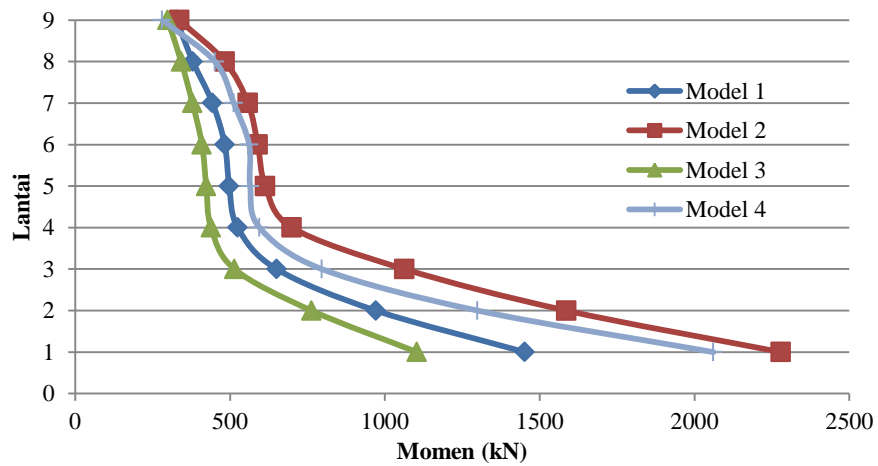
Lantai	Kolom Tengah M2 (kNm)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	349,1359	325,5674	357,908	327,3244
8	402,108	363,9628	448,4789	416,2579
7	469,6694	405,7082	512,7589	486,9409
6	511,3109	437,5025	576,8545	543,0276
5	526,798	453,066	648,0368	570,9234
4	554,8546	474,0486	751,8021	648,8923
3	684,8577	564,3242	1028,769	887,0761
2	1019,975	815,6152	1532,71	1326,877
1	1523,535	1207,332	2229,463	1985,585

Tabel 5.84 Rekapitulasi Momen Kolom Tengah M3

Lantai	Kolom Tengah M3 (kNm)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	326,7054	335,8875	298,4114	280,9545
8	379,8815	483,1896	342,0855	450,9412
7	443,2325	557,6612	378,5159	511,9525
6	482,7099	589,4633	409,2555	561,5774
5	497,1306	613,8657	422,8502	564,5704
4	524,4308	699,5697	438,5335	594,9687
3	650,2686	1062,928	513,9763	796,1276
2	970,6534	1585,726	762,908	1299,209
1	1451,674	2278,501	1103,794	2060,825



Gambar 5.57 Grafik Momen Kolom Tengah M2



Gambar 5.58 Grafik Momen Kolom Tengah M3

Momen terbesar pada kolom tengah terjadi pada gedung model 3 untuk M2 dan model 2 untuk M3.

b. Kolom Tepi

Rekapitulasi momen kolom tepi pada tabel-tabel berikut.

Tabel 5.85 Rekapitulasi Momen Kolom Tepi M2

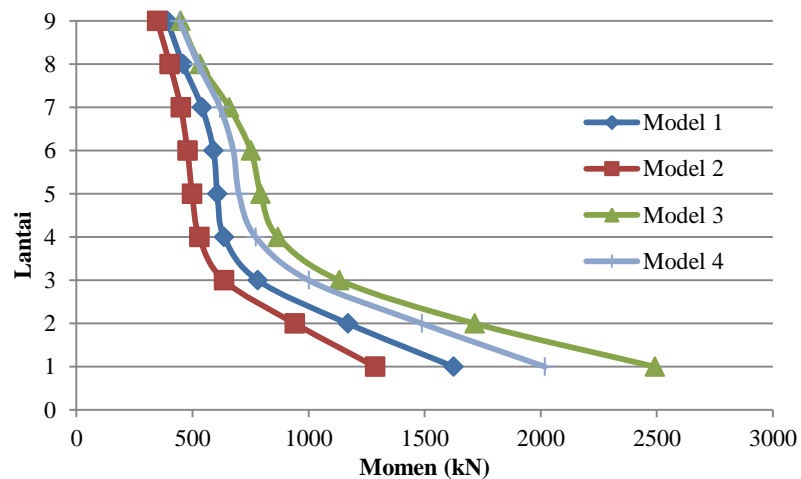
Lantai	Kolom Tepi M2 (kNm)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	391,3994	347,6144	448,1483	444,857
8	458,9854	402,057	532,7566	524,9586
7	540,4918	449,4618	658,4246	618,7785
6	590,5306	478,0894	751,498	675,6186
5	607,0016	498,3637	793,631	700,0465

Lanjutan Tabel 5.85 Rekapitulasi Momen Kolom Tepi M2

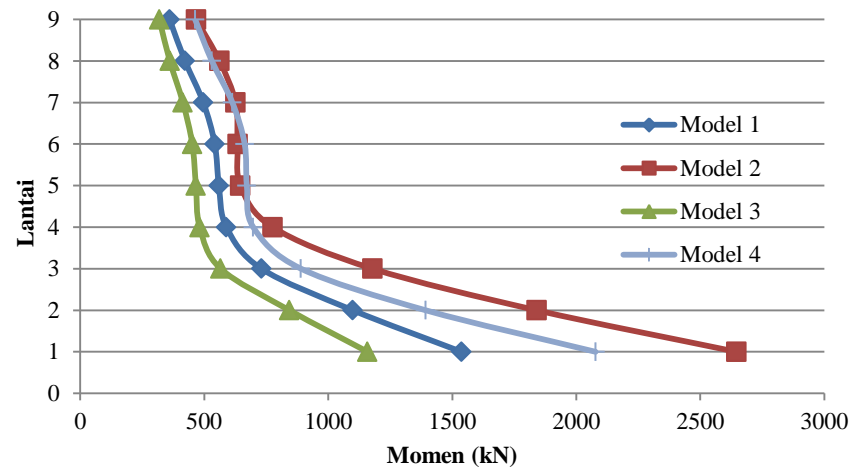
Lantai	Kolom Tepi M2 (kNm)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
4	635,9725	529,0729	867,6141	772,1579
3	780,9133	635,2789	1132,153	1000,81
2	1169,189	940,4818	1715,814	1487,943
1	1625,014	1286,995	2491,644	2017,994

Tabel 5.86 Rekapitulasi Momen Kolom Tepi M3

Lantai	Kolom Tepi M3 (kNm)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	360,3419	467,4082	318,9015	463,0918
8	422,4892	561,6745	361,1198	530,6386
7	496,1878	626,651	413,8515	613,3202
6	542,4057	634,605	451,8368	662,9647
5	558,8835	646,065	466,2654	671,7211
4	589,3171	775,5884	481,7779	697,4292
3	730,4232	1178,463	565,8751	890,0839
2	1098,866	1840,214	843,1773	1392,657
1	1537,068	2645,914	1158,515	2077,799



Gambar 5.59 Grafik Momen Kolom Tepi M2



Gambar 5.60 Grafik Momen Kolom Tepi M3

Momen terbesar pada kolom tepi terjadi pada gedung model 3 untuk M2 dan model 2 untuk M3.

c. *Joint A*

Rekapitulasi momen kolom *joint A* pada tabel-tabel berikut.

Tabel 5.87 Rekapitulasi Momen Kolom *Joint A* M2

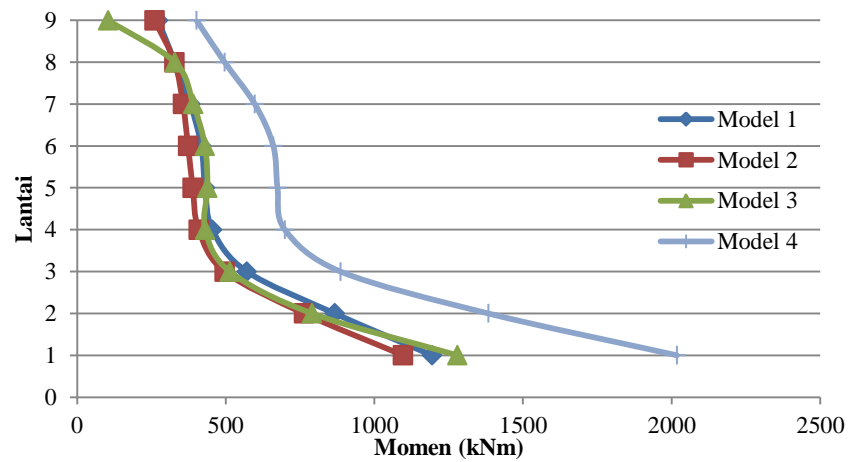
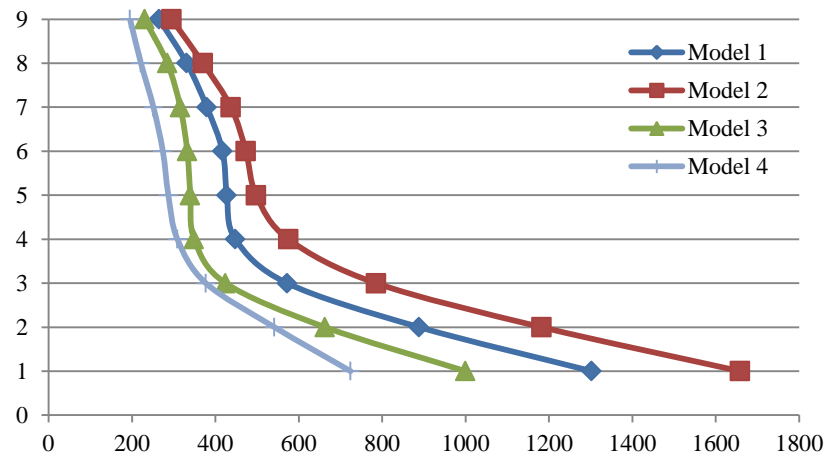
Lantai	Kolom <i>Joint A</i> M2 (kNm)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	272,4777	261,0824	104,1292	401,847
8	328,5006	327,8198	328,6428	496,2732
7	381,095	356,2904	390,748	597,8489
6	417,8236	373,2058	430,0812	660,0865
5	430,4275	389,0401	438,3854	674,1471
4	454,9603	408,9299	431,0936	698,836
3	571,0548	496,4252	513,995	886,2197
2	866,8734	762,9571	790,3574	1383,292
1	1194,031	1096,684	1279,485	2017,994

Tabel 5.88 Rekapitulasi Momen Kolom *Joint A* M3

Lantai	Kolom <i>Joint A</i> M3 (kNm)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	265,0348	294,8847	230,1838	195,2396
8	331,2278	370,1745	284,7441	221,4274
7	379,5342	437,4259	315,7692	251,3087
6	417,181	473,1294	332,4521	273,9197

Lanjutan Tabel 5.88 Rekapitulasi Momen Kolom *Joint A M3*

Lantai	Kolom <i>Joint A M3</i> (kNm)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
5	427,3079	497,8477	339,9449	287,1309
4	447,8599	574,9896	349,1359	308,7776
3	572,1928	785,3219	424,3894	377,0935
2	888,7693	1182,633	663,0422	541,5611
1	1302,468	1658,323	999,9431	724,1722

Gambar 5.61 Grafik Momen Kolom *Joint A M2*Gambar 5.62 Grafik Momen Kolom *Joint A M3*

Momen terbesar pada kolom *joint A* terjadi pada gedung model 4 untuk M2 dan model 2 untuk M3.

d. *Joint B*

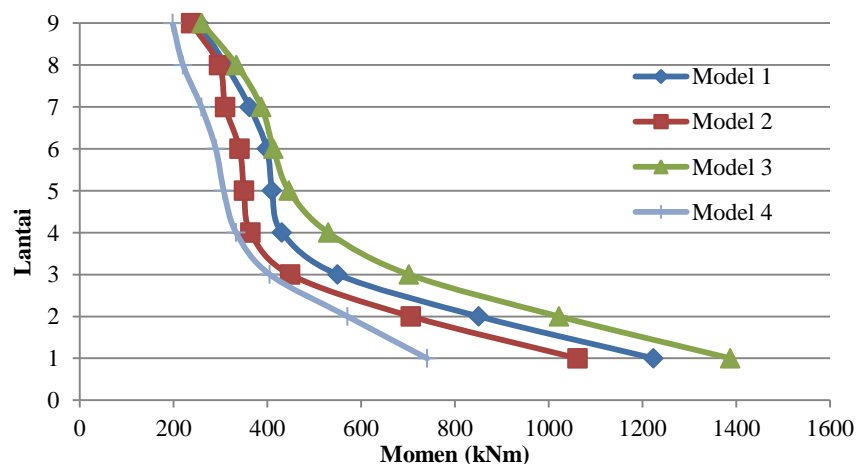
Rekapitulasi momen kolom *joint B* pada tabel-tabel berikut.

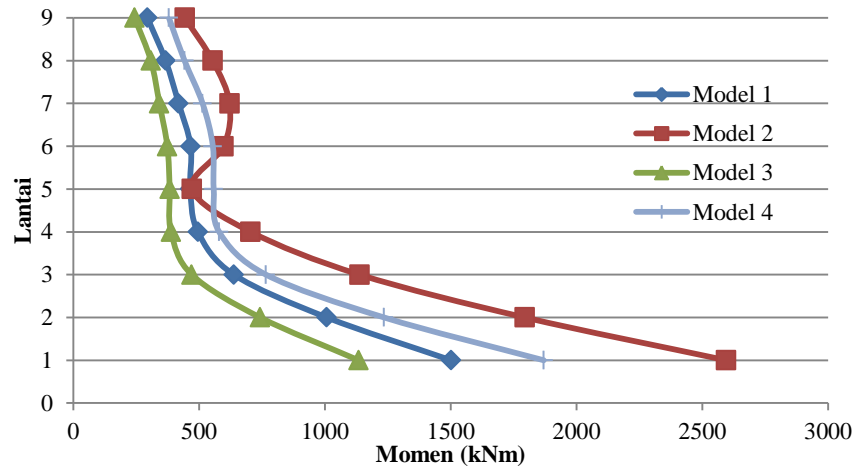
Tabel 5.89 Rekapitulasi Momen Kolom *Joint B M2*

Lantai	Kolom <i>Joint B M2</i> (kNm)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	253,6415	237,5668	260,1573	197,8687
8	311,3272	297,1773	334,2954	220,0618
7	362,1146	310,2157	387,341	259,243
6	398,8923	340,7278	412,8254	289,9306
5	409,8804	350,1189	445,8998	306,898
4	431,1642	364,1806	529,7792	333,2781
3	549,7514	448,5603	701,777	405
2	850,8036	706,3396	1022,006	570,6948
1	1223,612	1061,73	1387,537	740,7335

Tabel 5.90 Rekapitulasi Momen Kolom *Joint B M3*

Lantai	Kolom <i>Joint B M3</i> (kNm)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	294,03807	442,59679	243,21541	379,51457
8	366,19259	553,51159	307,67397	441,53535
7	418,19049	620,98379	341,57635	513,28961
6	466,15452	596,87179	373,24696	554,30816
5	464,41031	470,94475	382,57823	557,54939
4	494,60843	704,30797	387,80107	579,11864
3	637,67943	1137,5774	470,19036	765,27712
2	1007,0269	1794,4962	742,13337	1234,8808
1	1501,4715	2595,1021	1133,6917	1869,7605

**Gambar 5.63 Grafik Momen Kolom *Joint B M2***



Gambar 5.64 Grafik Momen Kolom Joint B M3

Momen terbesar pada kolom *joint* B terjadi pada gedung model 3 untuk M2 dan model 2 untuk M3.

e. *Joint* C

Rekapitulasi momen kolom *joint* C pada tabel-tabel berikut.

Tabel 5.91 Rekapitulasi Momen Kolom Joint C M2

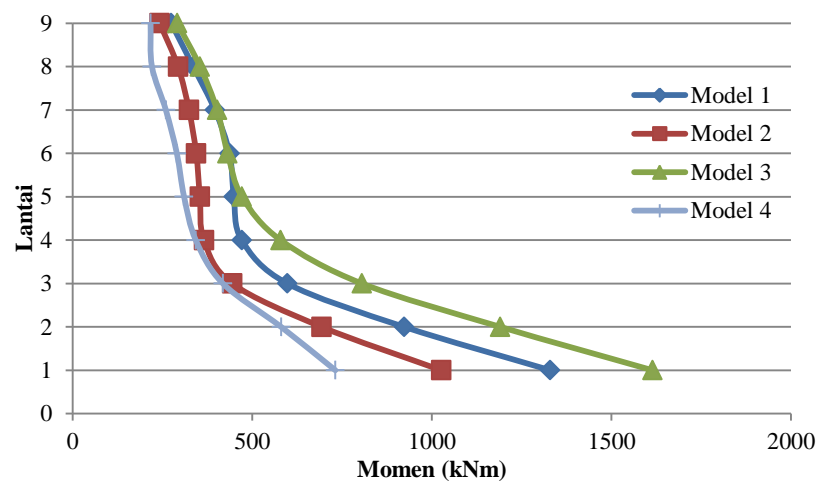
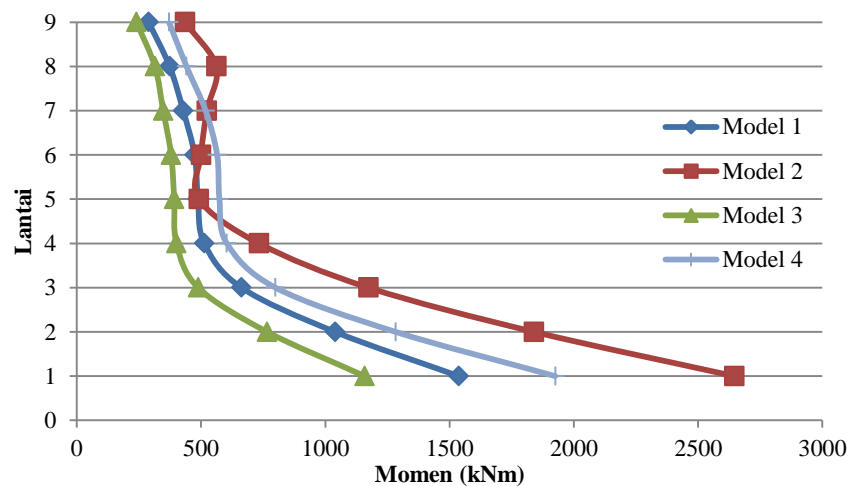
Lantai	Kolom Joint C M2 (kNm)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	274,04137	242,08039	290,96852	216,60186
8	335,43039	293,08748	354,35584	220,42776
7	395,67065	323,52301	401,79406	259,11349
6	436,4626	343,73259	431,10045	289,75895
5	448,48966	353,7849	470,8643	309,85572
4	470,47092	365,2057	578,64874	342,42884
3	597,30049	443,69355	804,96053	417,88246
2	922,83062	692,69587	1190,3709	580,02802
1	1329,6003	1025,8592	1614,3307	731,18541

Tabel 5.92 Rekapitulasi Momen Kolom Joint C M3

Lantai	Kolom Joint C M3 (Tm)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	289,16447	435,44432	240,40975	371,1329
8	373,63543	561,67449	314,22019	441,41468
7	428,23887	523,32132	347,60067	518,26132

Lanjutan Tabel 5.92 Rekapitulasi Momen Kolom *Joint C M3*

Lantai	Kolom <i>Joint C M3</i> (Tm)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
6	474,12024	499,77536	379,72254	564,61161
5	487,58349	491,13765	391,80453	573,94484
4	512,91095	733,04146	401,15444	603,77313
3	662,072	1173,1563	488,23193	799,28447
2	1039,2645	1840,2138	765,80392	1282,9577
1	1537,0681	2645,914	1158,5149	1925,3881

Gambar 5.65 Grafik Momen Kolom *Joint C M2*Gambar 5.66 Grafik Momen Kolom *Joint C M3*

Momen terbesar pada kolom *joint C* terjadi pada gedung model 3 untuk M2 dan model 2 untuk M3.

f. *Joint D*

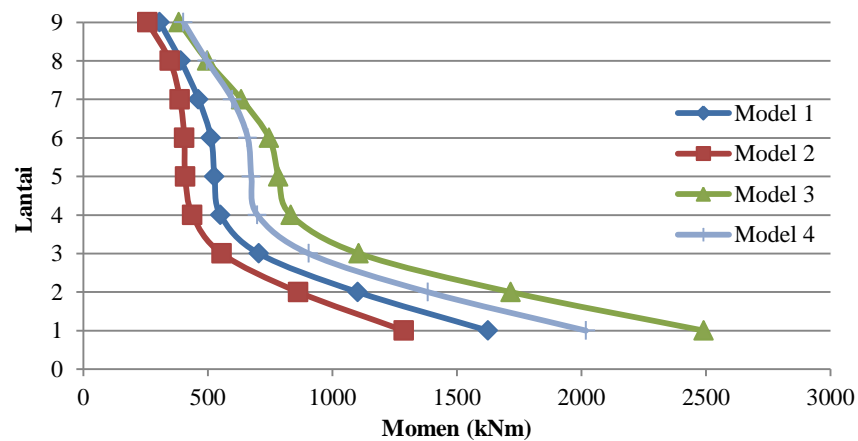
Rekapitulasi momen kolom *joint D* pada tabel-tabel berikut.

Tabel 5.93 Rekapitulasi Momen Kolom *Joint D* M2

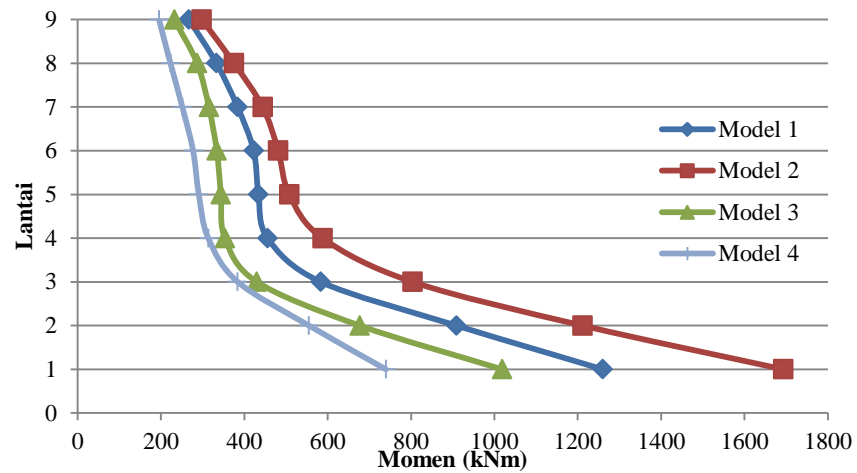
Lantai	Kolom <i>Joint D</i> M2 (kNm)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	306,33981	257,33984	383,87805	401,84703
8	391,26891	347,26223	497,42586	496,27319
7	462,18147	387,70003	634,19001	597,84887
6	512,59114	405,14319	745,63063	660,08645
5	526,31141	408,56492	783,05578	674,14712
4	550,26939	437,78204	832,83467	698,83595
3	704,72489	555,3078	1106,1118	904,70959
2	1101,3461	863,38006	1715,8141	1383,2924
1	1625,0137	1286,9945	2491,6439	2017,9945

Tabel 5.94 Rekapitulasi Momen Kolom *Joint D* M3

Lantai	Kolom <i>Joint D</i> M3 (kNm)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	267,25187	297,94147	231,98394	195,2396
8	333,17016	375,37573	286,69235	222,76744
7	383,72306	444,01237	314,93141	251,30866
6	422,47746	481,33844	333,86373	277,07364
5	433,80016	507,71851	343,7993	290,76153
4	455,86874	587,69258	353,36307	313,42754
3	583,30554	803,42429	430,01939	384,03894
2	909,17805	1211,5379	676,80269	555,11062
1	1259,8502	1692,9696	1018,4987	739,69656



Gambar 5.67 Grafik Momen Kolom *Joint D* M2



Gambar 5.68 Grafik Momen Kolom Joint D M3

Momen terbesar pada kolom *joint* D terjadi pada gedung model 3 untuk M2 dan model 2 untuk M3.

g. *Joint* E

Rekapitulasi momen kolom *joint* E pada tabel-tabel berikut.

Tabel 5.95 Rekapitulasi Momen Kolom Joint E M2

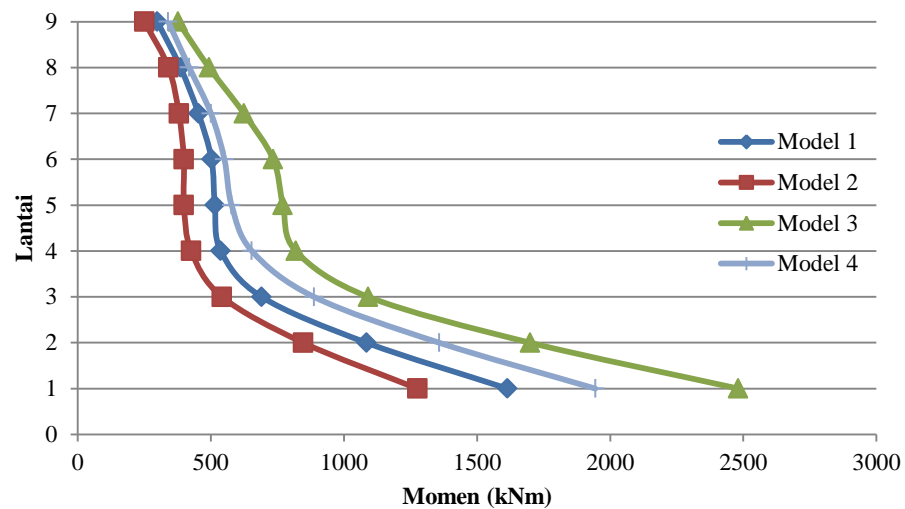
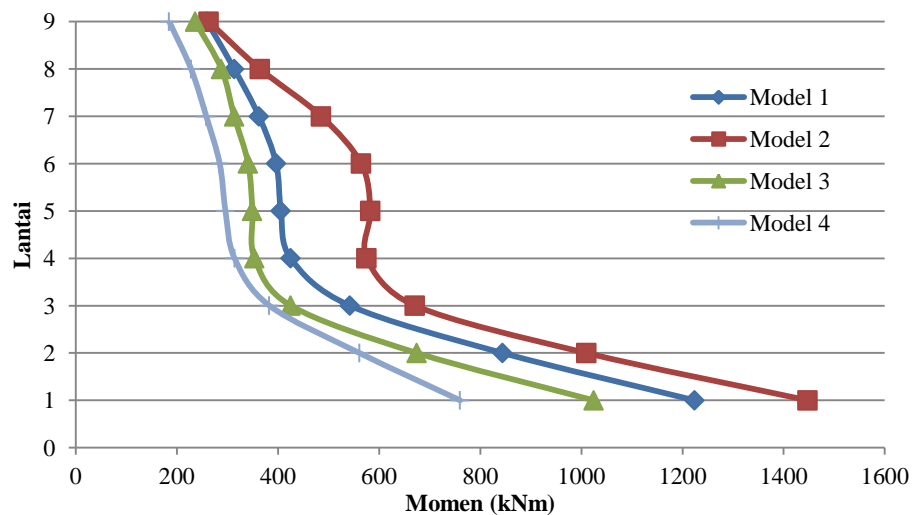
Lantai	Kolom Joint E M2 (kNm)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	298,76257	250,2119	376,06439	339,66635
8	385,71743	340,88769	492,93092	418,81441
7	453,02776	379,66662	623,761	500,29921
6	502,39364	398,38018	734,00873	550,69514
5	514,81801	398,78827	770,37636	577,84334
4	537,0769	425,78147	818,76811	653,73251
3	690,36207	541,82298	1091,0731	887,09672
2	1084,4072	846,42053	1699,1744	1357,4646
1	1613,7391	1275,509	2481,0559	1944,2027

Tabel 5.96 Rekapitulasi Momen Kolom Joint E M3

Lantai	Kolom Joint E M3 (kNm)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	259,24593	263,17189	236,19537	184,72622
8	313,43342	364,364	287,92841	227,9481
7	362,1283	485,45472	313,37064	257,97357
6	396,29948	564,47623	340,88965	284,61655

Lanjutan Tabel 5.96 Rekapitulasi Momen Kolom *Joint E* M3

Lantai	Kolom <i>Joint E</i> M3 (kNm)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
5	405,48654	582,40008	349,34391	295,96181
4	425,06141	575,2535	353,69955	314,0132
3	542,15554	670,69597	425,13107	382,89313
2	844,12598	1009,7767	674,71512	560,95738
1	1223,9358	1447,7981	1024,2876	760,0788

Gambar 5.69 Grafik Momen Kolom *Joint E* M2Gambar 5.70 Grafik Momen Kolom *Joint E* M3

Momen terbesar pada kolom joint E terjadi pada gedung model 3 untuk M2 dan model 2 untuk M3.

h. *Joint F*

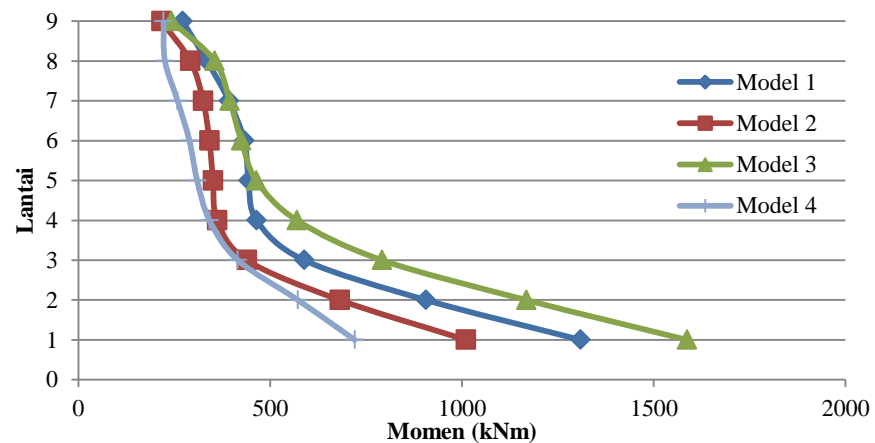
Rekapitulasi momen kolom *joint F* pada tabel-tabel berikut.

Tabel 5.97 Rekapitulasi Momen Kolom *Joint F* M2

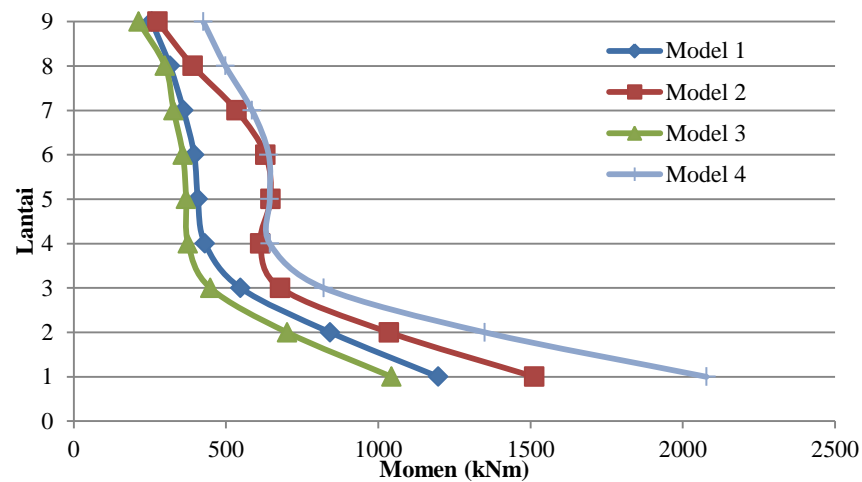
Lantai	Kolom <i>Joint F</i> M2 (kNm)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	271,24454	216,34876	242,70136	221,9022
8	335,01641	291,98484	355,46829	225,40928
7	392,22931	325,04062	394,23545	258,46015
6	432,29629	341,29873	424,53854	289,20076
5	443,56013	350,81541	463,81974	309,46037
4	464,55942	361,82125	569,65787	341,65189
3	588,55684	439,16231	791,43647	415,51334
2	905,95939	681,04159	1167,648	572,1143
1	1308,8119	1010,4388	1586,8666	720,25903

Tabel 5.98 Rekapitulasi Momen Kolom *Joint F* M3

Lantai	Kolom <i>Joint F</i> M3 (kNm)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	255,66135	275,19208	212,56014	425,10752
8	315,8251	391,05113	299,7936	497,96345
7	360,31345	534,63323	327,7727	585,61089
6	395,57255	629,80004	358,48683	640,17117
5	407,38576	646,06502	369,04926	643,53208
4	431,09751	612,76694	375,32079	643,75771
3	547,82572	678,23593	448,32681	820,72226
2	842,14534	1035,1149	700,42615	1349,9217
1	1197,3694	1512,4057	1044,0086	2077,7992



Gambar 5.71 Grafik Momen Kolom *Joint F* M2



Gambar 5.72 Grafik Momen Kolom Joint F M3

Momen terbesar pada kolom *joint* F terjadi pada gedung model 3 untuk M2 dan model 4 untuk M3.

i. *Joint* G

Rekapitulasi momen kolom *joint* G pada tabel-tabel berikut.

Tabel 5.99 Rekapitulasi Momen Kolom Joint G M2

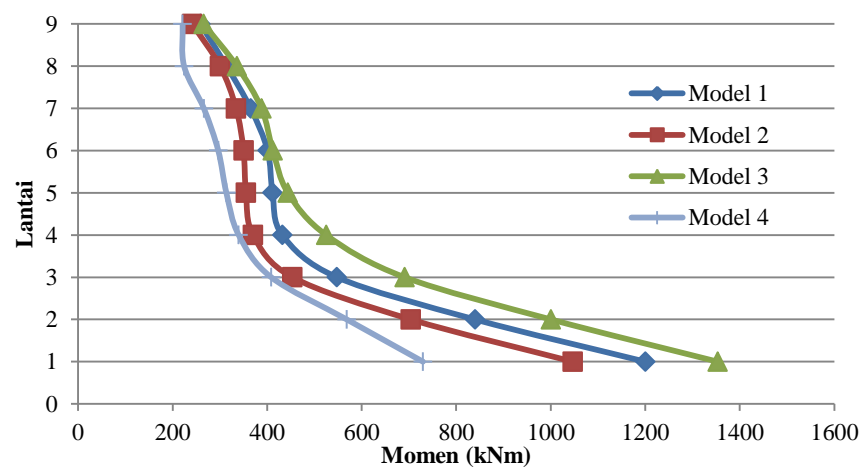
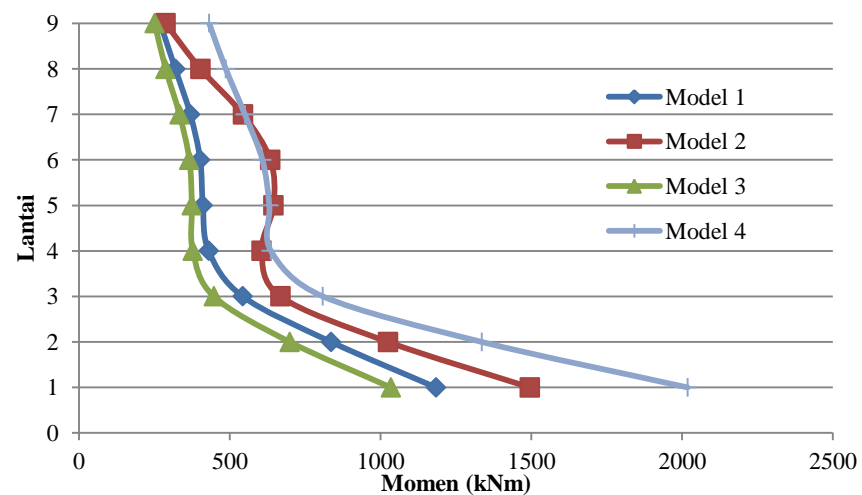
Lantai	Kolom Joint G M2 (kNm)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	258,71619	241,5791	265,55964	221,22923
8	314,21332	300,3616	336,03763	224,25366
7	365,05757	334,32284	388,0993	266,06878
6	400,9965	350,01982	412,04747	296,5563
5	411,36175	355,09159	443,77889	313,71693
4	432,08537	370,21469	524,82421	339,78014
3	547,64423	453,46921	690,80745	408,52764
2	839,92926	703,95579	1000,5503	568,5513
1	1200,0593	1046,6534	1353,0756	729,67565

Tabel 5.100 Rekapitulasi Momen Kolom Joint G M3

Lantai	Kolom Joint G M3 (kNm)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	269,00492	286,45789	250,7387	431,62921
8	319,40477	402,90357	287,34275	486,62799
7	369,11106	543,34255	333,13877	549,90936

Lanjutan Tabel 5.100 Rekapitulasi Momen Kolom *Joint G M3*

Lantai	Kolom <i>Joint G M3</i> (kNm)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
6	401,86076	634,60498	365,98265	608,03263
5	410,49651	645,25864	374,25641	631,0567
4	430,03607	605,89111	377,29358	636,36195
3	542,63623	667,60582	446,82588	808,66184
2	836,05823	1024,6476	698,63779	1335,4951
1	1183,9159	1495,5286	1034,0024	2018,3967

Gambar 5.73 Grafik Momen Kolom *Joint G M2*Gambar 5.74 Grafik Momen Kolom *Joint G M3*

Momen terbesar pada kolom *joint F* terjadi pada gedung model 3 untuk M2 dan model 4 untuk M3.

j. *Joint H*

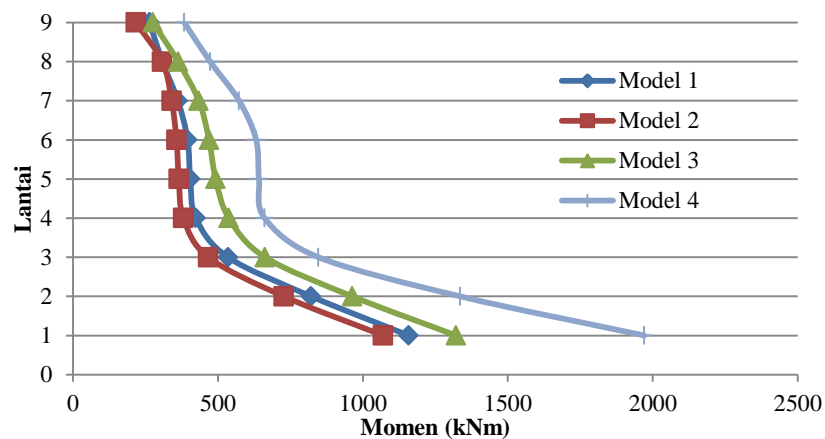
Rekapitulasi momen kolom *joint H* pada tabel-tabel berikut.

Tabel 5.101 Rekapitulasi Momen Kolom *Joint H* M2

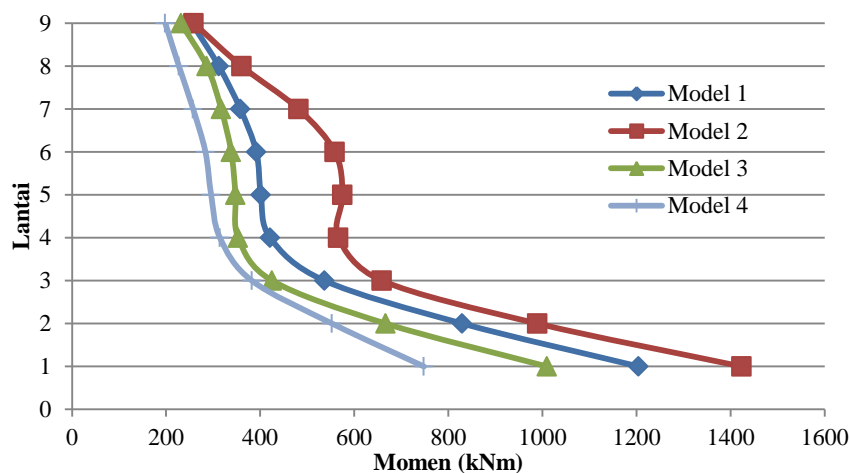
Lantai	Kolom <i>Joint H</i> M2 (kNm)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	264,19017	216,85397	275,44224	383,67597
8	308,18311	308,01046	362,37748	473,02839
7	361,80653	340,43349	433,84921	572,95109
6	395,24588	356,84071	469,29078	631,609
5	404,35545	364,7564	491,9509	641,26793
4	423,69488	380,71825	537,48009	660,95267
3	534,49	466,67445	662,35943	846,69718
2	821,37659	726,82977	963,29786	1335,9905
1	1157,8674	1069,7962	1321,408	1970,7172

Tabel 5.102 Rekapitulasi Momen Kolom *Joint H* M3

Lantai	Kolom <i>Joint H</i> M3 (kNm)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	254,87263	258,82115	231,68866	198,25127
8	312,04139	360,43706	286,71785	227,20254
7	357,82269	481,48167	317,14259	257,42912
6	391,89969	558,80213	338,36946	283,57963
5	401,28296	575,02002	347,49963	295,70381
4	421,27083	566,22437	353,33756	314,39775
3	536,61877	658,91318	425,3253	382,18485
2	829,76217	989,49154	666,50415	552,82097
1	1204,6984	1423,4261	1009,7874	748,10177



Gambar 5.75 Grafik Momen Kolom *Joint H* M2



Gambar 5.76 Grafik Momen Kolom *Joint H M3*

Momen terbesar pada kolom *joint F* terjadi pada gedung model 4 untuk M2 dan model 2 untuk M3.

Dari semua hasil rekapitulasi momen kolom dari program analisis ETABS V.13, momen terbesar dominan terjadi pada gedung model 2 dan model 3 di lantai 1 dari semua titik kolom yang ditinjau. Hal tersebut disebabkan karena gedung model 2 dan model 3 berpotensi terjadi torsi akibat memiliki nilai simpangan bangunan dan simpangan antar lantai yang besar. Gedung model 4 dominan memiliki nilai momen kolom terkecil. Semakin besar momen kolom hasil analisis struktur maka momen tersedia yang direncanakan harus lebih besar. Merencanakan momen tersedia pada kolom sangat mempengaruhi penggunaan jumlah tulangan. Semakin banyak jumlah tulangan yang digunakan maka akan semakin besar momen tersedia yang direncanakan.

5.5.2 Gaya Geser

1. Balok

a. B1

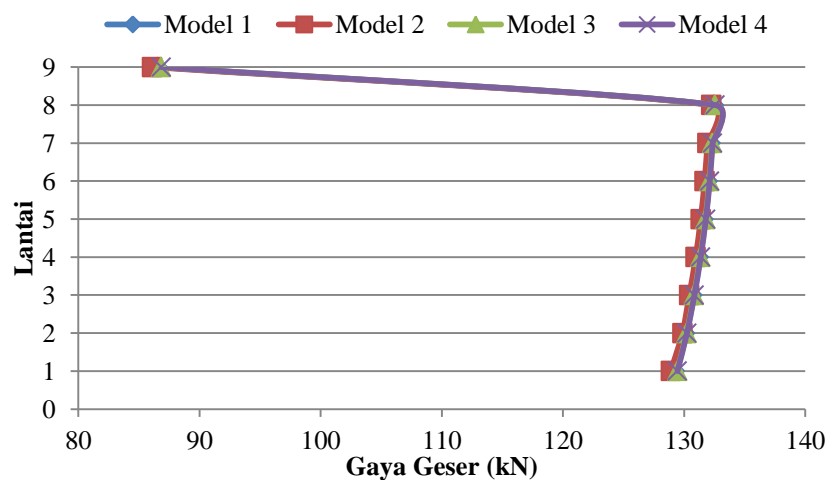
Rekapitulasi nilai gaya geser beban mati dan beban hidup balok B1 yang merupakan *output* dari program ETABS V.13 dapat dilihat pada tabel berikut.

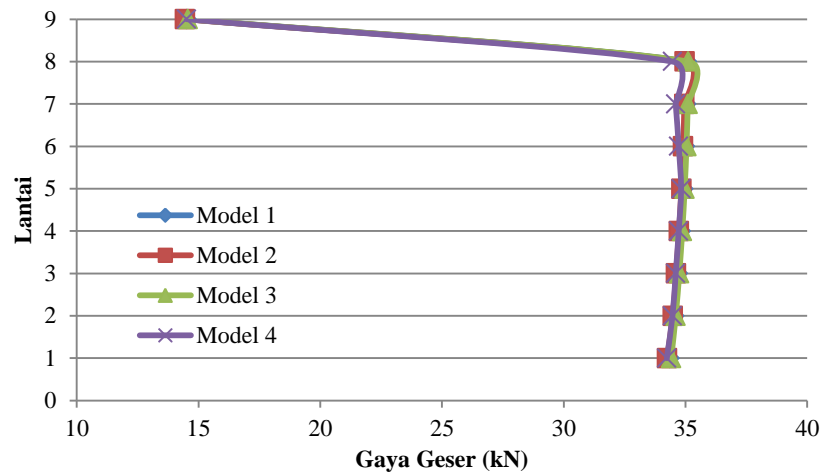
Tabel 5.103 Rekapitulasi Gaya Geser Beban Mati B1

Lantai	Gaya Geser Beban Mati Balok B1 (kN)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	86,5506	86,0835	86,8344	86,8506
8	132,44	132,2286	132,5404	132,5589
7	132,1912	131,9314	132,3208	132,3445
6	131,9428	131,6897	132,0833	132,1129
5	131,6147	131,3633	131,7546	131,7874
4	131,1957	130,9528	131,332	131,367
3	130,6691	130,4249	130,8099	130,8452
2	130,0707	129,8515	130,2006	130,2327
1	129,2207	128,8972	129,4258	129,4468

Tabel 5.104 Rekapitulasi Gaya Geser Beban Hidup B1

Lantai	Gaya Geser Beban Hidup Balok B1 (kN)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	14,512	14,444	14,5571	14,5161
8	35,0584	34,9663	35,1192	34,466
7	35,0384	34,9545	35,0933	34,5987
6	34,9871	34,9027	35,0419	34,7234
5	34,9136	34,8307	34,9672	34,8201
4	34,8163	34,7348	34,8688	34,7234
3	34,6925	34,6103	34,7458	34,5987
2	34,5514	34,4768	34,5999	34,466
1	34,3447	34,2418	34,4141	34,2346

**Gambar 5.77 Grafik Gaya Geser Beban Mati Balok B1**



Gambar 5.78 Grafik Gaya Geser Beban Hidup Balok B1

Gaya geser beban mati dan beban hidup pada balok B1 memiliki nilai selisih yang kecil antar model gedung.

b. B2

Rekapitulasi nilai gaya geser beban mati dan beban hidup balok B2 yang merupakan *output* dari program ETABS V.13 dapat dilihat pada berikut.

Tabel 5.105 Rekapitulasi Gaya Geser Beban Mati Balok B2

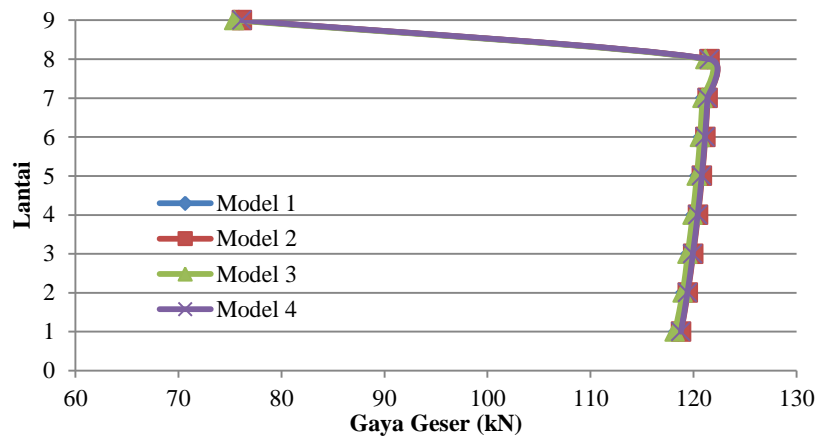
Lantai	Gaya Geser Beban Mati Balok B2 (kN)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	75,882	76,1642	75,4361	76,1863
8	121,3929	121,5625	121,1569	121,5407
7	121,1628	121,377	120,8653	121,348
6	120,9359	121,1469	120,6466	121,1139
5	120,6123	120,8309	120,3144	120,7945
4	120,2176	120,4385	119,9174	120,4
3	119,7442	119,9698	119,4343	119,9314
2	119,2366	119,443	118,9484	119,4085
1	118,5541	118,8022	118,1914	118,7793

Tabel 5.106 Rekapitulasi Gaya Geser Beban Hidup B2

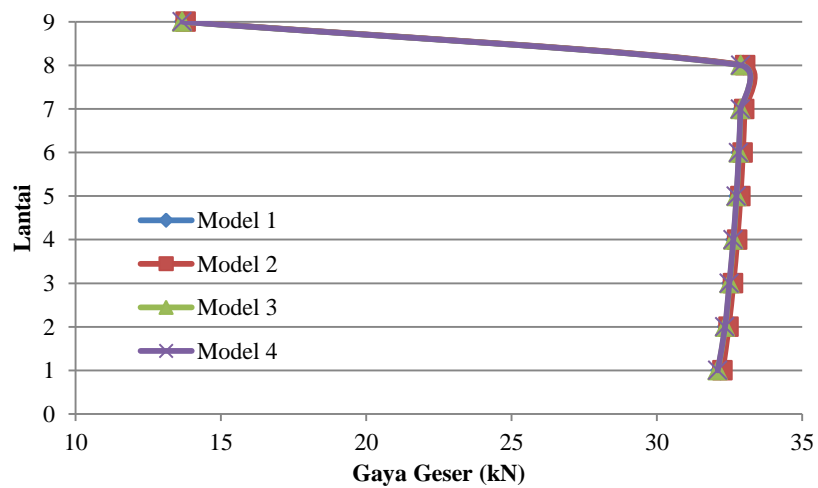
Lantai	Gaya Geser Beban Hidup Balok B2 (kN)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	13,7457	13,7912	13,6754	13,6753
8	32,9851	33,0447	32,8937	32,8914
7	32,9617	33,015	32,8791	32,8738
6	32,9053	32,9581	32,8229	32,8164

Lanjutan Tabel 5.106 Rekapitulasi Gaya Geser Beban Hidup B2

Lantai	Gaya Geser Beban Hidup Balok B2 (kN)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
5	32,8241	32,8754	32,7436	32,736
4	32,7165	32,7665	32,6381	32,6295
3	32,58	32,6306	32,5015	32,4923
2	32,4234	32,4692	32,3528	32,3437
1	32,199	32,2658	32,1002	32,0938



Gambar 5.79 Grafik Gaya Geser Beban Mati Balok B2



Gambar 5.80 Grafik Gaya Geser Beban Hidup Balok B2

Gaya geser beban mati dan beban hidup pada balok B2 memiliki nilai selisih yang kecil antar model gedung.

c. Ba1

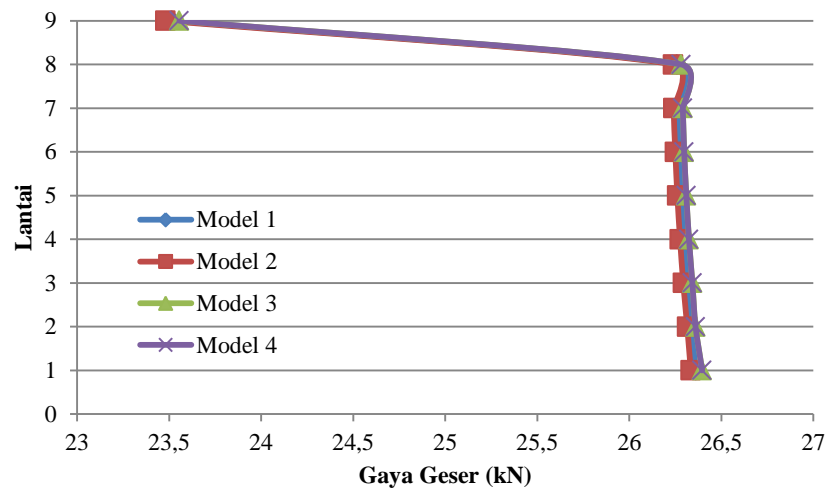
Rekapitulasi nilai gaya geser daerah tumpuan balok Ba1 yang merupakan *output* dari program ETABS V.13 dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5.107 Rekapitulasi Gaya Geser Beban Mati Ba1

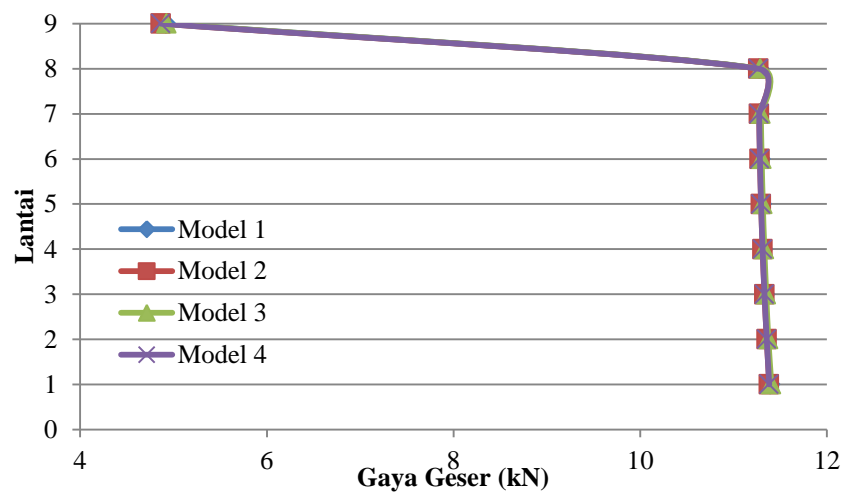
Lantai	Gaya Geser Beban Mati Balok Ba1 (kN)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	23,5159	23,4798	23,5556	23,5557
8	26,2593	26,2389	26,2816	26,2816
7	26,2649	26,241	26,291	26,2909
6	26,2731	26,2501	26,2984	26,2982
5	26,2845	26,2612	26,3102	26,31
4	26,299	26,2759	26,3245	26,3243
3	26,3167	26,2931	26,343	26,3427
2	26,3363	26,3148	26,3605	26,3602
1	26,3632	26,3342	26,3962	26,396

Tabel 5.108 Rekapitulasi Gaya Geser Beban Hidup Ba1

Lantai	Gaya Geser Beban Hidup Balok Ba1 (kN)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	4,9202	4,8663	4,9263	4,8663
8	11,277	11,2677	11,2878	11,2677
7	11,2819	11,2734	11,2917	11,2734
6	11,2905	11,2818	11,3006	11,2819
5	11,3029	11,2943	11,3129	11,2943
4	11,3191	11,3105	11,3291	11,3105
3	11,3392	11,3304	11,3494	11,3305
2	11,3628	11,3548	11,3721	11,3548
1	11,3922	11,3812	11,4048	11,3813



Gambar 5.81 Grafik Gaya Geser Beban Mati Balok Ba1



Gambar 5.82 Grafik Gaya Geser Beban Hidup Balok Ba1

Gaya geser beban mati dan beban hidup pada balok Ba1 memiliki nilai selisih yang kecil antar model gedung.

Dari semua hasil rekapitulasi gaya geser pada balok, nilai gaya geser beban mati maupun beban hidup memiliki selisih yang kecil atau dapat dikatakan nilainya mendekati sama pada antar model gedung.

2. Kolom

a. Kolom Tengah

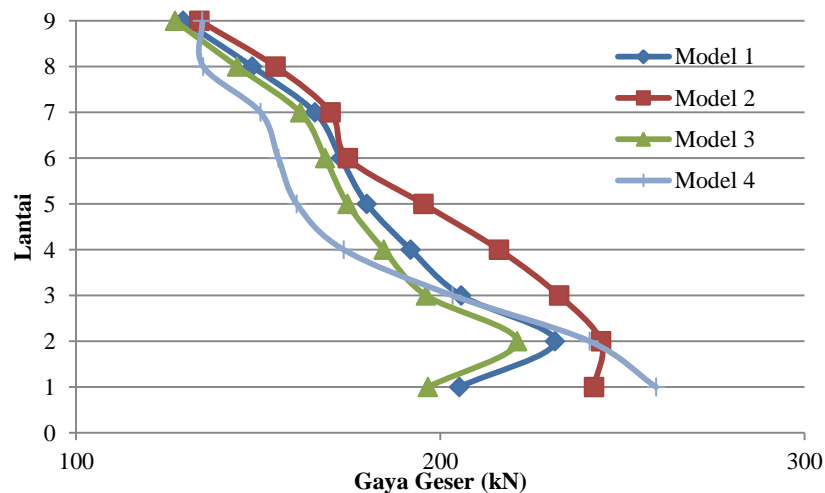
Rekapitulasi nilai gaya geser kolom tengah yang merupakan *output* dari program analisis ETABS V.13 dapat dilihat tabel berikut.

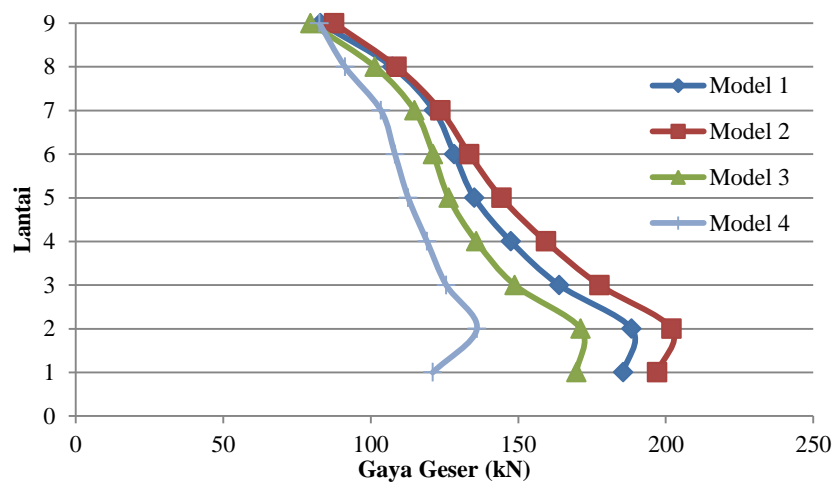
Tabel 5.109 Rekapitulasi Gaya Geser (V2) Kolom Tengah

Lantai	V2 Kolom Tengah (kN)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	129,3998	133,879	127,1229	134,6354
8	148,3233	154,7635	144,1913	134,914
7	165,5712	169,8896	161,5354	150,6276
6	172,6737	174,5876	168,3877	155,5317
5	179,8408	195,3387	174,5209	160,5956
4	191,8708	216,1388	184,4692	173,4594
3	205,7137	232,6226	196,0911	203,3564
2	231,4866	244,1503	221,1027	241,0239
1	205,2272	242,1893	196,6061	259,24

Tabel 5.110 Rekapitulasi Gaya Geser (V3) Kolom Tengah

Lantai	V3 Kolom Tengah (kN)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	145,8011	144,0206	144,6926	149,9243
8	160,0345	156,8462	153,7158	163,3326
7	178,4439	175,958	171,931	168,0728
6	185,0343	183,2282	183,1635	172,1047
5	192,175	190,0786	194,3479	177,097
4	204,254	200,4605	209,0501	183,7403
3	217,8046	211,7685	233,1327	203,8812
2	244,3632	237,8562	250,3041	225,9998
1	211,1014	206,628	247,2561	236,0276

**Gambar 5.83 Grafik Gaya Geser (V2) Kolom Tengah**



Gambar 5.84 Grafik Gaya Geser (V3) Kolom Tengah

Gaya geser terbesar di kolom tengah terjadi pada gedung model 2 untuk V2 dan model 2 untuk V3.

b. Kolom Tepi

Rekapitulasi nilai gaya geser kolom tepi yang merupakan *output* dari program analisis ETABS V.13 dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5.111 Rekapitulasi Gaya Geser (V2) Kolom Tepi

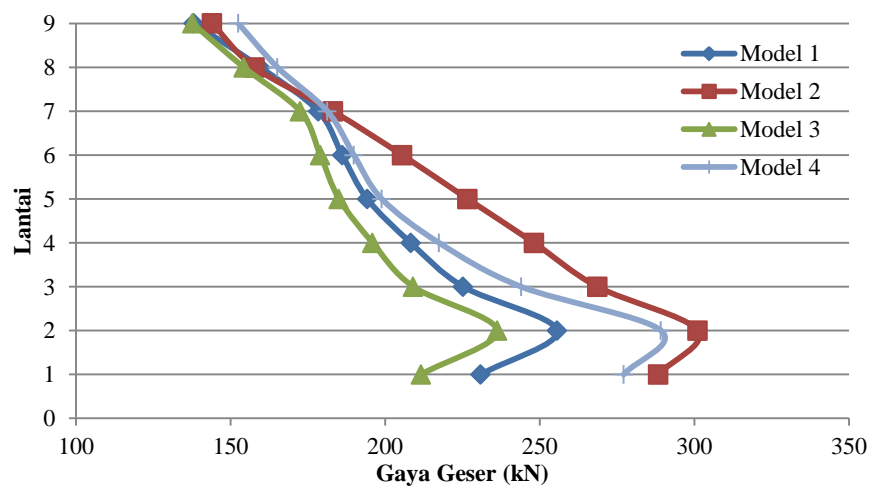
Lantai	V2 Kolom Tepi (kN)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	138,1621	144,0412	137,6745	152,5161
8	159,6548	157,7497	154,2838	165,1631
7	178,3595	183,1144	172,5177	181,3016
6	186,1153	205,5391	179,008	189,8726
5	194,2027	226,6875	185,0774	198,9203
4	208,2791	248,1685	195,943	217,4465
3	225,2415	268,6527	209,0972	243,9904
2	255,6045	301,0522	236,2454	289,2351
1	230,8891	288,3493	211,5831	277,1335

Tabel 5.112 Rekapitulasi Gaya Geser (V3) Kolom Tepi

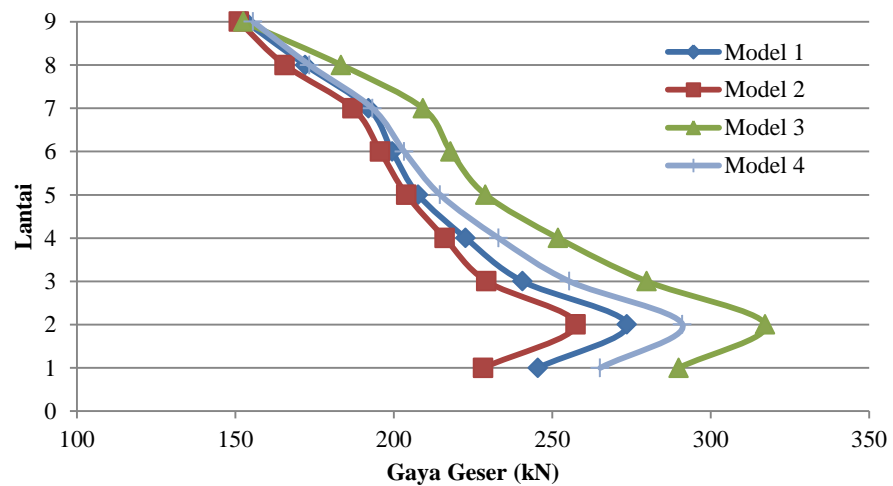
Lantai	V3 Kolom Tepi (kN)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	153,2714	151,1466	152,5112	155,6396
8	172,0184	165,6065	183,3999	173,3437
7	192,0082	187,0473	209,209	193,2492

Lanjutan Tabel 5.112 Rekapitulasi Gaya Geser (V3) Kolom Tepi

Lantai	V3 Kolom Tepi (kN)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
6	199,5138	195,7281	217,9547	203,2818
5	207,6885	203,9891	228,9585	214,6094
4	222,6762	216,08	251,8149	233,0287
3	240,604	229,2646	279,8401	255,4151
2	273,6107	257,4448	317,2201	291,0892
1	245,457	228,2238	289,9306	265,128



Gambar 5.85 Grafik Gaya Geser (V2) Kolom Tepi



Gambar 5.86 Grafik Gaya Geser (V3) Kolom Tepi

Gaya geser terbesar di kolom tepi terjadi pada gedung model 2 untuk V2 dan model 3 untuk V3.

c. Kolom *Joint A*

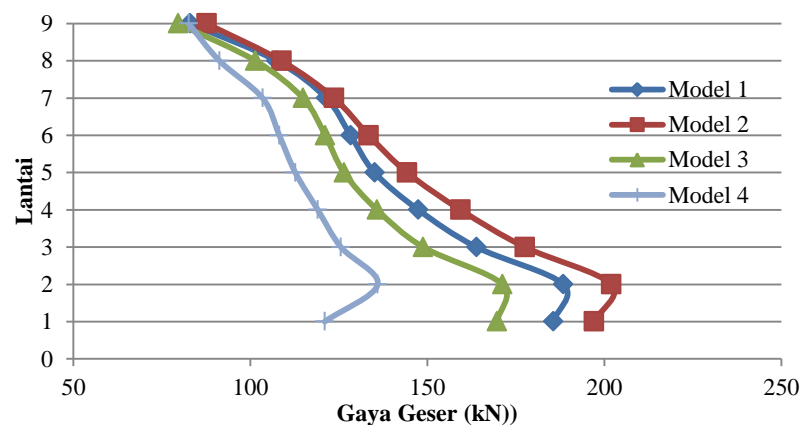
Rekapitulasi nilai gaya geser kolom *joint A* yang merupakan *output* dari program analisis ETABS V.13 dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5.113 Rekapitulasi Gaya Geser (V2) Kolom *Joint A*

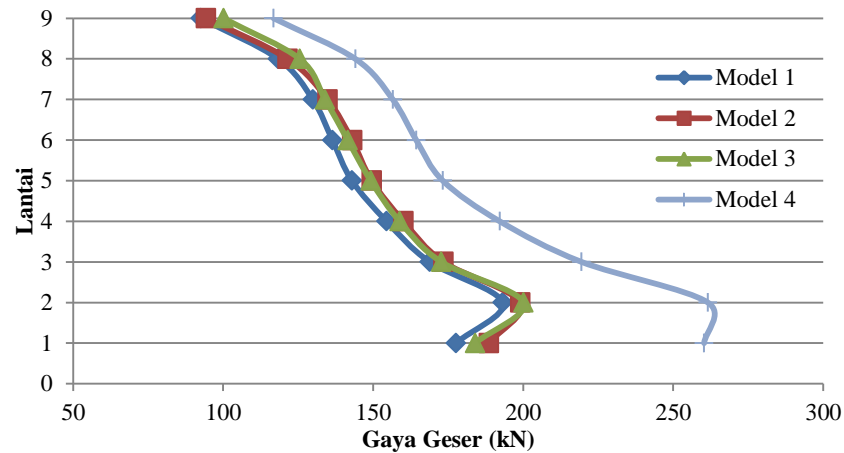
Lantai	V2 Kolom <i>Joint A</i> (kN)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	82,93963	87,62096	79,57676	82,55802
8	107,3587	108,7841	101,4334	91,28009
7	121,4046	123,6315	114,8545	103,4621
6	128,3207	133,4248	121,1653	108,1906
5	135,1033	144,2992	126,4401	112,7051
4	147,4757	159,3713	135,8047	119,0748
3	163,8662	177,5394	148,8197	125,5847
2	188,4315	201,9555	171,1845	135,9725
1	185,5787	197,1113	169,7032	121,0024

Tabel 5.114 Rekapitulasi Gaya Geser (V3) Kolom *Joint A*

Lantai	V3 Kolom <i>Joint A</i> (kN)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	92,57697	94,28391	100,0767	116,7949
8	118,3066	121,4498	125,5435	144,05
7	129,8805	134,8228	133,9869	156,547
6	136,4326	142,9729	141,4985	164,3538
5	142,915	149,5005	149,1817	173,1926
4	154,4634	160,0835	158,8102	192,175
3	168,8134	173,3878	172,6737	219,4222
2	193,1354	198,9605	200,071	261,5375
1	177,5914	188,5619	183,9718	260,2907



Gambar 5.87 Grafik Gaya Geser (V2) Kolom *Joint A*



Gambar 5.88 Grafik Gaya Geser (V3) Kolom *Joint A*

Gaya geser terbesar di kolom *joint A* terjadi pada gedung model 2 untuk V2 dan model 4 untuk V3.

d. Kolom *Joint B*

Rekapitulasi nilai gaya geser kolom *Joint B* yang merupakan *output* dari program analisis ETABS V.13 dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5.115 Rekapitulasi Gaya Geser (V2) Kolom *Joint B*

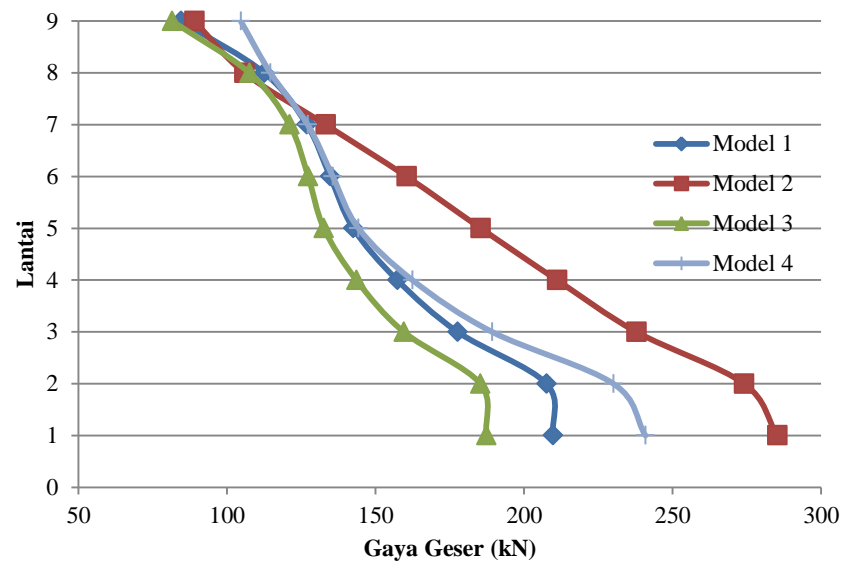
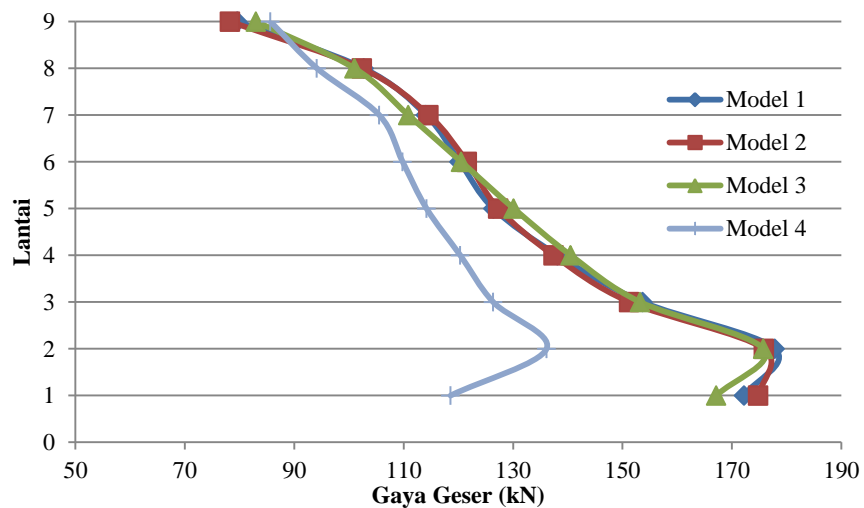
Lantai	V2 Kolom <i>Joint B</i> (kN)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	84,5416	98,548	81,49756	104,607
8	112,5099	105,847	107,5039	114,5867
7	126,8404	133,1972	121,0152	127,1513
6	134,6776	160,4269	127,3073	135,5997
5	142,4736	185,4218	132,5822	144,2453
4	157,3043	211,1073	143,5478	162,4055
3	177,6257	237,8111	159,4802	189,2369
2	207,5286	274,0786	185,2628	230,0749
1	209,7731	285,266	187,3072	240,8718

Tabel 5.116 Rekapitulasi Gaya Geser (V3) Kolom *Joint B*

Lantai	V3 Kolom <i>Joint B</i> (kN)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	79,64052	78,27007	83,02399	85,64522
8	102,7146	102,3556	101,0067	94,15736
7	114,0942	114,5671	110,8452	105,5438
6	120,2372	121,5694	120,5325	109,8131

Lanjutan Tabel 5.116 Rekapitulasi Gaya Geser (V3) Kolom *Joint B*

Lantai	V3 Kolom <i>Joint B</i> (kN)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
5	126,4087	127,3073	130,1385	114,1835
4	138,1542	137,3979	140,539	120,3442
3	153,6854	151,2584	153,2302	126,3577
2	177,8386	175,8599	175,7285	136,1128
1	172,2312	174,8122	167,1614	118,5646

Gambar 5.89 Grafik Gaya Geser (V2) Kolom *Joint B*Gambar 5.90 Grafik Gaya Geser (V3) Kolom *Joint B*

Gaya geser terbesar di kolom *joint* B terjadi pada gedung model 2 untuk V2 dan untuk V3 gaya geser kolom gedung model 1, model 2, model 3 tidak jauh berbeda. Gedung model 4 memiliki nilai gaya geser kolom terkecil.

e. Kolom *Joint* C

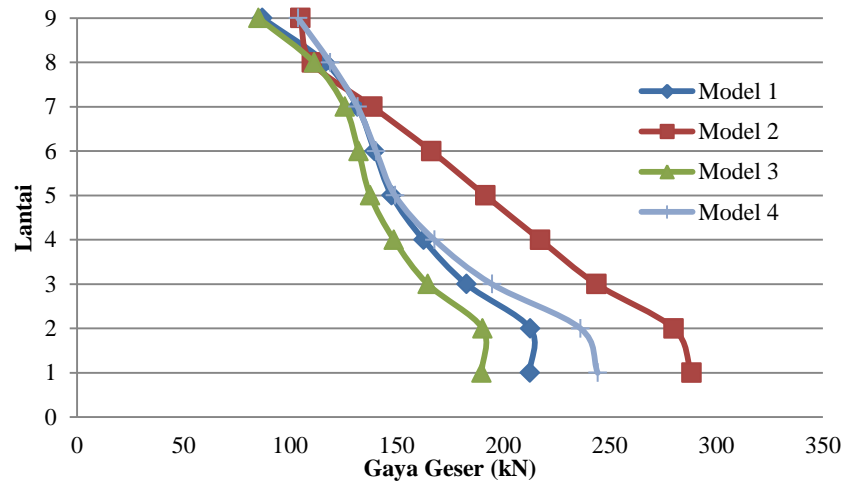
Rekapitulasi nilai gaya geser kolom *joint* C yang merupakan *output* dari program analisis ETABS V.13 dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5.117 Rekapitulasi Gaya Geser (V2) Kolom *Joint* C

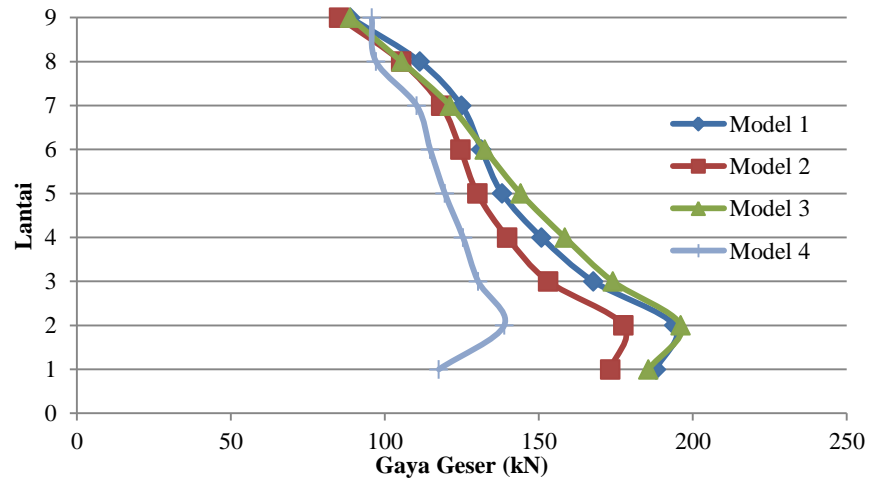
Lantai	V2 Kolom <i>Joint</i> C (kN)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	86,98331	104,8532	85,22928	103,7927
8	116,4457	110,2281	111,2464	118,8079
7	131,6443	138,6977	125,7436	131,66
6	139,6718	166,3276	132,1123	140,387
5	147,7052	191,6099	137,6	149,2444
4	162,6478	217,3935	148,753	167,7167
3	182,7956	243,8128	164,6373	194,7805
2	212,72	280,0196	190,3424	236,3288
1	212,4817	288,3493	189,8932	244,3602

Tabel 5.118 Rekapitulasi Gaya Geser (V3) Kolom *Joint* C

Lantai	V3 Kolom <i>Joint</i> C (kN)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	88,73832	78,27007	83,02399	85,64522
8	105,3829	102,3556	101,0067	94,15736
7	121,1133	114,5671	110,8452	105,5438
6	132,4546	121,5694	120,5325	109,8131
5	144,0599	127,3073	130,1385	114,1835
4	158,4246	137,3979	140,539	120,3442
3	174,0147	151,2584	153,2302	126,3577
2	196,1088	175,8599	175,7285	136,1128
1	185,5964	174,8122	167,1614	118,5646



Gambar 5.91 Grafik Gaya Geser (V2) Kolom *Joint C*



Gambar 5.92 Grafik Gaya Geser (V3) Kolom *Joint C*

Gaya geser terbesar di kolom *joint B* terjadi pada kolom gedung model 2 untuk V2 dan untuk V3 gaya geser kolom gedung model 1, model 2, model 3 tidak jauh berbeda. Kolom gedung model 4 memiliki nilai gaya geser terkecil.

f. Kolom *Joint D*

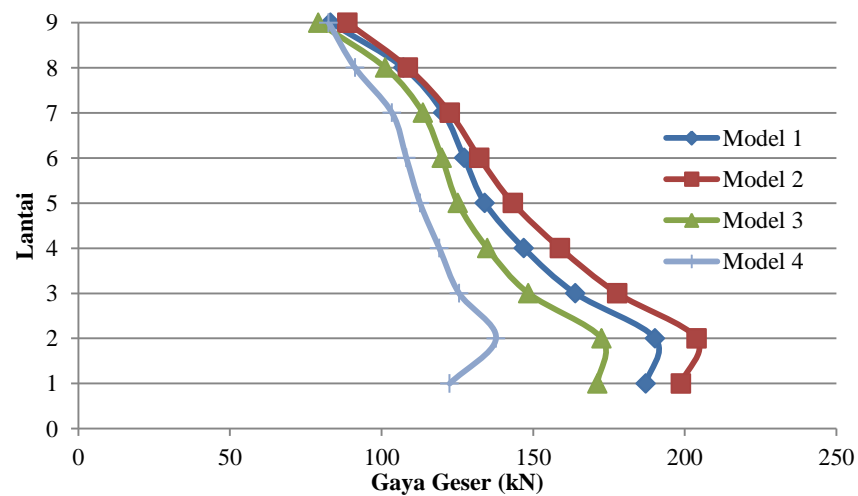
Rekapitulasi nilai gaya geser kolom *joint D* yang merupakan *output* dari program analisis ETABS V.13 dapat dilihat pada tabel berikut.

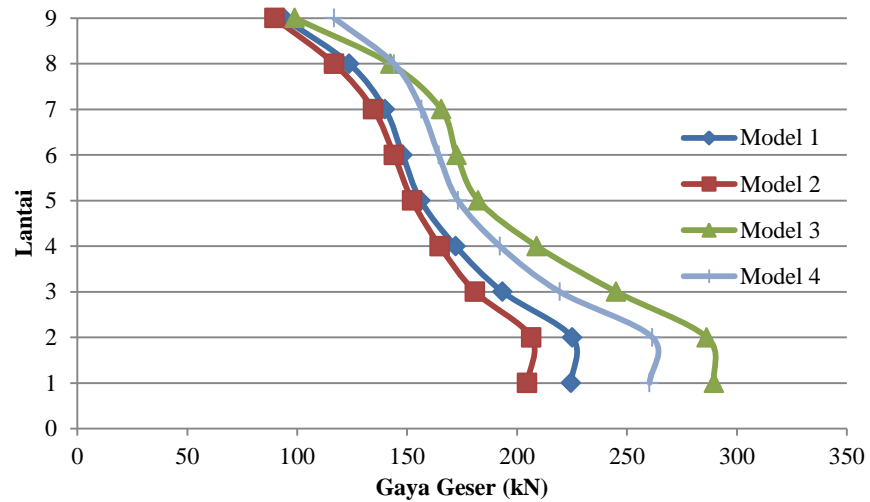
Tabel 5.119 Rekapitulasi Gaya Geser (V2) Kolom *Joint D*

Lantai	V2 Kolom <i>Joint D</i> (kN)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	83,21333	88,73145	79,20104	82,55802
8	107,289	108,6977	101,2608	91,28009
7	120,3481	122,5406	113,6734	103,4621
6	127,2769	132,3035	119,9184	108,1906
5	134,1056	143,3025	125,1432	112,7051
4	146,9155	158,9004	134,8659	119,0748
3	163,9153	177,768	148,4488	125,5847
2	190,2551	203,9038	172,6001	137,7579
1	187,2062	198,7604	171,1649	122,4769

Tabel 5.120 Rekapitulasi Gaya Geser (V3) Kolom *Joint D*

Lantai	V3 Kolom <i>Joint D</i> (kN)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	83,21333	88,73145	79,20104	82,55802
8	107,289	108,6977	101,2608	91,28009
7	120,3481	122,5406	113,6734	103,4621
6	127,2769	132,3035	119,9184	108,1906
5	134,1056	143,3025	125,1432	112,7051
4	146,9155	158,9004	134,8659	119,0748
3	163,9153	177,768	148,4488	125,5847
2	190,2551	203,9038	172,6001	137,7579
1	187,2062	198,7604	171,1649	122,4769

**Gambar 5.93 Grafik Gaya Geser (V2) Kolom *Joint D***



Gambar 5.94 Grafik Gaya Geser (V3) Kolom *Joint D*

Gaya geser terbesar di kolom *joint D* terjadi pada kolom gedung model 2 untuk V2 dan model 3 untuk V3.

g. Kolom *Joint E*

Rekapitulasi nilai gaya geser kolom *joint E* yang merupakan *output* dari program analisis ETABS V.13 dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5.121 Rekapitulasi Gaya Geser (V2) Kolom *Joint E*

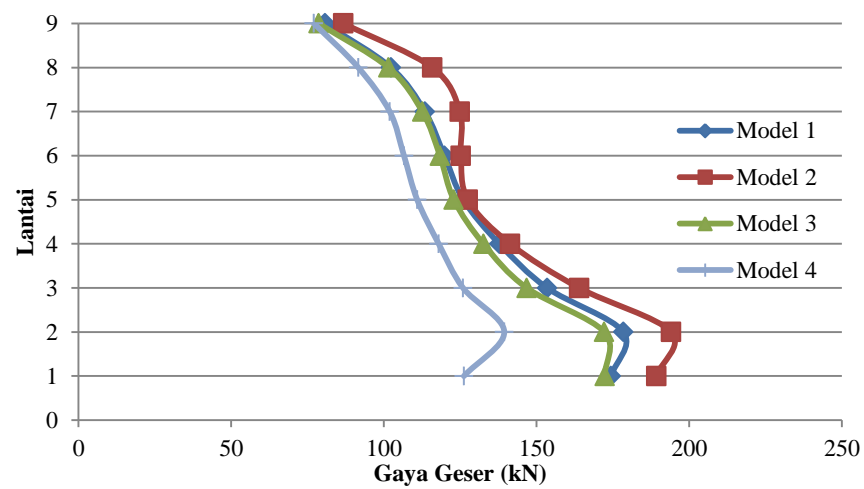
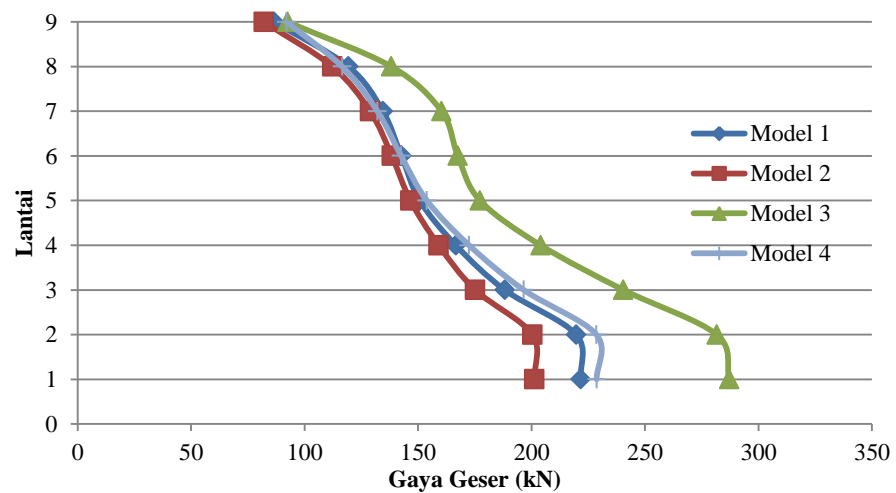
Lantai	V2 Kolom <i>Joint E</i> (kN)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	80,68136	86,75375	78,61832	77,09875
8	102,3016	115,861	101,457	91,60382
7	113,4419	124,8793	112,5982	101,9249
6	119,8282	125,1776	118,3459	106,5758
5	126,0124	127,4937	122,9075	110,9011
4	137,8217	141,3395	132,5871	117,9594
3	153,4637	163,9329	146,7811	125,9163
2	178,4056	194,0712	172,1802	139,4207
1	174,3894	189,1947	172,3234	126,1958

Tabel 5.122 Rekapitulasi Gaya Geser (V3) Kolom *Joint E*

Lantai	V3 Kolom <i>Joint E</i> (kN)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	86,58502	82,05575	92,39941	92,06489
8	119,3141	112,2068	138,218	116,5379
7	134,498	128,873	160,3533	132,0985

Lanjutan Tabel 5.122 Rekapitulasi Gaya Geser (V3) Kolom *Joint E*

Lantai	V3 Kolom <i>Joint E</i> (kN)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
6	142,6394	138,4515	167,5136	142,5373
5	150,7444	146,6134	177,2922	153,8865
4	166,6513	159,0907	203,9813	172,4716
3	188,1941	175,184	240,4863	196,563
2	219,6734	200,383	281,5745	228,5504
1	221,6952	201,2796	287,1927	228,677

Gambar 5.95 Grafik Gaya Geser (V2) Kolom *Joint E*Gambar 5.96 Grafik Gaya Geser (V3) Kolom *Joint E*

Gaya geser terbesar di kolom *joint E* terjadi pada kolom gedung model 2 untuk V2 dan model 3 untuk V3.

h. Kolom *Joint F*

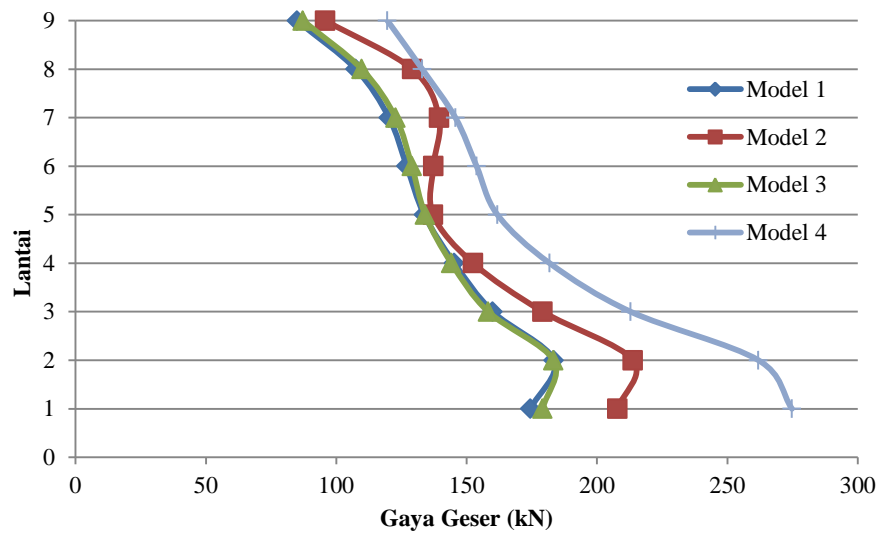
Rekapitulasi nilai gaya geser kolom *joint F* yang merupakan *output* dari program analisis ETABS V.13 dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5.123 Rekapitulasi Gaya Geser (V2) Kolom *Joint F*

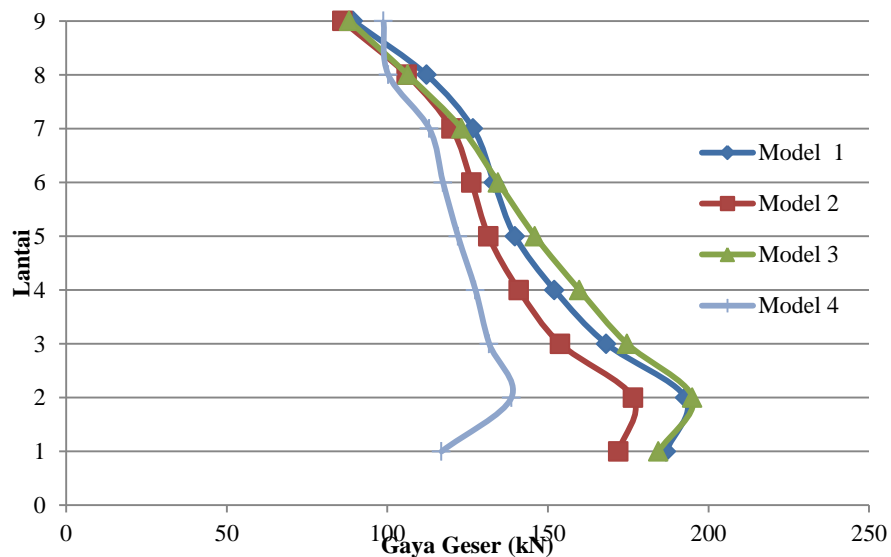
Lantai	V2 Kolom <i>Joint F</i> (kN)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	84,94479	95,81819	87,20207	119,6241
8	107,5088	129,1398	109,7886	132,9726
7	120,2304	139,4482	122,7996	145,702
6	127,0277	137,2772	129,0074	153,8031
5	133,7103	137,131	134,1194	161,811
4	145,3145	152,4749	144,1707	181,8539
3	159,9952	179,2022	158,2902	212,928
2	183,4676	213,7648	183,3312	261,9339
1	174,461	207,8916	179,1257	274,7722

Tabel 5.124 Rekapitulasi Gaya Geser (V3) Kolom *Joint F*

Lantai	V3 Kolom <i>Joint F</i> (kN)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	89,35537	86,04057	88,187	98,805
8	112,2244	106,0775	106,3414	100,2896
7	126,7118	120,044	123,1332	113,075
6	133,1727	126,2184	134,5059	117,3247
5	139,7376	131,505	145,9865	122,0011
4	152,0707	140,9452	159,8137	127,4437
3	168,2013	153,8218	174,6455	131,7218
2	192,8008	176,5025	195,0346	138,6261
1	186,8001	171,9997	184,4211	116,8773



Gambar 5.97 Grafik Gaya Geser (V2) Kolom *Joint* F



Gambar 5.98 Grafik Gaya Geser (V3) Kolom *Joint* F

Gaya geser terbesar di kolom *joint* F terjadi pada kolom gedung model 4 untuk V2 dan model 3 untuk V3.

i. Kolom *Joint* G

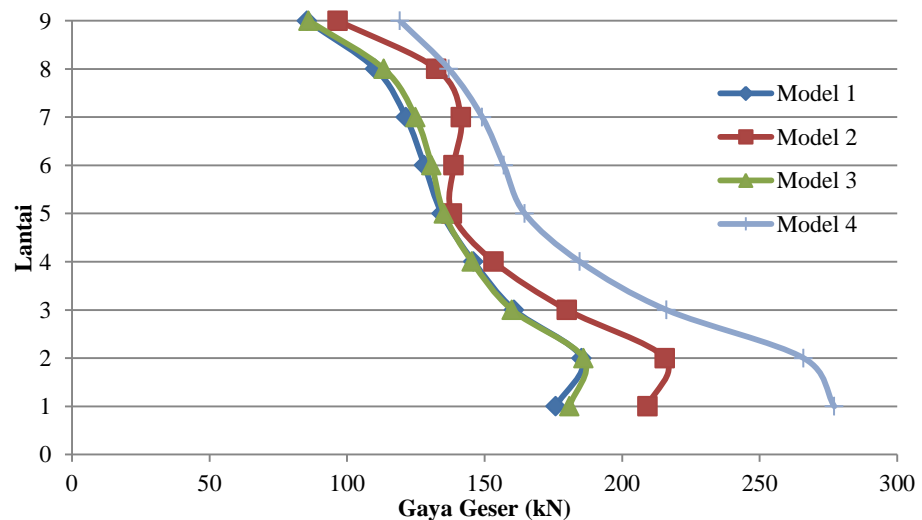
Rekapitulasi nilai gaya geser kolom *joint* G yang merupakan *output* dari program analisis ETABS V.13 dapat dilihat pada tabel berikut.

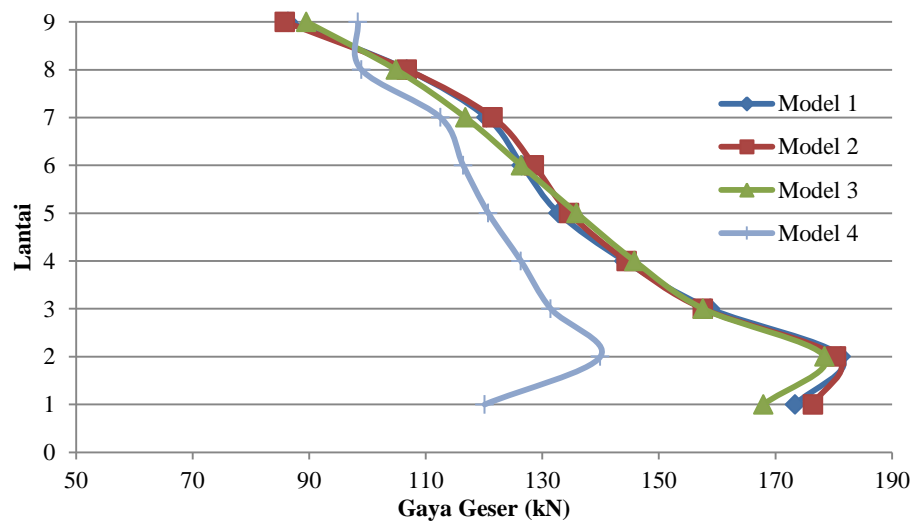
Tabel 5.125 Rekapitulasi Gaya Geser (V2) Kolom *Joint G*

Lantai	V2 Kolom <i>Joint G</i> (kN)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	85,45589	96,70992	86,02585	119,1944
8	110,2938	132,5164	113,3702	137,0388
7	121,3909	141,4033	124,9235	149,1493
6	128,1039	138,8174	130,7595	156,9953
5	134,4706	138,1444	135,277	164,6285
4	146,0385	153,3342	145,4126	184,6782
3	160,8104	180,0233	159,9707	216,1771
2	185,3109	215,5306	186,0153	266,0148
1	175,8629	209,2659	180,868	277,1335

Tabel 5.126 Rekapitulasi Gaya Geser (V3) Kolom *Joint G*

Lantai	V3 Kolom <i>Joint G</i> (kN)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	86,37999	85,8532	89,55941	98,36291
8	106,7838	106,7632	104,9052	98,95739
7	120,4599	121,5233	116,8116	112,5246
6	126,5215	128,6052	126,3705	116,4192
5	132,8097	134,6481	135,896	120,7464
4	144,1364	144,4895	145,805	126,3351
3	158,8268	157,5937	157,5986	131,4628
2	181,2643	180,4314	178,4292	139,9534
1	173,3711	176,4839	167,9707	120,0989

Gambar 5.99 Grafik Gaya Geser (V2) Kolom *Joint G*



Gambar 5.100 Grafik Gaya Geser (V3) Kolom Joint G

Gaya geser terbesar di kolom *joint* G terjadi pada kolom gedung model 4 untuk V2 dan untuk V3 gaya geser kolom gedung model 1, model 2, model 3 tidak jauh berbeda. Kolom gedung model 4 memiliki nilai gaya geser terkecil.

j. Kolom *Joint* H

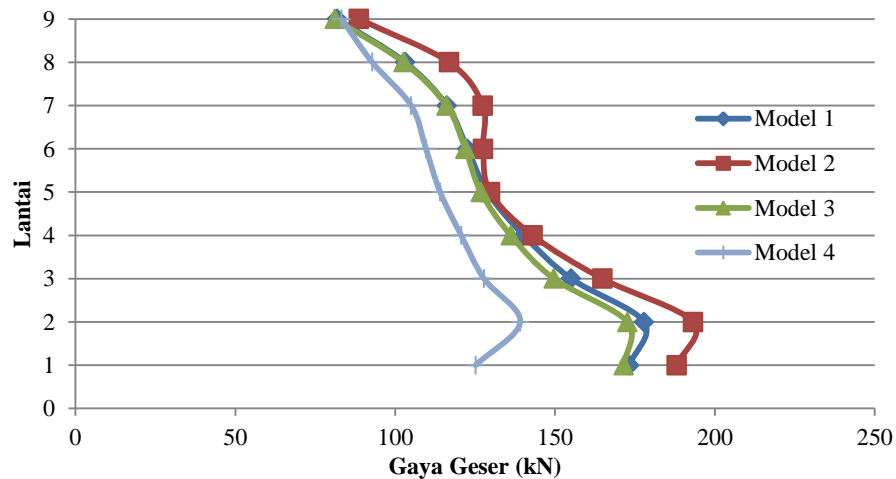
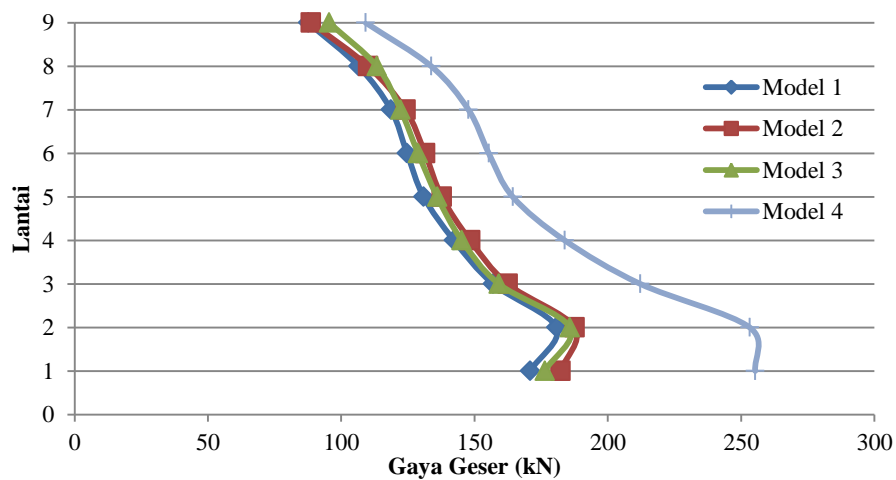
Rekapitulasi nilai gaya geser kolom *joint* H yang merupakan *output* dari program analisis ETABS V.13 dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5.127 Rekapitulasi Gaya Geser (V2) Kolom Joint H

Lantai	V2 Kolom Joint H (kN)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	81,88015	88,69123	81,17873	83,24472
8	103,1208	116,8567	102,6244	92,83595
7	116,2299	127,4084	116,0611	105,0151
6	122,623	127,5261	121,9403	109,6277
5	128,8779	129,699	126,808	114,0707
4	140,233	142,9808	136,1805	120,6728
3	155,0647	164,81	149,6398	127,789
2	177,8475	193,1461	172,6236	139,1127
1	173,2632	188,0391	171,5583	125,1687

Tabel 5.128 Rekapitulasi Gaya Geser (V3) Kolom *Joint H*

Lantai	V3 Kolom <i>Joint H</i> (kN)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	87,58957	88,61667	95,42874	109,1098
8	106,4336	110,027	113,332	133,7152
7	118,6618	124,1122	122,2051	147,716
6	124,6714	131,4167	128,8161	155,3394
5	130,8899	137,7285	135,9941	164,3204
4	142,2744	148,3547	145,1713	183,8002
3	156,9345	162,3918	159,0623	212,1295
2	180,6776	187,4985	185,7367	253,1961
1	170,8294	182,2757	176,2965	255,2778

Gambar 5.101 Grafik Gaya Geser (V2) Kolom *Joint H*Gambar 5.102 Grafik Gaya Geser (V3) Kolom *Joint H*

Gaya geser terbesar di kolom *joint* H terjadi pada kolom gedung model 4 untuk V3 dan untuk gaya geser V2 kolom gedung model 1, model 2, model 3 tidak jauh berbeda.

Dari hasil rekapitulasi gaya geser kolom dari semua *joint* yang ditinjau kolom gedung model 2 dan model 3 mendominasi memiliki nilai gaya geser terbesar arah X maupun arah Y.

5.5.3 Gaya Aksial

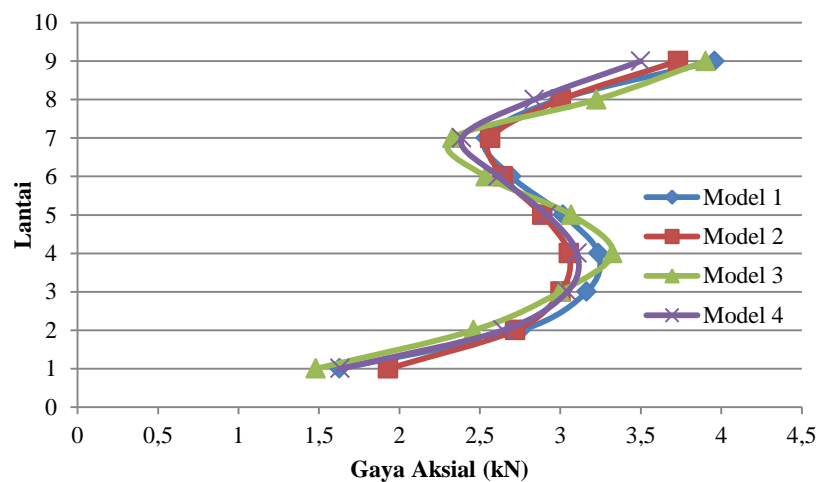
1. Balok

a. B1

Rekapitulasi nilai gaya aksial pada balok B1 yang merupakan *output* dari program analisis ETABS V.13 dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5.129 Rekapitulasi Gaya Aksial Balok B1

Lantai	Gaya Aksial B1 (kN)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	3,958335	3,731724	3,903399	3,5
8	2,990088	3,004803	3,225528	2,839014
7	2,535885	2,565315	2,329875	2,387754
6	2,694807	2,642814	2,535885	2,614365
5	3,016575	2,889045	3,067587	2,916513
4	3,2373	3,053853	3,324609	3,104865
3	3,163725	3,002841	2,998917	3,043062
2	2,754648	2,720313	2,460348	2,644776
1	1,62846	1,929627	1,48131	1,632384



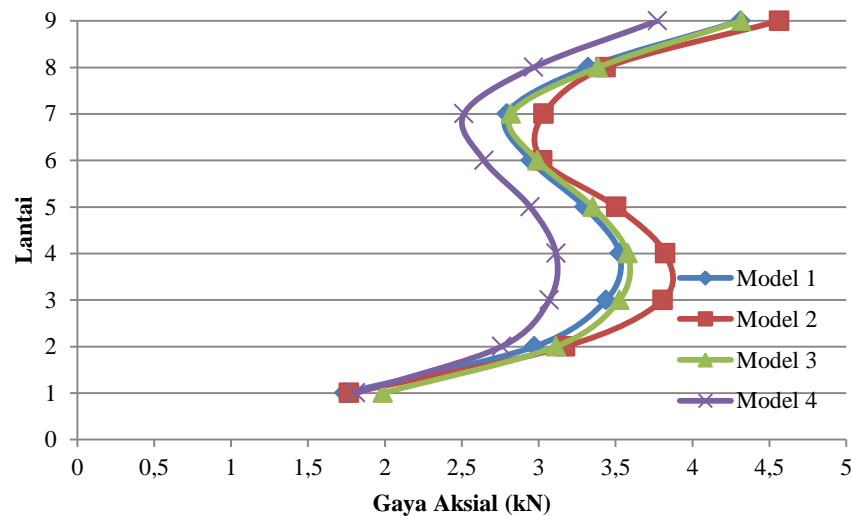
Gambar 5.103 Grafik Gaya Aksial Balok B1

b. B2

Rekapitulasi nilai gaya aksial pada balok B2 yang merupakan *output* dari program analisis ETABS V.13 dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5.130 Rekapitulasi Gaya Aksial Balok B2

Lantai	Gaya Aksial B2 (kN)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	4,312476	4,564593	4,317381	3,771945
8	3,320685	3,436443	3,385431	2,967525
7	2,791926	3,032271	2,820375	2,514303
6	2,948886	3,023442	2,99205	2,644776
5	3,299103	3,504132	3,352077	2,944962
4	3,526695	3,822957	3,578688	3,112713
3	3,438405	3,805299	3,524733	3,068568
2	2,97243	3,170592	3,112713	2,758572
1	1,738332	1,766781	1,986525	1,810926



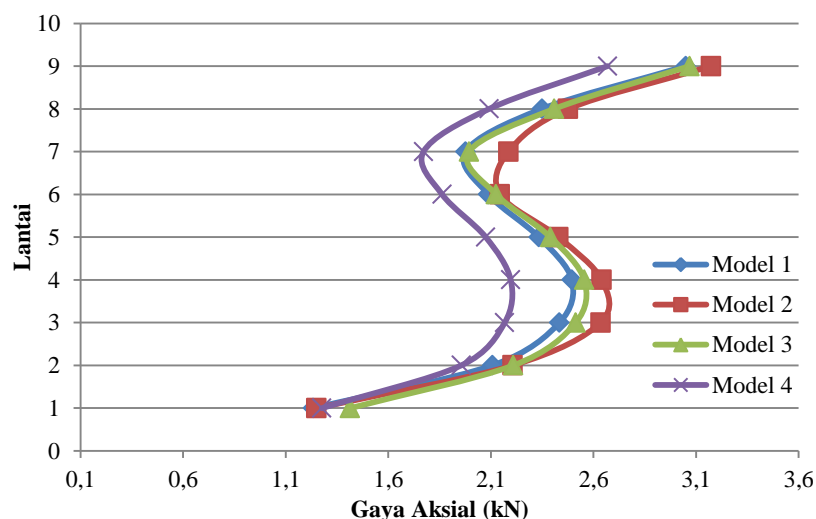
Gambar 5.104 Grafik Gaya Aksial Balok B2

c. Ba1

Rekapitulasi nilai gaya aksial pada balok Ba1 yang merupakan *output* dari program analisis ETABS V.13 dapat dilihat pada berikut.

Tabel 5.131 Rekapitulasi Gaya Aksial Balok Ba1

Lantai	Gaya Aksial Ba1 (kN)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	3,049929	3,172554	3,067587	2,66832
8	2,348514	2,476044	2,408355	2,091492
7	1,976715	2,185668	1,993392	1,771686
6	2,087568	2,143485	2,124846	1,861938
5	2,333799	2,428956	2,389716	2,074815
4	2,494683	2,639871	2,554524	2,196459
3	2,433861	2,633985	2,513322	2,167029
2	2,107188	2,205288	2,209212	1,955133
1	1,234098	1,249794	1,413621	1,276281

**Gambar 5.105 Grafik Gaya Aksial Balok Ba1**

Dari hasil rekapitulasi gaya aksial balok, nilai gaya aksial terbesar mendominasi pada gedung model 2 dan model 3.

Besarnya gaya aksial yang bekerja cukup kecil sehingga dapat diabaikan dan komponen struktur dapat disebut sebagai komponen balok lentur. Namun, apabila komponen struktur memikul gaya aksial dan momen lentur yang tidak dapat diabaikan salah satunya, maka komponen tersebut dinamakan balok-kolom (Setiawan, 2008)

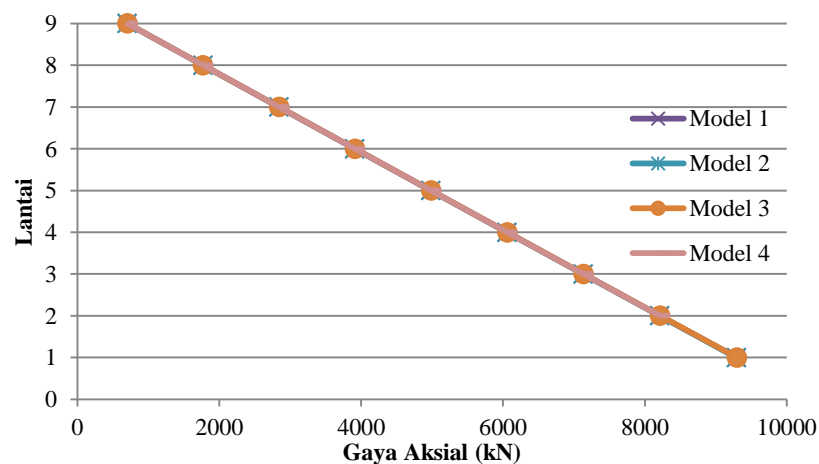
2. Kolom

a. Kolom Tengah

Rekapitulasi nilai gaya aksial pada kolom tengah yang merupakan *output* dari program analisis ETABS V.13 dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5.132 Rekapitulasi Gaya Aksial Kolom Tengah

Lantai	Gaya Aksial Kolom Tengah (kN)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	703,7812	703,1474	704,8662	704,9044
8	1772,278	1771,244	1774,027	1772,893
7	2841,611	2840,118	2844,131	2842,388
6	3911,962	3910,028	3915,222	3912,896
5	4983,794	4981,415	4987,8	4984,9
4	6057,507	6054,696	6062,247	6058,766
3	7133,543	7130,291	7139,032	7134,885
2	8212,221	8208,569	8218,407	8213,576
1	9294,383	9290,168	9301,517	9295,395



Gambar 5.106 Grafik Gaya Aksial Kolom Tengah

b. Kolom Tepi

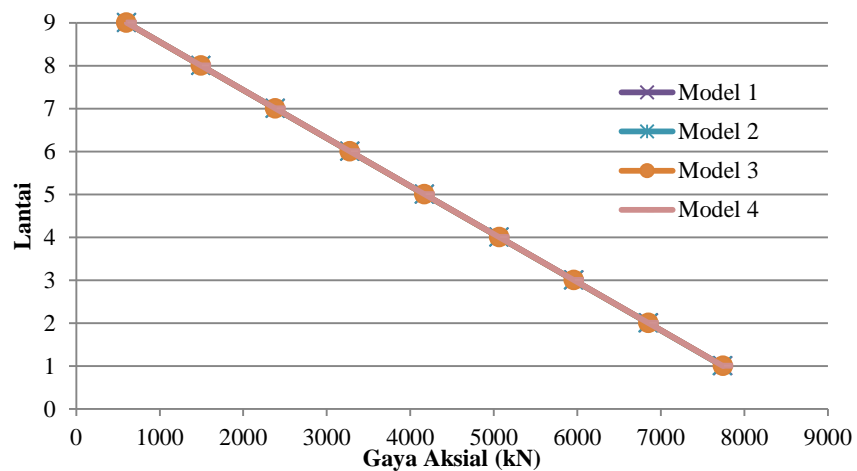
Rekapitulasi nilai gaya aksial pada kolom tepi yang merupakan *output* dari program analisis ETABS V.13 dapat dilihat pada berikut.

Tabel 5.133 Rekapitulasi Gaya Aksial Kolom Tepi

Lantai	Gaya Aksial Kolom Tepi (kN)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	604,0321	604,0488	603,1571	605,0563
8	1493,98	1494,158	1493,561	1495,789
7	2386,025	2385,298	2385,283	2387,674

Lanjutan Tabel 5.133 Rekapitulasi Gaya Aksial Kolom Tepi

Lantai	Gaya Aksial Kolom Tepi (kN)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
6	3279,282	3277,582	3278,203	3280,328
5	4173,4	4170,755	4171,886	4173,822
4	5067,991	5064,288	5065,914	5067,912
3	5962,525	5957,709	5959,736	5961,851
2	6856,07	6850,203	6853,409	6854,762
1	7747,264	7740,705	7745,16	7745,616



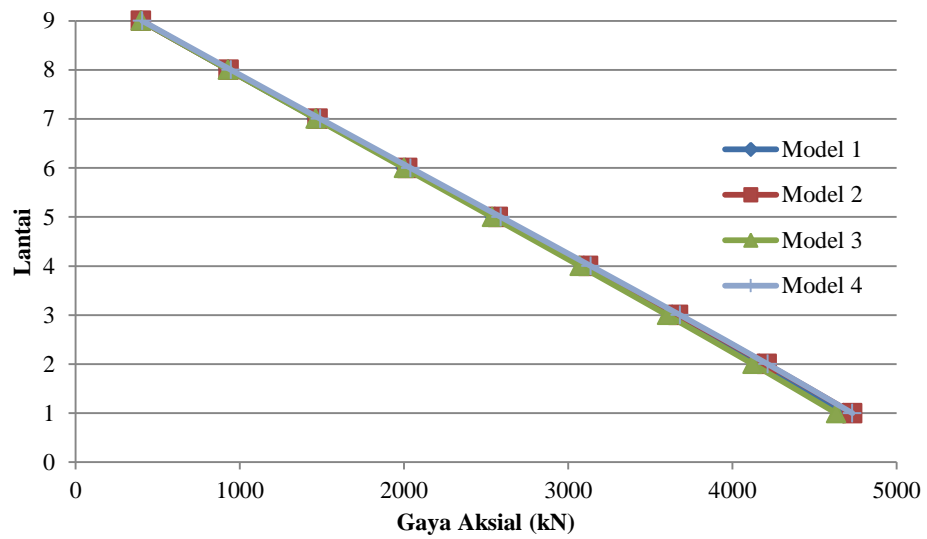
Gambar 5.107 Grafik Gaya Aksial Kolom Tepi

c. Kolom *Joint A*

Rekapitulasi nilai gaya aksial pada kolom *joint A* yang merupakan *output* dari program analisis ETABS V.13 dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5.134 Rekapitulasi Gaya Aksial Kolom *Joint A*

Lantai	Gaya Aksial Kolom <i>Joint A</i> (kN)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	397,7602	397,2962	397,3413	405,0147
8	930,6629	931,7783	928,7529	945,32
7	1468,642	1473,754	1463,293	1490,663
6	2010,349	2021,097	1999,926	2039,513
5	2553,627	2571,207	2536,826	2589,462
4	3096,094	3121,671	3071,881	3137,886
3	3634,635	3669,469	3602,361	3681,416
2	4164,522	4209,262	4124,46	4214,991
1	4677,896	4730,473	4632,335	4730,399



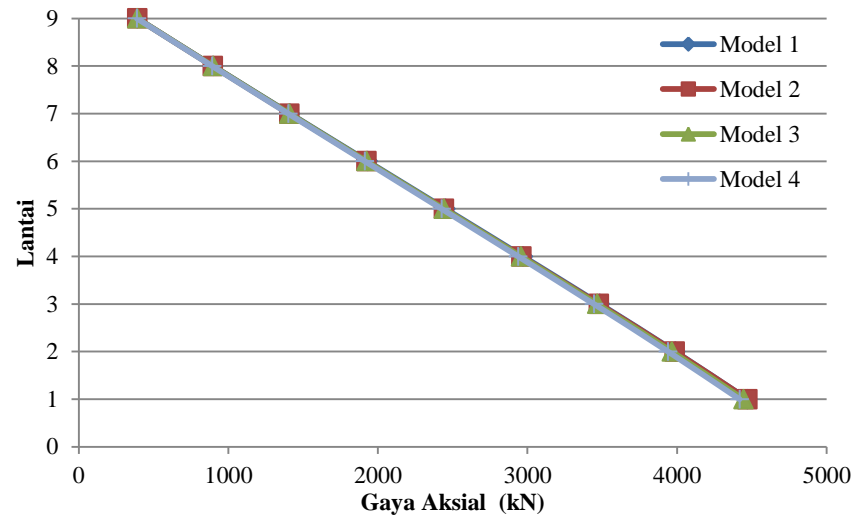
Gambar 5.108 Grafik Gaya Aksial Kolom Joint A

d. Kolom *Joint B*

Rekapitulasi nilai gaya aksial pada kolom *joint B* yang merupakan *output* dari program analisis ETABS V.13 dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5.135 Rekapitulasi Gaya Aksial Kolom Joint B

Lantai	Gaya Aksial Kolom <i>Joint B</i> (kN)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	392,1341	397,2962	391,5328	388,8841
8	899,3474	931,7783	897,4914	892,351
7	1412,991	1473,754	1408,778	1400,646
6	1931,25	2021,097	1924,152	1912,655
5	2451,401	2571,207	2441,104	2425,979
4	2970,489	3121,671	2956,619	2937,805
3	3484,695	3669,469	3466,762	3444,444
2	3988,093	4209,262	3965,901	3940,588
1	4470,842	4730,473	4445,374	4418,13



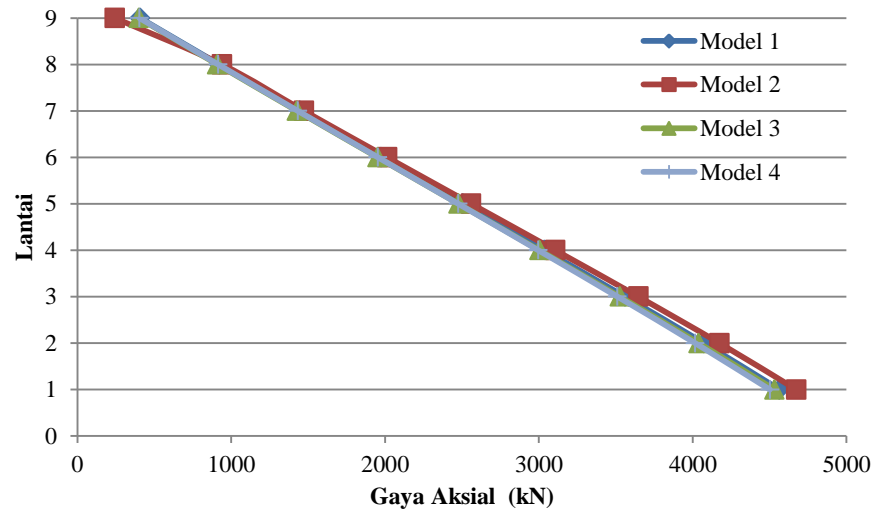
Gambar 5.109 Grafik Gaya Aksial Kolom *Joint B*

e. Kolom *Joint C*

Rekapitulasi nilai gaya aksial pada kolom *joint C* yang merupakan *output* dari program analisis ETABS V.13 dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5.136 Rekapitulasi Gaya Aksial Kolom *Joint C*

Lantai	Gaya Aksial Kolom <i>Joint C</i> (kN)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	399,011	242,0804	399,011	402,3258
8	909,2683	938,8768	909,2683	914,6766
7	1427,169	1472,296	1427,169	1432,085
6	1950,666	2013,403	1950,666	1953,09
5	2476,99	2559,377	2476,99	2475,155
4	3003,35	3105,914	3003,35	2995,566
3	3526,174	3646,898	3526,174	3510,82
2	4039,523	4173,682	4039,523	4015,666
1	4532,482	4673,47	4532,482	4501,629



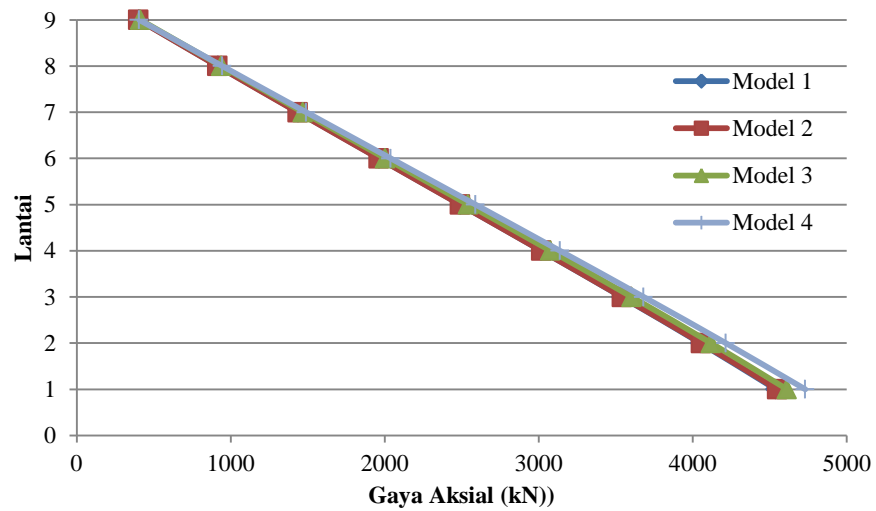
Gambar 5.110 Grafik Gaya Aksial Kolom Joint C

f. Kolom Joint D

Rekapitulasi nilai gaya aksial pada kolom *joint D* yang merupakan *output* dari program analisis ETABS V.13 dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5.137 Rekapitulasi Gaya Aksial Kolom Joint D

Lantai	Gaya Aksial Kolom Joint D (kN)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	404,0847	401,4831	414,1223	406,0447
8	918,1042	914,3479	938,2127	945,32
7	1438,588	1434,897	1468,912	1490,663
6	1963,831	1960,852	2004,21	2039,513
5	2491,133	2489,207	2540,949	2589,462
4	3017,471	3017,124	3075,64	3137,886
3	3538,902	3541,12	3603,949	3681,416
2	4049,385	4055,283	4119,471	4214,991
1	4539,049	4548,55	4611,862	4730,399



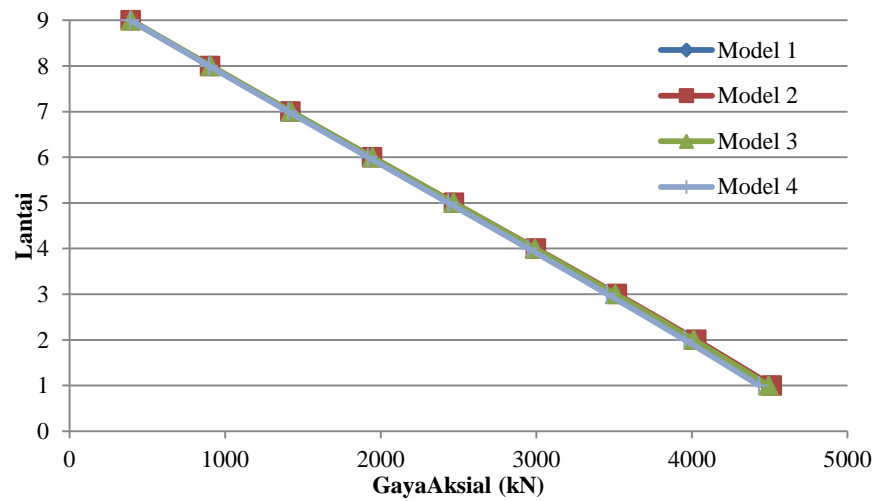
Gambar 5.111 Grafik Gaya Aksial Kolom Joint D

g. Kolom *Joint E*

Rekapitulasi nilai gaya aksial pada kolom *joint E* yang merupakan *output* dari program analisis ETABS V.13 dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5.138 Rekapitulasi Gaya Aksial Kolom Joint E

Lantai	Gaya Aksial Kolom <i>Joint E</i> (kN)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	394,9947	394,7819	397,047	391,0727
8	905,4365	905,0137	908,563	896,0444
7	1422,644	1422,109	1426,043	1406,032
6	1944,702	1945,262	1947,809	1919,747
5	2468,751	2471,909	2471,087	2434,811
4	2991,692	2998,413	2992,635	2948,308
3	3509,517	3519,691	3508,309	3456,41
2	4015,991	4028,547	4012,092	3953,662
1	4500,753	4514,356	4494,513	4431,797



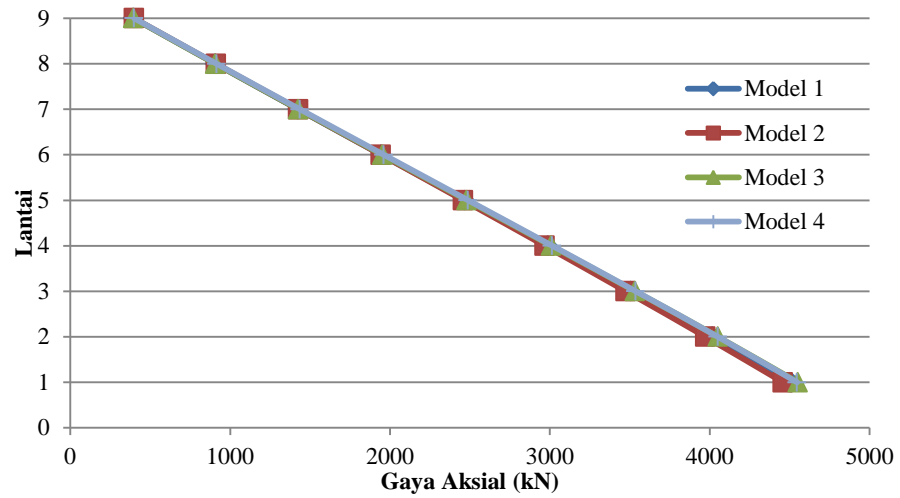
Gambar 5.112 Grafik Gaya Aksial Kolom Joint E

h. Kolom Joint F

Rekapitulasi nilai gaya aksial pada kolom *joint* F yang merupakan *output* dari program analisis ETABS V.13 dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5.139 Rekapitulasi Gaya Aksial Kolom Joint F

Lantai	Gaya Aksial Kolom Joint F (kN)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	395,1527	397,9083	394,2923	399,0973
8	906,649	910,9703	906,8148	914,5127
7	1423,414	1426,637	1426,751	1435,766
6	1944,113	1942,892	1951,945	1961,124
5	2466,625	2457,426	2479,818	2488,269
4	2988,56	2968,515	3008,012	3014,719
3	3506,781	3474,551	3533,63	3537,276
2	4016,497	3972,968	4051,564	4050,865
1	4509,717	4458,601	4551,55	4546,805



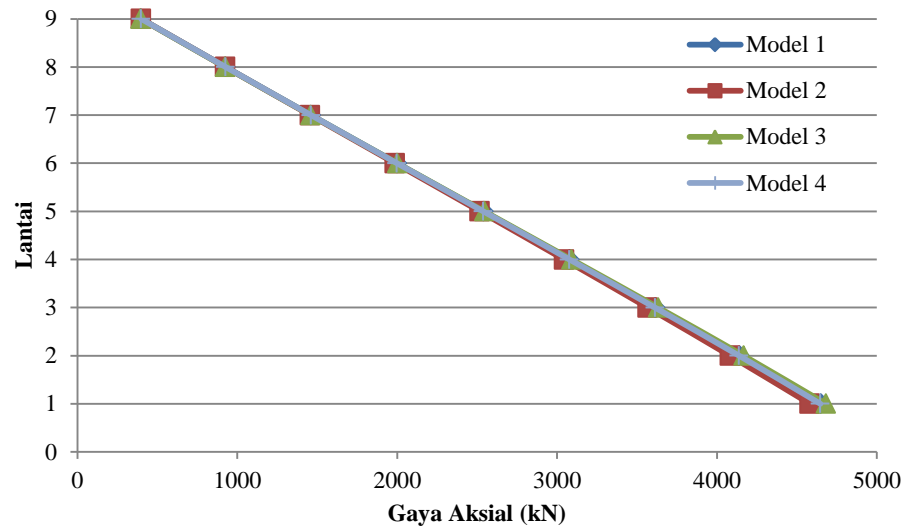
Gambar 5.113 Grafik Gaya Aksial Kolom Joint F

i. Kolom *Joint G*

Rekapitulasi nilai gaya aksial pada kolom *joint G* yang merupakan *output* dari program analisis ETABS V.13 dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5.140 Rekapitulasi Gaya Aksial Kolom Joint G

Lantai	Gaya Aksial Kolom Joint G (kN)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	398,5077	398,4204	396,1729	398,7412
8	926,8096	925,2851	923,7842	926,786
7	1460,779	1455,13	1459,228	1460,478
6	1998,992	1986,272	2000,52	1998,295
5	2539,136	2516,481	2545,015	2537,965
4	3078,654	3043,84	3090,131	3076,976
3	3614,192	3566,251	3632,582	3612,067
2	4140,581	4080,512	4166,722	4138,131
1	4649,187	4580,907	4681,699	4646,682



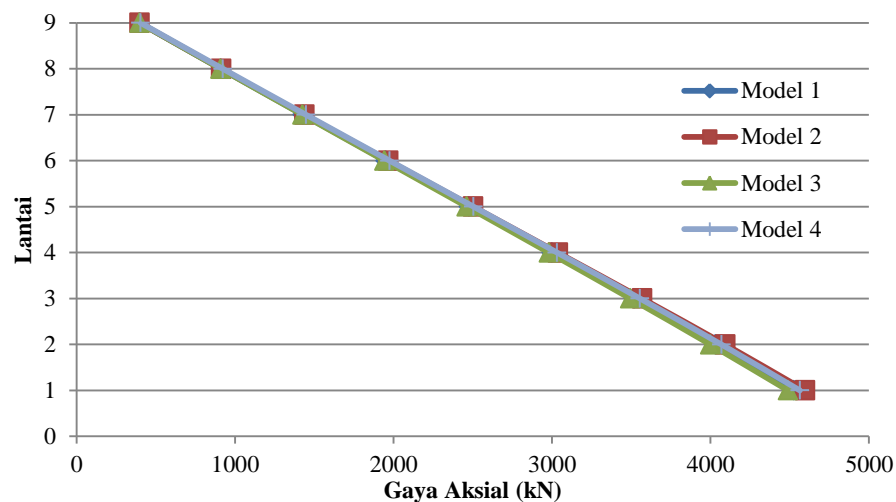
Gambar 5.114 Grafik Gaya Aksial Kolom Joint G

j. Kolom Joint H

Rekapitulasi nilai gaya aksial pada kolom *joint* H yang merupakan *output* dari program analisis ETABS V.13 dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5.141 Rekapitulasi Gaya Aksial Kolom Joint H

Lantai	Gaya Aksial Kolom Joint H (kN)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	396,6889	397,2932	396,7458	403,1655
8	909,7912	913,1472	908,87	922,6011
7	1428,201	1437,09	1424,584	1446,978
6	1950,602	1967,346	1942,972	1974,885
5	2474,845	2501,35	2462,233	2504,02
4	2998,513	3036,379	2980,123	3031,789
3	3518,438	3568,839	3493,645	3554,823
2	4029,792	4092,722	3998,633	4068,131
1	4524,561	4596,864	4488,76	4563,694



Gambar 5.115 Grafik Gaya Aksial Kolom *Joint H*

Dari hasil rekapitulasi didapatkan nilai gaya aksial kolom dari semua titik yang ditinjau memiliki gaya aksial dengan nilai selisihnya kecil antar model gedung.

5.6 Tulangan Elemen-Elemen Struktur

5.6.1 Balok

Perencanaan penulangan pada balok dilakukan untuk menghitung seberapa besar penulangan yang harus dipasang pada struktur balok agar diperoleh suatu struktur balok dengan penulangan yang berperilaku komposit dalam menahan beban rencana yang bekerja.

1. Tulangan Lentur

Pada tulangan lentur balok didesain menggunakan tulangan rangkap karena beban gempa dirancang arahnya bolak-balik. Berikut adalah hasil perhitungan tulangan lentur pada balok daerah tumpuan dan daerah lapangan. Jenis tulangan yang digunakan adalah tulangan ulir (BJTD) dengan diameter 22 mm pada balok induk dan 19 mm pada balok anak.

a. B1

Berikut adalah hasil perhitungan luasan tulangan balok tumpuan B1 yang dibutuhkan untuk mendapatkan jumlah tulangan pakai. Dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5.142 Rekapitulasi Luas Tulangan Tumpuan B1

Lantai	B1			
	Luasan Tulangan Tumpuan Diperlukan (mm ²)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	3835,5212	3765,26886	3570,658019	3480,848384
8	3835,5212	3765,26886	3570,658019	3480,848384
7	3835,5212	3765,26886	3570,658019	3480,848384
6	4042,3292	4106,227	3776,681389	3643,601105
5	4042,3292	4106,227	3776,681389	3643,601105
4	4042,3292	4106,227	3776,681389	3643,601105
3	3887,5194	4071,4176	3595,902111	3560,557996
2	3887,5194	4071,4176	3595,902111	3560,557996
1	3887,5194	4071,4176	3595,902111	3560,557996

Tabel 5.143 Rekapitulasi Luas Tulangan Lapangan B1

Lantai	B1			
	Luasan Tulangan Lapangan Diperlukan (mm ²)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	1881,765	2017,443	1981,634631	1778,596
8	1881,765	2017,443	1981,634631	1778,596
7	1881,765	2017,443	1981,634631	1778,596
6	2197,008	2453,876	2007,410904	1858,003
5	2197,008	2453,876	2007,410904	1858,003
4	2197,008	2453,876	2007,410904	1858,003
3	2248,806	2446,361	1983,570913	1783,817
2	2248,806	2446,361	1983,570913	1783,817
1	2248,806	2446,361	1983,570913	1783,817

Untuk mengetahui besar perbedaan kebutuhan tulangan pada setiap model gedung maka perlu dihitung dengan membandingkan jumlah luas tulangan setiap model gedung dengan gedung model 1. Berikut adalah hasil rekapitulasi perhitungan rasio luas tulangan.

Tabel 5.144 Rekapitulasi Rasio Luas Tulangan Tumpuan B1

Lantai	B1			
	Rasio Luasan Tulangan Tumpuan Diperlukan			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	1	0,982	0,931	0,908
8	1	0,982	0,931	0,908
7	1	0,982	0,931	0,908
6	1	1,016	0,934	0,901
5	1	1,016	0,934	0,901
4	1	1,016	0,934	0,901
3	1	1,047	0,925	0,916
2	1	1,047	0,925	0,916
1	1	1,047	0,925	0,916

Tabel 5.145 Rekapitulasi Rasio Luas Tulangan Lapangan B1

Lantai	B1			
	Rasio Luasan Tulangan Lapangan Diperlukan			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	1	1,072	1,053	0,945
8	1	1,072	1,053	0,945
7	1	1,072	1,053	0,945
6	1	1,117	0,914	0,846
5	1	1,117	0,914	0,846
4	1	1,117	0,914	0,846
3	1	1,088	0,882	0,793
2	1	1,088	0,882	0,793
1	1	1,088	0,882	0,793

Dari Tabel 5.138 dan 5.139 dapat dilihat jika gedung model 2 membutuhkan jumlah tulangan tumpuan dan lapangan pada balok B1 lebih banyak dari model lainnya sedangkan gedung model 4 membutuhkan tulangan lebih sedikit pada daerah tumpuan dan lapangan.

b. B2

Berikut adalah hasil perhitungan luasan tulangan balok tumpuan B2 yang dibutuhkan untuk mendapatkan jumlah tulangan pakai. Dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5.146 Rekapitulasi Luas Tulangan Tumpuan B2

Lantai	B2			
	Luasan Tulangan Tumpuan Diperlukan (mm ²)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	3142,536	3301,796	2898,627	2898,627
8	3142,536	3301,796	2898,627	2898,627
7	3142,536	3301,796	2898,627	2898,627
6	3323,849	3499,020	3300,769	3300,769
5	3323,849	3499,020	3300,769	3300,769
4	3323,849	3499,020	3300,769	3300,769
3	3367,909	3545,633	3335,383	3335,383
2	3367,909	3545,633	3335,383	3335,383
1	3367,909	3545,633	3335,383	3335,383

Tabel 5.147 Rekapitulasi Luas Tulangan Lapangan B2

Lantai	B2			
	Luasan Tulangan Lapangan Diperlukan (mm ²)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	1550,790	1651,416	1509,499	1509,499
8	1550,790	1651,416	1509,499	1509,499
7	1550,790	1651,416	1509,499	1509,499
6	1897,745	2019,492	1683,572	1683,572
5	1897,745	2019,492	1683,572	1683,572
4	1897,745	2019,492	1683,572	1683,572
3	1870,203	1799,923	1625,630	1625,630
2	1870,203	1799,923	1625,630	1625,630
1	1870,203	1799,923	1625,630	1625,630

Untuk mengetahui besar perbedaan kebutuhan tulangan pada setiap model gedung maka perlu dihitung dengan membandingkan jumlah luas tulangan setiap model gedung dengan gedung model 1. Berikut adalah hasil rekapitulasi perhitungan rasio luas tulangan.

Tabel 5.148 Rekapitulasi Rasio Luas Tulangan Tumpuan B2

Lantai	B2			
	Rasio Luasan Tulangan Tumpuan Diperlukan			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	1	1,051	0,922	0,922
8	1	1,051	0,922	0,922
7	1	1,051	0,922	0,922

Lanjutan Tabel 5.148 Rekapitulasi Rasio Luas Tulangan Tumpuan B2

Lantai	B2			
	Rasio Luasan Tulangan Tumpuan Diperlukan			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
6	1	1,053	0,993	0,993
5	1	1,053	0,993	0,993
4	1	1,053	0,993	0,993
3	1	1,053	0,990	0,990
2	1	1,053	0,990	0,990
1	1	1,053	0,990	0,990

Tabel 5.149 Rekapitulasi Rasio Luas Tulangan Lapangan B2

Lantai	B1			
	Rasio Luasan Tulangan Lapangan Diperlukan			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	1	1,065	0,973	0,973
8	1	1,065	0,973	0,973
7	1	1,065	0,973	0,973
6	1	1,064	0,887	0,887
5	1	1,064	0,887	0,887
4	1	1,064	0,887	0,887
3	1	0,962	0,869	0,869
2	1	0,962	0,869	0,869
1	1	0,962	0,869	0,869

Dari Tabel 5.142 dan 5.143 dapat dilihat jika gedung model 2 membutuhkan jumlah tulangan tumpuan dan lapangan pada balok B2 lebih banyak dari model lainnya sedangkan gedung model 3 dan 4 membutuhkan tulangan lebih sedikit pada daerah tumpuan dan lapangan.

c. Ba1

Berikut adalah hasil perhitungan luasan tulangan lentur balok daerah tumpuan dan lapangan Ba1 yang dibutuhkan untuk mendapatkan jumlah tulangan pakai. Dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5.150 Rekapitulasi Luas Tulangan Tumpuan Ba1

Lantai	Ba1			
	Luasan Tulangan Tumpuan Diperlukan (mm ²)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	336,391	323,833	333,615	332,782
8	336,391	323,833	333,615	332,782
7	336,391	323,833	333,615	332,782
6	377,779	346,312	387,163	373,182
5	377,779	346,312	387,163	373,182
4	377,779	346,312	387,163	373,182
3	379,551	344,885	394,362	375,539
2	379,551	344,885	394,362	375,539
1	379,551	344,885	394,362	375,539

Tabel 5.151 Rekapitulasi Luas Tulangan Lapangan Ba1

Lantai	Ba1			
	Luasan Tulangan Lapangan Diperlukan (mm ²)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	316,624	316,624	316,624	316,624
8	316,624	316,624	316,624	316,624
7	316,624	316,624	316,624	316,624
6	316,624	316,624	316,624	316,624
5	316,624	316,624	316,624	316,624
4	316,624	316,624	316,624	316,624
3	316,624	316,624	316,624	316,624
2	316,624	316,624	316,624	316,624
1	316,624	316,624	316,624	316,624

Untuk mengetahui besar perbedaan kebutuhan tulangan pada setiap model gedung maka perlu dihitung dengan membandingkan jumlah luas tulangan setiap model gedung dengan gedung model 1. Berikut adalah hasil rekapitulasi perhitungan rasio luas tulangan.

Tabel 5.152 Rekapitulasi Rasio Luas Tulangan Tumpuan Ba1

Lantai	Ba1			
	Rasio Luasan Tulangan Tumpuan Diperlukan			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	1	0,963	0,992	0,989
8	1	0,963	0,992	0,989
7	1	0,963	0,992	0,989

Lanjutan Tabel 5.152 Rekapitulasi Rasio Luas Tulangan Tumpuan Bal

Lantai	Bal			
	Rasio Luasan Tulangan Tumpuan Diperlukan			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
6	1	0,917	1,025	0,988
5	1	0,917	1,025	0,988
4	1	0,917	1,025	0,988
3	1	0,909	1,039	0,989
2	1	0,909	1,039	0,989
1	1	0,909	1,039	0,989

Tabel 5.153 Rekapitulasi Rasio Luas Tulangan Lapangan Bal

Lantai	Bal			
	Rasio Luasan Tulangan Lapangan Diperlukan			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	1	1	1	1
8	1	1	1	1
7	1	1	1	1
6	1	1	1	1
5	1	1	1	1
4	1	1	1	1
3	1	1	1	1
2	1	1	1	1
1	1	1	1	1

Dari Tabel 5.152 dan 5.153 dapat dilihat jika gedung model 3 membutuhkan jumlah tulangan tumpuan lebih banyak pada balok Bal dari model lainnya sedangkan pada daerah lapangan dibutuhkan luasan tulangan dengan nilai sama besar antar semua model gedung.

Dari hasil rekapitulasi perhitungan tulangan pada balok induk yang menggunakan tulangan lebih banyak adalah gedung model 2 dan model 1. Pada balok anak semua model gedung menggunakan tulangan lentur dengan jumlah yang sama. Secara keseluruhan gedung model 4 tidak membutuhkan penggunaan tulangan lentur yang terlalu banyak.

Berikut adalah tabel rekapitulasi tulangan pakai yang digunakan pada balok induk dan balok anak.

Tabel 5.154 Rekapitulasi Tulangan Pakai Tumpuan B1

Lantai	B1							
	Model 1		Model 2		Model 3		Model 4	
	Tul. Atas	Tul. Bawah	Tul. Atas	Tul. Bawah	Tul. Atas	Tul. Bawah	Tul. Atas	Tul. Bawah
9	8D22	4D22	8D22	4D22	7D22	3D22	7D22	3D22
8	8D22	4D22	8D22	4D22	7D22	3D22	7D22	3D22
7	8D22	4D22	8D22	4D22	7D22	3D22	7D22	3D22
6	8D22	4D22	8D22	4D22	8D22	4D22	8D22	4D22
5	8D22	4D22	8D22	4D22	8D22	4D22	8D22	4D22
4	8D22	4D22	8D22	4D22	8D22	4D22	8D22	4D22
3	8D22	4D22	8D22	4D22	8D22	4D22	8D22	4D22
2	8D22	4D22	8D22	4D22	8D22	4D22	8D22	4D22
1	8D22	4D22	8D22	4D22	8D22	4D22	8D22	4D22

Tabel 5.155 Rekapitulasi Tulangan Pakai Lapangan B1

Lantai	B1							
	Model 1		Model 2		Model 3		Model 4	
	Tul. Atas	Tul. Bawah	Tul. Atas	Tul. Bawah	Tul. Atas	Tul. Bawah	Tul. Atas	Tul. Bawah
9	2D22	4D22	2D22	4D22	2D22	4D22	2D22	4D22
8	2D22	4D22	2D22	4D22	2D22	4D22	2D22	4D22
7	2D22	4D22	2D22	4D22	2D22	4D22	2D22	4D22
6	3D22	5D22	3D22	5D22	3D22	5D22	2D22	4D22
5	3D22	5D22	3D22	5D22	3D22	5D22	2D22	4D22
4	3D22	5D22	3D22	5D22	3D22	5D22	2D22	4D22
3	3D22	5D22	3D22	5D22	3D22	5D22	2D22	4D22
2	3D22	5D22	3D22	5D22	3D22	5D22	2D22	4D22
1	3D22	5D22	3D22	5D22	3D22	5D22	2D22	4D22

Tabel 5.156 Rekapitulasi Tulangan Pakai Tumpuan B2

Lantai	B2							
	Model 1		Model 2		Model 3		Model 4	
	Tul. Atas	Tul. Bawah	Tul. Atas	Tul. Bawah	Tul. Atas	Tul. Bawah	Tul. Atas	Tul. Bawah
9	7D22	3D22	7D22	3D22	7D22	3D22	7D22	3D22
8	7D22	3D22	7D22	3D22	7D22	3D22	7D22	3D22
7	7D22	3D22	7D22	3D22	7D22	3D22	7D22	3D22
6	7D22	3D22	7D22	3D22	7D22	3D22	7D22	3D22
5	7D22	3D22	7D22	3D22	7D22	3D22	7D22	3D22
4	7D22	3D22	7D22	3D22	7D22	3D22	7D22	3D22
3	7D22	3D22	7D22	3D22	7D22	3D22	7D22	3D22
2	7D22	3D22	7D22	3D22	7D22	3D22	7D22	3D22
1	7D22	3D22	7D22	3D22	7D22	3D22	7D22	3D22

Tabel 5.157 Rekapitulasi Tulangan Pakai Lapangan B2

Lantai	B2							
	Model 1		Model 2		Model 3		Model 4	
	Tul. Atas	Tul. Bawah	Tul. Atas	Tul. Bawah	Tul. Atas	Tul. Bawah	Tul. Atas	Tul. Bawah
9	2D22	4D22	2D22	4D22	2D22	4D22	2D22	4D22
8	2D22	4D22	2D22	4D22	2D22	4D22	2D22	4D22
7	2D22	4D22	2D22	4D22	2D22	4D22	2D22	4D22
6	2D22	4D22	2D22	4D22	2D22	4D22	2D22	4D22
5	2D22	4D22	2D22	4D22	2D22	4D22	2D22	4D22
4	2D22	4D22	2D22	4D22	2D22	4D22	2D22	4D22
3	2D22	4D22	2D22	4D22	2D22	4D22	2D22	4D22
2	2D22	4D22	2D22	4D22	2D22	4D22	2D22	4D22
1	2D22	4D22	2D22	4D22	2D22	4D22	2D22	4D22

Tabel 5.158 Rekapitulasi Tulangan Pakai Tumpuan Ba1

Lantai	Ba1							
	Model 1		Model 2		Model 3		Model 4	
	Tul. Atas	Tul. Bawah	Tul. Atas	Tul. Bawah	Tul. Atas	Tul. Bawah	Tul. Atas	Tul. Bawah
9	4D19	2D19	4D19	2D19	4D19	2D19	4D19	2D19
8	4D19	2D19	4D19	2D19	4D19	2D19	4D19	2D19
7	4D19	2D19	4D19	2D19	4D19	2D19	4D19	2D19
6	4D19	2D19	4D19	2D19	4D19	2D19	4D19	2D19
5	4D19	2D19	4D19	2D19	4D19	2D19	4D19	2D19
4	4D19	2D19	4D19	2D19	4D19	2D19	4D19	2D19
3	4D19	2D19	4D19	2D19	4D19	2D19	4D19	2D19
2	4D19	2D19	4D19	2D19	4D19	2D19	4D19	2D19
1	4D19	2D19	4D19	2D19	4D19	2D19	4D19	2D19

Tabel 5.159 Rekapitulasi Tulangan Pakai Lapangan Ba1

Lantai	Ba1							
	Model 1		Model 2		Model 3		Model 4	
	Tul. Atas	Tul. Bawah	Tul. Atas	Tul. Bawah	Tul. Atas	Tul. Bawah	Tul. Atas	Tul. Bawah
9	2D19	4D19	2D19	4D19	2D19	4D19	2D19	4D19
8	2D19	4D19	2D19	4D19	2D19	4D19	2D19	4D19
7	2D19	4D19	2D19	4D19	2D19	4D19	2D19	4D19
6	2D19	4D19	2D19	4D19	2D19	4D19	2D19	4D19
5	2D19	4D19	2D19	4D19	2D19	4D19	2D19	4D19
4	2D19	4D19	2D19	4D19	2D19	4D19	2D19	4D19
3	2D19	4D19	2D19	4D19	2D19	4D19	2D19	4D19
2	2D19	4D19	2D19	4D19	2D19	4D19	2D19	4D19
1	2D19	4D19	2D19	4D19	2D19	4D19	2D19	4D19

2. Tulangan Geser

Tulangan geser diperlukan untuk menahan gaya tarik arah tegak lurus dari retak yang diakibatkan oleh gaya geser. Berikut adalah hasil perhitungan tulangan geser pada balok daerah plastis dan luar plastis. Tulangan yang digunakan adalah tulangan polos dengan diameter 10 mm.

a. B1

Berikut adalah hasil perhitungan tulangan geser yang dibutuhkan pada balok B1 di daerah sendi plastis dan sendi luar plastis. Rekapitan luasan yang dibutuhkan dapat dilihat pada tabel-tabel berikut.

Tabel 5.160 Rekapitulasi Luasan Tulangan Geser Daerah Sendi Plastis B1

Lantai	B1			
	Av Daerah Sendi Plastis (mm ²)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	235,6194	235,6194	235,6194	235,6194
8	235,6194	235,6194	235,6194	235,6194
7	235,6194	235,6194	235,6194	235,6194
6	235,6194	235,6194	314,1593	235,6194
5	235,6194	235,6194	314,1593	235,6194
4	235,6194	235,6194	314,1593	235,6194
3	235,6194	235,6194	314,1593	235,6194
2	235,6194	235,6194	314,1593	235,6194
1	235,6194	235,6194	314,1593	235,6194

Tabel 5.161 Rekapitulasi Luasan Tulangan Geser Daerah Luar Sendi Plastis B1

Lantai	B1			
	Av Daerah Luar Sendi Plastis (mm ²)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	157,0796	157,0796	157,0796	157,0796
8	157,0796	157,0796	157,0796	157,0796
7	157,0796	157,0796	157,0796	157,0796
6	235,6194	235,6194	235,6194	157,0796
5	235,6194	235,6194	235,6194	157,0796
4	235,6194	235,6194	235,6194	157,0796
3	235,6194	235,6194	235,6194	157,0796
2	235,6194	235,6194	235,6194	157,0796
1	235,6194	235,6194	235,6194	157,0796

Tabel 5.162 Rekapitulasi Jumlah Tulangan Geser Daerah Sendi Plastis B1

Lantai	B1			
	Tul Sengkang Pakai Daerah Plastis (mm ²)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	1,5P10-100	1,5P10-100	1,5P10-100	1,5P10-100
8	1,5P10-100	1,5P10-100	1,5P10-100	1,5P10-100
7	1,5P10-100	1,5P10-100	1,5P10-100	1,5P10-100
6	1,5P10-100	1,5P10-100	2P10-100	1,5P10-100
5	1,5P10-100	1,5P10-100	2P10-100	1,5P10-100
4	1,5P10-100	1,5P10-100	2P10-100	1,5P10-100
3	1,5P10-100	1,5P10-100	2P10-100	1,5P10-100
2	1,5P10-100	1,5P10-100	2P10-100	1,5P10-100
1	1,5P10-100	1,5P10-100	2P10-100	1,5P10-100

Tabel 5.163 Rekapitulasi Jumlah Tulangan Geser Daerah Luar Sendi Plastis B1

Lantai	B1			
	Tul Sengkang Pakai Daerah Luar Sendi Plastis (mm ²)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	P10-100	P10-100	P10-100	P10-100
8	P10-100	P10-100	P10-100	P10-100
7	P10-100	P10-100	P10-100	P10-100
6	1,5P10-100	1,5P10-100	1,5P10-100	P10-100
5	1,5P10-100	1,5P10-100	1,5P10-100	P10-100
4	1,5P10-100	1,5P10-100	1,5P10-100	P10-100
3	1,5P10-100	1,5P10-100	1,5P10-100	P10-100
2	1,5P10-100	1,5P10-100	1,5P10-100	P10-100
1	1,5P10-100	1,5P10-100	1,5P10-100	P10-100

Tulangan geser daerah sendi plastis balok B1 membutuhkan tulangan geser lebih banyak pada gedung model 3 sedangkan untuk daerah luar sendi plastis model 4 membutuhkan tulangan geser lebih sedikit. Jarak antar tulangan yang digunakan adalah sama pada semua model gedung.

b. B2

Berikut adalah hasil perhitungan tulangan geser yang dibutuhkan pada balok B2 di daerah sendi plastis dan sendi luar plastis. Rekapitan luasan yang dibutuhkan dapat dilihat pada tabel-tabel berikut.

Tabel 5.164 Rekapitulasi Luasan Tulangan Geser Daerah Sendi Plastis B2

Lantai	B2			
	Av Daerah Sendi Plastis (mm ²)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	157,0796	157,0796	157,0796	157,0796
8	157,0796	157,0796	157,0796	157,0796
7	157,0796	157,0796	157,0796	157,0796
6	157,0796	157,0796	157,0796	157,0796
5	157,0796	157,0796	157,0796	157,0796
4	157,0796	157,0796	157,0796	157,0796
3	157,0796	157,0796	157,0796	157,0796
2	157,0796	157,0796	157,0796	157,0796
1	157,0796	157,0796	157,0796	157,0796

Tabel 5.165 Rekapitulasi Luasan Tulangan Geser Daerah Luar Sendi Plastis B2

Lantai	B2			
	Av Daerah Luar Sendi Plastis (mm ²)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	157,0796	157,0796	157,0796	157,0796
8	157,0796	157,0796	157,0796	157,0796
7	157,0796	157,0796	157,0796	157,0796
6	157,0796	157,0796	157,0796	157,0796
5	157,0796	157,0796	157,0796	157,0796
4	157,0796	157,0796	157,0796	157,0796
3	157,0796	157,0796	157,0796	157,0796
2	157,0796	157,0796	157,0796	157,0796
1	157,0796	157,0796	157,0796	157,0796

Tabel 5.166 Rekapitulasi Jumlah Tulangan Geser Daerah Sendi Plastis B2

Lantai	B2			
	Tul Sengkang Pakai Daerah Plastis (mm ²)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	P10-100	P10-100	P10-100	P10-100
8	P10-100	P10-100	P10-100	P10-100
7	P10-100	P10-100	P10-100	P10-100
6	P10-100	P10-100	P10-100	P10-100
5	P10-100	P10-100	P10-100	P10-100

Lanjutan Tabel 5.166 Rekapitulasi Jumlah Tulangan Geser Daerah Sendi Plastis B2

Lantai	B2			
	Tul Sengkang Pakai Daerah Plastis (mm ²)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
4	P10-100	P10-100	P10-100	P10-100
3	P10-100	P10-100	P10-100	P10-100
2	P10-100	P10-100	P10-100	P10-100
1	P10-100	P10-100	P10-100	P10-100

Tabel 5.167 Rekapitulasi Jumlah Tulangan Geser Daerah Luar Sendi Plastis B2

Lantai	B2			
	Tul Sengkang Pakai Luar Daerah Plastis (mm ²)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	P10-100	P10-100	P10-100	P10-100
8	P10-100	P10-100	P10-100	P10-100
7	P10-100	P10-100	P10-100	P10-100
6	P10-100	P10-100	P10-100	P10-100
5	P10-100	P10-100	P10-100	P10-100
4	P10-100	P10-100	P10-100	P10-100
3	P10-100	P10-100	P10-100	P10-100
2	P10-100	P10-100	P10-100	P10-100
1	P10-100	P10-100	P10-100	P10-100

Dari hasil rekapitulasi tulangan geser balok B2 tidak terdapat perbedaan jumlah tulangan geser dan jarak tulangan yang digunakan ke semua model gedung.

c. Ba1

Berikut adalah hasil perhitungan tulangan geser yang dibutuhkan pada balok Ba1 di daerah sendi plastis dan sendi luar plastis. Rekapitan luasan yang dibutuhkan dapat dilihat pada tabel-tabel berikut.

Tabel 5.168 Rekapitulasi Luasan Tulangan Geser Daerah Sendi Plastis Ba1

Lantai	Ba1			
	Av Daerah Sendi Plastis (mm ²)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	157,0796	157,0796	157,0796	157,0796
8	157,0796	157,0796	157,0796	157,0796
7	157,0796	157,0796	157,0796	157,0796
6	157,0796	157,0796	157,0796	157,0796
5	157,0796	157,0796	157,0796	157,0796
4	157,0796	157,0796	157,0796	157,0796
3	157,0796	157,0796	157,0796	157,0796
2	157,0796	157,0796	157,0796	157,0796
1	157,0796	157,0796	157,0796	157,0796

Tabel 5.169 Rekapitulasi Luasan Tulangan Geser Daerah Luar Sendi Plastis Ba1

Lantai	Ba1			
	Av Luar Daerah Sendi Plastis (mm ²)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	157,0796	157,0796	157,0796	157,0796
8	157,0796	157,0796	157,0796	157,0796
7	157,0796	157,0796	157,0796	157,0796
6	157,0796	157,0796	157,0796	157,0796
5	157,0796	157,0796	157,0796	157,0796
4	157,0796	157,0796	157,0796	157,0796
3	157,0796	157,0796	157,0796	157,0796
2	157,0796	157,0796	157,0796	157,0796
1	157,0796	157,0796	157,0796	157,0796

Tabel 5.170 Rekapitulasi Jumlah Tulangan Geser Sendi Plastis Ba1

Lantai	Ba1			
	Tul Sengkang Pakai Daerah Plastis (mm ²)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	P10-100	P10-100	P10-100	P10-100
8	P10-100	P10-100	P10-100	P10-100
7	P10-100	P10-100	P10-100	P10-100
6	P10-100	P10-100	P10-100	P10-100
5	P10-100	P10-100	P10-100	P10-100
4	P10-100	P10-100	P10-100	P10-100

Lanjutan Tabel 5.170 Rekapitulasi Jumlah Tulangan Geser Sendi Plastis Ba1

Lantai	BA1			
	Tul Sengkang Pakai Daerah Plastis (mm ²)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
3	P10-100	P10-100	P10-100	P10-100
2	P10-100	P10-100	P10-100	P10-100
1	P10-100	P10-100	P10-100	P10-100

Tabel 5.171 Rekapitulasi Jumlah Tulangan Geser Luar Sendi Plastis BA1

Lantai	BA1			
	Tul Sengkang Pakai Daerah Luar Sendi Plastis (mm ²)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	P10-100	P10-100	P10-100	P10-100
8	P10-100	P10-100	P10-100	P10-100
7	P10-100	P10-100	P10-100	P10-100
6	P10-100	P10-100	P10-100	P10-100
5	P10-100	P10-100	P10-100	P10-100
4	P10-100	P10-100	P10-100	P10-100
3	P10-100	P10-100	P10-100	P10-100
2	P10-100	P10-100	P10-100	P10-100
1	P10-100	P10-100	P10-100	P10-100

Dari hasil rekapitulasi tulangan geser balok Ba1 tidak terdapat perbedaan jumlah tulangan geser dan jarak tulangan pada daerah sendi plastis dan sendi luar plastis ke semua model gedung.

5.6.2 Kolom

1. Tulangan Lentur

Tulangan lentur pada kolom digunakan jenis tulangan ulir dengan diameter sebesar 25 mm. Rentang syarat luas tulangan pakai (A_{st}) pada kolom berdasarkan SNI 2847:2013, Pasal 21.6.3, Luas tulangan memanjang, A_{st} , tidak boleh kurang dari $0,01A_g$ atau lebih dari $0,06A_g$.

a. Kolom Tengah

Hasil perhitungan tulangan lentur kolom tengah yang dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5.172 Rekapitulasi Luasan Tulangan Lentur Kolom Tengah

Lantai	Kolom Dalam (<i>Joint 32</i>)			
	Jumlah Luasan Tulangan Kolom (mm ²)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	15707,96	15707,96	15707,96	15707,96
8	15707,96	15707,96	15707,96	15707,96
7	15707,96	15707,96	15707,96	15707,96
6	15707,96	15707,96	15707,96	15707,96
5	15707,96	15707,96	15707,96	15707,96
4	15707,96	15707,96	15707,96	15707,96
3	15707,96	15707,96	15707,96	15707,96
2	15707,96	15707,96	15707,96	15707,96
1	15707,96	15707,96	15707,96	15707,96

Tabel 5.173 Rekapitulasi Tulangan Lentur Kolom Tengah

Lantai	Kolom Tengah (<i>Joint 32</i>)							
	Tulangan Lentur Kolom							
	Model 1		Model 2		Model 3		Model 4	
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
9	9D25	9D25	6D25	12D25	12D25	6D25	12D25	6D25
8	9D25	9D25	6D25	12D25	12D25	6D25	12D25	6D25
7	9D25	9D25	6D25	12D25	12D25	6D25	12D25	6D25
6	9D25	9D25	6D25	12D25	12D25	6D25	12D25	6D25
5	9D25	9D25	6D25	12D25	12D25	6D25	12D25	6D25
4	9D25	9D25	6D25	12D25	12D25	6D25	12D25	6D25
3	9D25	9D25	6D25	12D25	12D25	6D25	12D25	6D25
2	9D25	9D25	6D25	12D25	12D25	6D25	12D25	6D25
1	9D25	9D25	6D25	12D25	12D25	6D25	12D25	6D25

b. Kolom Tepi

Hasil perhitungan tulangan lentur kolom tengah yang dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5.174 Rekapitulasi Luasan Tulangan Lentur Kolom Tepi

Lantai	Kolom Tepi (<i>Joint B</i>)			
	Jumlah Luasan Tulangan Kolom (mm ²)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	15707,96	15707,96	15707,96	15707,96
8	15707,96	15707,96	15707,96	15707,96
7	15707,96	15707,96	15707,96	15707,96

Lanjutan Tabel 5.174 Rekapitulasi Luasan Tulangan Lentur Kolom Tepi

Lantai	Kolom Tepi (<i>Joint B</i>)			
	Jumlah Luasan Tulangan Kolom (mm ²)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
6	15707,96	15707,96	15707,96	15707,96
5	15707,96	15707,96	15707,96	15707,96
4	15707,96	15707,96	15707,96	15707,96
3	15707,96	15707,96	15707,96	15707,96
2	15707,96	15707,96	15707,96	15707,96
1	15707,96	15707,96	15707,96	15707,96

Tabel 5.175 Rekapitulasi Tulangan Lentur Kolom Tepi

Lantai	Kolom Tepi (<i>Joint B</i>)							
	Tulangan Lentur Kolom							
	Model 1		Model 2		Model 3		Model 4	
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
9	9D25	9D25	6D25	12D25	12D25	6D25	6D25	12D25
8	9D25	9D25	6D25	12D25	12D25	6D25	6D25	12D25
7	9D25	9D25	6D25	12D25	12D25	6D25	6D25	12D25
6	9D25	9D25	6D25	12D25	12D25	6D25	6D25	12D25
5	9D25	9D25	6D25	12D25	12D25	6D25	6D25	12D25
4	9D25	9D25	6D25	12D25	12D25	6D25	6D25	12D25
3	9D25	9D25	6D25	12D25	12D25	6D25	6D25	12D25
2	9D25	9D25	6D25	12D25	12D25	6D25	6D25	12D25
1	9D25	9D25	6D25	12D25	12D25	6D25	6D25	12D25

Dari data pada tabel di atas, tulangan kolom pada semua model gedung memiliki luasan Ast yang sama. Ukuran kolom yang dapat tergolong cukup besar memiliki kemampuan menahan gaya yang lebih besar, sehingga digunakan tulangan sebesar 0,01 Ag pada semua model gedung. Jumlah tulangan yang digunakan sama besar, tetapi perletakan tulangan lentur kolom pada setiap sisi kolom berbeda.

2. Tulangan Geser

Pada tulangan geser kolom digunakan tulangan ulir dengan besar diameter 13 mm.

a. Kolom Tengah

Hasil perhitungan tulangan geser kolom tengah yang dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5.176 Rekapitulasi Luas Tulangan Geser Daerah Luar Sendi Plastis Kolom Tengah

Lantai	Kolom Tengah (<i>Joint 32</i>)			
	Daerah Luar Sendi Plastis (mm ²)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	265,465	265,465	265,465	265,465
8	265,465	265,465	265,465	265,465
7	265,465	265,465	265,465	265,465
6	265,465	265,465	265,465	265,465
5	265,465	265,465	265,465	265,465
4	265,465	265,465	265,465	265,465
3	265,465	265,465	265,465	265,465
2	265,465	265,465	265,465	265,465
1	265,465	265,465	265,465	265,465

Tabel 5.177 Rekapitulasi Luas Tulangan Geser Daerah Sendi Plastis Kolom Tengah

Lantai	Kolom Tengah (<i>Joint 32</i>)			
	Daerah Sendi Plastis (mm ²)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	877,5	658,5	658,5	658,5
8	877,5	658,5	658,5	658,5
7	877,5	658,5	658,5	658,5
6	877,5	658,5	658,5	658,5
5	877,5	658,5	658,5	658,5
4	877,5	658,5	658,5	658,5
3	877,5	658,5	658,5	658,5
2	877,5	658,5	658,5	658,5
1	877,5	658,5	658,5	658,5

Tabel 5.178 Rekapitulasi Tulangan Geser Daerah Luar Sendi Plastis Kolom Tengah Arah X dan Arah Y

Lantai	Kolom Tengah (<i>Joint 32</i>)			
	Daerah Luar Sendi Plastis (mm)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	D13-150	D13-150	D13-150	D13-150
8	D13-150	D13-150	D13-150	D13-150
7	D13-150	D13-150	D13-150	D13-150
6	D13-150	D13-150	D13-150	D13-150
5	D13-150	D13-150	D13-150	D13-150
4	D13-150	D13-150	D13-150	D13-150
3	D13-150	D13-150	D13-150	D13-150
2	D13-150	D13-150	D13-150	D13-150
1	D13-150	D13-150	D13-150	D13-150

Tabel 5.179 Rekapitulasi Tulangan Geser Daerah Sendi Plastis Kolom Tengah Arah X dan Arah Y

Lantai	Kolom Tengah (<i>Joint 32</i>)			
	Daerah Sendi Plastis (mm)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	3D13-100	2,5D13-100	2,5D13-100	2,5D13-100
8	3D13-100	2,5D13-100	2,5D13-100	2,5D13-100
7	3D13-100	2,5D13-100	2,5D13-100	2,5D13-100
6	3D13-100	2,5D13-100	2,5D13-100	2,5D13-100
5	3D13-100	2,5D13-100	2,5D13-100	2,5D13-100
4	3D13-100	2,5P13-100	2,5P13-100	2,5P13-100
3	3D13-100	2,5D13-100	2,5D13-100	2,5D13-100
2	3D13-100	2,5D13-100	2,5D13-100	2,5D13-100
1	3D13-100	2,5D13-100	2,5D13-100	2,5D13-100

b. Kolom Tepi

Hasil perhitungan tulangan geser kolom tepi yang dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5.180 Rekapitulasi Luas Tulangan Geser Daerah Luar Sendi Plastis Kolom Tepi

Lantai	Kolom Tepi (<i>Joint B</i>)			
	Daerah Luar Sendi Plastis (cm ²)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	265,465	265,465	265,465	265,465
8	265,465	265,465	265,465	265,465
7	265,465	265,465	265,465	265,465
6	265,465	265,465	265,465	265,465
5	265,465	265,465	265,465	265,465
4	265,465	265,465	265,465	265,465
3	265,465	265,465	265,465	265,465
2	265,465	265,465	265,465	265,465
1	265,465	265,465	265,465	265,465

Tabel 5.181 Rekapitulasi Luas Tulangan Geser Daerah Sendi Plastis Kolom Tepi

Lantai	Kolom Tepi (<i>Joint B</i>)			
	Daerah Sendi Plastis (cm ²)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	877,5	658,5	658,5	658,5
8	877,5	658,5	658,5	658,5
7	877,5	658,5	658,5	658,5
6	877,5	658,5	658,5	658,5
5	877,5	658,5	658,5	658,5
4	877,5	658,5	658,5	658,5
3	877,5	658,5	658,5	658,5
2	877,5	658,5	658,5	658,5
1	877,5	658,5	658,5	658,5

Tabel 5.182 Rekapitulasi Tulangan Geser Daerah Luar Sendi Plastis Kolom Tepi Arah X dan Arah Y

Lantai	Kolom Tepi (<i>Joint B</i>)			
	Daerah Luar Sendi Plastis (mm)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	D13-150	D13-150	D13-150	D13-150
8	D13-150	D13-150	D13-150	D13-150
7	D13-150	D13-150	D13-150	D13-150
6	D13-150	D13-150	D13-150	D13-150
5	D13-150	D13-150	D13-150	D13-150
4	D13-150	D13-150	D13-150	D13-150
3	D13-150	D13-150	D13-150	D13-150
2	D13-150	D13-150	D13-150	D13-150
1	D13-150	D13-150	D13-150	D13-150

Tabel 5.183 Rekapitulasi Tulangan Geser Daerah Sendi Plastis Kolom Tepi Arah X dan Arah Y

Lantai	Kolom Tepi (<i>Joint B</i>)			
	Daerah Sendi Plastis (mm)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
9	3D13-100	2,5D13-100	2,5D13-100	2,5D13-100
8	3D13-100	2,5D13-100	2,5D13-100	2,5D13-100
7	3D13-100	2,5D13-100	2,5D13-100	2,5D13-100
6	3D13-100	2,5D13-100	2,5D13-100	2,5D13-100
5	3D13-100	2,5D13-100	2,5D13-100	2,5D13-100
4	3D13-100	2,5P13-100	2,5P13-100	2,5P13-100
3	3D13-100	2,5D13-100	2,5D13-100	2,5D13-100
2	3D13-100	2,5D13-100	2,5D13-100	2,5D13-100
1	3D13-100	2,5D13-100	2,5D13-100	2,5D13-100

Dari hasil perhitungan didapatkan perbedaan luasan tulangan geser yang dibutuhkan pada daerah sendi plastis kolom tepi dan kolom tengah. Hal tersebut dikarenakan perbedaan panjang sisi penampang kolom. Model 1 membutuhkan luasan tulangan geser lebih sedikit.

5.7 Pembahasan Hasil Analisis

Dari hasil penelitian, gedung yang dirancang menggunakan penempatan tampang kolom pada arah yang berbeda menghasilkan hasil analisis yang berbeda dari parameter yang telah ditetapkan pada penelitian tugas akhir ini. Dari semua jenis model gedung, model 4 menghasilkan analisis yang lebih aman dan penggunaan tulangan yang lebih sedikit pada penulangan lentur dan geser balok.

Perbandingan nilai periode getar berdasarkan hasil analisis ETABS V.13 (T_c) yang tertera pada Tabel 5.10, gedung model 1 sebagai pengontrol nilai periode getar gedung model lainnya. Nilai periode model 2 lebih besar 8,015% dari model 1, gedung model 3 lebih besar 6,0433% dari model 1, dan gedung model 4 lebih kecil 1,463% dari model 1. Dari semua nilai rasio yang dihasilkan, gedung model 4 memiliki rasio terkecil. Dapat dikatakan jika gedung model 4 memiliki kekakuan struktur bangunan yang lebih besar. Hal tersebut sesuai dengan Persamaan 5.3 nilai kekakuan akan lebih besar apabila bangunan memiliki momen inersia lebih besar. Dalam penelitian ini momen inersia kolom model 4 sebesar $0,5649 \text{ m}^4$ dan $0,1145 \text{ m}^4$. Besarnya nilai kekakuan bangunan akan memperbesar nilai frekuensi sudut dalam. Dari Persamaan 5.1 dapat dilihat jika semakin besar kekakuan maka nilai periode akan semakin kecil sehingga dapat dikatakan jika nilai periode berbanding terbalik terhadap nilai kekakuan struktur. Untuk kekakuan struktur berbanding lurus terhadap nilai momen inersia elemen struktur.

Periode getar berpengaruh pada besarnya gaya geser dasar dinamik yang diperoleh dari analisis menggunakan program ETABS V.13. Gaya geser dasar berdasarkan SNI 03-1726-2012, gaya geser dasar dihitung berdasarkan persamaan:

$$V = C_s W \quad 5.4$$

Koefisien C_s ditentukan dengan menggunakan persamaan-persamaan berikut :

$$C_{S1} = \frac{S_{DSR}}{\frac{R}{I_C}} \quad 5.5$$

$$C_{S2} = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_C}\right)} \quad 5.6$$

$$C_{S3} = \frac{S_1}{\frac{R}{I_C}} \quad 5.7$$

Apabila digunakan C_{S2} , maka dari Persamaan 5.6 dapat dilihat semakin besar nilai periode (T), nilai C_{S2} semakin kecil. Semakin kecil nilai C_{S2} akan semakin kecil nilai V karena nilai V berbanding lurus dengan nilai C_s sesuai dengan Persamaan 5.4. Namun, nilai gaya geser dasar berbanding terbalik terhadap nilai periode struktur bangunan. Semakin kecil getar periode maka nilai gaya geser dinamik semakin besar sehingga gedung model 4 memiliki gaya geser dasar dinamik arah X maupun arah Y lebih besar dari model gedung lainnya. Dari Tabel 5.17 gaya geser dasar dinamik arah X gedung model 2 lebih kecil 8,214% dari model 1, gedung model 3 lebih kecil 0,207% dari model 1, dan gedung model 4 lebih besar 5,965% dari model 1. Dari Tabel 5.17 gaya geser dasar dinamik arah Y gedung model 2 lebih besar 0,348%, dari model 1, model 3 lebih besar 0,348% dari model 1, dan model 4 lebih besar 12,476% dari model 1. Untuk gaya geser dasar statik semua gedung memiliki besar yang sama karena massa bangunan dan koefisien respon seismik yang digunakan adalah sama.

Dari besarnya periode getar dan gaya geser dasar yang terjadi setiap gedung pada penelitian tugas akhir ini dapat dilihat nilai kekakuan struktur bangunannya. Saat bangunan memiliki kekakuan struktur yang besar maka dapat menahan beban gempa yang datang dari arah X maupun arah Y bangunan. Perbandingan simpangan dilakukan menggunakan kombinasi beban mati, hidup, dan gempa dengan faktor beban. Pada hasil penelitian analisis simpangan bangunan, gedung model 4 memiliki perilaku dalam menahan simpangan yang sangat baik diantara gedung model lainnya dalam penelitian ini. Gedung model 2 dan model 3 kurang mampu menahan beban gempa sehingga terjadi simpangan yang cukup besar. Simpangan antar lantai maksimum arah X dan arah Y terjadi pada gedung model 2, arah X terjadi di *joint* B dan di *joint* C pada lantai ke-4 dan ke-5 sebesar 58,85 mm. Untuk arah Y sebesar 59,95 mm pada lantai ke-4 dan ke-5 pada *joint* D dan *joint* E (gambar perletakan *joint* dapat dilihat pada Gambar 5.10 hingga Gambar 5.13) dengan simpangan antar lantai yang diijinkan sebesar 61,538 mm.

Akibat adanya simpangan bangunan yang cukup besar namun masih memenuhi syarat simpangan ijin antar lantai pada gedung model 2 dan model 3. Maka terjadilah torsi arah X untuk gedung model 2 dan arah Y untuk gedung model 3. Selain nilai simpangan yang besar, faktor terjadinya torsi adalah besarnya nilai eksentrisitas bangunan pada gedung model 2 dan 3. Dari Tabel 5.89 nilai eksentrisitas bangunan terbesar arah X senilai 0,897 mm pada bangunan model 2, sedangkan arah Y sebesar 0,623 mm pada bangunan model 3.

Ketidakteraturan torsi yang terjadi adalah ketidakteraturan torsi tipe 1a, yaitu simpangan antar lantai tingkat maksimum dan ujung struktur melintang terhadap sumbu lebih dari 1,2 kali simpangan antar lantai tingkat rata-rata di kedua ujung struktur. Ketidakteraturan horizontal yang dimiliki oleh semua model gedung pada penelitian ini hanya ketidakteraturan torsi dan sudut dalam. Ketidakteraturan sudut dalam terjadi karena proyeksi denah sudut dalam lebih besar dari 15% proyeksi denah sudut dalam arah X maupun Y. Besar nilai selisihnya adalah 71,875 % arah X dan 67,5 % arah Y.

Nilai momen maksimum balok pada daerah tumpuan sebesar 575,14 kNm pada bangunan model 2 di lantai 4 sedangkan daerah daerah lapangan sebesar 196,19 kNm pada bangunan model 2 di lantai 4. Nilai gaya geser untuk beban mati terbesar senilai 132,59 kN pada bangunan model 4 sedangkan untuk beban hidup terbesar senilai 35,119 kN pada bangunan model 3. Gaya aksial yang dihasilkan memiliki nilai selisih yang sangat kecil antar model bangunan, gaya aksial maksimum sebesar 4,564 kN pada bangunan model 2. Besarnya gaya aksial yang bekerja cukup kecil sehingga dapat diabaikan dan komponen struktur dapat disebut sebagai komponen balok lentur. Namun, apabila komponen struktur memikul gaya aksial dan momen lentur yang tidak dapat diabaikan salah satunya, maka komponen tersebut dinamakan balok-kolom (Setiawan, 2008)

Nilai momen kolom arah X (M2) maksimum sebesar 2491,64 kNm pada bangunan model 3 sedangkan momen kolom arah Y (M3) maksimum sebesar 2645,91 kNm pada bangunan model 2. Gaya geser ultimate terbesar arah X (V2) pada bangunan model 2 senilai 301,05 kN sedangkan untuk arah Y terjadi pada bangunan model 3 sebesar 317,22 kN. Gaya aksial pada kolom memiliki kisaran

nilai yang hampir sama pada semua model bangunan. Hal tersebut terjadi karena berat bangunan kolom antara model satu dengan model lainnya sama. Momen dan gaya geser terbesar pada kolom terjadi pada kolom yang diletakkan di tepi bangunan.

Pada desain penulangan lentur balok, bangunan model 2 membutuhkan jumlah luasan tulangan lentur lebih banyak pada daerah tumpuan maupun lapangan dengan masing-masing nilai 4106, 227 mm² dan 2453,876 mm². Hal tersebut terjadi karena momen yang ditimbulkan pada bangunan tersebut lebih besar dari bangunan lainnya. Untuk penulangan geser pada balok B1 membutuhkan luasan tulangan yang lebih besar di bangunan model 3 dengan nilai sebesar 314,159 mm². Jarak pemasangan tulangan geser yang digunakan adalah sama 100 mm pada semua jenis balok dan model bangunan.

Pada desain lentur kolom, digunakan jumlah tulangan yang sama sebanyak 32 buah tulangan. Berdasarkan SNI 2847:2013, Pasal 21.6.3, Luas tulangan memanjang, A_{st} , tidak boleh kurang dari $0,01A_g$ atau lebih dari $0,06A_g$. Pada penelitian ini ukuran kolom tergolong sangat besar, sehingga tanpa adanya penambahan tulangan, kolom tetap mampu menahan besarnya gaya yang ditimbulkan oleh gaya-gaya dalam struktur. Oleh sebab itu, pada penelitian ini besarnya A_{st} diambil sebesar $0,01 A_g$. Dikarenakan A_g kolom yang digunakan sama sebesar 1,5625 m², sehingga A_{st} yang digunakan besarnya adalah sama sebesar 0,0156 m² yang menghasilkan tulangan sebanyak 32 buah. Hanya perletakan jumlah tulangan tiap sisinya berbeda karena dimensi yang dipakai berbeda.

Pada desain geser kolom dibutuhkan luasan tulangan yang sama besar 265,46 mm² pada daerah luar sendi plastis, sedangkan di daerah sendi plastis dibutuhkan luasan tulangan sebesar 877,5 mm² untuk model 1 dan 658,5 mm² untuk model 2, model 3, serta model 4 dengan jarak antar tulangan geser sebesar 100 mm. Pada tulangan geser di daerah plastis, model 2, 3, dan 4 mengalami penurunan kebutuhan luas tulangan sebesar 24,957% terhadap model 1. Jarak antar tulangan geser daerah luar sendi plastis untuk semua kolom sebesar 150 mm.

Dari semua hasil yang diperoleh dalam penelitian tugas akhir ini dapat disimpulkan jika bangunan model 2 kurang baik dalam menahan gaya dari arah X, sedangkan bangunan model 3 kurang baik dalam menahan gaya dari arah Y. Bangunan dengan model 1 dan model 4 lebih optimal dalam menahan gaya dari arah X maupun arah Y. Maka jika menggunakan kolom berbentuk persegi panjang perlu adanya kombinasi perletakan arah kolom. Perletakan yang baik adalah memanjang kolom secara tegak lurus terhadap arah memanjang sumbu utama denah struktur bangunan.

Dari penelitian ini dihasilkan bangunan model 4 membutuhkan tulangan lebih sedikit dalam perencanaan tulangan lentur dan tulangan geser pada balok. Selain menghasilkan kebutuhan tulangan balok yang lebih sedikit, model 4 lebih baik perilaku strukturnya terhadap pengaruh beban gempa. Hal tersebut terjadi karena bangunan model 4 lebih optimal dalam menahan gaya-gaya yang diakibatkan oleh beban gempa, sehingga simpangan bangunan yang dihasilkan lebih kecil. Pada bangunan model 1, membutuhkan tulangan geser pada kolom lebih sedikit dari model lainnya.

Dari beberapa penelitian terdahulu mengenai simpangan antar lantai dengan menggunakan variasi kolom yang berbeda didapatkan hasil bahwa kolom dengan penampang persegi panjang memiliki perilaku struktur yang lebih baik bila dibandingkan dengan penampang bujursangkar. Ertanto dkk. (2015) menganalisis perbandingan pengaruh variasi penampang kolom terhadap perilaku struktur bangunan pada gedung. Variasi bentuk kolom yang digunakan yaitu penampang bujur sangkar, lingkaran, dan persegi panjang dengan luas penampang beton dan luas tulangan yang sama Hasil analisis menunjukkan simpangan pada struktur dengan kolom persegi panjang memiliki simpangan struktur arah-x paling besar sedangkan pada arah-y memiliki simpangan paling kecil bila dibandingkan dengan bujursangkar.

Namun, dalam penelitian ini membuktikan bahwa akan menghasilkan perilaku struktur yang berbeda apabila penempatan tampang kolom persegi panjang diletakan pada arah yang berbeda. Penempatan tampang kolom harus memperhatikan besar momen inersia kolom. Karena momen inersia kolom

berbanding lurus terhadap nilai kekakuan struktur sehingga jika bangunan memiliki struktur yang kaku saat terjadi gempa bangunan tersebut tidak menghasilkan simpangan yang berlebihan yang dapat merusak struktur bangunan. Penempatan arah kolom juga mempengaruhi besarnya gaya-gaya dalam yang ditimbulkan oleh elemen-elemen struktur. Selain itu, penempatan kolom juga harus memperhatikan orientasi sumbu utama struktur terhadap denah bangunan.

Perlu diperhatikan pula konfigurasi perletakan balok anak karena dapat mempengaruhi diafragma lantai dan diafragma lantai dapat mempengaruhi kekakuan dari sebuah bangunan gedung. Hal tersebut dibuktikan oleh Rosyidah dan Sucita (2010) yang melakukan penelitian pengaruh konfigurasi penempatan balok anak terhadap perilaku struktur beton bertulang. Perilaku struktur berupa periode getar dan simpangan struktur. Dihasilkan periode terbesar senilai 1,6408 s dan simpangan terbesar terjadi pada model 4 yaitu konfigurasi balok anak yang ditempatkan bersilang sumbu X dan sumbu Y. Periode terkecil pada model 2 senilai 1,608 s dengan konfigurasi balok anak searah sumbu Y, sedangkan simpangan terkecil terjadi pada model 3 dengan konfigurasi balok anak tiap lantai berbeda arah sumbu. Dari penelitian tersebut didapatkan hasil jika penempatan balok anak tegak lurus terhadap salah sumbu global bangunan terpanjang akan menghasilkan kekakuan struktur lebih optimal. Balok anak sendiri dapat menyumbangkan kekakuan pada balok utama dan struktur pada umumnya sehingga memberikan perilaku struktur yang berbeda ketika menerima beban luar. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang pengaruh konfigurasi balok anak pada denah yang digunakan pada penelitian ini terhadap perilaku struktur.