

## BAB IV

### ANALISIS & PEMBAHASAN

#### 4.1 EKSENTRISITAS STRUKTUR

Pada Tugas Akhir ini, semua model mempunyai bentuk yang simetris sehingga pusat kekakuan dan pusat massa yang ada berhimpit pada satu titik. Akan tetapi, untuk menghindari berbagai keadaan yang mungkin berbahaya, sehingga model-model struktur yang dibuat tetap dikenakan eksentrisitas sebesar  $e_d$ . Perhitungan eksentrisitas mengacu pada SNI Gempa 1726 pasal 5.4.3 sebagai berikut :

Rumus yang digunakan untuk  $0 < e \leq 0,3b$  adalah :

$$e_d = 1,5e + 0,005b \dots\dots\dots (4.1)$$

$$e_d = e - 0,005b \dots\dots\dots (4.2)$$

Dari kedua rumus diatas diambil nilai yang terkecil, sehingga diperoleh nilai  $e_x = -2$  dan  $e_y = -1$ . Nilai  $e_x$  dan  $e_y$  tersebut menjadi eksentrisitas yang diinput pada setiap diafragma lantai berupa nilai mutlak sebesar  $e_{dx} = 2$  dan  $e_{dy} = 1$ . Eksentrisitas yang dikenakan pada keseluruhan model struktur sama. Sebagai contoh perhitungan pada model bangunan 8 lantai dapat dilihat pada tabel 4.1 dan tabel 4.2 , dengan perhitungan eksentrisitas sebagai berikut :

- Eksentrisitas pada arah sumbu-x dengan  $b_x = 40$  m  
Pusat massa sb-x = 20 m & Pusat kekakuan sb-x = 20 m

$$e_x = 20 \text{ m} - 20 \text{ m} = 0$$

$$e_{dx1} = (1,5 \times 0) + (0,005 \times 40) = 0,6 \text{ m}$$

$$e_{dx2} = 0 - (0,005 \times 40) = -2 \text{ m}$$

maka nilai  $e_{dx}$  yang diambil adalah yang terjauh yaitu  $e_{dx2} = -2$  m. Dengan demikian input eksentrisitas pada sb-x sebesar  $|e_{dx}| = 2$  m.

- Eksentrisitas pada arah sumbu-y dengan  $b_y = 20$  m  
Pusat massa sb-y = 10 m & Pusat kekakuan sb-y = 10 m

$$e_y = 10 \text{ m} - 10 \text{ m} = 0$$

$$ed_{y1} = (1,5 \times 0) + (0,005 \times 10) = 0,3 \text{ m}$$

$$ed_{y2} = 0 - (0,005 \times 40) = -1 \text{ m}$$

maka nilai  $e_{dy}$  yang diambil adalah nilai yang terjauh yaitu  $e_{dy2} = -1$  m. Dengan demikian input eksentrisitas pada sb-y sebesar  $|e_{dy}| = 1$  m.

Tabel 4.1 Perhitungan eksentrisitas bangunan 8 lantai pada arah sumbu-x

No	Lantai	Xm	Xk	ex	ex	bx	0.3bx	edx1	edx2	edx
1	8	20	20	0	0	40	12	0.6	-2	2
2	7	20	20	0	0	40	12	0.6	-2	2
3	6	20	20	0	0	40	12	0.6	-2	2
4	5	20	20	0	0	40	12	0.6	-2	2
5	4	20	20	0	0	40	12	0.6	-2	2
6	3	20	20	0	0	40	12	0.6	-2	2
7	2	20	20	0	0	40	12	0.6	-2	2
8	1	20	20	0	0	40	12	0.6	-2	2

Tabel 4.2 Perhitungan eksentrisitas bangunan 8 lantai pada arah sumbu-y

No	Lantai	Ym	Yk	ey	ey	by	0.3by	edy1	edy2	edy
1	8	10	10	0	0	20	6	0.3	-1	1
2	7	10	10	0	0	20	6	0.3	-1	1
3	6	10	10	0	0	20	6	0.3	-1	1
4	5	10	10	0	0	20	6	0.3	-1	1
5	4	10	10	0	0	20	6	0.3	-1	1
6	3	10	10	0	0	20	6	0.3	-1	1
7	2	10	10	0	0	20	6	0.3	-1	1
8	1	10	10	0	0	20	6	0.3	-1	1

## 4.2 ANALISA VIBRASI DAN WAKTU GETAR STRUKTUR

Pada setiap bangunan gedung yang dibangun di Indonesia harus memenuhi persyaratan pembatasan waktu getar alami yang terdapat pada SNI Gempa 1726 pasal 5.6. Hal tersebut dilakukan untuk mencegah simpangan antar-tingkat yang berlebihan dan menjamin kenyamanan penghunian, serta untuk membatasi kemungkinan kerusakan struktur maupun non-struktur yang dapat menelan korban jiwa. Pada model-model struktur di tugas akhir ini diasumsikan terletak pada wilayah gempa zona 3, sehingga persyaratan pembatasan waktu getar alaminya dapat dilihat pada tabel sebagai berikut :

Tabel 4.3 Batasan waktu getar alami fundamental struktur gedung

<b>Jumlah tingkat ( n )</b>	<b>Koefisien zona 3 ( <math>\zeta</math> )</b>	<b>Batasan waktu getar (detik) ( n x <math>\zeta</math> )</b>
8	0.18	1.44
12	0.18	2.16
16	0.18	2.88
20	0.18	3.60

Pada model-model struktur di tugas akhir ini, keseluruhan model memenuhi persyaratan tersebut diatas, seperti terlihat pada tabel berikut ini :

Tabel 4.4 Cek waktu getar alami struktur

<b>Jumlah tingkat</b>	<b>Waktu getar <math>T_1</math> ( detik )</b>	<b>Batasan waktu getar ( detik )</b>	<b>Cek waktu getar</b>
8	1.1143	1.44	Ok
12	1.8018	2.16	Ok
16	2.4886	2.88	Ok
20	3.1739	3.60	Ok

Pada analisa vibrasi yang diperhatikan adalah kecenderungan perilaku struktur terhadap beban gempa, dimana ragam (*mode shape*) yang pertama harus dominan dalam arah translasi. Hal tersebut penting diperhatikan karena apabila pada ragam pertamanya sudah dominan dalam rotasi, hal ini menunjukkan perilaku bangunan yang buruk dan sangat tidak nyaman bagi penghuni bangunan saat terjadi gempa. Ketentuan tersebut tercantum dalam SNI Gempa 1726 pasal 7.1.1. Pada bangunan gedung yang ideal, ragam yang terjadi adalah arah translasi untuk ragam pertama dan kedua, sedangkan ragam yang ketiga baru arah rotasi. Hal lain yang harus diperhatikan adalah respons spektrum yang disuperposisikan harus mencapai sekurang-kurangnya 90% dari partisipasi massa respons total. Analisa vibrasi pada model-model struktur ditugas akhir, keseluruhan model didesain sedemikian rupa agar tidak ada yang mengalami rotasi pada ragam yang pertama, dapat dilihat pada tabel berikut ini:

Tabel 4.5 Analisa vibrasi untuk ragam

Jumlah Tingkat	Nomor Ragam	T (detik)	Ux (%massa)	Uy (%massa)	Rz (%massa)	Keterangan
8	1	1.1143	75.205	0	0	Translasi-X
	2	0.9793	0	0	71.383	Rotasi-Z
	3	0.8482	0	70.461	0	Translasi-Y
12	1	1.8018	74.848	0	0	Translasi-X
	2	1.5829	0	0	72.213	Rotasi-Z
	3	1.4294	0	70.268	0	Translasi-Y
16	1	2.4886	75.123	0	0	Translasi-X
	2	2.1321	0	0	73.203	Rotasi-Z
	3	2.0372	0	70.449	0	Translasi-Y
20	1	3.1739	75.506	0	0	Translasi-X
	2	2.7174	0	0	73.889	Rotasi-Z
	3	2.6173	0	70.888	0	Translasi-Y

Tabel 4.6 Analisa vibrasi persentase partisipasi massa

Jumlah Tingkat	Jumlah Ragam	Persentase Partisipasi Massa
8	24	100%
12	36	100%
16	48	100%
20	60	100%

#### 4.3FAKTOR REDUKSI GEMPA REPRESENTATIF

Seperti telah dijelaskan pada bab sebelumnya, untuk dapat menganalisa faktor reduksi gempa suatu struktur dengan metoda analisa nilai rata-rata berbobot, maka pertama kali tentukan dahulu gaya geser dasar dari sistem untuk masing-masing arah yaitu  $V_x$  dan  $V_y$  dan gaya geser dasar dari masing-masing subsistem yang besarnya  $V_{xs}$  dan  $V_{ys}$ . Langkah selanjutnya adalah menghitung faktor reduksi gempa representatif dengan cara pembobotan dengan rumus dibawah ini :

$$R_{\text{Representatif}} = \frac{V_x + V_y}{\sum \left( \frac{V_{xs}}{R_{xs}} \right) + \sum \left( \frac{V_{ys}}{R_{ys}} \right)} \dots\dots\dots (4.3)$$

dimana :

$V_x$  : Gaya geser dasar untuk pembebanan gempa dalam arah sumbu-x

$V_y$  : Gaya geser dasar untuk pembebanan gempa dalam arah sumbu-y

$R_{xs}$  : Faktor reduksi gempa dari masing-masing subsistem untuk pembebanan gempa dalam arah sumbu-x

$R_{ys}$  : Faktor reduksi gempa dari masing-masing subsistem untuk pembebanan gempa dalam arah sumbu-y

$V_{xs}$  : Gaya geser dasar dari masing-masing subsistem untuk pembebanan gempa dalam arah sumbu-x

$V_{ys}$  : Gaya geser dasar dari masing-masing subsistem untuk pembebanan gempa dalam arah sumbu-y

Untuk mempermudah perhitungan faktor reduksi gempa secara pembobotan, maka perhitungan dilakukan dengan bantuan program Excel. Data-data hasil analisa dari program ETABS dipindahkan ke Excel. Data-data tersebut yaitu :

- *Story Shears*

Dari data ini diambil gaya geser tingkat akibat beban lateral di lantai dasar bangunan pada sumbu-x dan sumbu-y, yaitu  $V_x$  dan  $V_y$ .

- Gaya geser akibat beban gempa pada Dinding Geser

Dari data ini, diambil gaya geser yang terjadi akibat beban lateral pada lantai dasar bangunan untuk sumbu-x dan sumbu-y, yaitu  $V_{x_{wall}}$  dan  $V_{y_{wall}}$ . Sedangkan untuk menentukan besarnya gaya geser akibat beban lateral pada *frame*, dilakukan dengan mengurangi gaya geser tingkat terhadap gaya geser pada dinding geser sehingga diperoleh gaya geser pada *frame* untuk masing-masing sumbu, yaitu  $V_{x_{frame}}$  dan  $V_{y_{frame}}$ .

Sebagai contoh perhitungan pada model bangunan 8 lantai SRPMK dengan  $R_{wall} = 8,5$  dan  $R_{frame} = 5,5$  adalah sebagai berikut :

Gaya geser tingkat  $V_x$  dan  $V_y$  :

Lantai	$V_x$	$V_y$
Lantai 8	7288.70	8509.41
Lantai 7	14282.20	16241.39
Lantai 6	20133.24	22286.75
Lantai 5	24959.17	27049.78
Lantai 4	28794.67	30774.51
Lantai 3	31608.96	33514.68
Lantai 2	33332.97	35208.51
Lantai 1	33970.01	35856.90

Gaya geser pada dinding geser :

Lantai 1	V <sub>wall</sub>	
	V <sub>xwall</sub>	V <sub>ywall</sub>
Pier-1	4789.64	5885.87
Pier-2	7087.30	10166.53
Pier-3	7087.30	10166.53
Pier-4	4789.64	5885.87
Jumlah	26212.18	32104.80

Gaya geser pada *Frame* :

$$V_{xframe} = V_x - V_{xwall} = 33970,01 - 26212,18 = 7757,83 \text{ kN}$$

$$V_{yframe} = V_y - V_{ywal} = 35856,90 - 32104,80 = 3752,10 \text{ kN}$$

Faktor reduksi gempa representatif sebagai berikut :

$$R_{\text{Representatif}} = \frac{33970,01 + 35856,90}{\frac{7757,83}{8.5} + \frac{26212,18}{5.5} + \frac{3752,10}{8.5} + \frac{32104,80}{5.5}} = 5,8397$$

Tabel 4.7 Faktor reduksi gempa representatif struktur

8 Lantai	Load Case		Rx & Ry		R <sub>REPRESENTATIF</sub>	
	V <sub>x</sub>	V <sub>y</sub>	SRPMK	SRPMM	SRPMK	SRPMM
Frame	7757.83	3752.10	8.5	6.5	5.8397	5.6431
Wall	26212.18	32104.80	5.5	5.5		
12 Lantai	Load Case		Rx & Ry		R <sub>REPRESENTATIF</sub>	
	V <sub>x</sub>	V <sub>y</sub>	SRPMK	SRPMM	SRPMK	SRPMM
Frame	8535.25	4548.31	8.5	6.5	5.8579	5.6505
Wall	26137.04	36368.80	5.5	5.5		
16 Lantai	Load Case		Rx & Ry		R <sub>REPRESENTATIF</sub>	
	V <sub>x</sub>	V <sub>y</sub>	SRPMK	SRPMM	SRPMK	SRPMM
Frame	9076.13	5017.32	8.5	6.5	5.8741	5.6570
Wall	27267.14	36749.61	5.5	5.5		
20 Lantai	Load Case		Rx & Ry		R <sub>REPRESENTATIF</sub>	
	V <sub>x</sub>	V <sub>y</sub>	SRPMK	SRPMM	SRPMK	SRPMM
Frame	10423.15	5458.00	8.5	6.5	5.8871	5.6623
Wall	30283.22	39070.56	5.5	5.5		

Hasil analisa faktor reduksi gempa secara pembobotan dalam analisa dinamik tersebut, digunakan untuk menganalisa suatu faktor pengali untuk mengevaluasi besar gaya gempa dinamik, berdasarkan rumus :

$$\text{Faktor skala} = \frac{0.8 V_1}{V_t} \geq 1 \dots\dots\dots(4.5)$$

$$V_1 = \frac{C_1 \times I \times W_t}{R} \dots\dots\dots(4.6)$$

Dalam menghitung faktor skala tersebut, dari hasil analisis ETABS, dapat digunakan data-data sebagai berikut :

• *Modal Participation Mass Ratio*

Dari data ini diambil nilai waktu getar awal ( $T_1$ ) untuk menentukan nilai  $C_1$  .

• *Center Mass of Rigidity*

Dari data ini diambil jumlah total massa bangunan untuk menentukan berat total bangunan.

Apabila nilai faktor skala lebih kecil dari satu, maka nilai faktor skala yang diambil sama dengan satu. Faktor skala untuk metode pembobotan dapat dilihat pada tabel 4.10. Contoh perhitungan faktor skala sebagai berikut :

Diketahui : Bangunan 8 lantai SRPMK

- $R_{\text{representatif}} = 5.8397$
- Periode getar ragam-1 ( $T_1$ ) = 1.114
- Faktor respon gempa ( $C$ ) =  $0.75 / T_1 = 0.673$
- Faktor keutamaan ( $I$ ) = 1
- Berat total bangunan ( $W_t$ ) = 65654.460 kN
- Gaya geser ( $V_t$ ) = 44191.760 kN
- $0.8 V_t / R_{\text{representatif}} = 6053.936$  kN
- Gaya Geser sb-x ( $V_x$ ) = 5817.042 kN
- Gaya Geser sb-y ( $V_y$ ) = 6140.154 kN
- Faktor skala untuk sb-x =  $6053.936 / 5817.042 = 1.0407 \geq 1$
- Faktor skala untuk sb-y =  $6053.936 / 6140.154 = 0.9860 \geq 1$



Tabel 4.8 Faktor skala untuk struktur 8, 12, 16 dan 20 Lantai

Jumlah Tingkat	Faktor Skala	
	8	Arah -X
Arah -Y		0.9860
12	Arah -X	0.9910
	Arah -Y	0.8397
16	Arah -X	0.9454
	Arah -Y	0.8226
20	Arah -X	0.8578
	Arah -Y	0.7842

#### 4.4 SIMPANGAN STRUKTUR

Simpangan struktur yang harus diperiksa menurut SNI Gempa 1726 pasal 8 adalah simpangan antar-tingkat (*drift*). Pemeriksaan simpangan tersebut terdiri dari pemeriksaan terhadap Kinerja Batas Layan ( $\Delta_s$ ) dan Kinerja Batas Ultimit ( $\Delta_m$ ).

Kinerja batas layan struktur gedung ( $\Delta_s$ ) ditentukan oleh simpangan antar-tingkat akibat pengaruh Gempa Rencana, Simpangan antar-tingkat ini harus dihitung dari simpangan struktur gedung tersebut akibat pengaruh Gempa Nominal yang telah dibagi Faktor Skala. Simpangan antar-tingkat maksimum ( $\Delta_s$ ) yang terjadi tidak boleh melebihi  $0.03/R \times$  tinggi tingkat atau 30 mm.

Kinerja batas ultimit struktur gedung ( $\Delta_m$ ) dihitung dari simpangan struktur gedung akibat pembebanan gempa nominal ( $\Delta_s$ ), dikalikan dengan suatu faktor pengali  $\xi = 0,7 \times R /$  faktor skala (untuk struktur gedung tidak beraturan). Kinerja batas ultimit struktur gedung ( $\Delta_m$ ) tidak boleh melampaui  $0,02 \times$  tinggi tingkat yang bersangkutan. Ringkasan

hasil analisa Kinerja Batas Layan dan Kinerja Batas Ultimit dapat dilihat pada tabel 4.9 dan tabel 4.10.

Dari hasil ringkasan pada tabel 4.9 dan tabel 4.10, dapat diambil kesimpulan bahwa pada setiap model dengan jumlah lantai yang sama, akan memiliki Kinerja Batas Ultimit (KBU) yang sama. Hal ini sesuai dengan ketentuan bahwa pengaruh

Gempa rencana pada struktur daktail ataupun elastik akan memiliki simpangan maksimum yang sama dalam kondisi diambang keruntuhan (*constant maximum displacement rule*).

Tabel 4.9 Kinerja Batas Layan (KBL) dan Kinerja Batas Ultimit Maksimum (KBU) dari model-model struktur dengan perhitungan Faktor Reduksi Gempa cara langsung

Tingkat	Jenis Frame	Beban Gempa Arah X			Beban Gempa Arah Y		
		Drift-x Ratio	KBL ( $\Delta_s$ ) dlm mm	KBU ( $\Delta_M$ ) dlm mm	Drift-y Ratio	KBL ( $\Delta_s$ ) dlm mm	KBU ( $\Delta_M$ ) dlm mm
8 Lantai	SRPMK	0.001526	6.104	36.319	0.001003	4.012	23.871
	SRPMM	0.001995	7.980	36.309	0.001312	5.248	23.878
12 Lantai	SRPMK	0.001684	6.736	40.079	0.001340	5.360	31.892
	SRPMM	0.002212	8.848	40.258	0.001758	7.032	31.996
16 Lantai	SRPMK	0.001809	7.236	43.054	0.001463	5.852	34.819
	SRPMM	0.002365	9.460	43.043	0.001913	7.652	34.817
20 Lantai	SRPMK	0.001994	7.976	47.457	0.001544	6.176	36.747
	SRPMM	0.002619	10.476	47.666	0.002020	8.080	36.764

Persyaratan izin untuk Kinerja Batas Layan (KBL) dan Kinerja Batas Ultimit (KBU) pada tabel 4.9 sebagai berikut :

- KBL maksimum adalah 30 mm atau  $0,03 \times H_i / R$   
 SRPMK ( $R = 8,5$ ) maka KBL maksimum = 14,118 mm  
 SRPMM ( $R = 6,5$ ) maka KBL maksimum = 18,462 mm
- KBU maksimum =  $0,02 \times H_i = 80$  mm

Tabel 4.10 Kinerja Batas Layan (KBL) dan Kinerja Batas Ultimit Maksimum (KBU) dari model-model struktur dengan perhitungan Faktor Reduksi Gempa cara pembobotan

Tingkat	Jenis Frame	Beban Gempa Arah X			Beban Gempa Arah Y		
		Drift-x Ratio	KBL ( $\Delta s$ ) dlm mm	KBU ( $\Delta M$ ) dlm mm	Drift-y Ratio	KBL ( $\Delta s$ ) dlm mm	KBU ( $\Delta M$ ) dlm mm
8 Lantai	SRPMK Rxy = 5,8397	0.002311	9.244	37.788	0.001461	5.844	23.889
	KBL maksimum : 30 mm atau $0,03 \times Hi / R = 20,657$ mm						
	SRPMM Rxy = 5,6431	0.002392	9.244	37.795	0.001511	6.044	23.875
	KBL maksimum : 30 mm atau $0,03 \times Hi / R = 21,265$ mm						
KBU maksimum : $0,02 \times Hi = 80$ mm							
12 Lantai	SRPMK Rxy = 5,8579	0.002454	9.816	40.251	0.001951	7.804	32.001
	KBL maksimum : 30 mm atau $0,03 \times Hi / R = 20,485$ mm						
	SRPMM Rxy = 5,6505	0.002544	10.176	40.250	0.002023	8.092	32.007
	KBL maksimum : 30 mm atau $0,03 \times Hi / R = 21,237$ mm						
KBU maksimum : $0,02 \times Hi = 80$ mm							
16 Lantai	SRPMK Rxy = 5,8741	0.002617	10.468	43.043	0.002117	8.468	34.819
	KBL maksimum: 30 mm atau $0,03 \times Hi / R = 20,429$ mm						
	SRPMM Rxy = 5,6570	0.002718	10.872	43.052	0.002198	8.792	34.815
	KBL maksimum : 30 mm atau $0,03 \times Hi / R = 21,213$ mm						
KBU maksimum : $0,02 \times Hi = 80$ mm							
20 Lantai	SRPMK Rxy = 5,8871	0.002892	11.568	47.671	0.002230	8.920	36.759
	KBL maksimum : 30 mm atau $0,03 \times Hi / R = 20,384$ mm						
	SRPMM Rxy = 5,6623	0.003007	12.028	47.674	0.002319	9.276	36.766
	KBL maksimum : 30 mm atau $0,03 \times Hi / R = 21,193$ mm						
KBU maksimum : $0,02 \times Hi = 80$ mm							

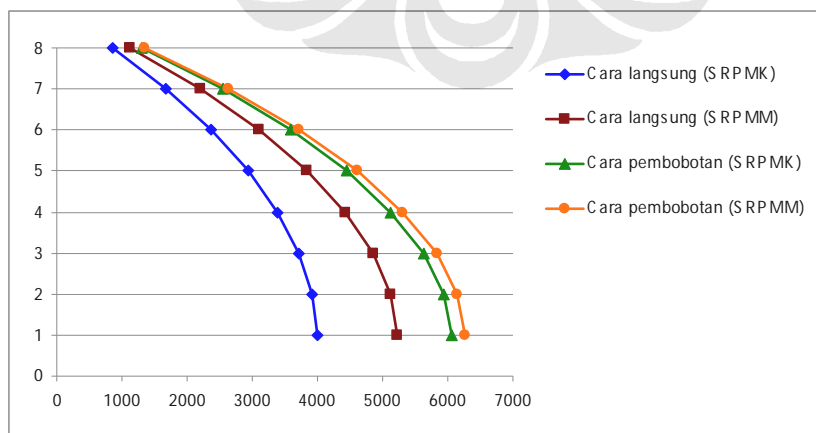
#### 4.5 AYA GESER STRUKTUR

Gaya geser merupakan salah satu bagian penting untuk menganalisa faktor reduksi gempa dan menentukan gaya geser pada *frame* serta dinding geser. Untuk sistem bangunan sistem ganda, harus diperhatikan besar gaya geser yang bekerja pada sistem struktur yang digunakan. Pada tabel dan gambar berikut, disajikan perbandingan gaya geser struktur pada model gedung 8 lantai (model lainnya terlampir). Dari hasil analisa tampak bahwa nilai gaya geser struktur pada arah sumbu-x lebih besar dari pada arah sumbu-y, hal ini disebabkan struktur memiliki nilai kekakuan pada arah sumbu-y lebih besar. Pada model-model bangunan 12, 16, dan 20 lantai terjadi kondisi yang sama.

Tabel 4.11 Gaya Geser Struktur Sumbu-X pada Gedung 8 Lantai

Jumlah Lantai	Gaya Geser Struktur Gedung 8 Lantai (kN)			
	Metoda Langsung SB-X		Metoda Pembobotan SB-X	
	SRPMK R = 8.5	SRPMM R = 6.5	SRPMK R = 5.8397	SRPMM R = 5.6431
8	857.49	1121.32	1298.96	1344.21
7	1680.26	2197.22	2545.32	2633.98
6	2368.62	3097.36	3588.07	3713.05
5	2936.37	3839.79	4448.13	4603.07
4	3387.61	4429.86	5131.67	5310.43
3	3718.7	4862.82	5633.23	5829.45
2	3921.53	5128.04	5940.47	6147.40
1	3996.47	5226.05	6054.00	6264.89

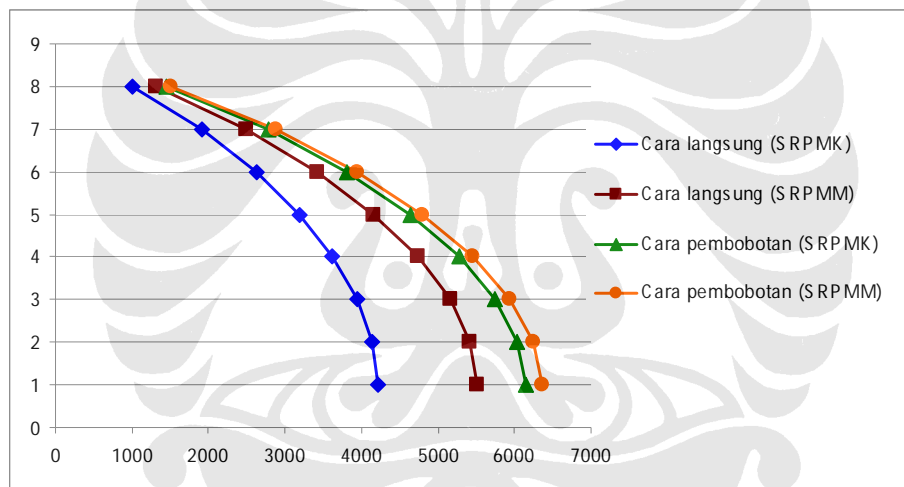
Grafik 4.1 Perbandingan Gaya Geser Struktur Sumbu-X pada Gedung 8 Lantai



Tabel 4.12 Gaya Geser Struktur Sumbu-Y pada Gedung 8 Lantai

Jumlah Lantai	Gaya Geser Struktur Gedung 8 Lantai (kN)			
	Metoda Langsung SB-Y		Metoda Pembobotan SB-Y	
	SRPMK R = 8.5	SRPMM R = 6.5	SRPMK R = 5.8397	SRPMM R = 5.6431
8	1001.11	1309.11	1457.18	1507.93
7	1910.75	2498.62	2781.23	2878.09
6	2621.97	3428.66	3816.46	3949.37
5	3182.33	4161.42	4632.10	4793.41
4	3620.53	4734.44	5269.94	5453.46
3	3942.90	5156.00	5739.17	5939.03
2	4142.18	5416.58	6029.23	6239.19
1	4218.46	5516.33	6140.27	6354.09

Grafik 4.2 Perbandingan Gaya Geser Struktur Sumbu-Y pada Gedung 8 Lantai



## 4.6 PENULANGAN ELEMEN STRUKTUR

### 4.6.1 Penulangan Balok dan Kolom

Pada Sistem Ganda dengan metode perhitungan faktor reduksi gempa secara langsung, maka harus dilakukan analisa tersendiri terhadap 25% beban gempa lateral yang bekerja pada *frame* tanpa bantuan dinding struktural. Dalam aplikasinya dengan program ETABS, hal tersebut dapat dilakukan dengan menghilangkan kekakuan pada dinding

geser dan didesain tersendiri agar gaya geser pada *frame* mencapai minimal 25% dari gaya geser total. Contoh perhitungan menentukan gaya geser *frame* agar mencapai 25% dari total gaya geser tingkat adalah sebagai berikut :

Dari desain awal diperoleh data :

•Gaya Geser tingkat pada lantai dasar :

$$V_x = 3996,47 \text{ kN} \text{ dan } V_y = 4218,46 \text{ kN}$$

25% dari Gaya Geser tingkat pada lantai dasar :

• $V_x = 999,1175 \text{ kN}$  dan  $V_y = 1054,615 \text{ kN}$

Kemudian dilakukan reduksi gaya gempa pada *scale factor* menjadi 25% dan kekakuan pada shearwall (*stiffener modifier*) dibuat = 0, dengan tujuan untuk menghilangkan fungsi shearwall. Setelah itu dilakukan analisa gaya dalam sehingga diperoleh gaya geser pada *frame* sebagai berikut :

• $V_{xframe} = 616,47 \text{ kN}$  dan  $V_{yframe} = 544,26 \text{ kN}$

Maka diperoleh suatu pengali agar gaya geser yang dipikul *frame* menjadi 25% dari total gaya geser struktur :

•Faktor pengali arah-x =  $999,1175 / 616,47 = 1,621$

•Faktor pengali arah-y =  $1054,615 / 544,26 = 1,938$

Faktor pengali tersebut di-input ulang pada *scale factor*, kemudian dari hasil analisis ini, dilakukan desain terhadap tulangan *frame*. Dari hasil analisa terhadap 25% beban gempa lateral yang bekerja pada *frame* tanpa bantuan dinding struktural, diperoleh jumlah tulangan pada kolom yang lebih besar dan tulangan balok yang lebih besar. Ringkasan pengali pada analisa terhadap kekuatan *frame* dengan beban gempa 25% untuk cara langsung dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4.13 *Scale factor* untuk analisa kekuatan *frame* terhadap beban gempa 25% tanpa bantuan dinding geser untuk cara langsung pada penggunaan faktor reduksi gempa.

Tingkat	Jenis Frame	Scale Factor	
		arah -x	arah-y
8	SRPMK	1.63	1.94
	SRPMM	1.63	1.94
12	SRPMK	1.45	1.70
	SRPMM	1.45	1.70
16	SRPMK	1.10	1.25
	SRPMM	1.10	1.25
20	SRPMK	1.00	1.00
	SRPMM	1.00	1.00

Hal-hal lain yang harus diperhatikan dalam desain penulangan balok dan kolom dengan adalah rasio luas tulangan. Untuk balok, rasio luas tulangan maksimum adalah 2,5% , sedangkan pada kolom rasio luas tulangannya berkisar 1% sampai dengan 6%. Dari hasil desain dengan program ETABS, ketentuan tersebut harus diperhatikan, terutama pada desain tulangan balok dan kolom dengan rasio yang dibawah ketentuan ataupun melebihinya. Hasil output desain penulangan *frame* dapat dilihat pada lampiran. Pada tugas akhir ini, syarat rasio luas tulangan minimum pada balok diabaikan, hal tersebut bertujuan untuk mempermudah analisa perhitungan antara faktor reduksi gempa cara langsung dan cara pembobotan sesuai output program.

#### 4.6.2 Penulangan Dinding Geser

Desain penulangan dinding geser dalam program ETABS, dilakukan dengan meng-input tulangan kedalam penampang dinding geser yang telah dibuat. Kemudian dilakukan pemeriksaan oleh program terhadap tulangan yang terpasang, termasuk kebutuhan untuk komponen batas (*boundary element*). Program ETABS akan memberikan informasi tentang kebutuhan tulangan transversal. Panjang minimum elemen pembatas adalah sebagai berikut :

- $P_u \leq 0.15P_o$  , maka panjang elemen pembatas minimum adalah 0.15 L

- $P_u = 0.15P_o$  , maka panjang elemen pembatas minimum adalah 0.25 L

Dimana : L adalah panjang dinding total

Dalam tugas akhir ini dilakukan pemasangan tulangan longitudinal untuk dinding geser menggunakan tulangan D16, D19 dan D22 dengan jarak antara 100 mm sampai dengan 150 mm. Sedangkan tulangan longitudinal pada elemen pembatas (*boundary element*) menggunakan tulangan D16, D19, D22 dan D25 dengan jarak antara 100 mm sampai dengan 150 mm.

#### 4.6.3 Persyaratan Kuat Lentur dan kuat geser

Agar struktur gedung tinggi memiliki daktilitas yang tinggi, harus diupayakan agar sendi-sendi plastis yang terjadi akibat beban gempa maksimum ada pada balok dan tidak terjadi pada kolom, kecuali pada kaki kolom yang paling bawah dan pada kolom bagian penyangga atap. Hal ini dapat dicapai bila kapasitas momen kolom lebih tinggi dari pada kapasitas balok yang bertemu pada kolom tersebut. Hal ini dikenal dengan konsep kolom kuat – balok lemah (*strong column weak beam*). Dalam SNI Beton 2847 pasal 23.4.2.2, telah ditentukan kuat lentur kolom dengan rumusan :

$$\sum M_k \geq \left(\frac{6}{5}\right) \sum M_b \dots\dots\dots (4.7)$$

Keterangan :

$\sum M_k$  = Jumlah momen dimuka hubungan balok kolom sesuai dengan desain kuat lentur nominal kolom

$\sum M_b$  = Jumlah momen dimuka hubungan balok kolom sesuai dengan desain kuat lentur nominal balok-balok yang merangka pada hubungan balok kolom tersebut



Dalam aplikasi dengan program ETABS, ketentuan mengenai hal tersebut diatas dapat langsung dilihat pada hasil output desain. Untuk *Frame* jenis SRPMK maka akan muncul ketentuan mengenai *strong column-weak beam* tersebut dengan rasio tidak boleh lebih dari satu.

Seperti halnya perhitungan kuat lentur pada hubungan balok kolom, dalam desain dengan program ETABS, maka program akan secara otomatis melakukan analisa dan membatasi rasio kekuatan kuat geser dibawah satu. Analisa yang dilakukan oleh program ETABS mengenai kuat geser pada hubungan balok kolom berlaku untuk *frame* jenis SRPMK dan SRPMM.

#### 4.7 PERHITUNGAN RASIO BERAT TULANGAN

Dalam Tugas Akhir ini, tulangan yang dihitung adalah tulangan longitudinal dan tulangan geser pada balok, kolom dan dinding geser. Desain tulangan pada ETABS harus disesuaikan dengan persyaratan yang berlaku di Indonesia. Sebagai contoh perhitungan rasio berat tulangan (kg) per volume beton ( $m^3$ ) sebagai berikut :

##### 1. Perhitungan rasio berat tulangan balok ( $kg/m^3$ beton)

- Tulangan Longitudinal

Contoh hasil desain balok bertulang dengan program ETABS :

B30x60 L = 8m	Output ETABS (%)		
	Tumpuan kiri	Lapangan	Tumpuan kanan
	L/4	L/2	L/4
Top	0.380	0.120	0.350
Bottom	0.180	0.350	0.170

Hasil desain tersebut harus diperiksa terhadap persentase tulangan maksimum balok, yaitu sebesar 2,50%. Untuk balok dengan persentase tulangan > 2,50%, maka harus dikoreksi dengan menambah luas penampang (desain ulang).

Kemudian dihitung berat tulangan (kg) dengan mengalikan persentase tulangan terhadap volume balok dan berat jenis tulangan. Pada tugas akhir ini, berat jenis tulangan digunakan sebesar  $7800 \text{ kg/m}^3$ .

- Berat tulangan pada tumpuan kiri atas adalah :

$$0.0038 \times 0.3\text{m} \times 0.6\text{m} \times (8\text{m} / 4) \times 7800 \text{ kg/m}^3 = 10.670 \text{ kg}$$

- Berat tulangan pada tumpuan kiri bawah adalah :

$$0.0018 \times 0.3\text{m} \times 0.6\text{m} \times (8\text{m} / 4) \times 7800 \text{ kg/m}^3 = 5.054 \text{ kg}$$

- Berat tulangan pada lapangan atas adalah :

$$0.00175 \times 0.3\text{m} \times 0.6\text{m} \times (8\text{m} / 2) \times 7800 \text{ kg/m}^3 = 9.828 \text{ kg}$$

- Berat tulangan pada lapangan bawah adalah :

$$0.0035 \times 0.3\text{m} \times 0.6\text{m} \times (8\text{m} / 2) \times 7800 \text{ kg/m}^3 = 10.656 \text{ kg}$$

- Berat tulangan pada tumpuan kanan atas adalah :

$$0.0035 \times 0.3\text{m} \times 0.6\text{m} \times (8\text{m} / 4) \times 7800 \text{ kg/m}^3 = 9.828 \text{ kg}$$

- Berat tulangan pada tumpuan kanan bawah adalah :

$$0.00175 \times 0.3\text{m} \times 0.6\text{m} \times (8\text{m} / 4) \times 7800 \text{ kg/m}^3 = 4.914 \text{ kg}$$

$$\text{Rasio : Berat total tulangan / Volume beton} = 44.816 \text{ kg / m}^3$$

•Tulangan Geser

Contoh hasil desain balok bertulang dengan program ETABS :

B30x60 L = 8m	Output ETABS ( $\text{cm}^2/\text{cm}'$ )		
	Tumpuan kiri	Lapangan	Tumpuan kanan
	L/4	L/2	L/4
	0.0650	0.047	0.029

Kemudian dihitung rasio berat tulangan ( $\text{kg/m}^3$ ) dengan mengalikan volume tulangan terhadap berat jenis tulangan, Selanjutnya dibagi volume balok. Panjang tulangan geser =  $20 + 20 + 50 + 50 = 140 \text{ cm}$ .

- Rasio berat tulangan pada tumpuan kiri adalah :

$$\frac{(0.065 \times 10^{-4} / 2) \times (1.4) \times 7800}{0.3 \times 6 \times 1} = 19.717 \text{ kg/m}^3$$

- Rasio berat tulangan pada lapangan adalah :

$$\frac{(0.047 \times 10^{-4} / 2) \times (1.4) \times 7800}{0.3 \times 6 \times 1} = 14.257 \text{ kg/m}^3$$

- Rasio berat tulangan pada tumpuan kanan adalah :

$$\frac{(0.029 \times 10^{-4} / 2) \times (1.4) \times 7800}{0.3 \times 6 \times 1} = 8.797 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Rasio berat tulangan geser : } \frac{19.717 + 14.257 + 8.797}{3} = 14.26 \text{ kg/m}^3$$

## 2. Perhitungan rasio berat tulangan kolom ( $\text{kg/m}^3$ beton)

### • Tulangan Longitudinal

Contoh hasil desain tulangan longitudinal pada kolom beton bertulang (K80x80) dengan program ETABS 1,32%. Maka besar rasio berat tulangan kolom ( $\text{kg/m}^3$  beton) adalah :

$$\frac{(0.0132 \times 0.8 \text{ m} \times 0.8 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 7800 \text{ kg/m}^3)}{(0.8 \text{ m} \times 0.8 \text{ m} \times 1 \text{ m})} = 102,96 \text{ kg/m}^3$$

### • Tulangan Geser

Contoh hasil desain tulangan geser pada kolom beton bertulang (K70x70) dengan program ETABS  $0.06 \text{ cm}^2/\text{cm}'$ . Maka besar rasio berat tulangan geser pada kolom ( $\text{kg/m}^3$  beton) adalah :

$$\text{Rasio} = \frac{(6.0 \times 10^{-4} / 2) \times (0.6 + 0.6 + 0.6 + 0.6) \times 7800}{0.7 \times 0.7 \times 1} = 11.46 \text{ kg/m}^3$$

## 3. Perhitungan rasio berat tulangan dinding geser ( $\text{kg/m}^3$ beton)

### • Tulangan Longitudinal

Contoh desain tulangan longitudinal pada dinding geser dengan program ETABS diperoleh jumlah tulangan 60D16 (Luas tulangan D16 =  $2.011 \text{ cm}^2$ ). Dimensi

dinding geser adalah 30cm x 400cm, tinggi 400 cm. Maka besar rasio berat tulangan longitudinal dinding geser ( $\text{kg/m}^3$  beton) adalah :

$$(60 \times 2.011 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \times 1 \text{ m} \times 7800 \text{ kg/m}^3) / (0.3 \text{ m} \times 4 \text{ m} \times 1 \text{ m}) = 39.223 \text{ kg/m}^3$$

•Tulangan Geser

Contoh hasil desain tulangan geser pada dinding geser dengan program ETABS diperoleh luas tulangan =  $25.75 \text{ cm}^2/\text{m}'$ . Maka besar rasio berat tulangan dinding geser ( $\text{kg/m}^3$  beton) adalah :

$$\text{Rasio} = \frac{(9.428 \times 10^{-4} / 2) \times (0.2 + 0.2 + 3.9 + 3.9) \times 7800}{0.3 \times 4 \times 1} = 18.844 \text{ kg/m}^3$$

#### 4.8 PERBANDINGAN ANTARA FAKTOR REDUKSI GEMPA DENGAN RASIO BERAT TULANGAN ( $\text{kg} / \text{m}^3$ BETON)

Dari hasil output desain tulangan pada ETABS, dilakukan perhitungan rasio berat tulangan per meter kubik beton ( $\text{kg/m}^3$ ). Rasio tulangan yang dihitung tersebut, adalah rasio tulangan pada balok, kolom dan dinding geser. Sedangkan tulangan pelat dihitung secara praktis pada bagian lampiran. Ringkasan hasil perhitungan rasio berat tulangan ( $\text{kg/m}^3$  beton) dapat dilihat pada pembahasan disubbab ini (tabel 4.14 - 4.30 dan grafik 4.3 - 4.18). Perhitungan keseluruhan rasio berat tulangan terdapat pada lampiran. Pembahasan rasio berat tulangan per meter kubik beton ( $\text{kg/m}^3$ ) yang akan dianalisa pada subbab ini, adalah :

1. Rasio berat tulangan balok perlantai pada masing-masing model sesuai dengan jumlah lantainya, metode perhitungan faktor reduksi gempa dan jenis *frame*.
2. Rasio berat tulangan kolom perlantai pada masing-masing model sesuai dengan jumlah lantainya, metode perhitungan faktor reduksi gempa dan jenis *frame*.
3. Rasio berat tulangan dinding geser perlantai pada masing-masing model sesuai dengan jumlah lantainya, metode perhitungan faktor reduksi gempa dan jenis *frame*.

4. Rasio berat tulangan pelat per lantai secara praktis sesuai dengan variasi model berdasarkan jumlah lantainya saja.

Pada tabel dan grafik tersebut dapat dilihat perbandingan-perbandingan antara metode penggunaan faktor reduksi gempa secara langsung ataupun secara perhitungan pembobotan. Perbandingan lainnya adalah antara jenis *frame*, yaitu Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Sistem rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM). Dari hasil analisa, dapat dilihat bahwa penggunaan faktor reduksi gempa secara langsung memberikan hasil rasio berat tulangan ( $\text{kg/m}^3$  beton) yang lebih besar bila dibandingkan dengan metode pembobotan. Hal ini terutama disebabkan oleh penentuan komposisi / posisi sistem struktur penahan gempa dan desain penulangan pada *frame* yang harus mampu memikul 25% beban lateral tanpa adanya bantuan dari dinding geser.

Rasio berat tulangan total pada tulangan *frame* menunjukkan perbandingan yang cukup besar antara jenis *frame* SRPMK dan SRPMM, yaitu sekitar 9% s/d 16%. Secara umum, pada model-model struktur yang dibuat, kebutuhan tulangan pada bagian pertengahan ketinggian lantai gedung lebih besar bila dibandingkan bagian bawah ataupun bagian atasnya.

Pada model gedung 8 lantai, rasio berat tulangan longitudinal balok terbesar berada di lantai 4 s/d lantai 6. Kebutuhan tulangan geser pada jenis *frame* SRPMK lebih besar dibandingkan SRPMM, terutama di lantai 3 s/d lantai 6. Model gedung 12 lantai memiliki rasio berat tulangan longitudinal tulangan balok terbesar pada lantai 5 s/d lantai 8 dan tulangan geser cenderung lebih merata, kecuali pada bagian dasar dan atas gedung. Tulangan longitudinal balok pada model gedung 16 lantai cenderung membesar pada lantai 5 s/d lantai 9, sedangkan tulangan geser balok lebih cenderung merata. Untuk model gedung 20 lantai terjadi kecenderungan yang hampir sama dengan model gedung 16 lantai untuk kebutuhan tulangan longitudinal dan tulangan geser

Tulangan geser pada kolom menunjukkan jumlah yang lebih sedikit pada bagian lantai dasar. Tulangan geser pada bagian lantai dasar lebih kecil karena adanya kontribusi gaya aksial yang besar yang dapat menambah ketahanan terhadap gaya geser. Seperti halnya

dengan balok, kebutuhan tulangan geser untuk kolom pada jenis frame SRPMK lebih besar bila dibandingkan SRPMM. Pada bagian pertengahan ketinggian gedung, umumnya kebutuhan tulangan longitudinal kolom jumlahnya minimum. Tulangan longitudinal kolom pada semua model memiliki kecenderungan jumlah yang sama untuk masing-masing metode penggunaan faktor reduksi gempa (kebutuhan tulangan longitudinal jenis *frame* SRPMK hampir sama dengan SRPMM). Pada metoda langsung, kebutuhan tulangan longitudinal kolom mencapai jumlah terbesar pada bagian lantai dasar, sedangkan untuk metode pembobotan peningkatan terjadi pada bagian diatas lantai dasar hingga pertengahan ketinggian gedung.

Kolom dengan perhitungan faktor reduksi gempa secara pembobotan menunjukkan kebutuhan tulangan yang lebih sedikit bila dibandingkan dengan metode langsung. Pada model gedungng 16 lantai dan 20 lantai, terjadi sedikit peningkatan jumlah tulangan pada bagian kolom interior untuk lantai yang mengalami perubahan dimensi.

Kebutuhan tulangan longitudinal dan tulangan geser pada dinding geser menunjukkan jumlah yang besar pada bagian dasar bangunan, terutama pada lantai 1 dan konstan mulai lantai 2 atau lantai 3. Untuk model gedung 20 lantai cara langsung SRPMK ( $R = 8.5$ ), tulangan longitudinal konstan mulai dari lantai dasar. Pada bagian tengah dan atas ketinggian lantai model-model gedung, menunjukkan kebutuhan tulangan geser minimum yang konstan, hal ini disebabkan adanya gaya geser yang lebih kecil. Pada cara perhitungan faktor reduksi gempa secara langsung menunjukkan kebutuhan tulangan yang lebih sedikit dibandingkan dengan metode pembobotan. Total tulangan untuk dinding geser pada model-model struktur yang dibuat umumnya konstan dari bagian pertengahan hingga bagian atas struktur.

Tabel 4.14 Ringkasan Rata-Rata Rasio Berat Tulangan (kg / m<sup>3</sup> beton)  
pada setiap model-model struktur 8, 12, 16 dan 20 lantai

	<b>Model Gedung 8 Lantai</b>			
	<b>Cara Langsung</b>		<b>Cara Pembobotan</b>	
	SRPMK R= 8,5	SRPMM R= 6,5	SRPMK R= 5,8397	SRPMM R= 5,6431
Balok	223,088	190,313	187,116	172,807
Kolom	109,316	94,407	101,745	89,045
Shearwall	58,778	64,038	67,615	68,192
Total	391,182	348,758	356,475	330,43

	<b>Model Gedung 12 Lantai</b>			
	<b>Cara Langsung</b>		<b>Cara Pembobotan</b>	
	SRPMK R= 8,5	SRPMM R= 6,5	SRPMK R= 5,8579	SRPMM R= 5,6505
Balok	222,854	191,225	200,518	186,379
Kolom	109,662	96,852	106,199	94,148
Shearwall	57,620	59,968	61,255	63,359
Total	392,136	348,046	367,971	344,067

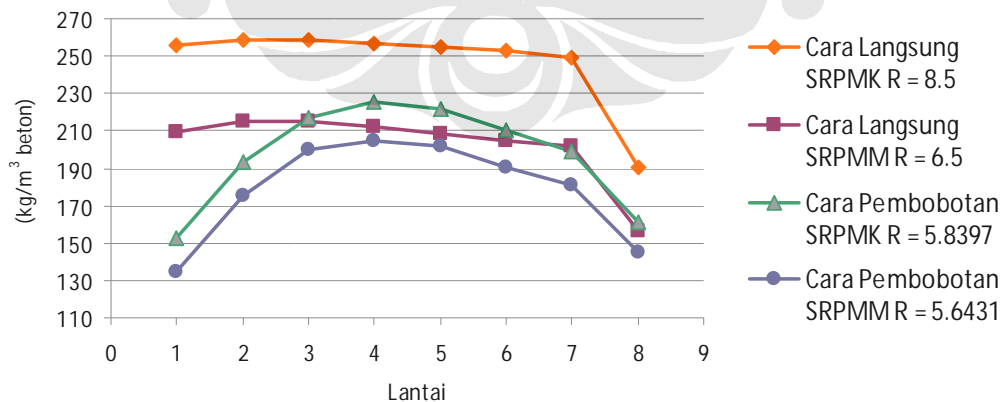
	<b>Model Gedung 16 Lantai</b>			
	<b>Cara Langsung</b>		<b>Cara Pembobotan</b>	
	SRPMK R= 8,5	SRPMM R= 6,5	SRPMK R= 5,8741	SRPMM R= 5,6570
Balok	218,311	185,819	198,311	182,692
Kolom	121,816	110,865	99,822	90,304
Shearwall	52,053	54,373	55,151	56,005
Total	392,180	351,056	353,283	329,000

	<b>Model Gedung 20 Lantai</b>			
	<b>Cara Langsung</b>		<b>Cara Pembobotan</b>	
	SRPMK R= 8,5	SRPMM R= 6,5	SRPMK R= 5,8871	SRPMM R= 5,6623
Balok	219,465	187,956	207,523	192,684
Kolom	142,142	132,931	104,586	95,027
Shearwall	57,112	58,196	59,431	59,928
Total	418,719	378,083	371,540	347,639

Tabel 4.15 Rasio Berat Tulangan Balok pada model struktur gedung 8 Lantai ( $\text{kg} / \text{m}^3$  beton)

Lantai	Rasio berat tulangan Balok ( $\text{kg}/\text{m}^3$ beton)			
	Cara Langsung		Cara Pembobotan	
	SRPMK R = 8.5	SRPMM R = 6.5	SRPMK R = 5.8397	SRPMM R = 5.6431
8	190.70	155.95	160.75	144.88
7	249.39	201.95	199.08	180.57
6	252.96	204.94	210.16	190.92
5	255.18	208.03	221.28	201.63
4	256.88	211.82	225.25	205.08
3	258.67	215.40	216.92	199.99
2	258.69	215.27	193.54	175.36
1	255.75	209.08	152.74	134.69

Grafik 4.3 Rasio Berat Tulangan Balok pada model struktur gedung 8 Lantai ( $\text{kg} / \text{m}^3$  beton)

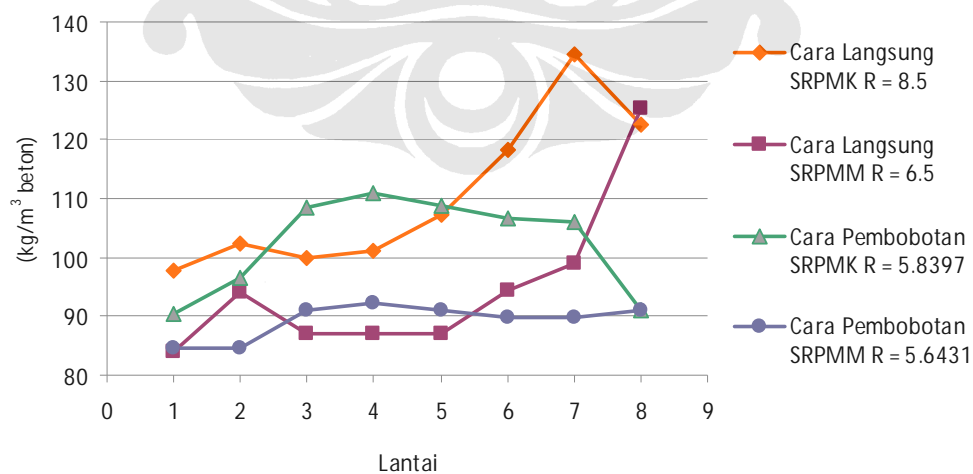




Tabel 4.16 Rasio Berat Tulangan Kolom pada model struktur gedung 8 Lantai ( $\text{kg} / \text{m}^3$  beton)

Lantai	Rasio berat tulangan Kolom ( $\text{kg}/\text{m}^3$ beton)				Gaya geser frame (kN)			
	Cara Langsung		Cara Pembobotan		Cara Langsung		Cara Pembobotan	
	SRPMK	SRPMM	SRPMK	SRPMM	SRPMK	SRPMM	SRPMK	SRPMM
	R = 8.5	R = 6.5	R = 5.8397	R = 5.6431	R = 8.5	R = 6.5	R = 5.8579	R = 5.6431
8	122.61	125.33	90.91	90.91	489.48	640.16	1894.84	1900.23
7	134.54	99.08	105.91	89.71	889.67	1163.54	2582.37	2588.04
6	118.37	94.38	106.58	89.71	1199.49	1568.73	3454.25	3415.55
5	107.23	86.98	108.87	91.11	1449.77	1896.06	3857.24	3755.99
4	101.22	86.98	111.07	92.31	1663.39	2175.44	4042.94	3870.78
3	100.05	86.98	108.47	90.91	1847.33	2416.00	3873.25	3619.19
2	102.34	93.98	96.53	84.66	1989.08	2601.38	3194.25	2851.48
1	97.66	83.86	90.34	84.66	2060.49	2694.78	2166.85	1787.58

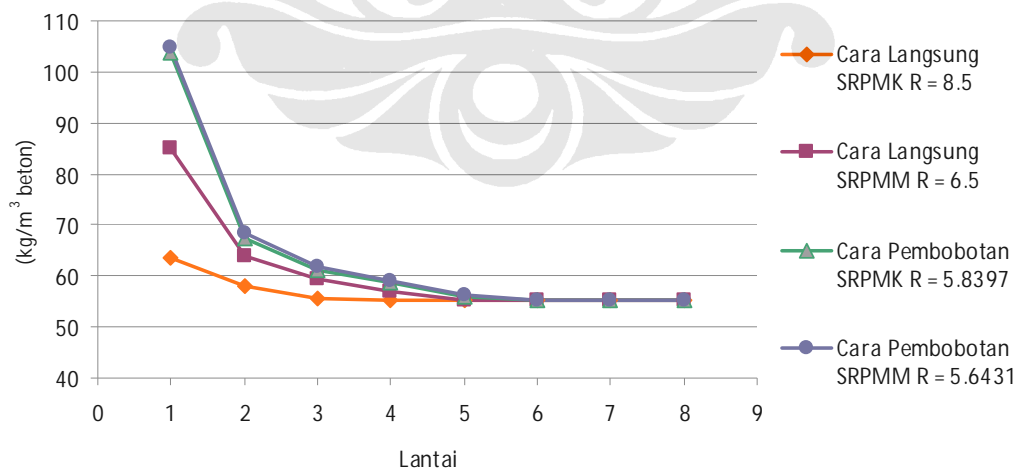
Grafik 4.4 Rasio Berat Tulangan Kolom pada model struktur gedung 8 Lantai ( $\text{kg} / \text{m}^3$  beton)



Tabel 4.17 Rasio Berat Tulangan Shearwall pada model struktur gedung 8 Lantai (kg / m<sup>3</sup> beton)

Lantai	Rasio berat tulangan Shearwall (kg/m <sup>3</sup> beton)				Gaya geser shearwall (kN)			
	Cara Langsung		Cara Pembobotan		Cara Langsung		Cara Pembobotan	
	SRPMK	SRPMM	SRPMK	SRPMM	SRPMK	SRPMM	SRPMK	SRPMM
	R = 8.5	R = 6.5	R = 5.8397	R = 5.6431	R = 8.5	R = 6.5	R = 5.8579	R = 5.6431
8	55.29	55.29	55.29	55.29	664.00	868.26	985.26	1076.22
7	55.29	55.29	55.29	55.29	1969.50	2575.42	2913.12	3093.34
6	55.29	55.29	55.29	55.29	2825.88	3695.32	4176.26	4470.32
5	55.29	55.29	55.78	56.22	3704.84	4844.70	5475.33	5886.21
4	55.29	57.02	58.61	59.15	4480.70	5859.26	6623.16	7146.34
3	55.48	59.28	61.13	61.76	5242.34	6855.22	7752.54	8386.06
2	58.19	63.8	67.37	68.31	6070.22	7937.80	8984.42	9721.66
1	63.68	84.97	103.61	104.9	6860.82	8971.68	10169.18	10948.34

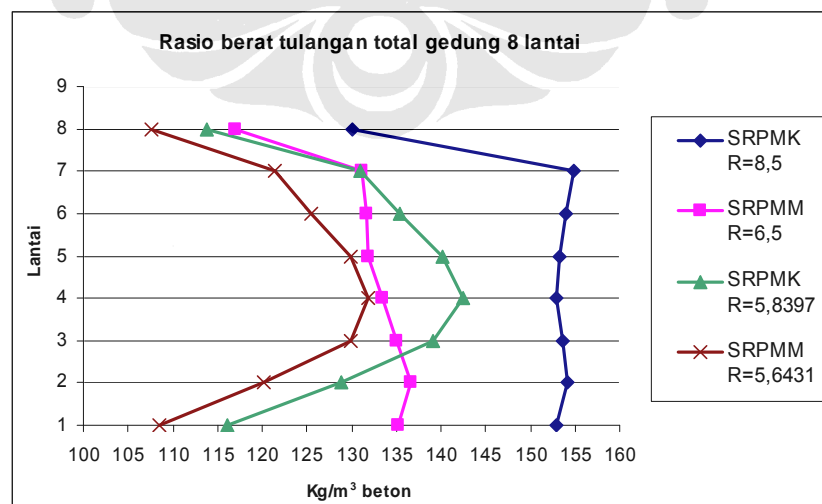
Grafik 4.5 Rasio Berat Tulangan Shearwall pada model struktur gedung 8 Lantai (kg / m<sup>3</sup> beton)



Tabel 4.18 Rasio Berat Tulangan Total pada model struktur gedung 8 Lantai ( $\text{kg} / \text{m}^3$  beton)

Lantai	Rasio berat tulangan struktur setiap lantai ( $\text{kg}/\text{m}^3$ beton)			
	Cara Langsung		Cara Pembobotan	
	SRPMK	SRPMM	SRPMK	SRPMM
	R = 8.5	R = 6.5	R = 5.8397	R = 5.6431
8	130.17	116.95	113.82	107.60
7	154.90	131.15	131.02	121.41
6	153.95	131.64	135.46	125.47
5	153.20	131.78	140.21	129.98
4	152.99	133.46	142.41	131.84
3	153.54	135.13	139.06	129.95
2	154.20	136.62	128.89	120.14
1	153.00	135.17	116.19	108.44

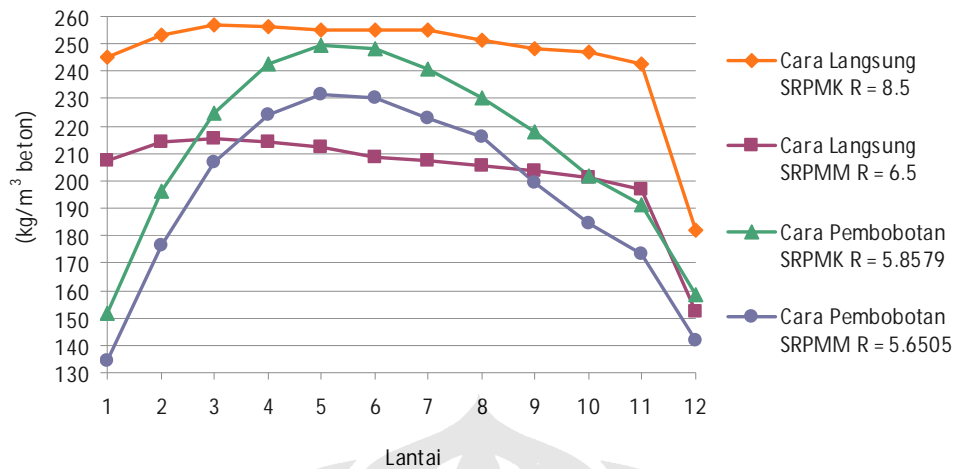
Grafik 4.6 Rasio Berat Tulangan Total pada model struktur gedung 8 Lantai ( $\text{kg} / \text{m}^3$  beton)



Tabel 4.19 Rasio Berat Tulangan Balok pada model struktur gedung 12 Lantai (kg / m<sup>3</sup> beton)

Lantai	Rasio berat tulangan Balok (kg/m <sup>3</sup> beton)			
	Cara Langsung		Cara Pembobotan	
	SRPMK	SRPMM	SRPMK	SRPMM
	R = 8.5	R = 6.5	R = 5.8579	R = 5.6505
12	182.22	152.54	158.57	141.93
11	242.54	197.11	191.42	173.44
10	247.20	201.26	201.95	184.38
9	248.21	203.71	218.11	199.24
8	251.45	205.71	230.08	216.26
7	254.78	207.40	240.81	223.06
6	255.14	208.32	248.09	230.30
5	255.14	212.16	249.49	231.37
4	256.02	214.13	242.65	224.31
3	256.87	215.46	224.91	206.85
2	253.14	214.37	195.93	176.72
1	245.33	207.42	151.61	134.04

Grafik 4.7 Rasio Berat Tulangan Balok pada model struktur gedung 12 Lantai (kg / m<sup>3</sup> beton)

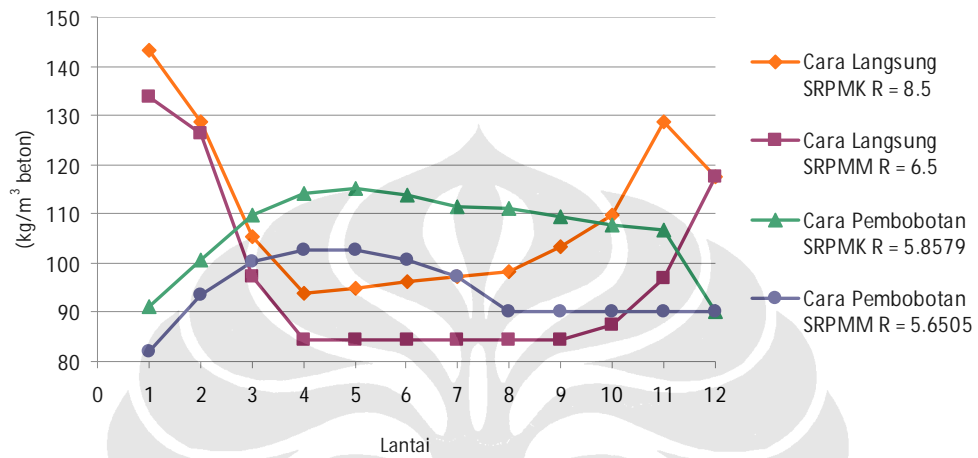


Tabel 4.20 Rasio Berat Tulangan Kolom pada model struktur gedung 12 Lantai (kg / m<sup>3</sup> beton)

Lantai	Rasio berat tulangan Kolom (kg/m <sup>3</sup> beton)				Gaya geser frame (kN)			
	Cara Langsung		Cara Pembobotan		Cara Langsung		Cara Pembobotan	
	SRPMK	SRPMM	SRPMK	SRPMM	SRPMK	SRPMM	SRPMK	SRPMM
	R = 8.5	R = 6.5	R = 5.8579	R = 5.6505	R = 8.5	R = 6.5	R = 5.8579	R = 5.6505
12	117.39	117.38	90.28	90.28	392.95	513.90	738.32	899.82
11	128.84	96.99	106.63	90.28	731.96	957.26	2365.34	2452.09
10	109.87	87.39	107.62	90.28	996.29	1302.94	3224.54	3342.84
9	103.49	84.34	109.46	90.28	1202.71	1572.89	3668.50	3803.10
8	98.22	84.34	111.01	90.28	1372.18	1794.53	4069.62	4218.92
7	97.12	84.34	111.5	97.28	1519.43	1987.10	4359.54	4519.48
6	96.14	84.34	113.95	100.78	1658.12	2168.49	4524.45	4690.47
5	94.98	84.34	115.25	102.78	1796.48	2349.43	4523.63	4689.60
4	93.82	84.34	114.25	102.76	1934.90	2530.45	4304.03	4461.95
3	105.46	97.14	109.63	100.38	2064.02	2699.32	3788.35	3927.38
2	128.54	126.34	100.75	93.69	2166.69	2833.59	2891.85	2998.01

1	143.11	133.92	91.04	81.92	2220.01	2903.33	1791.59	1857.38
---	--------	--------	-------	-------	---------	---------	---------	---------

Grafik 4.8 Rasio Berat Tulangan Kolom pada model struktur gedung 12 Lantai ( $\text{kg} / \text{m}^3$  beton)

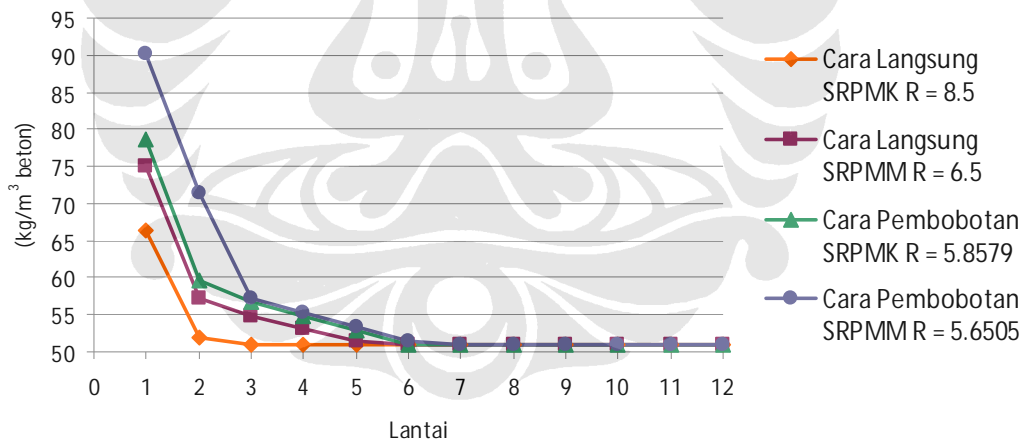


Tabel 4.21 Rasio Berat Tulangan Shearwall pada model struktur gedung 12 Lantai ( $\text{kg} / \text{m}^3$  beton)

Lantai	Rasio tulangan Shearwall ( $\text{kg}/\text{m}^3$ beton)				Gaya geser shearwall (kN)			
	Cara Langsung		Cara Pembobotan		Cara Langsung		Cara Pembobotan	
	SRPMK	SRPMM	SRPMK	SRPMM	SRPMK	SRPMM	SRPMK	SRPMM
	R = 8.5	R = 6.5	R = 5.8579	R = 5.6505	R = 8.5	R = 6.5	R = 5.8579	R = 5.6505
12	50.85	50.85	50.85	50.85	1343.50	1756.92	2086.46	2162.98
11	50.85	50.85	50.85	50.85	1320.92	1727.38	1954.88	2026.60

10	50.85	50.85	50.85	50.85	1851.24	2420.92	2772.40	2874.08
9	50.85	50.85	50.85	50.85	2475.50	3237.24	3724.02	3860.60
8	50.85	50.85	50.85	50.85	2996.88	3919.08	4531.76	4697.96
7	50.85	50.85	50.85	50.85	3493.70	4568.76	5303.54	5498.06
6	50.85	50.85	51.02	51.49	3985.58	5211.98	6073.32	6296.06
5	50.85	51.42	52.84	53.37	4501.22	5886.32	6884.92	7137.44
4	50.85	53.12	54.73	55.33	5068.08	6627.58	7779.62	8064.96
3	50.89	54.85	56.65	57.32	5721.72	7482.36	8806.48	9129.46
2	51.83	57.12	59.58	71.4	6499.34	8499.26	10009.38	10376.48
1	66.32	75.13	78.73	90.18	7313.76	9564.26	11197.72	11608.42

Grafik 4.9 Rasio Berat Tulangan Shearwall pada model struktur gedung 12 Lantai (kg / m<sup>3</sup> beton)



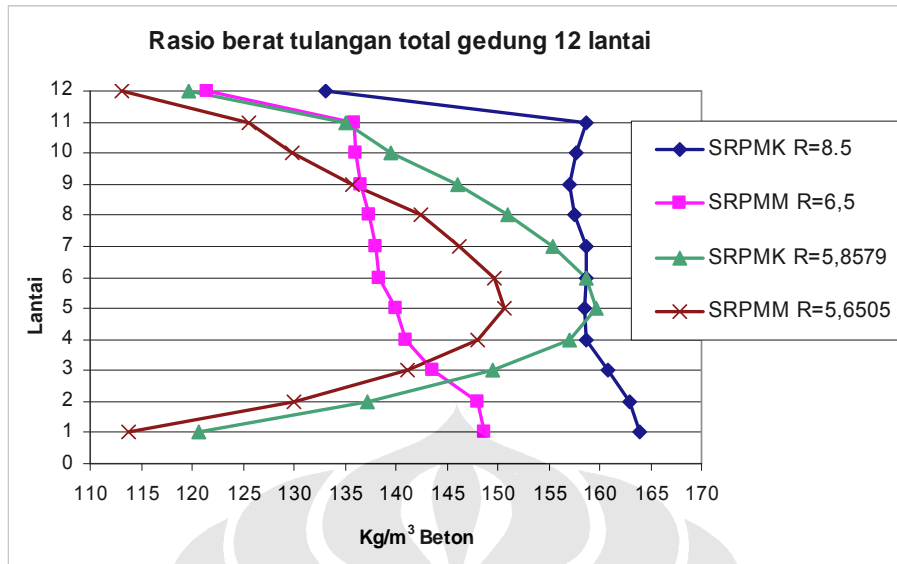
Tabel 4.22 Rasio Berat Tulangan Total pada model struktur gedung 12 Lantai (kg / m<sup>3</sup> beton)

---

Lantai	Rasio berat tulangan struktur setiap lantai (kg/m <sup>3</sup> beton)			
	Cara Langsung		Cara Pembobotan	
	SRPMK	SRPMM	SRPMK	SRPMM
	R = 8.5	R = 6.5	R = 5.8579	R = 5.6505
12	133.17	121.46	119.68	113.12
11	158.71	135.91	135.14	125.55
10	157.63	136.07	139.45	129.86
9	157.05	136.57	146.10	135.72
8	157.52	137.36	151.06	142.43
7	158.67	138.03	155.37	146.19
6	158.66	138.39	158.63	149.66
5	158.48	139.98	159.62	150.63
4	158.65	140.97	157.01	148.09
3	160.78	143.68	149.55	141.09
2	162.96	148.01	137.13	129.98
1	163.97	148.73	120.61	113.74

Grafik 4.10 Rasio Berat Tulangan Total pada model struktur gedung 12 Lantai (kg / m<sup>3</sup> beton)





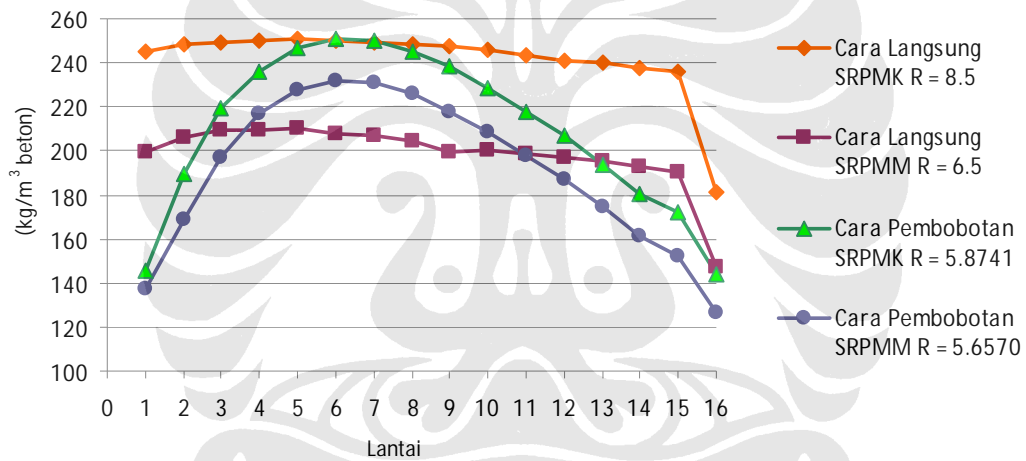
Tabel 4.23 Rasio Berat Tulangan Balok pada model struktur gedung 16 Lantai (kg / m<sup>3</sup> beton)

Lantai	Rasio berat tulangan Balok (kg/m <sup>3</sup> beton)			
	Cara Langsung		Cara Pembobotan	
	SRPMK	SRPMM	SRPMK	SRPMM
	R = 8.5	R = 6.5	R = 5.8741	R = 5.6570
16	181.17	147.42	144.11	126.27
15	236.11	190.77	172.07	152.31
14	237.74	192.60	180.21	161.62
13	239.72	195.38	193.66	174.36
12	241.07	196.91	206.87	187.17
11	243.62	199.03	217.73	197.95
10	245.57	200.46	228.16	208.69
9	247.19	199.71	238.12	217.38

8	248.25	204.67	244.97	225.62
7	248.93	206.76	249.88	230.63
6	250.17	207.87	251.10	231.96
5	250.86	210.02	246.80	227.69
4	250.23	209.34	236.32	216.53
3	249.59	209.20	219.42	196.89
2	248.50	206.42	189.68	168.60
1	244.76	199.24	145.36	137.70

Grafik 4.11 Rasio Berat Tulangan Balok pada model

struktur gedung 16 Lantai ( $\text{kg} / \text{m}^3$  beton)



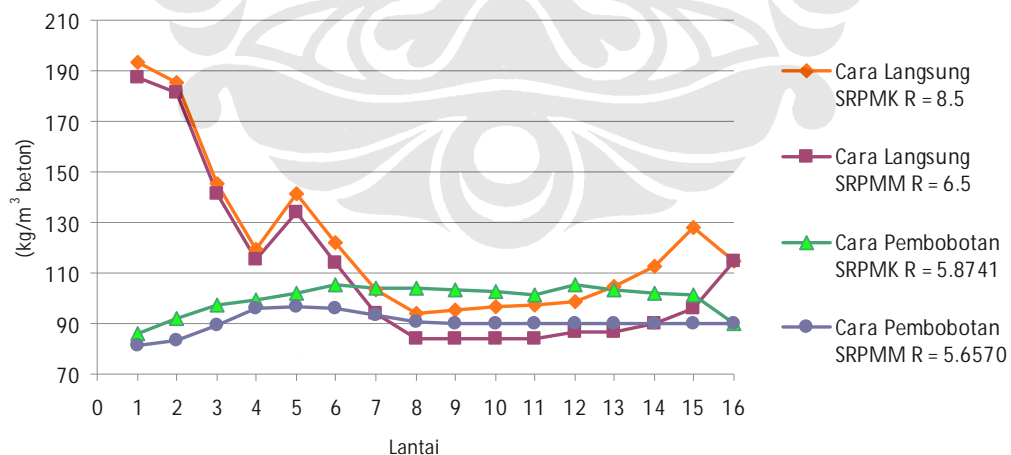
Tabel 4.24 Rasio Berat Tulangan Kolom pada model

struktur gedung 16 Lantai ( $\text{kg} / \text{m}^3$  beton)

Lantai	Rasio berat tulangan Kolom ( $\text{kg}/\text{m}^3$ beton)				Gaya geser frame (kN)			
	Cara Langsung		Cara Pembobotan		Cara Langsung		Cara Pembobotan	
	SRPMK	SRPMM	SRPMK	SRPMM	SRPMK	SRPMM	SRPMK	SRPMM
	R = 8.5	R = 6.5	R = 5.8741	R = 5.6570	R = 8.5	R = 6.5	R = 5.8741	R = 5.6570
16	114.49	114.49	89.79	89.79	285.95	373.93	654.15	798.18

15	128.03	95.71	101.08	89.79	551.27	720.90	1923.68	1997.50
14	112.98	89.7	101.94	89.79	774.33	1012.60	2789.88	2896.94
13	104.64	86.8	103.58	89.79	967.34	1265.01	3275.92	3401.63
12	98.53	86.8	105.09	89.79	1138.80	1489.23	3704.10	3846.25
11	97.48	83.81	101.53	89.79	1295.30	1693.89	3733.01	4224.67
10	96.42	83.81	102.63	89.79	1440.45	1883.70	4382.78	4551.01
9	95.37	83.81	103.17	89.79	1576.15	2061.15	4511.65	4818.94
8	94.31	83.81	103.7	90.69	1702.93	2226.94	4833.83	5019.37
7	103.6	94.11	103.91	93.19	1821.13	2381.53	4939.69	5129.31
6	122.28	113.81	105.09	95.89	1931.20	2525.46	4962.18	5152.65
5	141.22	133.81	102	96.99	2033.17	2658.81	4692.46	4872.58
4	119.17	115.46	99.32	95.86	2126.37	2780.68	4706.98	4887.63
3	145.05	141.46	97.13	89.55	2207.12	2886.30	3914.58	4064.81
2	185.05	181.46	92.21	83.46	2268.36	2966.39	2954.38	3067.76
1	193.05	187.21	85.8	81	2299.88	3007.60	1830.81	1901.06

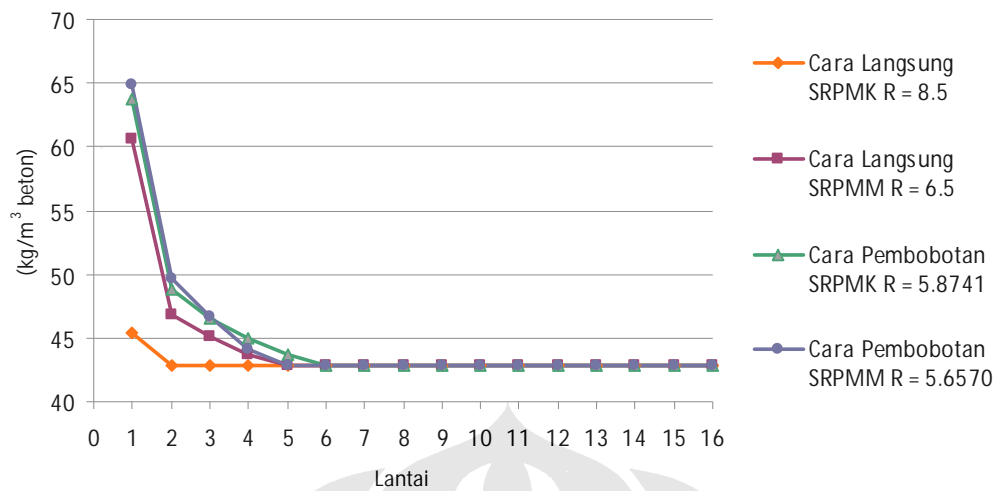
Grafik 4.12 Rasio Berat Tulangan Kolom pada model struktur gedung 16 Lantai ( $\text{kg} / \text{m}^3$  beton)



Tabel 4.25 Rasio Berat Tulangan Shearwall pada model struktur gedung 16 Lantai (kg / m<sup>3</sup> beton)

Lantai	Rasio berat tulangan Shearwall (kg/m <sup>3</sup> beton)				Gaya geser shearwall (kN)			
	Cara Langsung		Cara Pembobotan		Cara Langsung		Cara Pembobotan	
	SRPMK	SRPMM	SRPMK	SRPMM	SRPMK	SRPMM	SRPMK	SRPMM
	R = 8.5	R = 6.5	R = 5.8741	R = 5.6570	R = 8.5	R = 6.5	R = 5.8741	R = 5.6570
16	42.81	42.81	42.81	42.81	1520.88	1988.78	2200.80	2285.26
15	42.81	42.81	42.81	42.81	1270.47	1661.32	1838.44	1909.02
14	42.81	42.81	42.81	42.81	1655.10	2164.32	2395.06	2487.00
13	42.81	42.81	42.81	42.81	2114.99	2765.70	3060.54	3178.02
12	42.81	42.81	42.81	42.81	2489.24	3255.08	3602.13	3740.40
11	42.81	42.81	42.81	42.81	2820.02	3687.66	4406.52	4237.41
10	42.81	42.81	42.81	42.81	3126.18	4087.98	4523.82	4697.44
9	42.81	42.81	42.81	42.81	3433.32	4489.64	5093.66	5158.95
8	42.81	42.81	42.81	42.81	3762.06	4919.54	5444.02	5652.96
7	42.81	42.81	42.81	42.81	4133.98	5405.90	5982.24	6211.83
6	42.81	42.81	42.81	42.81	4544.56	5942.76	6576.35	6828.74
5	42.81	42.81	43.72	42.82	5123.96	6700.40	7414.76	7699.33
4	42.81	43.66	44.92	44.19	5469.84	7152.70	7915.27	8219.06
3	42.81	45.12	46.54	46.69	6290.76	8226.24	9103.24	9452.64
2	42.81	46.79	48.81	49.61	7128.04	9321.08	10314.81	10710.72
1	45.38	60.55	63.76	64.85	7961.10	10410.50	11520.36	11962.54

Grafik 4.13 Rasio Berat Tulangan Shearwall pada model struktur gedung 16 Lantai (kg / m<sup>3</sup> beton)

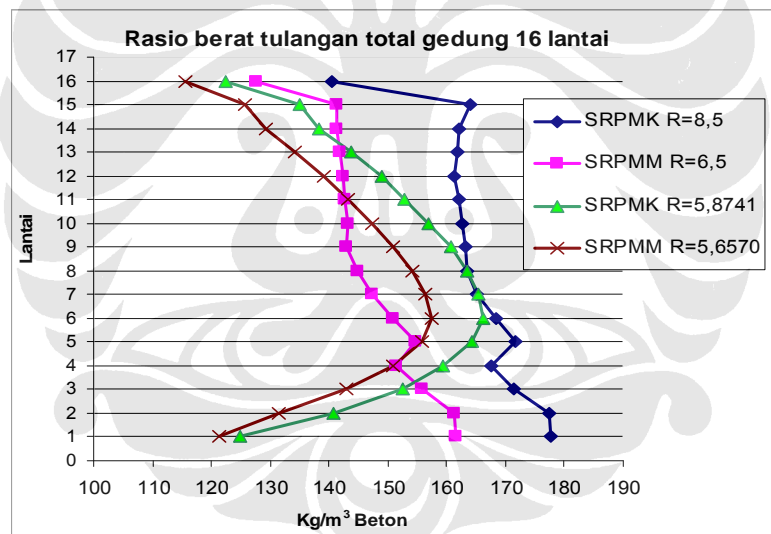


Tabel 4.26 Rasio Berat Tulangan Total pada model struktur gedung 16 Lantai (kg / m<sup>3</sup> beton)

Lantai	Rasio berat tulangan struktur setiap lantai (kg/m <sup>3</sup> beton)			
	Cara Langsung		Cara Pembobotan	
	SRPMK	SRPMM	SRPMK	SRPMM
	R = 8.5	R = 6.5	R = 5.8741	R = 5.6570
16	140.60	127.56	122.46	115.57
15	163.92	141.40	135.01	125.63
14	162.22	141.18	138.29	129.23
13	161.70	141.81	143.74	134.15
12	161.27	142.40	149.07	139.10
11	162.10	142.76	152.72	143.26
10	162.69	143.31	156.92	147.41

9	163.15	143.02	160.85	150.77
8	163.40	144.94	163.58	154.09
7	165.09	147.33	165.51	156.42
6	168.46	150.81	166.16	157.35
5	171.65	154.73	164.16	155.87
4	167.45	151.33	159.23	150.99
3	171.40	155.71	152.65	142.82
2	177.46	161.37	140.80	131.44
1	177.71	161.59	125.02	121.47

Grafik 4.14 Rasio Berat Tulangan Total pada model struktur gedung 16 Lantai ( $\text{kg} / \text{m}^3$  beton)

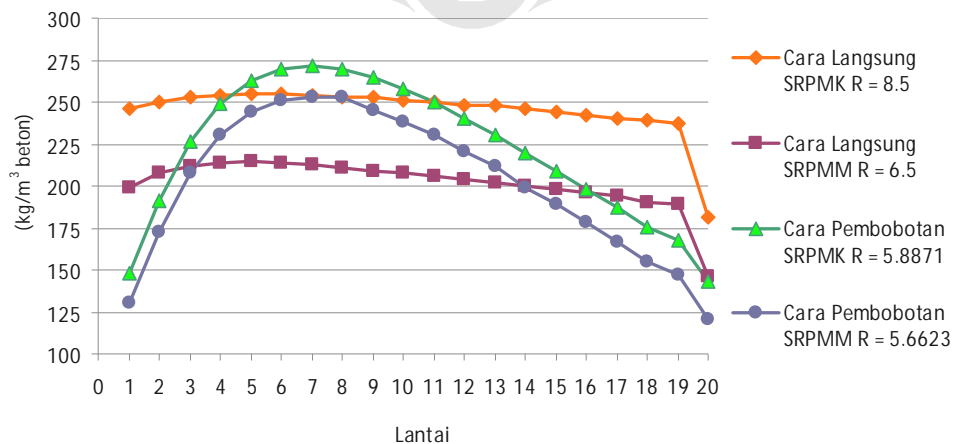


Tabel 4.27 Rasio Berat Tulangan Balok pada model struktur gedung 20 Lantai

Lantai	Rasio berat tulangan Balok ( $\text{kg}/\text{m}^3$ beton)			
	Cara Langsung		Cara Pembobotan	
	SRPMK	SRPMM	SRPMK	SRPMM
	R = 8.5	R = 6.5	R = 5.8871	R = 5.6623
20	181.59	146.55	142.83	120.37

19	237.57	189.06	168.11	147.34
18	238.85	190.45	175.59	154.88
17	240.35	193.63	187.21	167.14
16	242.07	196.13	198.43	178.39
15	244.59	198.10	209.26	189.04
14	246.13	200.12	219.68	199.30
13	247.55	201.80	230.70	211.31
12	248.49	203.58	240.63	220.94
11	250.27	205.44	249.70	230.23
10	251.33	207.54	257.68	238.37
9	252.75	208.96	264.62	245.18
8	253.14	210.88	269.82	253.15
7	253.92	212.37	271.49	252.71
6	254.65	213.70	269.71	251.40
5	255.04	214.98	262.74	244.50
4	253.49	213.40	249.32	230.54
3	252.66	211.93	226.80	208.03
2	250.07	208.03	191.02	172.13
1	246.19	198.56	147.71	130.48

Grafik 4.15 Rasio Berat Tulangan Balok pada model struktur gedung 20 Lantai

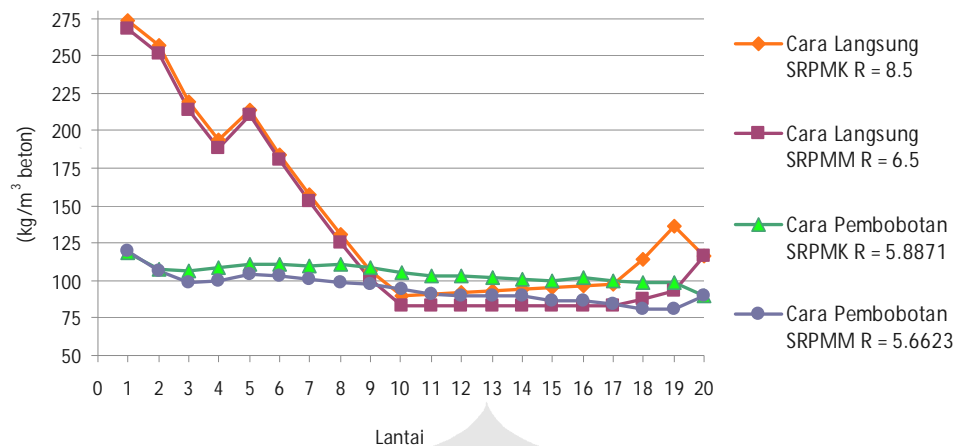


Tabel 4.28 Rasio Berat Tulangan Kolom pada model struktur gedung 20 Lantai

Lantai	Rasio berat tulangan Kolom (kg/m <sup>3</sup> beton)				Gaya geser frame (kN)			
	Cara Langsung		Cara Pembobotan		Cara Langsung		Cara Pembobotan	
	SRPMK	SRPMM	SRPMK	SRPMM	SRPMK	SRPMM	SRPMK	SRPMM
	R = 8.5	R = 6.5	R = 5.8871	R = 5.6623	R = 8.5	R = 6.5	R = 5.8871	R = 5.6623
20	116.48	116.48	90.05	90.05	242.10	316.61	621.04	757.09
19	136.16	93.21	98.25	81.49	478.79	626.17	1851.35	1924.96
18	114.23	87.19	98.96	81.49	684.48	895.16	2686.94	2793.76
17	97.33	83.51	100.23	83.91	868.33	1135.61	3165.59	3291.40
16	96.34	83.51	101.62	87.03	1036.65	1355.73	3589.01	3731.71
15	95.31	83.51	99.65	87.03	1194.67	1562.39	3956.95	4114.22
14	94.32	83.51	100.67	90.05	1345.60	1759.79	4287.43	4457.86
13	93.29	83.51	101.63	90.05	1490.91	1949.81	4582.86	4765.03
12	92.34	83.51	102.54	90.05	1630.50	2132.39	4846.23	5038.85
11	91.31	83.51	103.29	91.45	1763.41	2306.20	5078.51	5280.41
10	90.28	83.51	105.41	94.35	1888.40	2469.66	5278.19	5488.04
9	106.29	100.51	108.58	97.05	2004.50	2621.50	5438.83	5655.04
8	130.34	125.51	111.06	99.05	2111.34	2761.22	5548.62	5769.17
7	156.75	152.51	109.81	101.35	2209.19	2889.19	5581.01	5802.84
6	184.24	180.51	110.81	103.05	2298.65	3006.18	5535.44	5755.50
5	214.03	210.51	110.71	104.15	2380.04	3112.63	5199.68	5406.35
4	194.22	188.29	108.12	99.82	2452.92	3207.94	5124.40	5328.13
3	219.22	213.29	105.91	98.17	2514.79	3288.85	4233.29	4401.56
2	257.22	251.29	107.94	106.57	2561.02	3349.32	3165.40	3291.27
1	273.22	267.29	118.04	119.29	2584.98	3380.65	1963.06	2041.09

Grafik 4.16 Rasio Berat Tulangan Kolom pada model struktur gedung 20 Lantai



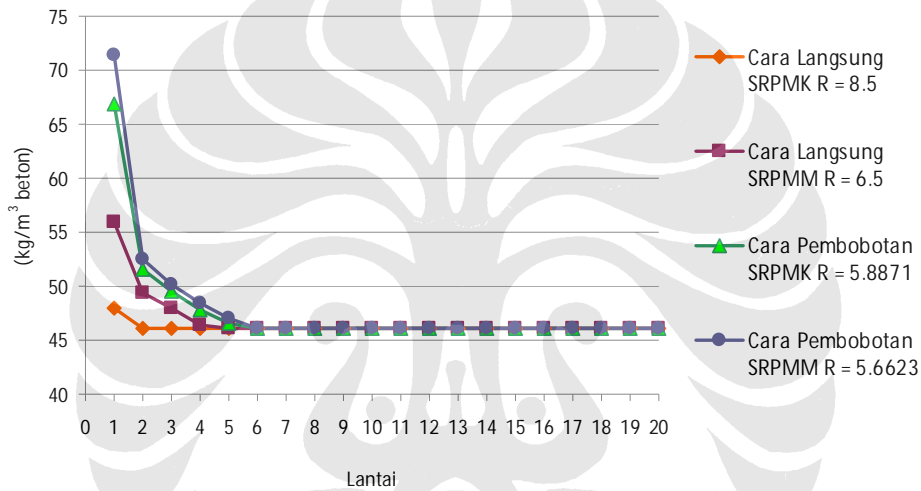


Tabel 4.29 Rasio Berat Tulangan Shearwall pada model struktur gedung 20 Lantai

Lantai	Rasio berat tulangan Shearwall (kg/m <sup>3</sup> beton)				Gaya geser shearwall (kN)			
	Cara Langsung		Cara Pembobotan		Cara Langsung		Cara Pembobotan	
	SRPMK	SRPMM	SRPMK	SRPMM	SRPMK	SRPMM	SRPMK	SRPMM
	R = 8.5	R = 6.5	R = 5.8871	R = 5.6623	R = 8.5	R = 6.5	R = 5.8871	R = 5.6623
20	46.17	46.17	46.17	46.17	1552.54	2030.26	2241.66	2330.77
19	46.17	46.17	46.17	46.17	1219.02	1594.14	1760.10	1830.06
18	46.17	46.17	46.17	46.17	1601.54	2094.34	2312.36	2404.28
17	46.17	46.17	46.17	46.17	2046.30	2675.94	2954.52	3072.00
16	46.17	46.17	46.17	46.17	2392.54	3128.76	3454.50	3591.80
15	46.17	46.17	46.17	46.17	2672.74	3495.16	3859.04	4012.46
14	46.17	46.17	46.17	46.17	2900.08	3792.46	4187.30	4353.76
13	46.17	46.17	46.17	46.17	3096.90	4049.88	4471.48	4649.24
12	46.17	46.17	46.17	46.17	3284.01	4294.56	4741.64	4930.16
11	46.17	46.17	46.17	46.17	3480.68	4551.72	5025.62	5225.38
10	46.17	46.17	46.17	46.17	3702.78	4842.18	5346.30	5558.80
9	46.17	46.17	46.17	46.17	3962.94	5182.40	5721.94	5949.40
8	46.17	46.17	46.17	46.17	4270.24	5584.24	6165.60	6410.72

7	46.17	46.17	46.17	46.17	4636.58	6063.32	6694.58	6960.72
6	46.17	46.17	46.17	46.17	5050.36	6604.40	7292.00	7581.86
5	46.17	46.17	46.56	47.09	5641.10	7376.96	8144.96	8468.76
4	46.17	46.42	47.8	48.38	6013.48	7863.88	8682.62	9027.75
3	46.17	47.93	49.47	50.12	6883.34	9001.45	9938.60	10333.69
2	46.17	49.35	51.59	52.52	7786.75	10182.84	11243.00	11689.90
1	47.93	55.91	66.93	71.42	8681.36	11352.72	12534.66	13032.94

Grafik 4.17 Rasio Berat Tulangan Shearwall pada model gedung 20 Lantai



Tabel 4.30 Rasio Berat Tulangan total pada model struktur gedung 20 Lantai

Lantai	Rasio berat tulangan struktur setiap lantai (kg/m <sup>3</sup> beton)			
	Cara Langsung		Cara Pembobotan	
	SRPMK	SRPMM	SRPMK	SRPMM
	R = 8.5	R = 6.5	R = 5.8871	R = 5.6623
20	144.05	130.42	124.69	115.96
19	169.00	143.18	135.85	125.06
18	165.94	142.74	138.87	127.99

17	163.79	143.38	143.60	133.15
16	164.30	144.36	148.19	138.03
15	165.11	145.12	152.08	142.17
14	165.55	145.91	156.29	146.65
13	165.93	146.56	160.73	151.32
12	166.14	147.25	164.74	155.06
11	166.67	147.98	168.39	158.90
10	166.92	148.79	171.84	162.54
9	170.06	152.10	175.05	165.62
8	174.11	156.90	177.47	169.04
7	178.69	161.85	177.92	169.25
6	183.43	166.91	177.39	169.01
5	188.41	172.27	174.72	166.65
4	184.69	168.29	168.67	160.11
3	188.63	172.20	159.87	151.42
2	194.10	177.38	146.76	139.39
1	195.59	177.43	134.08	128.32

Grafik 4.18 Rasio Berat Tulangan total pada model struktur gedung 20 Lantai

