

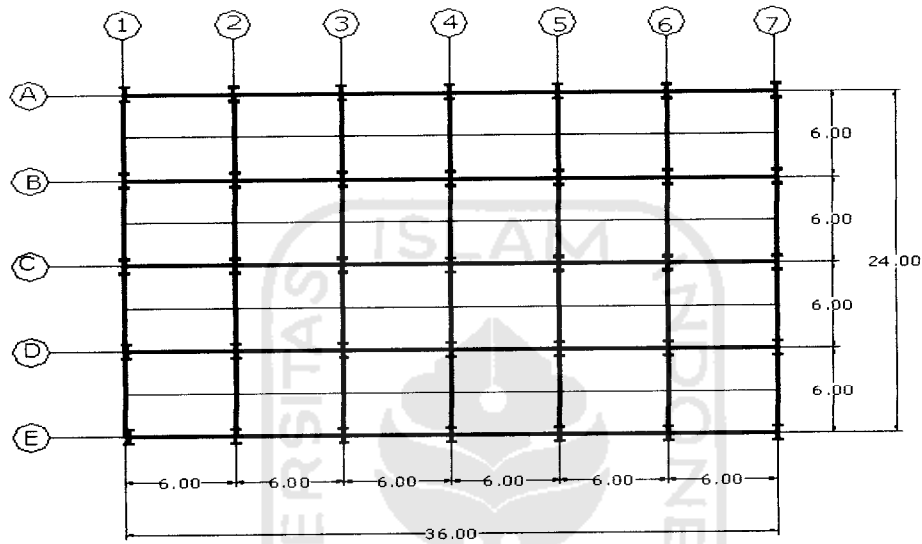
BAB V

ANALISIS STRUKTUR DAN PEMBAHASAN

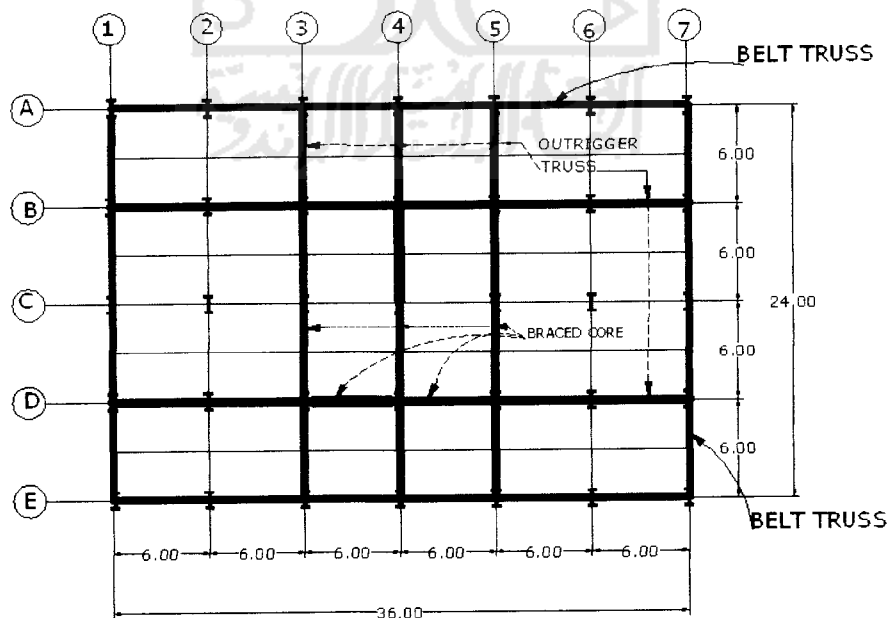
5.1 Pendahuluan

Analisis struktur untuk tahap analisis struktur ini menggunakan model 3-D dengan program Bantu ETABS. Variasi tingkat sebanyak 20,30 dan 40 tingkat. Model yang dianalisis adalah Rangka B्रेसing Biasa dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) Baja untuk *Belt Truss and Outrigger* dan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) Baja untuk *Open Frame* (OF). Untuk struktur 20 lantai model yang dianalisis adalah stuktur OF, BOF dan *Global Brace*. Dasar pendisainan menggunakan AISC-LRFD (*American Institut Steel Design-Load and Resistant Factor Design*) 1993. Perencanaan gaya geser gempa didasarkan pada Pedoman Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Rumah dan Gedung SNI 03-1726-2000, dimana gaya geser gempa tersebut direncanakan menggunakan struktur baja daktail dengan tingkat daktilitas penuh. Untuk menjamin agar gedung berperilaku elastis maka perlu diambil nilai faktor reduksi gempa (R) sebesar 6,5 untuk struktur memakai pengaku dan 8,5 untuk struktur *Open Frame*. Tahap perencanaan kapasitas dimulai setelah dimensi elemen pemencar energi gempa diperoleh dari analisis

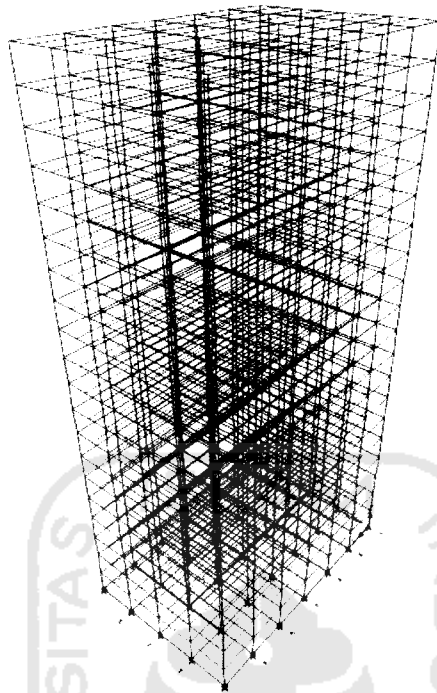
perencanaan yang meliputi “*strength design*”. Kriteria batas “*limit state*” yang menjadi batasan selain kekuatan (*strength*) adalah simpangan antar tingkat (*inter story drift*) yang diambil maksimal sebesar 0,005h (0,5%) atau setara dengan 37,5 mm.



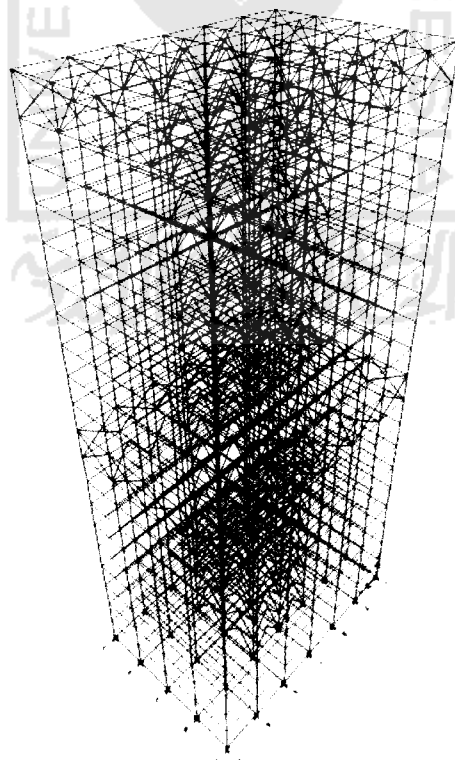
Gambar 5.1 Denah struktur baja 20 lantai *Open Frame*



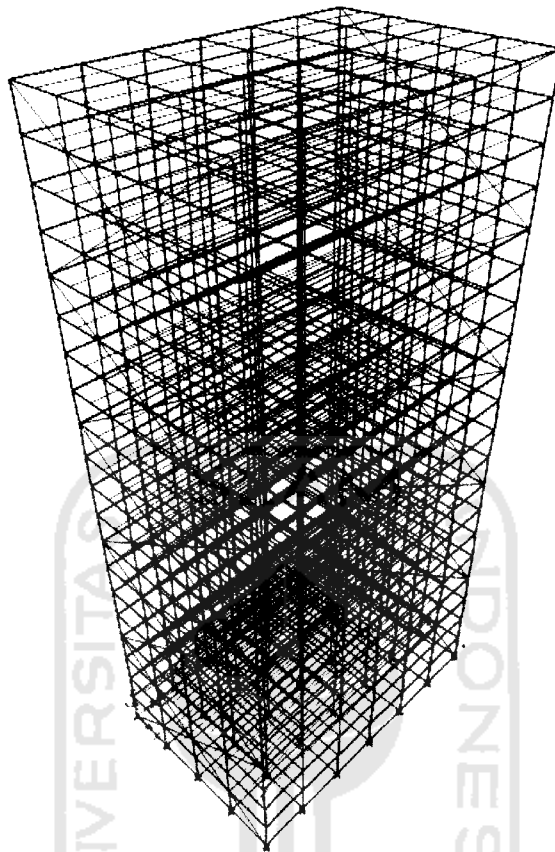
Gambar 5.2 Denah struktur baja 20 lantai memakai *outrigger* dan *belt truss*



Gambar 5.3 Model 3D Struktur baja *Open Frame*



Gambar 5.4 Model 3 D Struktur *Outrigger and Belt truss*

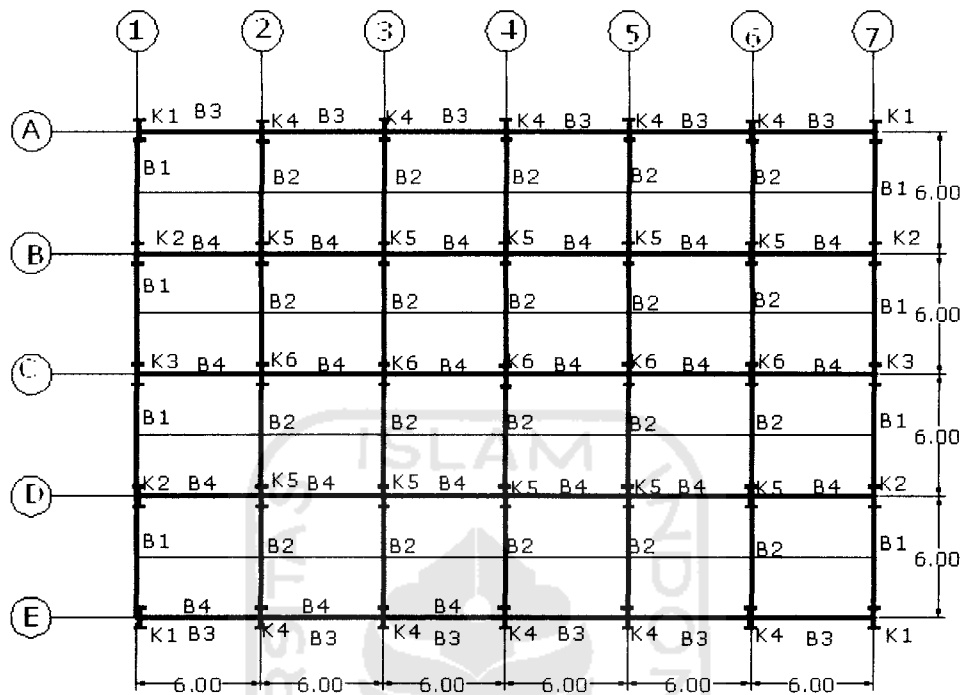


Gambar 5.5 Model 3 D Struktur *Global Brace*

5.2 Pembebanan Struktur

5.2.1 Rencana Penempatan Elemen Struktur

Cara pemilihan profil untuk elemen struktur adalah dengan cara *trial and error*, dengan mempertimbangkan kekuatan elemen dan simpangan antar tingkat. Profil yang sudah dipilih tersebut kemudian didisain sesuai dengan kapasitasnya masing-masing. Rencana penempatan elemen struktur pada struktur portal baja BOF dan OF, disajikan secara lengkap pada tabel 5.1 sampai dengan 5.5. Tabel tersebut didasarkan pada penempatan elemen struktur yang denahnya dapat dilihat pada gambar 5.6 berikut.



Gambar 5.6 Denah Balok dan Kolom Struktur *Outrigger & Belttruss* dan OF

Tabel 5.1 Profil Rencana Balok Struktur OF

Lantai	Balok				
	B1	B2	B3	B4	B. Anak
20	W16X31	W18X35	W16X26	W16X31	W10X33
19	W18x40	W21X50	W16X26	W16X31	W10X49
18	W18x40	W21X55	W16X26	W16X31	W10X49
17	W18x40	W21X55	W16X26	W16X31	W10X49
16	W18x40	W24X55	W16X26	W16X31	W10X49
15	W18x40	W24X55	W16X26	W16X31	W10X49
14	W18x40	W24X55	W16X26	W16X31	W10X49
13	W18x40	W24X55	W16X26	W16X31	W10X49
12	W18x46	W24X62	W16X26	W16X31	W10X49
11	W18x46	W24X62	W16X26	W16X31	W10X49
10	W18x46	W24X62	W16X26	W16X31	W10X49
9	W18x46	W24X62	W16X26	W16X31	W10X49
8	W18x50	W24X68	W16X26	W16X31	W10X49
7	W18x50	W24X68	W16X26	W16X31	W10X49
6	W18x50	W24X68	W16X26	W16X31	W10X49
5	W18x50	W24X68	W16X26	W16X31	W10X49
4	W18x50	W24X76	W16X26	W16X31	W10X49
3	W18x50	W24X76	W16X26	W16X31	W10X49

2	W18x50	W24X76	W16X26	W16X31	W10X49
1	W18x50	W24X76	W16X26	W16X31	W10X49

Tabel 5.2 Profil Rencana Kolom Struktur OF

LANTAI	Kolom					
	K1	K2	K3	K4	K5	K6
20	W14X132	W14X176	W14X159	W14X159	W14X211	W14X211
19	W14X193	W14X233	W14X211	W14X193	W14X311	W14X311
18	W14X233	W14X257	W14X233	W14X311	W14X342	W14X370
17	W14X233	W14X257	W14X233	W14X311	W14X342	W14X370
16	W14X257	W14X283	W14X257	W14X342	W14X370	W14X398
15	W14X257	W14X283	W14X257	W14X342	W14X370	W14X398
14	W14X257	W14X283	W14X257	W14X342	W14X370	W14X398
13	W14X257	W14X283	W14X257	W14X342	W14X370	W14X398
12	W14X283	W14X311	W14X283	W14X342	W14X398	W14X426
11	W14X283	W14X311	W14X283	W14X370	W14X398	W14X426
10	W14X283	W14X311	W14X283	W14X370	W14X398	W14X426
9	W14X283	W14X311	W14X283	W14X370	W14X398	W14X426
8	W14X311	W14X342	W14X311	W14X370	W14X455	W14X455
7	W14X311	W14X342	W14X311	W14X426	W14X455	W14X455
6	W14X311	W14X342	W14X311	W14X426	W14X455	W14X455
5	W14X311	W14X342	W14X311	W14X426	W14X455	W14X455
4	W14X370	W14X426	W14X426	W14X455	W14X500	W14X500
3	W14X370	W14X426	W14X426	W14X455	W14X500	W14X500
2	W14X370	W14X426	W14X426	W14X455	W14X500	W14X500
1	W14X370	W14X426	W14X426	W14X455	W14X500	W14X500

Tabel 5.3 Profil Rencana Balok Struktur BOF

Lantai	B1	B2	B3	B4	Banak
20	W16x26	W16x26	W10x33	W10x33	W10x33
19	W16x31	W18x35	W12x26	W12x30	W10x49
18	W16x31	W18x35	W12x26	W12x30	W10x49
17	W16x31	W18x35	W12x26	W12x30	W10x49
16	W16x36	W18x40	W12x26	W12x30	W10x49
15	W16x36	W18x40	W12x26	W12x30	W10x49
14	W16x36	W18x40	W12x26	W12x30	W10x49
13	W16x36	W18x40	W12x26	W12x30	W10x49
12	W16x36	W18x40	W12x26	W12x30	W10x49
11	W16x36	W18x40	W12x26	W12x30	W10x49
10	W16x36	W18x40	W12x26	W12x30	W10x49
9	W16x36	W18x40	W12x26	W12x30	W10x49
8	W16x40	W18x46	W12x26	W12x30	W10x49
7	W16x40	W18x46	W12x26	W12x30	W10x49

6	W16x40	W18x46	W12x26	W12x30	W10x49
5	W16x40	W18x46	W12x26	W12x30	W10x49
4	W16x45	W18x50	W12x26	W12x30	W10x49
3	W16x45	W18x50	W12x26	W12x30	W10x49
2	W16x45	W18x50	W12x26	W12x30	W10x49
1	W16x45	W18x50	W12x26	W12x30	W10x49

Tabel 5.4 Profil Rencana Kolom Struktur BOF

LANTAI	K1	K2	K3	K4	K5	K6
20	W14X90	W14X99	W14X159	W14X99	W14X193	W14X193
19	W14X90	W14X109	W14X176	W14X109	W14X211	W14X211
18	W14X90	W14X109	W14X193	W14X109	W14X211	W14X211
17	W14X90	W14X109	W14X193	W14X109	W14X211	W14X211
16	W14X109	W14X120	W14X211	W14X120	W14X233	W14X233
15	W14X109	W14X120	W14X211	W14X120	W14X233	W14X233
14	W14X109	W14X120	W14X211	W14X120	W14X233	W14X233
13	W14X109	W14X120	W14X211	W14X120	W14X233	W14X233
12	W14X132	W14X145	W14X233	W14X159	W14X257	W14X257
11	W14X132	W14X145	W14X233	W14X159	W14X257	W14X257
10	W14X132	W14X145	W14X233	W14X159	W14X257	W14X257
9	W14X132	W14X145	W14X233	W14X159	W14X257	W14X257
8	W14X145	W14X176	W14X257	W14X193	W14X311	W14X311
7	W14X145	W14X176	W14X257	W14X193	W14X311	W14X311
6	W14X145	W14X176	W14X257	W14X193	W14X311	W14X311
5	W14X145	W14X176	W14X257	W14X193	W14X311	W14X311
4	W14X159	W14X257	W14X283	W14X257	W14X370	W14X370
3	W14X159	W14X257	W14X283	W14X257	W14X370	W14X370
2	W14X159	W14X257	W14X283	W14X257	W14X370	W14X370
i	W14X159	W14X257	W14X283	W14X257	W14X370	W14X370

Tabel 5.5 Profil Rencana Bresing

Lantai	Struktur inti	Outrigger	Belt Truss
20	W10X26	W10X49	W12x45
19	W10X26		
18	W10X26		
17	W10X26		
16	W10X26		
15	W10X26		
14	W10X26		
13	W10X26		
12	W10X26		
11	W10X26		
10	W10X26	W12X65	W12X65

9	W10X33		
8	W10X33		
7	W10X33		
6	W10X33		
5	W10X33		
4	W10X33		
3	W10X33		
2	W10X33		
1	W10X33		

5.2.2 Pembebanan Lantai dan Berat Total Struktur

1. Pembebanan atap

Beban yang bekerja:

a. Beban mati

$$\text{Berat pelat} = 0,1 \cdot 2400 = 240 \text{ Kg/m}^2$$

$$\text{Berat plafond} = 1 \cdot 18 = 18 \text{ Kg/m}^2$$

$$\text{Lapis kedap air} = 0,02 \cdot 2400 = 48 \text{ Kg/m}^2$$

$$\text{Ducting AC} = 1 \cdot 15 = 15 \text{ Kg/m}^2$$

$$321 \text{ Kg/m}^2$$

$$\text{b. Beban hidup} = 100 = 100 \text{ Kg/m}^2$$

2. Pembebanan lantai

Beban yang bekerja:

a. Beban mati

$$\text{Berat pelat} = 0,12 \cdot 2400 = 288 \text{ Kg/m}^2$$

$$\text{Berat pasir} = 0,05 \cdot 1800 = 90 \text{ Kg/m}^2$$

$$\text{Berat spesie} = 0,02 \cdot 2400 = 48 \text{ Kg/m}^2$$

$$\text{Berat tegel} = 0,01 \cdot 2400 = 24 \text{ Kg/m}^2$$

$$\text{Berat plafond} = 1 \cdot 18 = 18 \text{ Kg/m}^2$$

$$\text{Ducting AC} = 1 \cdot 15 = 15 \text{ Kg/m}^2$$

$$483 \text{ Kg/m}^2$$

$$\text{b. Beban hidup} = 250 = 250 \text{ Kg/m}^2$$

$$\text{c. Beban tembok} = 0,15 \cdot 3,3 \cdot 1700 = 841,2 \text{ Kg/m}$$

Kontrol tebal pelat rencana

$$h_{\min} = \frac{0,8 + \frac{f_y}{1500}}{36 + 9 \cdot \beta} \cdot (l_n) = \frac{0,8 + \frac{300}{1500}}{36 + 9 \cdot (6000/3000)} (3000) = 55,55 \text{ mm.}$$

Dipakai tebal pelat rencana = 120 mm, berarti anggapan bisa dipakai

Perhitungan berat total struktur Struktur Belt Truss and Outrigger Frame (BOF)

1. Berat Lantai 20

Tabel 5.6 hitungan berat struktur lantai 20

Elemen	Jumlah	Luas/Panjang	Berat	Berat Total (Kg)
	1	2	3	(1 x 2 x 3)
Berat pelat atap	24	36	321	277344
Berat balok B1	8	6	46.14	2214.7
Berat balok B2	20	6	52.05	6246.2
Berat balok B3	12	6	38.66	2783.5
Berat balok B4	20	6	44.42	5330.5
Berat balok anak	24	6	49.07	7066.1
Berat kolom K1	4	3.75	161.7	2425.7
Berat kolom K2	4	3.75	236	3540
Berat kolom K3	2	3.75	236	1770
Berat kolom K4	10	3.75	178.4	6689.6
Berat kolom K5	10	3.75	313.3	11749.5
Berat kolom K6	5	3.75	261.8	4908.2
Berat Outrigger arah X	16	4.8	72.8	5588.8
Berat Outrigger Arah Y	12	4.8	72.8	4191.6
Berat Struktur Inti arah X	12	4.8	49.1	2826.4
Berat Struktur Inti arah Y	8	4.8	32.8	1259.4

Berat Belt Truss Arah X	24	7.075	66.2	11241
Berat Belt Truss Arah Y	16	7.075	7.1	800.9
Beban hidup (0.3 x WL)	24	36	100	25920
Berat Total / Lantai				373931.428 Kg

2. Berat Lantai 19

Tabel 5.7 hitungan berat struktur lantai 19

Elemen	Jumlah	Luas/Panjang	Berat	Berat Total (Kg)
	1	2	3	(1 x 2 x 3)
Berat pelat Lantai	24	36	483	417312
Berat balok B1	8	6	52.05	2498.5
Berat balok B2	20	6	71.25	8550.6
Berat balok B3	12	6	44.42	3198.3
Berat balok B4	20	6	44.42	5330.5
Berat balok anak	24	6	72.77	10479
Berat kolom K1	4	3.75	236	3540
Berat kolom K2	4	3.75	261.8	3926.6
Berat kolom K3	2	3.75	261.8	1963.3
Berat kolom K4	10	3.75	261.8	9816.5
Berat kolom K5	10	3.75	421	15786
Berat kolom K6	5	3.75	346.2	6490.6
Berat Struktur Inti arah X	12	4.8	49.1	2826.4
Berat Struktur Inti arah Y	8	4.8	32.8	1259.4
Berat Tembok 1/2 Bata (15 cm)	58	6	841.5	292842
Beban hidup (0.3 x WL)	24	36	250	64800
Berat Total / Lantai				828343.08 Kg

3. Berat Lantai 18,17

Tabel 5.8 hitungan berat struktur lantai 18,17

Elemen	Jumlah	Luas/Panjang	Berat	Berat Total (Kg)
	1	2	3	(1 x 2 x 3)
Berat pelat Lantai	24	36	483	417312
Berat balok B1	8	6	59.6	2862.3
Berat balok B2	20	6	71.3	8550.6
Berat balok B3	12	6	44.4	3198.3
Berat balok B4	20	6	44.4	5330.5
Berat balok anak	24	6	72.8	10479
Berat kolom K1	4	3.75	261.8	3926.6
Berat kolom K2	4	3.75	261.8	3926.6
Berat kolom K3	2	3.75	261.8	1963.3
Berat kolom K4	10	3.75	287	10764

Berat kolom K5	10	3.75	461.9	17321
Berat kolom K6	5	3.75	421	7893
Berat Struktur Inti arah X	12	4.8	49.07	2826.4
Berat Struktur Inti arah Y	8	4.8	32.8	1259.4
Berat Tembok 1/2 Bata (15 cm)	58	6	841.5	292842
Beban hidup (0.3 x WL)	24	36	250	64800
Berat Total / Lantai				830041.069 Kg

4. Berat Lantai 16,15,14 dan 13

Tabel 5.9 hitungan berat struktur lantai 16,15,14 dan 13

Elemen	Jumlah	Luas/Panjang	Berat	Berat Total (Kg)
	1	2	3	(1 x 2 x 3)
Berat pelat Lantai	24	36	483	417312
Berat balok B1	8	6	65.7	3153.4
Berat balok B2	20	6	74.29	8914.4
Berat balok B3	12	6	44.42	3198.3
Berat balok B4	20	6	44.42	5330.5
Berat balok anak	24	6	72.77	10479
Berat kolom K1	4	3.75	287.04	4305.6
Berat kolom K2	4	3.75	313.32	4699.8
Berat kolom K3	2	3.75	313.32	2349.9
Berat kolom K4	10	3.75	346.17	12981.3
Berat kolom K5	10	3.75	510.41	19140.3
Berat kolom K6	5	3.75	461.89	8660.5
Berat Struktur Inti arah X	12	4.8	66.2	3813.2
Berat Struktur Inti arah Y	8	4.8	32.8	1259.4
Berat Tembok 1/2 Bata (15 cm)	58	6	841.5	292842
Beban hidup (0.3 x WL)	24	36	250	64800
Berat Total / Lantai				834452.043 Kg

5. Berat Lantai 12,11,10 dan 9

Tabel 5.10 hitungan berat struktur lantai 12,11,10 dan 9

Elemen	Jumlah	Luas/Panjang	Berat	Berat Total (Kg)
	1	2	3	(1 x 2 x 3)
Berat pelat atap	24	36	321	277344
Berat balok B1	8	6	71.25	3420.2
Berat balok B2	20	6	81.87	9824.1
Berat balok B3	12	6	44.42	3198.3
Berat balok B4	20	6	44.42	5330.5
Berat balok anak	24	6	72.77	10479
Berat kolom K1	4	3.75	313.32	4699.8
Berat kolom K2	4	3.75	346.17	5192.5

Berat kolom K3	2	3.75	346.17	2596.3
Berat kolom K4	10	3.75	382.05	14326.8
Berat kolom K5	10	3.75	550.84	20656.3
Berat kolom K6	5	3.75	510.41	9570.1
Berat Outrigger arah X	16	4.8	78.84	6054.5
Berat Outrigger Arah Y	12	4.8	72.77	4191.6
Berat Struktur Inti arah X	12	4.8	66.2	3813.2
Berat Struktur Inti arah Y	8	4.8	32.8	1259.4
Berat Belt Truss Arah X	24	7.075	96.52	16389.5
Berat Belt Truss Arah Y	16	7.075	85.91	9725
Beban hidup (0.3 x WL)	24	36	250	64800
Berat Tembok 1/2 Bata (15 cm)	58	6	841.5	292842
Berat Total / Lantai				839094.047 Kg

6. Berat Lantai 8,7,6 dan 5

Tabel 5.11 hitungan berat struktur lantai 8,7,6 dan 5

Elemen	Jumlah	Luas/Panjang	Berat	Berat Total (Kg)
	1	2	3	(1 x 2 x 3)
Berat pelat Lantai	24	36	483	417312
Berat balok B1	8	6	81.87	3929.6
Berat balok B2	20	6	82.37	9884.7
Berat balok B3	12	6	44.42	3198.3
Berat balok B4	20	6	44.42	5330.5
Berat balok anak	24	6	72.77	10479
Berat kolom K1	4	3.75	346.17	5192.5
Berat kolom K2	4	3.75	420.96	6314.4
Berat kolom K3	2	3.75	420.96	3157.2
Berat kolom K4	10	3.75	420.96	15786
Berat kolom K5	10	3.75	591.26	22172.4
Berat kolom K6	5	3.75	550.84	10328.2
Berat Struktur Inti arah X	12	4.8	66.2	3813.2
Berat Struktur Inti arah Y	8	4.8	32.8	1259.4
Berat Tembok 1/2 Bata (15 cm)	58	6	841.5	292842
Beban hidup (0.3 x WL)	24	36	250	64800
Berat Total / Lantai				834452.043 Kg

7. Berat Lantai 4,3,2, dan 1

Tabel 5.12 hitungan berat struktur lantai 4,3,2, dan 1

Elemen	Jumlah	Luas/Panjang	Berat	Berat Total (Kg)
	1	2	3	(1 x 2 x 3)
Berat pelat Lantai	24	36	483	417312
Berat balok B1	8	6	84.39	4050.9
Berat balok B2	20	6	92.48	11097.6
Berat balok B3	12	6	44.42	3198.3
Berat balok B4	20	6	44.42	5330.5
Berat balok anak	24	6	72.77	10479
Berat kolom K1	4	3.75	382.05	5730.7
Berat kolom K2	4	3.75	461.89	6928.4
Berat kolom K3	2	3.75	420.96	3157.2
Berat kolom K4	10	3.75	461.89	17321
Berat kolom K5	10	3.75	677.17	25394
Berat kolom K6	5	3.75	591.26	11086.2
Berat Struktur Inti arah X	12	4.8	66.2	3813.2
Berat Struktur Inti arah Y	8	4.8	32.8	1259.4
Berat Tembok 1/2 Bata (15 cm)	58	6	841.5	292842
Beban hidup (0.3 x WL)	24	36	250	216000
Berat Total / Lantai				848047.90 Kg

Perhitungan berat total struktur Struktur *Open Frame* (OF)

1. Berat Lantai 20

Tabel 5.13 hitungan berat struktur lantai 20

Elemen	Jumlah	Luas/Panjang	Berat	Berat Total
	1	2	3	(1 x 2 x 3)
Berat pelat atap	24	36	321	277344
Berat balok B1	8	6	46.14	2214.7
Berat balok B2	20	6	52.05	6246.2
Berat balok B3	12	6	38.66	2783.5
Berat balok B4	20	6	44.42	5330.4
Berat balok anak	24	6	49.1	7066.1
Berat kolom K1	4	3.75	196.08	2941.2
Berat kolom K2	4	3.75	261.77	3926.6
Berat kolom K3	2	3.75	236	1770
Berat kolom K4	10	3.75	236	8850
Berat kolom K5	10	3.75	313.32	11749.5
Berat kolom K6	5	3.75	313.32	5874.7

Beban hidup (0.3 x WL)	24	36	100	25920
Berat Total / Lantai				344609.7 Kg

2. Berat Lantai 19

Tabel 5.14 hitungan berat struktur lantai 19

Elemen	Jumlah	Luas/Panjang	Berat	Berat Total
	1	2	3	(1 x 2 x 3)
Berat pelat Lantai	24	36	483	417312
Berat balok B1	8	6	59.63	2862.3
Berat balok B2	20	6	74.29	8914.4
Berat balok B3	12	6	38.66	2783.5
Berat balok B4	20	6	44.42	5330.5
Berat balok anak	24	6	72.77	10479
Berat kolom K1	4	3.75	287.04	4305.6
Berat kolom K2	4	3.75	346.17	5192.5
Berat kolom K3	2	3.75	313.32	2349.9
Berat kolom K4	10	3.75	287.04	10764
Berat kolom K5	10	3.75	461.89	17321
Berat kolom K6	5	3.75	461.89	8660.5
Berat Tembok 1/2 Bata (15 cm)	58	6	841.5	292842
Beban hidup (0.3 x WL)	24	36	250	216000
Berat Total / Lantai				803096,9 Kg

3. Berat Lantai 18,17

Tabel 5.15 hitungan berat struktur lantai 18,17

Elemen	Jumlah	Luas/Panjang	Berat	Berat Total
	1	2	3	(1 x 2 x 3)
Berat pelat Lantai	24	36	483	417312
Berat balok B1	8	6	65.7	3153.4
Berat balok B2	20	6	81.87	9824.1
Berat balok B3	12	6	38.66	2783.5
Berat balok B4	20	6	44.42	5330.5
Berat balok anak	24	6	72.77	10479
Berat kolom K1	4	3.75	346.17	5192.5
Berat kolom K2	4	3.75	382.05	5730.7
Berat kolom K3	2	3.75	346.17	2596.3
Berat kolom K4	10	3.75	461.89	17321
Berat kolom K5	10	3.75	510.41	19140.3
Berat kolom K6	5	3.75	550.84	10328.2
Berat Tembok 1/2 Bata (15 cm)	58	6	841.5	292842

Beban hidup (0.3 x WL)	24	36	250	216000
Berat Total / Lantai				812235 Kg

4. Berat Lantai 16,15,14 dan 13

Tabel 5.16 hitungan berat struktur lantai 16,15,14 dan 13

Elemen	Jumlah	Luas/Panjang	Berat	Berat Total (Kg)
	1	2	3	(1 x 2 x 3)
Berat pelat Lantai	24	36	483	417312
Berat balok B1	8	6	74.29	3565.8
Berat balok B2	20	6	82.37	9884.7
Berat balok B3	12	6	38.66	2783.5
Berat balok B4	20	6	44.42	5330.5
Berat balok anak	24	6	72.77	10479
Berat kolom K1	4	3.75	382.05	5730.7
Berat kolom K2	4	3.75	420.96	6314.4
Berat kolom K3	2	3.75	382.05	2865.4
Berat kolom K4	10	3.75	510.41	19140.3
Berat kolom K5	10	3.75	550.84	20656.3
Berat kolom K6	5	3.75	591.26	11086.2
Berat Tembok 1/2 Bata (15 cm)	58	6	841.5	292842
Beban hidup (0.3 x WL)	24	36	250	216000
Berat Total / Lantai				814922,2 Kg

5. Berat Lantai 12,11,10 dan 9

Tabel 5.17 Hitungan berat struktur lantai 12,11,10 dan 9

Elemen	Jumlah	Luas/Panjang	Berat	Berat Total (Kg)
	1	2	3	(1 x 2 x 3)
Berat pelat atap	24	36	321	277344
Berat balok B1	8	6	81.87	3929.6
Berat balok B2	20	6	92.48	11097.6
Berat balok B3	12	6	38.66	2783.5
Berat balok B4	20	6	44.42	5330.5
Berat balok anak	24	6	72.77	10479
Berat kolom K1	4	3.75	420.96	6314.4
Berat kolom K2	4	3.75	420.96	6314.4
Berat kolom K3	2	3.75	420.96	3157.2
Berat kolom K4	10	3.75	510.41	19140.3
Berat kolom K5	10	3.75	591.26	22172.4
Berat kolom K6	5	3.75	631.69	11844.2

Beban hidup (0.3 x WL)	24	36	250	216000
Berat Tembok 1/2 Bata (15 cm)	58	6	841.5	292842
Berat Total / Lantai				819522,7 Kg

6. Berat lantai 8,7,6 dan 5

Tabel 5.18 Hitungan berat struktur lantai 8,7,6 dan 5

Elemen	Jumlah	Luas/Panjang	Berat	Berat Total (Kg)
	1	2	3	(1 x 2 x 3)
Berat pelat Lantai	24	36	483	417312
Berat balok B1	8	6	84.39	4050.9
Berat balok B2	20	6	101.58	12189.1
Berat balok B3	12	6	38.66	2783.5
Berat balok B4	20	6	44.42	5330.5
Berat balok anak	24	6	72.77	10479
Berat kolom K1	4	3.75	461.89	6928.4
Berat kolom K2	4	3.75	461.89	6928.4
Berat kolom K3	2	3.75	461.89	3464.2
Berat kolom K4	10	3.75	550.84	20656.3
Berat kolom K5	10	3.75	677.17	25394
Berat kolom K6	5	3.75	677.17	12697
Berat Tembok 1/2 Bata (15 cm)	58	6	841.5	292842
Beban hidup (0.3 x WL)	24	36	250	216000
Berat Total / Lantai				825472,4 Kg

7 Berat. lantai 4,3,2 dan 1

Tabel 5.19 Hitungan berat struktur lantai 4,3,2 dan 1

Elemen	Jumlah	Luas/Panjang	Berat	Berat Total (Kg)
	1	2	3	(1 x 2 x 3)
Berat pelat Lantai	24	36	483	417312
Berat balok B1	8	6	92.48	4439
Berat balok B2	20	6	113.2	13583.9
Berat balok B3	12	6	38.66	2783.5
Berat balok B4	20	6	44.42	5330.5
Berat balok anak	24	6	72.77	10479
Berat kolom K1	4	3.75	510.41	7656.1
Berat kolom K2	4	3.75	550.84	8262.5
Berat kolom K3	2	3.75	510.41	3828.1
Berat kolom K4	10	3.75	677.17	25394
Berat kolom K5	10	3.75	742.87	27857.6

Berat kolom K6	5	3.75	742.87	13928.8
Berat Tembok 1/2 Bata (15 cm)	58	6	841.5	292842
Beban hidup (0.3 x WL)	24	36	250	216000
Berat Total / Lantai				833727,4 Kg

Tabel 5.20 Berat Tiap Lantai dan Berat Total Struktur Portal Baja

Lantai	Wi (Kg)	
	Tanpa Pengaku	Dengan Pengaku
20	362233.9	373931.4
19	829078.4	828343.1
18	841703.4	830041.1
17	841703.4	830041.1
16	847248.4	834452
15	846664.7	835438.8
14	846664.7	835438.8
13	846664.7	835438.8
12	852023.2	839094
11	853539.3	839094
10	853539.3	839094
9	853539.3	839094
8	860531.4	843298.8
7	863563.5	843298.8
6	863563.5	843298.8
5	864291.2	843734.7
4	875513.8	848047.9
3	875513.8	848047.9
2	875513.8	848047.9
1	875513.8	848047.9
Σ =	16628607.7	16125242.4

5.2.3 Perhitungan Gaya Geser Dasar Akibat Gempa dan Distribusinya ke Sepanjang Tinggi Gedung

1. Waktu getar struktur (T) untuk struktur baja 20 lantai dimana tinggi antar lantai adalah 3,75 m.

- a. Struktur *Open Frame* berdasarkan persamaan (3.2b)

$$T = 0,085.H^{3/4} = 0,085.75^{3/4} = 2.2 \text{ detik}$$

- b. Struktur *Belt Truss and Outrigger frame (BOF)*

- Berdasarkan code Prancis menurut persamaan (3.3)

$$T = 0,08 \cdot \frac{H(m)}{\sqrt{L(m)}} \cdot \sqrt{\frac{H(m)}{L(m) + H(m)}}$$

$$= 0,08 \cdot \frac{75}{\sqrt{24}} \cdot \sqrt{\frac{75}{24 + 75}} = 0,9 \text{ detik.}$$

- Berdasarkan code Israel menurut persamaan (3.4)

$$T = 0,049 \cdot H^{3/4}(m) = 0,049 \cdot 75^{3/4} = 1,2 \text{ detik.}$$

- Berdasarkan code Puerto Rico menurut persamaan (3.5)

$$T = \frac{H_n(\text{ft})}{20 \cdot \sqrt{D(\text{ft})}} = \frac{246,06}{20 \cdot \sqrt{78,74}} = 1,4 \text{ detik}$$

- Berdasarkan code Spanyol menurut persamaan (3.6)

$$T = 0,85 \cdot \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{L(m)}{H(m)}}} \cdot 0,1 \cdot \frac{H(m)}{\sqrt{L(m)}}$$

$$= 0,85 \cdot \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{75}{24}}} \cdot 0,1 \cdot \frac{75}{\sqrt{24}} = 0,915 \text{ detik}$$

Dipakai T empiris berdasarkan code Puerto Rico, $T = 1,4$ detik.

2. Koefisien gempa dasar

Struktur berada di wilayah gempa 6 (BOF dan OF) dan di atas tanah keras.

a. Struktur *Open Frame*

$$T = 2,17 \text{ detik, maka } C \text{ (menurut Gambar 3.1)} = 0,194$$

b. Struktur *Outrigger* dan *Beltruss*

$$T = 1,4 \text{ detik, maka } C \text{ (menurut Gambar 3.1)} = 0,3$$

3. Faktor keutamaan (I) dan faktor reduksi beban gempa (R)

Ditentukan nilai $I = 1$ (gedung perkantoran) dan $R = 8,5$ (Rangka pemikul momen khusus) untuk struktur OF, serta $R = 6,5$ (rangka bresing biasa) untuk struktur BOF.

4. Gaya geser dasar horizontal akibat gempa

$$V = \frac{C_i \cdot I}{R} \cdot W_t \quad \text{menurut} \quad (\text{Pers 3.2a})$$

$$V = \frac{0,3 \cdot 1}{6,5} \cdot 1.632.532,2 = 744.241,958 \text{ Kg (Belt Truss and Outrigger frame)}$$

$$V = \frac{0,194 \cdot 1}{8,5} \cdot 1.662.860,7 = 379.289,989 \text{ Kg (Open frame)}$$

5. Distribusi gaya geser dasar akibat gempa

Karena rasio $H/B = 75/24 = 3,125 > 3$ maka gaya geser dasar horizontal di sepanjang tinggi gedung didistribusikan dengan persamaan berikut.

$$F_i = 0,1 \cdot V + \frac{W_i \cdot h_i}{\sum W_i \cdot h_i} \cdot 0,9 V \quad (\text{Pers3.9})$$

Untuk lantai selain atap dihitung dengan persamaan berikut :

$$F_i = \frac{W_i \times h_i}{\sum W_i \times h_i} \times 0,9 V \quad (\text{Pers3.10})$$

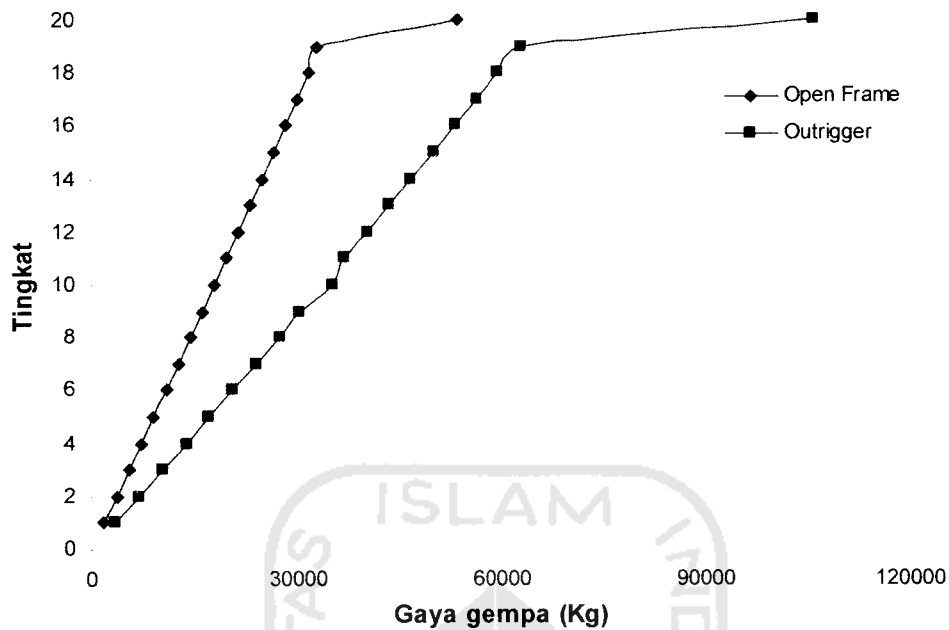
Tabel 5.21 Distribusi Gaya Geser Dasar Horizontal Struktur OF

Lantai	hi (m)	Wi (Kg)	hi *Wi	Fx,y (Kg)
20.0	75.00	362233.9	27167545.3	52598.0
19.0	71.25	829078.4	59071835.8	31895.6
18.0	67.50	841703.4	56814979.5	30677.0
17.0	63.75	841703.4	53658591.7	28972.7
16.0	60.00	847248.4	50834904.0	27448.1
15.0	56.25	846664.7	47624890.3	25714.9
14.0	52.50	846664.7	44449897.6	24000.5
13.0	48.75	846664.7	41274904.9	22286.2
12.0	45.00	852023.2	38341045.6	20702.1

11.0	41.25	853539.3	35208496.0	19010.7
10.0	37.50	853539.3	32007723.6	17282.4
9.0	33.75	853539.3	28806951.2	15554.2
8.0	30.00	860531.4	25815941.1	13939.2
7.0	26.25	863563.5	22668541.7	12239.8
6.0	22.50	863563.5	19430178.6	10491.2
5.0	18.75	864291.2	16205460.1	8750.1
4.0	15.00	875513.8	13132707.6	7090.9
3.0	11.25	875513.8	9849530.7	5318.2
2.0	7.50	875513.8	6566353.8	3545.5
1.0	3.75	875513.8	3283176.9	1772.7
		$\Sigma =$	632213656.3	

Tabel 5.22 Distribusi Gaya Geser Dasar Horizontal Struktur BOF

Lantai	hi (m)	Wi (Kg)	hi * Wi	F _{x,y} (Kg)
20.0	75.00	384707.9	28853095.0	105878.3
19.0	71.25	811005.7	57784155.2	62993.3
18.0	67.50	811005.7	54742883.9	59677.9
17.0	63.75	811005.7	51701612.5	56362.4
16.0	60.00	815537.1	48932227.3	53343.4
15.0	56.25	816523.9	45929469.3	50069.9
14.0	52.50	816523.9	42867504.7	46731.9
13.0	48.75	816523.9	39805540.1	43393.9
12.0	45.00	822059.4	36992673.8	40327.5
11.0	41.25	822059.4	33909951.0	36966.9
10.0	37.50	859970.8	32248904.0	35156.1
9.0	33.75	822059.4	27744505.4	30245.6
8.0	30.00	832182.4	24965471.8	27216.1
7.0	26.25	832182.4	21844787.8	23814.1
6.0	22.50	832182.4	18724103.8	20412.0
5.0	18.75	834297.3	15643074.3	17053.3
4.0	15.00	846353.8	12695306.7	13839.8
3.0	11.25	846353.8	9521480.0	10379.8
2.0	7.50	846353.8	6347653.3	6919.9
1.0	3.75	846353.8	3173826.7	3459.9
		$\Sigma =$	614428226.5	



Grafik 5.1 Perbandingan Gaya Gempa pada OF dan BOF

6. Kontrol waktu getar struktur dengan persamaan Rayleigh

$$T = 6,3 \sqrt{\frac{\sum W_i \cdot d_i^2}{g \cdot \sum F_i \cdot d_i}} \quad (\text{Pers 3.7})$$

Tabel 5.23 Evaluasi Periode Getar (T Rayleigh) Struktur BOF

Tingkat	F _i	Simpangan Tingkat	Total Simpangan (δ)	W _i	W _i ·δ _i ²	F _i ·δ _i
	Kg	cm	cm	Kg	kg.cm ²	kg.cm
20.0	105878.3	0.0	2.7	384707.9	2802041.5	285745.1
19.0	62993.3	0.1	2.7	811005.7	5871734.5	169498.4
18.0	59677.9	0.1	2.6	811005.7	5572712.8	156435.2
17.0	56362.4	0.1	2.5	811005.7	5180463.6	142449.8
16.0	53343.4	0.1	2.4	815537.1	4737850.3	128572.9
15.0	50069.9	0.1	2.3	816523.9	4232609.6	113997.8
14.0	46731.9	0.1	2.2	816523.9	3779990.3	100548.3
13.0	43393.9	0.2	2.0	816523.9	3303294.3	87280.7
12.0	40327.5	0.2	1.9	822059.4	2835225.2	74893.4
11.0	36966.9	0.2	1.7	822059.4	2384928.3	62964.9
10.0	35156.1	0.0	1.5	859970.8	2035450.2	54086.5
9.0	30245.6	0.2	1.5	822059.4	1866251.5	45571.8
8.0	27216.1	0.2	1.3	832182.4	1455526.0	35993.7
7.0	23814.1	0.2	1.1	832182.4	1091529.5	27273.6

6.0	20412.0	0.2	1.0	832182.4	769366.3	19626.5
5.0	17053.3	0.2	0.8	834297.3	497464.7	13168.3
4.0	13839.8	0.1	0.6	846353.8	312628.4	8411.4
3.0	10379.8	0.2	0.5	846353.8	177788.8	4757.4
2.0	6919.9	0.2	0.3	846353.8	79634.5	2122.6
1.0	3459.9	0.2	0.2	846353.8	20001.5	531.9
				Σ	49006491.8	1533930.1

Tabel 5.24 Evaluasi Periode Getar (T Rayleigh) Struktur OF

Tingkat	Simpangan Tingkat cm	Total Simpangan (δ) cm	Wi Kg	Wi. δ i ² kg.cm ²	Fi. δ i kg.cm
20	0.0665	2.5488	362233.9	2353301.9	134064.4
19	0.0783	2.4824	829078.4	5108872.6	79176.3
18	0.0744	2.4041	841703.4	4864710.3	73750.0
17	0.0931	2.3297	841703.4	4568420.1	67498.3
16	0.0980	2.2367	847248.4	4238449.3	61391.8
15	0.1127	2.1387	846664.7	3872531.9	54995.3
14	0.1264	2.0260	846664.7	3475232.5	48624.7
13	0.1391	1.8996	846664.7	3055184.7	42335.0
12	0.1423	1.7605	852023.2	2640713.6	36445.9
11	0.1446	1.6182	853539.3	2234935.2	30762.3
10	0.1534	1.4735	853539.3	1853325.0	25466.5
9	0.1614	1.3201	853539.3	1487467.1	20533.3
8	0.1587	1.1587	860531.4	1155425.5	16152.0
7	0.1489	1.0000	863563.5	863596.7	12240.0
6	0.1534	0.8511	863563.5	625599.1	8929.5
5	0.1572	0.6977	864291.2	420721.5	6104.9
4	0.1329	0.5405	875513.8	255725.6	3832.3
3	0.1348	0.4076	875513.8	145437.3	2167.6
2	0.1361	0.2728	875513.8	65146.5	967.1
1	0.1367	0.1367	875513.8	16363.0	242.4
				43301159.4	725679.4

Belt Truss and Outrigger frame (BOF):

$$T_R = 6,3 \cdot \sqrt{\frac{49006491,28}{981 \cdot 1533930,1}} = 1,137 \text{ detik}, \quad \frac{T}{T_R} = 1,219 ; \quad 0,8 \leq 1,219 \leq 1,2$$

Karena nilai $T/T_R \geq 1,2$, maka gaya gempa baru perlu dicari berdasarkan nilai C baru dengan menggunakan T_R . Nilai C baru untuk struktur BOF menurut Gambar 3.1 untuk kondisi tanah keras, $C = 0,369$

Selanjutnya, perhitungan untuk struktur *Belt truss and Outrigger frame* diulang dari menghitung gaya geser horizontal total.

$$V = \frac{C_i \cdot I}{R} \cdot W_t = \frac{0.369 \cdot 1}{6.5} \cdot 16125242,4 = 916.457,0448 \text{ Kg} \quad (\text{Pers 3.2a})$$

Tabel 5.25 Distribusi Gaya Geser Dasar Horizontal Struktur BOF

Lantai	hi (m)	wi (Kg)	hi.wi	Fx,y (Kg)
20.0	75.0	384707.9	28853095.0	130378.23
19.0	71.3	811005.7	57784155.2	77569.72
18.0	67.5	811005.7	54742883.9	73487.10
17.0	63.8	811005.7	51701612.5	69404.49
16.0	60.0	815537.1	48932227.3	65686.85
15.0	56.3	816523.9	45929469.3	61655.94
14.0	52.5	816523.9	42867504.7	57545.54
13.0	48.8	816523.9	39805540.1	53435.14
12.0	45.0	822059.4	36992673.8	49659.14
11.0	41.3	822059.4	33909951.0	45520.88
10.0	37.5	859970.8	32248904.0	43291.08
9.0	33.8	822059.4	27744505.4	37244.35
8.0	30.0	832182.4	24965471.8	33513.77
7.0	26.3	832182.4	21844787.8	29324.55
6.0	22.5	832182.4	18724103.8	25135.33
5.0	18.8	834297.3	15643074.3	20999.34
4.0	15.0	846353.8	12695306.7	17042.24
3.0	11.3	846353.8	9521480.0	12781.68
2.0	7.5	846353.8	6347653.3	8521.12
1.0	3.8	846353.8	3173826.7	4260.56

Setelah didapat gaya geser horizontal gempa dasar baru dicek lagi waktu getar Raylighnya dapat dilihat pada lampiran A-5. hasil akhir seperti terlihat pada tabel 5.25

Open Frame:

$$T_R = 6,3 \cdot \sqrt{\frac{43301159,4}{981.725679,4}} = 1,554 \text{ detik}, \quad \frac{T}{T_R} = 1,394 \geq 1,2$$

Karena nilai $T/T_R \geq 1,2$, maka gaya gempa baru perlu dicari berdasarkan nilai C baru dengan menggunakan T_R . Nilai C baru untuk struktur *Open Frame* menurut Gambar 3.1 untuk kondisi tanah keras, $C = 0,270$

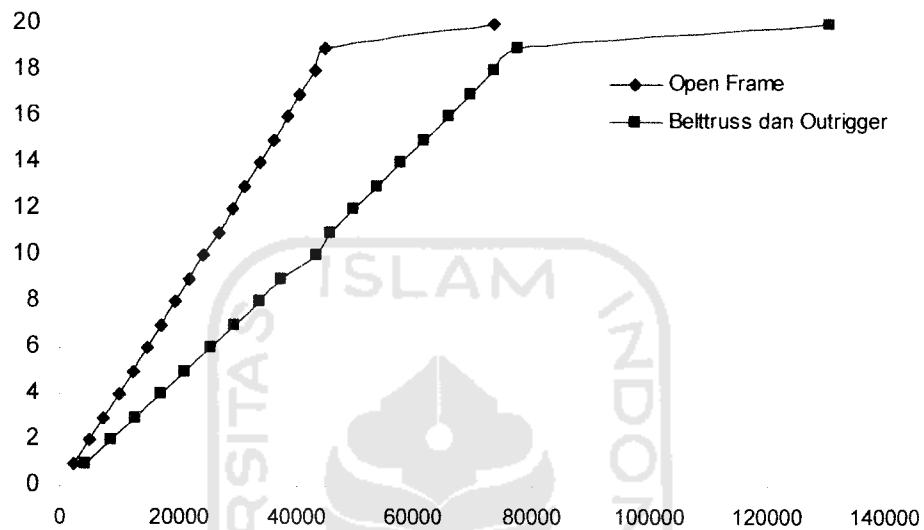
Selanjutnya, perhitungan untuk struktur *Open Frame* diulang dari menghitung gaya geser horizontal total.

$$V = \frac{C_i \cdot I}{R} \cdot W_t = \frac{0.270 \cdot 1}{8,5} \cdot 16628607,7 = 528813.89 \text{ Kg (OF)} \quad (\text{Pers 3.2a})$$

Tabel 5.26 Distribusi Gaya Geser Dasar Horizontal Struktur *Open Frame*

Lantai	hi (m)	wi (Kg)	hi.wi	F _{x,y} (Kg)
20.0	75.0	362233.9	27167545.3	73333.21
19.0	71.3	829078.4	59071835.8	44469.47
18.0	67.5	841703.4	56814979.5	42770.50
17.0	63.8	841703.4	53658591.7	40394.36
16.0	60.0	847248.4	50834904.0	38268.68
15.0	56.3	846664.7	47624890.3	35852.17
14.0	52.5	846664.7	44449897.6	33462.03
13.0	48.8	846664.7	41274904.9	31071.88
12.0	45.0	852023.2	38341045.6	28863.26
11.0	41.3	853539.3	35208496.0	26505.07
10.0	37.5	853539.3	32007723.6	24095.52
9.0	33.8	853539.3	28806951.2	21685.97
8.0	30.0	860531.4	25815941.1	19434.32
7.0	26.3	863563.5	22668541.7	17064.95
6.0	22.5	863563.5	19430178.6	14627.10
5.0	18.8	864291.2	16205460.1	12199.52
4.0	15.0	875513.8	13132707.6	9886.35
3.0	11.3	875513.8	9849530.7	7414.76
2.0	7.5	875513.8	6566353.8	4943.17
1.0	3.8	875513.8	3283176.9	2471.59

Setelah didapat gaya geser horizontal gempa dasar baru dicek lagi waktu getar Rayleighnya dapat dilihat pada lampiran A-5. hasil akhir seperti terlihat pada Tabel 5.26



Grafik 5.2 Perbandingan Gaya Gempa Rayleigh pada OF dan BOF

5.2.4 Perhitungan Beban Gravitasi

Beban gravitasi adalah beban akibat beban mati dan beban hidup yang bekerja secara merata pada elemen balok portal. Pada analisis struktur dengan menggunakan program bantu **ETABS**, program memberikan kemudahan pemasukan nilai beban pelat atap dan pelat lantai dengan terlebih dahulu merancang pelat (*define*) sebagai elemen tersendiri (*slab section*). Beban gravitasi yang bekerja pada plat atap dan lantai yang berupa beban merata permukaan (*uniform area loads*), secara otomatis akan didistribusikan berdasarkan *tributary area* ke masing-masing balok pada setiap panel. Beban mati (q_d) merata permukaan (*gravity uniform area loads*) yang bekerja merupakan beban plat atap/lantai yang dikurangi dengan berat plat beton, sedangkan

beban hidup (q_l) sama dengan beban pada masing-masing plat. Berikut ini adalah beban-beban yang digunakan sebagai *input data* pada program ETABS.

1. Pembebanan plat atap

$$\text{Beban mati merata (qd)} = 321 - 240 = 81 \text{ Kg/m}^2$$

$$\text{Beban hidup merata (ql)} = 100 = 100 \text{ Kg/m}^2$$

2. Pembebanan plat lantai

$$\text{Beban mati merata (qd)} = 483 - 288 = 195 \text{ Kg/m}^2$$

$$\text{Beban hidup merata (ql)} = 250 = 250 \text{ Kg/m}^2$$

3. Berat Sendiri Balok

Berat sendiri elemen balok sudah dianggap termasuk di dalam berat mati elemen tersebut.

4. Berat tembok pasangan bata ½ batu

$$\text{Beban tembok} = 0,15 \times 3,3 \times 1700 = 841,5 \text{ Kg/m}^2$$

Direncanakan setiap balok induk yang terletak pada lantai selain atap akan menerima beban tembok pasangan bata ½ batu.

5.2.5 Perhitungan Beban Angin

Pada perhitungan beban angin yang terjadi, digunakan perhitungan menurut UBC-1994, dengan persamaan sebagai berikut:

$$P = C_e * C_q * Q_s * I_w \quad (3.1)$$

Untuk gedung perkantoran yang mempunyai tinggi 20 lantai dengan tinggi antar

lantai 3,75 m, yang terletak didaerah perkotaan dan kecepatan angin yang diperkirakan 30 Mil/jam maka tekanan anginnya adalah :

$$P = C_e * C_q * Q_s * I_w \quad (3.1)$$

$$h = (3,75 * 20) / 0.3048$$

$$= 246,07 \text{ ft}$$

Ce untuk bangunan dengan tinggi 246,07 berdasarkan tabel 3.1 adalah $C_e = 2,16$

Qs untuk angin yang mempunyai kecepatan 30 mil/jam berdasarkan tabel 3.2 adalah 12,6 PSF.

Faktor keutamaan bangunan untuk gedung perkantoran adalah 1

Cq untuk bagian yang berhadapan dengan angin langsung adalah 0,8

Cq untuk bagian yang membelakangi datangnya angina adalah 0,5

$$P = C_e * C_q * Q_s * I_w \quad (3.1)$$

Untuk daerah yang berhadapan dengan angin .

$$P = C_e * C_q * Q_s * I_w \quad (3.1)$$

$$= 2,16 * 0,8 * 12,6 \text{ PSF} * 1$$

$$= 21,773 \text{ PSF}$$

$$= 106,4 \text{ Kg/m}^2$$

$$P = C_e * C_q * Q_s * I_w \quad (3.1)$$

$$= 2,16 * 0,5 * 12,6 \text{ PSF} * 1$$

$$= 13,608 \text{ PSF}$$

$$= 66,5 \text{ Kg/m}^2$$

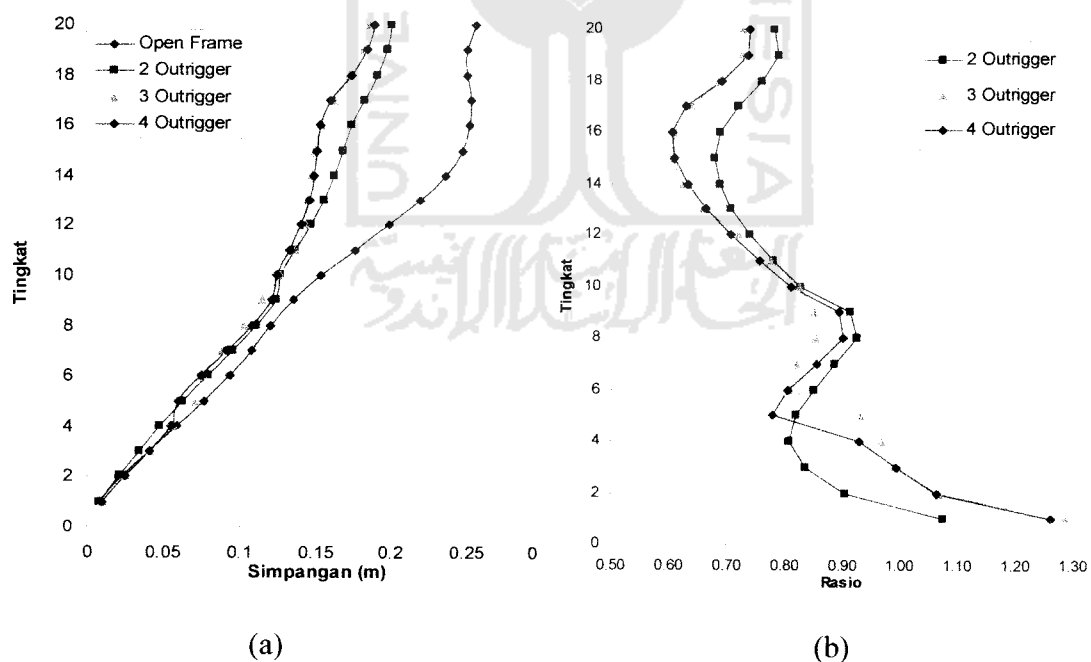
5.3 Hasil Analisis

5.3.1 Perbandingan Respon Struktur antara *Open Frame* dengan struktur yang memakai 2 *Outrigger*, 3 *Outrigger* dan 4 *Outrigger*

Pada analisis perbandingan respon antara struktur *Open Frame* dengan struktur yang memakai 2 *Outrigger*, 3 *Outrigger* dan 4 *Outrigger* ini beban yang diperhitungkan hanya beban akibat gempa parkfield karena respon akibat gempa parkfield ini lebih besar bila dibandingkan dengan beban yang lain.

5.3.1.1 Simpangan total Struktur

Hasil analisis struktur yang memakai 2 *Outrigger*, 3 *Outrigger* dan 4 *Outrigger* Terhadap *Open Frame* didapatkan nilai *displacement* akibat gempa parkfield yang dapat dilihat pada grafik berikut:

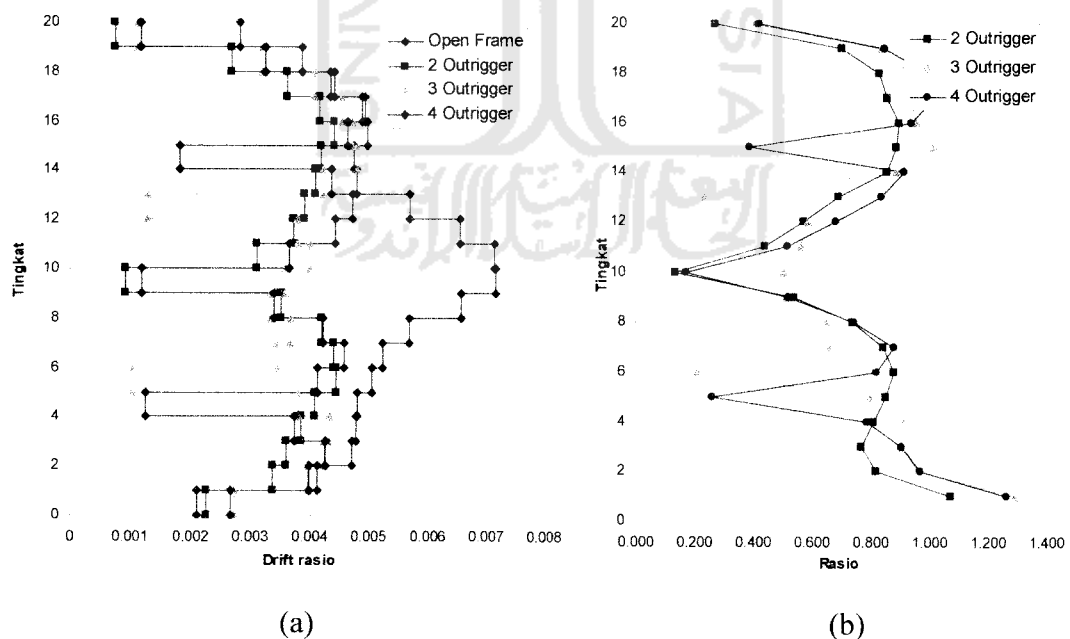


Grafik 5.3: a) Simpangan Total akibat parkfield antara OF, 2, 3 dan 4 *Outrigger*; b) Rasio Simpangan Total akibat parkfield antara 2, 3 dan 4 *Outrigger* terhadap OF

Dari Grafik 5.3a yang menunjukkan simpangan total struktur dan Grafik 5.3b yang menunjukkan rasio simpangan terhadap *Open Frame* bahwa penggunaan 2 *Outrigger* tidak begitu besar perbedaan rasionya bila dibandingkan dengan struktur yang memakai 3 dan 4 *Outrigger*, hal ini karena dengan penambahan 1 dan 2 *Outrigger* maka struktur akan menjadi lebih kaku bila dibandingkan dengan struktur yang memakai 2 *Outrigger*. Untuk rasio simpangan struktur yang memakai 4 *Outrigger*, 3 *Outrigger* dan 2 *Outrigger* terhadap *Open Frame* selengkapnya dapat dilihat pada lampiran E-1.

5.3.1.2 Simpangan Antar Tingkat (*Inter Story Drift*)

Grafik yang menunjukkan perbandingan simpangan antar tingkat antara struktur *Open Frame* dengan struktur yang memakai 2 *Outrigger*, 3 *Outrigger* dan 4 *Outrigger* dapat dilihat pada Grafik 5.4:



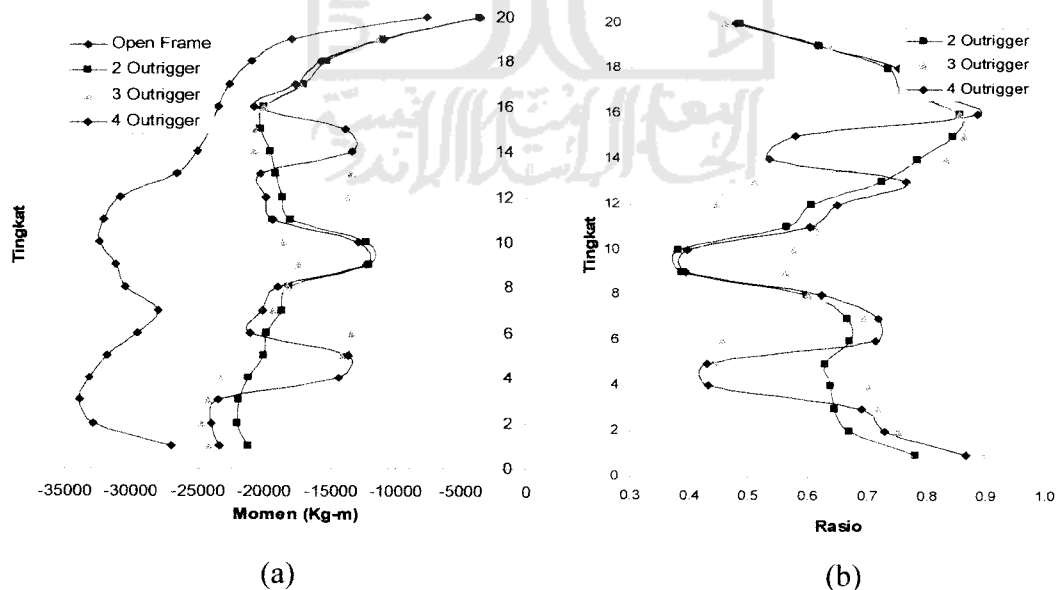
Grafik 5.4: a) *Inter Story Drift* Akibat Parkfiled antara OF, 2, 3 dan 4 *Outrigger*; b) Rasio *Inter Story Drift* Akibat Parkfiled antara 2, 3 dan 4 Terhadap OF

Dari Grafik 5.4a dan 5.4b yang menunjukkan rasio penggunaan 2 *Outrigger* tidak besar perbedaan rasionya bila dibandingkan dengan struktur yang memakai 3 dan 4 *Outrigger*, hal ini karena dengan penambahan beberapa *Outrigger* struktur akan menjadi sedikit lebih kaku bila dibandingkan dengan struktur yang memakai 2 *Outrigger*. Pola *Inter Story drift* tidak pada biasanya, hal ini karena pengaruh beban dinamik sehingga pola simpangan antar tingkatnya tidak regular lagi.

5.3.1.3 Momen dan Geser Balok

5.3.1.3.1 Momen Balok

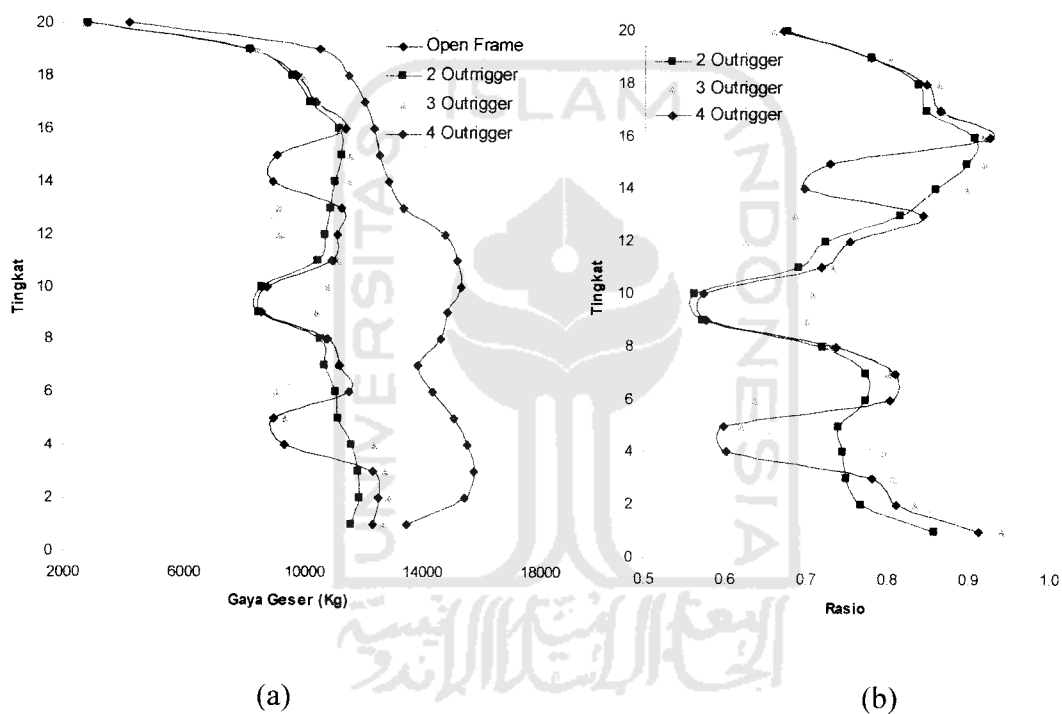
Perbandingan momen balok pada struktur yang memakai 4 *Outrigger*, 3 *Outrigger* dan 2 *Outrigger* terhadap OF dapat dilihat pada Grafik 5.5a, sedangkan rasio momen balok akibat parkfield antara 2, 3 dan 4 *Outrigger* terhadap *Open Frame* dapat dilihat pada Grafik 5.5b. Selengkapanya rasio momen balok akibat parkfield pada balok sebelah kanan portal tepi dimana momen dominan terhadap arah gempa berlawanan.



Grafik 5.5: a) Momen Balok Akibat Parkfiled antara OF, 2, 3 dan 4 *Outrigger*; b) Rasio Momen Balok Akibat Parkfiled antara 2, 3 dan 4 Terhadap OF

5.3.1.3.2 Geser Balok

Perbandingan geser balok pada struktur yang memakai 4 *Outrigger*, 3 *Outrigger* dan 2 *Outrigger* terhadap OF dapat dilihat pada Grafik 5.6a, sedangkan rasio geser balok akibat parkfield antara 2, 3 dan 4 *Outrigger* terhadap *Open Frame* dapat dilihat pada Grafik 5.6b Selengkapnya rasio geser balok akibat parkfield antara 2, 3 dan 4 *Outrigger* terhadap *Open Frame* dapat dilihat pada lampiran E-1:



Grafik 5.6: a) Geser Balok Akibat Parkfiled antara OF, 2, 3 dan 4 *Outrigger*; b) Rasio Geser Balok Akibat Parkfiled antara 2, 3 dan 4 Terhadap OF

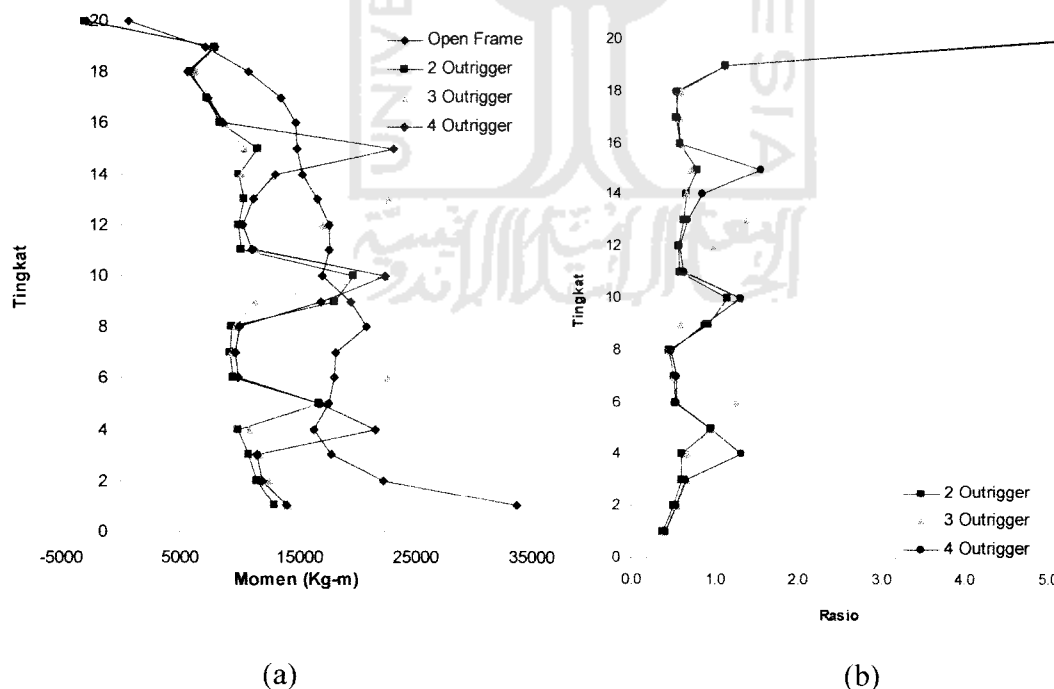
Dari Grafik 5.5a dan 5.6a yang menunjukkan momen dan geser balok antara struktur *Open Frame*, 2 *Outrigger*, 3 *Outrigger* dan 4 *Outrigger* memperlihatkan bahwa struktur yang memakai lebih banyak *Outrigger* akan mempunyai momen dan geser balok lebih kecil bila dibandingkan dengan struktur yang memakai 2 *Outrigger*. Dari Grafik 5.5b dan 5.6b yang menunjukkan rasio momen dan geser balok antara 4,

3 dan 2 *Outrigger* terhadap *Open Frame* berturut-turut mempunyai rasio 0,632; 0,656; 0,651 dan 0,75; 0,78, 0,76. Hal ini berarti semakin banyak jumlah *Outrigger* maka akan mempunyai rasio momen dan geser balok yang lebih kecil. Hal ini disebabkan struktur yang mempunyai lebih banyak *Outrigger* maka struktur akan menjadi lebih kaku.

5.3.1.4 Momen, Gaya Geser dan Gaya Aksial Kolom

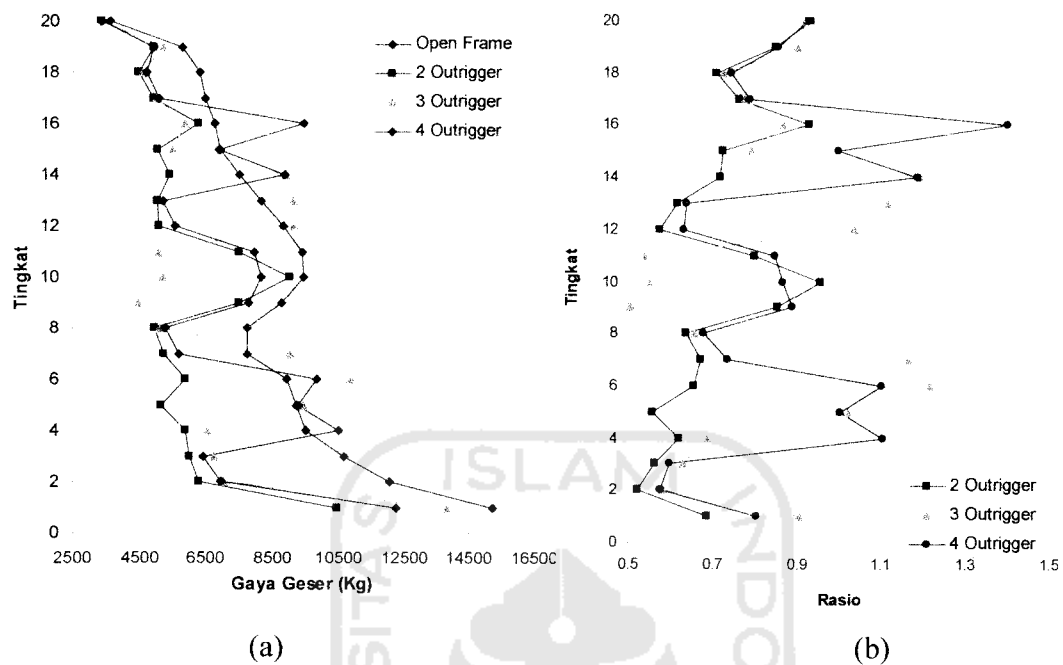
5.3.1.4.1 Momen Kolom

Pola momen kolom diambil berdasarkan momen kolom maksimum yang terjadi pada setiap joint lantai pada kolom tepi portal tepi, dimana pada kolom tersebut pengaruh akibat beban lateral relatif lebih besar dari kolom yang lain.



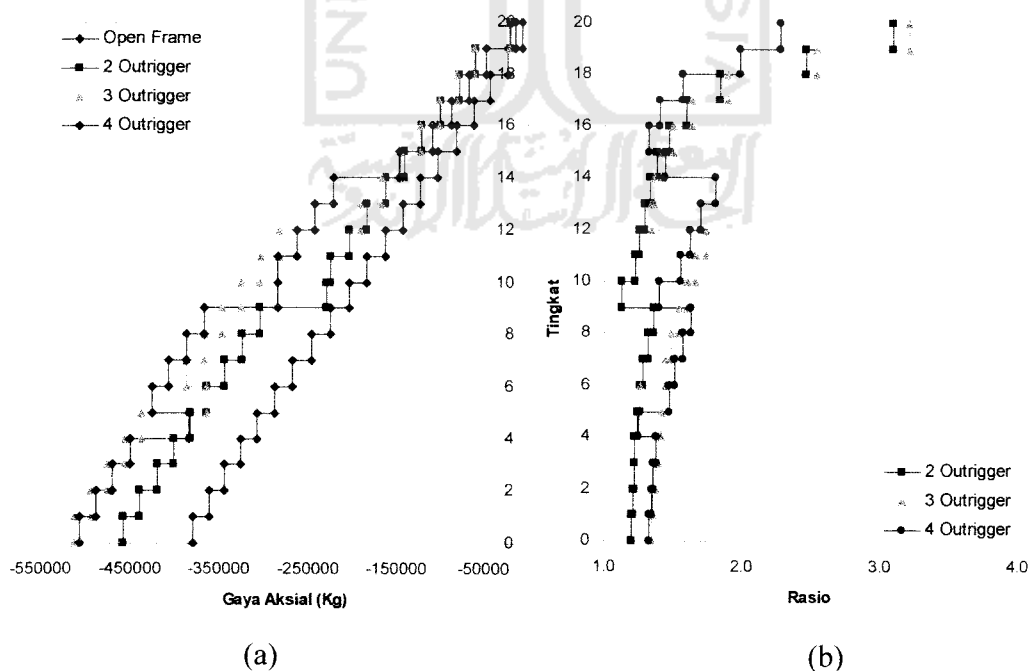
Grafik 5.7: a) Momen Kolom Akibat Parkfiled antara OF, 2, 3 dan 4 *Outrigger*; b) Rasio Momen Kolom Akibat Parkfiled antara 2, 3 dan 4 Terhadap OF

5.3.1.4.2 Gaya Geser Kolom



Grafik 5.8: a) Geser Kolom Akibat Parkfiled antara OF, 2, 3 dan 4 *Outrigger*; b) Rasio Geser Kolom Akibat Parkfiled antara 2, 3 dan 4 Terhadap OF

5.3.1.4.3 Gaya Aksial Kolom



Grafik 5.9: a) Aksial Kolom Akibat Parkfiled antara OF, 2, 3 dan 4 *Outrigger*; b) Rasio Aksial Kolom Akibat Parkfiled antara 2, 3 dan 4 Terhadap OF

Dari Grafik 5.7 dan 5.8 yang menunjukkan besarnya momen dan geser kolom bahwa struktur yang memakai 2 *Outrigger* mempunyai momen dan geser kolom lebih kecil bila dibandingkan dengan struktur yang memakai 3 dan 4 *Outrigger*, ini terjadi karena semakin banyak jumlah *Outrigger* maka momen dan geser pada tingkat dimana *Outrigger* dipasang naik secara signifikan, hal ini karena dengan penambahan *Outrigger* maka arah momen kolom pada join bagian bawah pada pertemuan kolom dan balok arah momennya sama dengan momen baloknya. Ini terjadi karena untuk mengimbangi arah momen join bagian atas sehingga momen kolomnya menjadi lebih besar. Untuk selengkapnya dapat dilihat pada pembahasan kolom perbandingan struktur *Outrigger* dengan *Open Frame* dan lihat ilustrasi Gambar 5.7.

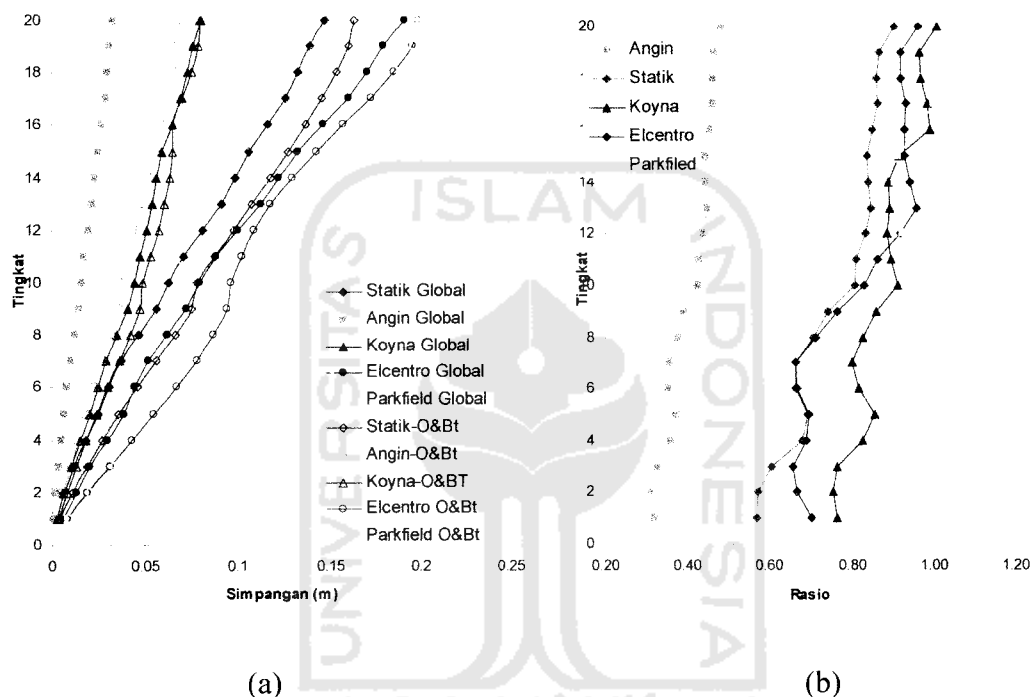
Rasio momen kolom dan gaya geser kolom struktur yang memakai 4, 3 dan 2 *Outrigger* terhadap *Open frame* berturut-turut 0,997; 0,994; 0,904 dan 0,87; 0,84; 0,72. Hal ini menunjukkan bahwa rasio momen dan geser kolom struktur yang menggunakan 2 *Outrigger* lebih kecil daripada struktur yang menggunakan 3 dan 4 *Outrigger* untuk selengkapnya dapat dilihat pada lampiran E-2. Dari Grafik 5.9 yang menunjukkan aksial kolom pada struktur yang menggunakan 4, 3 dan 2 *Outrigger* terhadap *Open Frame* memperlihatkan bahwa struktur yang memakai lebih banyak *Outrigger* akan mempunyai aksial kolom yang lebih besar, hal ini terjadi karena gaya aksial pada pengaku menambah besarnya gaya aksial kolom.

Rasio aksial kolom pada struktur yang menggunakan 4, 3 dan 2 *Outrigger* terhadap *Open Frame* berturut-turut 1,55; 1,63; 1,47. Hal ini menunjukkan bahwa rasio aksial kolom yang menggunakan 2 *Outrigger* lebih kecil daripada struktur yang menggunakan 3 dan 4 *Outrigger*. Untuk lebih lengkapnya lihat lampiran E-4. Dari

hasil diatas maka secara umum dapat disimpulkan bahwa penggunaan dua *Outrigger* relatif lebih efisien dibandingkan dengan tiga atau empat *Outrigger*.

5.3.2 Perbandingan Respon Struktur Antara 2 *Outrigger* dengan *Global Brace*

5.3.2.1 Simpangan Struktur Akibat Gaya Lateral

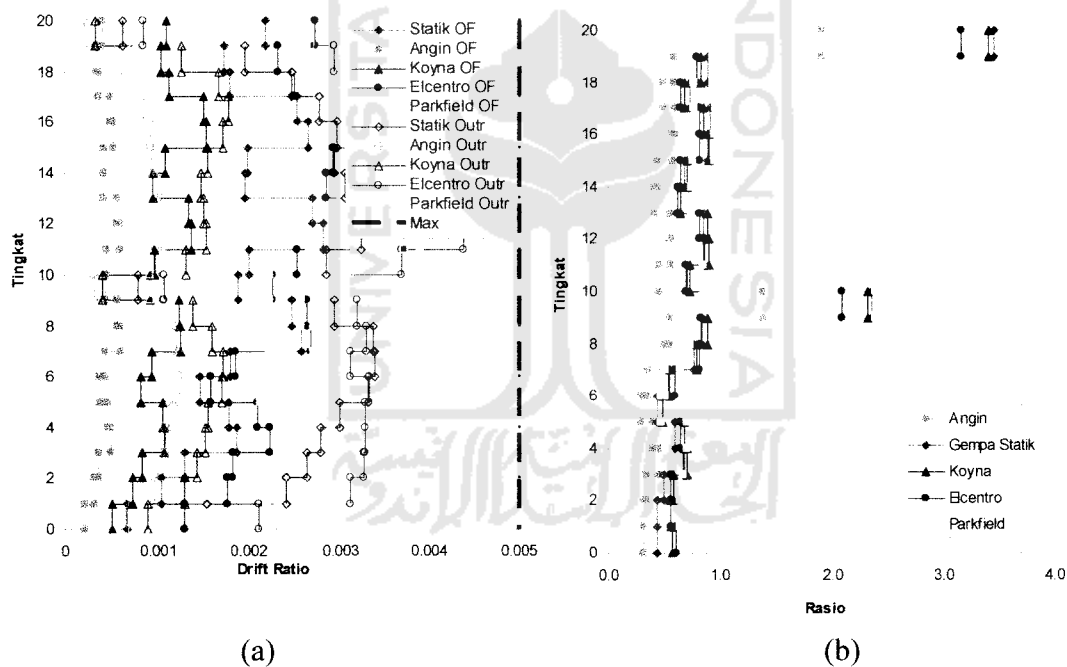


Grafik 5.10: a) Simpangan Akibat Gaya Lateral 2 *Outrigger* Vs *Global Brace* ; b) Rasio Simpangan Akibat Gaya Lateral *Global Brace* Terhadap 2 *Outrigger*

Dari Grafik 5.10a simpangan total akibat beban angin, beban gempa dan beban dinamik struktur memakai 2 *Outrigger* dan *Global brace* memperlihatkan simpangan total pada struktur yang memakai *Global brace* lebih kecil dibandingkan struktur yang memakai 2 *Outrigger*, hal ini karena *Global brace* mengikat beberapa tingkat sekaligus, sehingga kekakuan *Global brace* lebih merata pada tiap tingkat. Pada grafik tersebut memperlihatkan bahwa nilai simpangan total akibat beban angin kecil bila dibandingkan dengan beban gempa statik maupun dinamik, hal ini karena

beban lateral akibat angin yang terjadi juga kecil. Pada grafik juga menunjukkan nilai simpangan total akibat gempa parkfield adalah yang terbesar dibandingkan dengan elcentro dan koyna, hal ini karena gempa parkfield mempunyai frekuensi yang lebih rendah dibanding dengan elcentro dan koyna sehingga akan sangat mempengaruhi bangunan yang tinggi. Rasio simpangan total *Global brace* terhadap *Outrigger* akibat beban angin, beban gempa statik, koyna, elcentro dan parkfield berturut-turut 0,41; 0,76; 0,88; 0,86 dan 0,92. hasil selengkapnya dapat dilihat pada lampiran E-3

5.3.2.2 Simpangan Antar Tingkat (*Inter Story Drift*)



Grafik 5.11: a) *Inter Story Drift 2 Outrigger Vs Global Brace*; b) *Rasio Inter Story Drift Global Brace Terhadap 2 Outrigger*

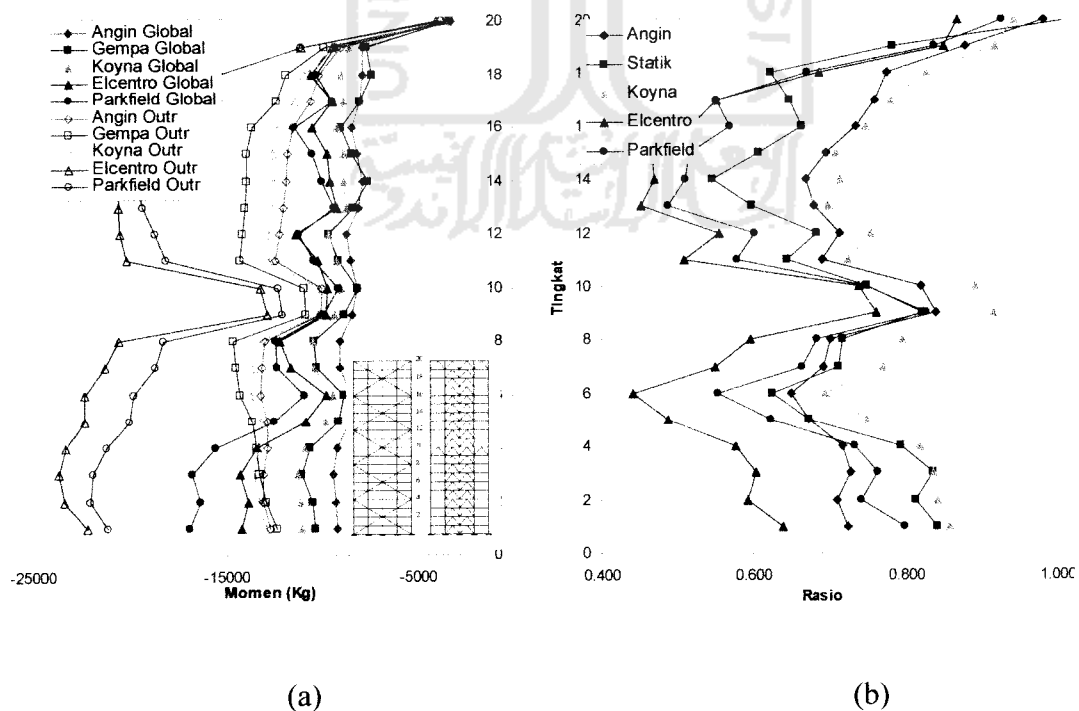
Dari Grafik 5.11a memperlihatkan nilai simpangan antar tingkat struktur yang menggunakan *Global brace* lebih kecil dibandingkan dengan struktur yang memakai *2 Outrigger*, ini karena struktur yang menggunakan *Global brace* mempunyai kekakuan yang merata pada beberapa tingkat daripada struktur yang menggunakan *2*

Outrigger. Pada grafik tersebut juga menunjukkan bahwa nilai simpangan antar tingkat akibat gempa parkfield adalah yang terbesar dibandingkan dengan elcentro dan koyna, hal ini karena gempa parkfield mempunyai frekuensi yang lebih rendah bila dibanding dengan elcentro dan koyna sehingga akan mempengaruhi bangunan yang tinggi. Pada Grafik 5.10a simpangan antar tingkat struktur yang menggunakan *Global brace* maupun struktur yang memakai 2 *Outrigger* mempunyai simpangan antar tingkat lebih kecil daripada $0,005h$.

Rasio simpangan antar tingkat *Global brace* terhadap *Outrigger* akibat beban angin, beban gempa statik, koyna, elcentro dan parkfield berturut-turut 0,57; 0,91; 0,93; 0,89 dan 0,95. Hasil selengkapnya dapat dilihat pada lampiran E-3

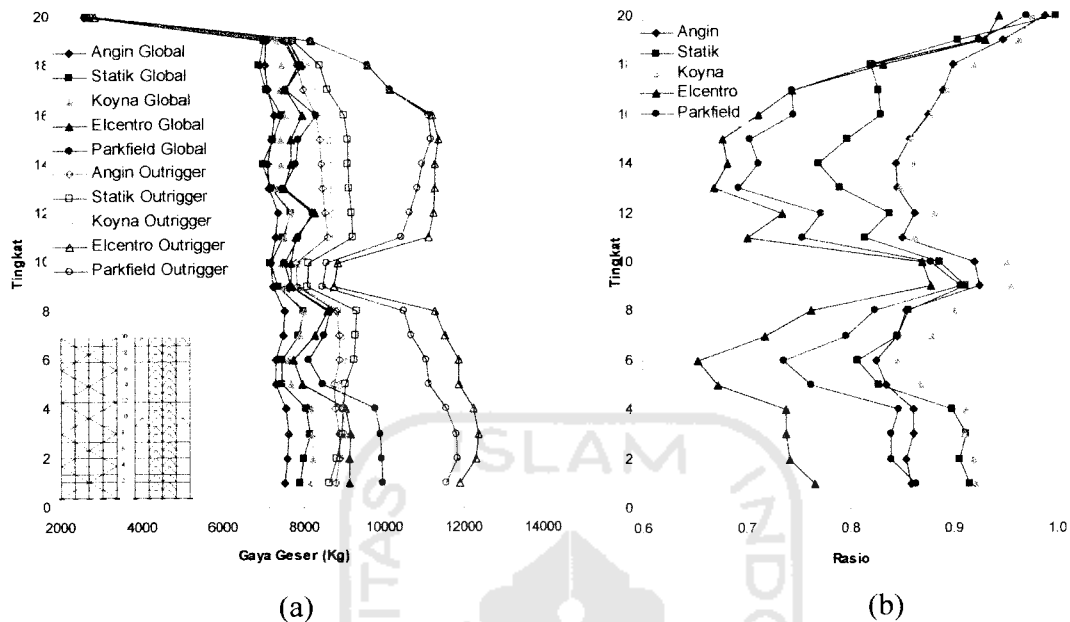
5.3.2.3 Momen dan Gaya Geser Balok

5.3.2.3.1 Momen Balok



Grafik 5.12: a) Momen Balok 2 *Outrigger* Vs *Global Brace*; b) Rasio Momen Balok 2 *Global Brace* terhadap *Outrigger*

5.3.2.3.2 Geser Balok

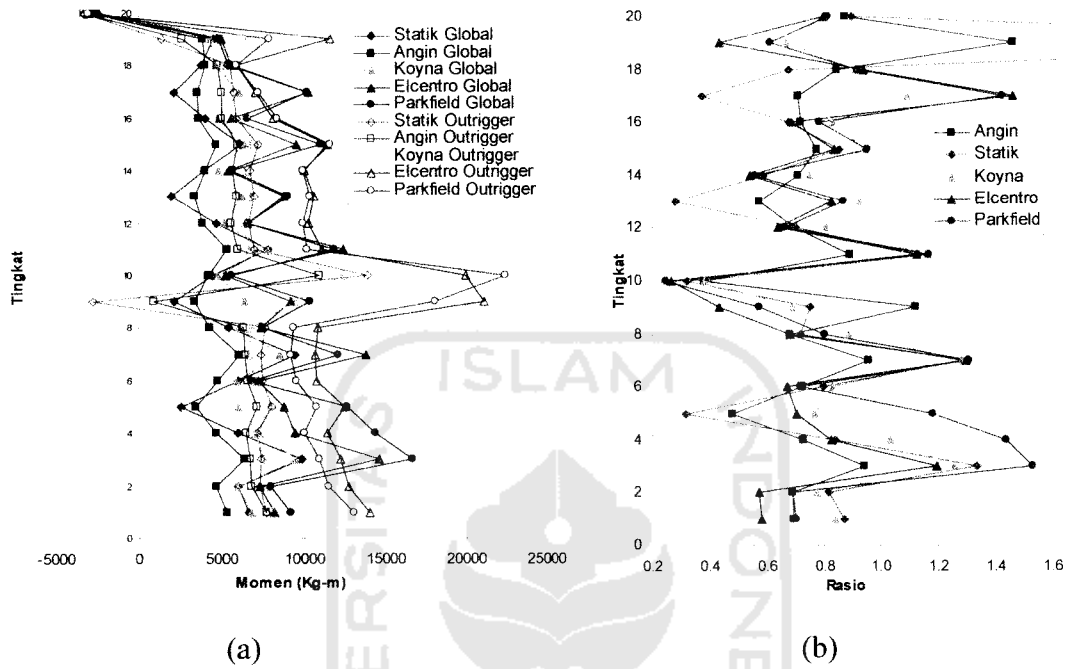


Grafik 5.13: a) Geser Balok 2 *Outrigger* Vs *Global Brace*;
b) Rasio Geser Balok 2 *Global Brace* terhadap *Outrigger*

Dari Grafik 5.12a dan 5.13a menunjukkan bahwa nilai momen dan geser balok struktur yang memakai *Global brace* lebih kecil bila dibandingkan struktur yang memakai 2 *Outrigger*, hal ini karena struktur yang memakai pengaku *Global* mempunyai kekakuan yang lebih merata pada tiap tingkat daripada struktur yang menggunakan 2 *Outrigger*. Momen yang paling kecil adalah momen akibat beban angin, hal ini karena gaya lateral akibat beban angin lebih kecil daripada beban lateral akibat beban yang lain. Momen akibat gempa parkfield lebih besar daripada beban dinamik akibat gempa koyna maupun akibat gempa elcentro, hal ini karena frekuensi gempa parkfield lebih rendah bila dibandingkan beban gempa yang lain. Dari Grafik 5.12b dan 5.13b menunjukkan bahwa rasio momen dan geser struktur yang memakai pengaku *Global* lebih kecil terhadap struktur dengan *Outrigger*. Hasil selengkapnya dapat dilihat pada lampiran E-4.

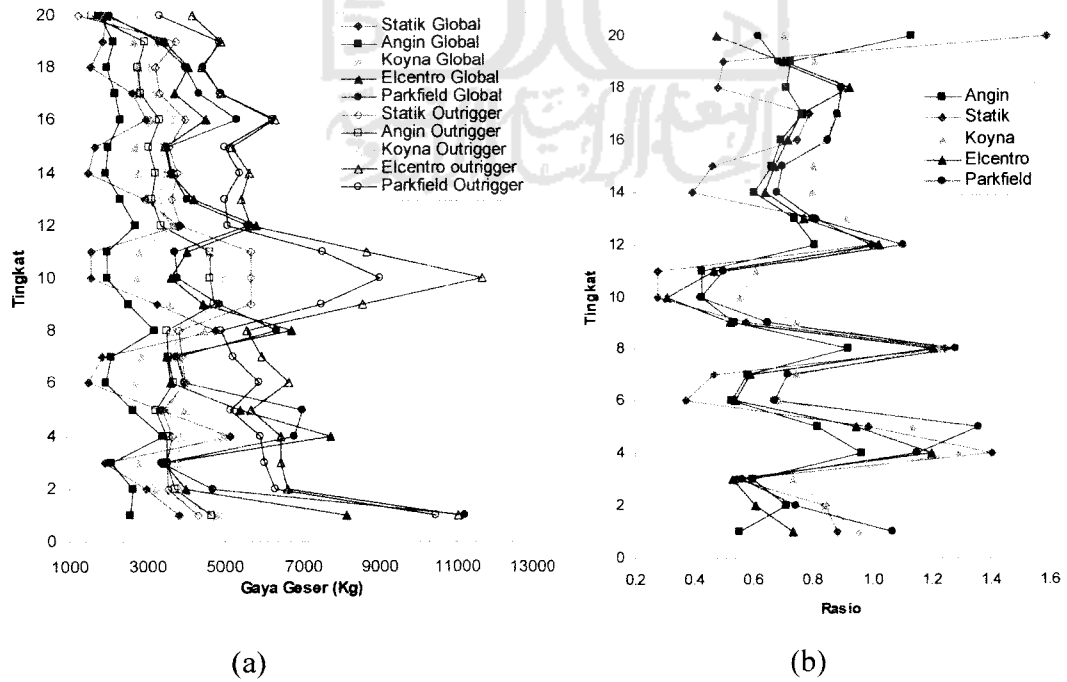
5.3.2.4 Momen, Gaya Geser dan Gaya Aksial Kolom

5.3.2.4.1 Momen Kolom



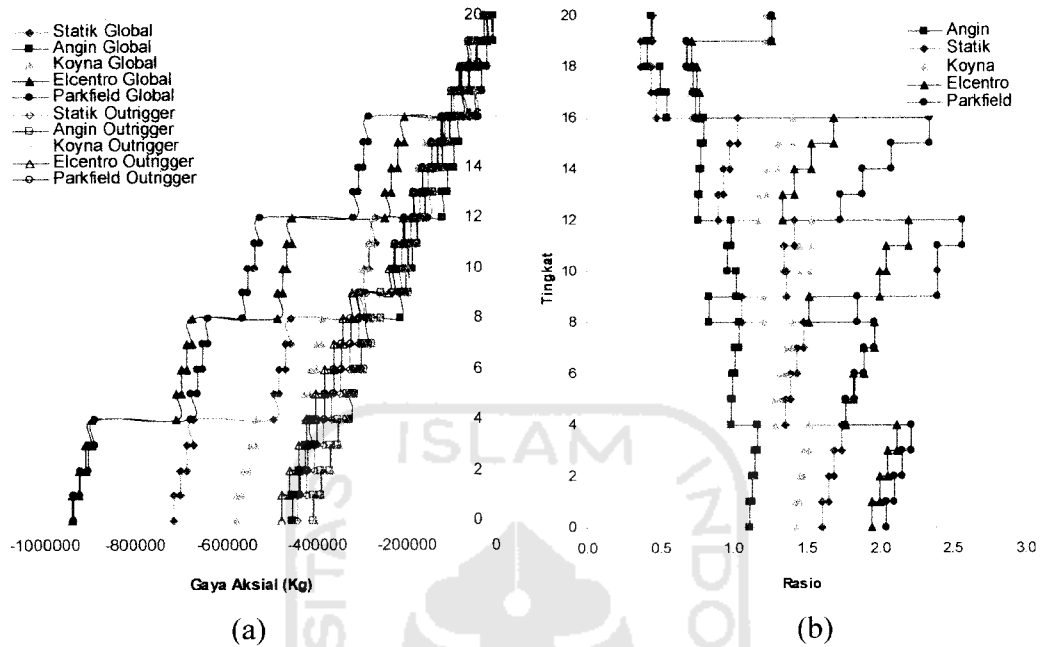
Grafik 5.14: a) Momen Kolom 2 Outrigger Vs Global Brace; b) Rasio Momen Kolom Global Brace Terhadap 2 Outrigger

5.3.2.4.2 Geser Kolom



Grafik 5.15: a) Geser Kolom 2 Outrigger Vs Global Brace; b) Rasio Geser Kolom Global Brace Terhadap 2 Outrigger

5.3.2.4.3 Aksial Kolom



Grafik 5.16: a) Aksial Kolom 2 *Outrigger* Vs *Global Brace*; b) Rasio Aksial Kolom *Global Brace* Terhadap 2 *Outrigger*

Dari Grafik 5.14 dan 5.15 yang menunjukkan momen dan geser kolom struktur yang memakai pengaku *Global* lebih kecil bila dibandingkan dengan struktur yang memakai 2 *Outrigger*. Hal ini karena kekakuan struktur berpengaku *Global* lebih merata pada tiap tingkat daripada struktur yang memakai 2 *Outrigger*. Momen dan geser akibat beban angin lebih kecil bila dibandingkan dengan beban gempa statik dan dinamik, hal ini karena gaya lateral akibat beban angin lebih kecil daripada akibat beban yang lain. Momen akibat beban gempa elcentro dan parkfield lebih besar daripada gempa dinamis yang lain hal ini karena frekuensi gempa elcentro dan parkfield lebih rendah daripada beban dinamis yang lain.

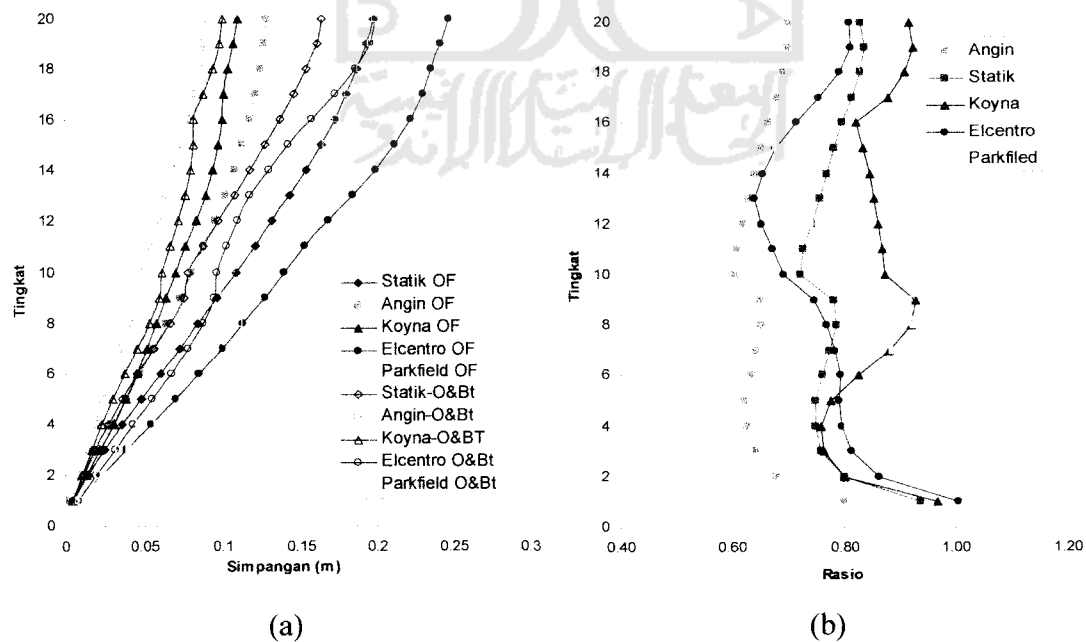
Dari Grafik 5.16 menunjukkan aksial kolom struktur dengan pengaku *Global* lebih besar daripada struktur dengan 2 *Outrigger*, hal ini karena pada struktur dengan pengaku *Global* pertemuan antara *bracing* tekan dan tarik lebih banyak dari pada

Outrigger sehingga gaya aksial tekan dan tarik tersebut akan disalurkan ke kolom. Dari Grafik 5.16 menunjukkan bahwa aksial kolom akibat beban angin, gempa statik maupun gempa dinamik menunjukkan sedikit perbedaan, hal ini karena yang mempengaruhi beban aksial adalah berat sendiri dan beban hidup yang bekerja pada struktur. Pada Grafik 5.16a yang menunjukkan aksial kolom pada struktur *Global Braced* naik signifikan, hal ini karena pada lantai-lantai tersebut merupakan daerah pertemuan antara bracing dan kolom. Untuk selengkapnya rasio momen kolom, geser kolom dan aksial kolom struktur dengan pengaku Global terhadap struktur 2 *Outrigger* dapat dilihat pada lampiran E-5.

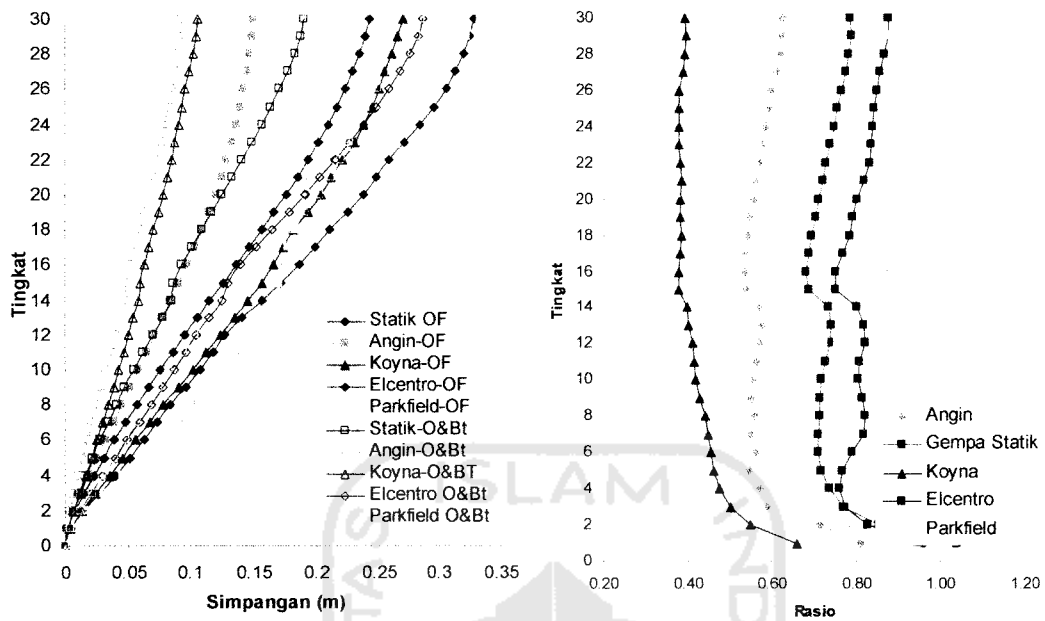
5.3.3 Perbandingan Respon Struktur Antara 2 *Outrigger* Dengan *Open Frame*

5.3.3.1 Simpangan Total Struktur

Hasil Analisis Struktur *Beltruss & Outrigger (BO)* dan *Open Frame (OF)*, didapatkan nilai *displacement* yang dapat dilihat pada grafik berikut:



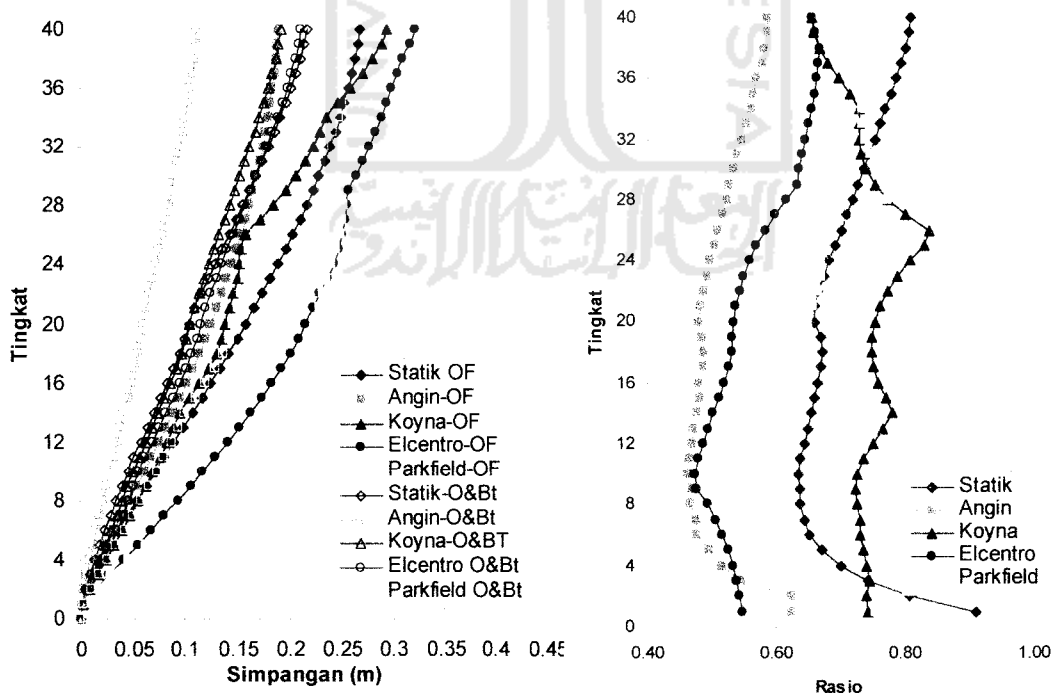
Grafik 5.17: a) Simpangan Total Struktur 20 Lantai, b) Rasio Simpangan Total Struktur *Outrigger* terhadap OF



(a)

(b)

Grafik 5.18: a) Simpangan Total Struktur 30 Lantai, b) Rasio Simpangan Total Struktur *Outrigger* terhadap OF



(a)

(b)

Grafik 5.19: a) Simpangan Total Struktur 40 Lantai, b) Rasio Simpangan Total Struktur *Outrigger* terhadap OF

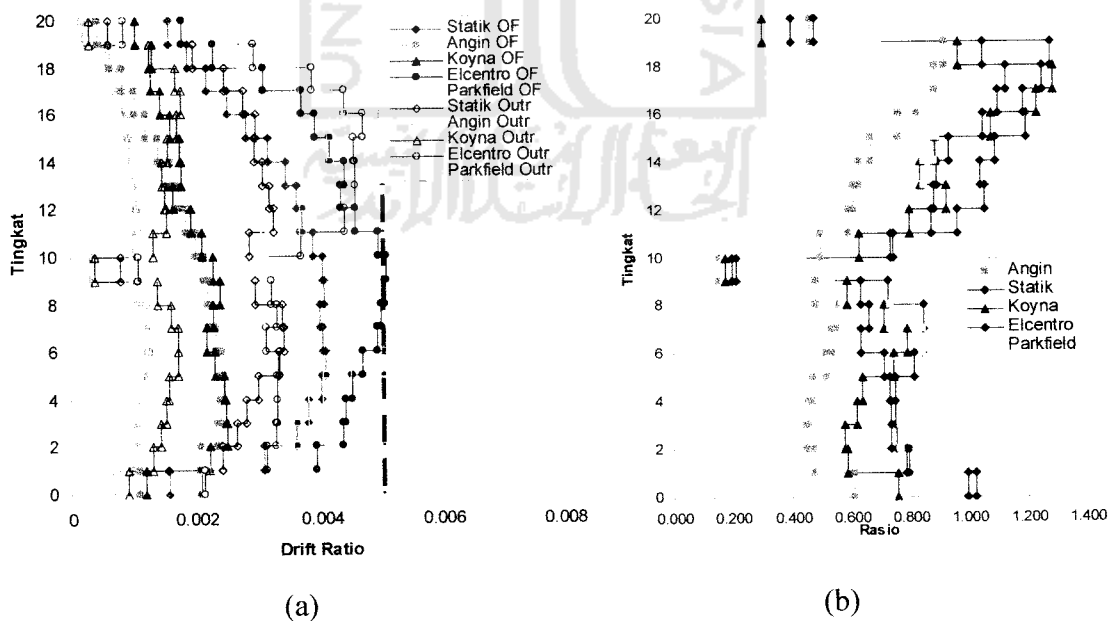
Simpangan total akibat beban angin, beban gempa dan beban dinamik yang terlihat pada 5.17a, 5.18a dan 5.19a memperlihatkan bahwa simpangan struktur yang menggunakan *Outrigger* lebih kecil daripada simpangan struktur *Open Frame*. Hal ini terjadi karena struktur yang memakai *Outrigger* mempunyai kekakuan yang lebih besar daripada struktur *Open Frame*. Dari Grafik 5.17a, 5.18a dan 5.19a juga memperlihatkan bahwa simpangan terkecil adalah akibat beban angin bila dibandingkan dengan beban gempa statik maupun beban dinamik. Hal ini terjadi karena gaya lateral akibat beban angin lebih kecil daripada beban gempa. Pada grafik tersebut simpangan akibat beban dinamik yang terbesar dipengaruhi oleh gempa parkfield dan elcentro, hal ini terjadi karena gempa parkfield dan elcentro mempunyai frekuensi yang rendah bila dibandingkan koyna sehingga akan sangat mempengaruhi bangunan yang tinggi.

Simpangan akibat beban angin, beban gempa statik maupun dinamik pada Grafik 5.17a, 5.18a dan 5.19a akan mempunyai simpangan yang semakin besar pada struktur bangunan yang semakin tinggi. Hal ini terjadi karena gaya gaya lateral akan semakin besar pada struktur yang semakin tinggi. Dari Grafik 5.17a menunjukkan simpangan akibat beban angin masih lebih kecil bila dibandingkan dengan beban gempa dan beban dinamik hal ini terjadi karena beban lateral akibat angin lebih kecil daripada beban gempa statik dan beban gempa dinamik. Hal ini juga terlihat pada Grafik 5.18a, 5.19a. Dari Grafik 5.17a, 5.18a dan 5.19a terlihat pada lantai dimana *Outrigger* dipasang mempunyai simpangan yang sama dengan lantai di bawahnya hal ini terjadi karena *Outrigger dan beltruss* akan meningkatkan kekakuan bangunan.

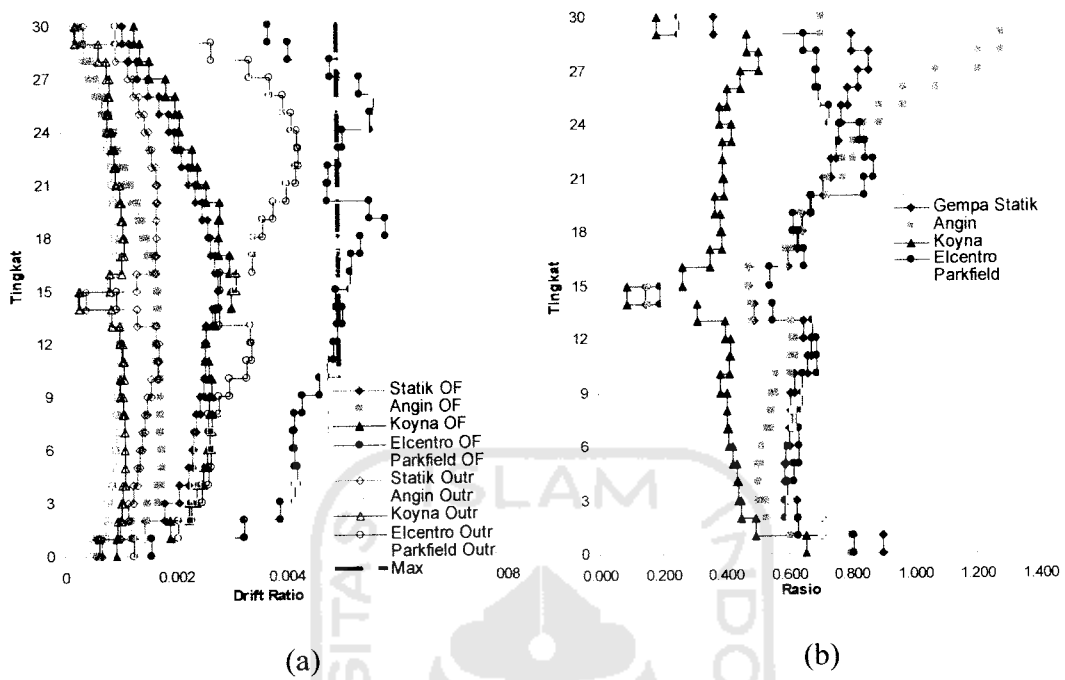
Grafik 5.17b, 5.18b dan 5.19b menunjukkan rasio penggunaan *Outrigger* terhadap *Open Frame*. Dari Grafik 5.17b yang memperlihatkan rasio untuk struktur 20 lantai akibat beban angin, gempa statik, koyna, Elcentro dan parkfield mempunyai rasio 0,66; 0,78; 0,86; 0,76; 0,81. Untuk selengkapnya dapat dilihat pada lampiran E-6, E-9 dan E-12.

5.3.3.2 Simpangan Antar Tingkat (*Inter Story Drift*)

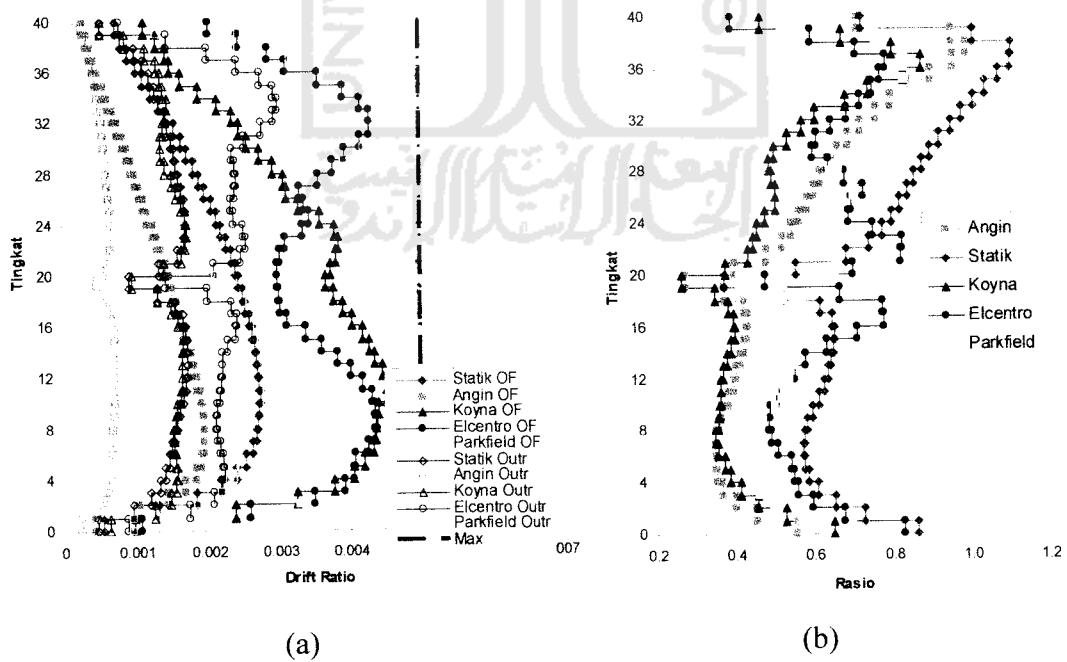
Simpangan struktur akan mempengaruhi besarnya simpangan antar tingkat (*Inter Story Drift*). Grafik simpangan antar tingkat akibat beban gempa statik, beban angin dan beban gempa dinamik (gempa akibat beban gempa koyna, beban gempa akibat beban gempa elcentro maupun beban gempa akibat beban gempa parkfield) dapat dilihat pada grafik berikut:



Grafik 5.20: a) Simpangan Antar Tingkat Struktur 20 Lantai, b) Rasio Simpangan Antar Tingkat *Outrigger* Terhadap OF



Grafik 5.21: a) Simpangan Antar Tingkat Struktur 30 Lantai, b) Rasio Simpangan Antar Tingkat *Outrigger* Terhadap OF



Grafik 5.22: a) Simpangan Antar Tingkat Struktur 40 Lantai, b) Rasio Simpangan Antar Tingkat *Outrigger* Terhadap OF

Simpangan antar tingkat akibat beban angin, beban gempa dan beban dinamik yang terlihat pada Grafik 5.20, 5.21 dan 5.22 memperlihatkan bahwa simpangan struktur yang menggunakan *Outrigger* lebih kecil daripada simpangan struktur *Open Frame*. Hal ini terjadi karena struktur yang memakai *Outrigger* mempunyai kekakuan yang lebih besar daripada struktur *Open Frame*.

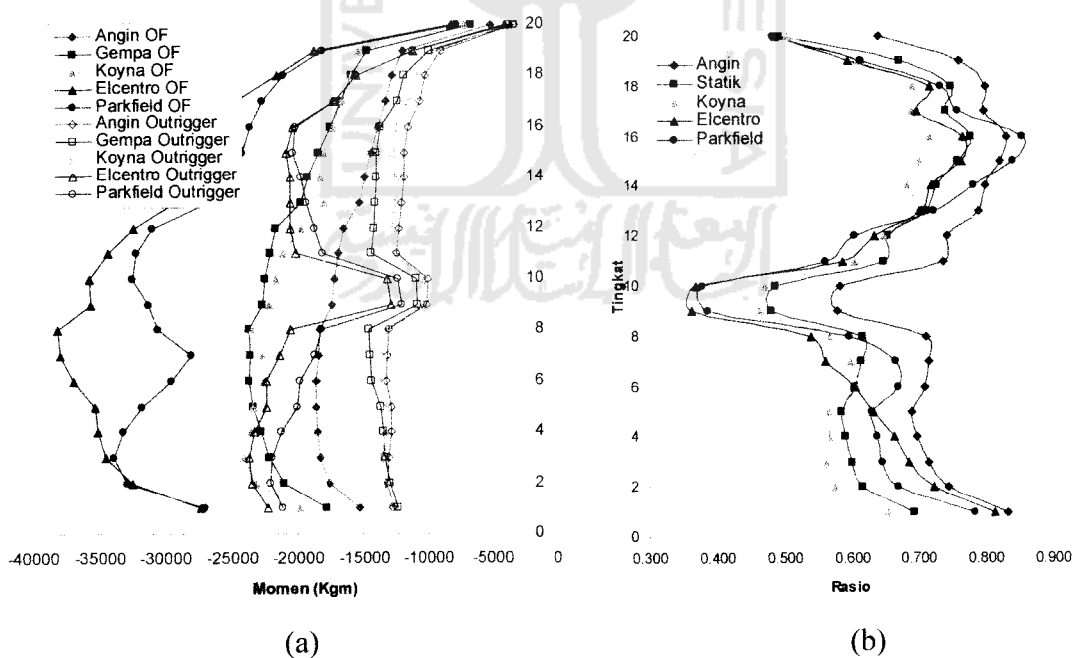
Grafik 5.20, 5.21 dan 5.22 memperlihatkan nilai simpangan antar tingkat pada struktur *Outrigger* dan *Open Frame* akibat gempa statik dan beban angin menunjukkan angka di bawah 0,005h. ini menunjukkan bahwa kriteria batas "*limit state*" masih memenuhi keadaan layan batas "*Service ability limit state*". Simpangan antar tingkat pada struktur *Outrigger* akibat gempa dinamik, lebih kecil dari 0,005h (Grafik 5.20, 5.21 dan 5.22) tidak demikian pada struktur *Open Frame* dimana simpangan antar tingkat akibat beban dinamik dengan gempa parkfield melebihi keadaan batas 0,005h. Hal ini disebabkan kekakuan struktur *Outrigger* lebih besar dari struktur *Open Frame* akibat penambahan pengaku.

Simpangan antar tingkat struktur *Outrigger* pada lantai dimana pengaku dipasang menunjukkan perbedaan yang signifikan dengan simpangan antar tingkat pada lantai yang lain. Hal ini disebabkan pengaku memberi kekangan struktur yang lebih besar daripada lantai yang tidak ada pengakunya. Untuk rasio simpangan antar tingkat pada penggunaan *Outrigger* terhadap *Open Frame* pada Grafik 5.20b untuk struktur 20 lantai akibat beban angin, gempa statik, koyna, elcentro dan parkfield masing-masing 0,58; 0,82; 0,76; 0,86 dan 0,72. untuk 30 lantai dan 40 lantai dapat dilihat pada lampiran E-6, E-9 dan E-12.

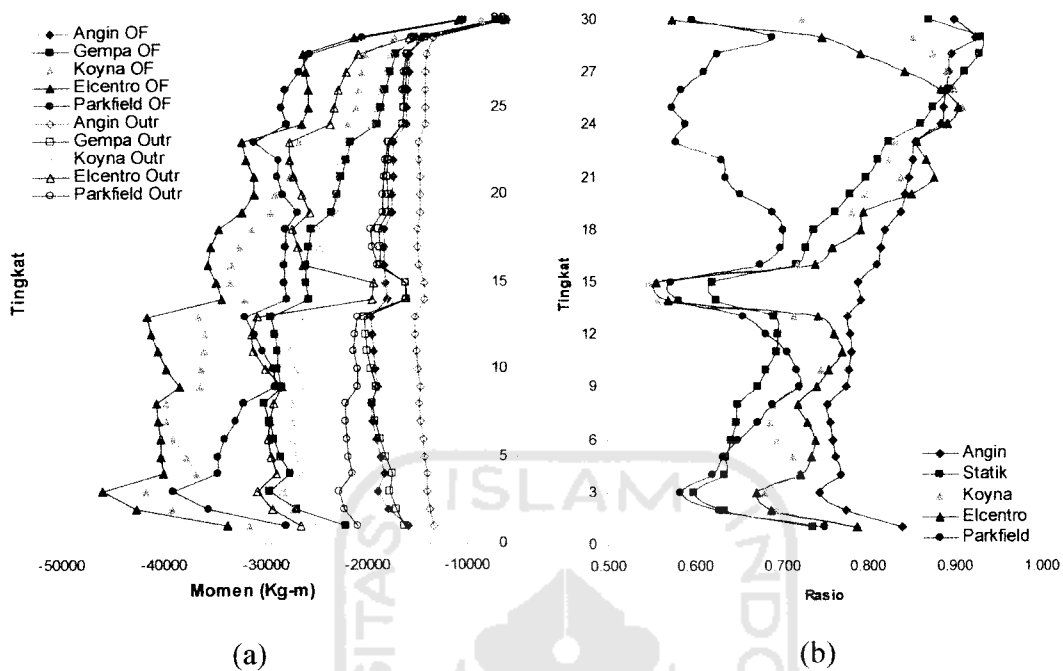
5.3.3.3 Momen dan Geser Balok

5.3.3.3.1 Momen Balok

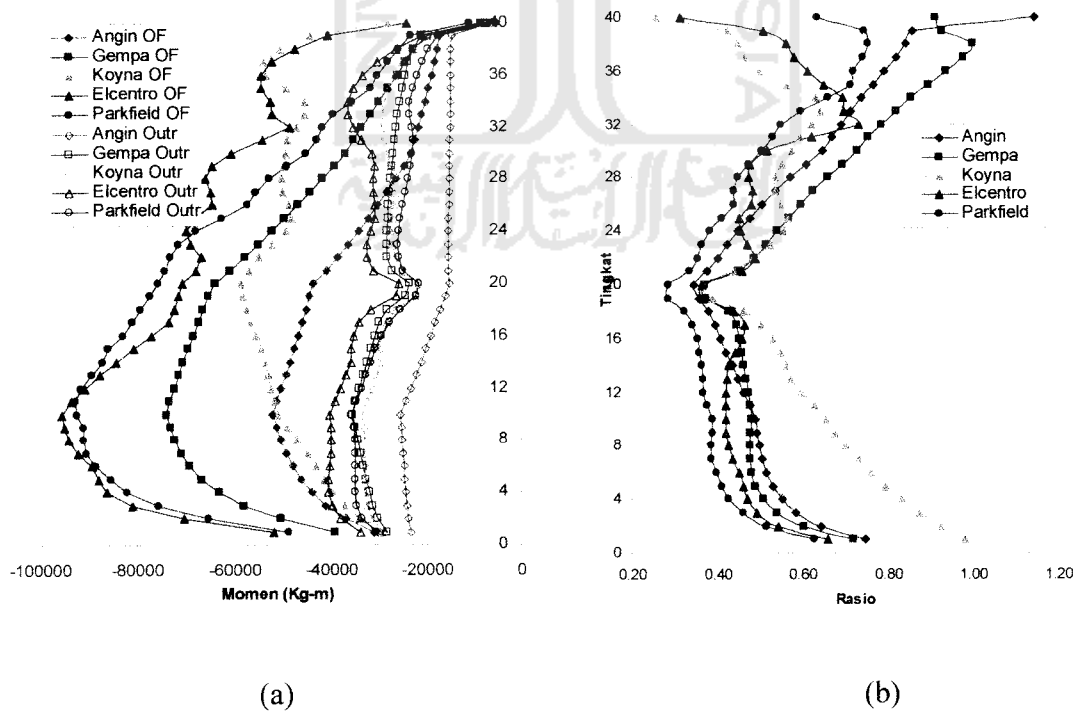
Beban-besan yang bekerja pada struktur meliputi beban gravitasi, beban angin dan beban gempa akan mempengaruhi besarnya respon struktur berupa momen dan geser. Berdasarkan hasil analisa terhadap diagram momen balok, ternyata momen balok yang terjadi pada masing-masing variasi tingkat menunjukkan pola yang hampir sama. Oleh sebab itu pada bahasan berikut grafik yang diambil pada momen balok dimana momen dominan terjadi berlawanan dengan arah gempa horisontal. Besarnya momen balok dapat dilihat pada Grafik 5.23, Grafik 5.24 dan pada Grafik 5.25.



Grafik 5.23: a) Momen Balok Struktur 20 Lantai, b) Rasio Momen Balok *Outrigger* Terhadap OF



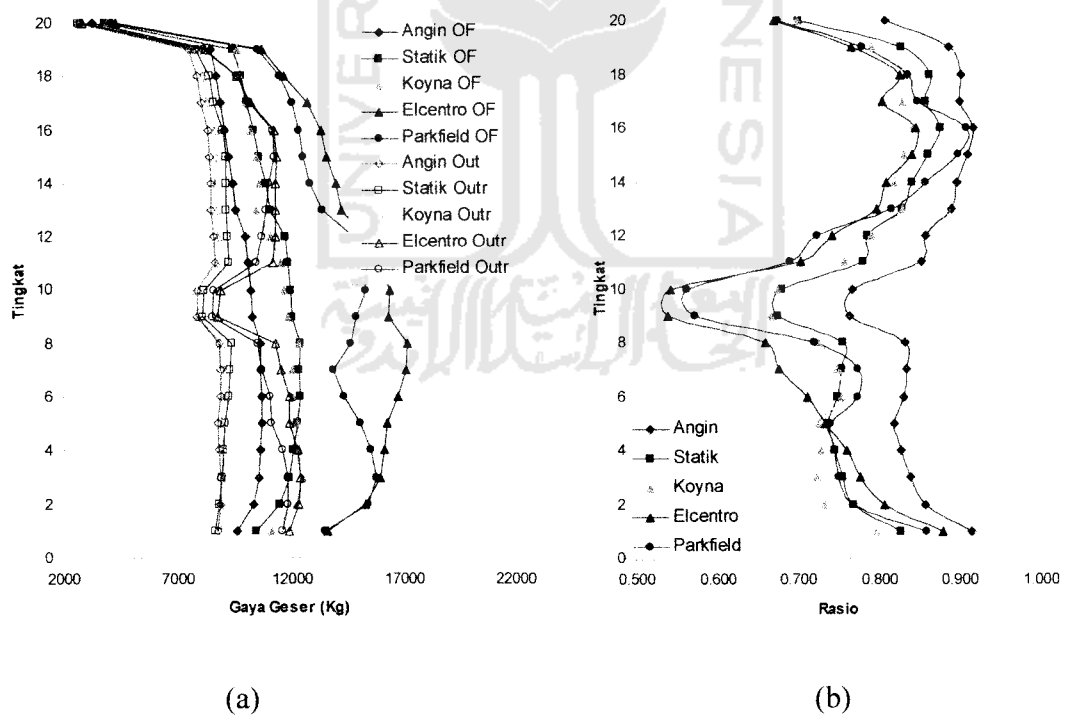
Grafik 5.24: a) Momen Balok Struktur 30 Lantai, b) Rasio Momen Balok *Outrigger* Terhadap OF



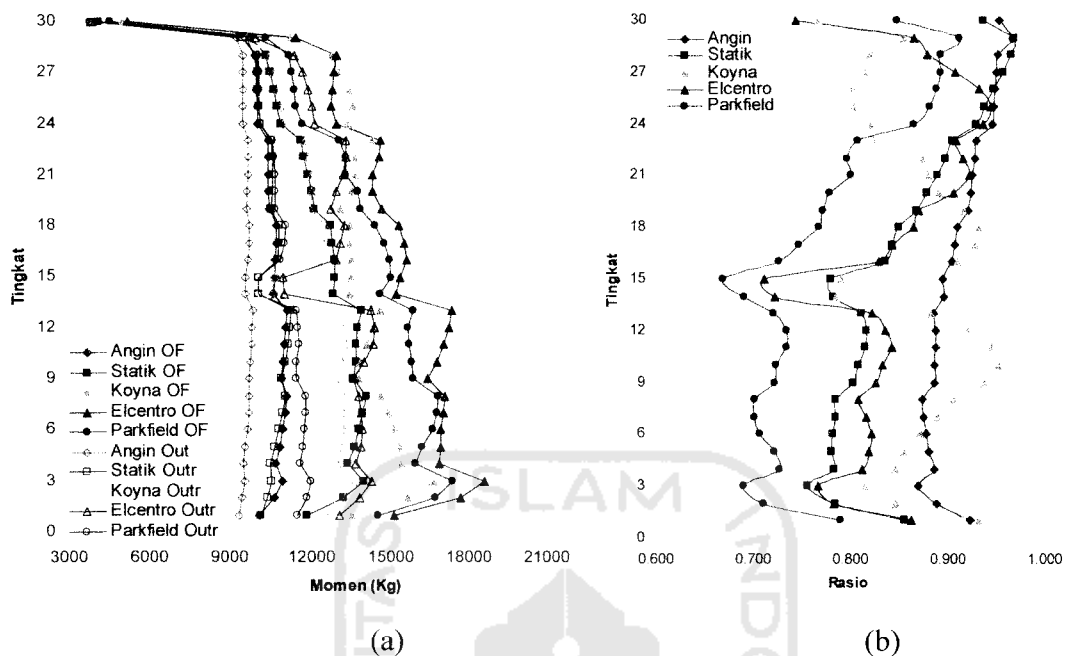
Grafik 5.25: a) Momen Balok Struktur 40 Lantai, b) Rasio Momen Balok *Outrigger* Terhadap OF

5.3.3.3.2 Geser Balok

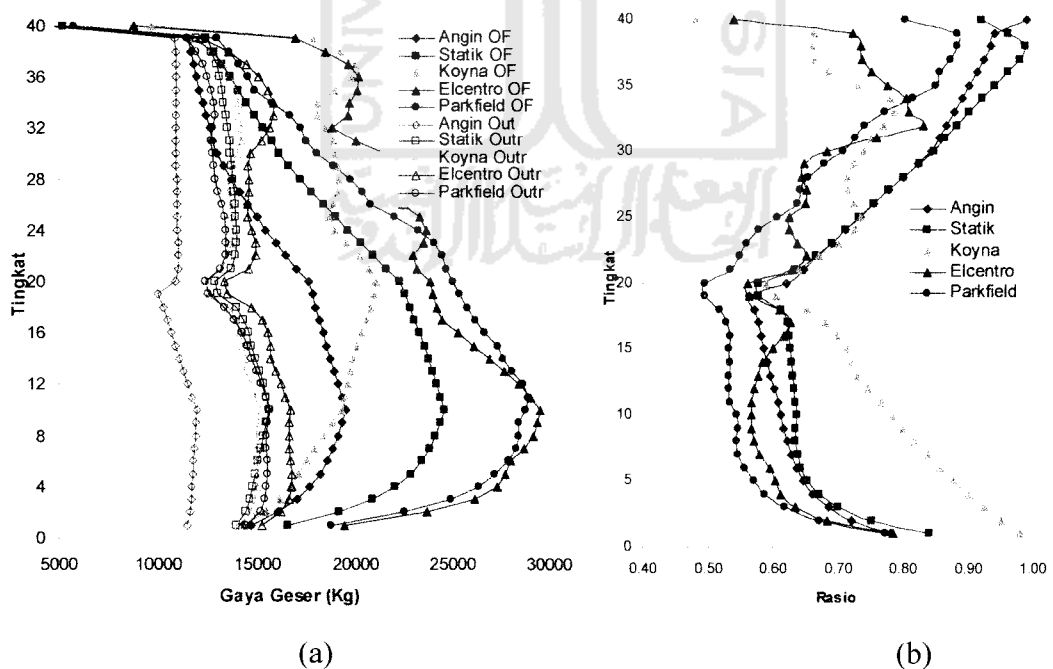
Besarnya gaya geser yang terjadi tergantung dari besarnya nilai momen baloknya, sehingga pola yang dihasilkan dari momen balok akan cenderung sama untuk gaya gesernya. Pada grafik momen balok pada lantai dimana *Beltruss* dan *Outrigger* dipasang momen baloknya menjadi lebih kecil, sehingga gaya gesernya akan mengikuti momen baloknya yang akan mengalami pengurangan besarnya gaya geser yang terjadi. Contoh diagram yang menunjukkan gaya geser balok pada struktur *Beltruss & Outrigger* dan struktur *Open Frame* dapat dilihat pada Grafik 5.26a, 5.27a dan 5.28a.



Grafik 5.26: a) Geser Balok Struktur 20 Lantai, b) Rasio Geser Balok *Outrigger* Terhadap OF



Grafik 5.27: a) Geser Balok Struktur 30 Lantai, b) Rasio Geser Balok *Outrigger* Terhadap OF



Grafik 5.28: a) Geser Balok Struktur 40 Lantai, b) Rasio Geser Balok *Outrigger* Terhadap OF

Grafik 5.23a sampai 5.28a menunjukkan bahwa momen dan geser balok pada struktur *Open Frame* lebih besar daripada momen dan geser balok pada struktur *Outrigger*, hal ini karena adanya struktur pengaku berupa *Outrigger* yang menyebabkan pengaruh momen dan geser akibat gaya lateral menjadi lebih kecil. Momen & geser balok akibat beban angin lebih kecil bila dibandingkan dengan beban gempa statik maupun dinamik ditunjukkan pada Grafik 5.23a sampai 5.28a. Hal ini karena gaya lateral akibat beban angin lebih kecil daripada beban statik maupun dinamik. Momen dan geser balok akibat beban dinamik yang diakibatkan gempa elcentro dan parkfield lebih besar daripada yang disebabkan oleh gempa koyna hal ini disebabkan karena frekuensi gempa elcentro dan parkfield lebih rendah daripada koyna.

Semakin tinggi bangunan maka momen dan geser yang dihasilkan akan semakin besar hal ini terjadi karena semakin tinggi bangunan maka bebannya juga akan semakin besar. Grafik 5.23a sampai 5.28a menunjukkan momen dan geser balok minimum di lantai-lantai yang ada pengaku *Outrigger* hal ini disebabkan karena *Outrigger* akan menambah kekakuan bangunan.

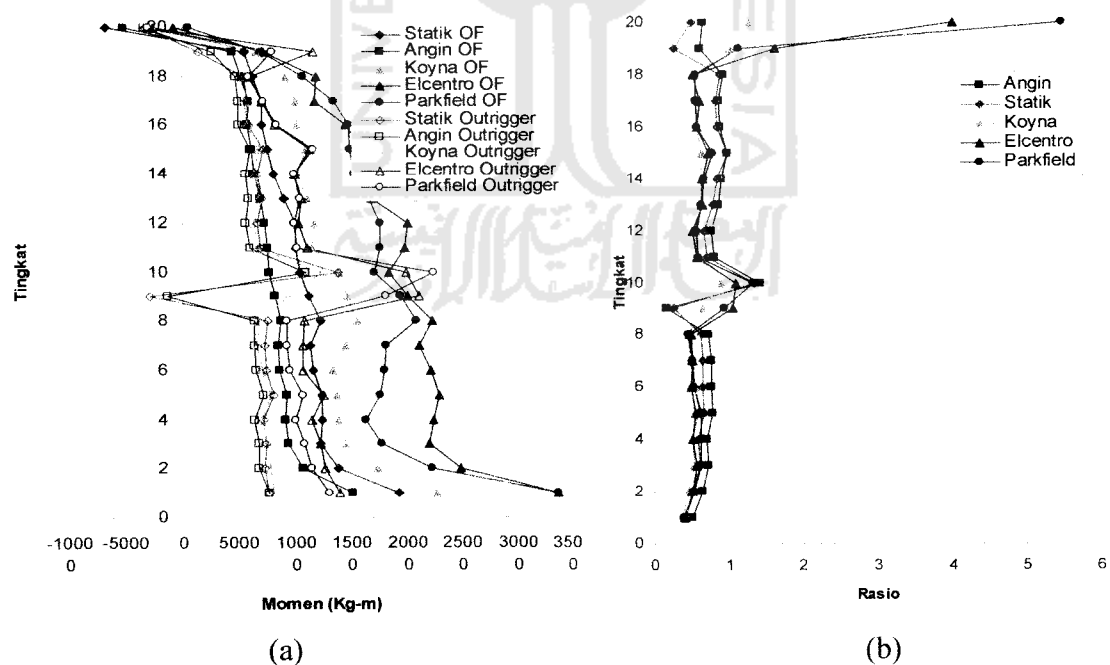
Grafik 5.23b sampai 5.25b menunjukkan rasio momen balok pada penggunaan *Outrigger* terhadap *Open Frame*. Dari Grafik 5.23b yang memperlihatkan rasio momen balok untuk struktur 20 lantai akibat beban angin, gempa statik, koyna, Elcentro dan parkfield mempunyai rasio 0,74; 0,64; 0,61; 0,63; 0,65. untuk selengkapnya dapat dilihat pada lampiran E-7, E-10 dan E-13. Grafik 5.26b, 5.27b dan 5.28b menunjukkan rasio geser balok pada penggunaan *Outrigger* terhadap *Open Frame*. Dari Grafik 5.26b yang memperlihatkan rasio geser balok

untuk struktur 20 lantai akibat beban angin, gempa statik, koyna, Elcentro dan parkfield mempunyai rasio 0,85; 0,78; 0,76; 0,74; 0,76. untuk selengkapnya dapat dilihat pada lampiran E-7, E-10 dan E-13.

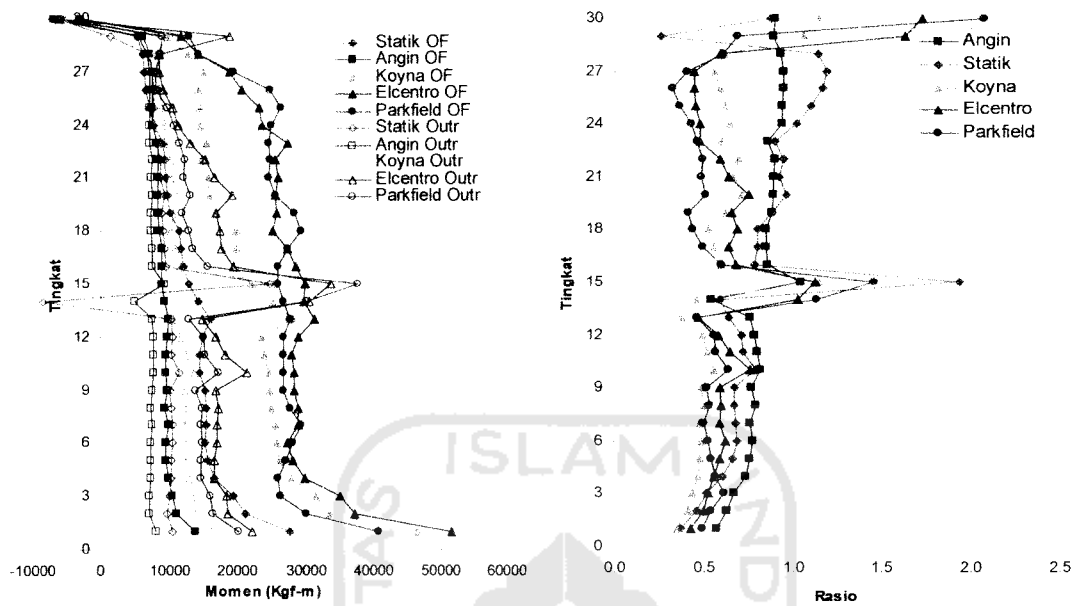
5.3.3.4 Momen, Gaya Geser dan Gaya Aksial Kolom

5.3.3.4.1 Momen Kolom

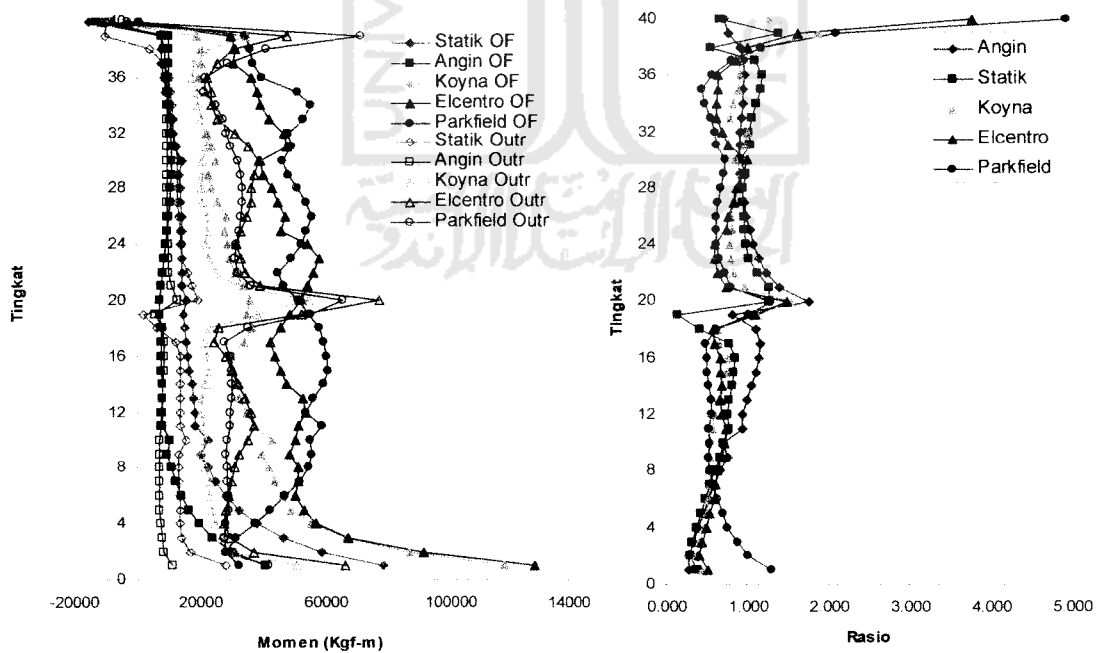
Pola momen kolom yang terjadi akibat beban angin, gempa statik dan dinamik dapat dilihat pada Grafik 5.29 sampai 5.31. Pola tersebut diambil berdasarkan momen kolom maksimum yang terjadi pada setiap join lantai pada kolom tepi portal tepi, dimana pada kolom tersebut pengaruh akibat beban gempa relatif lebih besar dari kolom lain.



Grafik 5.29: a) Momen Kolom Struktur 20 Lantai, b) Rasio Momen Kolom *Outrigger* Terhadap OF



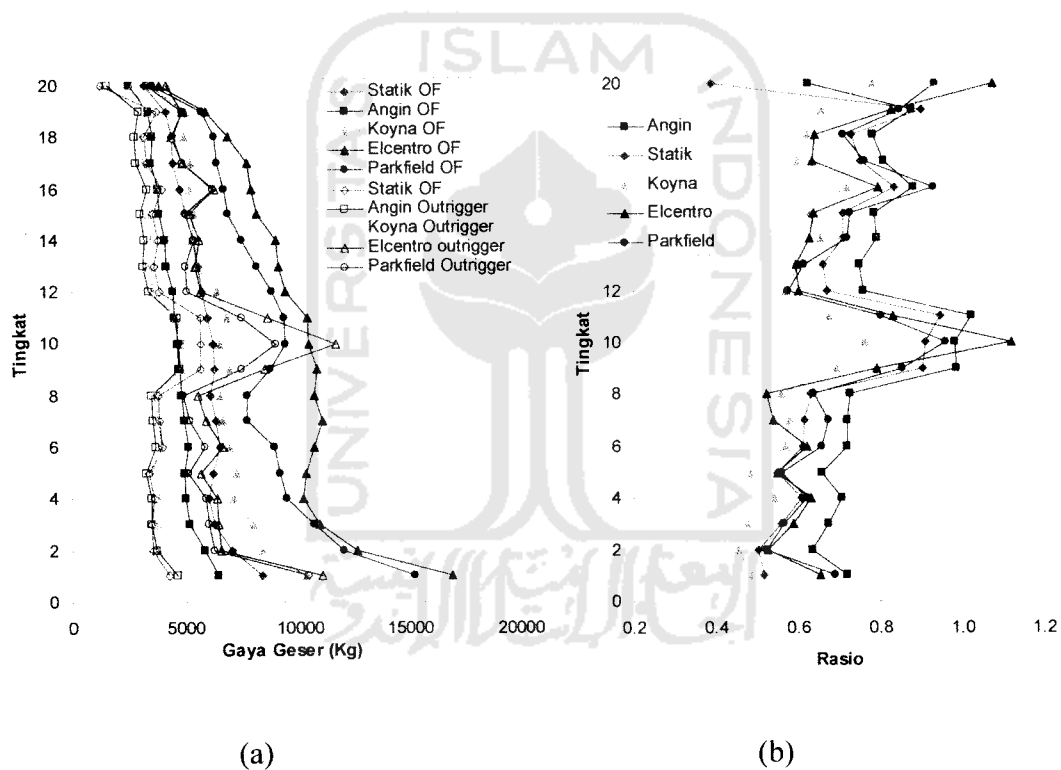
(a) (b)
 Grafik 5.30: a) Momen Kolom Struktur 30 Lantai, b) Rasio Momen Kolom Outrigger Terhadap OF



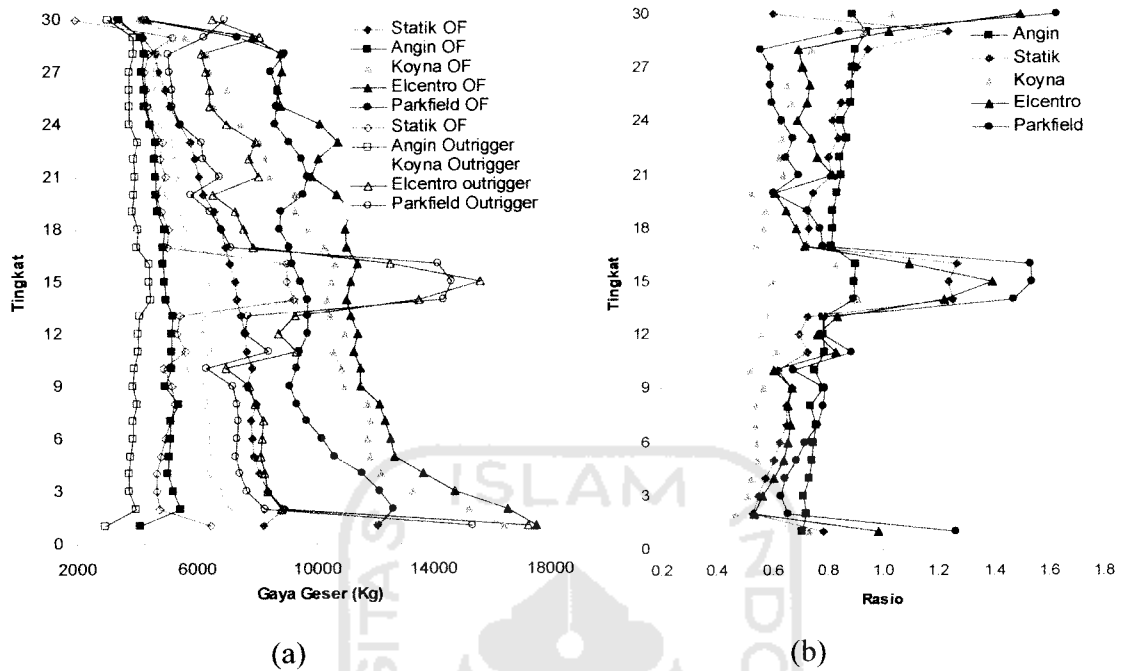
(a) (b)
 Grafik 5.31: a) Momen Kolom Struktur 40 Lantai, b) Rasio Momen Kolom Outrigger Terhadap OF

5.3.3.4.2 Gaya Geser Kolom

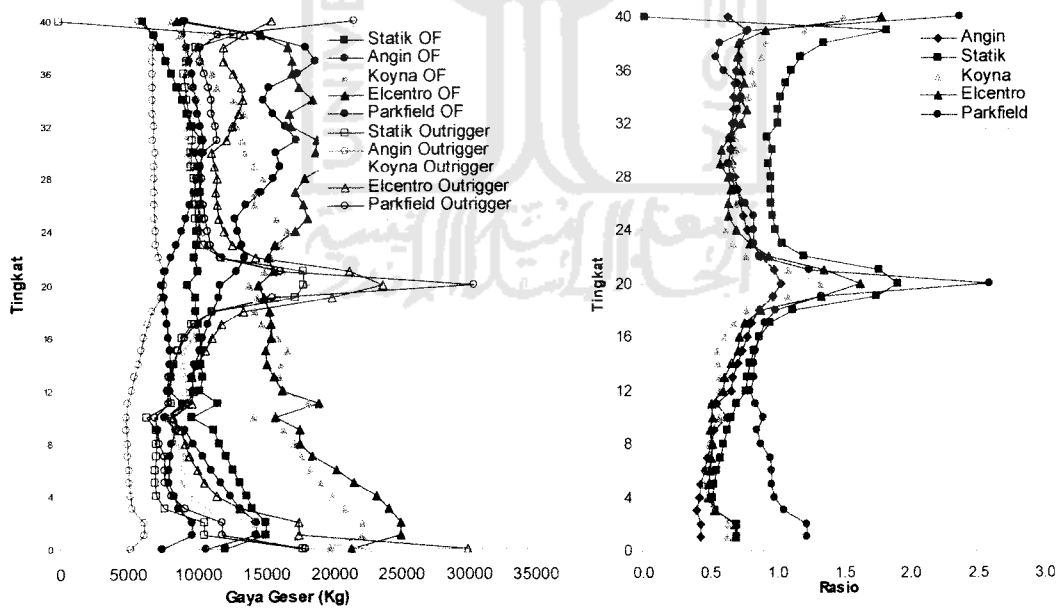
Pola gaya geser kolom sama dengan pola momen kolom. Gaya geser akan mempunyai nilai yang sama dalam satu tingkat, sehingga pada setiap variasi tingkat akan diambil nilai maksimum yang terjadi pada setiap tingkat struktur. Contoh pola gaya geser yang terjadi akibat beban angin, Gempa statik maupun dinamik dapat dilihat pada Grafik 5.32, Grafik 5.33 dan Grafik 5.34 sebagai berikut:



Grafik 5.32: a) Geser Kolom Struktur 20 Lantai, b) Rasio Geser Kolom *Outrigger* Terhadap OF



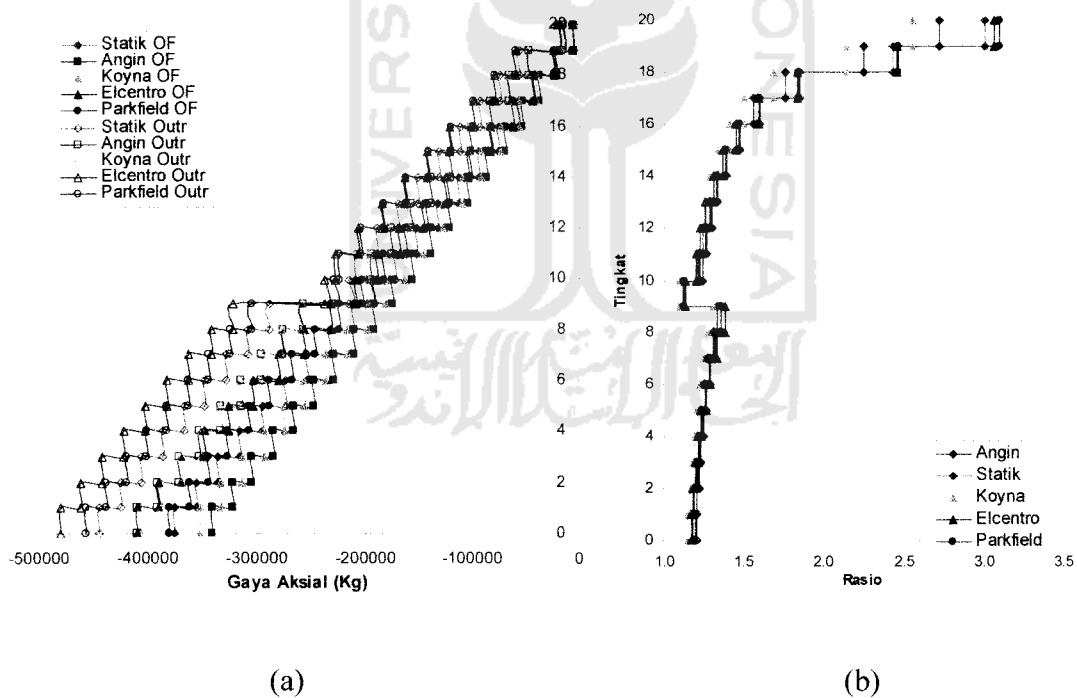
Grafik 5.33: a) Geser Kolom Struktur 30 Lantai, b) Rasio Geser Kolom *Outrigger* Terhadap OF



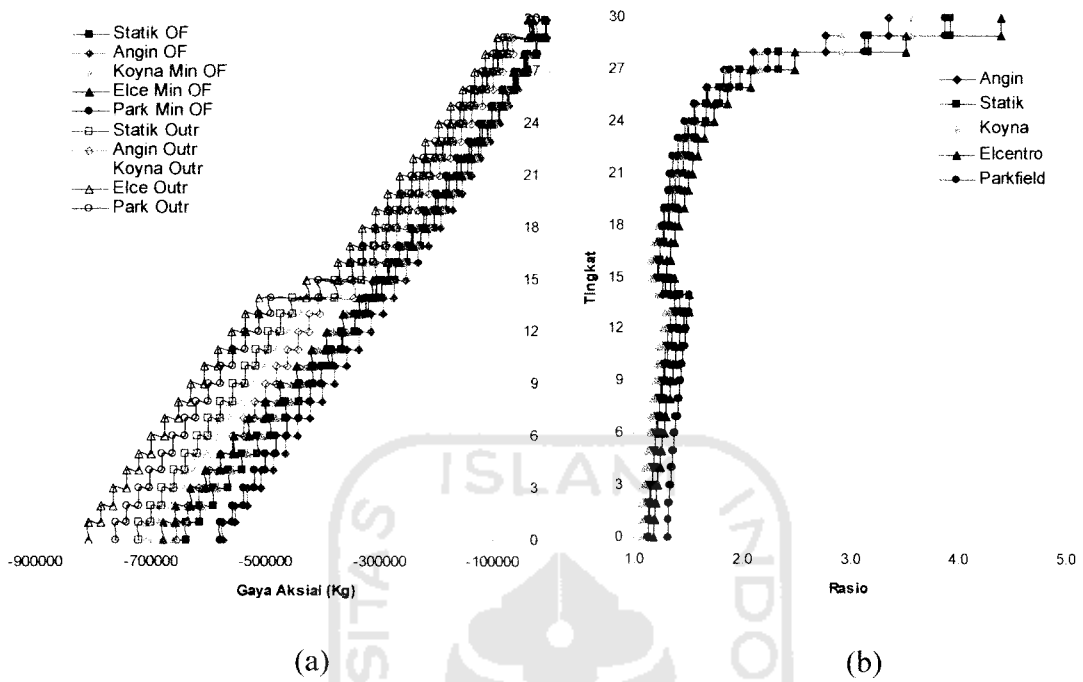
Grafik 5.34: a) Geser Kolom Struktur 40 Lantai, b) Rasio Geser Kolom *Outrigger* Terhadap OF

5.3.3.4.3 Gaya Aksial Kolom

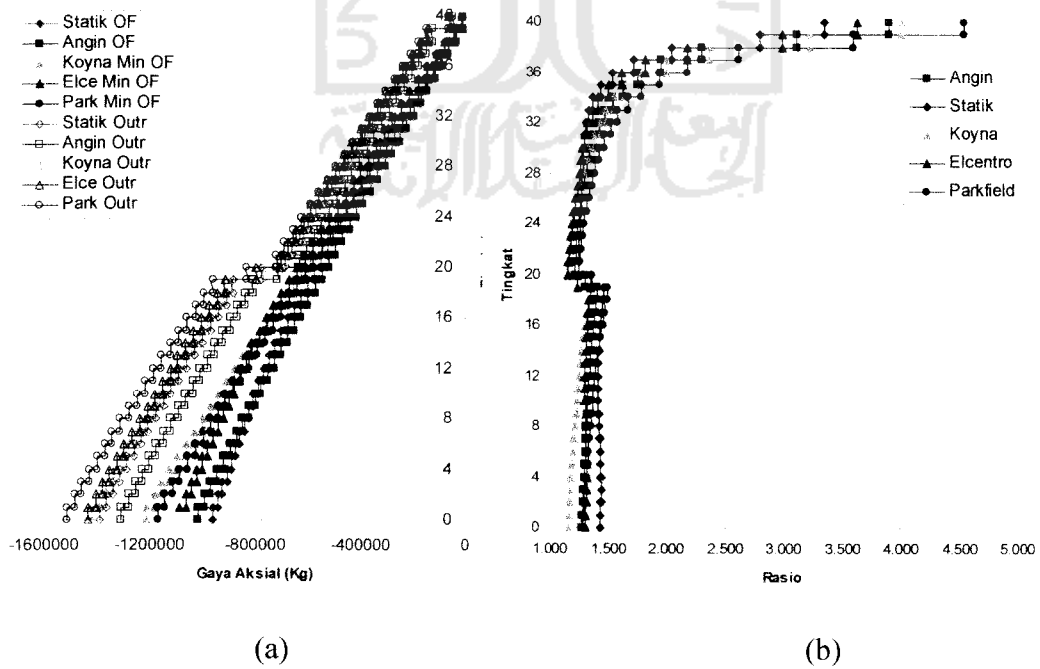
Gaya aksial kolom adalah gaya yang arah kerjanya searah dengan garis netralnya. Gaya ini merupakan reaksi yang ditimbulkan akibat momen yang terjadi pada balok. Gaya aksial yang terjadi pada setiap lantai struktur merupakan komulatif gaya yang berasal dari lantai yang berada di atasnya, sehingga akan semakin besar pada lantai-lantai bawah. Contoh pola gaya aksial yang disebabkan oleh beban angin, gempa statik dan dinamik. Grafik gaya aksial dapat dilihat pada Grafik 5.35 sampai dengan Grafik 5.37 sebagai berikut:



Grafik 5.35: a) Aksial Kolom Struktur 20 Lantai, b) Rasio Aksial Kolom *Outrigger* Terhadap OF

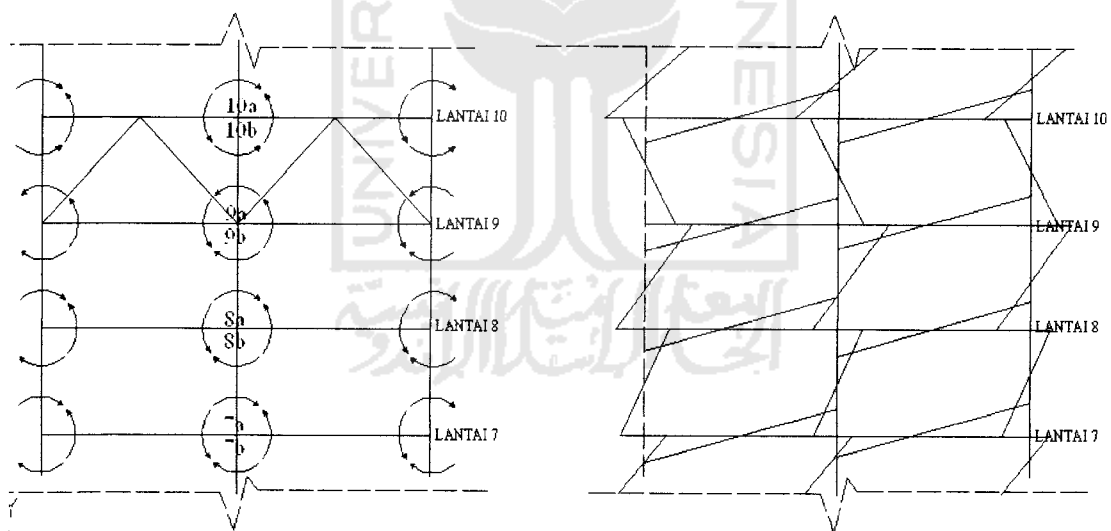


Grafik 5.36: a) Aksial Kolom Struktur 30 Lantai, b) Rasio Aksial Kolom *Outrigger* Terhadap OF



Grafik 5.37: a) Aksial Kolom Struktur 40 Lantai, b) Rasio Aksial Kolom *Outrigger* Terhadap OF

Grafik 5.29 sampai dengan Grafik 5.34 menunjukkan bahwa momen dan geser kolom akibat gempa angin, statik dan dinamik pada struktur *Open Frame* maupun *Outrigger* akan semakin besar pada variasi tingkat yang semakin banyak. Hal ini karena semakin tinggi bangunan maka gaya lateral akan menjadi besar. Momen & geser kolom akibat beban angin lebih kecil bila dibandingkan dengan beban gempa statik maupun dinamik hal ini karena gaya lateral akibat beban angin lebih kecil daripada beban statik maupun dinamik ditunjukkan yang ditunjukkan pada Grafik 5.29 sampai 5.34. Beban dinamik akibat gempa elcentro dan parkfield lebih besar daripada gempa koyna hal ini karena frekuensi dari gempa elcentro dan parkfield yang lebih rendah daripada gempa koyna.



Gambar 5.7 Pola Momen Balok dan Kolom Pada Struktur *Outrigger* dan *Belttruss* akibat beban lateral

Pada tingkat dimana *Outrigger* dipasang besarnya momen maupun geser kolom akibat gempa dinamik, statik dan angin naik secara signifikan. Hal ini karena pada struktur yang menggunakan *Outrigger* pada lantai yang ada *Outrigger* nya momen kolom pada lantai 9 join atas (9a Gambar 5.7) momen kolom tidak lagi

melawan momen balok yang positif sehingga momen pada lantai 9 join bawah (9b) menjadi besar untuk melawan momen balok dan momen pada join bagian atas (9a). Hal ini terjadi pula pada join lantai 10 bagian atas (10a Gambar 5.7) menjadi besar untuk mengimbangi momen balok dan momen kolom lantai 10 join bagian bawah (10b). Rasio momen & geser kolom dapat dilihat pada lampiran E-8, E-11 dan E-14.

Gaya aksial kolom pada struktur *Outrigger* secara keseluruhan lebih besar bila dibandingkan dengan *Open Frame* ditunjukkan pada Grafik 5.35 sampai dengan Grafik 5.37. Gaya aksial pada pengaku menambah besarnya gaya aksial kolom. Gaya aksial kolom pada struktur *Outrigger* akan semakin menjadi besar disetiap perletakan pengaku tersebut. Hal ini disebabkan gaya aksial pada pengaku disalurkan ke kolom. Nilai gaya aksial pada struktur *Open Frame* akibat gempa dinamik tidak memberikan pengaruh signifikan. Hal ini ditunjukkan besarnya gaya aksial saling berdekatan antara gempa statik dan dinamik. Ini karena yang mempengaruhi beban aksial adalah kombinasi antara beban mati dan hidup. Untuk rasio aksial kolom dapat dilihat pada lampiran E-8, E-11 dan E-14.

5.3.4 Keefektifan sistem Struktur Dengan *Outrigger*

Berdasarkan hasil-hasil analisis dan pembahasan seperti yang disampaikan didepan maka dapat diketahui bahwa respon struktur (Simpangan, momen dan geser) struktur dengan *Outrigger* semuanya lebih kecil dibanding dengan struktur *Open Frame*. Hal ini ditunjukkan oleh adanya rasio respon yang nilainya kurang dari satu akan tetapi aksial kolom struktur *Outrigger* lebih besar daripada struktur *Open Frame*. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa sistem struktur dengan *Outrigger* lebih efektif dibanding dengan struktur *Open Frame*.