

BAB VI

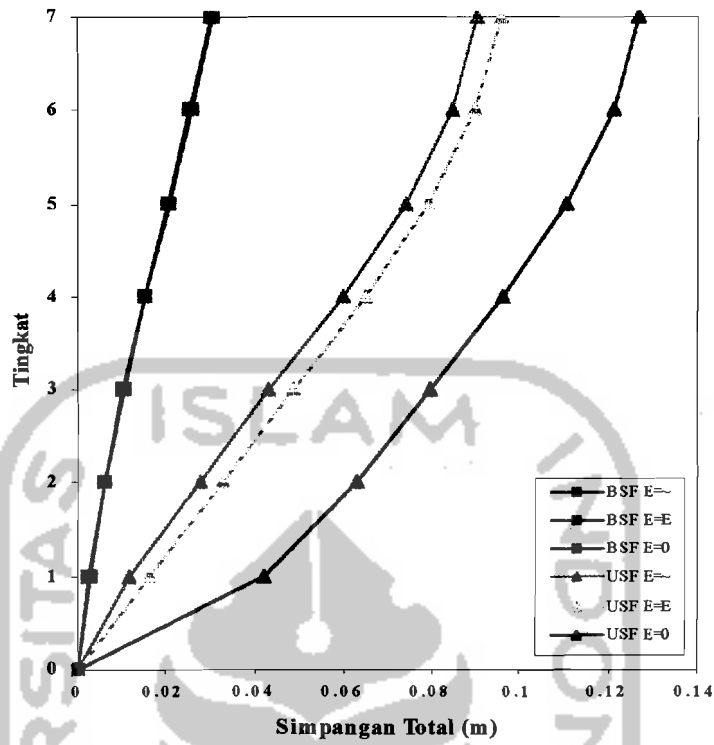
HASIL DAN PEMBAHASAN

6.1 Hasil Analisis

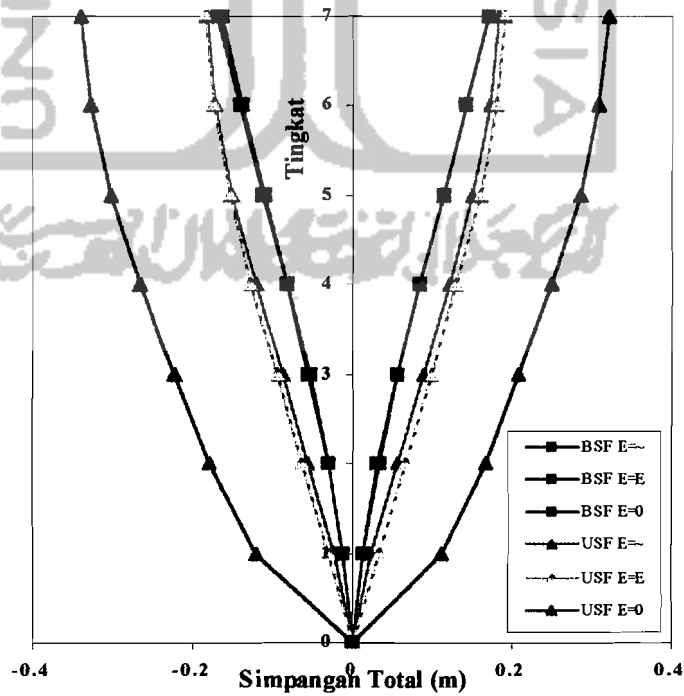
Dalam penelitian ini, analisis dilakukan dengan variasi nilai Modulus Elastis dari profil baja yang digunakan sebagai balok fondasi yaitu sebesar $E = 2,9 \cdot 10^{28}$ ksi (jepit murni), $E = 29.000$ ksi (semi jepit) dan $E = 2,9 \cdot 10^{-20}$ ksi (sendi murni). Hasil analisis dalam penelitian ini meliputi simpangan total, *inter story drift ratio*, momen dan geser pada balok, momen dan geser pada kolom serta rotasi pada fondasi pada portal 7 lantai, 12 lantai, 17 lantai dan 24 lantai baik yang diperkaku (*braced frame*) maupun tanpa pengaku (*unbraced frame*). Beban gempa yang digunakan adalah beban gempa hasil analisis metode statik ekuivalen berupa gaya horisontal dan beban percepatan tanah pada gempa ElCentro. Notasi pada grafik adalah BSF (*Braced Steel Frame*) atau struktur portal baja berpengaku dan USF (*UnBraced Steel Frame*) atau struktur portal baja tanpa pengaku.

6.1.1 Simpangan struktur

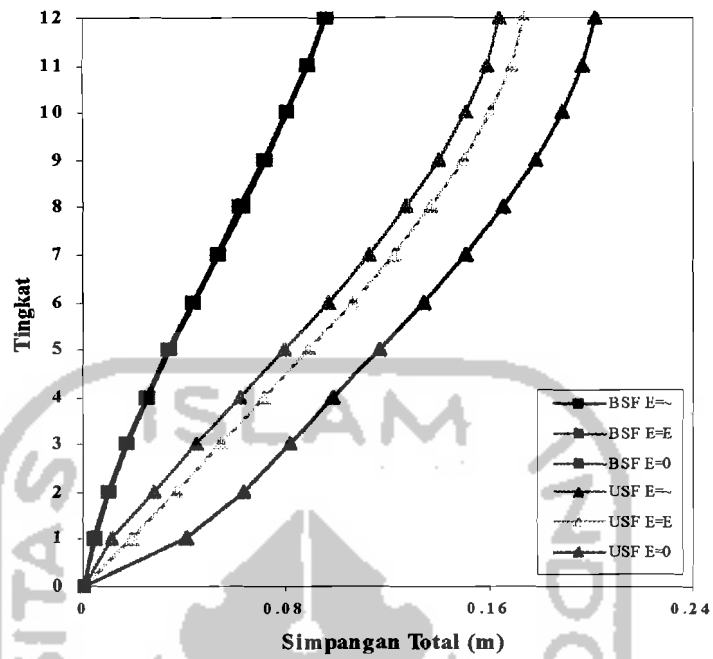
Simpangan total struktur akibat gaya gempa metode statik ekuivalen dan gempa ElCentro dengan variasi kekakuan balok fondasi dapat dilihat pada gambar berikut ini :



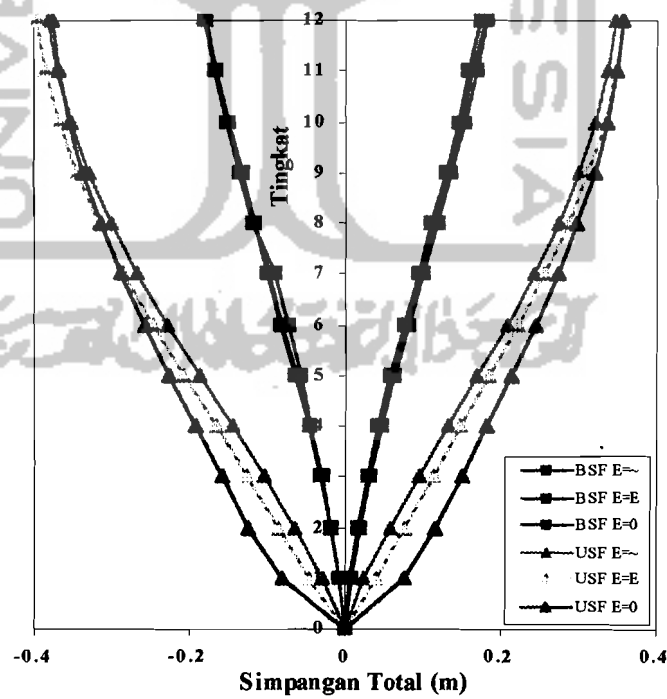
Grafik 6.1 Simpangan 7 Lantai Akibat Gempa Statik Ekvivalen



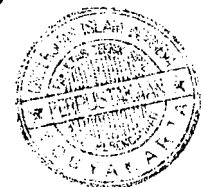
Grafik 6.2 Simpangan 7 Lantai Akibat Gempa ElCentro

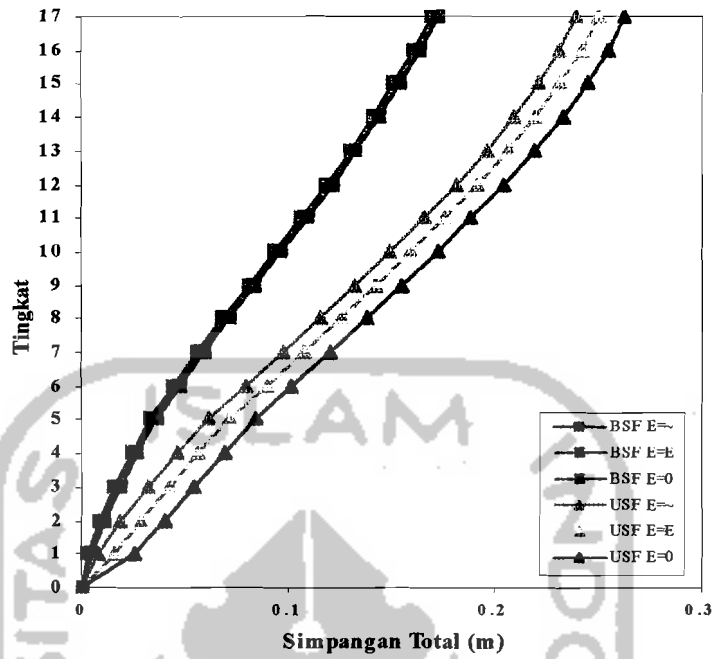


Grafik 6.3 Simpangan 12 Lantai Akibat Gempa Statik Ekuivalen

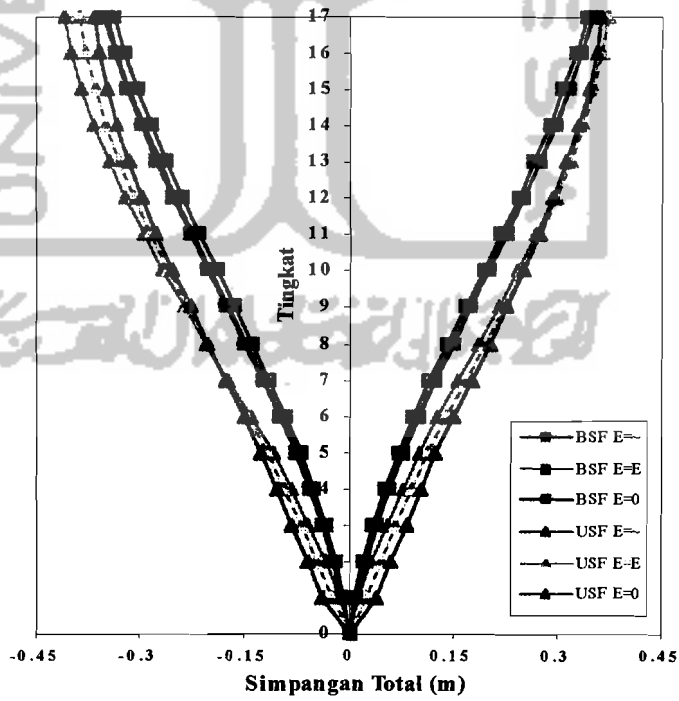


Grafik 6.4 Simpangan 12 Lantai Akibat Gempa ElCentro

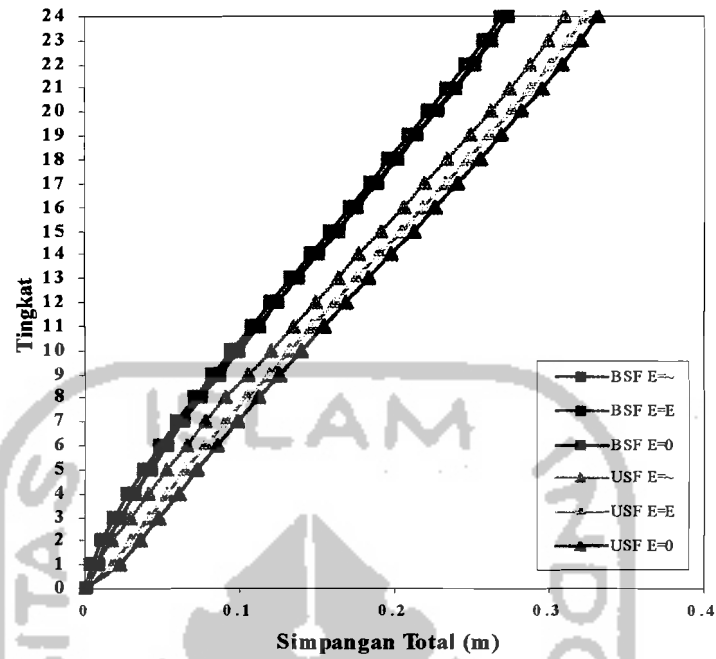




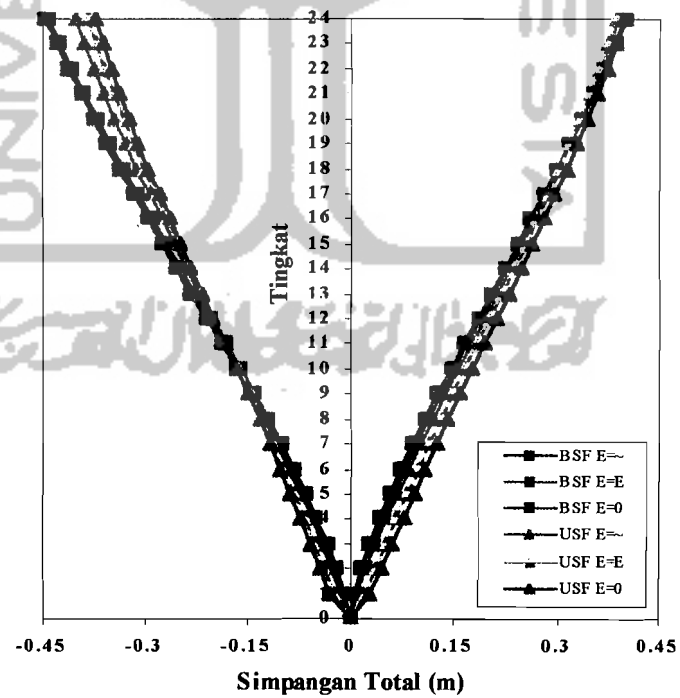
Grafik 6.5 Simpangan 17 Lantai Akibat Gempa Statik Ekuivalen



Grafik 6.6 Simpangan 17 Lantai Akibat Gempa ElCentro



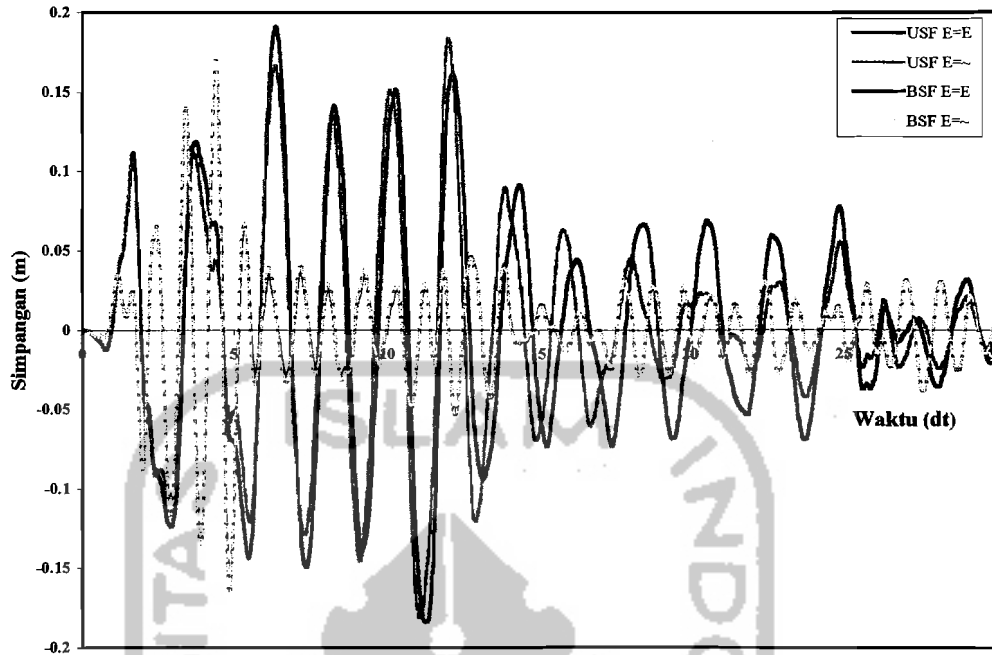
Grafik 6.7 Simpanan 24 Lantai Akibat Gempa Statik Ekuivalen



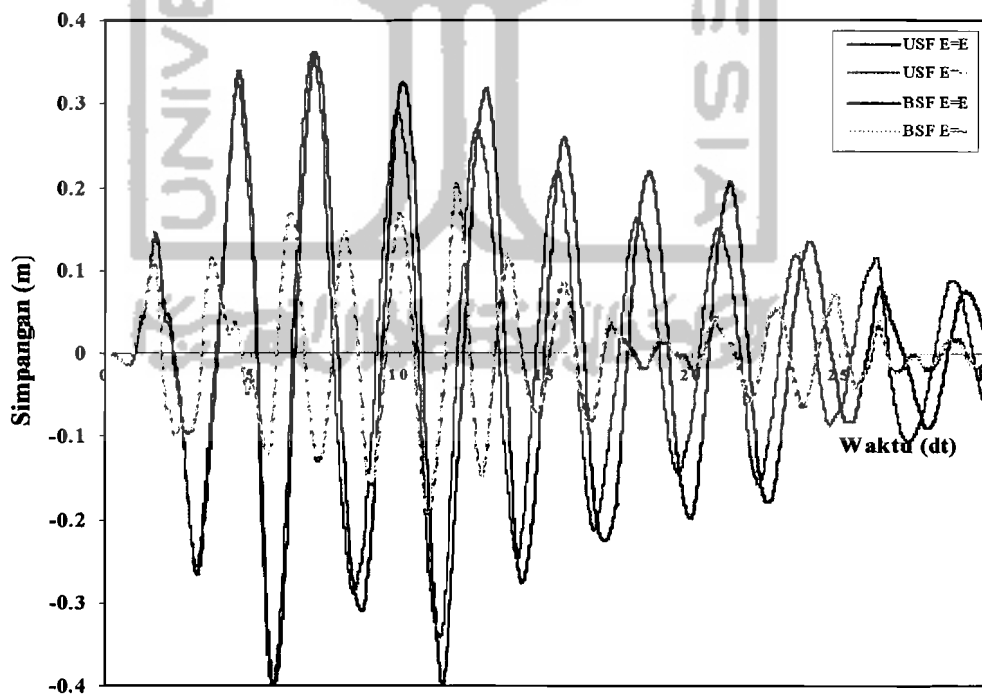
Grafik 6.8 Simpanan 24 Lantai Akibat Gempa ElCentro

1. Simpangan total akan semakin besar pada tingkat yang lebih tinggi.
2. Simpangan terbesar pada semua tingkat terjadi pada struktur dengan asumsi dukungan fondasi sendi murni baik pada *braced frame* maupun *unbraced frame*.
3. Variasi asumsi dukungan pada struktur *braced frame* hanya berpengaruh kecil. Ini terlihat dari bentuk grafik simpangan yang berhimpit. Akan tetapi untuk struktur *unbraced frame* variasi asumsi dukungan berpengaruh besar pada nilai simpangan total struktur terutama untuk struktur bertingkat rendah.
4. Pada struktur bertingkat tinggi, perbedaan nilai simpangan struktur *unbraced frame* relatif kecil karena pada struktur bertingkat tinggi perilakunya sudah mendekati elastis sehingga asumsi dukungan sudah tidak banyak membawa pengaruh.
5. Penggunaan balok fondasi dengan nilai Modulus Elastis baja $E = 29.000$ ksi menghasilkan nilai simpangan yang mendekati simpangan pada asumsi jepit penuh. Hal ini disebabkan karena balok fondasi sudah dapat memberikan pengekangan pada joint fondasi dengan baik, sehingga rotasi pada fondasi dapat berkurang secara signifikan.

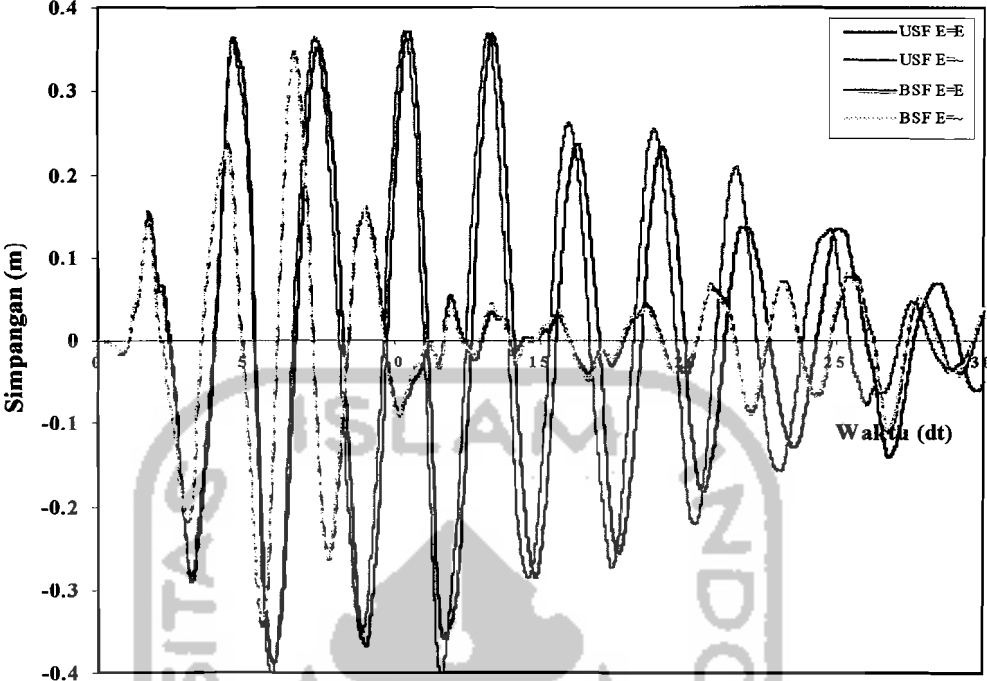
Simpangan struktur pada atap akibat gempa ElCentro ditunjukkan oleh grafik berikut :



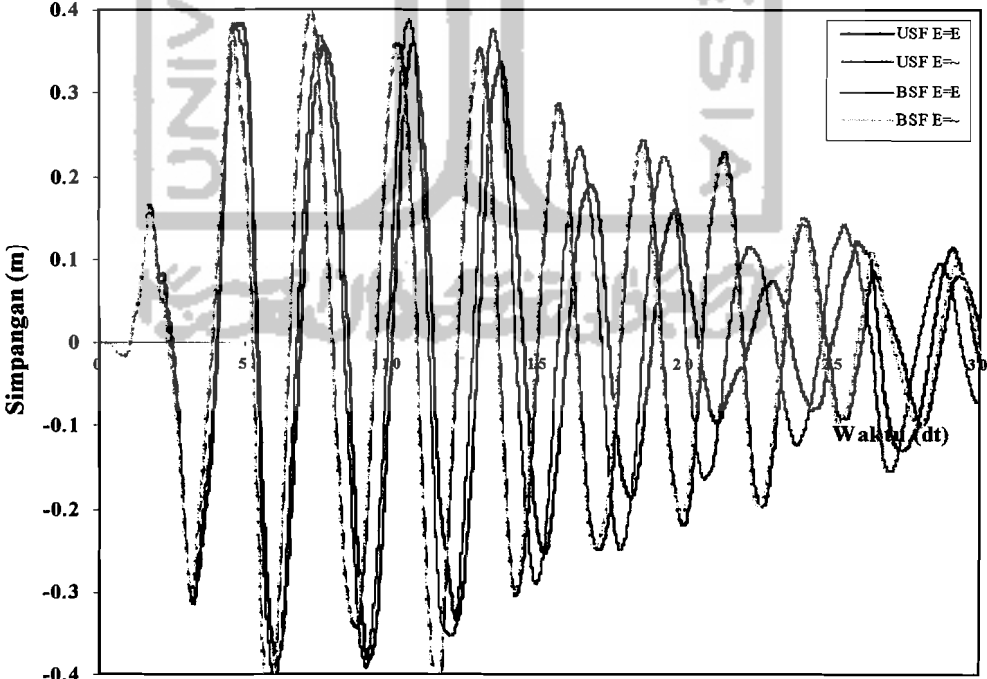
Grafik 6.9 Perbandingan Simpangan Atap 7 Lantai



Grafik 6.10 Perbandingan Simpangan Atap 12 Lantai

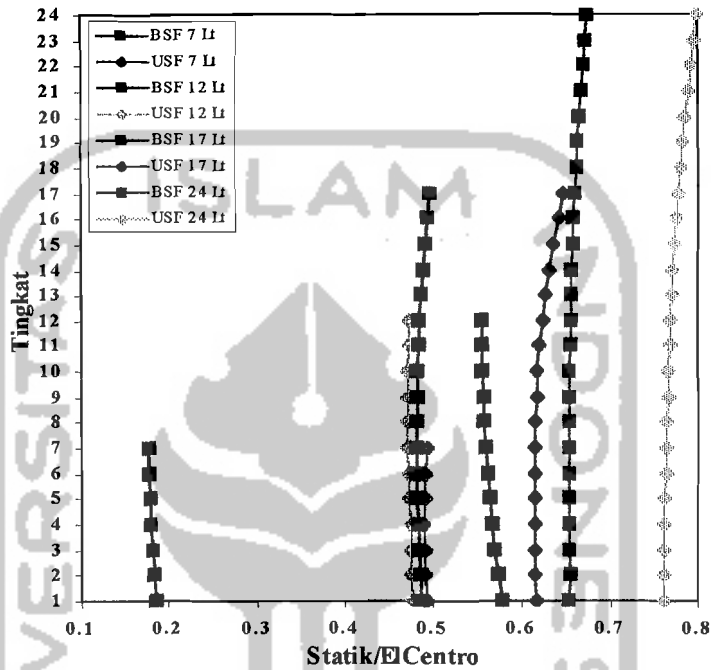


Grafik 6.11 Perbandingan Simpangan Atap 17 Lantai



Grafik 6.12 Perbandingan Simpangan Atap 24 Lantai

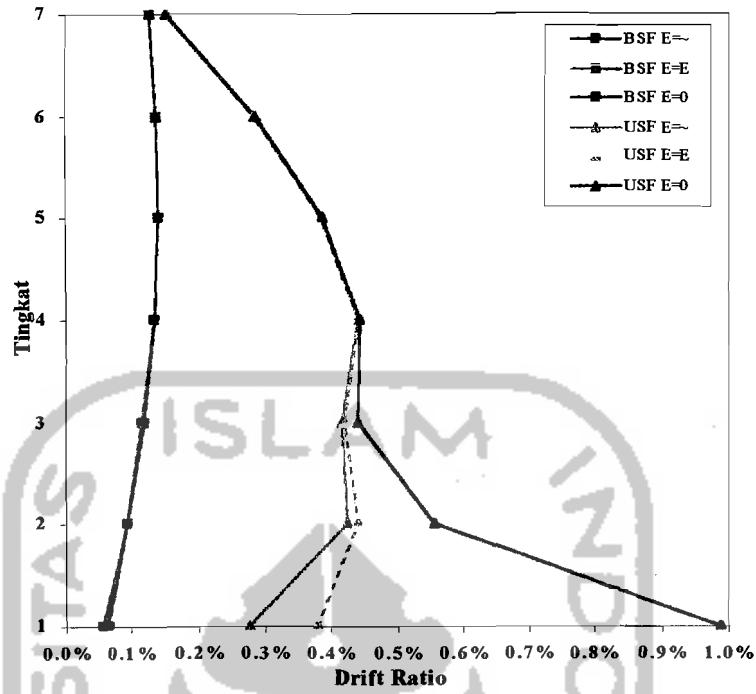
Sedangkan rasio simpangan antara metode statik ekuivalen dengan gempa ElCentro pada struktur *braced frame* dan *unbraced frame* dengan kondisi dukungan jepit sebagai berikut :



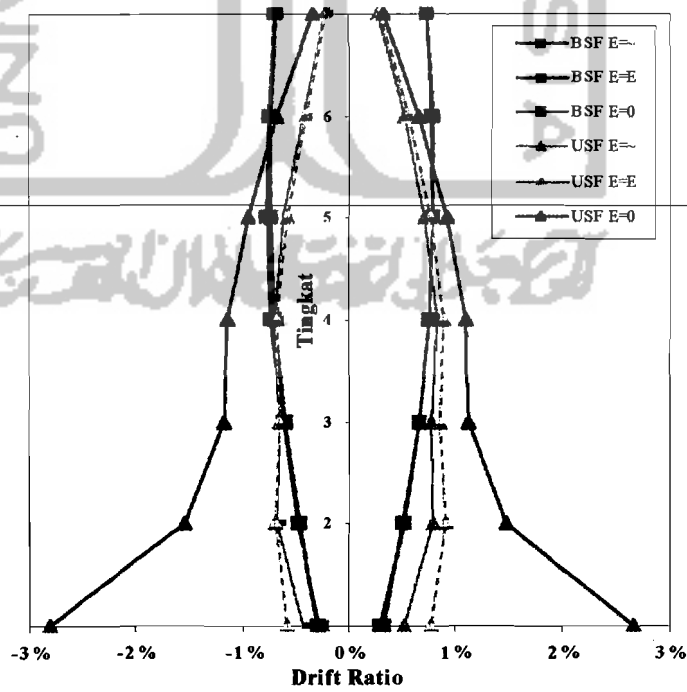
Grafik 6.13 Rasio Simpangan Statik Ekuivalen Dengan ElCentro

6.1.2 Inter story drift ratio

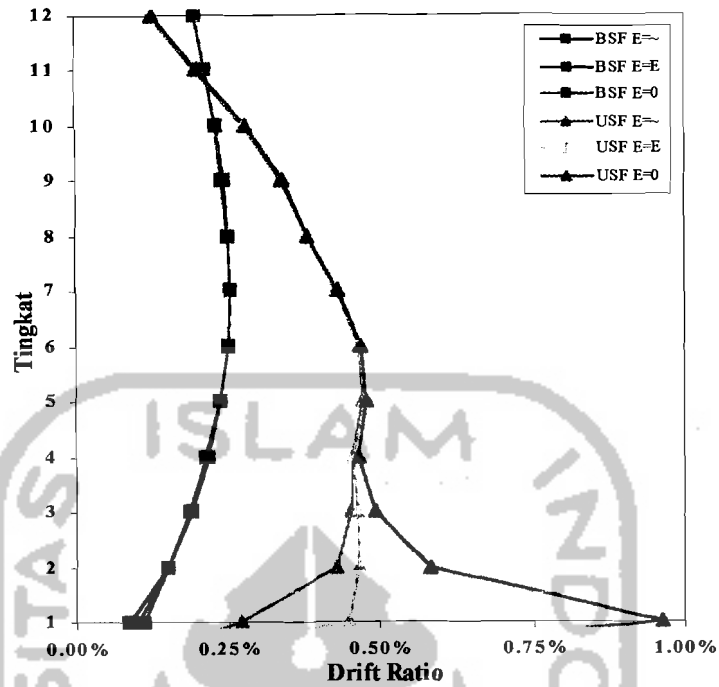
Grafik *inter story drift ratio* akibat beban gempa dengan metode statik ekuivalen dapat dilihat pada grafik berikut ini :



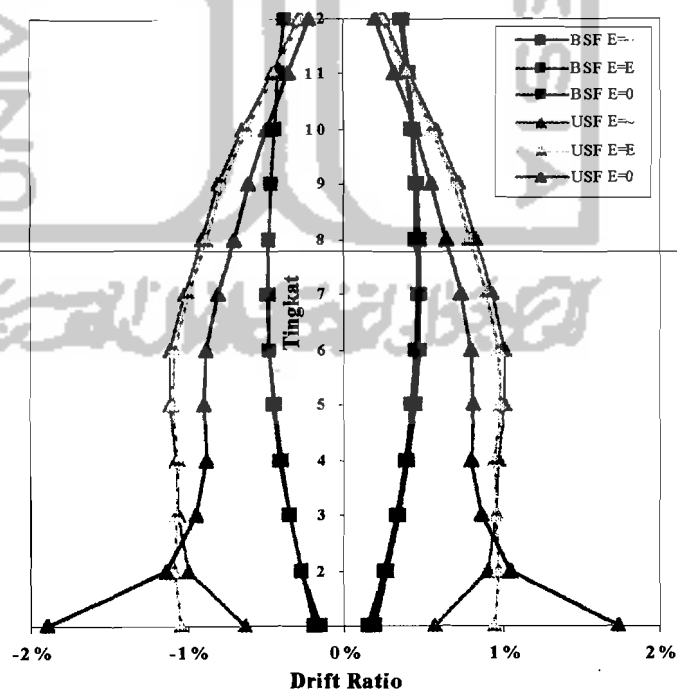
Grafik 6.14 *Inter Story Drift Ratio* 7 Lantai Akibat Gempa Statik Ekuivalen



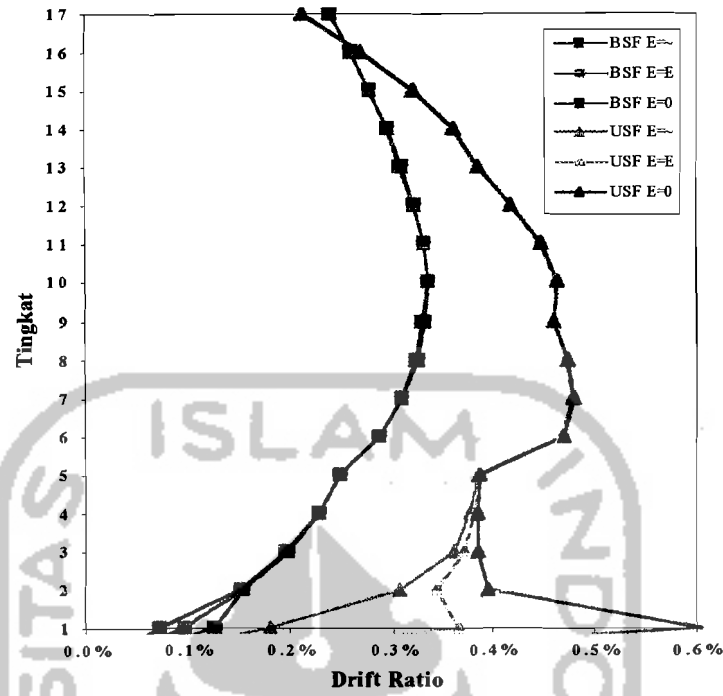
Grafik 6.15 *Inter Story Drift Ratio* 7 Lantai Akibat Gempa ElCentro



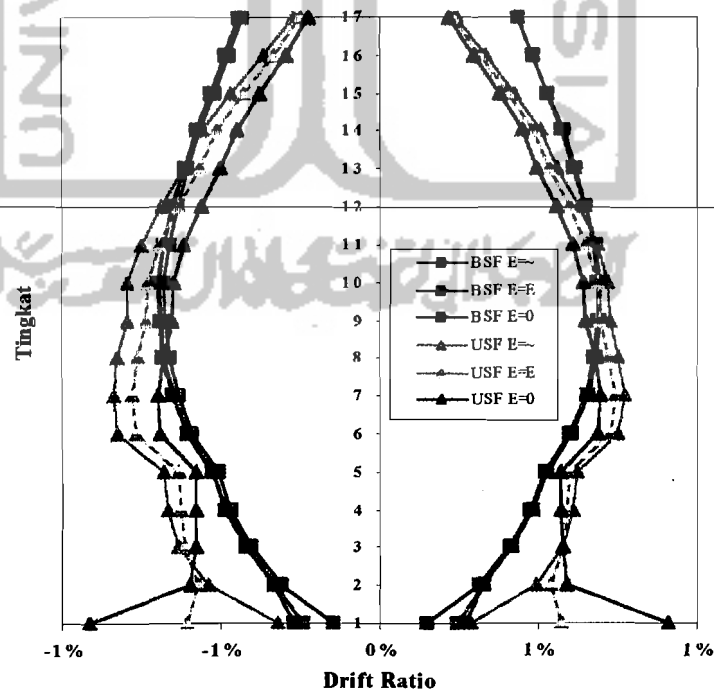
Grafik 6.16 Inter Story Drift Ratio 12 Lantai Akibat Gempa Statik Ekuivalen



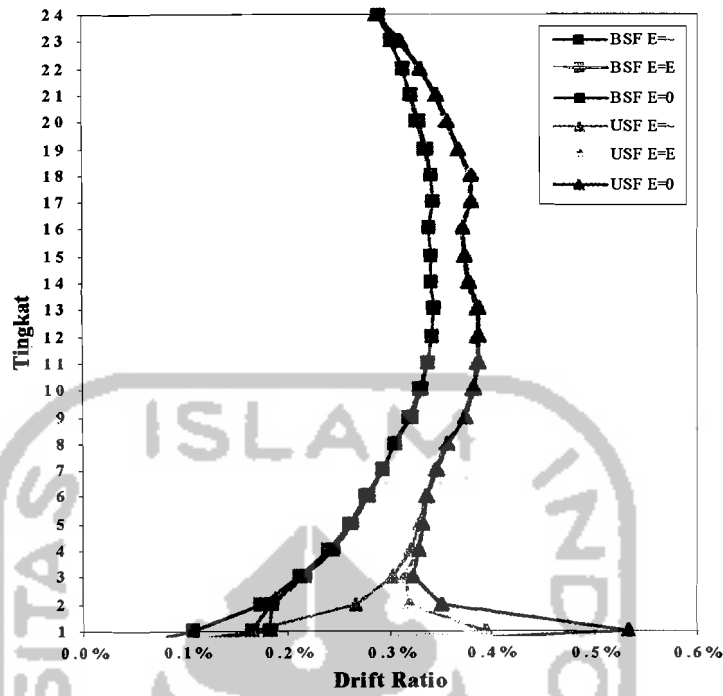
Grafik 6.17 Inter Story Drift Ratio 12 Lantai Akibat Gempa ElCentro



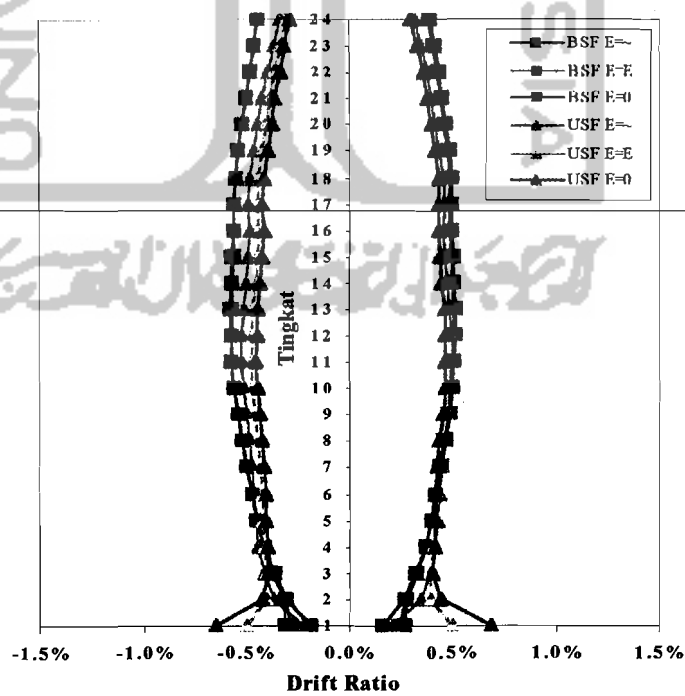
Grafik 6.18 Inter Story Drift Ratio 17 Lantai Akibat Gempa Statik Ekuivalen



Grafik 6.19 Inter Story Drift Ratio 17 Lantai Akibat Gempa ElCentro



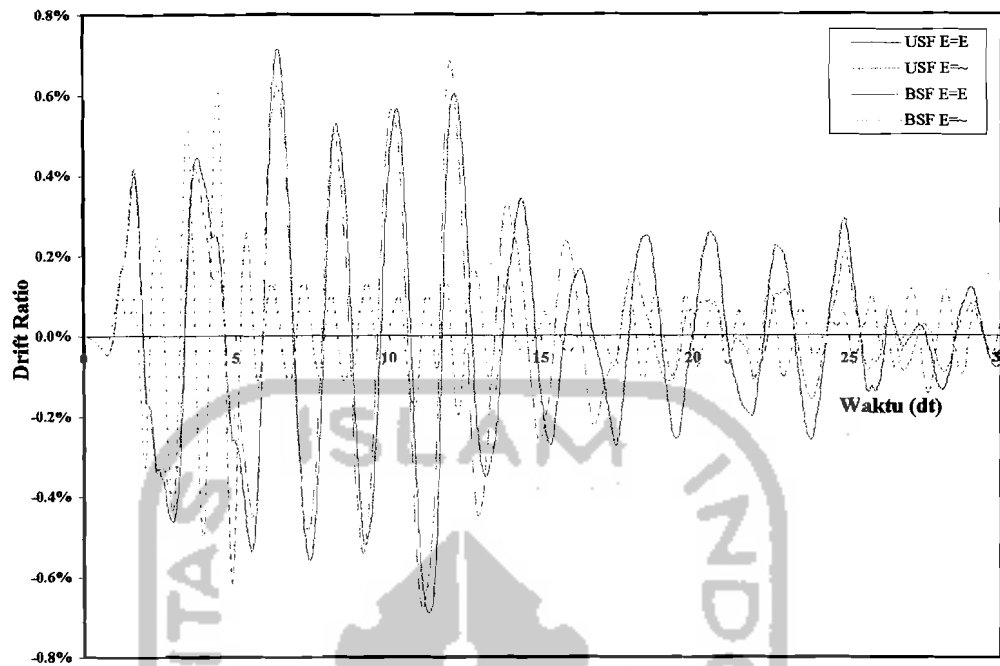
Grafik 6.20 *Inter Story Drift Ratio* 24 Lantai Akibat Gempa Statik Ekuivalen



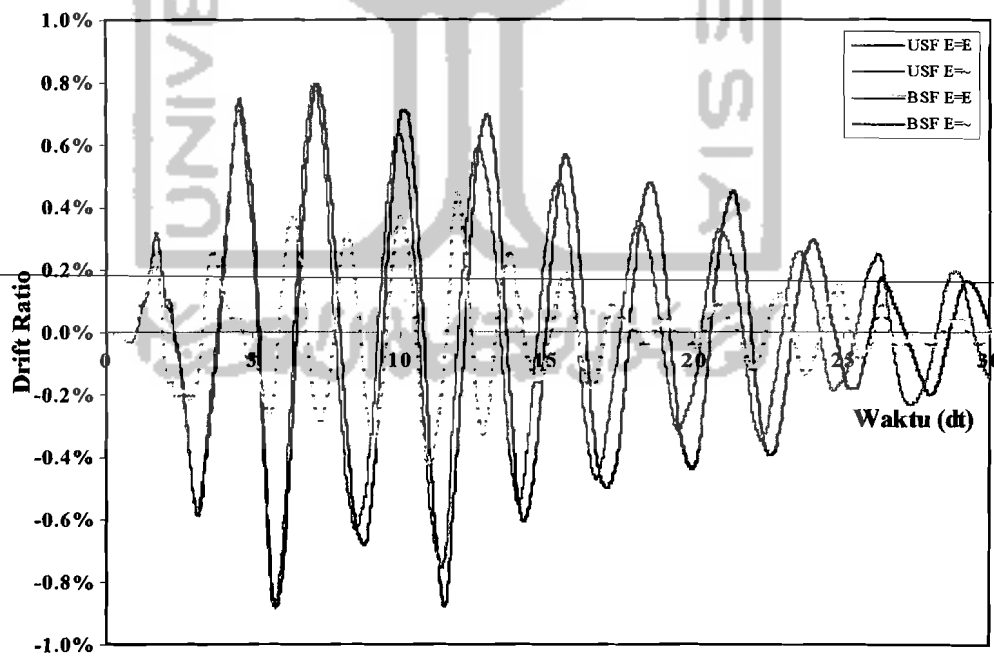
Grafik 6.21 *Inter Story Drift Ratio* 24 Lantai Akibat Gempa ElCentro

1. *Inter story drift ratio* akan bertambah besar pada $\frac{1}{2}H$. Hal ini disebabkan karena adanya perubahan nilai kekakuan struktur akibat perbedaan pemakaian profil yang memiliki nilai inersia yang berbeda.
2. Perbedaan nilai *inter story drift ratio* yang tajam terjadi pada 3 lantai pertama terutama pada struktur *unbraced frame*. Ini terjadi karena pengaruh jenis dukungan struktur sehingga menyebabkan terjadinya simpangan antar tingkat yang besar.
3. Pada dukungan sendi, rotasi pada joint fondasi sama sekali tidak terkekang, sehingga rotasi dapat terjadi secara bebas. Pada bagian ini syarat nilai maksimum rasio simpangan antar tingkat sebesar 0.5 % tidak terpenuhi. Pada lantai atas, nilai *inter story drift ratio* ini akan banyak dipengaruhi oleh besarnya kekakuan tingkat pada struktur. Hal ini juga terlihat pada grafik *inter story drift ratio* akibat gempa ElCentro.

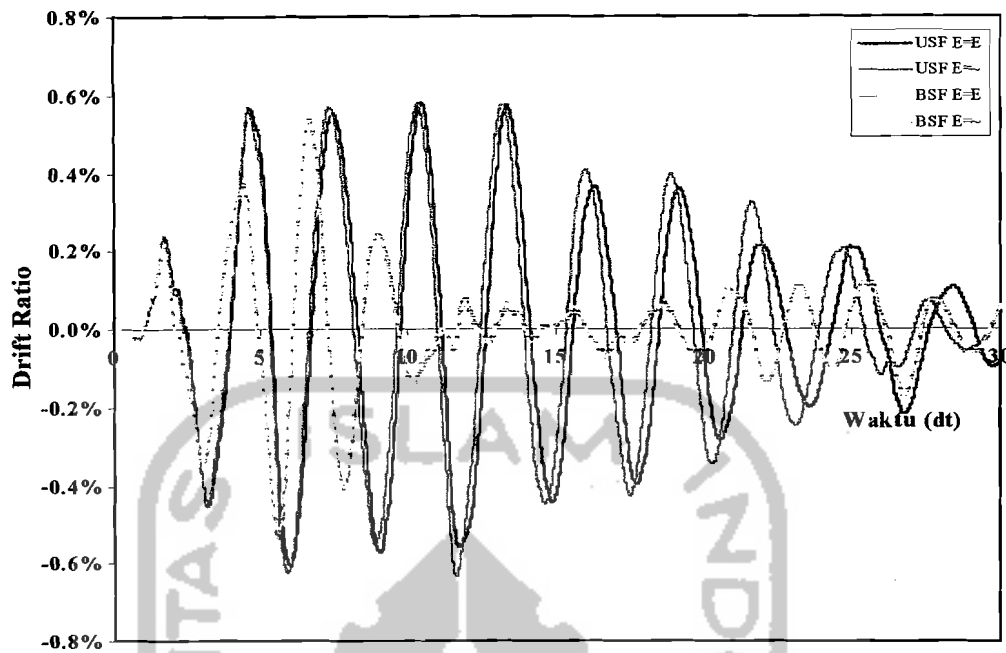
Drift Ratio pada atap akibat gempa ElCentro ditunjukkan oleh grafik berikut :



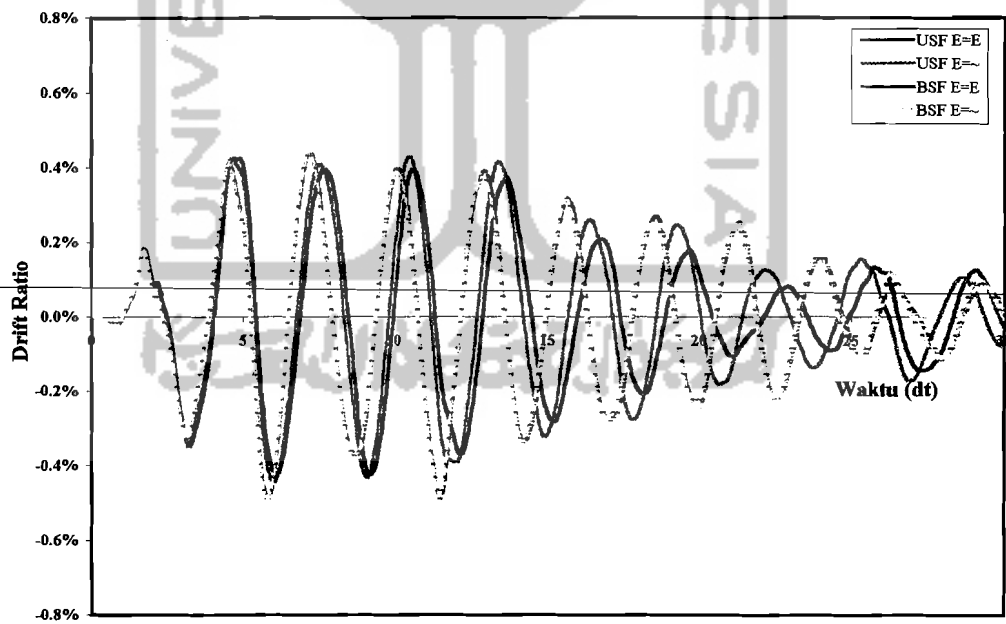
Grafik 6.22 Perbandingan *Drift Ratio* Atap 7 Lantai



Grafik 6.23 Perbandingan *Drift Ratio* Atap 12 Lantai



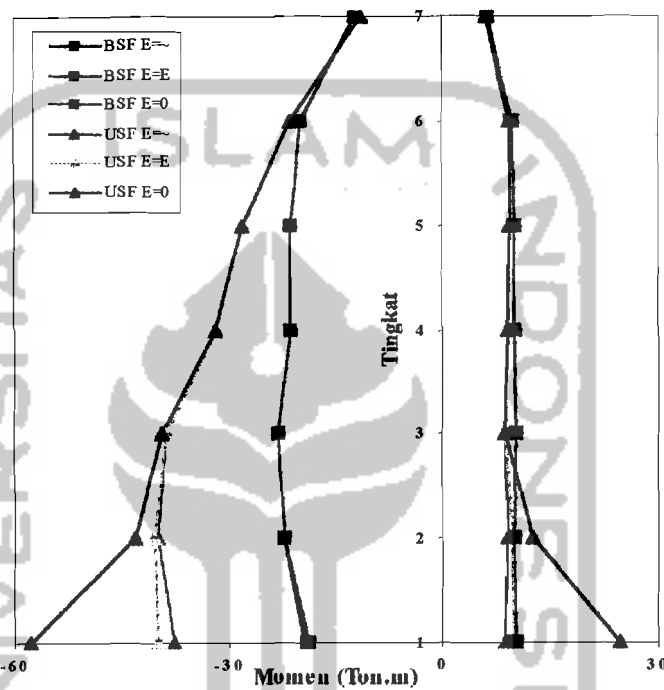
Grafik 6.24 Perbandingan *Drift Ratio* Atap 17 Lantai



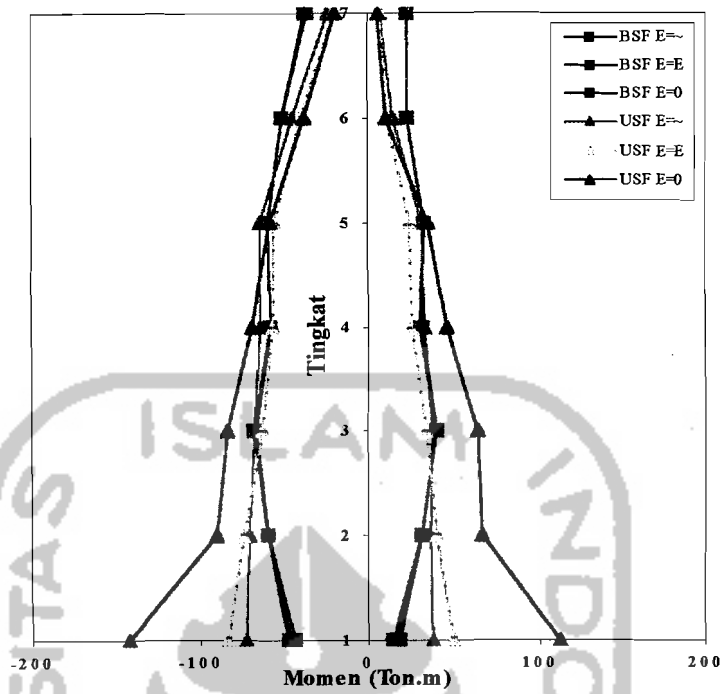
Grafik 6.25 Perbandingan *Drift Ratio* Atap 24 Lantai

6.1.3 Momen dan geser pada balok

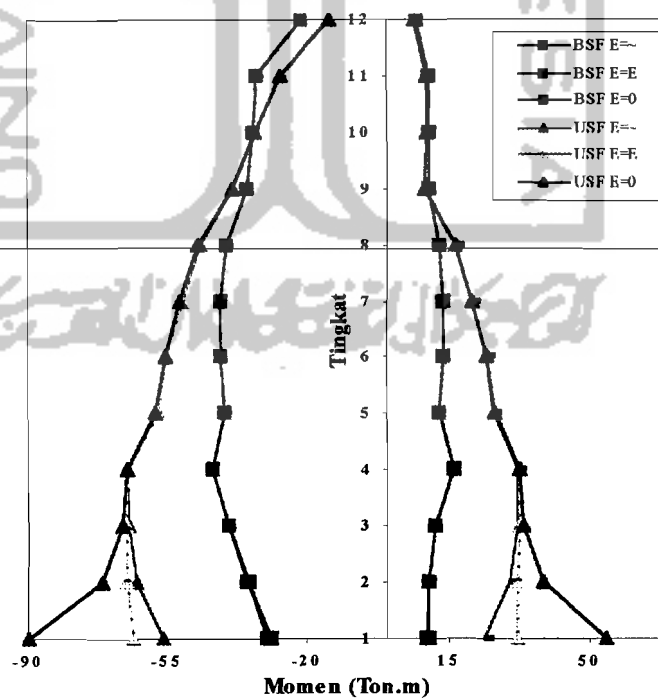
Momen dan geser merupakan salah satu gaya dalam yang terjadi akibat adanya gaya luar yang bekerja pada struktur. Grafik momen dan geser pada balok dapat dilihat pada gambar berikut ini :



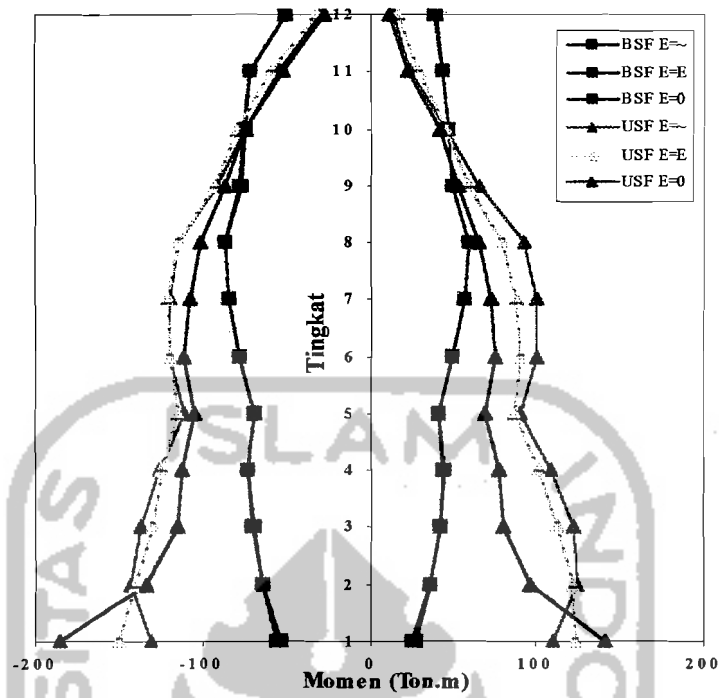
Grafik 6.26 Momen Balok 7 Lantai Akibat Gempa Statik Ekuivalen



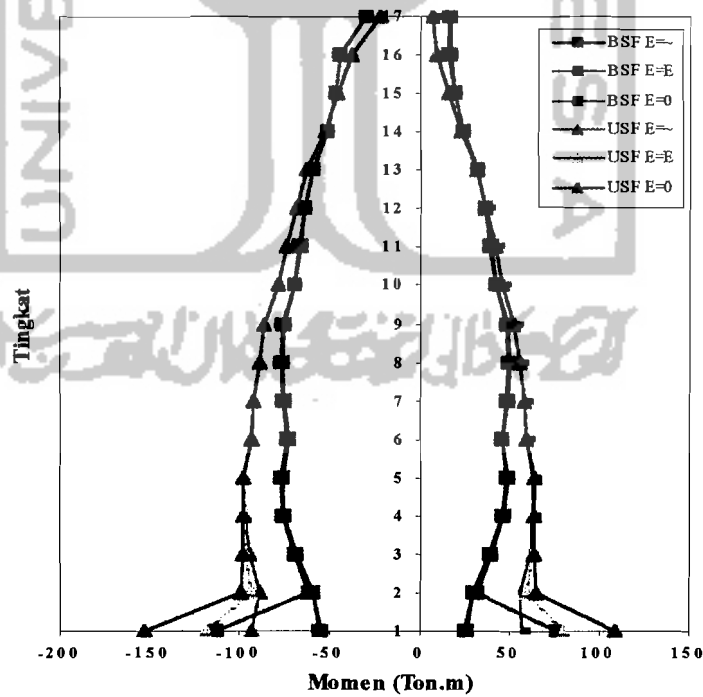
Grafik 6.27 Momen Balok 7 Lantai Akibat Gempa ElCentro



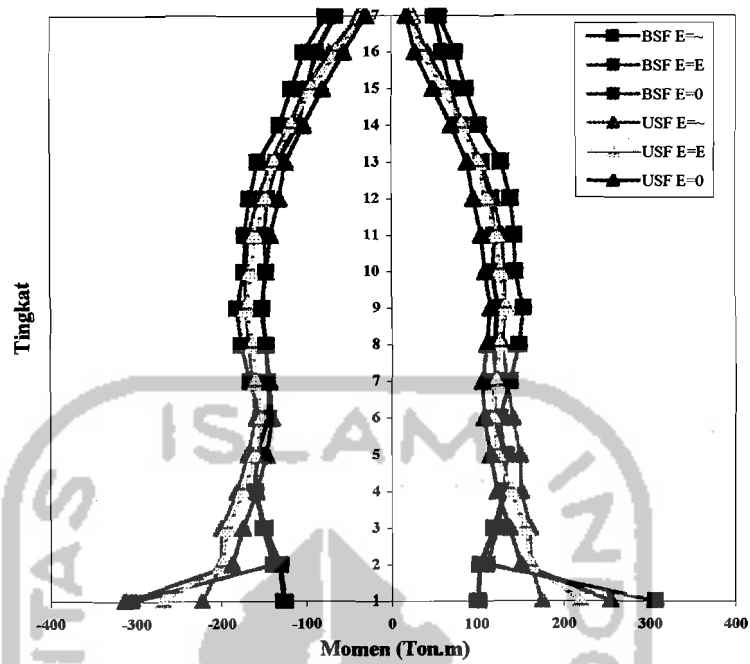
Grafik 6.28 Momen Balok 12 Lantai Akibat Gempa Statik Ekuivalen



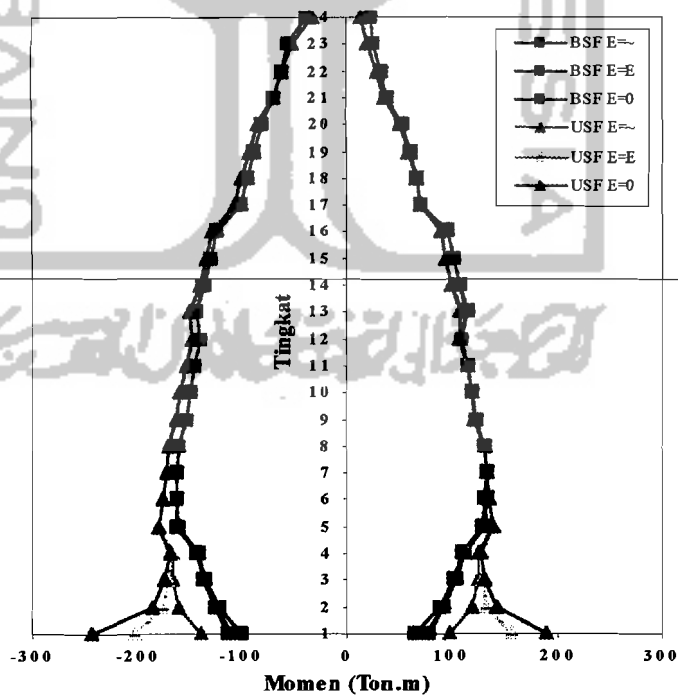
Grafik 6.29 Momen Balok 12 Lantai Akibat Gempa ElCentro



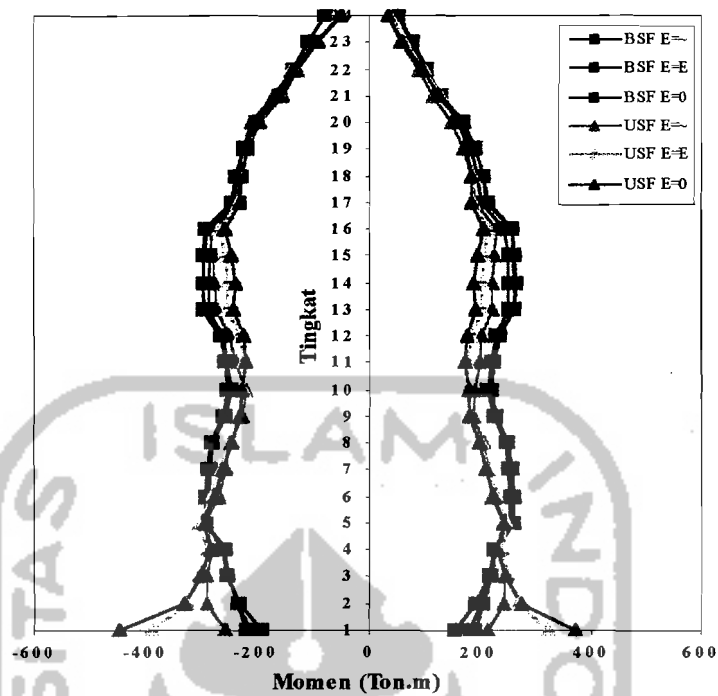
Grafik 6.30 Momen Balok 17 Lantai Akibat Gempa Statik Ekuivalen



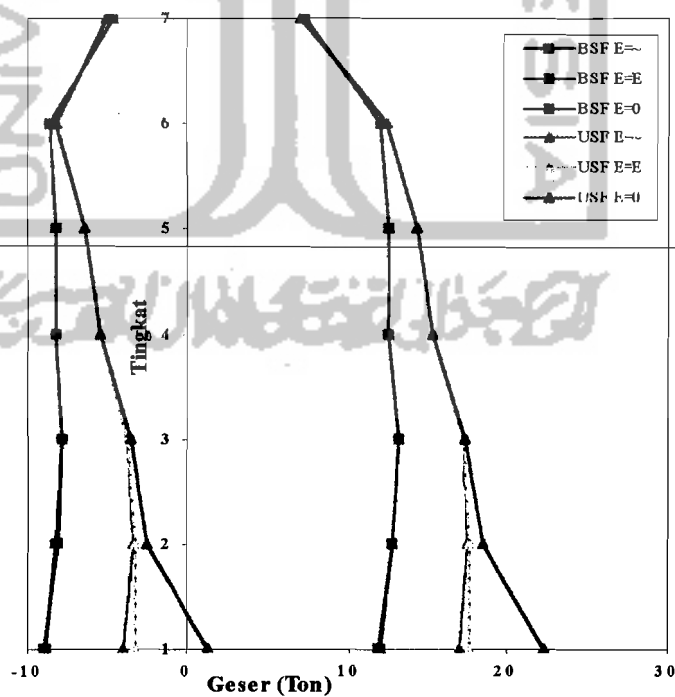
Grafik 6.31 Momen Balok 17 Lantai Akibat Gempa ElCentro



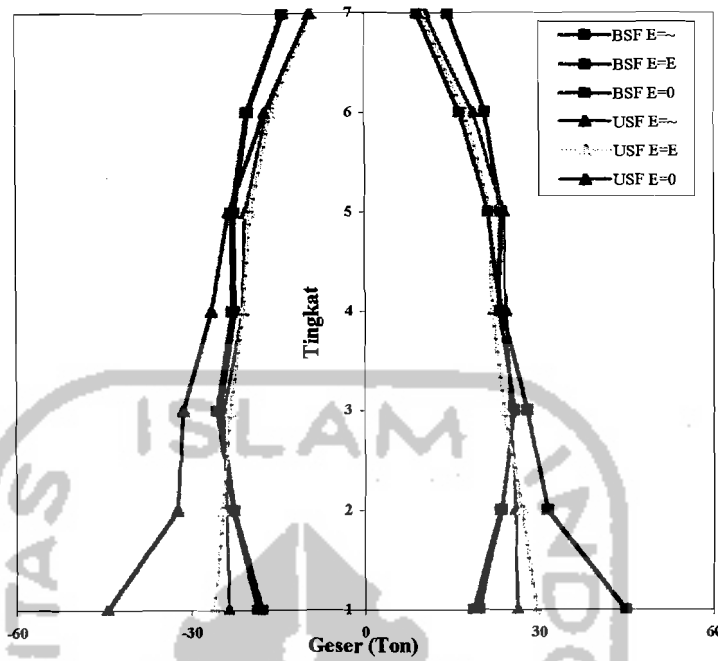
Grafik 6.32 Momen Balok 24 Lantai Akibat Gempa Statik Ekuivalen



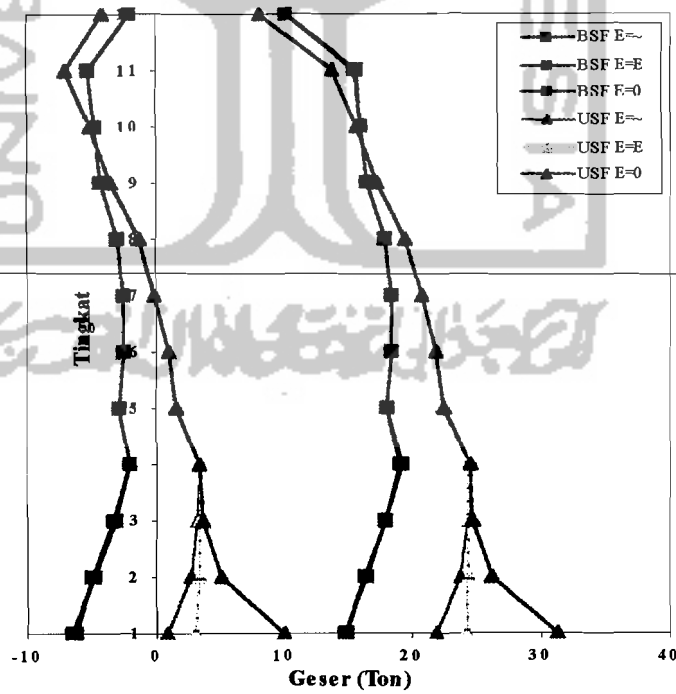
Grafik 6.33 Momen Balok 24 Lantai Akibat Gempa ElCentro



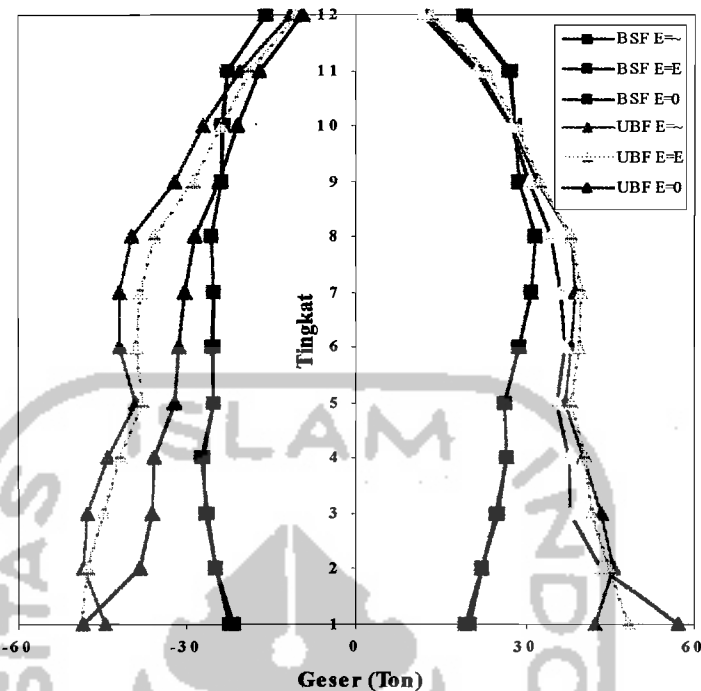
Grafik 6.34 Geser Balok 7 Lantai Akibat Gempa Statik Ekuivalen



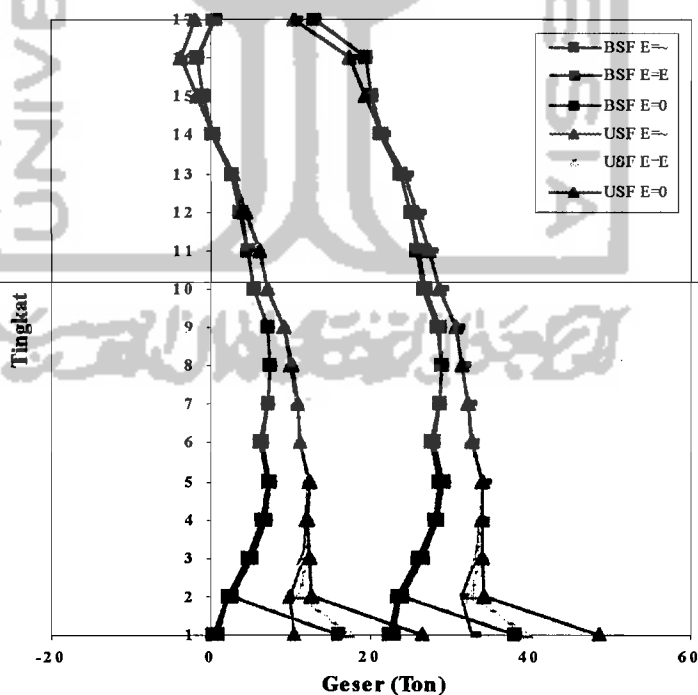
Grafik 6.35 Geser Balok 7 Lantai Akibat Gempa ElCentro



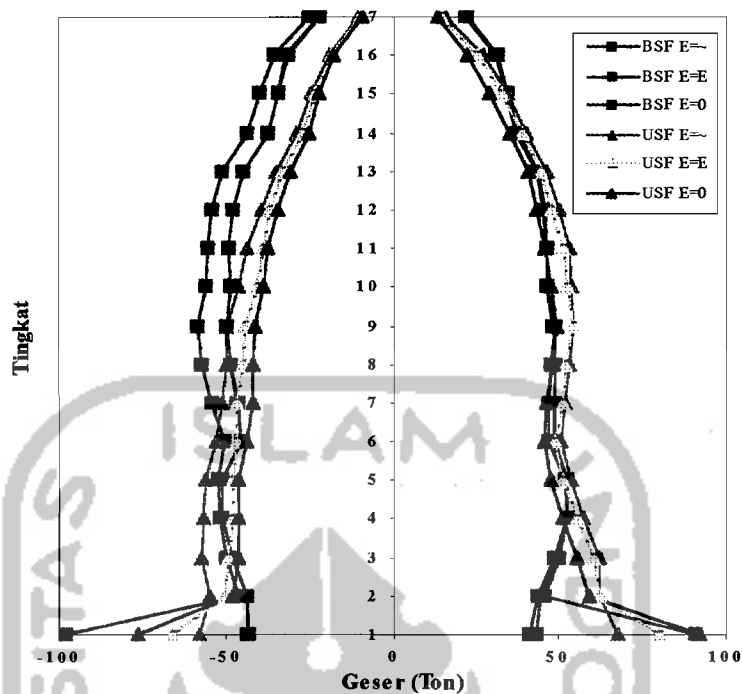
Grafik 6.36 Geser Balok 12 Lantai Akibat Gempa Statik Ekuivalen



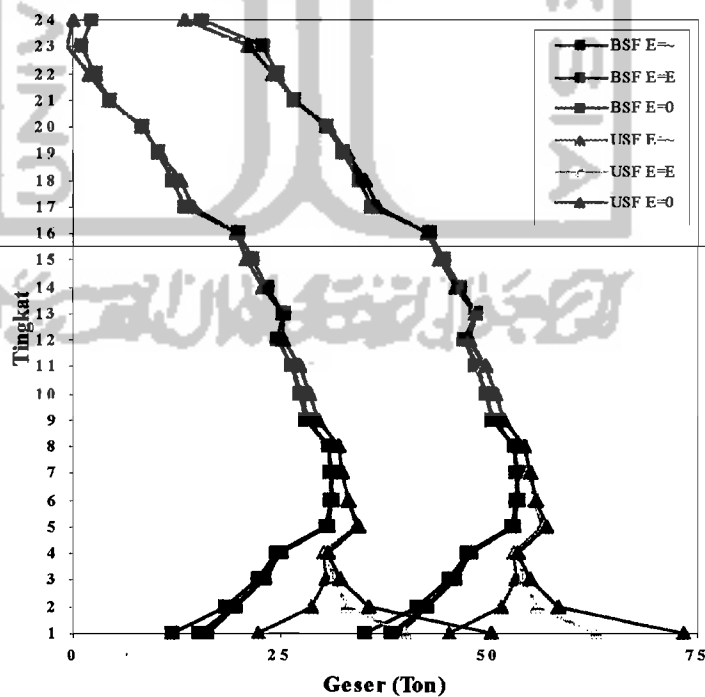
Grafik 6.37 Geser Balok 12 Lantai Akibat Gempa ElCentro



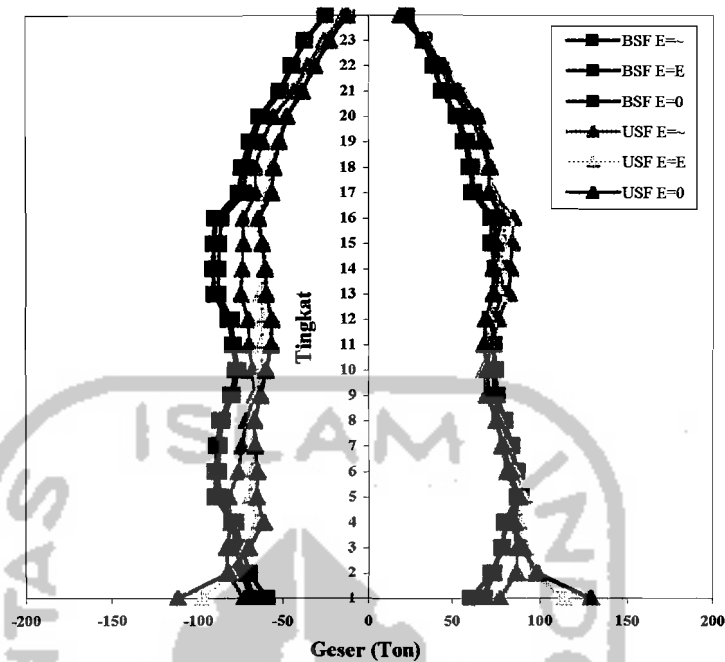
Grafik 6.38 Geser Balok 17 Lantai Akibat Gempa Statik Ekuivalen



Grafik 6.39 Geser Balok 17 Lantai Akibat Gempa ElCentro



Grafik 6.40 Geser Balok 24 Lantai Akibat Gempa Statik Ekuivalen



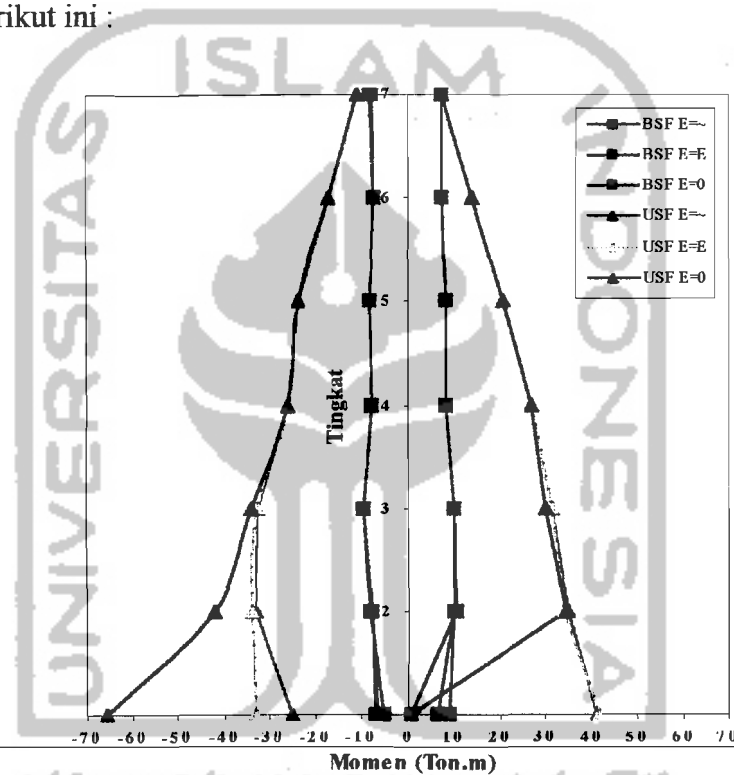
Grafik 6.41 Geser Balok 24 Lantai Akibat Gempa ElCentro

1. Semakin tinggi struktur, momen dan geser yang terjadi akan semakin besar.
2. Pada struktur *braced frame*, variasi asumsi dukungan struktur tidak berpengaruh besar terhadap momen dan geser yang terjadi. Ini terlihat dari bentuk grafik yang hampir berhimpit.
3. Untuk struktur *unbraced frame*, terjadi perbedaan yang tajam pada tiga tingkat pertama akibat dari variasi asumsi dukungan.
4. Momen maksimum pada struktur *braced frame* terjadi pada $\frac{1}{2} H$, sedangkan untuk *unbraced frame* terjadi pada lantai dasar kecuali pada dukungan jepit murni terjadi pada $\frac{1}{3} H$. Hal ini disebabkan karena nilai *inter story drift* yang maksimum terjadi pada lantai tersebut.
5. Semakin tinggi struktur selisih momen dan geser antara struktur *braced*

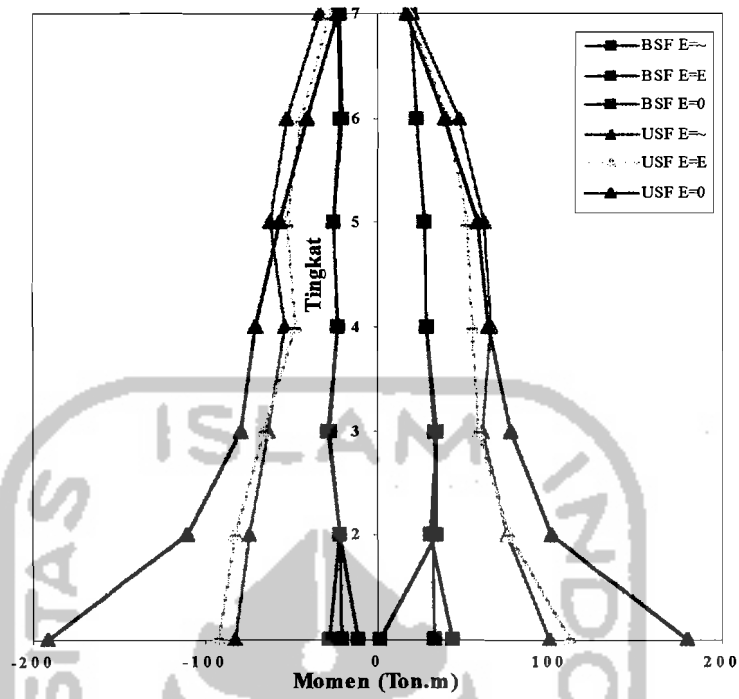
frame dan *unbraced frame* semakin kecil. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan *bracing* pada struktur tinggi tidak menghasilkan pengurangan momen dan geser yang signifikan.

6.1.4 Momen dan geser pada kolom

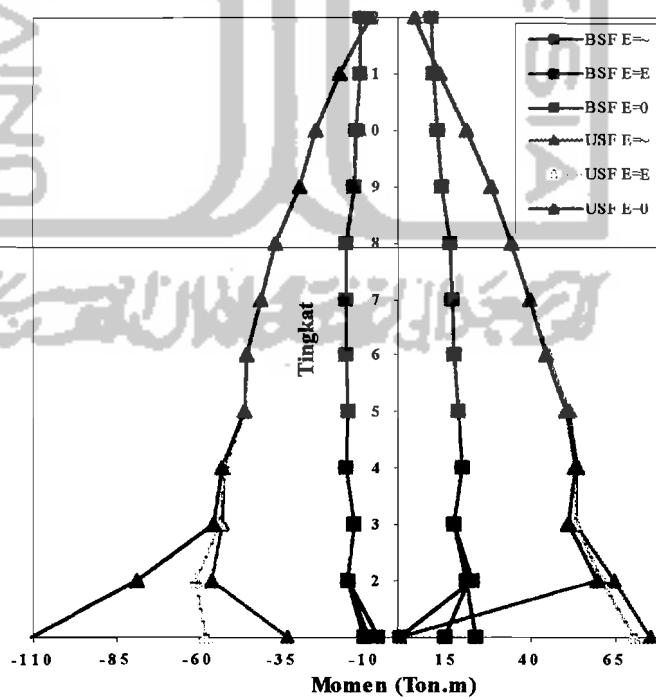
Hasil analisis momen dan geser pada kolom dapat dilihat pada grafik berikut ini :



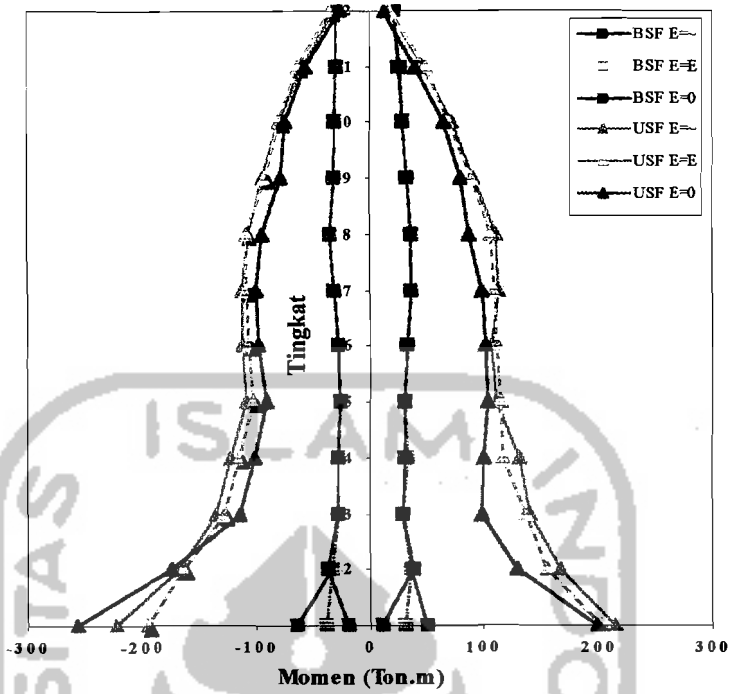
Grafik 6.42 Momen Kolom 7 Lantai Akibat Gempa Statik Ekivalen



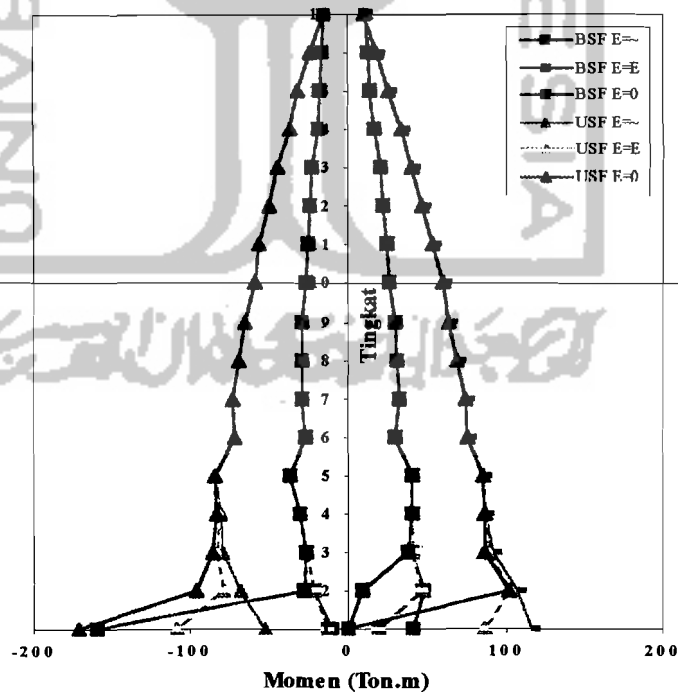
Grafik 6.43 Momen Kolom 7 Lantai Akibat Gempa ElCentro



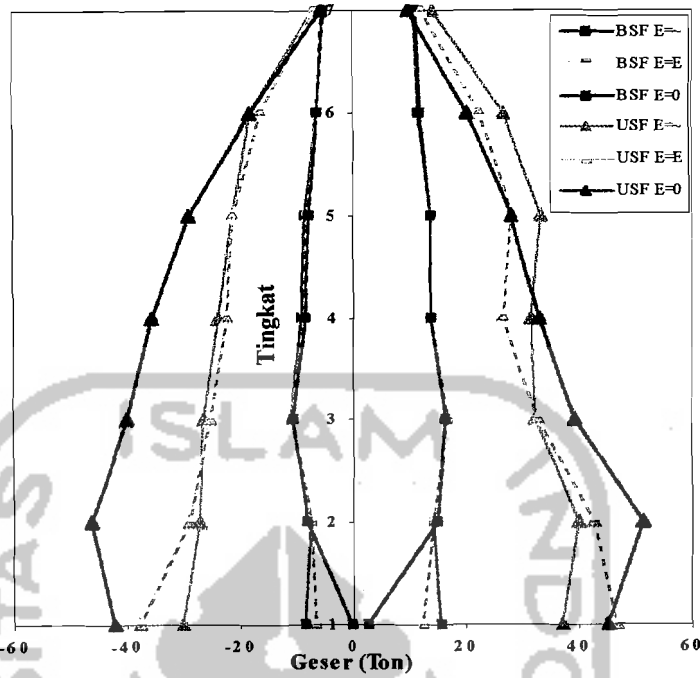
Grafik 6.44 Momen Kolom 12 Lantai Akibat Gempa Statik Ekuivalen



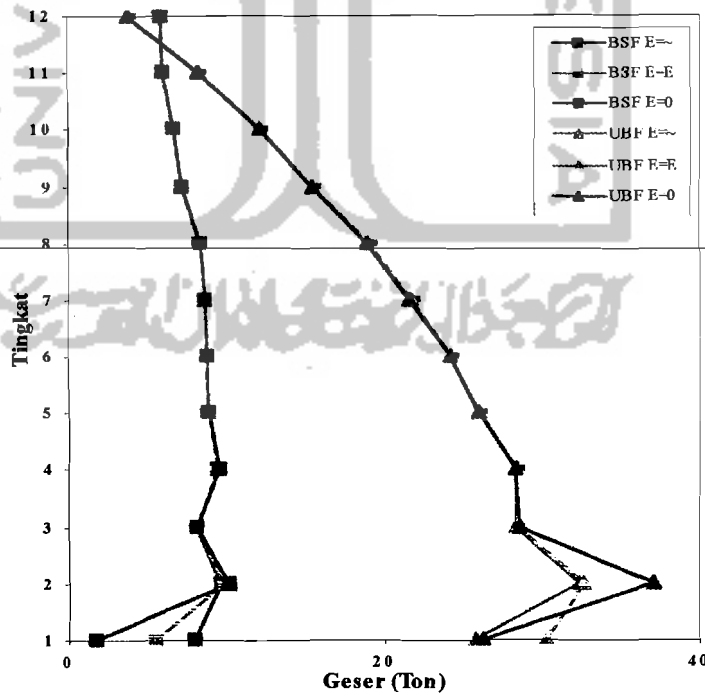
Grafik 6.45 Momen Kolom 12 Lantai Akibat Gempa ElCentro



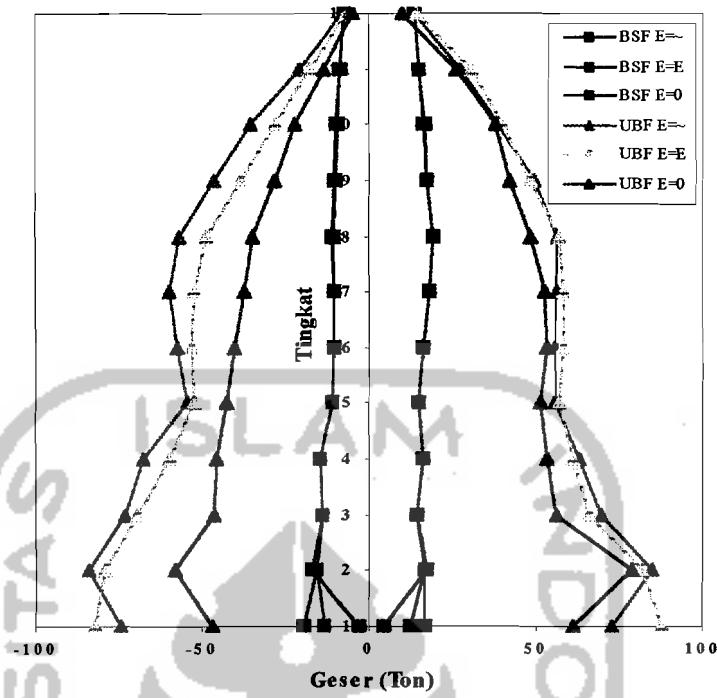
Grafik 6.46 Momen Kolom 17 Lantai Akibat Gempa Statik Ekuivalen



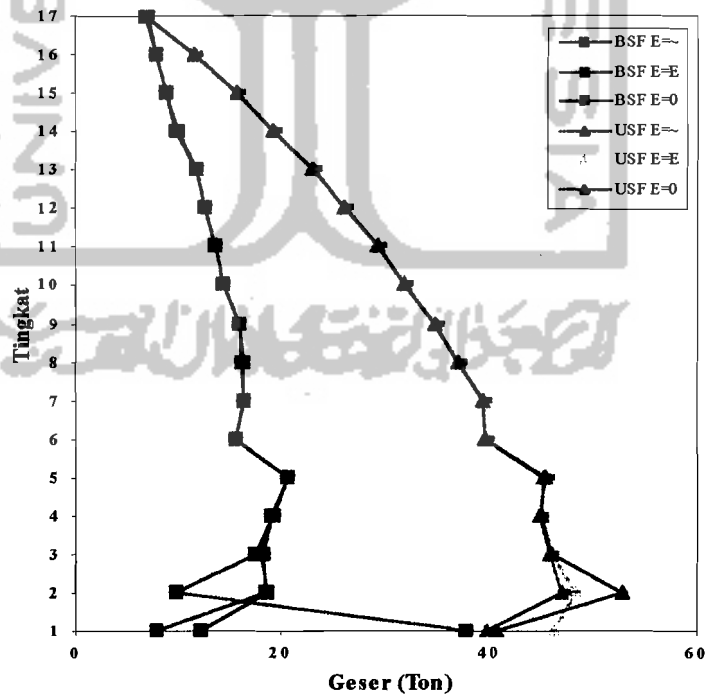
Grafik 6.51 Geser Kolom 7 Lantai Akibat Gempa ElCentro



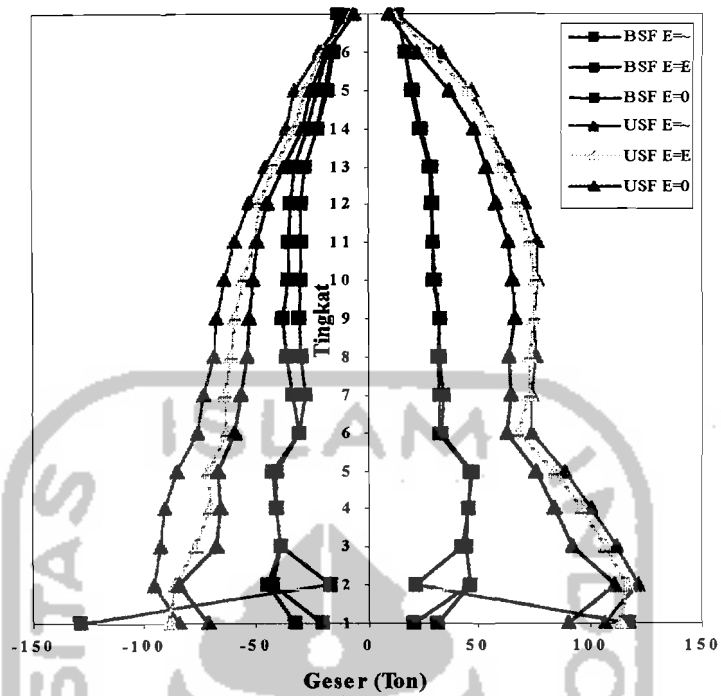
Grafik 6.52 Geser Kolom 12 Lantai Akibat Gempa Statik Ekvivalen



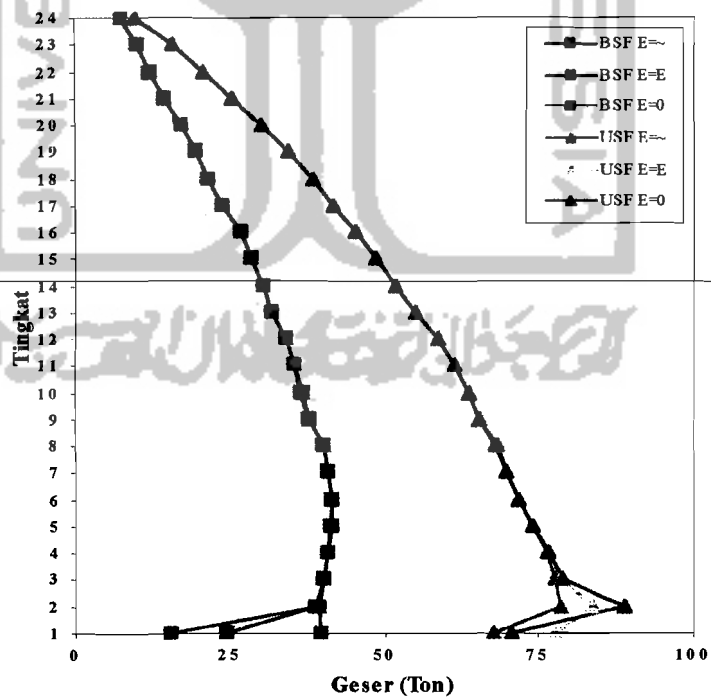
Grafik 6.53 Geser Kolom 12 Lantai Akibat Gempa ElCentro



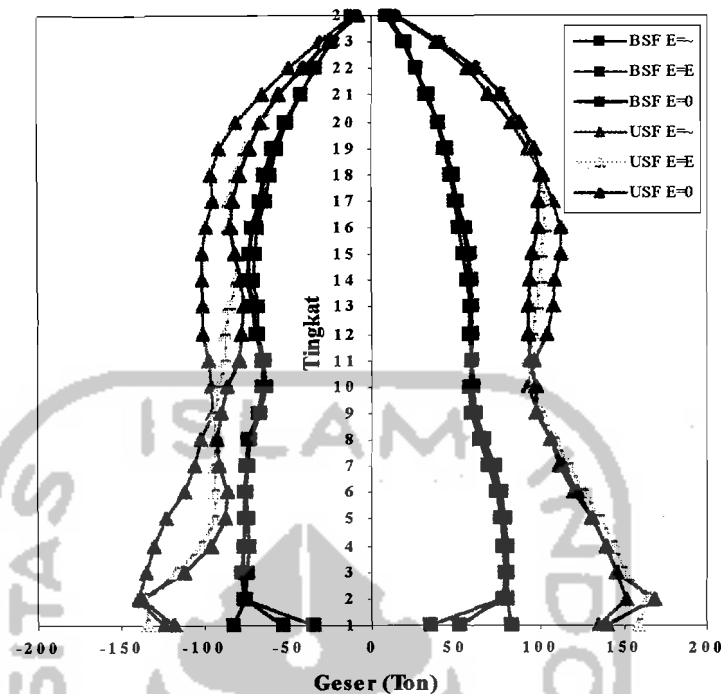
Grafik 6.54 Geser Kolom 17 Lantai Akibat Gempa Statik Ekvivalen



Grafik 6.55 Geser Kolom 17 Lantai Akibat Gempa ElCentro



Grafik 6.56 Geser Kolom 24 Lantai Akibat Gempa Statik Ekuivalen

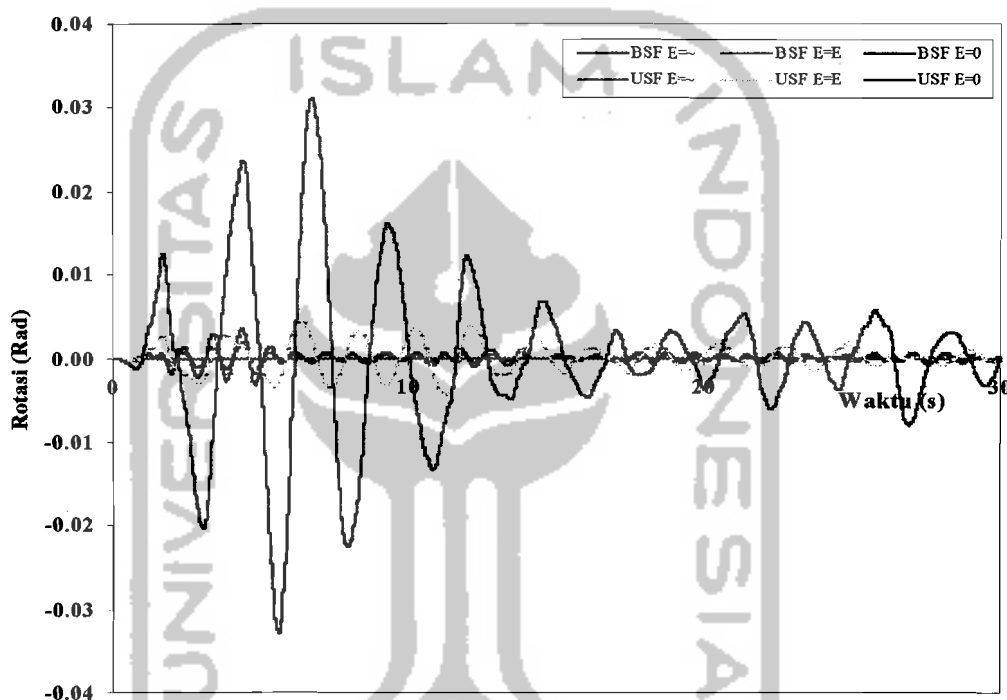


Grafik 6.57 Geser Kolom 24 Lantai Akibat Gempa ElCentro

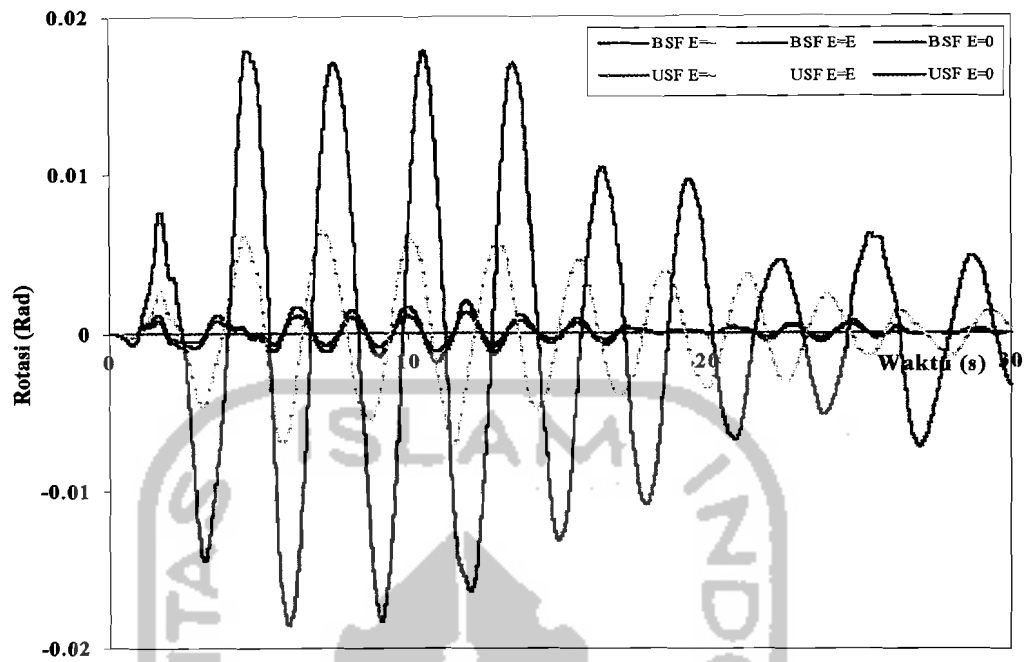
1. Semakin tinggi struktur, momen dan geser yang terjadi semakin besar.
2. Variasi nilai kekakuan balok fondasi tidak menghasilkan perbedaan momen dan geser yang signifikan pada struktur *braced frame*. Ini terlihat pada bentuk grafik yang hampir berhimpit untuk ketiga jenis kekakuan balok fondasi.
3. Pada struktur *braced frame*, perbedaan momen dan geser akibat variasi asumsi dukungan hanya terjadi pada lantai 1 saja dan momen dan geser maksimum terjadi pada $H/3$. Hal ini juga disebabkan karena nilai *inter story drift* maksimum terjadi pada tingkat tersebut.
4. Untuk struktur *unbraced frame* terjadi perbedaan momen dan geser pada tiga tingkat pertama akibat variasi asumsi dukungan yang digunakan.

6.1.5 Rotasi pada fondasi

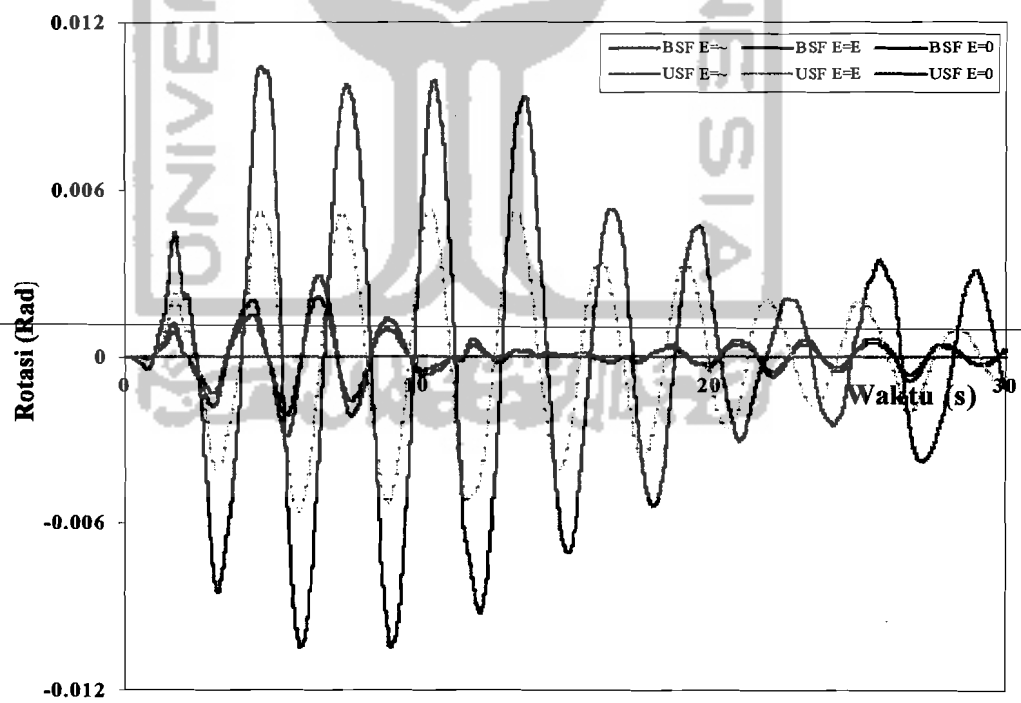
Rotasi pada fondasi yang dianalisis hanya rotasi yang terjadi selama terjadi gempa ElCentro. Hasil grafik rotasi fondasi dengan variasi kekakuan, jenis struktur dan jumlah tingkat adalah sebagai berikut :



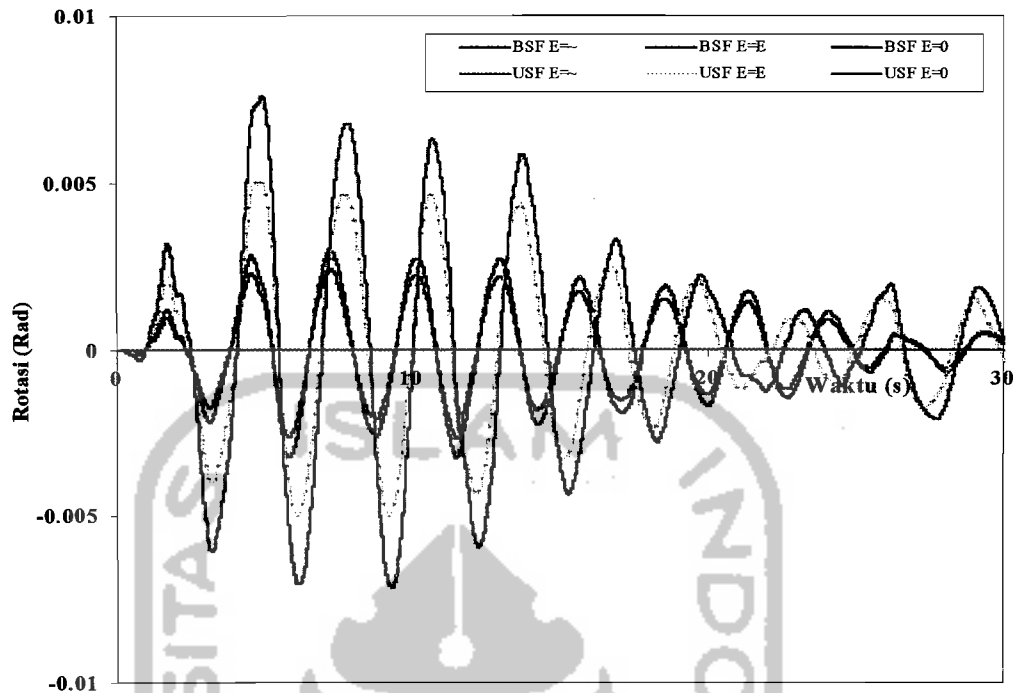
Grafik 6.58 Rotasi Fondasi Struktur 7 Lantai



Grafik 6.59 Rotasi Fondasi Struktur 12 Lantai



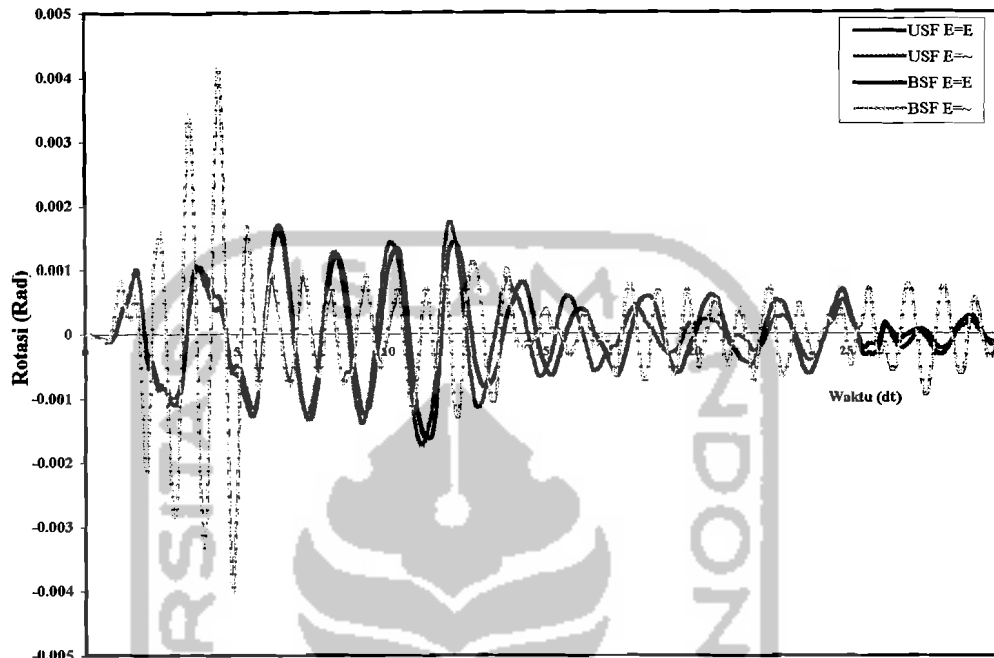
Grafik 6.60 Rotasi Fondasi Struktur 17 Lantai



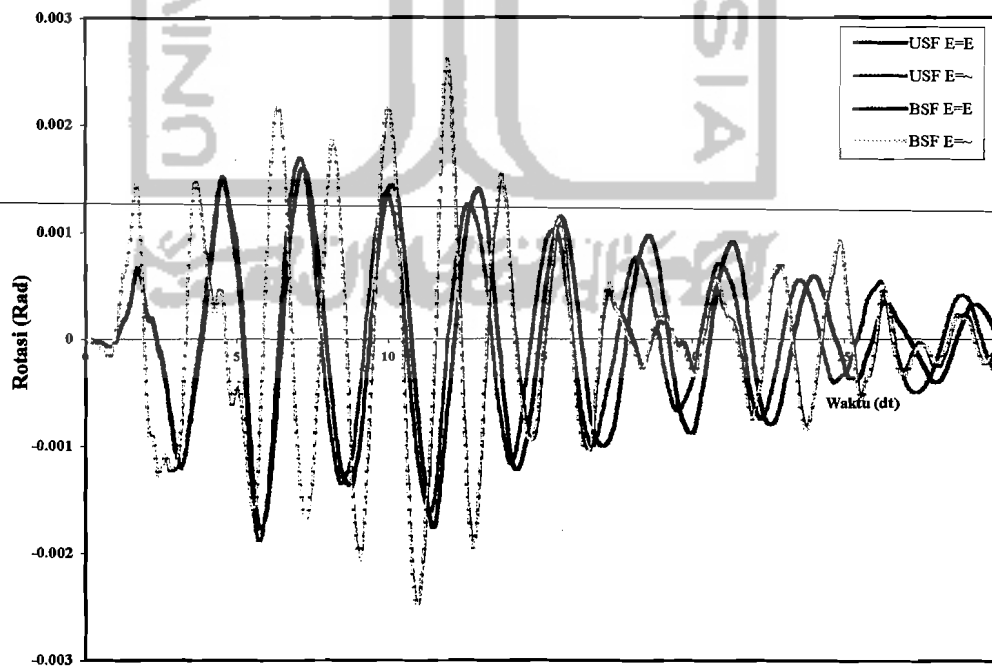
Grafik 6.61 Rotasi Fondasi Struktur 24 Lantai

1. Rotasi pada fondasi maksimum terjadi pada asumsi dukungan fondasi sendi murni.
2. Rotasi pada fondasi akan semakin kecil sesuai dengan penambahan jumlah tingkat.
3. Untuk dukungan jepit murni, nilai rotasi sangat kecil hingga mendekati nol. Hal ini karena fondasi mengalami pengekangan yang besar sehingga rotasi pada joint fondasi tidak terjadi.
4. Semakin tinggi struktur, perbedaan nilai rotasi fondasi antara struktur *unbraced frame* dan *braced frame* semakin kecil. Karena grafik simpangan yang semakin berhimpit akibat penurunan efektifitas penggunaan *bracing*, maka grafik rotasi pada fondasi juga semakin berhimpit dengan bertambahnya jumlah tingkat.

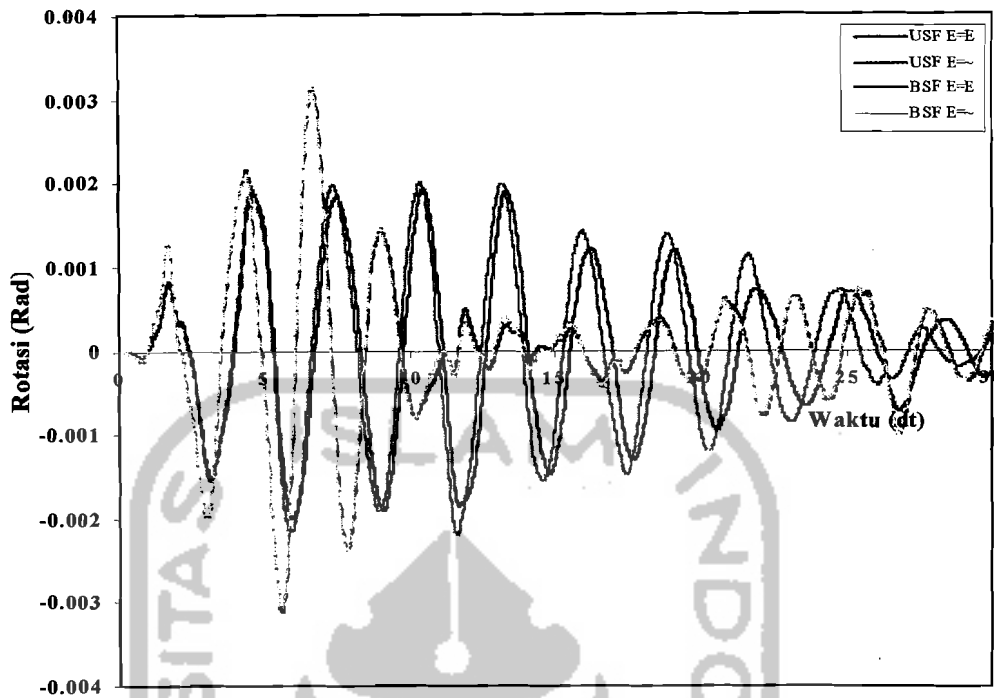
Nilai rotasi joint pada tingkat teratas (atap) akibat gempa ElCentro ditunjukkan oleh grafik berikut :



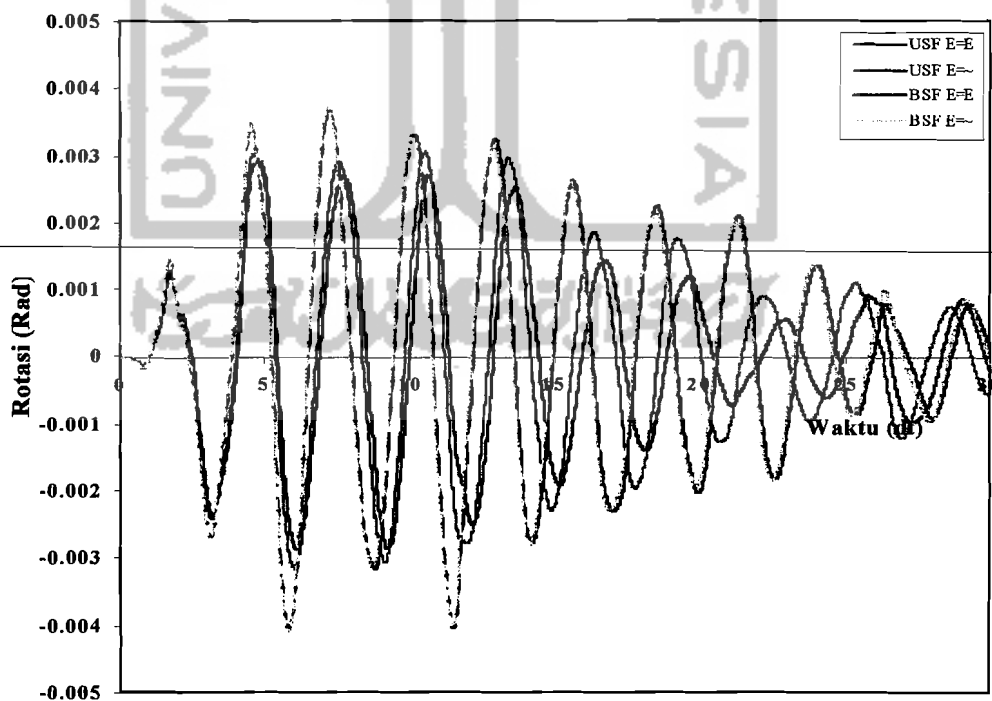
Grafik 6.62 Perbandingan Rotasi Atap 7 Lantai



Grafik 6.63 Perbandingan Rotasi Atap 12 Lantai



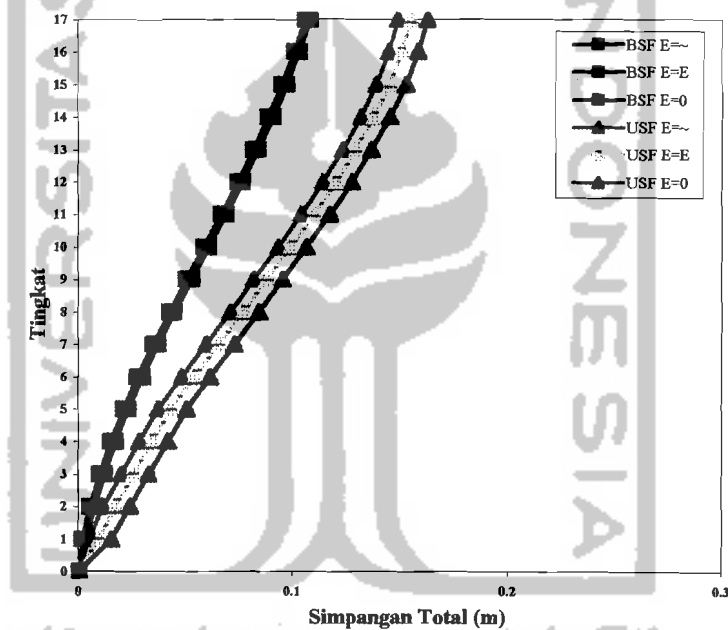
Grafik 6.64 Perbandingan Rotasi Atap 17 Lantai



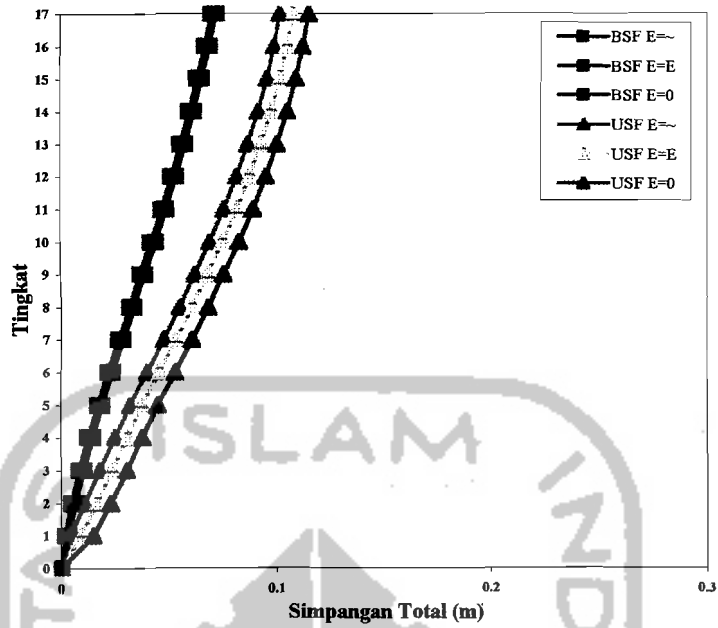
Grafik 6.65 Perbandingan Rotasi Atap 24 Lantai

6.1.6 Variasi distribusi gaya geser dasar

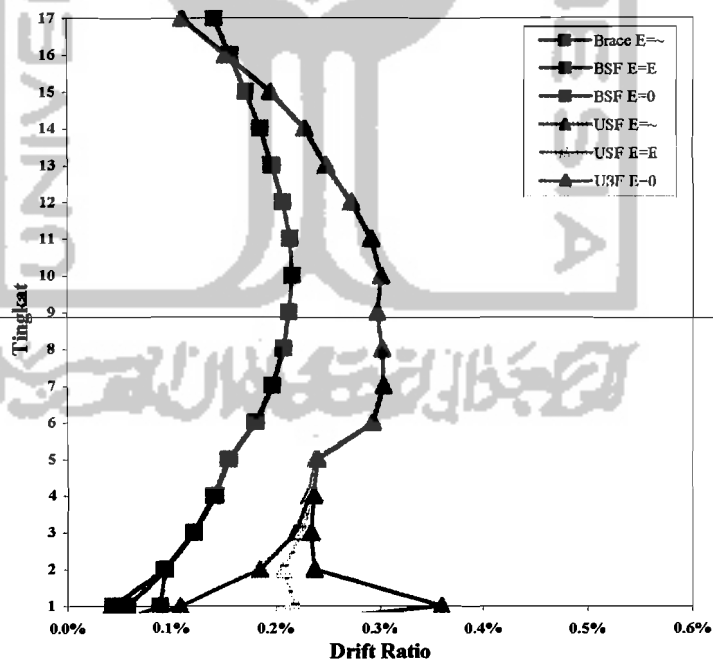
Gaya geser dasar pada metode statik ekuivalen akan didistribusikan ke masing-masing tingkat sesuai dengan perbandingan berat tingkat. Dalam penelitian ini dicoba untuk mendistribusikan gaya geser dasar dengan pola berbentuk segitiga terbalik dan merata sepanjang tingkat sehingga dihasilkan grafik simpangan, *interstory drift ratio*, momen balok dan momen kolom struktur 17 lantai sebagai berikut :



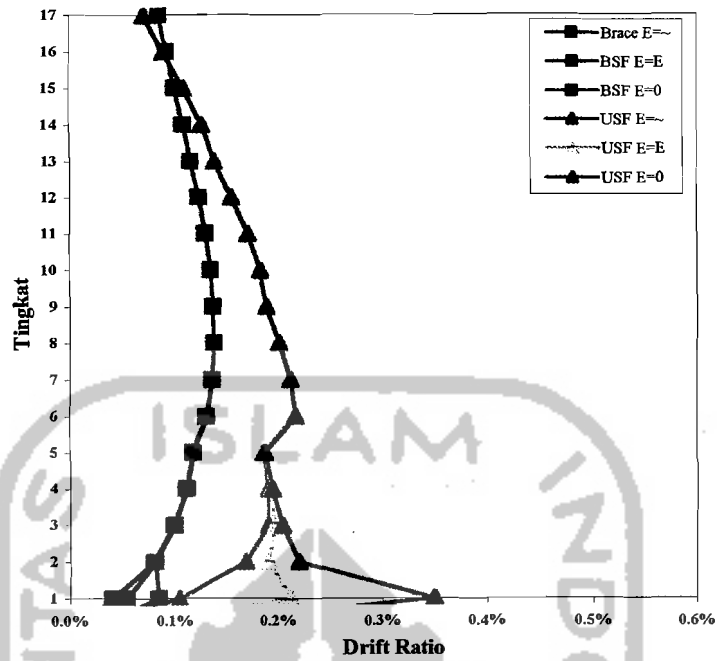
Grafik 6.66 Simpangan Dengan Distribusi Segitiga Terbalik



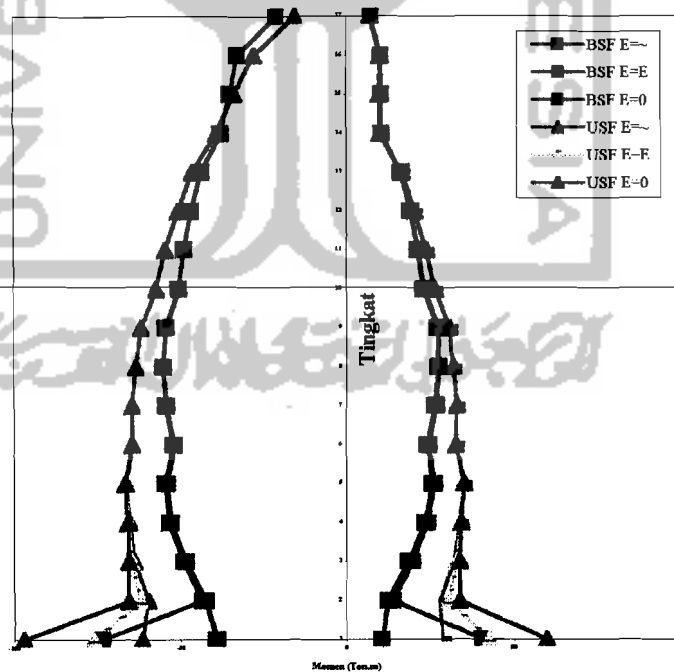
Grafik 6.67 Simpangan Dengan Distribusi Merata



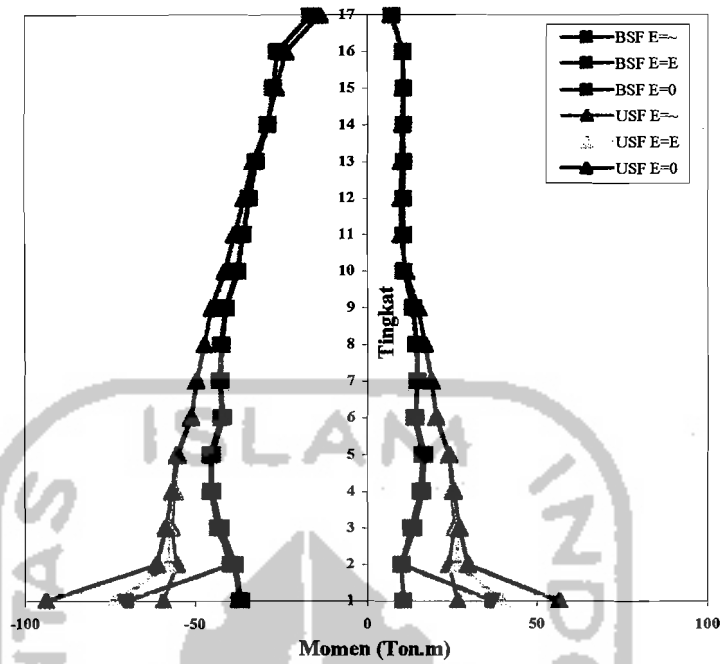
Grafik 6.68 Inter Story Drift Ratio Dengan Distribusi Segitiga Terbalik



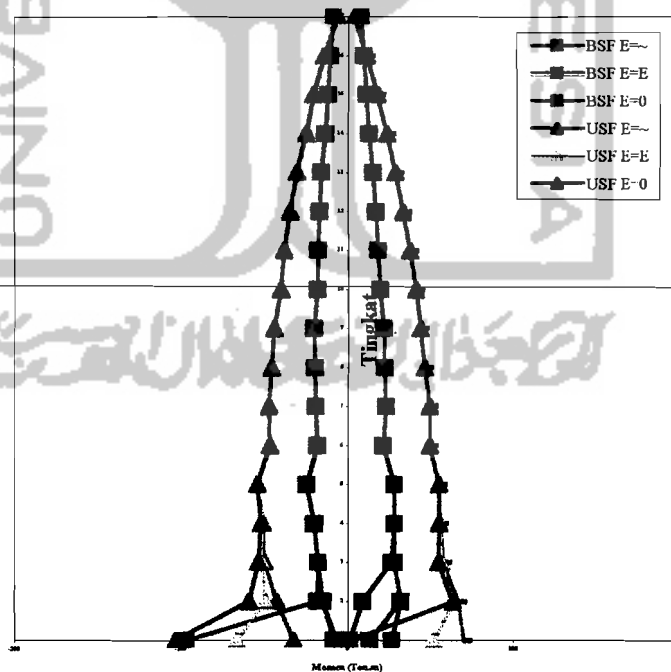
Grafik 6.69 Inter Story Drift Ratio Dengan Distribusi Merata



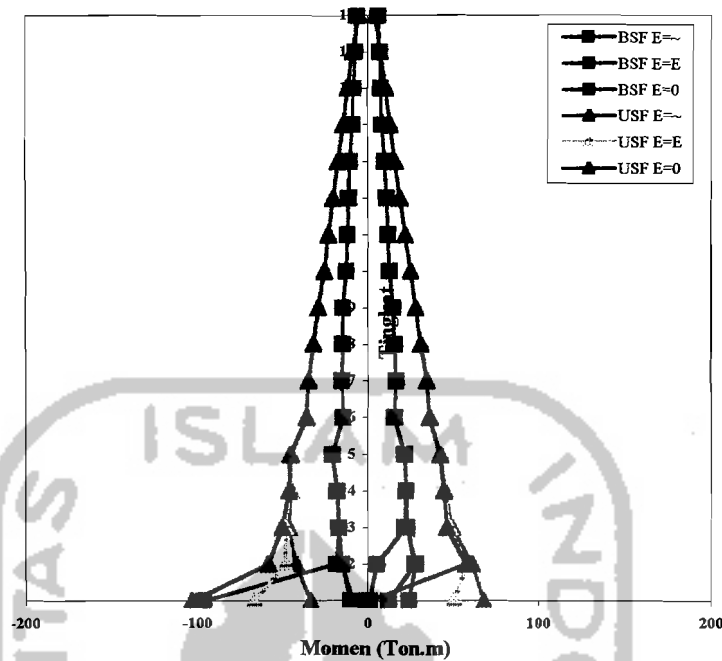
Grafik 6.70 Momen Balok Dengan Distribusi Segitiga Terbalik



Grafik 6.71 Momen Balok Dengan Distribusi Merata



Grafik 6.72 Momen Kolom Dengan Distribusi Segitiga Terbalik

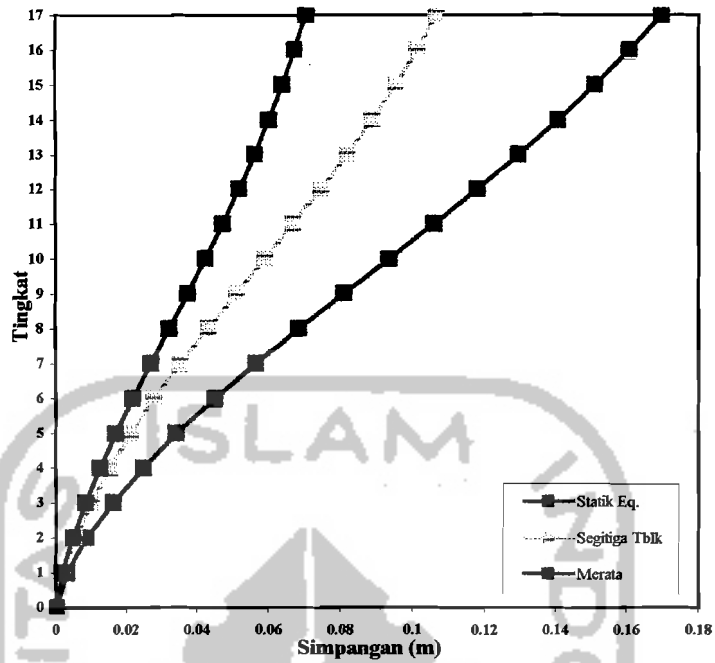


Grafik 6.73 Momen Kolom Dengan Distribusi Merata

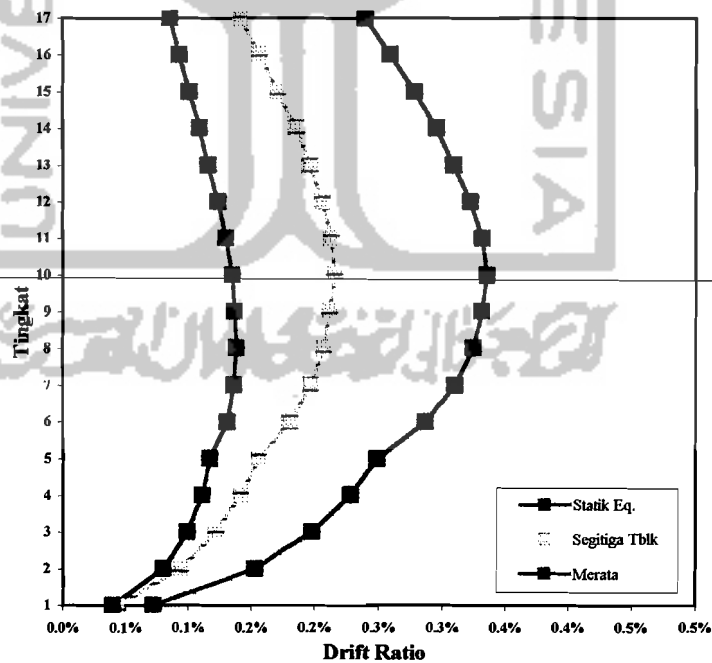
Dari grafik diatas terlihat bahwa :

1. Pola grafik respon struktur hampir sama dengan grafik respon struktur dengan metode statik ekivalen hanya saja nilainya lebih kecil.
2. Perbedaan antara respon struktur grafik diatas dengan respon struktur akibat metode statik ekivalen cukup besar sehingga metode ini hanya sesuai untuk struktur bertingkat rendah.

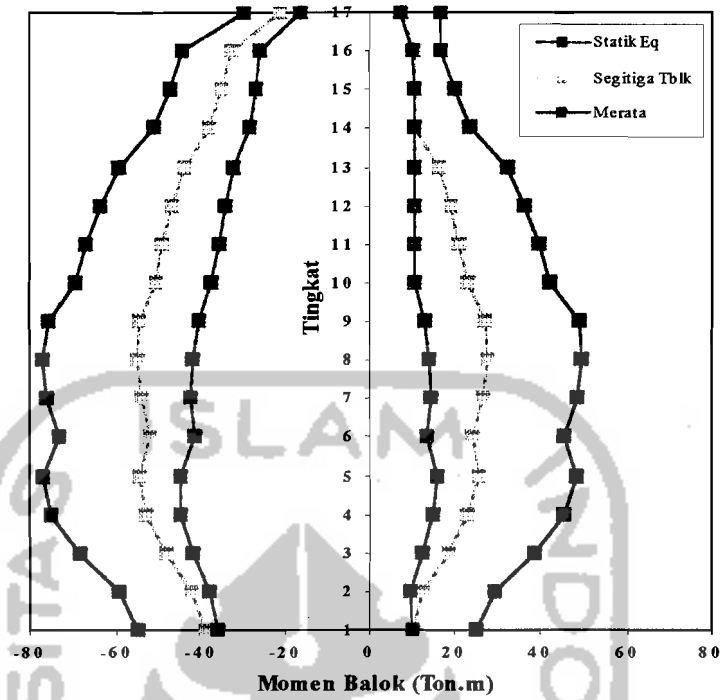
Nilai simpangan, *inter story drift ratio*, momen balok dan momen kolom untuk struktur *braced frame* dengan $E=\sim$ jika dibandingkan antara metode statik ekivalen, distribusi segitiga terbalik dan distribusi secara merata adalah sebagai berikut :



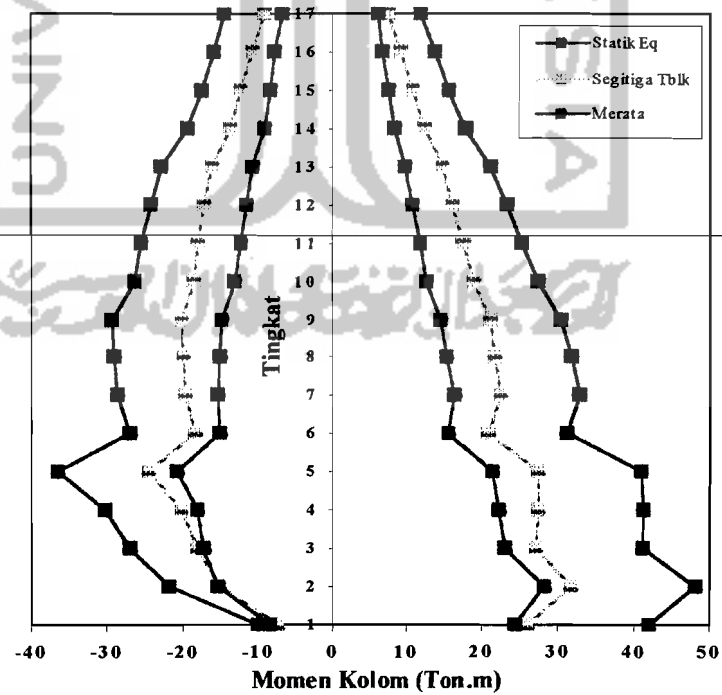
Grafik 6.74 Perbandingan Simpangan Dengan Beberapa Metode



Grafik 6.75 Perbandingan *Inter Story Drift Ratio* Dengan Beberapa Metode



Grafik 6.76 Perbandingan Momen Balok Dengan Beberapa Metode



Grafik 6.77 Perbandingan Momen Kolom Dengan Beberapa Metode

6.2 Hasil Desain

Elemen struktur yang didesain adalah struktur baja 17 lantai dengan nilai Modulus Elastis balok fondasi $E = 2,9.10^{28}$ ksi sehingga asumsi dukungan pada fondasi dapat dianggap jepit. Beban gempa menggunakan metode statik ekuivalen yang dipakai sebagai beban gempa rencana. Kombinasi pembebanan mengacu pada kombinasi pembebanan AISC-LRFD93. Desain menggunakan konsep *strong column-weak beam* dengan prinsip desain kapasitas. Portal baja yang didesain adalah portal *open frame* dengan pengaku (*braced frame*) ataupun tanpa pengaku (*unbraced frame*).

6.2.1 Perencanaan balok

Perencanaan balok merupakan perencanaan elemen struktur yang mengalami gaya geser dan momen lentur. Momen rencana pada balok didapatkan dengan membaca nilai momen pada sendi plastis kemudian didistribusi sehingga didapatkan nilai momen yang relatif merata. Hal ini bertujuan agar tinggi profil balok dapat dimanfaatkan secara optimal. Nilai momen rencana dan gaya geser rencana pada balok baik pada *braced frame* maupun *unbraced frame* ditampilkan pada tabel berikut :

Tabel 6.1 Kapasitas Profil Balok (*UnBraced E=∞*)

Lantai	Profil	Mu (kg.m)	ϕM_n (kg.m)	Vu (kg)	ϕV_n (kg)	$\frac{\phi M_n}{Mu}$	$\frac{\phi V_n}{Vu}$
14 - 17	W16X77	32879,39	56043,58	23167,40	66339,71	1,7045	2,8635
10 - 13	W16X89	54250,44	65384,17	31399,38	77611,53	1,2052	2,4718
6 - 9	W16X100	68391,93	73977,52	36891,92	87617,28	1,0817	2,3750
1 - 5	W16X100	72962,00	73977,52	38794,38	87617,28	1,0139	2,2585

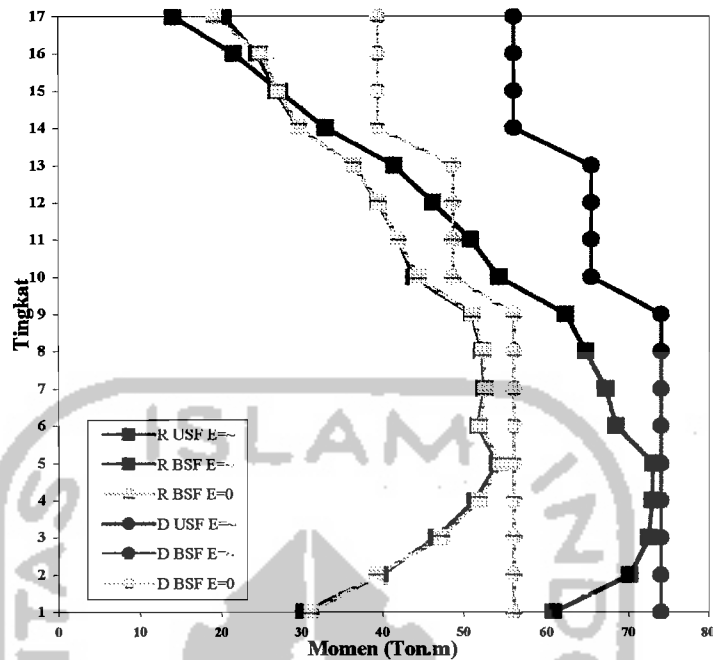
Tabel 6.2 Kapasitas Profil Balok (*Braced E=∞*)

Lantai	Profil	Mu (kg.m)	ϕ Mn (kg.m)	Vu (kg)	ϕ Vn (kg)	ϕ Mn Mu	ϕ Vn Vu
14 - 17	W16X57	29617,22	39230,50	21932,85	62353,13	1,3246	2,8429
10 - 13	W16X67	43893,99	48571,10	27469,93	56929,24	1,1066	2,0724
6 - 9	W16X77	52368,72	56043,58	30808,01	66339,71	1,0702	2,1533
1 - 5	W16X77	54080,94	56043,58	31606,80	66339,71	1,0363	2,0990

Tabel 6.3 Kapasitas Profil Balok (*Braced E=0*)

Lantai	Profil	Mu (kg.m)	ϕ Mn (kg.m)	Vu (kg)	ϕ Vn (kg)	ϕ Mn Mu	ϕ Vn Vu
14 - 17	W16X57	29936,31	39230,50	21941,21	62353,13	1,3105	2,8418
10 - 13	W16X67	44261,34	48571,10	27495,49	56929,24	1,0974	2,0705
6 - 9	W16X77	52542,89	56043,58	30874,14	66339,71	1,0666	1,1837
1 - 5	W16X77	54418,61	56043,58	31735,34	66339,71	1,0299	2,0904

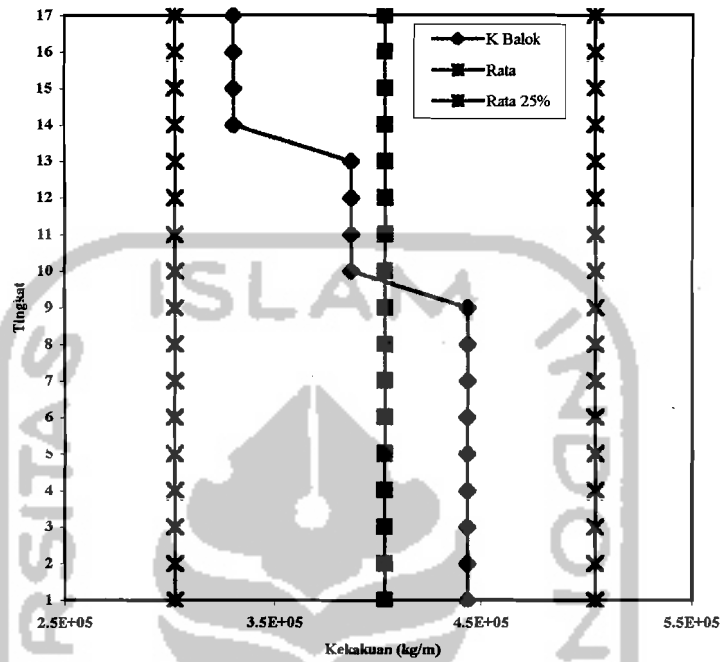
Untuk lebih jelasnya, perbandingan nilai momen rencana dengan momen kapasitas hasil desain balok dapat dilihat pada grafik dibawah ini. Notasi yang dipakai adalah USF adalah *UnBraced Steel Frame*, BSF adalah *Braced Steel Frame* serta R dan D masing-masing adalah Rencana dan Desain.



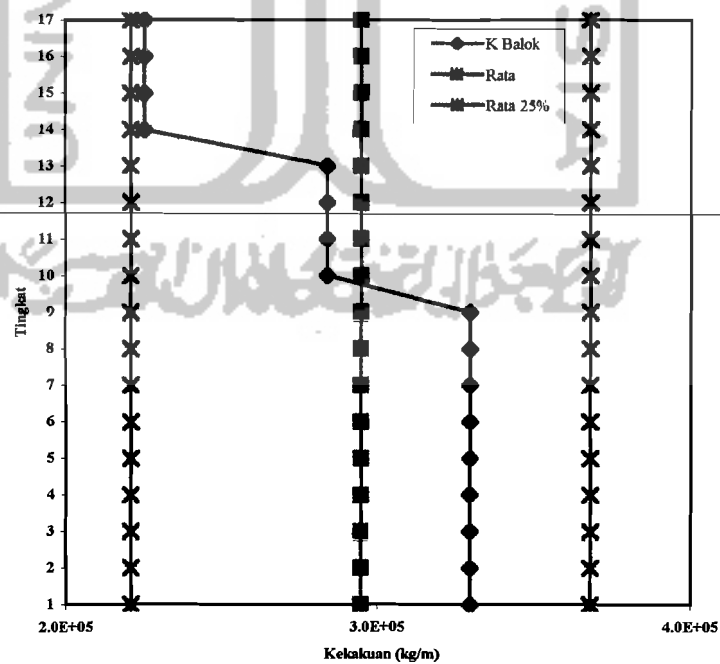
Grafik 6.78 Perbandingan Momen Balok

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa momen pada balok struktur *braced frame* jauh lebih kecil daripada momen pada balok struktur *unbraced frame*. Hal ini disebabkan karena pemakaian *bracing* atau pengaku yang dapat berfungsi mengurangi simpangan lateral secara efektif sehingga momen pada struktur dapat berkurang secara drastis. Perencanaan yang paling ekonomis terdapat pada lantai bawah yang memiliki nilai momen besar sehingga didapatkan desain profil yang efisien karena memiliki selisih momen desain yang kecil dengan besarnya gaya momen yang ditahan. Akan tetapi balok pada lantai atas memiliki kapasitas yang jauh diatas gaya yang harus ditahannya. Hal ini disebabkan karena adanya peraturan dari PPTGIUG 1987 yang mensyaratkan bahwa suatu elemen struktur tidak boleh memiliki kekakuan lebih dari 25 % nilai kekakuan rata-rata total elemen struktur

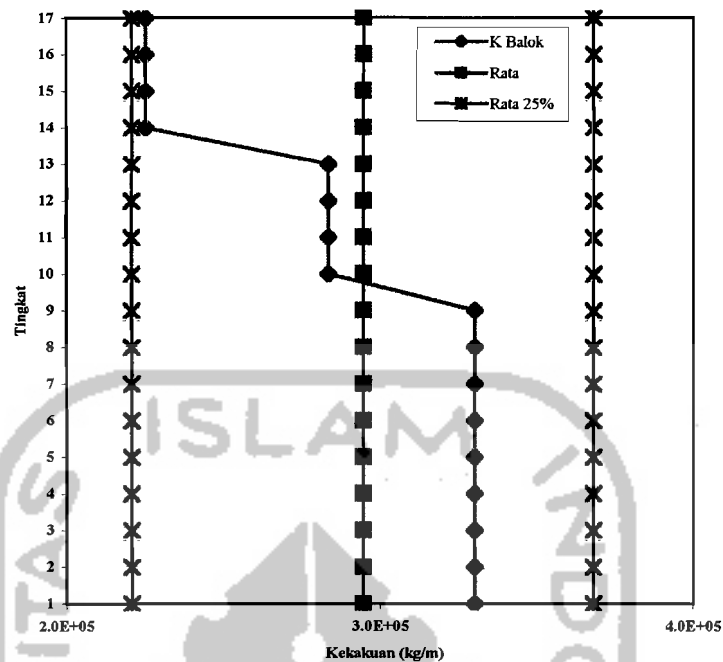
tersebut. Besarnya nilai kekakuan dari balok hasil dari desain ini ditunjukkan oleh grafik di bawah ini :



Grafik 6.79 Kekakuan Balok (*UnBraced E=∞*)



Grafik 6.80 Kekakuan Balok (*Braced E=∞*)



Grafik 6.81 Kekakuan Balok (*Braced E=0*)

Selain itu terlihat bahwa variasi kekakuan balok fondasi tidak mempengaruhi ukuran profil balok yang diperlukan karena selisih momen rencana antara struktur *Braced Frame* dengan $E=\infty$ dan $E=0$ relatif kecil.

6.2.2 Perencanaan kolom

Momen rencana kolom didapatkan dengan membandingkan antara momen hasil analisis struktur SAP2000 dan momen hasil perhitungan dengan memperhitungkan pengaruh momen plastis balok. Dari kedua nilai ini diambil yang terbesar untuk digunakan sebagai momen rencana kolom. Nilai momen rencana dan momen kapasitas hasil desain ditunjukkan oleh tabel berikut ini :

Tabel 6.4 Kapasitas Profil Kolom (*UnBrace E=∞*)

Lt	Kolom	Mu	ϕ Mn	Pu	ϕ Pn	Intr.
14 - 17	W24X229	188174,2677	252569,7158	4812,906	525431,9514	0,7496
10 - 13	W24X250	158956,5624	277976,1370	70903,130	450564,3096	0,6505
6 - 9	W24X279	176578,1784	311975,9064	246724,000	510477,4184	0,9864
1 - 4	W24X335	235013,4102	381096,3168	422051,100	853535,7992	1,0000

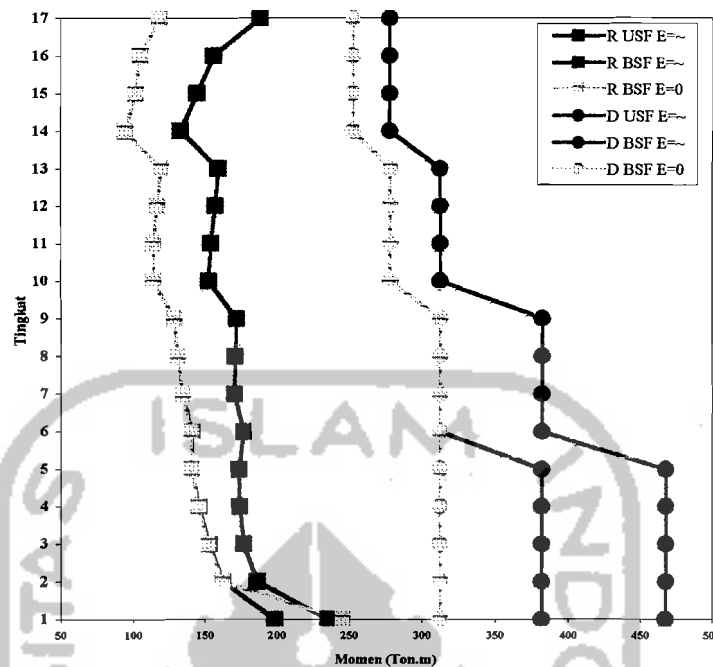
Tabel 6.5 Kapasitas Profil Kolom (*Brace E=∞*)

Lt	Kolom	Mu	ϕ Mn	Pu	ϕ Pn	Intr.
14 - 17	W24X250	118097,0561	277976,1370	8668,029	357470,8832	0,4370
10 - 13	W24X279	118945,1789	311975,9064	39387,480	406468,0614	0,4297
6 - 9	W24X335	140442,4938	381096,3168	257580,200	394256,5056	0,9809
1 - 4	W24X408	198168,0762	467029,8000	578071,200	996792,6844	0,9571

Tabel 6.6 Kapasitas Profil Kolom (*Brace E=0*)

Lt	Kolom	Mu	ϕ Mn	Pu	ϕ Pn	Intr.
14 - 17	W24X229	118088,6076	252569,7158	8687,364	525431,9514	0,4741
10 - 13	W24X250	118966,2082	277976,1370	39221,27	357470,8832	0,4828
6 - 9	W24X279	140246,175	311975,9064	256082,10	406468,0614	1,0000
1 - 4	W24X279	244689,0132	311975,9064	85135,16	406468,0614	0,8478

Untuk lebih jelasnya, perbandingan antara momen rencana kolom dan momen hasil desain ditunjukkan oleh grafik berikut ini :

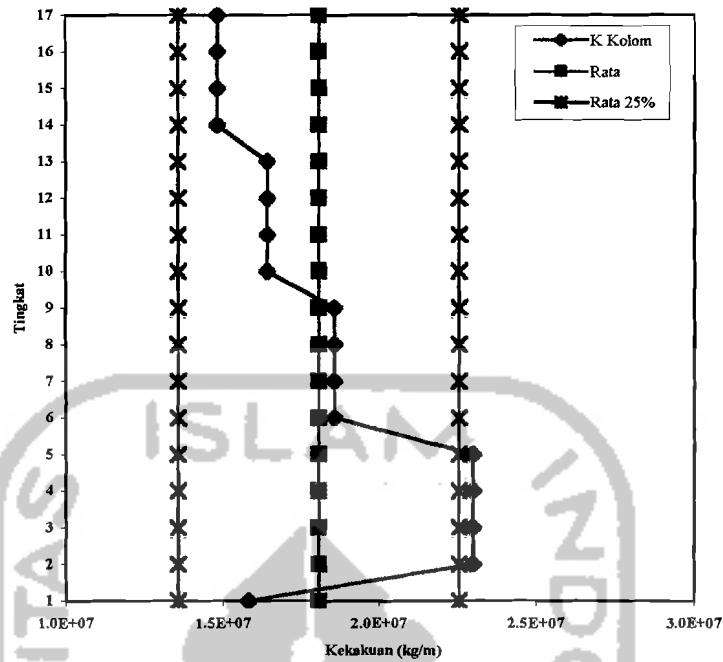


Grafik 6.82 Perbandingan Momen Kolom

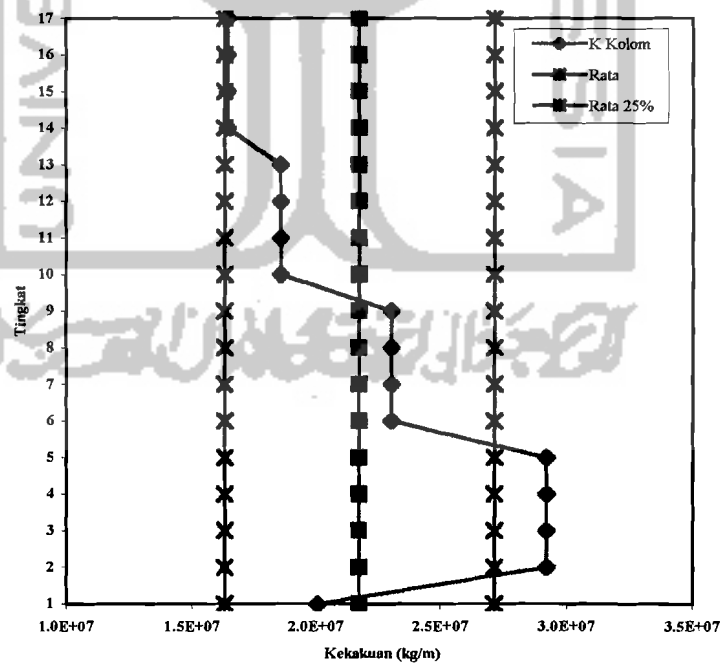
Profil kolom terbesar terdapat pada lantai bawah karena memiliki nilai momen yang paling besar. Akan tetapi kolom merupakan elemen yang dalam perencanaannya didapatkan dari nilai interaksi antara gaya aksial nominal dan momen nominal dari penampang profil kolom dengan gaya aksial ultimit dan momen ultimit yang bekerja pada kolom tersebut. Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa profil pada *braced frame* justru lebih besar dari profil kolom yang digunakan pada struktur *unbraced*. Hal ini disebabkan karena gaya aksial kolom pada *braced frame* lebih besar 36,97 % dari gaya aksial kolom *unbraced frame* walaupun momen pada kolom *braced* lebih kecil 15,68 % dari momen kolom *unbraced frame*. Pembesaran nilai gaya aksial ini disebabkan karena perbedaan gaya gempa yang bekerja pada struktur. Gaya geser dasar V yang didistribusikan menjadi gaya gempa pada struktur *braced*

frame 50,36 % lebih besar dari gaya geser dasar V pada *unbraced frame*. Perbedaan nilai gaya geser dasar V ini disebabkan karena adanya perbedaan berat total struktur karena tambahan berat *bracing* dan perbedaan nilai *fundamental period* atau waktu getar alami struktur T yang mengakibatkan perbedaan nilai koefisien gempa dasar C . Semakin kecil nilai T maka semakin besar nilai C . Selain itu seperti pada balok, terdapat peraturan dari PPTGIUG 1987 yang mensyaratkan bahwa suatu elemen struktur tidak boleh memiliki kekakuan lebih dari 25% nilai kekakuan rata-rata total elemen struktur tersebut sehingga banyak kolom pada lantai atas yang didesain dengan nilai interaksi jauh lebih kecil dari batas maksimum interaksi yang disyaratkan yaitu 1,0.

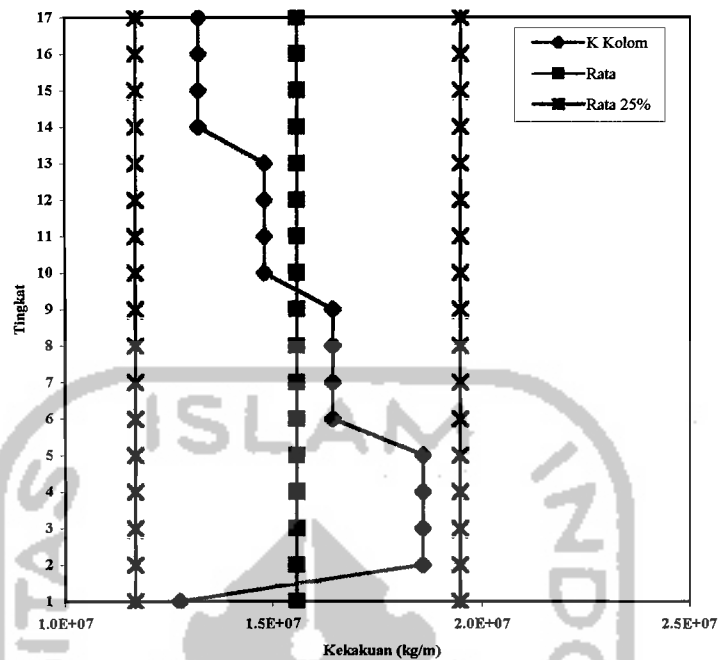
Variasi kekakuan balok fondasi pada struktur *Braced Frame* dengan $E=0$ relatif lebih kecil daripada struktur dengan $E=\infty$. Hal ini disebabkan karena dengan $E=0$ nilai gaya aksial relatif mengecil walaupun terjadi pembesaran nilai momen.



Grafik 6.83 Kekakuan Kolom (*UnBraced E=∞*)



Grafik 6.84 Kekakuan Kolom (*Braced E=∞*)



Grafik 6.85 Kekakuan Kolom (*Braced E=0*)

Dari grafik kekakuan ditunjukkan bahwa kekakuan kolom bawah lebih dari batas 25 % kekakuan rata-rata. Hal ini disebabkan karena perbedaan nilai inersia kolom lantai 1-6 dengan lantai di atasnya yang cukup tajam sehingga terjadi perbedaan kekakuan yang tajam pula. Pada kolom struktur *unbraced frame* terjadi selisih dengan batas 25% kekakuan rata-rata sebesar 1,9563% sedangkan pada struktur *braced frame* sebesar 7,6688%.

6.2.3 Perencanaan *bracing*

Pada perencanaan *bracing* gaya yang paling besar dan digunakan dalam perencanaan adalah gaya aksial tekan. Selain nilainya lebih besar dari gaya aksial tarik, gaya tekan ini dapat mengakibatkan *bracing* tersebut mengalami tekuk, baik tekuk lokal maupun tekuk lateral. Oleh karena itu dalam perencanaan *bracing*, kondisi tersebut harus diperhatikan. Dalam perencanaan elemen tekan, tingkat kelangsingan dari elemen tersebut harus

dikontrol karena elemen tekan yang terlalu panjang dengan dimensi penampang yang relatif kecil mengakibatkan elemen tersebut menjadi elemen yang langsing. Faktor inilah yang memiliki pengaruh besar dalam perencanaan dimensi *bracing*. Untuk itulah dalam perencanaan *bracing*, panjang yang diperhitungkan adalah setengah dari panjang total karena pertemuan persilangan dari *bracing* ini dipasang sambungan sehingga dapat mengurangi panjang dari *bracing* itu sendiri.

6.2.4 Perencanaan sambungan balok-kolom

Sambungan balok dengan kolom merupakan sambungan pada joint yang dianggap kaku. Asumsi sambungan kaku tersebut didasarkan pada konsep *strong column-weak beam* dimana perlu dihindarkan terjadinya rotasi sendi plastis pada sambungan joint khususnya pada sambungan joint. Terjadinya rotasi sendi plastik pada sambungan balok dengan kolom dapat mengakibatkan terjadinya pola keruntuhan pada sambungan sehingga dapat terjadi fenomena *soft story mechanism*. Sambungan balok dengan kolom digunakan baut yang dalam pelaksanaannya lebih mudah daripada sambungan las.

Sambungan baut pada sambungan balok dengan kolom merupakan sambungan yang direncanakan untuk menahan beban momen dengan geser pada balok. Akibat momen pada balok akan terjadi tegangan tarik dan tekan pada plat sambung. Oleh karena itu perencanaan sambungan balok dengan kolom ini direncanakan berdasarkan kapasitas tarik pada baut. Tegangan tarik ini didapatkan dari kombinasi antara momen dengan geser pada sambungan.

Konfigurasi sambungan balok dengan kolom dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 6.7 Desain Sambungan Balok-Kolom (*UnBraced*)

Tingkat	L Plat (in)	B Plat (in)	Le (in)	s (in)	d baut (in)	Σ Baut
14 - 17	20	13	4	4	1,000	8
10 - 13	20	13	4	4	1,125	8
6 - 9	20	13	4	4	1,125	8
1 - 5	20	13	4	4	1,250	8

Tabel 6.8 Desain Sambungan Balok-Kolom (*Braced*)

Tingkat	L Plat (in)	B Plat (in)	Le (in)	s (in)	d baut (in)	Σ Baut
14 - 17	20	13	4	4	0,875	8
10 - 13	20	13	4	4	1,000	8
6 - 9	20	13	4	4	1,000	8
1 - 5	20	13	4	4	1,000	8

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa dengan panjang plat L, lebar plat B, jarak baut ke tepi Le, jarak antar baut s dan jumlah baut yang sama terjadi perbedaan ukuran diameter baut. Hal ini disebabkan karena sambungan pada balok dengan kolom ini merupakan sambungan yang didesain berdasarkan interaksi antara momen dan geser sehingga perbedaan nilai kedua komponen gaya tersebut akan mempengaruhi besarnya beban yang harus ditahan oleh sambungan. Selain itu diameter baut juga berpengaruh terhadap kekuatan tarik dari baut itu sendiri sehingga semakin kecil diameter baut semakin kecil pula besarnya gaya tarik yang mampu ditahan oleh baut. Artinya semakin kecil gaya tarik yang harus ditahan oleh baut maka semakin kecil pula diameter baut yang dibutuhkan.

6.2.5 Perencanaan sambungan kolom-kolom

Sambungan kolom dengan kolom direncanakan untuk menahan momen dan geser. Akan tetapi perencanaan sambungan dilakukan secara terpisah. Sambungan pada sayap yang direncanakan untuk menahan momen dihitung sendiri dan sambungan pada badan yang direncanakan untuk menahan geser dihitung sendiri bukan merupakan bentuk interaksi gaya.

Dari perhitungan di Bab V didapatkan bahwa pada sambungan sayap, kapasitas geser pada baut merupakan perencanaan kekuatan sambungan yang memiliki nilai paling kecil. Perencanaan lain didasarkan pada kekuatan pada plat sambung dan pada elemen yang disambung. Hal ini disebabkan karena pada sambungan geser baut, kekuatan hanya tergantung dari kekuatan geser satu baut dan jumlah baut total. Sedangkan jika didasarkan pada kekuatan plat sambung, maka perhitungan berdasarkan konfigurasi penempatan baut (jarak baut ke tepi dan jarak antar baut) yang dapat menimbulkan patah geser pada plat. Perhitungan yang didasarkan pada kekuatan elemen yang disambung, maka kekuatan sambungan bergantung pada diameter lubang baut, tebal plat dan tegangan tarik maksimum F_u dari plat sambung dan elemen yang disambung. Akan tetapi dengan pemakaian konfigurasi sambungan yang berbeda maka kondisi diatas dapat berubah.

Untuk sambungan pada badan kolom, kekuatan sambungan hanya didasarkan pada kuat geser dari baut saja, karena sambungan pada badan kolom merupakan sambungan geser. Hasil dari perhitungan sambungan kolom dengan kolom ditunjukkan pada tabel berikut :

Tabel 6.9 Desain Sambungan Kolom-Kolom (*UnBraced*)

Lt.	Sayap					Badan				
	P	L	t	db	Σ	P	L	t	db	Σb
14-17	36	13	1	1,125	12	24	12	1	0,875	8
10-13	36	13	1	1,375	12	24	12	1	1,125	8
6-9	36	13	1	1,500	12	24	12	1	1,125	8
1-5	36	13	1	1,500	12	24	12	1	1,250	8

Tabel 6.10 Desain Sambungan Kolom-Kolom (*Braced*)

Lt.	Sayap					Badan				
	P	L	t	db	Σ	P	L	T	db	Σb
14-17	36	13	1	0,875	10	24	12	1	0,625	8
10-13	36	13	1	1,000	10	24	12	1	0,750	8
6-9	36	13	1	1,125	10	24	12	1	0,875	8
1-5	36	13	1	1,000	10	24	12	1	0,750	8

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa pada struktur *unbraced frame* dengan kenaikan tingkat, diameter baut yang digunakan semakin mengecil. Hal ini disebabkan karena momen pada kolom semakin keatas semakin kecil akibatnya gaya tarik sambungan sayap juga semakin kecil. Untuk struktur *braced frame* pada sambungan lantai 6-9 terjadi kenaikan diameter baut. Ini terjadi akibat kenaikan momen kolom pada lantai tersebut. Momen sambungan pada lantai 1-5 sebesar 3857,0553 k.in yang mengakibatkan gaya tarik sambungan sayap kolom sebesar 135,4560 kips sedangkan pada lantai 6-9 momen sambungan sebesar 3901,8185 k.in yang mengakibatkan gaya tarik pada sambungan sayap sebesar 141,7812 kips. Sambungan dengan konfigurasi seperti pada tabel dengan memakai baut diameter 1 in memiliki kapasitas

geser sebesar 141,300 kips sedangkan untuk diameter 1 1/8 memiliki kapasitas geser sebesar 178,8328 kips.

6.2.6 Perencanaan sambungan pada pengaku (*bracing*)

Sambungan pada *bracing* didesain berdasarkan gaya tarik maksimum. Gaya tarik ini sebagai dasar perencanaan karena memiliki komponen gaya tarik horisontal sehingga terjadi gaya tarik pada plat sambung dan baut. Gaya geser vertikal akibat gaya aksial yang dipakai sebagai dasar perencanaan adalah gaya geser akibat gaya tekan maksimum. Gaya tekan pada sambungan diabaikan karena sambungan dianggap dapat menahan gaya tekan. Jenis sambungan geser antara plat dengan kolom dan antara plat sambung dengan *bracing* memiliki tipe yang sama dengan sambungan pada sayap kolom yaitu sambungan geser.

6.2.7 Perencanaan plat dasar fondasi

Plat dasar merupakan struktur yang digunakan untuk menghubungkan profil kolom dengan fondasi. Plat dasar ini direncanakan untuk menahan gaya aksial, geser dan momen pada kolom. Hasil desain plat dasar fondasi dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 6.11 Desain Plat Dasar Fondasi

Struktur	H Plat	B Plat	T Plat	d Baut	Σ Baut
<i>UnBraced</i>	45"	15"	7 1/2"	1 1/2"	18
<i>Braced</i>	45"	15"	3"	1 1/2"	3

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa pada struktur *unbraced frame* justru jumlah baut dan ketebalan plat lebih besar dari struktur *braced frame*.

Hal ini disebabkan karena nilai momen dan nilai geser yang besar sehingga tegangan tarik dan geser pada baut serta gaya tekan pada plat relatif besar. Akibatnya dimensinya menjadi besar. Pada struktur *braced frame*, momen dan geser yang terjadi lebih kecil walaupun nilai gaya aksialnya lebih besar sehingga dimensi plat dasar relatif lebih kecil. Karena dimensi plat dasar terlalu besar, maka disarankan menggunakan plat dasar berpengaku. Analisisnya menggunakan pendekatan struktur kantilever.

6.2.8 Perencanaan *panel zone*

Panel zone merupakan suatu pengaku profil yang berfungsi untuk mencegah terjadinya tekuk pada sayap dan atau badan kolom akibat momen pada balok. Luasan *panel zone* sangat tergantung pada dimensi profil kolom dan dimensi profil kolom serta kapasitas momen pada balok. Hasil perencanaan *panel zone* ditunjukkan oleh tabel berikut :

Tabel 6.12 Dimensi *Panel Zone (UnBraced)*

Tingkat	A_{st} (in ²)	b min (in)	t min (in)	Dimensi (LxT)	A_s (in ²)
14 - 17	3,1189	2,8517	0,3800	3 ½ x 1	3,5
10 - 13	5,0586	2,9350	0,4375	5 ½ x 1	5,5
6 - 9	5,6195	2,8950	0,4925	6 x 1	6,0
1 - 5	3,3148	2,785	0,4925	3 ½ x 1	3,5

Tabel 6.13 Dimensi *Panel Zone (Braced)*

Tingkat	Ast (in ²)	b min (in)	t min (in)	Dimensi (LxT)	As (in ²)
14 - 17	Tidak Perlu	Tidak Perlu	Tidak Perlu	Tidak Perlu	Tidak Perlu
10 - 13	Tidak Perlu	Tidak Perlu	Tidak Perlu	Tidak Perlu	Tidak Perlu
6 - 9	Tidak Perlu	Tidak Perlu	Tidak Perlu	Tidak Perlu	Tidak Perlu
1 - 5	3,1302	2,6067	0,36	3 ½ x 1	3,5

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa pada lantai 6-9 struktur *unbraced frame* terdapat peningkatan kebutuhan luasan *panel zone*. Hal ini disebabkan oleh pengaruh penggunaan profil kolom yang lebih kecil sehingga kekuatan kolom untuk menahan tekuk akibat momen balok juga semakin kecil. Seluruh kebutuhan panel zone akan selalu tergantung pada momen kapasitas balok dan kekuatan profil kolom untuk menahan terjadinya tekuk lokal akibat momen balok. Pada struktur *braced frame*, *panel zone* hanya diperlukan pada lantai 1-5 saja karena pada lantai 6-17, profil kolom masih dapat menahan gaya tarik pada badan dan sayap kolom akibat momen pada balok.

6.2.9 Perencanaan fondasi

Fondasi merupakan bagian struktur yang berfungsi untuk meneruskan beban kolom ke tanah. Dalam penelitian ini digunakan fondasi dangkal menerus karena tegangan yang terjadi cukup besar. Akan tetapi tanah di bawah fondasi merupakan tanah keras yang memiliki kuat dukung yang cukup besar yaitu 30.000 kg/m². Hasil perencanaan fondasi ditunjukkan tabel di bawah.

Tabel 6.14 Dimensi Fondasi Menerus

Struktur	Panjang (m)	Lebar (m)	Tebal (m)
<i>UnBrace</i>	20,00	2,00	1,00
<i>Brace</i>	20,00	4,00	0,85

Dari tabel diatas terlihat bahwa dimensi fondasi pada struktur *braced frame* lebih besar dari struktur *unbraced frame*. Ini disebabkan karena gaya aksial pada kolom fondasi *braced frame* lebih besar daripada struktur *unbraced frame* walaupun nilai momen *braced frame* lebih kecil dari struktur *unbraced frame*.

