

BAB V

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Analisis merupakan proses perhitungan untuk mendapatkan hasil yang diinginkan yang meliputi perhitungan beban struktur, beban yang diterima tiap bantalan karet, menentukan dukungan, dan analisis riwayat waktu. Hasil dari analisis ini kemudian dibahas berdasarkan teori-teori yang ada yang berkaitan dengan penelitian ini seperti yang diuraikan berikut ini.

5.1 Analisis

Analisis penelitian ini dibantu dengan menggunakan program *STAAD/Pro for Windows Release 3.1*. Adapun urutan analisis penelitian ini meliputi perhitungan yang diuraikan sebagai berikut.

5.1.1 Perhitungan Beban Struktur

Pembebanan struktur dalam penelitian ini meliputi beban tetap dan beban sementara (beban gempa). Beban tetap meliputi beban hidup dan beban mati, yang bekerja secara merata. Beban tetap terdiri dari beban akibat berat plat dan dinding, sedangkan untuk beban tetap balok dan kolom sudah dihitung sendiri didalam program *STAAD/Pro for Windows Release 3.1*. Fungsi struktur adalah untuk perkantoran, selengkapnya perhitungan pembebanan di jelaskan sebagai berikut ini.

1. Perhitungan berat beban hidup (W_l)

Perhitungan berat beban hidup lantai dan atap diasumsikan sama, maka menurut PPIUG 1983 di peroleh beban hidup (q_l) gedung : 250 kg/m^2 .

Sehingga beban hidup yang bekerja (Gambar 4.2) dihitung dengan rumus :

$$W_l = q_l \times A$$

dimana W_l , q_l , dan A adalah berat beban hidup, beban hidup merata dan luas struktur. Dengan rumus diatas di peroleh berat plat = $250 \text{ kg/m}^2 \times (18 \text{ m} \times 18 \text{ m}) = 81000 \text{ kg}$.

2. Perhitungan berat beban mati (W_d)

Perhitungan berat beban mati untuk plat atap dan lantai diasumsikan sama maka perhitungan berat beban mati meliputi plat dan dinding sehingga dapat dicari dengan rumus :

$$\text{Berat beban plat: } W_d = t_p \times \gamma \times A$$

$$\text{Berat dinding : } W_d = q \times h$$

Dimana W_d , t_p , γ , A , q , dan h adalah berat beban mati, tebal plat, berat jenis beton, luas plat, berat tembok dan tinggi struktur tiap tingkat. Dengan rumus tersebut diatas dapat dihitung berat beban lantai, atap dan dinding.

a. Beban mati plat = $0.125 \text{ m} \times 24000 \text{ kg/m}^3 \times (18 \text{ m} \times 18 \text{ m}) = 97200 \text{ kg}$

b. Beban mati dinding ($q = 750 \text{ kg/m}^2$)

Beban mati dinding yang diperhitungkan adalah disekeliling struktur bangunan penuh untuk dinding lantai dan atap, sehingga dapat diuraikan hitungan sebagai berikut.

$$\text{Dinding lantai} = 750 \text{ kg/m}^2 \times 3.2 \text{ m} \times 18 \text{ m} \times 4 \text{ sisi} = 172800 \text{ kg}$$

Dengan data dari beban mati dan beban hidup, maka dapat dihitung beban total yang bekerja pada tiap tingkat, dengan persamaan berikut :

$$W_{tot} = W_d \times W_l$$

dengan W_{tot} , W_d , W_l adalah berat total, berat beban mati dan berat beban hidup.

Dengan persamaan diatas diperoleh beban tiap tingkat, seperti yang disajikan pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Hasil perhitungan beban tiap tingkat

No	Tingkat	Beban tiap tingkat (kg)
1	1 s/d 10	351000

5.1.2 Perhitungan Beban Struktur Tiap Unit Bantalan Karet

Perhitungan ini bertujuan untuk mengetahui beban struktur bangunan yang dapat didukung oleh tiap unit bantalan karet. Data beban struktur ini digunakan sebagai salah satu syarat untuk pemilihan bantalan karet yang akan dipakai. Cara perhitungan yaitu membagi total beban tingkat struktur dengan jumlah bantalan karet yang digunakan seperti di sajikan pada Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Hasil beban struktur tiap unit bantalan karet

No	Bantalan karet	Beban struktur tiap unit bantalan karet (kg)
1	1 s/d 16	219375

Dari hasil beban struktur yang dapat ditahan tiap unit bantalan karet jauh lebih kecil dari beban dukung bantalan karet yang diijinkan (Tabel 4.1).

5.1.3 Menentukan Dukungan *Fixed Based* dan *Base Isolation (Rubber Bearing)*

Dukungan merupakan tempat tumpuan struktur bangunan terhadap permukaan tanah atau tempat berdirinya struktur bangunan tersebut. Dalam penelitian ini menggunakan dua macam dukungan yaitu dukungan dengan *fixed based* (Gambar 4.2) dan dukungan dengan *base isolation* (Gambar 4.3).

Dukungan *fixed based* diasumsikan tidak dapat bergerak ke arah horisontal, vertikal dan tidak boleh terjadinya momen puntir. Berbeda dengan dukungan *base isolation* yang dapat bergerak ke arah vertikal dan horisontal dengan batas ketentuan tertentu (Tabel 4.1), tetapi pada dukungan *base isolation* juga tidak boleh terjadi momen puntir.

Setelah memasukan data-data dukungan *fixed based* dan *base isolation* kedalam *STAAD/Pro for Windows Release 3.1* maka dapat dilanjutkan dengan memasukan beban-beban gempa yang dianalisis menurut riwayat waktu (*time history*). Data –data dukungan dapat dilihat pada Lampiran II dan III.

5.1.4 Analisis Dinamik Riwayat Waktu (*Time History*)

Analisis dinamik pada prinsipnya merupakan suatu perhitungan yang berkaitan dengan fungsi waktu, baik itu pembebanannya, yang mana besar dan arahnya berubah menurut waktu maupun respons strukturnya (terhadap beban dinamik) berupa lendutan dan tegangan.



Analisis riwayat waktu yang digunakan disini adalah analisis riwayat waktu gempa El-Centro (Lampiran VIII) yang telah disesuaikan terhadap zona wilayah 4. Adapun maksud dari penyesuaian ini atau yang sering disebut skalanisasi adalah untuk mendapatkan data masukan percepatan gempa untuk analisis respon riwayat waktu yang sesuai dengan percepatan gempa pada zona wilayah 4.

Prosedur skalanisasi yang digunakan pada penelitian kami ini merupakan suatu pendekatan (Pramudhito, 1991) yang nantinya akan menghasilkan suatu rasio prosentase besaran gempa yang amat spesifik, yang dimaksudkan adalah untuk setiap struktur besar prosentasenya tidaklah sama. Adapun prosedur skalanisasinya adalah seperti yang akan dijelaskan berikut ini (lihat Gambar 5.1).

1. Membuat respon spektrum zona 4 untuk wilayah di Jakarta (Wangsadinata, 1997) seperti yang terlihat pada Lampiran IX.
2. Membuat respon spektrum gempa El-Centro yang percepatannya telah dikalikan $b = 10\%$ dengan nilai redaman (*damping ratio*) sebesar 5% (Paz, 1987). Nilai 10% El Centro diambil sebagai asumsi awal yang dianggap cukup mendekati nilai percepatan gempa pada zona 4.
3. Struktur yang diteliti kemudian dikenakan kedua respon spektrum diatas dan hasil analisis simpangan maksimum akibat kedua respon spektrum pada struktur dibandingkan (Tabel 5.3).
4. Rasio spektrum antara gempa El Centro terhadap spektrum zona 4 dihitung dengan menggunakan rumus

$$\frac{y_4}{y_e} \times \frac{1}{b} = a\% \quad (5.1)$$

dimana :

y_4 = simpangan maksimum akibat respon spektrum zona 4,

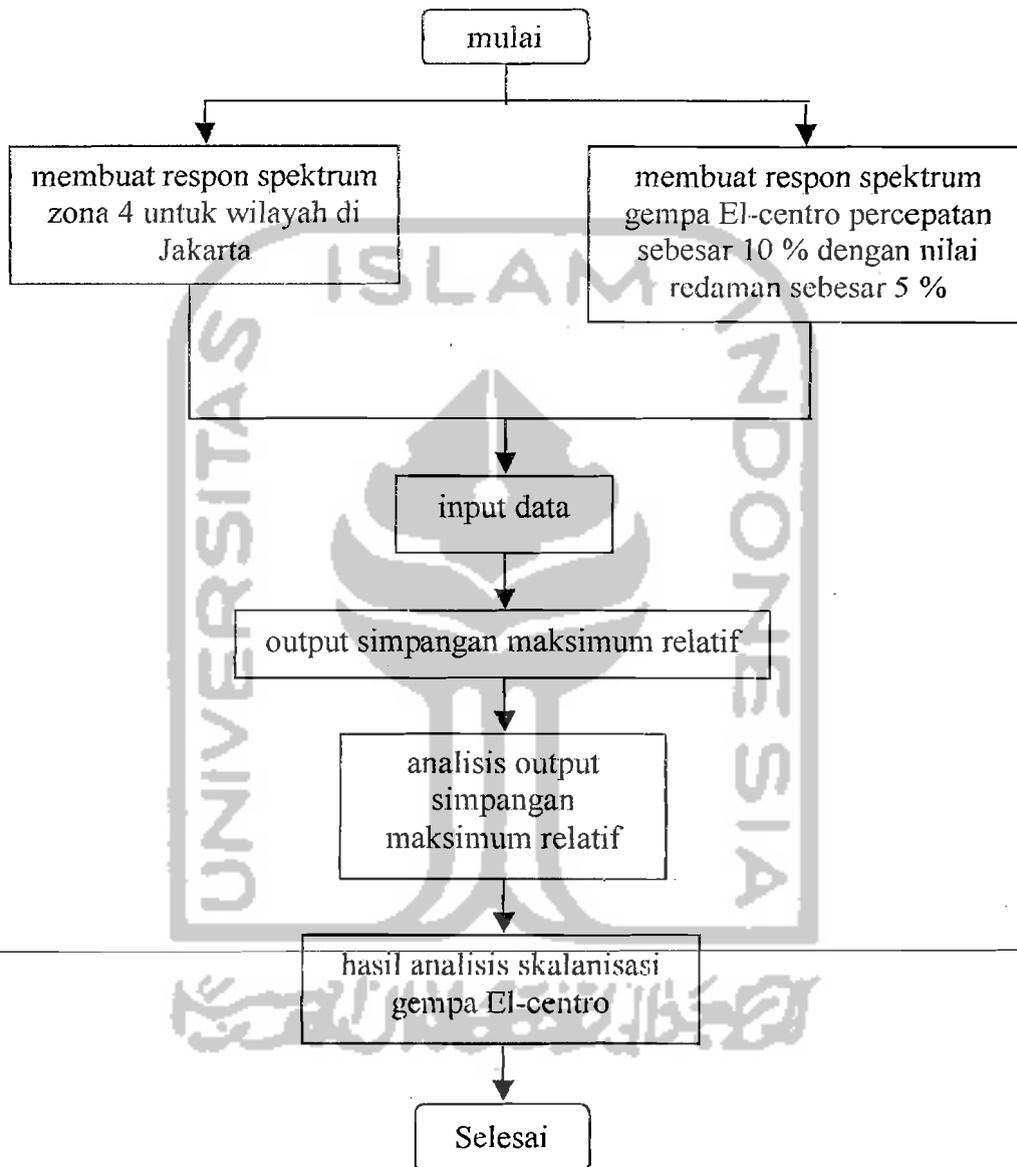
y_e = simpangan maksimum akibat respon spektrum El-Centro 10%, dan

$a\%$ = rasio spektrum gempa El-Centro terhadap spektrum zona 4.

Dari hasil hitungan, didapat besar prosentase rasio spektrum gempa El Centro terhadap spektrum zona wilayah 4 adalah sebesar 17,73 % dapat lihat Lampiran X.

Tabel 5.3 Hasil Simpangan Maksimum Struktur kedua Analisis Respon Spektrum

Lantai	Simpangan Maksimum (cm)	
	<i>El-Centro 10%</i>	<i>Zona-4 Jakarta</i>
0	0	0
1	0.4774	0.8464
2	1.3289	2.3561
3	2.2414	3.9740
4	3.1195	5.5309
5	3.9214	6.9526
6	4.6207	8.1925
7	5.1970	9.2143
8	5.6355	9.9917
9	5.9293	10.5126
10	6.0942	10.8050



Gambar 5.1. Bagan alir Prosedur skalanisasi gempa El-centro

5.1.5 Hasil Perhitungan Simpangan Relatif

Simpangan relatif merupakan pergeseran struktur kearah horisontal relatif terhadap pondasi yang terjadi akibat beban-beban horisontal khususnya beban gempa. Simpangan relatif disini dibedakan kedalam dua jenis, simpangan relatif struktur terhadap *bottom mounting plate* (plat baja *rubber bearing* yang menempel pada pondasi) dan simpangan relatif terhadap *top mounting plate* (plat baja *rubber bearing* yang menempel pada *base plate* atau struktur bagian atas).

Hasil simpangan relatif didapat dari output *STAAD/Pro for Windows Release 3.1* setelah memasukan semua beban struktur dan beban gempa yang telah di jelaskan diatas. Hasil perhitungan simpangan relatif untuk struktur dapat dilihat pada Tabel 5.4 dan Tabel 5.5.

Tabel 5.4 Simpangan Relatif Terhadap Pondasi
(*Bottom Mounting Plate*)

Lantai	Simpangan Relatif (cm)	
	<i>Fixed Based</i>	<i>Base Isolation</i>
0	0	3.4
1	0.4774	3.7680
2	1.3289	4.0013
3	2.2414	4.1860
4	3.1195	4.3441
5	3.9214	4.4801
6	4.6207	4.5945
7	5.1970	4.6871
8	5.6355	4.7575
9	5.9293	4.8062
10	6.0942	4.8365

Tabel 5.5 Simpangan Relatif Terhadap *Base Plate*
(*Top Mounting Plate*)

Lantai	Simpangan Relatif (cm)	
	<i>Fixed Based</i>	<i>Base Isolation</i>
0	0	0
1	0.4774	0.3680
2	1.3289	0.6013
3	2.2414	0.7860
4	3.1195	0.9441
5	3.9214	1.0801
6	4.6207	1.1945
7	5.1970	1.2871
8	5.6355	1.3575
9	5.9293	1.4062
10	6.0942	1.4365

5.1.6 Hasil Perhitungan Simpangan Antar Tingkat (*inter storey drift*)

Simpangan antar tingkat yang terjadi didapat dari selisih simpangan lantai atas dengan lantai dibawahnya. Menurut PPTGIUG 1983, perbandingan simpangan antar tingkat suatu tingkat dan tinggi tingkat yang bersangkutan tidak boleh lebih dari 0,005, dengan ketentuan bahwa dalam segala hal simpangan yang terjadi tidak boleh lebih dari 2 cm.

Hasil simpangan antar tingkat didapat dari output *STAAD/Pro for Windows Release 3.1* setelah memasukan semua beban struktur dan beban gempa yang telah di jelaskan diatas. Hasil perhitungan simpangan antar tingkat untuk struktur dapat dilihat Tabel 5.6.

Tabel 5.6 Simpangan Antar Tingkat (*inter story drift*)

Lantai	Simpangan Antar Tingkat (cm)	
	<i>Fixed Based</i>	<i>Base Isolation</i>
0	0	0
1	0.4774	0.3680
2	0.8515	0.2333
3	0.9125	0.1847
4	0.8781	0.1581
5	0.8014	0.1360
6	0.6993	0.1144
7	0.5763	0.0926
8	0.4385	0.0704
9	0.2938	0.0487
10	0.1649	0.0303

5.1.7 Hasil Perhitungan Gaya Geser Tingkat

Besarnya gaya geser tingkat dipengaruhi oleh simpangan relatif dan kekakuan tingkat. Gaya geser akan semakin besar pada lantai yang lebih rendah karena gaya geser tingkat akan ditahan oleh struktur tingkat dibawahnya. Komulatif dari gaya geser tingkat lantai atas hingga ke lantai paling bawah akan menimbulkan reaksi yang besarnya sama tetapi dengan arah yang berlawanan, gaya reaksi ini sering disebut gaya geser dasar.

Hasil gaya geser tingkat didapat dari output *STAAD/Pro for Windows Release 3.1* setelah memasukan semua beban struktur dan beban gempa yang telah di jelaskan diatas. Hasil perhitungan gaya geser tingkat untuk struktur dapat dilihat Tabel 5.7.

Tabel 5.7 Gaya Geser Tingkat

Lantai	Gaya Geser Tingkat (kN)	
	<i>Fixed Based</i>	<i>Base Isolation</i>
0	0	0
1	652.319	114.006
2	565.347	98.238
3	469.789	75.476
4	376.019	58.954
5	287.811	43.985
6	207.962	31.199
7	138.677	20.549
8	82.097	12.101
9	39.66	5.886
10	12.720	1.970

5.1.8 Hasil Perhitungan Momen Guling (*overturning moment*)

Momen Guling didapat dengan mengalikan gaya geser tingkat yang terjadi dengan tinggi tingkat. Gedung tinggi yang relatif langsing mempunyai kemampuan yang lebih kecil untuk memikul momen guling akibat gempa, karena bangunan yang kurang lebar menyebabkan tegangan pada kolom akan semakin besar dan kolom luarlah yang paling menderita.

Didalam pendistribusian massa secara vertikal, sebaiknya semakin keatas, massa tingkat semakin kecil, sehingga momen guling menjadi kecil. Hasil momen guling didapat dari output *STAAD/Pro for Windows Release 3.1* setelah memasukan semua beban struktur dan beban gempa yang telah di jelaskan diatas. Hasil perhitungan momen guling untuk struktur dapat dilihat Tabel 5.8.

Tabel 5.8 Momen Guling (*overtuning moment*)

Lantai	Momen Guling (kNm)	
	<i>Fixed Based</i>	<i>Base Isolation</i>
0	0	0
1	211.755	50.456
2	169.569	41.062
3	150.088	30.218
4	146.891	26.212
5	136.699	22.606
6	121.944	19.182
7	103.538	15.695
8	82.106	12.133
9	57.001	8.286
10	31.481	4.781

5.2 Pembahasan

Pada penelitian ini, kami mencoba membandingkan struktur yang menggunakan bantalan karet (*rubber bearing*) dengan struktur tanpa *base isolation*. Penempatan bantalan karet (*rubber bearing*) di antara pondasi dengan dasar kolom, sedangkan struktur tanpa bantalan karet (*rubber bearing*) di asumsikan jepit.

Dari hasil penelitian yang kami lakukan ternyata, struktur yang menggunakan bantalan karet (*rubber bearing*) menghasilkan simpangan relatif, simpangan antar tingkat, gaya geser tingkat dan momen guling yang lebih kecil dari struktur tanpa bantalan karet (*rubber bearing*), ini sesuai dengan teori bahwa

sifat yang dimiliki bantalan karet (*rubber bearing*) ini mampu meredam akselerasi atau percepatan beban gempa pada bangunan.

Besarnya reduksi simpangan relatif, simpangan antar tingkat, gaya geser tingkat dan momen guling oleh struktur yang menggunakan bantalan karet (*rubber bearing*) dapat dilihat pada beberapa Tabel berikut ini.

1. Tabel 5.4 dan Tabel 5.5 yang dimanifestasikan dengan grafik pada Gambar 5.1 dan Gambar 5.2 memperlihatkan besarnya reduksi simpangan akibat penggunaan bantalan karet (*rubber bearing*). Seperti telah dijelaskan sebelumnya, simpangan disini dibedakan menjadi dua macam, simpangan relatif terhadap pondasi (bagian bawah *rubber bearing*) dan simpangan relatif terhadap plat dasar/*base plat* (bagian atas *rubber bearing*). Untuk simpangan relatif terhadap pondasi, Tabel 5.4 dan grafik pada Gambar 5.1 memperlihatkan simpangan yang dapat direduksi melalui penggunaan bantalan karet (*rubber bearing*) sampai 20,64%. Simpangan relatif maksimum yang terjadi pada puncak bangunan struktur dengan bantalan karet (*rubber bearing*) sebesar 4,8365 cm (lihat Lampiran VII hal. 1-5), lebih kecil dari struktur tanpa bantalan karet (*rubber bearing*) yang sebesar 6,0942 cm (lihat Lampiran VI hal. 1-5). Yang perlu diperhatikan disini adalah adanya simpangan sebesar 3,4 cm pada dasar struktur yang menggunakan bantalan karet (*rubber bearing*). Simpangan ini adalah simpangan yang terjadi pada bantalan karet (*rubber bearing*) akibat respons terhadap beban gempa. Besarnya simpangan yang terjadi pada

rubber bearing yaitu 3,4 cm masih lebih kecil dari persyaratan pada Tabel 4.1 yang sebesar 15,9 cm, sehingga *rubber bearing* ini dapat digunakan untuk struktur ini. Adapun untuk simpangan relatif terhadap *base plat* (bagian atas *rubber bearing*), Tabel 5.5 dan grafik pada Gambar 5.2 memperlihatkan simpangan yang dapat direduksi mencapai 76,43 %. Simpangan relatif (terhadap plat dasar/*base plat*) maksimum yang terjadi sebesar 1,4365 cm, jauh lebih kecil dari simpangan maksimum struktur yang tidak menggunakan bantalan karet (*rubber bearing*) yang sebesar 6,0942 cm.

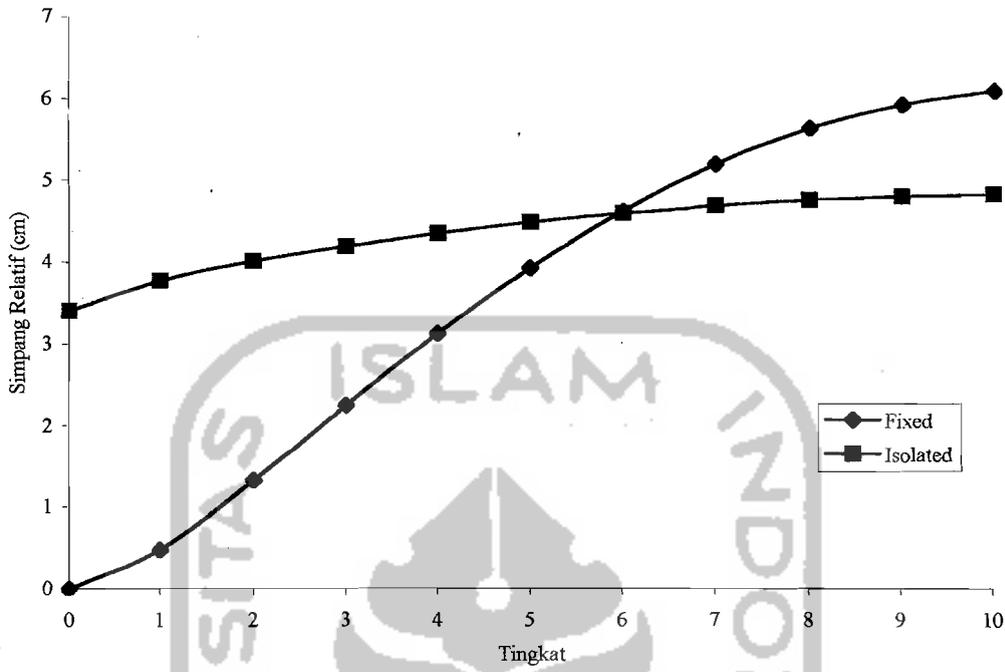
2. Tabel 5.6 yang dimanifestasikan dengan grafik pada Gambar 5.3 memperlihatkan bahwa struktur yang menggunakan *base isolation* dapat mereduksi simpangan antar tingkat (*inter storey drift*) sebesar 59,67 % dari struktur tanpa bantalan karet (*rubber bearing*). Besarnya simpangan antar tingkat maksimum yang terjadi pada struktur yang menggunakan bantalan karet (*rubber bearing*) adalah 0,3680 cm di lantai pertama sedangkan pada struktur tanpa bantalan karet (*rubber bearing*) sebesar 0,9125 cm pada lantai ketiga. Simpangan antar tingkat disini diukur dari lantai pertama sehingga simpangan pada dasar struktur yang sebesar 3,4 cm tidak dimasukkan karena simpangan tersebut sebenarnya terjadi pada bantalan karet (*rubber bearing*) dan bukan pada struktur bangunannya.
3. Tabel 5.7 yang dimanifestasikan dengan grafik pada Gambar 5.4 memperlihatkan bahwa struktur yang menggunakan bantalan karet

(*rubber bearing*) dapat mereduksi gaya geser tingkat sebesar 82,52 % dari struktur tanpa bantalan karet (*rubber bearing*). Gaya geser tingkat yang terjadi pada struktur di pengaruhi oleh besarnya simpangan relatif, semakin besar simpangan relatif yang terjadi maka semakin besar gaya geser tingkat yang terjadi. Besarnya gaya geser tingkat maksimum yang terjadi pada struktur yang menggunakan bantalan karet (*rubber bearing*) adalah 114,006 kN di lantai pertama (lihat Lampiran VII hal 11-16), sedangkan struktur tanpa bantalan karet (*rubber bearing*) mengalami gaya geser maksimum sebesar 652,319 kN di lantai pertama (lihat Lampiran VI hal 11-16). Selain simpangan relatif, kekakuan juga berpengaruh terhadap gaya geser tingkat, tetapi dalam penelitian ini kekakuan struktur dianggap sama.

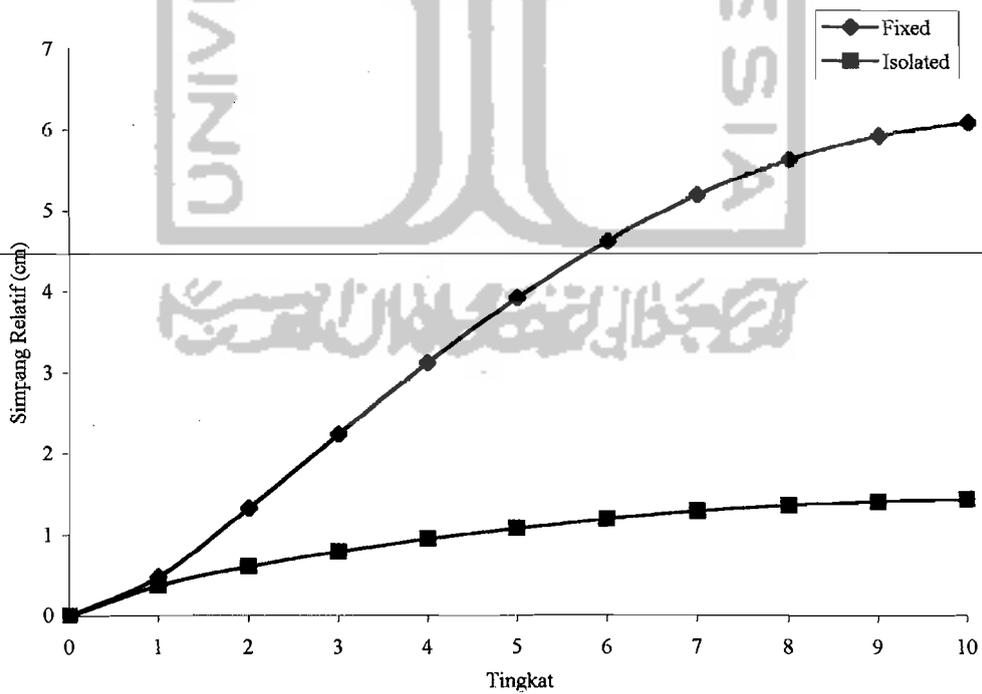
4. Tabel 5.8 yang dimanifestasikan dalam grafik pada Gambar 5.5 memperlihatkan bahwa struktur yang menggunakan bantalan karet (*rubber bearing*) dapat mereduksi momen guling sebesar 76,17 % dari struktur tanpa bantalan karet (*rubber bearing*). Besarnya momen guling di pengaruhi oleh besar kecilnya gaya lateral yang terjadi, semakin besar gaya lateral yang terjadi pada struktur bangunan maka semakin besar pula momen gulungnya. Besarnya momen guling maksimum yang terjadi pada struktur yang menggunakan bantalan karet (*rubber bearing*) adalah 50,456 kNm (lihat Lampiran VII hal 11-16), sedangkan pada struktur tanpa bantalan karet (*rubber bearing*) sebesar 211,755 kNm (lihat Lampiran VI hal 11-16). Perbedaan

tersebut di sebabkan struktur yang menggunakan bantalan karet (*rubber bearing*) dapat meredam gaya-gaya lateral yang terjadi pada struktur lebih besar daripada struktur tanpa bantalan karet (*rubber bearing*), sehingga menghasilkan momen guling yang lebih kecil.

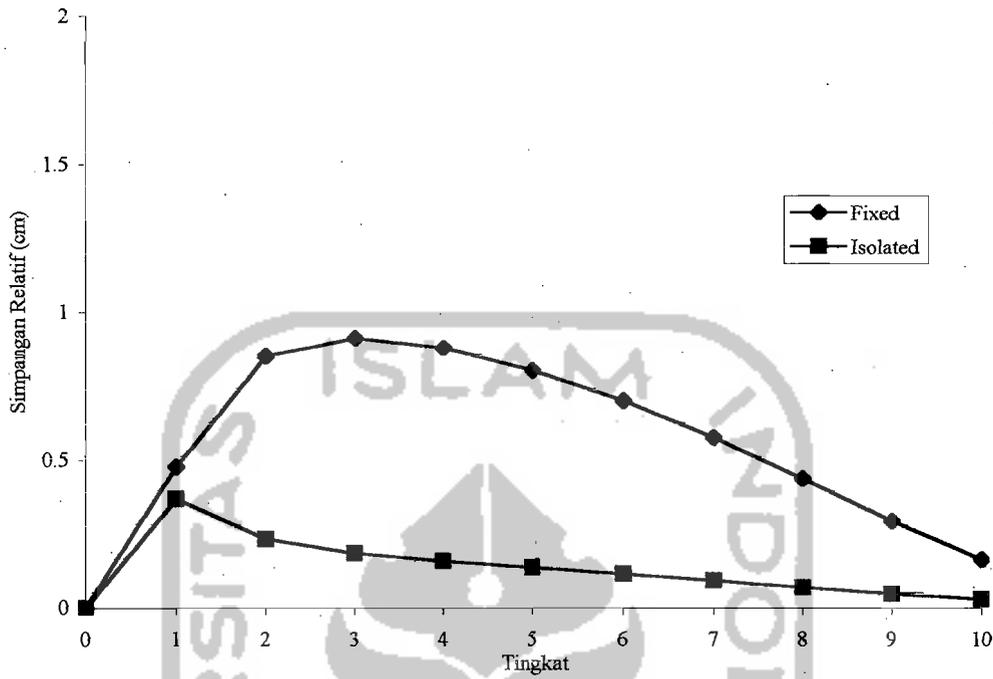




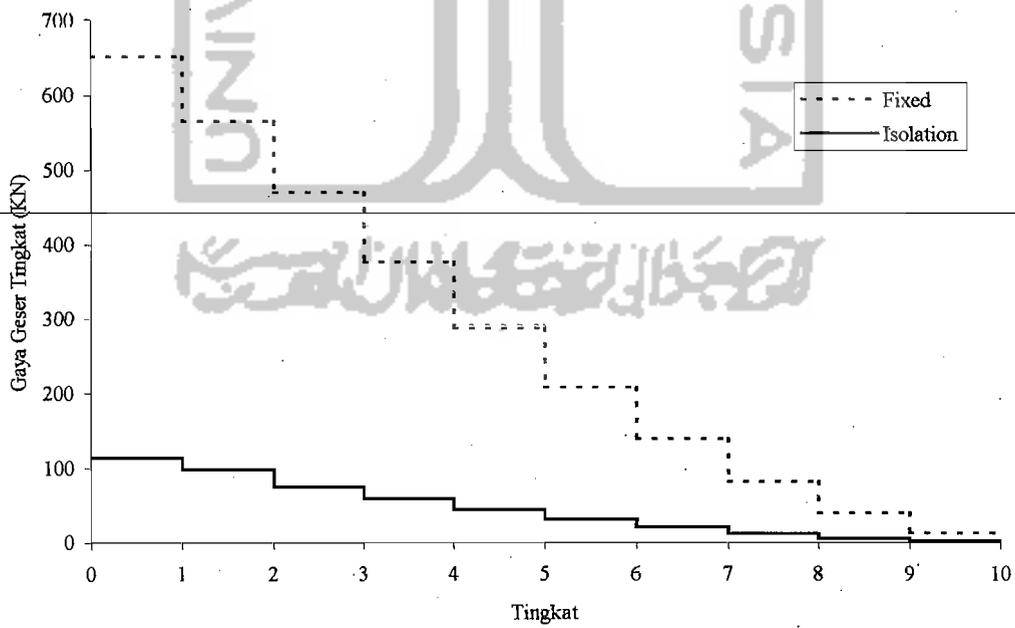
Gambar 5.2 Simpangan Relatif Terhadap Pondasi



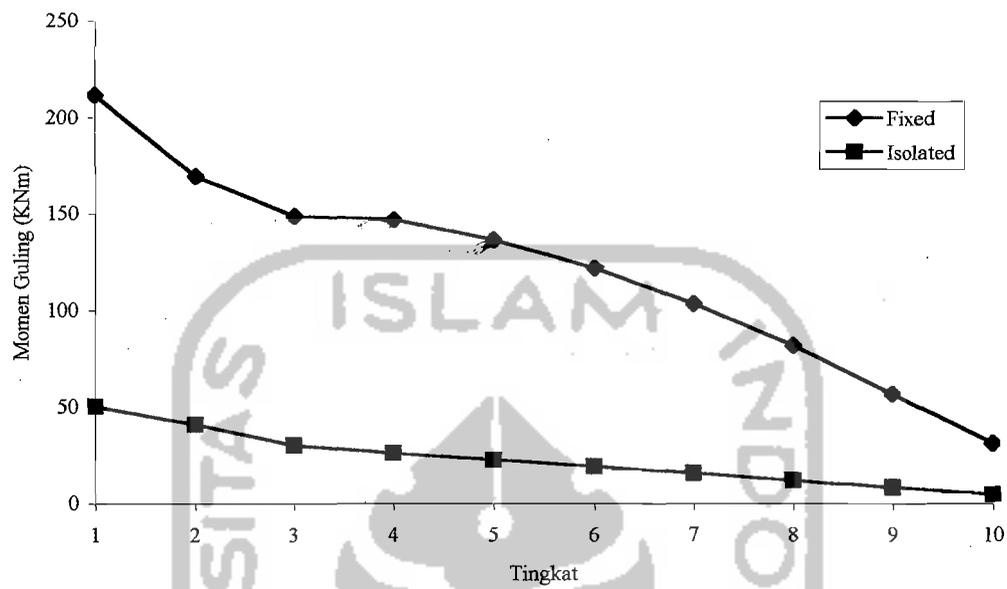
Gambar 5.3 Simpangan Relatif Terhadap Plat Dasar



Gambar 5.4 Simpangan Antar Tingkat (*inter storey drift*)



Gambar 5.5 Gaya Geser Tingkat



Gambar 5.6 Momen Guling (*overtuning moment*)