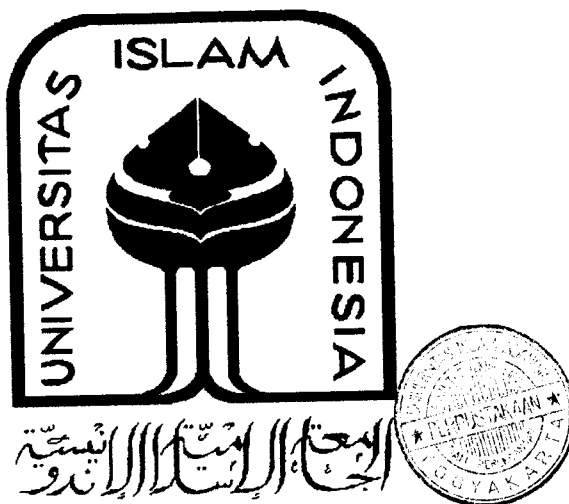


**TUGAS AKHIR**

**RESPON SEISMIK STRUKTUR BETON BERTINGKAT BANYAK DENGAN  
ISOLASI DASAR (ELASTOPLASTIK)**

*(SEISMIC RESPONSE OF MULTI STOREY BASE ISOLATED CONCRETE  
STRUCTURE WITH ELASTOPLASTIC BEHAVIOR)*



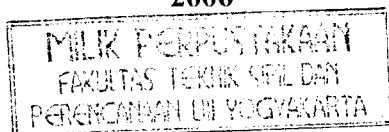
**Disusun oleh :**

**DAVID J SAPUTRA            01 511 071**

**EKA ENDAH LESTARI       01 511 282**

**JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
YOGYAKARTA**

**2006**



**TUGAS AKHIR**

**RESPON SEISMIK STRUKTUR BETON BERTINGKAT BANYAK  
DENGAN ISOLASI DASAR (ELASTOPLASTIK)**

*(SEISMIC RESPONSE OF MULTI STOREY BASE ISOLATED CONCRETE  
STRUCTURE WITH ELASTOPLASTIC BEHAVIOR)*

**Diajukan untuk memenuhi persyaratan memperoleh derajat Sarjana Teknik  
Sipil pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Universitas Islam Indonesia  
Yogyakarta**

**Disusun oleh :**

**DAVID J SAPUTRA            01 511 071  
EKA ENDAH LESTARI       01 511 282**

**JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
YOGYAKARTA**

**2006**

**TUGAS AKHIR**

**RESPON SEISMIK STRUKTUR BETON BERTINGKAT BANYAK  
DENGAN ISOLASI DASAR (ELASTOPLASTIK)**

*(SEISMIC RESPONSE OF MULTI STOREY BASE ISOLATED CONCRETE  
STRUCTURE WITH ELASTOPLASTIC BEHAVIOR)*

**Diajukan untuk memenuhi persyaratan memperoleh derajat Sarjana Teknik  
Sipil pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Universitas Islam Indonesia  
Yogyakarta**

**Disusun oleh :**

**DAVID J SAPUTRA            01 511 071  
EKA ENDAH LESTARI      01 511 282**

**Telah dipariksa dan disetujui :**

**Tanggal, 10 NOVEMBER 2006**



**Prof. Ir. H. Widodo, MSCE, Ph.D.**

**Dosen Pembimbing**

## KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

*Assalamu'alaikum Warahmatullah Wabarakatuh*

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang senantiasa melimpahkan nikmat, karunia dan rahmat-Nya kepada kita semua, khususnya kepada kami sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Tidak lupa sholawat serta salam kami haturkan kepada junjungan Nabi Muhammad SAW beserta keluarga, sahabat serta pengikutnya sampai akhir jaman.

Tugas Akhir ini dengan judul **Respon Seismik Struktur Beton Bertingkat Banyak Dengan Isolasi Dasar (Elastoplastik)** diajukan untuk memenuhi persyaratan memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan , Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Penyusun menyadari bahwa pada penyusunan Tugas Akhir ini tidak lepas dari sumbangan pemikiran dari berbagai pihak yang sangat membantu, sehingga penulis dapat menyelesaikan semua hambatan yang terjadi selama penyusunan hingga terselesaikannya Tugas Akhir ini. Pada kesempatan ini dengan penuh rasa hormat dan kerendahan hati, penyusun mengucapkan banyak terimakasih pada pihak-pihak yang telah membantu, yaitu :

1. Bapak Widodo, Prof, Ir, H, MSCE, Ph.D, selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir ini.
2. Bapak Ilman Noor, Ir, H, MSCE, selaku Dosen Penguji.
3. Bapak Fathkurrohman N, Ir, H, MT, selaku Dosen Penguji.
4. Bapak Ruzardi, Dr, Ir, MS, selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
5. Bapak Munadhir, Ir, H, MS, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
6. Kedua Orang tua kami dan saudara-saudara kami yang telah memberikan banyak bantuan dan dorongan, baik moral maupun material dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
7. Teman-teman *Civil Dept* seperjuangan kami yang tidak bias kami sebut satu persatu, terimakasih atas segala dukungan, informasi, dan segala perhatiannya.
8. Seluruh pihak yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung.

Semoga seluruh amal dan kebaikan yang diberikan dapat diterima dan mendapat ridho dari Allah SWT, *amin*.

Penyusun menyadari bahwa penulisan penelitian ini masih jauh dari sempurna, mengingat keterbatasan ilmu, kemampuan dan pengalaman kami dalam penelitian dan penulisan.

Oleh karena itu saran dan kritik yang bersifat membangun sangat kami harapkan guna perbaikan dan pengembangan selanjutnya.

Akhir kata penyusun berharap semoga Tugas Akhir ini bermanfaat dan memberikan tambahan ilmu bagi kita semua. Semoga Allah SWT meridhoi kita semua, *amin*.

***Wassalamu'alaikum Warahmatullah Wabarakatuh.***

Yogyakarta, November 2006

Penyusun,

## MOTTO

*“Sesungguhnya di dalam kesulitan pasti ada kemudahan”*

*(QS. Asy Syarah : 5)*

**“Barang siapa menuntut ilmu maka, Allah akan  
memudahkan baginya jalan kesurga”**

**(Hadist Rasulullah SAW)**

*“Ilmu itu ibarat suatu buruan sedangkan tulisan merupakan talinya, oleh  
karena itu ikatlah buruanmu dengan tali yang kuat dan kokoh”*

*(Imam Syafi'i)*

*Assalamu'alaikum Wr. Wb*

Many Thx to :

Sang pencipta alam semesta, Allah SWT Yang Maha Esa, Maha Pengasih, dan Maha Segalanya yang memberiku ketahanan dan kesabaran dalam menjalani hidup ini.

, pembawa dan pencerah bagi umat manusia di dunia dan yang yang aku nantikan syafaatnya pada akhir jaman.

Teruntuk Ibu tercinta, atas bantuan moral dan spiritual, ketulusan do'a restu, perhatian, cinta, kasih, sayang, nasehat, dorongan serta arahan yang tiada henti terus tercurah hingga menuntunku untuk selalu terus maju, menggapai cita2ku.

Almarhum Ayah tercinta, " Meskipun ayah tak bisa bersama kami merasakan kebahagiaan ini, *Ananda akan terus berjuang menjadi kebanggaan Ayah dan keluarga*".

Adikku Padang n' Bom-bom terima kasih atas perhatiannya, keceriaannya yang selalu menyegarkan pikiran, jadilah kebanggaan keluarga!

David, mulai dari Kul. Perancangan sampai Tugas Akhir kamu selalu jadi partn erku, Thank's atas kerjasamanya... walaupun kita sering marahan tapi akhirnya berhasil jug a TA ama Pak Wid he2x.....oke mbok!!

Toek "Daud koe" aturnuhun dah jadi "temen" segalanya buatku, kamu yang sel alu ada waktu buatku, selalu sabar ngadepin aku, jadi temen suka dukaku, klo udah jauh ja ngan lupa ma aku, n' aku doain semoga tercapai semua yang dicita-citakan.

Bapak **Prof, Ir, H, Widodo, MSCE, PhD**, terimakasih atas segala bimbingan s aran dan ilmunya selama kami mengerjakan tugas akhir ini. bapak tetaplah dosen *is the bes t* yang aku kenal di FTSP UII ini.

Bapak **Ir, Fatkhurrohman N, MT** dan Bapak **Ir, H, Ilman Noor, MSCE** teri makasih telah membimbing kami dalam sidang dan pendadaran. Makasih bapak tidak bany ak tanya pada kami he2x.....!!!!

**Om, Tante, Welly, Teddy** makasih kemarin dah boleh numpang belajar bwt p endadaran, maaf klo selalu merepotkan, buat **Tasya** jangan nakal n' rajin belajar ya.

Temen2 **Civil dept**, *ida n' Yoga* (thx kebersamaannya selam ini, ayo semangat biar kita bisa wisuda bareng, klo ijab kabul jgn lupa undang aku ya!), *Ima* (ma... jatuhkanlah "pilihanmu", mukur karo koe aku bisa ngomong ngapak ya mbok..., sukses slalu ya...), *Siti Rina* (Ayo Na.... selesein Tanya, jangan maen n' shopping teruz, ntr kamu di Jogja sendirian lo, moga bisa jadian ma someone yang di Pingit), *Herdin* (aku doain langgeng teruz ma mas Afif, n' cepet nikah ya), *Erwan, Yunan, Raven, Donny, Fu2, Johan* (Asyik juga temenan ma kalian Gokil, kapan kita jalan rame2 lagi, kalian kok nduluin ak u se!!!), dan semua temen2 kampus yang ga bisa aku sebutin satu persatu, thanks buat pertemanannya selama ini.

Anak2 kost Pondok Putri melati, **Ida, Esi, Mb Eva, Ayu, Nina, Yosi, Yanti**, .....thanks buat kebersamaan n' keceriaannya! Aku wis wisuda coy.....!!!!!!

Alhamdulillah .....sekarang namaku bertambah jadi Eka Endah Lestari, Es Te.



## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PENGESAHAN .....	ii
KATA PENGANTAR .....	iii
MOTTO .....	iv
LEMBAR PERSEMBAHAN .....	v
DAFTAR ISI .....	vi
DAFTAR GAMBAR .....	vii
DAFTAR TABEL .....	xxv
ABSTRAKSI .....	Xxvii
<b>BAB I</b>	<b>PENDAHULUAN</b>
1.1	Latar Belakang ..... 1
1.2	Rumusan Masalah ..... 4
1.3	Tujuan Penelitian ..... 5
1.4	Manfaat Penelitian ..... 6
1.5	Lingkup Penelitian ..... 6
<b>BAB II</b>	<b>TINJAUAN PUSTAKA</b>
2.1	Tinjauan Penelitian Terdahulu ..... 8
2.2	Keaslian Penelitian ..... 14
2.3	Pengertian <i>Base Isolation</i> ..... 14
2.4	Jenis – Jenis Isolasi Dasar ( <i>Base Isolation</i> ) ..... 16
2.5	Perletakan Isolasi Dasar ( <i>Base Isolation</i> ) ..... 19

2.6	Prinsip Sistem <i>Base Isolation</i> .....	21
-----	--	----

2.7	Manfaat Sistem <i>Base Isolation</i> .....	23
-----	--	----

### **BAB III      LANDASAN TEORI**

3.1	Persamaan Differensial Struktur (SDOF) Akibat Gerakan Tanah .....	25
-----	--	----

3.2	Massa Struktur.....	28
-----	---------------------	----

3.3	Kekakuan Struktur .....	29
-----	-------------------------	----

3.4	Redaman Struktur .....	30
-----	------------------------	----

3.5	Persamaan Differensial Struktur Dengan Derajat Kebebasan Banyak (MDOF).....	31
-----	--	----

3.6	Getaran Bebas pada Struktur Derajat Kebebasan Banyak (MDOF) .....	34
-----	--	----

3.6.1	Nilai Karakteristik ( <i>Eigen Problem</i> ) .....	35
-------	--	----

3.6.2	Metode Polinomial .....	37
-------	-------------------------	----

3.7	Metode $\beta$ - <i>Newmark</i> .....	40
-----	---------------------------------------	----

3.8	Analisis Respon Struktur Akibat Gempa .....	43
-----	---	----

3.8.1	Simpangan Struktur .....	43
-------	--------------------------	----

3.8.1.1	Simpangan Relatif .....	43
---------	-------------------------	----

3.8.1.2	Simpangan Antar Tingkat ( <i>Interstorey Drift</i> ) ..	43
---------	---	----

3.8.2	Gaya Geser Tingkat .....	44
-------	--------------------------	----

3.8.3	Momen Guling ( <i>Overturning Moment</i> ) .....	44
-------	--	----

3.9	Struktur Dengan <i>Base Isolation</i> .....	45
-----	---	----

3.10	Analisis Respon untuk <i>Base Isolation</i> .....	48
------	---	----

	3.10.1	Integrasi Persamaan Gerak Non Linier .....	48
	3.10.2	Metoda Percepatan Linier Langkah demi Langkah ...	49
	3.10.3	Sifat Elastoplastis ( <i>Elastoplastic Behavior</i> ) .....	51
	3.10.4	Algoritma untuk solusi langkah demi langkah untuk sistem-sistem berderajat kebebasan tunggal elastoplastis .....	54
<b>BAB IV</b>		<b>METODE PENELITIAN</b>	
	4.1	Pengumpulan Data .....	57
	4.1.1	Data Struktur .....	58
	4.1.2	Model Struktur .....	60
	4.1.3	Data Gempa .....	63
	4.2	Tahapan analisa Dinamik .....	66
<b>BAB V</b>		<b>HASIL ANALISA DAN PEMBAHASAN</b>	
	5.1	Pendahuluan .....	69
	5.2	Perhitungan Massa dan Kekakuan .....	70
	5.3	Analisis Respon Struktur Akibat Beban Gempa ....	76
	5.3.1	Simpangan Relatif Struktur .....	76
	5.3.2	Simpangan Antar Tingkat .....	101
	5.3.3	Gaya Horisontal Tingkat .....	116
	5.3.4	Gaya Geser Tingkat .....	131
	5.3.5	Momen Guling Tingkat .....	146
	5.4	Analisis Respon Struktur Akibat Beban Gempa Dengan 3 Jenis Redaman .....	160

5.4.1	Simpangan Relatif.....	161
5.4.2	Simpangan Antar Tingkat.....	170
5.4.3	Gaya Horizontal Tingkat.....	179
5.4.4	Gaya Geser Tingkat.....	188
5.4.5	Momen Guling Tingkat.....	197
5.4.6	Respon <i>Base Isolation</i> .....	206
5.5	Rasio Respon Struktur Antara Bangunan dengan dan tanpa <i>Base Isolation</i> .....	213
5.5.1	Simpangan Relatif.....	213
5.5.2	Simpangan Antar Tingkat.....	218
5.5.3	Gaya Horizontal Tingkat.....	222
5.5.4	Gaya Geser Tingkat.....	226
5.5.5	Momen Guling Tingkat.....	230
<b>BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN</b>		
6.1	Kesimpulan .....	234
6.2	Saran .....	237
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>xxviii</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>		<b>xxx</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Perbandingan bangunan tanpa dan dengan <i>base isolation</i> .....	16
<b>Gambar 2.2</b>	Efek dari <i>base isolation</i> terhadap waktu getar T pada saat terjadi gempa .....	22
<b>Gambar 3.1</b>	Pemodelan struktur SDOF .....	25
<b>Gambar 3.2</b>	Pemodelan struktur MDOF .....	32
<b>Gambar 3.3</b>	Perbandingan struktur bangunan dengan dan tanpa Base Isolation dengan 4 derajat kebebasan .....	38
<b>Gambar 3.4</b>	Elastic-plastic structural models (a) General plastic behavior (b) Elastoplastic behavior .....	52
<b>Gambar 4.1</b>	Pemodelan struktur beton bertingkat 4 tanpa <i>base isolation</i> .....	60
<b>Gambar 4.2</b>	Pemodelan struktur beton bertingkat 8 tanpa <i>base isolation</i> ....	61
<b>Gambar 4.3</b>	Pemodelan struktur beton bertingkat 10 tanpa <i>base isolation</i> ...	61
<b>Gambar 4.4</b>	Pemodelan struktur beton bertingkat 4 dengan <i>base isolation</i> ...	62
<b>Gambar 4.5</b>	Pemodelan struktur beton bertingkat 8 dengan <i>base isolation</i> ...	62
<b>Gambar 4.6</b>	Pemodelan struktur beton bertingkat 10 dengan <i>base isolation</i> ..	63
<b>Gambar 4.7</b>	Plot percepatan gempa elcentro .....	65
<b>Gambar 4.8</b>	Plot percepatan gempa santacruz .....	65
<b>Gambar 4.9</b>	Plot percepatan gempa koyna .....	65
<b>Gambar 4.10</b>	Bagan Alir (Flow Chart) .....	67
<b>Gambar 5.1</b>	Grafik perbandingan simpangan relatif maksimum antara bangunan dengan dan tanpa <i>base isolation</i> akibat 3 gempa .....	79

<b>Gambar 5.2</b>	Grafik perbandingan simpangan relatif maksimum antara struktur dengan dan tanpa <i>base isolation</i> akibat gempa elcentro .....	80
<b>Gambar 5.3</b>	Grafik perbandingan simpangan relatif maksimum antara struktur dengan dan tanpa <i>base isolation</i> akibat gempa santacruz .....	81
<b>Gambar 5.4</b>	Grafik perbandingan simpangan relatif maksimum antara struktur dengan dan tanpa <i>base isolation</i> akibat gempa koyna .....	82
<b>Gambar 5.5</b>	Grafik respon <i>base isolation</i> struktur 4 tingkat akibat gempa elcentro .....	83
<b>Gambar 5.6</b>	Grafik perbandingan simpangan relatif struktur 4 tingkat akibat gempa elcentro .....	84
<b>Gambar 5.7</b>	Grafik respon <i>base isolation</i> struktur 8 tingkat akibat gempa elcentro .....	85
<b>Gambar 5.8</b>	Grafik perbandingan simpangan relatif struktur 8 tingkat akibat gempa elcentro .....	86
<b>Gambar 5.9</b>	Grafik respon <i>base isolation</i> struktur 10 tingkat akibat gempa elcentro .....	87
<b>Gambar 5.10</b>	Grafik perbandingan simpangan relatif struktur 10 tingkat akibat gempa elcentro .....	88
<b>Gambar 5.11</b>	Grafik respon <i>base isolation</i> struktur 4 tingkat akibat gempa santacruz .....	89
<b>Gambar 5.12</b>	Grafik perbandingan simpangan relatif struktur 4 tingkat akibat gempa santacruz .....	90

<b>Gambar 5.13</b> Grafik respon <i>base isolation</i> struktur 8 tingkat akibat gempa santacruz .....	91
<b>Gambar 5.14</b> Grafik perbandingan simpangan relatif struktur 8 tingkat akibat gempa santacruz .....	92
<b>Gambar 5.15</b> Grafik respon <i>base isolation</i> struktur 10 tingkat akibat gempa santacruz .....	93
<b>Gambar 5.16</b> Grafik perbandingan simpangan relatif struktur 10 tingkat akibat gempa santacruz .....	94
<b>Gambar 5.17</b> Grafik respon <i>base isolation</i> struktur 4 tingkat akibat gempa koyna .....	95
<b>Gambar 5.18</b> Grafik perbandingan simpangan relatif struktur 4 tingkat akibat gempa koyna .....	96
<b>Gambar 5.19</b> Grafik respon <i>base isolation</i> struktur 8 tingkat akibat gempa koyna .....	97
<b>Gambar 5.20</b> Grafik perbandingan simpangan relatif struktur 8 tingkat akibat gempa koyna .....	98
<b>Gambar 5.21</b> Grafik respon <i>base isolation</i> struktur 10 tingkat akibat gempa koyna .....	99
<b>Gambar 5.22</b> Grafik perbandingan simpangan relatif struktur 10 tingkat akibat gempa koyna .....	100
<b>Gambar 5.23</b> Grafik perbandingan <i>interstorey drift</i> maksimum antara bangunan dengan dan tanpa <i>base isolation</i> akibat 3 gempa .....	103

<b>Gambar 5.24</b> Grafik perbandingan <i>interstorey drift</i> maksimum antara struktur dengan dan tanpa <i>base isolation</i> akibat gempa elcentro .....	104
<b>Gambar 5.25</b> Grafik perbandingan <i>interstorey drift</i> maksimum antara struktur dengan dan tanpa <i>base isolation</i> akibat gempa santacruz .....	105
<b>Gambar 5.26</b> Grafik perbandingan <i>interstorey drift</i> maksimum antara struktur dengan dan tanpa <i>base isolation</i> akibat gempa koyna .....	106
<b>Gambar 5.27</b> Grafik perbandingan <i>interstorey drift</i> struktur 4 tingkat akibat gempa elcentro .....	107
<b>Gambar 5.28</b> Grafik perbandingan <i>interstorey drift</i> struktur 8 tingkat akibat gempa elcentro .....	108
<b>Gambar 5.29</b> Grafik perbandingan <i>interstorey drift</i> struktur 10 tingkat akibat gempa elcentro .....	109
<b>Gambar 5.30</b> Grafik perbandingan <i>interstorey drift</i> struktur 4 tingkat akibat gempa santacruz .....	110
<b>Gambar 5.31</b> Grafik perbandingan <i>interstorey drift</i> struktur 8 tingkat akibat gempa santacruz .....	111
<b>Gambar 5.32</b> Grafik perbandingan <i>interstorey drift</i> struktur 10 tingkat akibat gempa santacruz .....	112
<b>Gambar 5.33</b> Grafik perbandingan <i>interstorey drift</i> struktur 4 tingkat akibat gempa koyna .....	113
<b>Gambar 5.34</b> Grafik perbandingan <i>interstorey drift</i> struktur 8 tingkat akibat gempa koyna .....	114



<b>Gambar 5.35</b> Grafik perbandingan <i>interstorey drift</i> struktur 10 tingkat akibat gempa koyna .....	115
<b>Gambar 5.36</b> Grafik perbandingan gaya horisontal maksimum antara bangunan dengan dan tanpa <i>base isolation</i> akibat 3 gempa .....	118
<b>Gambar 5.37</b> Grafik perbandingan gaya horisontal maksimum antara bangunan dengan dan tanpa <i>base isolation</i> akibat gempa elcentro .....	119
<b>Gambar 5.38</b> Grafik perbandingan gaya horisontal maksimum antara bangunan dengan dan tanpa <i>base isolation</i> akibat gempa santacruz .....	120
<b>Gambar 5.39</b> Grafik perbandingan gaya horisontal maksimum antara bangunan dengan dan tanpa <i>base isolation</i> akibat gempa koyna .....	121
<b>Gambar 5.40</b> Grafik perbandingan gaya horisontal struktur 4 tingkat akibat gempa elcentro .....	122
<b>Gambar 5.41</b> Grafik perbandingan gaya horisontal struktur 8 tingkat akibat gempa elcentro .....	123
<b>Gambar 5.42</b> Grafik perbandingan gaya horisontal struktur 10 tingkat akibat gempa elcentro .....	124
<b>Gambar 5.43</b> Grafik perbandingan gaya horisontal struktur 4 tingkat akibat gempa santacruz .....	125
<b>Gambar 5.44</b> Grafik perbandingan gaya horisontal struktur 8 tingkat akibat gempa santacruz .....	126
<b>Gambar 5.45</b> Grafik perbandingan gaya horisontal struktur 10 tingkat akibat gempa santacruz .....	127

<b>Gambar 5.46</b> Grafik perbandingan gaya horisontal struktur 4 tingkat akibat gempa koyna .....	128
<b>Gambar 5.47</b> Grafik perbandingan gaya horisontal struktur 8 tingkat akibat gempa koyna .....	129
<b>Gambar 5.48</b> Grafik perbandingan gaya horisontal struktur 10 tingkat akibat gempa koyna .....	130
<b>Gambar 5.49</b> Grafik perbandingan gaya geser maksimum antara bangunan dengan dan tanpa <i>base isolation</i> akibat 3 gempa .....	133
<b>Gambar 5.50</b> Grafik perbandingan gaya geser maksimum antara bangunan dengan dan tanpa <i>base isolation</i> akibat gempa elcentro .....	134
<b>Gambar 5.51</b> Grafik perbandingan gaya geser maksimum antara bangunan dengan dan tanpa <i>base isolation</i> akibat gempa santacruz .....	135
<b>Gambar 5.52</b> Grafik perbandingan gaya geser maksimum antara bangunan dengan dan tanpa <i>base isolation</i> akibat gempa koyna .....	136
<b>Gambar 5.53</b> Grafik perbandingan gaya geser struktur 4 tingkat akibat gempa elcentro .....	137
<b>Gambar 5.54</b> Grafik perbandingan gaya geser struktur 8 tingkat akibat gempa elcentro .....	138
<b>Gambar 5.55</b> Grafik perbandingan gaya geser struktur 10 tingkat akibat gempa elcentro .....	139
<b>Gambar 5.56</b> Grafik perbandingan gaya geser struktur 4 tingkat akibat gempa santacruz .....	140

<b>Gambar 5.57</b> Grafik perbandingan gaya geser struktur 8 tingkat akibat gempa santacruz .....	141
<b>Gambar 5.58</b> Grafik perbandingan gaya geser struktur 10 tingkat akibat gempa santacruz .....	142
<b>Gambar 5.59</b> Grafik perbandingan gaya geser struktur 4 tingkat akibat gempa koyna .....	143
<b>Gambar 5.60</b> Grafik perbandingan gaya geser struktur 8 tingkat akibat gempa koyna .....	144
<b>Gambar 5.61</b> Grafik perbandingan gaya geser struktur 10 tingkat akibat gempa koyna .....	145
<b>Gambar 5.62</b> Grafik perbandingan momen guling maksimum antara bangunan dengan dan tanpa <i>base isolation</i> akibat 3 gempa .....	147
<b>Gambar 5.63</b> Grafik perbandingan momen guling maksimum antara bangunan dengan dan tanpa <i>base isolation</i> akibat gempa elcentro .....	148
<b>Gambar 5.64</b> Grafik perbandingan momen guling maksimum antara bangunan dengan dan tanpa <i>base isolation</i> akibat gempa santacruz .....	149
<b>Gambar 5.65</b> Grafik perbandingan momen guling maksimum antara bangunan dengan dan tanpa <i>base isolation</i> akibat gempa koyna .....	150
<b>Gambar 5.66</b> Grafik perbandingan momen guling struktur 4 tingkat akibat gempa elcentro .....	151
<b>Gambar 5.67</b> Grafik perbandingan momen guling struktur 8 tingkat akibat gempa elcentro .....	152

<b>Gambar 5.68</b>	Grafik perbandingan momen guling struktur 10 tingkat akibat gempa elcentro .....	153
<b>Gambar 5.69</b>	Grafik perbandingan momen guling struktur 4 tingkat akibat gempa santacruz .....	154
<b>Gambar 5.70</b>	Grafik perbandingan momen guling struktur 8 tingkat akibat gempa santacruz .....	155
<b>Gambar 5.71</b>	Grafik perbandingan momen guling struktur 10 tingkat akibat gempa santacruz .....	156
<b>Gambar 5.72</b>	Grafik perbandingan momen guling struktur 4 tingkat akibat gempa koyna .....	157
<b>Gambar 5.73</b>	Grafik perbandingan momen guling struktur 8 tingkat akibat gempa koyna .....	158
<b>Gambar 5.74</b>	Grafik perbandingan momen guling struktur 10 tingkat akibat gempa koyna .....	159
<b>Gambar 5.75</b>	Gambar perbandingan simpangan relatif maksimum struktur 4 tingkat dengan 3 jenis redaman akibat gempa elcentro .....	162
<b>Gambar 5.76</b>	Gambar perbandingan simpangan relatif maksimum struktur 8 tingkat dengan 3 jenis redaman akibat gempa elcentro .....	163
<b>Gambar 5.77</b>	Grafik perbandingan simpangan relatif struktur 4 tingkat tanpa <i>base isolation</i> dengan 3 jenis redaman akibat gempa elcentro ..	164
<b>Gambar 5.78</b>	Grafik perbandingan simpangan relatif struktur 4 tingkat dengan <i>base isolation</i> dengan 3 jenis redaman akibat gempa elcentro ..	165

- Gambar 5.79** Grafik perbandingan simpangan relatif struktur 4 tingkat dengan *base isolation* dengan 3 jenis redaman akibat gempa elcentro ..166
- Gambar 5.80** Grafik perbandingan simpangan relatif struktur 8 tingkat tanpa *base isolation* dengan 3 jenis redaman akibat gempa elcentro ..167
- Gambar 5.81** Grafik perbandingan simpangan relatif struktur 8 tingkat dengan *base isolation* dengan 3 jenis redaman akibat gempa elcentro ..168
- Gambar 5.82** Grafik perbandingan simpangan relatif struktur 8 tingkat dengan *base isolation* dengan 3 jenis redaman akibat gempa elcentro ..169
- Gambar 5.83** Gambar perbandingan *interstorey drift* maksimum struktur 4 tingkat dengan 3 jenis redaman akibat gempa elcentro ..... 171
- Gambar 5.84** Gambar perbandingan *interstorey drift* maksimum struktur 8 tingkat dengan 3 jenis redaman akibat gempa elcentro ..... 172
- Gambar 5.85** Grafik perbandingan *interstorey drift* struktur 4 tingkat tanpa *base isolation* dengan 3 jenis redaman akibat gempa elcentro ..... 173
- Gambar 5.86** Grafik perbandingan *interstorey drift* struktur 4 tingkat dengan *base isolation* dengan 3 jenis redaman akibat gempa elcentro ..174
- Gambar 5.87** Grafik perbandingan *interstorey drift* struktur 4 tingkat dengan *base isolation* dengan 3 jenis redaman akibat gempa elcentro ..175
- Gambar 5.88** Grafik perbandingan *interstorey drift* struktur 8 tingkat tanpa *base isolation* dengan 3 jenis redaman akibat gempa elcentro ..... 176
- Gambar 5.89** Grafik perbandingan *interstorey drift* struktur 8 tingkat dengan *base isolation* dengan 3 jenis redaman akibat gempa elcentro ..177

- Gambar 5.90** Grafik perbandingan *interstorey drift* struktur 8 tingkat dengan *base isolation* dengan 3 jenis redaman akibat gempa elcentro ..178
- Gambar 5.91** Gambar perbandingan gaya horisontal maksimum struktur 4 tingkat dengan 3 jenis redaman akibat gempa elcentro ..... 180
- Gambar 5.92** Gambar perbandingan gaya horisontal maksimum struktur 8 tingkat dengan 3 jenis redaman akibat gempa elcentro ..... 181
- Gambar 5.93** Grafik perbandingan gaya horisontal struktur 4 tingkat tanpa *base isolation* dengan 3 jenis redaman akibat gempa elcentro ..... 182
- Gambar 5.94** Grafik perbandingan gaya horisontal struktur 4 tingkat dengan *base isolation* dengan 3 jenis redaman akibat gempa elcentro ..183
- Gambar 5.95** Grafik perbandingan gaya horisontal struktur 4 tingkat dengan *base isolation* dengan 3 jenis redaman akibat gempa elcentro ..184
- Gambar 5.96** Grafik perbandingan gaya horisontal struktur 8 tingkat tanpa *base isolation* dengan 3 jenis redaman akibat gempa elcentro ..... 185
- Gambar 5.97** Grafik perbandingan gaya horisontal struktur 8 tingkat dengan *base isolation* dengan 3 jenis redaman akibat gempa elcentro ..186
- Gambar 5.98** Grafik perbandingan gaya horisontal struktur 8 tingkat dengan *base isolation* dengan 3 jenis redaman akibat gempa elcentro ..187
- Gambar 5.99** Gambar perbandingan gaya geser maksimum struktur 4 tingkat dengan 3 jenis redaman akibat gempa elcentro ..... 189
- Gambar 5.100** Gambar perbandingan gaya geser maksimum struktur 8 tingkat dengan 3 jenis redaman akibat gempa elcentro ..... 190

- Gambar 5.101** Grafik perbandingan gaya geser struktur 4 tingkat tanpa *base isolation* dengan 3 jenis redaman akibat gempa elcentro ..... 191
- Gambar 5.102** Grafik perbandingan gaya geser struktur 4 tingkat dengan *base isolation* dengan 3 jenis redaman akibat gempa elcentro ..... 192
- Gambar 5.103** Grafik perbandingan gaya geser struktur 4 tingkat dengan *base isolation* dengan 3 jenis redaman akibat gempa elcentro ..... 193
- Gambar 5.104** Grafik perbandingan gaya geser struktur 8 tingkat tanpa *base isolation* dengan 3 jenis redaman akibat gempa elcentro ..... 194
- Gambar 5.105** Grafik perbandingan gaya geser struktur 8 tingkat dengan *base isolation* dengan 3 jenis redaman akibat gempa elcentro ..... 195
- Gambar 5.106** Grafik perbandingan gaya geser struktur 8 tingkat dengan *base isolation* dengan 3 jenis redaman akibat gempa elcentro ..... 196
- Gambar 5.107** Gambar perbandingan momen guling maksimum struktur 4 tingkat dengan 3 jenis redaman akibat gempa elcentro ..... 198
- Gambar 5.108** Gambar perbandingan momen guling maksimum struktur 8 tingkat dengan 3 jenis redaman akibat gempa elcentro ..... 199
- Gambar 5.109** Grafik perbandingan momen guling struktur 4 tingkat tanpa *base isolation* dengan 3 jenis redaman akibat gempa elcentro ..... 200
- Gambar 5.110** Grafik perbandingan momen guling struktur 4 tingkat dengan *base isolation* dengan 3 jenis redaman akibat gempa elcentro..... 201
- Gambar 5.111** Grafik perbandingan momen guling struktur 4 tingkat dengan *base isolation* dengan 3 jenis redaman akibat gempa elcentro..... 202

<b>Gambar 5.112</b>	Grafik perbandingan momen guling struktur 8 tingkat tanpa <i>base isolation</i> dengan 3 jenis redaman akibat gempa elcentro .....	203
<b>Gambar 5.113</b>	Grafik perbandingan momen guling struktur 8 tingkat dengan <i>base isolation</i> dengan 3 jenis redaman akibat gempa elcentro.....	204
<b>Gambar 5.114</b>	Grafik perbandingan momen guling struktur 8 tingkat dengan <i>base isolation</i> dengan 3 jenis redaman akibat gempa elcentro.....	205
<b>Gambar 5.115</b>	Grafik respon base isolation struktur 4 tingkat akibat gempa elcentro dengan <i>MPD</i> .....	207
<b>Gambar 5.116</b>	Grafik respon base isolation struktur 4 tingkat akibat gempa elcentro dengan <i>SPD</i> .....	208
<b>Gambar 5.117</b>	Grafik respon base isolation struktur 4 tingkat akibat gempa elcentro dengan <i>MSPD</i> .....	209
<b>Gambar 5.118</b>	Grafik respon base isolation struktur 8 tingkat akibat gempa elcentro dengan <i>MPD</i> .....	210
<b>Gambar 5.119</b>	Grafik respon base isolation struktur 8 tingkat akibat gempa elcentro dengan <i>SPD</i> .....	211
<b>Gambar 5.120</b>	Grafik respon base isolation struktur 8 tingkat akibat gempa elcentro dengan <i>MSPD</i> .....	212
<b>Gambar 5.121</b>	Grafik rasio simpangan relatif antara bangunan dengan dan tanpa <i>base isolation</i> akibat gempa elcentro.....	215
<b>Gambar 5.122</b>	Grafik rasio simpangan relatif antara bangunan dengan dan tanpa <i>base isolation</i> akibat gempa santacruz.....	216



<b>Gambar 5.123</b>	Grafik rasio simpangan relatif antara bangunan dengan dan tanpa <i>base isolation</i> akibat gempa koyna.....	217
<b>Gambar 5.124</b>	Grafik rasio <i>interstorey drift</i> antara bangunan dengan dan tanpa <i>base isolation</i> akibat gempa elcentro.....	219
<b>Gambar 5.125</b>	Grafik rasio <i>interstorey drift</i> antara bangunan dengan dan tanpa <i>base isolation</i> akibat gempa santacruz.....	220
<b>Gambar 5.126</b>	Grafik rasio <i>interstorey drift</i> antara bangunan dengan dan tanpa <i>base isolation</i> akibat gempa koyna.....	221
<b>Gambar 5.127</b>	Grafik rasio gaya horisontal tingkat antara bangunan dengan dan tanpa <i>base isolation</i> akibat gempa .elcentro.....	223
<b>Gambar 5.128</b>	Grafik rasio gaya horisontal tingkat antara bangunan dengan dan tanpa <i>base isolation</i> akibat gempa santacruz.....	224
<b>Gambar 5.129</b>	Grafik rasio gaya horisontal tingkat antara bangunan dengan dan tanpa <i>base isolation</i> akibat gempa koyna.....	225
<b>Gambar 5.130</b>	Grafik rasio gaya geser tingkat antara bangunan dengan dan tanpa <i>base isolation</i> akibat gempa elcentro.....	227
<b>Gambar 5.131</b>	Grafik rasio gaya geser tingkat antara bangunan dengan dan tanpa <i>base isolation</i> akibat gempa santacruz .....	228

**Gambar 5.132** Grafik rasio gaya geser tingkat antara bangunan dengan dan tanpa *base isolation* akibat gempa koyna ..... 229

**Gambar 5.133** Grafik rasio momen guling tingkat antara bangunan dengan dan tanpa *base isolation* akibat gempa elcentro ..... 231

**Gambar 5.134** Grafik rasio momen guling tingkat antara bangunan dengan dan tanpa *base isolation* akibat gempa santacruz ..... 232

**Gambar 5.135** Grafik rasio momen guling tingkat antara bangunan dengan dan tanpa *base isolation* akibat gempa koyna ..... 233

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b>	Kapasitas Simpan Energi beberapa material Syrotiuk, 1998:244.....	16
<b>Tabel 4.1</b>	Spesifikasi bantalan karet (Rubber Bearing).....	58
<b>Tabel 4.2.1</b>	Bangunan 4 tingkat dengan <i>Base Isolation</i> .....	58
<b>Tabel 4.2.2</b>	Bangunan 4 tingkat tanpa <i>Base Isolation</i> .....	59
<b>Tabel 4.3.1</b>	Bangunan 8 tingkat dengan <i>Base Isolation</i> .....	59
<b>Tabel 4.3.2</b>	Bangunan 8 tingkat tanpa <i>Base Isolation</i> .....	59
<b>Tabel 4.4.1</b>	Bangunan 10 tingkat dengan <i>Base Isolation</i> .....	60
<b>Tabel 4.4.2</b>	Bangunan 10 tingkat tanpa <i>Base Isolation</i> .....	60
<b>Tabel 4.5</b>	Data Gempa.....	60
<b>Tabel 5.1.1</b>	Hasil perhitungan massa struktur 4 tingkat dengan <i>Base Isolation</i> .....	71
<b>Tabel 5.1.2</b>	Hasil perhitungan massa struktur 8 tingkat dengan <i>Base Isolation</i> .....	71
<b>Tabel 5.1.3</b>	Hasil perhitungan massa struktur 10 tingkat dengan <i>Base Isolation</i> .....	71
<b>Tabel 5.2.1</b>	Hasil perhitungan massa struktur 4 tingkat tanpa <i>Base Isolation</i> .....	72
<b>Tabel 5.2.2</b>	Hasil perhitungan massa struktur 8 tingkat tanpa <i>Base Isolation</i> .....	72
<b>Tabel 5.2.3</b>	Hasil perhitungan massa struktur 10 tingkat tanpa	

	<i>Base Isolation</i> .....	73
<b>Tabel 5.3.1</b>	Hasil perhitungan kekakuan struktur 4 tingkat dengan <i>Base Isolation</i> .....	74
<b>Tabel 5.3.2</b>	Hasil perhitungan kekakuan struktur 8 tingkat dengan <i>Base Isolation</i> .....	74
<b>Tabel 5.3.3</b>	Hasil perhitungan kekakuan struktur 10 tingkat dengan <i>Base Isolation</i> .....	75
<b>Tabel 5.4.1</b>	Hasil perhitungan kekakuan struktur 4 tingkat tanpa <i>Base Isolation</i> .....	75
<b>Tabel 5.4.2</b>	Hasil perhitungan kekakuan struktur 8 tingkat dengan <i>Base Isolation</i> .....	75
<b>Tabel 5.4.3</b>	Hasil perhitungan kekakuan struktur 10 tingkat dengan <i>Base Isolation</i> .....	75

## ABSTRAKSI

Gempa bumi adalah salah satu bencana alam yang sering membuat kerusakan, baik kerusakan struktur tanah maupun kerusakan struktur bangunan yang ada di atasnya. Sangat jelas pada peta seismotektonik dunia bahwa Indonesia mempunyai kondisi tektonik yang memungkinkan banyaknya terjadi gempa bumi. Hal ini terjadi karena Indonesia merupakan pertemuan dari 4 plat tektonik dunia. Oleh karena itu perlu adanya perlindungan yang mampu meredam /melindungi bangunan dari efek atau akibat kerusakan dari goncangan gempa bumi yang terjadi yaitu dengan pemasangan isolasi dasar (base isolation). Isolasi dasar (base isolation) berfungsi meredam gempa bumi yang terjadi sehingga kerusakan yang ditimbulkan dapat dikurangi seminimal mungkin.

Struktur yang dipakai dalam penelitian ini adalah struktur beton bertingkat banyak. Dalam hal ini struktur beton mempunyai massa dan kekakuan yang lebih besar daripada struktur baja. Struktur beton tersebut diberikan perlakuan yaitu bagian struktur beton diberi perletakan isolasi dasar (base isolation), untuk membandingkan dipakai struktur beton tanpa menggunakan isolasi dasar (base isolation) atau pondasi dianggap jepit penuh. Penelitian ini memvariasikan tinggi dari struktur beton yaitu 4 tingkat, 8 tingkat, dan 10 tingkat. Beban – beban dinamik berupa beban gempa dengan memvariasikan 3 beban gempa yaitu gempa Elcentro yang mempunyai frekuensi sedang, gempa Santacruz dan gempa Koyna yang mempunyai frekuensi tinggi. Dari perlakuan struktur tersebut dapat diketahui respon yang didapat yaitu berupa pola ragam goyangan (mode shape), simpangan relatif, simpangan antar tingkat (interstorey drift), gaya horisontal tingkat, gaya geser tingkat, dan momen guling.

Dari hasil penelitian dan perlakuan struktur dapat diketahui tentang fungsi isolasi dasar (base isolation) yaitu sebagai peredam terhadap berbagai pengaruh gempa yang terjadi. Besarnya redaman isolasi dasar (base isolation) dapat diketahui dengan membandingkan struktur bangunan dengan menggunakan isolasi dasar (base isolation) dan tanpa menggunakan isolasi dasar (base isolation). Pengaruh penggunaan isolasi dasar (base isolation) terhadap respon seismik bangunan yang berupa simpangan relatif, simpangan antar tingkat (interstorey drift), gaya horisontal tingkat, gaya geser tingkat, dan momen guling pada bangunan tersebut lebih kecil dibandingkan dengan respon seismik pada bangunan tanpa menggunakan isolasi dasar (base isolation). Dalam menentukan kekakuan isolasi dasar (base isolation) hendaknya jangan mendekati kekakuan struktur karena akan menimbulkan sifat dan perilaku yang sama dengan struktur tanpa base isolation. Dengan diketahuinya keuntungan dan kerugian pemasangan base isolation terhadap bangunan dapat dijadikan metode teknologi alternatif peredaman gempa di Indonesia sehingga dapat direalisasikan dimasa yang akan datang.

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Gempa bumi adalah salah satu bencana alam yang sering membuat kerusakan baik kerusakan struktur tanah maupun bangunan yang berada di atasnya. Terdapat banyak teori tentang kejadian gempa tetapi secara keseluruhan merupakan sebab dari gerakan plat tektonik. Dua plat tektonik yang saling beradu atau menggeser akan mengakibatkan tegangan deformasi dan berarti akan terjadi akumulasi energi regangan (*strain energy*). Apabila tegangan batuan yang terjadi sudah sedemikian besar dan tidak lagi dapat ditahan oleh batuan maka kerusakan batuan akan terjadi. Kerusakan lapisan kerak bumi yang terjadi secara tiba-tiba menimbulkan getaran yang disebarkan ke semua arah yang selanjutnya merambat sampai permukaan tanah. Tanah yang bergetar menyebabkan bangunan yang berada di atas tanah ikut bergetar dan terjadi kerusakan.

Sangat jelas pada peta seismotektonik dunia bahwa Indonesia mempunyai kondisi tektonik yang memungkinkan banyak terjadi gempa bumi. Hal ini terjadi karena Indonesia merupakan pertemuan dari empat plat tektonik dunia yaitu plat Philippines, Pasifik, Australia dan plat Eurasia. Karena plat-plat tektonik tersebut bergerak saling menuju (konvergen) maka dapat dipastikan bahwa gempa bumi akan banyak terjadi di Indonesia. Oleh karena itu hal ini menuntut para *engginers*

untuk memecahkan masalah menghadapi gempa bumi yang sifatnya sulit untuk diprediksikan kapan gempa akan terjadi yang mana erat kaitannya dengan bangunan konstruksi. Pada bangunan gedung bertingkat banyak, kekuatan bangunan akan terletak pada jenis, penempatan, ukuran dan bahan dari struktur utama oleh karena itu dituntut agar bangunan-bangunan di Indonesia tahan akan bahaya gempa sebagai akibat dari aktifitas seismik tersebut.

Salah satu prinsip utama untuk membuat bangunan tidak rusak akibat gempa yaitu memberi redaman yang dipasang pada struktur bangunan yang berfungsi sebagai pengendali respon (simpangan) gempa. Prinsip dengan redaman ini yang akan dibahas lebih lanjut dalam penelitian ini, karena redaman penting dalam penyerapan energi akibat gempa bumi. Redaman dapat mengurangi simpangan gempa, sehingga bangunan di atasnya dapat menerima simpangan gempa lebih kecil dibandingkan dengan tanpa redaman. Secara garis besar, usaha-usaha yang dilakukan untuk memberikan redaman pada suatu bangunan, yaitu :

- a. Pembuatan material yang memiliki redaman tinggi.
- b. Memasang alat peredam.

Alat peredam tersebut dibagi menjadi dua macam yaitu alat peredam aktif dan alat peredam pasif. Peredam aktif dibuat untuk mengontrol tingkah laku elemen dengan menggunakan mesin. Sedangkan alat peredam pasif dibuat dengan menggunakan *base isolation* yang berupa *rubber bearing*.

Pada penilitaian *base isolation* terdahulu yang dilakukan oleh Paldi dan Hakim (2000) yaitu performasi bantalan karet (*rubber bearing*) sebagai redaman pasif untuk seismik kontrol pada bangunan tahan gempa sangat berpengaruh

terhadap parameter-parameter seismik yaitu simpangan relatif struktur terhadap pondasi, simpangan relatif terhadap pelat dasar, *interstory drift*, gaya geser tingkat, dan momen guling. Data percepatan tanah hanya diambil dari gempa El centro.

Sedangkan penelitian *base isolation* yang dilakukan Dian Fizaily dan Widyastuti (2002) yang menganalisis perletakan sendi plastis pada struktur beton dengan bangunan bertingkat sembilan menggunakan *base isolation (rubber bearing)* diketahui tentang lokasi perletakan dari sendi plastis yang terbentuk. Data diambil pada kondisi tanah lunak (daerah wilayah gempa III). Penelitian ini dilakukan di lapangan terbuka tanpa memperhitungkan beban angin.

Penelitian *base isolation* yang dilakukan oleh Nugroho dan Budiyanto (2002) yaitu memvariasikan kekakuan *base isolation* untuk mencari simpangan relatif, simpangan antar tingkat, gaya geser dan momen guling. Bangunan tersebut kemudian dibandingkan dengan bangunan tanpa *base isolation*. Dengan memasukan data percepatan tanah (*time history*) dari gempa Elcentro.

Pokok permasalahan yang peneliti ambil adalah penelitian pada bangunan dengan struktur beton bertingkat banyak yang menggunakan sistem isolasi dasar (*base isolation*) dengan sifat elastoplastis yangmana base isolasi dasar tersebut ditempatkan pada lantai dasar. Dalam hal ini isolasi dasar tersebut berfungsi sebagai peredam energi akibat gempa bumi yang dapat merusak bangunan. Pemasangan *base isolation* sangat baik pada frekuensi gempa yang tinggi dan masih aman untuk frekuensi gempa yang sedang.



Pada umumnya struktur direncanakan dengan anggapan elastis linier dan tetap elastis linier bila dipengaruhi oleh pengaruh dinamis. Namun ada situasi dimana struktur harus direncanakan untuk memikul suatu beban berat seperti gerak yang kuat dari gempa bumi atau akibat ledakan nuklir. Untuk situasi ini tidak benar bila menganggap struktur tetap bersifat elastis linier, jadi diperlukan untuk merencanakan struktur yang siap berdeformasi melewati batas elastis. Anggapan yang sederhana dan dapat diterima adalah menganggap struktur bersifat elastoplastis. Dengan sifat ini, struktur tetap elastis hingga gaya pemulihan mencapai harga maksimum (tarik atau tekan) di mana akan tetap konstan dan bergerak kembali menjadi sifat elastis.

Dari paparan diatas maka diperlukan suatu penelitian tentang pengaruh *base isolation* pada struktur beton bertingkat banyak yang mana untuk *base isolation* dianggap bersifat elastoplastis.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang ada, maka dalam tugas akhir ini merumuskan masalah sebagai berikut :

1. Membandingkan berapa besar pengaruh respon seismik struktur bangunan (simpangan relatif, *interstorey drift*, gaya horisontal tingkat, gaya geser tingkat dan momen guling) antara bangunan tanpa *Base Isolation* dan bangunan yang memakai *Base Isolation* dengan anggapan *Base Isolation* bersifat elastis dan elastoplastis.

2. Membandingkan respon seismik struktur bangunan antara bangunan dengan dan tanpa *base isolation* akibat beban gempa dengan variasi tiga jenis redaman yaitu redaman proporsioanal terhadap massa (*Mass Proportional Damping, MPD*), redaman proporsioanal terhadap kekakuan (*Stiffnes Proportional Damping, SPD*) dan redaman proporsioanal terhadap massa dan kekakuan (*Mass and Stiffnes Proportional Damping, MSPD*)

### 1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang ada, maka tujuan dari penelitian yang kami lakukan adalah :

1. Untuk mengetahui rasio respon seismik struktur bangunan (simpangan relatif, *inter storey drift*, gaya horisontal tingkat, gaya geser tingkat dan momen guling) antara bangunan tanpa *Base Isoltion* dan bangunan yang memakai *Base Isolation* dengan anggapan *Base Isolation* bersifat elastis dan elastopastis.
2. Untuk mengetahui seberapa besar respon seismik struktur bangunan antara bangunan dengan dan tanpa *base isolation* akibat beban gempa dengan variasi tiga jenis redaman yaitu redaman proporsioanal terhadap massa (*Mass Proportional Damping, MPD*), redaman proporsioanal terhadap kekakuan (*Stiffnes Proportional Damping, SPD*) dan redaman proporsioanal terhadap massa dan kekakuan (*Mass and Stiffnes Proportional Damping, MSPD*)

#### 1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah setelah diketahui kemampuan isolasi dasar (*base isolation*) dalam meredam beban gempa dapat diterapkan pada struktur bangunan gedung di Indonesia. Kita juga dapat mengetahui seberapa besar perubahan simpangan relatif, *inter storey drift*, gaya horisontal, gaya geser tingkat, dan momen guling yang terjadi akibat pengaruh *base isolation*.

#### 1.5 Lingkup Penelitian

Untuk memberikan hasil penelitian yang optimal dan kemudahan dalam perencanaan penelitian ini, maka diambil batasan-batasan sebagai berikut :

1. Analisa struktur diambil dari struktur beton bertingkat banyak yaitu 4, 8, dan 10 tingkat.
2. Analisa massa struktur menggunakan sistem massa dianggap menggumpal pada satu titik (*lumped mass*).
3. Perhitungan kolom struktur berdasarkan Prinsip *shear building*.
4. Nilai kekakuan *base isolation* ( $K_b$ ) diambil  $\frac{1}{10} s/d \frac{1}{50}$  dari kekakuan struktur tingkat 1 dan disesuaikan juga dengan jumlah tingkat bangunan yang digunakan, kekakuan horisontal tanah ( $K_h$ ) dan kekakuan putar tanah ( $K_r$ ) diabaikan.
5. Nilai redaman *base isolation* ( $C_b$ ) tergantung dari  $K_b$ , massa *base isolation*, *damping ratio* ( $\zeta$ ) dan frekuensi sudut ( $\omega$ ). Sedangkan nilai redaman horisontal tanah ( $C_h$ ) dan redaman putar ( $C_r$ ) tanah diabaikan.

6. Massa *base isolation* sama dengan massa tingkat satu. ( $m_b = m_1$ )
7. Besarnya redaman pada struktur dengan *base isolation* menggunakan redaman konstan, dengan menggunakan jenis redaman proporsional dengan kekakuan (*Stiffness Proportional Damping, SPD*), sedangkan untuk verifikasi hitungan digunakan tiga jenis redaman yaitu redaman proporsional dengan massa (*Mass Proportional Damping, MPD*), redaman proporsional dengan kekakuan (*Stiffness Proportional Damping, SPD*), dan redaman proporsional terhadap massa dan kekakuan (*Mass and Stiffness Proportional Damping*)
8. Percepatan gempa menggunakan percepatan tiga gempa yaitu gempa Elcentro, Santacruz dan Koyna.
9. Perhitungan struktur untuk *base isolation* menggunakan integrasi persamaan gerak non linier dengan memakai metoda percepatan linier langkah demi langkah untuk sistem berderajat kebebasan tunggal elastoplastis. Sedangkan perhitungan untuk struktur keseluruhan menggunakan integrasi secara langsung dengan metode  $\beta$ -Newmark dengan formulasi untuk analisis linier elastis.
10. Pembuatan program dengan *Microsoft Visual Basic 6.0*.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Tinjauan Penelitian Terdahulu

Penelitian yang baik merupakan kelanjutan atau penyempurnaan dari penelitian-penelitian sebelumnya. Agar hubungan tersebut dapat dilakukan dengan baik maka diperlukan kajian pustaka yang mendahuluinya.

**1. Paldi dan Hakim (2000) : “Performasi Bantalan Karet (Rubber Bearing) sebagai Redaman Pasif untuk Seismik Kontrol pada Bangunan Tahan Gempa”** (Tugas Akhir Jurusan Teknik Sipil FTSP UII).

a). Permasalahan

Gempa bumi yang terjadi akan menimbulkan berbagai energi yang berdampak bagi bangunan di atasnya. Energi gempa ini akan diredam menggunakan performasi sistem isolasi dasar (*base isolation*).

b). Pemecahan Permasalahan.

Mendesain bangunan dengan cara konvensional (*fixed base*), kemudian membandingkan hasil desain tersebut dengan bangunan yang menggunakan sistem isolasi dasar (*base isolation*). Parameter yang dikomparasi yaitu simpangan relatif, simpangan antar tingkat (*inter story drift*), gaya geser tingkat dan momen guling (*overturning moment*).

c). Hasil Penelitian.

Meneliti performansi bantalan karet (*rubber bearing*) sebagai redaman pasif untuk seismik kontrol pada bangunan tahan gempa dan telah membuat kesimpulan bahwa parameter-parameter seismik ternyata tereduksi secara signifikan, berupa simpangan relatif struktur terhadap pondasi (20,64 %), terhadap pelat dasar (76,43 %), *inter story drift* (59,67 %). Gaya geser tingkat (82,52 %), dan momen guling (76,17 %).

**2. Dian Fizaily dan Widyastuti (2002) : “Perletakan Sendi Plastis pada Struktur Beton dengan Analisis Beban Statik Ekuivalen pada Bangunan Bertingkat Sembilan dengan Dua Batang yang Menggunakan *Base Isolation (Rubber Bearing)*” (Tugas Akhir Jurusan Teknik Sipil FTSP UII).**

a). Permasalahan.

Perilaku dan perletakan sendi plastis pada suatu struktur beton bertulang diperlukan suatu analisis sebagai sistem kontrol untuk mereduksi efek gempa.

b). Pemecahan Permasalahan

Dengan analisis struktur menggunakan program *SAP 2000* bertujuan mengidentifikasi letak sendi plastis pada struktur bangunan bertingkat banyak tahan gempa yang menggunakan *base isolation* berupa *rubber bearing*. Struktur yang digunakan sebagai model adalah beton bertulang bertingkat sembilan, dua dimensi (portal bidang) terdiri dari dua bentang

dengan panjang bentang sembilan meter dan berada pada daerah gempa III, dengan kondisi tanah lunak. Perencanaan beban gempa rencana yang digunakan adalah analisis beban gempa statik ekuivalen, bangunan berdaktilitas penuh, direncanakan tanpa menggunakan dinding geser, dianggap tidak terjadi efek torsi dan efek *p-delta* pada bangunan, *seismic control* dengan *base isolation* menggunakan kontrol redaman pasif berupa *rubber bearing* yang ditempatkan pada dasar kolom lantai pertama (*first story coloum*).

c). Hasil Penelitian

Kesimpulan dari analisis mereka adalah lokasi sendi plastis pada setiap balok dari lantai satu sampai lantai sembilan berada diluar jarak  $2h$  dari muka tumpuan balok.

**3. Nugroho dan Budiyanto (2002) : “Pengaruh High Dumping Rubber Bearing sebagai isolasi dasar terhadap Perilaku Dinamika Struktur”**  
(Tugas Akhir Jurusan Teknik Sipil FTSP UII).

a). Permasalahan

Struktur bangunan apabila dikenai beban dinamik maka akan menimbulkan simpangan dari beban dinamik, dalam hal ini beban gempa. Struktur bangunan semakin keatas memiliki simpangan makin besar, sehingga menimbulkan gaya pada bangunan, hal ini dibuktikan dengan adanya kerusakan pada struktur seperti retak, ataupun buckling pada baja.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui keefektifan simpangan bangunan apabila dikenai beban gempa.

b). Pemecaan Permasalahan

Penelitian ini menggunakan program *SAP 2000*, dan *Exel 2000*, yaitu dengan mendesain bangunan dengan cara konvensional (*fixed base*), kemudian membandingkan hasil desain tersebut dengan bangunan yang menggunakan sistem isolasi dasar (*base isolation*). Parameter yang dikomparasikan yaitu simpangan relatif, simpangan antar tingkat (*interstory drift*), gaya geser tingkat dan momen guling.

c). Hasil Penelitian

Hasil penelitian yang diperoleh adalah nilai reduksi yang paling optimal terjadi pada variasi kekakuan 100%.

**4. Ardy dan Didik (2004) : “Pengaruh Penggunaan Isolasi Dasar (*Base Isolation*) terhadap Respon Seismik Struktur Rangka Baja Bertingkat Banyak” (Tugas Akhir Jurusan Teknik Sipil FTSP UII).**

a). Permasalahan

Berapa besar pengaruh isolasi dasar (*base isolation*) pada suatu bangunan struktur baja bertingkat banyak sebagai pereduksi beban gempa dibandingkan dengan tanpa isolasi dasar terhadap respon keefektifan bangunan (simpangan, *inter story drift*, gaya horisontal tingkat, gaya horisontal tingkat kumulatif dan momen guling), dan membandingkan *mode shape* antara struktur dengan dan tanpa isolasi dasar serta pengaruh



penggunaan parameter gerakan tanah, yaitu frekuensi dan percepatan akibat gempa terhadap waktu periode getar  $T$ .

b). Pemecahan Permasalahan

Analisa dan perhitungan struktur, diambil dari struktur rangka baja bertingkat banyak yaitu 4, 7, 10 tingkat (*open frame*), analisa massa struktur menggunakan sistem massa dianggap menggumpal pada satu titik (*lumped mass*), perhitungan kekakuan kolom berdasarkan prinsip *Shear Building*, nilai kekakuan *base isolation* ( $K_b$ ) = 1183388,534 kg/m, kekakuan horisontal tanah ( $K_h$ ) dan kekakuan putar tanah ( $K_r$ ) diabaikan, nilai redaman *base isolation* ( $C_b$ ) tergantung dari  $K_b$ , sedangkan nilai redaman horisontal tanah ( $C_h$ ) dan redaman putar ( $C_r$ ) tanah diabaikan, massa *base isolation* sama dengan massa tingkat satu, kekakuan struktur dianggap pada kondisi linier elastis, besarnya redaman pada struktur dengan *base isolation* menggunakan redaman konstan sedangkan pada struktur tanpa *base isolation* menggunakan redaman proporsional dengan dengan massa (*mass proportional dumping*), percepatan tanah diambil dari data gempa Koyna, Elcentro dan Bucharest, perhitungan struktur menggunakan integrasi secara langsung menurut  $\beta$ -Newmark dengan formulasi untuk analisis linier elastis, dan program menggunakan *Microsoft Visual Basic 6.0*.

c). Hasil Penelitian

Struktur dengan menggunakan *base isolation* mempunyai dominasi pada mode pertama lebih kecil dikarenakan jika menggunakan *base isolation*

relatif lebih fleksibel. Simpangan antar tingkat (*interstory drift*). Struktur dengan menggunakan *base isolation* pada lantai satu lebih besar daripada struktur yang di atasnya. *Base isolation* sangat cocok dipakai pada gempa frekuensi tinggi dan pada kondisi tanah keras.

Pada penelitian-penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya dari masing-masing peneliti terdapat beberapa hal yang masih perlu disempurnakan :

1. Pada penelitian Paldi dan Hakim (2000)
  - Data percepatan gempa (*time history*) hanya digunakan data percepatan dari gempa El Centro.
2. Pada penelitian Dian Fizaily dan Widyastuti (2002)
  - Bangunan pada wilayah gempa III, pada kondisi tanah lunak sehingga hasil yang diperoleh tidak berlaku untuk semua jenis tanah.
  - Tidak memperhitungkan beban angin, padahal dalam prakteknya dilapangan tidak dapat menghindari adanya angin dan mempengaruhi  $Q_{ultimit}$ .
3. Pada Nugroho dan Budiyanto (2002)
  - Data percepatan tanah (*time history*) hanya digunakan satu data yaitu data percepatan tanah akibat gempa El Centro sehingga hasil yang diperoleh kurang akurat.
4. Pada Ardy dan Didik (2004)
  - Pada bangunan dengan tingkat diatas 20 program tidak dapat terdefinisi.

## 2.2 Keaslian Penelitian

Berdasarkan penelitian-penelitian diatas maka pada penelitian selanjutnya akan menggabungkan metode-metode yang terdapat pada penelitian sebelumnya dengan memperbaiki kekurangannya, diantaranya :

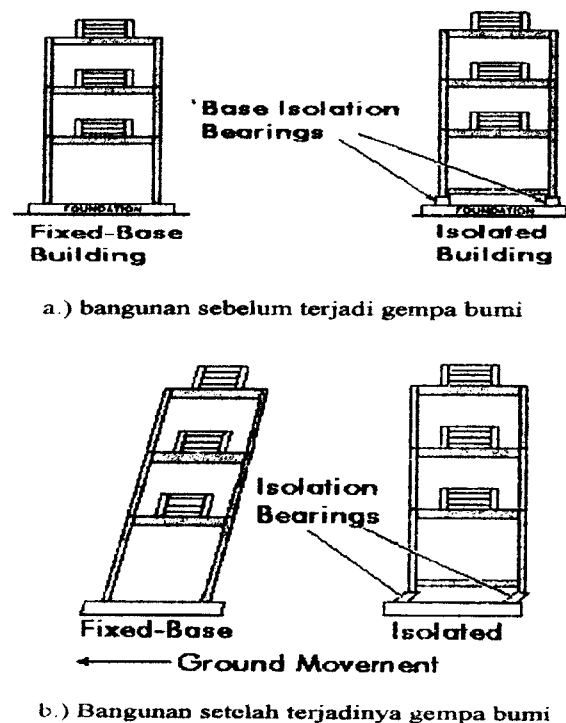
1. Dalam analisis dipakai beberapa riwayat gempa (*time history*) seperti gempa Elcentro, gempa Santacruz, dan gempa Koyna. Pemilihan struktur bangunan menggunakan struktur beton bertingkat banyak dengan variasi 4, 8, dan 10 tingkat.
2. Bangunan menggunakan sistem kontrol pasif yaitu digunakan *rubber bearing* sebagai *base isolation*, dan data-data yang diperlukan dipakai dari data *base isolation* yang digunakan.
3. Membandingkan bangunan dengan *base isolation* dan bangunan tanpa *base isolation*.
4. Penjelasan analisis struktur dengan anggapan sistem berperilaku elastoplastis/bilinier untuk *base isolation* dan sistem berperilaku linier elastis untuk tingkat ke- n.
5. Untuk mendukung perhitungan dalam penelitian ini menggunakan program *Microsoft Visual Basic 6.0*.

## 2.3 Pengertian *Base Isolation*.

Isolasi dasar (*base isolation*) adalah suatu cara perlindungan bangunan gempa bumi terhadap getaran gempa bumi. Pada dasarnya, cara perlindungan tersebut dicapai melalui pengurangan getaran gempa bumi kearah horisontal oleh

suatu sistem sehingga memungkinkan bangunan untuk bergerak bebas saat berlangsung gempa bumi tanpa tertahan langsung oleh pondasi. (Siswantoro & Buana, 1994, p.6).

Pada saat terjadi gempa bumi, bangunan tanpa *base isolation* cenderung terkena energi gempa secara langsung, sehingga mengakibatkan simpangan akibat gempa terhadap bangunan makin keatas makin besar membuat kerusakan yang terjadi sangat besar dan langsung berakibat pada struktur. Hal ini berbeda dengan bangunan yang menggunakan *base isolation*, pada saat terjadinya gempa bumi energi akibat gempa bumi akan diterima oleh *base isolation*, dan simpangan yang terjadi akibat gempa terhadap bangunan diredam oleh *base isolation* sehingga simpangan terbesar terjadi pada *base isolation* tersebut. Akibat yang terjadi struktur diatasnya hanya mengalami penggoyangan relatif kecil (karena simpangan yang kecil) dan kerusakan bangunan yang ditimbulkan oleh gempa cenderung kecil pula. Oleh karena itu perlindungan bangunan dengan isolasi dasar (*base isolation*) dinilai lebih unggul dari peningkatan struktur bangunan secara konvensional (*fixed base*), karena sistem-sistem tersebut sekaligus dapat melindungi isi bangunan. Perbandingan perilaku bangunan dengan dan tanpa *base isolation* apabila dikenai beban gempa dapat dilihat pada gambar dibawah ini,



**Gambar 2.1** Perbandingan bangunan tanpa dan dengan *base isolation*

## 2.4 Jenis-jenis Isolasi Dasar (*Base Isolation*)

Secara garis besar isolasi dasar dibagi kedalam dua kelompok, yaitu isolasi dasar yang menggunakan material karet sebagai isolator (*rubber type seismic isolation*) dan tanpa menggunakan material karet sebagai isolatornya (*non-rubber type seismic isolation*) seperti yang akan dijelaskan berikut ini,

### 2.4.1 *Rubber Type Seismic Isolation*

Isolasi dasar yang menggunakan bantalan karet peredam gempa (*seismic rubber bearing*) sebagai isolator adalah yang paling populer penggunaannya. Popularitas bantalan karet ini semakin meningkat karena mampu membuktikan keandalannya pada saat gempa bumi Los Angeles awal tahun 1994 dan Kobe akhir tahun 1994.

Bantalan karet ini terbuat dari lembaran-lembaran vulkanis karet yang direkatkan pada pelat-pelat baja secara berselang-seling. Pelat-pelat baja tersebut bertujuan meningkatkan kekakuan karet kearah vertikal sehingga karet tidak menggelembung kesamping karena beban bangunan.

Karet yang dipakai adalah karet alam Hevea (Indonesia adalah produsen karet terbesar untuk jenis karet ini) yang dikenal memiliki sifat elastis pada sifat unggul dari semua jenis karet yang ada pada saat ini. Sifat ini sangat diperlukan untuk memberikan respon elastis kearah horisontal yang berarti dapat mengikuti atau tidak menentang pergerakan horisontal permukaan bumi ketika gempa tektonik terjadi dan pada akhirnya berangsur-angsur kembali ke kedudukan semula.

Menurut hasil penelitian selama ini, sifat yang dimiliki bantalan karet ini mampu meredam sekurang-kurangnya 70 % akselerasi di puncak bangunan (BPPP, 1997). Pertanyaan yang sering diajukan adalah berapa umur pemakaian bantalan karet tersebut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bantalan karet yang dipakai oleh sebuah bangunan di Inggris yang telah terpasang selama lebih dari 50 tahun ternyata lebih relatif masih utuh. Padahal teknologi pembuatan komponen karet pada saat bantalan itu dibuat belum secanggih teknologi sekarang.

Para ahli memperkirakan umur pemakaian bantalan karet yang dibuat dengan sistem pengomponan karet yang benar, bisa lebih dari satu abad. Selain itu karena bantalan ini terpasang lepas diantara pondasi bangunan dan bangunan atas, sudah tersedia pula cara mengganti (bila benar-benar diperlukan) bantalan yang rusak dengan yang baru.

Di Jepang, daya tahan bantalan karet untuk bangunan tahan gempa minimum 60 tahun (Kojima dan Fukahori, 1998). Selain daya tahan, penggunaan karet sebagai isolator juga karena kapasitas kemampuan simpan energi yang dimiliki karet sangat tinggi bahkan lebih tinggi dari baja.

Tabel 2.1. Kapasitas simpan energi beberapa material Syrotiuk,1986:244)

Material	Joule/kg
Karet alam tervulkanis	44.800
Kayu Hickory	365
Pegas baja	284
Rol aluminium	22,6
Phosphorbronze	12,2
Baja sangat lunak	9,18
Besi tuang	1,11

Macam-macam isolasi dasar dengan isolator bantalan karet yang banyak digunakan adalah *Laminated Rubber Lead Containing Bearing* dan *High Dumping Laminated Rubber Bearing* seperti yang dilihat di bawah ini :

a. *Laminated Rubber Lead Containing Bearing (Lead Rubber Bearing-LRB)*

Timah hitam (*Lead*) dipasang pada sumbu bantalan karet, dibagian atas dan bawah diberi lempengan pelat baja. Timah hitam digunakan untuk menyerap energi dari gempa dan untuk menahan beban angin.

b. *High Dumping Laminated Rubber Bearing (Multi Rubber Bearing-MRB)*

Pada dasarnya jenis alat isolasi dasar ini sama dengan LRB hanya saja disini propertis dari karet telah dimodifikasi agar dapat memberi

kemampuan redaman yang lebih tinggi dan mampu menyerap energi gempa bumi.

#### **2.4.2 *Non-Rubber Type Seismic Isolation***

*Non-Rubber Type Seismic Isolation* yang paling banyak dikenal antara lain *Lead Extrusion Dumper*, *Ball Roller Bearings* dan *Sliding Bearings*, yang paling banyak digunakan adalah *Lead Extrusion Dumper*, sedangkan dua tipe lainnya masih dalam tahapan eksperimen.

### **2.5 Perletakan Isolasi Dasar (*Base Isolation*)**

Lokasi perletakan isolasi dasar yang dianjurkan adalah serendah mungkin agar dapat melindungi struktur sebanyak mungkin. Pertimbangan biaya dan praktis juga mempengaruhi pemilihan lokasi penempatan isolasi dasar ini. Pada bangunan pemilihan lokasi biasanya terletak pada lantai dasar (*ground level*) atau dibawah basement (Meyes, 1984).

Tiap lokasi mempunyai keuntungan dan kerugian masing-masing yang berhubungan dengan pertimbangan-pertimbangan desain seperti simpangan geser (*shear displacement*) pada bangunan, partisi dan lain-lain.

Menurut Meyes (1984) dan rekan-rekan, ada empat macam perletakan isolasi dasar pada bangunan berdasarkan keuntungan dan kerugian seperti diuraikan berikut ini :

1. Isolator dasar ditempatkan pada dasar kolom lantai pertama. (*first story coloumns*). Keuntungan isolator dasar ditempatkan pada dasar kolom lantai pertama (*first story coloumns*) adalah :



- a. Penambahan biaya struktur kecil,
- b. dasar kolom bisa dihubungkan dengan diafragma, dan
- c. mudah memasukkan sistem cadangan untuk beban vertikal.

Kerugian isolator dasar yang ditempatkan pada dasar kolom lantai pertama (*first story coloumns*) adalah membutuhkan kantilever khusus.

2. Isolator dasar ditempatkan pada puncak dari kolom *basement*. Keuntungan isolator dasar ditempatkan pada puncak dari *basement* adalah :

- a. Tidak diperlukan *sub-basement*,
- b. penambahan biaya struktur yang kecil,
- c. pada level isolasinya dasar kolom dihubungkan oleh diafragma,
- d. kolom juga berfungsi sebagai sistem cadangan untuk beban vertikal.

Kerugian isolator dasar ditempatkan pada puncak dari kolom *basement* adalah :

- a. Membutuhkan ruang khusus dibawah lantai pertama, dan
  - b. membutuhkan perhatian yang khusus untuk tangga dibawah lantai pertama.
3. Isolator dasar diletakkan pada tengah-tengah kolom basement (*mid-height of basement coloumns*). Keuntungan isolator dasar diletakkan pada tengah-tengah kolom basement (*mid-height of basement coloumns*) adalah :
- a. Tidak diperlukan *sub-basement*, dan
  - b. kolom *basement* tidak perlu sekaku seperti pada *base isolator* yang diletakkan pada pada bagian atas atau bawah kolom.

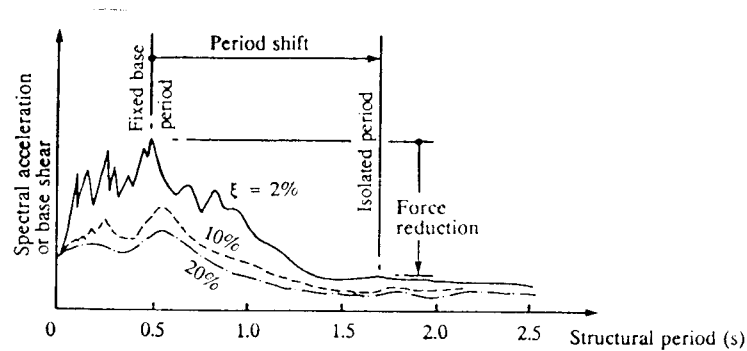
Kerugian isolator dasar diletakkan pada tengah-tengah kolom basement (*mid-height of basement coloumns*) adalah :

- a. Diperlukan perhatian khusus untuk *elevator* dan tangga akibat dari simpangan *mid-story*,
  - b. tidak terdapat diafragma pada *level*, dan
  - c. sulit untuk memasang sistem cadangan untuk beban vertikal.
4. Isolator dasar diletakkan pada *sub-basement*. Keuntungan isolator dasar diletakkan pada *sub-basement* adalah :
- a. Dasar kolom dihubungkan dengan diafragma pada *level* isolasinya,
  - b. mudah untuk memasang sistem cadangan untuk beban vertikal.
5. Kerugian isolator dasar diletakkan pada *sub-basement* adalah :
- a. Diperlukan penambahan biaya untuk *sub-basement*, kecuali *sub-basement* memang diperlukan, dan
  - b. membutuhkan dinding penahan tanah (*retaining wall*).

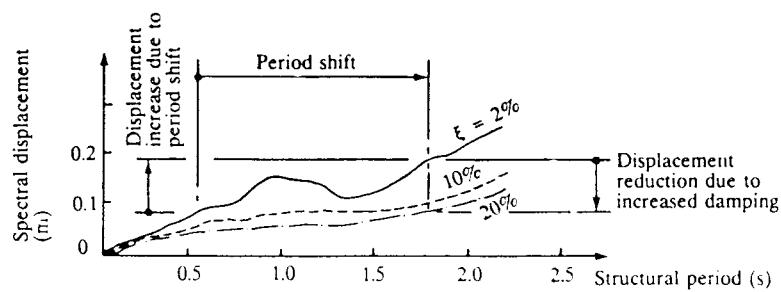
## 2.6 Prinsip Sistem *Base Isolation*

Sistem *base isolation* sangat baik dipakai di daerah yang frekuensi getaran gempa yang tinggi dan pada kondisi tanah yang keras. Pada kondisi ini bentuk spektrum respon percepatan cenderung meningkat secara tajam pada nilai-nilai periode getar  $T$  awal, setelah mencapai puncaknya kemudian cenderung menurun secara terus menerus sampai pada periode getar yang ditinjau. Pemasangan *base isolation* sangat tepat pada kondisi ini karena *base isolation* memperpanjang waktu periode getar  $T$ , sehingga pada kondisi ini spektrum respon cenderung

menurun. Hal ini berlaku sebaliknya apabila sistem *base isolation* dipasang pada kondisi gempa dengan frekuensi gempa rendah dan pada kondisi tanah lunak. Pada kondisi ini spektrum percepatan cenderung rendah pada nilai-nilai periode getar  $T$  awal. Kemudian akan meningkat secara tajam bersamaan dengan bertambahnya waktu periode getar  $T$ . Pemasangan *base isolation* tidak baik pada kondisi ini karena pada saat *base isolation* memperpanjang waktu periode getar  $T$ , akan jatuh pada puncak dari kondisi gempa ini. Untuk lebih jelasnya lihat pada gambar 2.2.



(a) Effect of period shift on design forces



(b) Effect of period shift and damping on relative displacement between ground and structure

**Gambar 2.2** Efek dari *base isolation* terhadap waktu getar  $T$  pada saat terjadi gempa

Pada gambar tersebut menunjukkan sistem-sistem tipe percepatan respon struktur dengan tipe puncak respon periode terjadi pada 0.5 detik. Pemasangan *base isolation* sangat tepat pada kondisi ini karena periode getar  $T$  lebih panjang pada saat kondisi percepatan tanah mencapai periode diatas 0.5 detik yang bersamaan dengan menurunnya puncak respon periode. Hal ini berlaku sebaliknya apabila waktu puncak respon lebih panjang dimana gempa berlangsung pada frekuensi rendah dan tanah lunak. Adanya *base isolation* tidak baik digunakan pada kondisi tanah tersebut, karena *base isolation* memperpanjang waktu getar  $T$  sehingga terjadi pada puncak respon maksimum tersebut.

Jenis struktur sangat mempengaruhi penggunaan *base isolation*. Jenis struktur ini terdiri dari struktur beton bertulang dan struktur baja. Kedua struktur tersebut dibedakan menurut angka kekakuan dari masing-masing struktur. Struktur beton bertulang cenderung mempunyai sifat kaku sehingga kekakuan yang terjadi sangat tinggi. Kekakuan tersebut sangat berpengaruh terhadap frekuensi getar struktur ( $\omega$ ), sehingga dengan kekakuan tinggi maka  $\omega$  besar, dan itu membuat periode getar struktur beton kecil. Sebaliknya terjadi pada struktur baja dengan periode getar struktur yang lebih besar dari beton.

## **2.7 Manfaat sistem *base isolation***

Manfaat yang diperoleh dengan pemakaian *base isolation* adalah sebagai berikut :

1. Kemampuan menahan beban bangunan yang diisolasi dan meneruskan defleksi horisontal relatif terhadap bumi/tanah (BPPP, 1997).

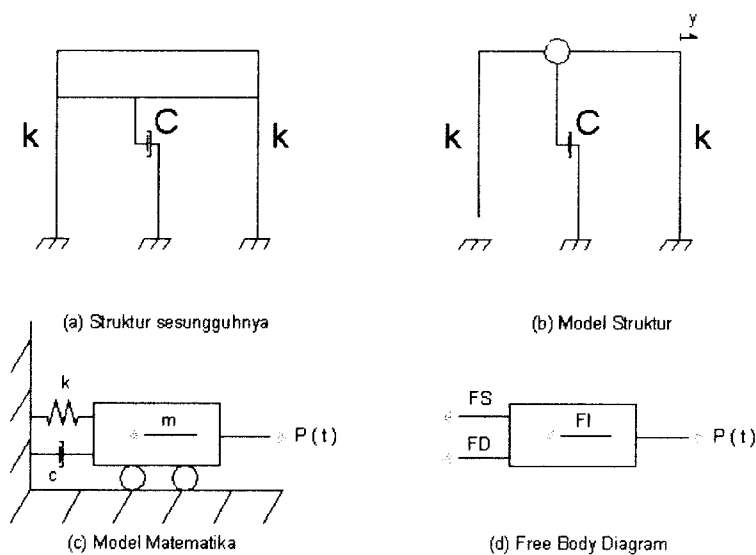
2. Mempunyai tenaga pemulihan untuk mengembalikan bangunan pada posisi semula relatif terhadap bumi/tanah (BPPP, 1997).
3. Kemampuan meredam untuk mengurangi akselerasi defleksi horisontal relatif terhadap tanah, sehingga dapat mencegah struktur rusak ataupun runtuh jika terkena gempa (BPPP, 1997).
4. Penggunaan sangat fleksibel karena dapat digunakan pada bangunan baru maupun bangunan lama (*retrofitting*) (Lin, 1997 : 44-45).
5. Umur kerja dan isolatornya relatif panjang yakni berkisar 70-100 tahun sehingga bisa lebih lama dari umur bangunan itu sendiri (Lin, 1997).
6. Biayanya relatif lebih ekonomis, menurut Siswanto dan Bhuana untuk bangunan baru penambahan sekitar 2,5%-7% dari total biaya (bandingkan dengan penambahan biaya yang menggunakan konstruksi baja sebesar 20%-30%), sedangkan menurut Kelly pada bangunan yang menggunakan isolasi dasar dengan cara *retrofitting*, biaya isolatornya hanya 2%-4% dari total biaya rehabilitasi (*seismic rehabilitation*) dan biaya perbaikan setelah terkena gempa (*post earthquake repair cost*) lebih kecil dibandingkan dengan bangunan sistem konvensional.

## BAB III

### LANDASAN TEORI

#### 3.1 Persamaan Differensial Struktur (SDOF) Akibat Gerakan Tanah

Dalam perhitungan analisis struktur salah satu hal yang tidak boleh kita lupakan dalam perhitungan adalah beban gempa disamping beban mati dan beban hidup. Oleh karena itu perlu ditetapkan cara untuk menentukan model analisis untuk memperhitungkan pengaruh gempa bumi terhadap keamanan struktur bangunan. Gempa bumi akan menyebabkan permukaan tanah menjadi bergetar dan getaran tersebut akan diteruskan ke semua benda yang dilaluinya termasuk struktur bangunan. Maka struktur SDOF akibat gerakan tanah dapat dimodelkan sebagai berikut :



**Gambar 3.1 Pemodelan Struktur SDOF**

Untuk menyatakan persamaan gerakan massa akibat gerakan tanah khususnya pada struktur derajat kebebasan tunggal maka diambil notasi  $m$ ,  $c$ ,  $k$  dan  $y$  yang berturut-turut adalah massa, koefisien redaman, kekakuan kolom, dan simpangan.

Pada gambar tersebut bekerja sebuah gaya dinamik  $P(t)$ . Apabila beban dinamik tersebut bekerja kearah kanan, maka akan terdapat perlawanan pegas, damper dan gaya inersia. Gambar 3.1.d adalah gambar keseimbangan dinamik yang bekerja pada massa  $m$ . Gambar tersebut umumnya disebut *free body diagram*. Berdasarkan pada prinsip keseimbangan dinamik pada *free body diagram* tersebut, maka diperoleh hubungan,

$$F_I + F_D + F_S = P(t) \quad (3.1)$$

yang mana

$$F_I = m \cdot \ddot{y} = \text{Gaya}$$

$$F_D = c \cdot \dot{y} = \text{Gaya}$$

$$F_S = k \cdot y = \text{Gaya}$$

yang mana  $F_I$ ,  $F_D$ ,  $F_S$  berturut-turut adalah gaya inersia, gaya redaman dan gaya pegas. Berdasarkan *free body diagram* seperti gambar diatas maka persamaan differensial gerakan adalah :

$$m \cdot \ddot{y}_1 + c \cdot \dot{y}_1 + k \cdot y_1 = 0 \quad (3.2)$$

Yang mana  $\ddot{y}$ ,  $\dot{y}$  dan  $y$  adalah percepatan, kecepatan dan simpangan.

Terdapat dua alternatif untuk mengkombinasikan persamaan diferensial gerakan massa akibat gerakan tanah. Salah satu alternatifnya adalah dengan

memakai hubungan kecepatan dan simpangan absolut dengan kecepatan dan simpangan relatif :

$$\ddot{y}_1 = \ddot{y}_b + \ddot{y}, \quad \dot{y}_1 = \dot{y}_b + \dot{y}, \quad y_1 = y_b + y \quad (3.3)$$

dimana  $y_b$ ,  $\dot{y}_b$ ,  $\ddot{y}_b$  adalah simpangan, kecepatan dan percepatan akibat beban gempa.

Dengan mendistribusikan persamaan (3.3) kedalam persamaan (3.2) maka persamaan (3.2) dapat ditulis menjadi :

$$m(\ddot{y}_b + \ddot{y}) + c(\dot{y}_b + \dot{y}) + k(y_b + y) = 0 \quad (3.4)$$

$$m.\ddot{y}_1 + c.\dot{y} + k.y = -c.\dot{y}_b - k.y_b \quad (3.5)$$

Karena antara tanah dan lantai tingkat belum terjadi perbedaan simpangan yang mana peristiwa tersebut disebut sebagai *rigid body motion*. Dengan demikian persamaan (3.3) menjadi :

$$m\ddot{y} + c\dot{y} + ky = -m\ddot{y}_b \quad (3.6)$$

Menurut teori dinamika struktur maka diperoleh hubungan :

$$\frac{k}{m} = \omega^2 \quad \frac{c}{m} = 2\xi \quad \xi = \text{damping ratio} \quad (3.7)$$

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \text{ (rad/det)} \quad \omega = \text{angular frekuensi} \quad (3.8)$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \text{ (det)} \quad T = \text{Periode} \quad (3.9)$$

$$f = \frac{1}{T} \text{ (hertz)} \quad f = \text{Natural frekuensi} \quad (3.10)$$

Dengan demikian persamaan (3.5) menjadi

$$\ddot{y} + 2\xi\omega\dot{y} + \omega^2 y = -\ddot{y}_b(t) \quad (3.11)$$



### 3.2 Massa Struktur

Suatu struktur bangunan bertingkat banyak pada umumnya mempunyai banyak derajat kebebasan yang umumnya berasosiasi dengan jumlah massa. Hal ini akan menyulitkan analisis struktur karena banyaknya persamaan differensial yang perlu diselesaikan. Oleh karena itu diperlukan beberapa asumsi atau penyederhanaan untuk menyelesaikan masalah tersebut.

Terdapat dua pendekatan pokok yang umumnya dilakukan untuk mendeskripsikan massa struktur. Pendekatan pertama adalah sistem diskretisasi massa yaitu massa dianggap menggumpal pada tempat-tempat tertentu. Apabila prinsip bangunan geser (*shear building*) dipakai maka setiap massa hanya akan bergerak secara horisontal. Karena percepatan hanya terjadi pada struktur yang mempunyai massa maka matriks massa merupakan matriks diagonal.

Pendekatan yang kedua adalah menurut prinsip *consistent mass matrix* yang mana elemen struktur akan berdeformasi menurut bentuk fungsi (*shape function*) tertentu. Apabila tiga derajat kebebasan (horisontal, vertikal dan rotasi) diperhitungkan pada setiap *node* maka standar *consistent mass matrix* dapat diperoleh dengan *off-diagonal matrix* tidak sama dengan nol sebagaimana terjadi pada prinsip *lumped mass*. Pada struktur yang massanya terdistribusi secara merata misalnya analisis getaran balok atau cerobong maka pemakaian prinsip *consistent mass matrix* menjadi lebih tepat. Namun demikian, pada struktur bangunan bertingkat banyak yang mana struktur umumnya terkonsentrasi pada masing-masing tingkat, maka prinsip *lumped mass* banyak dipakai dan cukup akurat (Carr 1993, dalam Widodo 2001).

Untuk menghitung massa baik yang *single lumped mass* maupun *multiple lumped mass* maka dapat dipakai formulasi sederhana yaitu :

$$m = \frac{W}{g} \quad (3.12)$$

yang mana W adalah berat dan g adalah percepatan gravitasi.

### 3.3 Kekakuan Struktur

Kekakuan adalah salah satu dinamik karakteristik struktur bangunan yang sangat penting disamping massa bangunan. Antara massa dan kekakuan struktur akan mempunyai hubungan yang unik yang umumnya disebut karakteristik diri atau *Eigen Problem*. Hubungan tersebut akan menentukan nilai frekuensi sudut dan periode getar struktur T. Kedua nilai ini merupakan parameter yang sangat penting dan akan sangat mempengaruhi respon dinamika struktur.

Pada prinsip bangunan geser (*shear building*) balok pada lantai tingkat dianggap tetap horisontal baik sebelum maupun sesudah terjadi penggoyangan. Adanya pelat lantai yang menyatu secara kaku dengan balok diharapkan dapat membantu kekakuan balok sehingga anggapan tersebut tidak terlalu kasar. Pada prinsip desain bangunan tahan gempa dikehendaki agar kolom lebih kuat daripada balok, namun demikian rasio tersebut tidak selalu linier dengan kekakuannya. Dengan prinsip *shear building* maka dimungkinkan pemakaian *lumped mass model*. Pada prinsip ini kekakuan setiap kolom dapat dihitung berdasarkan rumus standar sebagai berikut :

$$K_c = \frac{12EI}{H^3} \quad (3.13)$$

Dimana  $K$  = Kekakuan (kg/cm),  $E$  = Modulus Elastisitas ( $2.10^5$  kg/cm<sup>2</sup>),  $I$  = Momen Inersia (cm<sup>4</sup>),  $H$  = Tinggi Tingkat (cm).

Dengan melihat data struktur maka kekakuan dihitung secara paralel yaitu kekakuan tiap tingkat ( $K_i$ ) merupakan jumlah total dari kekakuan kolom tiap tingkat ( $K_c$ ), secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut :

$$K_i = \sum k_c \quad (3.14)$$

Pada prinsipnya semakin kaku balok maka semakin besar kemampuannya dalam mengekang rotasi ujung kolom, sehingga akan menambah kekakuan kolom. Pada prinsip Muto (1975), kekakuan joint juga dapat diperhitungkan sehingga hitungan kekakuan baik kekakuan kolom maupun kekakuan balok akan menjadi lebih teliti.

### 3.4 Redaman Struktur

Redaman merupakan peristiwa pelepasan energi (*energy dissipation*) oleh struktur akibat adanya berbagai macam sebab. Beberapa penyebab itu diantaranya adalah pelepasan energi oleh adanya gerakan antar molekul didalam material, pelepasan energi oleh gerakan alat penyambung maupun sistem dukungan, pelepasan energi akibat gesekan dengan udara dan pada respon inelastik pelepasan energi juga terjadi akibat adanya rotasi sendi plastik. Karena redaman berfungsi melepaskan energi maka hal tersebut akan mengurangi respon struktur.

Untuk memodel kemampuan struktur menyerap energi maka besaran yang dipakai umumnya adalah rasio redaman (*damping ratio*)  $\xi$ . Nilai rasio redaman untuk berbagai macam material dan tingkat respon struktur seperti pada *Respon*

*Dinamik Struktur* (Widodo, 2001, sumber : Newmark N.M, Hall W. J 1982).

Untuk memperoleh redaman ada tiga cara yang dapat digunakan yaitu :

1. Redaman proporsional dengan massa (*Mass Proportional Damping*)
2. Redaman proporsional dengan kekakuan (*Stiffnes Proportional Damping*)
3. Redaman proporsional terhadap massa dan kekakuan/kombinasi (*Mass and Stiffness proportional Damping*)

Dalam penelitian ini akan digunakan nilai redaman yang konstan.

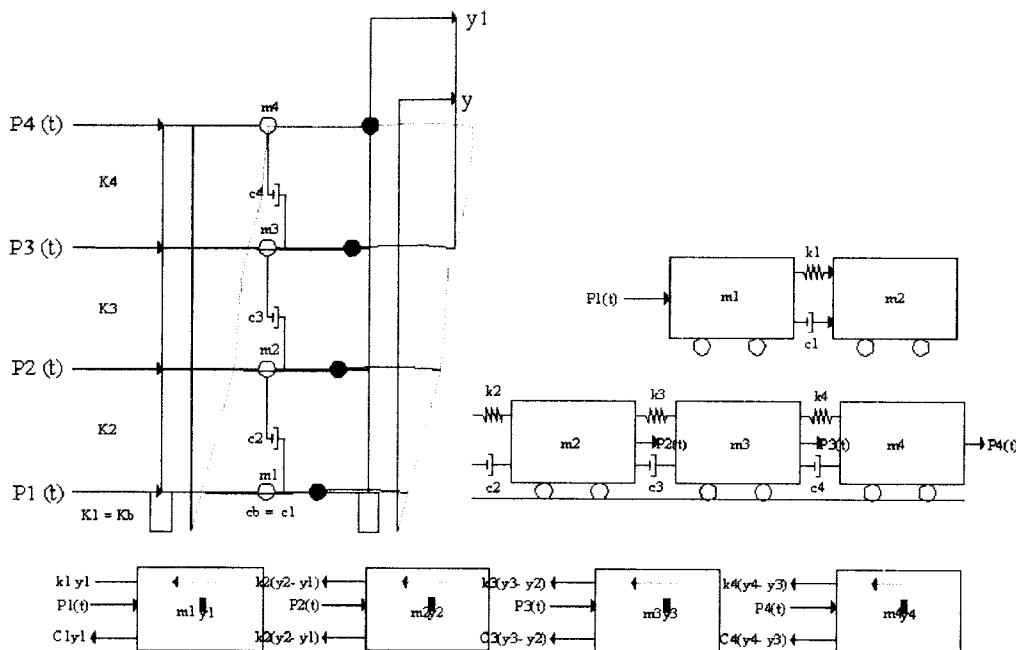
### **3.5 Persamaan Differensial Struktur Dengan Derajat Kebebasan Banyak (MDOF)**

Tidak semua struktur bangunan gedung dapat dinyatakan dengan suatu sistem yang mempunyai derajat kebebasan tunggal atau *Single Degree of Freedom* (SDOF). Pada kenyataannya dilapangan justru banyak struktur bangunan gedung yang mempunyai derajat kebebasan banyak atau *Multi Degree of Freedom* (MDOF).

Dengan demikian struktur yang mempunyai banyak derajat kebebasan akan mempunyai banyak persamaan diferensial gerakan yang harus dipenuhi oleh karena itu diperlukan asumsi atau penyederhanaan agar jumlah derajat kebebasan dapat dikurangi. Untuk menyatakan persamaan differensial gerakan pada struktur dengan derajat kebebasan banyak maka dipakai anggapan dan pendekatan seperti pada struktur dengan derajat kebebasan tunggal (SDOF).

Pada struktur bangunan bertingkat banyak, umumnya massa struktur dapat digumpalkan pada tempat-tempat tertentu (*lumped mass*) yang umumnya pada

tiap-tiap lantai. Prinsip *shear building* masih berlaku pada struktur dengan derajat kebebasan banyak (MDOF). Untuk memperoleh persamaan yang diinginkan maka digunakan model struktur MDOF. Model struktur ini berupa bangunan bertingkat 3 dengan ditambah *base isolator* dilantai dasarnya, sehingga struktur mempunyai empat derajat kebebasan dan satu massa *base isolaton*.



**GAMBAR 3.2** Pemodelan Struktur MDOF

Struktur bangunan yang peneliti gunakan adalah gedung bertingkat tiga dengan memakai *base isolation* dilantai dasarnya. Sehingga struktur bangunan diatas mempunyai empat derajat kebebasan. Persamaan diferensial gerakan tersebut umumnya disusun berdasarkan atas goyangan struktur menurut *first mode* atau mode pertama. Berdasarkan pada keseimbangan dinamik pada *free body diagram* maka akan diperoleh :

$$m_1 \ddot{y}_1 + c_1 \dot{y}_1 + k_1 y_1 - c_2 (\dot{y}_2 - \dot{y}_1) - k_2 (y_2 - y_1) - P_{1(t)} = 0 \quad (3.15)$$

$$m_2\ddot{y}_2 + c_2(\dot{y}_2 - \dot{y}_1) + k_2(y_2 - y_1) - c_3(\dot{y}_3 - \dot{y}_2) - k_3(y_3 - y_2) - P_{2(t)} = 0 \quad (3.16)$$

$$m_3\ddot{y}_3 + c_3(\dot{y}_3 - \dot{y}_2) + k_3(y_3 - y_2) - c_4(\dot{y}_4 - \dot{y}_3) - k_4(y_4 - y_3) - P_{3(t)} = 0 \quad (3.17)$$

$$m_4\ddot{y}_4 + c_4(\dot{y}_4 - \dot{y}_3) + k_4(y_4 - y_3) - P_{4(t)} = 0 \quad (3.18)$$

Dari persamaan-persamaan diatas tampak bahwa keseimbangan dinamik suatu massa yang ditinjau ternyata dipengaruhi oleh kekakuan, redaman dan simpangan massa sebelum dan sesudahnya. Persamaan dengan sifat tersebut umumnya disebut *coupled equation*, karena persamaan-persamaan tersebut akan tergantung satu sama lain.

Penyelesaian dari persamaan *coupled* tersebut harus diselesaikan secara simultan artinya dengan melibatkan semua persamaan yang ada. Pada struktur dengan derajat kebebasan banyak, persamaan differensial gerakannya merupakan persamaan yang *independent* atau *coupled* antara satu dengan yang lain. Selanjutnya dengan menyusun persamaan-persamaan diatas menurut parameter yang sama (percepatan, kecepatan dan simpangan) akan diperoleh :

$$m_1\ddot{y}_1 + (c_1 + c_2)\dot{y}_1 - c_2\dot{y}_2 + (k_1 + k_2)y_1 - k_2y_2 = P_{1(t)} \quad (3.19)$$

$$m_2\ddot{y}_2 - c_2\dot{y}_1 + (c_2 + c_3)\dot{y}_2 - c_3\dot{y}_3 - k_2y_1 + (k_2 + k_3)y_2 - k_3y_3 = P_{2(t)} \quad (3.20)$$

$$m_3\ddot{y}_3 - c_3\dot{y}_2 + (c_3 + c_4)\dot{y}_3 - c_4\dot{y}_4 - k_3y_2 + (k_3 + k_4)y_3 - k_4y_4 = P_{3(t)} \quad (3.21)$$

$$m_4\ddot{y}_4 - c_4\dot{y}_3 + c_4\dot{y}_4 + k_4y_4 = P_{4(t)} \quad (3.22)$$

Persamaan-persamaan diatas dapat ditulis dalam bentuk matriks sebagai berikut :

$$[M]\{\ddot{y}\} + [C]\{\dot{y}\} + [K]\{y\} = \{P_{(t)}\} \quad (3.23)$$

$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_4 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{y}_1 \\ \ddot{y}_2 \\ \ddot{y}_3 \\ \ddot{y}_4 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} c_1+c_2 & -c_2 & 0 & 0 \\ -c_2 & c_2+c_3 & -c_3 & 0 \\ 0 & -c_3 & c_3+c_4 & -c_4 \\ 0 & 0 & -c_4 & c_4 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{y}_1 \\ \dot{y}_2 \\ \dot{y}_3 \\ \dot{y}_4 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_1+k_2 & -k_2 & 0 & 0 \\ -k_2 & k_2+k_3 & -k_3 & 0 \\ 0 & -k_3 & k_3+k_4 & -k_4 \\ 0 & 0 & -k_4 & k_4 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_4 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} P_{1(t)} \\ P_{2(t)} \\ P_{3(t)} \\ P_{4(t)} \end{Bmatrix}$$

yang mana  $[M]$ ,  $[C]$  dan  $[K]$  berturut-turut adalah matriks massa, matriks redaman dan matriks kekakuan yang dapat ditulis menjadi,

$$[M] = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_4 \end{bmatrix} \quad [C] = \begin{bmatrix} c_1+c_2 & -c_2 & 0 & 0 \\ -c_2 & c_2+c_3 & -c_3 & 0 \\ 0 & -c_3 & c_3+c_4 & -c_4 \\ 0 & 0 & -c_4 & c_4 \end{bmatrix}$$

$$[K] = \begin{bmatrix} k_1+k_2 & -k_2 & 0 & 0 \\ -k_2 & k_2+k_3 & -k_3 & 0 \\ 0 & -k_3 & k_3+k_4 & -k_4 \\ 0 & 0 & -k_4 & k_4 \end{bmatrix} \quad (3.24)$$

Sedangkan  $\{\ddot{Y}\}$ ,  $\{\dot{Y}\}$ ,  $\{Y\}$  dan  $\{F(t)\}$  masing-masing adalah *vector* percepatan, *vector* kecepatan, *vector* simpangan dan *vector* beban, atau,

$$\{\ddot{Y}\} = \begin{Bmatrix} \ddot{y}_1 \\ \ddot{y}_2 \\ \ddot{y}_3 \\ \ddot{y}_4 \end{Bmatrix}, \quad \{\dot{Y}\} = \begin{Bmatrix} \dot{y}_1 \\ \dot{y}_2 \\ \dot{y}_3 \\ \dot{y}_4 \end{Bmatrix}, \quad \{Y\} = \begin{Bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_4 \end{Bmatrix} \quad \text{dan} \quad \{F(t)\} = \begin{Bmatrix} P_{1(t)} \\ P_{2(t)} \\ P_{3(t)} \\ P_{4(t)} \end{Bmatrix} \quad (3.25)$$

### 3.6 Getaran Bebas pada Struktur Derajat Kebebasan Banyak (MDOF)

Suatu struktur akan bergoyang apabila memperoleh pembebanan dari luar misalnya akibat beban angin, getaran akibat putaran mesin (beban harmonik) ataupun akibat beban gerakan tanah atau gempa. Getaran-getaran seperti itu dikelompokkan sebagai getaran dipaksa atau *Forced Vibration System*.

Membahas getaran bebas dalam struktur derajat kebebasan banyak akan diperoleh beberapa karakter struktur yang penting dan sangat bermanfaat. Karakter-karakter itu adalah frekuensi sudut  $\omega$ , periode getar T dan frekuensi alam f. Pembahasan getaran bebas ini masih diikuti dengan penyederhanaan permasalahan yaitu dengan menganggap struktur tidak mempunyai redaman (*undamped system*). Dengan anggapan tersebut maka penyelesaian masalah menjadi lebih sederhana.

### 3.6.1 Nilai Karakteristik (*Eigen Problem*)

Getaran bebas (*free vibration system*) pada kenyataannya jarang terjadi pada struktur MDOF, tetapi dengan membahas jenis getaran ini akan diperoleh suatu besaran atau karakteristik dari struktur yang bersangkutan yang selanjutnya akan sangat berguna untuk pembahasan-pembahasan respon struktur berikutnya. Besaran-besaran tersebut terutam adalah frekuensi sudut  $\omega$ , periode getar T, frekuensi alam f dan *normal modes*.

Pada getaran bebas di struktur MDOF, maka matriks persamaan differensial gerakannya adalah seperti dibawah ini dengan nilai ruas kanan sama dengan nol.

$$[M]\{\ddot{Y}\} + [C]\{\dot{Y}\} + [K]\{Y\} = \{0\} \quad (3.26)$$

Frekuensi sudut pada struktur dengan redaman (*damped frequency*)  $\omega_d$  nilainya hampir sama dengan frekuensi sudut pada struktur yang dianggap tanpa redaman  $\omega$ . Hal ini diperoleh apabila nilai damping ratio  $\xi$  relatif kecil. Jika hal ini diadopsi untuk struktur dengan MDOF, maka untuk nilai  $C = 0$ , persamaan (3.24) menjadi :



$$[M]\{\ddot{Y}\} + [K]\{Y\} = \{0\} \quad (3.27)$$

Karena persamaan (3.25) adalah persamaan differensial pada struktur MDOF yang dianggap tidak mempunyai redaman, maka sebagaimana penyelesaian persamaan differensial yang sejenis, maka penyelesaian persamaan tersebut diharapkan dalam fungsi harmonik menurut bentuk,

$$\begin{aligned} Y &= \{\phi\}_i \sin(\omega t) \\ \dot{Y} &= -\omega \{\phi\}_i \cos(\omega t) \\ \ddot{Y} &= -\omega^2 \{\phi\}_i \sin(\omega t) \end{aligned} \quad (3.28)$$

Yang mana  $\{\phi\}_i$  adalah suatu ordinat massa pada mode ke- $i$ . Kemudian substitusikan persamaan (3.26) ke dalam persamaan (3.25) maka akan diperoleh,

$$\begin{aligned} -\omega^2 [M]\{\phi\}_i \sin(\omega t) + [K]\{\phi\}_i \sin(\omega t) &= 0 \\ \{[K] - \omega^2 [M]\}\{\phi\}_i &= 0 \end{aligned} \quad (3.29)$$

Persamaan (3.29) adalah suatu persamaan yang sangat penting dan biasa disebut persamaan *eigen problem* atau karakteristik problem atau ada juga yang menyebut *eigenvalue problem*. Persamaan (3.29) adalah persamaan simultan yang harus dicari penyelesaiannya. Salah satu cara yang dapat dipakai untuk menyelesaikan persamaan simultan tersebut adalah dengan memakai dalil Cramer (1704-1725). Dalil tersebut menyatakan bahwa penyelesaian persamaan simultan yang homogen akan ada nilainya apabila determinan dari matriks yang merupakan koefisien dari vektor  $\{\phi\}_i$  adalah nol, sehingga,

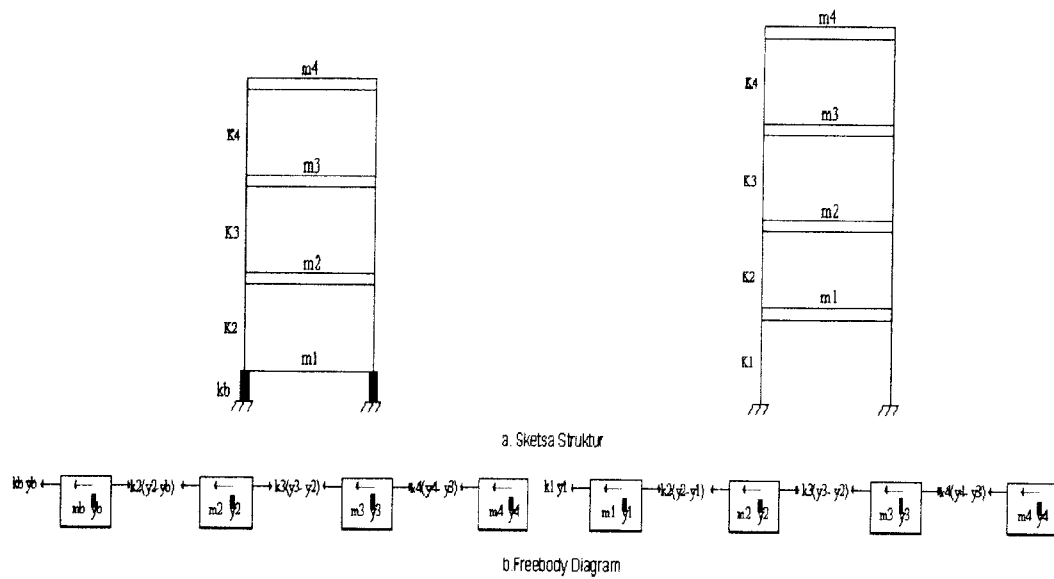
$$|[K] - \omega^2 [M]| = 0 \quad (3.30)$$

Jumlah *mode* pada struktur berderajat kebebasan banyak biasanya dapat dihubungkan dengan jumlah massa. *Mode* itu sendiri adalah jenis /pola/ragam getaran/goyangan suatu struktur bangunan. Dengan adanya hubungan antara jumlah *mode* dengan jumlah massa struktur, maka bangunan yang mempunyai n-tingkat akan mempunyai n-derajat kebebasan dan akan mempunyai n-“*mode*” gerakan dan akan mempunyai n-nilai frekuensi sudut yang berhubungan langsung dengan jenis/nomor *mode* nya. Maka persamaan (3.30) akan menghasilkan suatu polinomial pangkat n yang selanjutnya akan menghasilkan  $\omega_1^2$  untuk  $I = 1, 2, 3 \dots n$ . Selanjutnya substitusi masing-masing frekuensi  $\omega_1$  kedalam persamaan (3.29) maka akan diperoleh nilai-nilai *mode shape*, sedangkan *mode shape* pada suatu *eigen problem* diambil dari model struktur yang berada pada tanah dengan letak *base isolation* diatas pondasi.

### 3.6.2 Metode Polinomial

Metode polinomial ini pada dasarnya masih menggunakan persamaan *eigenproblem*. Untuk mencari atau menghitung *eigenvalues* (nilai-nilai frekuensi sudut) tidak lagi dipakai cara determinan. Cara yang dipakai adalah dengan mentransfer persamaan simultan *eigenproblem* menjadi suatu persamaan polinomial pangkat banyak. Akar-akar persamaan polinomial tersebutlah yang akan dicari yang selanjutnya akan menghasilkan nilai-nilai *eigenvektor*. Untuk membahas cara ini maka ditinjau suatu struktur dengan tingkat seperti pada

### Gambar 3.3



**Gambar 3.3** Perbandingan Struktur dengan dan tanpa *Base Isolation* dengan 4 derajat kebebasan

Berdasarkan keseimbangan gaya-gaya *free body* diagram maka dapat disusun persamaan simultan gerakan dibawah ini,

$$\begin{aligned}
 M_1 \ddot{y}_1 + k_1 y_1 - k_2 (y_2 - y_1) &= 0 \\
 M_2 \ddot{y}_2 + k_2 (y_2 - y_1) - k_3 (y_3 - y_2) &= 0 \\
 M_3 \ddot{y}_3 + k_3 (y_3 - y_2) - k_4 (y_4 - y_3) &= 0 \\
 M_4 \ddot{y}_4 + k_4 (y_4 - y_3) &= 0
 \end{aligned} \tag{3.31}$$

Persamaan (3.31) dapat ditulis menjadi,

$$\begin{aligned}
 M_1 \ddot{y}_1 + (k_1 + k_2) y_1 - k_2 y_2 &= 0 \\
 M_2 \ddot{y}_2 - k_2 y_1 + (k_2 + k_3) y_2 - k_3 y_3 &= 0 \\
 M_3 \ddot{y}_3 - k_3 y_2 + (k_3 + k_4) y_3 - k_4 y_4 &= 0 \\
 M_4 \ddot{y}_4 - k_4 y_3 + k_4 y_4 &= 0
 \end{aligned} \tag{3.32}$$

Persamaan (3.32) juga dapat ditulis dalam bentuk matrik sebagai berikut,

$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_4 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{y}_1 \\ \ddot{y}_2 \\ \ddot{y}_3 \\ \ddot{y}_4 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 & 0 \\ 0 & -k_3 & k_3 + k_4 & 0 \\ 0 & 0 & -k_4 & k_4 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_4 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (3.33)$$

Pers. (3.33) dapat disusun dalam bentuk persamaan *eigenproblem* sebagai berikut,

$$\begin{bmatrix} (k_1 + k_2) - \omega^2 m_1 & -k_2 & 0 & 0 \\ -k_2 & (k_2 + k_3) - \omega^2 m_2 & -k_3 & 0 \\ 0 & -k_3 & (k_3 + k_4) - \omega^2 m_3 & 0 \\ 0 & 0 & -k_4 & (k_4) - \omega^2 m_4 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \\ \phi_4 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} (k_1 + k_2) - \frac{\omega^2}{k/m_1} & -k_2 & 0 & 0 \\ -k_2 & (k_2 + k_3) - \frac{\omega^2}{k/m_2} & -k_3 & 0 \\ 0 & -k_3 & (k_3 + k_4) - \frac{\omega^2}{k/m_3} & 0 \\ 0 & 0 & -k_4 & k_4 - \frac{\omega^2}{k/m_4} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \\ \phi_4 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (3.34)$$

Apabila diambil suatu notasi bahwa,

$$\lambda = \frac{\omega^2}{k/m} \quad (3.35)$$

Maka persamaan menjadi,

$$\begin{bmatrix} (k_1 + k_2) - \lambda & -k_2 & 0 & 0 \\ -k_2 & (k_2 + k_3) - \lambda & -k_3 & 0 \\ 0 & -k_3 & (k_3 + k_4) - \lambda & -k_4 \\ 0 & 0 & -k_4 & k_4 - \lambda \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \\ \phi_4 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (3.36)$$

Apabila persamaan (3.36) disederhanakan, maka diperoleh,

$$((k_1 + k_2) - m_1 \lambda) \phi_1 - k_2 \phi_2 = 0$$

$$\begin{aligned}
& -k_2\phi_2 + ((k_2 + k_3) - m_2\lambda)\phi_2 - k_3\phi_3 = 0 \\
& -k_3\phi_3 + ((k_3 + k_4) - m_3\lambda)\phi_3 - k_4\phi_4 = 0 \\
& -k_4\phi_4 + (k_4 - m_4\lambda)\phi_4 = 0
\end{aligned} \tag{3.37}$$

Dengan mengambil nilai  $\phi_1 = 0$  maka disubstitusikan kedalam persamaan (3.37), maka akan mendapatkan persamaan polinomial pangkat 3 atau pangkat n (n = jumlah tingkat). Dari akar-akar persamaan tersebut bias didapat  $\omega$ , T,  $\Phi$  dengan rumus yang telah dicantumkan sebelumnya.

### 3.7 Metode $\beta$ -Newmark.

Metode  $\beta$ -Newmark dapat dipakai untuk menyelesaikan integrasi persamaan differensial *coupled* struktur MDOF secara langsung. Metode  $\beta$ -Newmark yang dimaksud misalnya adalah metode yang berdasar pada *incremental method*, bahwa untuk struktur yang berperilaku linier inelastis maupun non-linier elastis maka perlu dikembangkan model integrasi yang dapat mensimulasikan perubahan kekakuan menurut fungsi waktu.

Persamaan differensial yang berlaku saat interval yang ditinjau pada metode  $\beta$ -Newmark adalah,

$$m\Delta\ddot{y}_i + c\Delta\dot{y}_i + k\Delta y = \Delta p_i \tag{3.38}$$

Apabila beban dinamik yang dipakai adalah beban gempa maka untuk struktur MDOF persamaan differensial tersebut adalah,

$$[M]\Delta\ddot{y}_i + [C]\Delta\dot{y}_i + [K]\Delta y = \{M\}\Delta\ddot{y}_{b,i} \tag{3.39}$$

Pada metode  $\beta$ -Newmark memakai perjanjian notasi untuk perubahan simpangan  $\Delta y$ , perubahan kecepatan  $\Delta \dot{y}$ , dan perubahan percepatan  $\Delta \ddot{y}$  adalah,

$$\Delta y_i = y_{i+1} - y_i, \quad \Delta \dot{y}_i = \dot{y}_{i+1} - \dot{y}_i, \quad \Delta \ddot{y}_i = \ddot{y}_{i+1} - \ddot{y}_i \quad (3.40)$$

persamaan (3.42) dapat ditulis juga menjadi,

$$\Delta y_i = y(t_i + \Delta t) - y(t_i) \quad (3.41)$$

$$\Delta \dot{y}_i = \dot{y}(t_i + \Delta t) - \dot{y}(t_i) \quad (3.42)$$

$$\Delta \ddot{y}_i = \ddot{y}(t_i + \Delta t) - \ddot{y}(t_i) \quad (3.43)$$

sedangkan perubahan intensitas pembebanan pada interval yang ditinjau adalah,

$$\Delta p_i = \Delta p_{i+1} - p_i \quad (3.44)$$

untuk struktur MDOF akibat beban gempa bumi maka persamaan differensial yang digunakan adalah,

$$\Delta p_i = \{M\}(\ddot{y}_{b,i+1} - y_{b,i}) \quad (3.45)$$

untuk memulai integrasi numerik tersebut digunakan persamaan,

$$\Delta \ddot{y}_i = \frac{1}{\beta(\Delta t)^2} \Delta y_i - \frac{1}{\beta(\Delta t)} \dot{y}_i - \frac{1}{2\beta} \ddot{y}_i \quad (3.46)$$

dimana  $\Delta \ddot{y}_i$  adalah perubahan percepatan pada langkah ke-i, sedangkan perubahan kecepatan pada langkah yang sama  $\Delta \dot{y}$  adalah,

$$\Delta \dot{y}_i = \frac{\gamma}{\beta(\Delta t)} \Delta y_i - \frac{\gamma}{\beta} \dot{y}_i + (\Delta t) \left\{ 1 - \frac{\gamma}{2\beta} \right\} \ddot{y}_i \quad (3.47)$$

kemudian untuk perubahan simpangan dapat dicari dengan persamaan,

$$\Delta y_i = \frac{\Delta p_i}{\hat{k}} \quad (3.48)$$

yang mana,

$$\hat{k} = \left\{ k + \frac{\gamma c}{\beta \Delta t} + \frac{m}{\beta (\Delta t)^2} \right\} \quad (3.49)$$

$$\Delta \hat{p}_i = (p_{i+1} - p_i) + a \dot{y}_i + b \ddot{y}_i \quad (3.50)$$

Sedangkan untuk struktur MDOF akibat beban gempa bumi maka persamaan (3.52) akan menjadi,

$$\Delta \hat{p} = \{M\}(\ddot{y}_{b,i+1} - \ddot{y}_{b,i}) + a \dot{y}_i + b \ddot{y}_i \quad (3.51)$$

dimana nilai a dan b pada persamaan diatas adalah,

$$a = \left\{ \frac{1}{\beta \Delta t} m + \frac{\gamma}{\beta} c \right\}, \quad b = \left\{ \frac{1}{2\beta} m + \Delta t \left( \frac{\gamma}{2\beta} - 1 \right) c \right\} \quad (3.52)$$

Pada metode  $\beta$ -Newmark terdapat perbedaan nilai koefesien berdasarkan metode yang digunakan, yaitu :

1. Metode percepatan rata-rata, dengan nilai koefesien  $\gamma = 1/2$  dan  $\beta = 1/4$ .
2. Metode percepatan linier, dengan nilai koefesien  $\gamma = 1/2$  dan  $\beta = 1/6$ .

Selanjutnya simpangan, kecepatan dan percepatan pada akhir interval adalah,

$$\begin{aligned} y_{i+1} &= y_i + \Delta y_i \\ \dot{y}_{i+1} &= \dot{y}_i + \Delta \dot{y}_i \\ \ddot{y}_{i+1} &= \ddot{y}_i + \Delta \ddot{y}_i \end{aligned} \quad (3.53)$$

### 3.8. Analisis Respon struktur Akibat Gempa.

Analisis respon struktur akibat gempa meliputi simpangan relatif struktur, gaya horisontal tingkat, gaya geser tingkat dan momen guling pada struktur bangunan 4, 8, dan 10 tingkat dengan mengkombinasikan kekakuan horisontal *base isolation* (kb) dan kekakuan putar tanah (kr) diabaikan dengan menggunakan 3 variasi percepatan gempa yaitu Elcentro, Santacruz, dan Koyna. Adapun untuk nilai kb diambil  $\frac{1}{10} \text{ s/d} \frac{1}{50}$  dari kekakuan struktur tingkat 1 dan disesuaikan juga dengan jumlah tingkat bangunan yang digunakan.

#### 3.8.1 Simpangan Struktur

Simpangan struktur yang terjadi ada 3 macam yaitu simpangan absolut, simpangan relatif, dan simpangan antar tingkat (*interstorey drift*). Simpangan yang digunakan dalam penelitian ini adalah simpangan relatif dan simpangan antar tingkat.

##### 3.8.1.1 Simpangan Relatif.

Simpangan relatif adalah simpangan suatu massa yang diperoleh dengan mengurangi simpangan netto tiap tingkat dengan simpangan dibawahnya.

$$Y_j = y_{t_{i+1}} - y_i \quad (3.54)$$

##### 3.8.1.2 Simpangan Antar Tingkat (*Interstorey Drift*)

Simpangan antar tingkat adalah simpangan relatif dibagi tinggi tingkat yang ditinjau, pada waktu yang bersamaan. Besarnya nilai simpangan antar tingkat dihitung dengan rumus,



$$yy_j(t) = \frac{y_j(t)}{h} * 100\% \quad (3.55)$$

dimana  $yy(t)$  dan  $y(t)$  adalah simpangan antar tingkat (*interstorey drift*) dan simpangan relatif yang terjadi pada tingkat ke-j yang merupakan fungsi dari waktu serta  $h$  adalah tinggi tingkat.

### 3.8.2 Gaya Geser Tingkat

Gaya geser tingkat sering dipakai dalam analisis struktur, karena gaya geser tingkat akan menyebabkan rotasi pada penampang horisontal lantai yang nantinya akan berpengaruh pada besarnya gaya geser dasar dan momen guling (*overturning moment*). Gaya horisontal tingkat mode ke-j adalah (Respon Dinamik Struktur Elastik, Widodo (2001) :

$$F_j = y_j(t) * k_j \quad (3.56)$$

dimana  $F$ ,  $y_j(t)$ , dan  $k$  adalah gaya horisontal tingkat, simpangan total yang terjadi pada tingkat ke-j dan kekakuan tingkat yang merupakan fungsi dari waktu.

Sehingga gaya geser adalah :

$$V = \left( \sum_{j=1}^n F_j \right) \quad (3.57)$$

### 3.8.3 Momen Guling (*Overturning Moment*).

Momen guling diperoleh dengan mengalikan gaya horisontal tingkat dan tinggi tingkat yang bersangkutan (Respon Dinamik Struktur Elastik, Widodo (2001). Besarnya nilai momen guling dihitung dengan,

$$M_g = \sum_{j=1}^n F_j * H_j \quad (3.58)$$

Dimana  $M_g$  dan  $F$  adalah Momen guling dan Gaya Horizontal yang merupakan fungsi waktu sedangkan  $H$  adalah tinggi tingkat.

### 3.9 Struktur dengan *Base Isolation*

Struktur dengan menggunakan *base isolation* dapat mengurangi simpangan bangunan akibat gempa bumi, dimana simpangan tersebut diredam oleh *base isolation*, sehingga simpangan yang terjadi pada *base isolation* menjadi besar, sedangkan simpangan ditingkat atasnya menjadi kecil. Keadaan gedung yang dikenai beban gempa bumi akan mengalami getaran ketiga arah, yaitu getaran arah horizontal, getaran arah vertikal, dan getaran berputar, akan tetapi bila digunakan *base isolation* sebagai peredam maka tidak terjadi getaran putar. Pada *Lumped parameter model* diasumsikan struktur mengalami pergeseran kearah horizontal sedangkan arah vertikal diabaikan dan massa menggumpal (*lumped mass*). Jika gaya inersia, gaya redam, serta gaya kekakuan adalah  $F_i$ ,  $F_c$ ,  $F_k$  maka diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$F_i + F_c + F_k = 0 \quad (3.59)$$

Dimana,

$$F_i = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \left\{ \ddot{y}_j \quad \ddot{y}_b \quad \ddot{y}_o \right\} = 0$$



$$F_c = \begin{bmatrix} c_b + c_2 & -c_2 & 0 \\ -c_2 & c_2 + c_3 & -c_3 \\ 0 & -c_3 & c_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{Bmatrix} \left\{ \dot{y}_j \quad \dot{y}_b \quad \dot{y}_o \right\} = 0 \quad (3.60)$$

$$F_k = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 \\ 0 & -k_3 & k_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{Bmatrix} \left\{ y_j \quad y_b \quad y_o \right\} = 0$$

Sedangkan untuk keseimbangan arah horisontal diperoleh persamaan sebagai berikut,

$$F_{c,H} = \sum_{j=1}^n m_j \left\{ \ddot{y}_j \quad \ddot{y}_b \quad \ddot{y}_o \right\} + m_o \left\{ \ddot{y}_b \quad \ddot{y}_o \right\} = 0$$

$$F_{c,H} = \begin{bmatrix} c_b + c_2 & -c_2 & 0 \\ -c_2 & c_2 + c_3 & -c_3 \\ 0 & -c_3 & c_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{Bmatrix} \left\{ \dot{y}_j \quad \dot{y}_b \quad \dot{y}_o \right\} + 0 \cdot \dot{y}_o = 0 \quad (3.61)$$

$$F_{k,H} = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 \\ 0 & -k_3 & k_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{Bmatrix} \left\{ y_j \quad y_b \quad y_o \right\} + 0 \cdot y_o = 0$$

Dari persamaan (3.60) dan (3.61) maka akan diperoleh,

$$\begin{aligned} [M]\{\ddot{y}\} + [C]\{\dot{y}\} + [K]\{y\} &= -\{m_i \ddot{y}_g\} + \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{y}_1 \\ \ddot{y}_2 \\ \ddot{y}_3 \end{Bmatrix} \\ + \begin{bmatrix} c_b + c_2 & -c_2 & 0 \\ -c_2 & c_2 + c_3 & -c_3 \\ 0 & -c_3 & c_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{y}_1 \\ \dot{y}_2 \\ \dot{y}_3 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 \\ 0 & -k_3 & k_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{Bmatrix} &= -\begin{Bmatrix} m_1 \ddot{y}_g \\ m_2 \ddot{y}_g \\ m_3 \ddot{y}_g \end{Bmatrix} \end{aligned} \quad (3.62)$$

Dalam bentuk matriks adalah sebagai berikut :

$$[M] = \begin{bmatrix} m_b & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix}, \text{ dimana } m_b = m_1$$

$$[C] = \begin{bmatrix} c_b + c_2 & -c_2 & 0 \\ -c_2 & c_2 + c_3 & -c_3 \\ 0 & -c_3 & c_3 \end{bmatrix}$$

$$[K] = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 \\ 0 & -k_3 & k_3 \end{bmatrix}, \text{ dimana } k_b = k_1$$

$$\ddot{y} = \begin{Bmatrix} \ddot{y}_1 \\ \ddot{y}_2 \\ \ddot{y}_3 \end{Bmatrix}, \quad \dot{y} = \begin{Bmatrix} \dot{y}_1 \\ \dot{y}_2 \\ \dot{y}_3 \end{Bmatrix}, \quad y = \begin{Bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{Bmatrix} \quad (3.63)$$

Untuk matriks redaman pada struktur di atas digunakan dengan nilai redaman konstan pada tiap tingkatnya dan digunakan jenis *Stiffness Proportional Damping (SPD)*. Sehingga matriks redaman berturut-turut menjadi,

$$[C] = \begin{bmatrix} c_b + c_2 & -c_2 & 0 \\ -c_2 & c_2 + c_3 & -c_3 \\ 0 & -c_3 & c_3 \end{bmatrix}$$

$$[C] = \begin{bmatrix} \left( \frac{2 \cdot \xi_b}{\omega_b} * k_b + \frac{2 \cdot \xi_2}{\omega_2} * k_2 \right) & -\frac{2 \cdot \xi_2}{\omega_2} * k_2 & 0 \\ -\frac{2 \cdot \xi_2}{\omega_2} * k_2 & \left( \frac{2 \cdot \xi_2}{\omega_2} * k_2 + \frac{2 \cdot \xi_3}{\omega_3} * k_3 \right) & -\frac{2 \cdot \xi_3}{\omega_3} * k_3 \\ 0 & -\frac{2 \cdot \xi_3}{\omega_3} * k_3 & \frac{2 \cdot \xi_3}{\omega_3} * k_3 \end{bmatrix} \quad (3.64)$$

dengan,

$$m_1 = m_b = \text{Massa Base Isolation}$$

$$K_1 = K_b = \text{Kekakuan Base Isolation}$$

$$C_1 = c_b = \text{Redaman Base Isolation}$$

### 3.10 Analisis Respon untuk *Base Isolation*.

Pada umumnya struktur selalu direncanakan dengan anggapan elastis linier dan tetap elastis linier bila dipengaruhi oleh pengaruh dinamis. Namun perencanaan struktur dengan anggapan diatas untuk kejadian ekstrim seperti gempa bumi kuat dan ledakan nuklir adalah tidak realistik. Walaupun struktur dapat direncanakan menahan gempa keras, namun tidak ekonomis untuk merencanakan bangunan dengan sifat elastis untuk menahan gempa keras. Oleh karena itu diperlukan perencanaan struktur yang siap berdefomasi melewati batas elastis.

Anggapan sederhana dan dapat diterima adalah menganggap struktur bersifat elastoplastik. Dengan sifat ini struktur tetap elastis hingga gaya pemulihan mencapai harga maksimum (tarik atau tekan) di mana akan tetap konstan dan bergerak kembali menjadi sifat elastik. Pada pembahasan kali ini khusus untuk *base isolation* dianggap berperilaku elastoplastik.

#### 3.10.1 Integrasi Persamaan Gerak Non Linier

Diantara sekian banyak metode yang dapat dipakai untuk mencari solusi persamaan gerak non-linier, mungkin hanya satu cara yang paling efektif yaitu, metode integrasi langkah demi langkah/bertahap (*step-by-step integration method*). Pada cara ini, jawaban didapat dari evaluasi pada setiap pertambahan waktu  $\Delta t$ , yang diambil sebesar waktu yang cukup untuk hitungan yang tepat. Mulanya pada setiap selang waktu, kondisi dinamis ditetapkan dan kemudian jawaban untuk selang waktu  $\Delta t$  di evaluasi dengan dasar bahwa koefesien  $k(y)$  dan  $c(\dot{y})$  tetap konstan selama selang waktu  $\Delta t$ . Karakteristik non linier dari

koefesien-koefesien ini akan dipertimbangkan dalam analisa dengan cara mengevaluasi kembali koefesien-koefesien ini pada permulaan setiap pertambahan waktu. Respons didapat dengan menggunakan perpindahan dan kecepatan yang dihitung pada akhir selang waktu sebagai kondisi awal dari selang waktu berikutnya.

### 3.10.2 Metoda Percepatan Linier Langkah demi Langkah

Pada metode percepatan linier dianggap bahwa percepatan dapat dinyatakan oleh fungsi linier terhadap waktu selama selang waktu  $\Delta t$ . Ambil  $t_{i+1} = t_i + \Delta t$  bersama-sama menyatakan waktu pada permulaan dan akhir selang waktu  $\Delta t$ . Yang perlu ditekankan pada analisa ini adalah bahwa evaluasi dilaksanakan terhadap koefesien-koefesien pada waktu  $t_i$  dan menganggap tetap konstan selama pertambahan waktu  $\Delta t$ . Bila percepatan merupakan fungsi linier terhadap waktu selang waktu  $t_i$  dan  $t_{i+1} = t_i + \Delta t$ , maka percepatan dapat dinyatakan sebagai,

$$\ddot{y}(t) = \ddot{y}_i + \frac{\Delta \ddot{y}_i}{\Delta t}(t - t_i) \quad (3.65)$$

Di mana  $\Delta \ddot{y}_i = \ddot{y}(t_i + \Delta t) - \ddot{y}(t_i)$ . Integrasi persamaan (3.65) sebanyak dua kali terhadap waktu antara batas  $t_i$  dan  $t$  menghasilkan,

$$\dot{y}(t) = \dot{y}_i + \ddot{y}_i(t - t_i) + \frac{1}{2} \frac{\Delta \ddot{y}_i}{\Delta t}(t - t_i)^2 \quad (3.66)$$

dan

$$y(t) = y_i + \dot{y}_i(t - t_i) + \frac{1}{2} \ddot{y}_i(t - t_i)^2 + \frac{1}{6} \frac{\Delta \ddot{y}_i}{\Delta t}(t - t_i)^3 \quad (3.67)$$

Evaluasi persamaan (3.66) dan (3.67) pada waktu  $t = t_i + \Delta t$  memberikan

$$\Delta \dot{y}_i = \ddot{y}_i \Delta t + \frac{1}{2} \Delta \ddot{y}_i \Delta t \quad (3.68)$$

dan

$$\Delta y_i = \dot{y}_i \Delta t + \frac{1}{2} \ddot{y}_i \Delta t^2 + \frac{1}{6} \Delta \ddot{y}_i \Delta t^3 \quad (3.69)$$

Pertambahan perpindahan  $\Delta y$  sebagai variabel dasar dalam analisa, substitusikan persamaan (3.69) kedalam persamaan (3.68) untuk mendapatkan nilai percepatan  $\Delta \ddot{y}_i$ .

$$\Delta \ddot{y}_i = \frac{6}{\Delta t^2} \Delta y_i - \frac{6}{\Delta t} \dot{y}_i - 3 \ddot{y}_i \quad (3.70)$$

dan

$$\Delta \dot{y}_i = \frac{3}{\Delta t} \Delta y_i - 3 \dot{y}_i - \frac{\Delta t}{2} \ddot{y}_i \quad (3.71)$$

kemudian substitusi persamaan (3.70) dan (3.71) kedalam persamaan  $m \Delta \ddot{y}_i + c_i \Delta \dot{y}_i + k_i \Delta y_i = \Delta F_i$ , yang mana persamaan ini adalah persamaan differensial gerakan tanah untuk pertambahan waktu sehingga didapat persamaan gerak dalam bentuk

$$m \left\{ \frac{6}{\Delta t^2} \Delta y_i - \frac{6}{\Delta t} \dot{y}_i - 3 \ddot{y}_i \right\} + c_i \left\{ \frac{3}{\Delta t} \Delta y_i - 3 \dot{y}_i - \frac{\Delta t}{2} \ddot{y}_i \right\} + k_i \Delta y_i = \Delta F_i \quad (3.72)$$

dengan memindahkan semua besaran pertambahan dari perpindahan  $\Delta y_i$  yang tidak diketahui dari persamaan (3.72) ke bagian sebelah kiri, maka didapat,

$$\overline{k}_i \Delta y_i = \Delta \overline{F}_i \quad (3.73)$$

dimana

$$\bar{k}_i = k_i + \frac{6m}{\Delta t^2} + \frac{3c_i}{\Delta t} \quad (3.74)$$

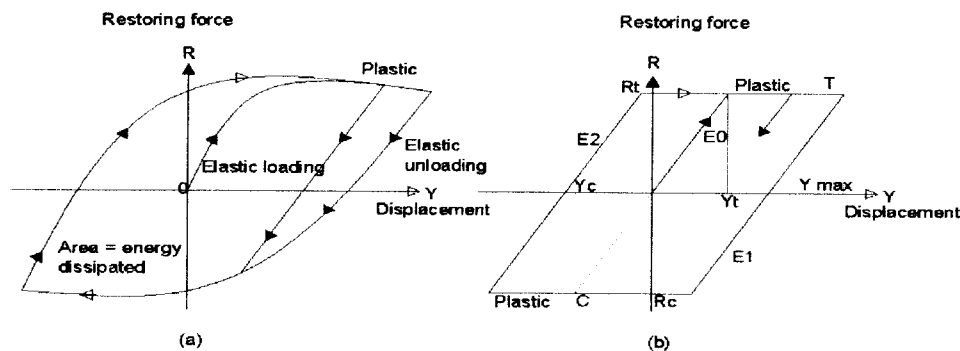
dan

$$\Delta \bar{F}_i = \Delta F_i + m \left\{ \frac{6}{\Delta t} \dot{y}_i + 3\ddot{y}_i \right\} + c_i \left\{ 3\dot{y}_i + \frac{\Delta t}{2} \ddot{y}_i \right\} \quad (3.75)$$

### 3.10.3 Sifat Elastoplastis (*Elastoplastic Behavior*)

Jika struktur dengan model sistem berderajat kebebasan tunggal (sistem massa pegas) dapat mencapai keadaan plastis, maka penggunaan gaya pemulihan (*restoring force*) mempunyai bentuk seperti pada gambar (3.5.a). Ada satu bagian dari lengkungan di mana dicapai sifat elastis, di mana untuk deformasi selanjutnya merupakan daerah terjadinya leleh plastis (*plastic yielding*). Jika beban dihilangkan dari struktur maka sifatnya menjadi elastis kembali hingga mencapai leleh plastis tertekan (*compressive plastic yielding*) pada beban yang berlawanan tandanya dengan beban sebelumnya. Energi yang hilang pada setiap siklus selaras dengan luas dalam lengkungan. Sifat ini sering disederhanakan dengan menganggap suatu titik leleh (*yield point*) tertentu di mana setelah melampaui titik ini, perpindahan menjadi konstan tanpa ada penambahan beban. Sifat ini dikenal juga sebagai sifat elastoplastis.





Gambar 3.4 Elastic-plastic structural models. (a) General plastic behavior. (b) Elastoplastic behavior

Biasanya dapat dengan mudah menyatakan ekspresi gaya pemulihan (*restoring force*) untuk struktur dengan model sistem massa pegas bersifat elastoplastis. Ekspresi ini tergantung pada besar gaya pemulihan (*restoring force*) demikian pula pada gerakan di mana perpindahan akan bertambah ( $\dot{y} > 0$ ) atau akan berkurang ( $\dot{y} < 0$ ). Sesuai dengan gambar (3.5.b) di mana ditunjukkan siklus umum sifat elastoplastis, dianggap kondisi awal adalah nol ( $y_0 = 0, \dot{y}_0 = 0$ ) untuk struktur penbebanan. Bila beban bekerja, sistem bersifat elastis sepanjang lengkung  $E_0$ . Perpindah  $y_t$  pada sifat plastis dalam kondisi tarik mulai terbentuk dan perpindahan  $y_c$  pada sifat plastis dalam kondisi tekan mulai terbentuk, dihitung dari,

$$y_t = \frac{Rt}{K} \quad \text{dan} \quad y_c = \frac{Rc}{K} \quad (3.76)$$

di mana  $Rt$  dan  $Rc$  adalah gaya yang mengakibatkan terjadinya leleh (*yielding*) pada kondisi tekan dan tarik serta  $k$  adalah kekakuan elastis struktur. Sistem akan tetap pada engkungan  $E_0$  selama perpindahan  $y$  memenuhi

$$y_c < y < y_t \quad (3.77)$$

Jika perpindahan  $y$  bertambah besar menjadi  $y_t$  sistem mulai bersifat plastis pada kondisi tarik sepanjang lengkungan  $T$  seperti pada gambar (3.5.b) dan akan tetap pada lengkung  $T$  selama kecepatan  $\dot{y} > 0$ . Bila  $\dot{y} < 0$ , maka sistem akan kembali bersifat elastis pada lengkungan seperti  $E_t$  dengan titik leleh (*yielding point*) yang baru, yang diberikan oleh,

$$\begin{aligned} y_t &= y_{\max} , \\ y_c &= y_{\max} - (R_t - R_c) / k \end{aligned} \quad (3.78)$$

di mana  $y_{\max}$  adalah perpindahan maksimum sepanjang lengkungan  $T$  yang dicapai bila  $\dot{y} = 0$ .

Berlawanan dengan diatas, jika  $y$  berkurang sampai  $y_c$  sistem mulai bersifat plastis dalam kondisi tekan sepanjang lengkungan  $C$  dan akan tetap pada lengkungan ini selama  $\dot{y} < 0$ . Sistem akan kembali bersifat elastis bila kecepatan berganti arah dan  $\dot{y} > 0$ . Pada kondisi ini titik leleh baru diberikan oleh

$$\begin{aligned} y_c &= y_{\min} , \\ y_t &= y_{\min} + (R_t - R_c) / k \end{aligned} \quad (3.79)$$

di mana  $y_{\min}$  adalah perpindahan minimum sepanjang lengkungan  $C$ , yang tercapai bila  $\dot{y} = 0$ . Gaya pemulihan (*restoring force*) pada fase elastis dari siklus ( $E_o, E_1, E_2, \dots$ ) dapat dihitung sebagai

$$R = R_t - (y_t - y)k \quad (3.80)$$

pada fase kondisi tarik sebagai

$$R = R_t \quad (3.81)$$

dan pada fase kondisi tekan sebagai

$$R = R_c \quad (3.82)$$

### 3.10.4 Algoritma untuk solusi langkah demi langkah untuk sistem-sistem berderajat kebebasan tunggal elastoplastis.

Penamaan dan data masukan :

1. Baca harga masukan untuk  $k, m, c, R_b, R_c$  dan daftar yang memberikan waktu  $t_i$  serta besar gaya pengaruh  $F_i$ .
2. Atur  $y_0 = 0$  dan  $\dot{y}_0 = 0$ .
3. Hitung percepatan awal :

$$\ddot{y}_0 = \frac{F(t=0)}{m} \quad (3.83)$$

4. Pilih tahapan waktu  $\Delta t$  dan hitung konstanta :

$$a_1 = \frac{3}{\Delta t}, \quad a_2 = \frac{6}{\Delta t}, \quad a_3 = \frac{\Delta t}{2}, \quad a_4 = \frac{6}{\Delta t^2}, \dots \quad (3.84)$$

5. Hitung titik leleh awal

$$y_t = \frac{R_t}{k} \quad y_c = \frac{R_c}{k} \quad (3.85)$$

Untuk tiap tahapan waktu :

1. Kontrol apakah sistem tetap pada kondisi elastis sebelumnya atau bersifat plastis dengan menggunakan tanda sebagai berikut :

KEY = 0 (sifat elastis);

KEY = -1 (sifat plastis tekan);

KEY = 1 (sifat plastis tarik). (3.86)

2. Hitung perpindahan  $y$  dan kecepatan  $\dot{y}$  pada akhir tahapan waktu dan atur harga KEY sesuai kondisi berikut:

a. Bila sistem bersifat elastis pada permulaan tahap waktu, dan

$$y_c < y < y_t \quad \text{KEY} = 0$$

$$y > y_t \quad \text{KEY} = 1$$

$$y < y_c \quad \text{KEY} = -1$$

b. Bila sistem bersifat plastis kondisi tertarik pada permulaan tahap waktu dan

$$\dot{y} > 0 \quad \text{KEY} = 1$$

$$\dot{y} < 0 \quad \text{KEY} = 0$$

c. Bila sistem bersifat plastis kondisi tertekan pada permulaan tahap waktu dan

$$\dot{y} < 0 \quad \text{KEY} = -1$$

$$\dot{y} > 0 \quad \text{KEY} = 0$$

3. Hitung keakuan efektif :

$$\bar{k} = k_p + a_4 m + a_1 c_1 \quad (3.87)$$

di mana

$$k_p = k \text{ untuk sifat elastis (KEY} = 0)$$

$$k_p = 0 \text{ untuk sifat plastis (KEY} = 1 \text{ atau } -1) \quad (3.88)$$

4. Hitung pertambahan gaya efektif :

$$\overline{\Delta F_i} = \Delta F_i + (a_2 m + 3c_i)\dot{y}_i + (3m + a_3 c_i)\ddot{y}_i \quad (3.89)$$

5. Selesaikan untuk pertambahan perpindahan :

$$\Delta y_i = \frac{\overline{\Delta F_i}}{k_i} \quad (3.90)$$

6. Hitung pertambahan kecepatan :

$$\Delta \dot{y}_i = \frac{3}{\Delta t} \Delta y_i - 3 \dot{y}_i - \frac{\Delta t}{2} \ddot{y}_i \quad (3.91)$$

7. Hitung perpindahan dan kecepatan pada akhir selang waktu :

$$y_{i+1} = y_i + \Delta y_i \quad (3.92)$$

$$\dot{y}_{i+1} = \dot{y}_i + \Delta \dot{y}_i \quad (3.93)$$

8. Hitung percepatan  $\ddot{y}_{i+1}$  pada akhir selang waktu dengan menggunakan persamaan keseimbangan dinamis :

$$\ddot{y}_{i+1} \frac{1}{m} [F(t_{i+1}) - (c_{i+1} \dot{y}_{i+1} - R)] \quad (3.94)$$

di mana

$$R = R_t - (y_t - y_{i+1})k \quad \text{jika KEY} = 0$$

$$R = R_t \quad \text{jika KEY} = 1 \quad (3.95)$$

atau

$$R = R_c \quad \text{jika KEY} = -1.$$

## BAB IV

### METODE PENELITIAN

Metode penelitian adalah langkah-langkah atau urutan dalam kita melakukan penelitian dalam rangka mencari jawaban atau pemecahan dari pokok permasalahan yang kita ambil. Permasalahan yang kami bahas diuraikan secara terstruktur dan sistematis. Dalam menyelesaikan masalah-masalah yang ada dalam penelitian kami mendasarkan pada teori yang ada ,begitu juga dalam menarik kesimpulan berdasarkan pada hasil yang kami dapat dalam penelitian ini.

Dalam tugas akhir ini ada beberapa tahapan :

1. Pengumpulan data.
2. Pengolahan data.
3. Analisis dan pembahasan.
4. Penarikan kesimpulan.

Untuk menunjang dalam penelitian ini kami menggunakan *Microsoft Visual Basic6.0* untuk mempermudah dalam menyelesaikan permasalahan.

#### **4.1 Pengumpulan Data**

Data yang kami ambil adalah data struktur beton yang diambil dari penelitian terdahulu. Data beban gempa diambil dari rekaman percepatan tanah

akibat gempa yang berupa riwayat waktu (time history percepatan tanah).

Perincian data tersebut adalah sebagai berikut :

#### 4.1.1 Data Struktur

Data struktur beton yang diambil dengan variasi 4, 8, dan 10 tingkat. Sesuai dengan bahan yang digunakan maka Modulus Elastisitas Beton ( $E$ ) diambil sebesar  $2 \cdot 10^5 \text{ kg/cm}^2$ .

*Base Isolation* yang digunakan berupa *Rubber Bearing*. Bantalan karet (*Rubber Bearing*) yang digunakan yang telah dimodifikasi ([www.takenaka.co.jp/](http://www.takenaka.co.jp/)) seperti pada **Tabel 4.1** :

**Tabel 4.1** spesifikasi bantalan karet (*Rubber Bearing*)

Nominal shear stiffness (kn/mm)	0.50
Nominal horisontal natural frequency (Hz)	0.5
Nominal vertical stiffness (kn/mm)	345
Damping ratio (%)	20
Maximum probable shear deflection (mm)	159
Load Supported (t/unit)	1.400

Untuk data dimensi kolom, massa dan model struktur yang digunakan dalam penelitian diambil dari beberapa tugas akhir terdahulu, lebih lengkapnya seperti terdapat pada **Tabel 4.2** sampai dengan **Tabel 4.4** dibawah ini :

a. Struktur 4 Tingkat.

Untuk data struktur 4 tingkat diambil dari tugas akhir Ali Arwani (2003),

**Tabel 4.2.1** Bangunan dengan *Base Isolation*

Tingkat	Dimensi Kolom ( mm )	Massa ( kg.dt <sup>2</sup> /cm )	Kekakuan ( kg/cm )
Base	400 x 700	119,8625	8932,29
2	400 x 700	129,6025	160781,25
3	400 x 700	125,6275	160781,25
4	400 x 700	80,185	160781,25

Tingkat	Dimensi Kolom ( mm )	Massa ( kg.dt <sup>2</sup> /cm )	Kekakuan ( kg/cm )
1	400 x 700	119,8625	160781,25
2	400 x 700	129,6025	160781,25
3	400 x 700	125,6275	160781,25
4	400 x 700	80,185	160781,25

**Tabel 4.2.2** Bangunan tanpa *Base Isolation*

b. Struktur 8 Tingkat

Untuk data struktur 8 tingkat diambil dari tugas akhir Markoco dan Hermanto (1998),

Tingkat	Dimensi Kolom ( mm )	Massa ( kg.dt <sup>2</sup> /cm )	Kekakuan ( kg/cm )
<i>Base</i>	700 x 700	166,06	12962,92
2	600 x 600	150,6	157434,39
3	600 x 600	141,85	157434,39
4	600 x 600	63,36	157434,39
5	500 x 500	43,56	75923,22
6	500 x 500	52,51	75923,22
7	500 x 500	32,42	75923,22
8	450 x 450	23,66	49813,21

**Tabel 4.3.1** Bangunan dengan *Base Isolation*

Tingkat	Dimensi Kolom ( mm )	Massa ( kg.dt <sup>2</sup> /cm )	Kekakuan ( kg/cm )
1	700 x 700	166,06	291666,66
2	600 x 600	150,6	157434,39
3	600 x 600	141,85	157434,39
4	600 x 600	63,36	157434,39
5	500 x 500	43,56	75923,22
6	500 x 500	52,51	75923,22
7	500 x 500	32,42	75923,22
8	450 x 450	23,66	49813,21

**Tabel 4.3.2** Bangunan tanpa *Base Isolation*

c. Struktur 10 Tingkat

Untuk data 10 tingkat diambil dari tugas akhir Sri Achyu Rahmanuwati (2000),.



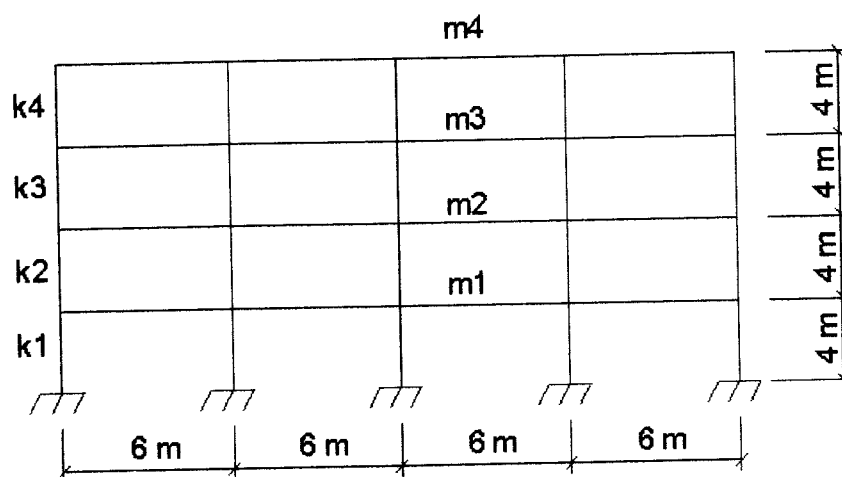
**Tabel 4.4.1** Bangunan dengan *Base Isolation*

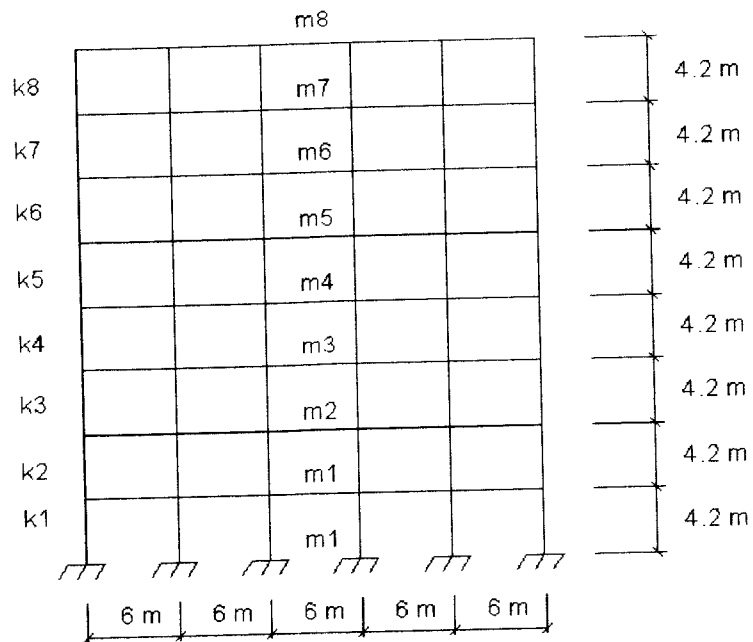
Tingkat	Dimensi Kolom ( mm )	Massa ( kg.dt <sup>2</sup> /cm )	Kekakuan ( kg/cm )
Base	500 x 650	117.28	24029.68
2	500 x 650	117.28	171.640.625
3	500 x 650	117.28	171.640.625
4	500 x 650	117.28	171.640.625
5	500 x 650	117.28	171.640.625
6	500 x 650	117.28	171.640.625
7	500 x 650	117.28	171.640.625
8	500 x 650	117.28	171.640.625
9	500 x 650	117.28	171.640.625
10	500 x 650	62.82	171.640.625

**Tabel 4.4.2** Bangunan tanpa *Base Isolation*

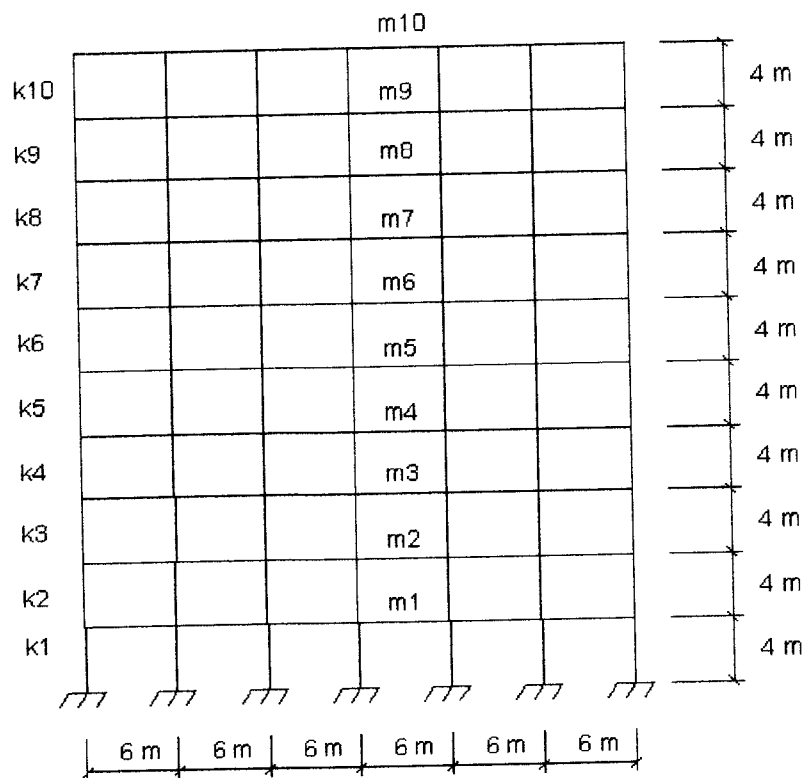
Tingkat	Dimensi Kolom ( mm )	Massa ( kg.dt <sup>2</sup> /cm )	Kekakuan ( kg/cm )
1	500 x 650	117.28	171.640.625
2	500 x 650	117.28	171.640.625
3	500 x 650	117.28	171.640.625
4	500 x 650	117.28	171.640.625
5	500 x 650	117.28	171.640.625
6	500 x 650	117.28	171.640.625
7	500 x 650	117.28	171.640.625
8	500 x 650	117.28	171.640.625
9	500 x 650	117.28	171.640.625
10	500 x 650	62.82	171.640.625

#### 4.1.2 Model Struktur

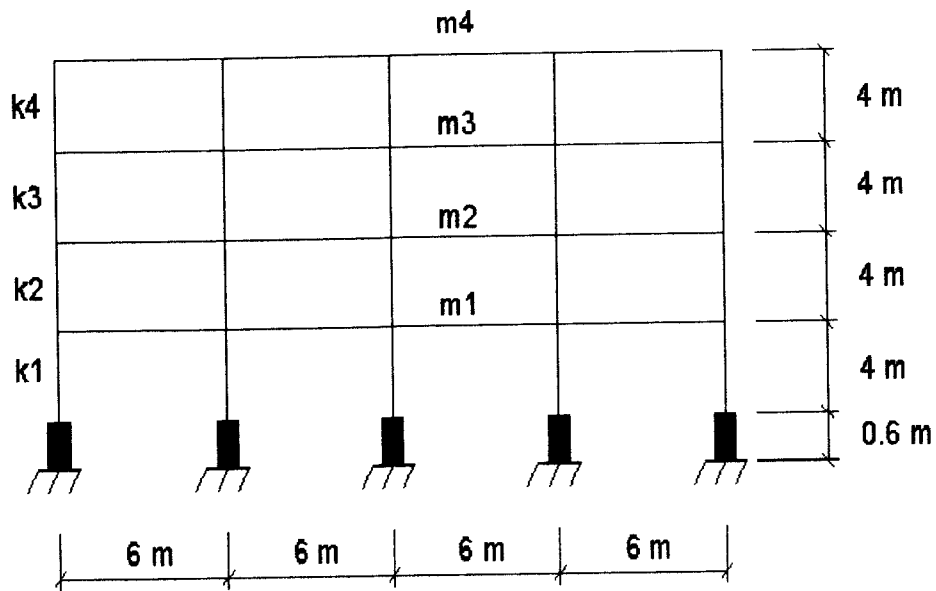
**Gambar 4.1.** Pemodelan struktur beton bertingkat 4 tanpa *Base isolation*



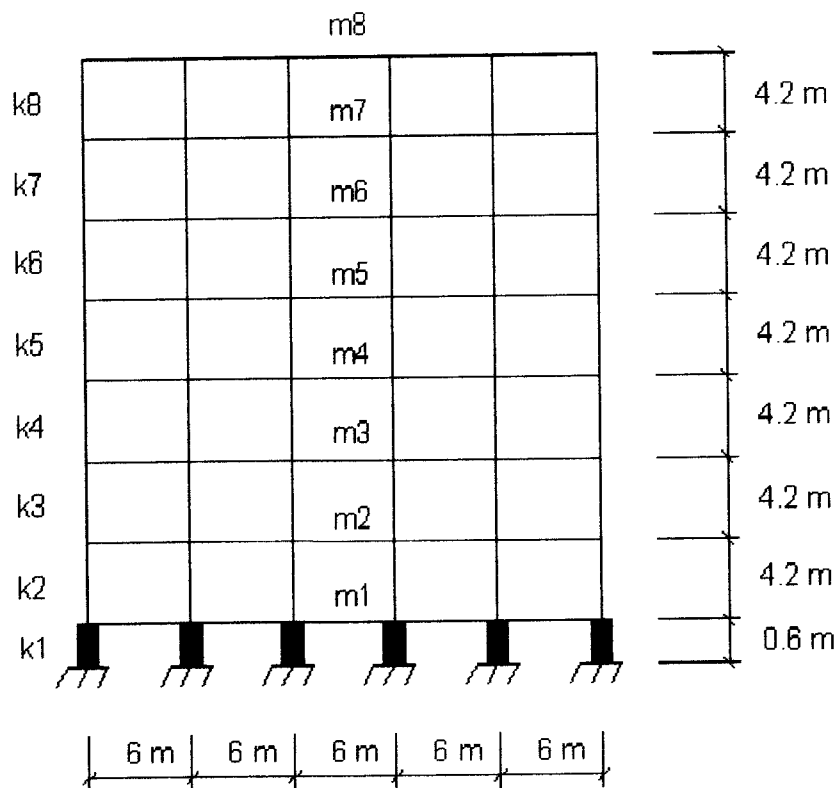
**Gambar 4.2.** Pemodelan struktur beton bertingkat 8 tanpa *Base isolation*



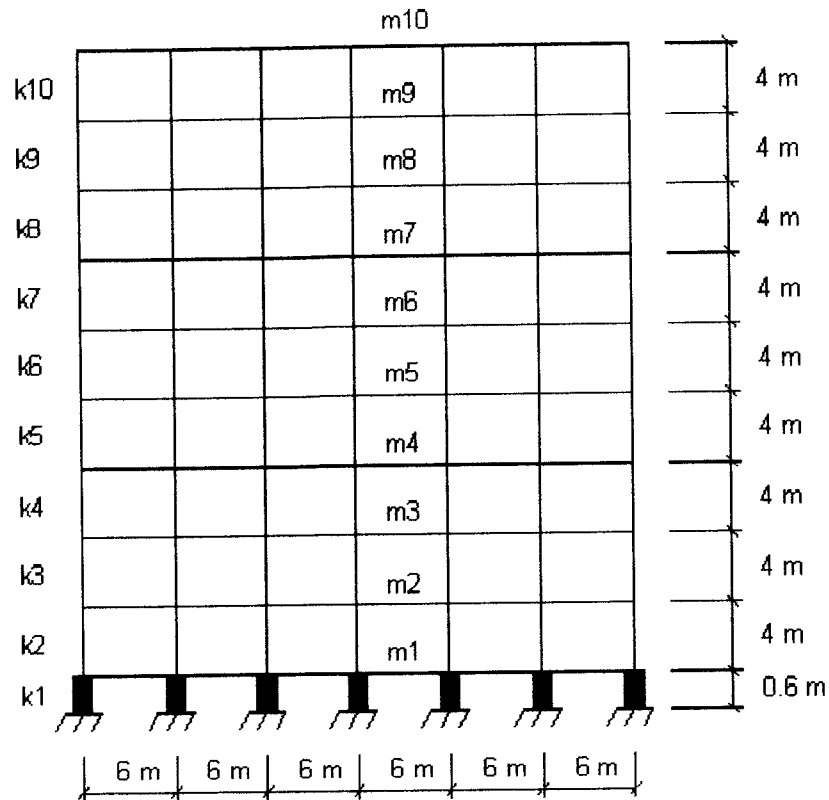
**Gambar 4.3.** Pemodelan struktur beton bertingkat 10 tanpa *Base isolation*



**Gambar 4.4.** Pemodelan struktur beton bertingkat 4 dengan *Base Isolation*



**Gambar 4.5.** Pemodelan struktur beton bertingkat 8 dengan *Base Isolation*



**Gambar 4.6.** Pemodelan struktur beton bertingkat 10 dengan *Base isolation*

#### 4.1.3 Data Gempa

Beban gempa yang digunakan pada tugas akhir ini diambil dari data beban gempa yang sudah ada. Pada riwayat gempa terdapat pengelompokan jenis gempa, yaitu : gempa frekuensi tinggi, gempa frekuensi menengah, dan gempa frekuensi rendah. Pengelompokan tersebut berdasarkan A/V rasio gempa (WK.Tso, T.J. Zhu dan A.C. heidebrecht dalam “Jurnal Soil Dynamics and Earthquake Engineering (1992)” yang membahas “Engineering Implication of Ground Motion A/V Ratio”), seperti di bawah ini,

1.  $A/V > 1,2$                       Gempa Frekuensi Tinggi
2.  $0,8-1,2$                         Gempa frekuensi menengah

2. 0,8-1,2                      Gempa frekuensi menengah
3. <0,8                         Gempa frekuensi Rendah

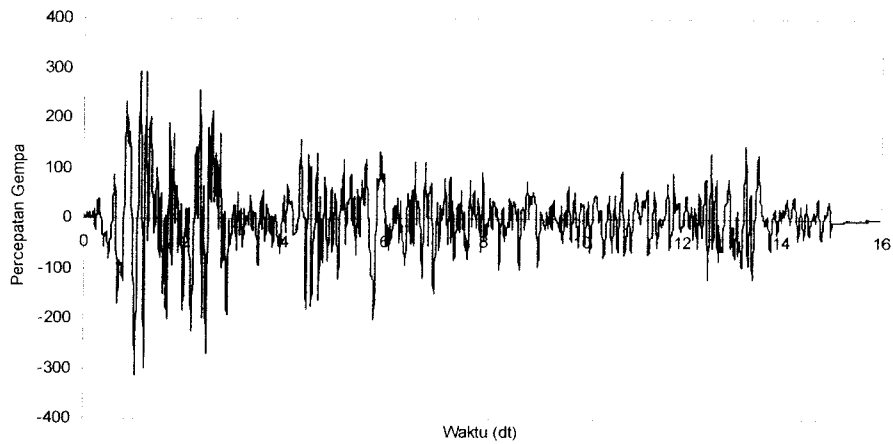
Data kandungan frekuensi beban gempa (A/V rasio) merupakan perbandingan antara percepatan maksimum (A maks) dengan kecepatan maksimum (V maks) gerakan tanah akibat gempa. Contoh kandungan frekuensi gempa (tugas akhir , Ardy dan Didik (2004)) adalah seperti pada tabel 4.5.

Dari tabel dibawah ini tidak semua percepatan gempa dipakai tetapi hanya Bucharest, El-Centro dan Koyna yang mewakili gempa frekuensi rendah, menengah dan frekuensi tinggi.

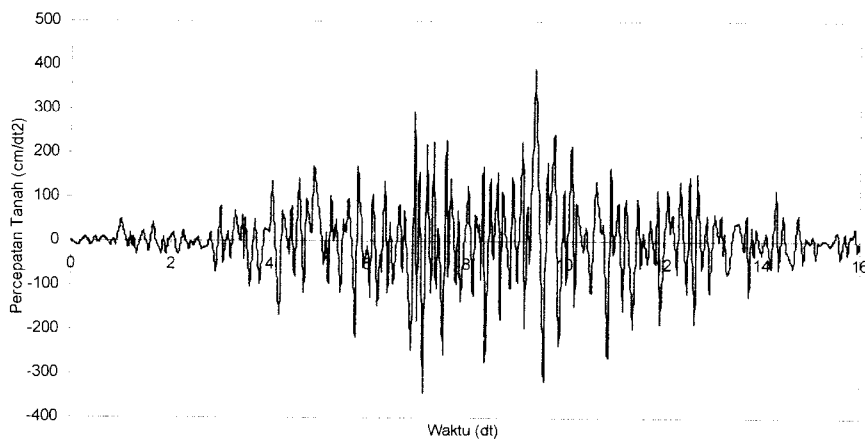
Tabel 4.5. Data Gempa

No	Beban Gempa	A maks (cm/dt <sup>2</sup> )	V maks (cm/dt)	A/V rasio (g/m/dt)	Keterangan Frekuensi Rendah
1	Bucharest	225.4	75.1	0.306	Frekuensi Rendah
2	Tlabuac bombas	130.46	40.2	0.331	Frekuensi Rendah
3	Ulcinj	258.5	34.07	0.773	Frekuensi Menengah
4	Miyagi	202.65	26.56	0.861	Frekuensi Menengah
5	Bar Montenegro	371.1	42.93	0.864	Frekuensi Menengah
6	Coalinga	440.56	49.96	0.882	Frekuensi Menengah
7	Petrovac	441.7	40.4	1.099	Frekuensi Menengah
8	Elcentro	342.02	33.4	1.004	Frekuensi Menengah
9	Parkfield	407.4	42.66	1.124	Frekuensi Menengah
10	Corint	281.4	25.11	1.143	Frekuensi Menengah
11	Coralitos	436.1	38.45	1.156	Frekuensi Menengah
12	Gilroy	401.8	20.56	1.992	Frekuensi tinggi
13	St. Cruz	392	15.26	2.618	Frekuensi tinggi
14	Koyna India	548.79	16.13	3.468	Frekuensi tinggi

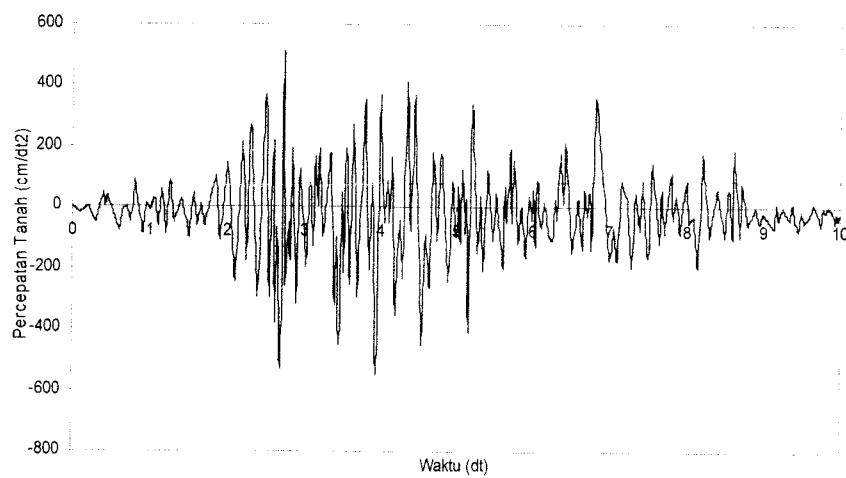
Di bawah ini diberikan gambar rekaman gempa dari gempa Elcentro, Santacruz, dan Koyna.



**Gambar 4.7.** Plot Percepatan Gempa Elcentro



**Gambar 4.8.** Plot Percepatan Gempa Santacruz



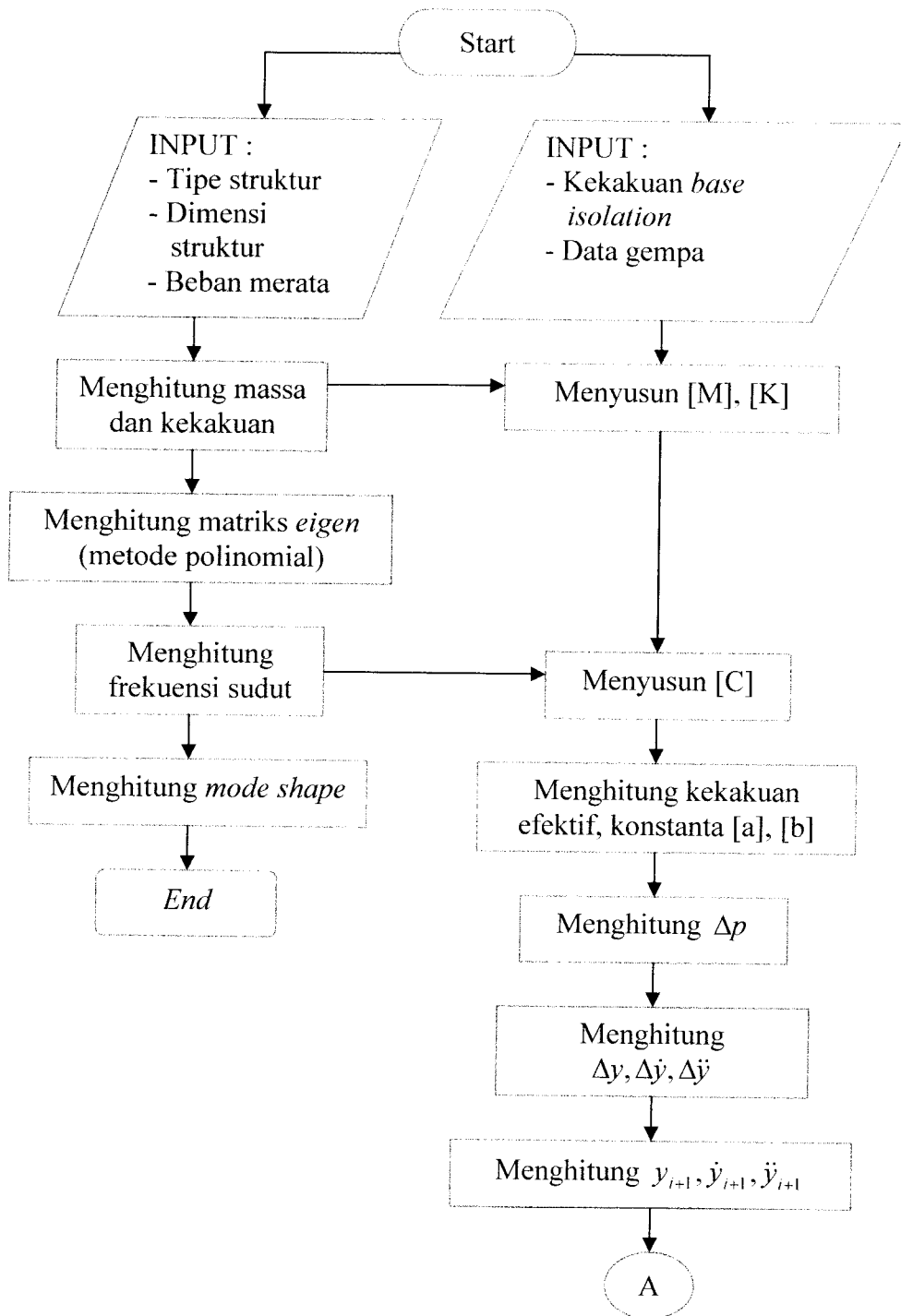
**Gambar 4.9** Plot Percepatan Gempa Koyna

## 4.2 Tahapan analisa Dinamik

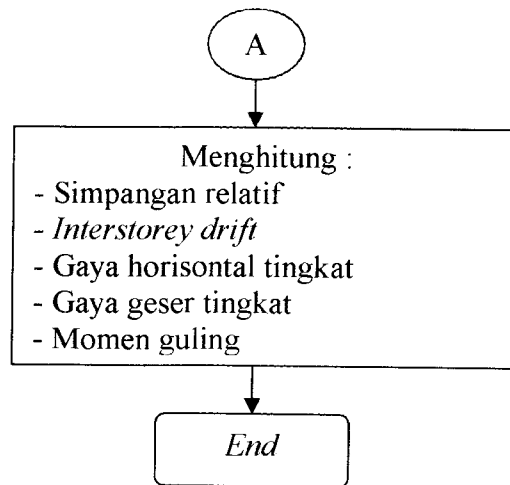
Tahapan Analisa adalah langkah-langkah untuk menghitung dan menganalisis perhitungan struktur beton 4 tingkat dengan memasukkan spesifikasi data dari *base isolation*. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan program komputer *Microsoft Visual Basic 6.0*. Program tersebut merupakan penerapan program yang lama, tetapi telah mengalami penambahan dan modifikasi.

Langkah-langkah tahapan analisa sebagai berikut :

1. Menghitung massa dengan prinsip *lumped mass* (pers.3.12)
2. menghitung nilai kekakuan dengan prinsip *Shear Building*(pers.3.14 dan pers.3.15).
3. Menyusun dan menghitung matriks massa [M], matriks kekakuan [K], dan matriks redaman [C] (pers.3.24)
4. Menghitung persamaan *eigen* (pers.3.29)
5. Menghitung frekuensi sudut (pers.3.8)
6. Menghitung *mode shape* (pers. 3.34 s/d pers.3.37)
7. Menghitung konstanta-konstanta [a], [b] (pers.3.52)
8. Menghitung  $\Delta p, \Delta y, \Delta \dot{y}, \Delta \ddot{y}$  (pers.3.40 s/d pers.4.43)
9. Menghitung  $y, \dot{y}, \ddot{y}$  (pers.3.53)
10. Menghitung simpangan relatif (pers.3.54)
11. Menghitung simpangan antar tingkat (*interstorey drift*) (pers.3.55)
12. Menghitung gaya horisontal tingkat (pers.3.56)
13. Menghitung gaya geser tingkat (pers.3.57)
14. Menghitung momen guling (*overturning moment*) (pers.3.58)







Gambar 4.10. Bagan Alir (Flow Chart)

## BAB V

### HASIL ANALISA DAN PEMBAHASAN

#### 5.1 Pendahuluan

Program ProgSIP 2006 merupakan program yang dibuat dengan bahasa *Microsoft Visual Basic 6.0*, dengan cara mengaplikasikan tahapan hitungan manual yang terdapat dalam landasan teori. Program ini merupakan modifikasi dari ProgSIP 2004 dari penelitian Tugas Akhir terdahulu. Program ini terdiri dari perhitungan massa, kekakuan, dan respon struktur terhadap beban dinamik. *Input* dari program ini terdiri dari tipe, dimensi struktur, dimensi elemen-elemen struktur, massa dan kekakuan. *Input* yang lain berupa parameter dari *base isolation* yang berupa kekakuan *base isolation* dan Alpha ( $\alpha$ ). Sedangkan data percepatan tanah berupa data gempa, skala gempa dan *damping ratio*.

Hasil analisa atau *output* dari program ini adalah *Mode Shape* (ragam goyangan), Simpangan Netto, Simpangan antar Tingkat (*Inetrstorey Drift*), gaya Horisontal Tingkat (F), Gaya Horisontal Tingkat Kumulatif (V), dan Momen Guling. Variasi-variasi hitungan dari tugas akhir ini terdiri dari variasi akibat kekakuan *base isolation*, Alpha ( $\alpha$ ), variasi dari beban gempa yaitu gempa El-Centro, gempa Santacruz, dan gempa Koyna. Variasi yang lain adalah dengan memvariasikan tinggi tingkat struktur dimana struktur tersebut dibedakan menjadi

struktur dengan menggunakan peredam gempa yang berupa *base isolation* dan struktur tanpa menggunakan *base isolation* (tipikal).

Dalam menganalisis peneliti membandingkan hasil perhitungan secara manual menggunakan *Microsoft Exel* dengan hasil perhitungan menggunakan program ProgSIP 2006. Dari hasil perbandingan kita dapat mencari tingkat ketelitian dari masing-masing perhitungan. Analisis ini juga membandingkan hasil perhitungan bangunan tanpa *base isolation* (Tipikal) dengan bangunan *base isolation*.

## 5.2 Perhitungan Massa dan Kekakuan

Anggapan perhitungan dalam analisa ini adalah *Lumped Mass* dan prinsip *Shear Building*, yaitu massa dihitung pada tiap tingkat dan menggumpal ditengah bentang. Kekakuan dihitung dimana besarnya kekakuan tiap lantai merupakan jumlah dari kekakuan tiap kolomnya.

Perbedaan hitungan massa dan kekakuan diantara struktur dengan menggunakan *base isolation* dan tanpa menggunakan *base isolation* terletak pada kekakuannya. Kekakuan *base isolation* merupakan data yang diambil dari referensi, sedangkan kekakuan struktur tanpa *base isolation* diperoleh berdasarkan perhitungan. Sedangkan massa struktur pada bangunan yang menggunakan *base isolation* dianggap sama dengan massa struktur pada bangunan tanpa menggunakan *base isolation*.

Perhitungan massa diambil dari Tugas Akhir terdahulu, hasil perhitungan massa dapat dilihat pada tabel 5.1 dan 5.2 sebagai berikut :

**Tabel 5.1** Hasil perhitungan massa pada struktur dengan *base isolation*

a. Struktur 4 tingkat.

Untuk massa stuktur 4 tingkat diambil dari tugas akhir M Natsir S dan Ali Arwani (2003),

**Tabel 5.1.1** Hasil Perhitungan Massa struktur 4 Tingkat

No	Tingkat	Massa (kg.dt2/cm)
1	<i>Base isolation</i>	119.86
2	2	129.3025
3	3	125.6725
4	4	80.185

b. Struktur 8 tingkat.

Untuk massa stuktur 8 tingkat diambil dari tugas akhir Markoco dan Hermanto (1988),

**Tabel 5.1.2** Hasil Perhitungan Massa struktur 8 Tingkat

No	Tingkat	Massa (kg.dt2/cm)
1	<i>Base isolation</i>	166.06
2	2	150.60
3	3	141.45
4	4	63.36
5	5	43.56
6	6	52.51
7	7	32.42
8	8	23.66

## c. Struktur 10 tingkat.

Untuk massa stuktur 10 tingkat diambil dari tugas akhir Sri Achyu Rahmanuwati (2000),

**Tabel 5.1.3** Hasil Perhitungan Massa struktur 10 Tingkat

No	Lantai	Massa (kg.dt <sup>2</sup> /cm)
1	<i>Base isolation</i>	117.28
2	2 s/d 10	62.82

**Tabel 5.2** Hasil perhitungan massa pada struktur tanpa *base isolation*

## a. Struktur 4 tingkat.

Untuk massa stuktur 4 tingkat diambil dari tugas akhir M Natsir S dan Ali Arwani (2003),

**Tabel 5.2.1** Hasil Perhitungan Massa struktur 4 Tingkat

No	Tingkat	Massa (kg.dt <sup>2</sup> /cm)
1	<i>Base isolation</i>	119.86
2	2	129.3025
3	3	125.6725
4	4	80.185

## b. Struktur 8 tingkat.

Untuk massa stuktur 8 tingkat diambil dari tugas akhir Markoco dan Hermanto (1988),

**Tabel 5.2.2** Hasil Perhitungan Massa struktur 8 Tingkat

No	Tingkat	Massa (kg.dt <sup>2</sup> /cm)
1	<i>Base isolation</i>	166.06
2	2	150.60
3	3	141.45
4	4	63.36
5	5	43.36
6	6	52.51
7	7	32.42
8	8	23.66

## c. Struktur 10 tingkat.

Untuk massa struktur 10 tingkat diambil dari tugas akhir Sri Achyu Rahmanuwati (2000),

**Tabel 5.2.3** Hasil Perhitungan Massa struktur 10 Tingkat

No	Tingkat	Massa (kg.dt <sup>2</sup> /cm)
1	<i>Base isolation</i>	117.28
2	2 s/d 10	62.82

Kekakuan dihitung menggunakan prinsip *shear building* dimana kekakuan kolom tidak dipengaruhi oleh balok yang menghubungkan kolom-kolom yang ada. Kekakuan kolom dapat dihitung dengan persamaan (3.24). Berdasarkan persamaan tersebut maka kekakuan kolom dihitung sebagai berikut :

## a. Kolom Tepi (dimensi 40x70 cm)

$$E = 2.10^5 \text{ kg/cm}^2.$$

$$I = 1143333,33 \text{ cm}^4.$$

$$H_1 = 400 \text{ cm.}$$

$$\begin{aligned} \text{Kekakuan kolom tepi} &= 2 * \frac{12 * 2.10^5 * 114,33.10^4}{(400)^3} \\ &= 85747,5 \text{ kg/cm.} \end{aligned}$$

## b. Kolom Tengah (dimensi 40x70 cm)

$$E = 2.10^5 \text{ kg/cm.}$$

$$I = 1143333,33 \text{ cm}^4.$$

$$H_1 = 400 \text{ cm.}$$

$$\begin{aligned} \text{Kekakuan kolom tepi} &= 3 * \frac{12 * 2.10^5 * 114,33.10^4}{(400)^3} \\ &= 128621,25 \text{ kg/cm.} \end{aligned}$$

$$\text{Kekakuan Total} = (85747,5 + 128621,25) \times 0,75 = 16078,25 \text{ kg/cm.}$$

Adapun hasil perhitungan kekakuan dapat dilihat pada tabel 5.3 dan 5.4 sebagai berikut :

**Tabel 5.3** Hasil perhitungan kekakuan pada struktur dengan *base isolation*

a. Struktur 4 tingkat.

**Tabel 5.3.1** Hasil perhitungan kekakuan pada struktur 4 Tingkat

No	Tingkat	Kekakuan (kg/cm)
1	<i>Base isolation</i>	8932.29
2	2	160781.25
4	3	160781.25
4	4	160781.25

b. Struktur 8 tingkat.

**Tabel 5.3.2** Hasil perhitungan kekakuan pada struktur 8 Tingkat

No	Tingkat	Kekakuan (kg/cm)
1	<i>Base isolation</i>	291666.66
2	2	157434.39
3	3	157434.39
4	4	157434.39
5	5	75923.22
6	6	75923.22
7	7	75923.22
8	8	49813.21

## c. Struktur 10 tingkat

**Tabel 5.3.3** Hasil perhitungan kekakuan pada struktur 10 Tingkat

No	Tingkat	Kekakuan (kg/cm)
1	<i>Base isolation</i>	24029.68
2	2 s/d 10	171640.625

**Tabel 5.4** Hasil perhitungan kekakuan pada struktur tanpa *base isolation*

## a. Struktur 4 tingkat.

**Tabel 5.4.1** Hasil perhitungan kekakuan pada struktur 4 Tingkat

No	Tingkat	Kekakuan (kg/cm)
1	<i>Base isolation</i>	160781.25
2	2	160781.25
4	3	160781.25
4	4	160781.25

## b. Struktur 8 tingkat.

**Tabel 5.4.2** Hasil perhitungan kekakuan pada struktur 8 Tingkat

No	Tingkat	Kekakuan (kg/cm)
1	<i>Base isolation</i>	157434.39
2	2	157434.39
3	3	157434.39
4	4	157434.39
5	5	75923.22
6	6	75923.22
7	7	75923.22
8	8	49813.21

## c. Struktur 10 tingkat.

**Tabel 5.4.3** Hasil perhitungan kekakuan pada struktur 10 Tingkat

No	Tingkat	Kekakuan (kg/cm)
1	<i>Base isolation</i>	171640.625
2	2 s/d 10	171640.625



### 5.3 Analisis Respon Struktur Akibat Beban Gempa

Dalam analisis digunakan empat data gempa yaitu gempa El-centro mewakili gempa frekuensi menengah, gempa Santacruz, dan gempa Koyna yang mewakili gempa frekuensi tinggi.

Analisis-analisis yang dilakukan adalah dengan cara mencari kekakuan *base isolation* dengan cara *trial* dan coba-coba sehingga didapat kekakuan *base isolation* yang sesuai dengan jumlah tingkat bangunan. Dilanjutkan dengan memasukkan variasi empat gempa seperti tersebut diatas. Analisis diatas divariasikan pula dengan variasi struktur, yaitu 4, 8, dan 10 tingkat.

Variasi-variasi data diatas diolah pada program ProgSIP 2006 sehingga didapat *output* yang berupa *mode shape*, simpangan, kecepatan, percepatan, simpangan relatif, simpangan antar tingkat, gaya horisontal tingkat, gaya geser tingkat, dan momen guling.

#### 5.3.1 Simpangan Relatif Struktur.

Dari hasil program dapat disajikan nilai-nilai simpangan relatif struktur 4, 8, dan 10 tingkat dengan 3 variasi gempa, dengan memperhatikan hasil grafik simpangan relatif maksimum yang terdapat pada **Gambar 5.1** sampai dengan **Gambar 5.4** maka,

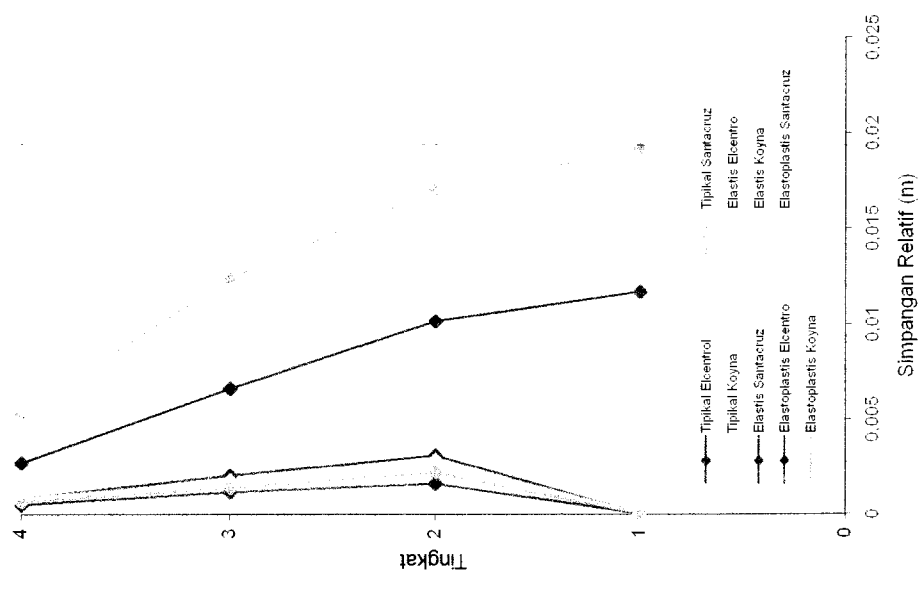
Simpangan relatif struktur dengan *base isolation* nilai terbesar terjadi pada lantai 2, hal ini dapat dilihat pada **Gambar 5.1** s/d **Gambar 5.4** karena nilai simpangan total lantai 1 sama dengan simpangan total *base isolation* maka nilai simpangan relatif pada *base isolation* yaitu pengurangan dari simpangan total lantai 1 dengan simpangan total *base isolation* (**pers. 3.54**) sehingga diperoleh simpangan relatif lantai 1 nol dan semakin keatas simpangan relatif semakin kecil. Tampak pada **Gambar 5.1** bahwa pada struktur 4 tingkat tanpa *base isolation* simpangan relatif maksimum terbesar terjadi pada struktur yang dikenai gempa Koyna hal ini dikarenakan gempa Koyna memiliki frekuensi yang tinggi. Jika suatu bangunan dikenai gempa yang berfrekuensi tinggi akan menghasilkan respon yang besar pula tetapi sebaliknya jika suatu bangunan dikenai gempa yang berfrekuensi rendah maka respon yang dihasilkan juga rendah. Untuk struktur dengan *base isolation* baik yang bersifat elastis maupun elastoplastis simpangan relatif maksimum terbesar terjadi akibat gempa Santacruz. Sedangkan simpangan relatif maksimum terkecil baik untuk bangunan dengan dan tanpa *base isolation* terjadi pada bangunan yang dikenai gempa Elcentro, hal ini disebabkan karena gempa Elcentro memiliki frekuensi menengah.

Untuk struktur 8 tingkat menghasilkan respon yang sama dengan struktur 4 tingkat baik dengan dan tanpa *base isolation*, hanya pada struktur 8 tingkat dengan *base isolation* (elastoplastik) simpangan relatif maksimum terbesar terjadi akibat gempa Koyna. Sedangkan untuk bangunan 10 tingkat simpangan relatif maksimum terbesar terjadi akibat gempa Koyna baik untuk struktur dengan dan

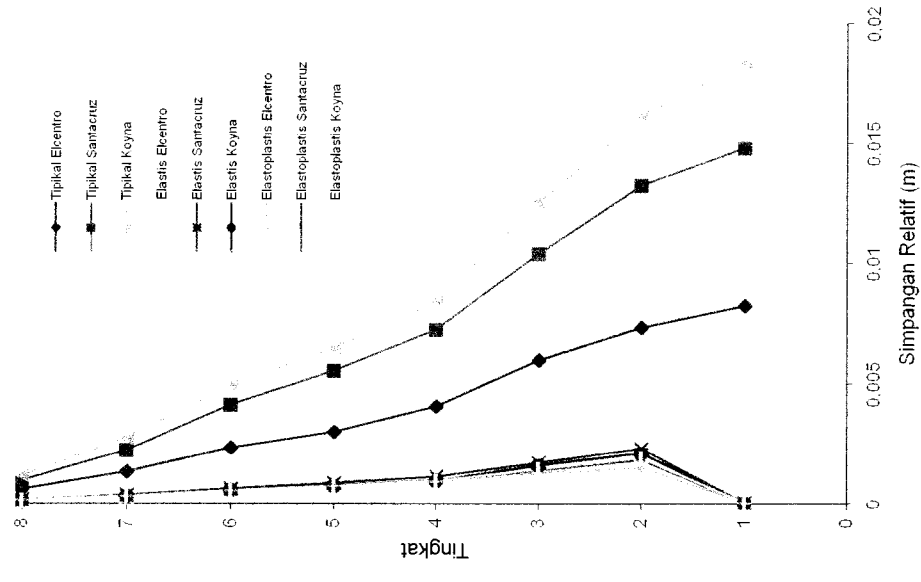
tanpa *base isolation*, dan simpangan relatif maksimum terkecil terjadi akibat gempa Elcentro.

Simpangan relatif struktur dengan *base isolation* lebih kecil dibandingkan simpangan relatif struktur tanpa *base isolation*, hal ini dikarenakan pada struktur dengan *base isolation* telah terjadi peredaman getaran tanah akibat gempa yang dilakukan oleh *base isolation* tersebut sehingga akan mengurangi simpangan tingkat diatas *base isolation*. Dengan adanya *base isolation* pada bangunan diharapkan dapat melindungi struktur bangunan dari efek getaran gempa serta meminimalisir kerusakan yang mungkin terjadi pada bangunan.

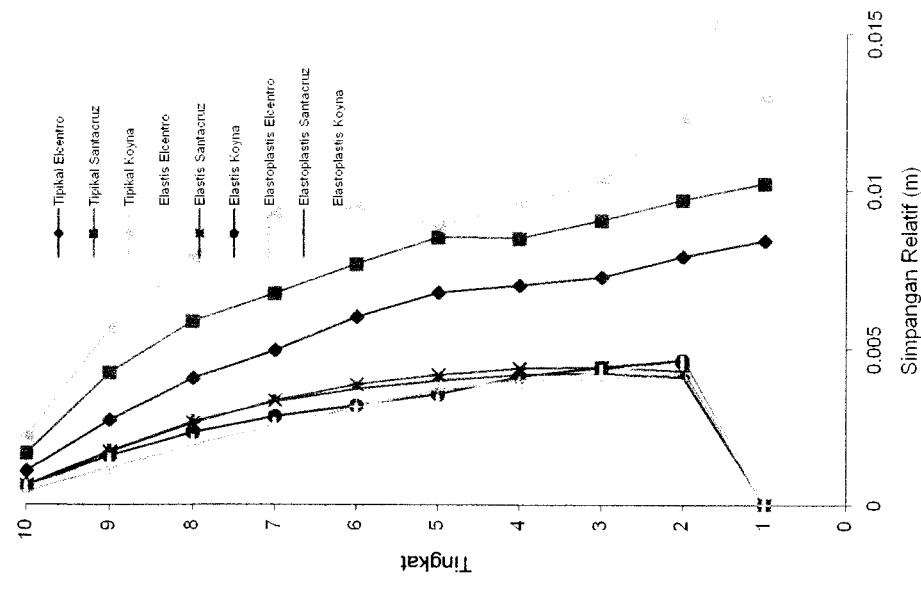
Selisih simpangan relatif antara struktur dengan *base isolation* yang bersifat elastis dengan struktur dengan *base isolation* yang bersifat elastoplastik sangat kecil, jadi anggapan bahwa *base isolation* tersebut bersifat elastoplastik bisa dikatakan hampir sama dengan *base isolation* yang bersifat elastis, meskipun nilai simpangan relatif struktur dengan *base isolation* yang (elastoplastik) lebih kecil dibandingkan simpangan relatif dengan *base isolation* (elastis). Hal ini dikarenakan pada *base isolation* (elastoplastik) tersebut telah mencapai plastis dimana pada tempat-tempat tertentu yang disyaratkan berperilaku daktail dan telah terjadi pemancaran energi selama pergerakan gempa.



A. Struktur 4 Tingkat

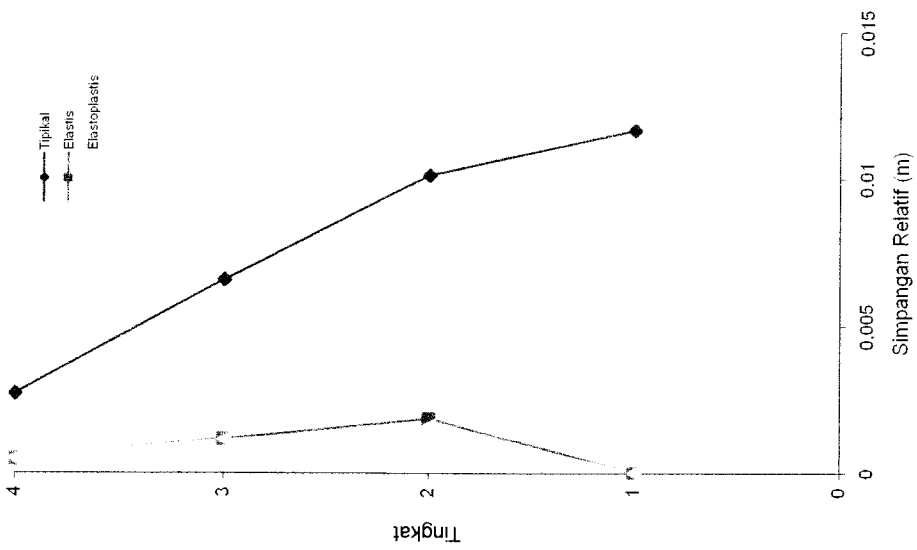


B. Struktur 8 Tingkat

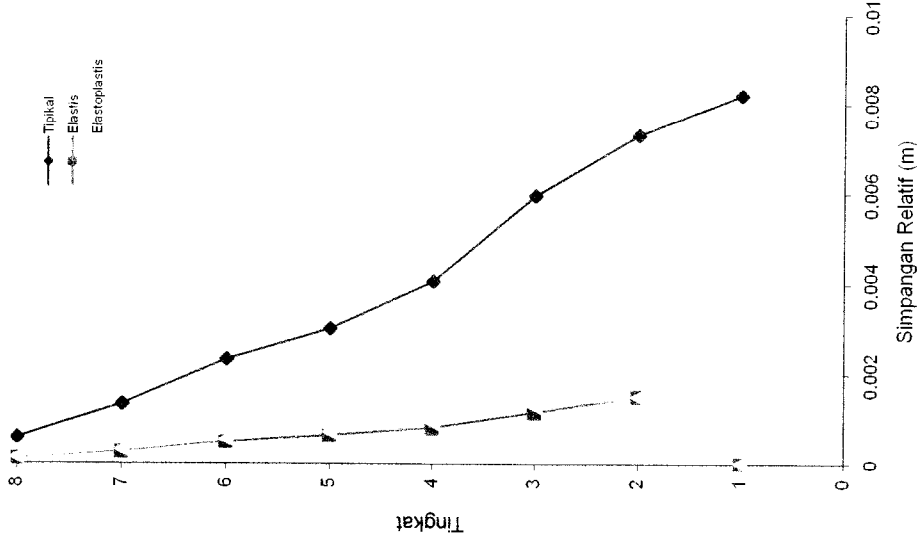


C. Struktur 10 Tingkat

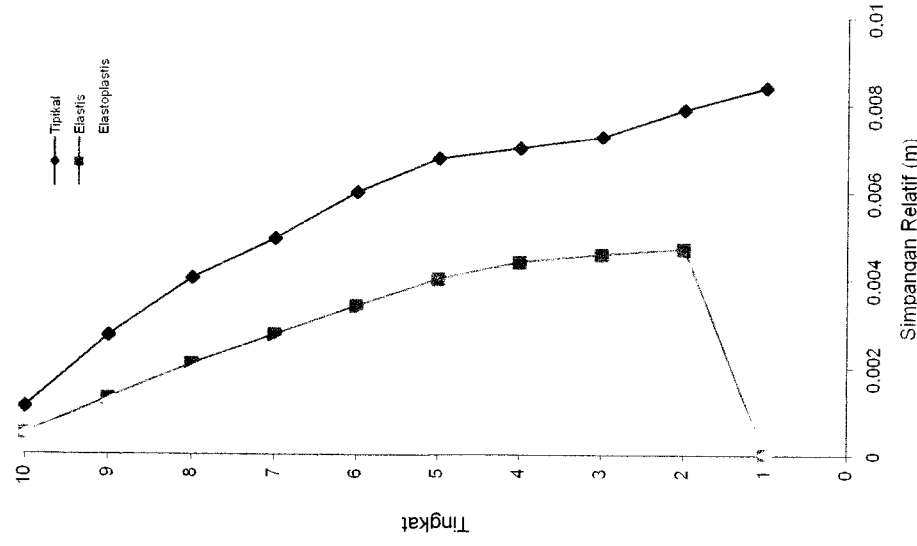
Gambar 5.1 Grafik Perbandingan Simpangan Relatif Maksimum Antara Bangunan Dengan Dan Tanpa Base Isolation Akibat 3 Gempa



A. Struktur 4 Tingkat

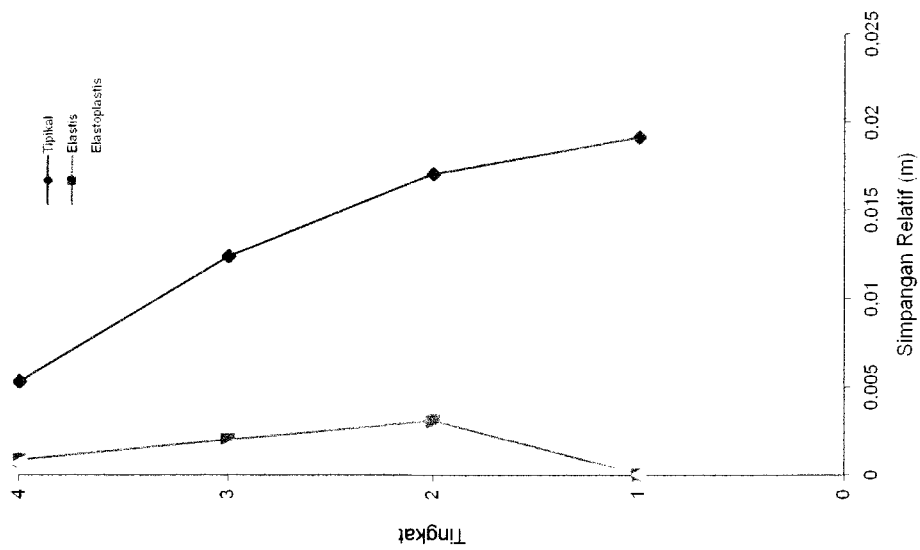


B. Struktur 8 Tingkat

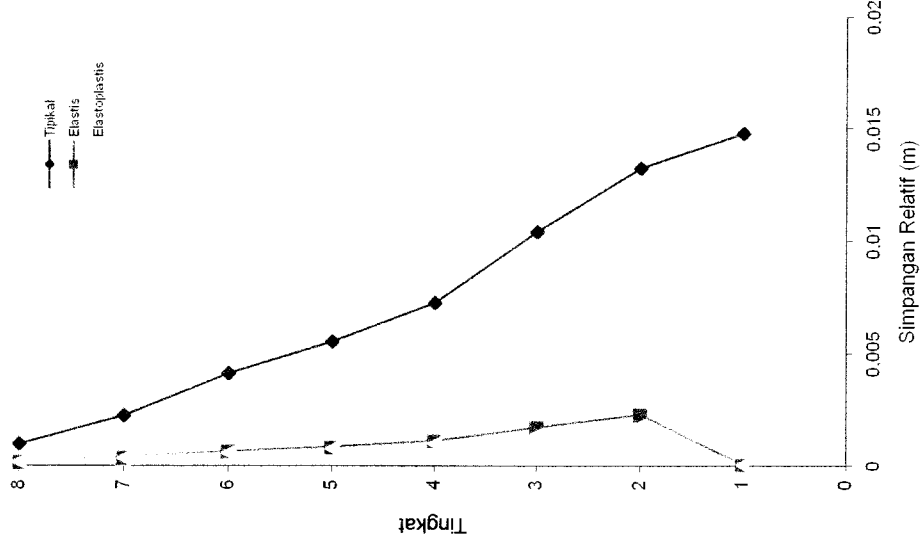


C. Struktur 10 Tingkat

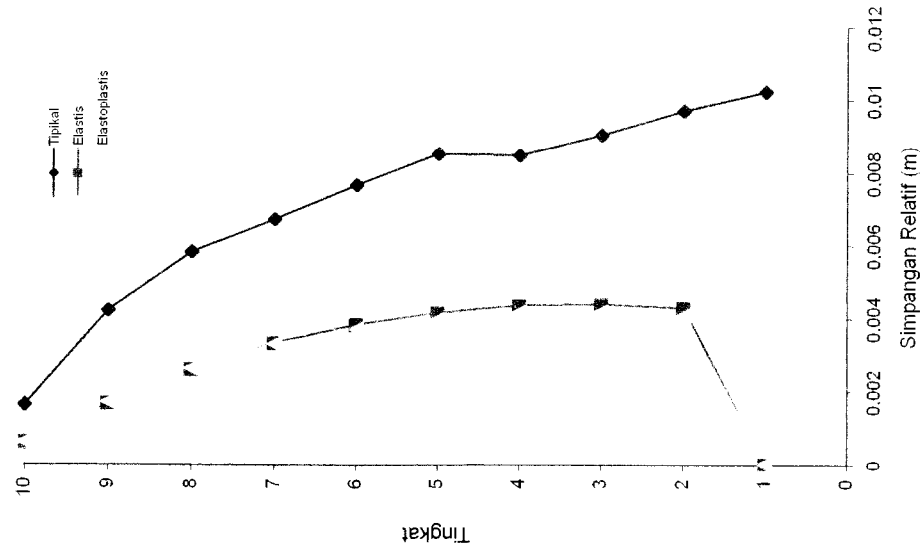
Gambar 5.2 Grafik Perbandingan Simpangan Relatif Maksimum Antara Struktur Dengan dan Tanpa Base Isolation Akibat Gempa Elcentro



A. Struktur 4 Tingkat

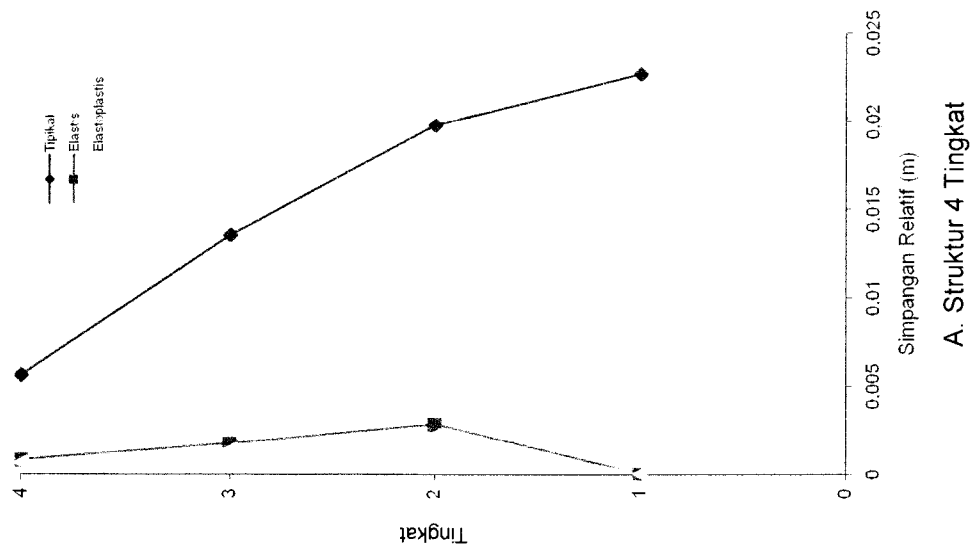


B. Struktur 8 Tingkat

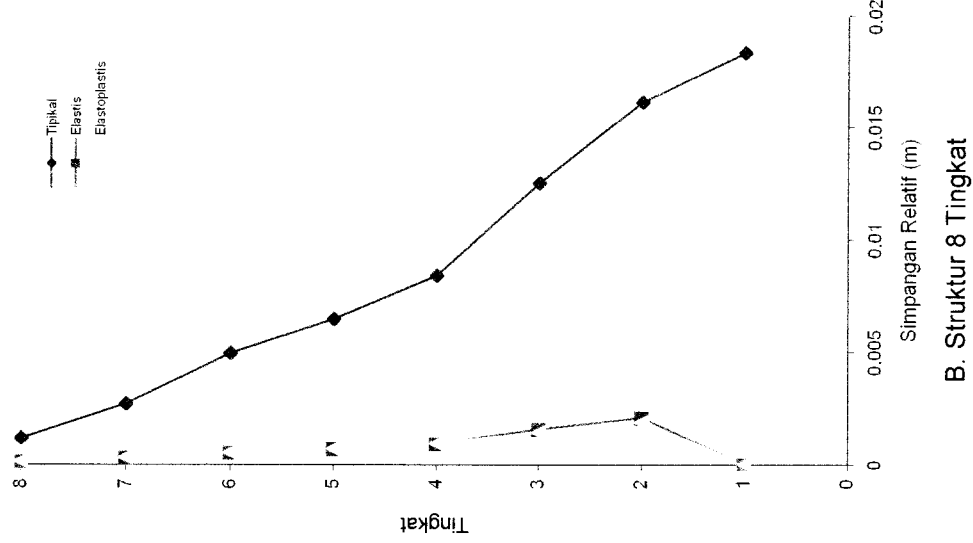


C. Struktur 10 Tingkat

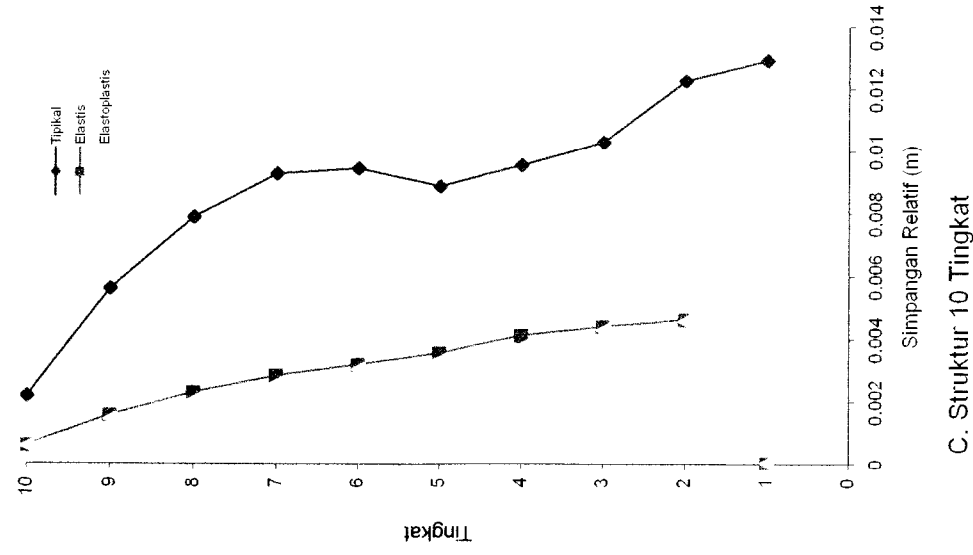
Gambar 5.3 Grafik Perbandingan Simpangan Relatif Maksimum Antara Struktur Dengan dan Tanpa Base Isolation Akibat Gempa Santacruz



A. Struktur 4 Tingkat

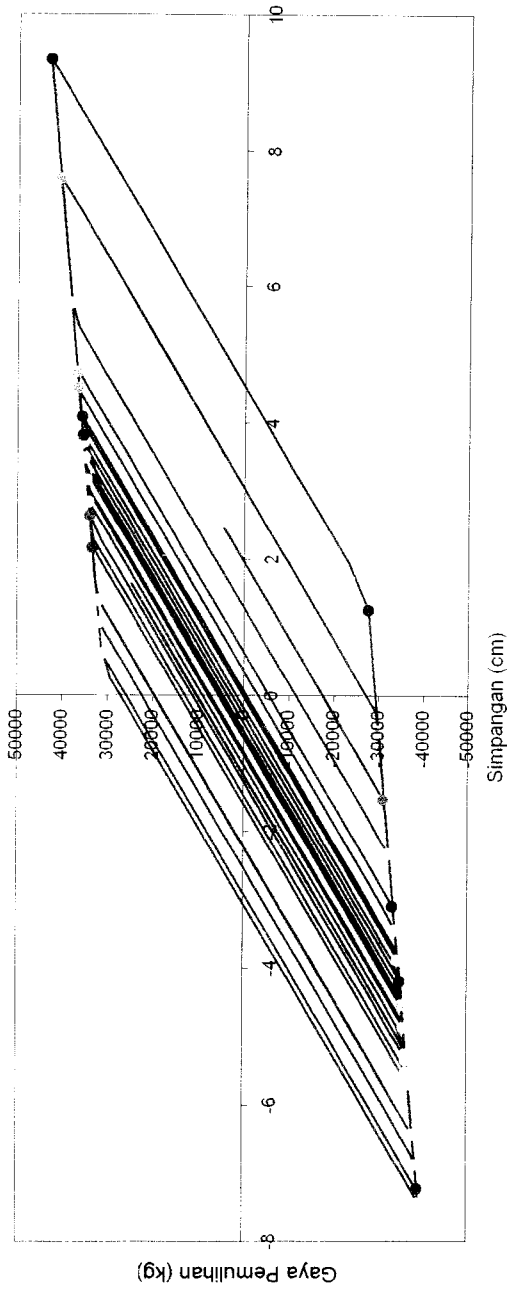


B. Struktur 8 Tingkat

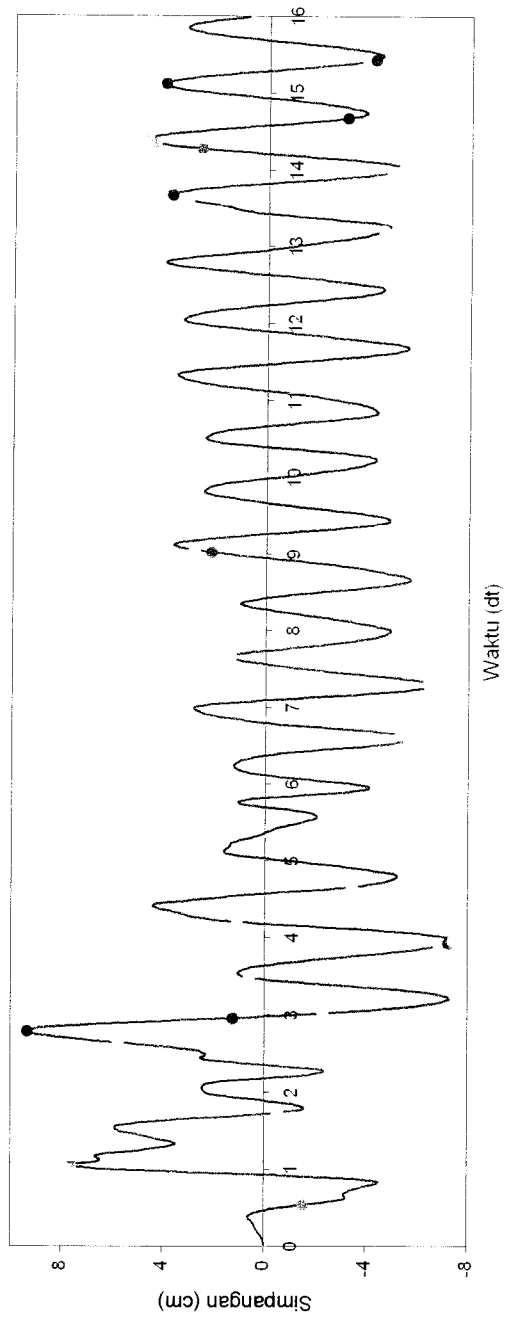


C. Struktur 10 Tingkat

Gambar 5.4 Grafik Perbandingan Simpangan Relatif Maksimum Antara Struktur Dengan dan Tanpa Base Isolation Akibat Gempa Koyna



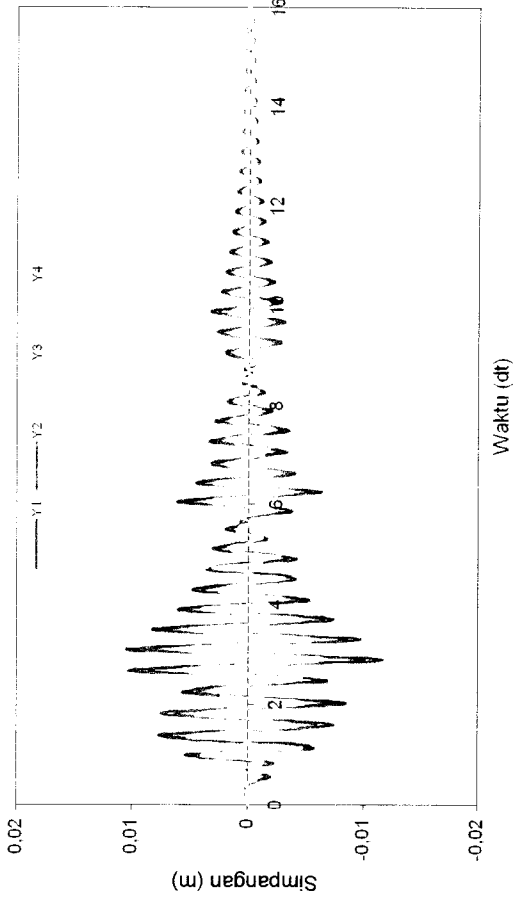
A. Hysterical Loop



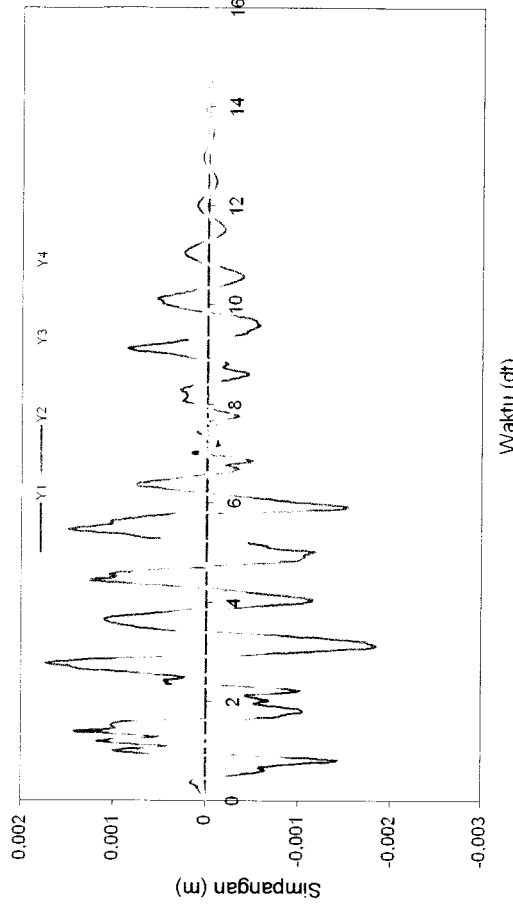
B. Plot Simpangan Base Isolation Terhadap Waktu

Gambar 5.5 Grafik Respon Base Isolation Struktur 4 Tingkat Akibat Gempa Elcentro

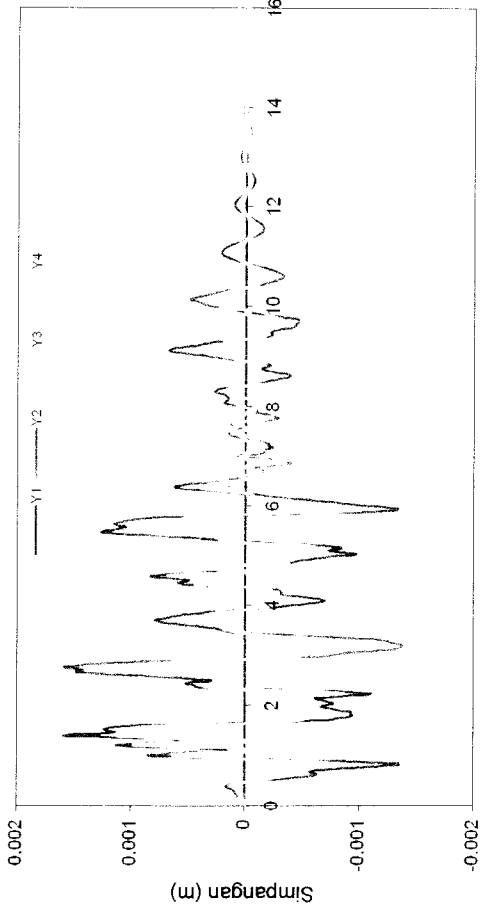




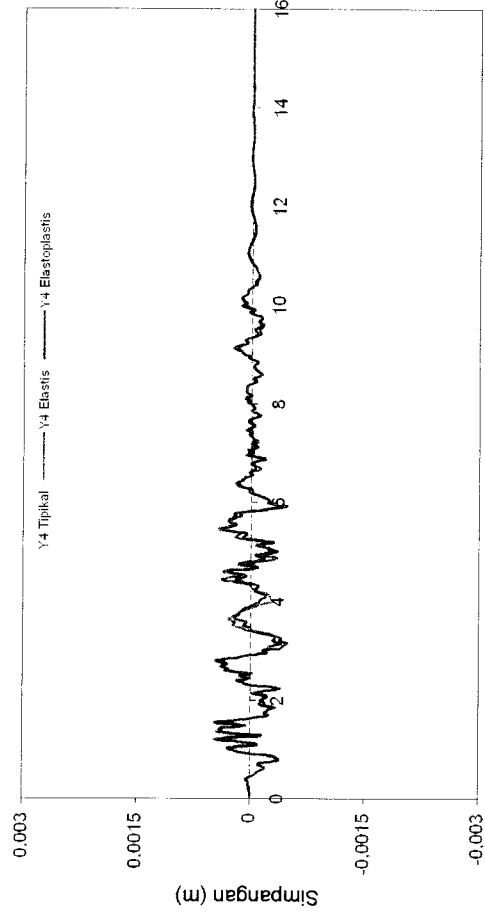
A. Tipikal



B. Elastis

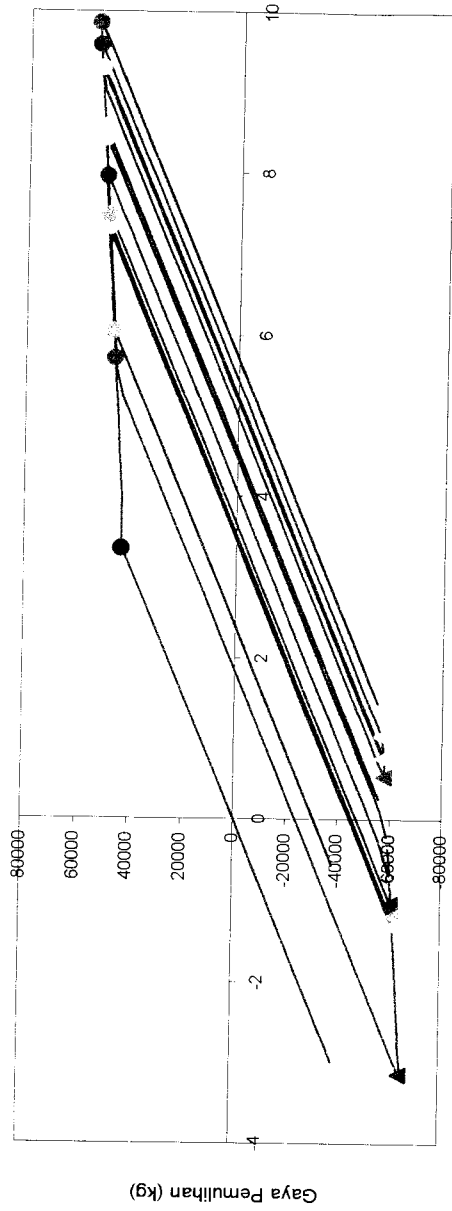


C. Elastoplastis

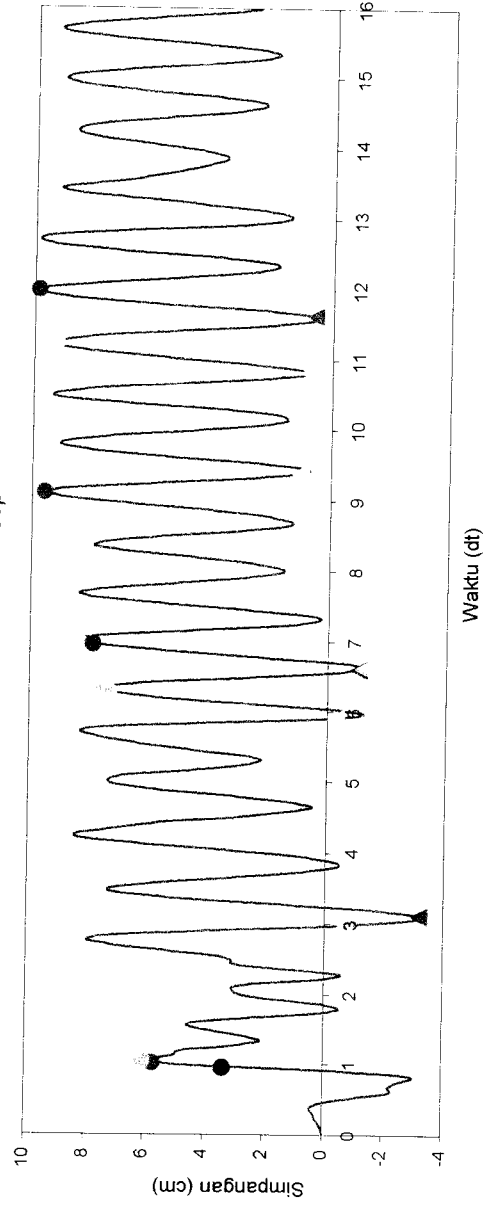


D. Perbandingan Tingkat 4

Gambar 5.6 Grafik Perbandingan Simpangan Relatif Struktur 4 Tingkat Akibat Gempa Elcentro

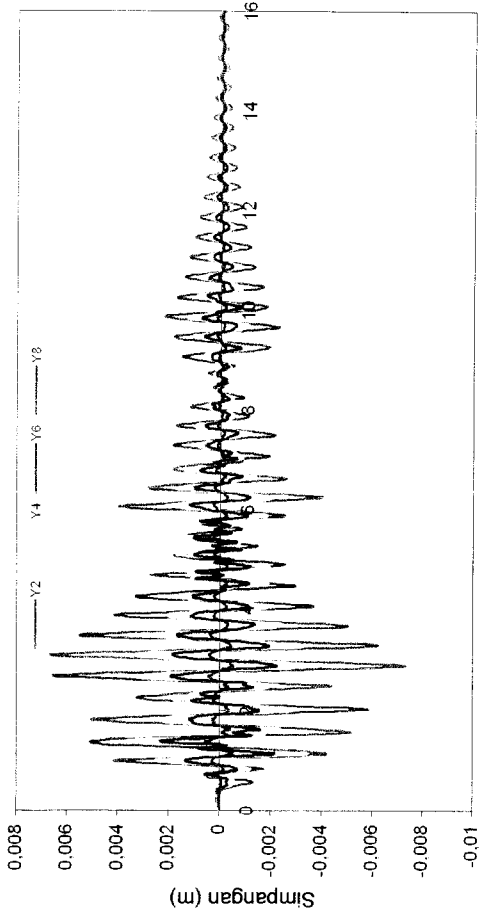


A. Hysterical Loop



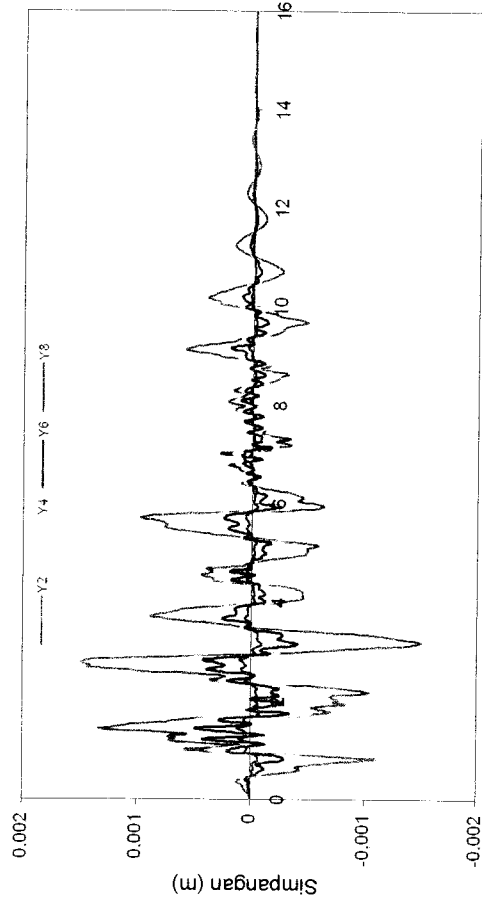
B. Plot Simpangan Base Isolation Terhadap Waktu

Gambar 5.7 Grafik Respon Base Isolation Struktur 8 Tingkat Akibat Gempa Elcentro



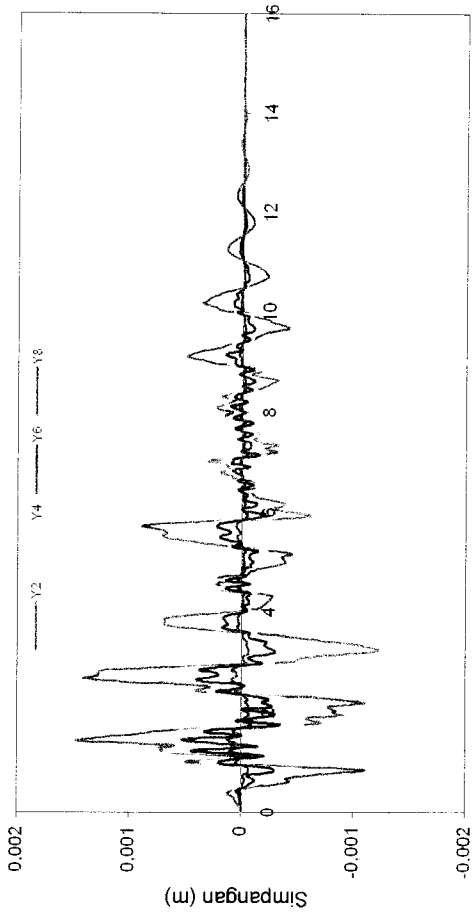
Waktu (dt)

**A. Tipikal**



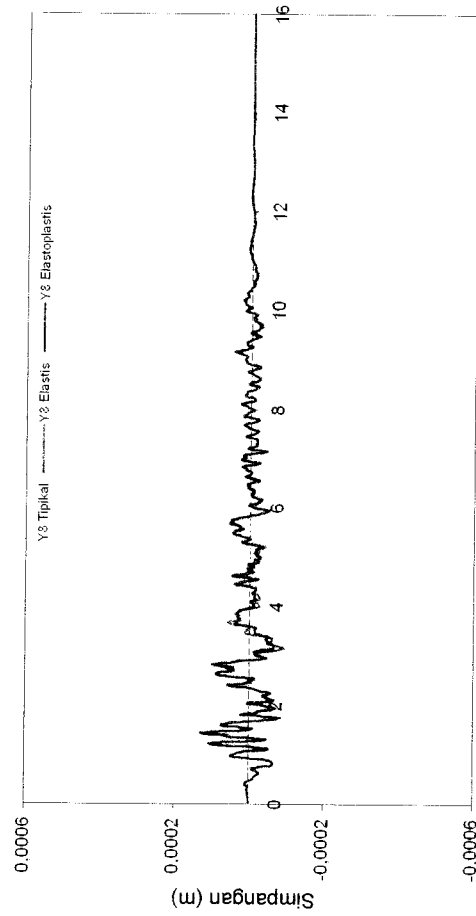
Waktu (dt)

**B. Elastis**



Waktu (dt)

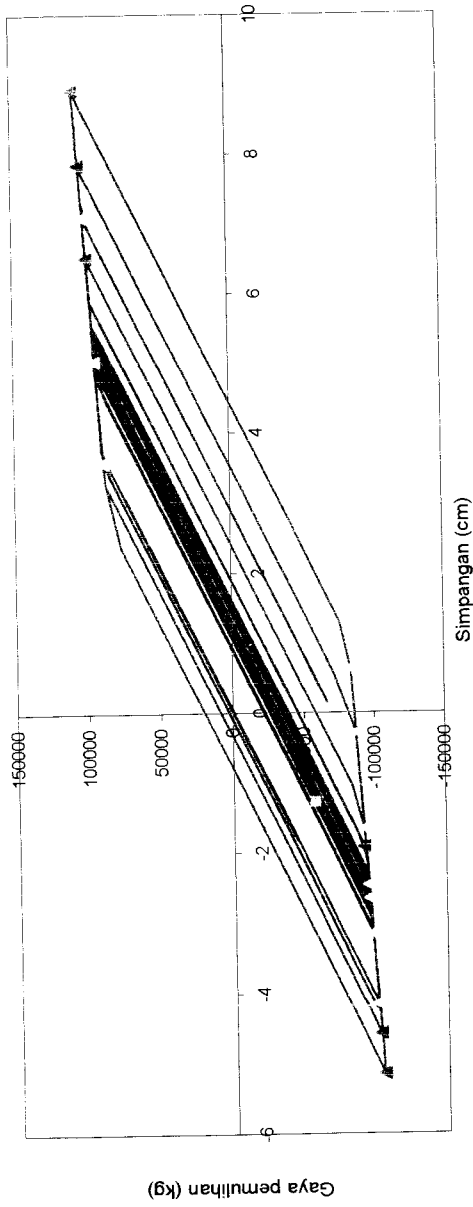
**C. Elastoplastis**



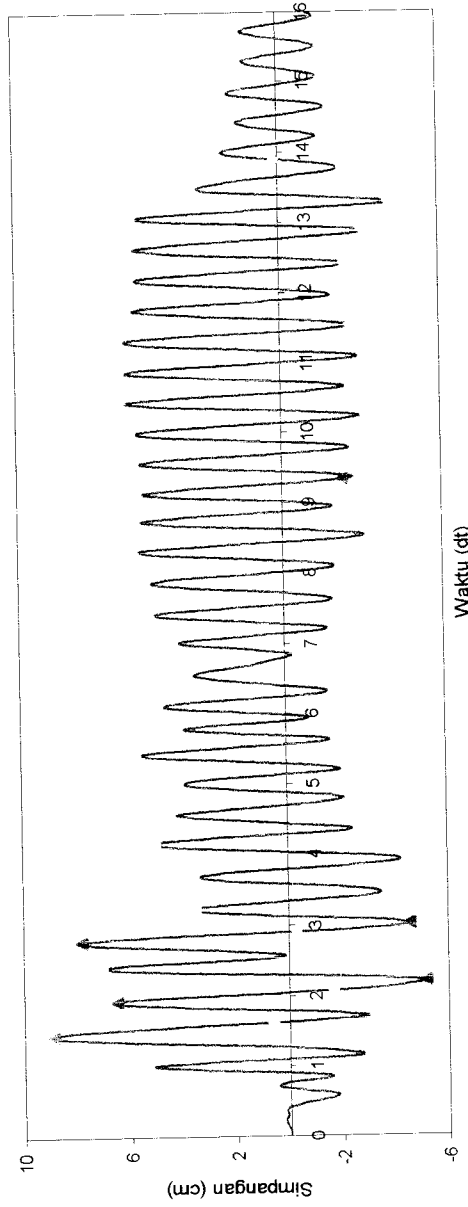
Waktu (dt)

**D. Perbandingan Tingkat 8**

**Gambar 5.8** Grafik Perbandingan Simpangan Relatif Struktur 8 Tingkat Akibat Gempa Eicentro

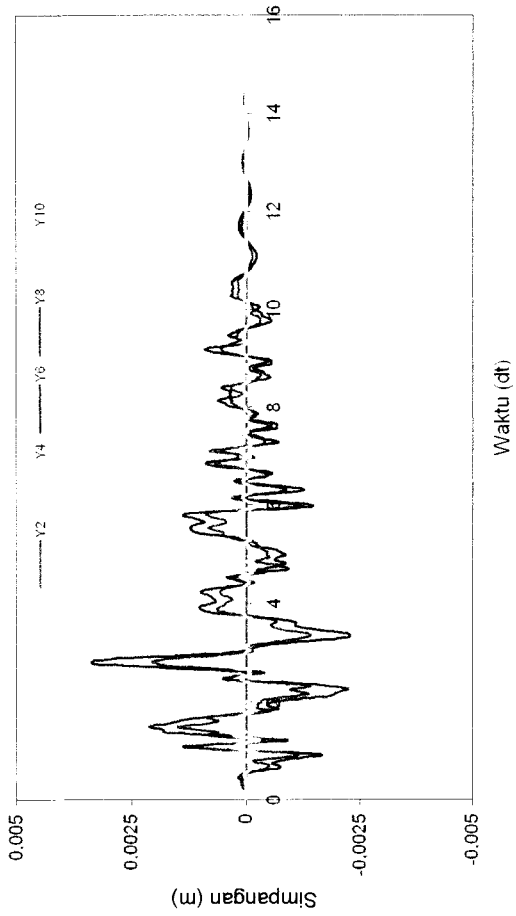


A. *Hysteristical Loop*

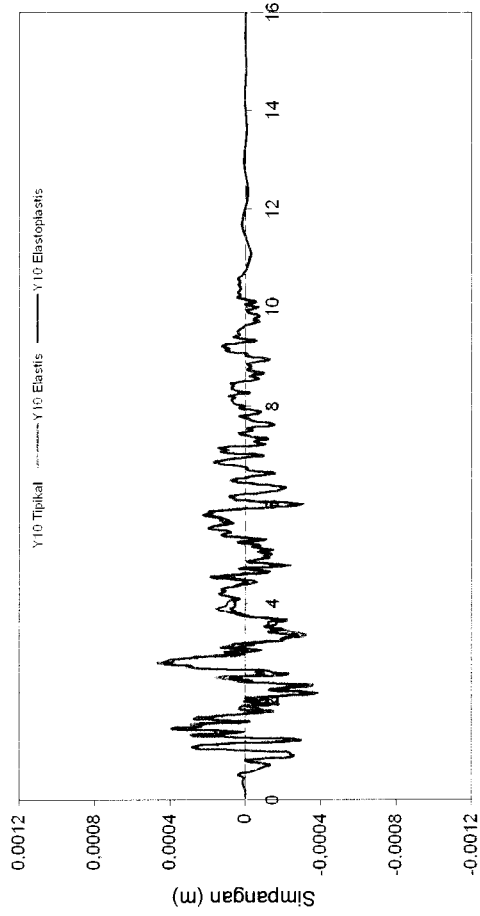


B. Plot Simpangan Base Isolation Terhadap Waktu

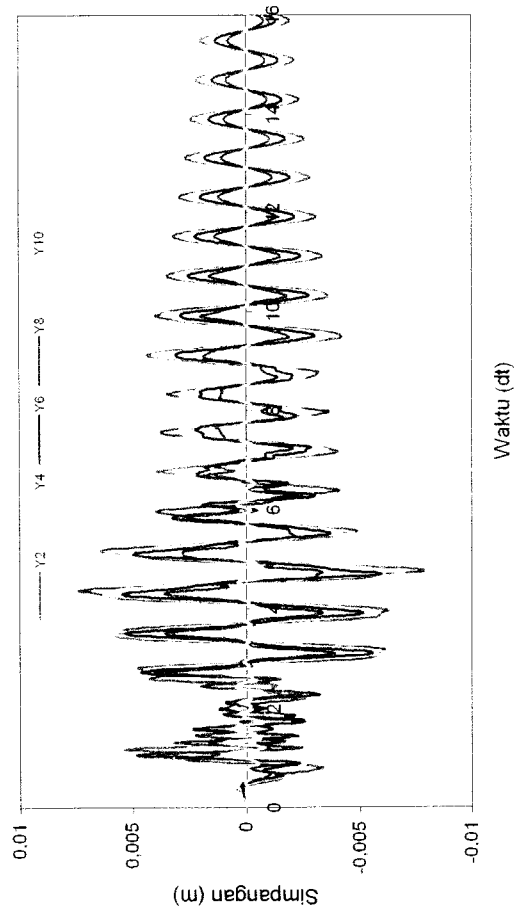
Gambar 5.9 Grafik Respon Base Isolation Struktur 10 Tingkat Akibat Gempa Elcentro



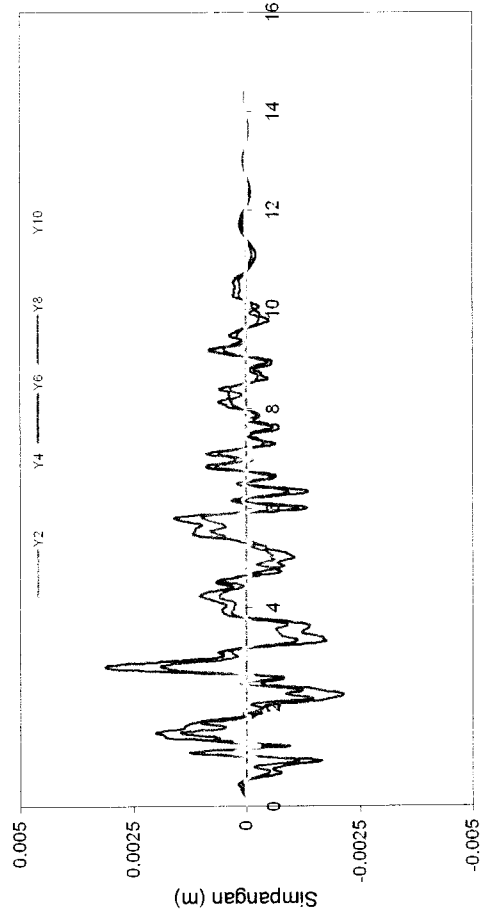
A. Tipikal



B. Elastoplastis

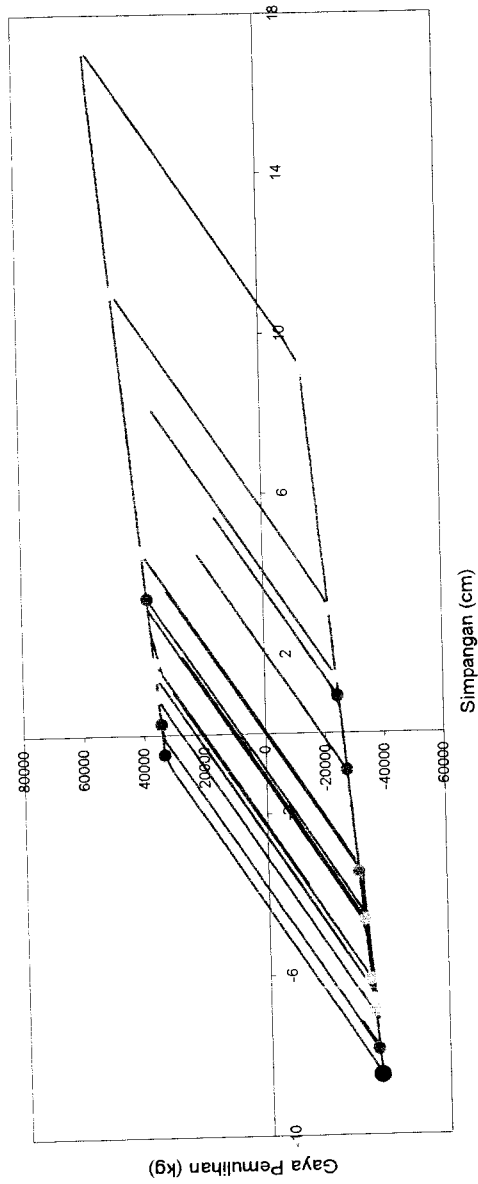


C. Elastoplastis

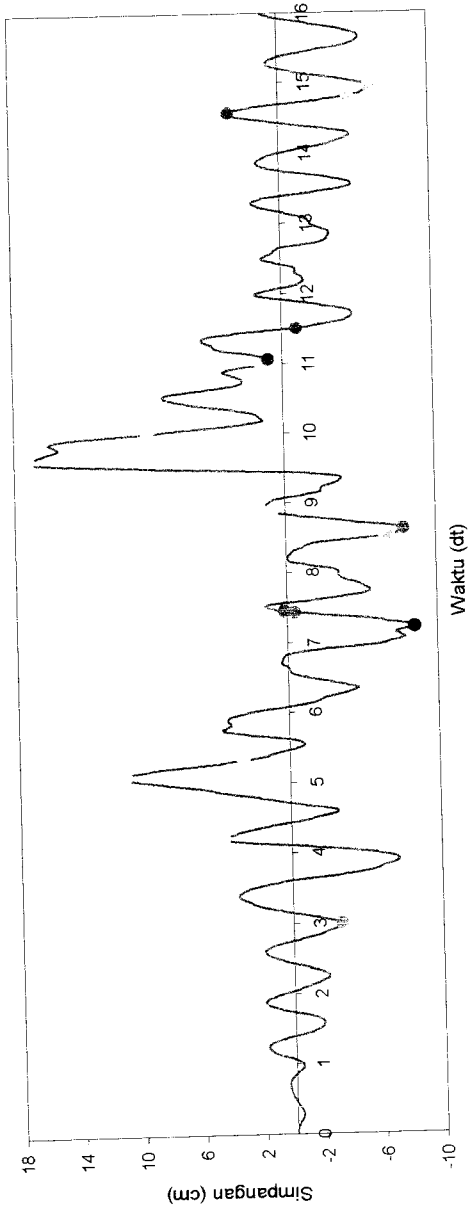


D. Perbandingan Tingkat 10

Gambar 5.10 Grafik Perbandingan Simpangan Relatif Struktur 10 Tingkat Akibat Gempa Elcentro

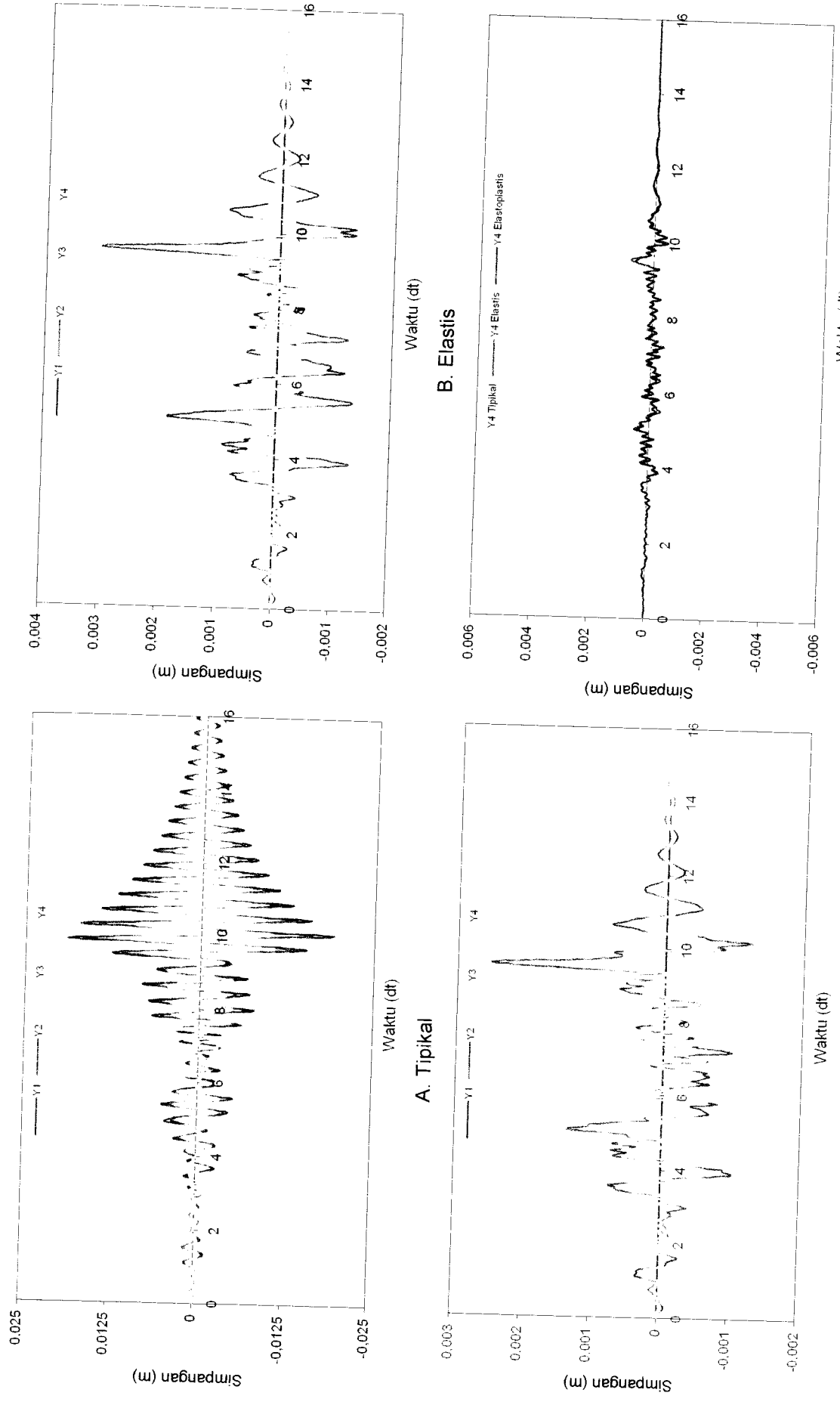


A. Histeristical Loop

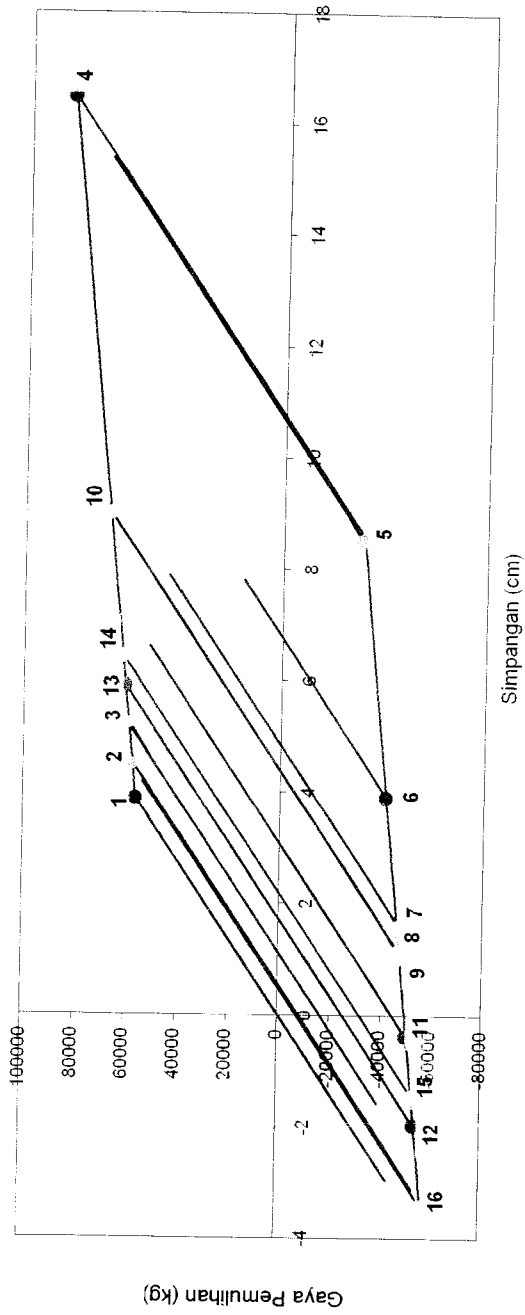


B. Plot Simpangan Base Isolation Terhadap Waktu

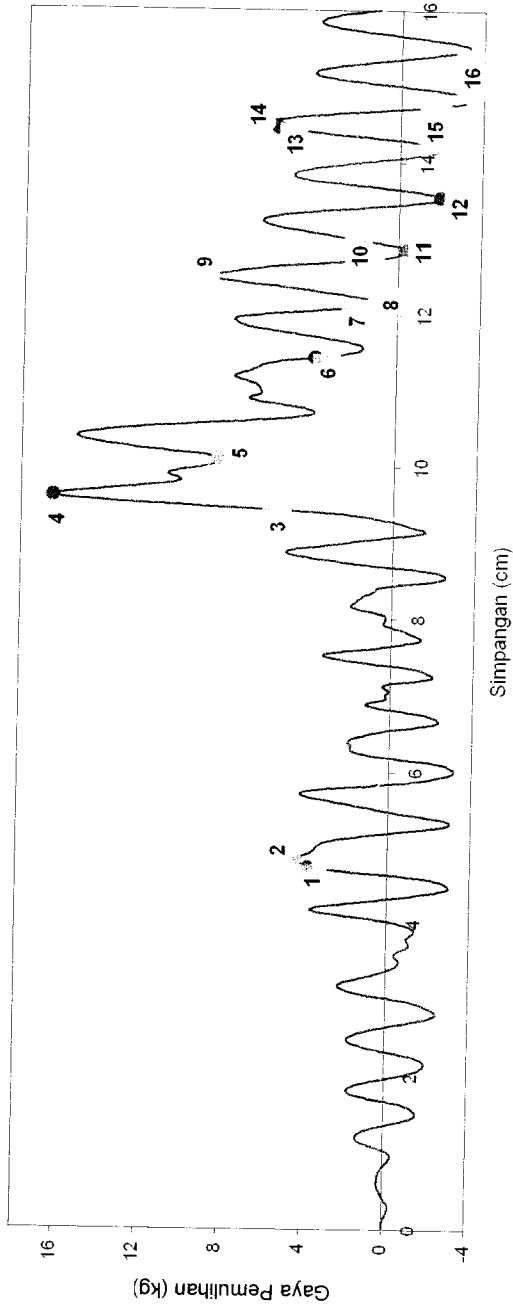
Gambar 5.11 Grafik Respon Base Isolation Struktur 4 Tingkat Akibat Gempa Santacruz



Gambar 5.12 Grafik Perbandingan Simpangan Relatif Struktur 4 Tingkat Akibat Gempa Santacruz



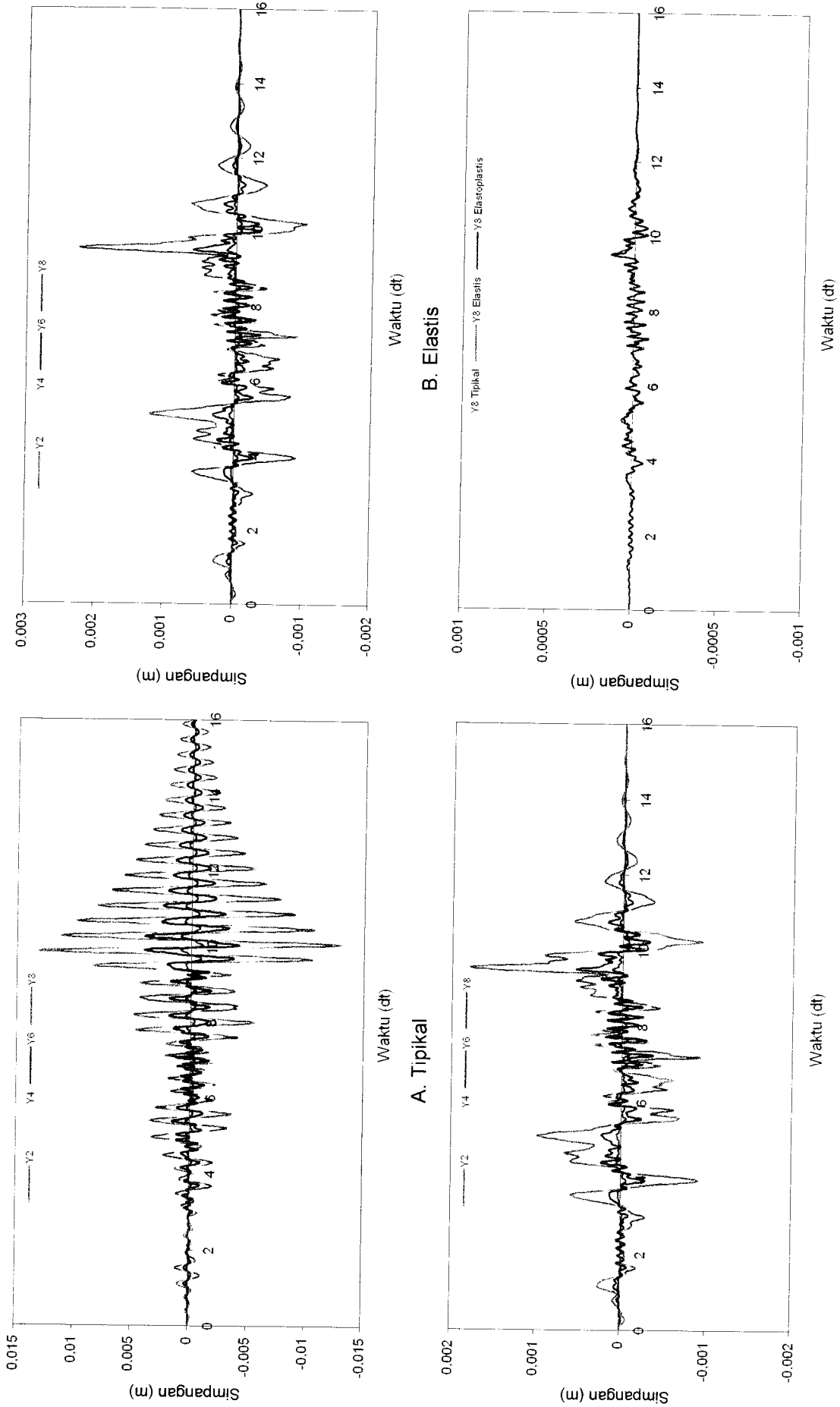
A. *Histeristical Loop*



B. Plot Simpangan Base *Isolation* Terhadap Waktu

Gambar 5.13 Grafik Respon Base *Isolation* Struktur 8 Tingkat Akibat Gempa Santacruz





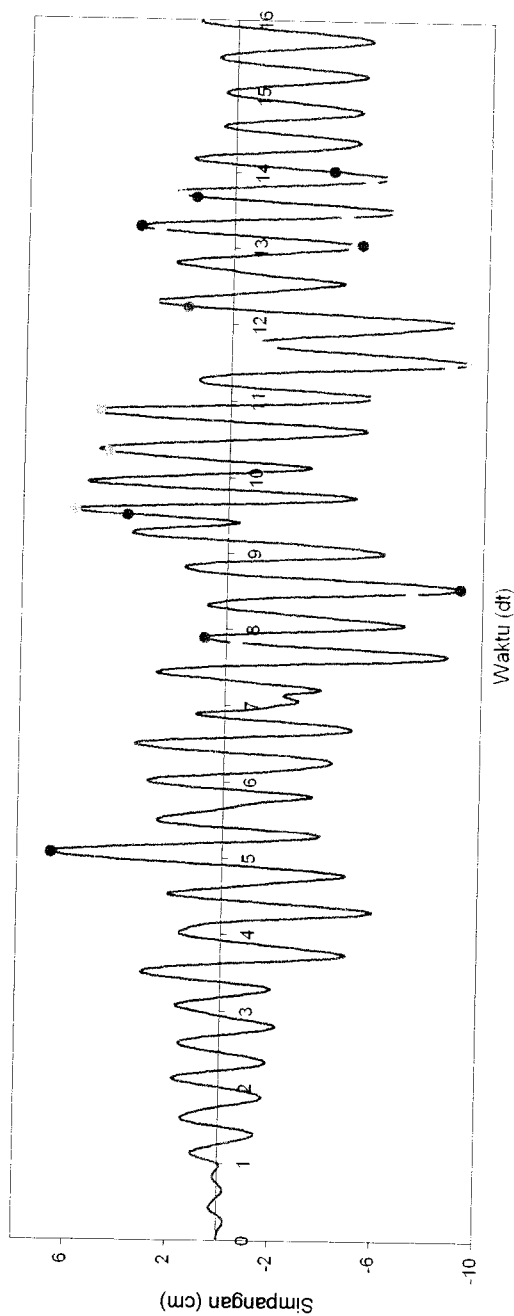
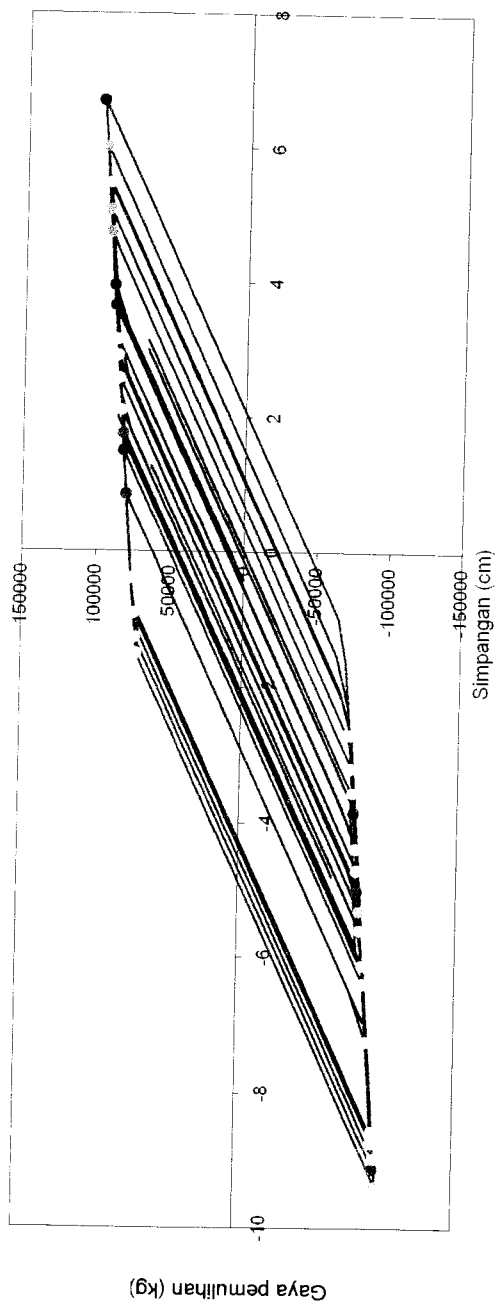
Gambar 5.14 Grafik Perbandingan Simpangan Relatif Struktur 8 Tingkat Akibat Gempa Santacruz

C. Elastoplastis

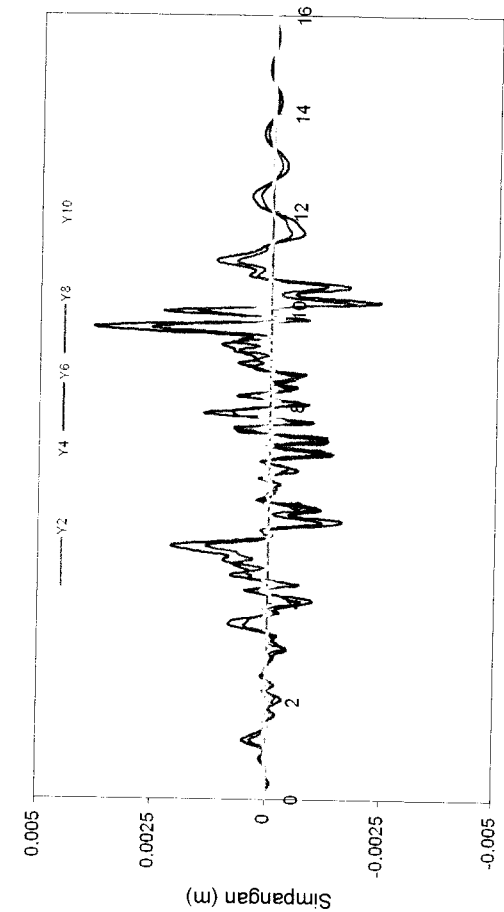
A. Tipikal

B. Elastis

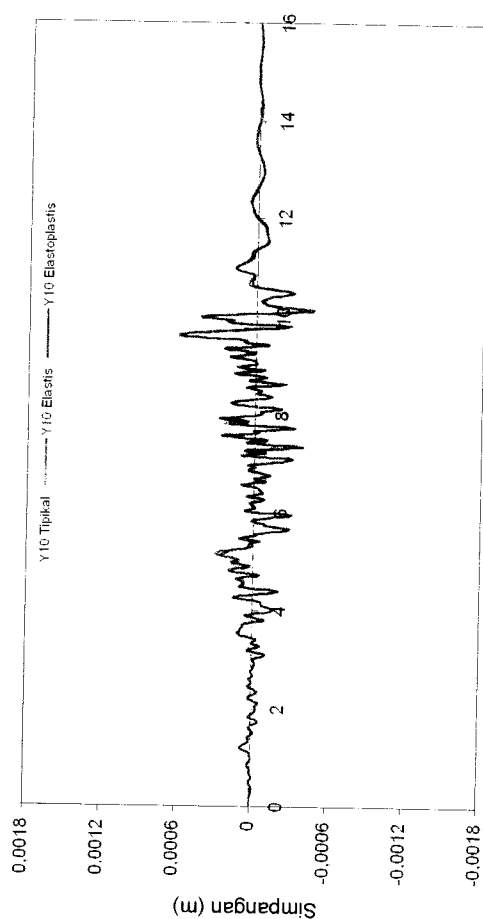
D. Perbandingan Tingkat 8



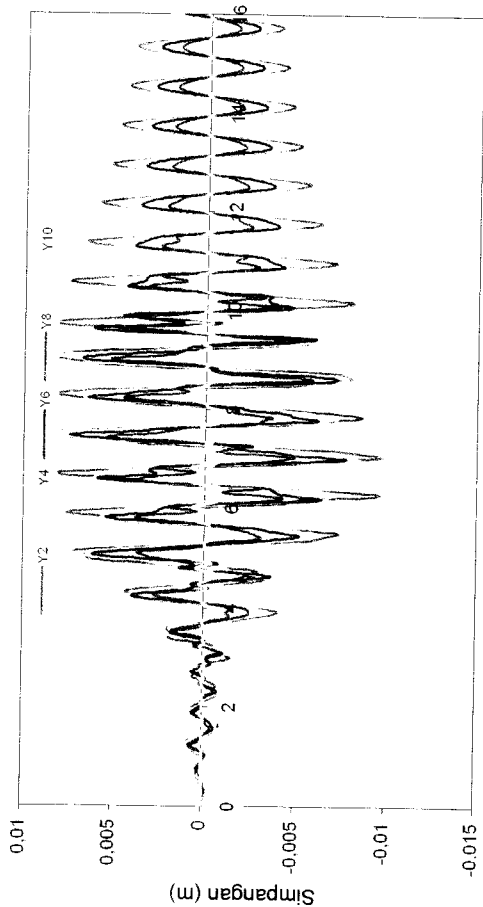
Gambar 5.15 Grafik Respon Base isolation Struktur 10 Tingkat Akibat Gempa Santacruz



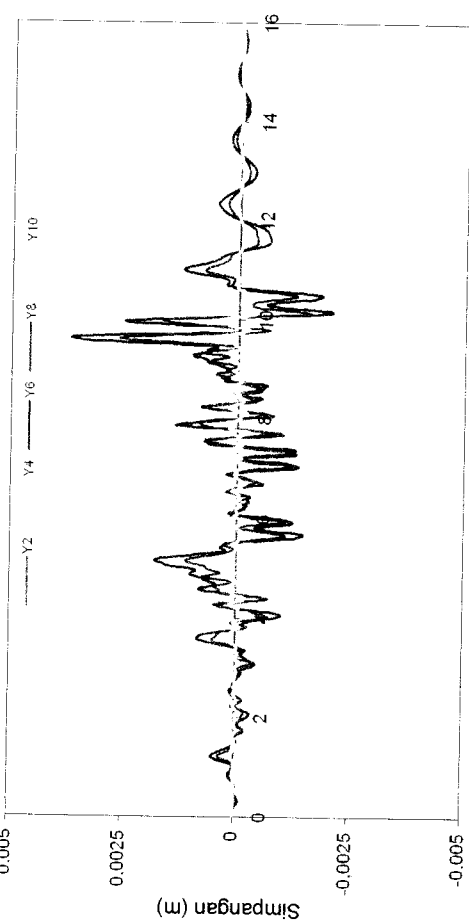
A. Tipikal



B. Elastis

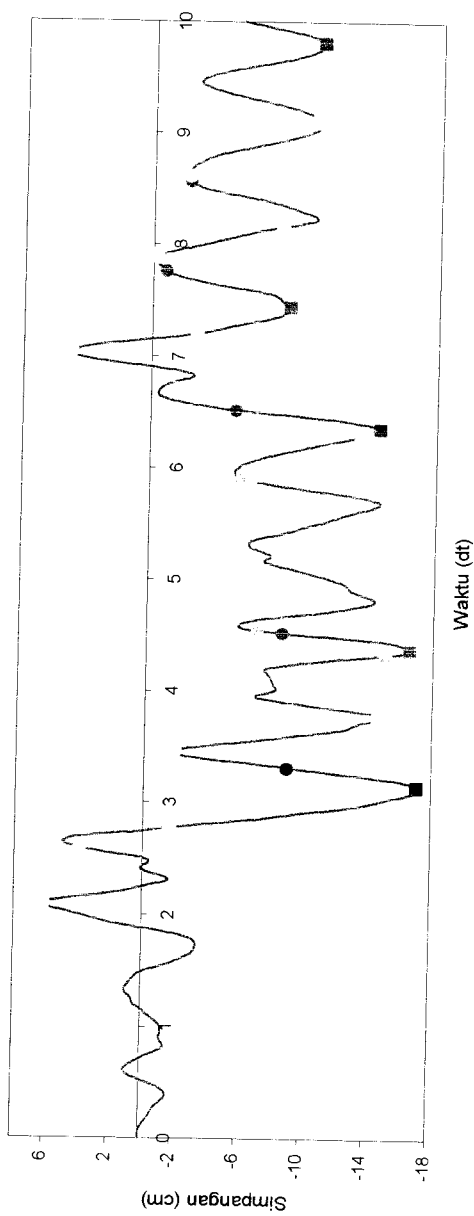
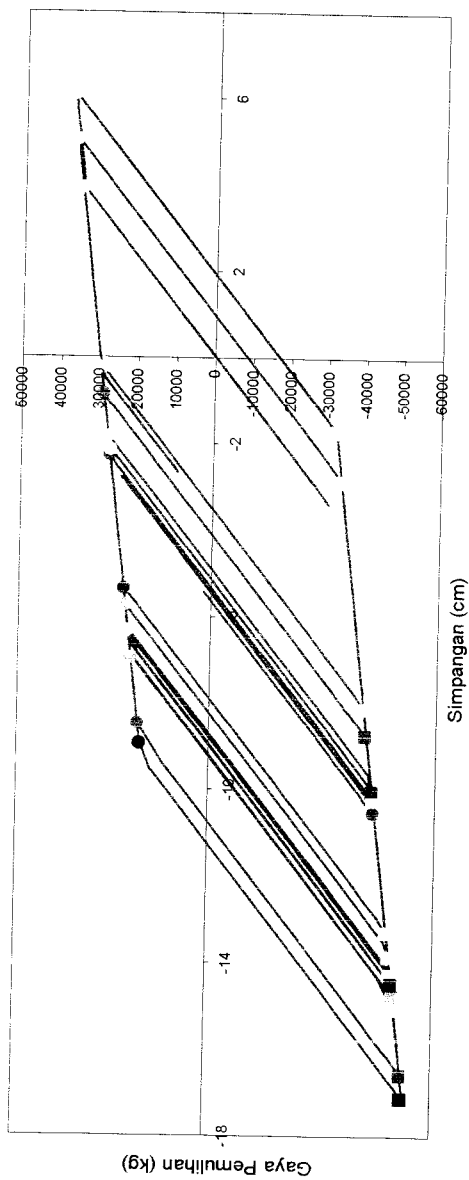


C. Elastoplastis

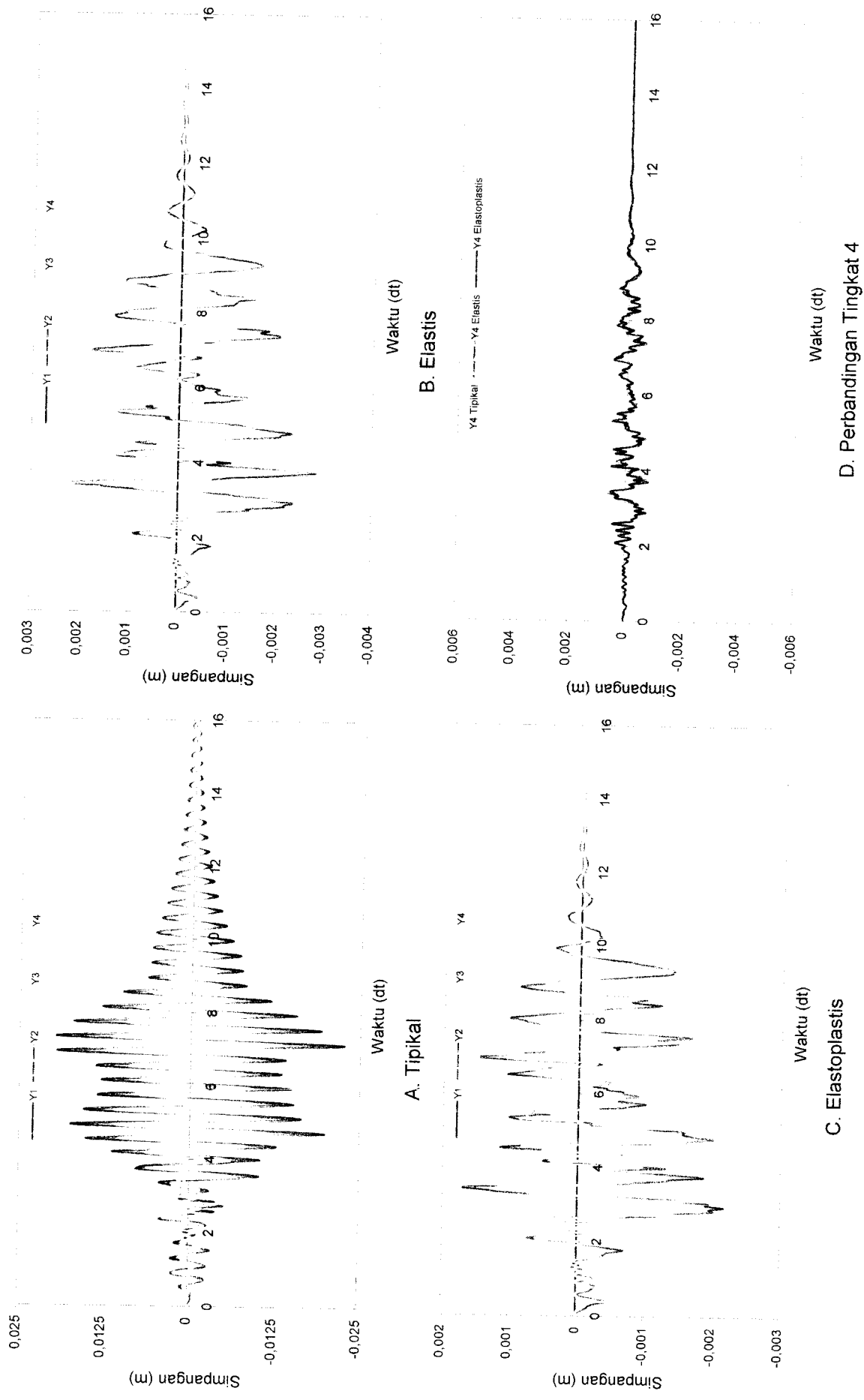


D. Perbandingan Tingkat 10

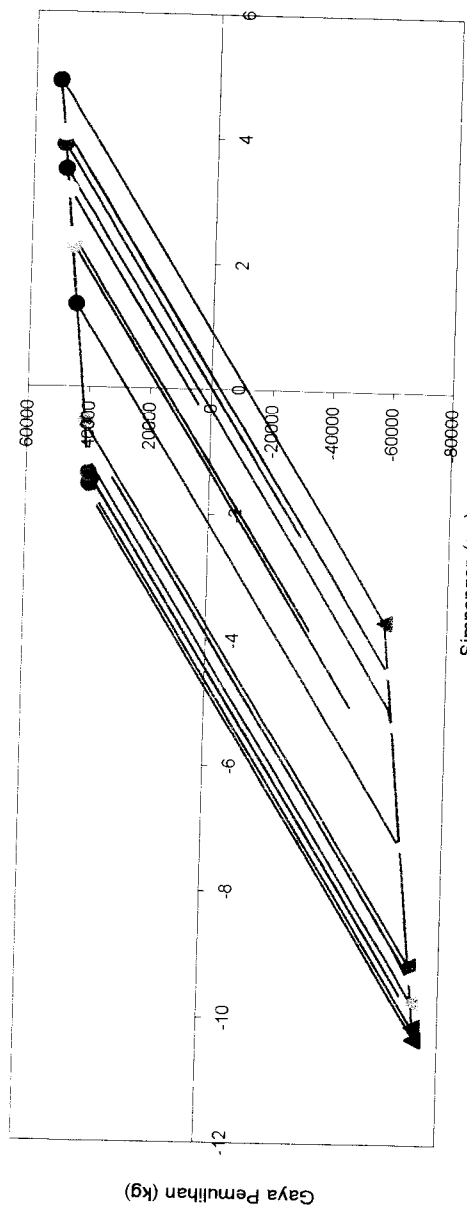
Gambar 5.16 Grafik Perbandingan Simpangan Relatif Struktur 10 Tingkat Akibat Gempa Santacruz



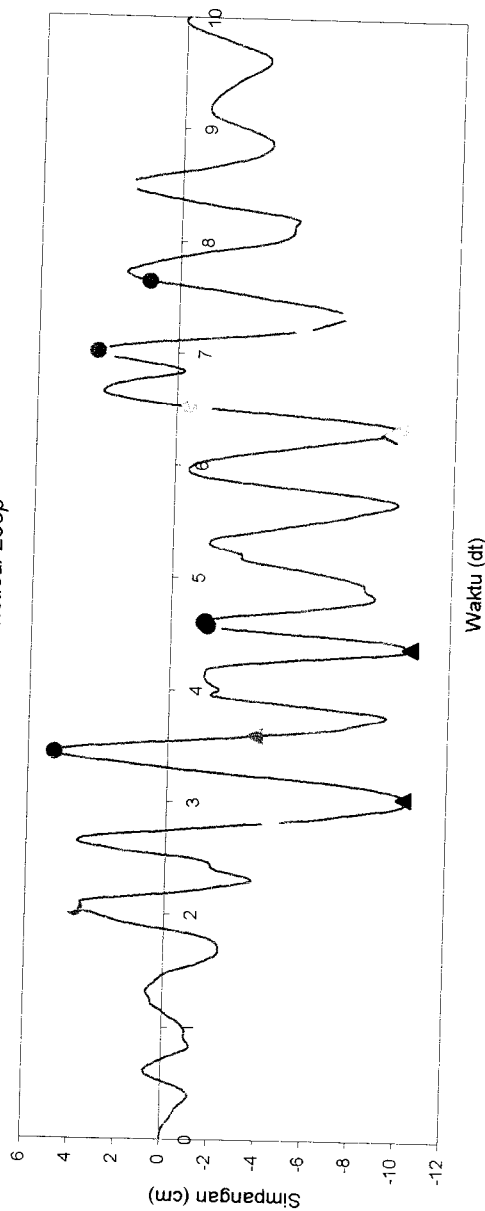
Gambar 5.17 Grafik Respon Base Isolation Struktur 4 Tingkat Akibat Gempa Koyna



Gambar 5.18 Grafik Perbandingan Simpangan Relatif Struktur 4 Tingkat Akibat Gempa Koyna

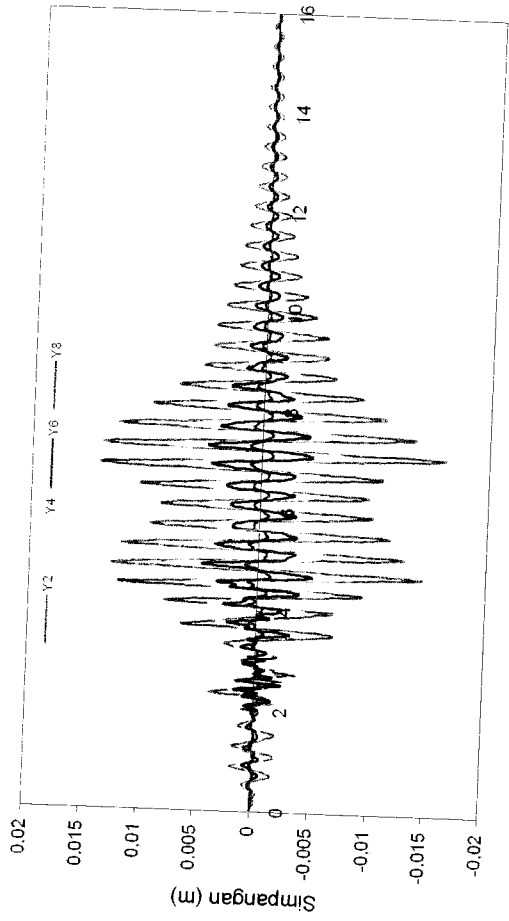


A. Hysterical Loop



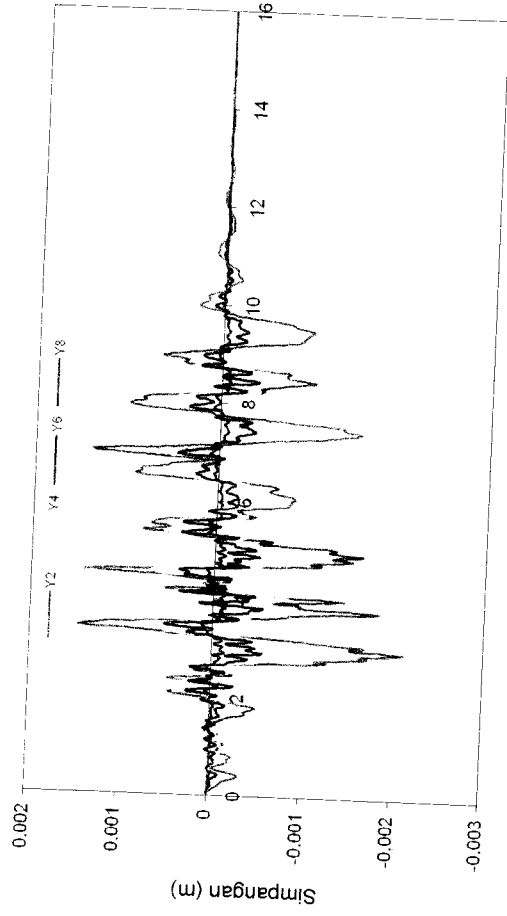
B. Plot Simpangan Base Isolation Terhadap Waktu

Gambar 5.19 Grafik Respon Base Isolation Struktur 8 Tingkat Akibat Gempa Koyna



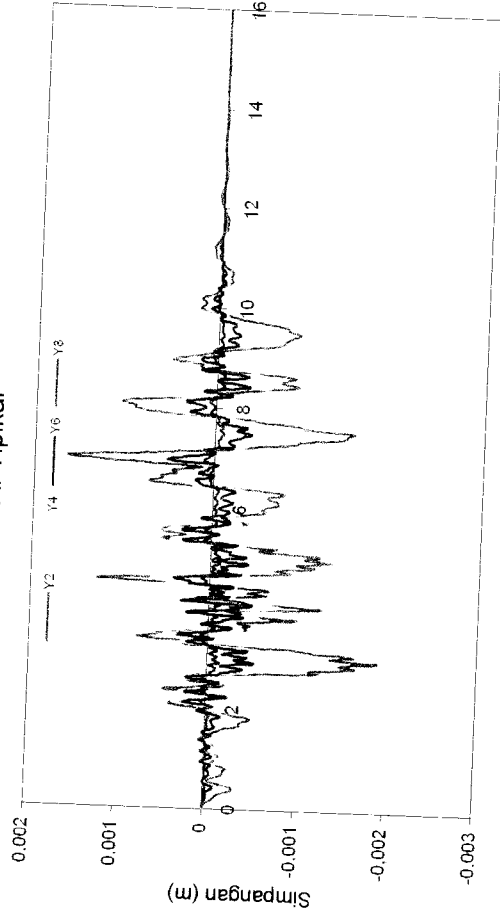
Waktu (dt)

A. Tipikal



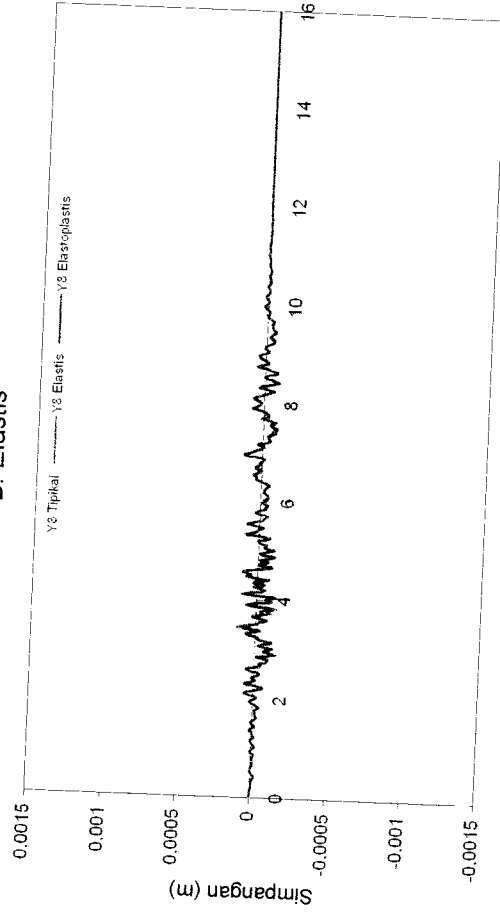
Waktu (dt)

B. Elastis



Waktu (dt)

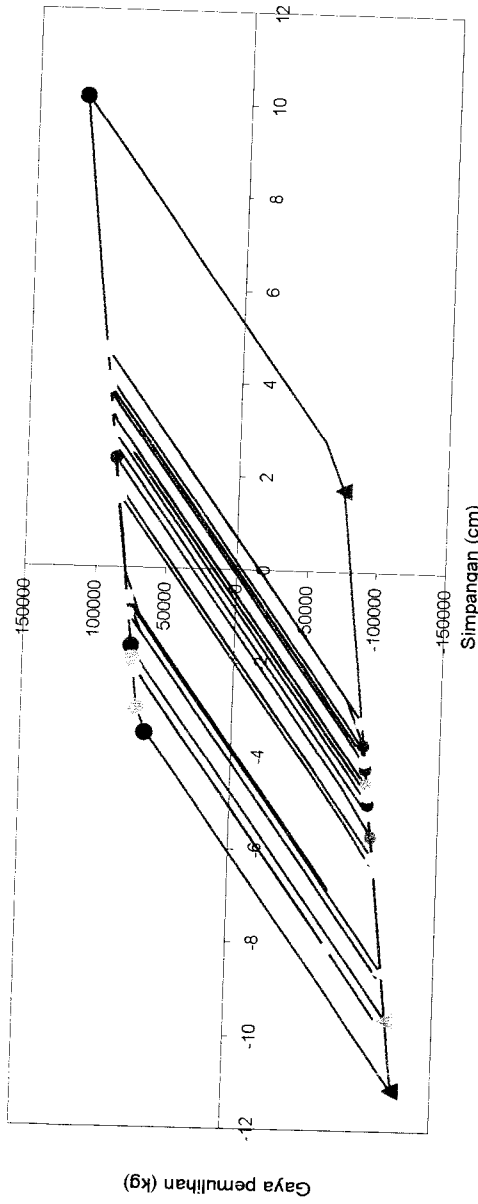
C. Elastoplastis



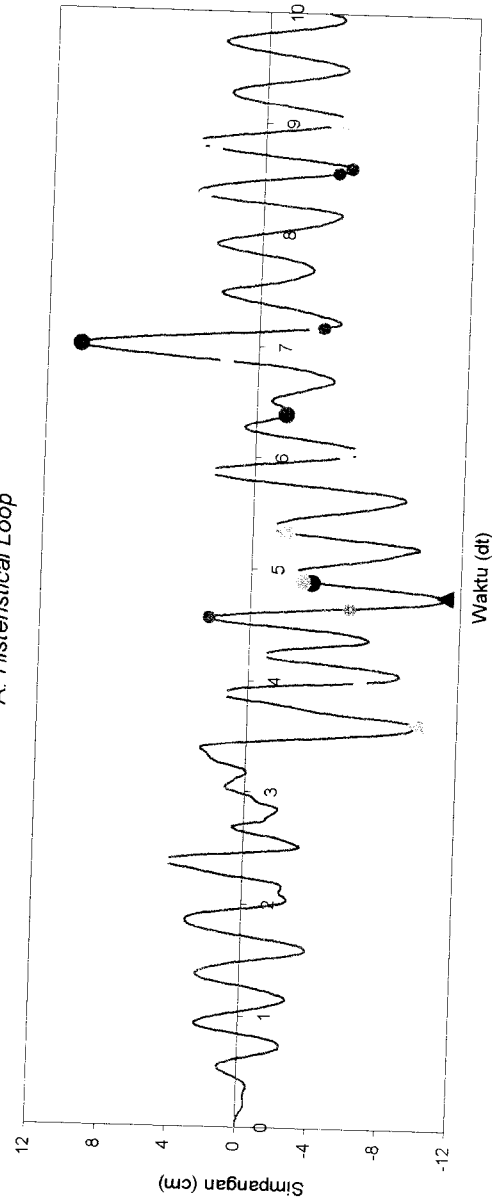
Waktu (dt)

D. Perbandingan Tingkat 8

Gambar 5.20 Grafik Perbandingan Simpangan Relatif Struktur 8 Tingkat Akibat Gempa Koyna



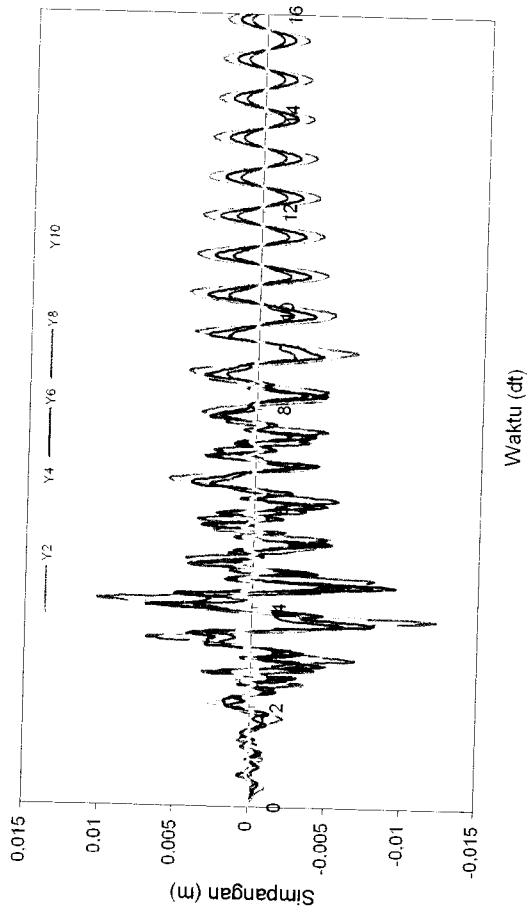
A. *Histeristical Loop*



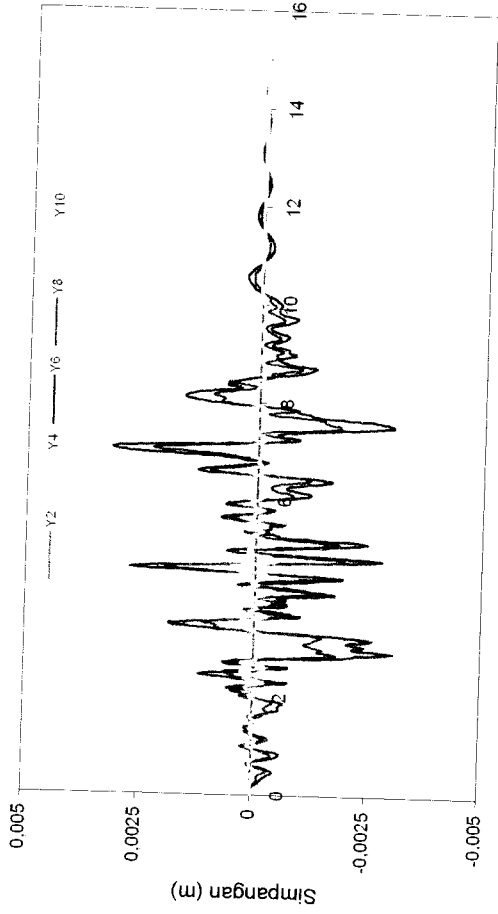
B. *Plot Simpangan Base Isolation Terhadap Waktu*

Gambar 5.21 *Grafik Respon Base isolation Struktur 10 Tingkat Akibat Gempa Koyna*

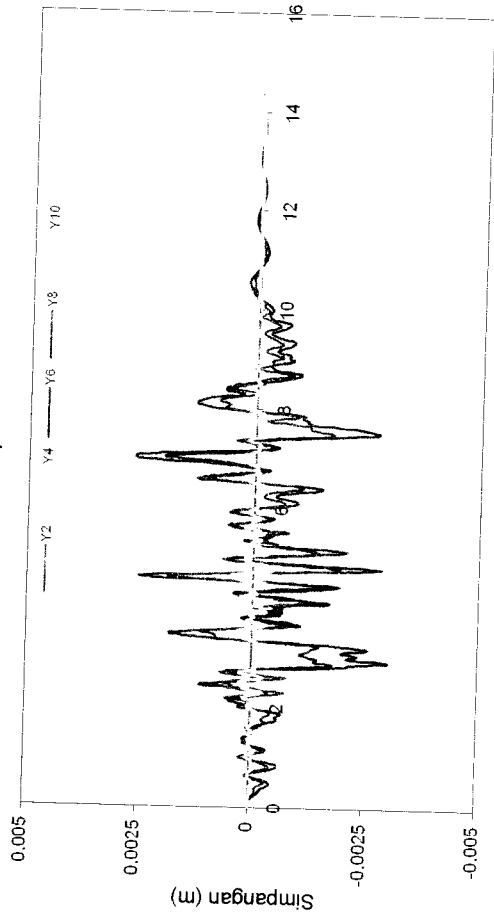




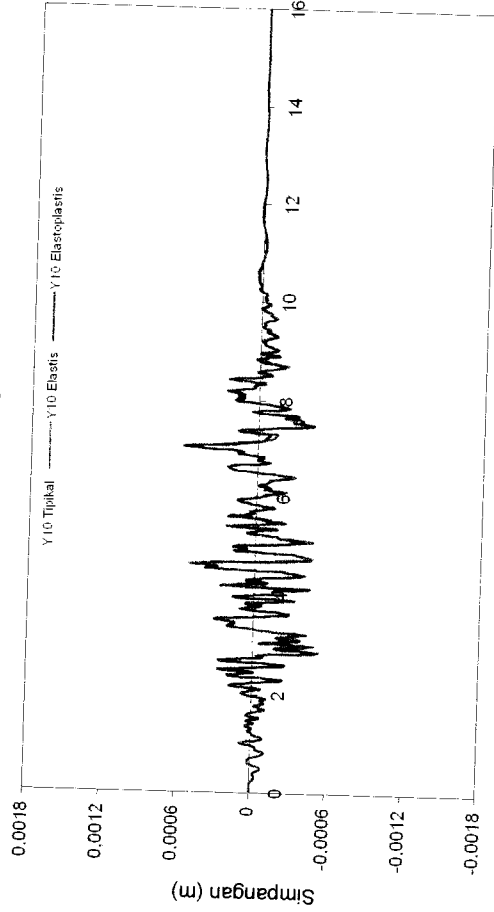
A. Tipikal



B. Elastis



C. Elastoplastis



D. Perbandingan Tingkat 10

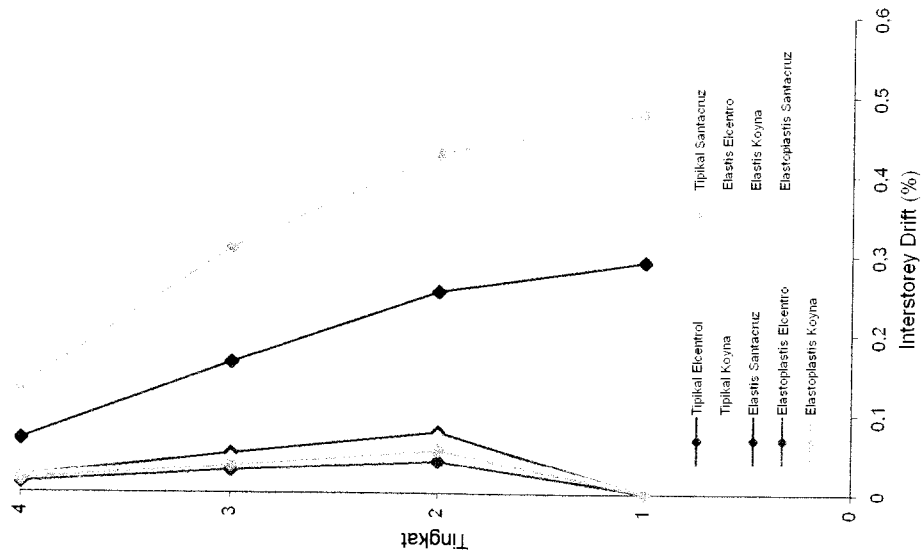
Gambar 5.22 Grafik Perbandingan Simpangan Relatif Struktur 10 Tingkat Akibat Gempa Koyna

### 5.3.2 Simpangan antar Tingkat (*Interstorey Drift*)

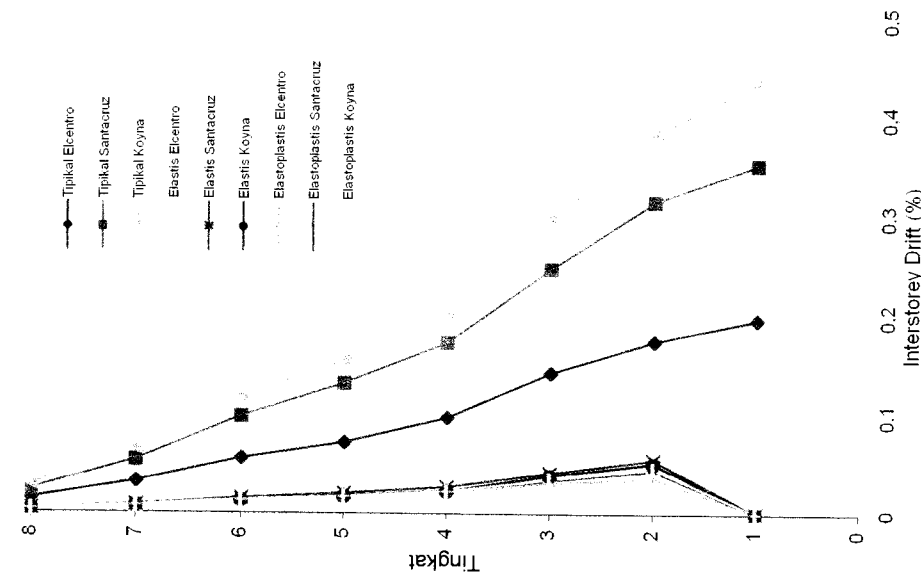
Dari hasil program dapat disajikan nilai-nilai *interstorey drift* struktur 4, 8, dan 10 tingkat dengan variasi 3 gempa, dengan memperhatikan hasil grafik *interstorey drift* maksimum yang terdapat pada **Gambar 5.23** sampai dengan **Gambar 5.26** maka,

Simpangan antar tingkat pada struktur dengan *base isolation* nilai terbesar terjadi pada lantai 2, hal ini dapat dilihat pada **Gambar 5.24** sampai dengan **Gambar 5.26** karena nilai simpangan total lantai 1 sama dengan simpangan total *base isolation* maka nilai simpangan relatif pada *base isolation* yaitu pengurangan dari simpangan total lantai 1 dengan simpangan total *base isolation* sehingga diperoleh simpangan relatif lantai 1 nol. Oleh karena itu selisih simpangan total dibagi tinggi tingkat (*interstorey drift*, **pers 3.55**) terbesar terjadi pada lantai 2, hal ini merupakan manfaat tersendiri untuk struktur karena struktur diatas *base isolation* terjadi simpangan antar tingkat yang relatif kecil dan sesuai dengan fungsi *base isolation* untuk mengurangi adanya simpangan antar tingkat untuk struktur di atasnya.

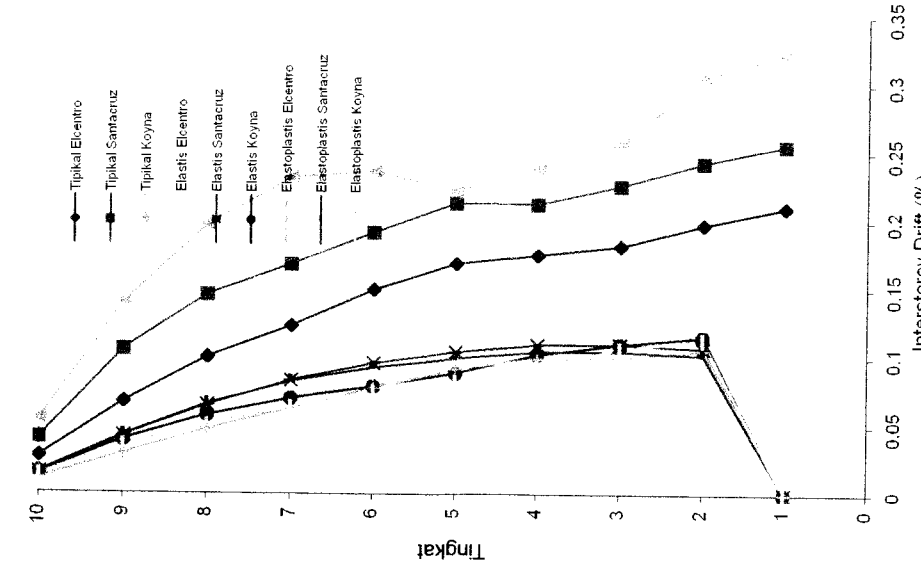
Pada struktur dengan *base isolation* (Elastis dan Elastoplastis) simpangan antar tingkat terkecil terjadi akibat gempa Elcentro lihat **Gambar 5.23** karena gempa Elcentro memiliki frekuensi yang lebih rendah dibanding kedua gempa yang lain. Sebaliknya untuk struktur tanpa *base isolation* (Tipikal) simpangan antar tingkat terbesar terjadi akibat gempa koyna lihat **Gambar 5.23** hal ini disebabkan gempa koyna memiliki frekuensi yang lebih tinggi dibanding kedua



A. Struktur 4 Tingkat

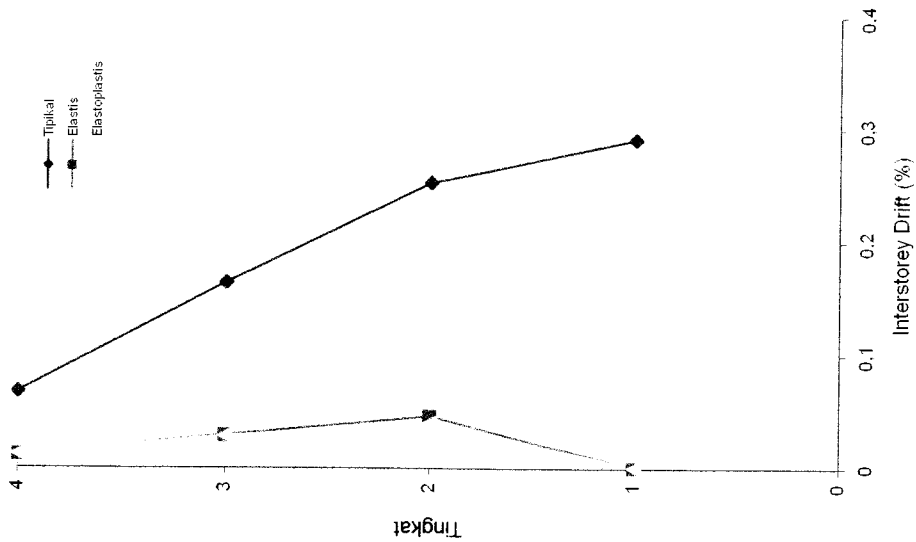


B. Struktur 8 Tingkat

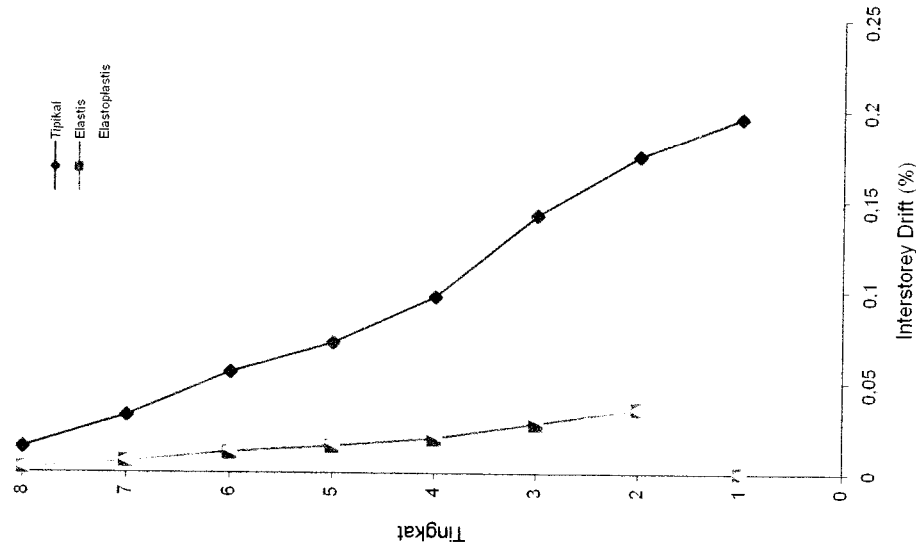


C. Struktur 10 Tingkat

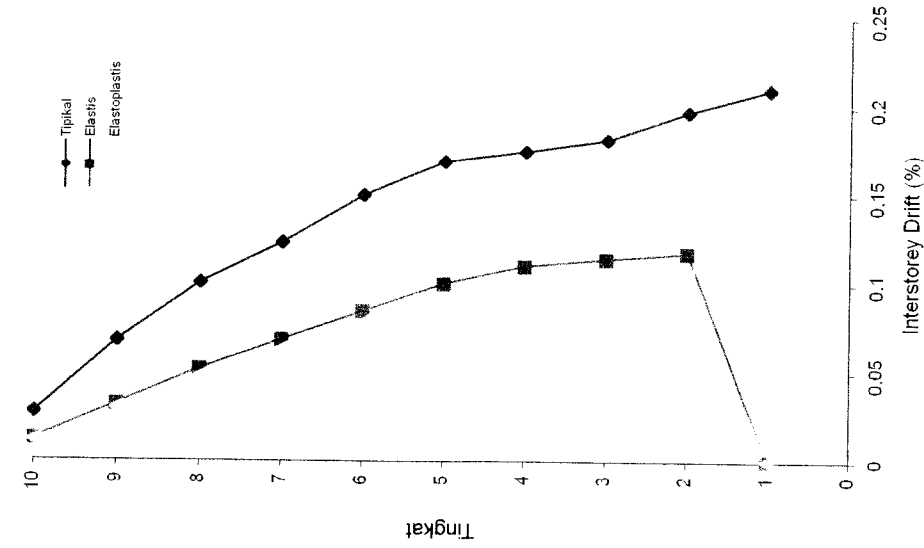
Gambar 5.23 Grafik Perbandingan Interstorey Drift Maksimum Antara Bangunan Dengan Dan Tanpa Base Isolation Akibat 3 Gempa



A. Struktur 4 Tingkat



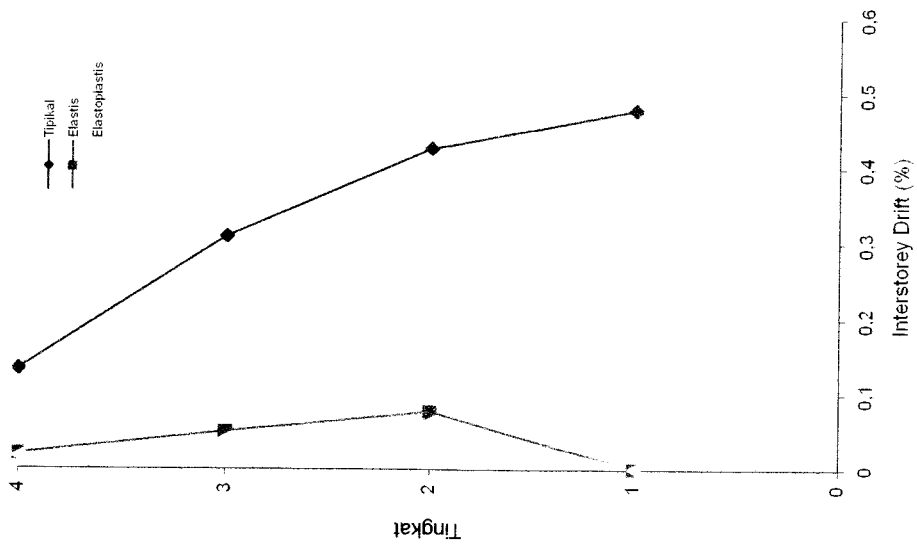
B. Struktur 8 Tingkat



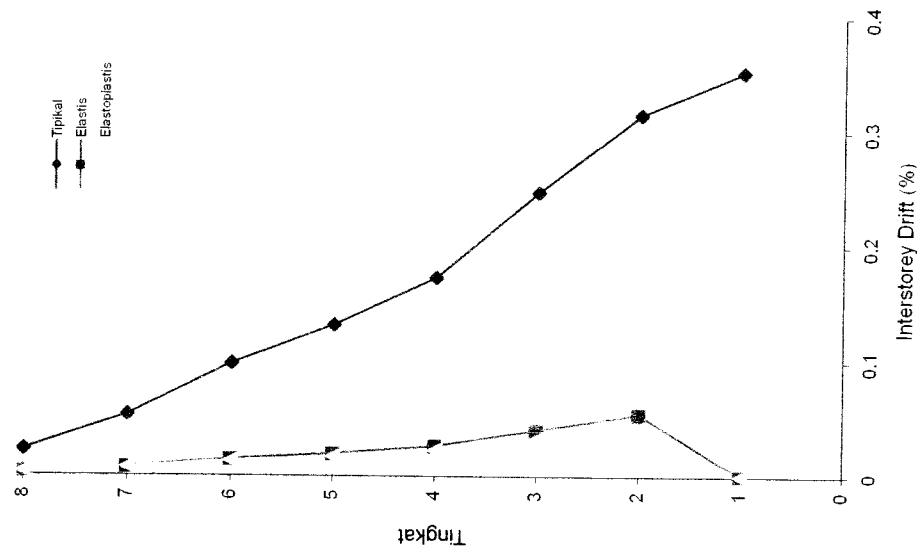
C. Struktur 10 Tingkat

Gambar 5.24 Grafik Perbandingan Interstorey Drift Maksimum Antara Struktur Dengan dan Tanpa Base Isolation Akibat Gempa Elcentro

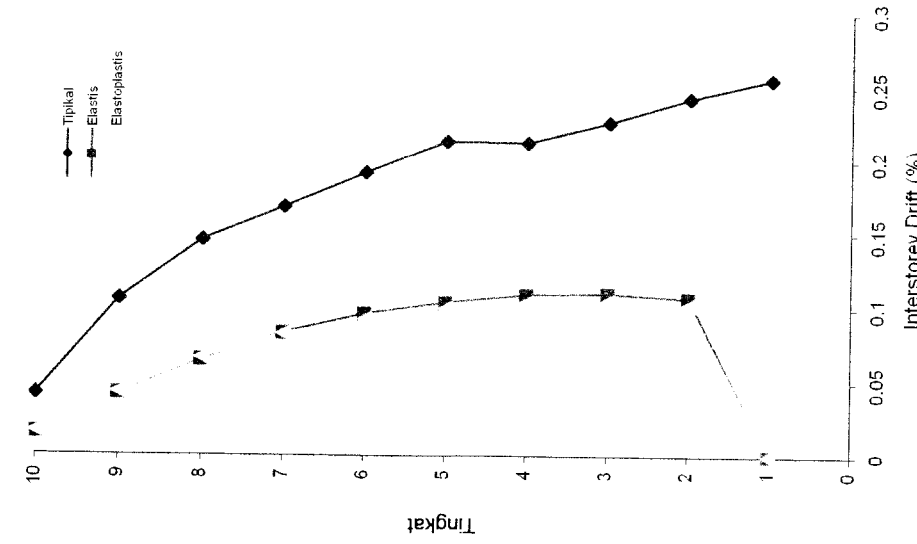




A. Struktur 4 Tingkat

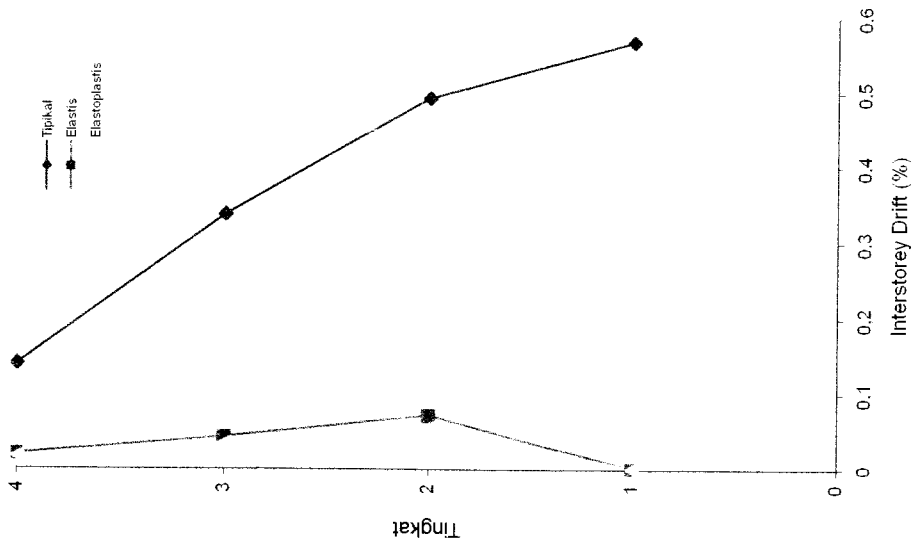


B. Struktur 8 Tingkat

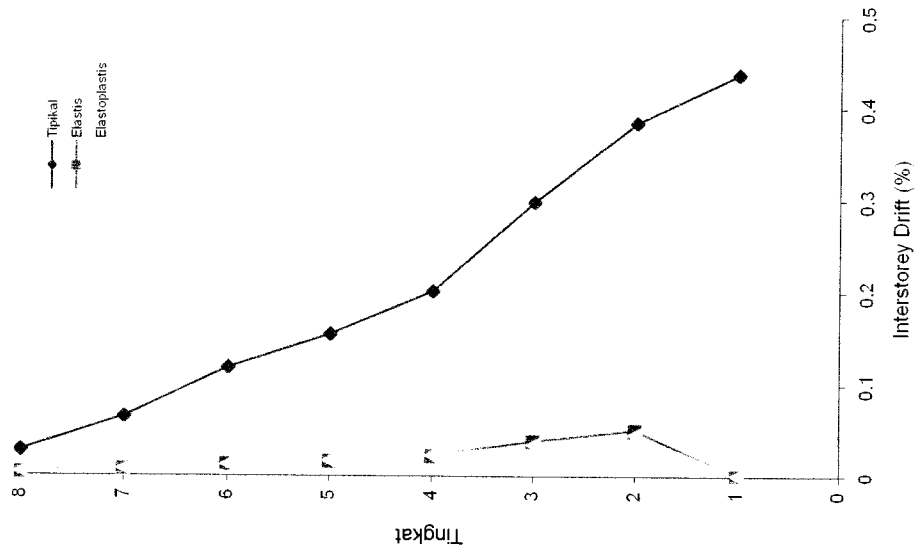


C. Struktur 10 Tingkat

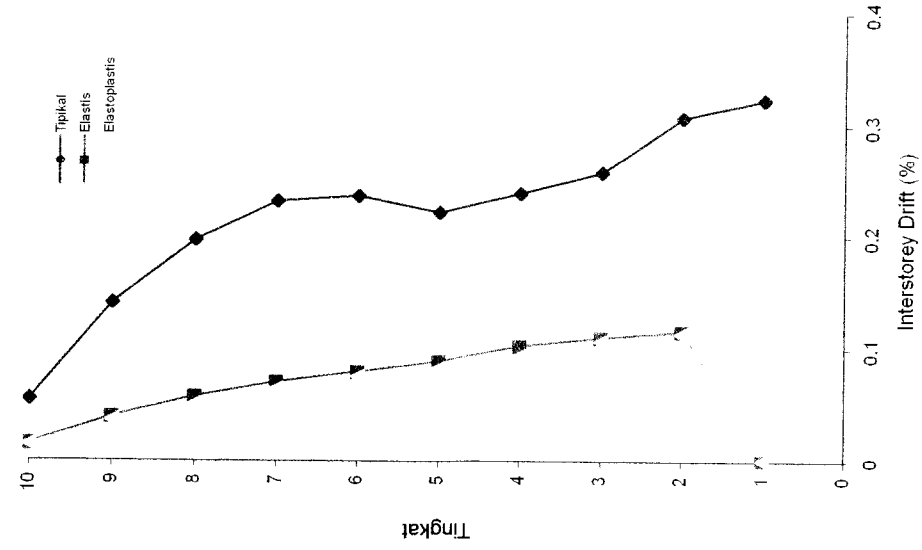
Gambar 5.25 Grafik Perbandingan Interstorey Drift Maksimum Antara Struktur Dengan dan Tanpa Base Isolation Akibat Gempa Santacruz



A. Struktur 4 Tingkat

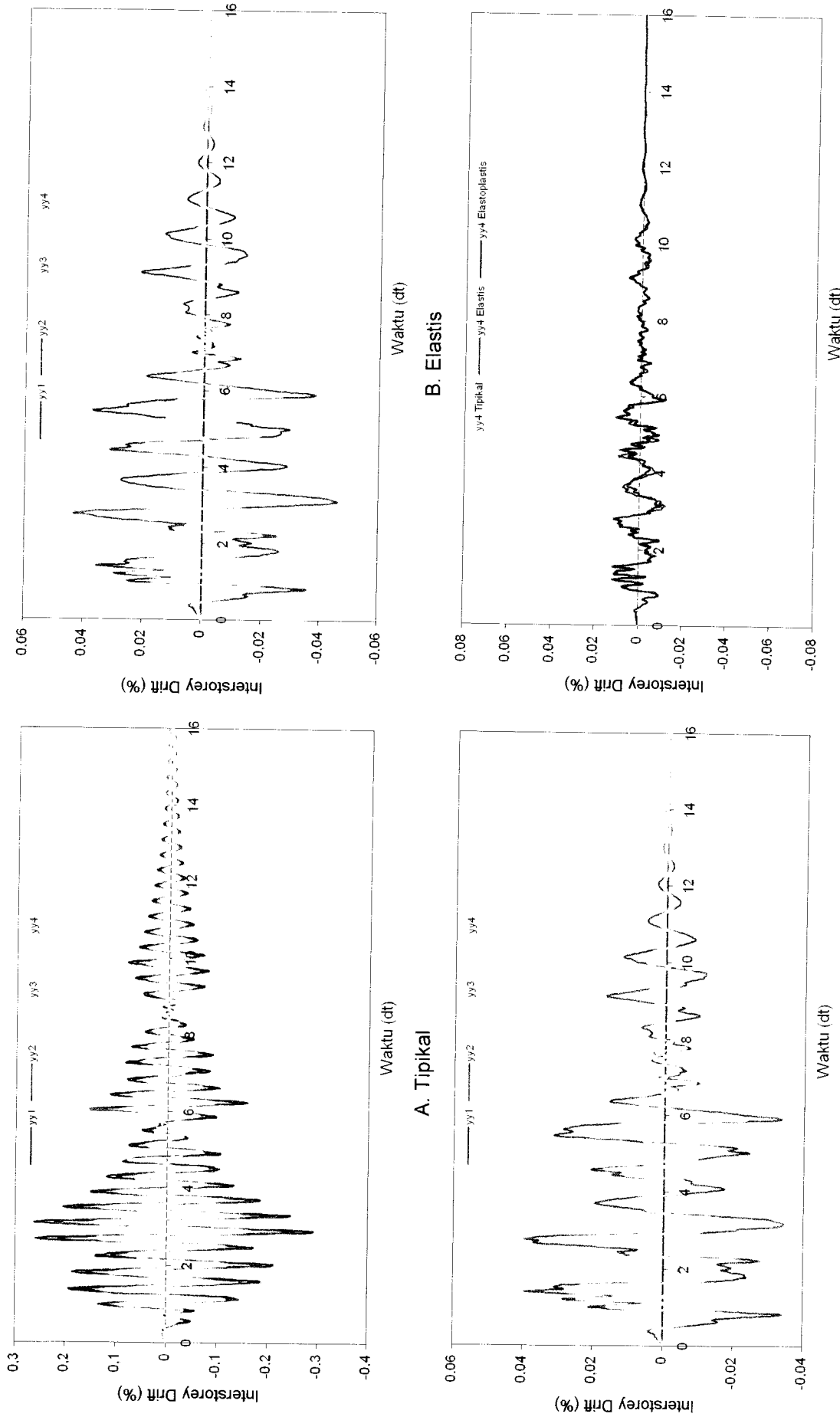


B. Struktur 8 Tingkat



C. Struktur 10 Tingkat

Gambar 5.26 Grafik Perbandingan Interstorey Drift Maksimum Antara Struktur Dengan dan Tanpa Base Isolation Akibat Gempa Koyna



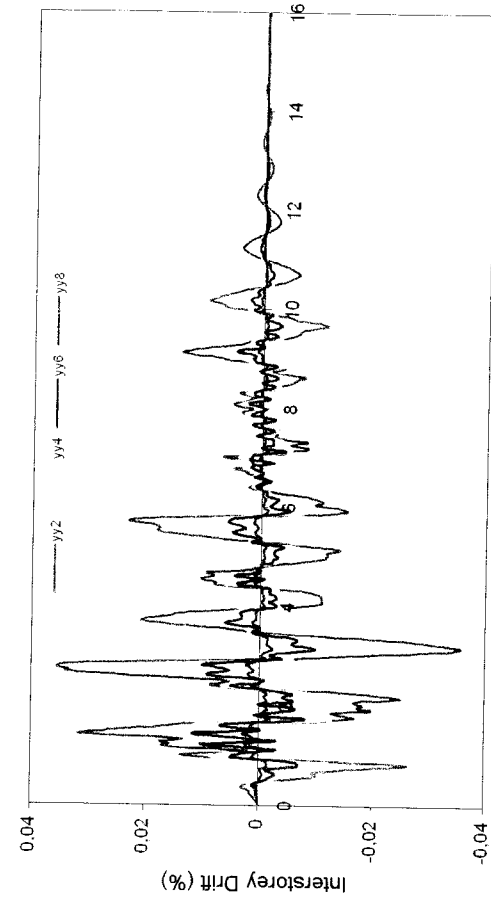
D. Perbandingan Tingkat 4

C. Elastoplastis

A. Tipikal

B. Elastis

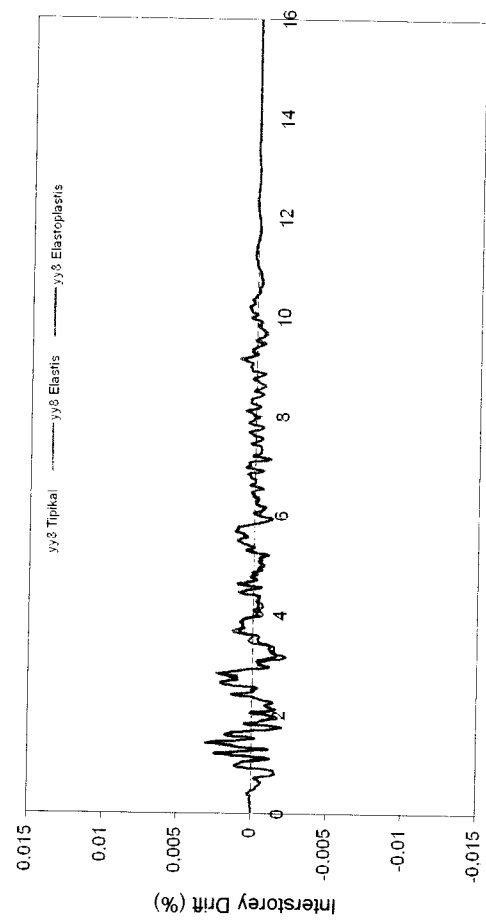
Gambar 5.27 Grafik Perbandingan Interstorey Drift Struktur 4 Tingkat Akibat Gempa Elcentro



A. Tipikal

Waktu (dt)

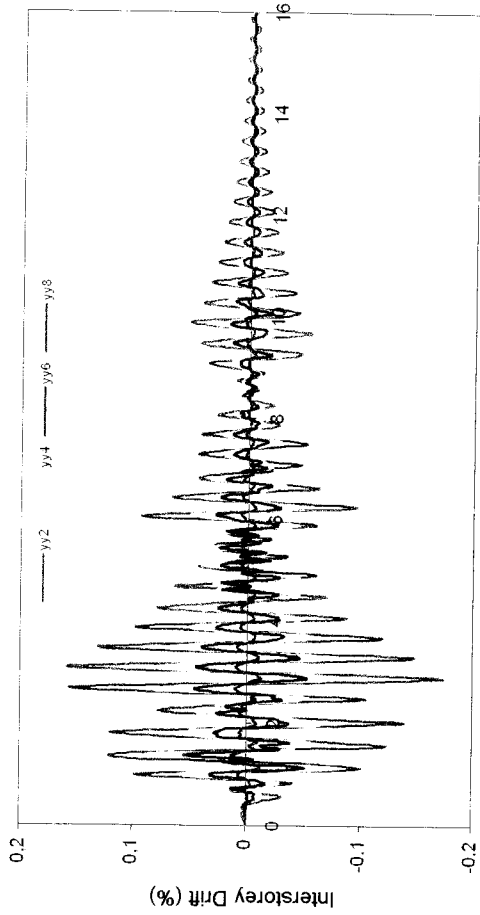
B. Elastis



B. Elastis

Waktu (dt)

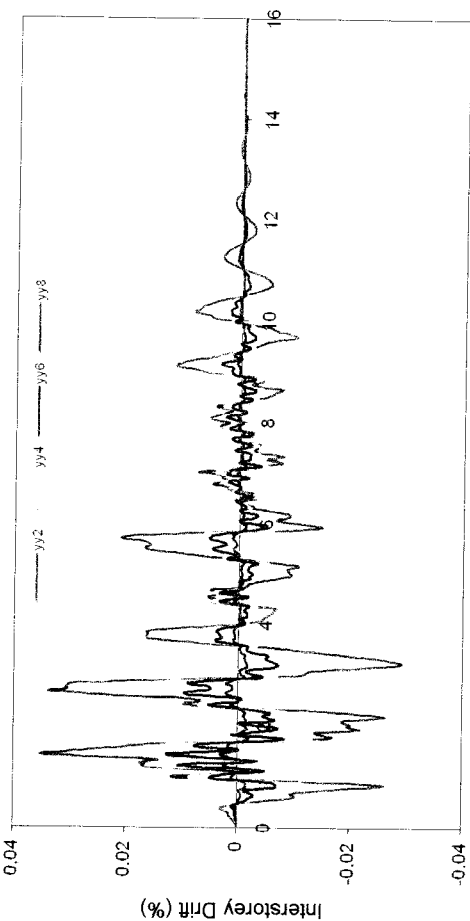
C. Elastoplastis



C. Elastoplastis

Waktu (dt)

D. Perbandingan Tingkat 8



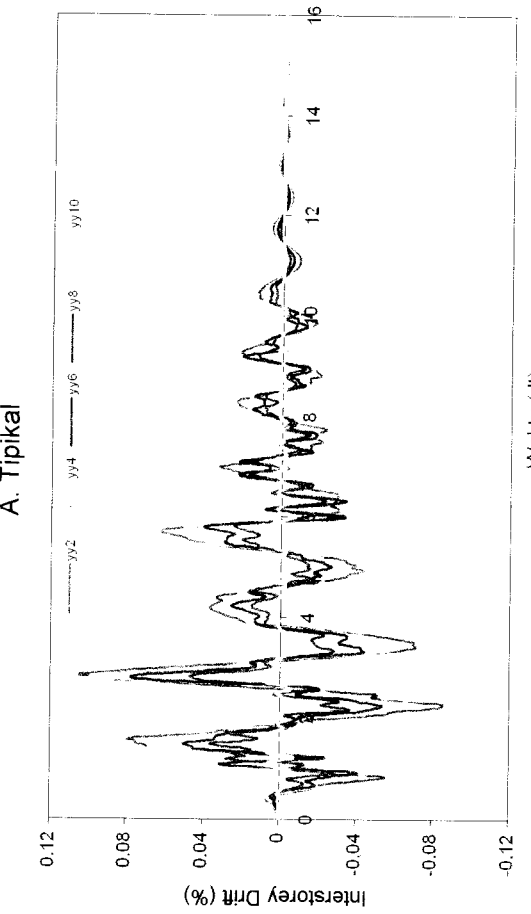
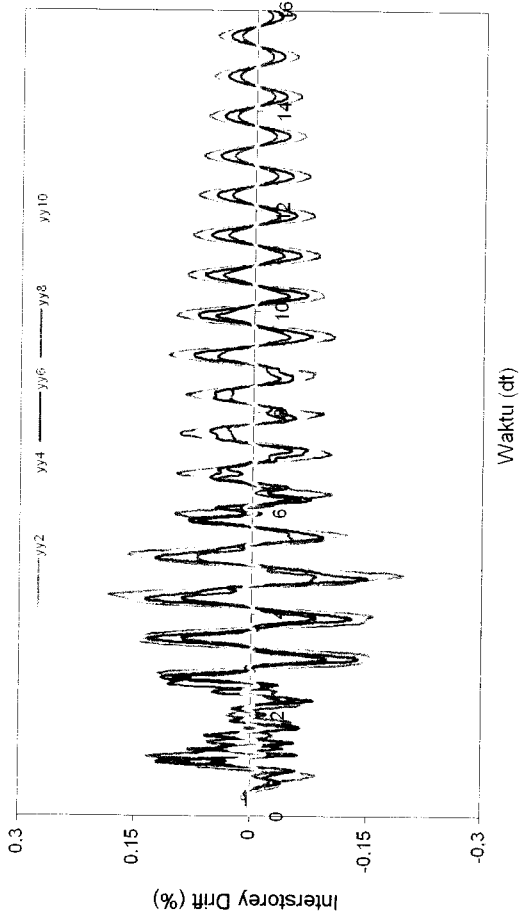
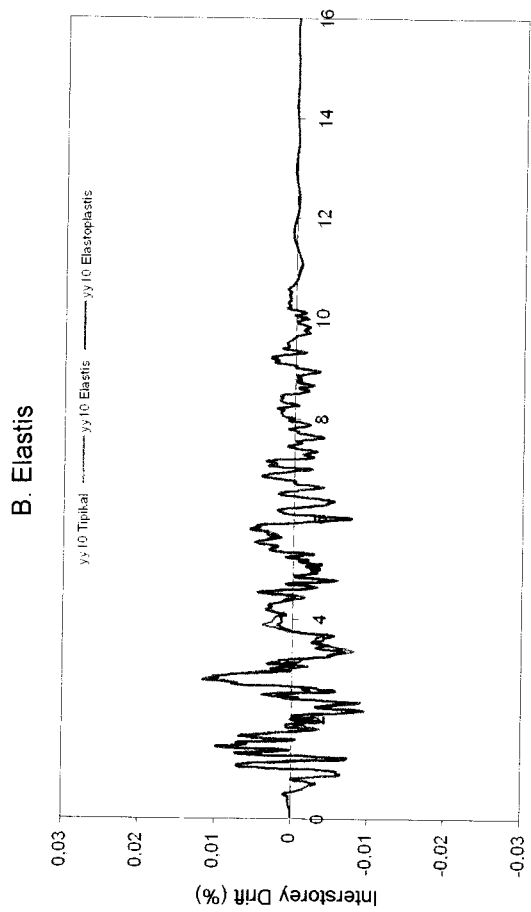
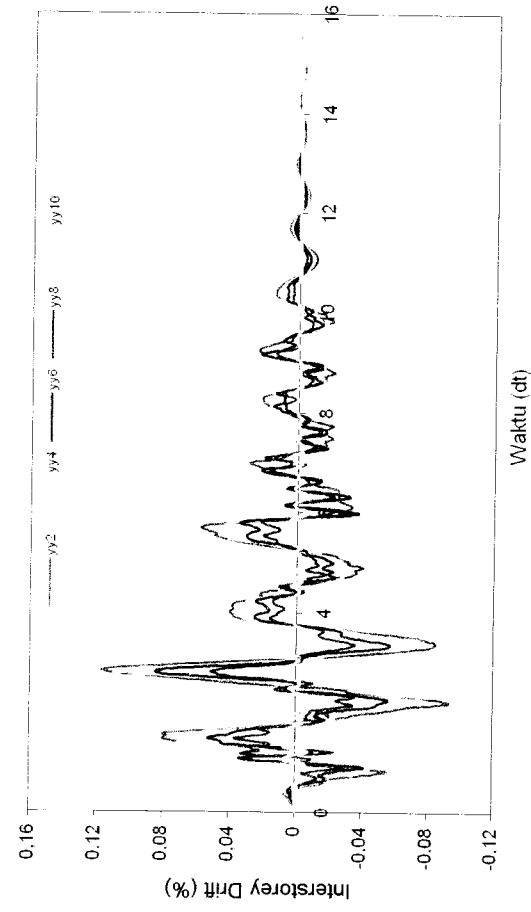
D. Perbandingan Tingkat 8

Waktu (dt)

Gambar 5.28 Grafik Perbandingan Interstorey Drift Struktur 8 Tingkat Akibat Gempa Elcentro



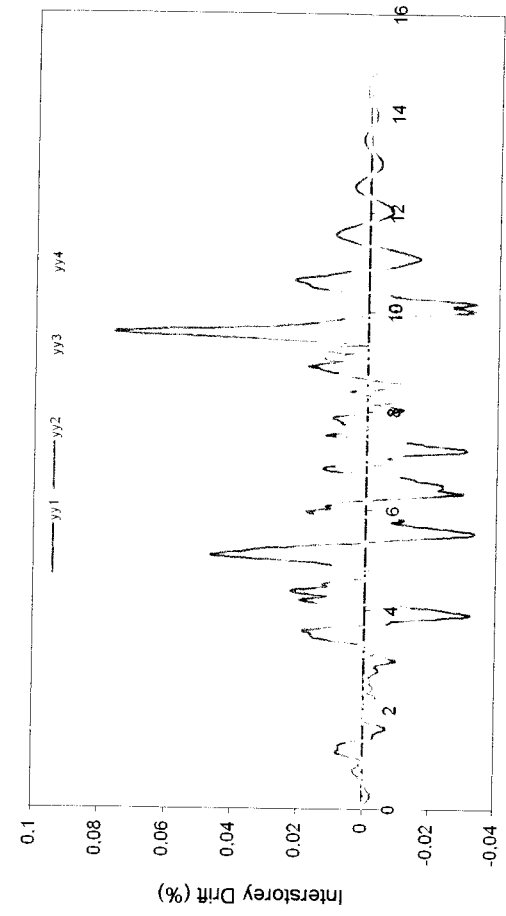
gempa yang lain. Semakin nilai kekakuan *base isolation* mendekati kekakuan struktur tanpa *base isolation* (Tipikal) dan semakin tinggi tingkat, struktur dengan *base isolation* (Elastis dan Elastoplastis) akan mengalami perlakuan yang sama dengan struktur tanpa *base isolation* (Tipikal). Hal ini akan menimbulkan kerugian pada struktur yang ditopang *base isolation* tersebut, karena akan mengalami simpangan antar tingkat yang besar yang sifatnya sama dengan struktur tanpa *base isolation* (Tipikal). Nilai keseluruhan dari *interstorey drift* memenuhi syarat dari batas ultimit gedung yaitu 0,002 kali tinggi tingkat.



D. Perbandingan Tingkat 10

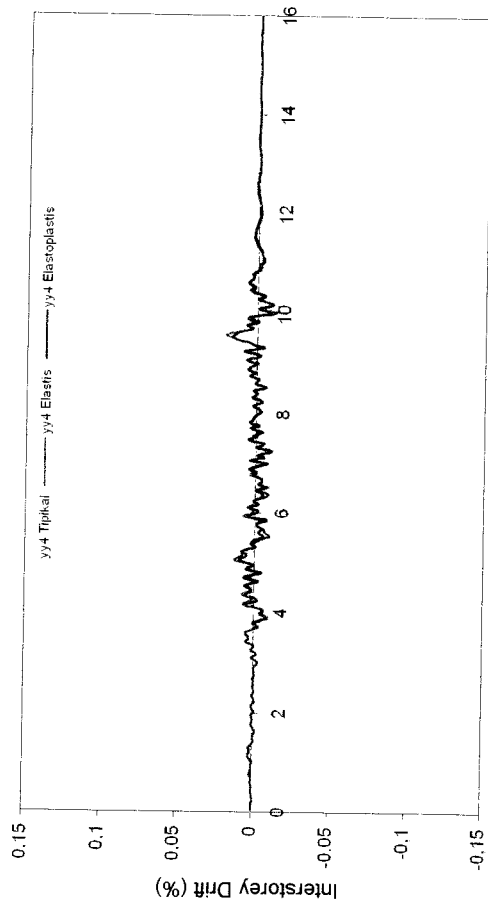
C. Elastoplastis

Gambar 5.29 Grafik Perbandingan Interstorey Drift Struktur 10 Tingkat Akibat Gempa Elcentro



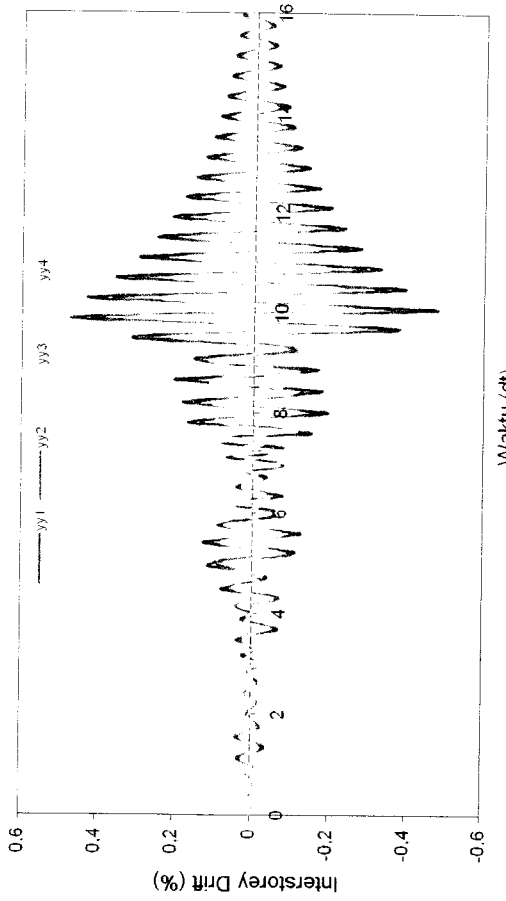
Waktu (dt)

**B. Elastis**



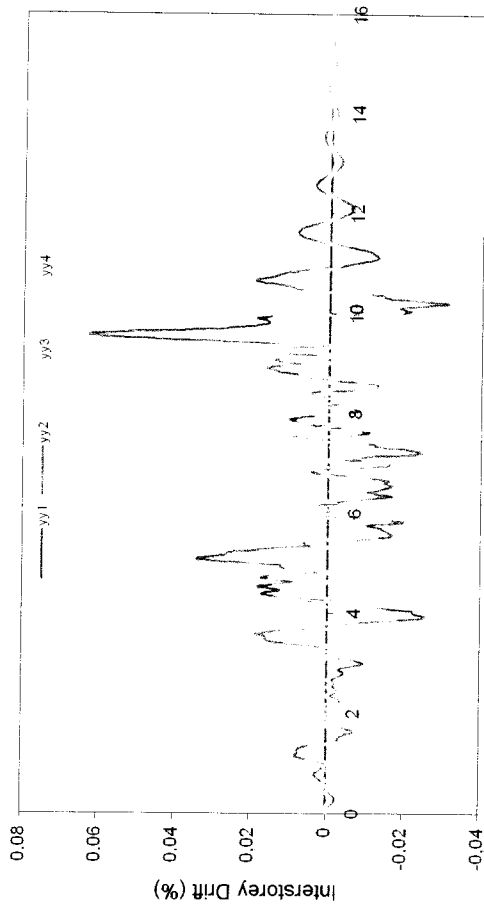
Waktu (dt)

**D. Perbandingan Tingkat 4**



Waktu (dt)

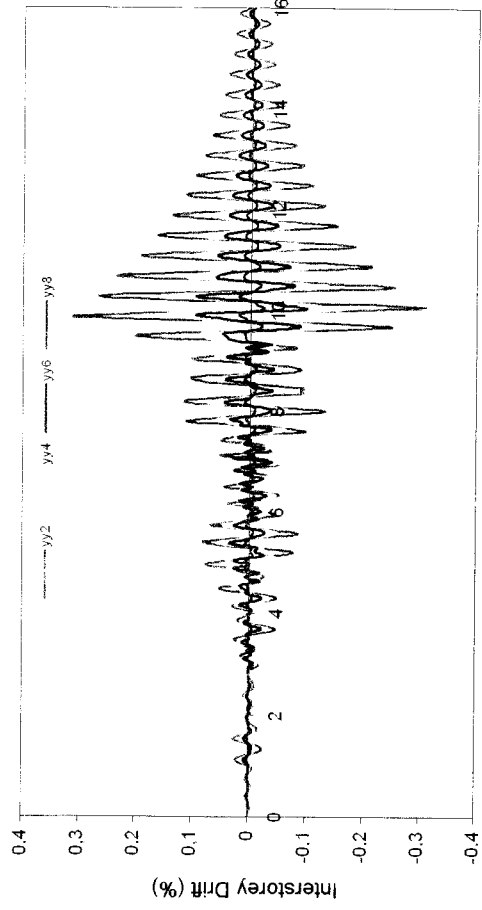
**A. Tipikal**



Waktu (dt)

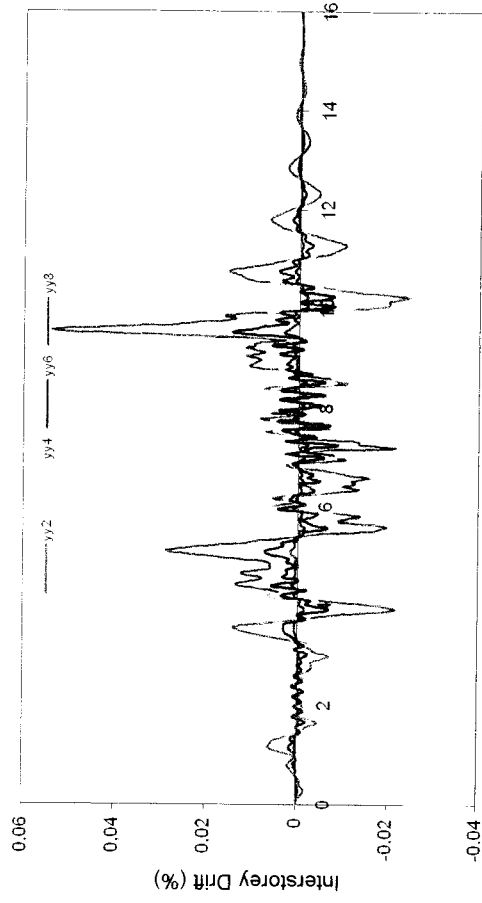
**C. Elastoplastis**

Gambar 5.30 Grafik Perbandingan *Interstorey Drift* Struktur 4 Tingkat Akibat Gempa Santacruz



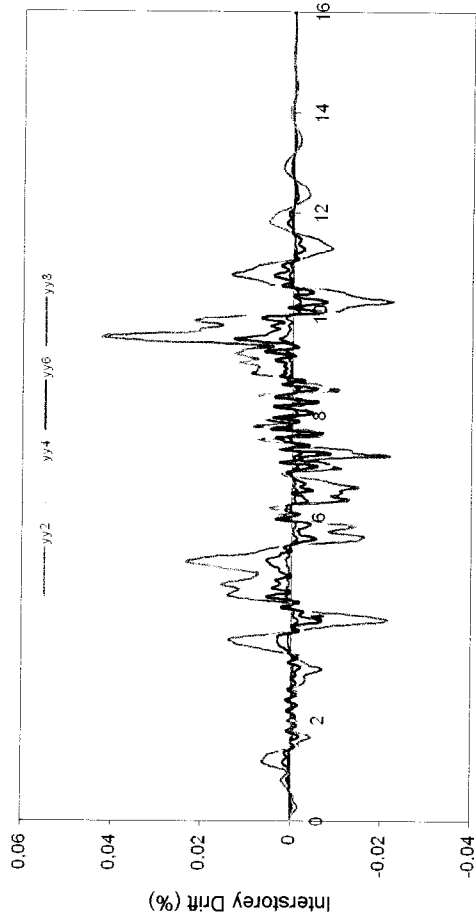
Waktu (dt)

**A. Tipikal**



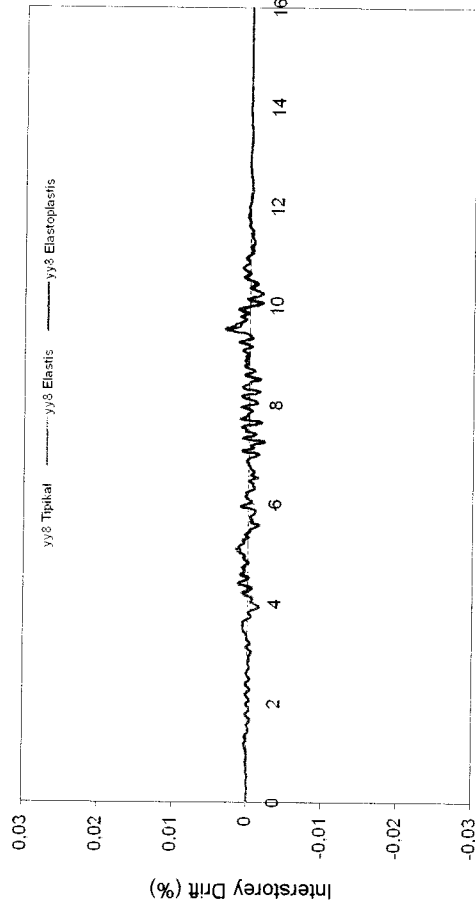
Waktu (dt)

**B. Elastis**



Waktu (dt)

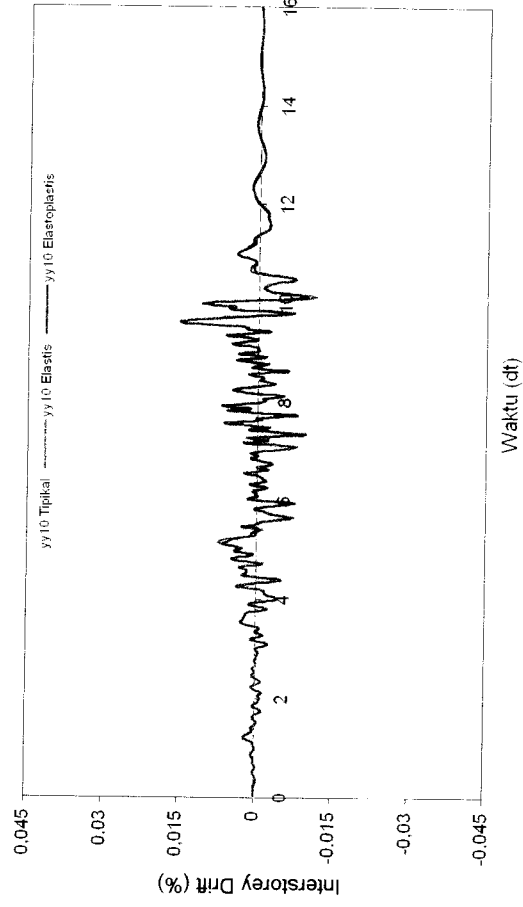
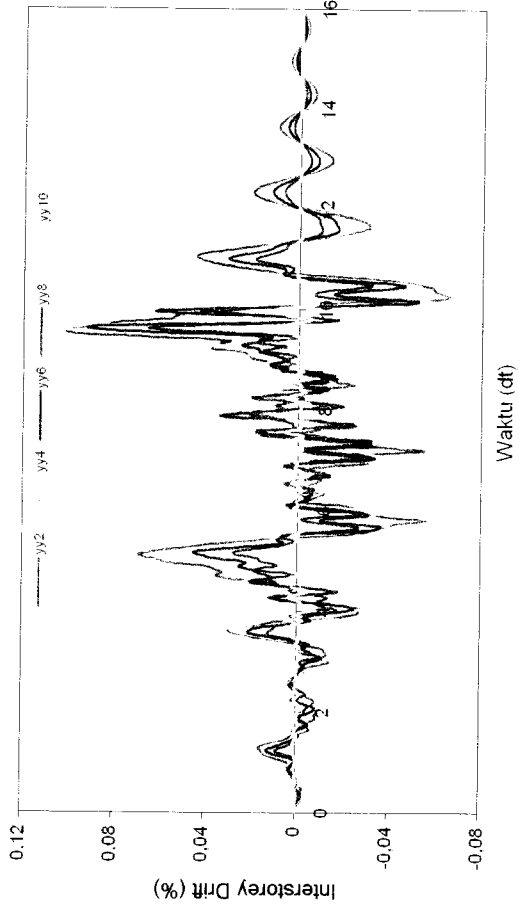
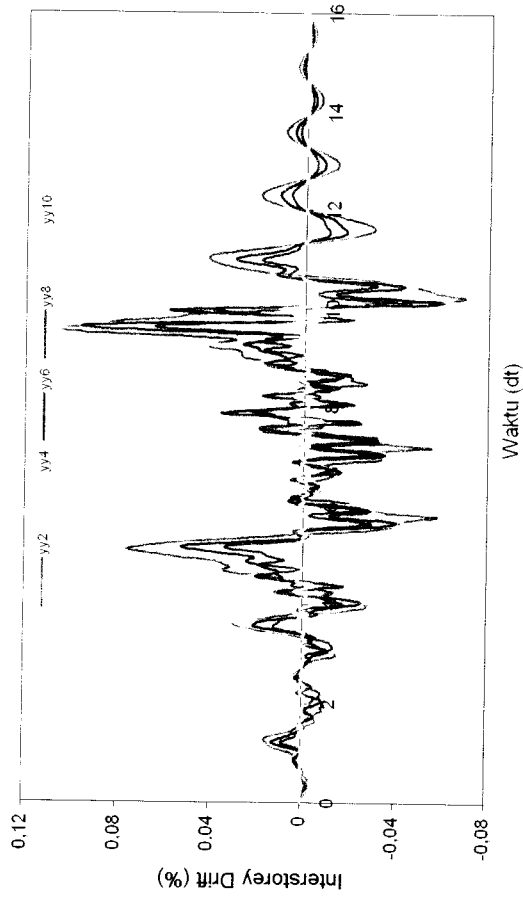
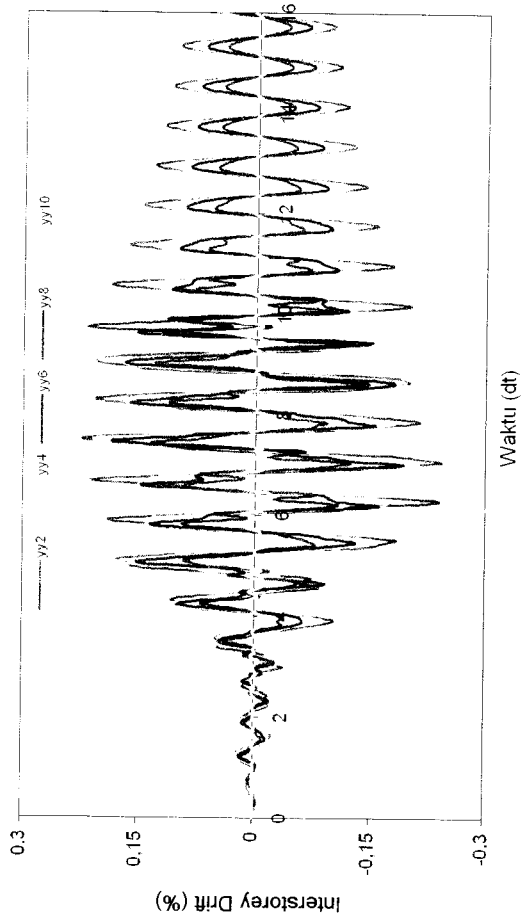
**C. Elastoplastis**



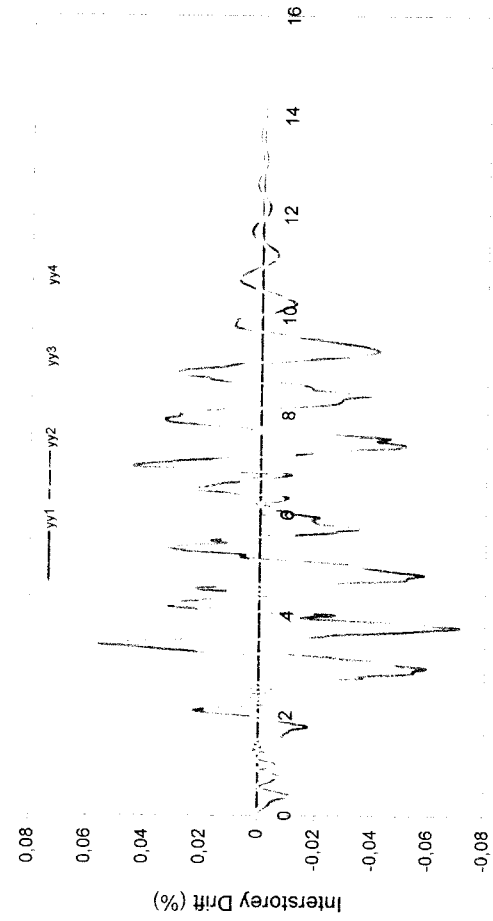
Waktu (dt)

**D. Perbandingan Tingkat 8**

**Gambar 5.31** Grafik Perbandingan *Interstorey Drift* Struktur 8 Tingkat Akibat Gempa Santacruz

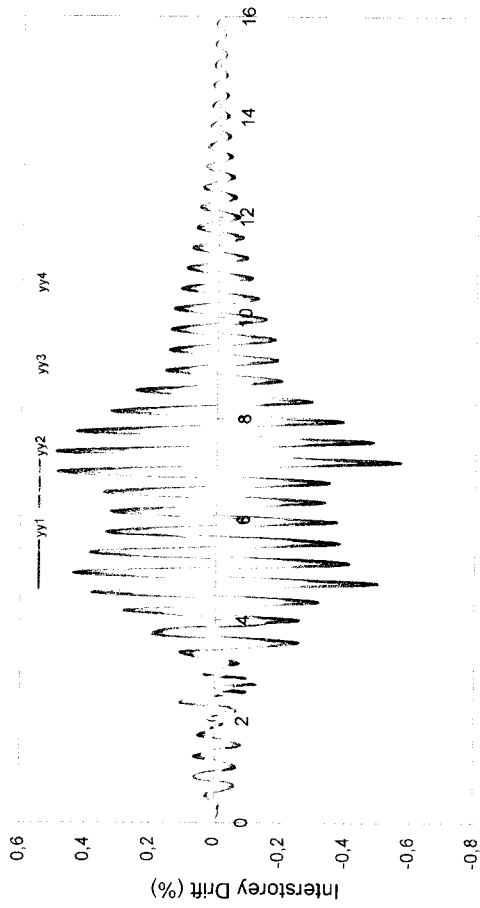


Gambar 5.32 Grafik Perbandingan *Interstorey Drift* Struktur 10 Tingkat Akibat Gempa Santacruz



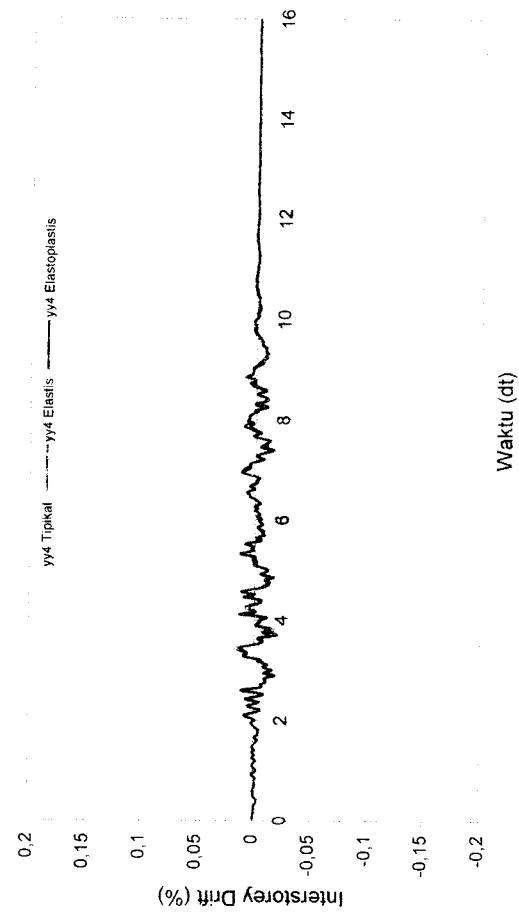
A. Tipikal

Waktu (dt)



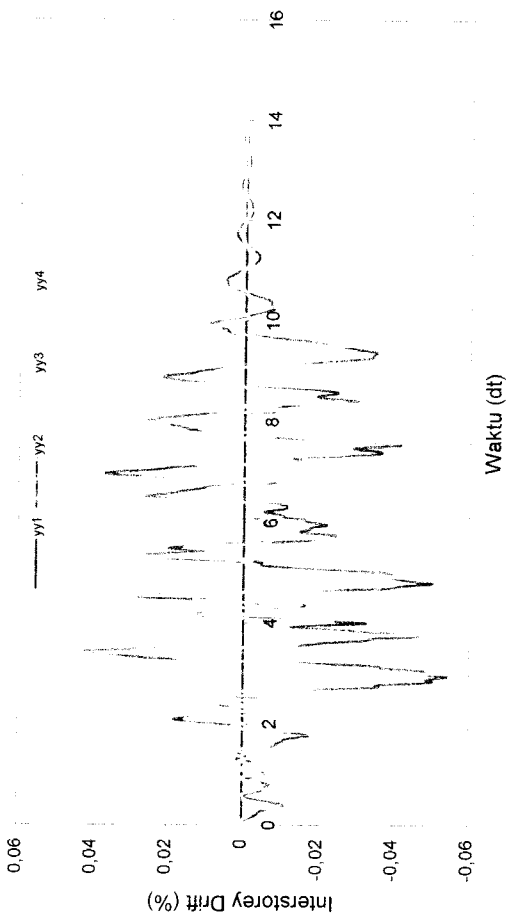
B. Elastis

Waktu (dt)



C. Elastoplastis

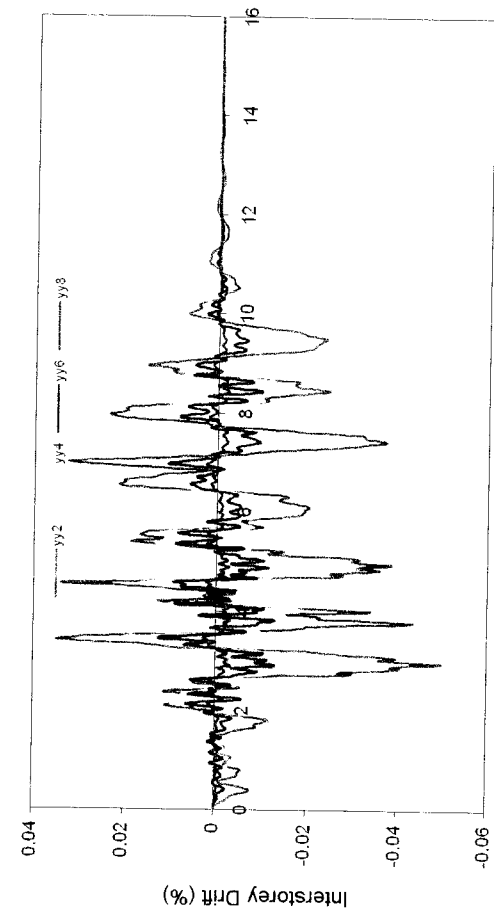
Waktu (dt)



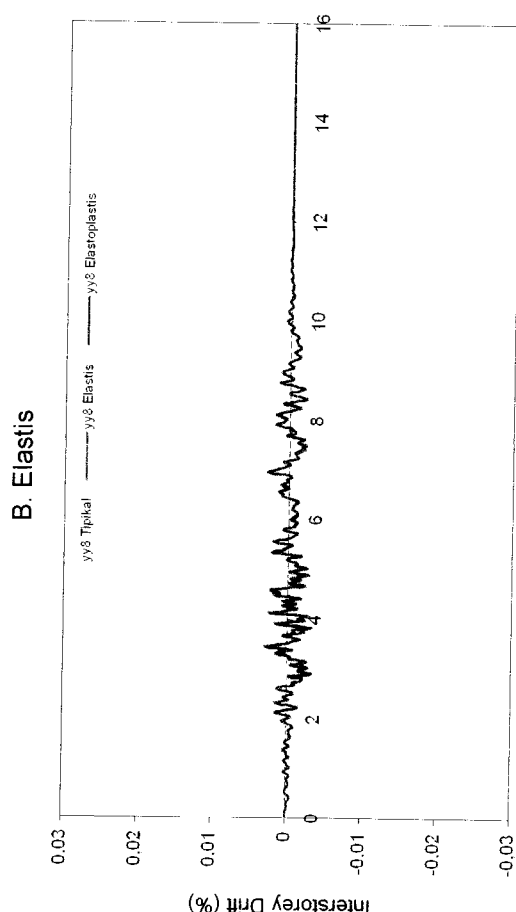
D. Perbandingan Tingkat 4

Waktu (dt)

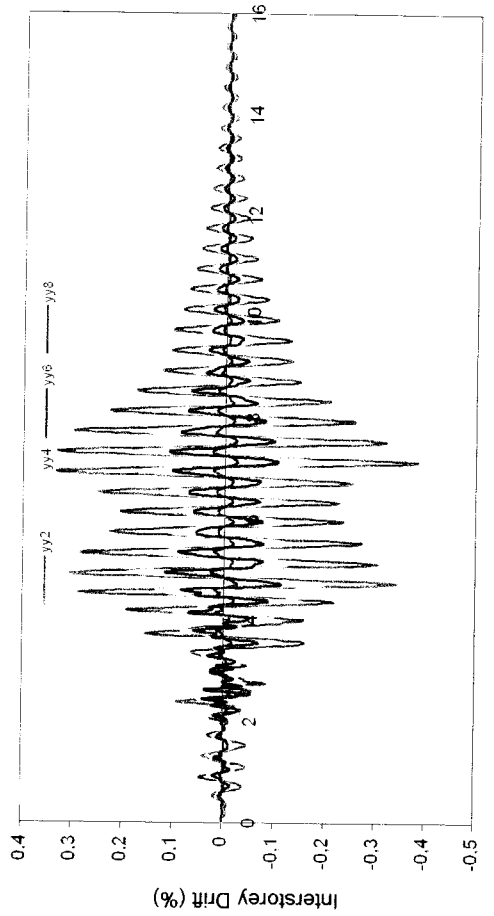
Gambar 5.33 Grafik Perbandingan Interstorey Drift Struktur 4 Tingkat Akibat Gempa Koyna



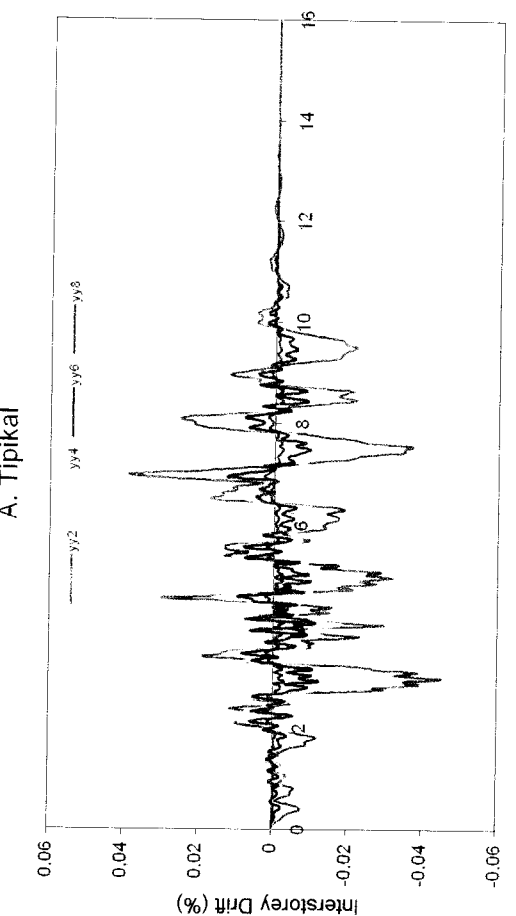
A. Tipikal



B. Elastis

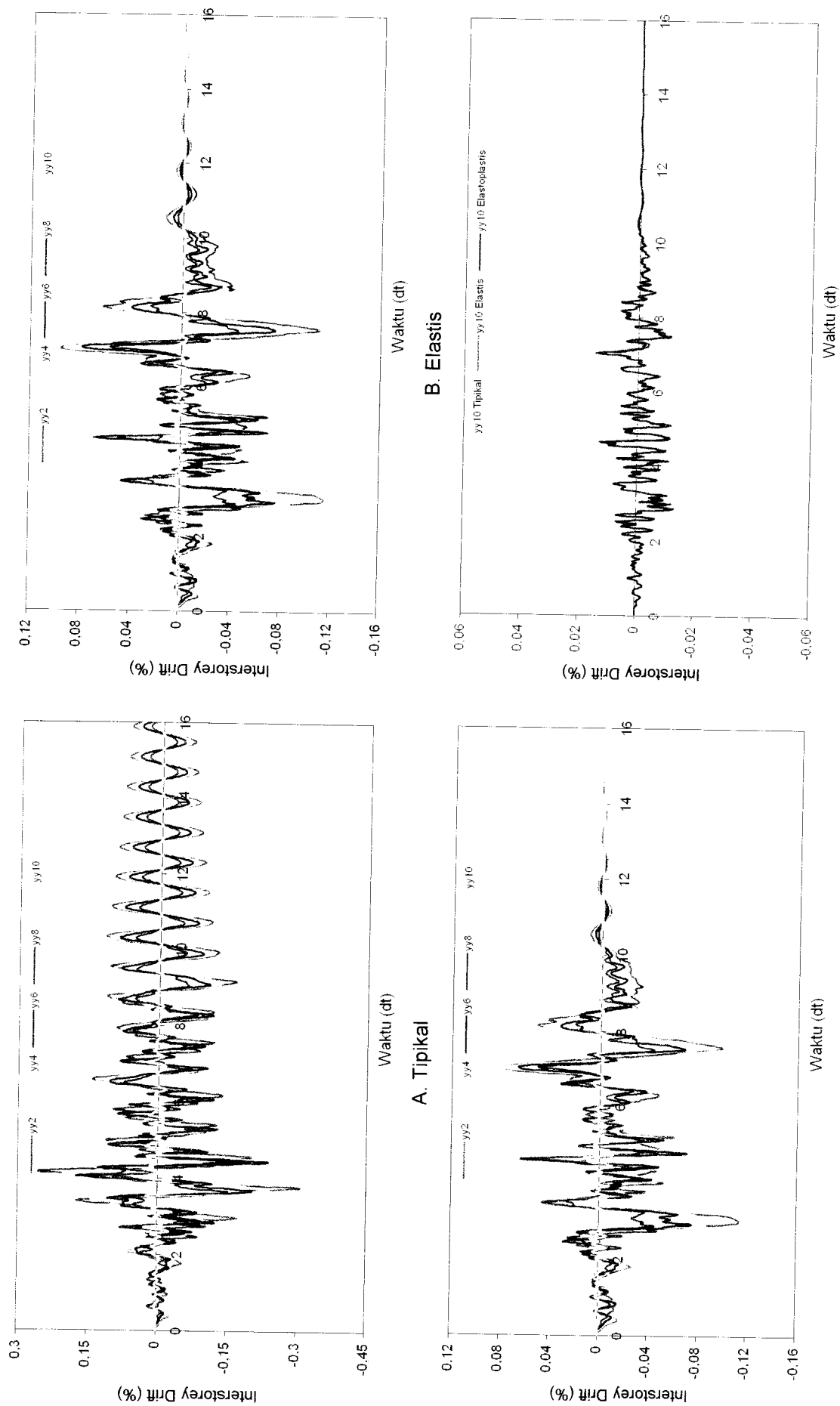


C. Elastoplastis



D. Perbandingan Tingkat 8

Gambar 5.34 Grafik Perbandingan Interstorey Drift Struktur 8 Tingkat Akibat Gempa Koyna



Gambar 5.35 Grafik Perbandingan Interstorey Drift Struktur 10 Tingkat Akibat Gempa Koyna

D. Perbandingan Tingkat 10



### 5.3.3 Gaya Horisontal Tingkat.

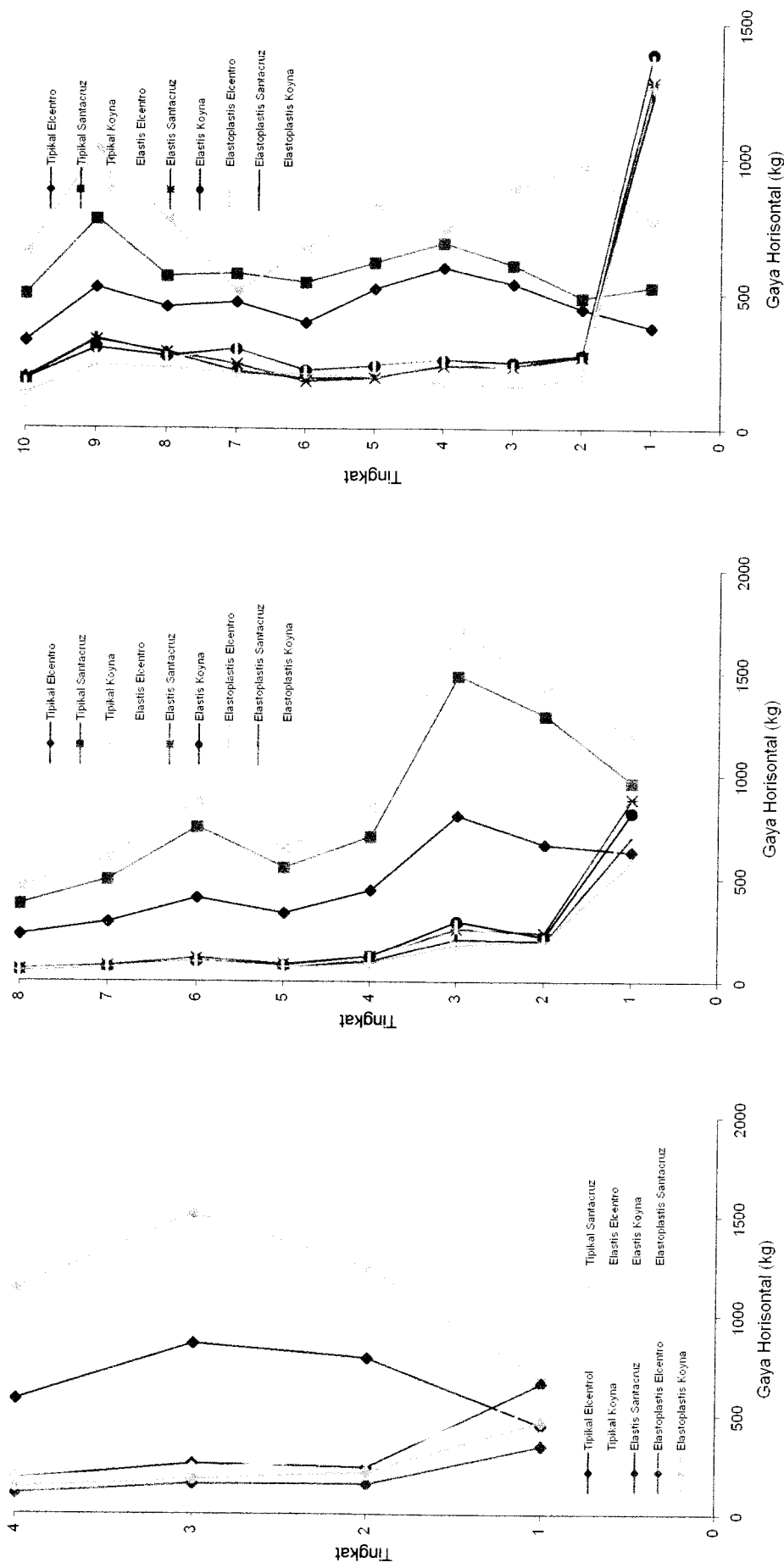
Dari hasil program dapat disajikan nilai-nilai gaya horisontal tingkat struktur 4, 8, dan 10 tingkat dengan variasi 3 gempa, dengan memperhatikan hasil grafik Gaya Horisontal maksimum yang terdapat pada **Gambar 5.36** sampai dengan **Gambar 5.39** maka,

Titik belok gaya horisontal tingkat pada struktur dengan *base isolation* sangat ekstrim terutama pada tingkat 1 ketingkat 2. Hal ini disebabkan karena gaya horisontal yang terjadi akibat gempa telah diredam oleh *base isolation* sehingga gaya horisontal terbesar terjadi pada *base isolation* itu sendiri yang mana dapat dilihat pada **Gambar 5.39**.

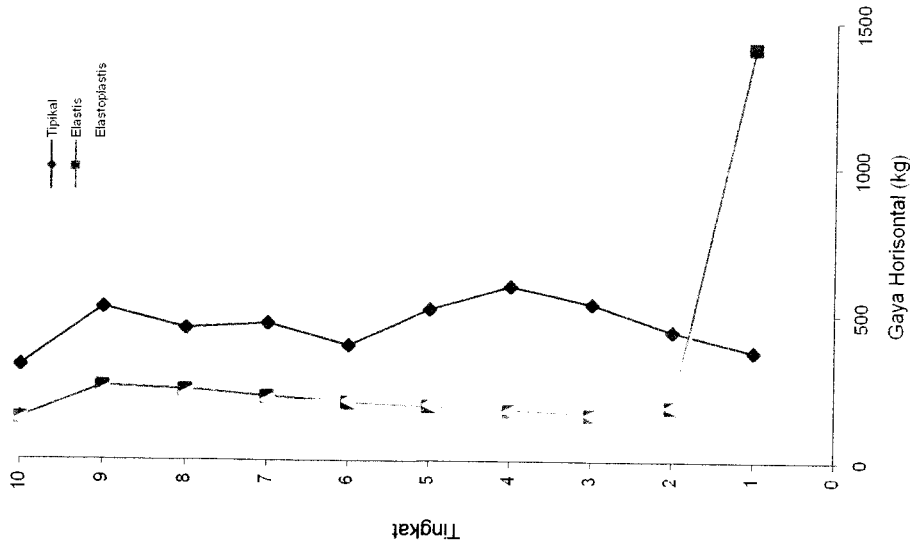
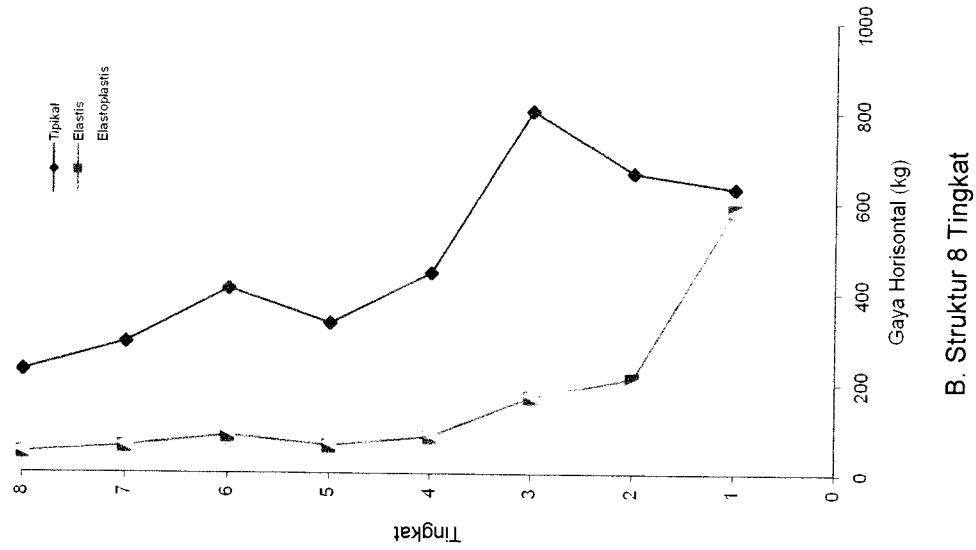
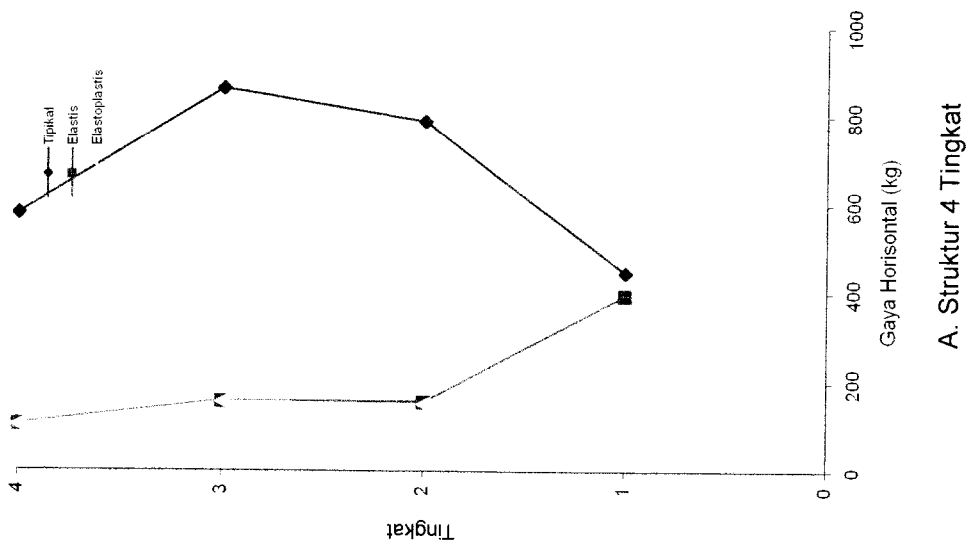
Pada struktur tanpa *base isolation* terjadi titik belok yang sangat ekstrim karena pada titik belok inilah terjadi pengurangan nilai gaya horizontal tingkat. Hal ini disebabkan karena gaya horisontal tingkat merupakan perkalian dari simpangan dengan kekakuan (**pers. 3.56**). Sedangkan struktur yang digunakan dalam penelitian memiliki nilai kekakuan yang berbeda ditiap tingkatnya namun cenderung mengecil pada tingkat paling atas. Oleh karena itu semakin keatas gaya horisontal semakin luktatif dan akan terus mengecil pada tingkat paling atas.

Gaya horisontal tingkat struktur dengan *base isolation* semakin tinggi  $K_b$  maka gaya horisontal tingkat tersebut akan semakin besar tetapi nilai tersebut masih lebih kecil dari gaya horisontal tingkat struktur tanpa *base isolation* karena  $K_b$  dari *base isolation* lebih kecil dari kekakuan struktur tanpa *base isolation*.

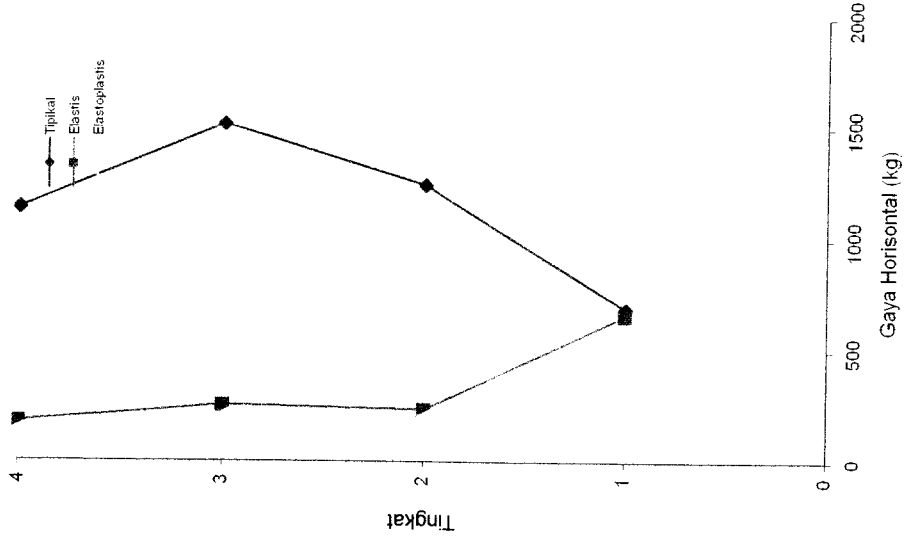
Gaya horisontal tingkat terbesar pada struktur tanpa *base isolation* terjadi pada gempa Koyna (frekuensi tinggi) dan terkecil pada gempa Elcentro (frekuensi menengah). Gaya horisontal tingkat pada struktur 4, 8 dan 10 tingkat dengan *base isolation* sangat rapat antara gempa Santacruz dan gempa Koyna baik pada struktur dengan *base isolation* (elastis) atau dengan *base isolation* (elastoplastis), hal ini disebabkan karena keduanya memiliki frekuensi gempa tinggi sehingga kadang nilai gaya horisontal antara keduanya berhimpit, jadi bisa dikatakan anggapan *base isolation* (elastoplastis) sama dengan *base isolation* (elastis).



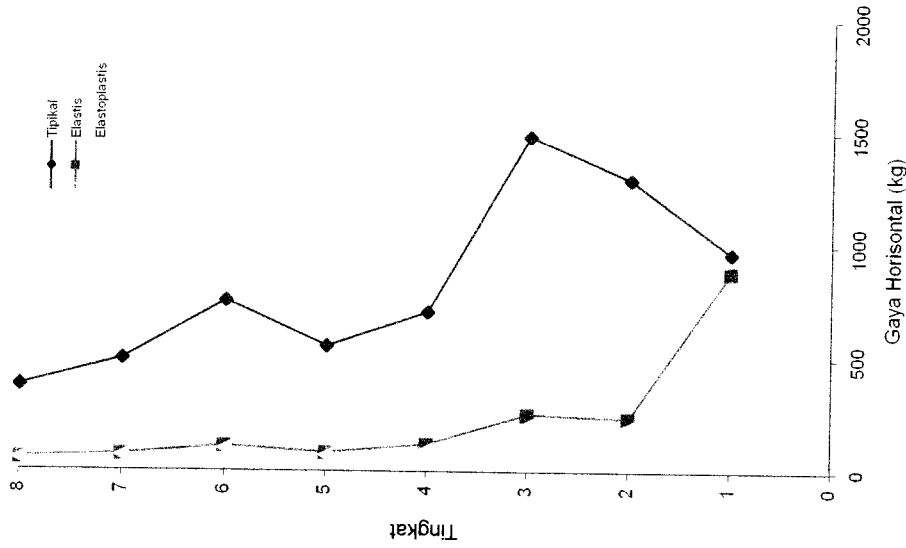
Gambar 5.36 Grafik Perbandingan Gaya Horizontal Maksimum Antara Bangunan Dengan Dan Tanpa Base Isolation Akibat 3 Gempa



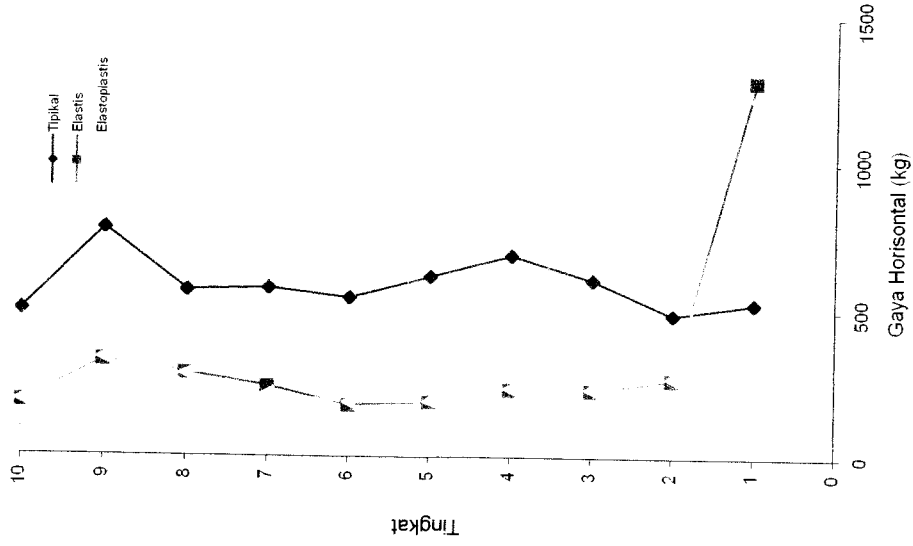
Gambar 5.37 Grafik Perbandingan Gaya Horizontal Maksimum Antara Struktur Dengan dan Tanpa Base Isolation Akibat Gempa Elcentro



A. Struktur 4 Tingkat

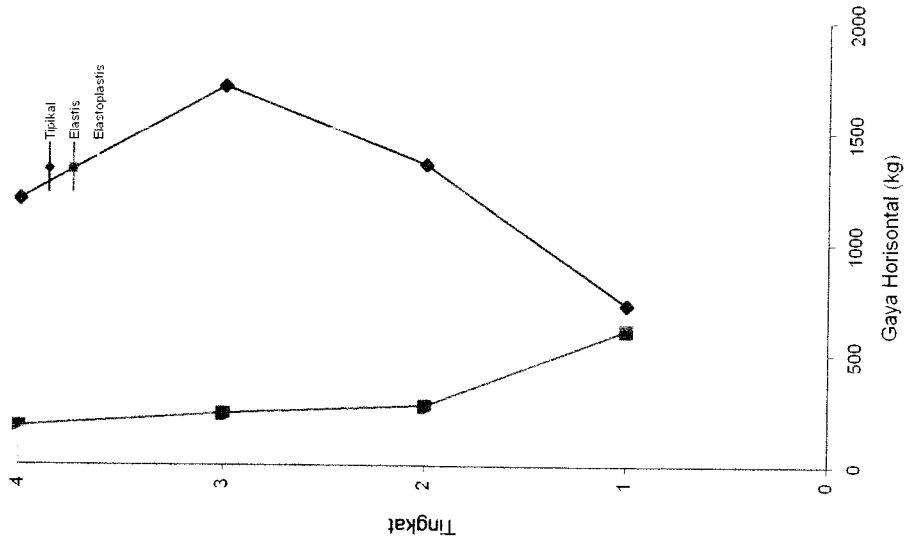


B. Struktur 8 Tingkat

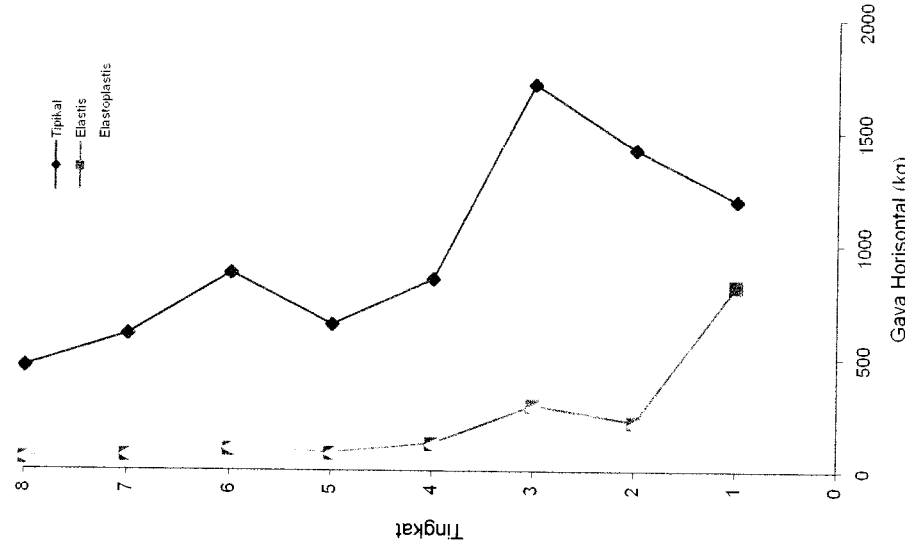


C. Struktur 10 Tingkat

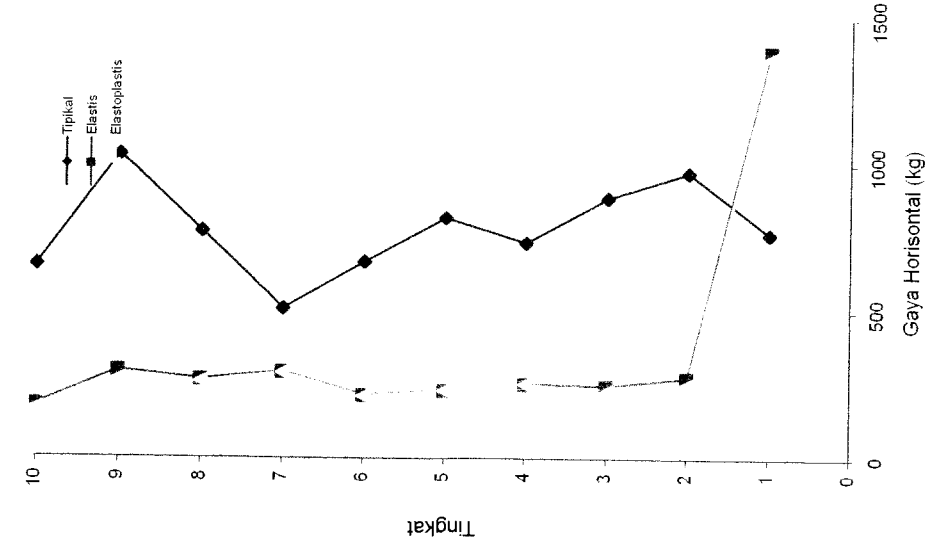
Gambar 5.38 Grafik Perbandingan Gaya Horizontal Maksimum Antara Struktur Dengan dan Tanpa Base Isolation Akibat Gempa Santacruz



A. Struktur 4 Tingkat

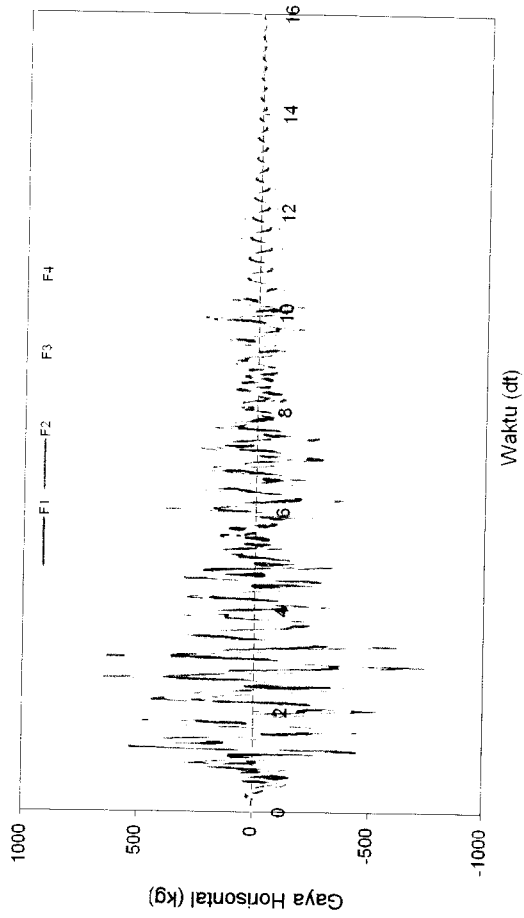


B. Struktur 8 Tingkat



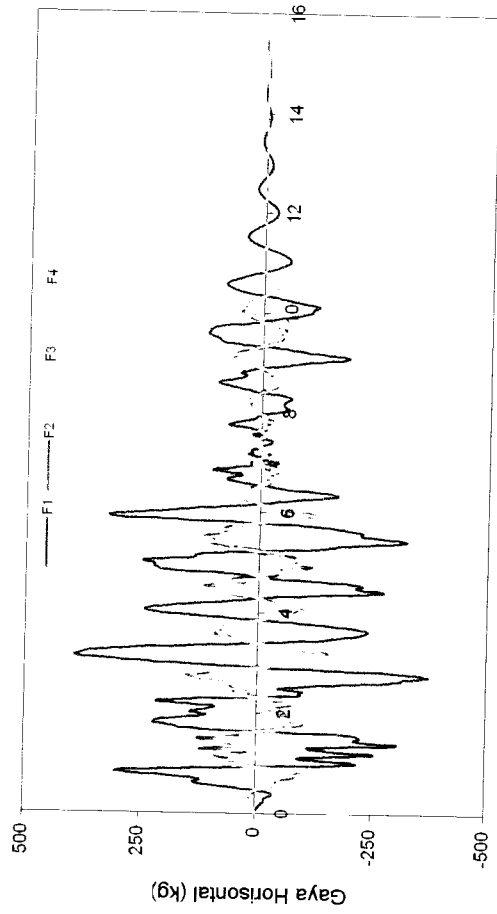
C. Struktur 10 Tingkat

Gambar 5.39 Grafik Perbandingan Gaya Horizontal Maksimum Antara Struktur Dengan dan Tanpa Base Isolation Akibat Gempa Koyana



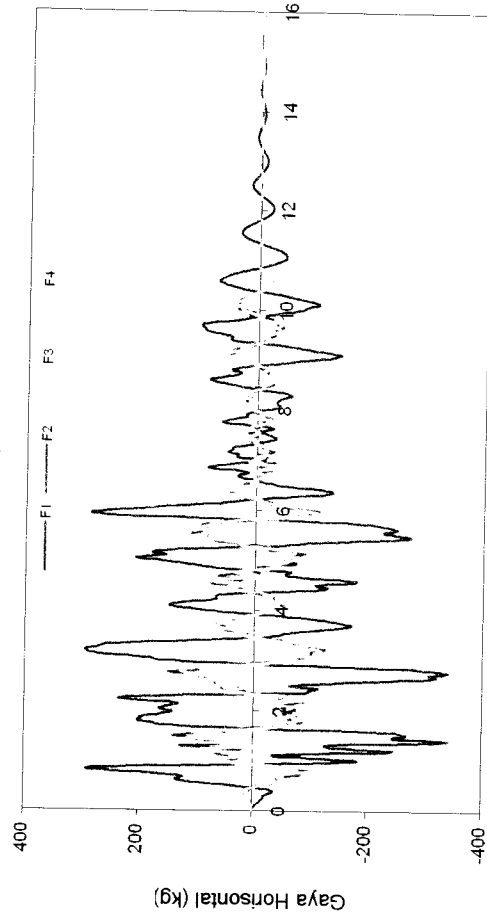
Waktu (dt)

A. Tipikal



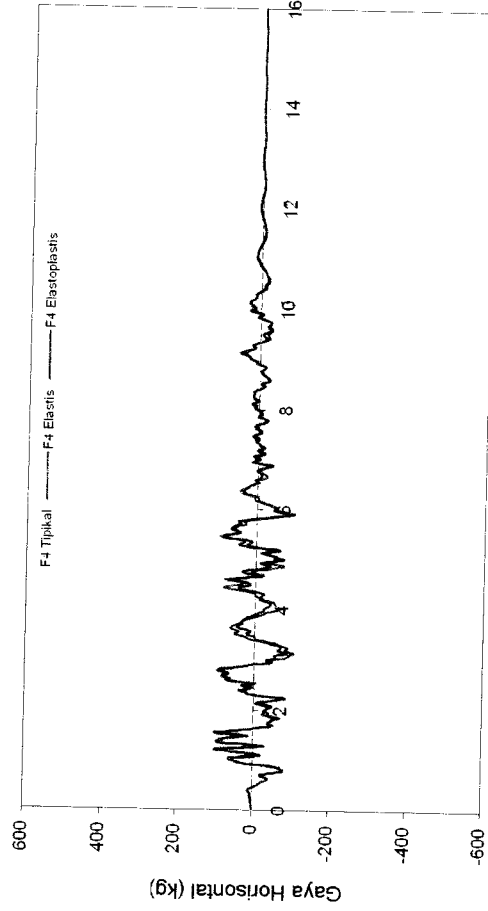
Waktu (dt)

B. Elastis



Waktu (dt)

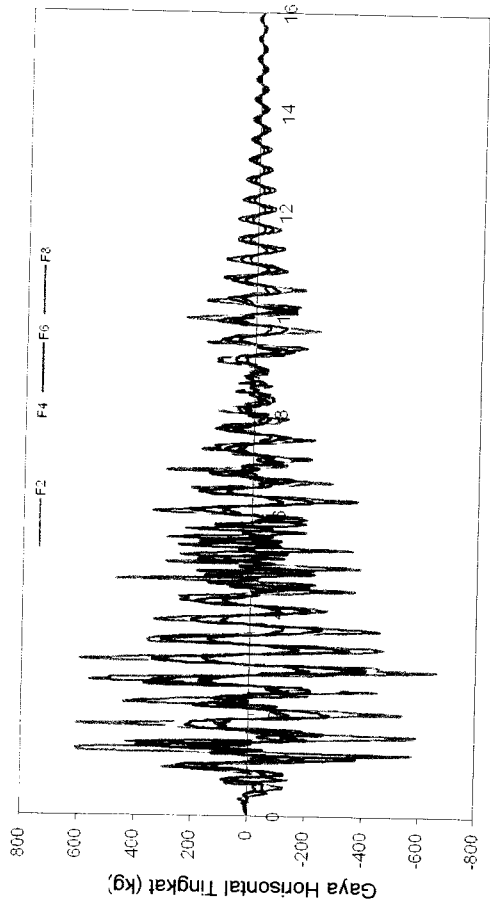
C. Elastoplastis



Waktu (dt)

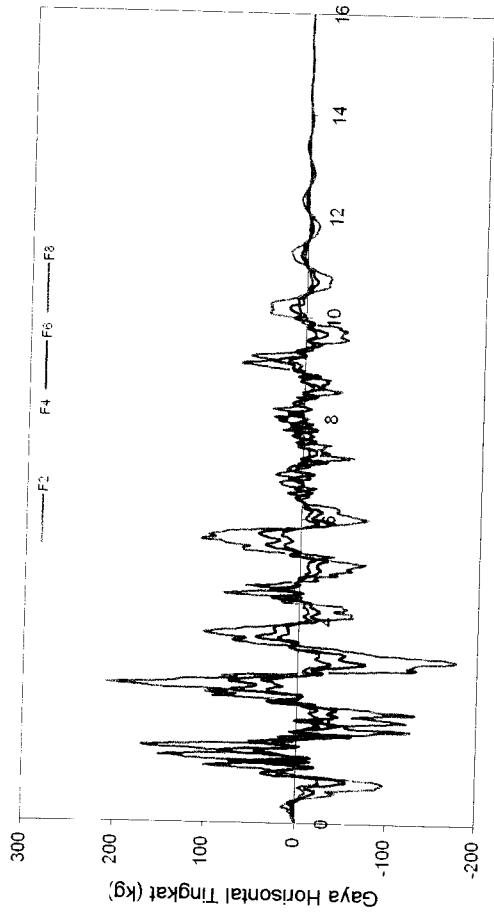
D. Perbandingan Tingkat 4

Gambar 5.40 Grafik Perbandingan Gaya Horizontal Struktur 4 Tingkat Akibat Gempa Elcentro



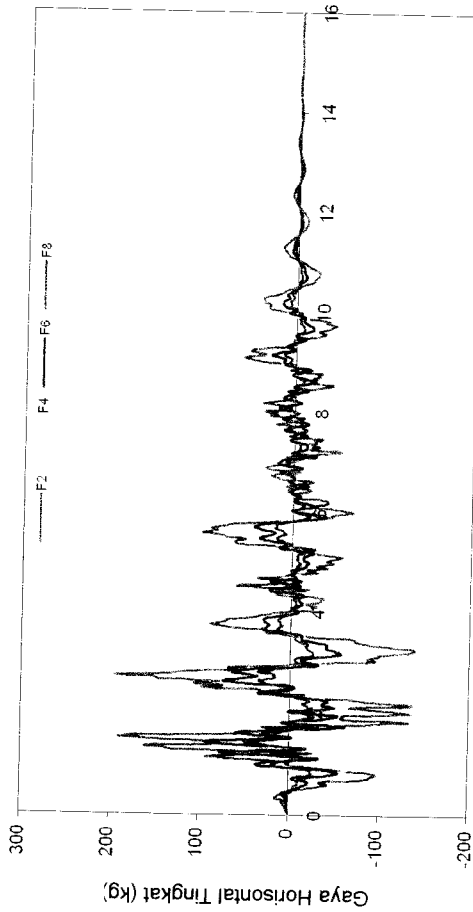
Waktu (dt)

A. Tipikal



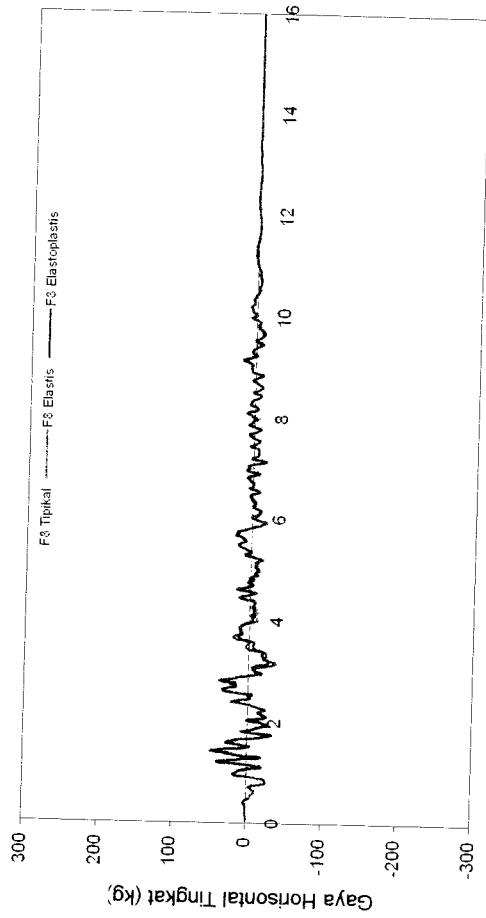
Waktu (dt)

B. Elastis



Waktu (dt)

C. Elastoplastis

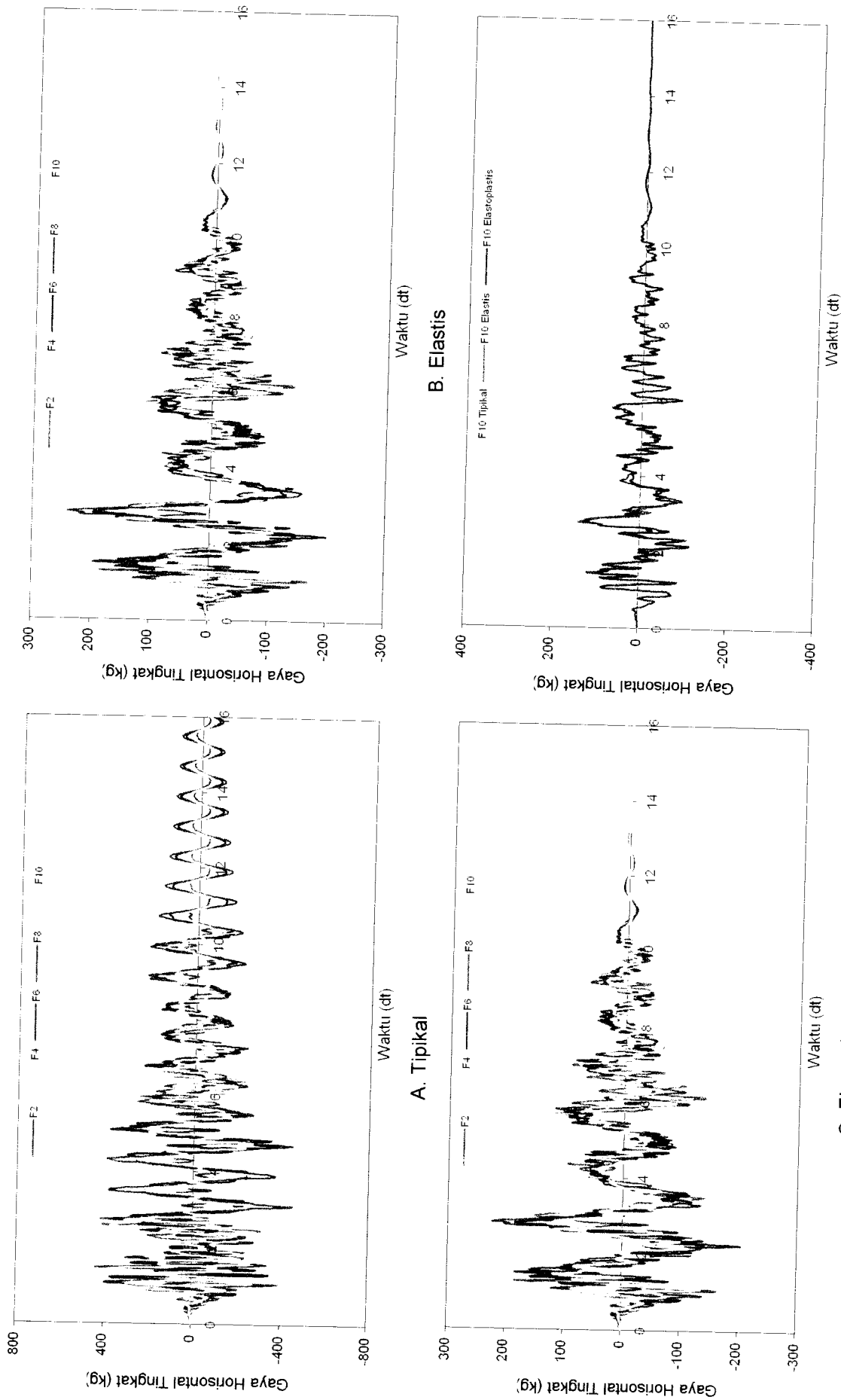


Waktu (dt)

D. Perbandingan Tingkat 8

Gambar 5.41 Grafik Perbandingan Gaya Horizontal Struktur 8 Tingkat Akibat Gempa Eicentro





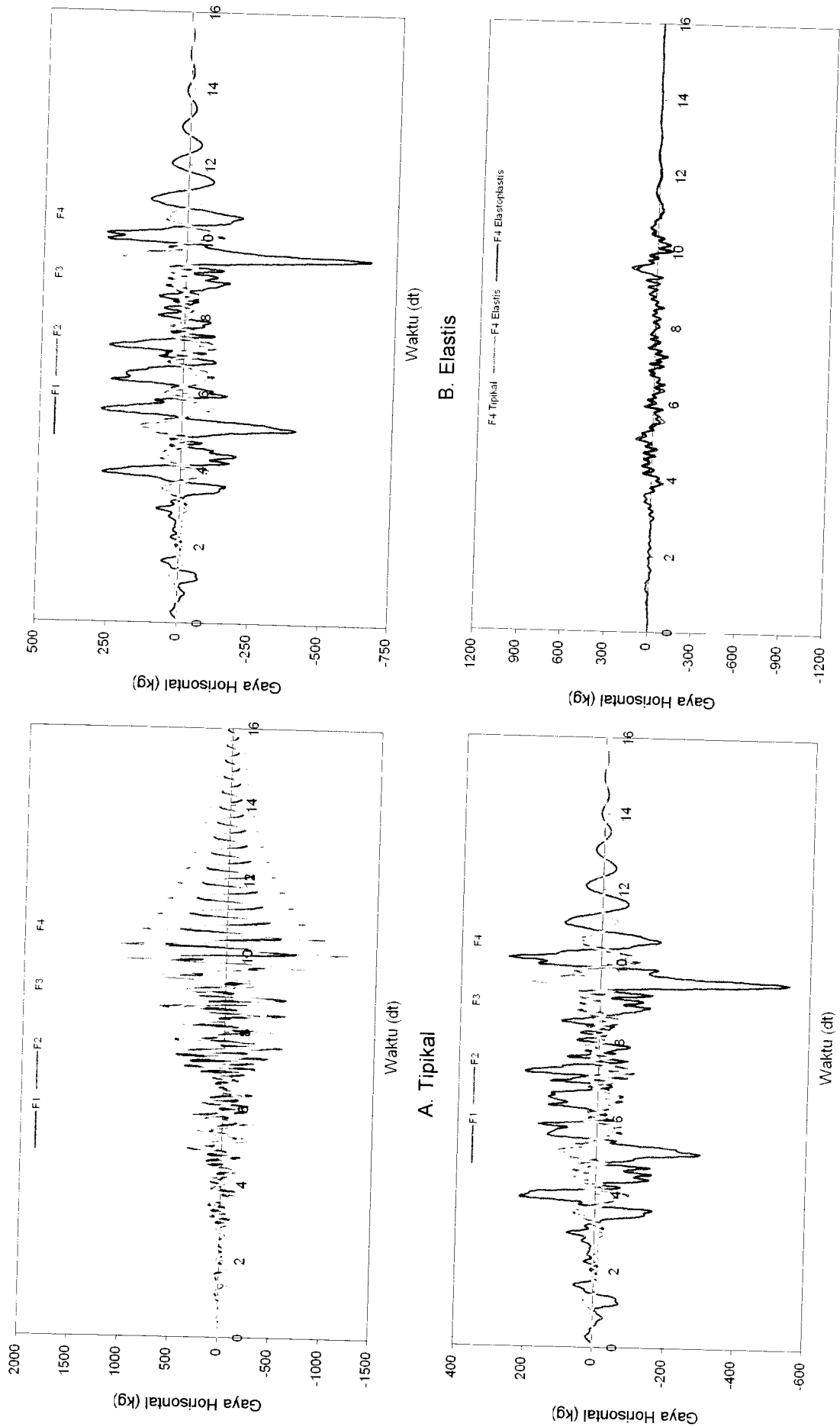
Gambar 5.42 Grafik Perbandingan Gaya Horizontal Struktur 10 Tingkat Akibat Gempa Elcentro

D. Perbandingan Tingkat 10

C. Elastoplastis

B. Elastis

A. Tipikal



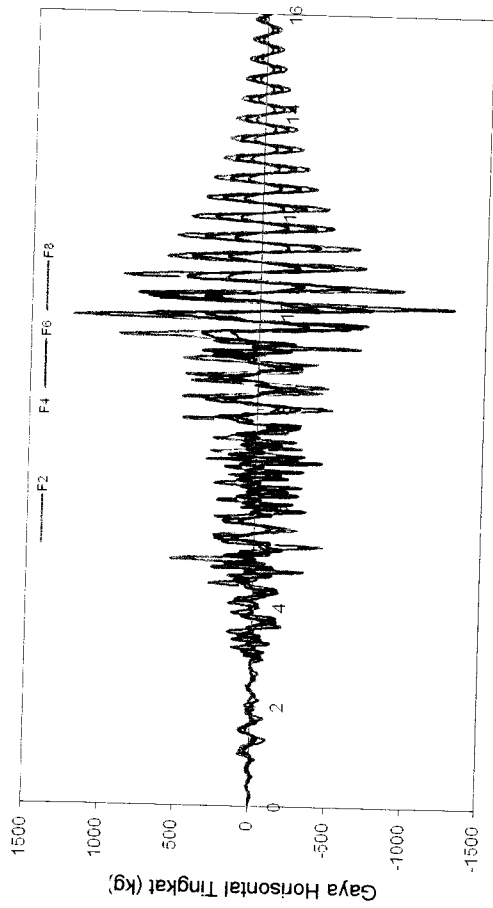
D. Perbandingan Tingkat 4

Gambar 5.43 Grafik Perbandingan Gaya Horizontal Struktur 4 Tingkat Akibat Gempa Santacruz

C. Elastoplastis

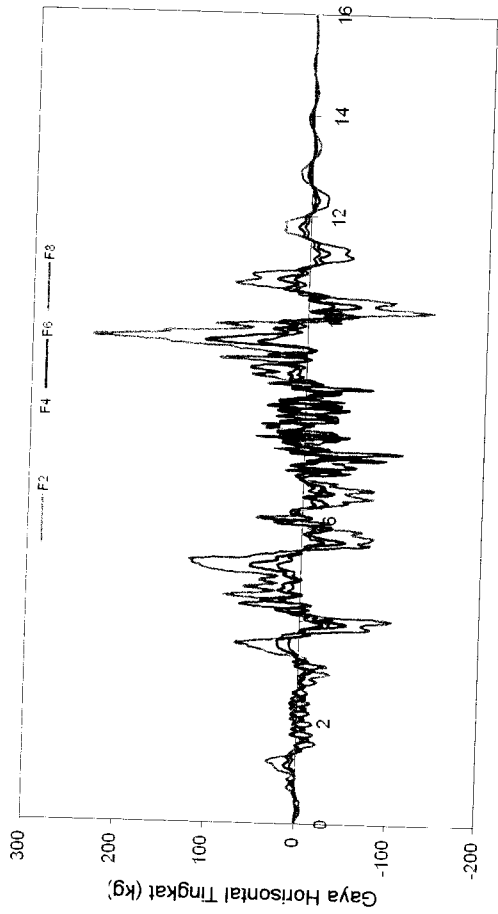
A. Tipikal

B. Elastis



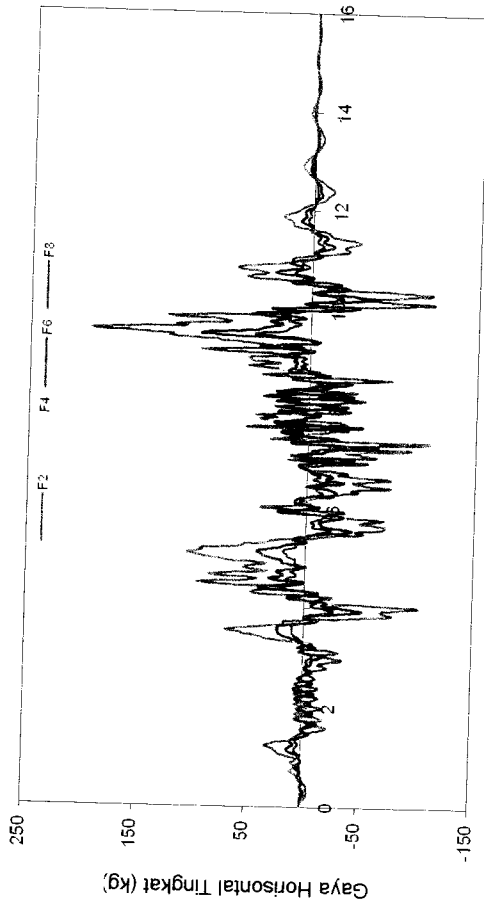
Waktu (dt)

A. Tipikal



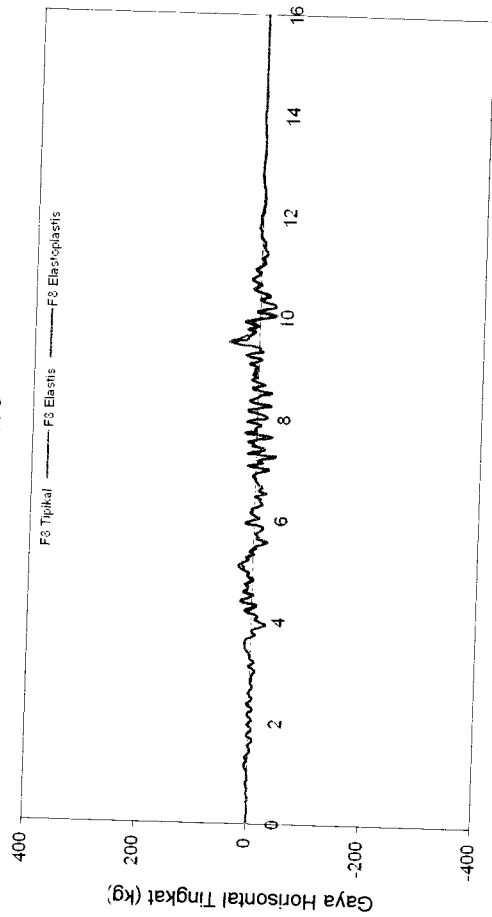
Waktu (dt)

B. Elastis



Waktu (dt)

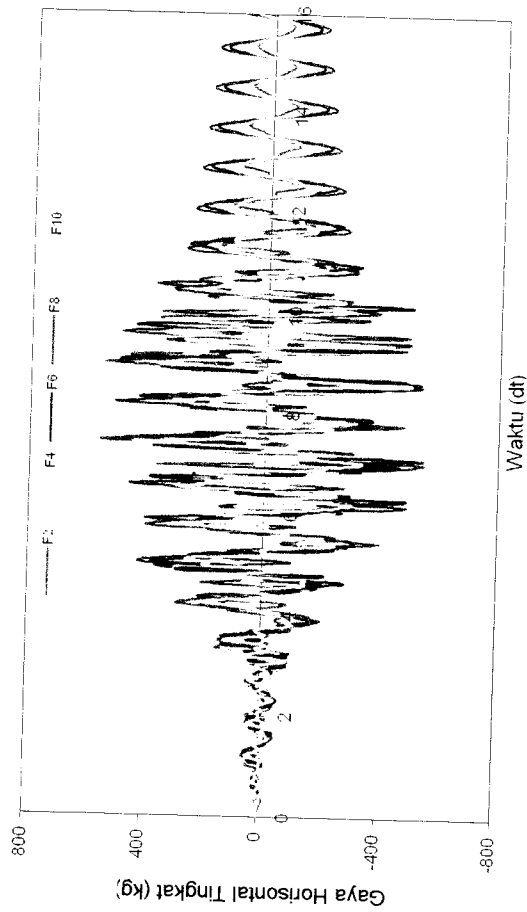
C. Elastoplastis



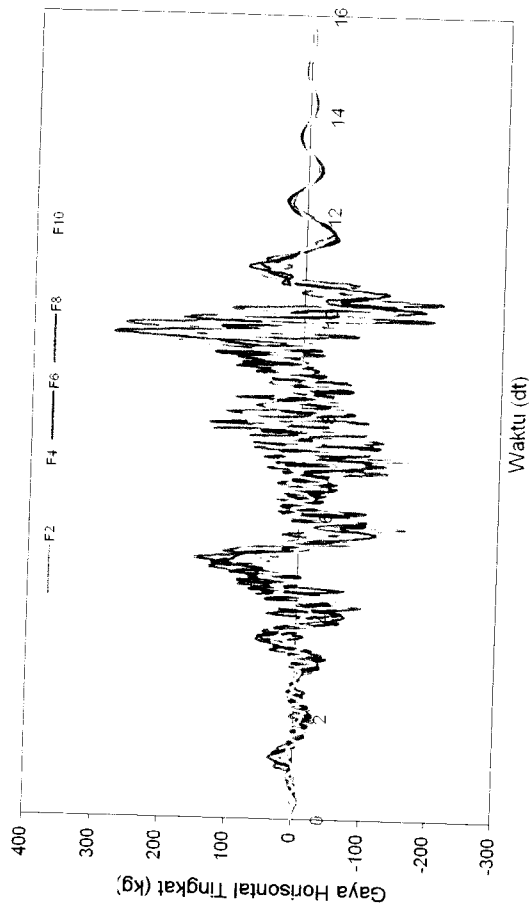
Waktu (dt)

D. Perbandingan Tingkat 8

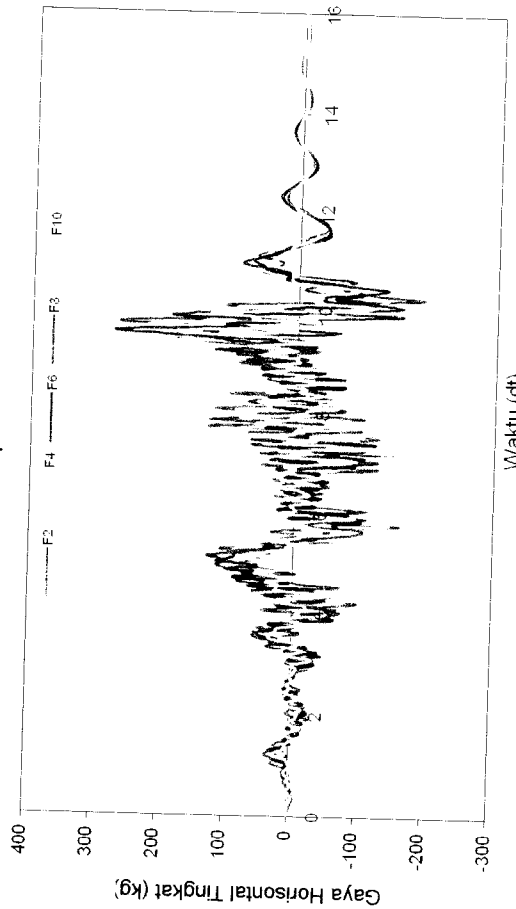
Gambar 5.44 Grafik Perbandingan Gaya Horizontal Struktur 8 Tingkat Akibat Gempa Santacruz



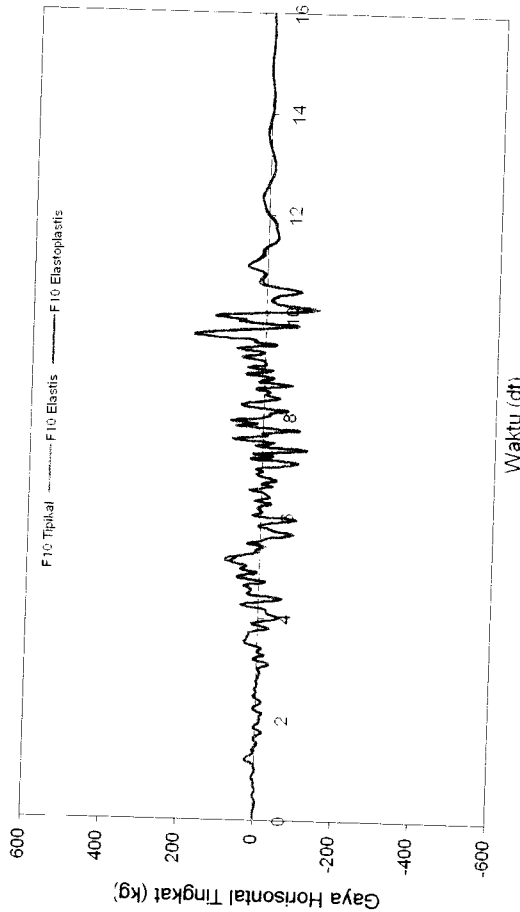
A. Tipikal



B. Elastis

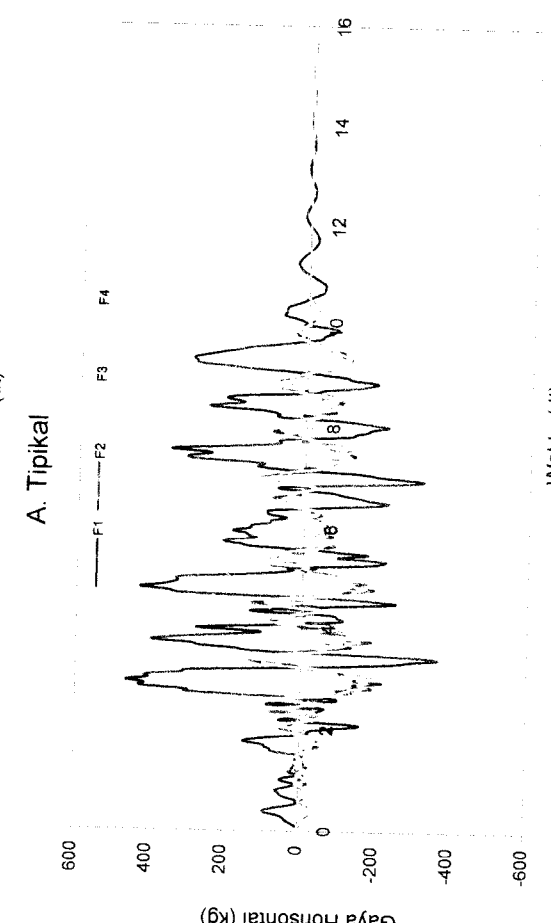
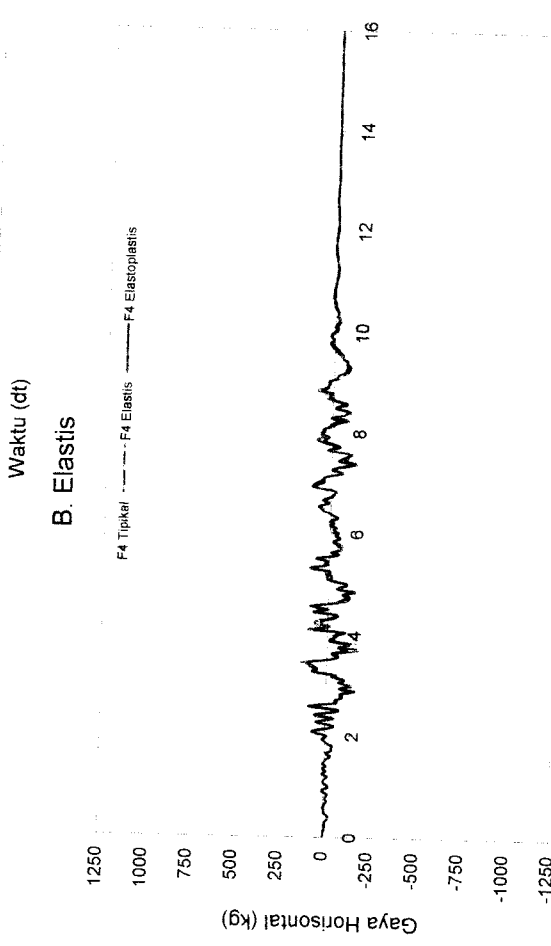
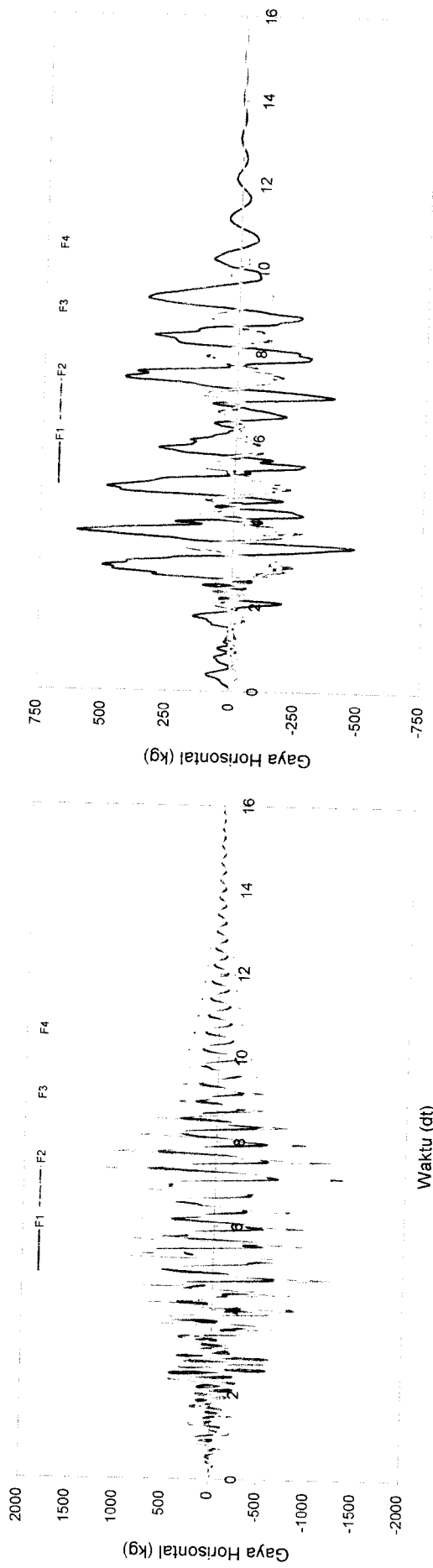


C. Elastoplastis



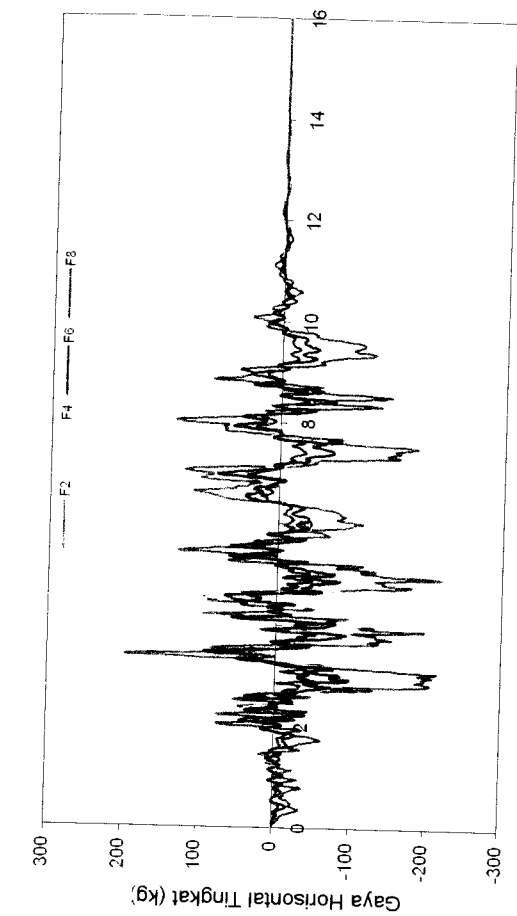
D. Perbandingan Tingkat 10

Gambar 5.45 Grafik Perbandingan Gaya Horizontal Struktur 10 Tingkat Akibat Gempa Santacruz

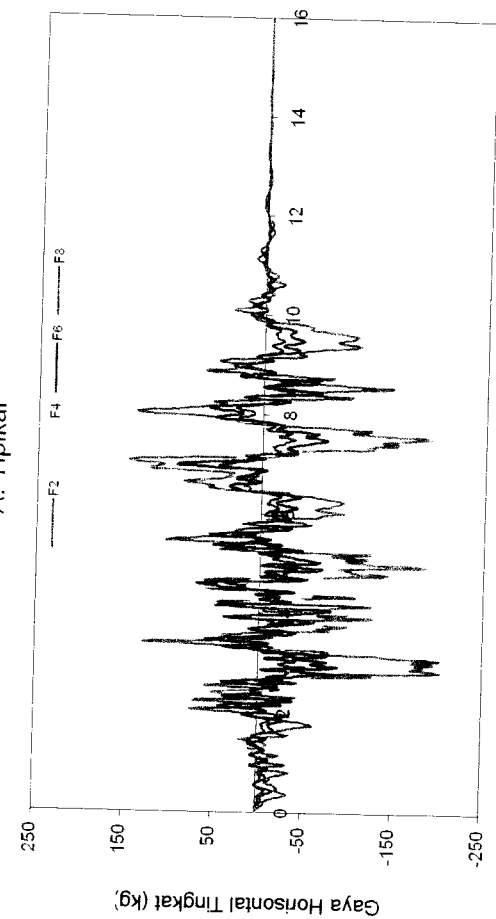


D. Perbandingan Tingkat 4

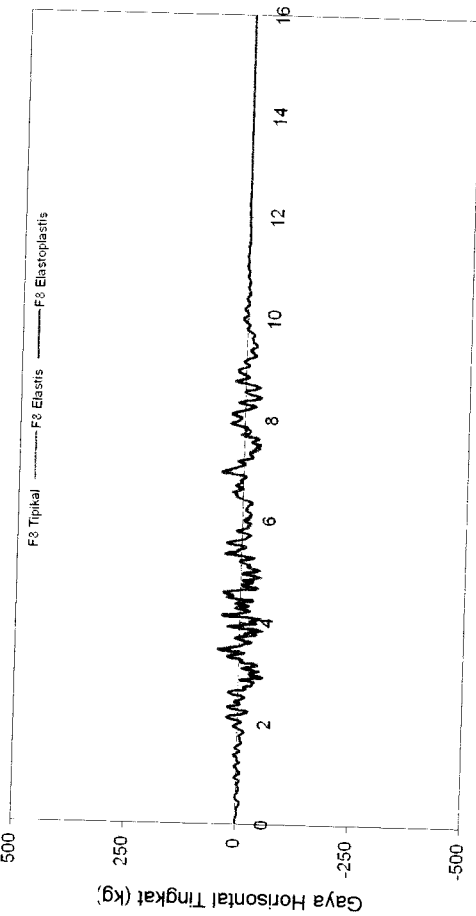
Gambar 5.46 Grafik Perbandingan Gaya Horizontal Struktur 4 Tingkat Akibat Gempa Koyna



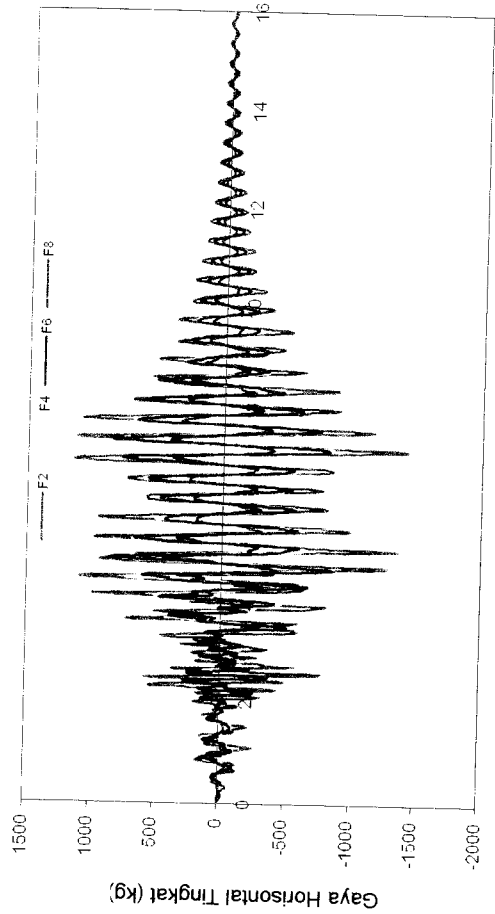
A. Tipikal



B. Elastis

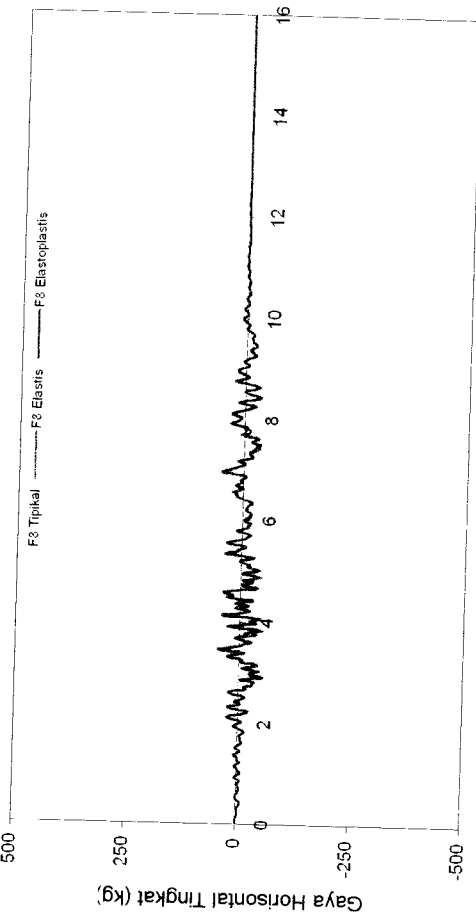


C. Elastoplastis



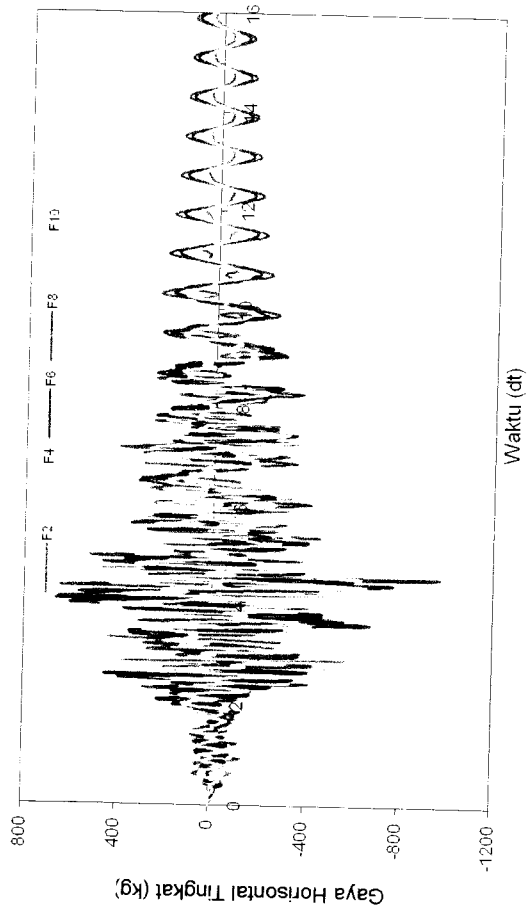
D. Perbandingan Tingkat 8

E. Elastis

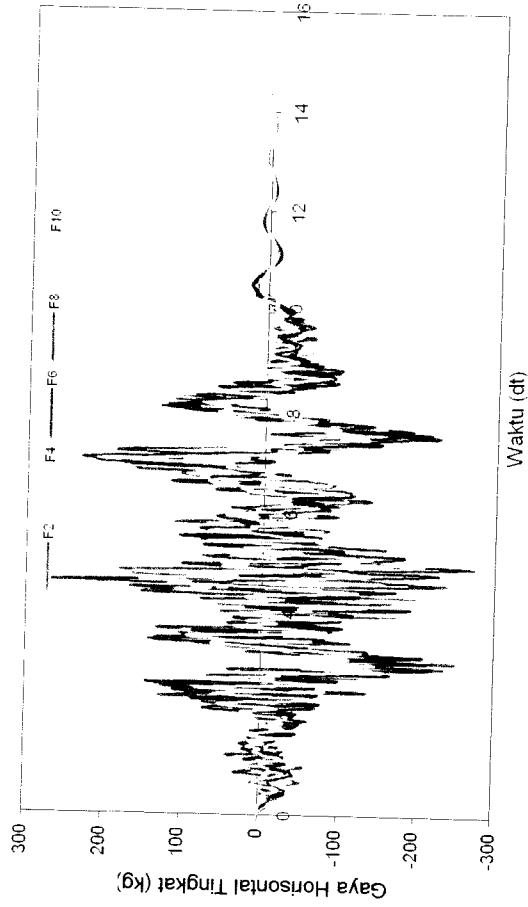


E. Elastoplastis

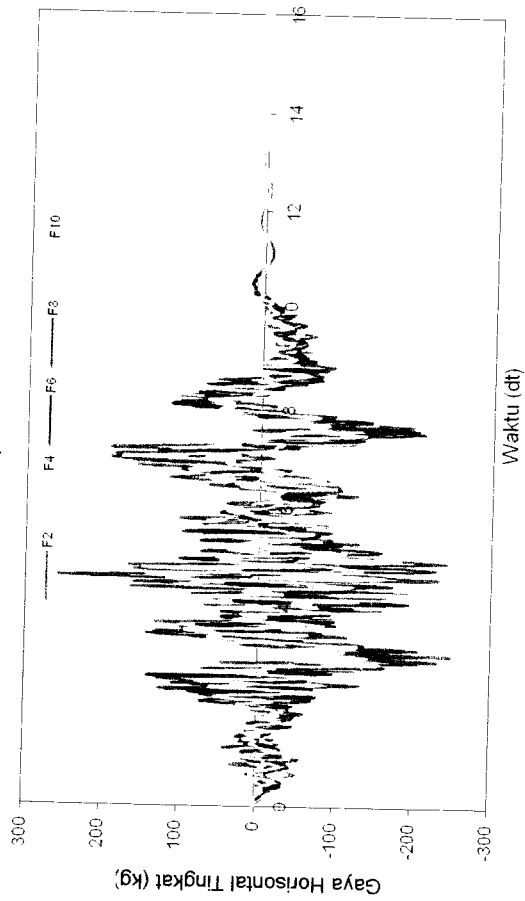
Gambar 5.47 Grafik Perbandingan Gaya Horizontal Struktur 8 Tingkat Akibat Gempa Koyna



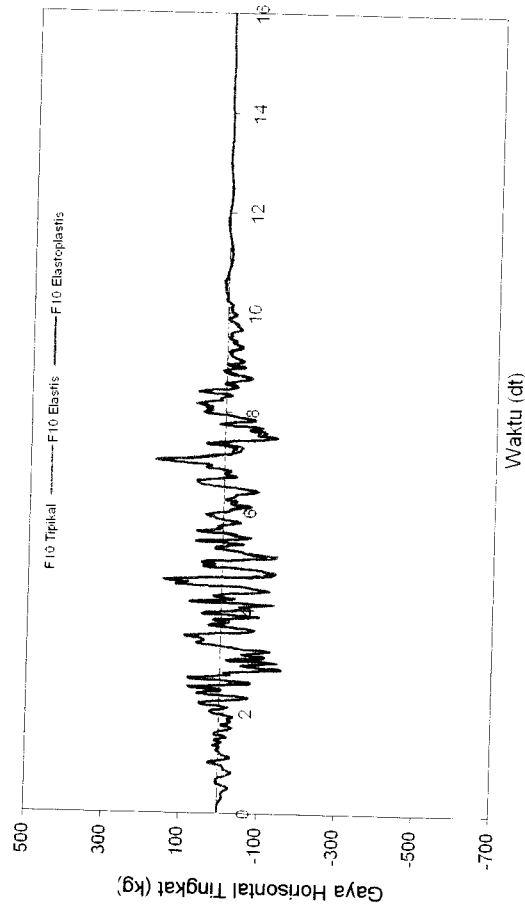
A. Tipikal



B. Elastis



C. Elastoplastis



D. Perbandingan Tingkat 10

Gambar 5.48 Grafik Perbandingan Gaya Horizontal Struktur 10 Tingkat Akibat Gempa Koyna

#### 5.3.4 Gaya Geser Tingkat.

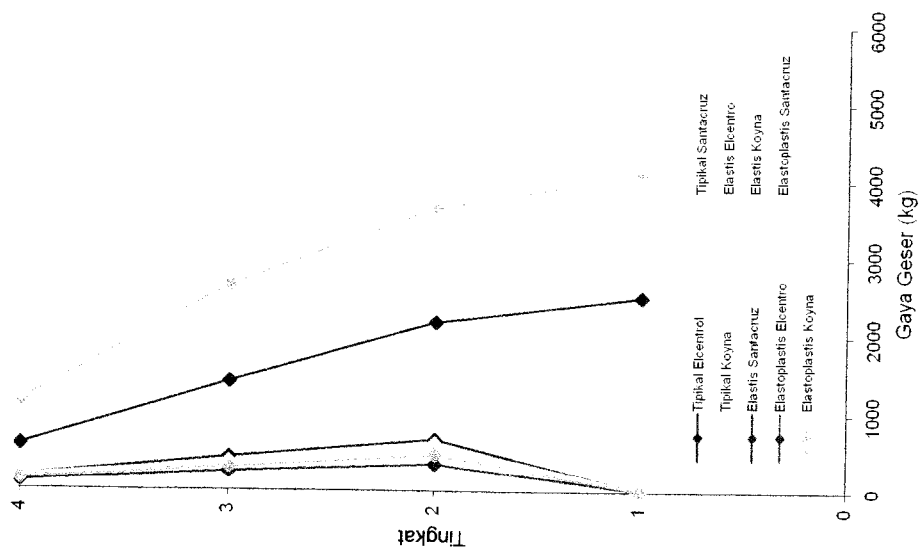
Dari hasil program dapat disajikan nilai-nilai gaya geser tingkat struktur 4, 8, dan 10 tingkat dengan variasi 3 gempa, dengan memperhatikan hasil grafik Gaya Geser maksimum yang terdapat pada **Gambar 5.49** sampai dengan **Gambar 5.52** maka,

Pada struktur dengan *base isolation* terdapat titik belok yang sangat ekstrim dari tingkat 1 ke tingkat 2 dimana pada tingkat 1 terdapat *base isolation*. Gaya geser tingkat pada struktur dengan *base isolation* mendekati nol kemudian cenderung meningkat pada awal tingkat dan terus mengecil pada tingkat dimana ada pengurangan kekakuan. Hal ini juga disebabkan karena gaya geser adalah penjumlahan dari gaya horisontal tingkat (**pers 3.57**). Jika gaya horisontal semakin mengecil maka nilai gaya geser juga ikut mengecil.

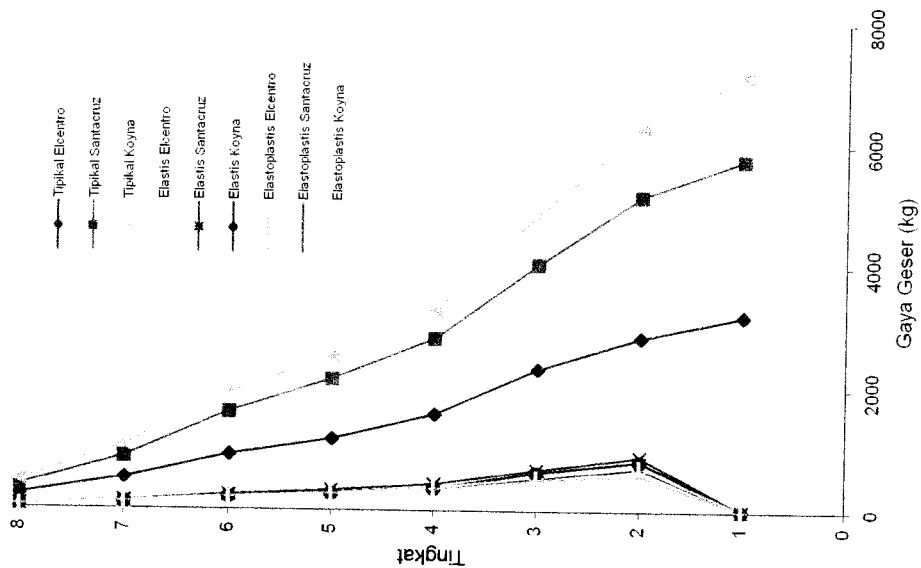
Pengaruh frekuensi gempa dan umlah tingkat bangunan mempengaruhi nilai gaya geser tingkat baik struktur dengan dan tanpa *base isolation*. Pada **Gambar 5.49** tampak bahwa struktur 4 tingkat baik dengan atau tanpa *base isolation* yang dikenai gempa Elcentro mempunyai gaya geser yang paling kecil dibanding nilai gaya geser struktur 8 dan 10 tingkat yang dikenai gempa Santacruz dan gempa Koyna, hal ini disebabkan gempa Elcentro memiliki frekuensi gempa yang lebih rendah dibanding kedua gempa tersebut. Sedangkan gaya geser maksimum terbesar terjadi pada struktur 10 tingkat yang dikenai gempa Koyna karena gempa Koyna memiliki frekuensi paling tinggi.



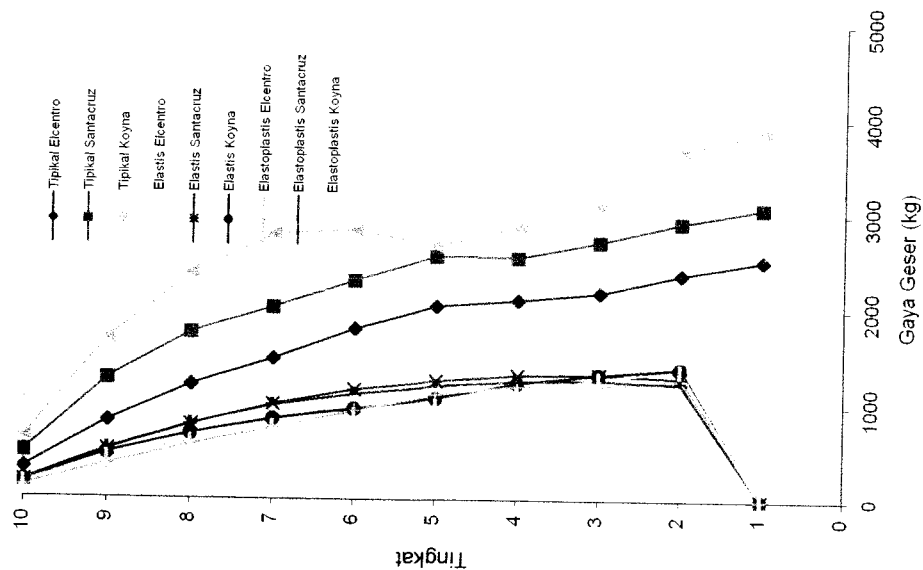
Gaya geser tingkat pada struktur 4, 8 dan 10 tingkat dengan *base isolation* sangat rapat antara gempa Santacruz dan Gempa Koyna baik dengan *base isolation* (elastis) maupun dengan *base isolation* (elastoplastis) hal ini disebabkan karena keduanya memiliki frekuensi gempa tinggi sehingga nilai gaya geser antara keduanya berhimpit, jadi bisa dikatakan bahwa anggapan *base isolation* (elastoplastis) sama dengan *base isolation* (elastis).



A. Struktur 4 Tingkat

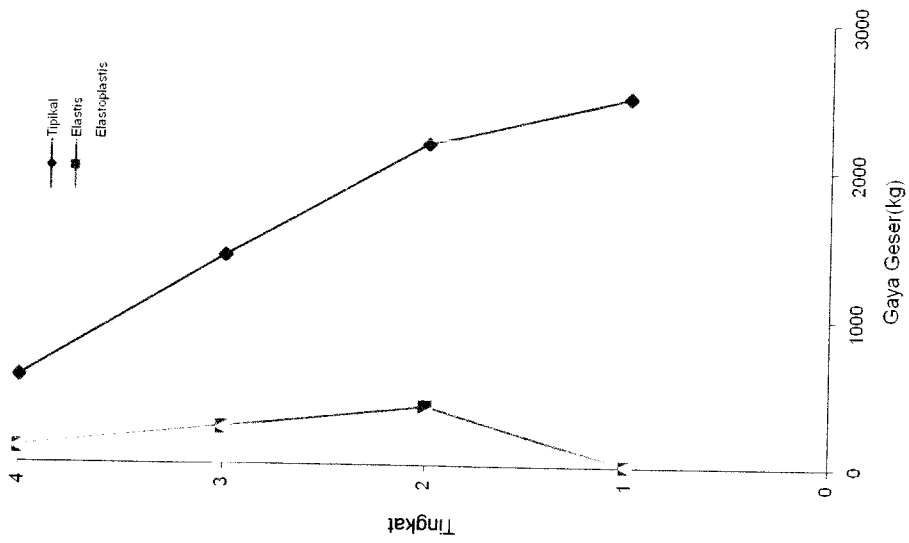


B. Struktur 8 Tingkat

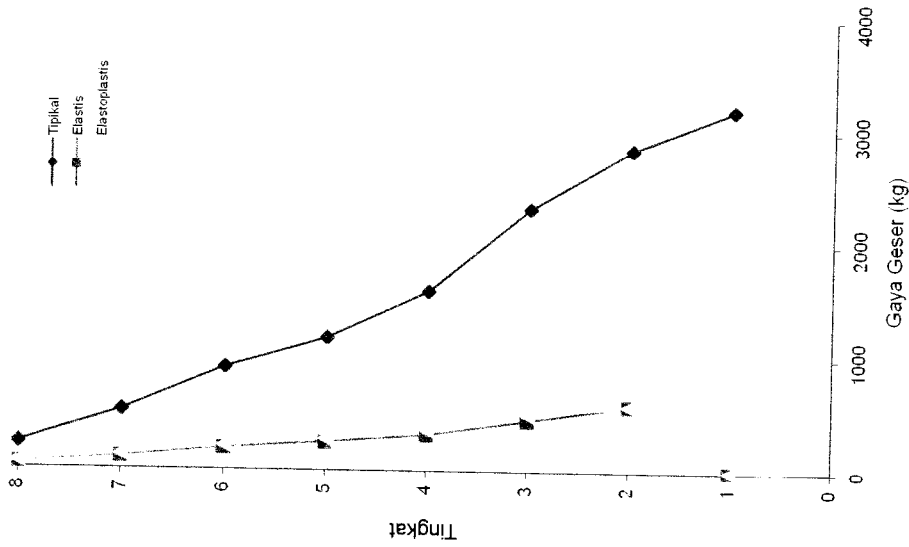


C. Struktur 10 Tingkat

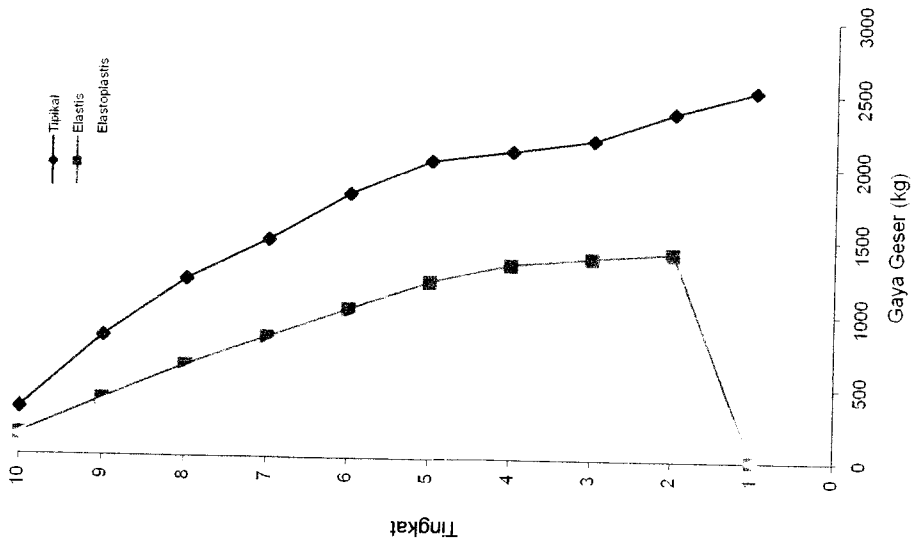
Gambar 5.49 Grafik Perbandingan Gaya Geser Maksimum Antara Bangunan Dengan Dan Tanpa Base Isolation Akibat 3 Gempa



A. Struktur 4 Tingkat

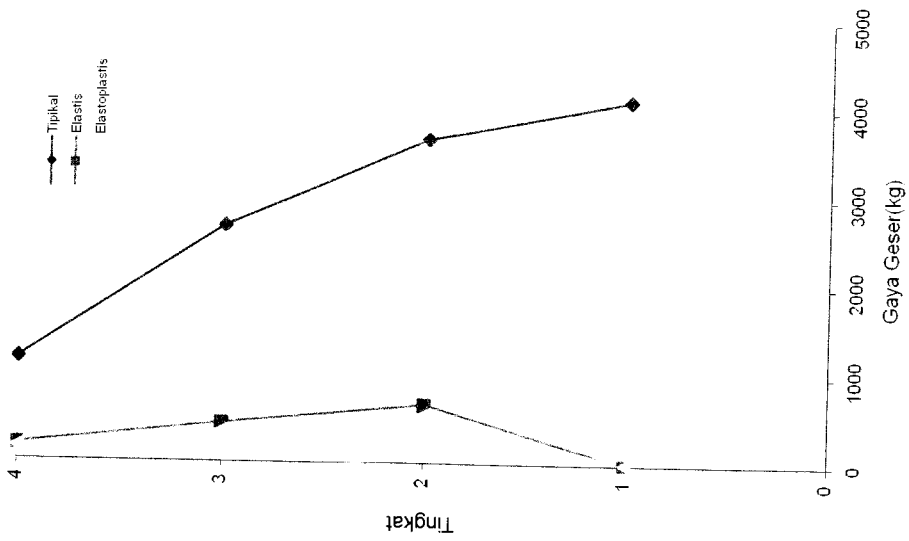


B. Struktur 8 Tingkat

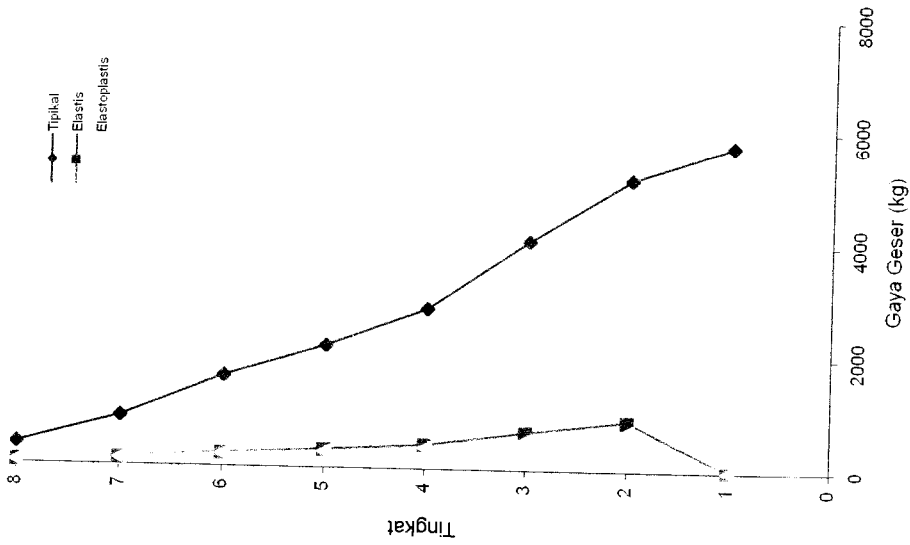


C. Struktur 10 Tingkat

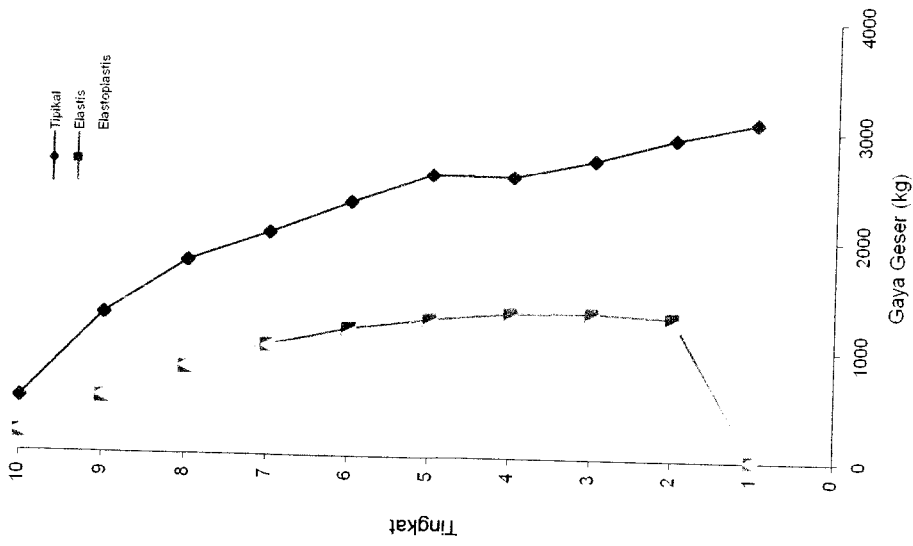
Gambar 5.50 Grafik Perbandingan Gaya Geser Maksimum Antara Bangunan Dengan Dan Tanpa Base Isolation Akibat Gempa Elcentro



A. Struktur 4 Tingkat

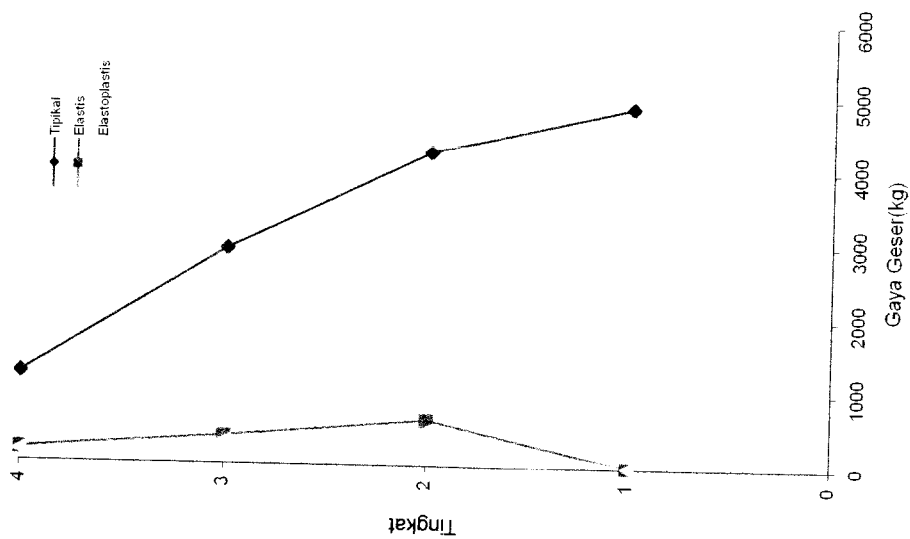


B. Struktur 8 Tingkat

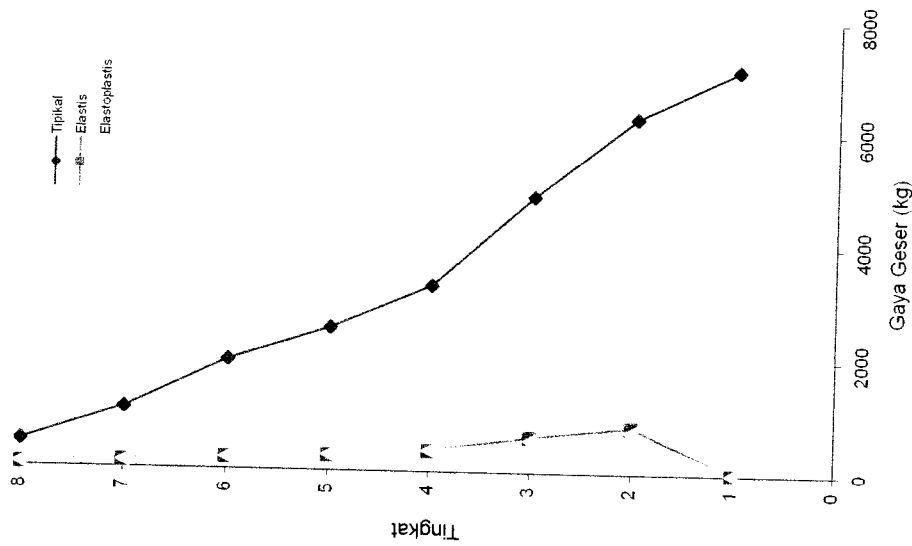


C. Struktur 10 Tingkat

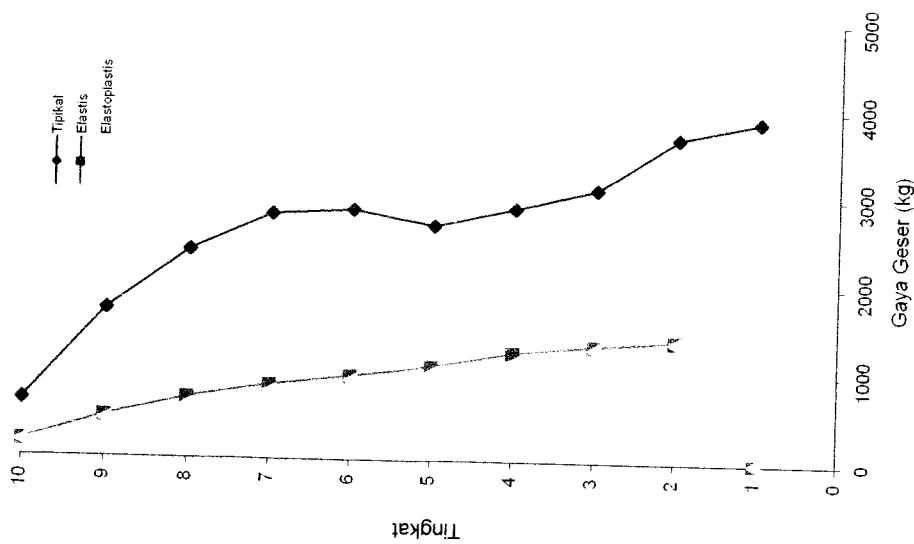
Gambar 5.51 Grafik Perbandingan Gaya Geser Maksimum Antara Bangunan Dengan Dan Tanpa Base Isolation Akibat Gempa Santacruz



A. Struktur 4 Tingkat

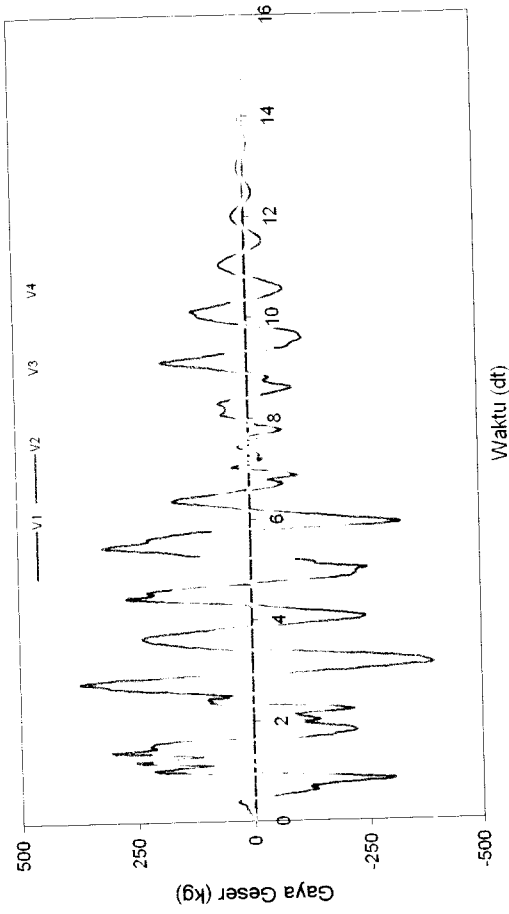


B. Struktur 8 Tingkat



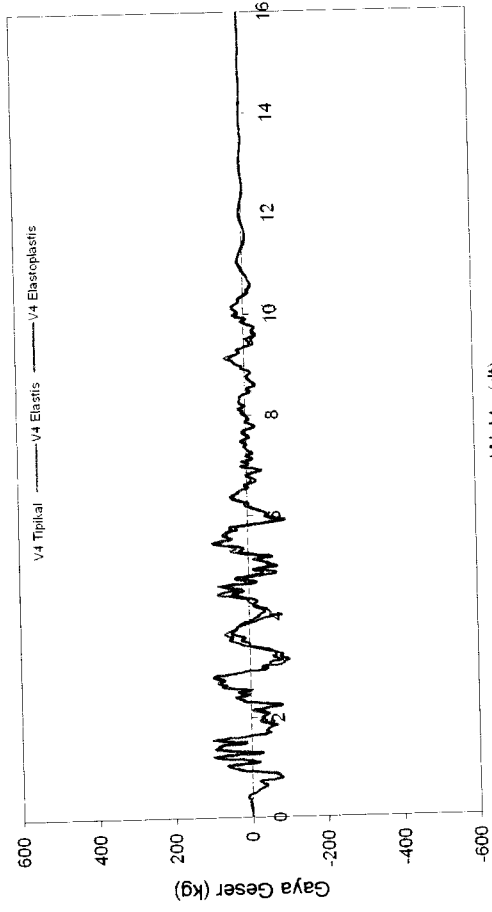
C. Struktur 10 Tingkat

Gambar 5.52 Grafik Perbandingan Gaya Geser Maksimum Antara Bangunan Dengan Dan Tanpa Base Isolation Akibat Gempa Koyna



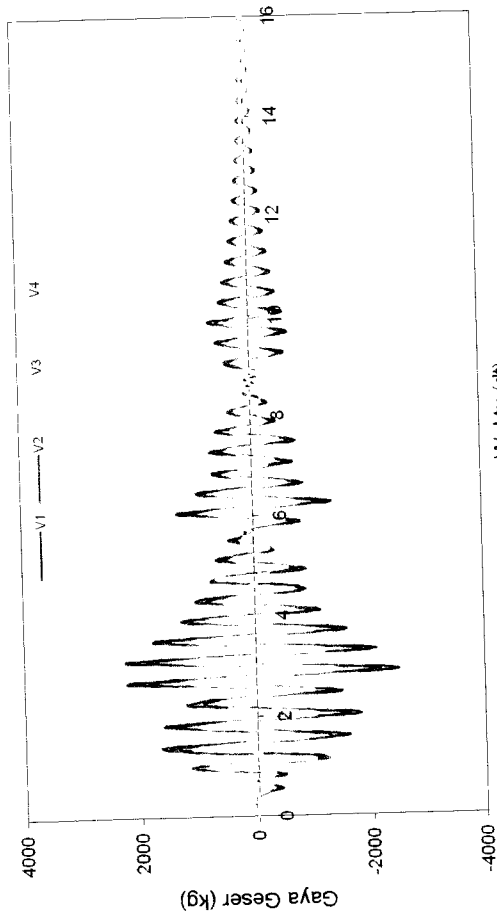
Waktu (dt)

### B. Elastis



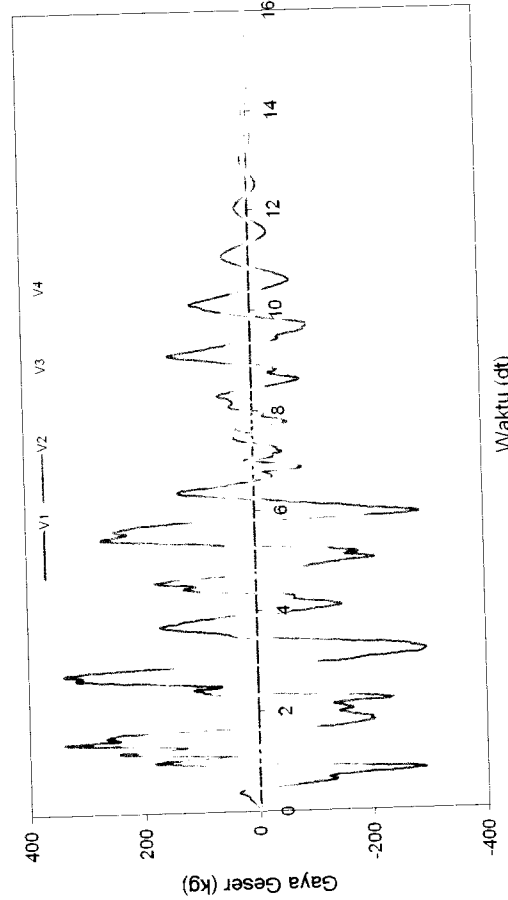
Waktu (dt)

### D. Perbandingan Tingkat 4



Waktu (dt)

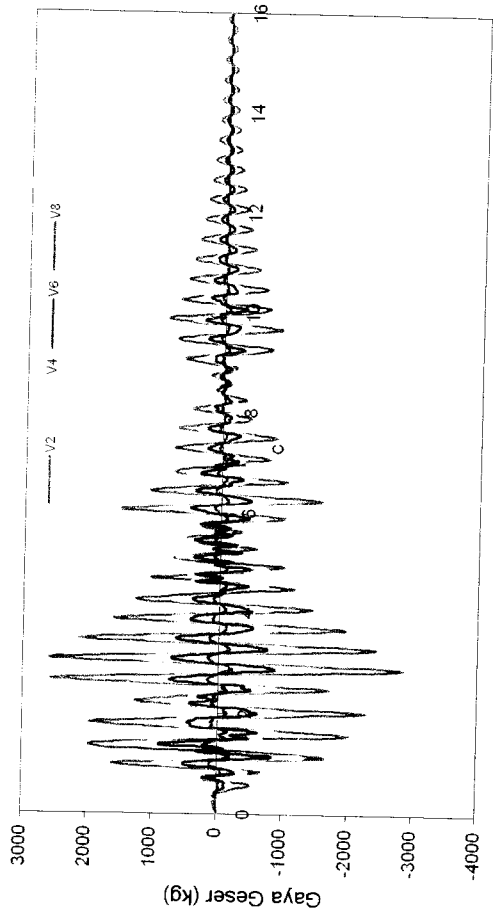
### A. Tipikal



Waktu (dt)

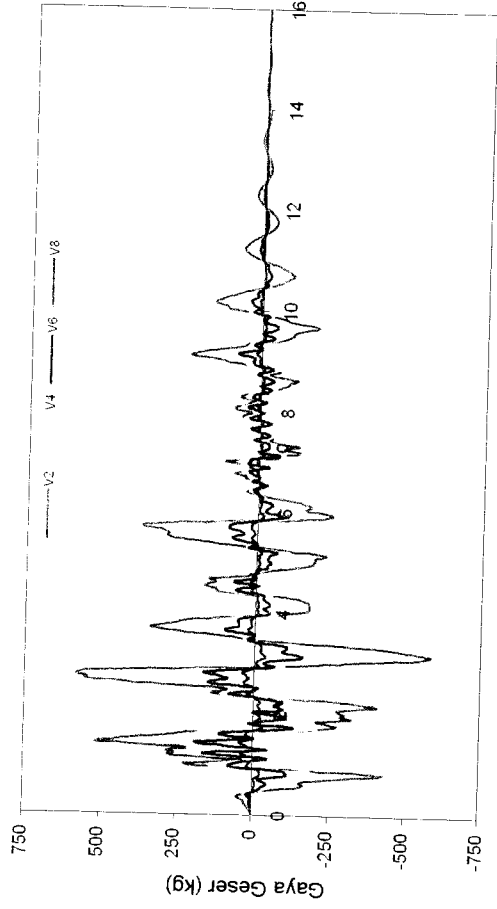
### C. Elastoplastis

Gambar 5.53 Grafik Perbandingan Gaya Geser Struktur 4 Tingkat Akibat Gempa Elcentro



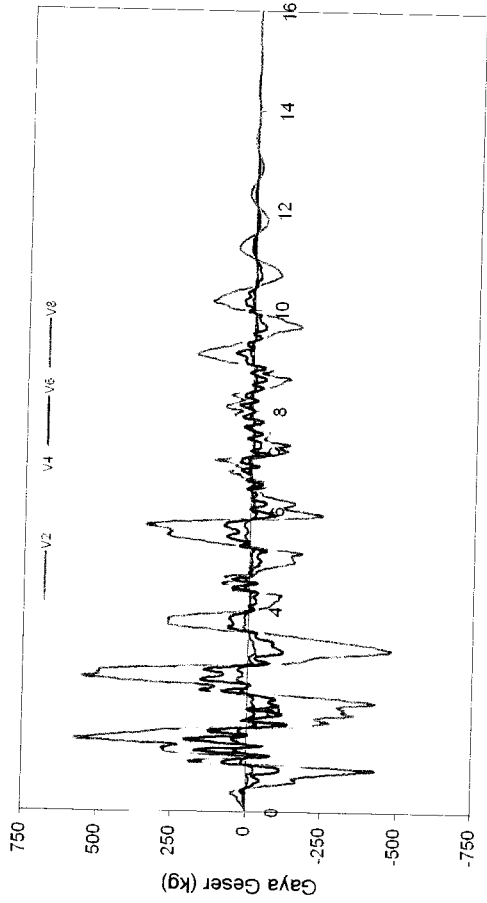
Waktu (dt)

A. Tipikal



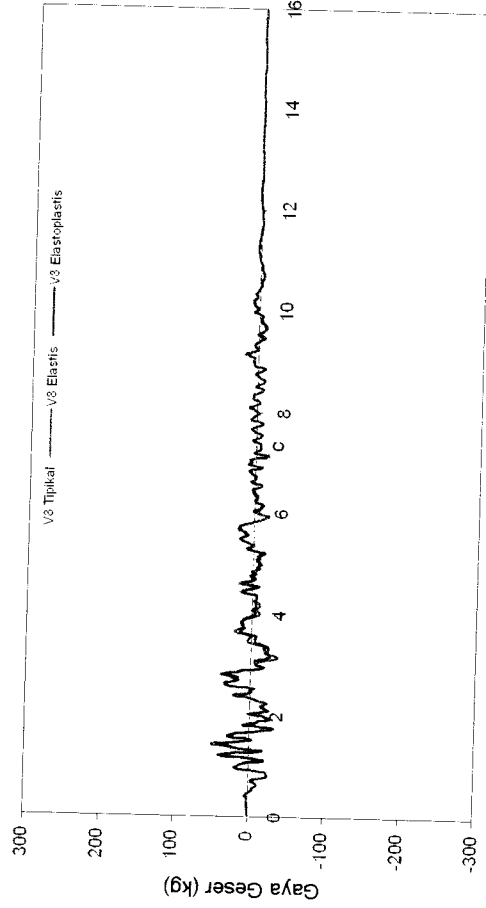
Waktu (dt)

B. Elastis



Waktu (dt)

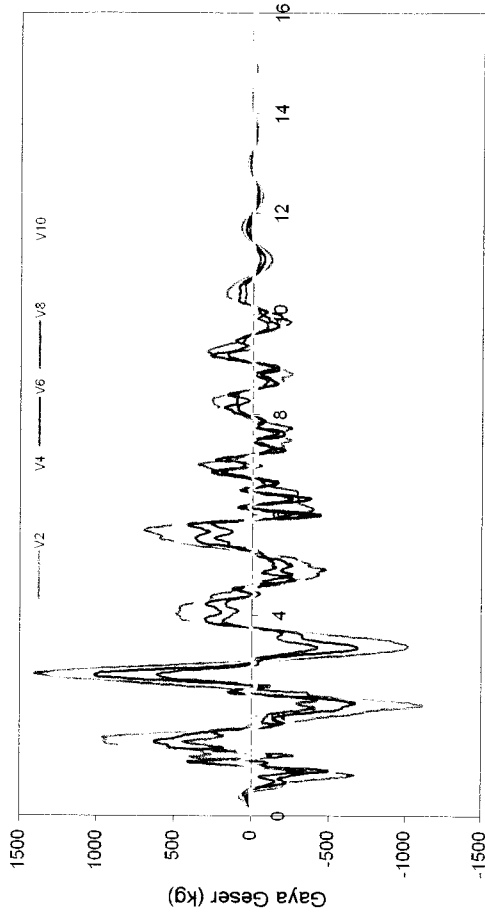
C. Elastoplastis



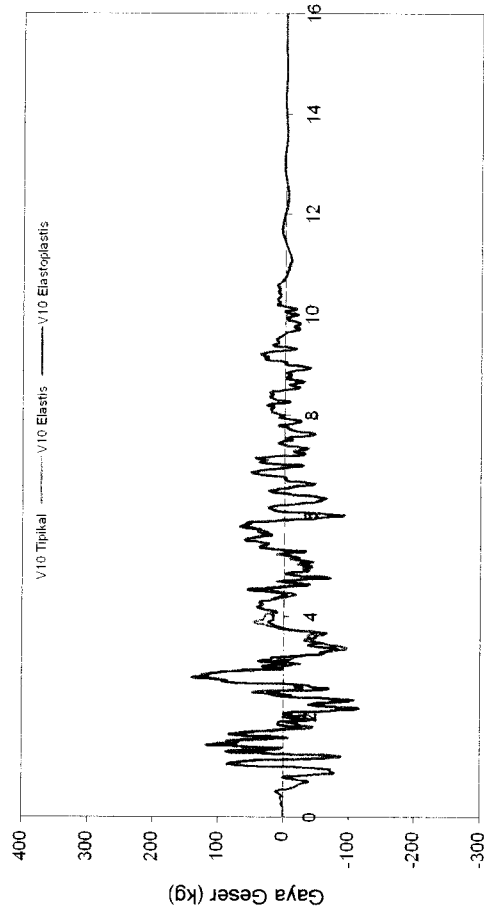
Waktu (dt)

D. Perbandingan Tingkat 8

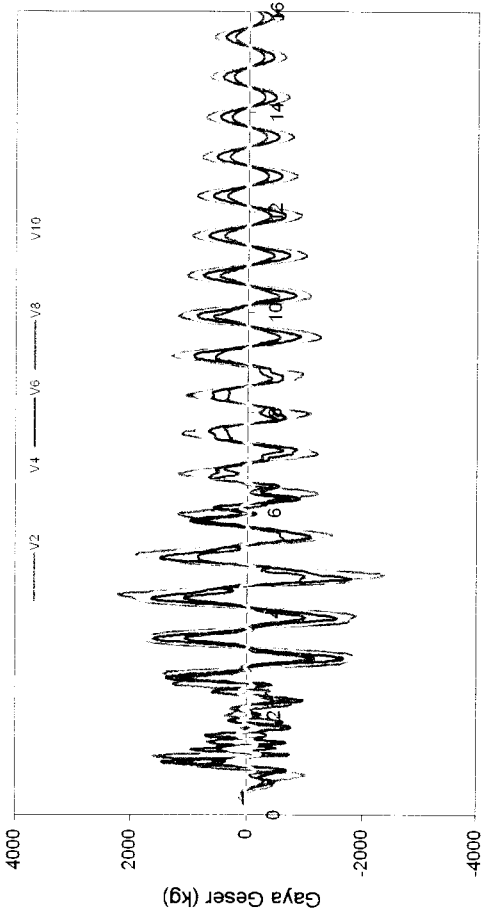
Gambar 5.54 Grafik Perbandingan Gaya Geser Struktur 8 Tingkat Akibat Gempa Elcentro



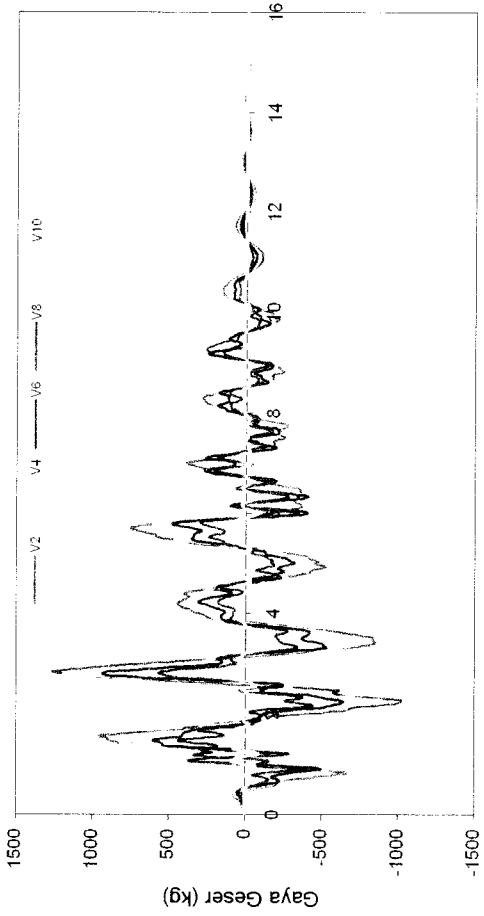
A. Tipikal



B. Elastis



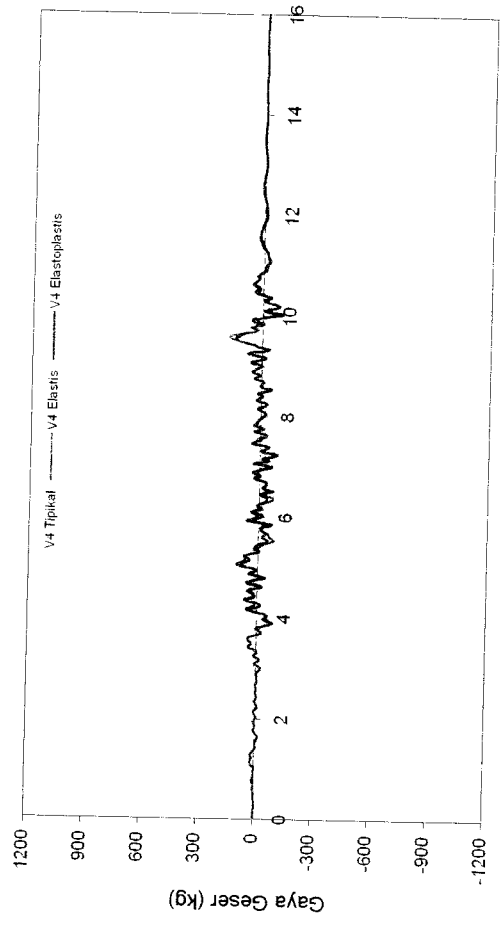
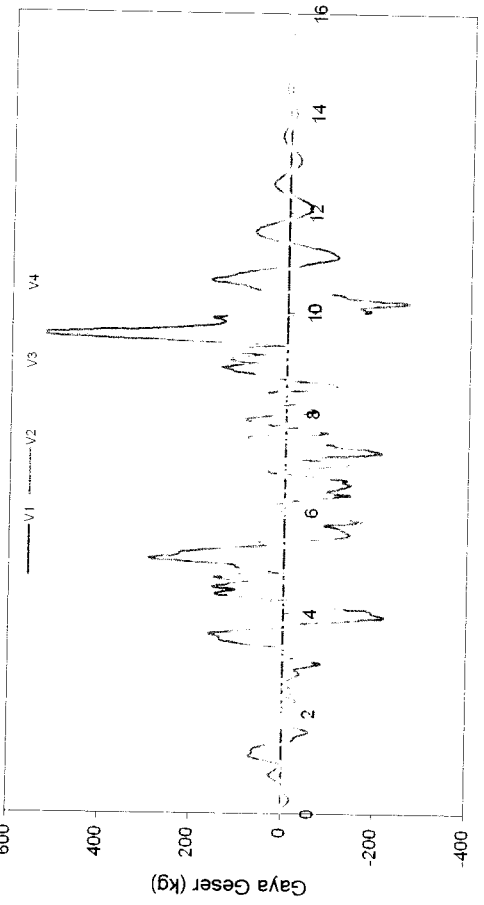
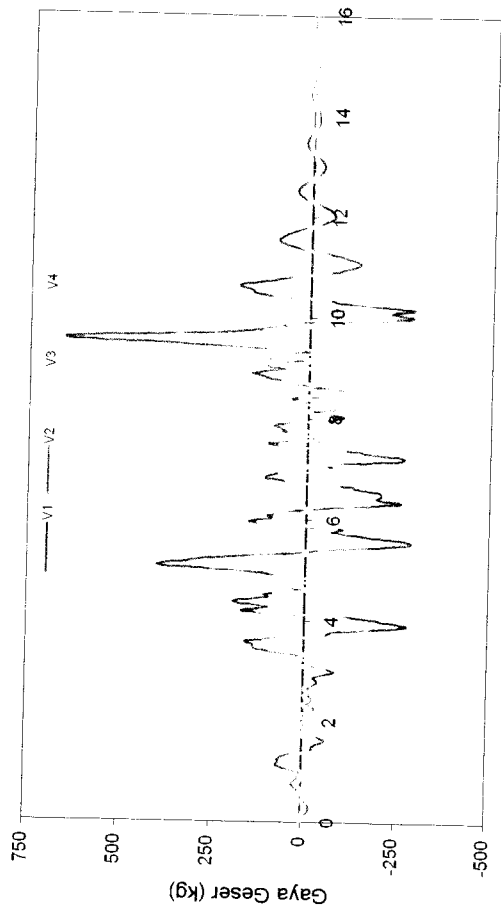
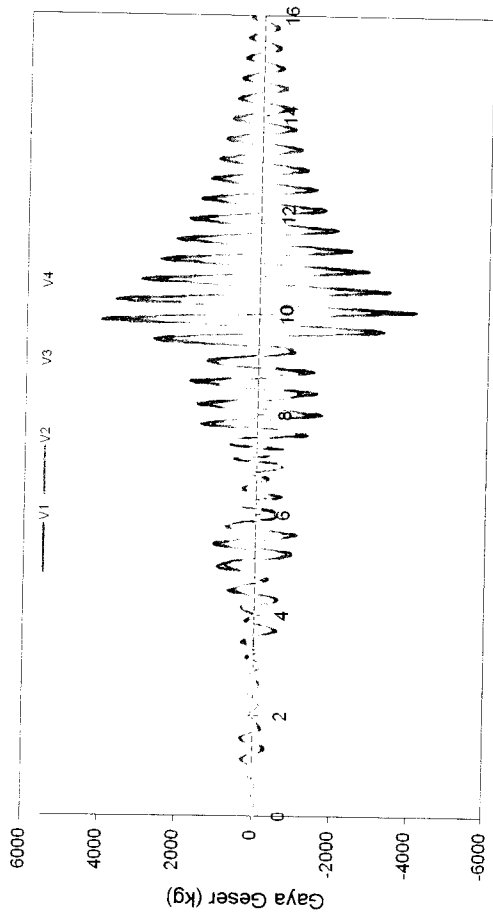
C. Elastoplastis



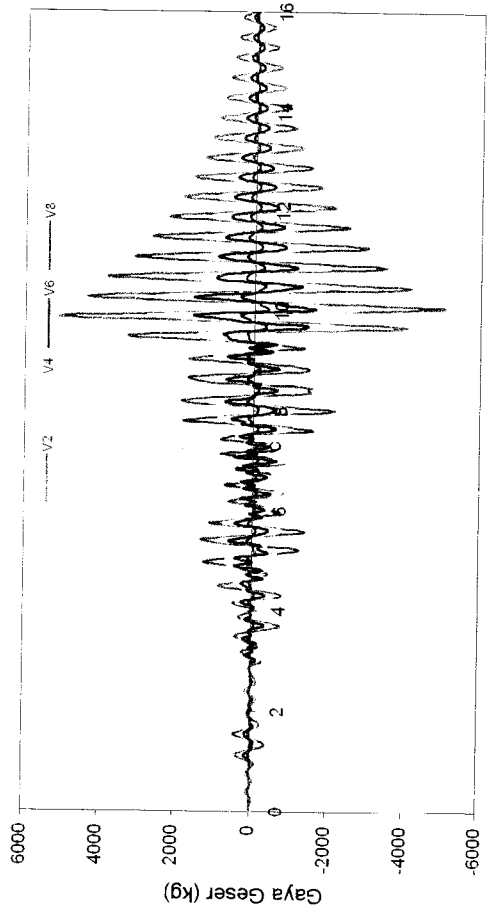
D. Perbandingan Tingkat 10

Gambar 5.55 Grafik Perbandingan Gaya Geser Struktur 10 Tingkat Akibat Gempa Elcentro



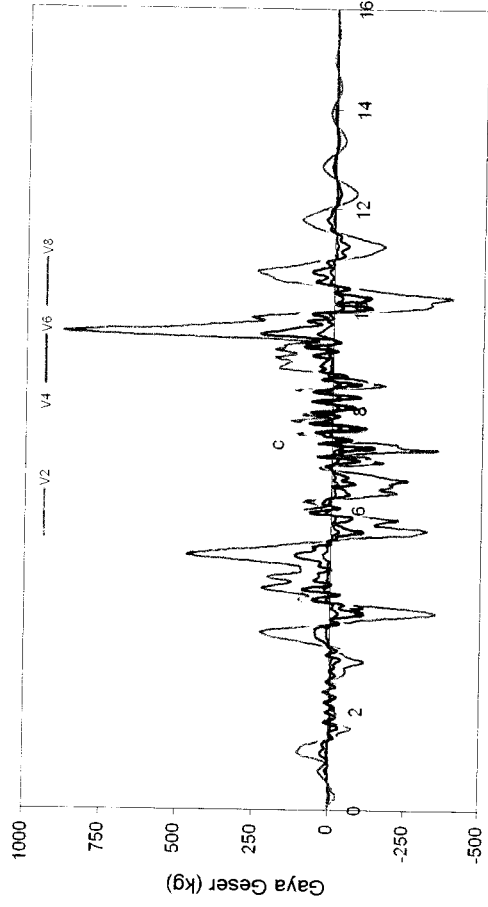


Gambar 5.56 Grafik Perbandingan Gaya Geser Struktur 4 Tingkat Akibat Gempa Santacruz



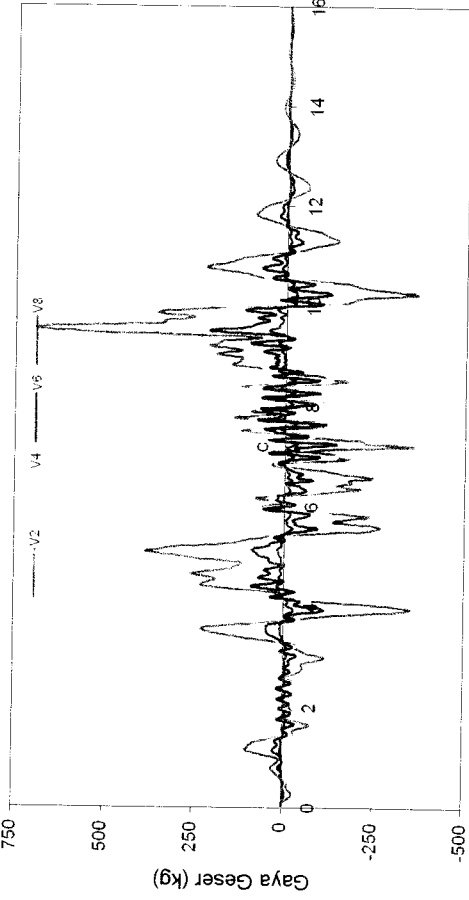
Waktu (dt)

A. Tipikal



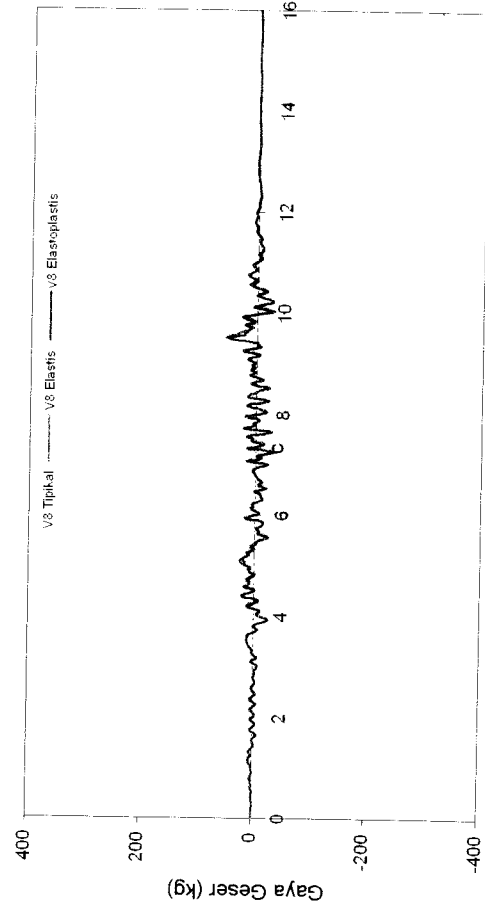
Waktu (dt)

B. Elastis



Waktu (dt)

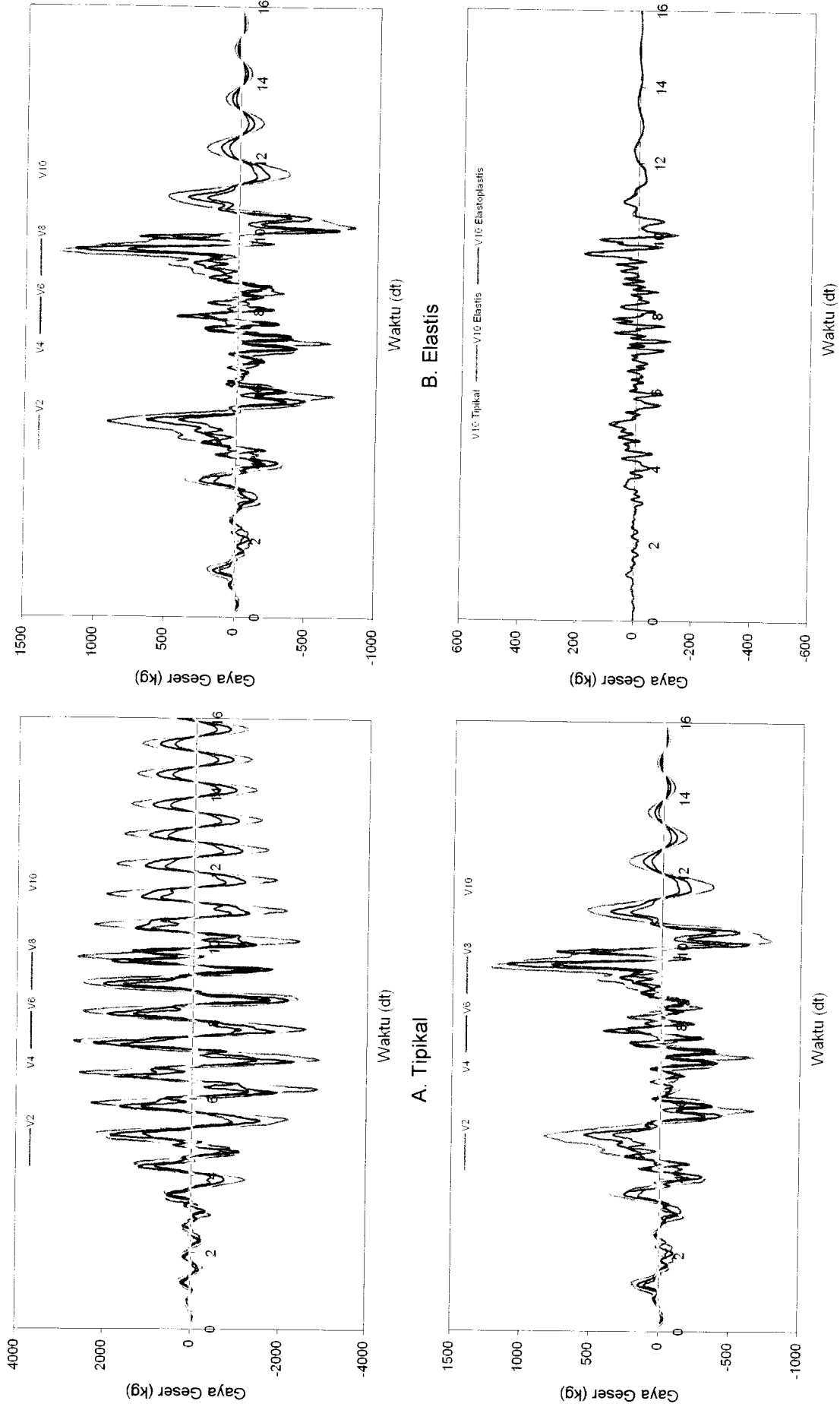
C. Elastoplastis



Waktu (dt)

D. Perbandingan Tingkat 8

Gambar 5.57 Grafik Perbandingan Gaya Geser Struktur 8 Tingkat Akibat Gempa Santacruz



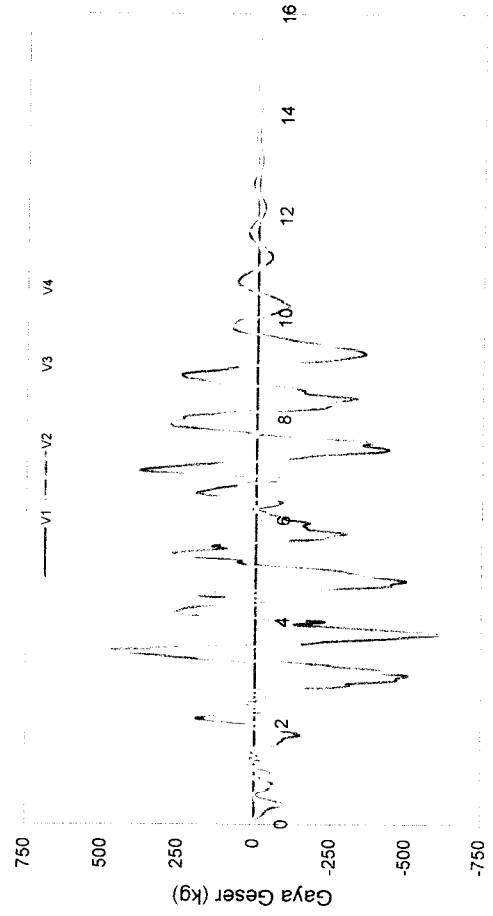
Gambar 5.58 Grafik Perbandingan Gaya Geser Struktur 10 Tingkat Akibat Gempa Santacruz

D. Perbandingan Tingkat 10

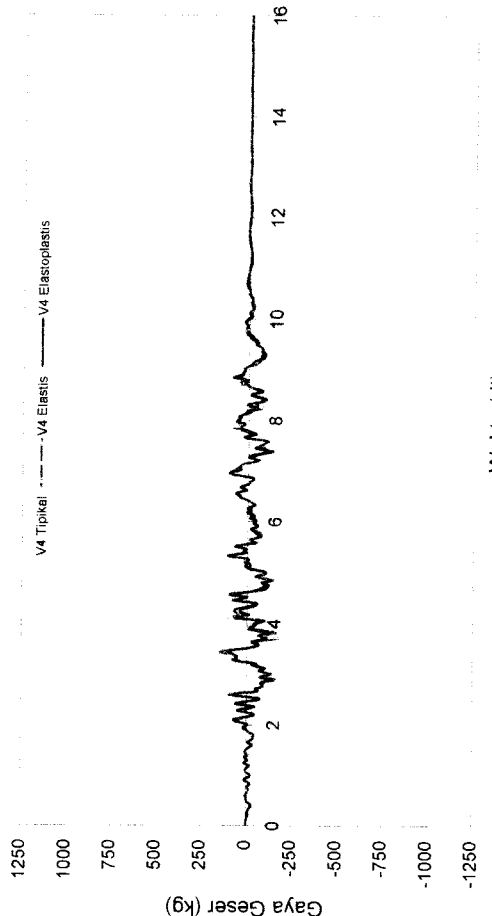
C. Elastoplastis

A. Tipikal

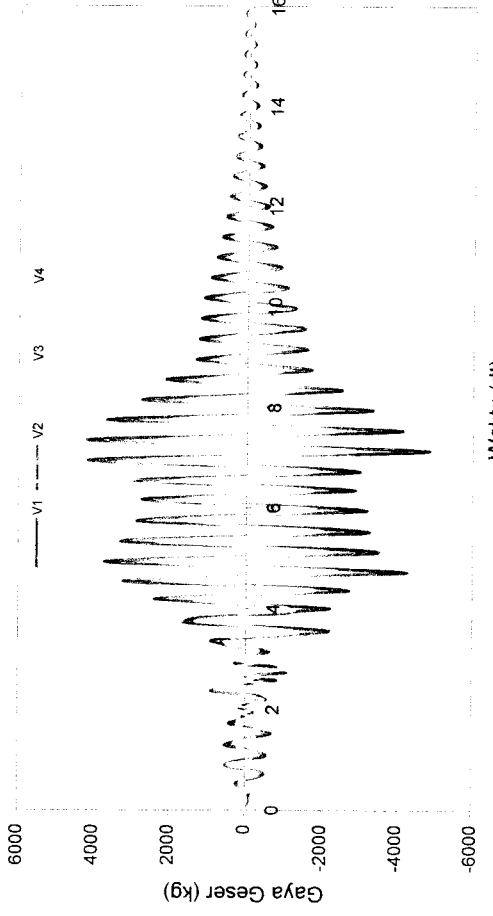
B. Elastis



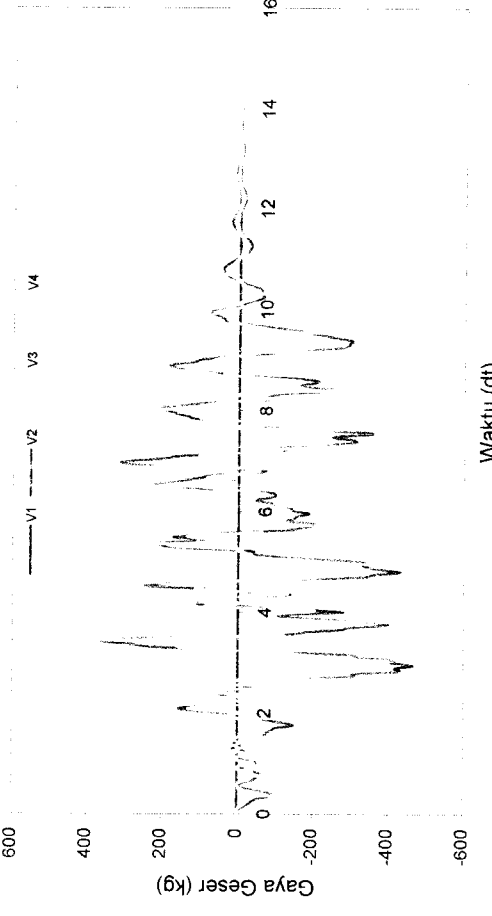
**A. Tipikal**



**B. Elastis**

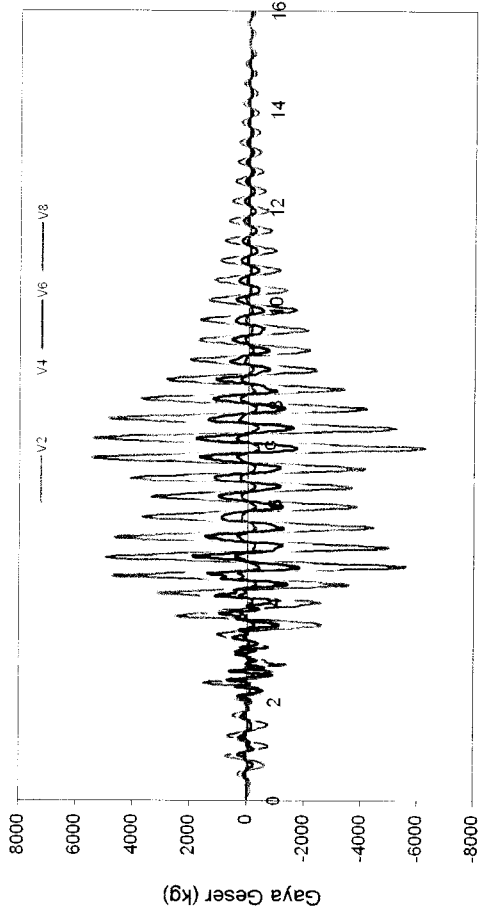


**C. Elastoplastis**



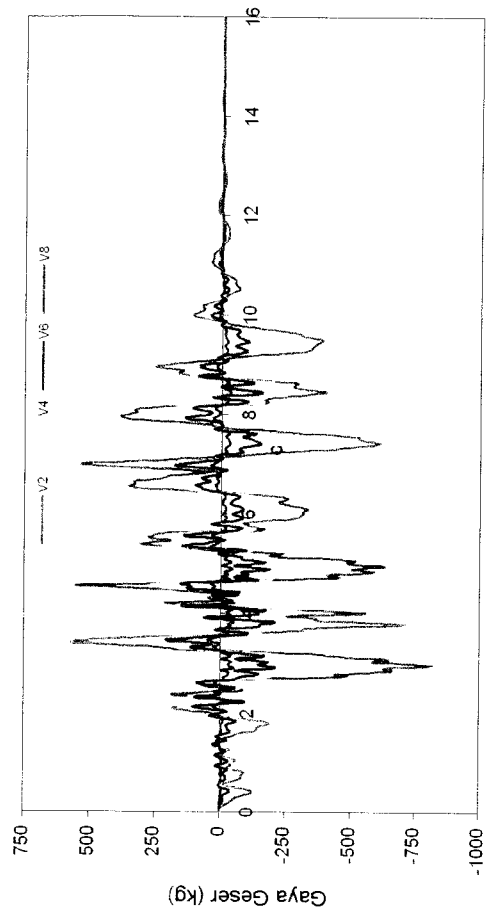
**D. Perbandingan Tingkat 4**

**Gambar 5.59** Grafik Perbandingan Gaya Geser Struktur 4 Tingkat Akibat Gempa Koyna



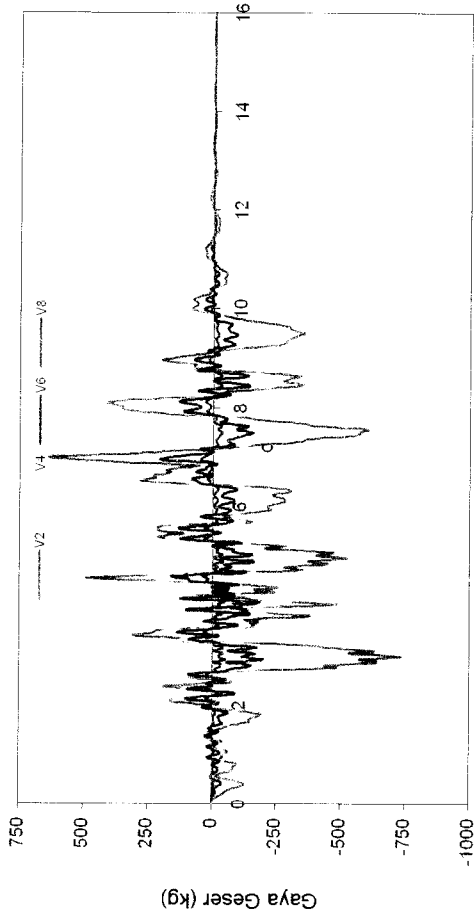
Waktu (dt)

A. Tipikal



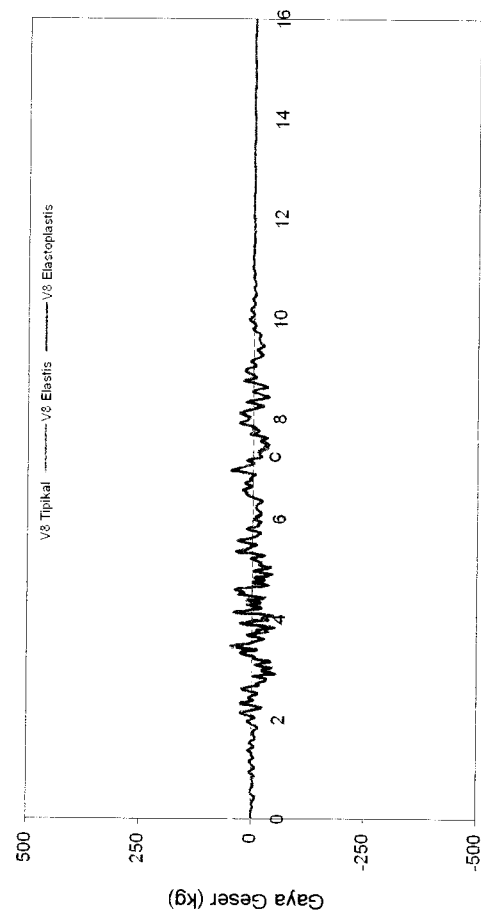
Waktu (dt)

B. Elastis



Waktu (dt)

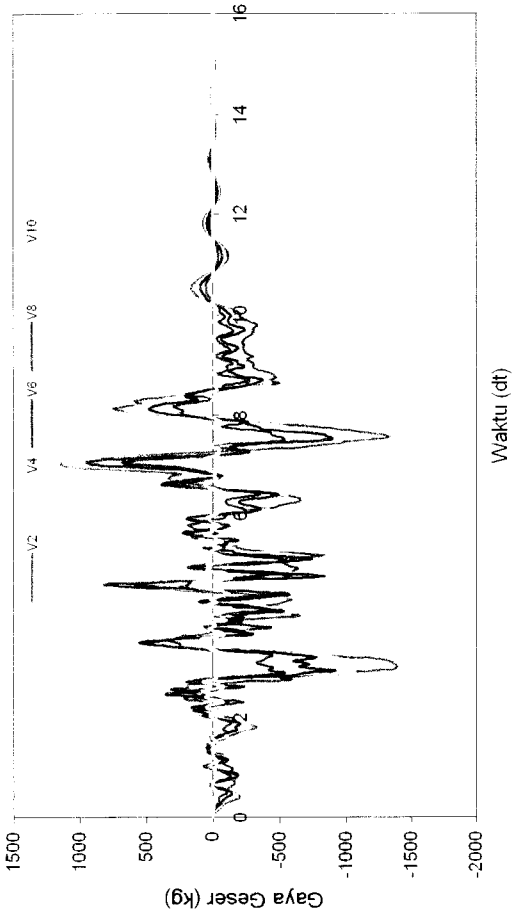
C. Elastoplastis



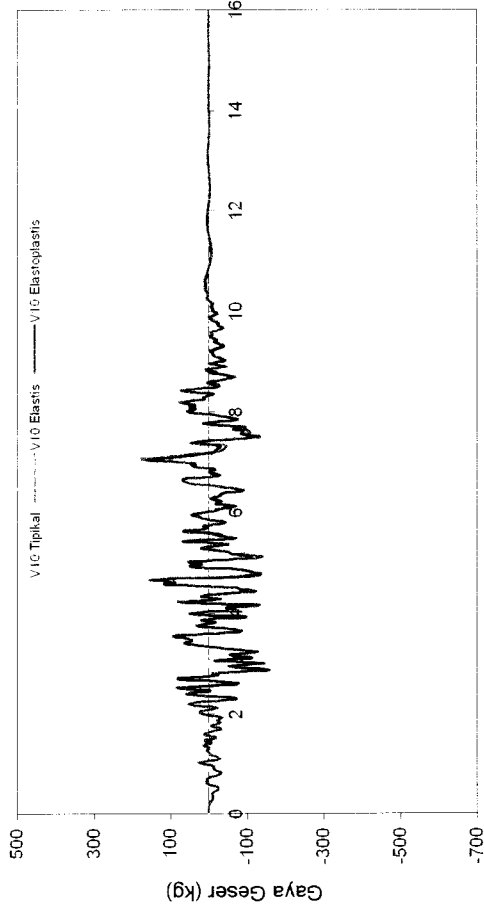
Waktu (dt)

D. Perbandingan Tingkat 8

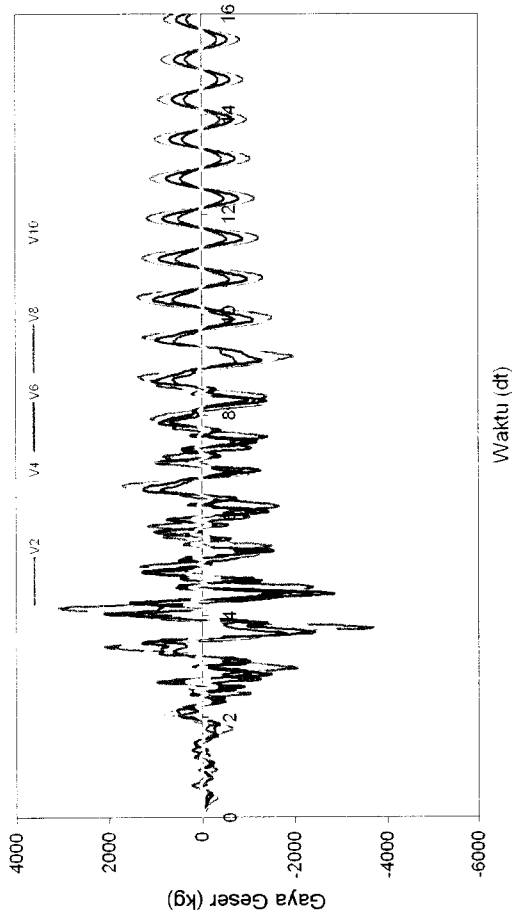
Gambar 5.60 Grafik Perbandingan Gaya Geser Struktur 8 Tingkat Akibat Gempa Koyna



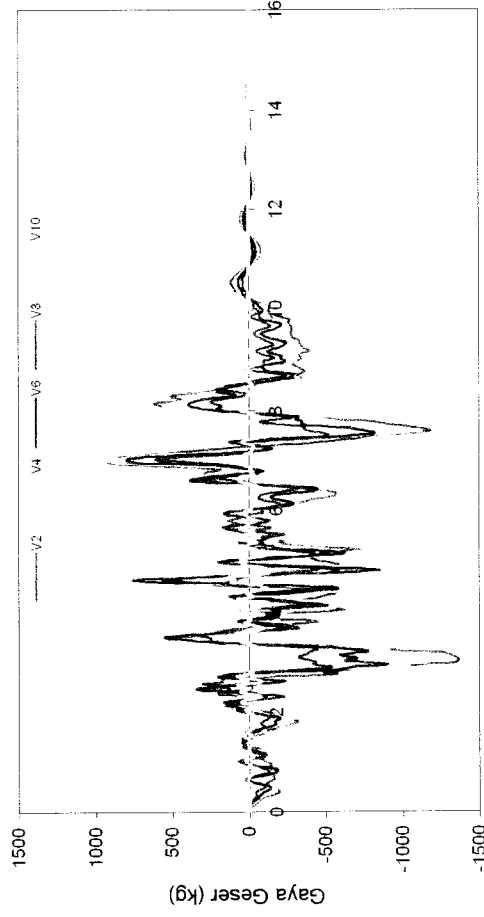
A. Tipikal



B. Elastis



C. Elastoplastis



D. Perbandingan Tingkat 10

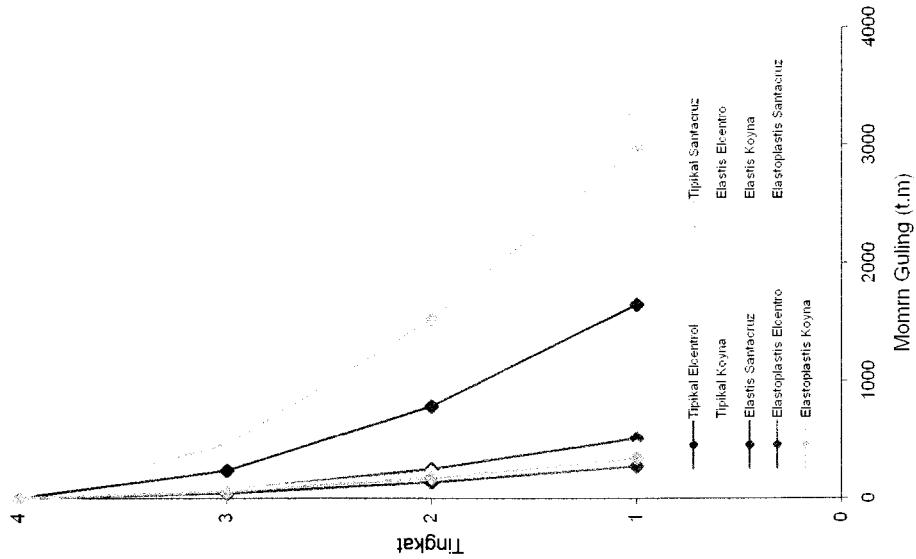
Gambar 5.61 Grafik Perbandingan Gaya Geser Struktur 10 Tingkat Akibat Gempa Koyna

### 5.3.5 Momen Guling Tingkat.

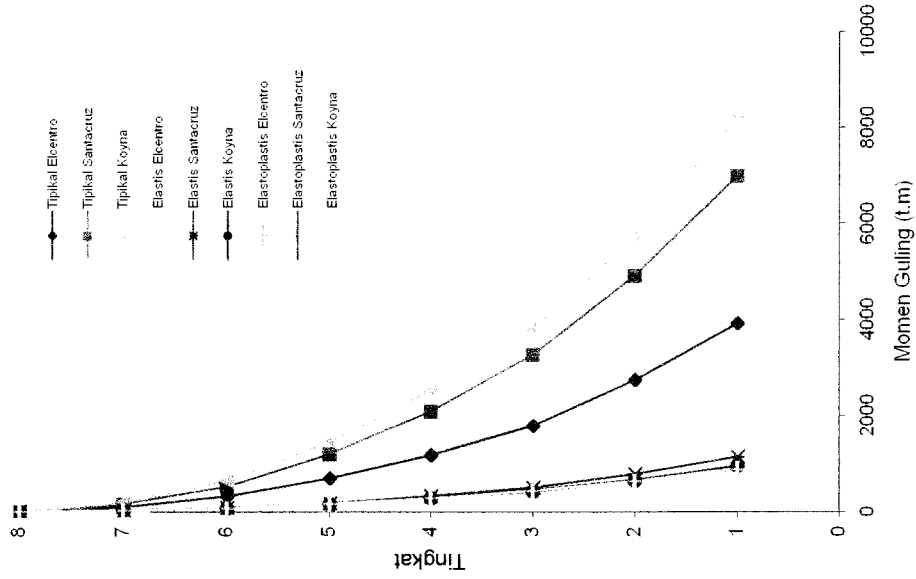
Dari hasil program dapat disajikan nilai-nilai momen guling tingkat truktur 4, 8, dan 10 tingkat dengan variasi 3 gempa, dengan memperhatikan hasil grafik Momen Guling maksimum yang terdapat pada **Gambar 5.62** sampai dengan **Gambar 5.65** maka,

Nilai momen guling akan semakin mengecil pada tingkat dimana ada pengurangan kekakuan. Hal ini disebabkan karena momen guling bergantung pada gaya horizontal dan tinggi tingkat (**pers 3.58**), pada pembahasan sebelumnya gaya horisontal terbesar terjadi pada tingkat 1 dimana terdapat *base isolation* dan akan terus mengecil karena kekakuan tingkat semakin keatas cenderung menurun maka hal ini menyebabkan nilai momen guling terbesar pada tingkat 1 dan semakin keatas akan semakin mengecil.

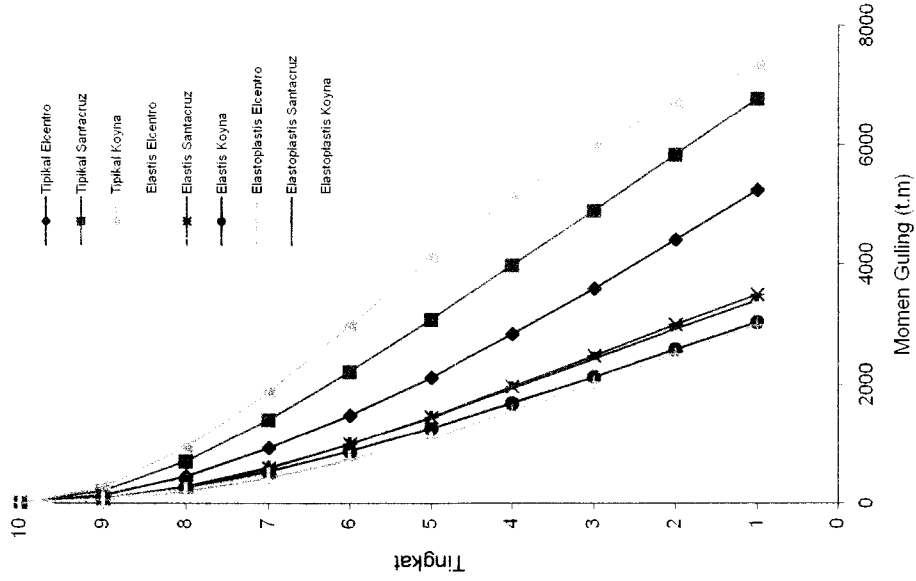
Pada **Gambar 5.62** tampak bahwa struktur tanpa dan dengan *base isolation* dengan  $K_b$  yang berbeda memiliki momen guling yang semakin mengecil pada tingkat atas. Tetapi struktur dengan *base isolation* memiliki nilai momen guling yang lebih kecil daripada nilai momen guling struktur tanpa *base isolation* karena kekakuan struktur tanpa *base isolation* lebih besar dari kekakuan *base isolation* tersebut.



A. Struktur 4 Tingkat



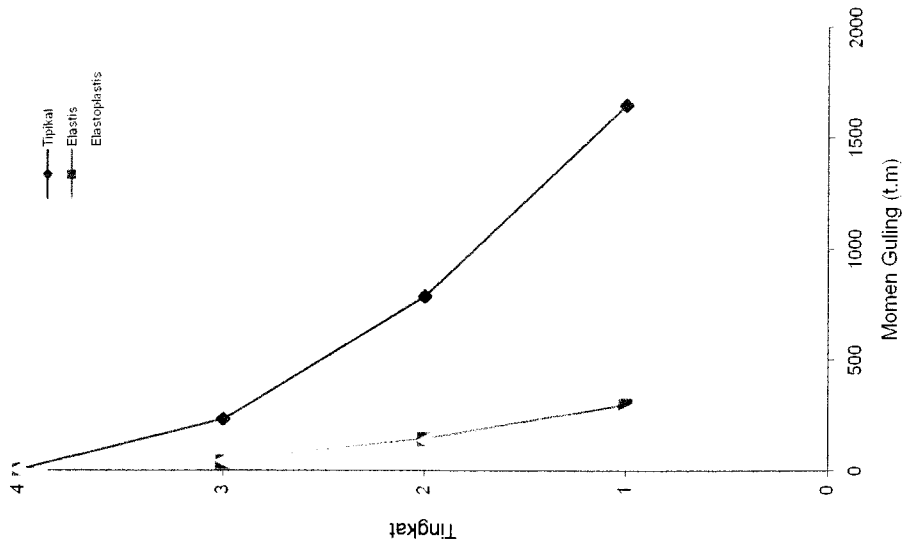
B. Struktur 8 Tingkat



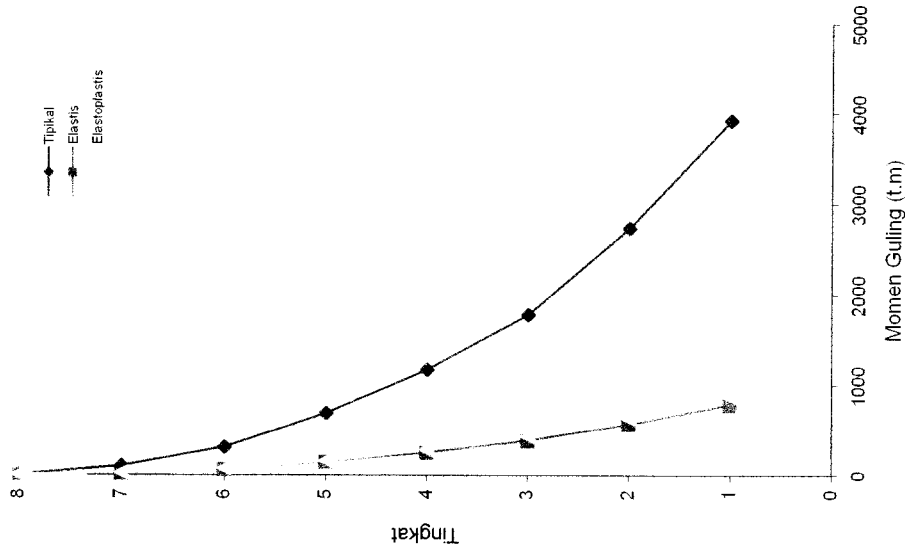
C. Struktur 10 Tingkat

Gambar 5.62 Grafik Perbandingan Momen Guling Maksimum Antara Bangunan Dengan Dan Tanpa Base Isolation Akibat 3 Gempa

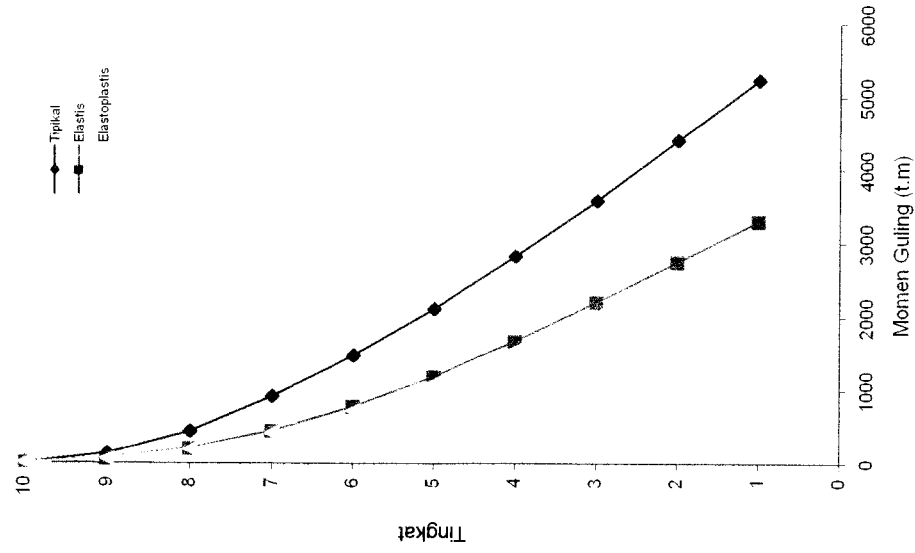




A. Struktur 4 Tingkat

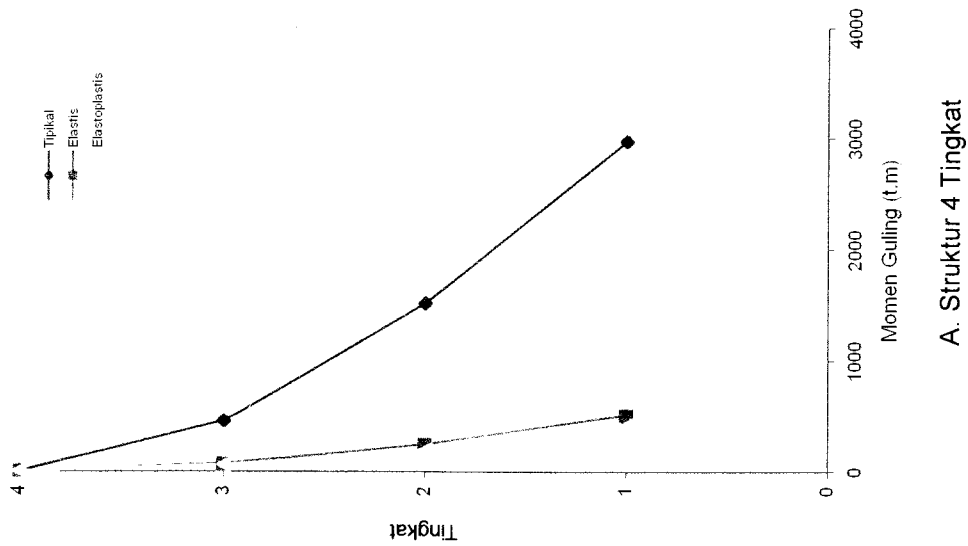


B. Struktur 8 Tingkat

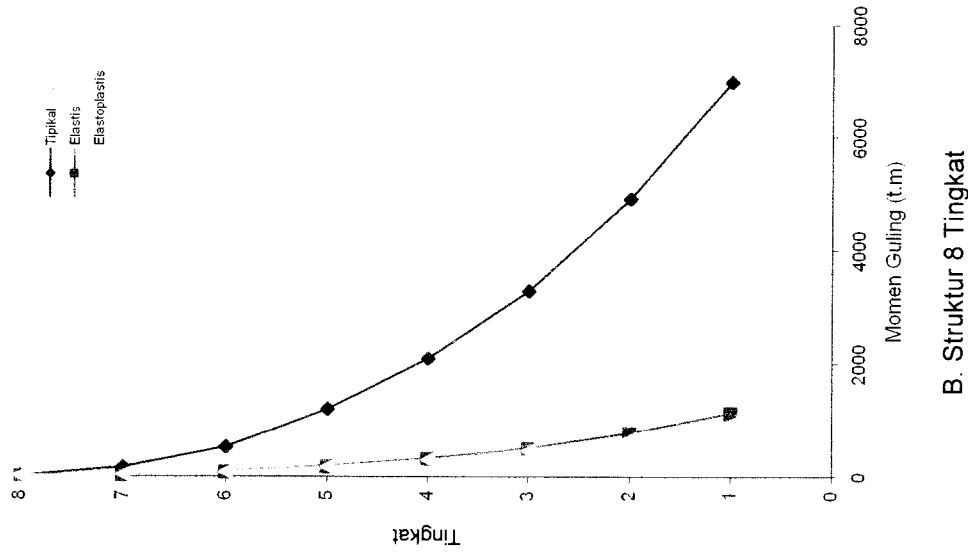


C. Struktur 10 Tingkat

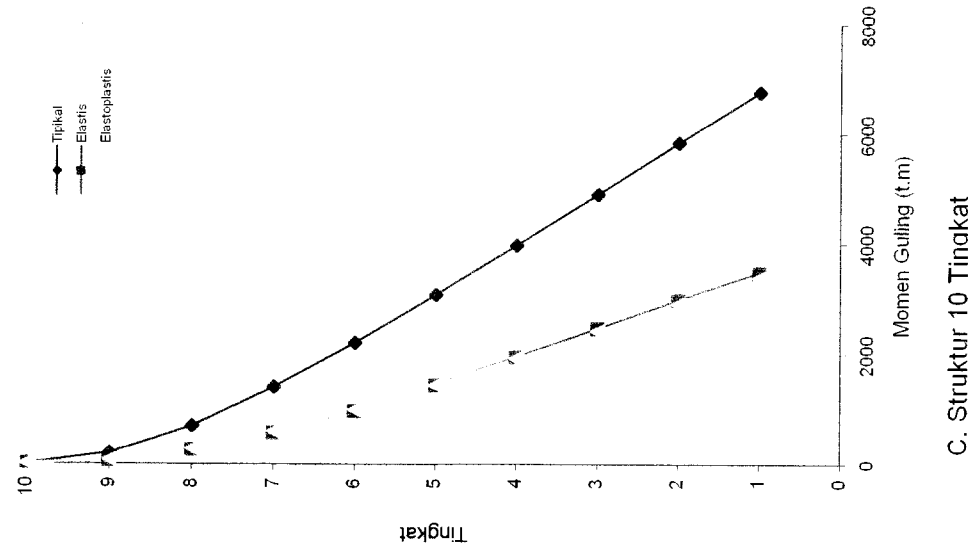
Gambar 5.63 Grafik Perbandingan Momen Guling Maksimum Antara Struktur Dengan dan Tanpa Base Isolation Akibat Gempa Elcentro



A. Struktur 4 Tingkat



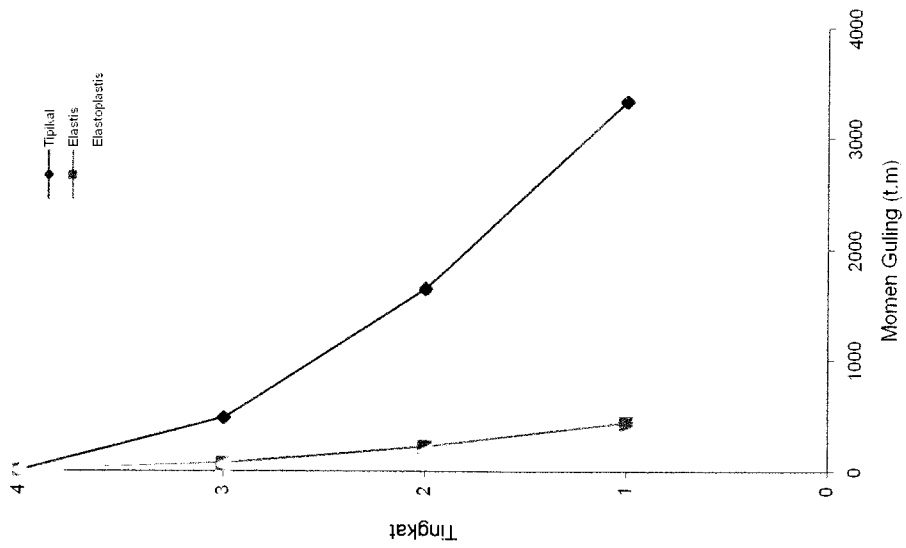
B. Struktur 8 Tingkat



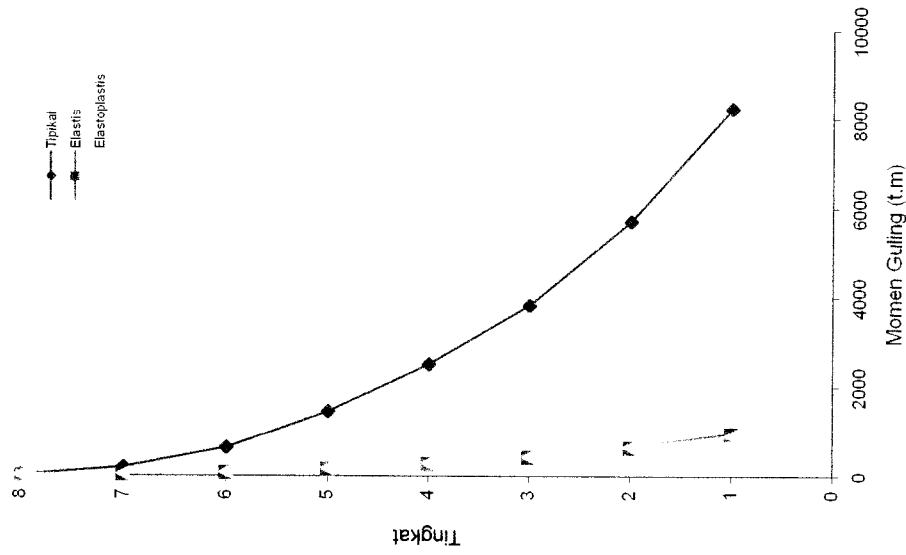
C. Struktur 10 Tingkat

Gambar 5.64 Grafik Perbandingan Momen Guling Maksimum Antara Struktur Dengan dan Tanpa Base Isolation Akibat Gempa Santacruz

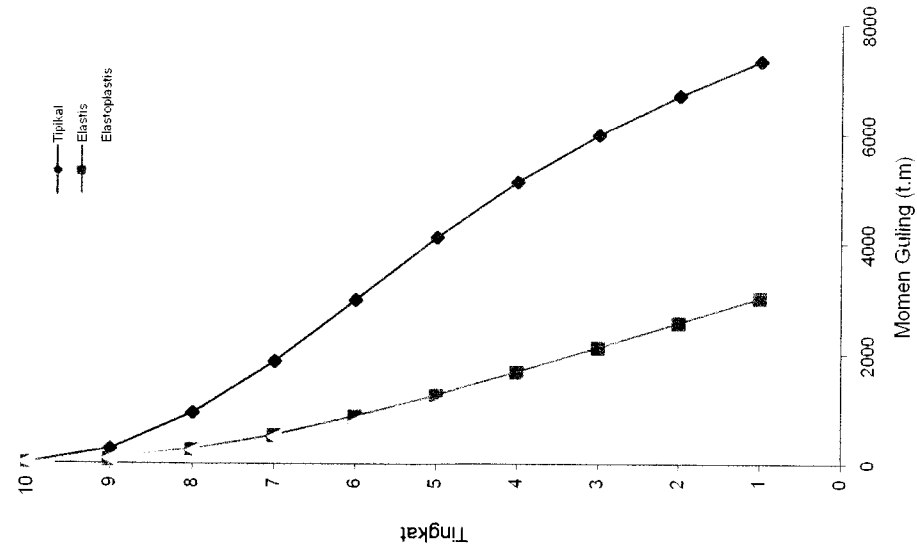




A. Struktur 4 Tingkat

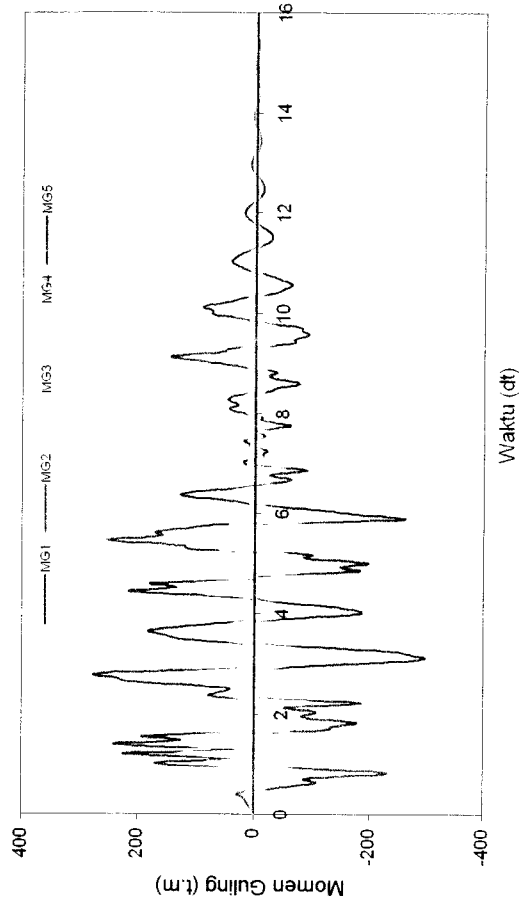


B. Struktur 8 Tingkat

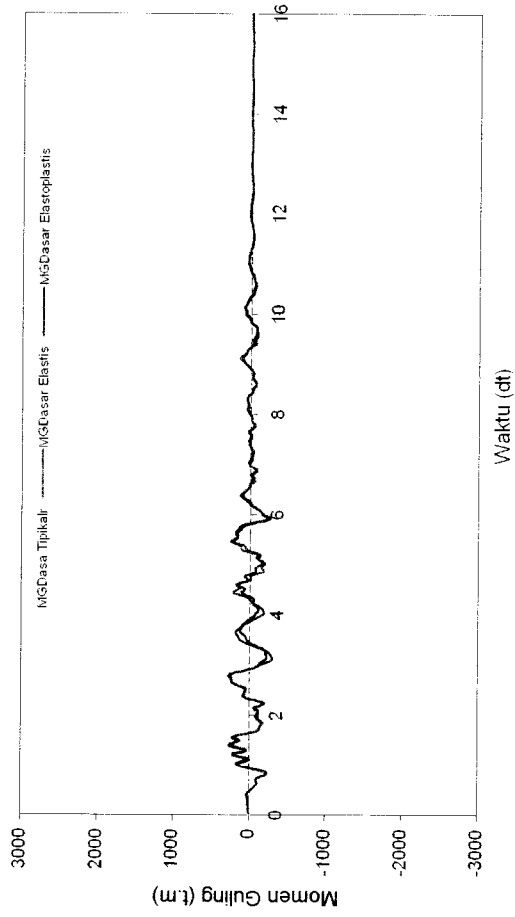


C. Struktur 10 Tingkat

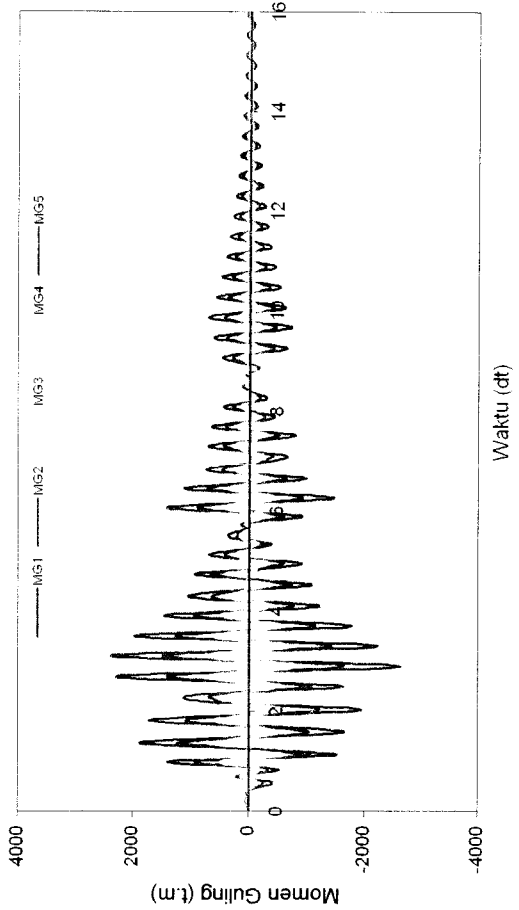
Gambar 5.65 Grafik Perbandingan Momen Guling Maksimum Antara Struktur Dengan dan Tanpa Base Isolation Akibat Gempa Koyna



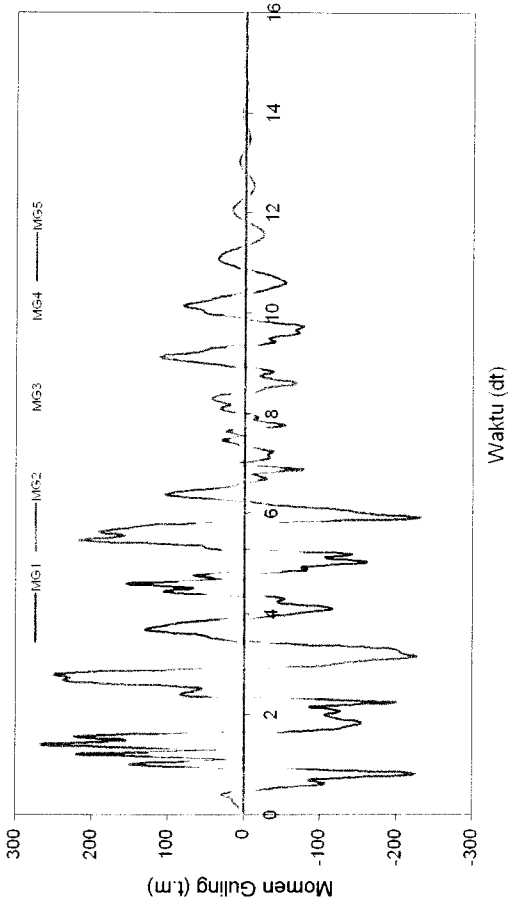
B. Elastis



D. Perbandingan Tingkat Dasar

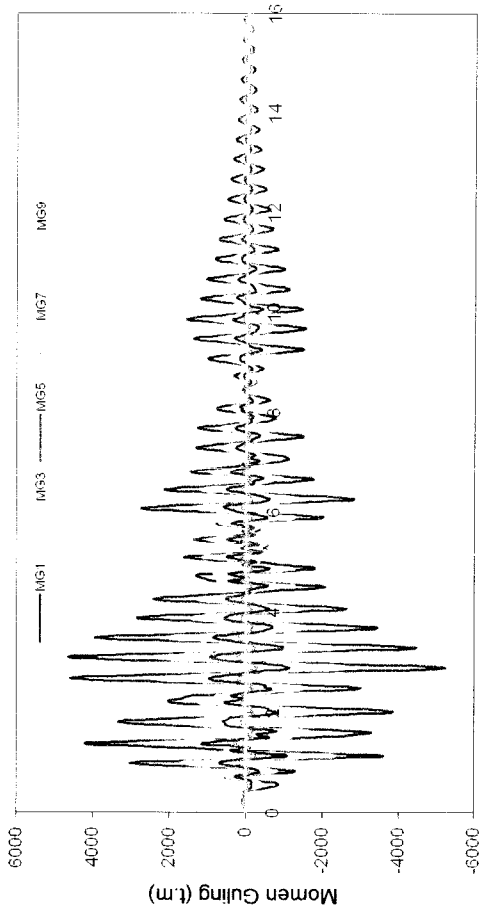


A. Tipikal



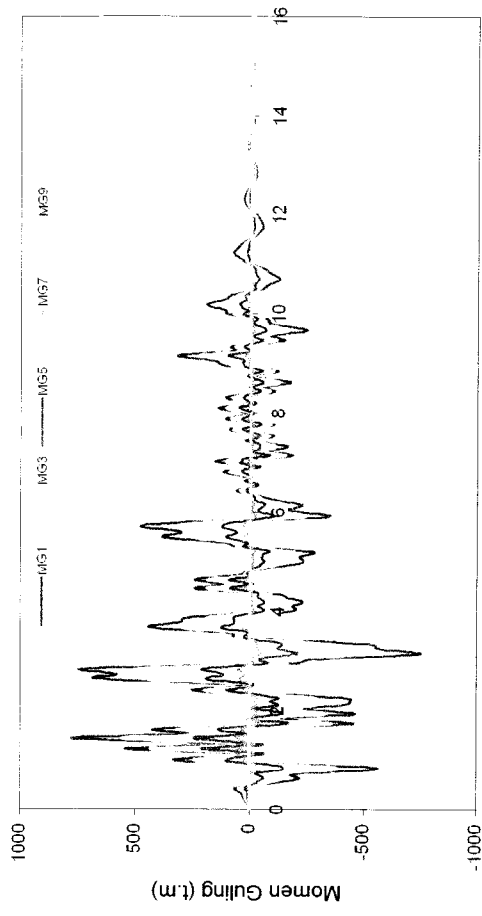
C. Elastoplastis

Gambar 5.66 Grafik Perbandingan Momen Guling Struktur 4 Tingkat Akibat Gempa Eicentro



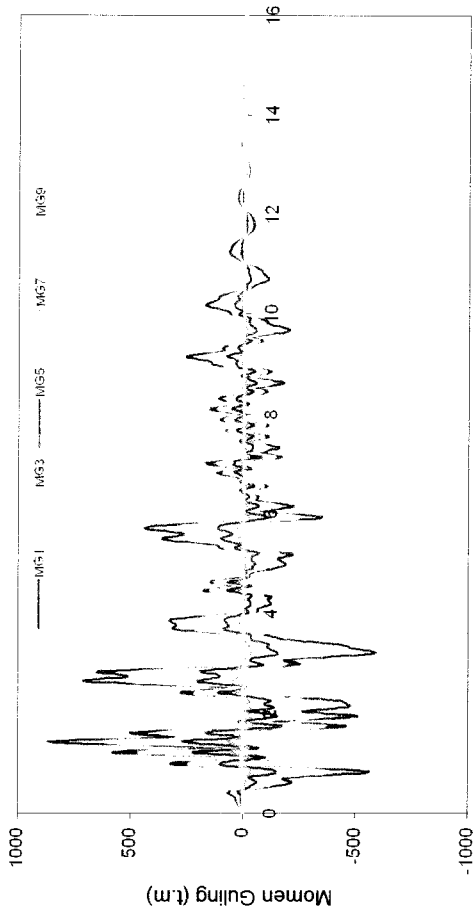
Waktu (dt)

### A. Tipikal



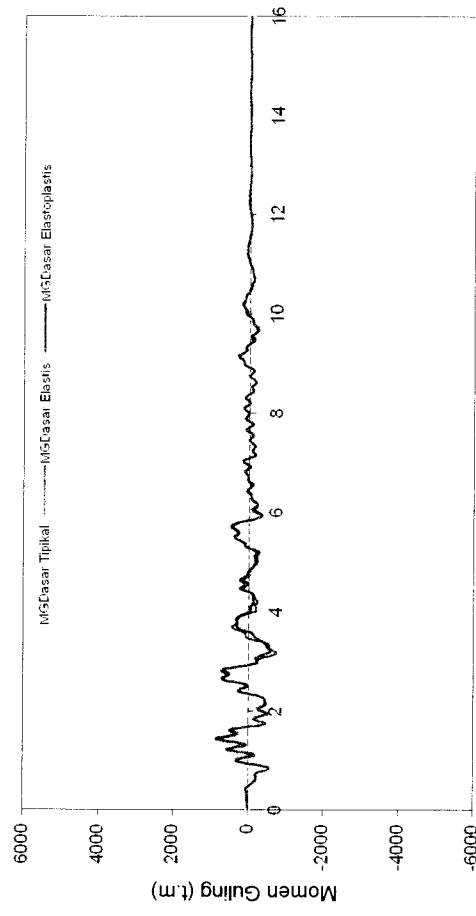
Waktu (dt)

### B. Elastis



Waktu (dt)

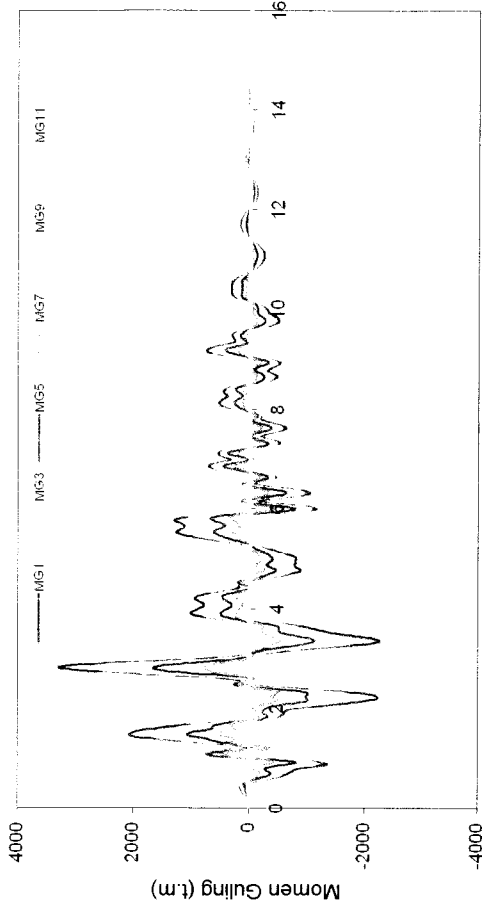
### C. Elastoplastis



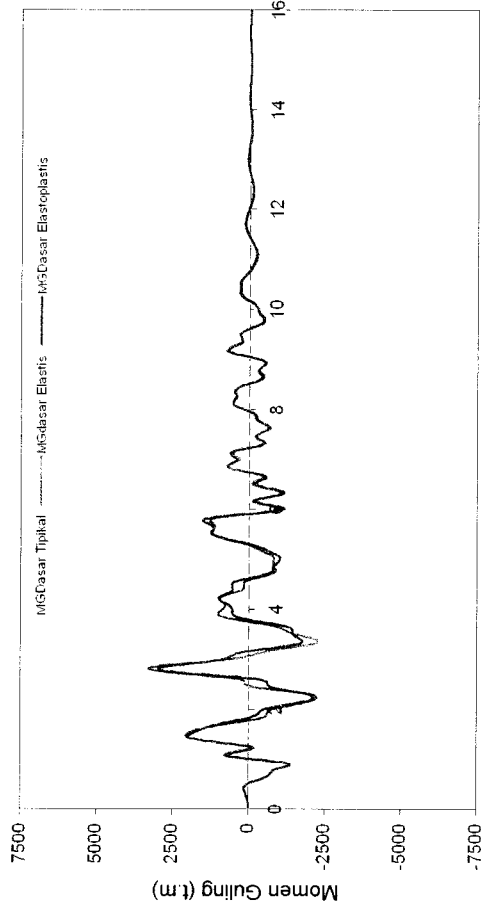
Waktu (dt)

### D. Perbandingan Tingkat dasar

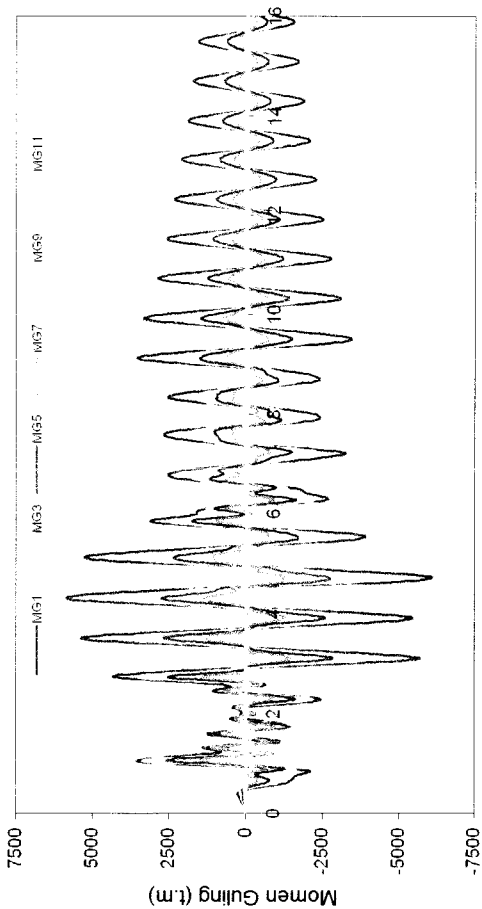
Gambar 5.67 Grafik Perbandingan Momen Guling Struktur 8 Tingkat Akibat Gempa Elcentro



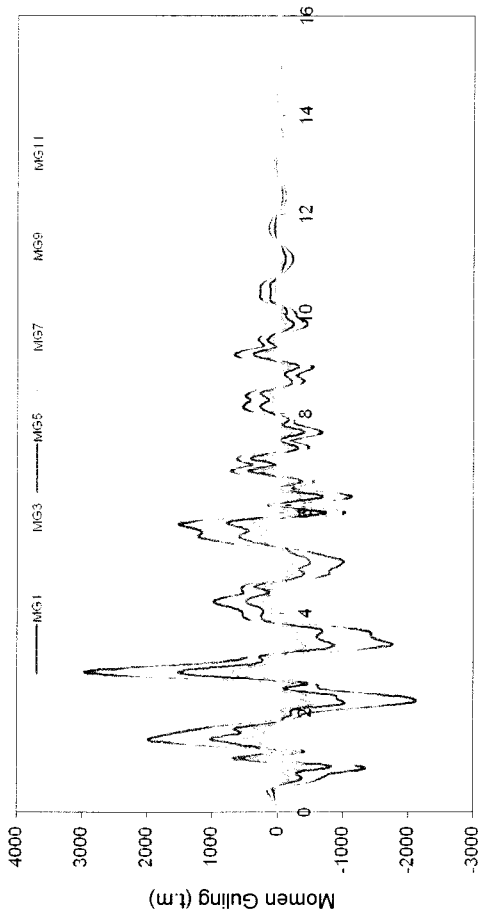
A. Tipikal



B. Elastis

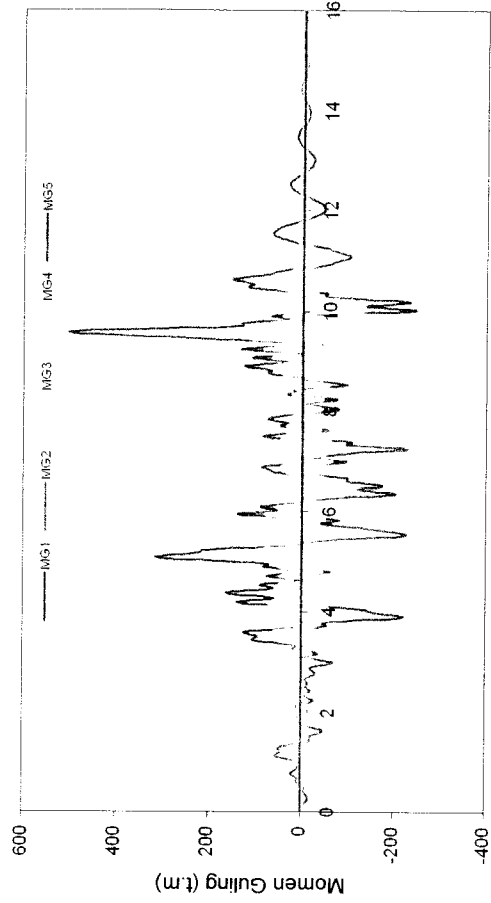


C. Elastoplastis

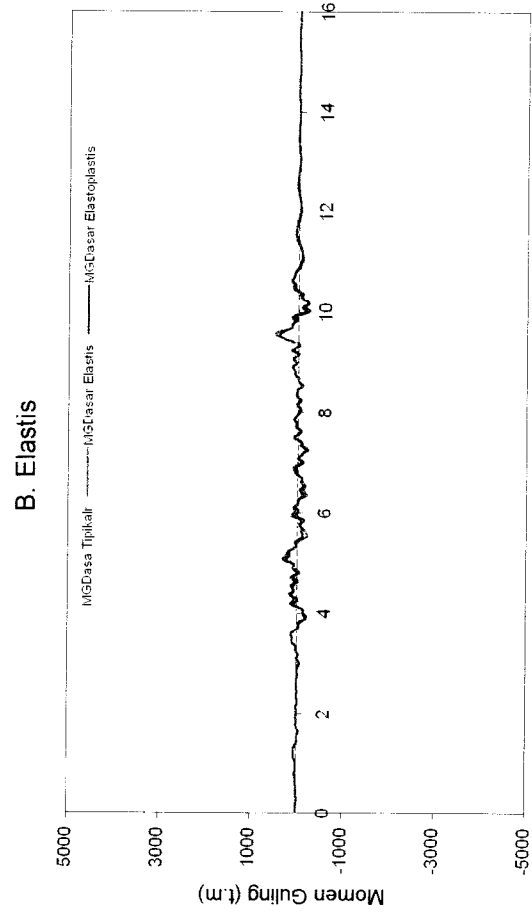


D. Perbandingan Tingkat Dasar

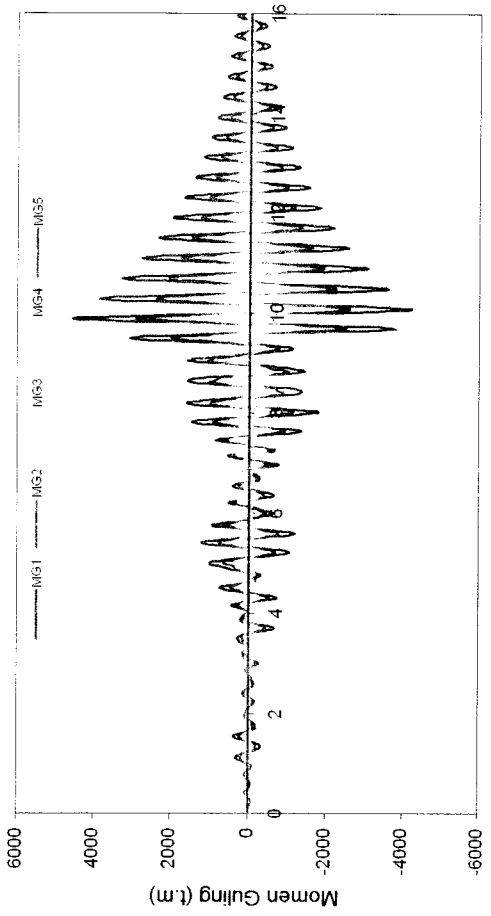
Gambar 5.68 Grafik Perbandingan Momen Guling Struktur 10 Tingkat Akibat Gempa Elcentro



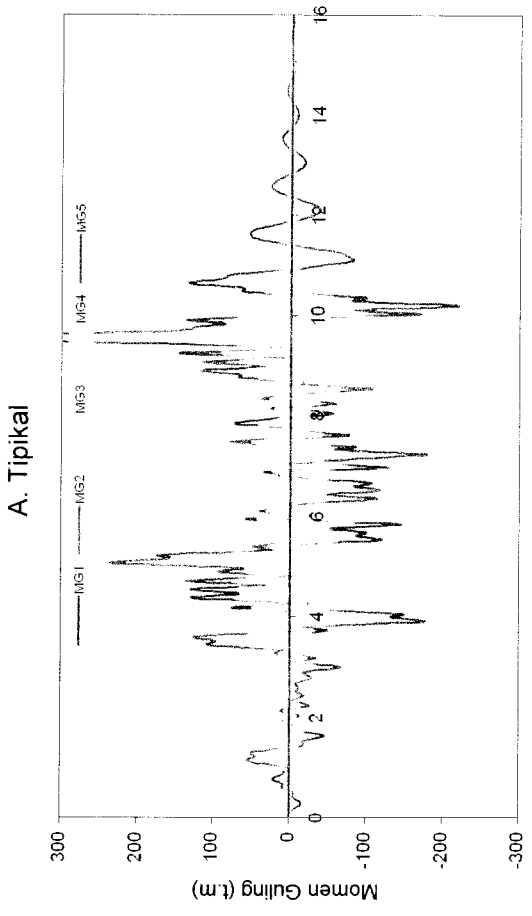
A. Tipikal



B. Elastis

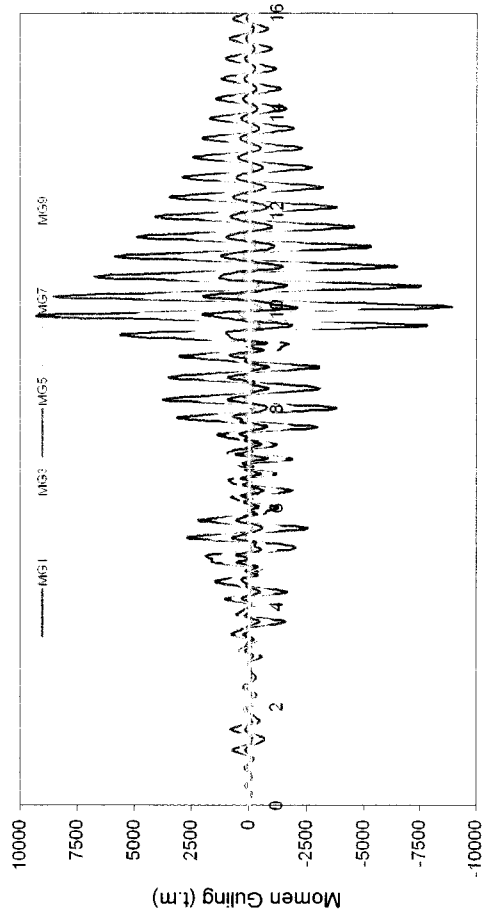


C. Elastoplastis

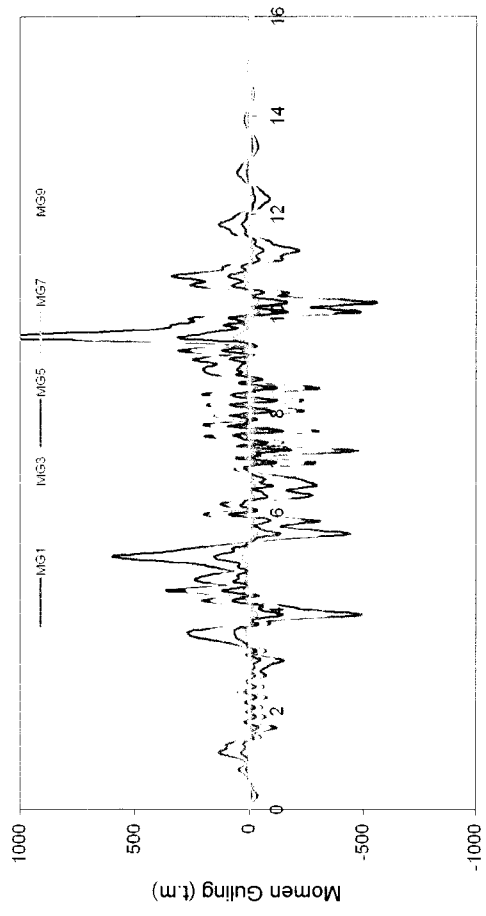


D. Perbandingan Tingkat Dasar

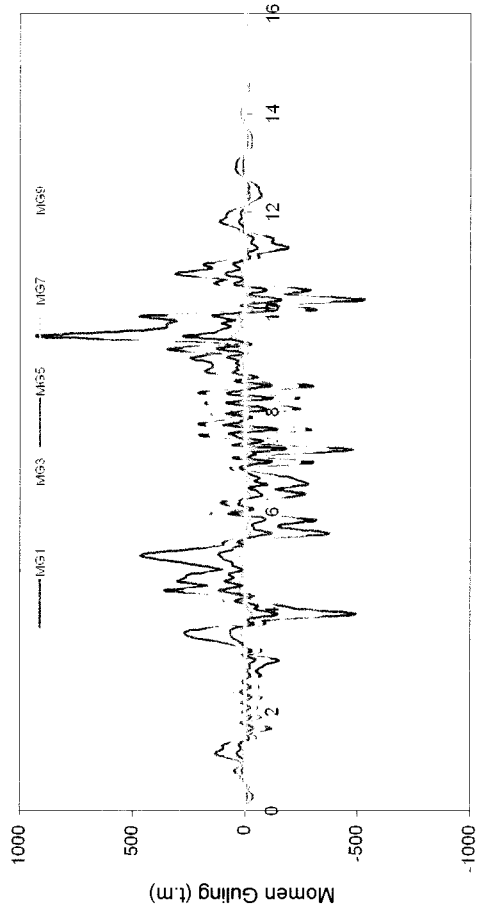
Gambar 5.69 Grafik Perbandingan Momen Guling Struktur 4 Tingkat Akibat Gempa Santacruz



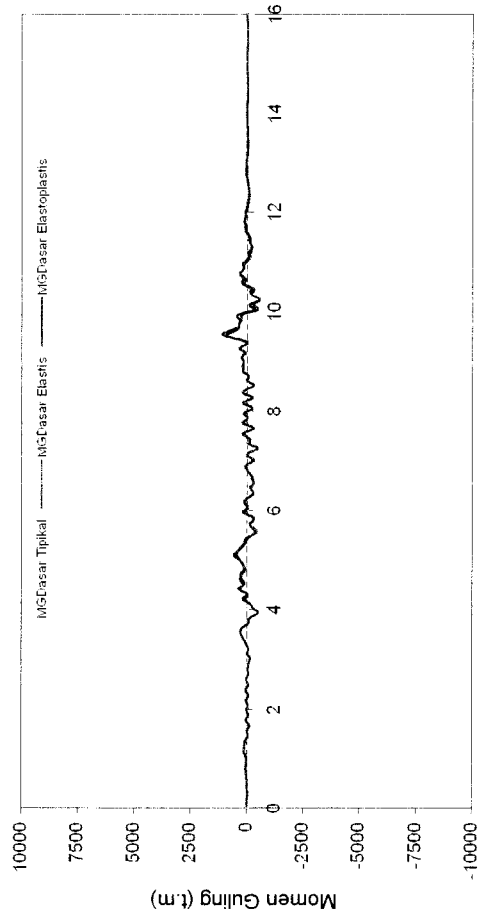
A. Tipikal



B. Elastis



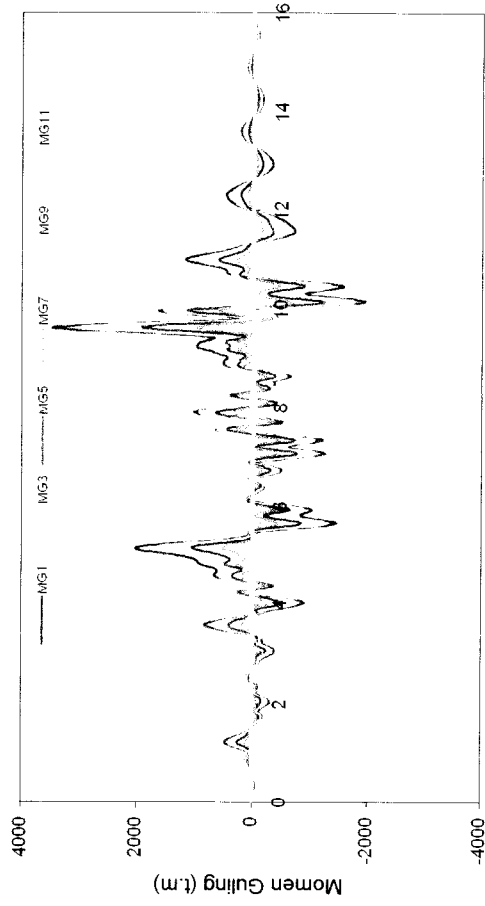
C. Elastoplastis



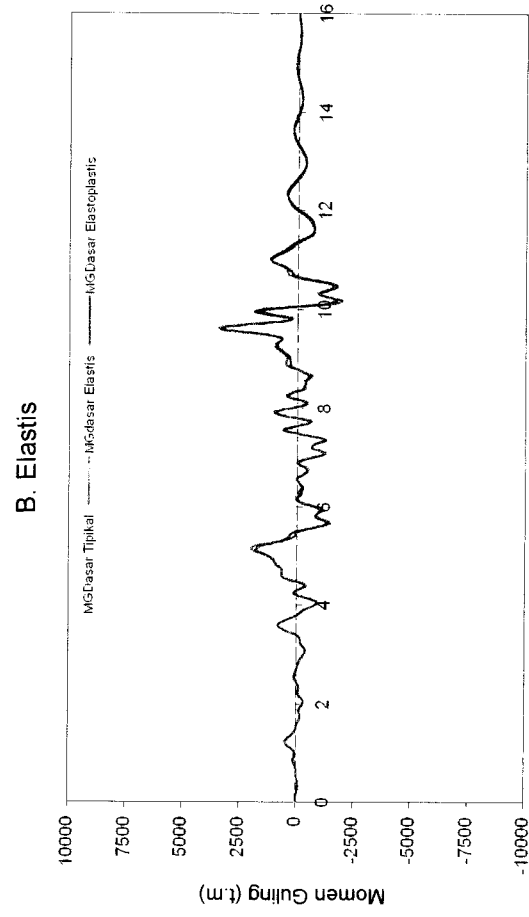
D. Perbandingan Tingkat dasar

Gambar 5.70 Grafik Perbandingan Momen Guling Struktur 8 Tingkat Akibat Gempa Santacruz

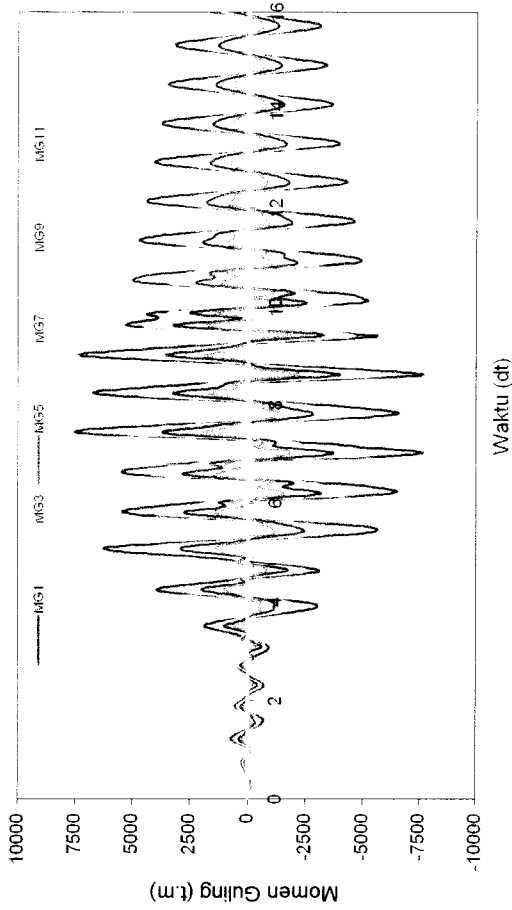




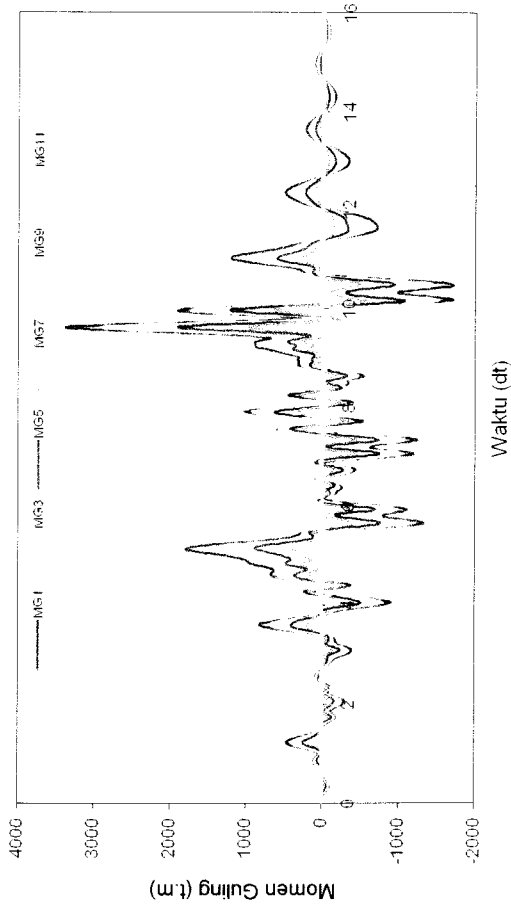
A. Tipikal



B. Elastis

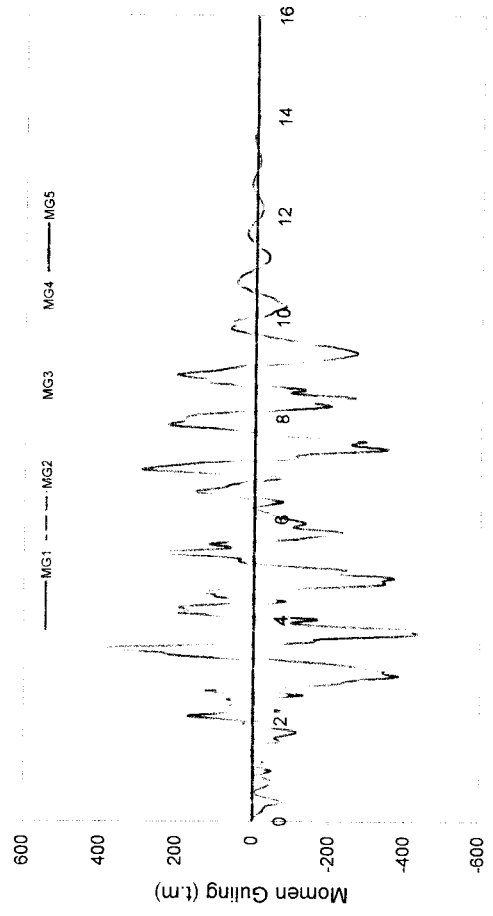


C. Elastoplastis

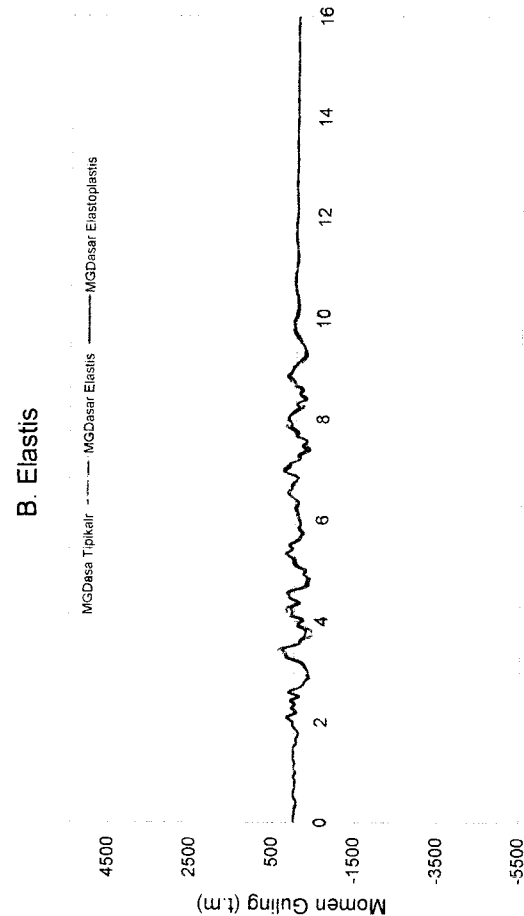


D. Perbandingan Tingkat Dasar

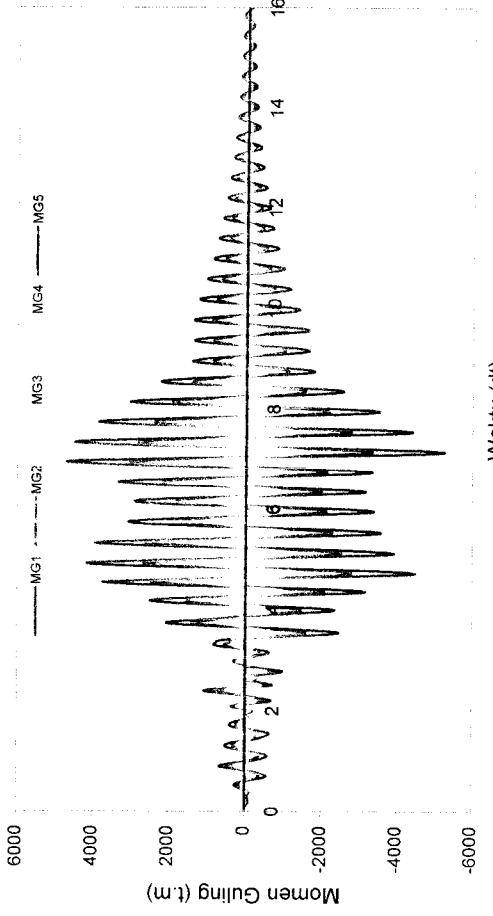
Gambar 5.71 Grafik Perbandingan Momen Guling Struktur 10 Tingkat Akibat Gempa Santacruz



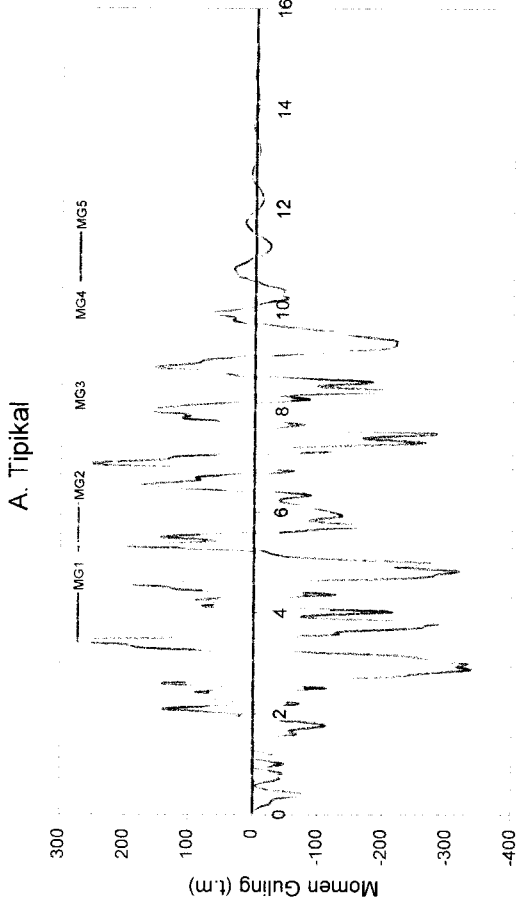
A. Tipikal



B. Elastis

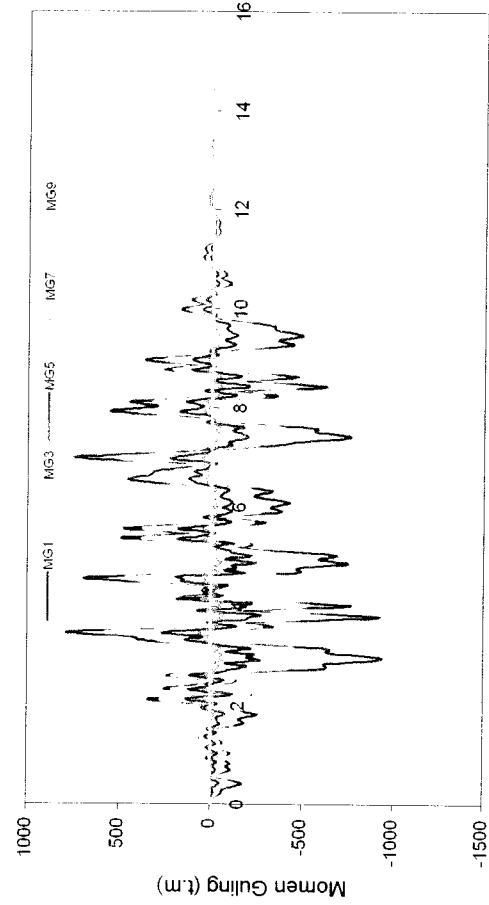


C. Elastoplastis



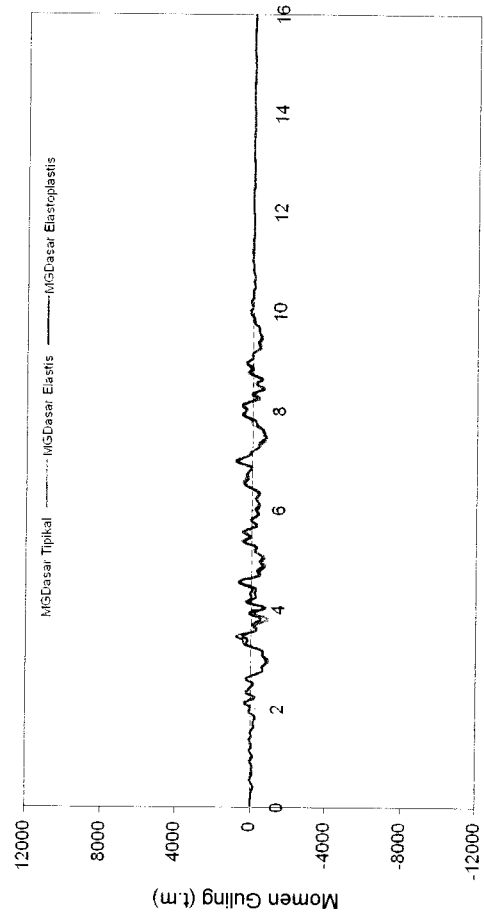
D. Perbandingan Tingkat Dasar

Gambar 5.72 Grafik Perbandingan Momen Guling Struktur 4 Tingkat Akibat Gempa Koyna



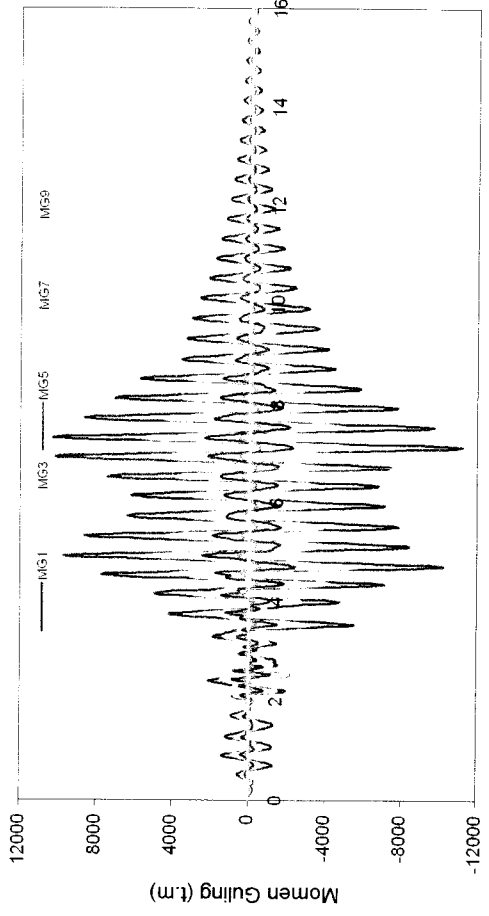
A. Tipikal

Waktu (dt)

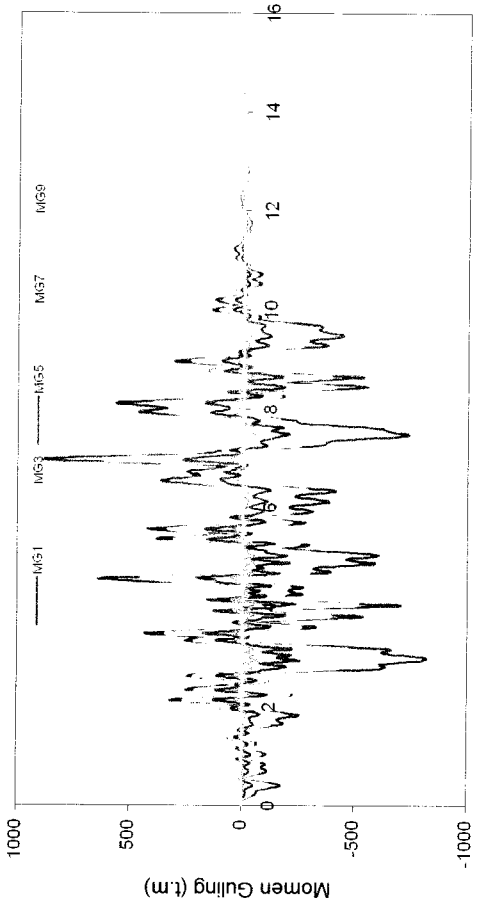


B. Elastis

Waktu (dt)



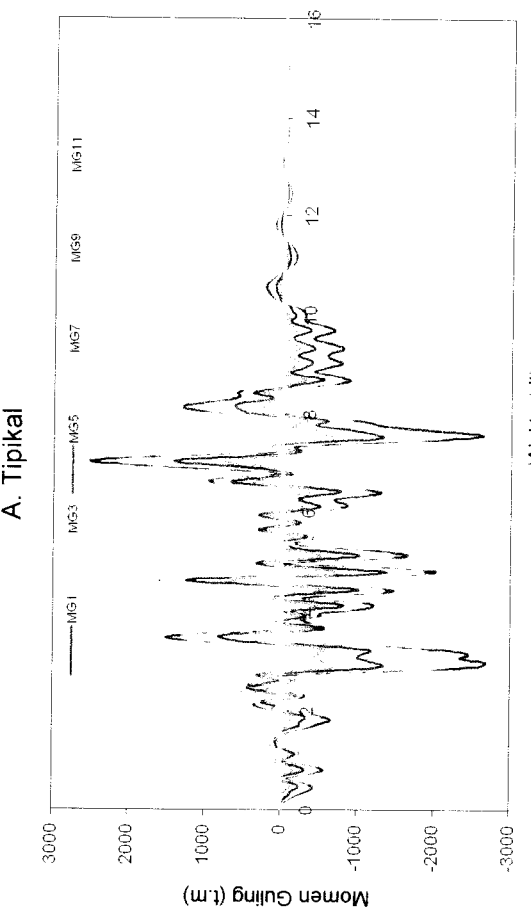
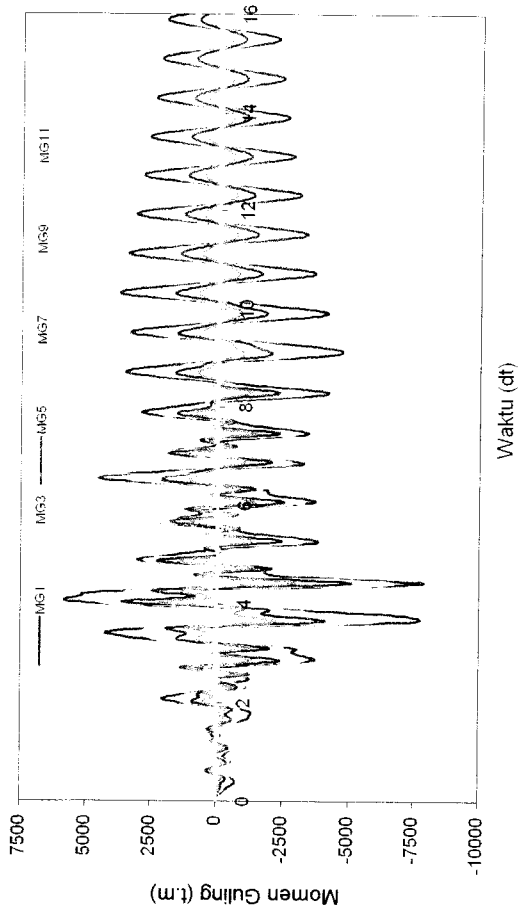
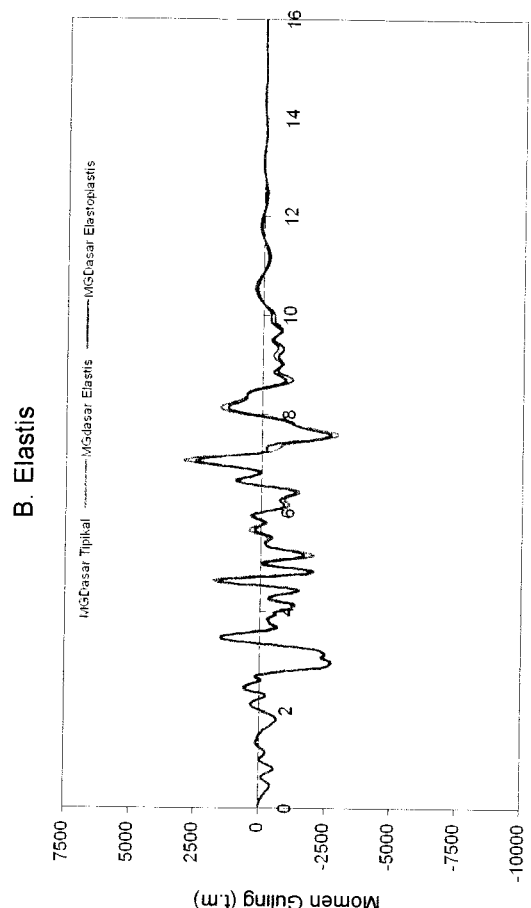
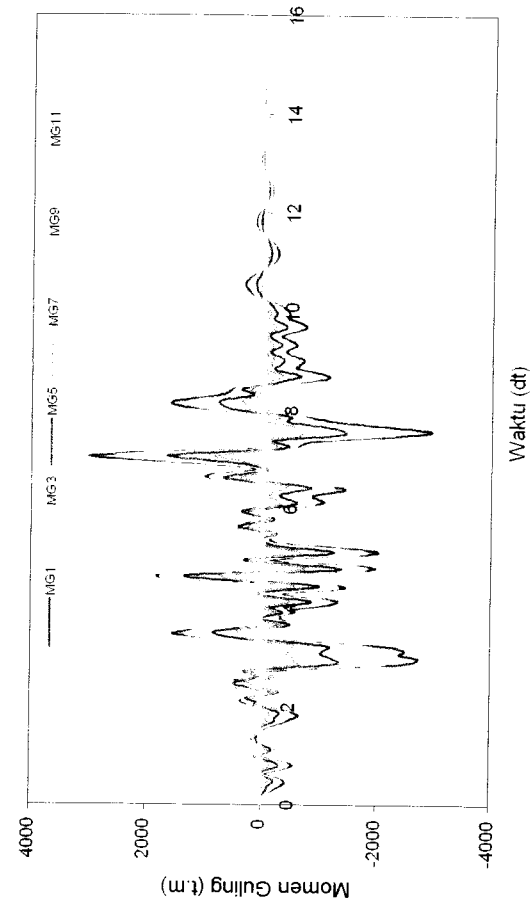
C. Elastoplastis



D. Perbandingan Tingkat dasar

Waktu (dt)

Gambar 5.73 Grafik Perbandingan Momen Guling Struktur 8 Tingkat Akibat Gempa Koyna



D. Perbandingan Tingkat Dasar

Gambar 5.74 Grafik Perbandingan Momen Guling Struktur 10 Tingkat Akibat Gempa Koyna

C. Elastoplastis

A. Tipikal

B. Elastis

#### 5.4 Analisis Respon Struktur Akibat Beban Gempa Dengan Tiga Jenis Redaman.

Dalam analisis ini digunakan satu jenis gempa yaitu Elcentro yang mewakili gempa frekuensi menengah dan hanya dipakai pada struktur bangunan 4 tingkat dan 8 tingkat dengan dan tanpa *base isolation*. Variasi lain dengan menggunakan tiga jenis redaman yaitu :

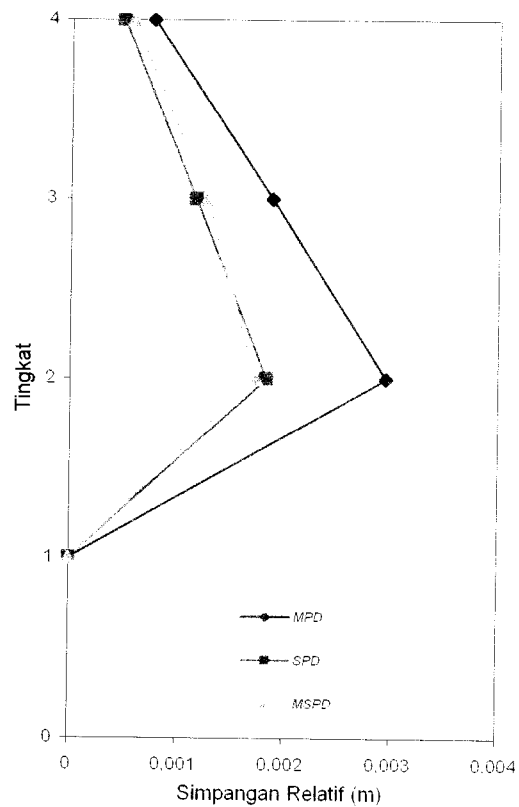
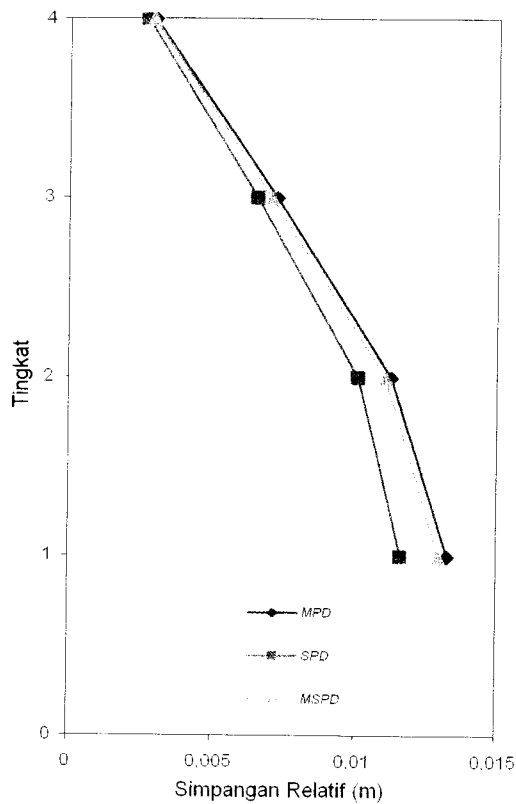
1. Redaman proporsioanal terhadap massa (*Mass Proporsional Damping*), *MPD*).
2. Redaman proporsioanal terhadap kekakuan (*Stiffnes Proporsional Damping*), *SPD*).
3. Redaman proporsional terhadap massa dan kekakuan/kombinasi (*Mass and Stiffnes Proporsional Damping*), *MSPD*).

Dalam analisis digunakan nilai redaman yang konstan. Variasi-variasi data diatas diolah pada program ProgSIP 2006 sehingga didapat *output* yang berupa *mode shape*, simpangan, kecepatan, percepatan, simpangan relatif, simpangan antar tingkat, gaya horisontal tingkat, gaya geser tingkat, dan momen guling.

#### 5.4.1 Simpangan Relatif Struktur.

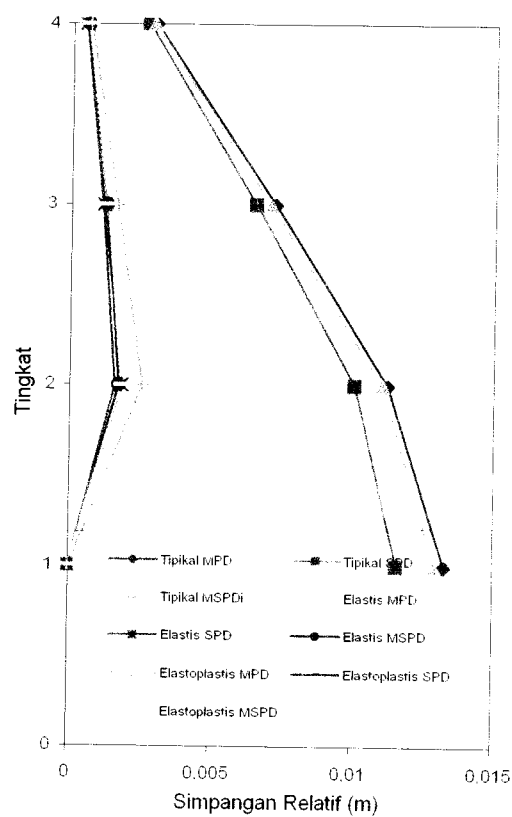
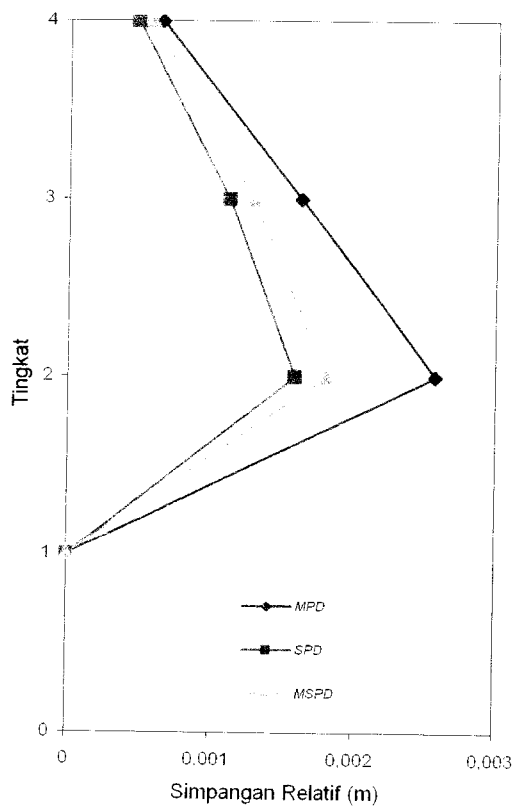
Dari hasil program dapat disajikan nilai-nilai simpangan relatif struktur 4 tingkat baik dengan dan tanpa *base isolation*, dengan memperhatikan hasil grafik simpangan relatif maksimum pada **Gambar 5.75** dan **Gambar 5.76** maka,

Gambar 5.75 menunjukkan persentase simpangan relatif struktur tanpa *base isolation* (Tipikal). Terlihat pada gambar simpangan relatif maksimum untuk jenis *Mass Proportional Damping (MPD)* adalah yang paling besar, kemudian baru disusul jenis *Mass and Stiffnes Proportional Damping (MSPD)* dan *Stiffnes Proportional Damping (SPD)*.. Dalam *Respon Dinamik Struktur* (Widodo, 2001, sumber : Chopra 1995) dijelaskan bahwa damping jenis ini secara fisik kurang rasional karena massa hanya bersinggungan dengan udara padahal redaman akibat ini relatif kecil dan bahkan kadang-kadang diabaikan, tentu saja hal ini membuktikan bahwa simpangan relatif yang dihasilkan dengan menggunakan redaman jenis ini paling besar dibanding kedua jenis redaman lain. Apabila bangunan menggunakan jenis redaman dengan kekakuan maka semakin tinggi respon simpangan, redaman struktur akan semakin besar pula. Dengan kata lain simpangan yang dihasilkan paling kecil karena redaman jenis ini merupakan fungsi dari kekakuan, banyak pernyataan telah disampaikan bahwa semakin besar simpangan struktur maka semakin besar pula potensi meredam energi. Begitu juga untuk struktur yang lebih tinggi (8 tingkat) respon simpangan yang dihasilkan mempunyai sifat yang sama dengan struktur yang lebih rendah. Penjelasan ini berlaku juga untuk struktur dengan *base isolation* (Elastis dan Elastoplastis).



A. Tipikal Dgn 3 Jenis Redaman

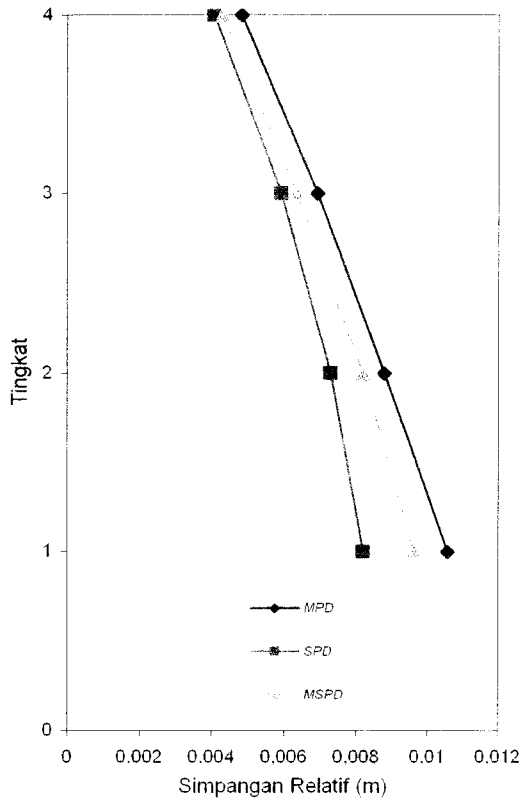
B. Elastis Dgn 3 Jenis Redaman



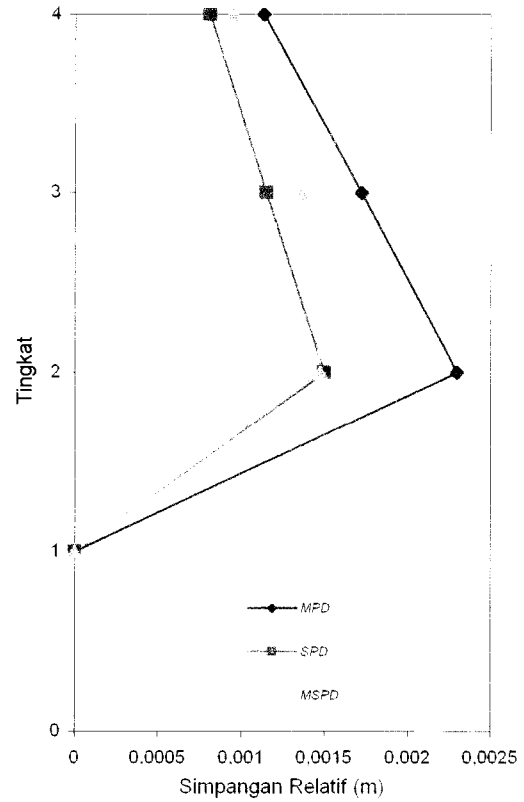
C. Elastoplastis Dgn 3 Jenis Redaman

D. Perb. 3 Jenis Bangunan

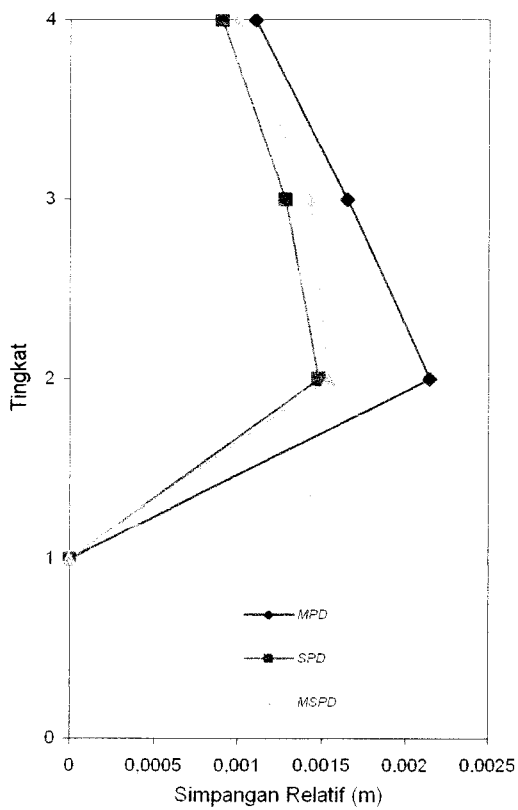
Gambar 5.75 Grafik Perbandingan Simpangan Relatif Maksimum Struktur 4 Tingkat Dengan 3 Jenis Redaman Akibat Gempa Elcentro



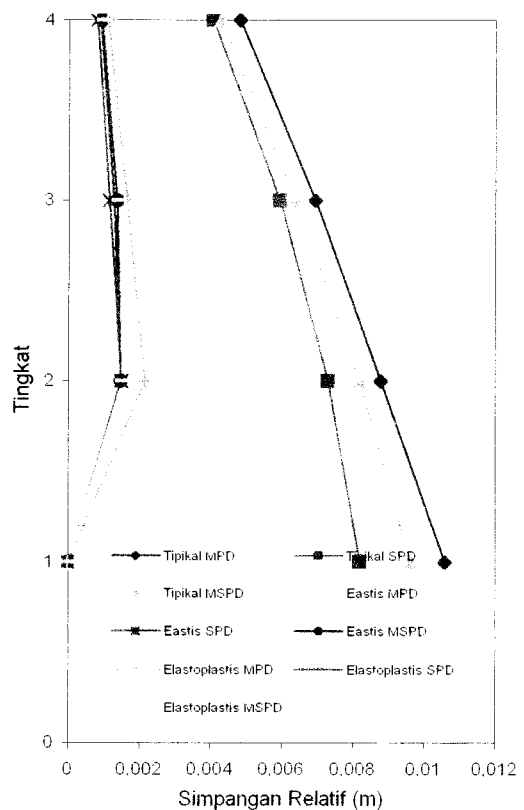
A. Tipikal Dgn 3 Jenis Redaman



B. Elastis Dgn 3 Jenis Redaman



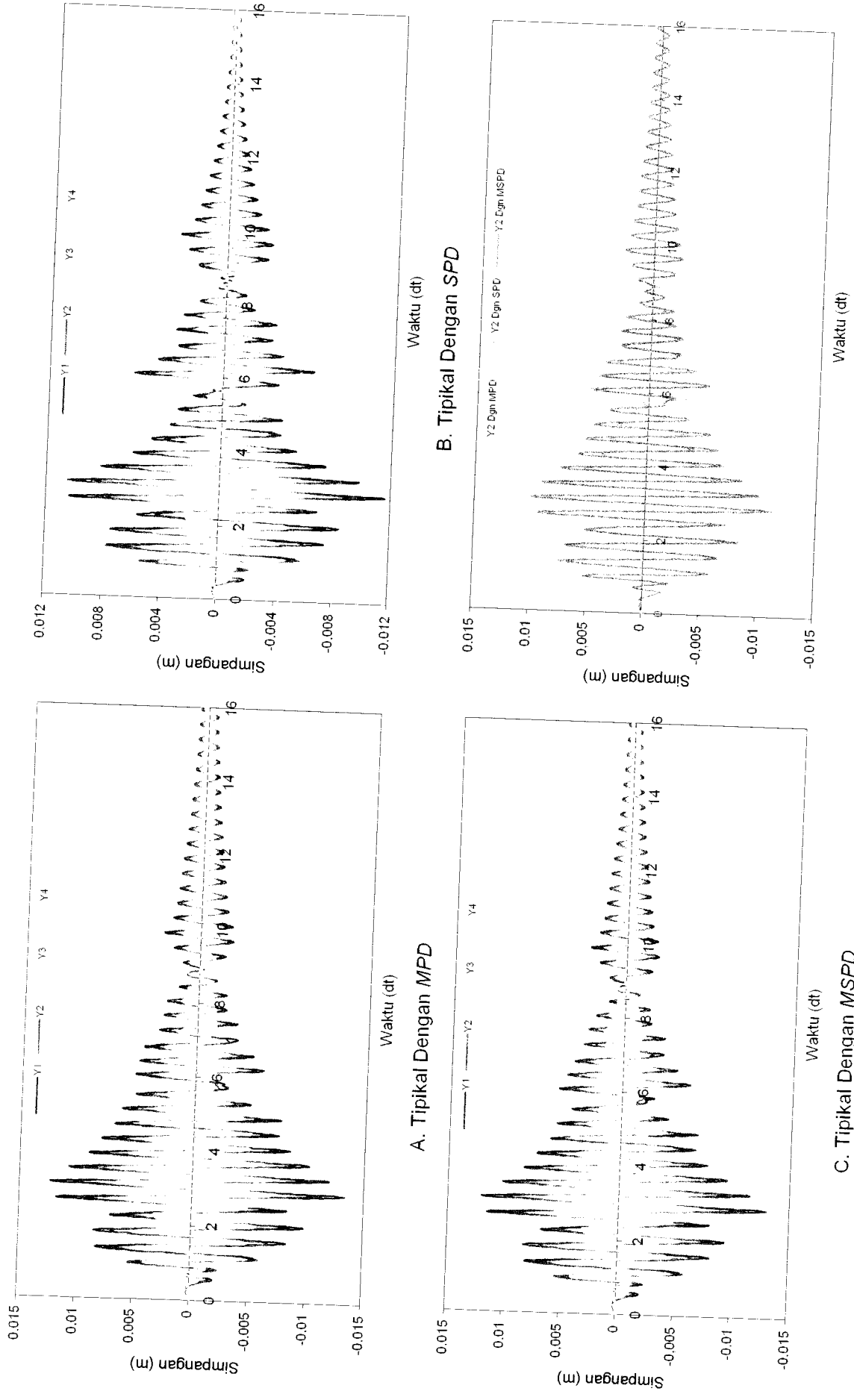
C. Elastoplastis Dgn 3 Jenis Redaman



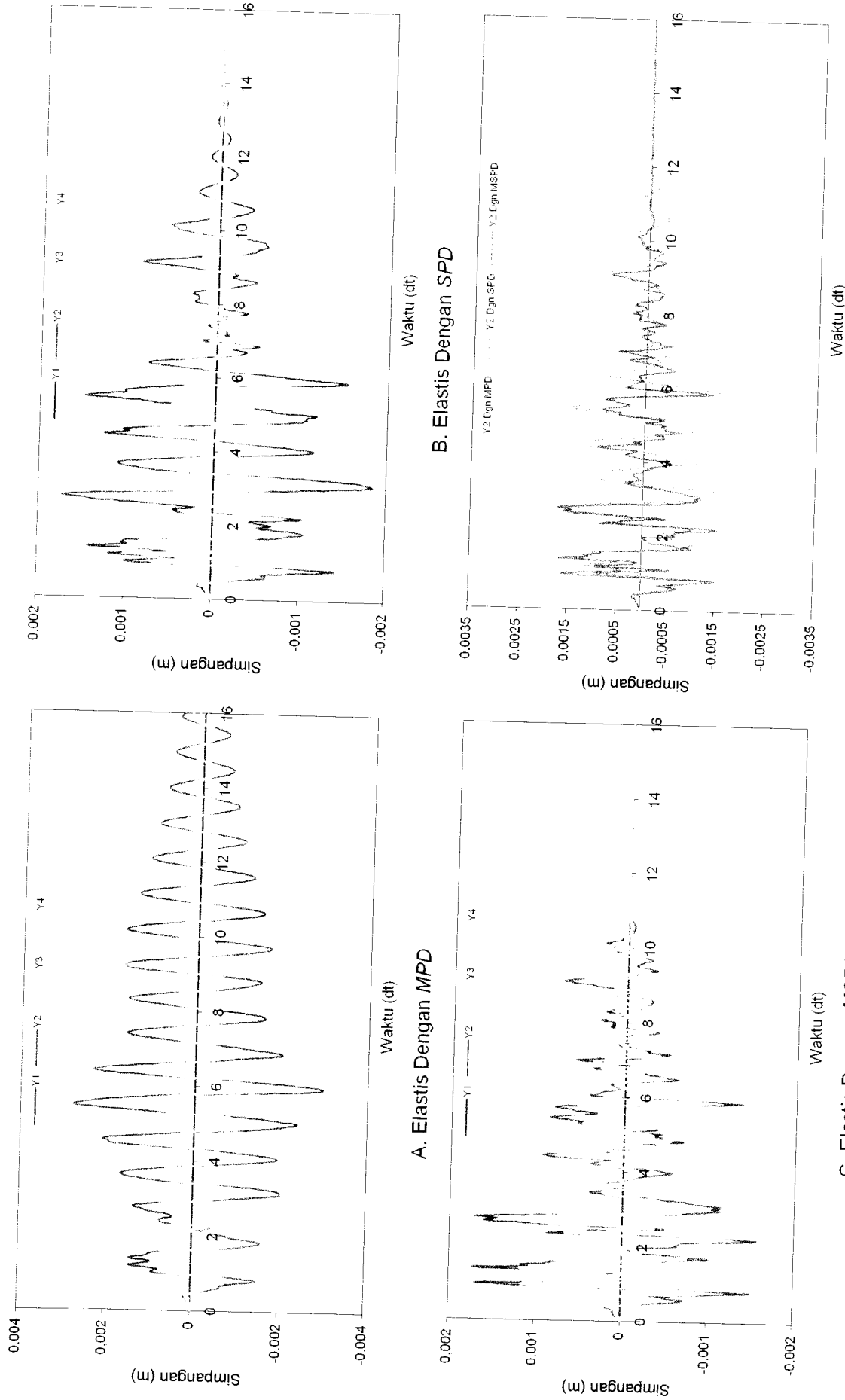
D. Perb. 3 Jenis Bangunan

Gambar 5.76 Grafik Perbandingan Simpangan Relatif Maksimum Struktur 8 Tingkat Dengan 3 Jenis Redaman Akibat Gempa Elcentro

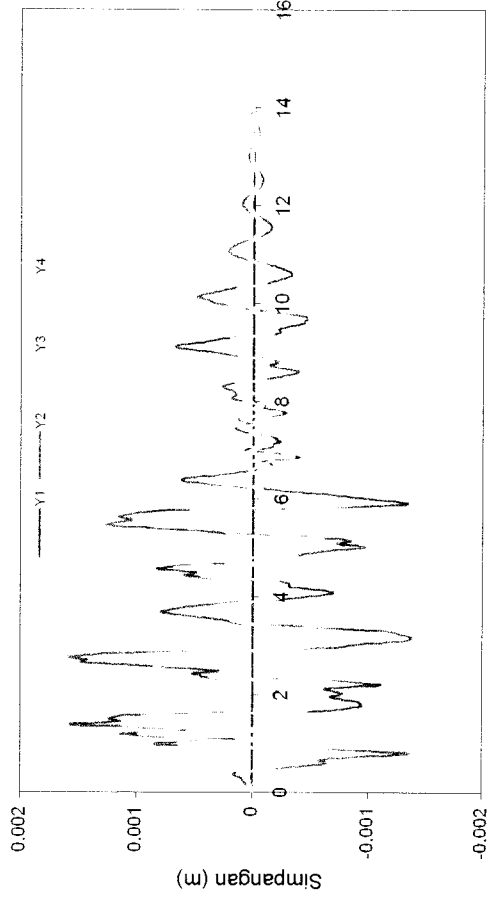




Gambar 5.77 Grafik Perbandingan Simpangan Relatif Struktur 4 Tingkat Tanpa Base Isolation Dengan 3 Jenis Redaman Akibat Gempa Elcentro

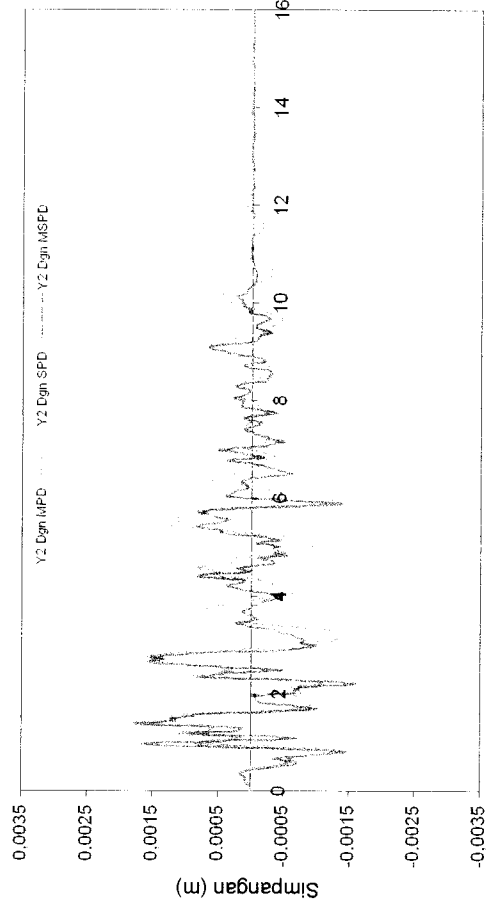


Gambar 5.78 Grafik Perbandingan Simpangan Relatif Struktur 4 Tingkat Dengan Base Isolation Dengan 3 Jenis Redaman Akibat Gempa Elcentro



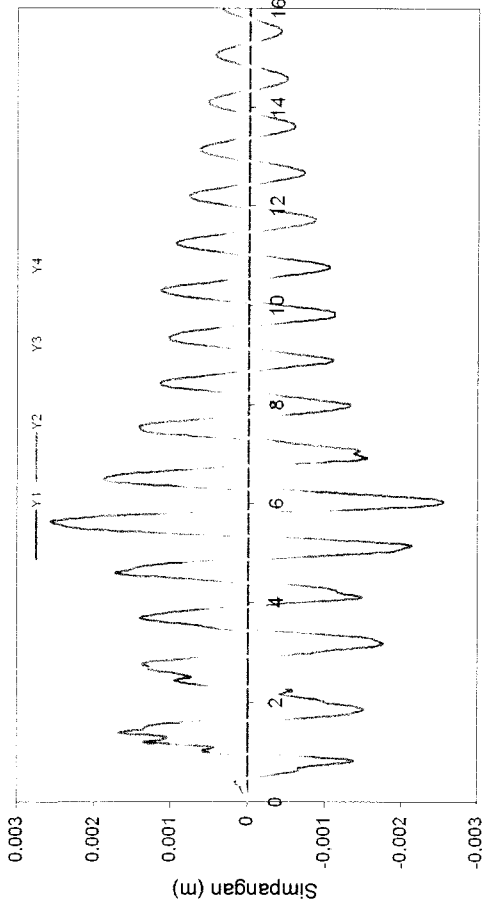
Waktu (dt)

B. Elastoplastis Dengan SPD



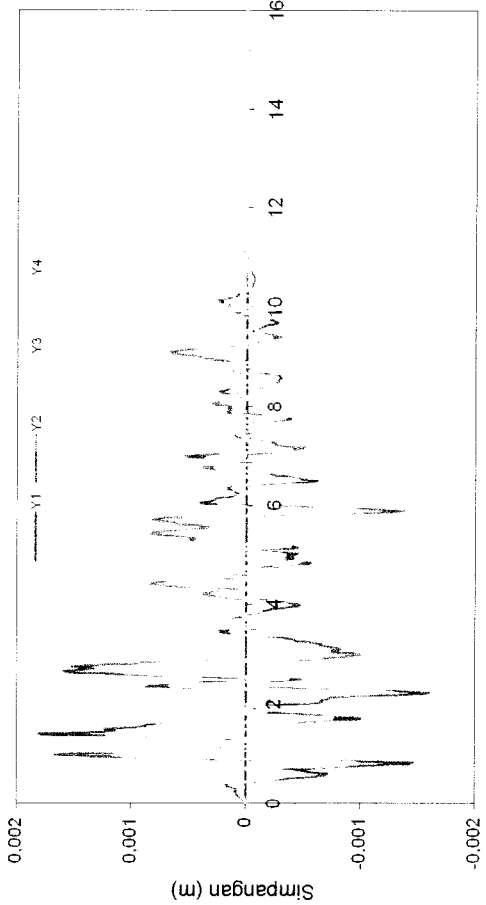
Waktu (dt)

D. Perbandingan Tingkat 2 Dengan 3 Jenis Redaman



Waktu (dt)

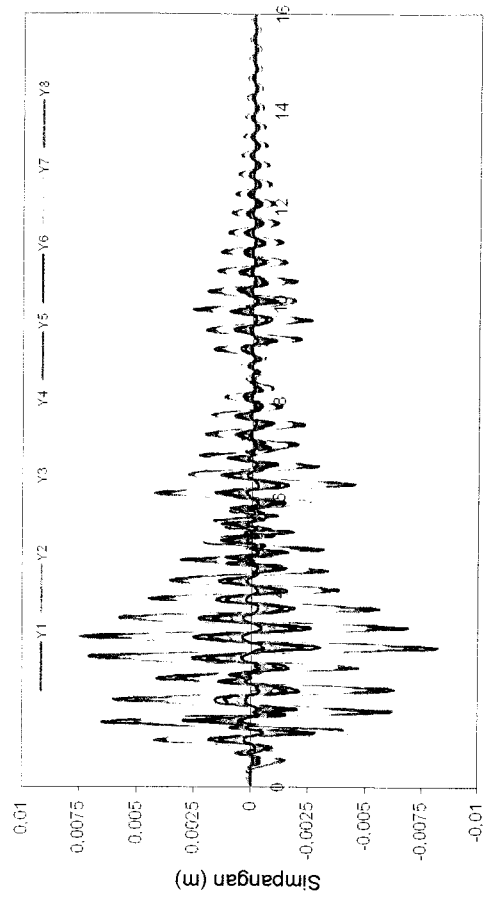
A. Elastoplastis Dengan MPD



Waktu (dt)

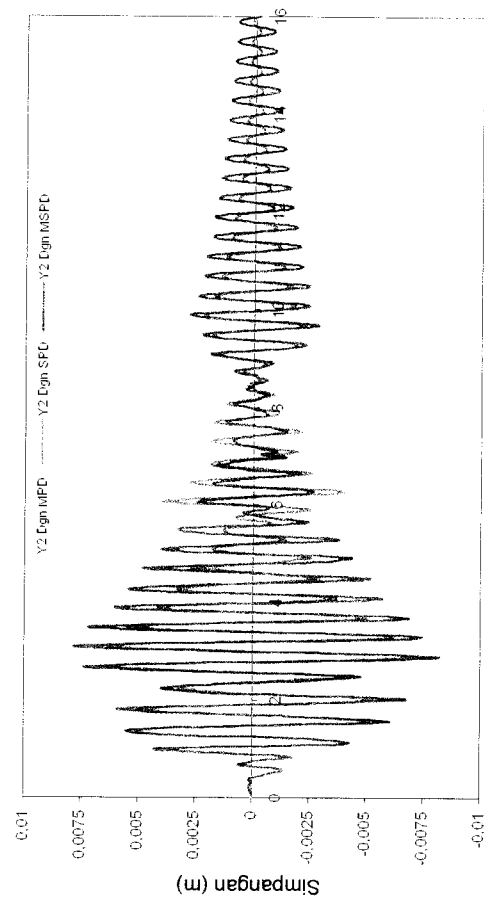
C. Elastoplastis Dengan MSFD

Gambar 5.79 Grafik Perbandingan Simpangan Relatif Struktur 4 Tingkat Dengan Base Isolation Dengan 3 Jenis Redaman Akibat Gempa Elcentro



A. Tipikal Dengan MPD

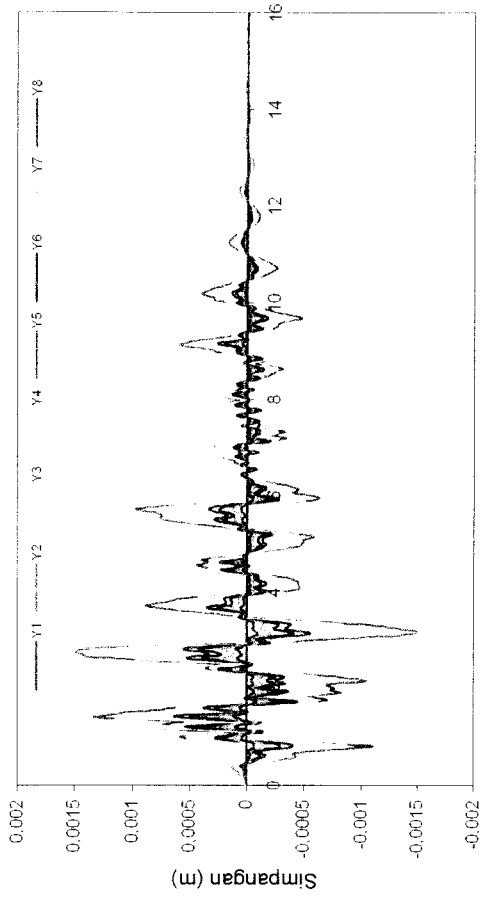
B. Tipikal Dengan SPD



C. Tipikal Dengan MSPD

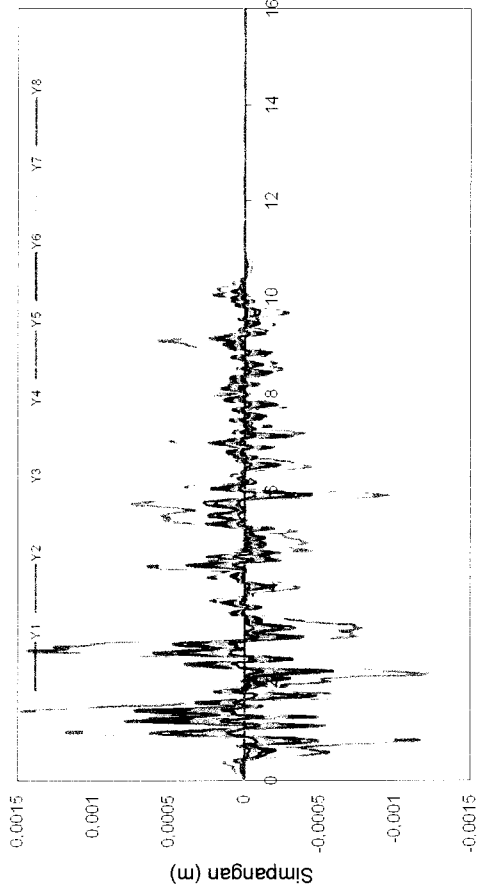
D. Perbandingan Tingkat 2 Dgn 3 Jenis Redaman

Gambar 5.80 Grafik Perbandingan Simpangan Relatif Struktur 8 Tingkat Tanpa Base Isolation Dengan 3 Jenis Redaman Akibat Gempa Elcentro



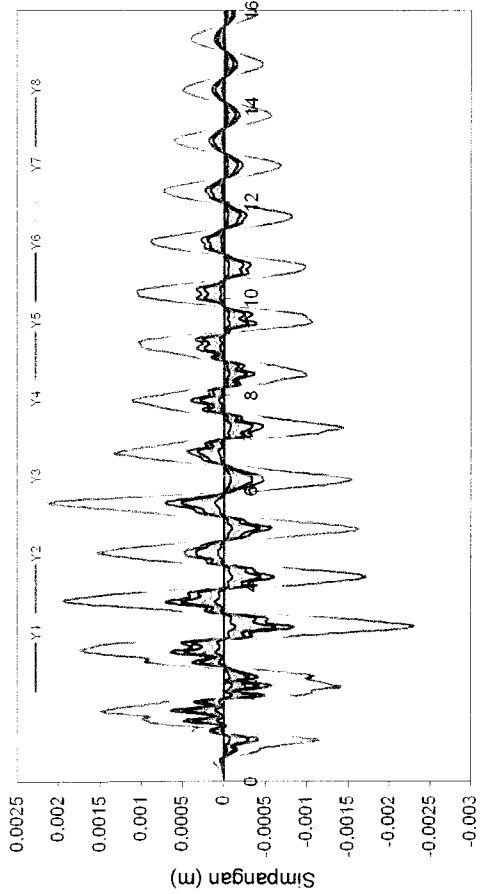
Waktu (dt)

A. Elastis Dengan MPD



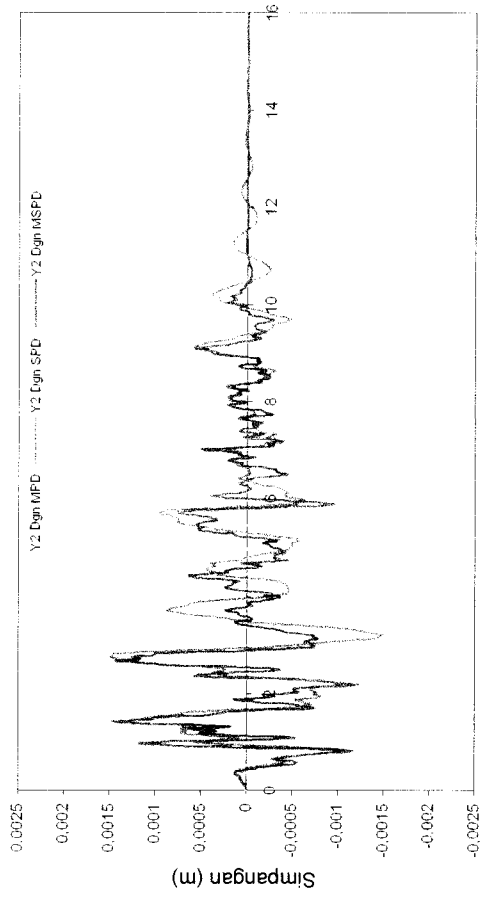
Waktu (dt)

C. Elastis Dengan MSPD



Waktu (dt)

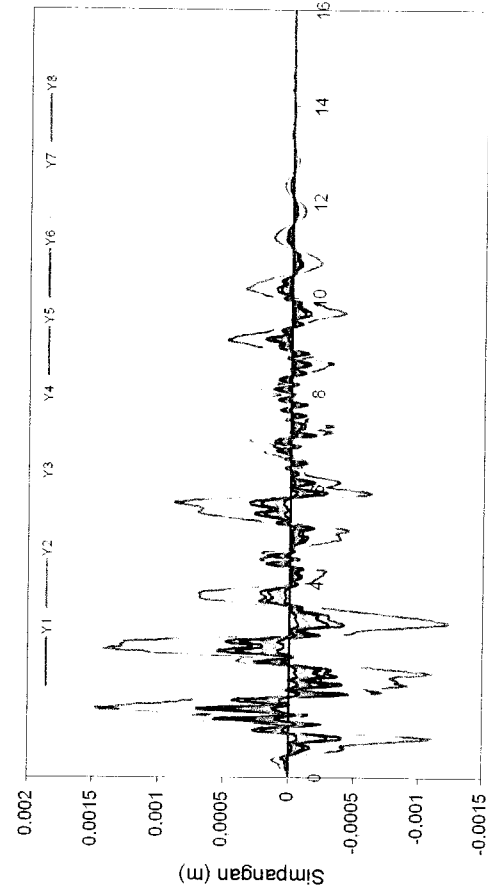
B. Elastis Dengan SPD



Waktu (dt)

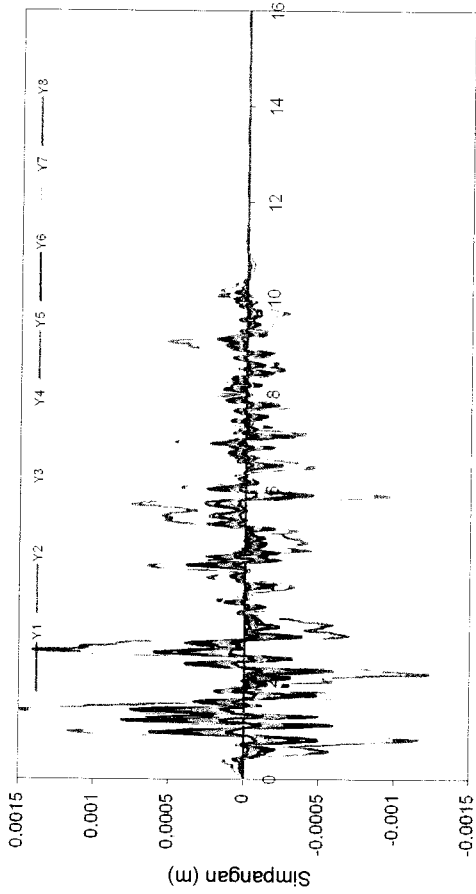
D. Perbandingan Tingkat 2 Dgn 3 Jenis Redaman

Gambar 5.81 Grafik Perbandingan Simpangan Relatif Struktur 8 Tingkat Dengan Base Isolation Dengan 3 Jenis Redaman Akibat Gempa Elcentro



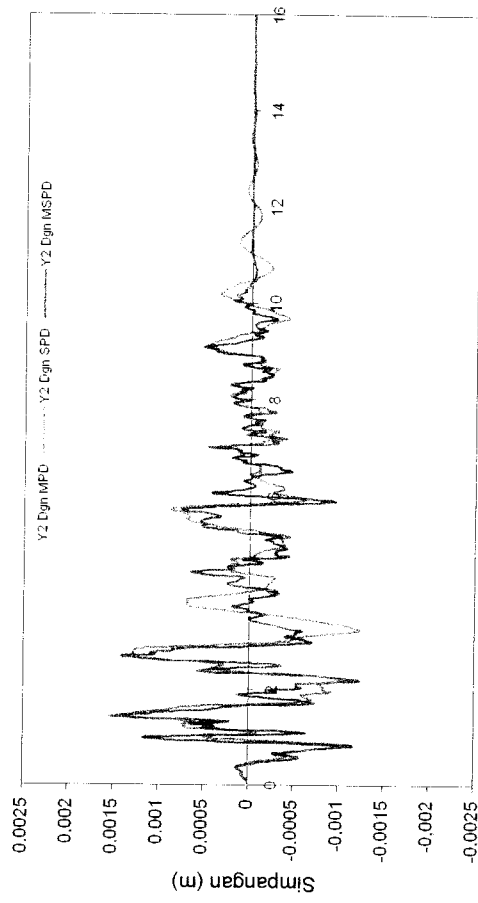
Waktu (dt)

A. Elastoplastis Dengan MPD



Waktu (dt)

B. Elastoplastis Dengan SPD



Waktu (dt)

C. Elastoplastis Dengan MSPD

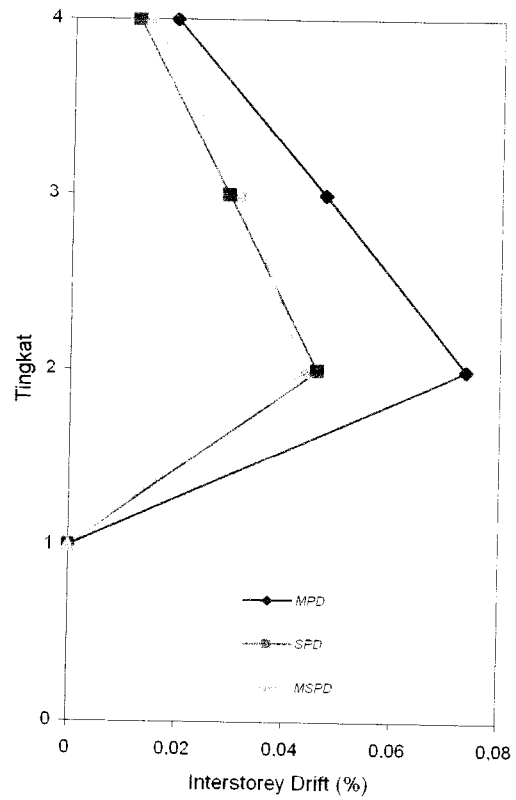
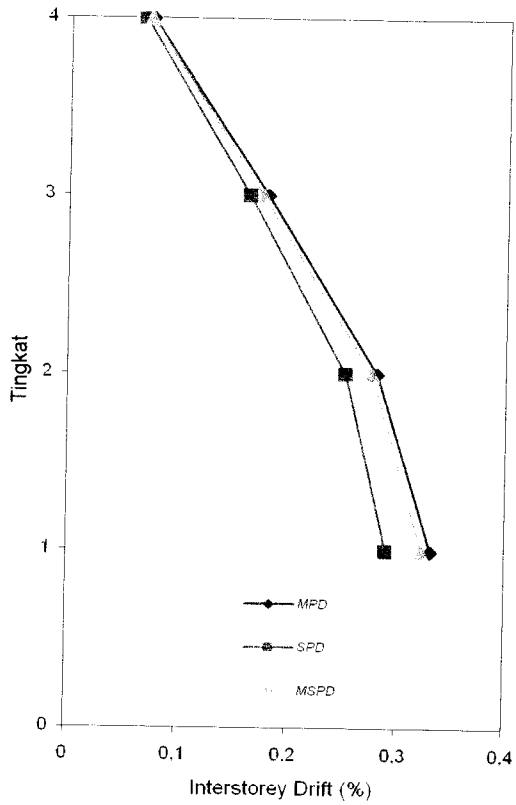
Gambar 5.82 Grafik Perbandingan Simpangan Relatif Struktur 8 Tingkat Dengan Base Isolation Dengan 3 Jenis Redaman Akibat Gempa Elcentro

D. Perbandingan Tingkat 2 Dgn 3 Jenis Redaman

#### 5.4.2 Simpangan Antar Tingkat (*Interstorey Drift*)

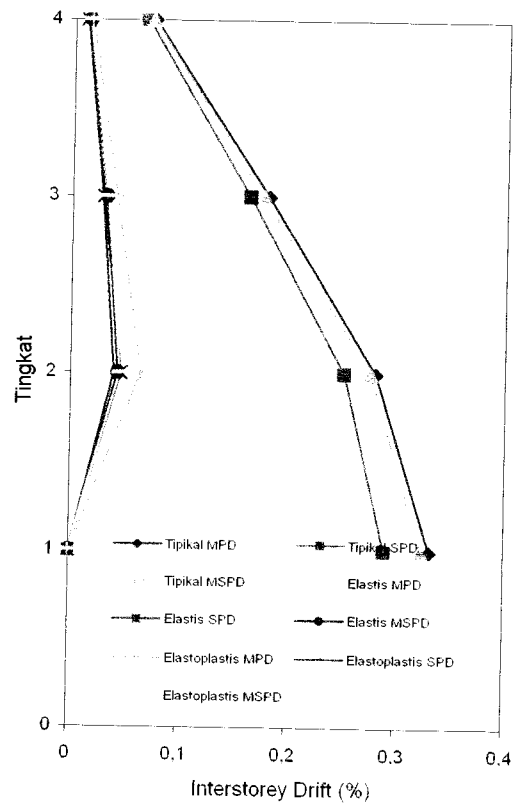
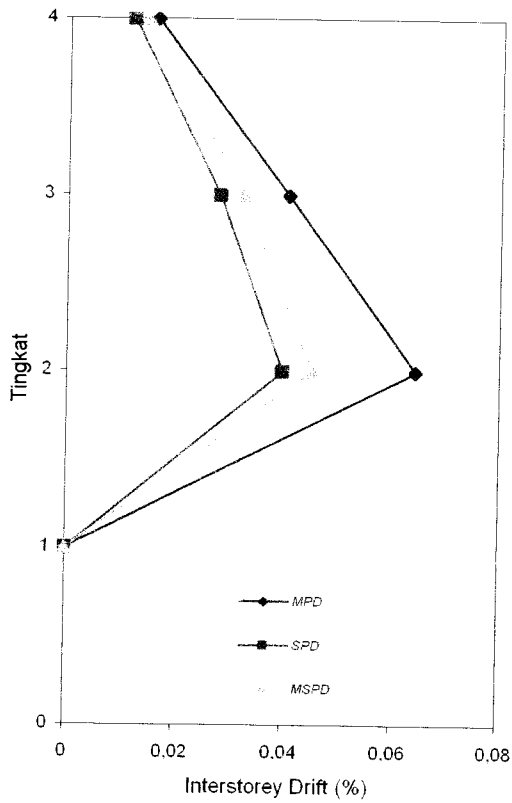
Dari hasil program dapat disajikan nilai-nilai *interstorey drift* struktur 4 tingkat baik dengan dan tanpa *base isolation*, dengan memperhatikan hasil grafik *interstorey drift* maksimum pada **Gambar 5.83** s/d **Gambar 5.84** maka,

Seperti halnya simpangan relatif, simpangan antar tingkat (*interstorey drift*) maksimum paling besar juga terjadi pada struktur dengan *Mass Proportional Damping (MPD)*, baik untuk bangunan dengan atau tanpa *base isolation*, lihat **Gambar 5.83** dan **Gambar 5.84**. Untuk redaman jenis *MPD* pada mode-mode awal yang mana  $\omega_i < \omega_j$  maka nilai rasio redaman akan lebih besar. Sebaliknya untuk mode-mode yang lebih tinggi dimana  $\omega_i > \omega_j$ , maka rasio redaman yang diperoleh akan lebih kecil. Hasil plotan antara *interstorey drift*(%) lawan waktu(dt) senada dengan hasil plotan simpangan relatif karena *interstorey drift* adalah selisih simpangan dibagi dengan tinggi tingkat. Untuk struktur dengan redaman jenis *SPD* matriks redaman berasosiasi dengan kekakuan, artinya isian matriks pada redaman akan senada dengan matriks kekakuan, sehingga potensi redaman pada damping jenis ini paling besar dan *interstorey drift* yang dihasilkan menjadi lebih kecil dibanding menggunakan dua jenis damping yang lain. Begitu juga untuk struktur yang lebih tinggi (8 tingkat) *interstorey drift* yang dihasilkan mempunyai sifat yang sama dengan struktur yang lebih rendah. Penjelasan ini berlaku juga untuk struktur dengan *base isolation* (Elastis dan Elastoplastis).



A. Tipikal Dgn 3 Jenis Redaman

B. Elastis Dgn 3 Jenis Redaman

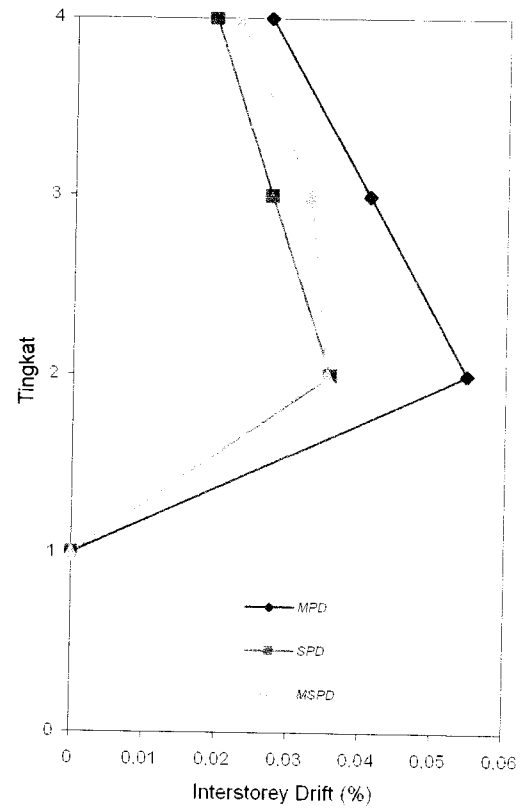
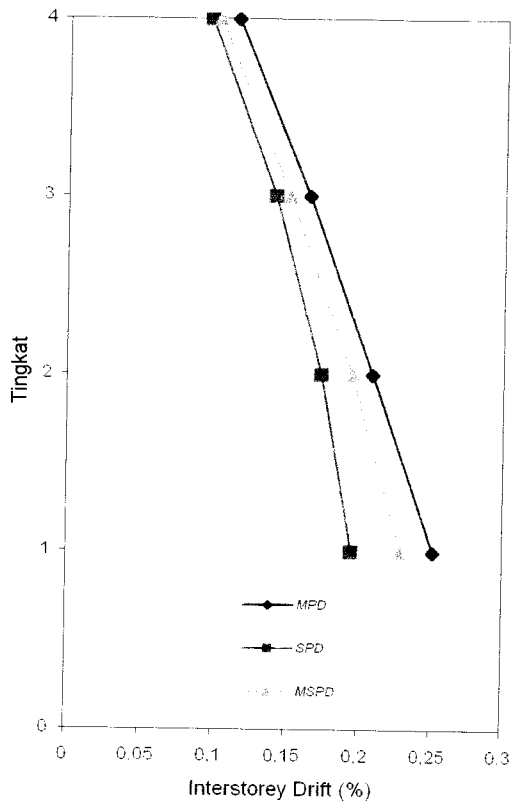


C. Elastoplastis Dgn 3 Jenis Redaman

D. Perb. 3 Jenis Bangunan

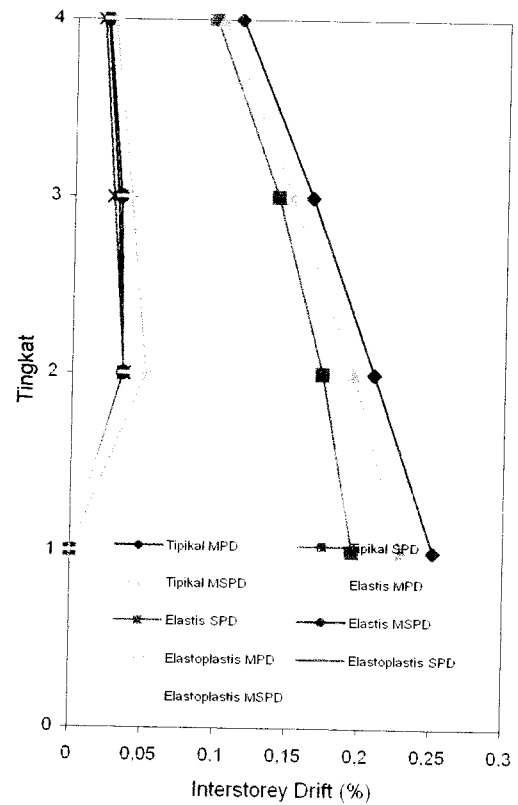
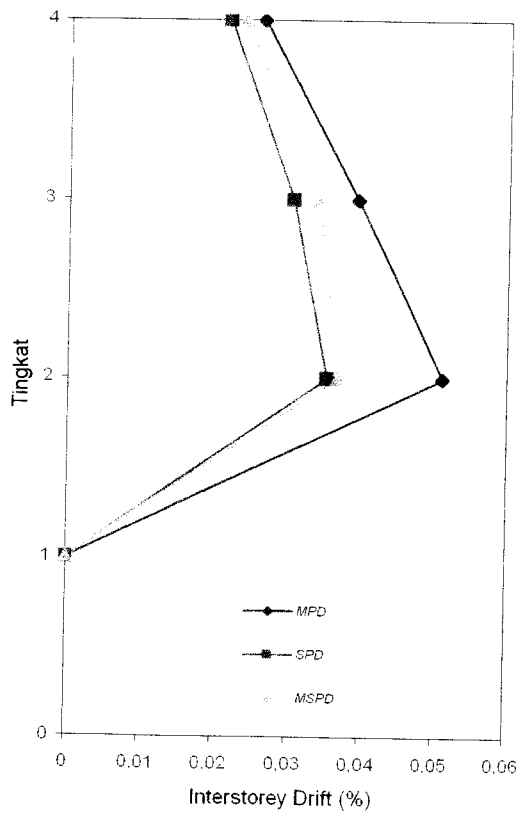
Gambar 5.83 Grafik Perbandingan *Interstorey Drift* Maksimum Struktur 4 Tingkat Dengan 3 Jenis Redaman Akibat Gempa Elcentro





A. Tipikal Dgn 3 Jenis Redaman

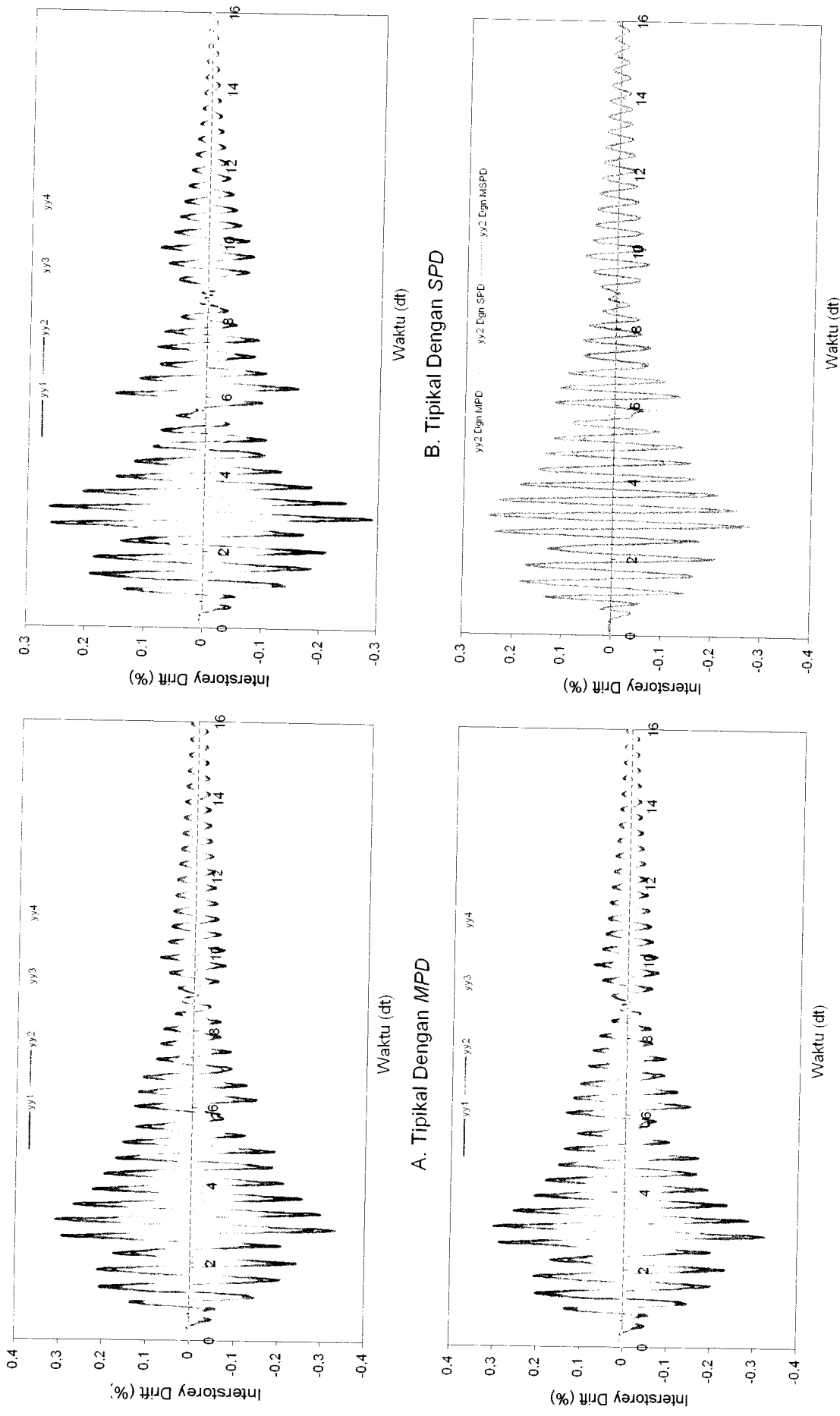
B. Elastis Dgn 3 Jenis Redaman



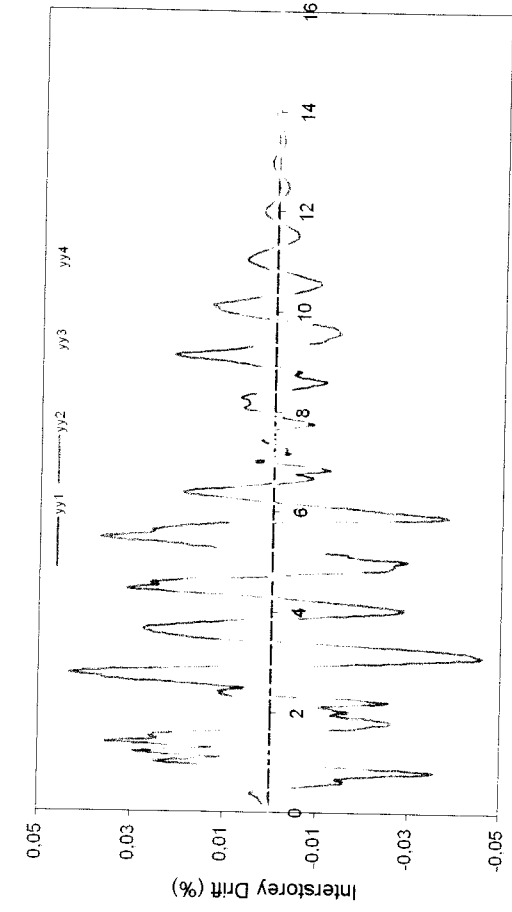
C. Elastoplastis Dgn 3 Jenis Redaman

D. Perb. 3 Jenis Bangunan

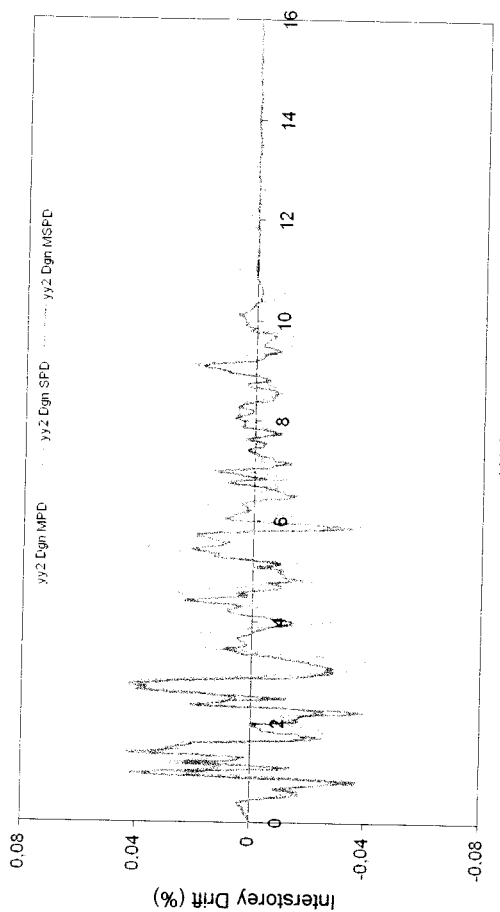
Gambar 5.84 Grafik Perbandingan *Interstorey Drift* Maksimum Struktur 8 Tingkat Dengan 3 Jenis Redaman Akibat Gempa Elcentro



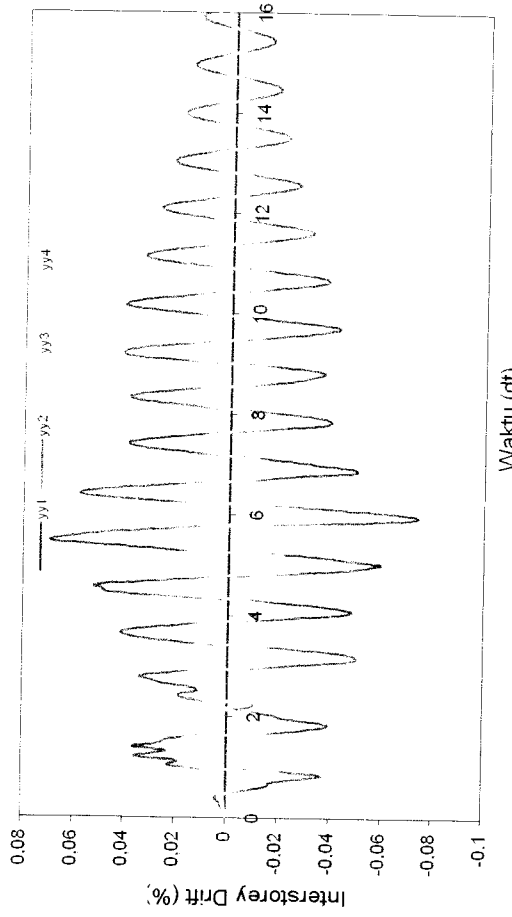
Gambar 5.85 Grafik Perbandingan *Interstorey Drift* Struktur 4 Tingkat Tanpa Base Isolation Dengan 3 Jenis Redaman Akibat Gempa Elcentro



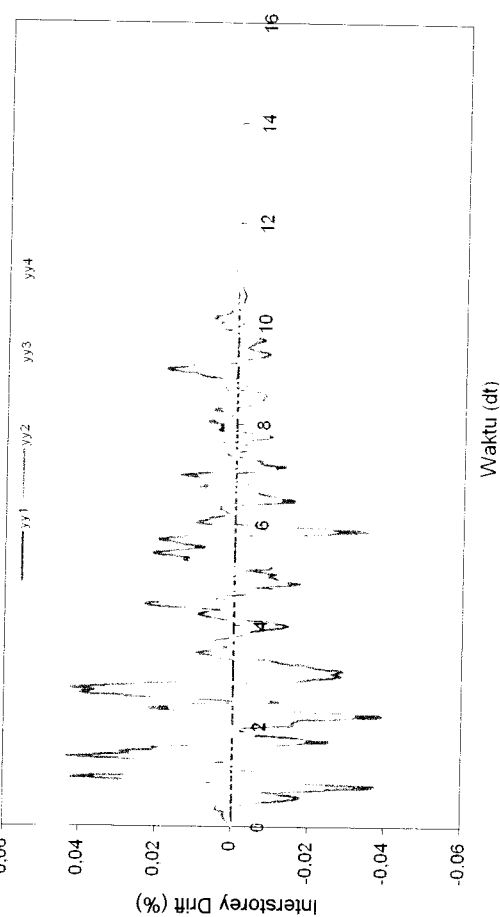
A. Elastis Dengan MPD



B. Elastis Dengan SPD

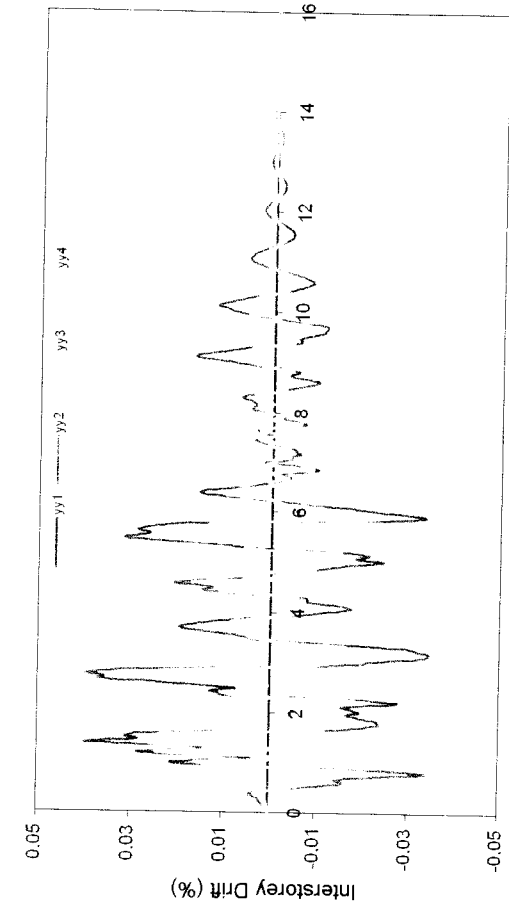


C. Elastis Dengan MSPD



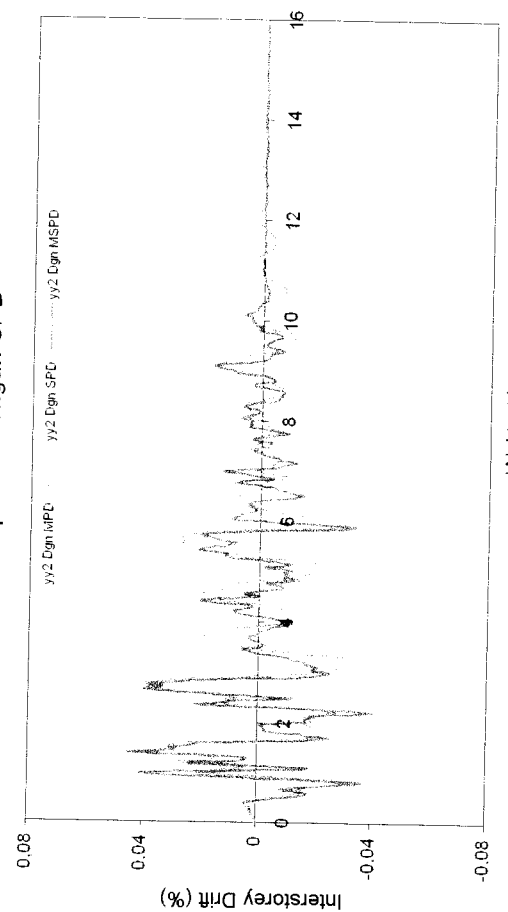
D. Perbandingan Tingkat 2 Dengan 3 jenis Redaman

Gambar 5.86 Grafik Perbandingan Interstorey Drift Struktur 4 Tingkat Dengan Base Isolation Dengan 3 Jenis Redaman Akibat Gempa Elcentro



A. Elastoplastis Dengan MPD

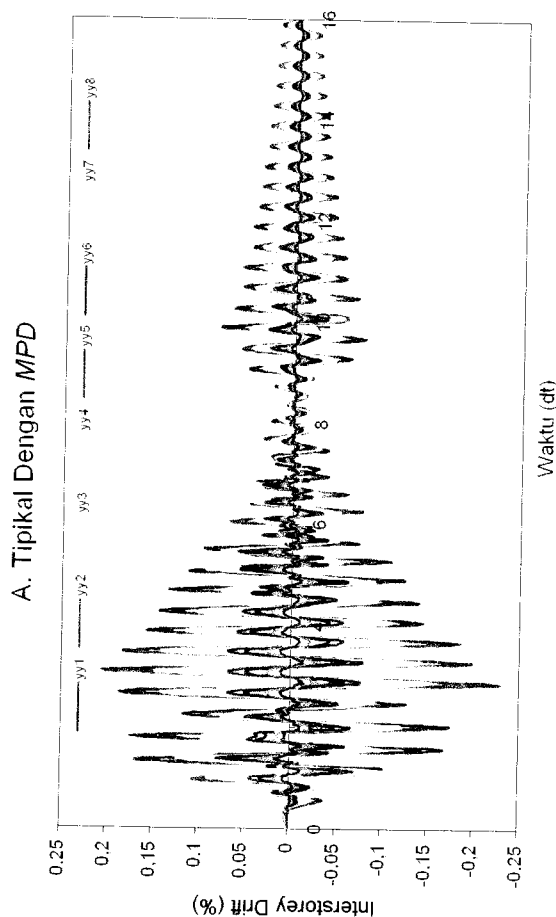
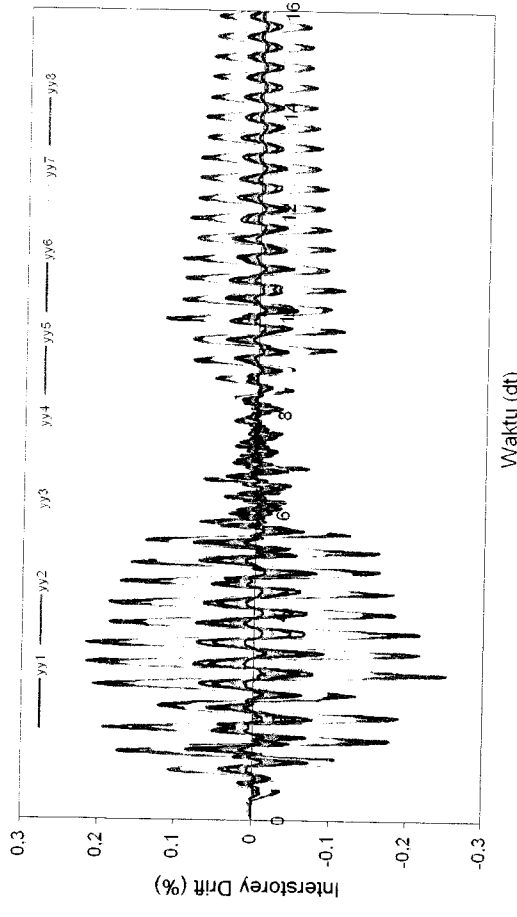
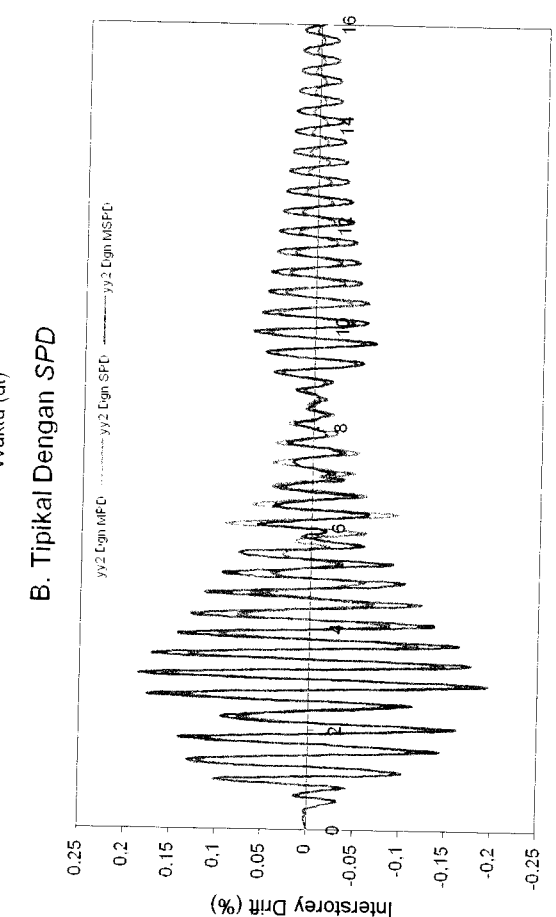
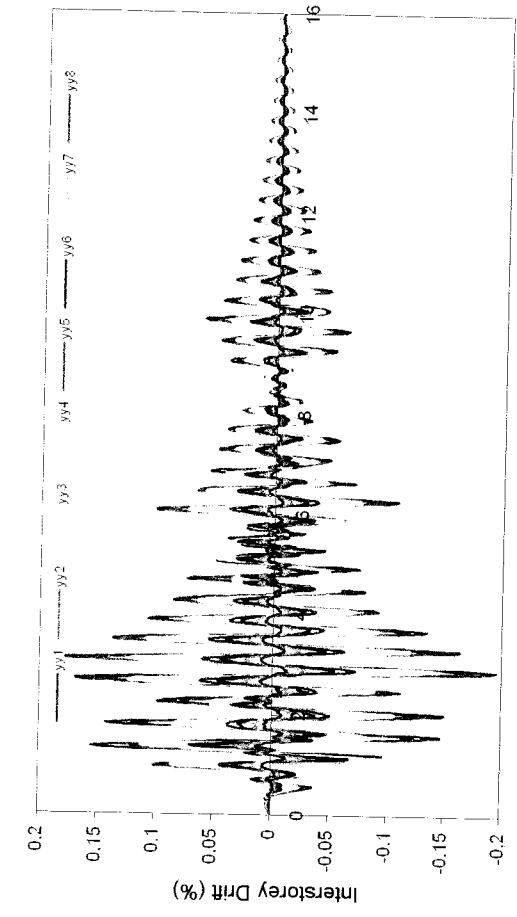
B. Elastoplastis Dengan SPD



C. Elastoplastis Dengan MSPD

D. Perbandingan Tingkat 2 Dengan 3 Jenis Redaman

Gambar 5.87 Grafik Perbandingan Interstorey Drift Struktur 4 Tingkat Dengan Base Isolation Dengan 3 Jenis Redaman Akibat Gempa Elcentro



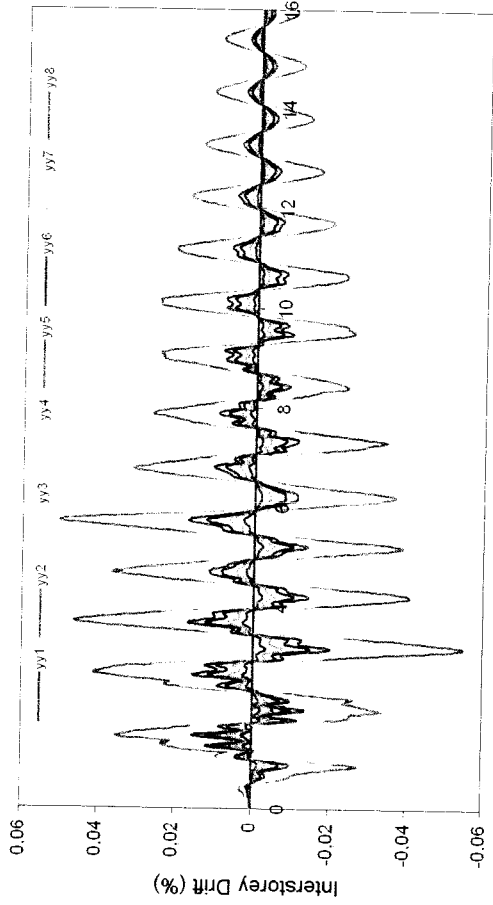
A. Tipikal Dengan MPD

B. Tipikal Dengan SPD

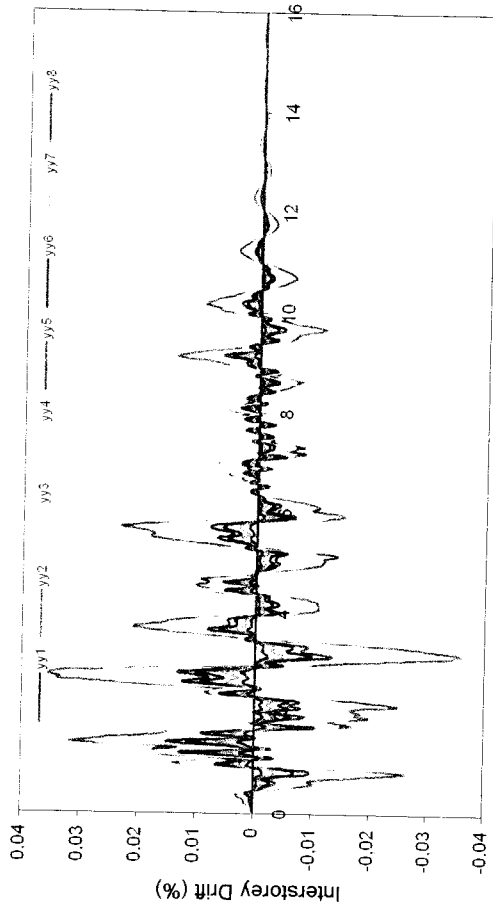
C. Tipikal Dengan MSPD

D. Perbandingan Tingkat 2 Dgn 3 Jenis Redaman

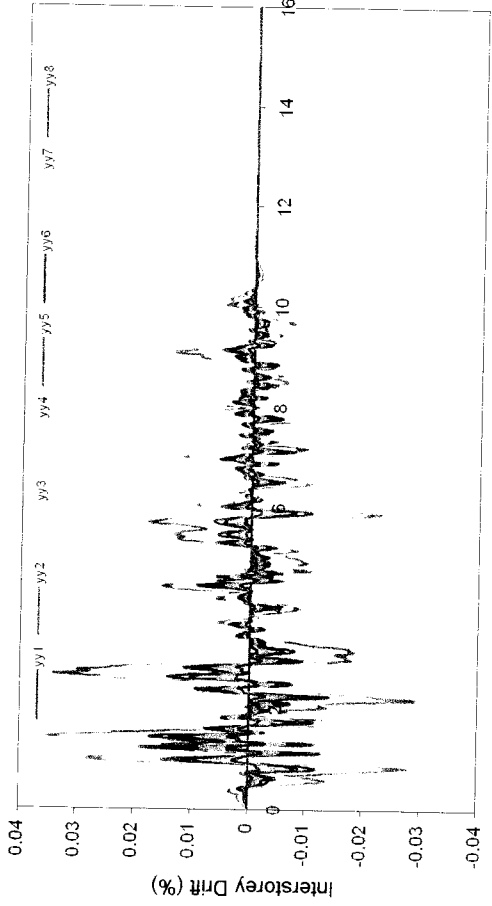
Gambar 5.88 Grafik Perbandingan Interstorey Drift Struktur 8 Tingkat Tanpa Base Isolation Dengan 3 Jenis Redaman Akibat Gempa Eicentro



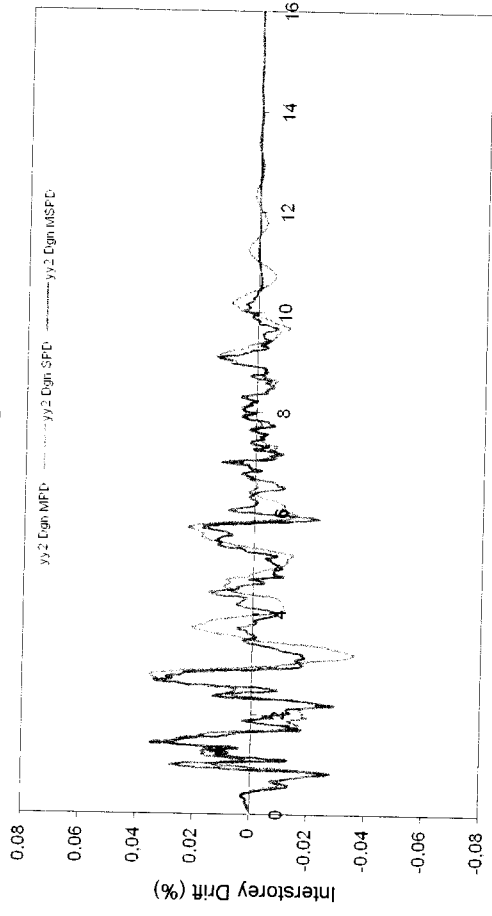
A. Elastis Dengan MPD



B. Elastis Dengan SPD

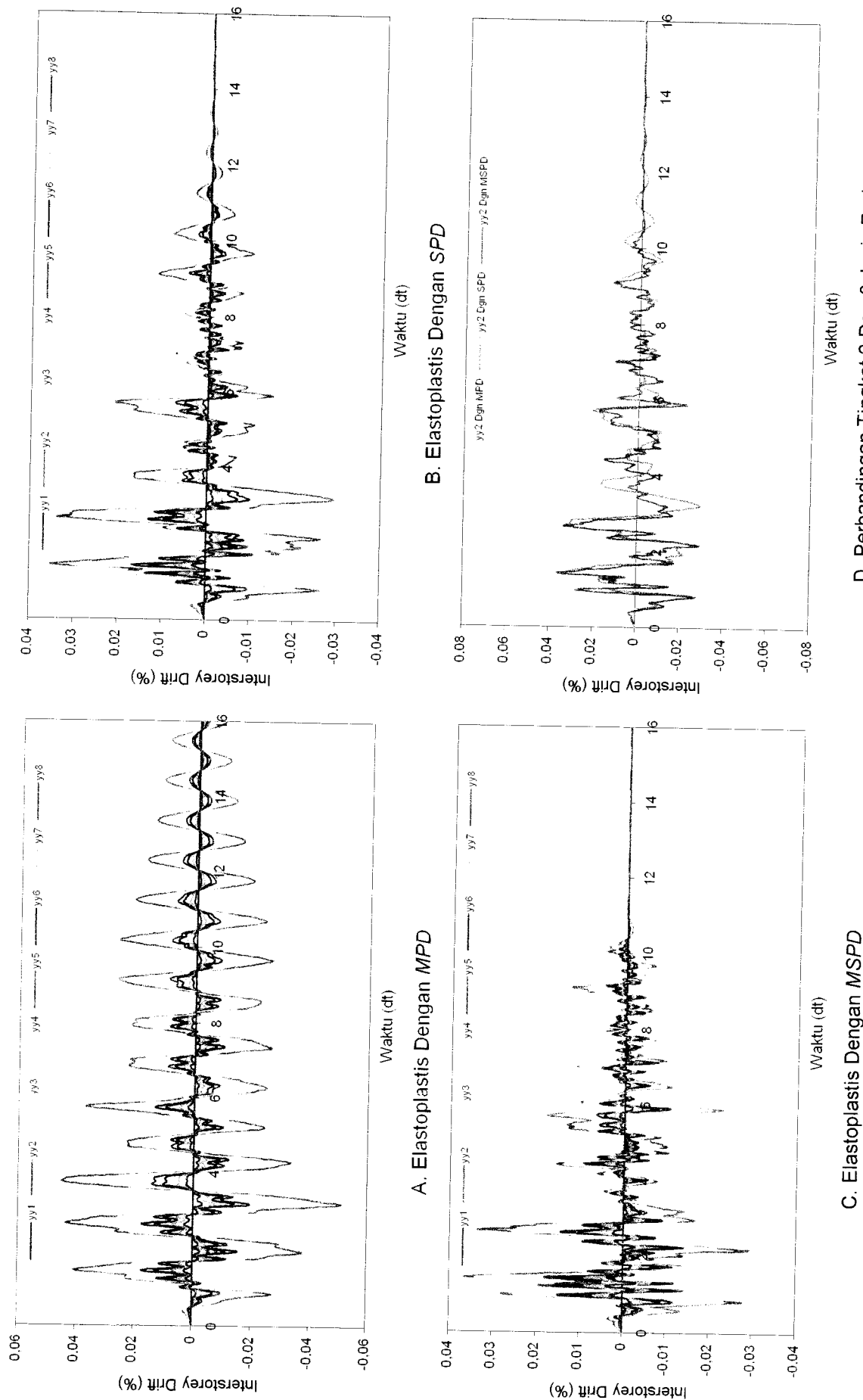


C. Elastis Dengan MSPD



D. Perbandingan Tingkat 2 Dgn 3 Jenis Redaman

Gambar 5.89 Grafik Perbandingan Interstorey Drift Struktur 8 Tingkat Dengan Base Isolation Dengan 3 Jenis Redaman Akibat Gempa Elcentro



Gambar 5.90 Grafik Perbandingan Interstorey Drift Struktur 8 Tingkat Dengan Base Isolation Dengan 3 Jenis Redaman Akibat Gempa Elcentro

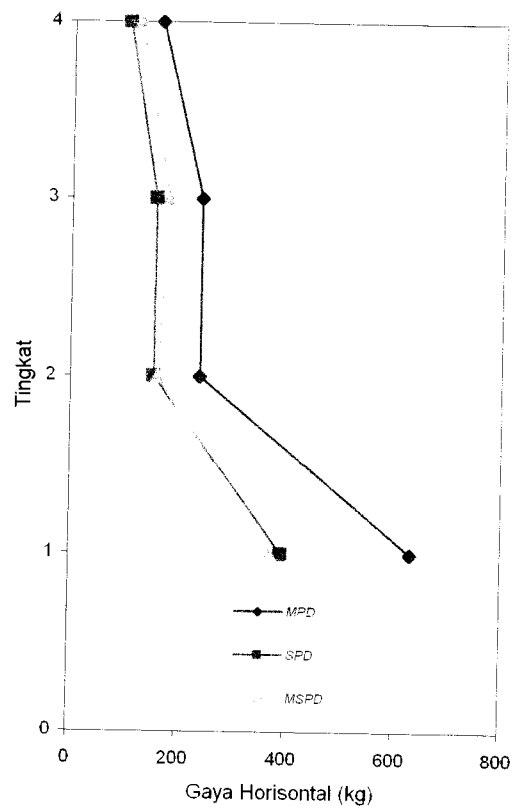
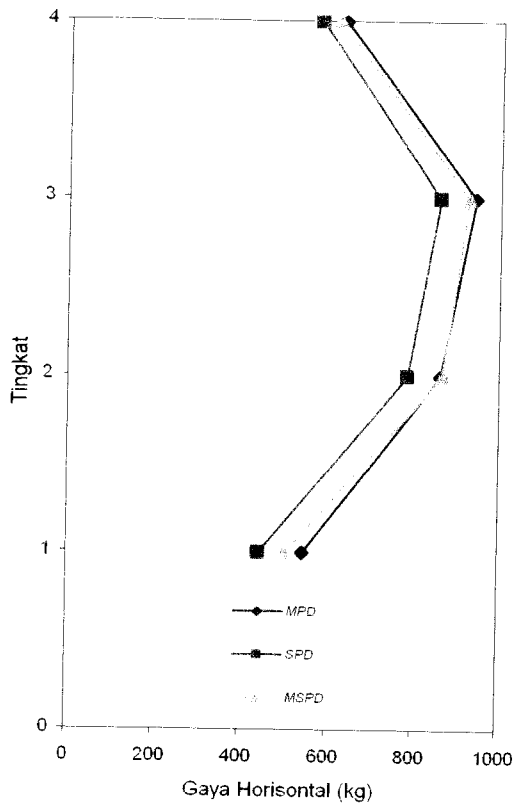
### 5.4.3 Gaya Horisontal Tingkat.

Dari hasil program dapat disajikan nilai-nilai gaya horisontal struktur 4 tingkat baik dengan dan tanpa *base isolation*, dengan memperhatikan hasil grafik gaya horisontal maksimum pada **Gambar 5.91** dan **Gambar 5.92** maka,

Gaya horisontal merupakan produk antara simpangan atau simpangan relatif dengan kekakuan, semakin besar simpangan struktur maka semakin besar pula potensi meredam energi. Seperti terlihat pada **Gambar 5.91** dan **Gambar 5.92** gaya horisontal terkecil terdapat pada struktur yang menggunakan jenis redaman *SPD (Stiffnes Propotional Damping)*, hal ini dikarenakan simpangan yang dihasilkan paling kecil baik untuk struktur dengan atau tanpa *base isolation*.

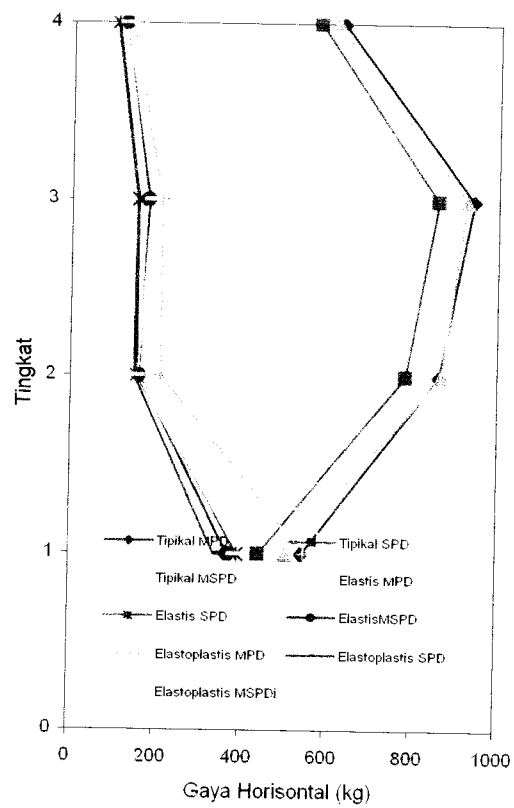
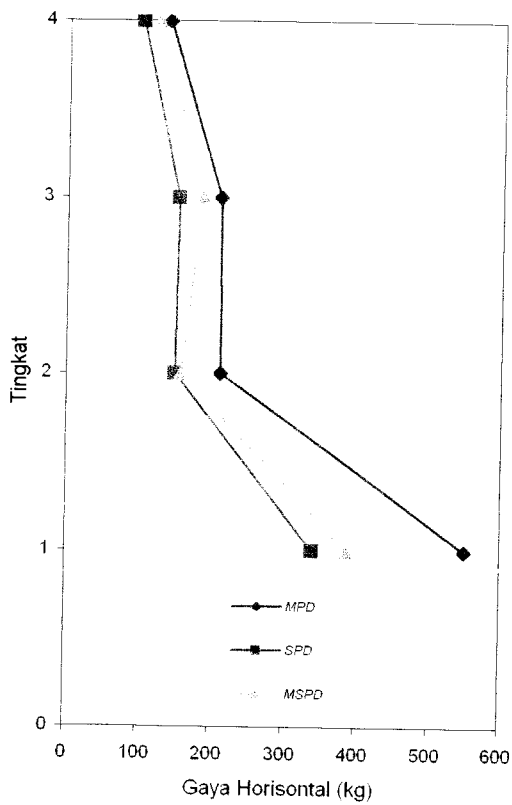
Untuk struktur dengan *base isolation* baik elastis maupun elastoplastis terjadi titik belok yang cukup signifikan dari tingkat satu ke tingkat dua dimana nilai dari gaya horisontal maksimum menjadi lebih kecil. Hal ini dikarenakan pada tingkat satu terdapat *base isolation*, sehingga gaya horisontal terbesar terjadi pada *base isolation* tersebut dan gaya horisontal yang terjadi pada tingkat di atasnya menjadi lebih kecil dan terus berkurang sampai tingkat paling atas karena sebelumnya sudah diredam oleh *base isolation*. Gaya horisontal terbesar terjadi pada bangunan tanpa *base isolation* (tipikal) yang menggunakan redaman jenis *MPD (Mass Proportional Damping)*. Begitu juga untuk struktur yang lebih tinggi (8 tingkat) gaya horisontal yang dihasilkan mempunyai sifat yang sama dengan struktur yang lebih rendah. Penjelasan ini berlaku juga untuk struktur dengan *base isolation* (Elastis dan Elastoplastis).





A. Tipikal Dgn 3 Jenis Redaman

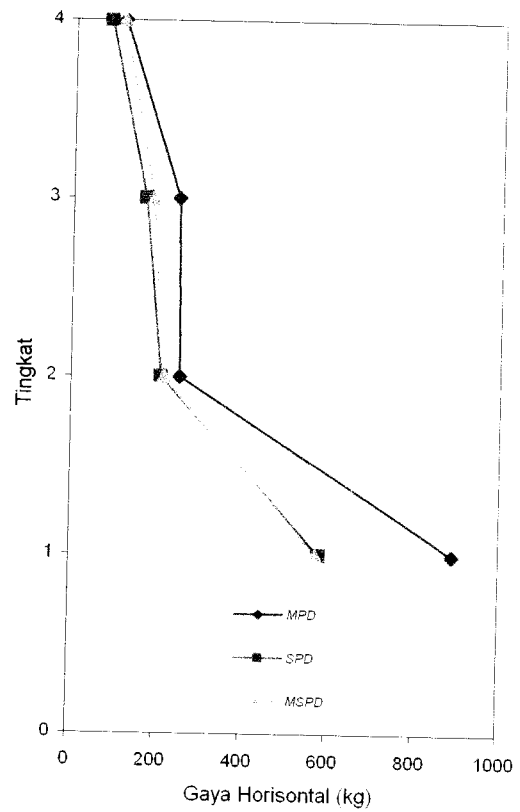
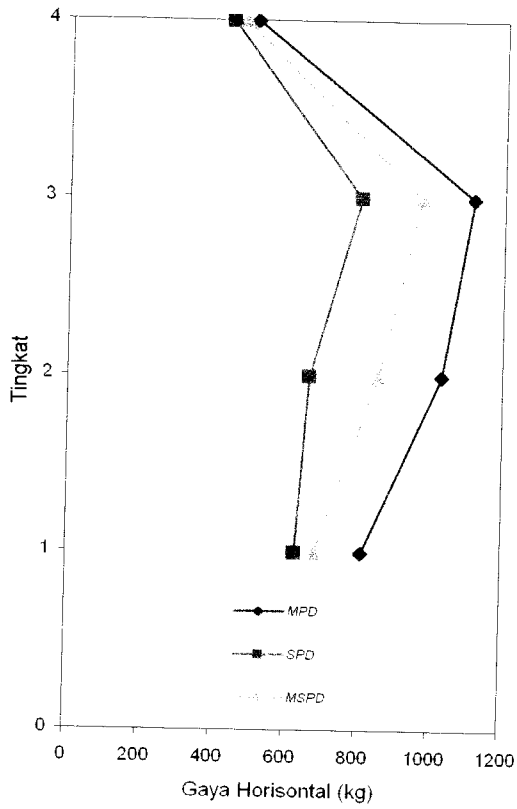
B. Elastis Dgn 3 Jenis Redaman



C. Elastoplastis Dgn 3 Jenis Redaman

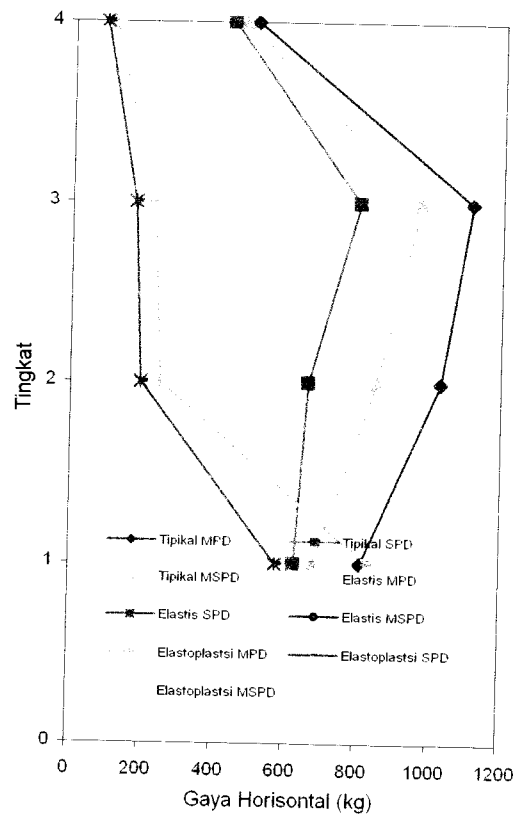
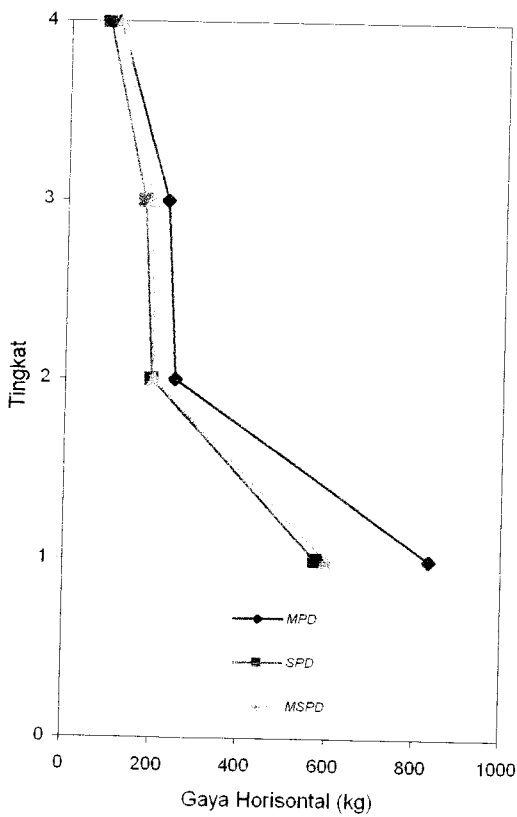
D. Perb. 3 Jenis Bangunan

Gambar 5.91 Grafik Perbandingan Gaya Horizontal Maksimum Struktur 4 Tingkat Dengan 3 Jenis Redaman Akibat Gempa Elcentro



A. Tipikal Dgn 3 Jenis Redaman

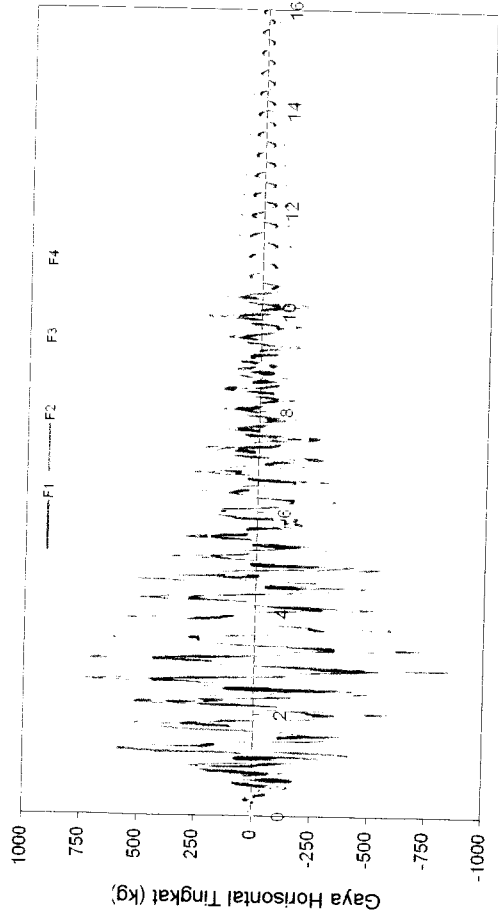
B. Elastis Dgn 3 Jenis Redaman



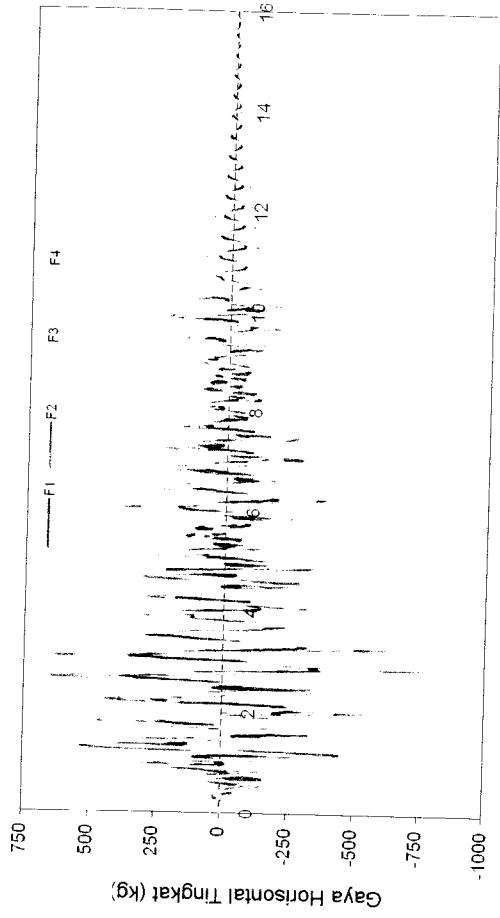
C. Elastoplastis Dgn 3 Jenis Redaman

D. Perb. 3 Jenis Bangunan

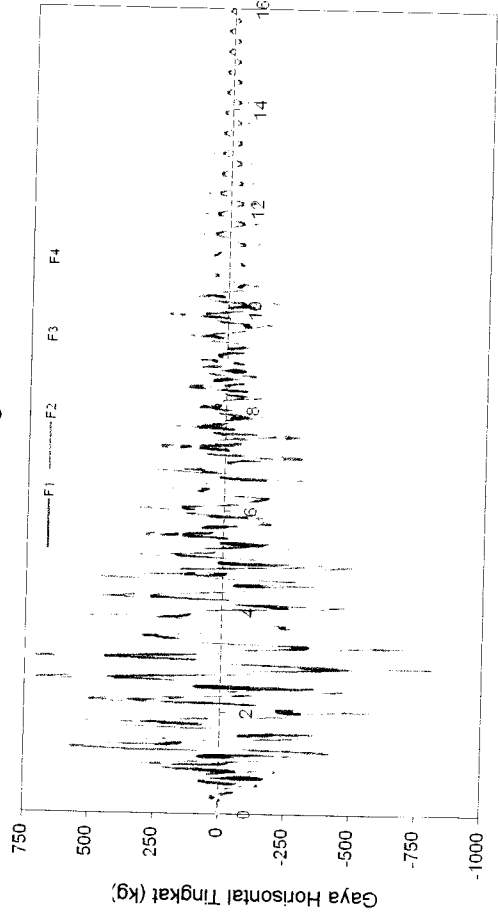
Gambar 5.92 Grafik Perbandingan Gaya Horizontal Maksimum Struktur 8 Tingkat Dengan 3 Jenis Redaman Akibat Gempa Elcentro



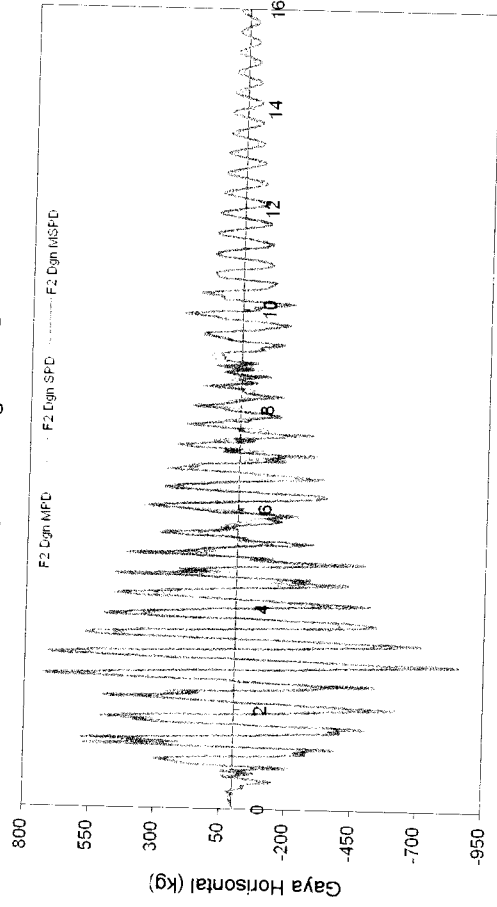
A. Tipikal Dengan MPD



B. Tipikal Dengan SPD

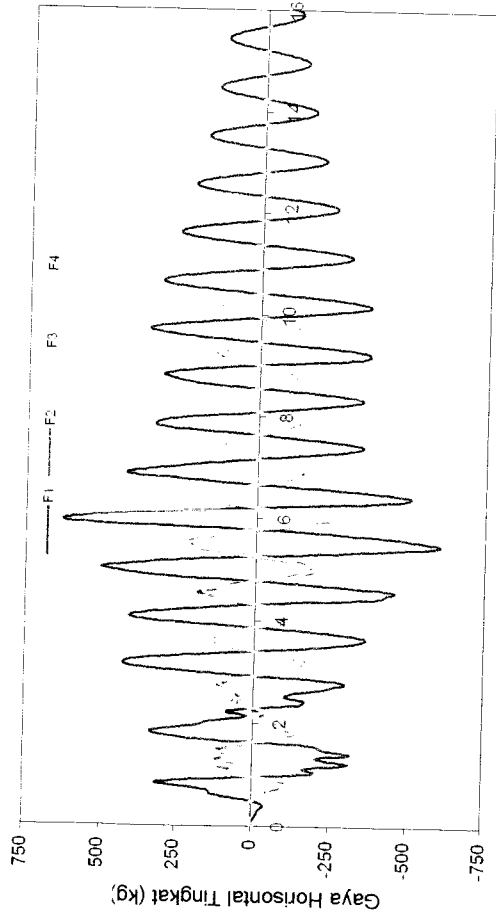


C. Tipikal Dengan MSPD

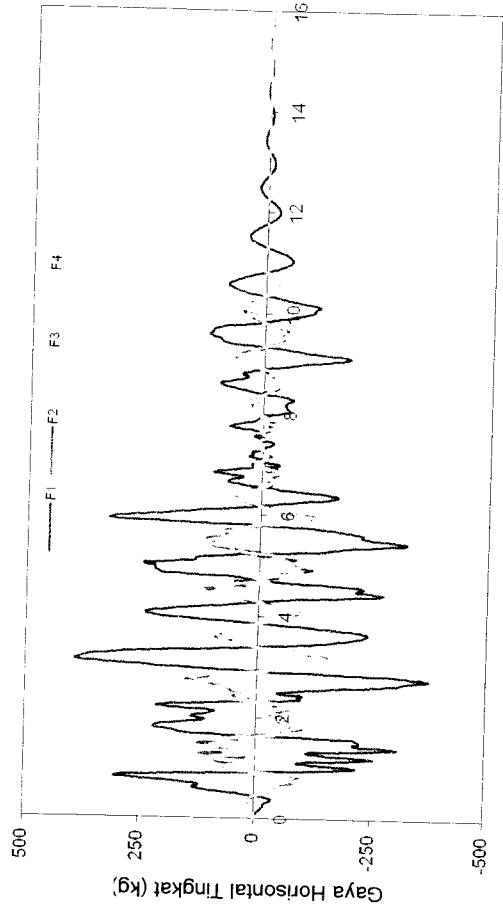


D. Perbandingan Tingkat 2 Dengan 3 Jenis Redaman

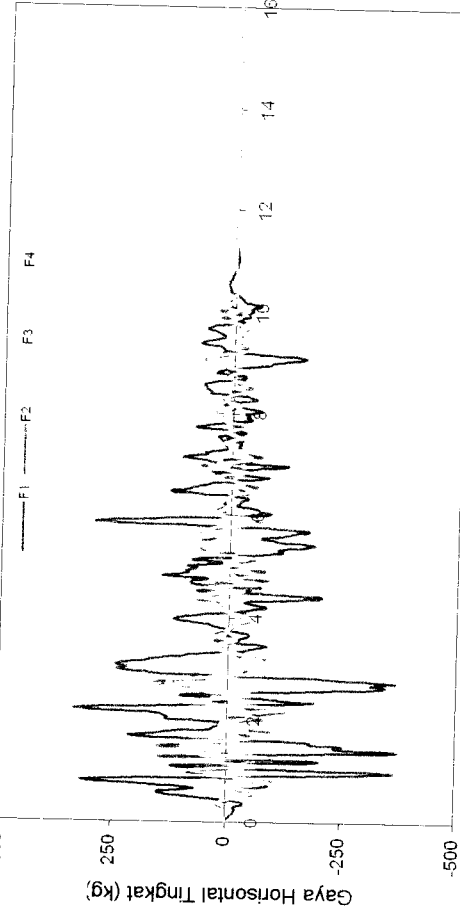
Gambar 5.93 Grafik Perbandingan Gaya Horizontal Struktur 4 Tingkat Tanpa Base Isolation Dengan 3 Jenis Redaman Akibat Gempa Elcentro



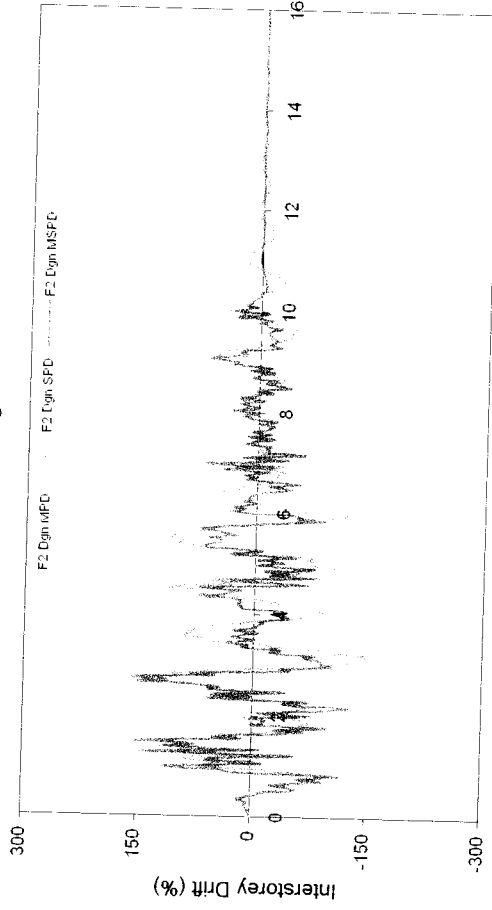
A. Elastis Dengan MPD



B. Elastis Dengan SPD

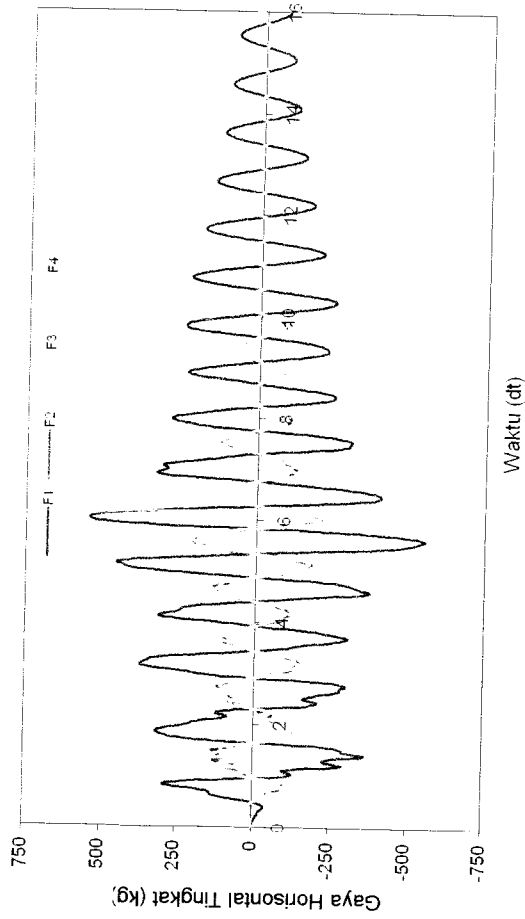


C. Elastis Dengan MSPD

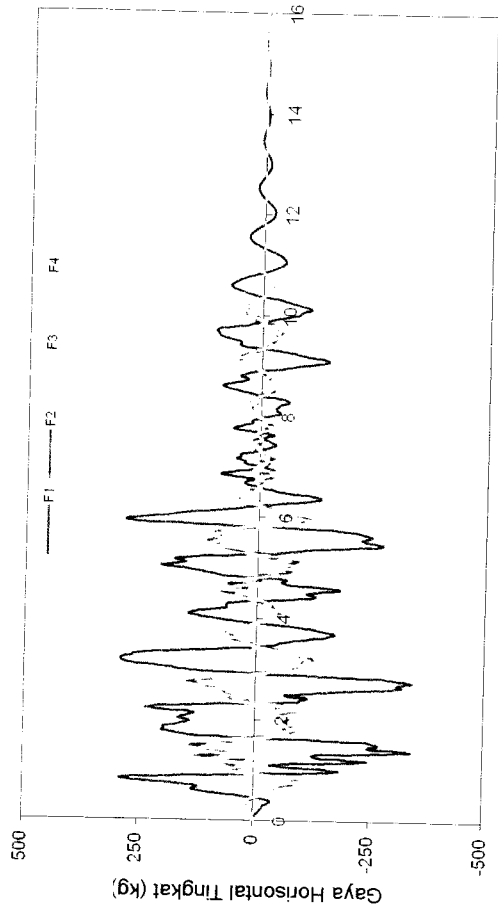


D. Perbandingan Tingkat 2 Dengan 3 jenis Redaman

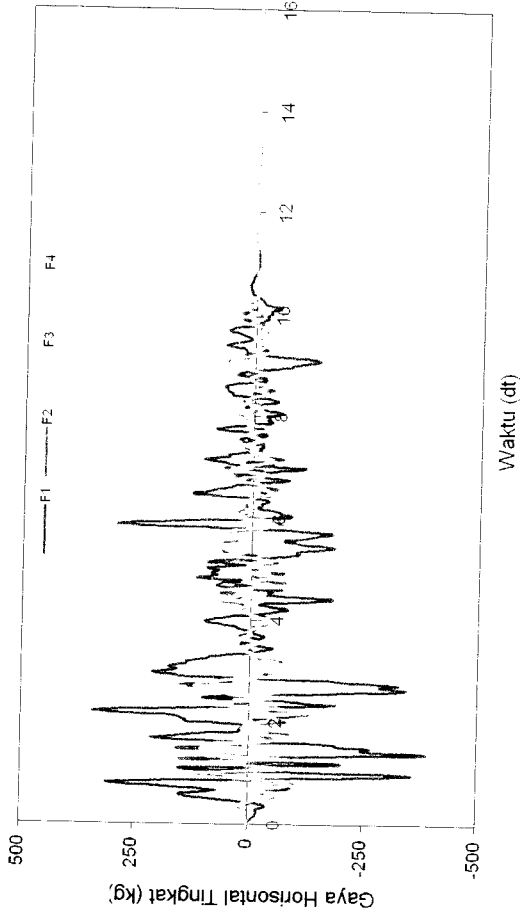
Gambar 5.94 Grafik Perbandingan Gaya Horizontal Struktur 4 Tingkat Dengan Base Isolation Dengan 3 Jenis Redaman Akibat Gempa Elcentro



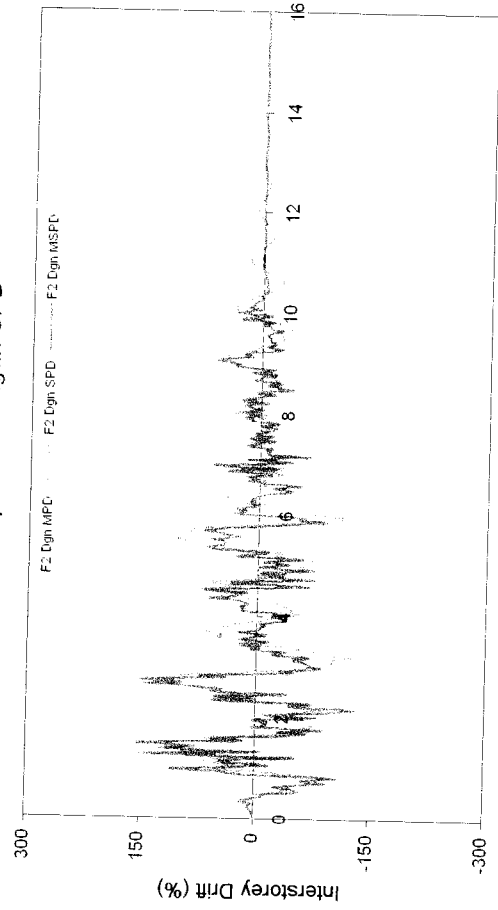
A. Elastoplastis Dengan MPD



B. Elastoplastis Dengan SPD

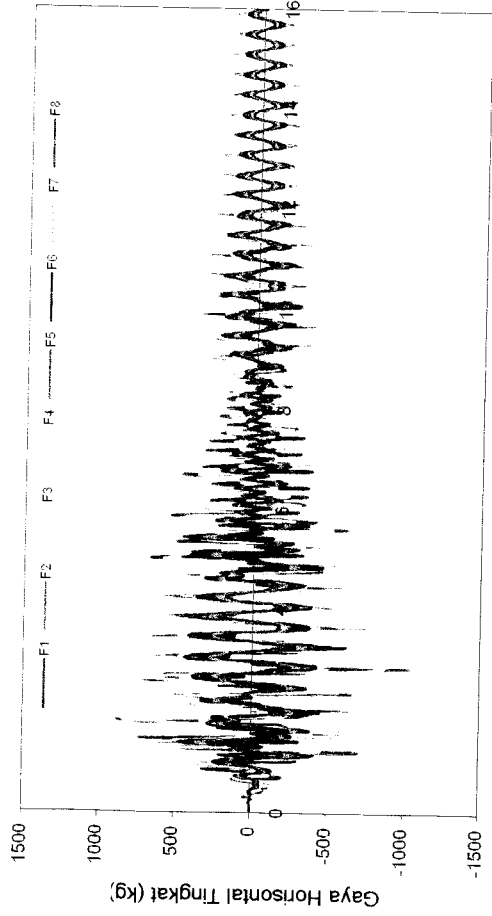


C. Elastoplastis Dengan MSPD

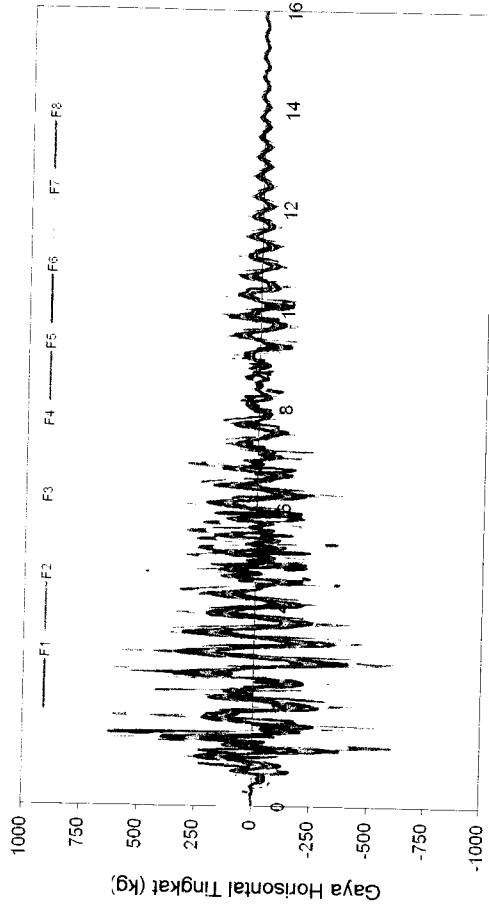


D. Perbandingan Tingkat 2 Dengan 3 Jenis Redaman

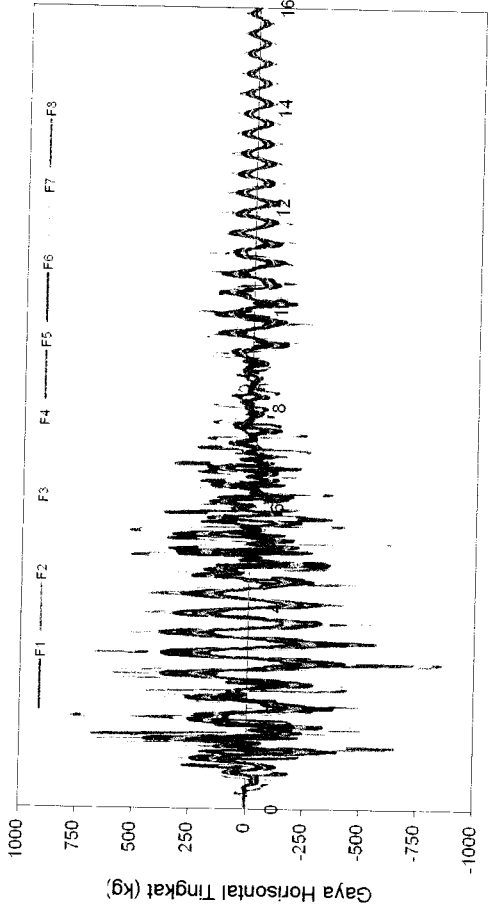
Gambar 5.95 Grafik Perbandingan Gaya Horizontal Struktur 4 Tingkat Dengan Base Isolation Dengan 3 Jenis Redaman Akibat Gempa Elcentro



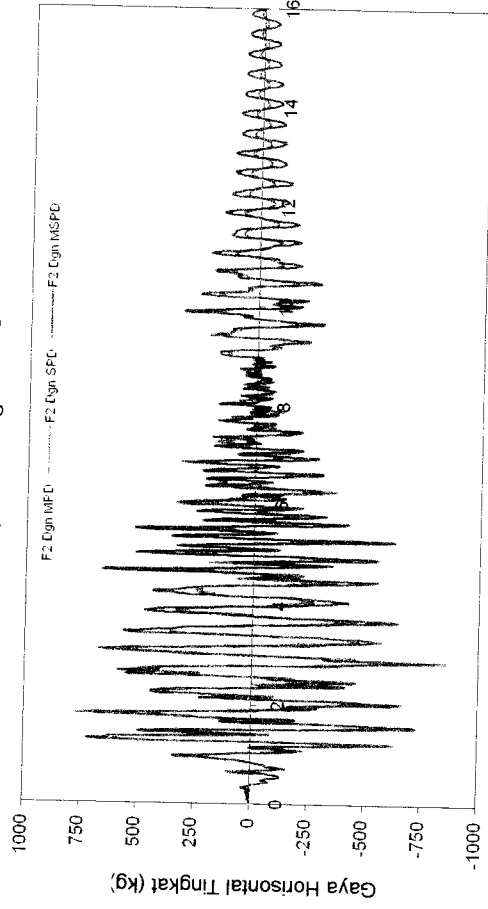
A. Tipikal Dengan MPD



B. Tipikal Dengan SPD

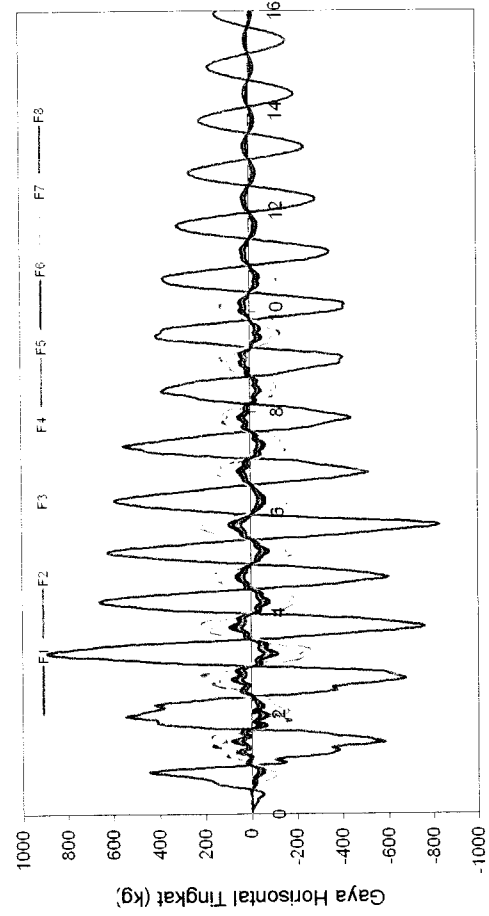


C. Tipikal Dengan MSPD

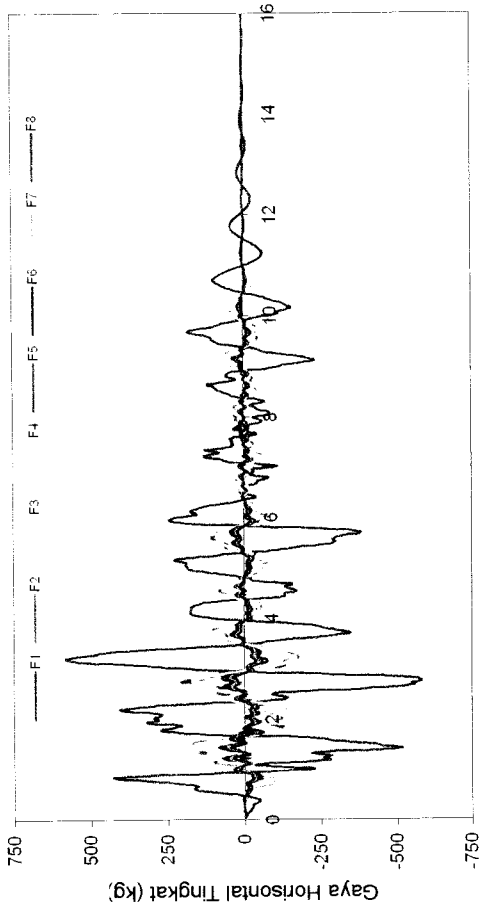


D. Perbandingan Tingkat 2 Dgn 3 Jenis Redaman

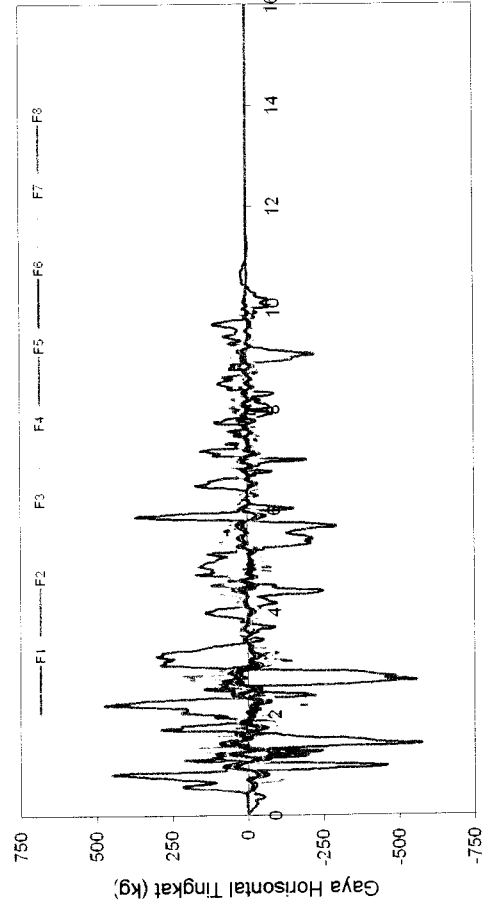
Gambar 5.96 Grafik Perbandingan Gaya Horizontal Struktur 8 Tingkat Tanpa Base Isolation Dengan 3 Jenis Redaman Akibat Gempa Elcentro



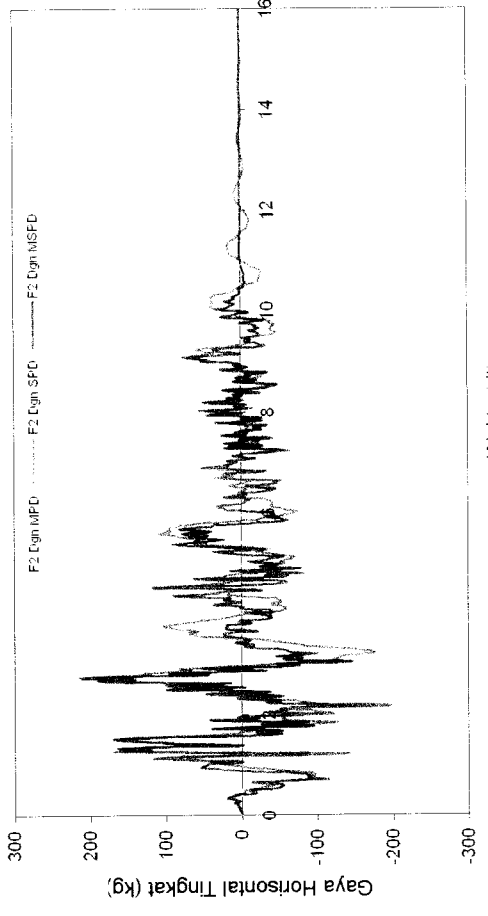
A. Elastis Dengan MPD



B. Elastis Dengan SPD

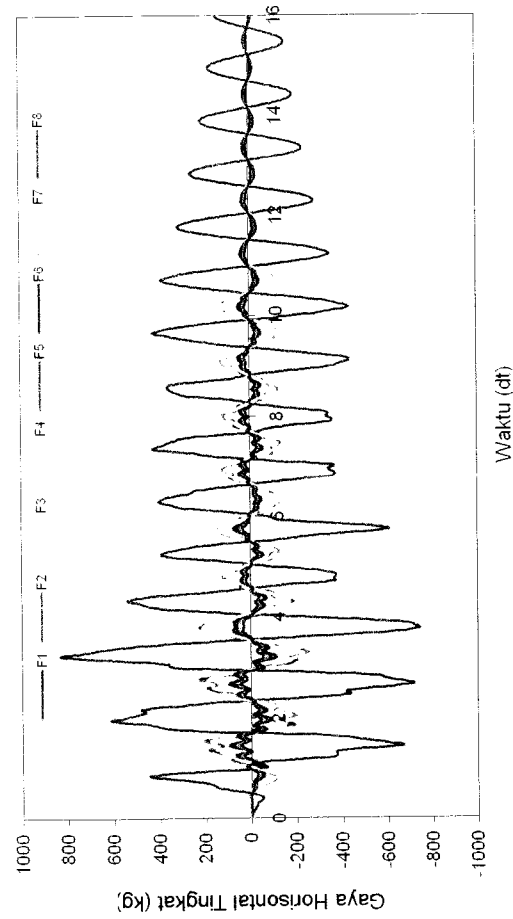


C. Elastis Dengan MSPD

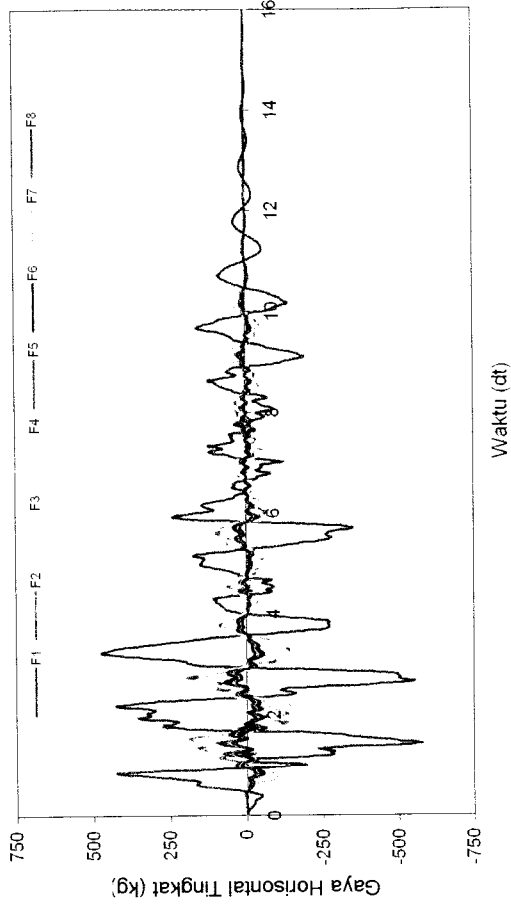


D. Perbandingan Tingkat 2 Dgn 3 Jenis Redaman

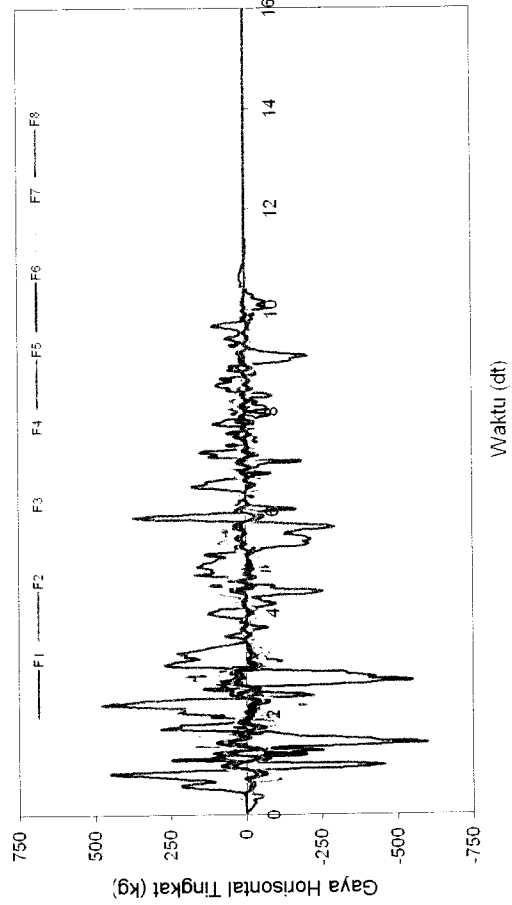
Gambar 5.97 Grafik Perbandingan Gaya Horizontal Struktur 8 Tingkat Dengan Base Isolation Dengan 3 Jenis Redaman Akibat Gempa Elcentro



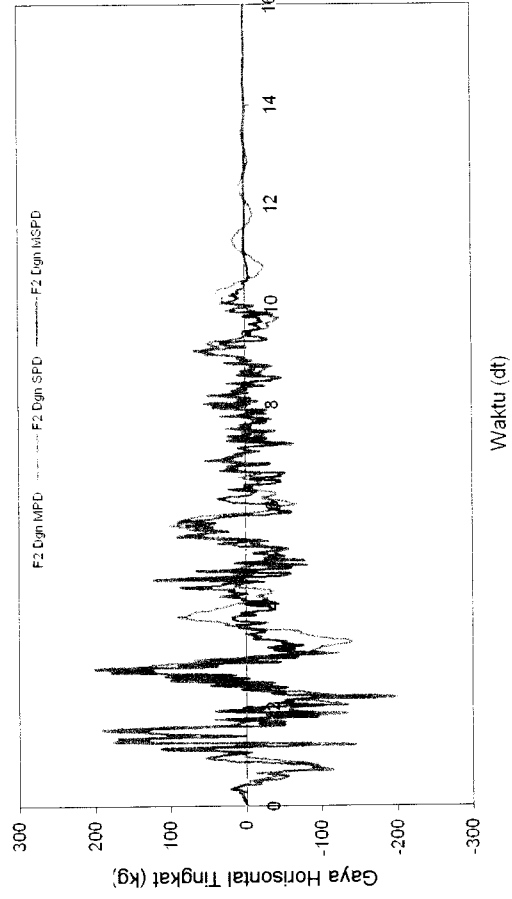
A. Elastoplastis Dengan MPD



B. Elastoplastis Dengan SPD



C. Elastoplastis Dengan MSPD



D. Perbandingan Tingkat 2 Dgn 3 Jenis Redaman

Gambar 5.98 Grafik Perbandingan Gaya Horizontal Struktur 8 Tingkat Dengan Base Isolation Dengan 3 Jenis Redaman Akibat Gempa Elcentro

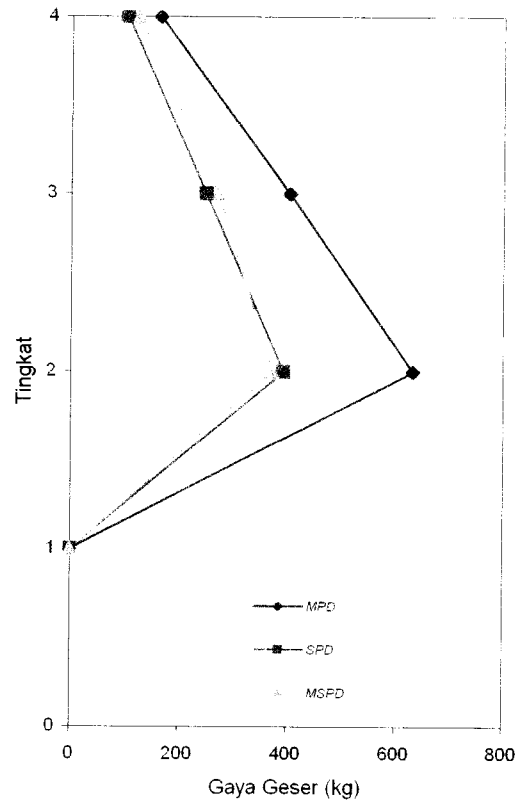
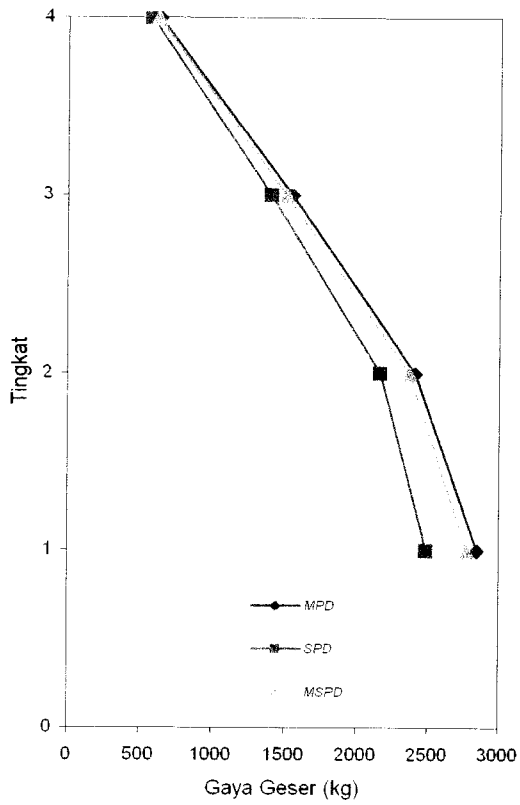


#### 5.4.4 Gaya Geser Tingkat.

Dari hasil program dapat disajikan nilai-nilai gaya geser struktur 4 tingkat baik dengan dan tanpa *base isolation*, dengan memperhatikan hasil grafik gaya geser maksimum pada **Gambar 5.99** dan **Gambar 5.100** maka,

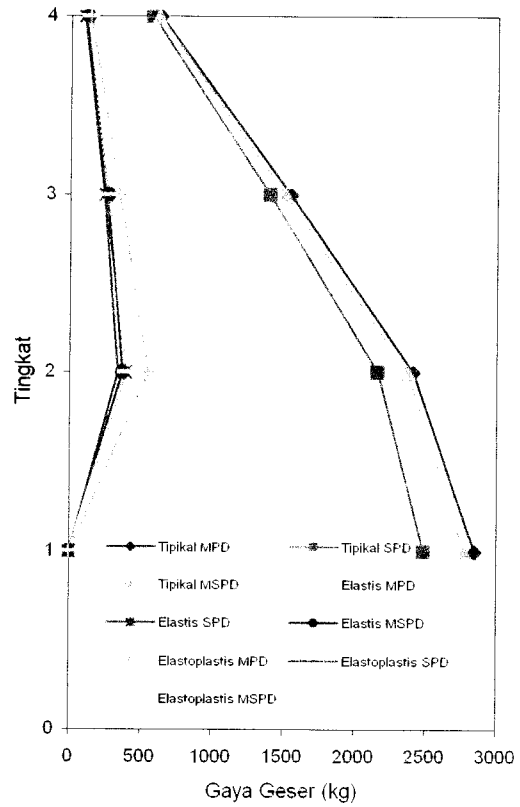
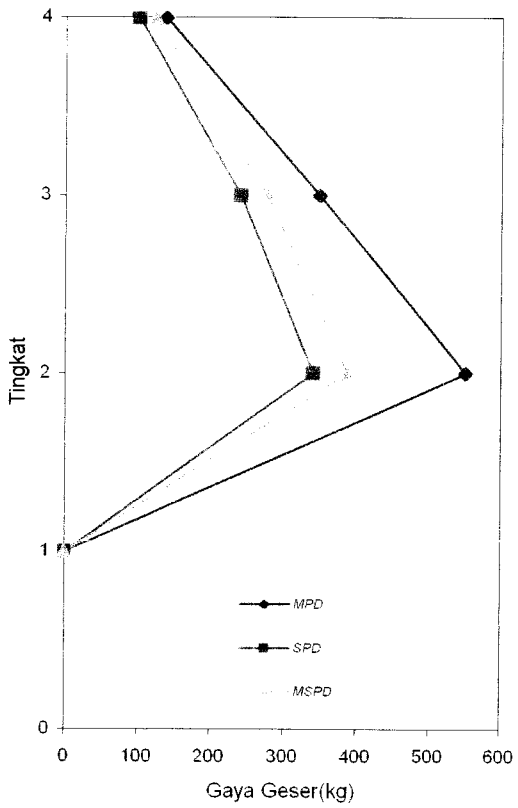
Jika gaya horisontal semakin keatas semaik kecil maka begitu pula untuk gaya geser tingkat karena pada dasarnya gaya geser merupakan jumlah gaya horisontal akibat gempa yang bekerja dimasing-masing massa/tingkat bangunan. Seperti terlihat pada **Gambar 5.99** dan **Gambar 5.100** gaya geser semakin keatas semakin kecil. Nilai gaya geser pada tingkat satu dimana terdapat *base isolation* sangat kecil, hampir mendekati nol. Gaya geser terbesar terjadi pada bangunan yang menggunakan redaman jenis *MPD (Mass Proportional Damping)*, baik untuk struktur dengan atau tanpa *base isolation*, kemudian baru disusul jenis redaman *Mass and Stiffnes Proportional Damping (MSPD)* dan redaman jenis *Stiffnes Propotional Damping (SPD)*.

Redaman jenis *Mass and Stiffnes Proportional Damping (MSPD)* dapat dipakai sebagai penyempurna atas jenis-jenis redaman diatas. Penjelasan ini berlaku juga untuk struktur dengan *base isolation* (Elastis dan Elastoplastis). Untuk struktur yang lebih tinggi (8 tingkat) secara umum dapat dilihat bahwa gaya geser yang dihasilkan mempunyai sifat yang sama dengan struktur yang lebih rendah. Penjelasan ini berlaku juga untuk struktur dengan *base isolation* (Elastis dan Elastoplastis).



A. Tipikal Dgn 3 Jenis Redaman

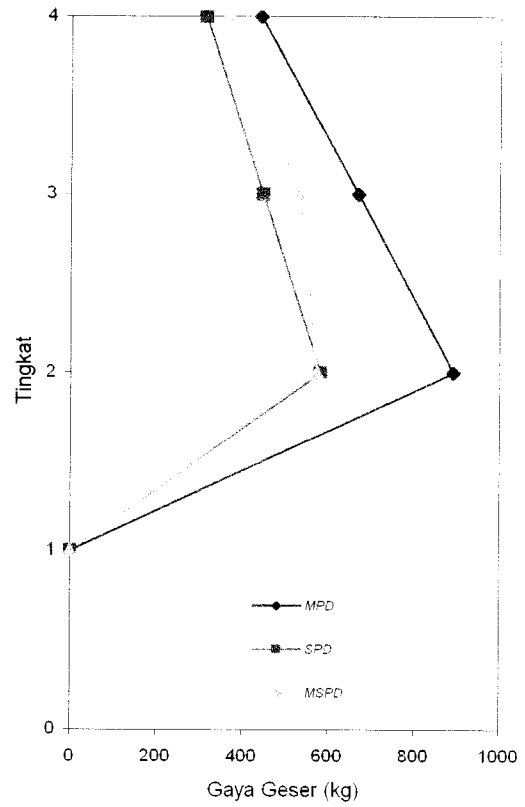
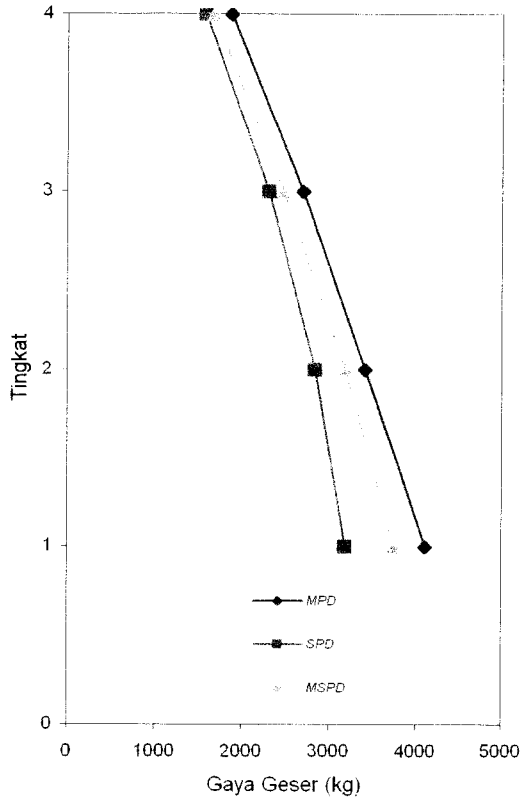
B. Elastis Dgn 3 Jenis Redaman



C. Elastoplastis Dgn 3 Jenis Redaman

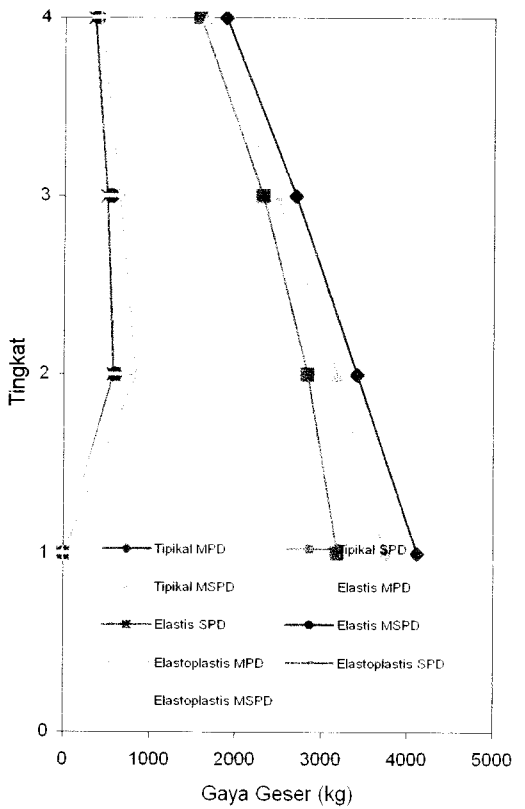
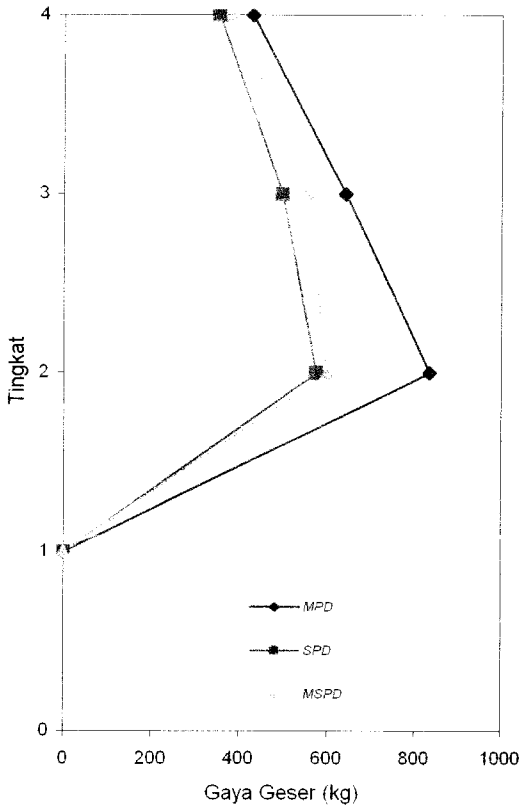
D. Perb. 3 Jenis Bangunan

Gambar 5.99 Grafik Perbandingan Gaya Geser Maksimum Struktur 4 Tingkat Dengan 3 Jenis Redaman Akibat Gempa Elcentro



A. Tipikal Dgn 3 Jenis Redaman

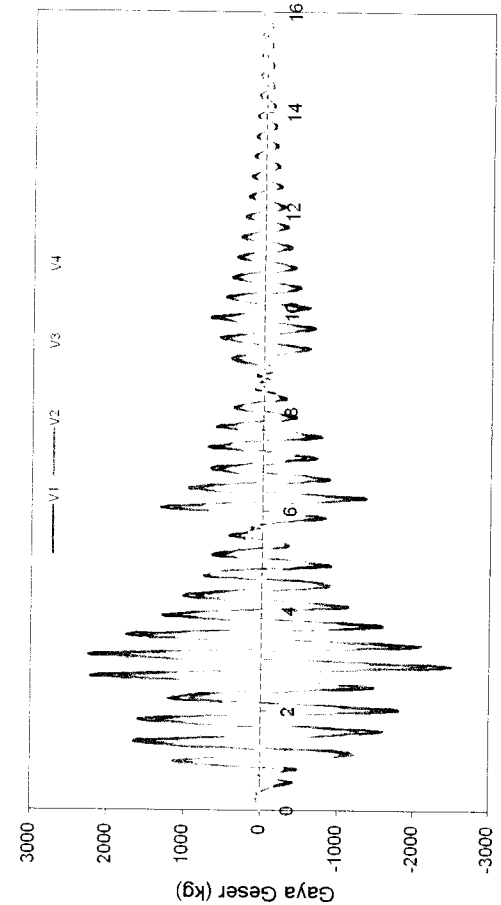
B. Elastis Dgn 3 Jenis Redaman



C. Elastoplastis Dgn 3 Jenis Redaman

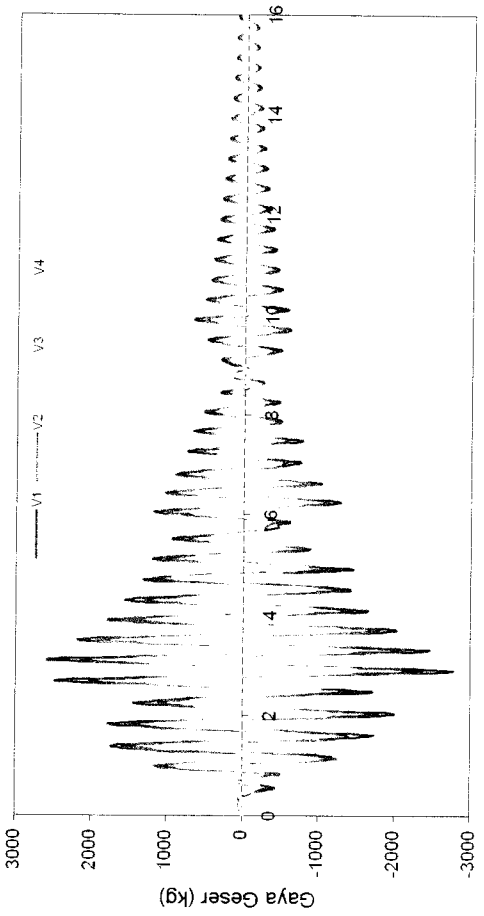
D. Perb. 3 Jenis Bangunan

Gambar 5.100 Grafik Perbandingan Gaya Geser Maksimum Struktur 8 Tingkat Dengan 3 Jenis Redaman Akibat Gempa Elcentro



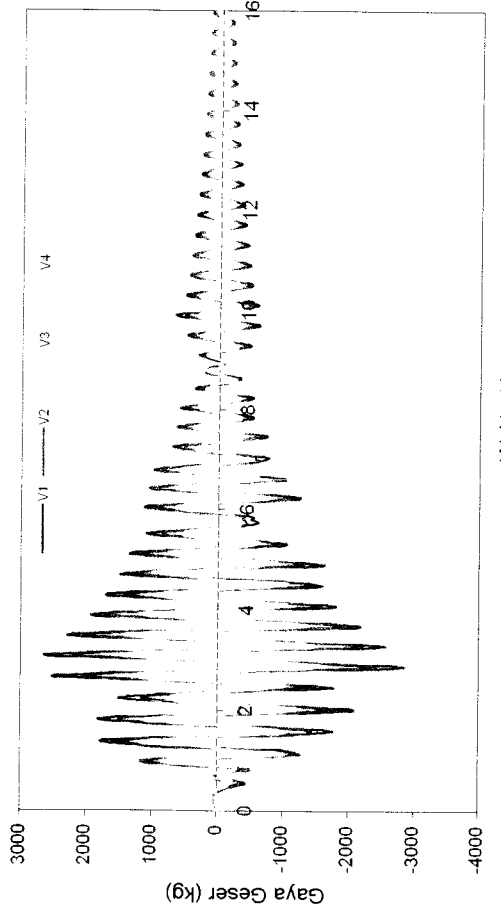
Waktu (dt)

A. Tipikal Dengan MPD



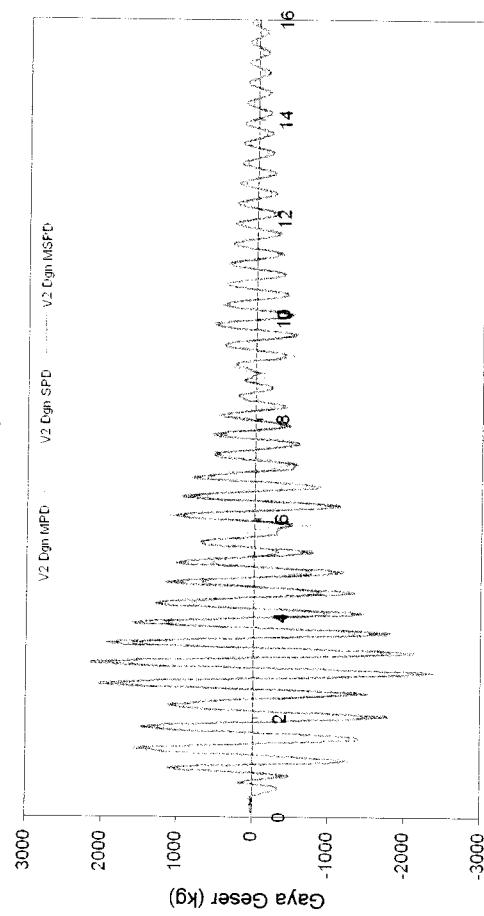
Waktu (dt)

B. Tipikal Dengan SPD



Waktu (dt)

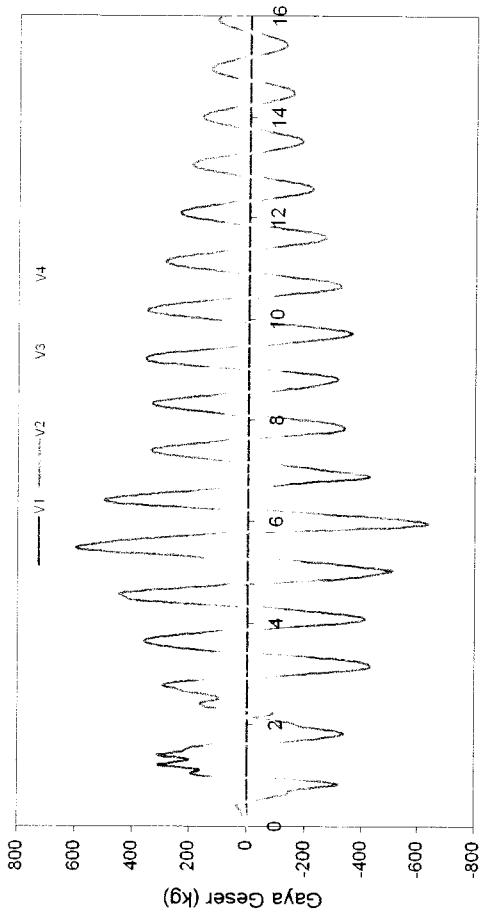
C. Tipikal Dengan MSPD



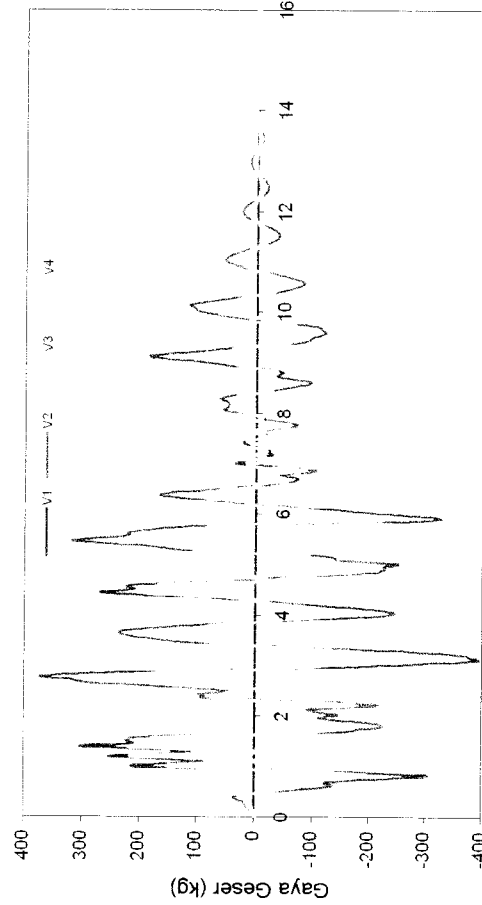
Waktu (dt)

D. Perbandingan Tingkat 2 Dengan 3 Jenis Redaman

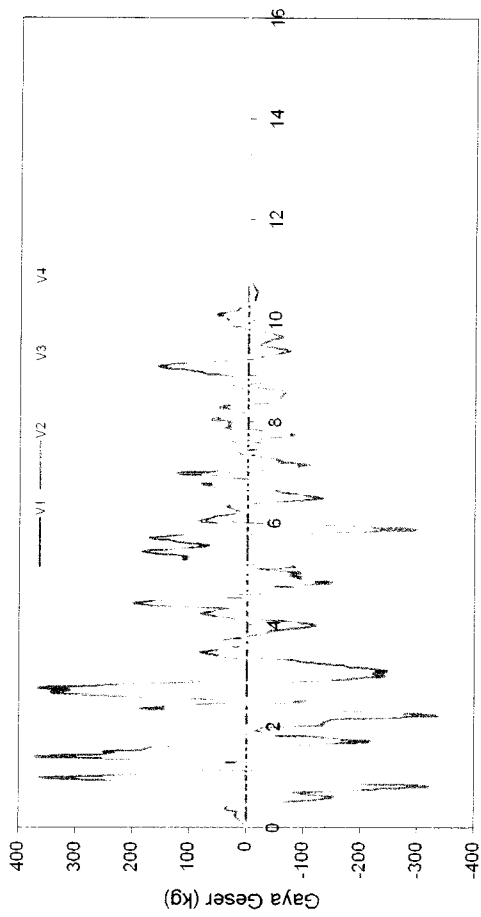
Gambar 5.101 Grafik Perbandingan Gaya Geser Struktur 4 Tingkat Tanpa Base Isolation Dengan 3 Jenis Redaman Akibat Gempa Elcentro



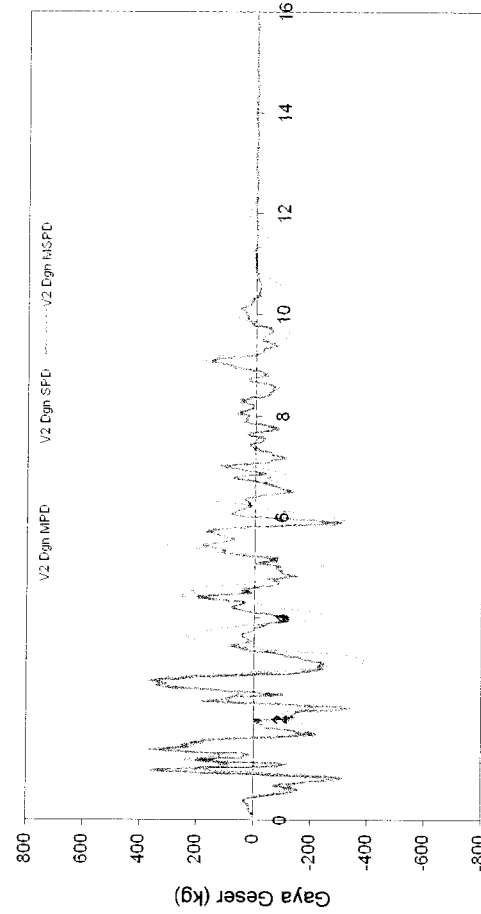
A. Elastis Dengan MPD



B. Elastis Dengan SPD

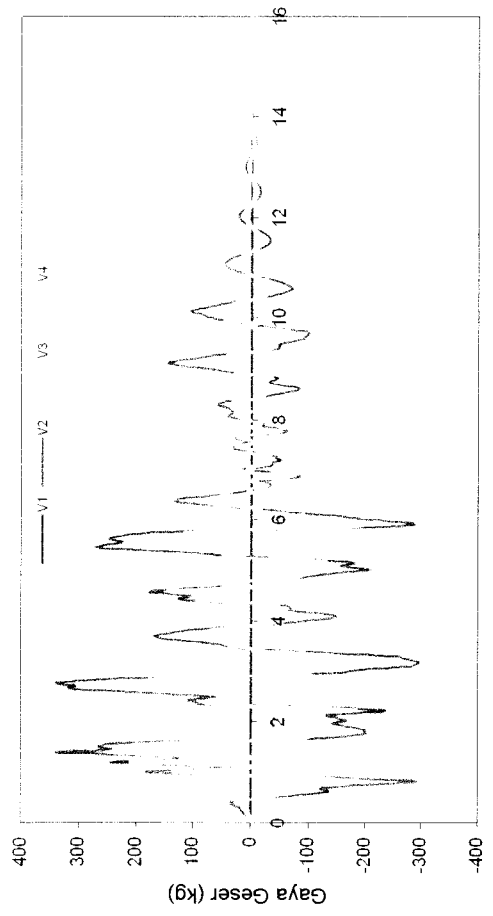


C. Elastis Dengan MSPD

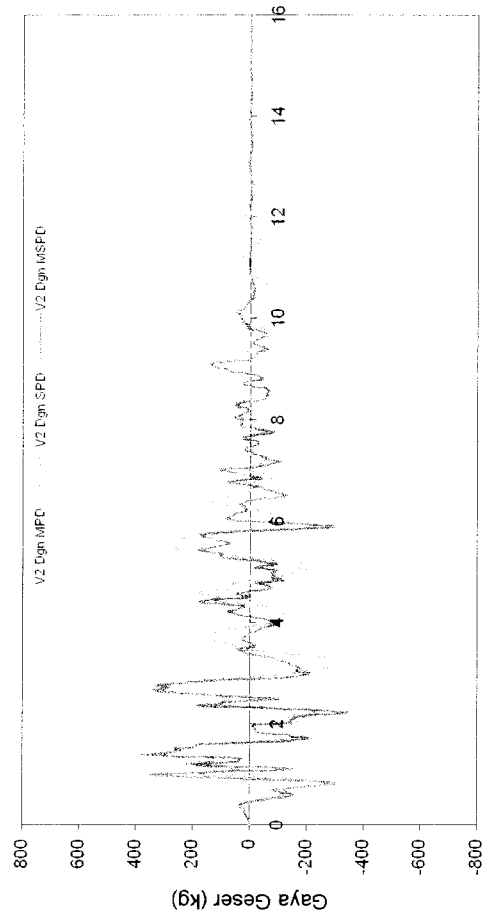


D. Perbandingan Tingkat 2 Dengan 3 jenis Redaman

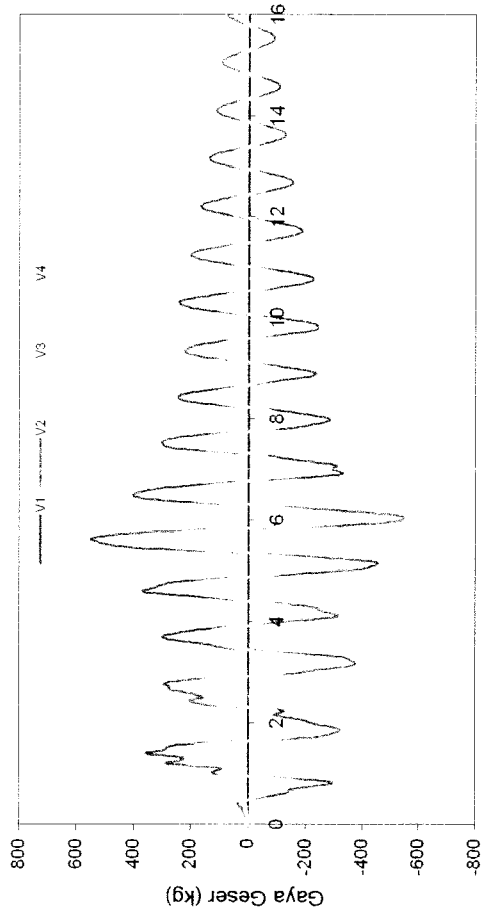
Gambar 5.102 Grafik Perbandingan Gaya Geser Struktur 4 Tingkat Dengan Base Isolation Dengan 3 Jenis Redaman Akibat Gempa Elcentro



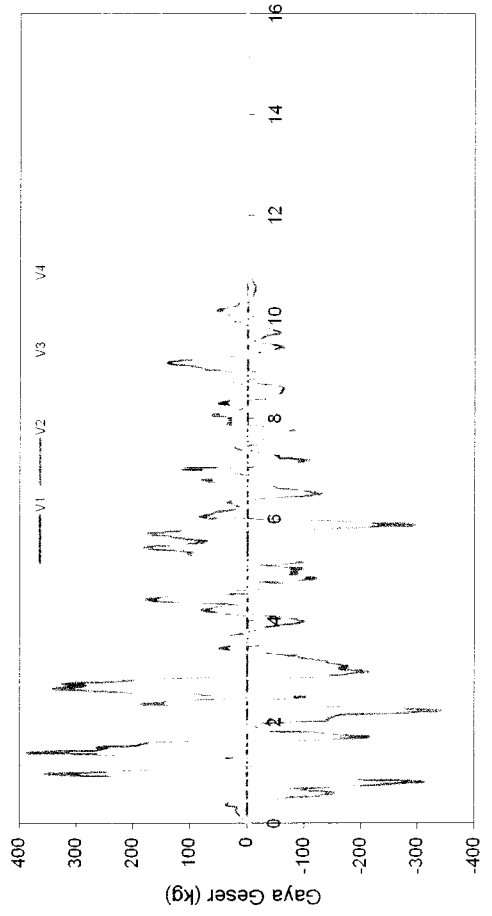
A. Elastoplastis Dengan MPD



B. Elastoplastis Dengan SPD

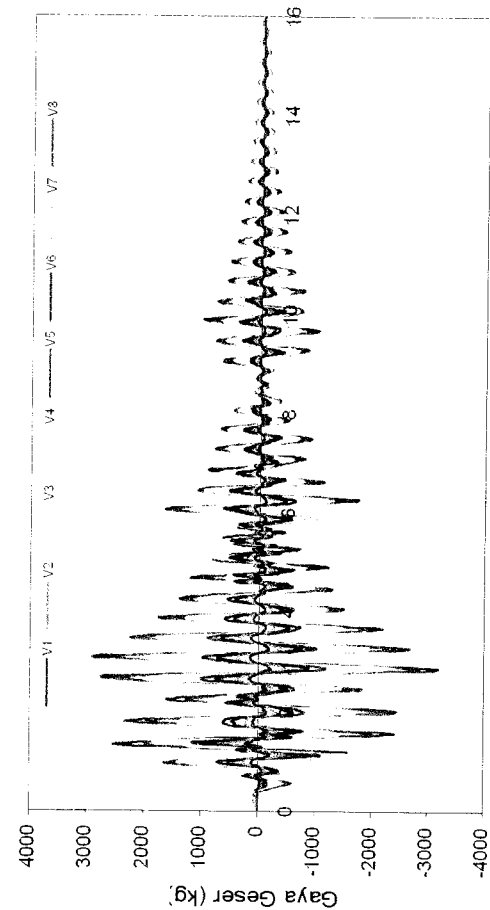


C. Elastoplastis Dengan MSPD

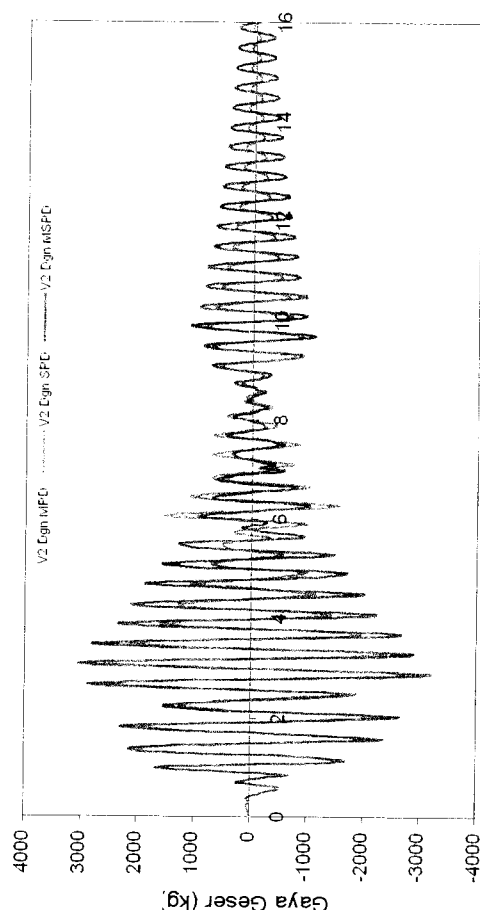


D. Perbandingan Tingkat 2 Dengan 3 Jenis Redaman

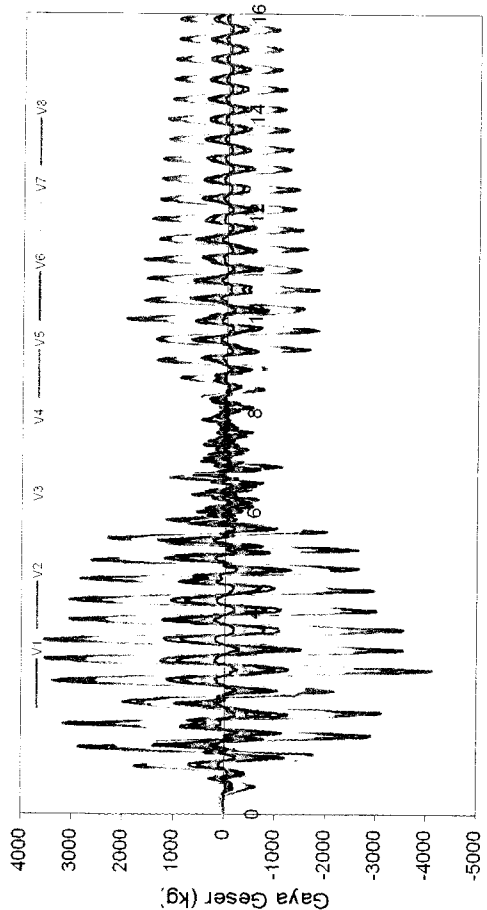
Gambar 5.103 Grafik Perbandingan Gaya Geser Struktur 4 Tingkat Dengan Base Isolation Dengan 3 Jenis Redaman Akibat Gempa Elcentro



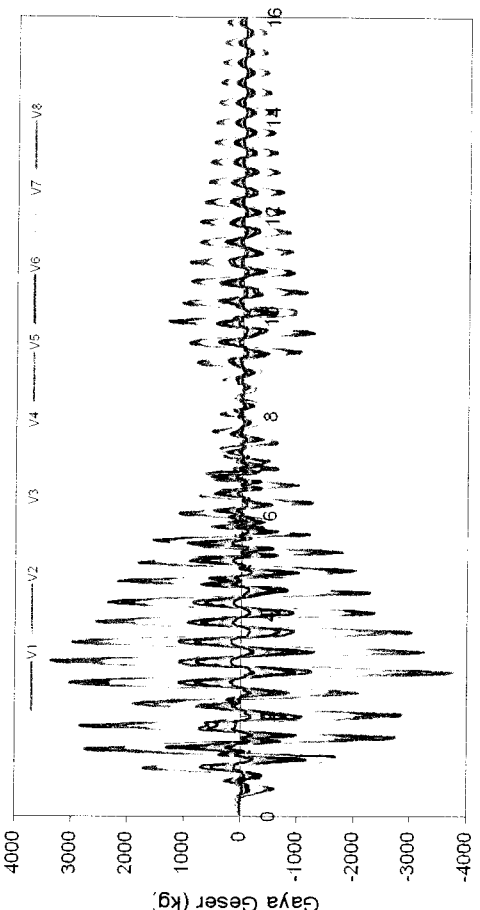
A. Tipikal Dengan MPD



B. Tipikal Dengan SPD

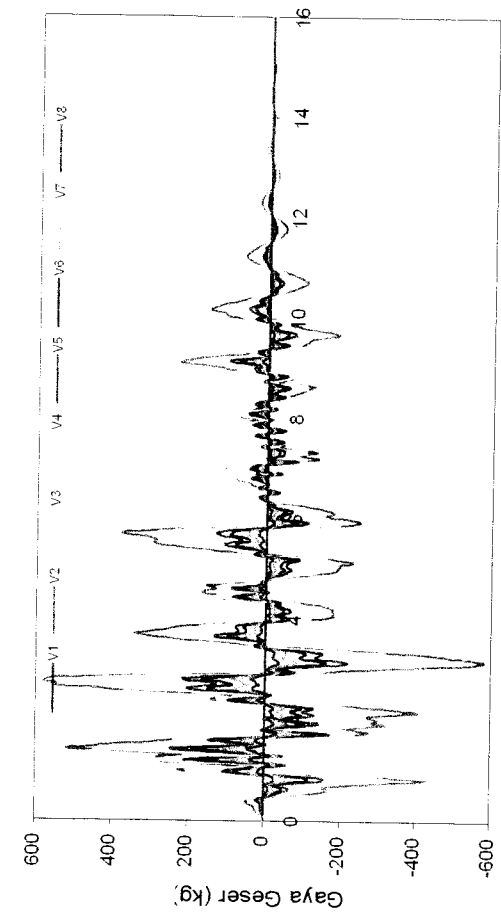


C. Tipikal Dengan MSPD

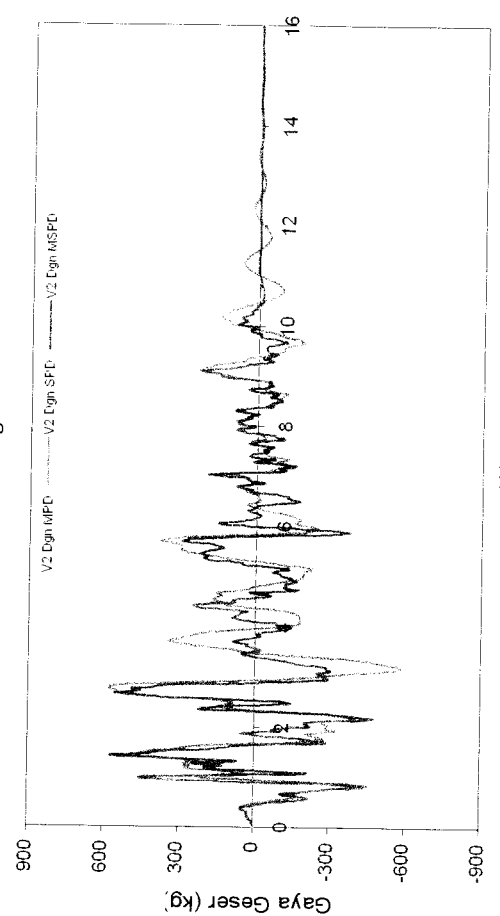


D. Perbandingan Tingkat 2 Dgn 3 Jenis Redaman

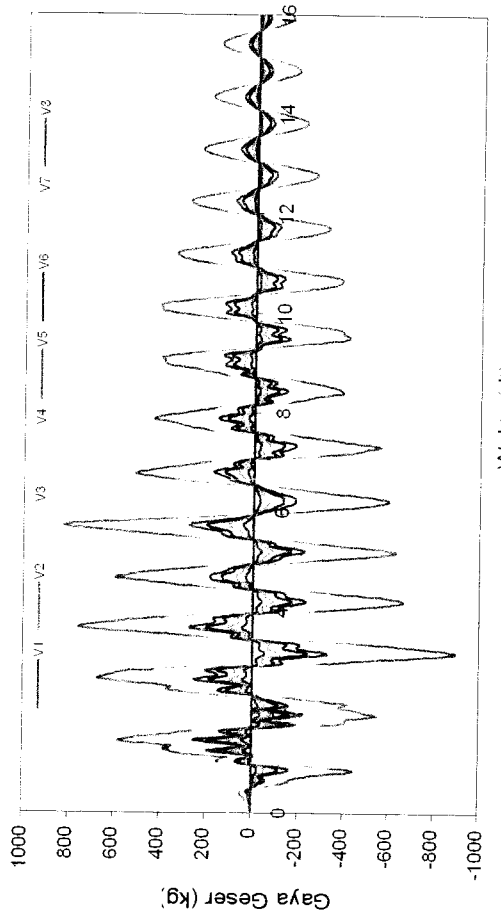
Gambar 5.104 Grafik Perbandingan Gaya Geser Struktur 8 Tingkat Tanpa Base Isolation Dengan 3 Jenis Redaman Akibat Gempa Elcentro



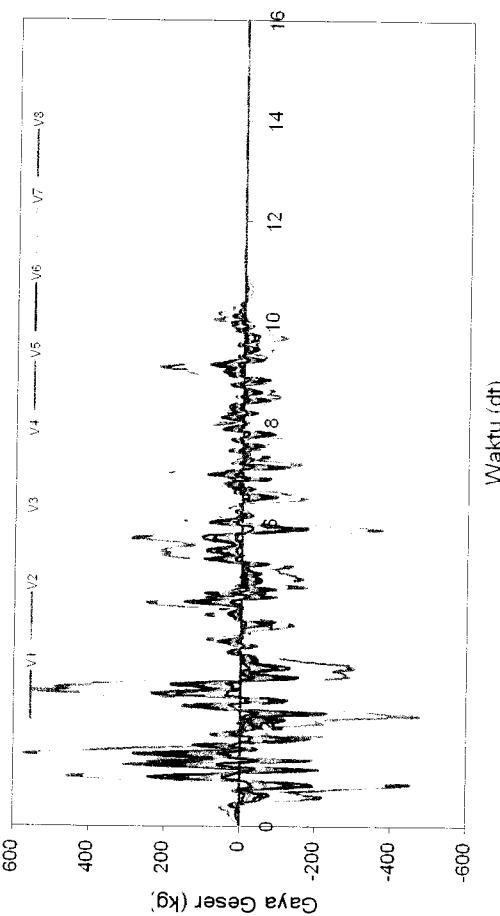
A. Elastis Dengan MPD



B. Elastis Dengan SPD



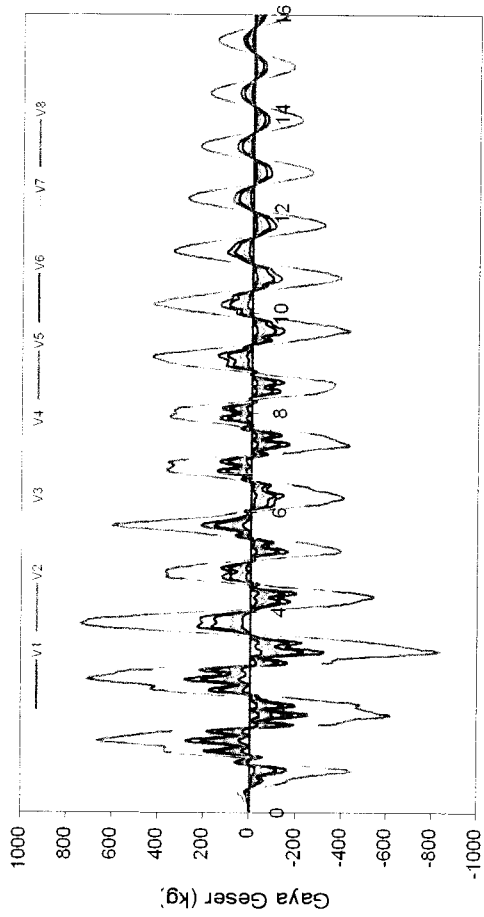
C. Elastis Dengan MSPD



D. Perbandingan Tingkat 2 Dgn 3 Jenis Redaman

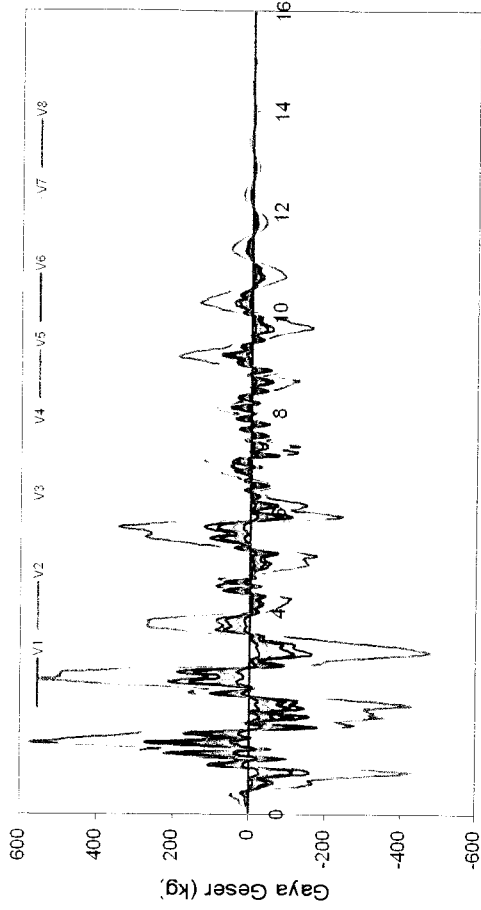
Gambar 5.105 Grafik Perbandingan Gaya Geser Struktur 8 Tingkat Dengan Base Isolation Dengan 3 Jenis Redaman Akibat Gempa Elcentro





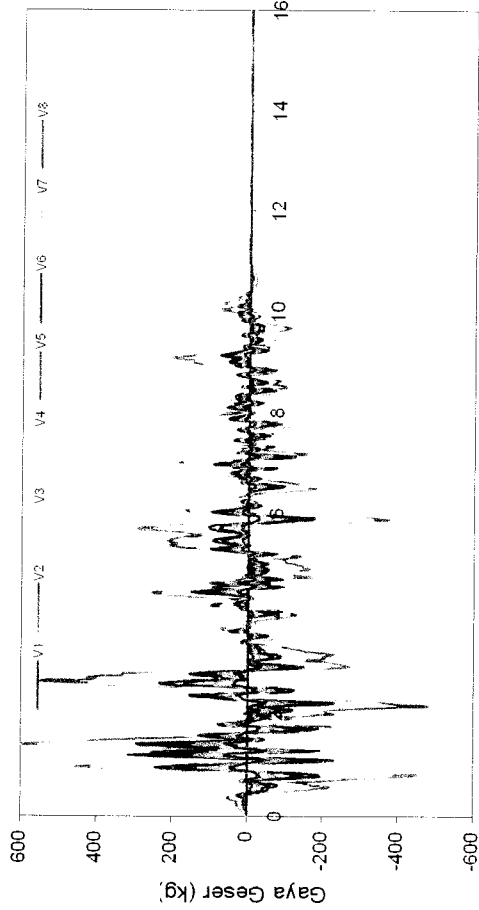
Waktu (dt)

A. Elastoplastis Dengan MPD



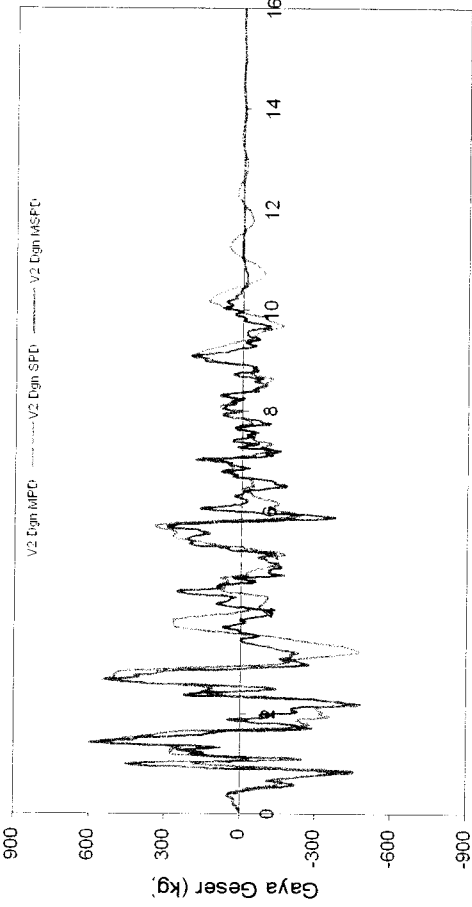
Waktu (dt)

B. Elastoplastis Dengan SPD



Waktu (dt)

C. Elastoplastis Dengan MSPD



Waktu (dt)

D. Perbandingan Tingkat 2 Dgn 3 Jenis Redaman

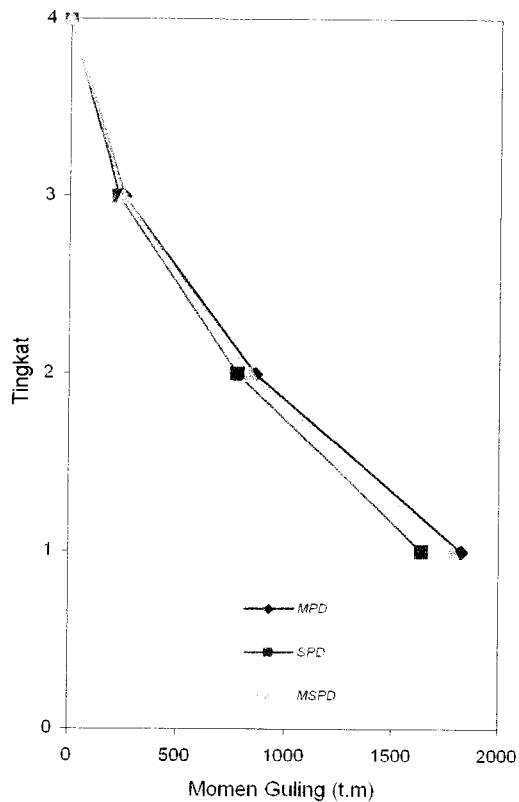
Gambar 5.106 Grafik Perbandingan Gaya Geser Struktur 8 Tingkat Dengan Base Isolation Dengan 3 Jenis Redaman Akibat Gempa Elcentro

#### 5.4.5 Momen Guling Tingkat.

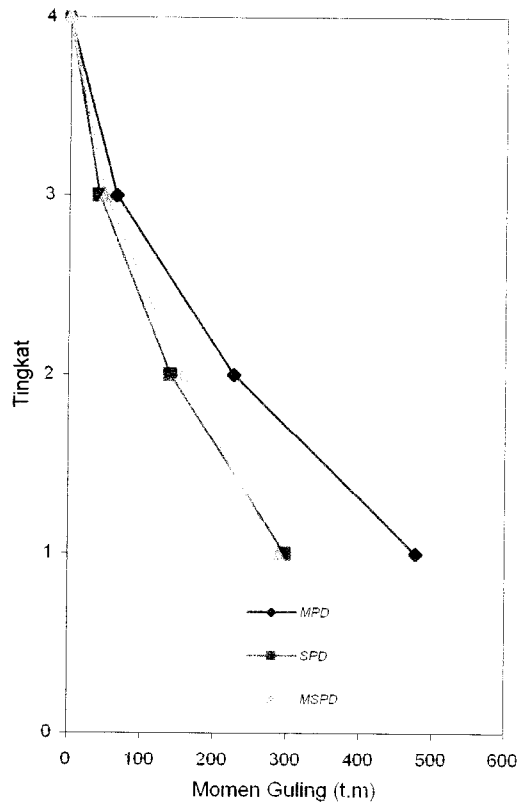
Dari hasil program dapat disajikan nilai-nilai momen guling struktur 4 tingkat baik dengan dan tanpa *base isolation*, dengan memperhatikan hasil grafik momen guling maksimum pada **Gambar 5.107** dan **Gambar 5.108** maka,

Momen guling merupakan perkalian antara gaya horisontal dengan tinggi tingkat yang bersangkutan. Dengan demikian semakin kecil gaya horisontal maka momen guling yang dihasilkan ikut mengecil. Pada bangunan tanpa *base isolation* selisih nilai yang dihasilkan antara redaman jenis *MPD (Mass Proportional Damping)* dan redaman jenis *Mass and Stiffnes Proportional Damping (MSPD)* relatif kecil dibanding bangunan dengan *base isolation* (elastis maupun elastoplastis), hal ini terlihat pada **Gambar 5.107 A**, **Gambar 5.107 B** dan **Gambar 5.107 C**.

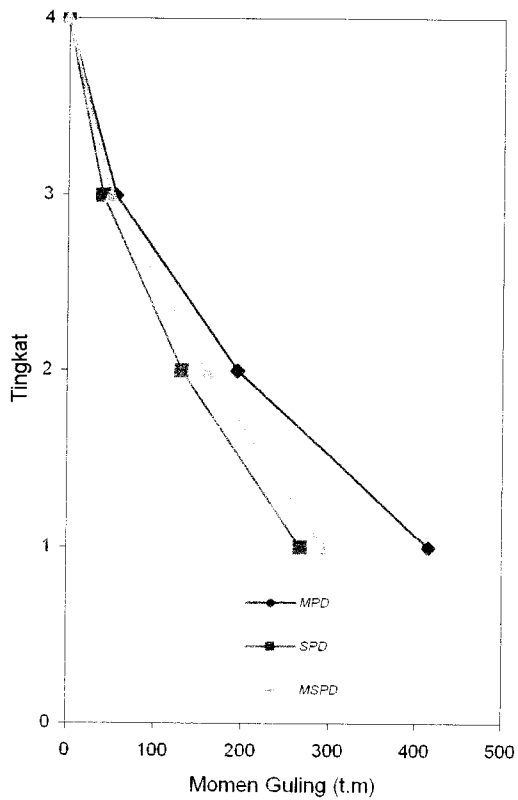
Momen guling terbesar terjadi pada bangunan yang menggunakan redaman jenis *MPD (Mass Proportional Damping)*, baik untuk struktur dengan atau tanpa *base isolation*, kemudian baru disusul jenis redaman *Mass and Stiffnes Proportional Damping (MSPD)* dan redaman jenis *Stiffnes Propotional Damping (SPD)*. Redaman jenis *Mass and Stiffnes Proportional Damping (MSPD)* dapat dipakai sebagai penyempurna atas jenis-jenis redaman diatas. Untuk struktur yang lebih tinggi (8 tingkat), lihat **Gambar 5.108** secara umum dapat dilihat bahwa momen guling yang dihasilkan mempunyai sifat yang sama dengan struktur yang lebih rendah.



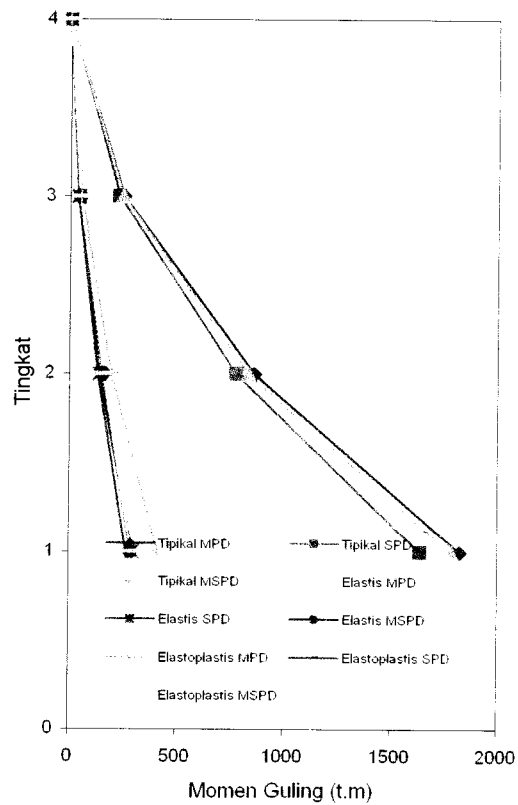
A. Tipikal Dgn 3 Jenis Redaman



B. Elastis Dgn 3 Jenis Redaman

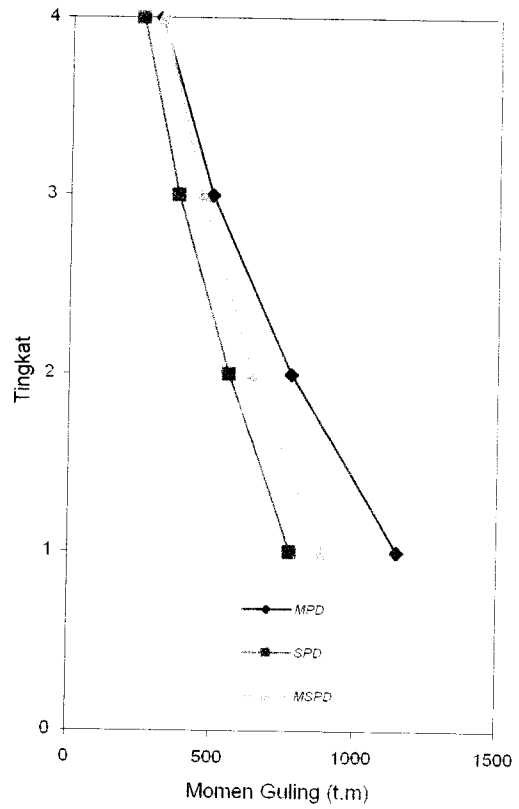
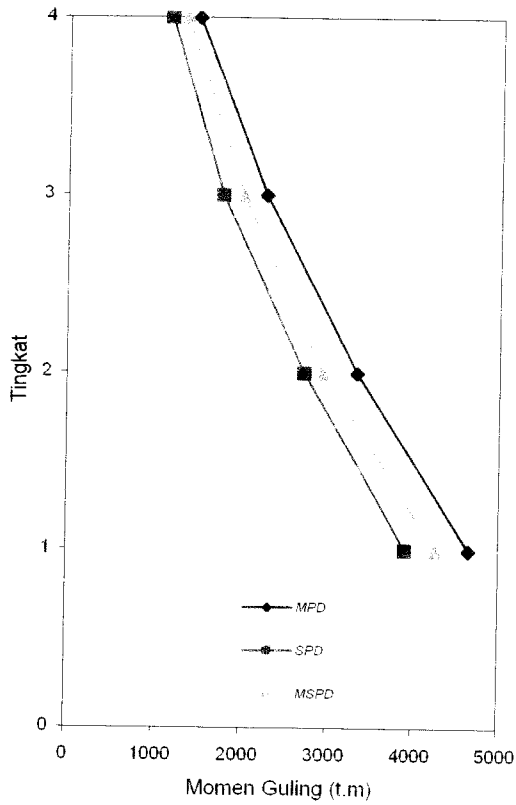


C. Elastoplastis Dgn 3 Jenis Redaman



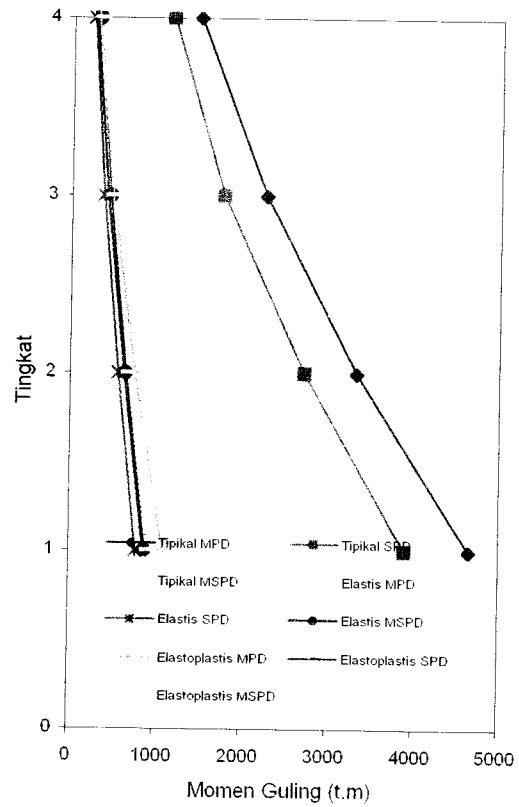
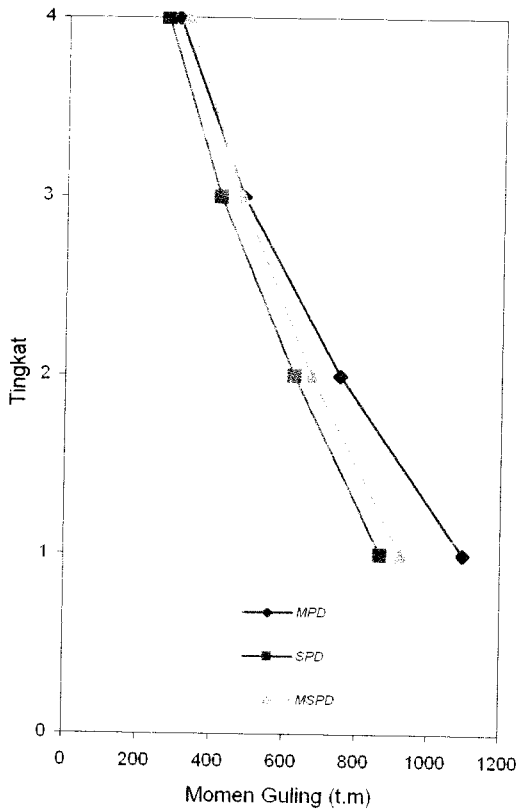
D. Perb. 3 Jenis Bangunan

Gambar 5.107 Grafik Perbandingan Momen Guling Maksimum Struktur 4 Tingkat Dengan 3 Jenis Redaman Akibat Gempa Elcentro



A. Tipikal Dgn 3 Jenis Redaman

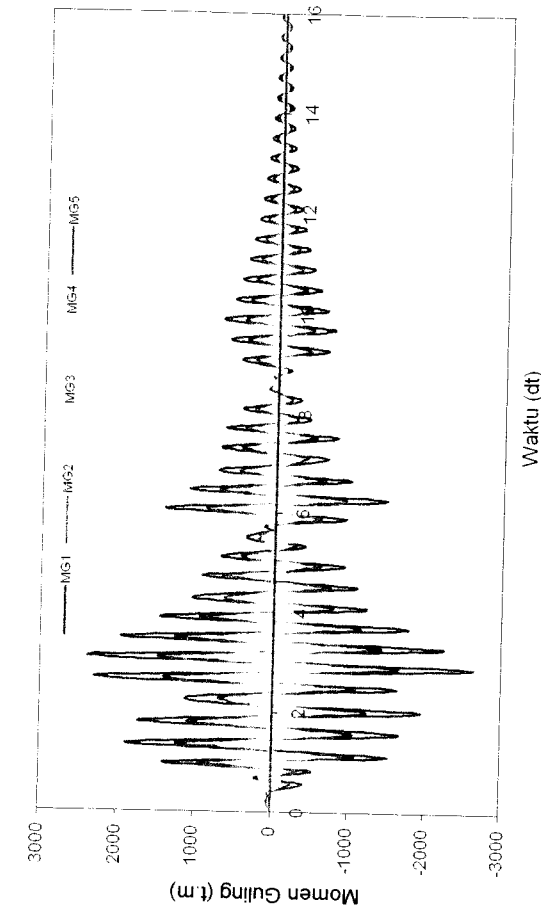
B. Elastis Dgn 3 Jenis Redaman



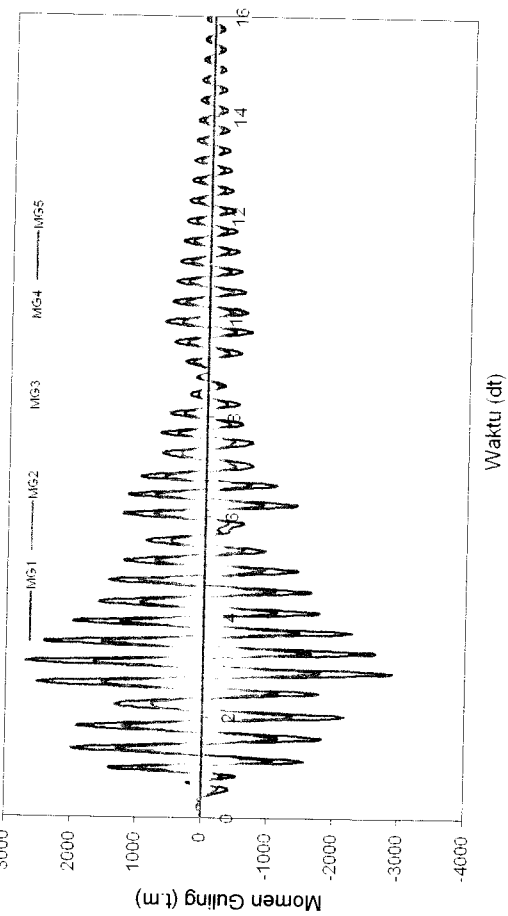
C. Elastoplastis Dgn 3 Jenis Redaman

D. Perb. 3 Jenis Bangunan

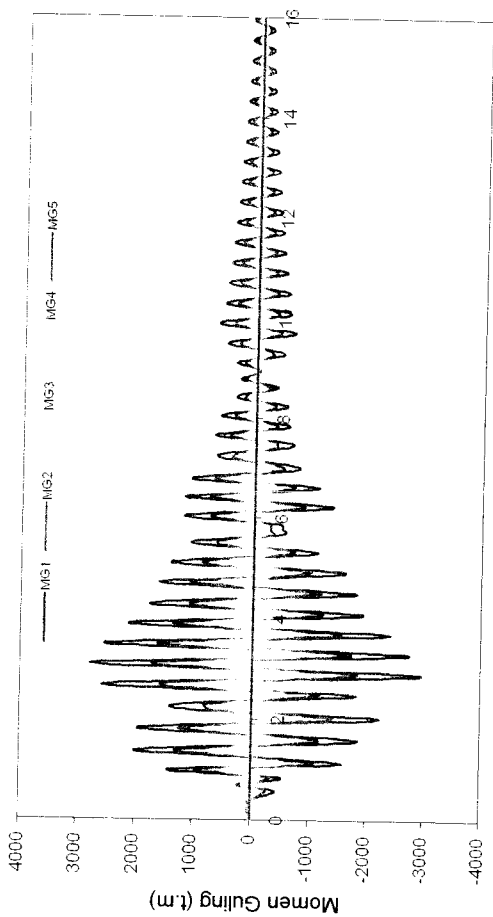
Gambar 5.108 Grafik Perbandingan Momen Guling Maksimum Struktur 8 Tingkat Dengan 3 Jenis Redaman Akibat Gempa Elcentro



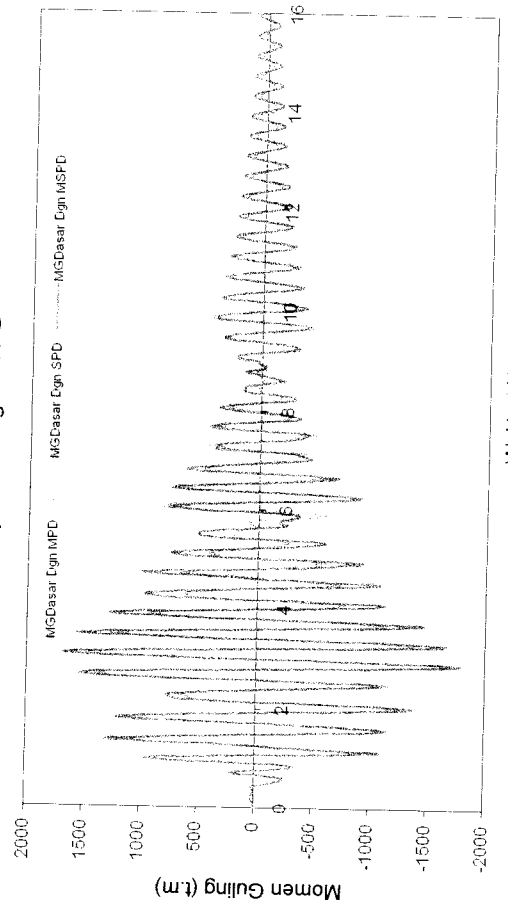
A. Tipikal Dengan MPD



B. Tipikal Dengan SPD

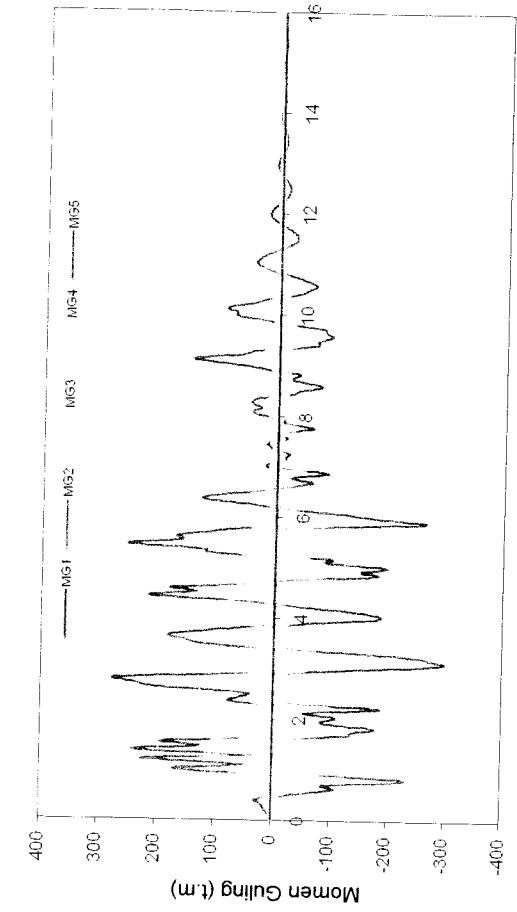


C. Tipikal Dengan MSPD



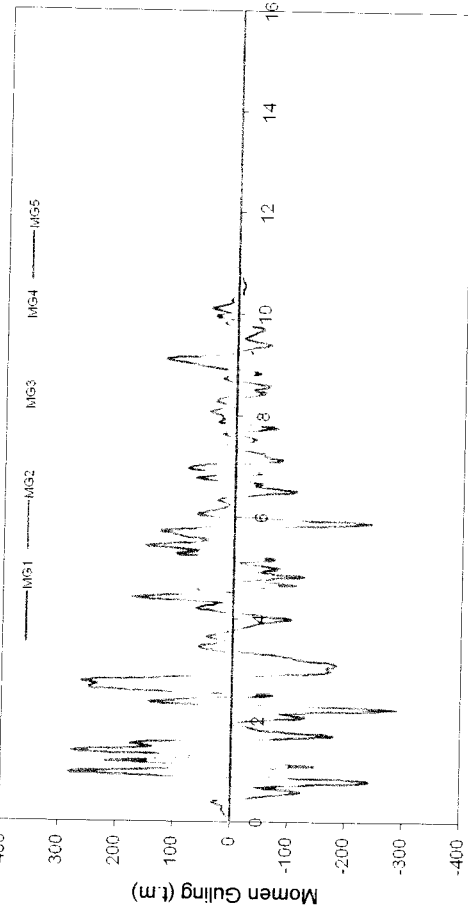
D. Perbandingan Tingkat Dasar Dengan 3 Jenis Redaman

Gambar 5.109 Grafik Perbandingan Momen Guling Struktur 4 Tingkat Tanpa Base Isolation Dengan 3 Jenis Redaman Akibat Gempa Elcentro



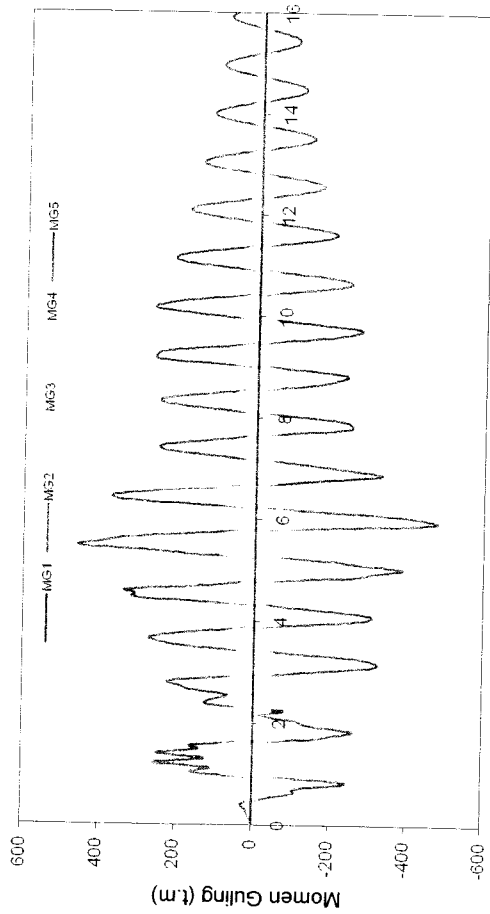
Waktu (dt)

A. Elastis Dengan MPD



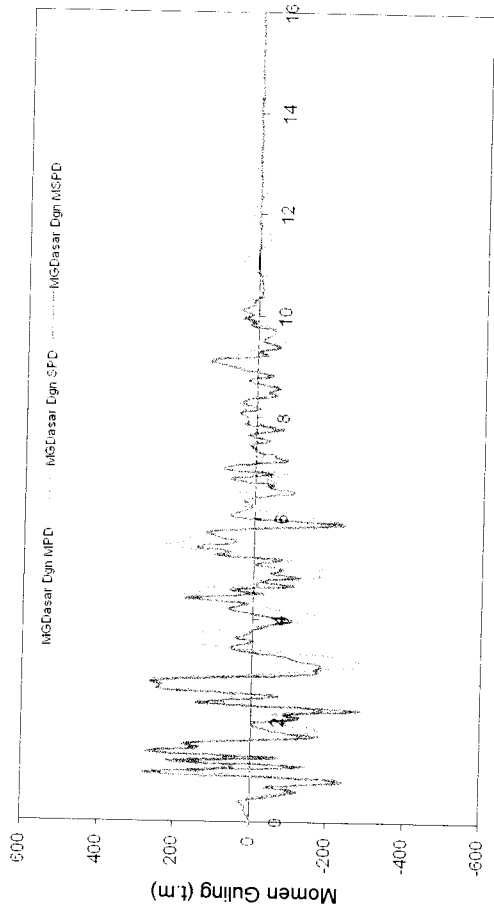
Waktu (dt)

B. Elastis Dengan SPD



Waktu (dt)

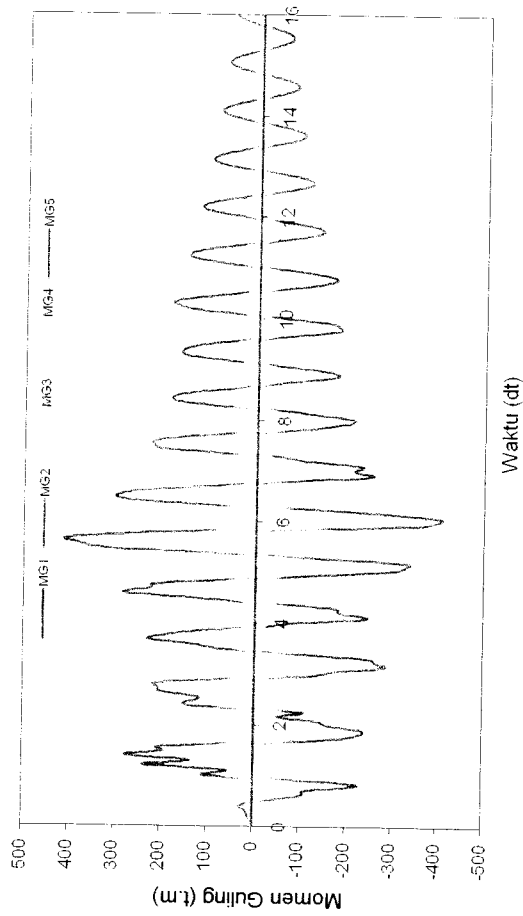
C. Elastis Dengan MSPD



Waktu (dt)

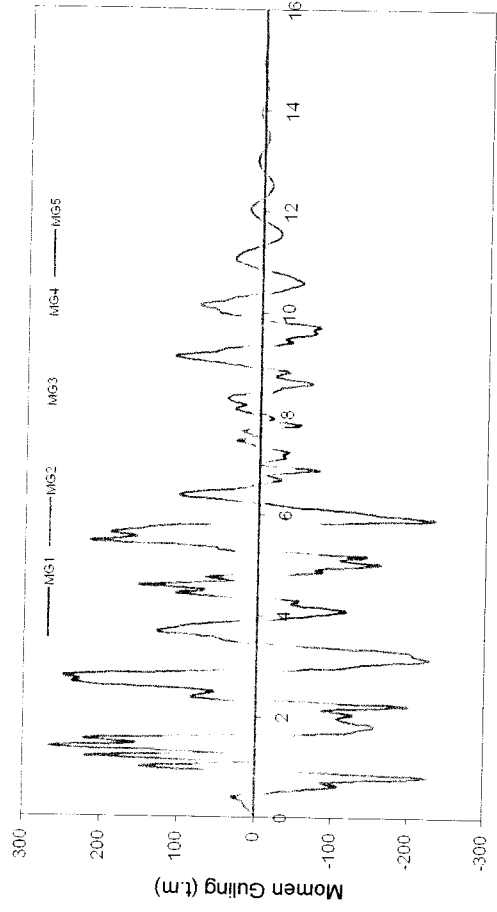
D. Perbandingan Tingkat Dasar Dengan 3 jenis Redaman

Gambar 5.110 Grafik Perbandingan Momen Guling Struktur 4 Tingkat Dengan Base Isolation Dengan 3 Jenis Redaman Akibat Gempa Elcentro



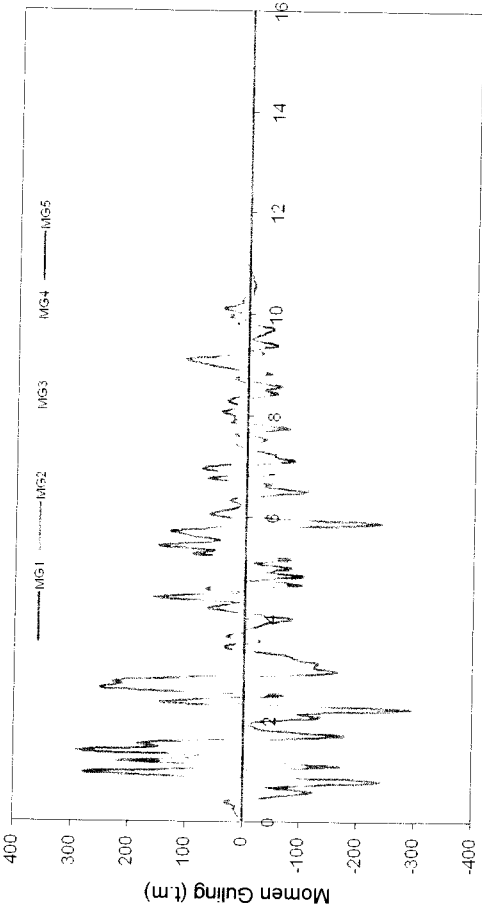
A. Elastoplastis Dengan MPD

Waktu (dt)



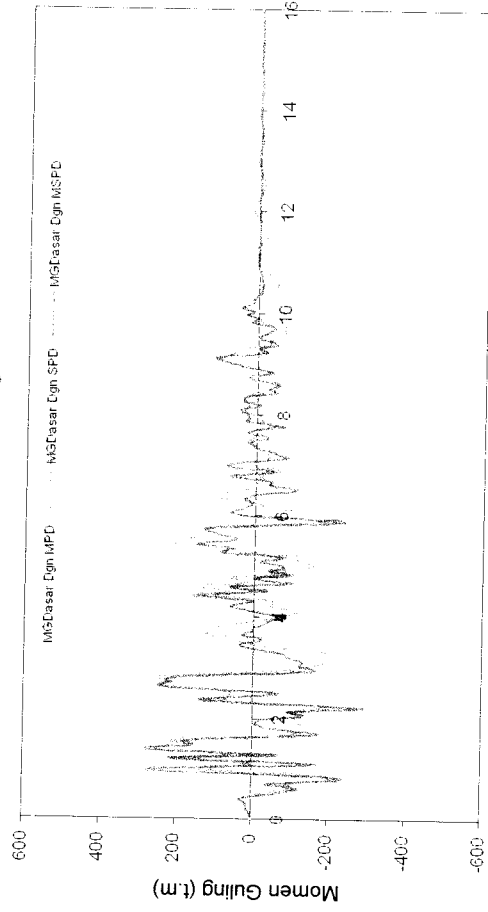
B. Elastoplastis Dengan SPD

Waktu (dt)



C. Elastoplastis Dengan MSPD

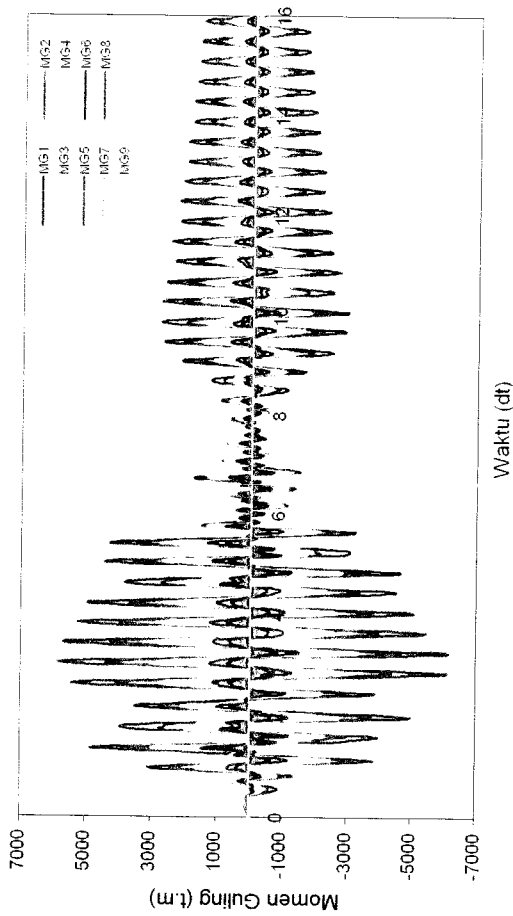
Waktu (dt)



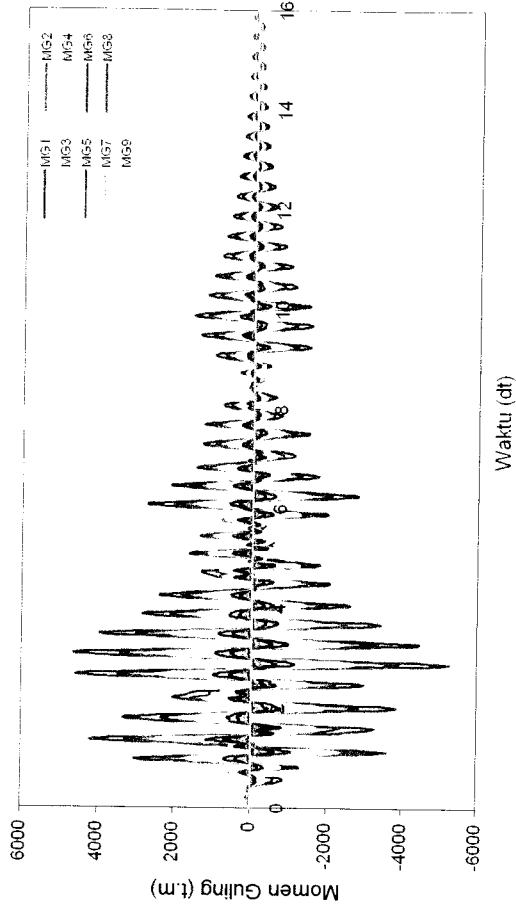
D. Perbandingan Tingkat Dasar Dengan 3 Jenis Redaman

Waktu (dt)

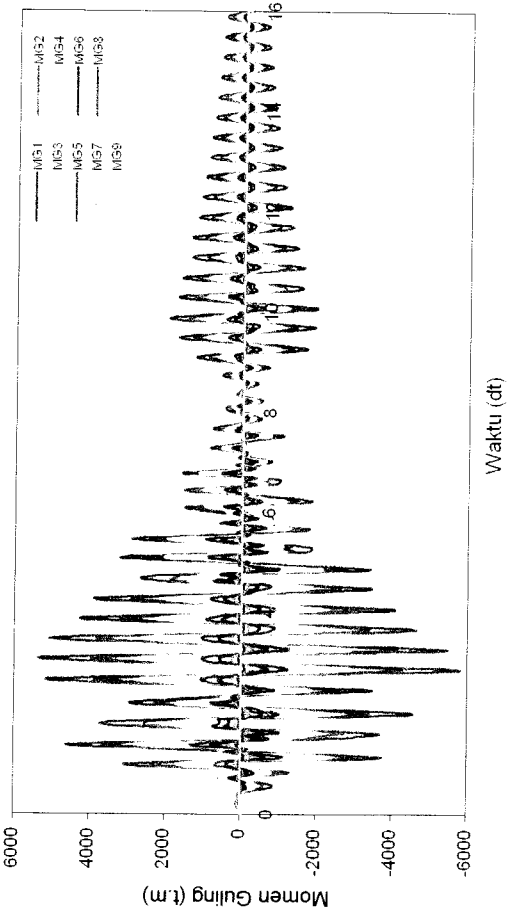
Gambar 5.111 Grafik Perbandingan Momen Guling Struktur 4 Tingkat Dengan Base Isolation Dengan 3 Jenis Redaman Akibat Gempa Elcentro



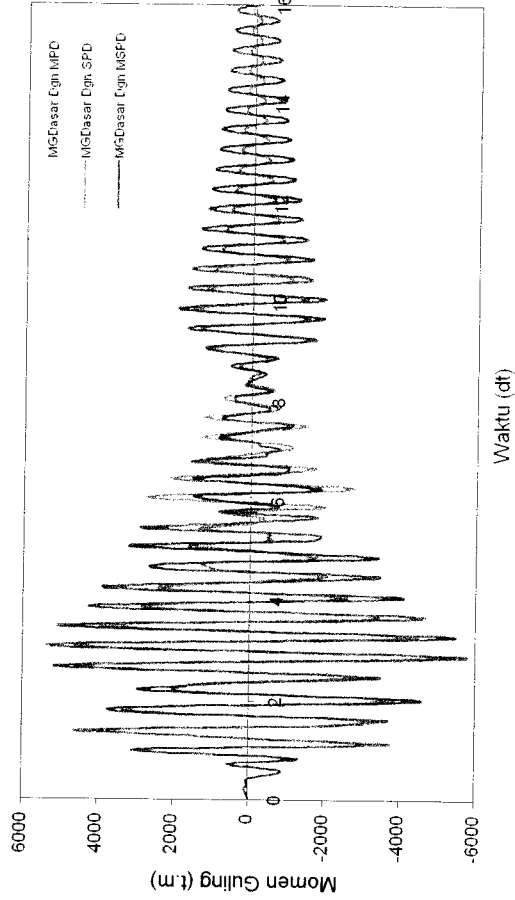
A. Tipikal Dengan MPD



B. Tipikal Dengan SPD



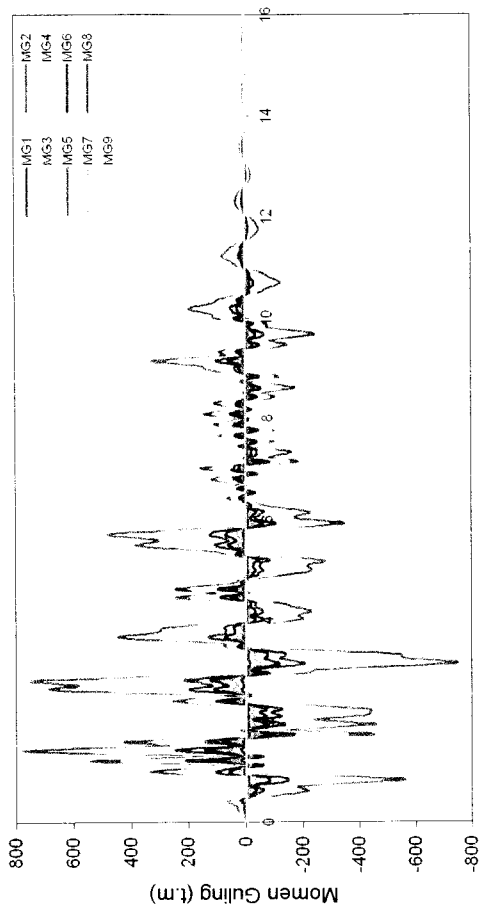
C. Tipikal Dengan MSPD



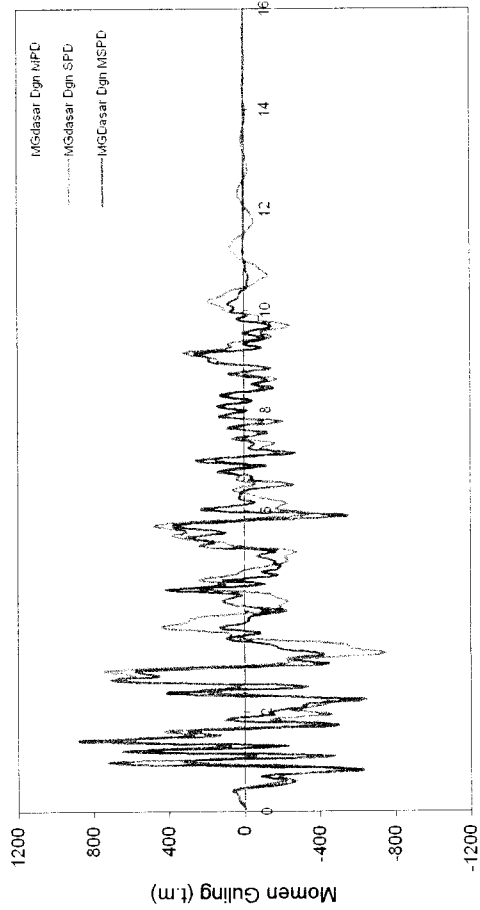
D. Perbandingan Tingkat Dasar Dgn 3 Jenis Redaman

Gambar 5.112 Grafik Perbandingan Momen Guling Struktur 8 Tingkat Tanpa Base Isolation Dengan 3 Jenis Redaman Akibat Gempa Elcentro

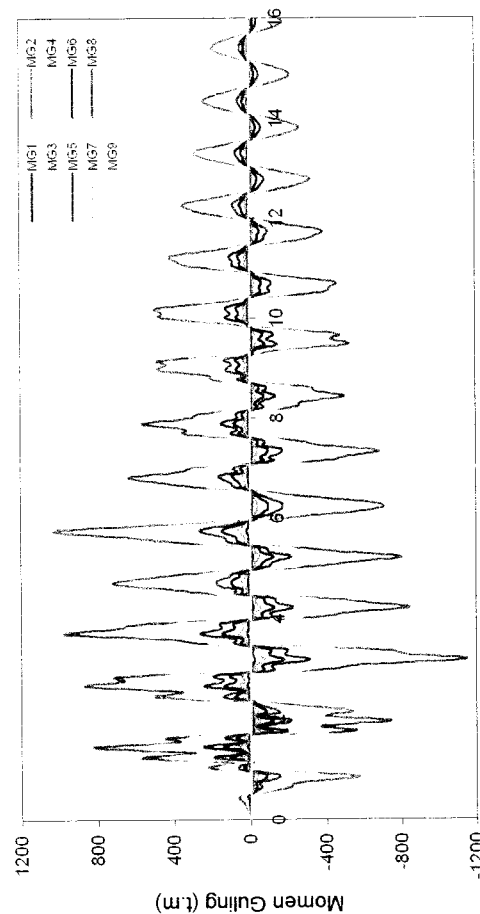




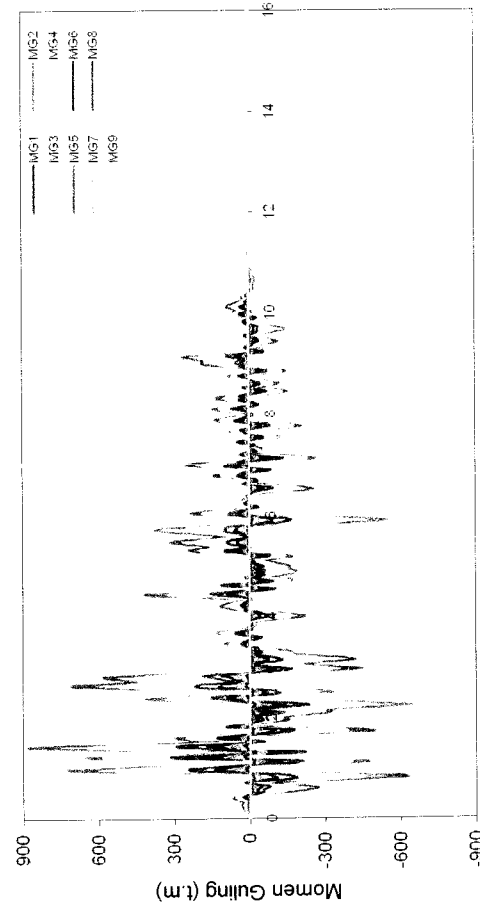
A. Elastis Dengan SPD



D. Perbandingan Tingkat Dasar Dgn 3 Jenis Redaman

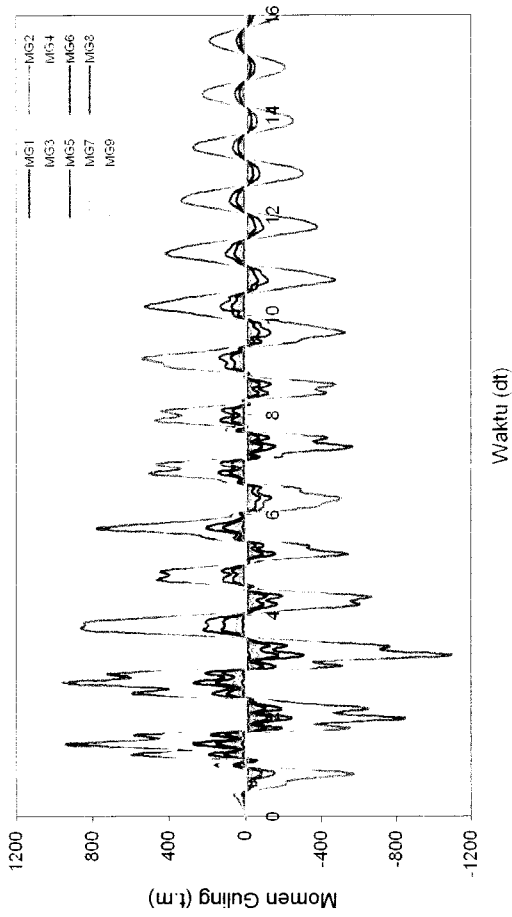


A. Elastis Dengan MPD

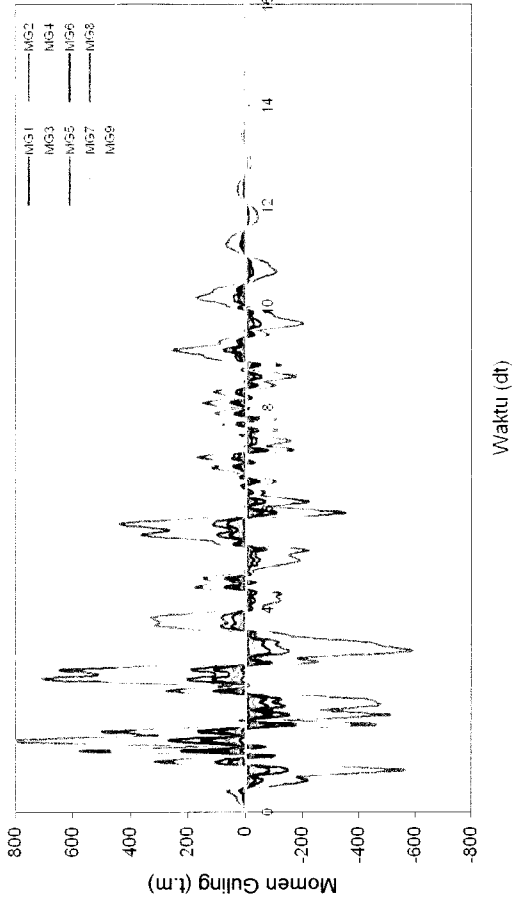


A. Elastis Dengan MSPD

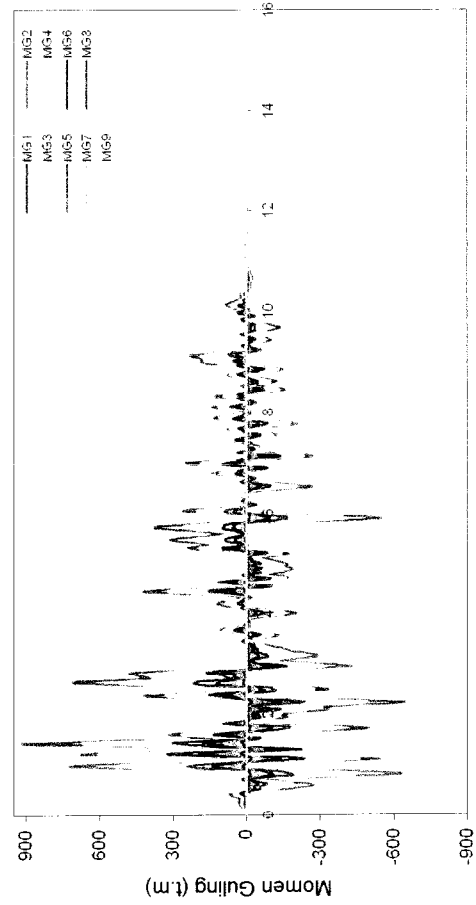
Gambar 5.113 Grafik Perbandingan Momen Guling Struktur 8 Tingkat Dengan Base Isolation Dengan 3 Jenis Redaman Akibat Gempa Elcentro



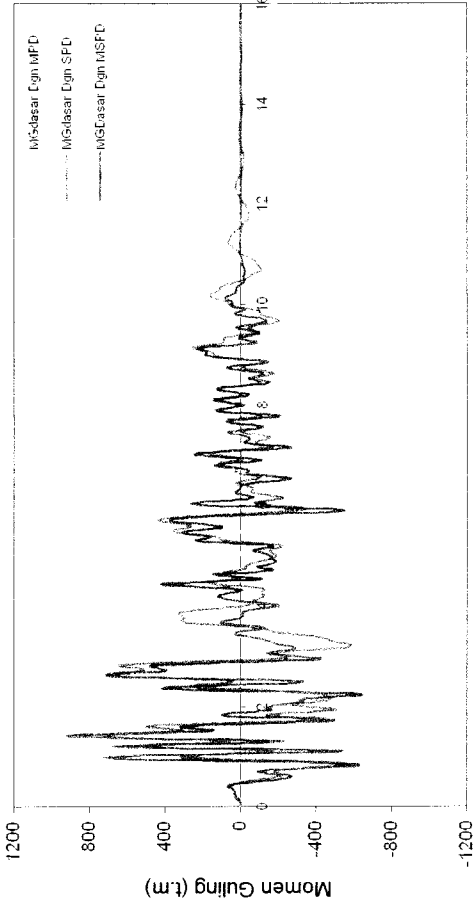
A. Elastoplastis Dengan MPD



B. Elastoplastis Dengan SPD



C. Elastoplastis Dengan MSPD



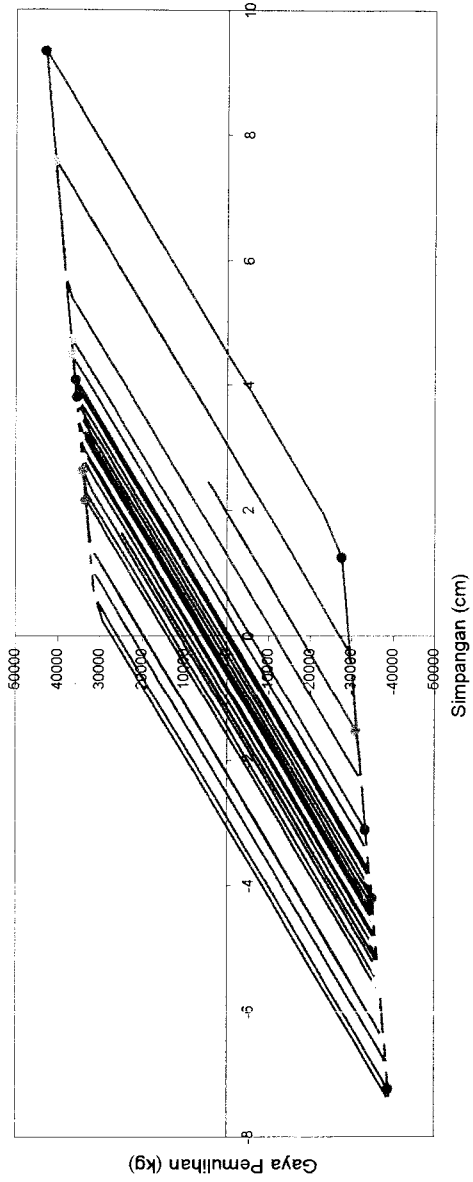
D. Perbandingan Tingkat Dasar Dgn 3 Jenis Redaman

Gambar 5.114 Grafik Perbandingan Momen Guling Struktur 8 Tingkat Dengan Base Isolation Dengan 3 Jenis Redaman Akibat Gempa Elcentro

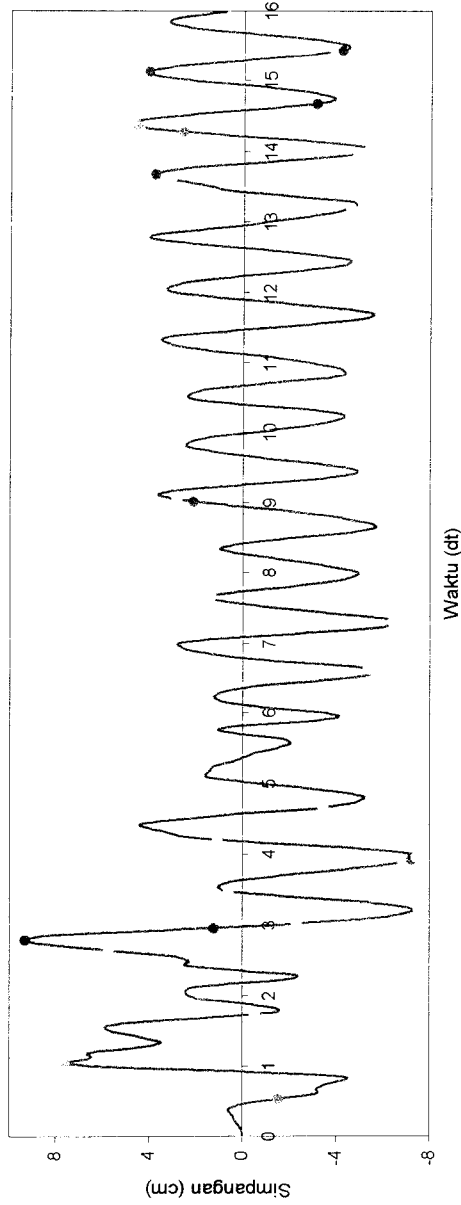
#### 5.4.6 Respon *Base Isolation*.

Dari hasil program dapat disajikan nilai-nilai respon *base isolation*, dengan memperhatikan hasil grafik respon *base isolation* pada **Gambar 5.115** sampai dengan **Gambar 5.120** maka,

Seperti terlihat pada **Gambar 5.115** sampai dengan **Gambar 5.120** untuk respon *base isolation* struktur 4 dan 8 tingkat dengan 3 jenis redaman sekilas memang terlihat sama karena selisihnya sangat kecil, tetapi sebenarnya berbeda. Perbedaan ini terletak pada komposisi masing-masing jenis redaman yang mempunyai karakteristik yang khas. Redaman dengan *Mass Proportional Damping (MPD)* akan berbanding langsung dengan massa struktur, sedangkan redaman dengan *Stiffnes Proportional Damping (SPD)* merupakan fungsi dari kekakuan, sehingga isian pada matriks redaman akan sama dengan matriks kekakuan. Untuk redaman jenis *Mass and Stiffnes Proportional Damping (MSPD)*, adalah kombinasi dari kedua redaman tersebut.

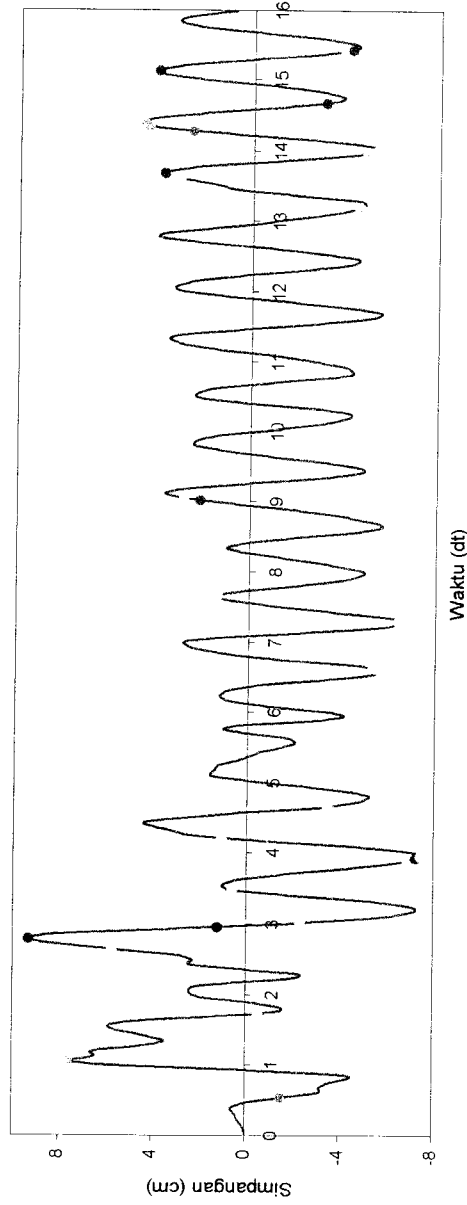
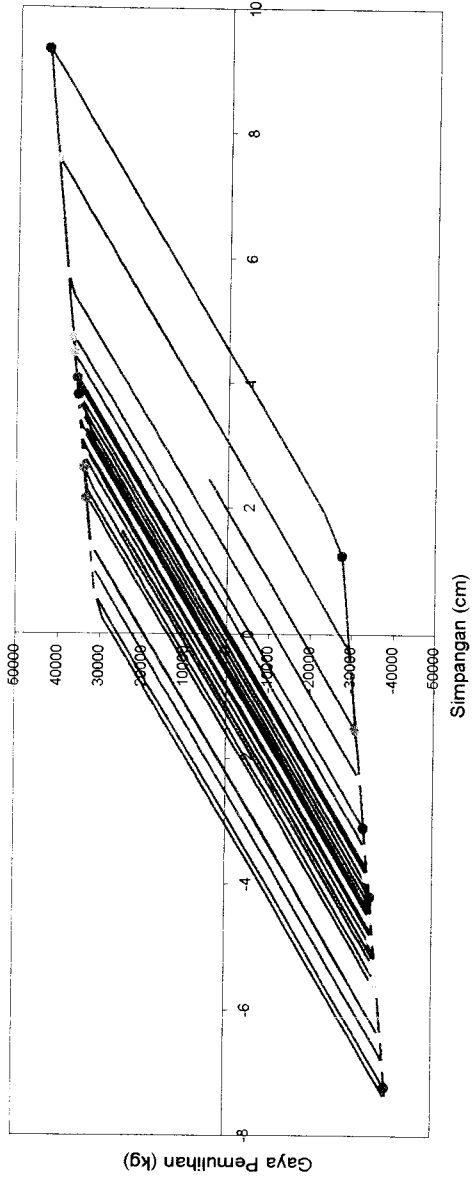


A. Hysterical Loop

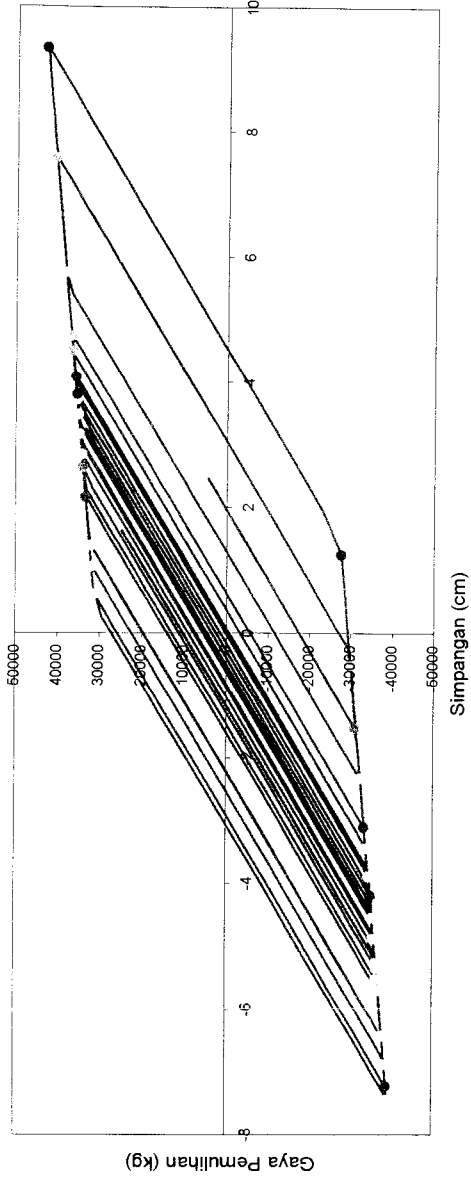


B. Plot Simpangan Base Isolation Terhadap Waktu

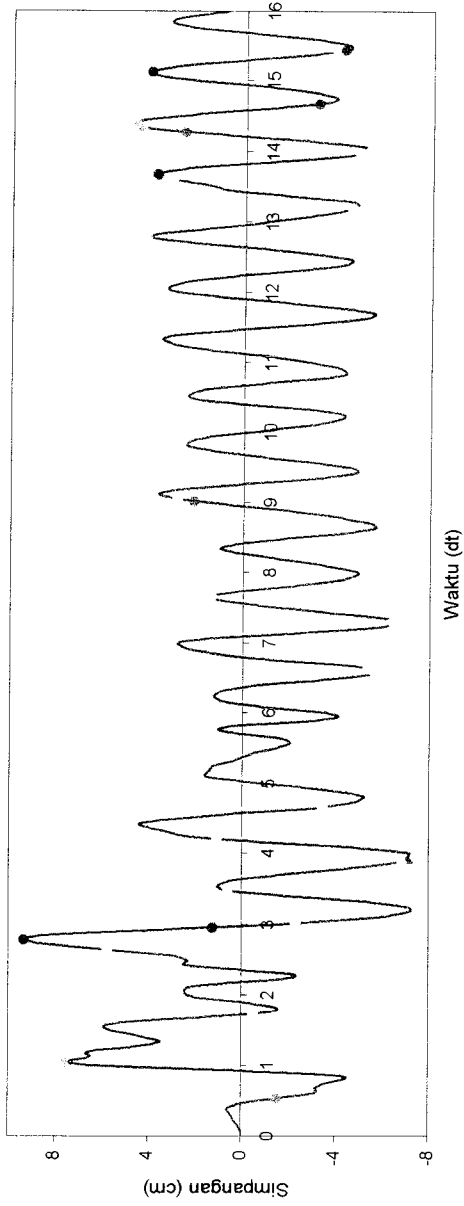
Gambar 5.115 Grafik Respon Base Isolation Struktur 4 Tingkat Akibat Gempa Elcentro Dengan MPD



Gambar 5.116 Grafik Respon Base Isolation Struktur 4 Tingkat Akibat Gempa Elcentro Dengan SPD

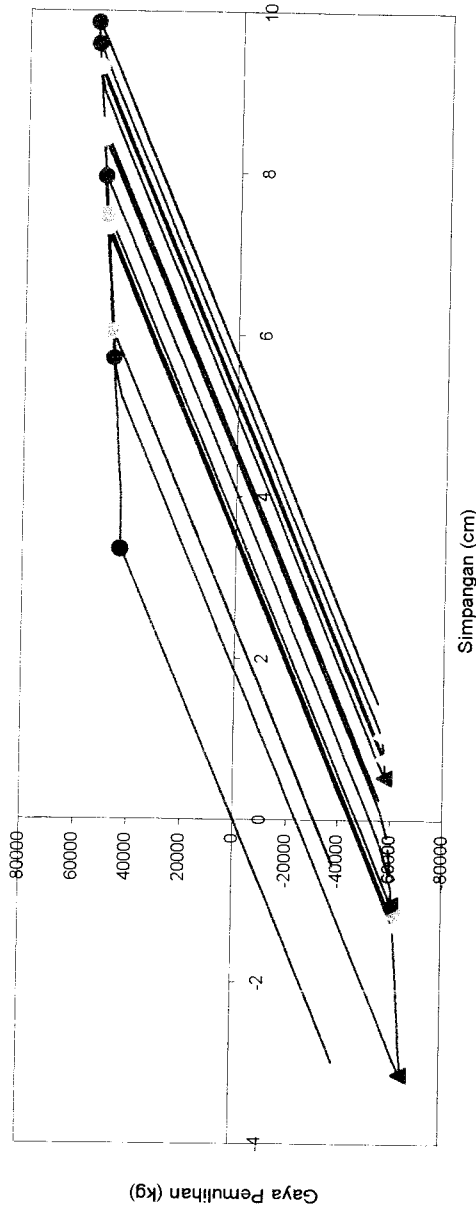


A. Hysterical Loop

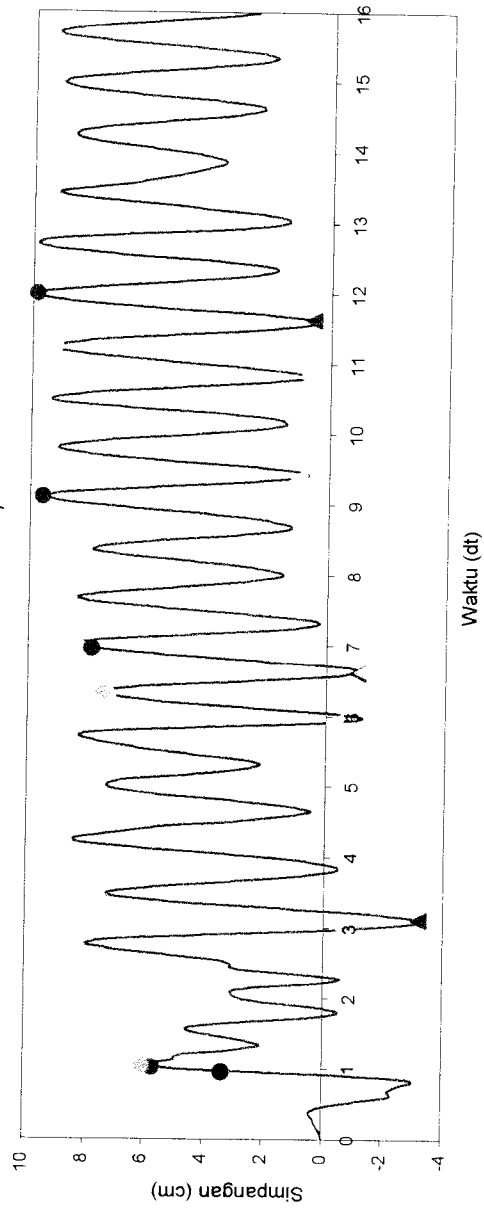


B. Plot Simpangan Base Isolation Terhadap Waktu

Gambar 5.117 Grafik Respon Base Isolation Struktur 4 Tingkat Akibat Gempa Eicentro Dengan MSPD

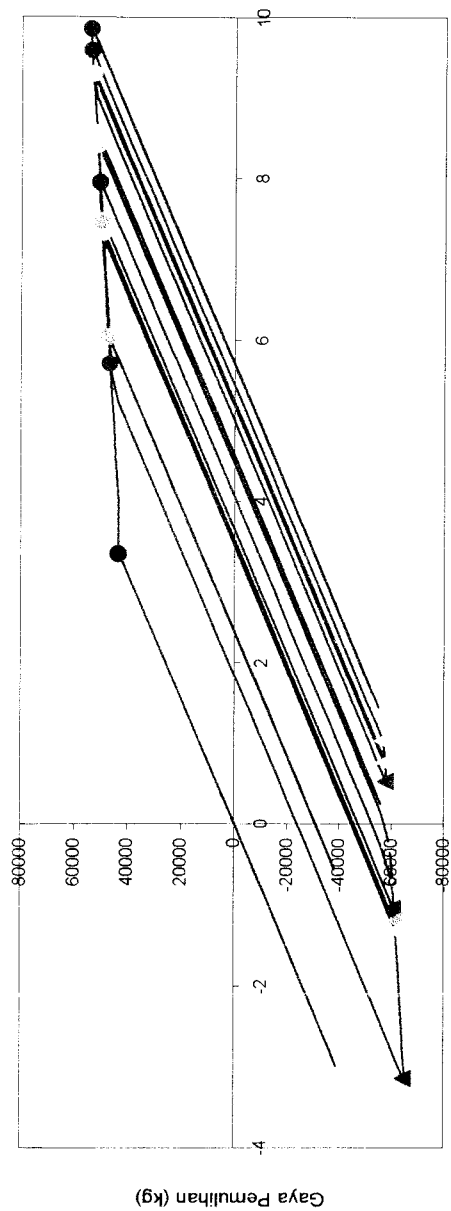


A. Hysterical Loop

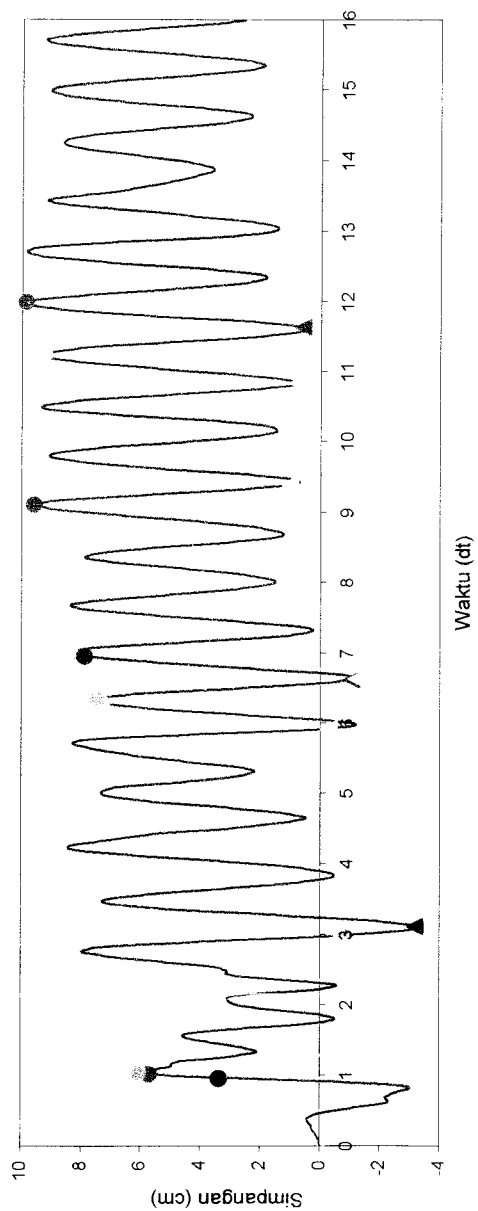


B. Plot Simpangan Base Isolation Terhadap Waktu

Gambar 5.18 Grafik Respon Base Isolation Struktur 8 Tingkat Akibat Gempa Elcentro Dengan MPD



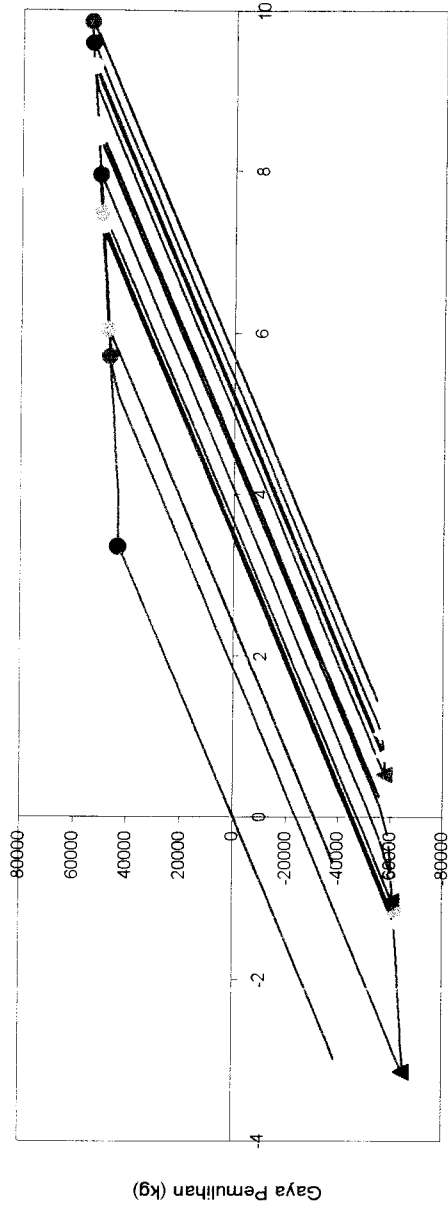
A. Hysterical Loop



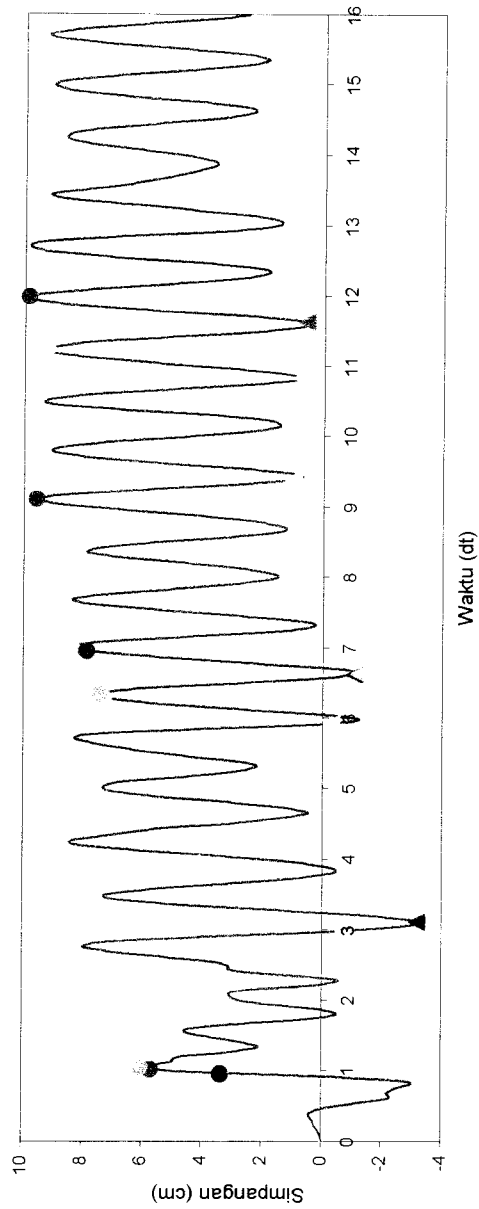
B. Plot Simpangan Base Isolation Terhadap Waktu

Gambar 5.19 Grafik Respon Base Isolation Struktur 8 Tingkat Akibat Gempa Elcentro Dengan SPD





A. Hysterical Loop



B. Plot Simpangan Base Isolation Terhadap Waktu

Gambar 5.20 Grafik Respon Base Isolation Struktur 8 Tingkat Akibat Gempa Elcentro Dengan MSPD

## 5.5 Rasio Respon Antara Bangunan Dengan *Base Isolation* dan Bangunan Tanpa *Base Isolation* akibat Beban Gempa.

Dalam penelitian peneliti membandingkan antara bangunan dengan dan tanpa *Base Isolation* yang dikenai 3 variasi beban gempa yaitu gempa Elcentro, gempa Santacruz dan gempa Koyna.

### 5.5.1 Simpangan Relatif Struktur.

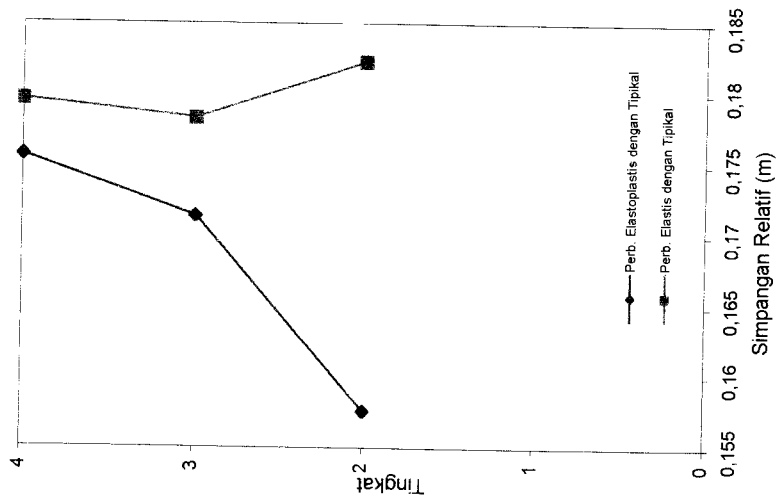
Dengan memperhatikan grafik simpangan relatif maksimum pada **Gambar 5.121** sampai dengan **Gambar 5.123** maka,

Pada struktur 4 tingkat rasio simpangan relatif yang dihasilkan antara bangunan dengan *base isolation* (elastoplastis) dan bangunan tanpa *base isolation* (tipikal) disemua variasi gempa baik gempa elcentro, santacruz maupun koyna umumnya lebih kecil daripada rasio antara bangunan dengan *base isolation* (elastis) dan bangunan tanpa *base isolation* (tipikal).

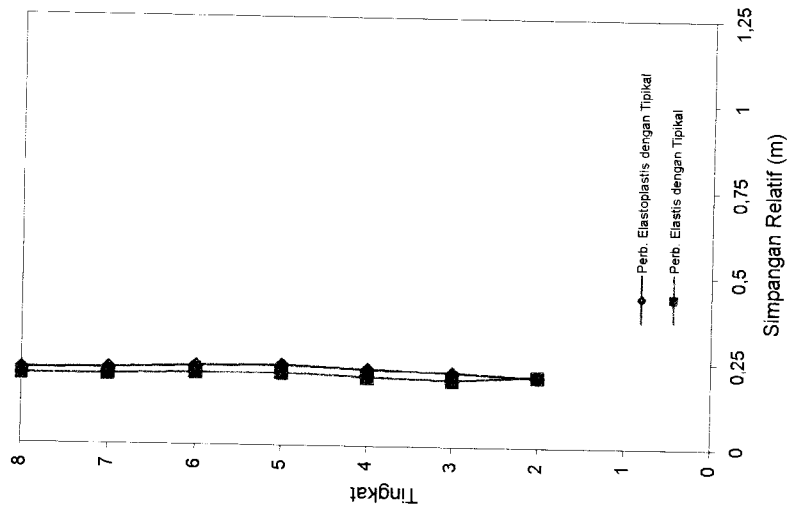
Untuk struktur 8 tingkat yang dikenai gempa elcentro rasio simpangan relatif antara bangunan dengan *base isolation* (elastis) dan bangunan tanpa *base isolation* (tipikal) lebih besar dari rasio simpangan relatif antara bangunan dengan *base isolation* (elastoplastis) dan bangunan tanpa *base isolation* (tipikal) namun selisihnya sangat kecil. Sedangkan pada struktur 8 tingkat yang dikenai gempa koyna rasio simpangan relatif antara keduanya berhimpit pada tingkat 4 sampai tingkat 6. Sebaliknya pada struktur 8 tingkat yang dikenai gempa santacruz rasio simpangan relatif antara bangunan dengan *base isolation* (elastoplastis) dan

bangunan tanpa *base isolation* (tipikal) lebih kecil dari rasio simpangan relatif bangunan dengan *base isolation* (elastis) dan bangunan tanpa *base isolation*.

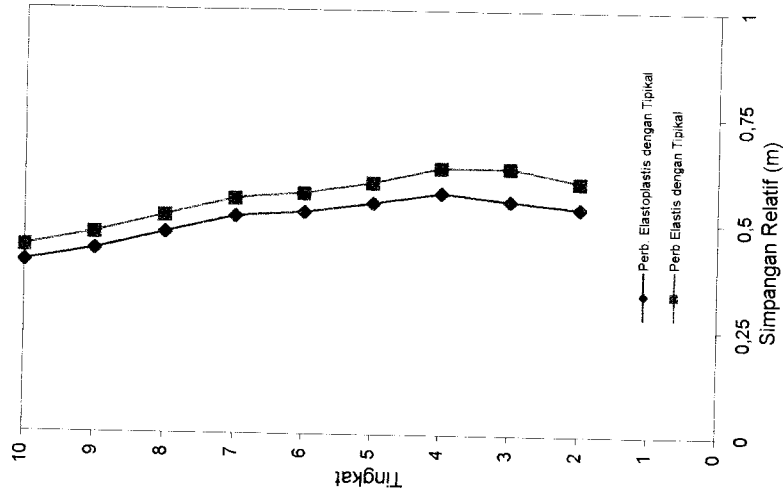
Pada struktur 10 tingkat baik yang dikenai gempa elcentro, santacruz maupun koyna rasio simpangan relatif antara bangunan dengan *base isolation* (elastoplastis) dan bangunan tanpa *base isolation* (tipikal) lebih kecil daripada rasio simpangan relatif bangunan dengan *base isolation* (elastis) dan bangunan tanpa *base isolation* (tipikal).



A. Tingkat 4

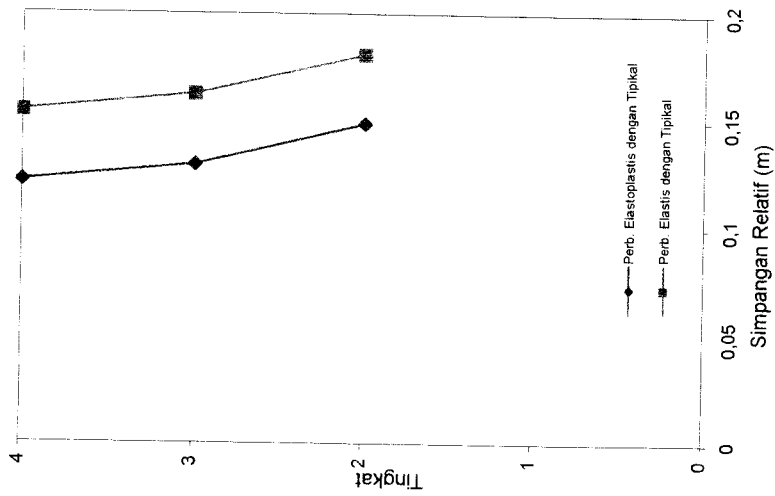


B. Tingkat 8

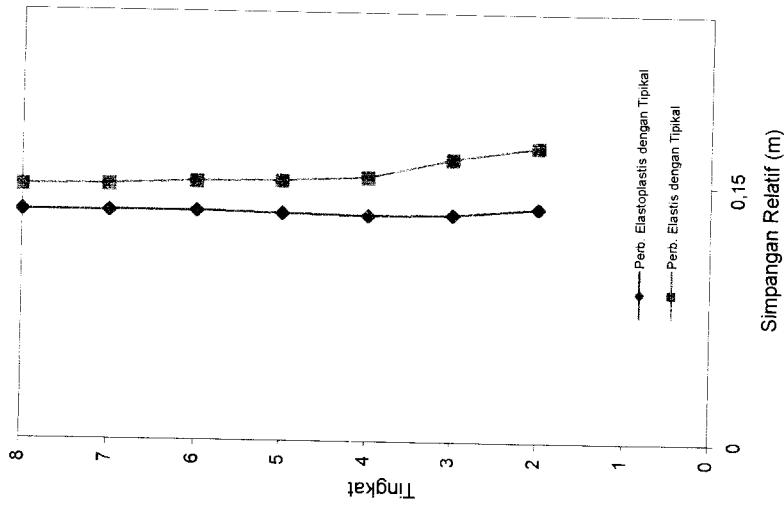


C. Tingkat 10

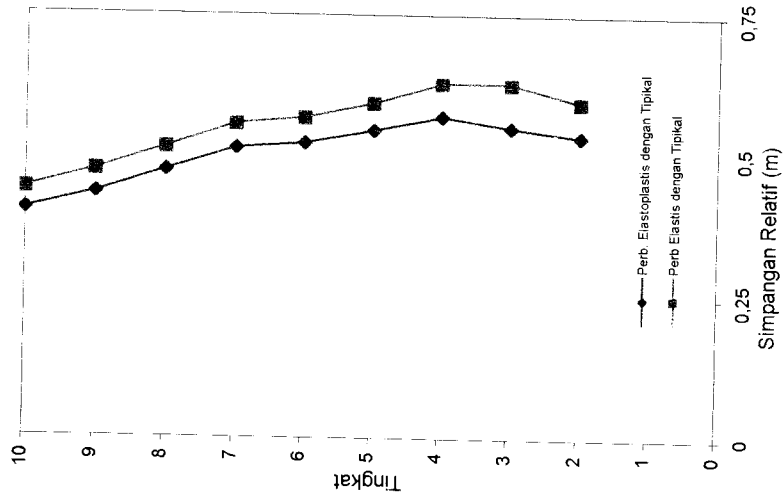
Gambar 5.121 Grafik Ratio Simpangan Relatif Antara Bangunan dengan Base Isolation dan Tanpa Base Isolation Akibat Gempa Elcentro



A. Tingkat 4

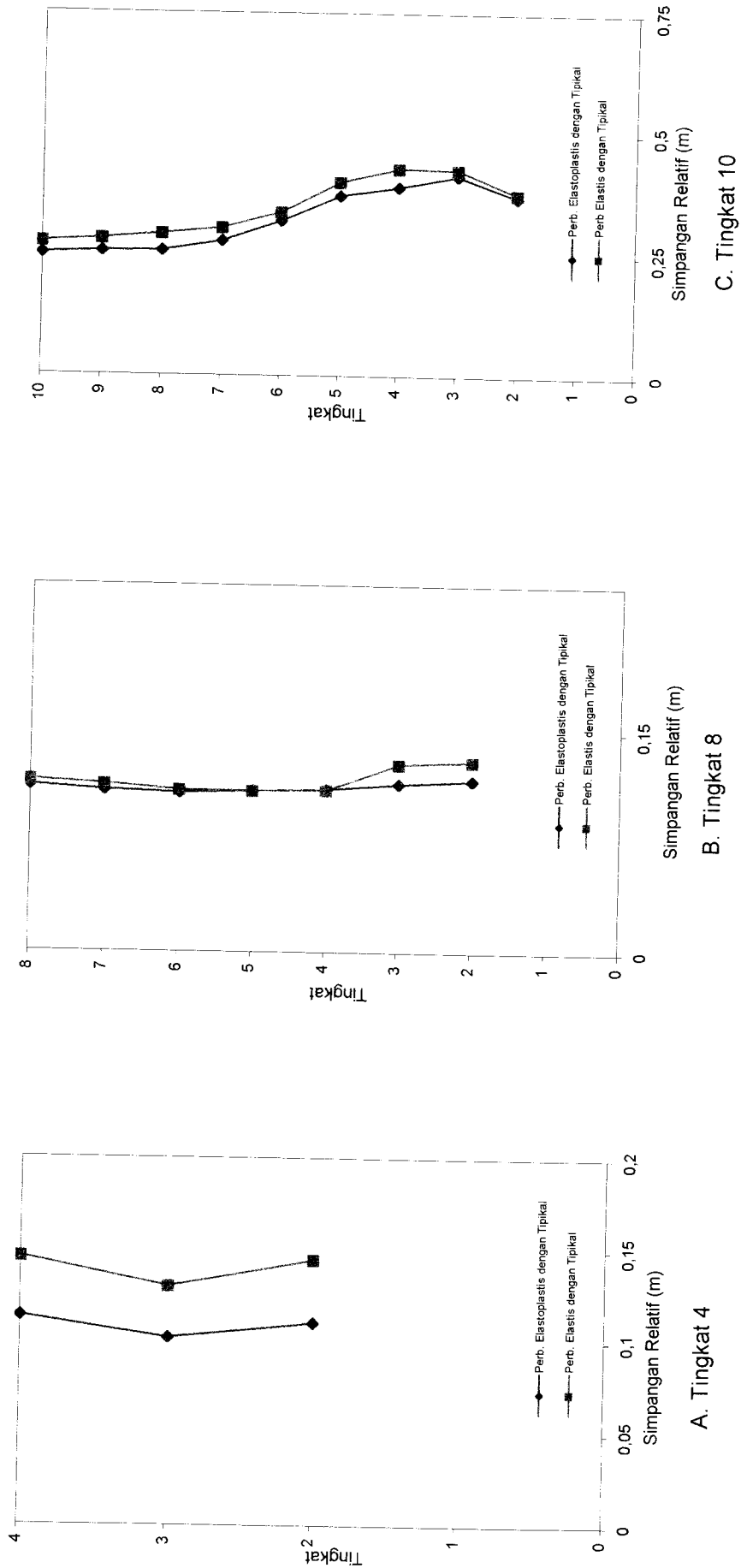


B. Tingkat 8



C. Tingkat 10

Gambar 5.122 Grafik Ratio Simpangan Relatif Antara Bangunan dengan Base Isolation dan Tanpa Base Isolation Akibat Gempa Santacruz

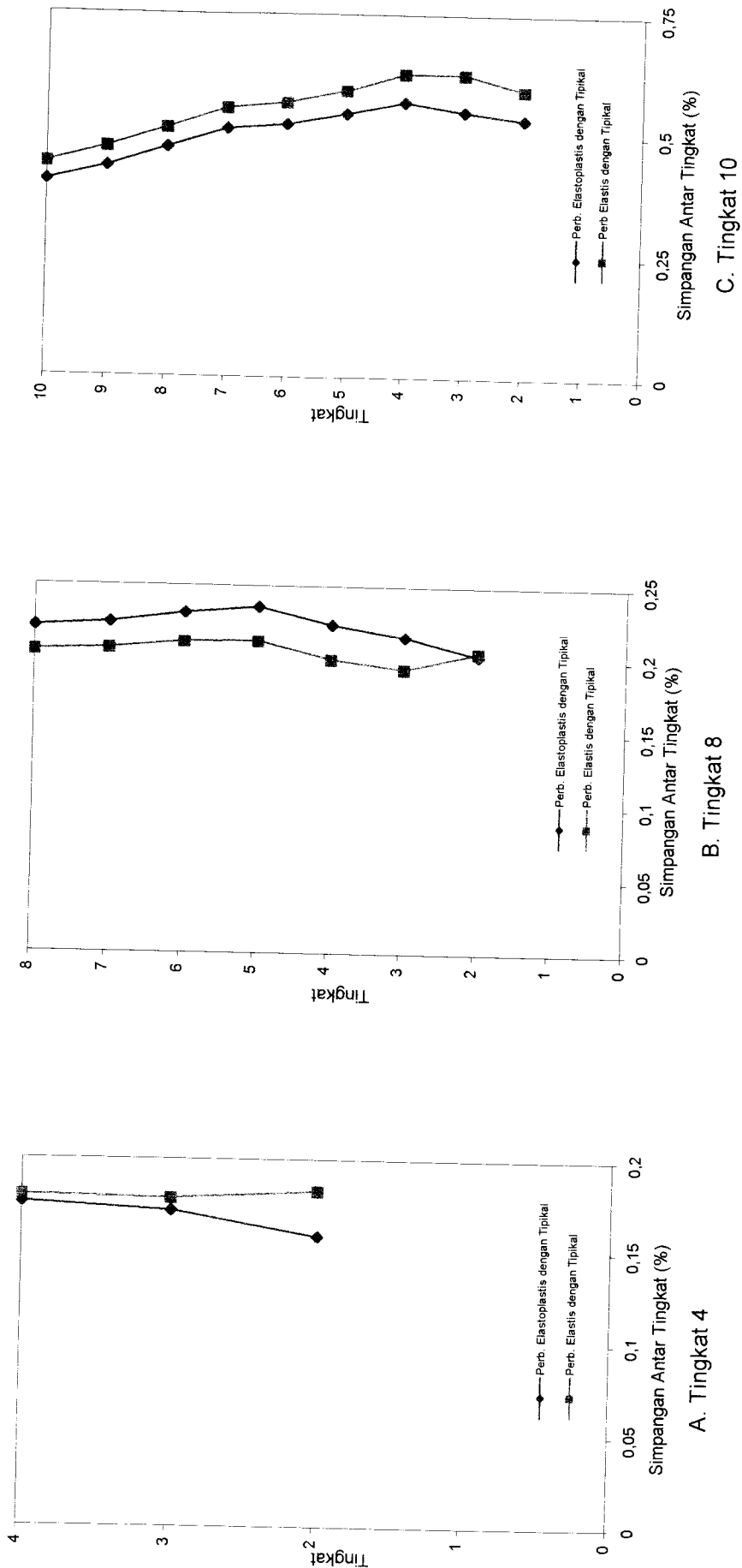


Gambar 5.123 Grafik Ratio Simpangan Relatif Antara Bangunan dengan Base Isolation dan Tanpa Base Isolation Akibat Gempa Koyna

### 5.5.2 Simpangan Antar Tingkat (*Interstorey Drift*)

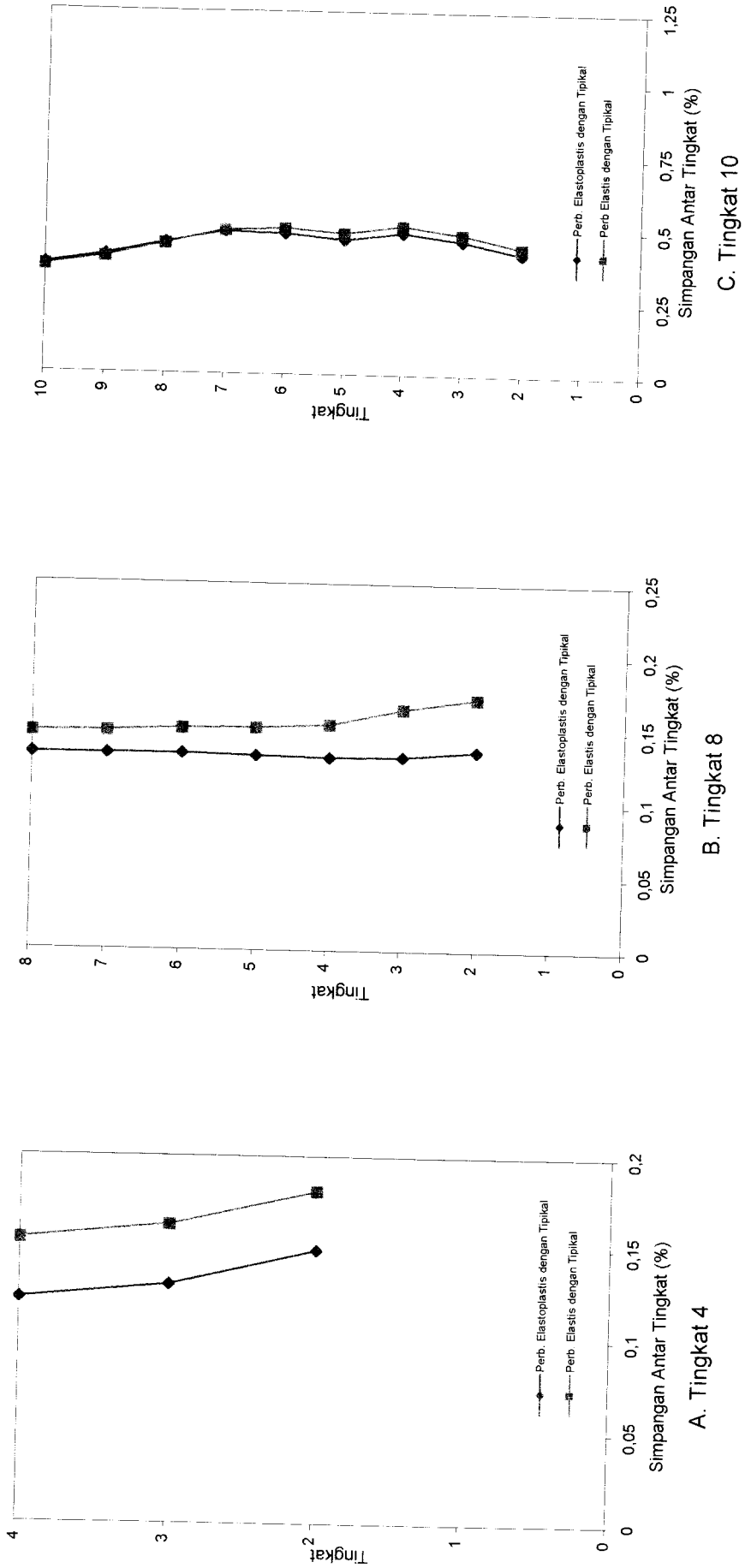
Dengan memperhatikan grafik simpangan antar tingkat maksimum pada **Gambar 5.124** sampai dengan **Gambar 5.126** maka,

Rasio simpangan antar tingkat (*interstorey drift*) struktur 4, 8, dan 10 tingkat yang dikenai gempa elcentro, santacruz dan koyna diperoleh bahwa rasio simpangan antar tingkat antara bangunan dengan *base isolation* (elastoplastis) dan bangunan tanpa *base isolation* (tipikal) lebih kecil daripada rasio simpangan antar tingkat bangunan dengan *base isolation* (elastis) dan bangunan tanpa *base isolation* (tipikal). Respon yang dihasilkan hampir sama dengan rasio simpangan relatif karena simpangan antar tingkat adalah produk dari pengurangan simpangan relatif tiap lantai. Tetapi pada struktur 8 tingkat yang dikenai gempa koyna rasio simpangan relatif antara keduanya berhimpit pada tingkat 4 sampai tingkat 6.

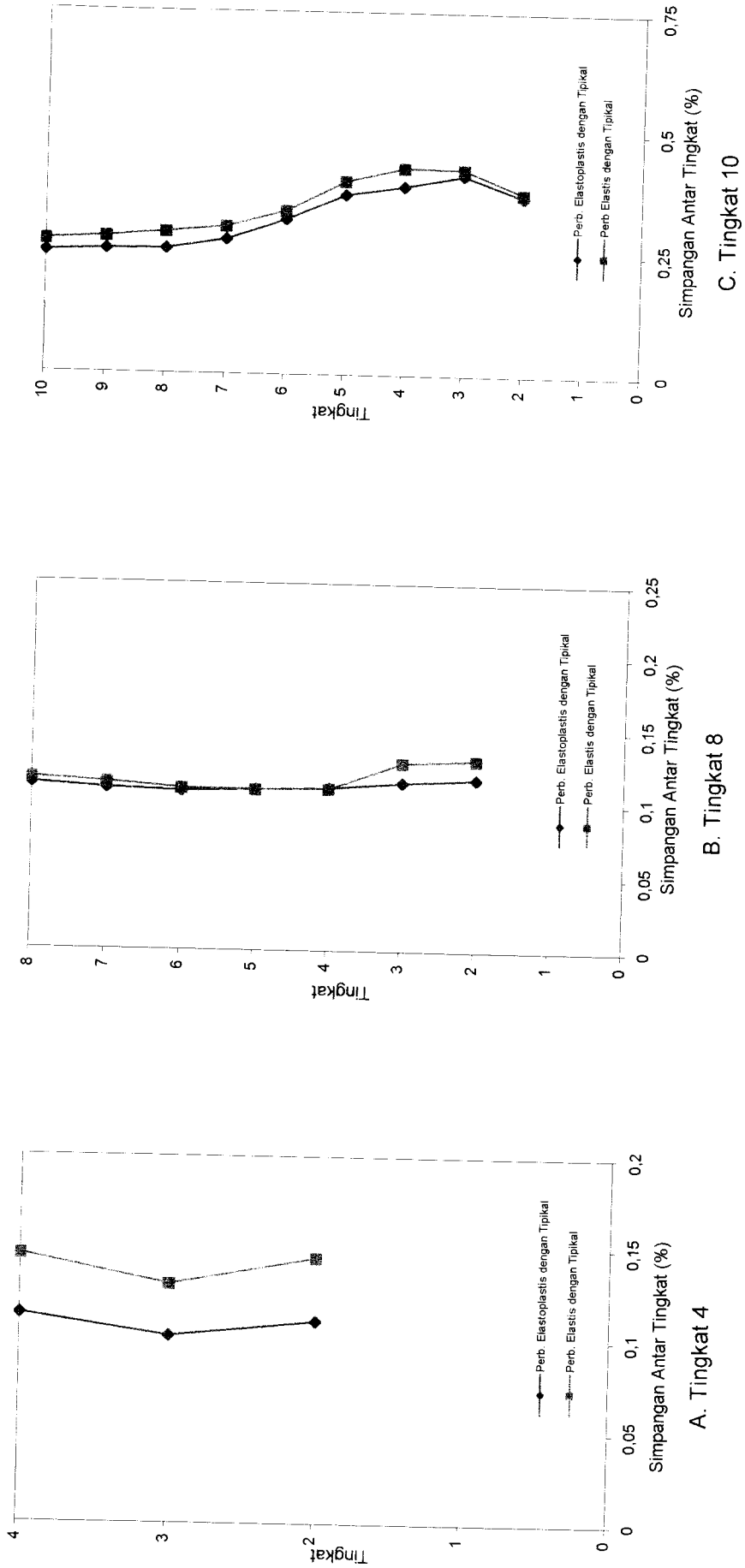


Gambar 5.124 Grafik Ratio Simpangan Antar Tingkat Antara Bangunan dengan Base Isolation dan Tanpa Base Isolation Akibat Gempa Elcentro





Gambar 5.125 Grafik Ratio Simpangan Antar Tingkat Antara Bangunan dengan Base Isolation dan Tanpa Base Isolation Akibat Gempa Santacruz



Gambar 5.126 Grafik Ratio Simpangan Antar Tingkat Antara Bangunan dengan Base Isolation dan Tanpa Base Isolation Akibat Gempa Koyna

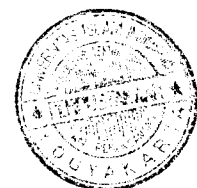
### 5.5.3 Gaya Horisontal Tingkat.

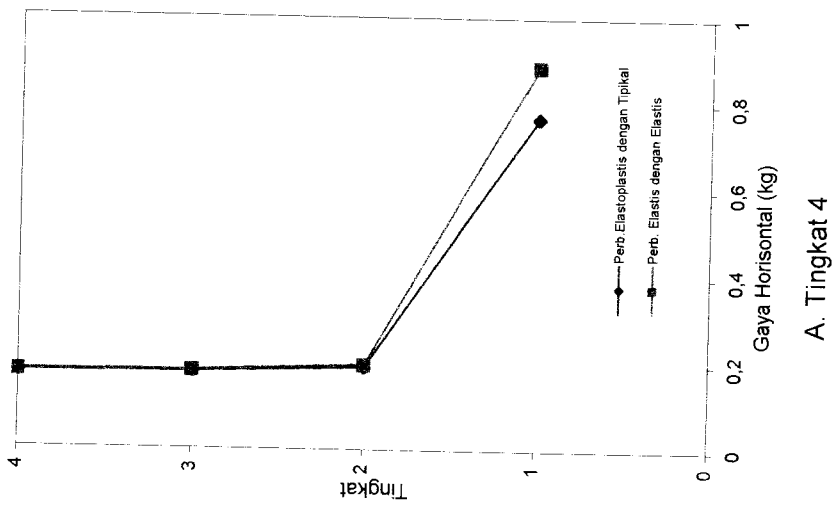
Dengan memperhatikan grafik gaya horisontal tingkat maksimum pada **Gambar 5.127** sampai dengan **Gambar 5.129** maka,

Rasio gaya horisontal tingkat pada struktur 4, 8 dan 10 tingkat terjadi loncatan yang cukup signifikan dari lantai 1 ke lantai 2 hal ini disebabkan karena pada lantai 1 terdapat *base isolation* sehingga gaya horisontal tingkat terbesar terjadi pada tingkat 1 dan semakin ketas semakin mengecil karena sudah diredam oleh *base isolation* tersebut.

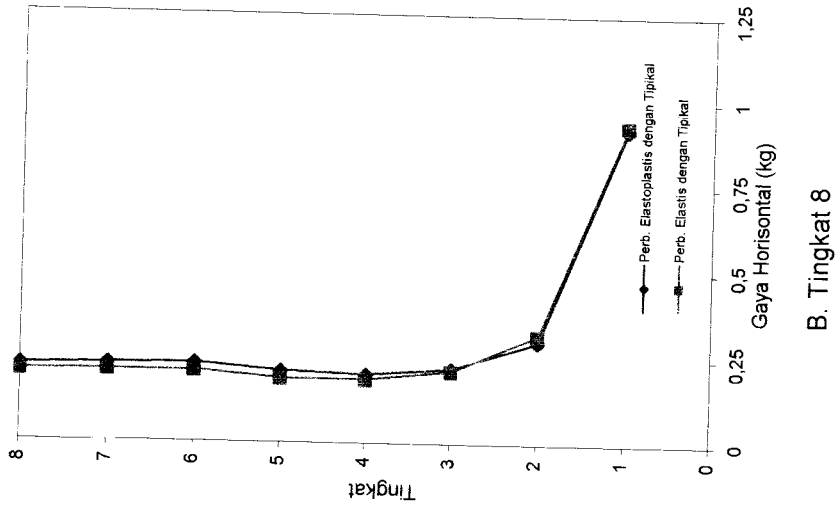
Pada struktur 4 tingkat yang dikenai gempa elcentro rasio gaya horisontal tingkat antara bangunan dengan *base isolation* (elastoplastis) dan bangunan tanpa *base isolation* (tipikal) berhimpit pada tingkat 2 sampai tingkat 4, sedangkan pada struktur 4 tingkat yang dikenai gempa santacruz dan gempa koyna rasio gaya horisontal tingkat antara bangunan dengan *base isolation* (elastoplastis) dan bangunan tanpa *base isolation* (tipikal) lebih kecil daripada rasio gaya horisontal antara bangunan dengan *base isolation* (elastis) dan bangunan tanpa *base isolation* (tipikal).

Rasio gaya horisontal antara bangunan dengan *base isolation* (elastoplastis) dan bangunan tanpa *base isolation* (tipikal) pada struktur 8 dan 10 tingkat selisihnya sangat kecil bahkan pada struktur 10 tingkat disemua tingkat berhimpit atau nilainya hampir sama.

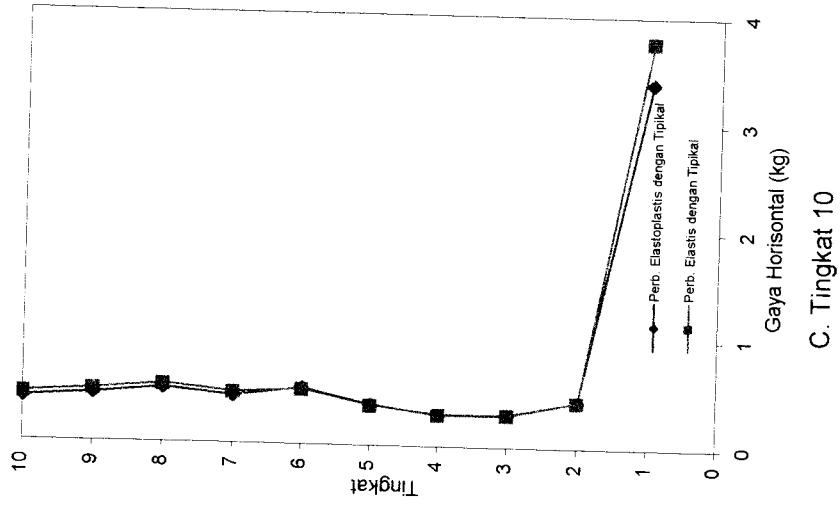




A. Tingkat 4

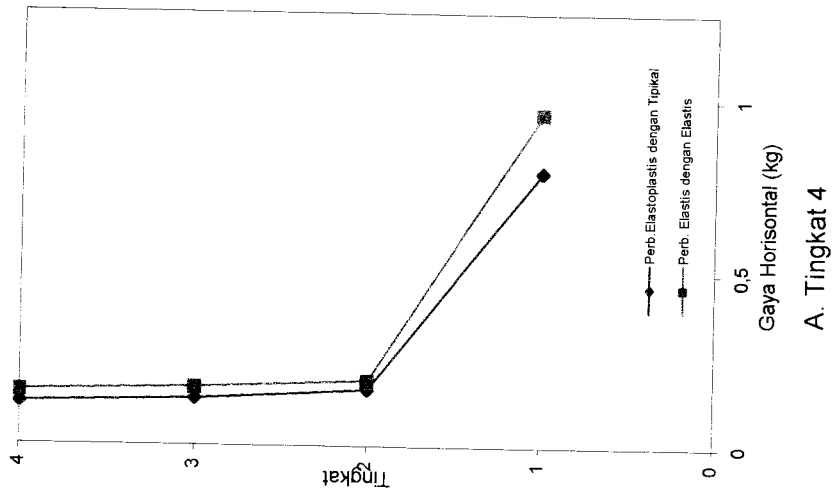


B. Tingkat 8

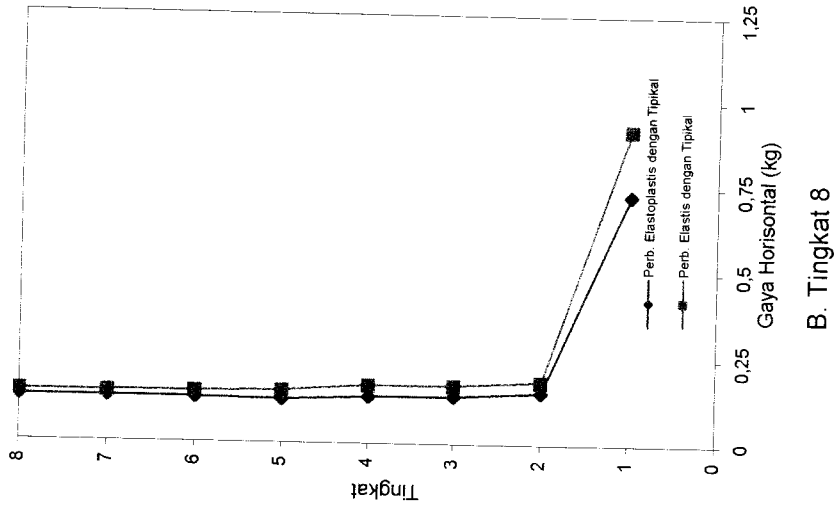


C. Tingkat 10

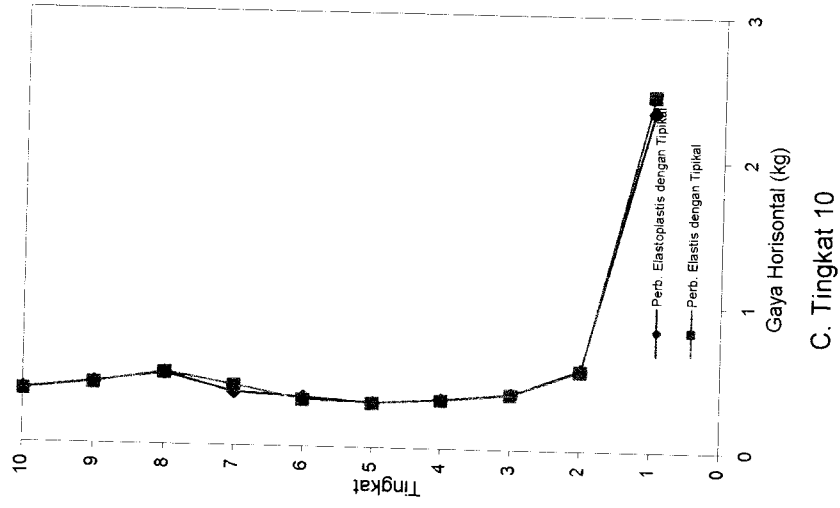
Gambar 5.127 Grafik Ratio Gaya Horizontal Tingkat Antara Bangunan dengan Base Isolation dan Tanpa Base Isolation Akibat Gempa Eicentro



A. Tingkat 4

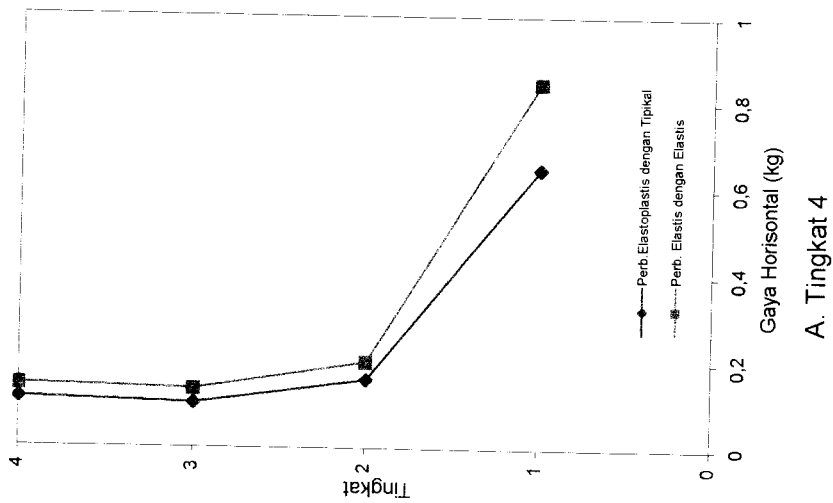


B. Tingkat 8

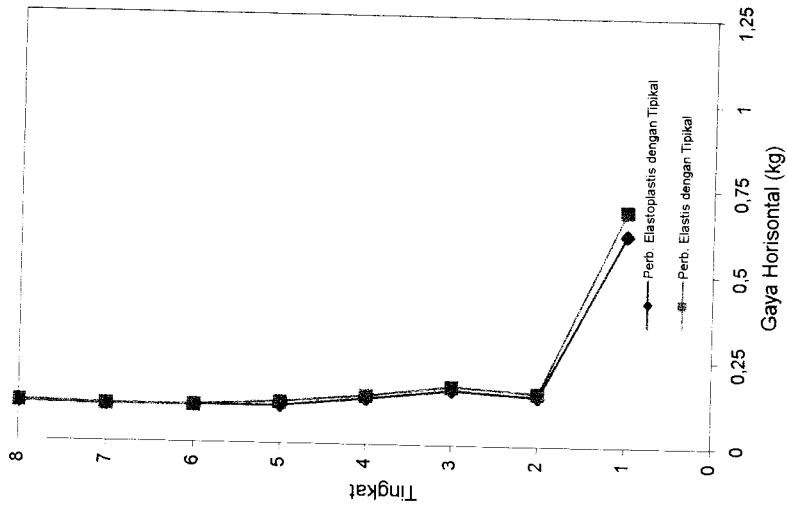


C. Tingkat 10

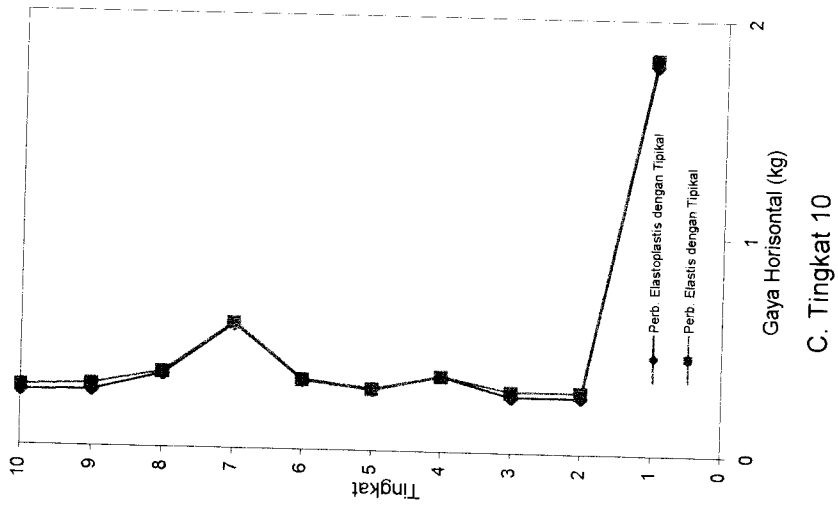
Gambar 5.128 Grafik Ratio Gaya Horizontal Tingkat Antara Bangunan dengan Base Isolation dan Tanpa Base Isolation Akibat Gempa Santacruz



A. Tingkat 4



B. Tingkat 8



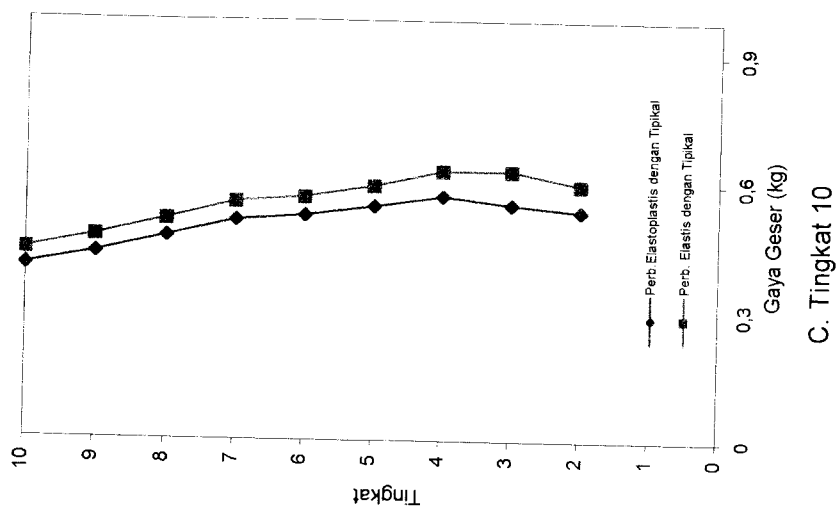
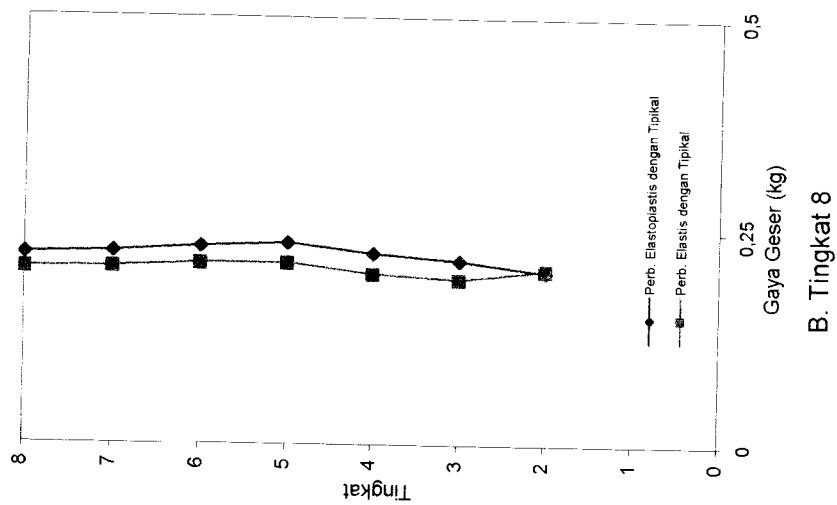
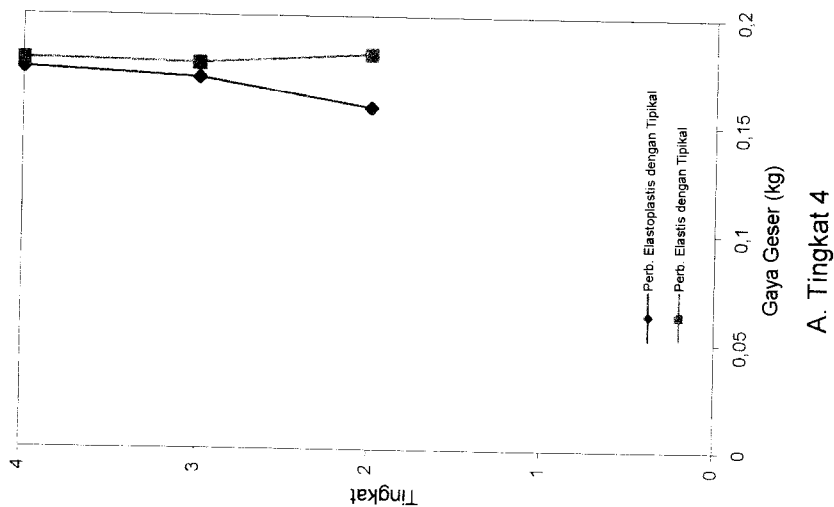
C. Tingkat 10

Gambar 5.129 Grafik Ratio Gaya Horizontal Tingkat Antara Bangunan dengan Base Isolation dan Tanpa Base Isolation Akibat Gempa Koyna

#### 5.5.4 Gaya Geser Tingkat.

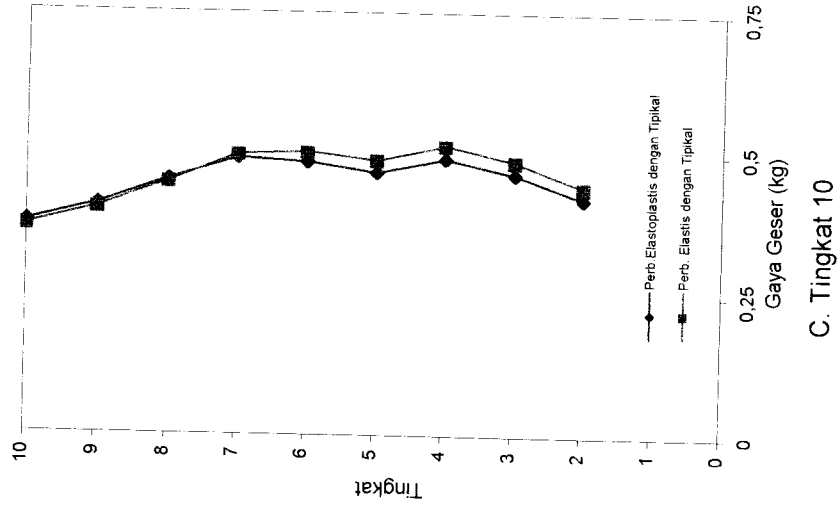
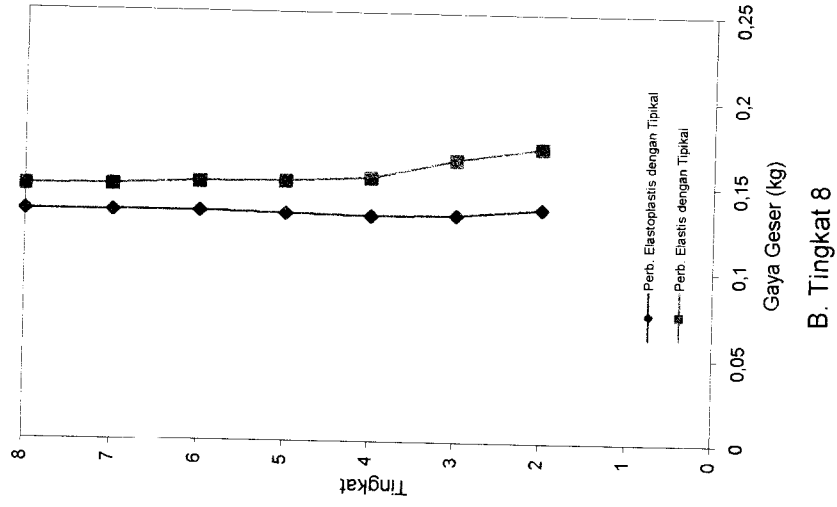
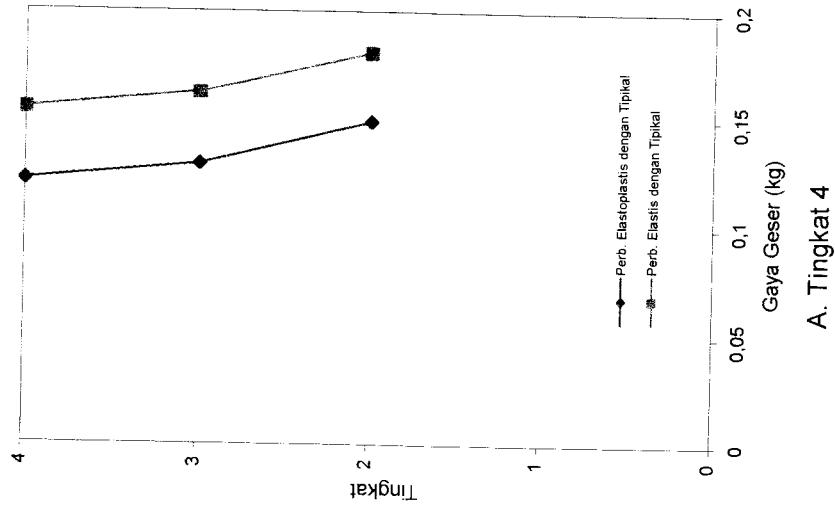
Dengan memperhatikan grafik gaya geser tingkat maksimum pada **Gambar 5.130** sampai dengan **Gambar 5.132** maka,

Rasio gaya geser tingkat (*interstorey drift*) struktur 4, 8, dan 10 tingkat yang dikenai gempa elcentro, santacruz dan koyna diperoleh bahwa rasio simpangan antar tingkat antara bangunan dengan *base isolation* (elastoplastis) dan bangunan tanpa *base isolation* (tipikal) lebih kecil daripada rasio simpangan antar tingkat bangunan dengan *base isolation* (elastis) dan bangunan tanpa *base isolation* (tipikal). Tetapi pada struktur 8 tingkat yang dikenai gempa koyna rasio simpangan relatif antara keduanya berhimpit pada tingkat 4 sampai tingkat 6 dan pada struktur 8 tingkat yang dikenai gempa elcentro rasio gaya geser tingkat antara bangunan dengan *base isolation* (elastoplastis) dan bangunan tanpa *base isolation* (tipikal) lebih besar daripada rasio gaya geser tingkat antara bangunan dengan *base isolation* (elastis) dan bangunan tanpa *base isolation* (tipikal).

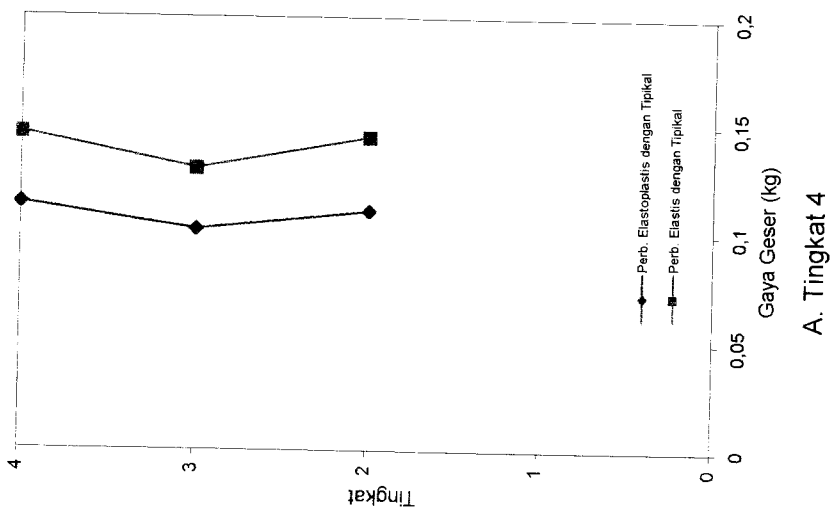


Gambar 5.130 Grafik Ratio Gaya Geser Tingkat Antara Bangunan dengan Base Isolation dan Tanpa Base Isolation Akibat Gempa Elcentro

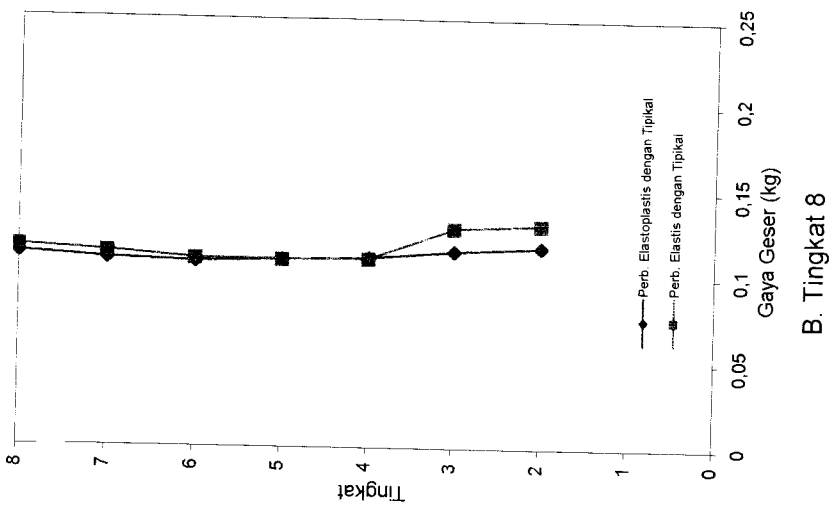




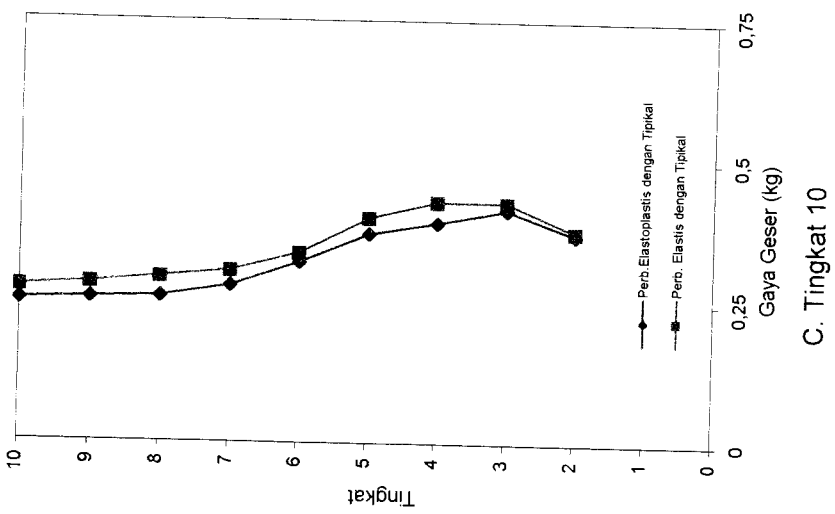
Gambar 5.131 Grafik Ratio Gaya Geser Tingkat Antara Bangunan dengan Base Isolation dan Tanpa Base Isolation Akibat Gempa Santacruz



A. Tingkat 4



B. Tingkat 8



C. Tingkat 10

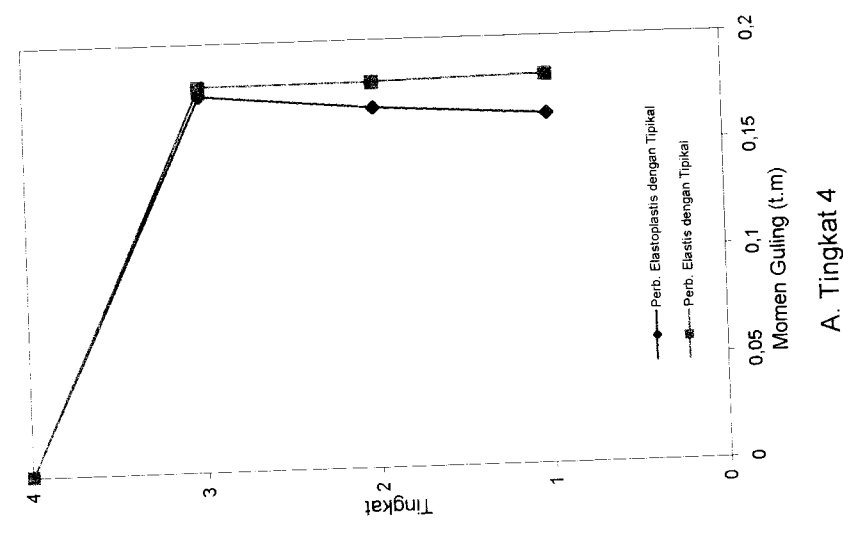
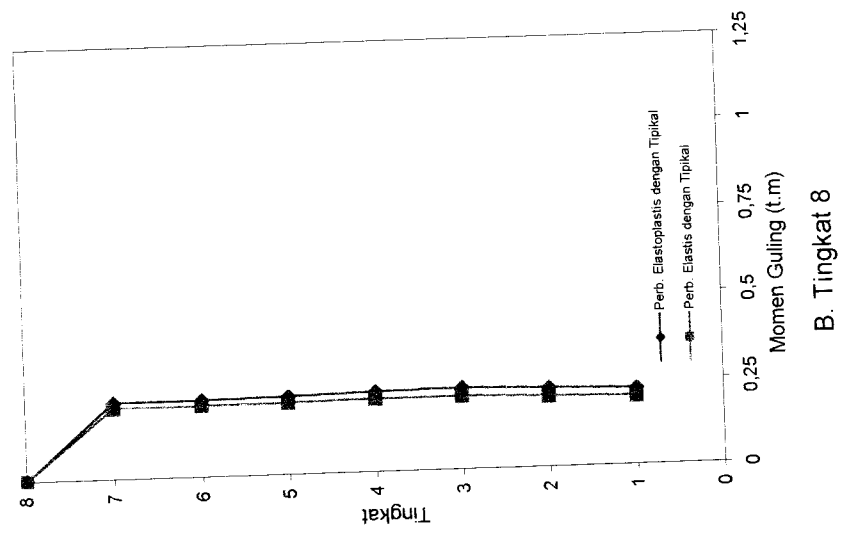
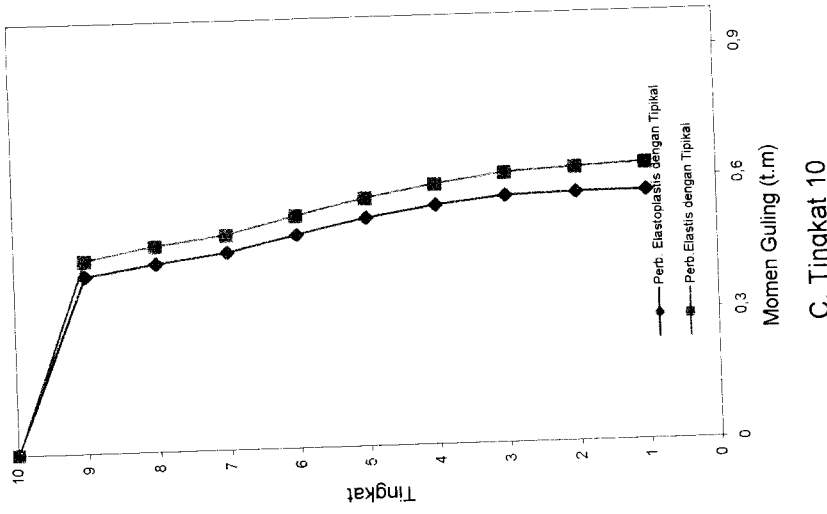
Gambar 5.132 Grafik Ratio Gaya Geser Tingkat Antara Bangunan dengan Base Isolation dan Tanpa Base Isolation Akibat Gempa Koyna

### 5.5.5 Momen Guling Tingkat.

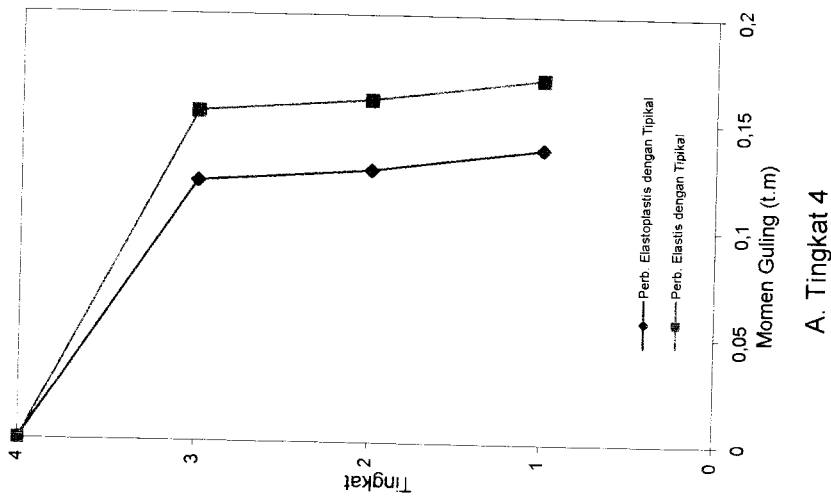
Dengan memperhatikan grafik momen guling tingkat maksimum pada **Gambar 5.133** sampai dengan **Gambar 5.135** maka,

Pada **Gambar 5.133** sampai **Gambar 5.135** dapat dilihat bahwa momen guling pada tingkat paling atas adalah nol hal ini dikarenakan momen guling merupakan perkalian antara gaya horisontal dengan tinggi tingkat yang bersangkutan. Dengan demikian semakin kecil gaya horisontal maka momen guling yang dihasilkan ikut mengecil.

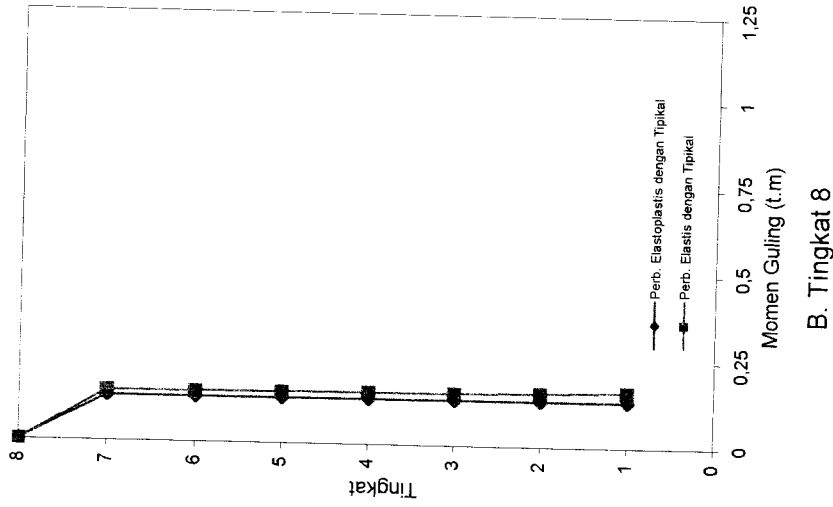
Untuk struktur 4, 8, dan 10 tingkat baik yang dikenai gempa elcentro, santacruz maupun koyna rasio momen guling antara bangunan dengan *base isolation* (elastoplastis) dan bangunan tanpa *base isolation* (tipikal) lebih kecil daripada rasio simpangan antar tingkat bangunan dengan *base isolation* (elastis), tetapi untuk struktur 8 tingkat yang dikenai gempa elcentro rasio momen guling antara bangunan dengan *base isolation* (elastis) dan bangunan tanpa *base isolation* (tipikal) lebih besar daripada rasio momen guling antara bangunan dengan *base isolation* (elastoplastis) dan bangunan tanpa *base isolation* (tipikal) walaupun selisihnya sangat kecil.



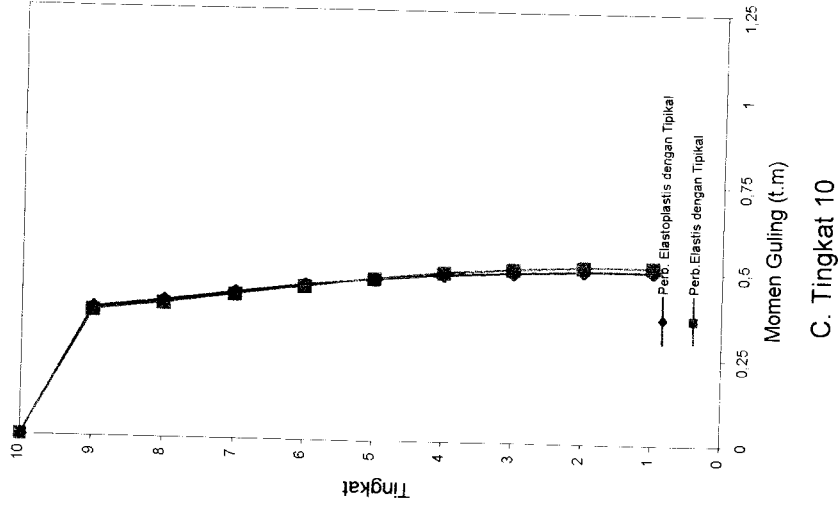
Gambar 5.133 Grafik Ratio Momen Guling Tingkat Antara Bangunan dengan Base Isolation dan Tanpa Base Isolation Akibat Gempa Elcentro



A. Tingkat 4

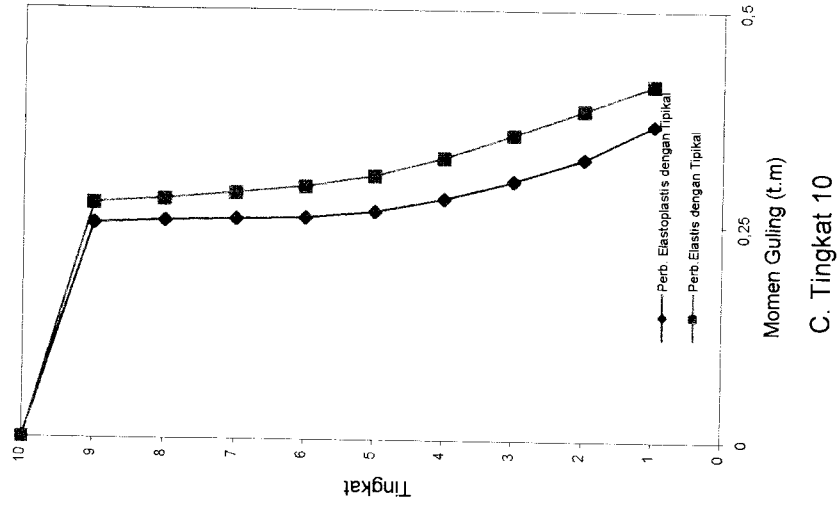
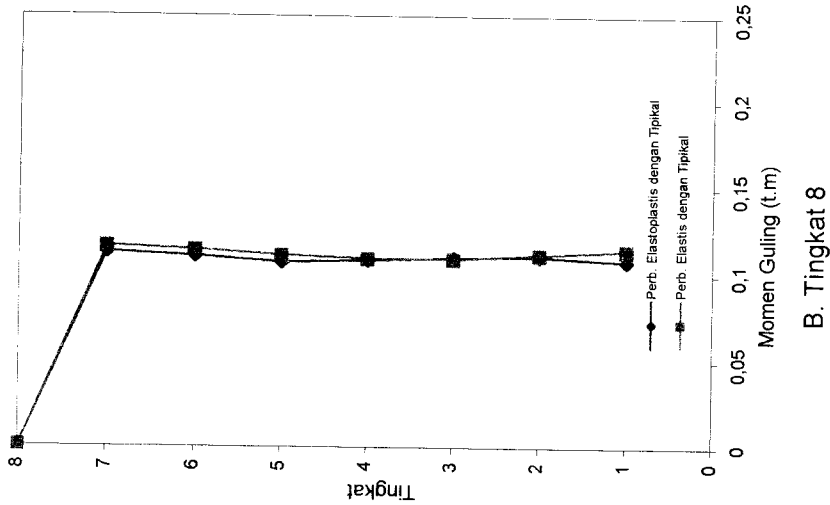
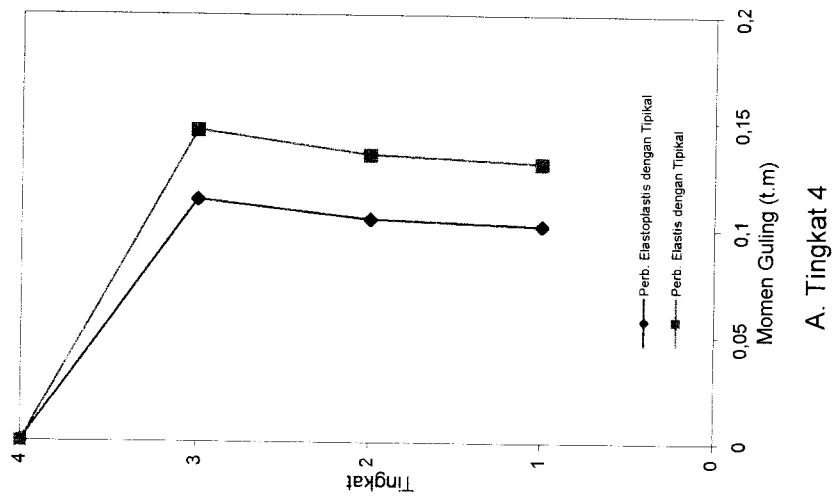


B. Tingkat 8



C. Tingkat 10

Gambar 5.134 Grafik Ratio Momen Guling Tingkat Antara Bangunan dengan Base Isolation dan Tanpa Base Isolation Akibat Gempa Santacruz



Gambar 5.135 Grafik Ratio Momen Guling Tingkat Antara Bangunan dengan Base Isolation dan Tanpa Base Isolation Akibat Gempa Koyna

## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 6.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian Respon Seismik Struktur Beton Bertingkat Banyak dengan *Isolasi Dasar* (Elastoplastis) adalah sebagai berikut :

1. Penggunaan *base isolation* sangat bermanfaat terhadap struktur yang diberi beban dinamik yaitu berupa beban gempa. Struktur yang diberi *base isolation* akan mengurangi beberapa parameter yang ditinjau yaitu simpangan relatif, simpangan antar tingkat (*interstorey drift*), gaya horisontal tingkat, gaya geser tingkat, dan momen guling sehingga akan mengurangi kerusakan struktur.
2. Struktur dengan *base isolation* yang bersifat elastoplastis memiliki selisih respon seismik struktur (simpangan relatif, *interstorey drift*, gaya horisontal tingkat, gaya geser tingkat dan momen guling) yang relatif kecil dengan struktur dengan *base isolation* yang bersifat elastis.
3. Simpangan relatif tiap tingkat akan semakin kecil pada tingkat yang lebih tinggi, karena sudah terjadi pengurangan kekakuan pada tingkat dibawahnya. Pada struktur dengan menggunakan *base isolation* yang bersifat Elastoplastis simpangan yang terjadi lebih kecil dari pada

simpangan yang menggunakan *base isolation* yang bersifat Elastis dan simpangan yang menggunakan *base isolation* baik yang bersifat elastis maupun elastoplastis simpangan terjadi lebih kecil dibandingkan dengan simpangan tanpa menggunakan *base isolation* (tipikal).

4. Simpangan antar tingkat baik pada struktur dengan atau tanpa *base isolation* nilai terbesar terjadi pada lantai 2, karena nilai simpangan lantai 1 sama dengan simpangan *base isolation* sehingga nilai simpangan relatif yang diperoleh pada lantai 1 adalah nol. Oleh karena itu selisih simpangan dibagi tinggi tingkat (*interstorey drift*) terbesar terjadi pada lantai 2. hal ini merupakan manfaat tersendiri untuk struktur karena struktur diatas *base isolation* terjadi simpangan antar tingkat yang relatif kecil dan sesuai dengan fungsi *base isolation* untuk mengurangi adanya simpangan antar tingkat.
5. Semakin nilai kekakuan *base isolation* mendekati kekakuan struktur tanpa *base isolation* (tipikal) dan semakin tinggi tingkat, struktur dengan *base isolation* (Elastis, Elastoplastis) akan mengalami perlakuan yang sama dengan struktur tanpa *base isolation* (tipikal). Hal ini akan menimbulkan kerugian pada struktur yang ditopang *base isolation* tersebut, karena akan mengalami simpangan antar tingkat yang besar yang sifatnya sama dengan struktur tanpa *base isolation* (tipikal).
6. *Base isolation* sangat cocok dipakai pada gempa dengan frekuensi tinggi dan pada kondisi tanah yang keras, tetapi tidak cocok digunakan pada kondisi gempa frekuensi rendah dan tanah yang lunak. Hal ini dapat



dibuktikan dengan respon yang didapat apabila bangunan tersebut dipasang *base isolation*, yaitu simpangan total, simpangan relatif, simpangan antar tingkat (*interstorey drift*), gaya horisontal tingkat, gaya geser, dan momen guling.

7. Tinggi bangunan mempengaruhi respon yang didapat misalnya bangunan tinggi diatas 10 tingkat maupun bangunan rendah. Bangunan tinggi mempunyai frekuensi bangunan rendah apabila terkena gempa dengan frekuensi rendah maka respon yang didapat akan besar. Dan bangunan rendah memiliki frekuensi bangunan tinggi apabila terkena gempa dengan frekuensi tinggi maka respon yang didapat akan besar.
8. Struktur dengan *base isolation* harus memiliki pembatasan nilai kekakuan base ( $k_b$ ), apabila nilai kekakuan base ( $k_b$ ) semakin besar seiring bertambahnya tingkat maka nilai-nilai parameter gempanya juga akan ikut besar, dan apabila nilai kekakuan base ( $k_b$ ) mendekati nilai kekakuan struktur tanpa *base isolation* akan menimbulkan sifat dan perilaku parameter yang terjadi akan sama dengan struktur tanpa *base isolation* tersebut. Hal ini memerlukan pembatasan terhadap nilai kekakuan base ( $k_b$ ) maksimum yang diambil agar struktur dengan menggunakan *base isolation* berbeda dengan struktur tanpa *base isolation* dan agar tidak terjadi kerusakan pada *base isolation* tersebut akibat kekakuan yang berlebihan.

9. Struktur baik dengan atau tanpa *base isolation* memiliki respon seismik struktur terbesar jika menggunakan jenis redaman proporsioanal dengan massa (*Mass proportional Damping, MPD*)

## 6.2 Saran

1. Perlu dilakukan penelitian dengan menggunakan berbagai macam variasi gempa terutama gempa yang baru-baru terjadi.
2. Perlu dilakukan penelitian dengan berbagai macam data struktur bangunan.
3. Perlu dilakukan penelitian dengan pembuatan program baru untuk membandingkan ketelitian hasil yang didapat dengan variasi data yang sama maupun data yang berbeda.
4. Perlu dilakukan penelitian dengan menggunakan pengaku berupa *bracing* yang akan menimbulkan bertambahnya kekakuan.
5. Perlu dilakukan penelitian dengan anggapan seluruh struktur bersifat elastoplastis.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, Peraturan Perencanaan Tahan Gempa Indonesia Untuk Gedung, 1981, Departemen Pekerjaan Umum.
- Andriono, Gideon, *Desain Struktur Rangka beton Bertulang di Daerah Rawan Gempa Edisi Kedua*, 1993, Erlangga, Jakarta.
- Booth Edmund, *Concrete Structures in Earthquake Regions : Design and Analysis*, 1994, Longman Scientific & Technical, England.
- Chopra AK, *Dynamic of Structure Theory and Applications to Earthquake Engineering*, 1995, Prentice Hall International, Inc.
- Fizaily, Widyastuti, Tugas Akhir *Perletakan Sendi Plastis pada Struktur Beton dengan Analisis Beban Statik Ekuivalen pada Bangunan Bertingkat Sembilan dengan Dua Bentang yang Menggunakan Base Isolation*, 2002, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan , Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Hart GC, Kevin Wong, *Structural Dynamic for Structural Engineerrs*, 1999, John Wiley & Sons, Inc.
- Nugroho, Budiyanto, Tugas Akhir *Pengaruh High Damping Rubber Bearing sebagai Isolasi Dasar terhadap Perilaku Dinamika Struktur*, 2002, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Nugroho, Wahyu Asmara, Tugas`Akhir *Pengrauh Penggunaan Isolasi Dasar (Base Isolation) terhadap Respon Seismik Rangka Baja Bertingkat*

- Banyak*, 2004, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Paldi, Hakim, Tugas Akhir *Performasi Bantalan Karet (Rubber Bearing) sebagai Redaman Pasif untuk Seismik Kontrol pada Bangunan Tahan Gempa*, 2000, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Paz, Mario, *Structural Dynamics Theory & Computation Second Edition*, 1985, Van Nostrad Reinhold Company.
- Salmon, Chu-kia Wang, Biansar, *Desain Beton Bertulang Edisi Keempat*, 1993, Erlangga, Jakarta.
- Widodo, *Respon Dinamik Struktur Elastik*, 2001, UII PREES, Yogyakarta.



# LAMPIRAN

**Tabel 5.5** Simpangan Maksimum Struktur 4 Tingkat Tanpa *Base Isolation* Akibat 3 Gempa

Tingkat	Simpangan (m)		
	Elcentro	Santacruz	Koyna
4	0,002696105	0,005297295	0,005563748
3	0,006556486	0,012337787	0,013506152
2	0,010094464	0,016984659	0,019692233
1	0,011622962	0,019103623	0,022662824

**Tabel 5.6** Simpangan Maksimum Struktur 4 Tingkat dengan *Base Isolation* (Elastis) Akibat 3 Gempa

Tingkat	Simpangan (m)		
	Elcentro	Santacruz	Koyna
4	0,000484011	0,000816853	0,000809534
3	0,00116867	0,002001486	0,00174977
2	0,001840219	0,003068834	0,002838571
<i>Base Isolation</i>	0	0	0

**Tabel 5.7** Simpangan Maksimum Struktur 4 Tingkat dengan *Base Isolation* (Elastoplastis) Akibat 3 Gempa

Tingkat	Simpangan (m)		
	Elcentro	Santacruz	Koyna
4	0,000473393	0,000643846	0,000630384
3	0,001123387	0,001594266	0,00137297
2	0,001590804	0,002522564	0,002167177
<i>Base Isolation</i>	0	0	0

**Tabel 5.8** Simpangan Maksimum Struktur 8 Tingkat Tanpa *Base Isolation* Akibat 3 Gempa

Tingkat	Simpangan (m)		
	Elcentro	Santacruz	Koyna
8	0,00058484	0,000962262	0,001175875
7	0,001325634	0,002232957	0,002716195
6	0,002323702	0,0041207	0,004955166
5	0,002996777	0,005525914	0,006464153
4	0,004057656	0,007233216	0,008393758
3	0,005943176	0,01036094	0,012482617
2	0,007302412	0,013210997	0,016119603
1	0,008206891	0,014771858	0,018334436

**Tabel 5.9** Simpangan Maksimum Struktur 8 Tingkat Dengan *Base Isolation* (Elastis) Akibat 3 Gempa

Tingkat	Simpangan (m)		
	Elcentro	Santacruz	Koyna
8	0,000119676	0,000142151	0,000136321
7	0,000273965	0,000331615	0,000308336
6	0,000491516	0,000619898	0,000543754
5	0,000635471	0,000835623	0,000707208
4	0,00081078	0,001111537	0,000923746
3	0,001150806	0,001703914	0,001598514
2	0,001498509	0,002270097	0,002100409
<i>Base Isolation</i>	0	0	0

**Tabel 5.10** Simpangan Maksimum Struktur 8 Tingkat Dengan *Base Isolation* (Elastoplastis) Akibat 3 Gempa

Tingkat	Simpangan (m)		
	Elcentro	Santacruz	Koyna
8	0,000129502	0,000128223	0,000132268
7	0,000297255	0,000297677	0,000297705
6	0,00053686	0,000550246	0,000534343
5	0,000706062	0,000731613	0,000708339
4	0,000907639	0,000950658	0,000926462
3	0,001281234	0,001368077	0,001430855
2	0,001481107	0,00179762	0,001888173
<i>Base Isolation</i>	0	0	0

**Tabel 5.11** Simpangan Maksimum Struktur 10 Tingkat Tanpa *Base Isolation* Akibat 3 Gempa

Tingkat	Simpangan (m)		
	Elcentro	Santacruz	Koyna
10	0,001072036	0,001649479	0,002175768
9	0,002710125	0,004222699	0,005611335
8	0,004016501	0,005839264	0,007881952
7	0,004926422	0,006725995	0,00926928
6	0,00598176	0,007664985	0,009434122
5	0,006748649	0,00852013	0,008858152
4	0,00698206	0,008478902	0,009541457
3	0,007246655	0,009027964	0,010278741
2	0,007878917	0,009690089	0,012256411
1	0,008388148	0,010211126	0,012904432

**Tabel 5.12** Simpangan Maksimum Struktur 10 Tingkat Dengan *Base Isolation* (Elastis) Akibat 3 Gempa

Tingkat	Simpangan (m)		
	Elcentro	Santacruz	Koyna
10	0,000470955	0,000605059	0,000595407
9	0,001281775	0,001688304	0,001576846
8	0,002065731	0,002614848	0,00230378
7	0,002735906	0,003340484	0,002823399
6	0,003386716	0,003846859	0,003178416
5	0,004000332	0,004150454	0,003542586
4	0,004388418	0,004353959	0,004086575
3	0,004550337	0,00438984	0,004385747
2	0,004687309	0,004271168	0,004612042
<i>Base Isolation</i>	0	0	0

**Tabel 5.13** Simpangan Maksimum Struktur 10 Tingkat Dengan *Base Isolation* (Elastoplastis) Akibat 3 Gempa

Tingkat	Simpangan (m)		
	Elcentro	Santacruz	Koyna
10	0,000431635	0,000616036	0,000544064
9	0,001173317	0,00171493	0,001429235
8	0,001901746	0,002640378	0,00202833
7	0,002524583	0,003297059	0,002571463
6	0,00312376	0,003703115	0,003014011
5	0,003675579	0,003967824	0,00329537
4	0,003969805	0,004152178	0,003726634
3	0,003985078	0,00417888	0,00425632
2	0,004207105	0,004067629	0,004538644
<i>Base Isolation</i>	0	0	0



**Tabel 5.14** Perbandingan Simpangan Maksimum Struktur 4 Tingkat Akibat Gempa Elcentro

Tingkat	Simpangan (m)		
	Tipikal	Elastis	Elastoplastis
4	0,002696105	0,000484011	0,000473393
3	0,006556486	0,00116867	0,001123387
2	0,010094464	0,001840219	0,001590804
1	0,011622962	0	0

**Tabel 5.15** Perbandingan Simpangan Maksimum Struktur 8 Tingkat Akibat Gempa Elcentro.

Tingkat	Simpangan (m)		
	Tipikal	Elastis	Elastoplastis
8	0,00058484	0,000119676	0,000129502
7	0,001325634	0,000273965	0,000297255
6	0,002323702	0,000491516	0,00053686
5	0,002996777	0,000635471	0,000706062
4	0,004057656	0,00081078	0,000907639
3	0,005943176	0,001150806	0,001281234
2	0,007302412	0,001498509	0,001481107
1	0,008206891	0	0

**Tabel 5.16** Perbandingan Simpangan Maksimum Struktur 10 Tingkat Akibat Gempa Elcentro

Tingkat	Simpangan (m)		
	Tipikal	Elastis	Elastoplastis
10	0,001072036	0,000470955	0,000431635
9	0,002710125	0,001281775	0,001173317
8	0,004016501	0,002065731	0,001901746
7	0,004926422	0,002735906	0,002524583
6	0,00598176	0,003386716	0,00312376
5	0,006748649	0,004000332	0,003675579
4	0,00698206	0,004388418	0,003969805
3	0,007246655	0,004550337	0,003985078
2	0,007878917	0,004687309	0,004207105
1	0,008388148	0	0

**Tabel 5.17** Perbandingan Simpangan Maksimum Struktur 4Tingkat Akibat Gempa Santacruz

Tingkat	Simpangan (m)		
	Tipikal	Elastis	Elastoplastis
4	0,005297295	0,000816853	0,000643846
3	0,012337787	0,002001486	0,001594266
2	0,016984659	0,003068834	0,002522564
1	0,019103623	0	0

**Tabel 5.18** Perbandingan Simpangan Maksimum Struktur 8 Tingkat Akibat Gempa Santacruz

Tingkat	Simpangan (m)		
	Tipikal	Elastis	Elastoplastis
8	0,000962262	0,000142151	0,000128223
7	0,002232957	0,000331615	0,000297677
6	0,0041207	0,000619898	0,000550246
5	0,005525914	0,000835623	0,000731613
4	0,007233216	0,001111537	0,000950658
3	0,01036094	0,001703914	0,001368077
2	0,013210997	0,002270097	0,00179762
1	0,014771858	0	0

**Tabel 5.19** Perbandingan Simpangan Maksimum Struktur 10 Tingkat Akibat Gempa Santacruz

Tingkat	Simpangan (m)		
	Tipikal	Elastis	Elastoplastis
10	0,001649479	0,000605059	0,000616036
9	0,004222699	0,001688304	0,00171493
8	0,005839264	0,002614848	0,002640378
7	0,006725995	0,003340484	0,003297059
6	0,007664985	0,003846859	0,003703115
5	0,00852013	0,004150454	0,003967824
4	0,008478902	0,004353959	0,004152178
3	0,009027964	0,00438984	0,00417888
2	0,009690089	0,004271168	0,004067629
1	0,010211126	0	0

**Tabel 5.20** Perbandingan Simpangan Maksimum Struktur 4 Tingkat Akibat Gempa Koyna

Tingkat	Simpangan (m)		
	Tipikal	Elastis	Elastoplastis
4	0,005563748	0,000809534	0,000630384
3	0,013506152	0,00174977	0,00137297
2	0,019692233	0,002838571	0,002167177
1	0,022662824	0	0

**Tabel 5.21** Perbandingan Simpangan Maksimum Struktur 8 Tingkat Akibat Gempa Koyna

Tingkat	Simpangan (m)		
	Tipikal	Elastis	Elastoplastis
8	0,001175875	0,000136321	0,000132268
7	0,002716195	0,000308336	0,000297705
6	0,004955166	0,000543754	0,000534343
5	0,006464153	0,000707208	0,000708339
4	0,008393758	0,000923746	0,000926462
3	0,012482617	0,001598514	0,001430855
2	0,016119603	0,002100409	0,001888173
1	0,018334436	0	0

**Tabel 5.22** Perbandingan Simpangan Maksimum Struktur 10 Tingkat Akibat Gempa Koyna

Tingkat	Simpangan (m)		
	Tipikal	Elastis	Elastoplastis
10	0,002175768	0,000595407	0,000544064
9	0,005611335	0,001576846	0,001429235
8	0,007881952	0,00230378	0,00202833
7	0,00926928	0,002823399	0,002571463
6	0,009434122	0,003178416	0,003014011
5	0,008858152	0,003542586	0,00329537
4	0,009541457	0,004086575	0,003726634
3	0,010278741	0,004385747	0,00425632
2	0,012256411	0,004612042	0,004538644
1	0,012904432	0	0

**Tabel 5.23** *Interstorey Drift* Maksimum Struktur 4 Tingkat Tanpa *Base Isolation* Akibat 3 Gempa

Tingkat	<i>Interstorey Drift (%)</i>		
	Elcentro	Santacruz	Koyna
4	0,06740263	0,132432386	0,139093709
3	0,163912148	0,30844467	0,337653799
2	0,252361612	0,424616486	0,492305832
1	0,290574056	0,477590586	0,566570607

**Tabel 5.24** *Interstorey Drift* Maksimum Struktur 4 Tingkat dengan *Base Isolation* (Elastis) Akibat 3 Gempa

Tingkat	<i>Interstorey Drift (%)</i>		
	Elcentro	Santacruz	Koyna
4	0,012100276	0,020421318	0,020238345
3	0,029216739	0,050037157	0,043744259
2	0,046005469	0,076720843	0,070964282
<i>Base Isolation</i>	0	0	0

**Tabel 5.25** *Interstorey Drift* Maksimum Struktur 4 Tingkat dengan *Base Isolation* (Elastoplastis) Akibat 3 Gempa

Tingkat	<i>Interstorey Drift (%)</i>		
	Elcentro	Santacruz	Koyna
4	0,011834837	0,016096152	0,015759607
3	0,028084679	0,03985664	0,034324245
2	0,039770111	0,063064101	0,054179424
<i>Base Isolation</i>	0	0	0

**Tabel 5.26** *Interstorey Drift* Maksimum Struktur 8 Tingkat Tanpa *Base Isolation* Akibat 3 Gempa

Tingkat	<i>Interstorey Drift (%)</i>		
	Elcentro	Santacruz	Koyna
8	0,013924769	0,022911002	0,027997027
7	0,031562722	0,053165644	0,064671299
6	0,055326228	0,098111913	0,117980138
5	0,071351832	0,13156939	0,153908407
4	0,09661085	0,172219436	0,199851374
3	0,141504198	0,246689047	0,297205158
2	0,173866946	0,314547544	0,383800078
1	0,195402177	0,351710911	0,436534179

**Tabel 5.27** *Interstorey Drift* Maksimum Struktur 8 Tingkat Dengan *Base Isolation* (Elastis) Akibat 3 Gempa

Tingkat	<i>Interstorey Drift (%)</i>		
	Elcentro	Santacruz	Koyna
8	0,002849429	0,003384538	0,003245743
7	0,006522978	0,007895599	0,00734133
6	0,011702754	0,014759479	0,01294653
5	0,015130254	0,019895789	0,016838295
4	0,019304296	0,026465176	0,021993949
3	0,027400143	0,040569382	0,038059857
2	0,035678778	0,054049934	0,050009746
<i>Base Isolation</i>	0	0	0

**Tabel 5.28** *Interstorey Drift* Maksimum Struktur 8 Tingkat Dengan *Base Isolation* (Elastoplastis) Akibat 3 Gempa

Tingkat	<i>Interstorey Drift</i> (%)		
	Elcentro	Santacruz	Koyna
8	0,003083376	0,003052918	0,003149243
7	0,007077499	0,007087538	0,007088205
6	0,012782382	0,01310109	0,012722451
5	0,016810998	0,017419355	0,01686521
4	0,021610441	0,022634716	0,022058622
3	0,03050557	0,032573252	0,034067976
2	0,035264456	0,042800479	0,044956509
<i>Base Isolation</i>	0	0	0

**Tabel 5.29** *Interstorey Drift* Maksimum Struktur 10 Tingkat Tanpa *Base Isolation* Akibat 3 Gempa

Tingkat	<i>Interstorey Drift</i> (%)		
	Elcentro	Santacruz	Koyna
10	0,026800898	0,041236965	0,054394199
9	0,06775313	0,105567481	0,140283378
8	0,100412514	0,145981588	0,197048797
7	0,123160554	0,168149867	0,231731993
6	0,149543999	0,19162463	0,235853048
5	0,168716231	0,213003252	0,221453791
4	0,174551495	0,211972538	0,238536421
3	0,181166372	0,225699094	0,256968534
2	0,196972936	0,242252234	0,306410271
1	0,209703689	0,255278147	0,322610793

**Tabel 5.30** *Interstorey Drift* Maksimum Struktur 10 Tingkat Dengan *Base Isolation* (Elastis) Akibat 3 Gempa

Tingkat	<i>Interstorey Drift</i> (%)		
	Elcentro	Santacruz	Koyna
10	0,011773868	0,015126487	0,014885171
9	0,032044371	0,042207598	0,039421154
8	0,051643269	0,065371188	0,057594511
7	0,068397638	0,083512102	0,070584965
6	0,084667894	0,096171476	0,079460399
5	0,100008309	0,103761351	0,08856465
4	0,109710443	0,108848976	0,102164384
3	0,113758436	0,109746004	0,109643687
2	0,11718272	0,10677919	0,11530106
<i>Base Isolation</i>	0	0	0

**Tabel 5.31** *Interstorey Drift* Maksimum Struktur 10 Tingkat Dengan *Base Isolation* (Elastoplastis) Akibat 3 Gempa

Tingkat	<i>Interstorey Drift</i> (%)		
	Elcentro	Santacruz	Koyna
10	0,010790882	0,015400897	0,013601592
9	0,029332932	0,042873257	0,035730875
8	0,047543649	0,06600945	0,050708241
7	0,063114565	0,082426474	0,064286568
6	0,078093991	0,092577884	0,075350282
5	0,091889463	0,099195607	0,082384257
4	0,099245118	0,103804454	0,093165857
3	0,09962695	0,104471997	0,106407992
2	0,105177621	0,101690728	0,113466094
<i>Base Isolation</i>	0	0	0

**Tabel 5.32** Perbandingan *Interstorey Drift* Maksimum Struktur 4 Tingkat Akibat Gempa Elcentro

Tingkat	<i>Interstorey Drift (%)</i>		
	Tipikal	Elastis	Elastoplastis
4	0,06740263	0,012100276	0,011834837
3	0,163912148	0,029216739	0,028084679
2	0,252361612	0,046005469	0,039770111
<i>Base Isolation</i>	0,290574056	0	0

**Tabel 5.33** Perbandingan *Interstorey Drift* Maksimum Struktur 8 Tingkat Akibat Gempa Elcentro.

Tingkat	<i>Interstorey Drift (%)</i>		
	Tipikal	Elastis	Elastoplastis
8	0,013924769	0,002849429	0,003083376
7	0,031562722	0,006522978	0,007077499
6	0,055326228	0,011702754	0,012782382
5	0,071351832	0,015130254	0,016810998
4	0,09661085	0,019304296	0,021610441
3	0,141504198	0,027400143	0,03050557
2	0,173866946	0,035678778	0,035264456
<i>Base Isolation</i>	0,195402177	0	0

**Tabel 5.34** Perbandingan *Interstorey Drift* Maksimum Struktur 10 Tingkat Akibat Gempa Elcentro

Tingkat	<i>Interstorey Drift (%)</i>		
	Tipikal	Elastis	Elastoplastis
10	0,026800898	0,011773868	0,010790882
9	0,06775313	0,032044371	0,029332932
8	0,100412514	0,051643269	0,047543649
7	0,123160554	0,068397638	0,063114565
6	0,149543999	0,084667894	0,078093991
5	0,168716231	0,100008309	0,091889463
4	0,174551495	0,109710443	0,099245118
3	0,181166372	0,113758436	0,09962695
2	0,196972936	0,11718272	0,105177621
<i>Base Isolation</i>	0,209703689	0	0

**Tabel 5.35** Perbandingan *Interstorey Drift* Maksimum Struktur 4Tingkat Akibat Gempa Santacruz

Tingkat	<i>Interstorey Drift (%)</i>		
	Tipikal	Elastis	Elastoplastis
4	0,132432386	0,020421318	0,016096152
3	0,30844467	0,050037157	0,03985664
2	0,424616486	0,076720843	0,063064101
<i>Base Isolation</i>	0,477590586	0	0

**Tabel 5.36** Perbandingan *Interstorey Drift* Maksimum Struktur 8 Tingkat Akibat Gempa Santacruz

Tingkat	<i>Interstorey Drift (%)</i>		
	Tipikal	Elastis	Elastoplastis
8	0,022911002	0,003384538	0,003052918
7	0,053165644	0,007895599	0,007087538
6	0,098111913	0,014759479	0,01310109
5	0,13156939	0,019895789	0,017419355
4	0,172219436	0,026465176	0,022634716
3	0,246689047	0,040569382	0,032573252
2	0,314547544	0,054049934	0,042800479
<i>Base Isolation</i>	0,351710911	0	0

**Tabel 5.37** Perbandingan *Interstorey Drift* Maksimum Struktur 10 Tingkat Akibat Gempa Santacruz

Tingkat	<i>Interstorey Drift (%)</i>		
	Tipikal	Elastis	Elastoplastis
10	0,041236965	0,015126487	0,015400897
9	0,105567481	0,042207598	0,042873257
8	0,145981588	0,065371188	0,06600945
7	0,168149867	0,083512102	0,082426474
6	0,19162463	0,096171476	0,092577884
5	0,213003252	0,103761351	0,099195607
4	0,211972538	0,108848976	0,103804454
3	0,225699094	0,109746004	0,104471997
2	0,242252234	0,10677919	0,101690728
<i>Base Isolation</i>	0,255278147	0	0

**Tabel 5.38** Perbandingan *Interstorey Drift* Maksimum Struktur 4Tingkat Akibat Gempa Koyna

Tingkat	<i>Interstorey Drift (%)</i>		
	Tipikal	Elastis	Elastoplastis
4	0,139093709	0,020238345	0,015759607
3	0,337653799	0,043744259	0,034324245
2	0,492305832	0,070964282	0,054179424
<i>Base Isolation</i>	0,566570607	0	0

**Tabel 5.39** Perbandingan *Interstorey Drift* Maksimum Struktur 8 Tingkat Akibat Gempa Koyna

Tingkat	<i>Interstorey Drift (%)</i>		
	Tipikal	Elastis	Elastoplastis
7	0,027997027	0,003245743	0,003149243
6	0,064671299	0,00734133	0,007088205
5	0,117980138	0,01294653	0,012722451
4	0,153908407	0,016838295	0,01686521
3	0,199851374	0,021993949	0,022058622
2	0,297205158	0,038059857	0,034067976
<i>Base Isolation</i>	0,383800078	0,050009746	0,044956509
	0,436534179	0	0

**Tabel 5.40** Perbandingan *Interstorey Drift* Maksimum Struktur 10 Tingkat Akibat Gempa Koyna

Tingkat	<i>Interstorey Drift (%)</i>		
	Tipikal	Elastis	Elastoplastis
10	0,054394199	0,014885171	0,013601592
9	0,140283378	0,039421154	0,035730875
8	0,197048797	0,057594511	0,050708241
7	0,231731993	0,070584965	0,064286568
6	0,235853048	0,079460399	0,075350282
5	0,221453791	0,08856465	0,082384257
4	0,238536421	0,102164384	0,093165857
3	0,256968534	0,109643687	0,106407992
2	0,306410271	0,11530106	0,113466094
<i>Base Isolation</i>	0,322610793	0	0



**Tabel 5.41** Gaya Horizontal Maksimum Struktur 4 Tingkat Tanpa *Base Isolation* Akibat 3 Gempa

Tingkat	Gaya Horizontal (kg)		
	Elcentro	Santacruz	Koyna
4	577,9775504	1135,60771	1192,728553
3	858,8221869	1512,024443	1702,652772
2	784,9693092	1238,749813	1349,61252
1	444,733806	684,733824	719,0724723

**Tabel 5.42** Gaya Horizontal Maksimum Struktur 4 Tingkat dengan *Base Isolation* (Elastis) Akibat 3 Gempa

Tingkat	Gaya Horizontal (kg)		
	Elcentro	Santacruz	Koyna
4	103,7598679	175,1128051	173,5438086
3	156,7934612	253,9558159	232,9672697
2	155,0070471	234,4339423	268,5652088
<i>Base Isolation</i>	394,4968968	657,8812271	608,5187152

**Tabel 5.43** Gaya Horizontal Maksimum Struktur 4 Tingkat dengan *Base Isolation* (Elastoplastis) Akibat 3 Gempa

Tingkat	Gaya Horizontal (kg)		
	Elcentro	Santacruz	Koyna
4	101,4837283	138,0245066	135,1386282
3	153,462598	203,7666809	176,8084015
2	149,7759868	201,4269837	214,6105985
<i>Base Isolation</i>	341,0287042	540,7746669	464,5885627

**Tabel 5.44** Gaya Horizontal Maksimum Struktur 8 Tingkat Tanpa *Base Isolation* Akibat 3 Gempa

Tingkat	Gaya Horizontal (kg)		
	Elcentro	Santacruz	Koyna
8	227,4378961	374,2130392	457,2847811
7	288,0865687	494,1591471	599,0131091
6	407,360334	748,0792292	870,7110253
5	331,6657943	552,776937	644,950119
4	441,7888774	702,6887828	844,5942694
3	801,1421187	1479,954228	1706,336299
2	663,3078969	1287,442968	1417,795293
1	629,0476581	963,8897181	1191,161848

**Tabel 5.45** Gaya Horizontal Tingkat Maksimum Struktur 8 Dengan *Base Isolation* (Elastis) Akibat 3 Gempa

Tingkat	Gaya Horizontal (kg)		
	Elcentro	Santacruz	Koyna
8	46,540674	55,28078948	53,01380324
7	60,00129884	73,68066673	66,89459068
6	84,6030019	112,1100273	96,92789724
5	61,95849175	84,74945747	78,6984346
4	82,16504168	119,7964356	120,1142314
3	169,7248974	253,0264602	290,1948064
2	210,4466697	235,4750201	218,0221243
<i>Base Isolation</i>	582,75337	882,8155898	816,8258526

**Tabel 5.46** Gaya Horizontal Maksimum Struktur 8 Tingkat Dengan *Base Isolation* (Elastoplastis) Akibat 3 Gempa

Tingkat	Gaya Horizontal (kg)		
	Elcentro	Santacruz	Koyna
8	50,3618111	49,86433145	51,43762778
7	65,23734669	65,89879534	64,33638184
6	94,03461307	98,22134546	95,44057871
5	69,67240742	70,53165719	72,00819798
4	88,45543494	95,95618474	112,2932349
3	175,2822014	205,5970408	272,580789
2	196,2444405	195,9201185	202,564967
<i>Base Isolation</i>	575,9861211	699,0744892	734,2896492

**Tabel 5.47** Gaya Horizontal Maksimum Struktur 10 Tingkat Tanpa *Base Isolation* Akibat 3 Gempa

Tingkat	Gaya Horizontal (kg)		
	Elcentro	Santacruz	Koyna
10	322,0086069	495,4556971	653,5378073
9	518,8187204	772,9210969	1031,945058
8	449,6986543	563,774231	770,6437181
7	467,0487093	573,8210664	508,0444686
6	392,4028394	540,6375422	665,9471052
5	515,1034965	612,4001825	816,2761052
4	593,3214704	684,4501421	731,7384607
3	532,8679339	602,3439529	884,0043167
2	441,3190218	483,3832429	969,9072241
1	373,8790206	522,9071751	761,3226861

**Tabel 5.48** Gaya Horizontal Maksimum Struktur 10 Tingkat Dgn *Base Isolation* (Elastis) Akibat 3 Gempa

Tingkat	Gaya Horizontal (kg)		
	Elcentro	Santacruz	Koyna
10	141,4611823	181,7423783	178,8430041
9	251,1818987	325,3753188	294,7960071
8	241,5902	282,2703583	268,0416827
7	219,8337711	238,6281611	293,4281445
6	199,1059403	176,4625344	214,8660305
5	186,8206988	187,2008751	230,8882289
4	170,9313356	229,2354892	251,4423028
3	156,6551588	227,5260245	244,3906872
2	185,1957046	265,6521251	272,588085
<i>Base Isolation</i>	1407,932073	1282,935288	1385,32422

**Tabel 5.49** Gaya Horizontal Maksimum Struktur 10 Tingkat Dgn *Base Isolation* (Elastoplastis) Akibat 3 Gempa

Tingkat	Gaya Horizontal (kg)		
	Elcentro	Santacruz	Koyna
10	129,650762	185,0393692	163,4209979
9	230,6666461	330,0761117	265,8798847
8	224,0935063	277,9777457	258,2506524
7	203,0032074	211,9666518	289,7724129
6	203,4679771	184,8183372	209,894944
5	191,5070703	188,5582499	227,1754702
4	166,3330363	231,8071637	250,3006011
3	154,4951681	230,5991189	224,9083958
2	184,8282659	269,5577439	249,1941602
<i>Base Isolation</i>	1263,692677	1221,798206	1363,277386

**Tabel 5.50** Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat Maksimum Struktur 4 Tingkat Akibat Gempa Elcentro

Tingkat	Gaya Horizontal (kg)		
	Tipikal	Elastis	Elastoplastis
4	577,9775504	103,7598679	101,4837283
3	858,8221869	156,7934612	153,462598
2	784,9693092	155,0070471	149,7759868
<i>Base Isolation</i>	444,733806	394,4968968	341,0287042

**Tabel 5.51** Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat Maksimum Struktur 8 Tingkat Akibat Gempa Elcentro.

Tingkat	Gaya Horizontal (kg)		
	Tipikal	Elastis	Elastoplastis
8	227,4378961	46,540674	50,3618111
7	288,0865687	60,00129884	65,23734669
6	407,360334	84,6030019	94,03461307
5	331,6657943	61,95849175	69,67240742
4	441,7888774	82,16504168	88,45543494
3	801,1421187	169,7248974	175,2822014
2	663,3078969	210,4466697	196,2444405
<i>Base Isolation</i>	629,0476581	582,75337	575,9861211

**Tabel 5.52** Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat Maksimum Struktur 10 Tingkat Akibat Gempa Elcentro

Tingkat	Gaya Horizontal (kg)		
	Tipikal	Elastis	Elastoplastis
10	322,0086069	141,4611823	129,650762
9	518,8187204	251,1818987	230,6666461
8	449,6986543	241,5902	224,0935063
7	467,0487093	219,8337711	203,0032074
6	392,4028394	199,1059403	203,4679771
5	515,1034965	186,8206988	191,5070703
4	593,3214704	170,9313356	166,3330363
3	532,8679339	156,6551588	154,4951681
2	441,3190218	185,1957046	184,8282659
<i>Base Isolation</i>	373,8790206	1407,932073	1263,692677

**Tabel 5.53** Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat Maksimum Struktur 4 Tingkat Akibat Gempa Santacruz

Tingkat	Gaya Horizontal (kg)		
	Tipikal	Elastis	Elastoplastis
4	1135,60771	175,1128051	138,0245066
3	1512,024443	253,9558159	203,7666809
2	1238,749813	234,4339423	201,4269837
<i>Base Isolation</i>	684,733824	657,8812271	540,7746669

**Tabel 5.54** Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat Maksimum Struktur 8 Tingkat Akibat Gempa Santacruz

Tingkat	Gaya Horizontal (kg)		
	Tipikal	Elastis	Elastoplastis
8	374,2130392	55,28078948	49,86433145
7	494,1591471	73,68066673	65,89879534
6	748,0792292	112,1100273	98,22134546
5	552,776937	84,74945747	70,53165719
4	702,6887828	119,7964356	95,95618474
3	1479,954228	253,0264602	205,5970408
2	1287,442968	235,4750201	195,9201185
<i>Base Isolation</i>	963,8897181	882,8155898	699,0744892

**Tabel 5.55** Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat Maksimum Struktur 10 Tingkat Akibat Gempa Santacruz

Tingkat	Gaya Horizontal (kg)		
	Tipikal	Elastis	Elastoplastis
10	495,4556971	181,7423783	185,0393692
9	772,9210969	325,3753188	330,0761117
8	563,774231	282,2703583	277,9777457
7	573,8210664	238,6281611	211,9666518
6	540,6375422	176,4625344	184,8183372
5	612,4001825	187,2008751	188,5582499
4	684,4501421	229,2354892	231,8071637
3	602,3439529	227,5260245	230,5991189
2	483,3832429	265,6521251	269,5577439
<i>Base Isolation</i>	522,9071751	1282,935288	1221,798206

**Tabel 5.56** Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat Maksimum Struktur 4 Tingkat Akibat Gempa Koyna

Tingkat	Gaya Horizontal (kg)		
	Tipikal	Elastis	Elastoplastis
4	1192,728553	173,5438086	135,1386282
3	1702,652772	232,9672697	176,8084015
2	1349,61252	268,5652088	214,6105985
<i>Base Isolation</i>	719,0724723	608,5187152	464,5885627

**Tabel 5.57** Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat Maksimum Struktur 8 Tingkat Akibat Gempa Koyna

Tingkat	Gaya Horizontal (kg)		
	Tipikal	Elastis	Elastoplastis
8	457,2847811	53,01380324	51,43762778
7	599,0131091	66,89459068	64,33638184
6	870,7110253	96,92789724	95,44057871
5	644,950119	78,6984346	72,00819798
4	844,5942694	120,1142314	112,2932349
3	1706,336299	290,1948064	272,580789
2	1417,795293	218,0221243	202,564967
<i>Base Isolation</i>	1191,161848	816,8258526	734,2896492

**Tabel 5.58** Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat Maksimum Struktur 10 Tingkat Akibat Gempa Koyna

Tingkat	Gaya Horizontal (kg)		
	Tipikal	Elastis	Elastoplastis
10	653,5378073	178,8430041	163,4209979
9	1031,945058	294,7960071	265,8798847
8	770,6437181	268,0416827	258,2506524
7	508,0444686	293,4281445	289,7724129
6	665,9471052	214,8660305	209,894944
5	816,2761052	230,8882289	227,1754702
4	731,7384607	251,4423028	250,3006011
3	884,0043167	244,3906872	224,9083958
2	969,9072241	272,588085	249,1941602
<i>Base Isolation</i>	761,3226861	1385,32422	1363,277386

**Tabel 5.59** Gaya Geser Tingkat Maksimum Struktur 4 Tingkat Tanpa *Base Isolation* Akibat 3 Gempa

Tingkat	Gaya Geser (kg)		
	Elcentro	Santacruz	Koyna
4	577,9775504	1135,60771	1192,728553
3	1405,546671	2644,913044	2895,381325
2	2164,000824	3641,086368	4221,522505
1	2491,672526	4095,339273	4858,342956

**Tabel 5.60** Gaya Geser Tingkat Maksimum Struktur 4 Tingkat dengan *Base Isolation* (Elastis) Akibat 3 Gempa

Tingkat	Gaya Geser (kg)		
	Elcentro	Santacruz	Koyna
4	103,7598679	175,1128051	173,5438086
3	250,5335401	429,068621	375,1070188
2	394,4968968	657,8812271	608,5187152
<i>Base Isolation</i>	5,68434E-14	1,13687E-13	1,13687E-13

**Tabel 5.61** Gaya Geser Maksimum Struktur 4 Tingkat dengan *Base Isolation* (Elastoplastis) Akibat 3 Gempa

Tingkat	Gaya Geser (kg)		
	Elcentro	Santacruz	Koyna
4	101,4837283	138,0245066	135,1386282
3	240,8261216	341,7706898	294,3304003
2	341,0287042	540,7746669	464,5885627
<i>Base Isolation</i>	5,68434E-14	1,13687E-13	5,68434E-14

**Tabel 5.62** Gaya Geser Tingkat Maksimum Struktur 8 Tingkat Tanpa *Base Isolation* Akibat 3 Gempa

Tingkat	Gaya Geser (kg)		
	Elcentro	Santacruz	Koyna
8	227,4378961	374,2130392	457,2847811
7	515,5244647	868,3721863	1056,29789
6	903,6617289	1602,494575	1927,008915
5	1165,413248	2148,966709	2513,83731
4	1577,977224	2812,917455	3264,239107
3	2311,235232	4029,254437	4854,350915
2	2839,826784	5137,609888	6268,734612
1	3191,568894	5744,611554	7130,058263

**Tabel 5.63** Gaya Geser Tingkat Maksimum Struktur 8 Tingkat Dengan *Base Isolation* (Elastis) Akibat 3 Gempa

Tingkat	Gaya Geser (kg)		
	Elcentro	Santacruz	Koyna
8	46,540674	55,28078948	53,01380324
7	106,5419728	128,9614562	119,9083939
6	191,1449747	241,0714836	211,4599853
5	247,1274854	324,9645575	275,025484
4	315,3035005	432,2645406	359,234507
3	447,5356622	662,6332365	621,6443341
2	582,75337	882,8155898	816,8258526
<i>Base Isolation</i>	5,32907E-13	5,68434E-13	7,21201E-13

**Tabel 5.64** Gaya Geser Maksimum Struktur 8 Tingkat Dengan *Base Isolation* (Elastoplastis) Akibat 3 Gempa

Tingkat	Gaya Geser (kg)		
	Elcentro	Santacruz	Koyna
8	50,3618111	49,86433145	51,43762778
7	115,5991578	115,7631268	115,7740096
6	208,7789077	213,9844722	207,8000287
5	274,5796396	284,5161294	275,4651026
4	352,9705402	369,7003563	360,2908328
3	498,2576463	532,029783	556,4436052
2	575,9861211	699,0744892	734,2896492
<i>Base Isolation</i>	4,40536E-13	3,97904E-13	6,25278E-13

**Tabel 5.65** Gaya Geser Tingkat Maksimum Struktur 10 Tingkat Tanpa *Base Isolation* Akibat 3 Gempa

Tingkat	Gaya Geser (kg)		
	Elcentro	Santacruz	Koyna
10	322,0086069	495,4556971	653,5378073
9	814,0432756	1268,376794	1685,482865
8	1206,440668	1753,945969	2367,510506
7	1479,754808	2020,294375	2784,223689
6	1796,74778	2302,339993	2833,737523
5	2027,099149	2559,200791	2660,732694
4	2097,208936	2546,816923	2865,977821
3	2176,685652	2711,73935	3087,43679
2	2366,599043	2910,622739	3681,471529
1	2519,557059	3067,127045	3876,118275

**Tabel 5.66** Gaya Geser Maksimum Struktur 10 Tingkat Dengan *Base Isolation* (Elastis) Akibat 3 Gempa

Tingkat	Gaya Geser (kg)		
	Elcentro	Santacruz	Koyna
10	141,4611823	181,7423783	178,8430041
9	385,0081099	507,1176971	473,6390111
8	620,4858028	785,4246075	691,9890449
7	821,7869376	1003,384862	848,0673278
6	1017,271511	1155,485256	954,7042762
5	1201,584203	1246,67642	1064,090427
4	1318,153828	1307,803441	1227,489109
3	1366,789838	1318,581084	1317,351769
2	1407,932073	1282,935288	1385,32422
<i>Base Isolation</i>	2,00373E-12	2,16005E-12	3,24007E-12

**Tabel 5.67** Gaya Geser Maksimum Struktur 10 Tingkat Dengan *Base Isolation* (Elastoplastis) Akibat 3 Gempa

Tingkat	Gaya Geser (kg)		
	Elcentro	Santacruz	Koyna
10	129,650762	185,0393692	163,4209979
9	352,4305913	515,1154809	429,3008827
8	571,2295119	793,0932266	609,2515868
7	758,3116412	990,3412116	772,3930685
6	938,2870958	1112,308814	905,3218684
5	1104,037536	1191,81972	989,8339709
4	1192,41459	1247,194294	1119,373216
3	1197,002235	1255,214725	1278,475393
2	1263,692677	1221,798206	1363,277386
<i>Base Isolation</i>	2,10321E-12	2,50111E-12	1,36424E-12

**Tabel 5.68** Perbandingan Gaya Geser Tingkat Maksimum Struktur 4 Tingkat Akibat Gempa Elcentro

Tingkat	Gaya Geser (kg)		
	Tipikal	Elastis	Elastoplastis
4	577,9775504	103,7598679	101,4837283
3	1405,546671	250,5335401	240,8261216
2	2164,000824	394,4968968	341,0287042
<i>Base Isolation</i>	2491,672526	5,68434E-14	5,68434E-14

**Tabel 5.69** Perbandingan Gaya Geser Tingkat Maksimum Struktur 8 Tingkat Akibat Gempa Elcentro.

Tingkat	Gaya Geser (kg)		
	Tipikal	Elastis	Elastoplastis
8	227,4378961	46,540674	50,3618111
7	515,5244647	106,5419728	115,5991578
6	903,6617289	191,1449747	208,7789077
5	1165,413248	247,1274854	274,5796396
4	1577,977224	315,3035005	352,9705402
3	2311,235232	447,5356622	498,2576463
2	2839,826784	582,75337	575,9861211
<i>Base Isolation</i>	3191,568894	5,32907E-13	4,40536E-13

**Tabel 5.70** Perbandingan Gaya Geser Tingkat Maksimum Struktur 10 Tingkat Akibat Gempa Elcentro

Tingkat	Gaya Geser (kg)		
	Tipikal	Elastis	Elastoplastis
10	322,0086069	141,4611823	129,650762
9	814,0432756	385,0081099	352,4305913
8	1206,440668	620,4858028	571,2295119
7	1479,754808	821,7869376	758,3116412
6	1796,74778	1017,271511	938,2870958
5	2027,099149	1201,584203	1104,037536
4	2097,208936	1318,153828	1192,41459
3	2176,685652	1366,789838	1197,002235
2	2366,599043	1407,932073	1263,692677
<i>Base Isolation</i>	2519,557059	2,00373E-12	2,10321E-12



**Tabel 5.71 Perbandingan Gaya Geser Tingkat Maksimum Struktur 4 Tingkat Akibat Gempa Santacruz**

Tingkat	Gaya Geser (kg)		
	Tipikal	Elastis	Elastoplastis
4	1135,60771	175,1128051	138,0245066
3	2644,913044	429,068621	341,7706898
2	3641,086368	657,8812271	540,7746669
<i>Base Isolation</i>	4095,339273	1,13687E-13	1,13687E-13

**Tabel 5.72 Perbandingan Gaya Geser Tingkat Maksimum Struktur 8 Tingkat Akibat Gempa Santacruz**

Tingkat	Gaya Geser (kg)		
	Tipikal	Elastis	Elastoplastis
8	374,2130392	55,28078948	49,86433145
7	868,3721863	128,9614562	115,7631268
6	1602,494575	241,0714836	213,9844722
5	2148,966709	324,9645575	284,5161294
4	2812,917455	432,2645406	369,7003563
3	4029,254437	662,6332365	532,029783
2	5137,609888	882,8155898	699,0744892
<i>Base Isolation</i>	5744,611554	5,68434E-13	3,97904E-13

**Tabel 5.73 Perbandingan Gaya Geser Tingkat Maksimum Struktur 10 Tingkat Akibat Gempa Santacruz**

Tingkat	Gaya Geser (kg)		
	Tipikal	Elastis	Elastoplastis
10	495,4556971	181,7423783	185,0393692
9	1268,376794	507,1176971	515,1154809
8	1753,945969	785,4246075	793,0932266
7	2020,294375	1003,384862	990,3412116
6	2302,339993	1155,485256	1112,308814
5	2559,200791	1246,67642	1191,81972
4	2546,816923	1307,803441	1247,194294
3	2711,73935	1318,581084	1255,214725
2	2910,622739	1282,935288	1221,798206
<i>Base Isolation</i>	3067,127045	2,16005E-12	2,50111E-12

**Tabel 5.74** Perbandingan Gaya Geser Tingkat Maksimum Struktur 4 Tingkat Gempa Koyna

Tingkat	Gaya Geser (kg)		
	Tipikal	Elastis	Elastoplastis
4	1192,728553	173,5438086	135,1386282
3	2895,381325	375,1070188	294,3304003
2	4221,522505	608,5187152	464,5885627
<i>Base Isolation</i>	4858,342956	1,13687E-13	5,68434E-14

**Tabel 5.75** Perbandingan Gaya Geser Tingkat Maksimum Struktur 8 Tingkat Akibat Gempa Koyna

Tingkat	Gaya Geser (kg)		
	Tipikal	Elastis	Elastoplastis
8	457,2847811	53,01380324	51,43762778
7	1056,29789	119,9083939	115,7740096
6	1927,008915	211,4599853	207,8000287
5	2513,83731	275,025484	275,4651026
4	3264,239107	359,234507	360,2908328
3	4854,350915	621,6443341	556,4436052
2	6268,734612	816,8258526	734,2896492
<i>Base Isolation</i>	7130,058263	7,21201E-13	6,25278E-13

**Tabel 5.76** Perbandingan Gaya Geser Tingkat Maksimum Struktur 10 Tingkat Akibat Gempa Koyna

Tingkat	Gaya Geser (kg)		
	Tipikal	Elastis	Elastoplastis
10	653,5378073	178,8430041	163,4209979
9	1685,482865	473,6390111	429,3008827
8	2367,510506	691,9890449	609,2515868
7	2784,223689	848,0673278	772,3930685
6	2833,737523	954,7042762	905,3218684
5	2660,732694	1064,090427	989,8339709
4	2865,977821	1227,489109	1119,373216
3	3087,43679	1317,351769	1278,475393
2	3681,471529	1385,32422	1363,277386
<i>Base Isolation</i>	3876,118275	3,24007E-12	1,36424E-12

**Tabel 5.77** Momen Guling Maksimum Struktur 4 Tingkat Tanpa *Base Isolation* Akibat 3 Gempa

Tingkat	Momen Guling (t.m)		
	Elcentro	Santacruz	Koyna
4	0	0	0
3	231,1910202	454,2430838	477,0914212
2	780,9084624	1511,734437	1635,243951
1	1641,658607	2967,555206	3322,800913

**Tabel 5.78** Momen Guling Maksimum Struktur 4 Tingkat dengan *Base Isolation* (Elastis) Akibat 3 Gempa

Tingkat	Momen Guling (t.m)		
	Elcentro	Santacruz	Koyna
4	0	0	0
3	41,50394714	70,04512204	69,41752343
2	140,5020158	241,6725705	219,460331
<i>Base Isolation</i>	297,8840895	504,7560526	432,4092997

**Tabel 5.79** Momen Guling Maksimum Struktur 4 Tingkat dengan *Base Isolation* (Elastoplastis) Akibat 3 Gempa

Tingkat	Momen Guling (t.m)		
	Elcentro	Santacruz	Koyna
4	0	0	0
3	40,59349131	55,20980263	54,05545127
2	131,2758581	191,9098795	170,4071267
<i>Base Isolation</i>	267,6873398	408,0274537	336,7181285

**Tabel 5.80** Momen Guling Maksimum Struktur 8 Tingkat Tanpa *Base Isolation* Akibat 3 Gempa

Tingkat	Momen Guling (t.m)		
	Elcentro	Santacruz	Koyna
8	0	0	0
7	95,52391636	157,1694765	192,059608
6	312,0441915	521,8857947	635,7047219
5	691,5821177	1194,933516	1445,048466
4	1169,960131	2086,735733	2500,860136
3	1777,85521	3263,94925	3820,820884
2	2726,95962	4906,788621	5683,358548
1	3913,926607	6976,983496	8226,707033

**Tabel 5.81** Momen Guling Maksimum Struktur 8 Tingkat Dengan *Base Isolation* (Elastis) Akibat 3 Gempa

Tingkat	Momen Guling (t.m)		
	Elcentro	Santacruz	Koyna
8	0	0	0
7	19,54708308	23,21793158	22,26579736
6	64,29471167	77,38174319	72,62732281
5	144,5756011	178,6317663	160,4976163
4	248,3691449	315,1168804	273,5070268
3	378,4616917	496,6679875	416,4598271
2	561,0436791	765,408007	633,7634532
<i>Base Isolation</i>	778,7868812	1124,312996	938,2075946

**Tabel 5.82** Momen Guling Maksimum Struktur 8 Tingkat Dengan *Base Isolation* (Elastoplastis) Akibat 3 Gempa

Tingkat	Momen Guling (t.m)		
	Elcentro	Santacruz	Koyna
8	0	0	0
7	21,15196066	20,94301921	21,60380367
6	69,70360694	69,56353246	70,22888771
5	157,2827428	159,4370108	154,7667914
4	272,1499345	278,9337852	270,4621344
3	420,3975614	434,2079348	418,9602014
2	626,3006833	653,8489543	627,9732145
<i>Base Isolation</i>	868,2148542	931,3168696	888,4357057

**Tabel 5.83** Momen Guling Maksimum Struktur 10 Tingkat Tanpa *Base Isolation* Akibat 3 Gempa

Tingkat	Momen Guling (t.m)		
	Elcentro	Santacruz	Koyna
10	0	0	0
9	128,8034428	198,1822788	261,4151229
8	447,1553906	705,5329964	935,6082691
7	924,2112213	1407,111384	1878,345778
6	1476,519705	2215,229134	2982,033317
5	2106,708881	3078,653024	4108,32501
4	2819,16138	3972,107355	5122,157503
3	3580,004445	4893,749138	5970,423129
2	4398,097157	5830,317768	6690,270925
1	5226,208504	6760,015873	7320,942539

**Tabel 5.84** Momen Guling Maksimum Struktur 10 Tingkat Dengan *Base Isolation* (Elastis) Akibat 3 Gempa

Tingkat	Momen Guling (t.m)		
	Elcentro	Santacruz	Koyna
10	0	0	0
9	56,58447293	72,69695132	71,53720163
8	210,0155432	275,5440301	260,9928061
7	454,7429077	589,7138732	537,788424
6	783,1714855	987,2619527	875,86715
5	1190,08009	1446,365305	1257,74886
4	1670,710013	1945,035873	1673,114902
3	2197,971544	2464,525621	2113,767038
2	2740,222512	2987,021209	2568,942242
<i>Base Isolation</i>	3296,863221	3480,553755	3024,255637

**Tabel 5.85** Momen Guling Maksimum Struktur 10 Tingkat Dengan *Base Isolation* (Elastoplastis) Akibat 3 Gempa

Tingkat	Momen Guling (t.m)		
	Elcentro	Santacruz	Koyna
10	0	0	0
9	51,86030479	74,01574767	65,36839918
8	192,1187032	280,06194	237,0887522
7	416,9182268	597,2992307	480,7893869
6	719,5932553	993,4357153	767,7416281
5	1094,908094	1438,359241	1086,717163
4	1536,523108	1913,665357	1431,709498
3	2013,488944	2408,601824	1794,204271
2	2491,319038	2905,638715	2184,008992
<i>Base Isolation</i>	2967,70546	3384,609282	2681,191437

**Tabel 5.86** Perbandingan Momen Guling Tingkat Maksimum Struktur 4 Tingkat Akibat Gempa Elcentro

Tingkat	Momen Guling (t.m)		
	Tipikal	Elastis	Elastoplastis
4	0	0	0
3	231,1910202	41,50394714	40,59349131
2	780,9084624	140,5020158	131,2758581
<i>Base Isolation</i>	1641,658607	297,8840895	267,6873398

**Tabel 5.87** Perbandingan Momen Guling Tingkat Maksimum Struktur 8 Tingkat Akibat Gempa Elcentro.

Tingkat	Momen Guling (t.m)		
	Tipikal	Elastis	Elastoplastis
8	0	0	0
7	95,52391636	19,54708308	21,15196066
6	312,0441915	64,29471167	69,70360694
5	691,5821177	144,5756011	157,2827428
4	1169,960131	248,3691449	272,1499345
3	1777,85521	378,4616917	420,3975614
2	2726,95962	561,0436791	626,3006833
<i>Base Isolation</i>	3913,926607	778,7868812	868,2148542

**Tabel 5.88** Perbandingan Momen Guling Tingkat Maksimum Struktur 10 Tingkat Akibat Gempa Elcentro

Tingkat	Momen Guling (t.m)		
	Tipikal	Elastis	Elastoplastis
10	0	0	0
9	128,8034428	56,58447293	51,86030479
8	447,1553906	210,0155432	192,1187032
7	924,2112213	454,7429077	416,9182268
6	1476,519705	783,1714855	719,5932553
5	2106,708881	1190,08009	1094,908094
4	2819,16138	1670,710013	1536,523108
3	3580,004445	2197,971544	2013,488944
2	4398,097157	2740,222512	2491,319038
<i>Base Isolation</i>	5226,208504	3296,863221	2967,70546

**Tabel 5.89** Perbandingan Momen Guling Tingkat Maksimum Struktur 4 Tingkat Akibat Gempa Santacruz

Tingkat	Momen Guling (t.m)		
	Tipikal	Elastis	Elastoplastis
4	0	0	0
3	454,2430838	70,04512204	55,20980263
2	1511,734437	241,6725705	191,9098795
<i>Base Isolation</i>	2967,555206	504,7560526	408,0274537

**Tabel 5.90** Perbandingan Momen Guling Tingkat Maksimum Struktur 8 Tingkat Akibat Gempa Santacruz

Tingkat	Momen Guling (t.m)		
	Tipikal	Elastis	Elastoplastis
8	0	0	0
7	157,1694765	23,21793158	20,94301921
6	521,8857947	77,38174319	69,56353246
5	1194,933516	178,6317663	159,4370108
4	2086,735733	315,1168804	278,9337852
3	3263,94925	496,6679875	434,2079348
2	4906,788621	765,408007	653,8489543
<i>Base Isolation</i>	6976,983496	1124,312996	931,3168696

**Tabel 5.91** Perbandingan Momen Guling Tingkat Maksimum Struktur 10 Tingkat Akibat Gempa Santacruz

Tingkat	Momen Guling (t.m)		
	Tipikal	Elastis	Elastoplastis
10	0	0	0
9	198,1822788	72,69695132	74,01574767
8	705,5329964	275,5440301	280,06194
7	1407,111384	589,7138732	597,2992307
6	2215,229134	987,2619527	993,4357153
5	3078,653024	1446,365305	1438,359241
4	3972,107355	1945,035873	1913,665357
3	4893,749138	2464,525621	2408,601824
2	5830,317768	2987,021209	2905,638715
<i>Base Isolation</i>	6760,015873	3480,553755	3384,609282

**Tabel 5.92** Perbandingan Momen Guling Tingkat Maksimum Struktur 4Tingkat Akibat Gempa Koyna

Tingkat	Momen Guling (t.m)		
	Tipikal	Elastis	Elastoplastis
4	0	0	0
3	477,0914212	69,41752343	54,05545127
2	1635,243951	219,460331	170,4071267
<i>Base Isolation</i>	3322,800913	432,4092997	336,7181285

**Tabel 5.93** Perbandingan Momen Guling Tingkat Maksimum Struktur 8 Tingkat Akibat Gempa Koyna

Tingkat	Momen Guling (t.m)		
	Tipikal	Elastis	Elastoplastis
8	0	0	0
7	192,059608	22,26579736	21,60380367
6	635,7047219	72,62732281	70,22888771
5	1445,048466	160,4976163	154,7667914
4	2500,860136	273,5070268	270,4621344
3	3820,820884	416,4598271	418,9602014
2	5683,358548	633,7634532	627,9732145
<i>Base Isolation</i>	8226,707033	938,2075946	888,4357057

**Tabel 5.94** Perbandingan Momen Guling Tingkat Maksimum Struktur 10 Tingkat Akibat Gempa Koyna

Tingkat	Momen Guling (t.m)		
	Tipikal	Elastis	Elastoplastis
10	0	0	0
9	261,4151229	71,53720163	65,36839918
8	935,6082691	260,9928061	237,0887522
7	1878,345778	537,788424	480,7893869
6	2982,033317	875,86715	767,7416281
5	4108,32501	1257,74886	1086,717163
4	5122,157503	1673,114902	1431,709498
3	5970,423129	2113,767038	1794,204271
2	6690,270925	2568,942242	2184,008992
<i>Base Isolation</i>	7320,942539	3024,255637	2681,191437

**Tabel 5.95** Perbandingan Simpangan Relatif Maksimum Struktur 4 Tingkat Akibat gempa Elcentro

Tingkat	Simpangan Relatif			Ratio = $\frac{A}{NB}$	Ratio = $\frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (elastoplastis)A	Dengan base isolation (elastis)B	Tanpa base isolation (NB)		
4	0,000473393	0,000484011	0,002696105	0,175584204	0,179522315
3	0,001123387	0,00116867	0,006556486	0,171339826	0,178246333
2	0,001590804	0,001840219	0,010094464	0,157591763	0,18229979
1	0	0	0,011622962	0	0

**Tabel 5.96** Perbandingan Simpangan Relatif Maksimum Struktur 8 Tingkat Akibat gempa Elcentro

Tingkat	Simpangan Relatif			Ratio = $\frac{A}{NB}$	Ratio = $\frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (elastoplastis)A	Dengan base isolation (elastis)B	Tanpa base isolation (NB)		
8	0,000129502	0,000119676	0,00058484	0,221431045	0,204630252
7	0,000297255	0,000273965	0,001325634	0,224236027	0,206667152
6	0,00053686	0,000491516	0,002323702	0,231036572	0,211522707
5	0,000706062	0,000635471	0,002996777	0,235607103	0,212051378
4	0,000907639	0,00081078	0,004057656	0,223685447	0,199814988
3	0,001281234	0,001150806	0,005943176	0,215580673	0,193634839
2	0,001481107	0,001498509	0,007302412	0,202824385	0,205207364
1	0	0	0,008206891	0	0

**Tabel 5.97** Perbandingan Simpangan Relatif Maksimum Struktur 10 Tingkat Akibat gempa Elcentro

Tingkat	Simpangan Relatif			Ratio = $\frac{A}{NB}$	Ratio = $\frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (elastoplastis)A	Dengan base isolation (elastis)B	Tanpa base isolation (NB)		
10	0,000431635	0,000470955	0,001072036	0,402631356	0,439308699
9	0,001173317	0,001281775	0,002710125	0,432938398	0,472957792
8	0,001901746	0,002065731	0,004016501	0,473483303	0,51431108
7	0,002524583	0,002735906	0,004926422	0,51245763	0,55535345
6	0,00312376	0,003386716	0,00598176	0,522214139	0,566173796
5	0,003675579	0,004000332	0,006748649	0,544639139	0,59276045
4	0,003969805	0,004388418	0,00698206	0,568572148	0,628527661
3	0,003985078	0,004550337	0,007246655	0,54991966	0,627922473
2	0,004207105	0,004687309	0,007878917	0,533969909	0,594917875
1	0	0	0,008388148	0	0



**Tabel 5.98** Perbandingan Simpangan Relatif Maksimum Struktur 4 Tingkat Akibat gempa Santacruz

Tingkat	Simpangan Relatif			Ratio = $\frac{A}{NB}$	Ratio = $\frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (elastoplastis)A	Dengan base isolation (elastis)B	Tanpa base isolation (NB)		
4	0,000643846	0,000816853	0,005297295	0,121542418	0,154201846
3	0,001594266	0,002001486	0,012337787	0,129218119	0,162224094
2	0,002522564	0,003068834	0,016984659	0,148520143	0,180682676
1	0	0	0,019103623	0	0

**Tabel 5.99** Perbandingan Simpangan Relatif Maksimum Struktur 8 Tingkat Akibat gempa Santacruz

Tingkat	Simpangan Relatif			Ratio = $\frac{A}{NB}$	Ratio = $\frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (elastoplastis)A	Dengan base isolation (elastis)B	Tanpa base isolation (NB)		
8	0,000128223	0,000142151	0,000962262	0,133251186	0,14772545
7	0,000297677	0,000331615	0,002232957	0,133310496	0,148509427
6	0,000550246	0,000619898	0,0041207	0,133532104	0,150435132
5	0,000731613	0,000835623	0,005525914	0,132396713	0,151218982
4	0,000950658	0,001111537	0,007233216	0,131429508	0,15367125
3	0,001368077	0,001703914	0,01036094	0,132041744	0,164455546
2	0,00179762	0,002270097	0,013210997	0,136069983	0,171833909
1	0	0	0,014771858	0	0

**Tabel 5.100** Perbandingan Simpangan Relatif Maksimum Struktur 10 Tingkat Akibat gempa Santacruz

Tingkat	Simpangan Relatif			Ratio = $\frac{A}{NB}$	Ratio = $\frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (elastoplastis)A	Dengan base isolation (elastis)B	Tanpa base isolation (NB)		
10	0,000616036	0,000605059	0,001649479	0,373473088	0,366818627
9	0,00171493	0,001688304	0,004222699	0,406121811	0,399816284
8	0,002640378	0,002614848	0,005839264	0,452176544	0,447804335
7	0,003297059	0,003340484	0,006725995	0,49019649	0,496652802
6	0,003703115	0,003846859	0,007664985	0,483121006	0,501874293
5	0,003967824	0,004150454	0,00852013	0,465699965	0,487135056
4	0,004152178	0,004353959	0,008478902	0,489707086	0,513505085
3	0,00417888	0,00438984	0,009027964	0,462881775	0,486249198
2	0,004067629	0,004271168	0,009690089	0,419772095	0,440776907
1	0	0	0,010211126	0	0

**Tabel 5.101** Perbandingan Simpangan Relatif Maksimum Struktur 4 Tingkat Akibat gempa Koyna

Tingkat	Simpangan Relatif			Ratio = $\frac{A}{NB}$	Ratio = $\frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (elastoplastis) A	Dengan base isolation (elastis) B	Tanpa base isolation (NB)		
4	0,000630384	0,000809534	0,005563748	0,113302082	0,145501513
3	0,00137297	0,00174977	0,013506152	0,101655142	0,129553581
2	0,002167177	0,002838571	0,019692233	0,110052371	0,144146742
1	0	0	0,022662824	0	0

**Tabel 5.102** Perbandingan Simpangan Relatif Maksimum Struktur 8 Tingkat Akibat gempa Koyna

Tingkat	Simpangan Relatif			Ratio = $\frac{A}{NB}$	Ratio = $\frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (elastoplastis) A	Dengan base isolation (elastis) B	Tanpa base isolation (NB)		
8	0,000132268	0,000136321	0,001175875	0,112484889	0,115931703
7	0,000297705	0,000308336	0,002716195	0,10960356	0,113517593
6	0,000534343	0,000543754	0,004955166	0,107835531	0,109734825
5	0,000708339	0,000707208	0,006464153	0,109579527	0,109404647
4	0,000926462	0,000923746	0,008393758	0,110375135	0,11005153
3	0,001430855	0,001598514	0,012482617	0,114627808	0,128059208
2	0,001888173	0,002100409	0,016119603	0,117135227	0,130301553
1	0	0	0,018334436	0	0

**Tabel 5.103** Perbandingan Simpangan Relatif Maksimum Struktur 10 Tingkat Akibat gempa Koyna

Tingkat	Simpangan Relatif			Ratio = $\frac{A}{NB}$	Ratio = $\frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (elastoplastis) A	Dengan base isolation (elastis) B	Tanpa base isolation (NB)		
10	0,000544064	0,000595407	0,002175768	0,25005592	0,273653646
9	0,001429235	0,001576846	0,005611335	0,254704982	0,281010873
8	0,00202833	0,00230378	0,007881952	0,257338493	0,292285522
7	0,002571463	0,002823399	0,00926928	0,277417749	0,304597411
6	0,003014011	0,003178416	0,009434122	0,31947979	0,336906389
5	0,00329537	0,003542586	0,008858152	0,372015563	0,399923837
4	0,003726634	0,004086575	0,009541457	0,390572881	0,428296793
3	0,00425632	0,004385747	0,010278741	0,414089576	0,426681373
2	0,004538644	0,004612042	0,012256411	0,370307736	0,376296329
1	0	0	0,012904432	0	0

**Tabel 5.104** Perbandingan Simpangan Antar Tingkat Maksimum Struktur 4 Tingkat Akibat gempa Elcentro

Tingkat	Interstorey Drift			Ratio = $\frac{A}{NB}$	Ratio = $\frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (elastoplastis)A	Dengan base isolation (elastis)B	Tanpa base isolation (NB)		
4	0,011834837	0,012100276	0,06740263	0,175584204	0,179522315
3	0,028084679	0,029216739	0,163912148	0,171339826	0,178246333
2	0,039770111	0,046005469	0,252361612	0,157591763	0,18229979
1	0	0	0,290574056	0	0

**Tabel 5.105** Perbandingan Simpangan Antar Tingkat Maksimum Struktur 8 Tingkat Akibat gempa Elcentro

Tingkat	Interstorey Drift			Ratio = $\frac{A}{NB}$	Ratio = $\frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (elastoplastis)A	Dengan base isolation (elastis)B	Tanpa base isolation (NB)		
8	0,003083376	0,002849429	0,013924769	0,221431045	0,204630252
7	0,007077499	0,006522978	0,031562722	0,224236027	0,206667152
6	0,012782382	0,011702754	0,055326228	0,231036572	0,211522707
5	0,016810998	0,015130254	0,071351832	0,235607103	0,212051378
4	0,021610441	0,019304296	0,09661085	0,223685447	0,199814988
3	0,03050557	0,027400143	0,141504198	0,215580673	0,193634839
2	0,035264456	0,035678778	0,173866946	0,202824385	0,205207364
1	0	0	0,195402177	0	0

**Tabel 5.106** Perbandingan Simpangan Antar Tingkat Maksimum Struktur 10 Tingkat Akibat gempa Elcentro

Tingkat	Interstorey Drift			Ratio = $\frac{A}{NB}$	Ratio = $\frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (elastoplastis)A	Dengan base isolation (elastis)B	Tanpa base isolation (NB)		
10	0,010790882	0,011773868	0,026800898	0,402631356	0,439308699
9	0,029332932	0,032044371	0,06775313	0,432938398	0,472957792
8	0,047543649	0,051643269	0,100412514	0,473483303	0,51431108
7	0,063114565	0,068397638	0,123160554	0,51245763	0,55535345
6	0,078093991	0,084667894	0,149543999	0,522214139	0,566173796
5	0,091889463	0,100008309	0,168716231	0,544639139	0,59276045
4	0,099245118	0,109710443	0,174551495	0,568572148	0,628527661
3	0,09962695	0,113758436	0,181166372	0,54991966	0,627922473
2	0,105177621	0,11718272	0,196972936	0,533969909	0,594917875
1	0	0	0,209703689	0	0

**Tabel 5.107** Perbandingan Simpangan Antar Tingkat Maksimum Struktur 4 Tingkat Akibat gempa Santacruz

Tingkat	Interstorey Drift			Ratio = $\frac{A}{NB}$	Ratio = $\frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (elastoplastis)A	Dengan base isolation (elastis)B	Tanpa base isolation (NB)		
4	0,016096152	0,020421318	0,132432386	0,121542418	0,154201846
3	0,03985664	0,050037157	0,30844467	0,129218119	0,162224094
2	0,063064101	0,076720843	0,424616486	0,148520143	0,180682676
1	0	0	0,477590586	0	0

**Tabel 5.108** Perbandingan Simpangan Antar Tingkat Maksimum Struktur 8 Tingkat Akibat gempa Santacruz

Tingkat	Interstorey Drift			Ratio = $\frac{A}{NB}$	Ratio = $\frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (elastoplastis)A	Dengan base isolation (elastis)B	Tanpa base isolation (NB)		
8	0,003052918	0,003384538	0,022911002	0,133251186	0,14772545
7	0,007087538	0,007895599	0,053165644	0,133310496	0,148509427
6	0,01310109	0,014759479	0,098111913	0,133532104	0,150435132
5	0,017419355	0,019895789	0,13156939	0,132396713	0,151218982
4	0,022634716	0,026465176	0,172219436	0,131429508	0,15367125
3	0,032573252	0,040569382	0,246689047	0,132041744	0,164455546
2	0,042800479	0,054049934	0,314547544	0,136069983	0,171833909
1	0	0	0,351710911	0	0

**Tabel 5.109** Perbandingan Simpangan Antar Tingkat Maksimum Struktur 10 Tingkat Akibat gempa Santacruz

Tingkat	Interstorey Drift			Ratio = $\frac{A}{NB}$	Ratio = $\frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (elastoplastis)A	Dengan base isolation (elastis)B	Tanpa base isolation (NB)		
10	0,015400897	0,015126487	0,041236965	0,373473088	0,366818627
9	0,042873257	0,042207598	0,105567481	0,406121811	0,399816284
8	0,06600945	0,065371188	0,145981588	0,452176544	0,447804335
7	0,082426474	0,083512102	0,168149867	0,49019649	0,496652802
6	0,092577884	0,096171476	0,19162463	0,483121006	0,501874293
5	0,099195607	0,103761351	0,213003252	0,465699965	0,487135056
4	0,103804454	0,108848976	0,211972538	0,489707086	0,513505085
3	0,104471997	0,109746004	0,225699094	0,462881775	0,486249198
2	0,101690728	0,10677919	0,242252234	0,419772095	0,440776907
1	0	0	0,255278147	0	0

**Tabel 5.110** Perbandingan Simpangan Antar Tingkat Maksimum Struktur 4 Tingkat Akibat gempa Koyna

Tingkat	Interstorey Drift			Ratio = $\frac{A}{NB}$	Ratio = $\frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (elastoplastis) A	Dengan base isolation (elastis) B	Tanpa base isolation (NB)		
4	0,015759607	0,020238345	0,139093709	0,113302082	0,145501513
3	0,034324245	0,043744259	0,337653799	0,101655142	0,129553581
2	0,054179424	0,070964282	0,492305832	0,110052371	0,144146742
1	0	0	0,566570607	0	0

**Tabel 5.111** Perbandingan Simpangan Antar Tingkat Maksimum Struktur 8 Tingkat Akibat gempa Koyna

Tingkat	Interstorey Drift			Ratio = $\frac{A}{NB}$	Ratio = $\frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (elastoplastis) A	Dengan base isolation (elastis) B	Tanpa base isolation (NB)		
8	0,003149243	0,003245743	0,027997027	0,112484889	0,115931703
7	0,007088205	0,00734133	0,064671299	0,10960356	0,113517593
6	0,012722451	0,01294653	0,117980138	0,107835531	0,109734825
5	0,01686521	0,016838295	0,153908407	0,109579527	0,109404647
4	0,022058622	0,021993949	0,199851374	0,110375135	0,11005153
3	0,034067976	0,038059857	0,297205158	0,114627808	0,128059208
2	0,044956509	0,050009746	0,383800078	0,117135227	0,130301553
1	0	0	0,436534179	0	0

**Tabel 5.112** Perbandingan Simpangan Antar Tingkat Maksimum Struktur 10 Tingkat Akibat gempa Koyna

Tingkat	Interstorey Drift			Ratio = $\frac{A}{NB}$	Ratio = $\frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (elastoplastis) A	Dengan base isolation (elastis) B	Tanpa base isolation (NB)		
10	0,013601592	0,014885171	0,054394199	0,25005592	0,273653646
9	0,035730875	0,039421154	0,140283378	0,254704982	0,281010873
8	0,050708241	0,057594511	0,197048797	0,257338493	0,292285522
7	0,064286568	0,070584965	0,231731993	0,277417749	0,304597411
6	0,075350282	0,079460399	0,235853048	0,31947979	0,336906389
5	0,082384257	0,08856465	0,221453791	0,372015563	0,399923837
4	0,093165857	0,102164384	0,238536421	0,390572881	0,428296793
3	0,106407992	0,109643687	0,256968534	0,414089576	0,426681373
2	0,113466094	0,11530106	0,306410271	0,370307736	0,376296329
1	0	0	0,322610793	0	0

**Tabel 5.113** Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat Maksimum Struktur 4 Tingkat Akibat gempa Elcentro

Tingkat	Gaya Horizontal			Ratio = $\frac{A}{NB}$	Ratio = $\frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (elastoplastis)A	Dengan base isolation (elastis)B	Tanpa base isolation (NB)		
4	101,4837283	103,7598679	577,9775504	0,175584204	0,179522315
3	153,462598	156,7934612	858,8221869	0,178689606	0,182568014
2	149,7759868	155,0070471	784,9693092	0,190804895	0,197468927
1	341,0287042	394,4968968	444,733806	0,766815339	0,887040498

**Tabel 5.114** Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat Maksimum Struktur 8 Tingkat Akibat gempa Elcentro

Tingkat	Gaya Horizontal			Ratio = $\frac{A}{NB}$	Ratio = $\frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (elastoplastis)A	Dengan base isolation (elastis)B	Tanpa base isolation (NB)		
8	50,3618111	46,540674	227,4378961	0,221431045	0,204630252
7	65,23734669	60,00129884	288,0865687	0,226450497	0,208275239
6	94,03461307	84,6030019	407,360334	0,230838904	0,207685911
5	69,67240742	61,95849175	331,6657943	0,210068113	0,186810014
4	88,45543494	82,16504168	441,7888774	0,200221055	0,185982595
3	175,2822014	169,7248974	801,1421187	0,218790396	0,211853669
2	196,2444405	210,4466697	663,3078969	0,295857235	0,317268452
1	575,9861211	582,75337	629,0476581	0,915647827	0,926405754

**Tabel 5.115** Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat Maksimum Struktur 10 Tingkat Akibat gempa Elcentro

Tingkat	Gaya Horizontal			Ratio = $\frac{A}{NB}$	Ratio = $\frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (elastoplastis)A	Dengan base isolation (elastis)B	Tanpa base isolation (NB)		
10	129,650762	141,4611823	322,0086069	0,402631356	0,439308699
9	230,6666461	251,1818987	518,8187204	0,444599697	0,484141934
8	224,0935063	241,5902	449,6986543	0,498319273	0,537226869
7	203,0032074	219,8337711	467,0487093	0,43465104	0,470687033
6	203,4679771	199,1059403	392,4028394	0,518518106	0,507401885
5	191,5070703	186,8206988	515,1034965	0,371783674	0,362685752
4	166,3330363	170,9313356	593,3214704	0,280342183	0,288092281
3	154,4951681	156,6551588	532,8679339	0,289931441	0,293984961
2	184,8282659	185,1957046	441,3190218	0,418808745	0,419641338
1	1263,692677	1407,932073	373,8790206	3,379950752	3,76574238

**Tabel 5.116** Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat Maksimum Struktur 4 Tingkat Akibat gempa Santacruz

Tingkat	Gaya Horizontal			Ratio = $\frac{A}{NB}$	Ratio = $\frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (elastoplastis)A	Dengan base isolation (elastis)B	Tanpa base isolation (NB)		
4	138,0245066	175,1128051	1135,60771	0,121542418	0,154201846
3	203,7666809	253,9558159	1512,024443	0,134764145	0,167957481
2	201,4269837	234,4339423	1238,749813	0,162605057	0,189250436
1	540,7746669	657,8812271	684,733824	0,789758952	0,96078389

**Tabel 5.117** Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat Maksimum Struktur 8 Tingkat Akibat gempa Santacruz

Tingkat	Gaya Horizontal			Ratio = $\frac{A}{NB}$	Ratio = $\frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (elastoplastis)A	Dengan base isolation (elastis)B	Tanpa base isolation (NB)		
8	49,86433145	55,28078948	374,2130392	0,133251186	0,14772545
7	65,89879534	73,68066673	494,1591471	0,133355409	0,149103112
6	98,22134546	112,1100273	748,0722292	0,131298052	0,149863842
5	70,53165719	84,74945747	552,776937	0,127595152	0,153315835
4	95,95618474	119,7964356	702,6887828	0,136555737	0,17048292
3	205,5970408	253,0264602	1479,954228	0,138921216	0,170969112
2	195,9201185	235,4750201	1287,442968	0,152177707	0,182901321
1	699,0744892	882,8155898	963,8897181	0,725263976	0,915888585

**Tabel 5.118** Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat Maksimum Struktur 10 Tingkat Akibat gempa Santacruz

Tingkat	Gaya Horizontal			Ratio = $\frac{A}{NB}$	Ratio = $\frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (elastoplastis)A	Dengan base isolation (elastis)B	Tanpa base isolation (NB)		
10	185,0393692	181,7423783	495,4556971	0,373473088	0,366818627
9	330,0761117	325,3753188	772,9210969	0,427050204	0,42096835
8	277,9777457	282,2703583	563,774231	0,493065717	0,500679781
7	211,9666518	238,6281611	573,8210664	0,369395033	0,41585814
6	184,8183372	176,4625344	540,6375422	0,341852577	0,326397116
5	188,5582499	187,2008751	612,4001825	0,307900382	0,305683898
4	231,8071637	229,2354892	684,4501421	0,338676478	0,334919193
3	230,5991189	227,5260245	602,3439529	0,382836281	0,377734388
2	269,5577439	265,6521251	483,3832429	0,557648094	0,549568337
1	1221,798206	1282,935288	522,9071751	2,33654894	2,453466597

**Tabel 5.119** Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat Maksimum Struktur 4 Tingkat Akibat gempa Koyna

Tingkat	Gaya Horizontal			Ratio = $\frac{A}{NB}$	Ratio = $\frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (elastoplastis) A	Dengan base isolation (elastis) B	Tanpa base isolation (NB)		
4	135,1386282	173,5438086	1192,728553	0,113302082	0,145501513
3	176,8084015	232,9672697	1702,652772	0,1038429	0,13682606
2	214,6105985	268,5652088	1349,61252	0,159016455	0,198994308
1	464,5885627	608,5187152	719,0724723	0,646094213	0,846255056

**Tabel 5.120** Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat Maksimum Struktur 8 Tingkat Akibat gempa Koyna

Tingkat	Gaya Horizontal			Ratio = $\frac{A}{NB}$	Ratio = $\frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (elastoplastis) A	Dengan base isolation (elastis) B	Tanpa base isolation (NB)		
8	51,43762778	53,01380324	457,2847811	0,112484889	0,115931703
7	64,33638184	66,89459068	599,0131091	0,107403963	0,111674669
6	95,44057871	96,92789724	870,7110253	0,109612232	0,111320397
5	72,00819798	78,6984346	644,950119	0,111649251	0,122022513
4	112,2932349	120,1142314	844,5942694	0,132955241	0,142215305
3	272,580789	290,1948064	1706,336299	0,159746229	0,17006894
2	202,564967	218,0221243	1417,795293	0,142873212	0,153775461
1	734,2896492	816,8258526	1191,161848	0,61644826	0,685738763

**Tabel 5.121** Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat Maksimum Struktur 10 Tingkat Akibat gempa Koyna

Tingkat	Gaya Horizontal			Ratio = $\frac{A}{NB}$	Ratio = $\frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (elastoplastis) A	Dengan base isolation (elastis) B	Tanpa base isolation (NB)		
10	163,4209979	178,8430041	653,5378073	0,25005592	0,273653646
9	265,8798847	294,7960071	1031,945058	0,257649264	0,285670254
8	258,2506524	268,0416827	770,6437181	0,335110306	0,347815309
7	289,7724129	293,4281445	508,0444686	0,570368208	0,5775639
6	209,894944	214,8660305	665,9471052	0,315182606	0,322647293
5	227,1754702	230,8882289	816,2761052	0,278307142	0,282855553
4	250,3006011	251,4423028	731,7384607	0,342062929	0,343623188
3	224,9083958	244,3906872	884,0043167	0,25442002	0,276458703
2	249,1941602	272,588085	969,9072241	0,25692577	0,281045525
1	1363,277386	1385,32422	761,3226861	1,790669594	1,819628188



**Tabel 5.122** Perbandingan Gaya Geser Tingkat Maksimum Struktur 4 Tingkat Akibat gempa Elcentro

Tingkat	Gaya Geser			Ratio = $\frac{A}{NB}$	Ratio = $\frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (elastoplastis) A	Dengan base isolation (elastis) B	Tanpa base isolation (NB)		
4	101,4837283	103,7598679	577,9775504	0,175584204	0,179522315
3	240,8261216	250,5335401	1405,546671	0,171339826	0,178246333
2	341,0287042	394,4968968	2164,000824	0,157591763	0,18229979
1	5,68434E-14	5,68434E-14	2491,672526	2,28134E-17	2,28134E-17

**Tabel 5.123** Perbandingan Gaya Geser Tingkat Maksimum Struktur 8 Tingkat Akibat gempa Elcentro

Tingkat	Gaya Geser			Ratio = $\frac{A}{NB}$	Ratio = $\frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (elastoplastis) A	Dengan base isolation (elastis) B	Tanpa base isolation (NB)		
8	50,3618111	46,540674	227,4378961	0,221431045	0,204630252
7	115,5991578	106,5419728	515,5244647	0,224236027	0,206667152
6	208,7789077	191,1449747	903,6617289	0,231036572	0,211522707
5	274,5796396	247,1274854	1165,413248	0,235607103	0,212051378
4	352,9705402	315,3035005	1577,977224	0,223685447	0,199814988
3	498,2576463	447,5356622	2311,235232	0,215580673	0,193634839
2	575,9861211	582,75337	2839,826784	0,202824385	0,205207364
1	4,40536E-13	5,32907E-13	3191,568894	1,38031E-16	1,66973E-16

**Tabel 5.124** Perbandingan Gaya Geser Tingkat Maksimum Struktur 10 Tingkat Akibat gempa Elcentro

Tingkat	Gaya Geser			Ratio = $\frac{A}{NB}$	Ratio = $\frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (elastoplastis) A	Dengan base isolation (elastis) B	Tanpa base isolation (NB)		
10	129,650762	141,4611823	322,0086069	0,402631356	0,439308699
9	352,4305913	385,0081099	814,0432756	0,432938398	0,472957792
8	571,2295119	620,4858028	1206,440668	0,473483303	0,51431108
7	758,3116412	821,7869376	1479,754808	0,51245763	0,55535345
6	938,2870958	1017,271511	1796,74778	0,522214139	0,566173796
5	1104,037536	1201,584203	2027,099149	0,544639139	0,59276045
4	1192,41459	1318,153828	2097,208936	0,568572148	0,628527661
3	1197,002235	1366,789838	2176,685652	0,54991966	0,627922473
2	1263,692677	1407,932073	2366,599043	0,533969909	0,594917875
1	2,10321E-12	2,00373E-12	2519,557059	8,34752E-16	7,95271E-16

**Tabel 5.125** Perbandingan Gaya Geser Tingkat Maksimum Struktur 4 Tingkat Akibat gempa Santacruz

Tingkat	Gaya Geser			Ratio = $\frac{A}{NB}$	Ratio = $\frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (elastoplastis) A	Dengan base isolation (elastis) B	Tanpa base isolation (NB)		
4	138,0245066	175,1128051	1135,60771	0,121542418	0,154201846
3	341,7706898	429,068621	2644,913044	0,129218119	0,162224094
2	540,7746669	657,8812271	3641,086368	0,148520143	0,180682676
1	1,13687E-13	1,13687E-13	4095,339273	2,77601E-17	2,77601E-17

**Tabel 5.126** Perbandingan Gaya Geser Tingkat Maksimum Struktur 8 Tingkat Akibat gempa Santacruz

Tingkat	Gaya Geser			Ratio = $\frac{A}{NB}$	Ratio = $\frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation	Dengan base isolation (elastis)B	Tanpa base isolation (NB)		
8	49,86433145	55,28078948	374,2130392	0,133251186	0,14772545
7	115,7631268	128,9614562	868,3721863	0,133310496	0,148509427
6	213,9844722	241,0714836	1602,494575	0,133532104	0,150435132
5	284,5161294	324,9645575	2148,966709	0,132396713	0,151218982
4	369,7003563	432,2645406	2812,917455	0,131429508	0,15367125
3	532,029783	662,6332365	4029,254437	0,132041744	0,164455546
2	699,0744892	882,8155898	5137,609888	0,136069983	0,171833909
1	3,97904E-13	5,68434E-13	5744,611554	6,92656E-17	9,89508E-17

**Tabel 5.127** Perbandingan Gaya Geser Tingkat Maksimum Struktur 10 Tingkat Akibat gempa Santacruz

Tingkat	Gaya Geser			Ratio = $\frac{A}{NB}$	Ratio = $\frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation	Dengan base isolation (elastis)B	Tanpa base isolation (NB)		
10	185,0393692	181,7423783	495,4556971	0,373473088	0,366818627
9	515,1154809	507,1176971	1268,376794	0,406121811	0,399816284
8	793,0932266	785,4246075	1753,945969	0,452176544	0,447804335
7	990,3412116	1003,384862	2020,294375	0,49019649	0,496652802
6	1112,308814	1155,485256	2302,339993	0,483121006	0,501874293
5	1191,81972	1246,67642	2559,200791	0,465699965	0,487135056
4	1247,194294	1307,803441	2546,816923	0,489707086	0,513505085
3	1255,214725	1318,581084	2711,73935	0,462881775	0,486249198
2	1221,798206	1282,935288	2910,622739	0,419772095	0,440776907
1	2,50111E-12	2,16005E-12	3067,127045	8,15457E-16	7,04258E-16

**Tabel 5.128** Perbandingan Gaya Geser Tingkat Maksimum Struktur 4 Tingkat Akibat gempa Koyna

Tingkat	Gaya Geser			Ratio = $\frac{A}{NB}$	Ratio = $\frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (elastoplastis) A	Dengan base isolation (elastis) B	Tanpa base isolation (NB)		
4	135,1386282	173,5438086	1192,728553	0,113302082	0,145501513
3	294,3304003	375,1070188	2895,381325	0,101655142	0,129553581
2	464,5885627	608,5187152	4221,522505	0,110052371	0,144146742
1	5,68434E-14	1,13687E-13	4858,342956	1,17002E-17	2,34003E-17

**Tabel 5.129** Perbandingan Gaya Geser Tingkat Maksimum Struktur 8 Tingkat Akibat gempa Koyna

Tingkat	Gaya Geser			Ratio = $\frac{A}{NB}$	Ratio = $\frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (elastoplastis) A	Dengan base isolation (elastis) B	Tanpa base isolation (NB)		
8	51,43762778	53,01380324	457,2847811	0,112484889	0,115931703
7	115,7740096	119,9083939	1056,29789	0,10960356	0,113517593
6	207,8000287	211,4599853	1927,008915	0,107835531	0,109734825
5	275,4651026	275,025484	2513,83731	0,109579527	0,109404647
4	360,2908328	359,234507	3264,239107	0,110375135	0,11005153
3	556,4436052	621,6443341	4854,350915	0,114627808	0,128059208
2	734,2896492	816,8258526	6268,734612	0,117135227	0,130301553
1	6,25278E-13	7,21201E-13	7130,058263	8,7696E-17	1,01149E-16

**Tabel 5.130** Perbandingan Gaya Geser Tingkat Maksimum Struktur 10 Tingkat Akibat gempa Koyna

Tingkat	Gaya Geser			Ratio = $\frac{A}{NB}$	Ratio = $\frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (elastoplastis) A	Dengan base isolation (elastis) B	Tanpa base isolation (NB)		
10	163,4209979	178,8430041	653,5378073	0,25005592	0,273653646
9	429,3008827	473,6390111	1685,482865	0,254704982	0,281010873
8	609,2515868	691,9890449	2367,510506	0,257338493	0,292285522
7	772,3930685	848,0673278	2784,223689	0,277417749	0,304597411
6	905,3218684	954,7042762	2833,737523	0,31947979	0,336906389
5	989,8339709	1064,090427	2660,732694	0,372015563	0,399923837
4	1119,373216	1227,489109	2865,977821	0,390572881	0,428296793
3	1278,475393	1317,351769	3087,43679	0,414089576	0,426681373
2	1363,277386	1385,32422	3681,471529	0,370307736	0,376296329
1	1,36424E-12	3,24007E-12	3876,118275	3,51961E-16	8,35907E-16

**Tabel 5.131** Perbandingan Momen Guling Tingkat Maksimum Struktur 4 Tingkat Akibat gempa Elcentro

Tingkat	Momen Guling			Ratio = $\frac{A}{NB}$	Ratio = $\frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (elastoplastis) A	Dengan base isolation (elastis) B	Tanpa base isolation (NB)		
4	0	0	0	0	0
3	40,59349131	41,50394714	231,1910202	0,175584204	0,179522315
2	131,2758581	140,5020158	780,9084624	0,168106589	0,179921236
1	267,6873398	297,8840895	1641,658607	0,163059079	0,181453128

**Tabel 5.132** Perbandingan Momen Guling Tingkat Maksimum Struktur 8 Tingkat Akibat gempa Elcentro

Tingkat	Momen Guling			Ratio = $\frac{A}{NB}$	Ratio = $\frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (elastoplastis) A	Dengan base isolation (elastis) B	Tanpa base isolation (NB)		
8	0	0	0	0	0
7	21,15196066	19,54708308	95,52391636	0,221431045	0,204630252
6	69,70360694	64,29471167	312,0441915	0,223377358	0,20604361
5	157,2827428	144,5756011	691,5821177	0,227424537	0,20905052
4	272,1499345	248,3691449	1169,960131	0,232614708	0,212288554
3	420,3975614	378,4616917	1777,85521	0,236463329	0,21287543
2	626,3006833	561,0436791	2726,95962	0,229669951	0,205739636
1	868,2148542	778,7868812	3913,926607	0,221827066	0,198978407

**Tabel 5.133** Perbandingan Momen Guling Tingkat Maksimum Struktur 10 Tingkat Akibat gempa Elcentro

Tingkat	Momen Guling			Ratio = $\frac{A}{NB}$	Ratio = $\frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (elastoplastis) A	Dengan base isolation (elastis) B	Tanpa base isolation (NB)		
10	0	0	0	0	0
9	51,86030479	56,58447293	128,8034428	0,402631356	0,439308699
8	192,1187032	210,0155432	447,1553906	0,429646399	0,469670158
7	416,9182268	454,7429077	924,2112213	0,451107082	0,492033528
6	719,5932553	783,1714855	1476,519705	0,487357705	0,530417226
5	1094,908094	1190,08009	2106,708881	0,51972444	0,564900115
4	1536,523108	1670,710013	2819,16138	0,545028433	0,592626596
3	2013,488944	2197,971544	3580,004445	0,562426381	0,613957769
2	2491,319038	2740,222512	4398,097157	0,566453843	0,623047289
1	2967,70546	3296,863221	5226,208504	0,567850567	0,6308327



**Tabel 5.134** Perbandingan Momen Guling Tingkat Maksimum Struktur 4 Tingkat Akibat gempa Santacruz

Tingkat	Momen Guling			Ratio = $\frac{A}{NB}$	Ratio = $\frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (elastoplastis) A	Dengan base isolation (elastis) B	Tanpa base isolation (NB)		
4	0	0	0	0	0
3	55,20980263	70,04512204	454,2430838	0,121542418	0,154201846
2	191,9098795	241,6725705	1511,734437	0,12694682	0,159864434
1	408,0274537	504,7560526	2967,555206	0,137496163	0,170091546

**Tabel 5.135** Perbandingan Momen Guling Tingkat Maksimum Struktur 8 Tingkat Akibat gempa Santacruz

Tingkat	Momen Guling			Ratio = $\frac{A}{NB}$	Ratio = $\frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (elastoplastis) A	Dengan base isolation (elastis) B	Tanpa base isolation (NB)		
8	0	0	0	0	0
7	20,94301921	23,21793158	157,1694765	0,133251186	0,14772545
6	69,56353246	77,38174319	521,8857947	0,133292634	0,148273327
5	159,4370108	178,6317663	1194,933516	0,133427516	0,149490967
4	278,9337852	315,1168804	2086,735733	0,133669914	0,151009481
3	434,2079348	496,6679875	3263,94925	0,13303146	0,152167803
2	653,8489543	765,408007	4906,788621	0,133253948	0,155989603
1	931,3168696	1124,312996	6976,983496	0,133484173	0,161146002

**Tabel 5.136** Perbandingan Momen Guling Tingkat Maksimum Struktur 10 Tingkat Akibat gempa Santacruz

Tingkat	Momen Guling			Ratio = $\frac{A}{NB}$	Ratio = $\frac{B}{NB}$
	Dengan base isolation (elastoplastis) A	Dengan base isolation (elastis) B	Tanpa base isolation (NB)		
10	0	0	0	0	0
9	74,01574767	72,69695132	198,1822788	0,373473088	0,366818627
8	280,06194	275,5440301	705,5329964	0,396950875	0,390547333
7	597,2992307	589,7138732	1407,111384	0,424486105	0,419095375
6	993,4357153	987,2619527	2215,229134	0,448457318	0,445670354
5	1438,359241	1446,365305	3078,653024	0,467204076	0,469804584
4	1913,665357	1945,035873	3972,107355	0,48177584	0,489673541
3	2408,601824	2464,525621	4893,749138	0,492179259	0,503606857
2	2905,638715	2987,021209	5830,317768	0,498367127	0,512325628
1	3384,609282	3480,553755	6760,015873	0,500680671	0,514873607

## VERIFIKASI

Untuk struktur yang digunakan adalah struktur 4 tingkat dengan beban gempa Koyna, dihitung dengan cara manual dan program PROGSIP 2006.

### DATA STRUKTUR

Struktur yang ditinjau adalah suatu model *shear building* 4 tingkat dari struktur beton, dimana struktur beton tersebut dengan *base isolation* dan tanpa *base isolation*. Perhitungan kekakuan dan massa dan struktur sudah terlebih dulu dihitung dengan perhitungan manual yang hasilnya sebagai berikut :

1. Struktur dengan *base isolation*.

Tingkat	Tinggi (cm)	Kekakuan (kg/cm)	Massa (kg.dt/cm)
<i>Base Isolation</i>	60	8932.29	119.86
2	400	160781.25	129.60
3	400	160781.25	125.62
4	400	160781.25	801855

2. Struktur tanpa *base isolation* (*tipikal*).

Tingkat	Tinggi (cm)	Kekakuan (kg/cm)	Massa (kg.dt/cm)
1	400	160781.25	119.86
2	400	160781.25	129.60
3	400	160781.25	125.62
4	400	160781.25	801855

## PERHITUNGAN MANUAL

Dalam perhitungan ini dalam mencari besarnya omega ( $\omega$ ), kami menggunakan metode polinomial. Untuk mencari besarnya simpangan, kecepatan, percepatan, simpangan antar tingkat, gaya horizontal tingkat, gaya geser tingkat dan momen guling menggunakan metode  $\beta$ -Newmark.

### Penyelesaian :

#### a. Perhitungan *mode shape* struktur 4 tingkat dengan *base isolation*.

Karena *Base isolation* dianggap bersifat elastoplastis atau inelastik maka kekakuan struktur *base isolation* ada 2 yaitu kekakuan saat elastis ( $K_e$ ) dan kekakuan saat plastis ( $K_p$ ) sehingga struktur tidak mempunyai standar *mode shape*. Oleh karena itu *mode shape*-nya dianggap sama dengan *mode shape* saat kondisi elastis.

$$[M] = \begin{bmatrix} m_b & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_4 \end{bmatrix}$$

$$[M] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1.08 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1.05 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.67 \end{bmatrix}$$

misal dipakai unit massa  $M = 1 \text{ kg}\cdot\text{dt}^2/\text{cm}$ , maka :

$$[M] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1.08 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1.05 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.67 \end{bmatrix}$$

$$[K] = \begin{bmatrix} k_b + k_2 + k_w & -k_2 & 0 & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 & 0 \\ 0 & -k_3 & k_3 + k_4 & -k_4 \\ 0 & 0 & -k_4 & k_4 \end{bmatrix}$$

$$[K] = \begin{bmatrix} 1.13266 & -1 & 0 & 0 \\ -1 & 2 & -1 & 0 \\ 0 & -1 & 2 & -1 \\ 0 & 0 & -1 & 1 \end{bmatrix}$$

Missal dipakai unit kekakuan  $K = 1.13266 \text{ kg/cm}$ , maka :

$$[K] = \begin{bmatrix} 1.13266k & -1k & 0 & 0 \\ -1k & 2k & -1k & 0 \\ 0 & -1k & 2k & -1k \\ 0 & 0 & -1k & 1k \end{bmatrix}$$

Dengan memperhatikan matrik-matrik diatas, maka persamaan *eigenproblem* dapat disusun sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} 1.13266k - 1\omega^2 m & -k & 0 & 0 \\ -k & 2k - 1\omega^2 m & -k & 0 \\ 0 & -k & 2k - 1\omega^2 m & -k \\ 0 & 0 & -k & k - \omega^2 m \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \\ \phi_4 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

Persamaan diatas dapat ditulis sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} 1.13266 - 1 \frac{\omega^2}{k/m} & -1 & 0 & 0 \\ -1 & 2 - 1 \frac{\omega^2}{k/m} & -1 & 0 \\ 0 & -1 & 2 - 1 \frac{\omega^2}{k/m} & -1 \\ 0 & 0 & -1 & 1 - \frac{\omega^2}{k/m} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \\ \phi_4 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

Apabila diambil notasi bahwa  $\lambda = \frac{\omega^2}{k/m}$  maka persamaan diatas menjadi :



$$\begin{bmatrix} 1.13266-1*\lambda & -1 & 0 & 0 \\ -1 & 2-1*\lambda & -1 & 0 \\ 0 & -1 & 2-1*\lambda & -1 \\ 0 & 0 & -1 & 1-1*\lambda \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \\ \phi_4 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

Dan apabila persamaan tersebut disederhanakan akan diperoleh :

$$(1.13266-1*\lambda)*\phi_1 - \phi_2 = 0 \tag{1.1}$$

$$-\phi_1 + (2 - 1*\lambda)*\phi_2 - \phi_3 = 0 \tag{1.2}$$

$$-\phi_2 + (2 - 1*\lambda)*\phi_3 - \phi_4 = 0 \tag{1.3}$$

$$-\phi_3 + (1-1*\lambda)*\phi_4 = 0 \tag{1.4}$$

dengan mengambil :

$$\phi_1 = 1$$

Dengan mensubstitusikan nilai tersebut pada persamaan (1.1) diatas akan diperoleh :

$$\phi_2 = (1.13266-1*\lambda)$$

Selanjutnya dengan mensubstitusikan nilai tersebut pada persamaan (1.2), maka diperoleh :

$$\phi_3 = 1.08126\lambda^2 - 3.22470\lambda + 1.26533$$

Kemudian Substitusikan nilai  $\phi_3$  kedalam persamaan (1.3), sehingga akan diperoleh :

$$\phi_4 = -1.1332\lambda^3 + 5.54219\lambda^2 - 6.77555\lambda + 1.39800$$

Sehingga dengan memasukkan nilai  $\phi_1, \phi_2, \phi_3, \phi_4$  ke persamaan (1.4) maka akan diperoleh :

$$0.75778\lambda^4 - 4.83927\lambda^3 + 8.99173\lambda^2 - 4.48566\lambda + 0.13266 = 0$$

Persamaan diatas merupakan persamaan polinomial pangkat 4. Akar-akar yang dicari adalah nilai  $\lambda$  dari persamaan tersebut. Maka akar-akar persamaan polinomial diatas adalah :

$$\lambda_1 = 0.0315$$

$$\lambda_2 = 0.7384$$

$$\lambda_3 = 2.2024$$

$$\lambda_4 = 3.4137$$

Maka nilai omega ( $\omega$ ) dapat dicari dengan rumus :

$$\lambda = \frac{\omega^2}{k/m}$$

$$\omega_1 = \sqrt{0.0315 * \frac{8932.29}{119.86}} = 1.53214 \text{ rad/detik.}$$

$$\omega_2 = \sqrt{0.7384 * \frac{160781.25}{129.60}} = 30.26641 \text{ rad/detik.}$$

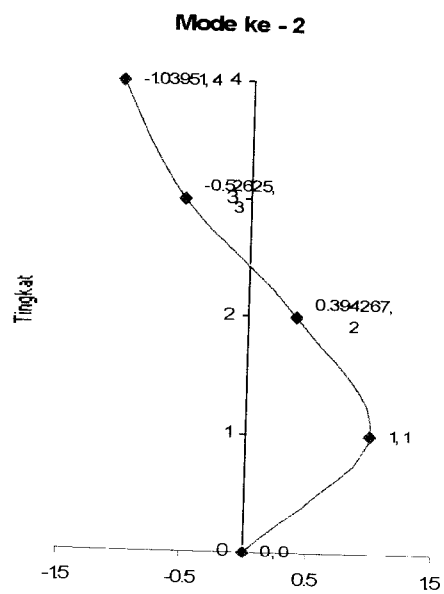
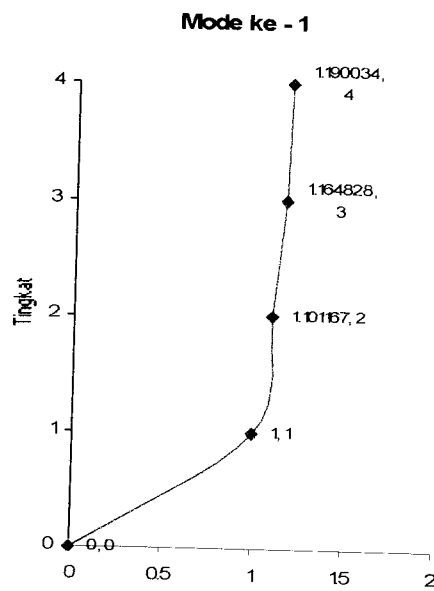
$$\omega_3 = \sqrt{2.2024 * \frac{160781.25}{125.62}} = 53.09289 \text{ rad/detik.}$$

$$\omega_4 = \sqrt{3.4137 * \frac{160781.25}{80.185}} = 82.75202 \text{ rad/detik.}$$

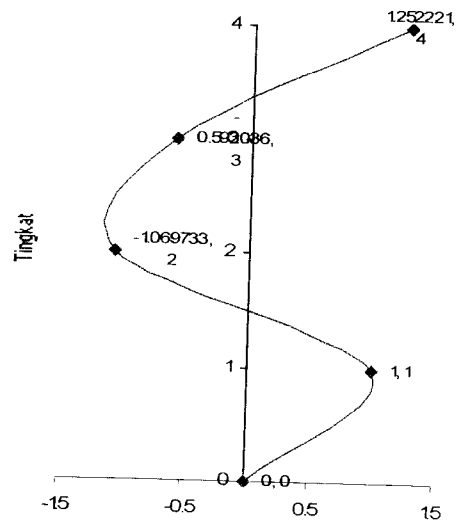
Selain itu akar-akar polinomial digunakan pula untuk menghitung nilai *mode shape*, kemudian ditabelkan seperti dibawah ini :

No	Fungsi $\Phi_i$	Nilai $\Phi_i$			
		Mode ke - 1 $\lambda_1 = 0.032$	Mode ke - 2 $\lambda_2 = 0.7184$	Mode ke - 3 $\lambda_3 = 2.1972$	Mode ke - 4 $\lambda_4 = 3.5191$
1	$\Phi_1 = 1$	$\Phi_{11} = 1$	$\Phi_{12} = 1$	$\Phi_{13} = 1$	$\Phi_{14} = 1$
2	$\Phi_2 = (1.13266 - 1 * \lambda)$	$\Phi_{21} = 1.10166$	$\Phi_{22} = 0.39426$	$\Phi_{23} = -1.06973$	$\Phi_{24} = -2.28103$
3	$\Phi_3 = (1.08126\lambda - 3.22470\lambda + 1.26533)$	$\Phi_{31} = 1.16482$	$\Phi_{32} = -0.52625$	$\Phi_{33} = -0.59203$	$\Phi_{34} = -2.8574$
4	$\Phi_4 = (-1.1332\lambda + 5.54219\lambda - 6.77555\lambda + 1.39800)$	$\Phi_{41} = 1.19003$	$\Phi_{42} = -1.03951$	$\Phi_{43} = 1.25222$	$\Phi_{44} = -2.22732$

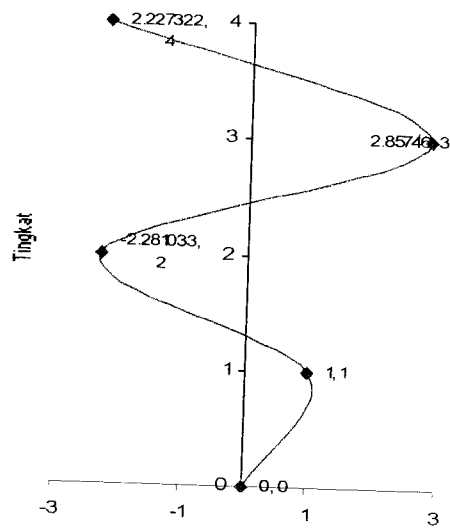
Nilai-nilai ordinat *normal modes*  $\Phi_{ij}$  selanjutnya digambar seperti berikut ini :



Mode ke - 3



Mode ke - 4



b. Perhitungan *mode shape* struktur 4 tingkat tanpa *base isolation*.

$$[M] = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_4 \end{bmatrix}$$

$$[M] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1.08 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1.05 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.67 \end{bmatrix}$$

misal dipakai unit massa  $M = 1 \text{ kg}\cdot\text{dt}^2/\text{cm}$ , maka :

$$[M] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1.08 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1.05 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.67 \end{bmatrix}$$

$$[K] = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 & 0 \\ 0 & -k_3 & k_3 + k_4 & -k_4 \\ 0 & 0 & -k_4 & k_4 \end{bmatrix}$$

$$[K] = \begin{bmatrix} 2 & -1 & 0 & 0 \\ -1 & 2 & -1 & 0 \\ 0 & -1 & 2 & -1 \\ 0 & 0 & -1 & 1 \end{bmatrix}$$

Missal dipakai unit kekakuan  $K = 2 \text{ kg/cm}$ , maka :

$$[K] = \begin{bmatrix} 2k & -1k & 0 & 0 \\ -1k & 2k & -1k & 0 \\ 0 & -1k & 2k & -1k \\ 0 & 0 & -1k & 1k \end{bmatrix}$$

Dehgan memperhatikan matrik-matrik diatas, maka persamaan *eigenproblem* dapat disusun sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} 2k-1\omega^2 m & -k & 0 & 0 \\ -k & 2k-1\omega^2 m & -k & 0 \\ 0 & -k & 2k-1\omega^2 m & -k \\ 0 & 0 & -k & k-\omega^2 m \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \\ \phi_4 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

Persamaan diatas dapat ditulis sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} 2-1\frac{\omega^2}{k} & -1 & 0 & 0 \\ -1 & 2-1\frac{\omega^2}{k} & -1 & 0 \\ 0 & -1 & 2-1\frac{\omega^2}{k} & -1 \\ 0 & 0 & -1 & 1-\frac{\omega^2}{k} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \\ \phi_4 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

Apabila diambil notasi bahwa  $\lambda = \frac{\omega^2}{k/m}$  maka persamaan diatas menjadi :

$$\begin{bmatrix} 2-1*\lambda & -1 & 0 & 0 \\ -1 & 2-1*\lambda & -1 & 0 \\ 0 & -1 & 2-1*\lambda & -1 \\ 0 & 0 & -1 & 1-*\lambda \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \\ \phi_4 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

Dan apabila persamaan tersebut disederhanakan akan diperoleh :

$$(2-1*\lambda)*\phi_1 - \phi_2 = 0 \tag{1.5}$$

$$-\phi_1 + (2-1*\lambda)*\phi_2 - \phi_3 = 0 \tag{1.6}$$

$$-\phi_2 + (2-1*\lambda)*\phi_3 - \phi_4 = 0 \tag{1.7}$$

$$-\phi_3 + (1-*\lambda)*\phi_4 = 0 \tag{1.8}$$

dengan mengambil :

$$\phi_1 = 1$$

$$\omega_2 = \sqrt{1.099 * \frac{160781.25}{129.60}} = 36.924451 \text{ rad/detik.}$$

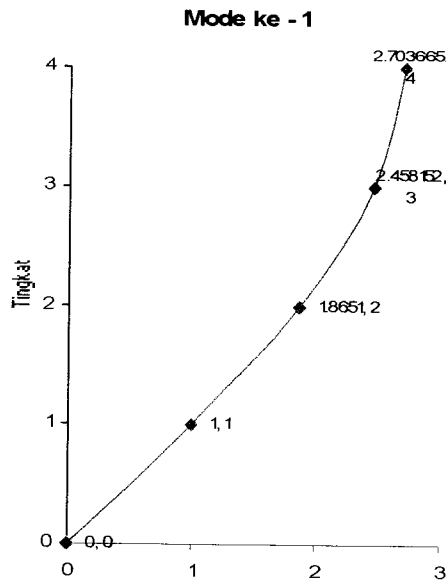
$$\omega_3 = \sqrt{2.4943 * \frac{160781.25}{125.62}} = 56.501848 \text{ rad/detik.}$$

$$\omega_3 = \sqrt{3.6051 * \frac{160781.25}{801855}} = 2.6886223 \text{ rad/detik.}$$

Selain itu akar-akar polinomial digunakan pula untuk menghitung nilai *mode shape*, kemudian ditabelkan seperti dibawah ini :

No	Fungsi $\Phi_i$	Nilai $\Phi_i$			
		Mode ke - 1 $\lambda_1 = 0.1349$	Mode ke - 2 $\lambda_2 = 1.099$	Mode ke - 3 $\lambda_3 = 2.4943$	Mode ke - 4 $\lambda_4 = 3.6051$
1	$\Phi_1 = 1$	$\Phi_{11} = 1$	$\Phi_{12} = 1$	$\Phi_{13} = 1$	$\Phi_{14} = 1$
2	$\Phi_2 = (2 - 1*\lambda)$	$\Phi_{21} = 1.8651$	$\Phi_{22} = 0.901$	$\Phi_{23} = -0.4943$	$\Phi_{24} = -1.6051$
3	$\Phi_3 = (1.0812\lambda - 4.1625\lambda + 3)$	$\Phi_{31} = 2.45815$	$\Phi_{32} = -0.2686$	$\Phi_{33} = -0.6554$	$\Phi_{34} = 2.0465$
4	$\Phi_4 = (-1.1332\lambda + 6.5250\lambda - 10.4692\lambda + 4)$	$\Phi_{41} = 2.7036$	$\Phi_{42} = -1.1288$	$\Phi_{43} = 0.8968$	$\Phi_{44} = -2.0344$

Nilai-nilai ordinat *normal modes*  $\Phi_{ij}$  selanjutnya digambar seperti berikut ini :



Dengan mensubstitusikan nilai tersebut pada persamaan (1.5) diatas akan diperoleh :

$$\phi_2 = (2-1*\lambda)$$

Selanjutnya dengan mensubstitusikan nilai tersebut pada persamaan (1.6), maka diperoleh :

$$\phi_3 = 1.0812\lambda^2 - 4.1625\lambda + 3$$

Kemudian Substitusikan nilai  $\phi_3$  kedalam persamaan (1.7), sehingga akan diperoleh :

$$\phi_4 = -1.1332\lambda^3 + 6.5250\lambda^2 - 10.4692\lambda + 4$$

Sehingga dengan memasukkan nilai  $\phi_1, \phi_2, \phi_3, \phi_4$  ke persamaan (1.8) maka akan diperoleh :

$$0.7577\lambda^4 - 5.4965\lambda^3 + 12.4445\lambda^2 - 8.9814\lambda + 1 = 0$$

Persamaan diatas merupakan persamaan polinomial pangkat 4. Akar-akar yang dicari adalah nilai  $\lambda$  dari persamaan tersebut. Maka akar-akar persamaan polinomial diatas adalah :

$$\lambda_1 = 0.1349$$

$$\lambda_2 = 1.099$$

$$\lambda_3 = 2.4943$$

$$\lambda_4 = 3.6051$$

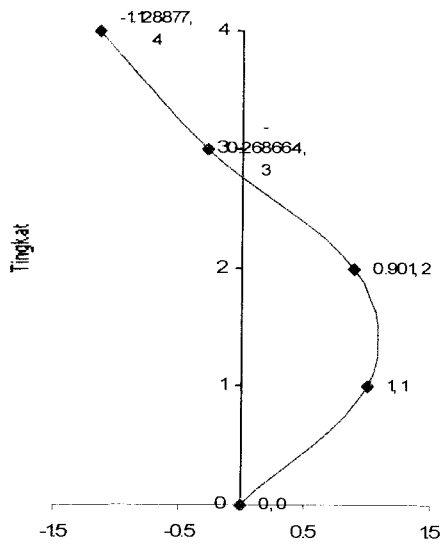
Maka nilai omega ( $\omega$ ) dapat dicari dengan rumus :

$$\lambda = \frac{\omega^2}{k/m}$$

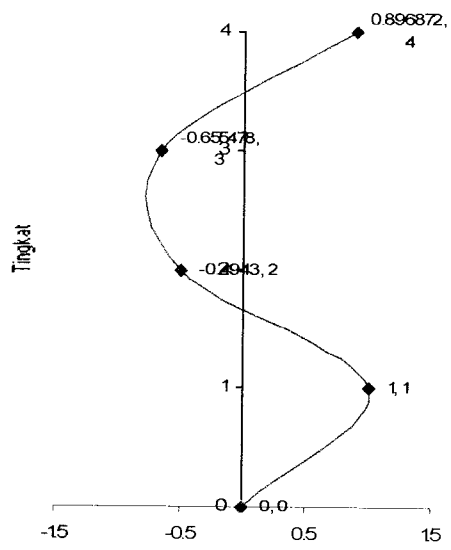
$$\omega_1 = \sqrt{0.1349 * \frac{160781.25}{119.86}} = 1.3451 \text{ rad/detik.}$$

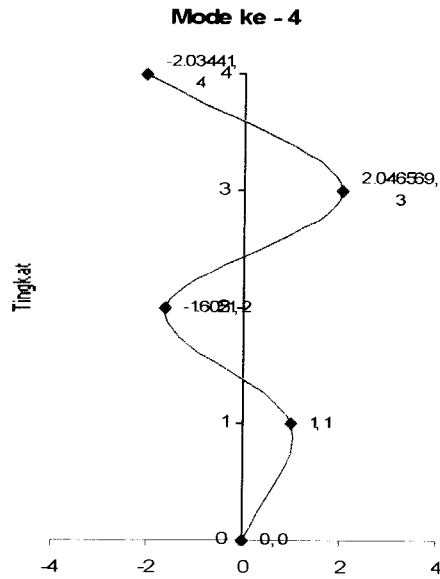


Mode ke - 2



Mode ke - 3





## METODE $\beta$ - NEWMARK

Metode ini dipakai untuk menghitung struktur dengan menggunakan *base isolation* dan bangunan tanpa menggunakan *base isolation* (tipikal).

### A. Struktur dengan menggunakan *base isolation*

Matrik massa dan matrik kekakuannya adalah sebagai berikut :

$$[M] = \begin{bmatrix} m_b & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_4 \end{bmatrix}, \text{ dimana } m_b = m_1$$

$$[M] = \begin{bmatrix} 119.86 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 129.60 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 125.62 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 80.15 \end{bmatrix}$$

Seperti telah dijelaskan sebelumnya bahwa kekakuan *base isolation* ada 2 yaitu  $K_e$  dan  $K_p$ , maka matrik kekakuannya akan berubah-ubah sesuai perubahan kekakuan yang sebelumnya telah dihitung terlebih dahulu dengan PROGSIP 2006 v.03.

$$[K] = \begin{bmatrix} k_e + k_2 + k_w & -k_2 & 0 & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 & 0 \\ 0 & -k_3 & k_3 + k_4 & -k_4 \\ 0 & 0 & -k_4 & k_4 \end{bmatrix}$$

$$[K] = \begin{bmatrix} 182111.589 & -160781.25 & 0 & 0 \\ -160781.25 & 321562.5 & -160781.25 & 0 \\ 0 & -160781.25 & 321562.5 & -160781.25 \\ 0 & 0 & -160781.25 & 160781.25 \end{bmatrix}$$

#### I. Mencari matrik redaman.

Matrik redaman diperoleh dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$c_b = \frac{2\xi_b}{\omega_b} * k_b, \text{ dimana } \omega_b = \omega_1$$

$$c_b = \frac{2 * 0.2}{1.5442} * 8932.29 = 2313.7650$$

$$c_n = \frac{2\xi_n}{\omega_n} * k_n$$

$$c_2 = \frac{2 * 0.05}{29.8537} * 160781.25 = 538.5638$$

$$c_3 = \frac{2 * 0.05}{53.0301} * 160781.25 = 303.1886$$

$$c_4 = \frac{2 * 0.05}{84.0198} * 160781.25 = 191.3611$$

$$[C] = \begin{bmatrix} c_b + c_2 & -c_2 & 0 & 0 \\ -c_2 & c_2 + c_3 & -c_3 & 0 \\ 0 & -c_3 & c_3 + c_4 & -c_4 \\ 0 & 0 & -c_4 & c_4 \end{bmatrix}$$

$$[C] = \begin{bmatrix} 2852.245004 & -538.5636 & 0 & 0 \\ -538.5630 & 841.7518 & -303.1882 & 0 \\ 0 & -303.1882 & 494.5493 & -191.3611 \\ 0 & 0 & -191.611 & 191.3611 \end{bmatrix}$$

## II. Mencari Kekakuan Efektif

Dalam mencari kekakuan efektif ditentukan dahulu nilai  $\gamma = \frac{1}{2}$  dan  $\beta = \frac{1}{4}$ , kemudian nilai kekakuan efektif dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\hat{K} = [K] + \frac{\gamma}{\beta + \Delta t} [C] + \frac{1}{\beta + (\Delta t)^2} [M]$$

$$\begin{bmatrix} 182111.589 & -160781.25 & 0 & 0 \\ -160781.25 & 321562.5 & -160781.25 & 0 \\ 0 & -160781.25 & 321562.5 & -160781.25 \\ 0 & 0 & -160781.25 & 160781.25 \end{bmatrix}$$

$$+ \frac{0.5}{0.25 + 0.01} \begin{bmatrix} 2852.245004 & -538.5636 & 0 & 0 \\ -538.5630 & 841.7518 & -303.1882 & 0 \\ 0 & -303.1882 & 494.5493 & -191.3611 \\ 0 & 0 & -191.611 & 191.3611 \end{bmatrix}$$

$$+ \frac{1}{0.25 * (0.01)^2} \begin{bmatrix} 119.86 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 129.60 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 125.62 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 80.15 \end{bmatrix}$$

$$[K] = \begin{bmatrix} 5546960.59 & -268493.98 & 0 & 0 \\ -268493.9804 & 5673912.871 & -221418.891 & 0 \\ 0 & -221418.891 & 5445272.361 & -199053.47 \\ 0 & 0 & -199053.47 & 3405053.47 \end{bmatrix}$$

Invers matrik kekakuan efektif :

$$\hat{K}^{-1} = \begin{bmatrix} 1.80693E-07 & 8.56417E-09 & 3.48987E-10 & 2.04012E-11 \\ 8.56417E-08 & 1.76932E-07 & 7.20991E-09 & 4.21479E-10 \\ 3.48987E-10 & 7.20991E-09 & 1.804333E-07 & 1.07758E-08 \\ 2.04012E-11 & 4.21479E-10 & 1.07758E-08 & 2.94311E-07 \end{bmatrix}$$

### III. Mencari Konstanta "a"

$$a = \frac{1}{\beta * (\Delta t)^2} [M] + \frac{\gamma}{\beta} [C]$$

$$a = \frac{1}{0.25 * (0.01)^2} \begin{bmatrix} 119.86 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 129.60 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 125.62 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 80.15 \end{bmatrix} + \frac{0.5}{0.25} \begin{bmatrix} 2852.245004 & -538.5636 & 0 & 0 \\ -538.5630 & 841.7518 & -303.1882 & 0 \\ 0 & -303.1882 & 494.5493 & -191.3611 \\ 0 & 0 & -191.611 & 191.3611 \end{bmatrix}$$

$$a = \begin{bmatrix} 53648.4900 & -1077.1273 & 0 & 0 \\ -1077.1273 & 53523.50371 & -606.37640 & 0 \\ 0 & -606.37640 & 51237.0986 & -382.7222 \\ 0 & 0 & -382.7222 & 32442.7222 \end{bmatrix}$$

### IV. Mencari Konstanta "b"

$$b = \frac{1}{2 * \beta} [M] + \left( \frac{\gamma}{2 * \beta} - 1 \right) [C]$$

$$b = \frac{1}{2 * 0.25} \begin{bmatrix} 119.86 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 129.60 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 125.62 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 80.15 \end{bmatrix}$$

$$+ \left( \frac{0.5}{2 * 0.25} - 1 \right) \begin{bmatrix} 2852.245004 & -538.5636 & 0 & 0 \\ -538.5630 & 841.7518 & -303.1882 & 0 \\ 0 & -303.1882 & 494.5493 & -191.3611 \\ 0 & 0 & -191.611 & 191.3611 \end{bmatrix}$$

$$b = \begin{bmatrix} 239.72 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 259.2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 251.24 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 160.3 \end{bmatrix}$$

## V. Perhitungan Pembebanan

Perhitungan pembebanan menggunakan beban gempa Koyna, dimana percepatan gempa adalah sebagai berikut :

- Untuk selang waktu 0.01 detik = 1.96 cm/dt<sup>2</sup>
- Untuk selang waktu 0.02 detik = -3.92 cm/dt<sup>2</sup>
- Untuk selang waktu 0.03 detik = -5.88 cm/dt<sup>2</sup>

### 1. Langkah 1 (saat 0.01 detik)

Kondisi pertama diketahui  $y_0 = 0; \dot{y} = 0; \ddot{y} = 0$

$$\Delta p_0 = (\ddot{y}_{b1} - \ddot{y}_{b0}) \begin{bmatrix} m_b \\ m_2 \\ m_3 \\ m_4 \end{bmatrix}$$

$$\Delta p_0 = (-1.96 - 0) \begin{bmatrix} 119.86 \\ 129.60 \\ 125.62 \\ 80.15 \end{bmatrix}$$

$$\Delta p_0 = \begin{bmatrix} -234.9256 \\ -254.016 \\ -246.2152 \\ -157.094 \end{bmatrix}$$

a. Menghitung pertambahan pembebanan ( $\Delta P_0$ )

$$\hat{\Delta p}_0 = \Delta p_0 + a * \dot{y}_0 + b * \ddot{y}_0 = \begin{bmatrix} -234.9256 \\ -254.016 \\ -246.2152 \\ -157.094 \end{bmatrix}$$

b. Menghitung pertambahan simpangan ( $\Delta y_0$ )

$$\hat{K} * \Delta y_0 = \hat{\Delta p}_0$$

$$\Delta y_0 = \begin{bmatrix} -4.4684E-05 \\ -4.8796E-05 \\ -4.8992E-05 \\ -4.9000E-05 \end{bmatrix}$$

c. Menghitung pertambahan kecepatan ( $\Delta \dot{y}_0$ )

$$\Delta \dot{y}_0 = \frac{\gamma}{\beta * \Delta t} \Delta y_0 - \frac{\gamma}{\beta} \dot{y}_0 + (\Delta t) \left( 1 - \frac{\gamma}{2 * \beta} \right) \ddot{y}_0$$

$$\Delta \dot{y}_0 = \frac{0.5}{0.25 * 0.01} \begin{bmatrix} -4.4684E-05 \\ -4.8796E-05 \\ -4.8992E-05 \\ -4.9000E-05 \end{bmatrix} - \frac{0.5}{0.25} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + (0.01) \left( 1 - \frac{0.5}{2 * 0.25} \right) \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\Delta \dot{y}_0 = \begin{bmatrix} -8.9367E-03 \\ -9.7593E-03 \\ -9.7983E-03 \\ -9.7999E-03 \end{bmatrix}$$

d. Menghitung pertambahan percepatan ( $\Delta \ddot{y}_0$ )

$$\Delta \ddot{y}_0 = \frac{1}{\beta * (\Delta t)^2} \Delta y_0 - \frac{1}{\beta * \Delta t} \dot{y}_0 + (\Delta t) \frac{1}{2 * \beta} \ddot{y}_0$$

$$\Delta \ddot{y}_0 = \frac{1}{0.25 * (0.01)^2} \begin{bmatrix} -4.4684E-05 \\ -4.8796E-05 \\ -4.8992E-05 \\ -4.9000E-05 \end{bmatrix}$$

$$- \frac{1}{0.25 * 0.01} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + (0.01) \frac{1}{2 * 0.25} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\Delta \ddot{y}_0 = \begin{bmatrix} -1.7873404 \\ -1.9518592 \\ -1.9596684 \\ -1.9599806 \end{bmatrix}$$

e. Menghitung pertambahan simpangan ( $y_1$ )

$$y_1 = y_0 + \Delta y_0$$

$$y_1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -4.4684E-05 \\ -4.8796E-05 \\ -4.8992E-05 \\ -4.9000E-05 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -4.4684E-05 \\ -4.8796E-05 \\ -4.8992E-05 \\ -4.9000E-05 \end{bmatrix}$$

f. Menghitung simpangan netto ( $y_n$ )

$$y_n = y_i(t) - y_{base}(t)$$

$$y_{11} = -4.4684E-05 - (-4.4684E-05) = 0$$

$$y_{12} = -4.8796E-05 - (-4.4684E-05) = -4.1130E-06$$

$$y_{13} = -4.8992E-05 - (-4.4684E-05) = -4.3082E-06$$

$$y_{14} = -4.9000E-05 - (-4.4684E-05) = -4.3160E-06$$

jika disusun dalam bentuk matrik maka,

$$y_n = \begin{bmatrix} 0.0000E+00 \\ -4.1130E-06 \\ -4.3082E-06 \\ -4.3160E-06 \end{bmatrix}$$



g. Menghitung simpangan relatif ( $y_r$ )

$$Y_r = y_i(t) - y_{i-1}(t)$$

$$y_{r11} = 0 - 0 = 0$$

$$y_{r12} = -4.1130E - 06 - 0 = -1.66129E - 08$$

$$y_{r13} = -4.3082E - 06 - (-4.1130E - 06) = -8.8435E - 10$$

$$y_{r14} = -4.3160E - 06 - (-4.3082E - 06) = -4.1169E - 11$$

jika disusun dalam bentuk matrik maka,

$$y_r = \begin{bmatrix} 0.0000E + 00 \\ -1.66129E - 08 \\ -8.8435E - 10 \\ -4.1169E - 11 \end{bmatrix}$$

h. Menghitung kecepatan ( $\dot{y}_1$ )

$$\dot{y}_1 = \dot{y}_0 + \Delta\dot{y}_0$$

$$\dot{y}_1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -8.9367E - 03 \\ -9.7593E - 03 \\ -9.7983E - 03 \\ -9.7999E - 03 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -8.9367E - 03 \\ -9.7593E - 03 \\ -9.7983E - 03 \\ -9.7999E - 03 \end{bmatrix}$$

i. Menghitung percepatan ( $\ddot{y}_1$ )

$$\ddot{y}_1 = \ddot{y}_0 + \Delta\ddot{y}_0$$

$$\ddot{y}_1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -1.7873404 \\ -1.9518592 \\ -1.9596684 \\ -1.9599806 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1.7873404 \\ -1.9518592 \\ -1.9596684 \\ -1.9599806 \end{bmatrix}$$

j. Menghitung simpangan relatif.

Simpangan relatif dapat dilihat pada perhitungan simpangan ( $y_r$ ), yaitu :

1. *Base Isolation*,  $y = 0.0000E-00$  cm

2. Tingkat 2  $y = -1.66129E - 08 \text{ cm}$

2. Tingkat 3  $y = 8.8435E - 10 \text{ cm}$

3. Tingkat 4  $y = -4.1169E - 11 \text{ cm}$

k. Menghitung simpangan antar tingkat,  $yy$  (*interstorey drift*)

$$yy_j(t) = \frac{y_j(t)}{h} * 100\%$$

1. *BaseIsolation*,  $yy_1 = \frac{\text{Yrelatif Tingkat1}}{\text{Tinggi Tingkat1}} * 100\%$

$$= \frac{0.0000E + 00}{60} * 100\%$$

$$= 0.0000E + 00\%$$

2. Tingkat 2,  $yy_2 = \frac{\text{Yrelatif Tingkat2}}{\text{Tinggi Tingkat2}} * 100\%$

$$= \frac{(-1.66129E - 08)}{400} * 100\%$$

$$= -4.15322E - 07\%$$

3. Tingkat 3,  $yy_3 = \frac{\text{Yrelatif Tingkat3}}{\text{Tinggi Tingkat3}} * 100\%$

$$= \frac{(-8.8435E - 10)}{400} * 100\%$$

$$= -2.19E - 08\%$$

4. Tingkat 4,  $yy_4 = \frac{\text{Yrelatif Tingkat4}}{\text{Tinggi Tingkat4}} * 100\%$

$$= \frac{(-4.1669E - 11)}{400} * 100\%$$

$$= -1.07E - 09\%$$

l. Menghitung gaya horisontal tingkat (F)

Gaya horisontal tingkat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$F_j = y_j(t) * k_j$$

$$F_j = \begin{bmatrix} 0.0000E+00 \\ -4.1130E-06 \\ -4.3082E-06 \\ -4.3160E-06 \end{bmatrix} *$$

$$\begin{bmatrix} 182111.589 & -160781.25 & 0 & 0 \\ -160781.25 & 321562.5 & -160781.25 & 0 \\ 0 & -160781.25 & 321562.5 & -160781.25 \\ 0 & 0 & -160781.25 & 160781.25 \end{bmatrix}$$

$$F_j = \begin{bmatrix} 0.661288401 \\ -0.629898925 \\ -0.030134726 \\ -0.00125475 \end{bmatrix} \text{ kg}$$

m. Menghitung gaya geser tingkat (V)

Gaya geser tingkat diperoleh dengan menjumlahkan gaya horisonta tingkat pada tingkat yang ditinjau, dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$V = \left( \sum_{j=1}^n F_j \right)$$

1. *Base Isolation*,  $V_1 = F_1 + F_2 + F_3 + F_4$ 

$$= (0.6612) + (-0.6298) + (-0.0301) + (-0.0012)$$

$$= 0 \text{ kg}$$
2. Tingkat 2,  $V_2 = F_2 + F_3 + F_4$ 

$$= (-0.6298) + (-0.0301) + (-0.0012)$$

$$= -0.66128 \text{ kg}$$
3. Tingkat 3,  $V_3 = F_3 + F_4$ 

$$= (-0.0301) + (-0.0012)$$

$$= -0.03013 \text{ kg}$$

$$3. \text{ Tingkat 4, } V_4 = F_4$$

$$= -0.0012 \text{ kg}$$

n. Menghitung momen guling (Mg)

Momen guling merupakan perkalian dari gaya horisontal tingkat dengan tinggi tingkat yang ditinjau, dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$M_g = \sum_{j=1}^n F_j * H_j$$

$$1. \text{ Dasar, } M_{g0} = (F_1 * H_1) + (F_2 * H_2) + (F_3 * H_3) + (F_4 * H_4)$$

$$= (0.6612 * 400) + (-0.6298 * 400) + (-0.0301 * 400) +$$

$$(-0.0012 * 400)$$

$$= -277.57305 \text{ kg.cm}$$

$$2. \text{ Base Isolation, } M_{g1} = (F_2 * H_2) + (F_3 * H_3) + (F_4 * H_4)$$

$$= (-0.6298 * 400) + (-0.0301 * 400) +$$

$$(-0.0012 * 400)$$

$$= -277.57305 \text{ kg..cm}$$

$$3. \text{ Tingkat 2, } M_{g2} = (F_3 * H_3) + (F_4 * H_4)$$

$$= (-0.0301 * 400) + (-0.0012 * 400)$$

$$= 13.057690 \text{ kg.cm}$$

$$4. \text{ Tingkat 3, } M_{g3} = (F_4 * H_4)$$

$$= (-0.0012 * 400)$$

$$= -0.50124 \text{ kg.cm}$$

$$5. \text{ Tingkat 4, } M_{g4} = 0 \text{ kg.cm}$$

2. Langkah 2 (saat 0.02 detik)

$$\Delta p_1 = (\ddot{y}_{b2} - \ddot{y}_{b1}) \begin{bmatrix} m_b \\ m_2 \\ m_3 \\ m_4 \end{bmatrix}$$

$$\Delta p_1 = (-3.92 - (-1.96)) \begin{bmatrix} 119.86 \\ 129.60 \\ 125.62 \\ 80.15 \end{bmatrix}$$

$$\Delta p_0 = \begin{bmatrix} -234.9256 \\ -254.016 \\ -246.2152 \\ -157.094 \end{bmatrix}$$

a. Menghitung pertambahan pembebanan  $(\hat{\Delta p}_1)$

$$\hat{\Delta p}_1 = \Delta p_1 + a * \dot{y}_1 + b * \ddot{y}_1$$

$$= \begin{bmatrix} -234.9256 \\ -254.016 \\ -246.2152 \\ -157.094 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -4.693E+02 \\ -5.068E+02 \\ -4.924E+02 \\ -3.142E+02 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -428.461235 \\ -505.921894 \\ -492.347088 \\ -314.184884 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} -1132.6544 \\ -1266.7101 \\ -1230.9324 \\ -785.46437 \end{bmatrix}$$

b. Menghitung pertambahan simpangan  $(\Delta y_1)$

$$\hat{K} * \Delta y_1 = \hat{\Delta p}_1$$

$$\Delta y_1 = K^{-1} * \hat{\Delta p}_1$$

$$\Delta y_1 = \begin{bmatrix} 1.80618\text{E-}07 & 8.51605\text{E-}09 & 3.46886\text{E-}10 & 2.03346\text{E-}11 \\ 8.51605\text{E-}09 & 1.76975\text{E-}07 & 7.20876\text{E-}09 & 4.2258\text{E-}10 \\ 3.46886\text{E-}10 & 7.20876\text{E-}09 & 1.84317\text{E-}07 & 1.08047\text{E-}08 \\ 2.03346\text{E-}11 & 4.2258\text{E-}10 & 1.08047\text{E-}08 & 2.94264\text{E-}07 \end{bmatrix}$$

$$* \begin{bmatrix} -1132.6544 \\ -1266.7101 \\ -1230.9324 \\ -785.46437 \end{bmatrix}$$

$$\Delta y_1 = \begin{bmatrix} -2.1581\text{E-}04 \\ -2.4303\text{E-}04 \\ -2.4489\text{E-}04 \\ -2.4499\text{E-}04 \end{bmatrix}$$

c. Menghitung pertambahan kecepatan ( $\Delta \dot{y}_1$ )

$$\Delta \dot{y}_1 = \frac{\gamma}{\beta * \Delta t} \Delta y_1 - \frac{\gamma}{\beta} \dot{y}_1 + (\Delta t) \left( 1 - \frac{\gamma}{2 * \beta} \right) \ddot{y}_1$$

$$\Delta \dot{y}_1 = \frac{0.5}{0.25 * 0.01} \begin{bmatrix} -2.1581\text{E-}04 \\ -2.4303\text{E-}04 \\ -2.4489\text{E-}04 \\ -2.4499\text{E-}04 \end{bmatrix} - \frac{0.5}{0.25} \begin{bmatrix} -8.9367\text{E-}03 \\ -9.7593\text{E-}03 \\ -9.7983\text{E-}03 \\ -9.7999\text{E-}03 \end{bmatrix}$$

$$+ (0.01) \left( 1 - \frac{0.5}{2 * 0.25} \right) \begin{bmatrix} -1.7873404 \\ -1.9518592 \\ -1.9596684 \\ -1.9599806 \end{bmatrix}$$

$$\Delta \dot{y}_1 = \begin{bmatrix} -2.5288\text{E-}02 \\ -2.9087\text{E-}02 \\ -2.9382\text{E-}02 \\ -2.9399\text{E-}02 \end{bmatrix}$$

d. Menghitung pertambahan percepatan ( $\Delta \ddot{y}_1$ )

$$\Delta \ddot{y}_1 = \frac{1}{\beta * (\Delta t)^2} \Delta y_1 - \frac{1}{\beta * \Delta t} \dot{y}_1 + (\Delta t) \frac{1}{2 * \beta} \ddot{y}_1$$

$$\Delta \ddot{y}_1 = \frac{1}{0.25 * (0.01)^2} \begin{bmatrix} -2.1581E-04 \\ -2.4303E-04 \\ -2.4489E-04 \\ -2.4499E-04 \end{bmatrix} - \frac{1}{0.25 * 0.01} \begin{bmatrix} -8.9367E-03 \\ -9.7593E-03 \\ -9.7983E-03 \\ -9.7999E-03 \end{bmatrix}$$

$$+ (0.01) \left( \frac{1}{2 * 0.25} \right) \begin{bmatrix} -1.7873404 \\ -1.9518592 \\ -1.9596684 \\ -1.9599806 \end{bmatrix}$$

$$\Delta \ddot{y}_1 = \begin{bmatrix} -1.4829435 \\ -1.9136641 \\ -1.9570533 \\ -1.9597612 \end{bmatrix}$$

e. Menghitung pertambahan simpangan ( $y_2$ )

$$y_2 = y_1 + \Delta y_1$$

$$y_2 = \begin{bmatrix} -4.4684E-05 \\ -4.8796E-05 \\ -4.8992E-05 \\ -4.9000E-05 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -2.1581E-04 \\ -2.4303E-04 \\ -2.4489E-04 \\ -2.4499E-04 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -2.605E-04 \\ -2.918E-04 \\ -2.939E-04 \\ -2.940E-04 \end{bmatrix}$$

f. Menghitung simpangan netto  $y_n$

$$y_n = y_i(t) - y_{base}(t)$$

$$y_{21} = -2.605E-04 - (-2.605E-04) = 0$$

$$y_{22} = -2.918E-04 - (-2.605E-04) = -3.1333E-05$$

$$y_{23} = -2.939E-04 - (-2.605E-04) = -3.3394E-05$$

$$y_{24} = -2.940E-04 - (-2.605E-04) = -3.3500E-05$$

jika disusun dalam bentuk matrik maka,

$$y_n = \begin{bmatrix} 0.0000E + 00 \\ -3.1333E - 05 \\ -3.3394E - 05 \\ -3.3500E - 05 \end{bmatrix}$$

g. Menghitung simpangan relatif ( $y_r$ )

$$Y_r = y_i(t) - y_{i-1}(t)$$

$$y_{r21} = 0 - 0 = 0$$

$$y_{r22} = -3.1333E - 05 - 0 = -3.1333E - 05$$

$$y_{r23} = -3.3394E - 05 - (-3.1333E - 05) = -2.0609E - 06$$

$$y_{r24} = -3.3500E - 05 - (-3.3394E - 05) = -1.0672E - 07$$

jika disusun dalam bentuk matrik maka,

$$y_r = \begin{bmatrix} 0.0000E + 00 \\ -3.1333E - 05 \\ -2.0609E - 06 \\ -1.0672E - 07 \end{bmatrix}$$

h. Menghitung kecepatan ( $\dot{y}_2$ )

$$\dot{y}_2 = \dot{y}_1 + \Delta\dot{y}_1$$

$$\dot{y}_2 = \begin{bmatrix} -8.9367E - 03 \\ -9.7593E - 03 \\ -9.7983E - 03 \\ -9.7999E - 03 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -2.5288E - 02 \\ -2.9087E - 02 \\ -2.9382E - 02 \\ -2.9399E - 02 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -3.4225E - 02 \\ -3.8846E - 02 \\ -3.9180E - 02 \\ -3.9199E - 02 \end{bmatrix}$$

i. Menghitung percepatan ( $\ddot{y}_2$ )

$$\ddot{y}_2 = \ddot{y}_1 + \Delta\ddot{y}_1$$

$$\ddot{y}_2 = \begin{bmatrix} -1.7873404 \\ -1.9518592 \\ -1.9596684 \\ -1.9599806 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -1.4829435 \\ -1.9136641 \\ -1.9570533 \\ -1.9597612 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -3.2702839 \\ -3.8655233 \\ -3.9167217 \\ -3.9197418 \end{bmatrix}$$



j. Menghitung simpangan relatif.

Simpangna relatif dapat dilihat pada perhitungan simpangan ( $y_2$ ), yaitu :

1. *Base Isolation*,  $y = 0.0000+00$  cm
2. Tingkat 2  $y = -3.1333E - 05$  cm
3. Tingkat 3  $y = -2.0609E - 06$  cm
4. Tingkat 4  $y = -1.0672E - 07$  cm

k. Menghitung simpangan antar tingkat,  $yy$  (*interstorey drift*)

$$yy_j(t) = \frac{y_j(t)}{h} * 100\%$$

1. *Base Isolation*,  $yy_1 = \frac{Y_{\text{relatif Tingkat1}}}{\text{Tinggi Tingkat1}} * 100\%$

$$= \frac{0.000E + 00}{60} * 100\%$$
$$= 0.000E + 00\%$$

2. Tingkat 2,  $yy_2 = \frac{Y_{\text{relatif Tingkat2}}}{\text{Tinggi Tingkat2}} * 100\%$

$$= \frac{(-3.1333E - 05)}{400} * 100\%$$
$$= -7.8332E - 06\%$$

3. Tingkat 3,  $yy_3 = \frac{Y_{\text{relatif Tingkat3}}}{\text{Tinggi Tingkat3}} * 100\%$

$$= \frac{(-2.0609E - 06)}{400} * 100\%$$
$$= -5.1522E - 07\%$$

4. Tingkat 4,  $yy_4 = \frac{Y_{\text{relatif Tingkat4}}}{\text{Tinggi Tingkat4}} * 100\%$

$$= \frac{(-1.0672E - 07)}{400} * 100\%$$
$$= -2.6680E - 08\%$$

- l. Menghitung gaya horisontal tingkat (F)

Gaya horisontal tingkat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$F_j = y_j(t) * k_j$$

$$F_j = \begin{bmatrix} 0.0000E + 00 \\ -3.1333E - 05 \\ -3.3394E - 05 \\ -3.3500E - 05 \end{bmatrix} *$$

$$\begin{bmatrix} 182111.589 & -160781.25 & 0 & 0 \\ -160781.25 & 321562.5 & -160781.25 & 0 \\ 0 & -160781.25 & 321562.5 & -160781.25 \\ 0 & 0 & -160781.25 & 160781.25 \end{bmatrix}$$

$$F_j = \begin{bmatrix} 5.0377368 \\ -4.706385264 \\ -0.314193234 \\ -0.017158302 \end{bmatrix} \text{ kg}$$

- m. Menghitung gaya geser tingkat (V)

Gaya geser tingkat diperoleh dengan menjumlahkan gaya horisontal tingkat pada tingkat yang ditinjau, dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$V = \left( \sum_{j=1}^n F_j \right)$$

1. *Base Isolation*,  $V_1 = F_1 + F_2 + F_3 + F_4$

$$= (5.0377) + (-4.7063) + (-0.3141) + (-0.0171)$$

$$= 0 \text{ kg}$$

2. Tingkat 2,  $V_2 = F_2 + F_3 + F_4$

$$= (-4.7063) + (-0.3141) + (-0.0171)$$

$$= -5.0377 \text{ kg}$$

3. Tingkat 3,  $V_3 = F_3 + F_4$

$$= (-0.3141) + (-0.0171)$$

$$\approx -0.3313 \text{ kg}$$

4. Tingkat 4,  $V_4 = F_4$

$$= -0.0171 \text{ kg}$$

n. Menghitung momen guling (Mg)

Momen guling merupakan perkalian dari gaya horizontal tingkat dengan tinggi tingkat yang ditinjau, dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$M_g = \sum_{j=1}^n F_j * H_j$$

1. Dasar,  $M_{g0} = (F_1 * H_1) + (F_2 * H_2) + (F_3 * H_3) + (F_4 * H_4)$

$$= (5.0377 * 400) + (-4.7063 * 400) + (-0.3141 * 400) +$$

$$(0.0171 * 400)$$

$$= -2154.4986 \text{ kg.cm}$$

2. *Base Isolation*,  $M_{g1} = (F_2 * H_2) + (F_3 * H_3) + (F_4 * H_4)$

$$= (-4.7063 * 400) + (-0.3141 * 400) +$$

$$(0.0171 * 400)$$

$$= -2139.6315 \text{ kg.cm}$$

3. Tingkat 2,  $M_{g2} = (F_3 * H_3) + (F_4 * H_4)$

$$= (-0.31341 * 400) + (-0.017128 * 400)$$

$$= -139.4039 \text{ kg.cm}$$

4. Tingkat 3,  $M_{g3} = (F_4 * H_4)$

$$= (-0.017128 * 400)$$

$$= -6.8633 \text{ kg.cm}$$

5. Tingkat 4,  $M_{g4} = 0 \text{ kg.cm}$

**3. Langkah 3 (saat 0.03 detik)**

$$\Delta p_2 = (\ddot{y}_{b3} - \ddot{y}_{b2}) \begin{bmatrix} m_b \\ m_2 \\ m_3 \\ m_4 \end{bmatrix}$$

$$\Delta p_2 = (-5.88 - (-3.92)) \begin{bmatrix} 119.86 \\ 129.60 \\ 125.62 \\ 80.185 \end{bmatrix}$$

$$\Delta p_2 = \begin{bmatrix} -234.9256 \\ -254.016 \\ -246.2152 \\ -157.094 \end{bmatrix}$$

a. Menghitung pertambahan pembebanan  $(\hat{\Delta p}_2)$

$$\hat{\Delta p}_2 = \Delta p_2 + a * \dot{y}_2 + b * \ddot{y}_2$$

$$= \begin{bmatrix} -234.9256 \\ -254.016 \\ -246.2152 \\ -157.094 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -1.796E + 03 \\ -2.018E + 03 \\ -1.969E + 03 \\ -1.257E + 03 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -783.952456 \\ -1001.94363 \\ -984.037153 \\ -628.334603 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} -2814.4657 \\ -3274.4546 \\ -3199.1789 \\ -2042.1401 \end{bmatrix}$$

b. Menghitung pertambahan simpangan ( $\Delta y_2$ )

$$\hat{K} * \Delta y_2 = \hat{\Delta p}_2$$

$$\Delta y_2 = K^{-1} * \hat{\Delta p}_2$$

$$\Delta y_2 = \begin{bmatrix} 1.80618E-07 & 8.51605E-09 & 3.46886E-10 & 2.03346E-11 \\ 8.51605E-09 & 1.76975E-07 & 7.20876E-09 & 4.2258E-10 \\ 3.46886E-10 & 7.20876E-09 & 1.84317E-07 & 1.08047E-08 \\ 2.03346E-11 & 4.2258E-10 & 1.08047E-08 & 2.94264E-07 \end{bmatrix}$$

$$* \begin{bmatrix} -2814.4657 \\ -3274.4546 \\ -3199.1789 \\ -2042.1401 \end{bmatrix}$$

$$\Delta y_2 = \begin{bmatrix} -5.3738E-04 \\ -6.2739E-04 \\ -6.3631E-04 \\ -6.3694E-04 \end{bmatrix}$$

c. Menghitung pertambahan kecepatan ( $\Delta \dot{y}_2$ )

$$\Delta \dot{y}_2 = \frac{\gamma}{\beta * \Delta t} \Delta y_2 - \frac{\gamma}{\beta} \dot{y}_2 + (\Delta t) \left( 1 - \frac{\gamma}{2 * \beta} \right) \ddot{y}_2$$

$$\Delta \dot{y}_2 = \frac{0.5}{0.25 * 0.01} \begin{bmatrix} -5.3738E-04 \\ -6.2739E-04 \\ -6.3631E-04 \\ -6.3694E-04 \end{bmatrix} - \frac{0.5}{0.25} \begin{bmatrix} -3.4225E-02 \\ -3.8846E-02 \\ -3.9180E-02 \\ -3.9199E-02 \end{bmatrix}$$

$$+ (0.01) \left( 1 - \frac{0.5}{2 * 0.25} \right) \begin{bmatrix} -3.2702839 \\ -3.8655233 \\ -3.9167217 \\ -3.9197418 \end{bmatrix}$$

$$\Delta \dot{y}_2 = \begin{bmatrix} -3.9026E-02 \\ -4.7786E-02 \\ -4.8901E-02 \\ -4.8990E-02 \end{bmatrix}$$

d. Menghitung pertambahan percepatan ( $\Delta \ddot{y}_2$ )

$$\Delta \ddot{y}_2 = \frac{1}{\beta * (\Delta t)^2} \Delta y_2 - \frac{1}{\beta * \Delta t} \dot{y}_2 + (\Delta t) \frac{1}{2 * \beta} \ddot{y}_2$$

$$\Delta\ddot{y}_2 = \frac{1}{0.25 * (0.01)^2} \begin{bmatrix} -5.3738E-04 \\ -6.2739E-04 \\ -6.3631E-04 \\ -6.3694E-04 \end{bmatrix} - \frac{1}{0.25 * 0.01} \begin{bmatrix} -3.4225E-02 \\ -3.8846E-02 \\ -3.9180E-02 \\ -3.9199E-02 \end{bmatrix}$$

$$+ (0.01) \left( \frac{1}{2 * 0.25} \right) \begin{bmatrix} -3.2702839 \\ -3.8655233 \\ -3.9167217 \\ -3.9197418 \end{bmatrix}$$

$$\Delta\ddot{y}_2 = \begin{bmatrix} -1.2646499 \\ -1.8260983 \\ -1.9468328 \\ -1.95853 \end{bmatrix}$$

e. Menghitung pertambahan simpangan ( $y_3$ )

$$y_3 = y_2 + \Delta y_2$$

$$y_3 = \begin{bmatrix} -2.605E-04 \\ -2.918E-04 \\ -2.939E-04 \\ -2.940E-04 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -5.3738E-04 \\ -6.2739E-04 \\ -6.3631E-04 \\ -6.3694E-04 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -7.979E-04 \\ -9.192E-04 \\ -9.302E-04 \\ -9.309E-04 \end{bmatrix}$$

f. Menghitung simpangan netto  $y_n$

$$y_n = y_i(t) - y_{base}(t)$$

$$y_{21} = -7.979E-04 - (-7.979E-04) = 0$$

$$y_{22} = -9.192E-04 - (-7.979E-04) = -1.2134E-04$$

$$y_{23} = -9.302E-04 - (-7.979E-04) = -1.3232E-04$$

$$y_{24} = -9.309E-04 - (-7.979E-04) = -1.3306E-04$$

jika disusun dalam bentuk matrik maka,

$$y_n = \begin{bmatrix} 0.0000E+00 \\ -1.2134E-04 \\ -1.3232E-04 \\ -1.3306E-04 \end{bmatrix}$$

g. Menghitung simpangan relatif ( $y_r$ )

$$Y_r = y_i(t) - y_{i-1}(t)$$

$$y_{r21} = 0.000E + 00 - 0 = 0.000E + 00$$

$$y_{r22} = -1.2134E - 04 - 0.000E + 00 = -1.2134E - 04$$

$$y_{r23} = -1.3232E - 04 - (-1.2134E - 04) = -1.0980E - 05$$

$$y_{r24} = -1.3306E - 05 - (-1.3232E - 05) = -7.3237E - 07$$

jika disusun dalam bentuk matrik maka,

$$y_r = \begin{bmatrix} 0.0000E + 00 \\ -1.2134E - 04 \\ -1.0980E - 05 \\ -7.3237E - 07 \end{bmatrix}$$

h. Menghitung kecepatan ( $\dot{y}_3$ )

$$\dot{y}_3 = \dot{y}_2 + \Delta\dot{y}_2$$

$$\dot{y}_3 = \begin{bmatrix} -3.4225E - 02 \\ -3.8846E - 02 \\ -3.9180E - 02 \\ -3.9199E - 02 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -3.9026E - 02 \\ -4.7786E - 02 \\ -4.8901E - 02 \\ -4.8990E - 02 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -7.3251E - 02 \\ -8.6632E - 02 \\ -8.8082E - 02 \\ -8.8189E - 02 \end{bmatrix}$$

i. Menghitung percepatan ( $\ddot{y}_3$ )

$$\ddot{y}_3 = \ddot{y}_2 + \Delta\ddot{y}_2$$

$$\ddot{y}_3 = \begin{bmatrix} -3.2702839 \\ -3.8655233 \\ -3.9167217 \\ -3.9197418 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -1.2646499 \\ -1.8260983 \\ -1.9468328 \\ -1.95853 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -4.5349338 \\ -5.6916216 \\ -5.8635545 \\ -5.8782717 \end{bmatrix}$$

j. Menghitung simpangan relatif.

Simpangna relatif dapat dilihat pada perhitungan simpangan ( $y_2$ ), yaitu :

1. *Base Isolation*,  $y = -0.000E + 00$  cm

- 2. Tingkat 2  $y = -1.2134E - 04$  cm
- 3. Tingkat 3  $y = -1.0980E - 05$  cm
- 4. Tingkat 4  $y = -7.3237E - 07$  cm

k. Menghitung simpangan antar tingkat,  $yy$  (*interstorey drift*)

$$yy_j(t) = \frac{y_j(t)}{h} * 100\%$$

$$\begin{aligned}
 1. \text{ Base Isolation, } yy_1 &= \frac{\text{Yrelatif Tingkat1}}{\text{Tinggi Tingkat1}} * 100\% \\
 &= \frac{-0.000E + 00}{60} * 100\% \\
 &= -0.000E + 00\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 2. \text{ Tingkat 2, } yy_2 &= \frac{\text{Yrelatif Tingkat2}}{\text{Tinggi Tingkat2}} * 100\% \\
 &= \frac{(-1.2134E - 04)}{400} * 100\% \\
 &= -3.0336E - 05\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 3. \text{ Tingkat 3, } yy_3 &= \frac{\text{Yrelatif Tingkat3}}{\text{Tinggi Tingkat3}} * 100\% \\
 &= \frac{(-1.0980E - 05)}{400} * 100\% \\
 &= -2.7450E - 06\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 4. \text{ Tingkat 4, } yy_4 &= \frac{\text{Yrelatif Tingkat4}}{\text{Tinggi Tingkat4}} * 100\% \\
 &= \frac{(-7.3237E - 07)}{400} * 100\% \\
 &= -1.8309E - 07\%
 \end{aligned}$$

l. Menghitung gaya horisontal tingkat (F)

Gaya horisontal tingkat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$F_j = y_j(t) * k_j$$



$$F_j = \begin{bmatrix} 18211589 & -1607825 & 0 & 0 \\ -1607825 & 3215625 & -1607825 & 0 \\ 0 & -1607825 & 3215625 & -1607825 \\ 0 & 0 & -1607825 & 1607825 \end{bmatrix} *$$

$$\begin{bmatrix} 0.0000E + 00 \\ -1.2134E - 04 \\ -1.3232E - 04 \\ -1.3306E - 04 \end{bmatrix}$$

$$F_j = \begin{bmatrix} 19.50998264 \\ -17.74460256 \\ -1.647628661 \\ -0.117751424 \end{bmatrix} \text{ kg}$$

m. Menghitung gaya geser tingkat (V)

Gaya geser tingkat diperoleh dengan menjumlahkan gaya horisonta tingkat pada tingkat yang ditinjau, dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$V = \left( \sum_{j=1}^n F_j \right)$$

$$\begin{aligned} 1. \text{ Base Isolation, } V_1 &= F_1 + F_2 + F_3 + F_4 \\ &= 19.5099 + (-17.7466) + (-1.6476) + (-0.11775) \\ &= 0 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2. \text{ Tingkat 2, } V_2 &= F_2 + F_3 + F_4 \\ &= (-17.7466) + (-1.6476) + (-0.11775) \\ &= -19.5099 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 3. \text{ Tingkat 3, } V_3 &= F_3 + F_4 \\ &= (-1.6476) + (-0.11775) \\ &= -1.7653 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 4. \text{ Tingkat 4, } V_4 &= F_4 \\
 &= -0.1175 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

n. Menghitung momen guling (Mg)

Momen guling merupakan perkalian dari gaya horizontal tingkat dengan tinggi tingkat yang ditinjau, dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$M_g = \sum_{j=1}^n F_j * H_j$$

$$\begin{aligned}
 1. \text{ Dasar, } M_{g0} &= (F_1 * H_1) + (F_2 * H_2) + (F_3 * H_3) + (F_4 * H_4) \\
 &= (19.5099 * 400) + (-17.7466 * 400) + (-1.6476 * 400) \\
 &\quad + (-0.1175 * 400) \\
 &= -8557.2456 \text{ kg..cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 2. \text{ Base Isolation, } M_{g1} &= (F_2 * H_2) + (F_3 * H_3) + (F_4 * H_4) \\
 &= (-17.7466 * 400) + (-1.6476 * 400) \\
 &\quad + (-0.1175 * 400) \\
 &= -8557.2456 \text{ kg..cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 3. \text{ Tingkat 2, } M_{g2} &= (F_3 * H_3) + (F_4 * H_4) \\
 &= (-1.6476 * 400) + (-0.1175 * 400) \\
 &= -753.252 \text{ kg.cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 4. \text{ Tingkat 3, } M_{g3} &= (F_4 * H_4) \\
 &= (-0.1175 * 400) \\
 &= -47.1005 \text{ kg.cm}
 \end{aligned}$$

$$4. \text{ Tingkat 4, } M_{g4} = 0 \text{ kg.cm}$$

## B. Struktur tanpa menggunakan *base isolation* (tipikal)

Matrik massa dan matrik kekakuannya adalah sebagai berikut :

$$[M] = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_4 \end{bmatrix}$$

$$[M] = \begin{bmatrix} 119.86 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 129.60 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 125.62 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 80.15 \end{bmatrix}$$

$$[K] = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 & 0 \\ 0 & -k_3 & k_3 + k_4 & -k_4 \\ 0 & 0 & -k_4 & k_4 \end{bmatrix}$$

$$[K] = \begin{bmatrix} 321562.5 & -160781.25 & 0 & 0 \\ -160781.25 & 321562.5 & -160781.25 & 0 \\ 0 & -160781.25 & 321562.5 & -160781.25 \\ 0 & 0 & -160781.25 & 160781.25 \end{bmatrix}$$

### I. Mencari matrik redaman.

Matrik redaman diperoleh dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$c_n = \frac{2\xi_n}{\omega_n} * k_n$$

$$c_1 = \frac{2 * 0.05}{13.4519} * 160781.25 = 1195.22278$$

$$c_2 = \frac{2 * 0.05}{36.92445} * 160781.25 = 435.43301$$

$$c_3 = \frac{2 * 0.05}{56.50184} * 160781.25 = 284.55927$$

$$c_4 = \frac{2 * 0.05}{85.04026} * 160781.25 = 189.06485$$

$$[C] = \begin{bmatrix} c_1 + c_2 & -c_2 & 0 & 0 \\ -c_2 & c_2 + c_3 & -c_3 & 0 \\ 0 & -c_3 & c_3 + c_4 & -c_4 \\ 0 & 0 & -c_4 & c_4 \end{bmatrix}$$

$$[C] = \begin{bmatrix} 1630.65579 & -435.43301 & 0 & 0 \\ -435.43301 & 719.99229 & -284.55927 & 0 \\ 0 & -284.55927 & 473.62413 & -189.06485 \\ 0 & 0 & -189.06485 & 189.06485 \end{bmatrix}$$

## II. Mencari Kekakuan Efektif

Dalam mencari kekakuan efektif ditentukan dahulu nilai  $\gamma = \frac{1}{2}$  dan  $\beta = \frac{1}{4}$ , kemudian nilai kekakuan efektif dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\hat{K} = [K] + \frac{\gamma}{\beta + \Delta t} [C] + \frac{1}{\beta + (\Delta t)^2} [M]$$

$$[K] = \begin{bmatrix} 321562.5 & -160781.25 & 0 & 0 \\ -160781.25 & 321562.5 & -160781.25 & 0 \\ 0 & -160781.25 & 321562.5 & -160781.25 \\ 0 & 0 & -160781.25 & 160781.25 \end{bmatrix}$$

$$+ \frac{0.5}{0.25 + 0.01} \begin{bmatrix} 1630.65579 & -435.43301 & 0 & 0 \\ -435.43301 & 719.99229 & -284.55927 & 0 \\ 0 & -284.55927 & 473.62413 & -189.06485 \\ 0 & 0 & -189.06485 & 189.06485 \end{bmatrix}$$

$$+ \frac{1}{0.25 * (0.01)^2} \begin{bmatrix} 119.86 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 129.60 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 125.62 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 80.15 \end{bmatrix}$$

$$[K] = \begin{bmatrix} 5442093.659 & -160781.25 & 0 & 0 \\ -160781.25 & 5649560.959 & -160781.25 & 0 \\ 0 & -160781.25 & 5441087.327 & -160781.25 \\ 0 & 0 & -160781.25 & 3404594 \end{bmatrix}$$

Invers matrik kekakuan efektif :

$$K^{-1} = \begin{bmatrix} 1.83908E-07 & 5.23825E-09 & 1.55004E-10 & 7.32002E-12 \\ 5.23825E-09 & 1.77303E-07 & 5.24654E-09 & 2.47767E-10 \\ 1.55004E-10 & 5.24654E-09 & 1.84199E-07 & 8.69875E-09 \\ 7.32002E-12 & 2.47767E-10 & 8.69875E-09 & 2.94132E-07 \end{bmatrix}$$

### III. Mencari Konstanta “a”

$$a = \frac{1}{\beta * (\Delta t)^2} [M] + \frac{\gamma}{\beta} [C]$$

$$a = \frac{1}{0.25 * (0.01)^2} \begin{bmatrix} 119.86 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 129.60 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 125.62 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 80.15 \end{bmatrix} + \frac{0.5}{0.25} \begin{bmatrix} 1630.65579 & -435.43301 & 0 & 0 \\ -435.43301 & 719.99229 & -284.55927 & 0 \\ 0 & -284.55927 & 473.62413 & -189.06485 \\ 0 & 0 & -189.06485 & 189.06485 \end{bmatrix}$$

$$a = \begin{bmatrix} 51205.3116 & -870.8660 & 0 & 0 \\ -870.8660 & 53279.98459 & -569.118558 & 0 \\ 0 & -569.118558 & 51195.24827 & -378.12971 \\ 0 & 0 & -378.12971 & 32438.12971 \end{bmatrix}$$

### IV. Mencari Konstanta “b”

$$b = \frac{1}{2 * \beta} [M] + \left( \frac{\gamma}{2 * \beta} - 1 \right) [C]$$

$$b = \frac{1}{2 * 0.25} \begin{bmatrix} 119.86 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 129.60 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 125.62 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 80.15 \end{bmatrix}$$

$$+ \left( \frac{0.5}{2 * 0.25} - 1 \right) \begin{bmatrix} 1630.65579 & -435.43301 & 0 & 0 \\ -435.43301 & 719.99229 & -284.55927 & 0 \\ 0 & -284.55927 & 473.62413 & -189.06485 \\ 0 & 0 & -189.06485 & 189.06485 \end{bmatrix}$$

$$b = \begin{bmatrix} 239.72 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 259.2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 251.24 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 160.3 \end{bmatrix}$$

## V. Perhitungan Pembebanan

Perhitungan pembebanan menggunakan beban gempa Koyna, dimana percepatan gempa adalah sebagai berikut :

- Untuk selang waktu 0.01 detik = -1.96 cm/dt<sup>2</sup>
- Untuk selang waktu 0.02 detik = -3.92 cm/dt<sup>2</sup>
- Untuk selang waktu 0.03 detik = -5.88 cm/dt<sup>2</sup>

### 1. Langkah 1 (saat 0.01 detik)

Kondisi pertama diketahui  $y_0 = 0; \dot{y} = 0; \ddot{y} = 0$

$$\Delta p_0 = (\ddot{y}_{b1} - \ddot{y}_{b0}) \begin{bmatrix} m_b \\ m_2 \\ m_3 \\ m_4 \end{bmatrix}$$

$$\Delta p_0 = (-1.96 - 0) \begin{bmatrix} 119.86 \\ 129.60 \\ 125.62 \\ 80.15 \end{bmatrix}$$

$$\Delta p_0 = \begin{bmatrix} -234.9256 \\ -254.016 \\ -246.2152 \\ -157.094 \end{bmatrix}$$

a. Menghitung pertambahan pembebanan ( $\Delta P_0$ )

$$\Delta \hat{p}_0 = \Delta p_0 + a * \dot{y}_0 + b * \ddot{y}_0 = \begin{bmatrix} -234.9256 \\ -254.016 \\ -246.2152 \\ -157.094 \end{bmatrix}$$

b. Menghitung pertambahan simpangan ( $\Delta y_0$ )

$$\hat{K} * \Delta y_0 = \Delta \hat{p}_0$$

$$\Delta y_0 = \begin{bmatrix} -4.4575E - 05 \\ -4.7599E - 05 \\ -4.8088E - 05 \\ -4.8413E - 055 \end{bmatrix}$$

c. Menghitung pertambahan kecepatan ( $\Delta \dot{y}_0$ )

$$\Delta \dot{y}_0 = \frac{\gamma}{\beta * \Delta t} \Delta y_0 - \frac{\gamma}{\beta} \dot{y}_0 + (\Delta t) \left( 1 - \frac{\gamma}{2 * \beta} \right) \ddot{y}_0$$

$$\Delta \dot{y}_0 = \frac{0.5}{0.25 * 0.01} \begin{bmatrix} -4.4575E - 05 \\ -4.7599E - 05 \\ -4.8088E - 05 \\ -4.8413E - 05 \end{bmatrix} - \frac{0.5}{0.25} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + (0.01) \left( 1 - \frac{0.5}{2 * 0.25} \right) \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\Delta \dot{y}_0 = \begin{bmatrix} -8.9149E-03 \\ -9.5198E-03 \\ -9.6176E-03 \\ -9.6825E-03 \end{bmatrix}$$

d. Menghitung pertambahan percepatan ( $\Delta \ddot{y}_0$ )

$$\Delta \ddot{y}_0 = \frac{1}{\beta * (\Delta t)^2} \Delta y_0 - \frac{1}{\beta * \Delta t} \dot{y}_0 + (\Delta t) \frac{1}{2 * \beta} \ddot{y}_0$$

$$\Delta \ddot{y}_0 = \frac{1}{0.25 * (0.01)^2} \begin{bmatrix} -4.4575E-05 \\ -4.7599E-05 \\ -4.8088E-05 \\ -4.8413E-05 \end{bmatrix} - \frac{1}{0.25 * 0.01} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + (0.01) \frac{1}{2 * 0.25} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\Delta \ddot{y}_0 = \begin{bmatrix} -1.7829804 \\ -1.9039669 \\ -1.9235281 \\ -1.936509 \end{bmatrix}$$

e. Menghitung pertambahan simpangan ( $y_1$ )

$$y_1 = y_0 + \Delta y_0$$

$$y_1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -4.4575E-05 \\ -4.7599E-05 \\ -4.8088E-05 \\ -4.8413E-05 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -4.4575E-05 \\ -4.7599E-05 \\ -4.8088E-05 \\ -4.8413E-05 \end{bmatrix}$$

f. Menghitung simpangan relatif ( $y_r$ )

$$Y_r = y_i(t) - y_{i-1}(t)$$

$$y_{r21} = -4.4575E-05 - 0 = -4.4575E-05$$

$$y_{r22} = -4.7599E-05 - (-4.4575E-05) = -3.0247E-06$$

$$y_{r23} = -4.80883E-05 - (-4.7599E-05) = -4.8903E-07$$

$$y_{r24} = -4.8413E-05 - (-4.80883E-05) = -3.2452E-07$$



jika disusun dalam bentuk matrik maka,

$$y_r = \begin{bmatrix} -4.4575E-05 \\ -3.0247E-06 \\ -4.8903E-07 \\ -3.2452E-07 \end{bmatrix}$$

g. Menghitung kecepatan ( $\dot{y}_1$ )

$$\dot{y}_1 = \dot{y}_0 + \Delta\dot{y}_0$$

$$\dot{y}_1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -8.9149E-03 \\ -9.5198E-03 \\ -9.6176E-03 \\ -9.6825E-03 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -8.9149E-03 \\ -9.5198E-03 \\ -9.6176E-03 \\ -9.6825E-03 \end{bmatrix}$$

h. Menghitung percepatan ( $\ddot{y}_1$ )

$$\ddot{y}_1 = \ddot{y}_0 + \Delta\ddot{y}_0$$

$$\ddot{y}_1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -1.7829804 \\ -1.9039669 \\ -1.9235281 \\ -1.936509 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1.7829804 \\ -1.9039669 \\ -1.9235281 \\ -1.936509 \end{bmatrix}$$

i. Menghitung simpangan relatif.

Simpangan relatif dapat dilihat pada perhitungan simpangan ( $y_r$ ), yaitu :

1. Tingkat 1,  $y = -4.4575E - 05$  cm

2. Tingkat 2  $y = -3.0247E - 06$  cm

3. Tingkat 3  $y = -4.8903E - 07$ cm

4. Tingkat 4  $y = -3.2452E - 07$ cm

i. Menghitung simpangan antar tingkat,  $yy$  (*interstorey drift*)

$$yy_j(t) = \frac{yy_j(t)}{h} * 100\%$$

$$\begin{aligned}
1. \quad \text{Tingkat 1, } yy_1 &= \frac{\text{Yrelatif Tingkat1}}{\text{Tinggi Tingkat1}} * 100 \% \\
&= \frac{-4.4575E-05}{400} * 100 \% \\
&= -1.1144E-05 \% \\
2. \quad \text{Tingkat 2, } yy_2 &= \frac{\text{Yrelatif Tingkat2}}{\text{Tinggi Tingkat2}} * 100 \% \\
&= \frac{(-3.0247E-06)}{400} * 100 \% \\
&= -7.5617E-07 \% \\
3. \quad \text{Tingkat 3, } yy_3 &= \frac{\text{Yrelatif Tingkat3}}{\text{Tinggi Tingkat3}} * 100 \% \\
&= \frac{(-4.8903E-07)}{400} * 100 \% \\
&= -1.2226E-07 \% \\
4. \quad \text{Tingkat 4, } yy_4 &= \frac{\text{Yrelatif Tingkat4}}{\text{Tinggi Tingkat4}} * 100 \% \\
&= \frac{(-3.2452E-07)}{400} * 100 \% \\
&= -8.1130E-08 \%
\end{aligned}$$

j. Menghitung gaya horisontal tingkat (F)

Gaya horisontal tingkat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$F_j = y_j(t) * k_j$$

$$F_j = \begin{bmatrix} 321562.5 & -160781.25 & 0 & 0 \\ -160781.25 & 321562.5 & -160781.25 & 0 \\ 0 & -160781.25 & 321562.5 & -160781.25 \\ 0 & 0 & -160781.25 & 160781.25 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} -4.4575E-05 \\ -4.7599E-05 \\ -4.8088E-05 \\ -4.8413E-05 \end{bmatrix}$$

$$F_j = \begin{bmatrix} -6.68043 \\ -0.40768 \\ -0.02645 \\ -0.05217 \end{bmatrix} \text{ kg}$$

k. Menghitung gaya geser tingkat (V)

Gaya geser tingkat diperoleh dengan menjumlahkan gaya horisonta tingkat pada tingkat yang ditinjau, dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$V = \left( \sum_{j=1}^n F_j \right)$$

1. Tingkat 1,  $V_1 = F_1 + F_2 + F_3 + F_4$ 

$$= (-6.68043) + (-0.40768) + (-0.02645) + (-0.05217)$$

$$= -7.16674 \text{ kg}$$
2. Tingkat 2,  $V_2 = F_2 + F_3 + F_4$ 

$$= (-0.40768) + (-0.02645) + (-0.05217)$$

$$= -0.48630 \text{ kg}$$
3. Tingkat 3,  $V_3 = F_3 + F_4$ 

$$= (-0.02645) + (-0.05217)$$

$$= -0.07862 \text{ kg}$$
4. Tingkat 4,  $V_4 = F_4$ 

$$= -0.05217 \text{ kg}$$

l. Menghitung momen guling (Mg)

Momen guling merupakan perkalian dari gaya horizontal tingkat dengan tinggi tingkat yang ditinjau, dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$M_g = \sum_{j=1}^n F_j * H_j$$

1. Dasar,  $M_{g0} = (F_1 * H_1) + (F_2 * H_2) + (F_3 * H_3) + (F_4 * H_4)$

$$\begin{aligned}
&= (-6.68043*400)+(-0.40768*400)+(-0.02645*400)+ \\
&(-0.05217 *400) \\
&= -3113.5433 \text{ kg..cm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
2. \text{ Tingkat 1, } M_{g1} &= (F_2*H_2) + (F_3*H_3) + (F_4*H_4) \\
&= (-0.40768*400)+(-0.02645*400)+(-0.05217 *400) \\
&= -246.84520 \text{ kg..cm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
3. \text{ Tingkat 2, } M_{g2} &= (F_3*H_3) + (F_4*H_4) \\
&= (-0.02645*400)+(-0.05217 *400) \\
&= -52.32154 \text{ kg.cm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
4. \text{ Tingkat 3, } M_{g3} &= (F_4*H_4) \\
&= (-0.05217 *400) \\
&= -20.87076 \text{ kg.cm}
\end{aligned}$$

$$5. \text{ Tingkat 4, } M_{g4} = 0 \text{ kg.cm}$$

## 2. Langkah 2 (saat 0.02 detik)

$$\Delta p_1 = (\ddot{y}_{b2} - \ddot{y}_{b1}) \begin{bmatrix} m_b \\ m_2 \\ m_3 \\ m_4 \end{bmatrix}$$

$$\Delta p_1 = (-3.92 - (-1.96)) \begin{bmatrix} 119.86 \\ 129.60 \\ 125.62 \\ 80.15 \end{bmatrix}$$

$$\Delta p_1 = \begin{bmatrix} -234.9256 \\ -254.016 \\ -246.2152 \\ -157.094 \end{bmatrix}$$

a. Menghitung pertambahan pembebanan  $\left( \Delta \hat{p}_1 \right)$

$$\Delta \hat{p}_1 = \Delta p_1 + a * \dot{y}_1 + b * \ddot{y}_1$$

$$= \begin{bmatrix} -234.9256 \\ -254.016 \\ -246.2152 \\ -157.094 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -4.482E+02 \\ -4.940E+02 \\ -4.833E+02 \\ -3.104E+02 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -427.416055 \\ -493.508221 \\ -483.267206 \\ -310.422388 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} -1110.5415 \\ -1241.5036 \\ -1212.7807 \\ -777.96332 \end{bmatrix}$$

b. Menghitung pertambahan simpangan ( $\Delta y_1$ )

$$K * \Delta y_1 = \Delta \hat{p}_1$$

$$\Delta y_1 = K^{-1} * \Delta \hat{p}_1$$

$$\Delta y_1 = \begin{bmatrix} 1.83908E-07 & 5.23825E-09 & 1.55004E-10 & 7.32002E-12 \\ 5.23825E-09 & 1.77303E-07 & 5.24654E-09 & 2.47767E-10 \\ 1.55004E-10 & 5.24654E-09 & 1.84199E-07 & 8.69875E-09 \\ 7.32002E-12 & 2.47767E-10 & 8.69875E-09 & 2.94132E-07 \end{bmatrix}$$

$$* \begin{bmatrix} -1110.5415 \\ -1241.5036 \\ -1212.7807 \\ -777.96332 \end{bmatrix}$$

$$\Delta y_1 = \begin{bmatrix} -2.1093E-04 \\ -2.3250E-04 \\ -2.3685E-04 \\ -2.3969E-04 \end{bmatrix}$$

c. Menghitung pertambahan kecepatan ( $\Delta\dot{y}_1$ )

$$\Delta\dot{y}_1 = \frac{\gamma}{\beta * \Delta t} \Delta y_1 - \frac{\gamma}{\beta} \dot{y}_1 + (\Delta t) \left( 1 - \frac{\gamma}{2 * \beta} \right) \ddot{y}_1$$

$$\Delta\dot{y}_1 = \frac{0.5}{0.25 * 0.01} \begin{bmatrix} -2.1093E-04 \\ -2.3250E-04 \\ -2.3685E-04 \\ -2.3969E-04 \end{bmatrix} - \frac{0.5}{0.25} \begin{bmatrix} -8.9149E-03 \\ -9.5198E-03 \\ -9.6176E-03 \\ -9.6825E-03 \end{bmatrix}$$

$$+ (0.01) \left( 1 - \frac{0.5}{2 * 0.25} \right) \begin{bmatrix} -1.7829804 \\ -1.9039669 \\ -1.9235281 \\ -1.936509 \end{bmatrix}$$

$$\Delta\dot{y}_1 = \begin{bmatrix} -2.4357E-02 \\ -2.7459E-02 \\ -2.8134E-02 \\ -2.8573E-02 \end{bmatrix}$$

d. Menghitung pertambahan percepatan ( $\Delta\ddot{y}_1$ )

$$\Delta\ddot{y}_1 = \frac{1}{\beta * (\Delta t)^2} \Delta y_1 - \frac{1}{\beta * \Delta t} \dot{y}_1 + (\Delta t) \frac{1}{2 * \beta} \ddot{y}_1$$

$$\Delta\ddot{y}_1 = \frac{1}{0.25 * (0.01)^2} \begin{bmatrix} -2.1093E-04 \\ -2.3250E-04 \\ -2.3685E-04 \\ -2.3969E-04 \end{bmatrix} - \frac{1}{0.25 * 0.01} \begin{bmatrix} -8.9149E-03 \\ -9.5198E-03 \\ -9.6176E-03 \\ -9.6825E-03 \end{bmatrix}$$

$$+ (0.01) \left( \frac{1}{2 * 0.25} \right) \begin{bmatrix} -1.7829804 \\ -1.9039669 \\ -1.9235281 \\ -1.936509 \end{bmatrix}$$

$$\Delta\ddot{y}_1 = \begin{bmatrix} -1.3054373 \\ -1.6839573 \\ -1.779723 \\ -1.8415231 \end{bmatrix}$$

e. Menghitung pertambahan simpangan ( $y_2$ )

$$y_2 = y_1 + \Delta y_1$$

$$y_2 = \begin{bmatrix} -4.4575E-05 \\ -4.7599E-05 \\ -4.8088E-05 \\ -4.8413E-05 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -2.1093E-04 \\ -2.3250E-04 \\ -2.3685E-04 \\ -2.3969E-04 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -2.555E-04 \\ -2.801E-04 \\ -2.849E-04 \\ -2.881E-04 \end{bmatrix}$$

f. Menghitung simpangan relatif ( $y_r$ )

$$Y_r = y_i(t) - y_{i-1}(t)$$

$$y_{r21} = -2.555E-04 - 0 = -2.555E-04$$

$$y_{r22} = -2.801E-04 - (-2.555E-04) = -2.4586E-05$$

$$y_{r23} = -2.849E-04 - (-2.801E-04) = -4.8393E-06$$

$$y_{r24} = -2.881E-04 - (-2.849E-04) = -3.1676E-06$$

jika disusun dalam bentuk matrik maka,

$$y_r = \begin{bmatrix} -2.5551E-04 \\ -2.4586E-05 \\ -4.8393E-06 \\ -3.1676E-06 \end{bmatrix}$$

g. Menghitung kecepatan ( $\dot{y}_2$ )

$$\dot{y}_2 = \dot{y}_1 + \Delta \dot{y}_1$$

$$\dot{y}_2 = \begin{bmatrix} -8.9149E-03 \\ -9.5198E-03 \\ -9.6176E-03 \\ -9.6825E-03 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -2.4357E-02 \\ -2.7459E-02 \\ -2.8134E-02 \\ -2.8573E-02 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -3.3272E-02 \\ -3.6979E-02 \\ -3.7752E-02 \\ -3.8255E-02 \end{bmatrix}$$

h. Menghitung percepatan ( $\ddot{y}_2$ )

$$\ddot{y}_2 = \ddot{y}_1 + \Delta \ddot{y}_1$$

$$\ddot{y}_2 = \begin{bmatrix} -1.7829804 \\ -1.9039669 \\ -1.9235281 \\ -1.936509 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -1.3054373 \\ -1.6839573 \\ -1.779723 \\ -1.8415231 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -3.0884177 \\ -3.5879242 \\ -3.7032512 \\ -3.7780321 \end{bmatrix}$$

i. Menghitung simpangan relatif.

Simpangna relatif dapat dilihat pada perhitungan simpangan ( $y_r$ ), yaitu :

1. Tingkat 1,  $y = -2.555E - 04$  cm
2. Tingkat 2  $y = -2.4586E - 05$  cm
3. Tingkat 3  $y = -4.8393E - 06$  cm
4. Tingkat 4  $y = -3.1676E - 06$  cm

j. Menghitung simpangan antar tingkat,  $yy$  (*interstorey drift*)

$$yy_j(t) = \frac{yy_j(t)}{h} * 100\%$$

1. Tingkat 1,  $yy_1 = \frac{Y_{\text{relatif Tingkat1}}}{\text{Tinggi Tingkat1}} * 100\%$   
 $= \frac{-2.5551E - 04}{400} * 100\%$   
 $= -6.3877E - 05\%$
2. Tingkat 2,  $yy_2 = \frac{Y_{\text{relatif Tingkat2}}}{\text{Tinggi Tingkat2}} * 100\%$   
 $= \frac{(-2.4586E - 05)}{400} * 100\%$   
 $= -6.14658E - 06\%$
3. Tingkat 3,  $yy_3 = \frac{Y_{\text{relatif Tingkat3}}}{\text{Tinggi Tingkat3}} * 100\%$   
 $= \frac{(-4.8393E - 06)}{400} * 100\%$   
 $= -1.20982E - 06\%$



$$\begin{aligned}
4. \quad \text{Tingkat 4, } yy_4 &= \frac{\text{Yrelatif Tingkat4}}{\text{Tinggi Tingkat4}} * 100 \% \\
&= \frac{(-3.1676E - 06)}{400} * 100 \% \\
&= -7.91902E - 07 \%
\end{aligned}$$

k. Menghitung gaya horisontal tingkat (F)

Gaya horisontal tingkat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
F_j &= y_j(t) * k_j \\
F_j &= \begin{bmatrix} 321562.5 & -160781.25 & 0 & 0 \\ -160781.25 & 321562.5 & -160781.25 & 0 \\ 0 & -160781.25 & 321562.5 & -160781.25 \\ 0 & 0 & -160781.25 & 160781.25 \end{bmatrix} * \\
&\begin{bmatrix} -2.555E - 04 \\ -2.801E - 04 \\ -2.849E - 04 \\ -2.881E - 04 \end{bmatrix} \\
F_j &= \begin{bmatrix} -37.12795382 \\ -3.174950797 \\ -0.268776257 \\ -0.509291762 \end{bmatrix} \text{ kg}
\end{aligned}$$

l. Menghitung gaya geser tingkat (V)

Gaya geser tingkat diperoleh dengan menjumlahkan gaya horisontal tingkat pada tingkat yang ditinjau, dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$V = \left( \sum_{j=1}^n F_j \right)$$

$$\begin{aligned}
1. \quad \text{Tingkat 1, } V_1 &= F_1 + F_2 + F_3 + F_4 \\
&= (-37.1279) + (-3.1749) + (-0.2687) + (-0.5092) \\
&= -41.08097 \text{ kg}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
2. \text{ Tingkat 2, } V_2 &= F_2 + F_3 + F_4 \\
&= (-3.1749)+(-0.2687)+(-0.5092) \\
&= -3.9530 \text{ kg}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
3. \text{ Tingkat 3, } V_3 &= F_3 + F_4 \\
&= (-0.2687)+(-0.5092) \\
&= -0.7780 \text{ kg}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
4. \text{ Tingkat 4, } V_4 &= F_4 \\
&= -0.5092 \text{ kg}
\end{aligned}$$

m. Menghitung momen guling (Mg)

Momen guling merupakan perkalian dari gaya horizontal tingkat dengan tinggi tingkat yang ditinjau, dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$M_g = \sum_{j=1}^n F_j * H_j$$

$$\begin{aligned}
1. \text{ Dasar, } M_{g0} &= (F_1 * H_1) + (F_2 * H_2) + (F_3 * H_3) + (F_4 * H_4) \\
&= (-37.1279 * 400) + (-3.1749 * 400) + (-0.2687 * 400) \\
&\quad + (-0.5092 * 3400) \\
&= -18528.540 \text{ kg..cm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
2. \text{ Tingkat 1, } M_{g1} &= (F_2 * H_2) + (F_3 * H_3) + (F_4 * H_4) \\
&= (-3.1749 * 400) + (-0.2687 * 400) \\
&\quad + (-0.5092 * 3400) \\
&= -2096.151 \text{ kg..cm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
3. \text{ Tingkat 2, } M_{g2} &= (F_3 * H_3) + (F_4 * H_4) \\
&= (-0.2687 * 400) + (-0.5092 * 3400) \\
&= -514.9439 \text{ kg.cm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
4. \text{ Tingkat 3, } M_{g3} &= (F_4 * H_4) \\
&= (-0.5092 * 3400) \\
&= -203.7167 \text{ kg.cm}
\end{aligned}$$

$$5. \text{ Tingkat 4, } M_{g4} = 0 \text{ kg.cm}$$

### 3. Langkah 3 (saat 0.03 detik)

$$\Delta p_2 = (\ddot{y}_{b3} - \ddot{y}_{b2}) \begin{bmatrix} m_b \\ m_2 \\ m_3 \\ m_4 \end{bmatrix}$$

$$\Delta p_2 = (-5.58 - (-3.92)) \begin{bmatrix} 119.86 \\ 129.60 \\ 125.62 \\ 80.15 \end{bmatrix}$$

$$\Delta p_2 = \begin{bmatrix} -234.9256 \\ -254.016 \\ -246.2152 \\ -157.094 \end{bmatrix}$$

a. Menghitung pertambahan pembebanan  $(\hat{\Delta p}_2)$

$$\hat{\Delta p}_2 = \Delta p_2 + a * \dot{y}_2 + b * \ddot{y}_2$$

$$= \begin{bmatrix} -234.9256 \\ -254.016 \\ -246.2152 \\ -157.094 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -1.671E + 03 \\ -1.920E + 03 \\ -1.897E + 03 \\ -1.227E + 03 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -740.355484 \\ -929.989964 \\ -930.404825 \\ -605.618539 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} -2646.7747 \\ -3103.8015 \\ -3073.8083 \\ -1989.3663 \end{bmatrix}$$

b. Menghitung pertambahan simpangan ( $\Delta y_2$ )

$$\hat{K} * \Delta y_2 = \Delta \hat{p}_2$$

$$\Delta y_2 = K^{-1} * \Delta \hat{p}_2$$

$$\Delta y_2 = \begin{bmatrix} 1.83908E-07 & 5.23825E-09 & 1.55004E-10 & 7.32002E-12 \\ 5.23825E-09 & 1.77303E-07 & 5.24654E-09 & 2.47767E-10 \\ 1.55004E-10 & 5.24654E-09 & 1.84199E-07 & 8.69875E-09 \\ 7.32002E-12 & 2.47767E-10 & 8.69875E-09 & 2.94132E-07 \end{bmatrix}$$

$$* \begin{bmatrix} -2646.7747 \\ -3103.8015 \\ -3073.8083 \\ -1989.3663 \end{bmatrix}$$

$$\Delta y_2 = \begin{bmatrix} -5.0351E-04 \\ -5.8080E-04 \\ -6.0019E-04 \\ -6.1266E-04 \end{bmatrix}$$

c. Menghitung pertambahan kecepatan ( $\Delta \dot{y}_2$ )

$$\Delta \dot{y}_2 = \frac{\gamma}{\beta * \Delta t} \Delta y_2 - \frac{\gamma}{\beta} \dot{y}_2 + (\Delta t) \left( 1 - \frac{\gamma}{2 * \beta} \right) \ddot{y}_2$$

$$\Delta \dot{y}_2 = \frac{0.5}{0.25 * 0.01} \begin{bmatrix} -5.0351E-04 \\ -5.8080E-04 \\ -6.0019E-04 \\ -6.1266E-04 \end{bmatrix} - \frac{0.5}{0.25} \begin{bmatrix} -3.3272E-02 \\ -3.6979E-02 \\ -3.7752E-02 \\ -3.8255E-02 \end{bmatrix}$$

$$+ (0.01) \left( 1 - \frac{0.5}{2 * 0.25} \right) \begin{bmatrix} -3.0884177 \\ -3.5879242 \\ -3.7032512 \\ -3.7780321 \end{bmatrix}$$



$$\Delta \dot{y}_2 = \begin{bmatrix} -3.4158E-02 \\ -4.2201E-02 \\ -4.4535E-02 \\ -4.6022E-02 \end{bmatrix}$$

d. Menghitung pertambahan percepatan ( $\Delta \ddot{y}_2$ )

$$\Delta \ddot{y}_2 = \frac{1}{\beta * (\Delta t)^2} \Delta y_2 - \frac{1}{\beta * \Delta t} \dot{y}_2 + (\Delta t) \frac{1}{2 * \beta} \ddot{y}_2$$

$$\Delta \ddot{y}_2 = \frac{1}{0.25 * (0.01)^2} \begin{bmatrix} -5.0351E-04 \\ -5.8080E-04 \\ -6.0019E-04 \\ -6.1266E-04 \end{bmatrix} - \frac{1}{0.25 * 0.01} \begin{bmatrix} -3.3272E-02 \\ -3.6979E-02 \\ -3.7752E-02 \\ -3.8255E-02 \end{bmatrix}$$

$$+ (0.01) \left( \frac{1}{2 * 0.25} \right) \begin{bmatrix} -3.0884177 \\ -3.5879242 \\ -3.7032512 \\ -3.7780321 \end{bmatrix}$$

$$\Delta \ddot{y}_2 = \begin{bmatrix} -0.6548637 \\ -1.2643734 \\ -1.5005429 \\ -1.6483201 \end{bmatrix}$$

e. Menghitung pertambahan simpangan ( $y_3$ )

$$y_3 = y_2 + \Delta y_2$$

$$y_3 = \begin{bmatrix} -2.555E-04 \\ -2.801E-04 \\ -2.849E-04 \\ -2.881E-04 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -5.0351E-04 \\ -5.8080E-04 \\ -6.0019E-04 \\ -6.1266E-04 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -7.590E-04 \\ -8.609E-04 \\ -8.851E-04 \\ -9.008E-04 \end{bmatrix}$$

f. Menghitung simpangan relatif ( $y_r$ )

$$Y_r = y_i(t) - y_{i-1}(t)$$

$$y_{r31} = -7.590E-04 - 0 = -7.590E-04$$

$$y_{r32} = -8.609E-04 - (-7.590E-04) = -1.0187E-04$$

$$y_{r33} = -8.851E - 04 - (-8.609E - 04) = -2.4232E - 05$$

$$y_{r34} = -9.008E - 04 - (-8.851E - 04) = -1.5638E - 05$$

jika disusun dalam bentuk matrik maka,

$$y_r = \begin{bmatrix} -2.5551E - 04 \\ -2.4586E - 05 \\ -4.8393E - 06 \\ -3.1676E - 06 \end{bmatrix}$$

g. Menghitung kecepatan ( $\dot{y}_3$ )

$$\dot{y}_3 = \dot{y}_2 + \Delta\dot{y}_2$$

$$\dot{y}_3 = \begin{bmatrix} -3.3272E - 02 \\ -3.6979E - 02 \\ -3.7752E - 02 \\ -3.8255E - 02 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -3.4158E - 02 \\ -4.2201E - 02 \\ -4.4535E - 02 \\ -4.6022E - 02 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -6.7430E - 02 \\ -7.9180E - 02 \\ -8.2287E - 02 \\ -8.4277E - 02 \end{bmatrix}$$

h. Menghitung percepatan ( $\ddot{y}_3$ )

$$\ddot{y}_3 = \ddot{y}_2 + \Delta\ddot{y}_2$$

$$\ddot{y}_3 = \begin{bmatrix} -3.0884177 \\ -3.5879242 \\ -3.7032512 \\ -3.7780321 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -0.6548637 \\ -1.2643734 \\ -1.5005429 \\ -1.6483201 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -3.7432814 \\ -4.8522977 \\ -5.203794 \\ -5.4263521 \end{bmatrix}$$

i. Menghitung simpangan relatif.

Simpangan relatif dapat dilihat pada perhitungan simpangan ( $y_r$ ), yaitu :

1. Tingkat 1,  $y = -7.590E - 04$  cm
2. Tingkat 2  $y = -1.0187E - 04$ cm
3. Tingkat 3  $y = -2.4232E - 05$  cm
4. Tingkat 4  $y = -1.5638E - 05$  cm

j. Menghitung simpangan antar tingkat,  $yy$  (*interstorey drift*)

$$yy_j(t) = \frac{yy_j(t)}{h} * 100\%$$

$$1. \text{ Tingkat 1, } yy_1 = \frac{\text{Yrelatif Tingkat1}}{\text{Tinggi Tingkat1}} * 100\%$$

$$= \frac{-7.5902E-04}{400} * 100\%$$

$$= -1.8975E-04\%$$

$$2. \text{ Tingkat 2, } yy_2 = \frac{\text{Yrelatif Tingkat2}}{\text{Tinggi Tingkat2}} * 100\%$$

$$= \frac{(-1.0187E-04)}{400} * 100\%$$

$$= -2.54683E-05\%$$

$$3. \text{ Tingkat 3, } yy_3 = \frac{\text{Yrelatif Tingkat3}}{\text{Tinggi Tingkat3}} * 100\%$$

$$= \frac{(-2.4232E-05)}{400} * 100\%$$

$$= -6.05809E-06\%$$

$$4. \text{ Tingkat 4, } yy_4 = \frac{\text{Yrelatif Tingkat4}}{\text{Tinggi Tingkat4}} * 100\%$$

$$= \frac{(-1.5638E-05)}{400} * 100\%$$

$$= -3.90955E-06\%$$

k. Menghitung gaya horisontal tingkat (F)

Gaya horisontal tingkat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$F_j = y_j(t) * k_j$$

$$F_j = \begin{bmatrix} 3215625 & -16078125 & 0 & 0 \\ -16078125 & 3215625 & -16078125 & 0 \\ 0 & -16078125 & 3215625 & -16078125 \\ 0 & 0 & -16078125 & 16078125 \end{bmatrix} *$$

$$\begin{bmatrix} -7.590E-04 \\ -8.609E-04 \\ -8.851E-04 \\ -9.008E-04 \end{bmatrix}$$

$$F_j = \begin{bmatrix} -105.6568364 \\ -12.48322083 \\ -1.381776114 \\ -2.514330968 \end{bmatrix} \text{ kg}$$

1. Menghitung gaya geser tingkat (V)

Gaya geser tingkat diperoleh dengan menjumlahkan gaya horisonta tingkat pada tingkat yang ditinjau, dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$V = \left( \sum_{j=1}^n F_j \right)$$

1. Base Isolation,  $V_1 = F_1 + F_2 + F_3 + F_4$

$$= (-105.6568) + (-12.4832) + (-1.3817) + (-2.5143)$$

$$= -122.036 \text{ kg}$$

2. Tingkat 2,  $V_2 = F_2 + F_3 + F_4$

$$= (-12.4832) + (-1.3817) + (-2.5143)$$

$$= -16.379 \text{ kg}$$

3. Tingkat 3,  $V_3 = F_3 + F_4$

$$= (-1.3817) + (-2.5143)$$

$$= -3.8961 \text{ kg}$$

4. Tingkat 4,  $V_4 = F_4$

$$= -2.5143 \text{ kg}$$



m. Menghitung momen guling (Mg)

Momen guling merupakan perkalian dari gaya horizontal tingkat dengan tinggi tingkat yang ditinjau, dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$M_g = \sum_{j=1}^n F_j * H_j$$

$$\begin{aligned} 1. \text{ Dasar, } M_{g0} &= (F_1 * H_1) + (F_2 * H_2) + (F_3 * H_3) + (F_4 * H_4) \\ &= (-105.6568 * 4005) + (-12.4832 * 400) + (-1.3817 * 400) \\ &\quad + (-2.5143 * 400) \\ &= -57930.372 \text{ kg.cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2. \text{ Tingkat 1, } M_{g1} &= (F_2 * H_2) + (F_3 * H_3) + (F_4 * H_4) \\ &= (-12.4832 * 400) + (-1.3817 * 400) \\ &\quad + (-2.5143 * 400) \\ &= -9115.9063 \text{ kg.cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 3. \text{ Tingkat 2, } M_{g2} &= (F_3 * H_3) + (F_4 * H_4) \\ &= (-1.3817 * 400) + (-2.5143 * 400) \\ &= 2564.175 \text{ kg.cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 4. \text{ Tingkat 3, } M_{g3} &= (F_4 * H_4) \\ &= (-2.5143 * 400) \\ &= -1005.732 \text{ kg.cm} \end{aligned}$$

$$5. \text{ Tingkat 4, } M_{g4} = 0 \text{ kg.cm}$$

**TABEL PERBANDNGAN PERHITUNGAN MANUAL DENGAN PROGSIP 2006**

**1. STRUKTUR DENGAN *BASE ISOLATION***

Tingkat	Waktu	Simpangan Relatif (m)		
		Manual (MS. Excel)	PROGSIP 2006	Ketelitian (%)
4	0,01	-4,1669E-11	-4,3684E-11	-4,835661613
3	0,01	-8,8435E-10	-9,08889E-10	-2,774418817
2	0,01	-1,66129E-08	-1,63145E-08	1,795913859
<i>Base Isolation</i>	0,01	0	0	0
4	0,02	-6,3256E-10	-6,09092E-10	3,709304164
3	0,02	-9,4735E-09	-9,82186E-09	-3,67769429
2	0,02	-1,30529E-07	-1,27151E-07	2,588234663
<i>Base Isolation</i>	0,02	0	0	0
4	0,03	-4,1273E-09	-4,25004E-09	-2,973128839
3	0,03	-5,2325E-08	-5,34957E-08	-2,236767415
2	0,03	-5,23905E-07	-5,04813E-07	3,644126767
<i>Base Isolation</i>	0,03	0	0	0

Tingkat	Waktu	Simpangan Antar Tingkat (%)		
		Manual (MS. Excel)	PROGSIP 2006	Ketelitian (%)
4	0,01	-1,07E-09	-1,0921E-09	-2,327298812
3	0,01	-2,19E-08	-2,27222E-08	-3,71261942
2	0,01	-4,15322E-07	-4,07863E-07	1,795913859
<i>Base Isolation</i>	0,01	0	0	0
4	0,02	-1,4814E-08	-1,52273E-08	-2,790728736
3	0,02	-2,4184E-07	-2,45547E-07	-1,534144147
2	0,02	-3,26322E-06	-3,17876E-06	2,588234663
<i>Base Isolation</i>	0,02	0	0	0
4	0,03	-1,1093E-07	-1,06251E-07	4,214402007
3	0,03	-1,2950E-06	-1,33739E-06	-3,273215946
2	0,03	-1,2336E-05	-1,26203E-05	-2,30301218
<i>Base Isolation</i>	0,03	0	0	0

Tingkat	Waktu	Gaya Horisontal Tingkat (kg)		
		Manual (MS. Excel)	PROGSIP 2006	Ketelitian (%)
4	0,01	-8,95475E-06	-9,36476E-06	-4,578713603
3	0,01	-0,000181347	-0,000185478	-2,277996992
2	0,01	-0,003198989	-0,003302584	-3,238362263
<i>Base Isolation</i>	0,01	0,003612884	0,003497427	3,195696075
4	0,02	-0,000128583	-0,000130574	-1,548431711
3	0,02	-0,001891932	-0,001974987	-4,38996184
2	0,02	-0,026063853	-0,025152339	3,497234316
<i>Base Isolation</i>	0,02	0,026037737	0,0272579	-4,68613434
4	0,03	-0,000877514	-0,000911103	-3,827699011
3	0,03	-0,010476287	-0,010557027	-0,770701413
2	0,03	-0,092446026	-0,096751169	-4,656926766
<i>Base Isolation</i>	0,03	0,107099826	0,1082193	-1,045261454

Tingkat	Waktu	Gaya Geser Tingkat (kg)		
		Manual (MS. Excel)	PROGSIP 2006	Ketelitian (%)
4	0,01	-9,15475E-06	-9,36476E-06	-2,294026138
3	0,01	-0,000191895	-0,000194843	-1,536439503
2	0,01	-0,003612884	-0,003497427	3,195696075
<i>Base Isolation</i>	0,01	0	0	0
4	0,02	-0,000129158	-0,000130574	-1,09612674
3	0,02	-0,002213515	-0,002105561	4,877032881
2	0,02	-0,026377368	-0,0272579	-3,338210733
<i>Base Isolation</i>	0,02	0	0	0
4	0,03	-0,000877514	-0,000911103	-3,827699011
3	0,03	-0,011653801	-0,01146813	1,593218469
2	0,03	-0,105099826	-0,1082193	-2,968105
<i>Base Isolation</i>	0,03	0	0	0

Tingkat	Waktu	Momen Guling (t. m)		
		Manual (MS. Excel)	PROGSIP 2006	Ketelitian (%)
4	0,01	0	0	0
3	0,01	-3,86332E-06	-3,7459E-06	3,039246659
2	0,01	-8,39404E-05	-8,16831E-05	2,689104797
<i>Base Isolation</i>	0,01	-0,001454499	-0,001480654	-1,798240243
Dasar	0,01	-0,001514499	-0,001480654	2,234707818
4	0,02	0	0	0
3	0,02	-5,27101E-05	-5,22296E-05	0,911478141
2	0,02	-0,000853253	-0,000894454	-4,828770333
<i>Base Isolation</i>	0,02	-0,011585457	-0,011797614	-1,83124118
Dasar	0,02	-0,011572457	-0,011797614	-1,945634017
4	0,03	0	0	0
3	0,03	-0,000347715	-0,000364441	-4,81038811
2	0,03	-0,004781028	-0,004951693	-3,569634032
<i>Base Isolation</i>	0,03	-0,045380634	-0,048239413	-6,299557996
Dasar	0,03	-0,045816882	-0,048239413	-5,287420474

## 2. STRUKTUR TANPA BASE ISOLATION

Tingkat	Waktu	Simpangan Relatif (m)		
		Manual (MS. Excel)	PROGSIP 2006	Keteitian (%)
4	0,01	-9,2452E-11	-9,38404E-11	-1,501612026
3	0,01	-1,9231E-09	-1,98164E-09	-3,045976279
2	0,01	-3,7947E-08	-3,80745E-08	-0,337071281
1	0,01	-4,45745E-07	-4,49842E-07	-0,919189084
4	0,02	-1,3676E-09	-1,37384E-09	-0,455472109
3	0,02	-2,2393E-08	-2,27478E-08	-1,584434801
2	0,02	-3,15863E-07	-3,18593E-07	-0,864383966
1	0,02	-2,55508E-06	-2,59715E-06	-1,646144449
4	0,03	-1,0038E-08	-1,00657E-08	-0,27365857
3	0,03	-1,3232E-07	-1,31543E-07	0,58984437
2	0,03	-1,32E-06	-1,35708E-06	-2,908092373
1	0,03	-7,5902E-06	-7,81003E-06	-2,896211605

Tingkat	Waktu	Simpangan Antar Tingkat (%)		
		Manual (MS. Excel)	PROGSIP 2006	Keteitian (%)
4	0,01	-2,3130E-09	-2,34601E-09	-1,425875607
3	0,01	-4,9226E-08	-4,9541E-08	-0,640397352
2	0,01	-9,5217E-07	-9,51863E-07	0,031750775
1	0,01	-1,1144E-05	-1,12461E-05	-0,919189084
4	0,02	-3,4190E-08	-3,43459E-08	-0,455472109
3	0,02	-5,6298E-07	-5,68694E-07	-1,014523344
2	0,02	-7,9466E-06	-7,96484E-06	-0,229743701
1	0,02	-6,3877E-05	-6,49286E-05	-1,646144449
4	0,03	-2,6096E-07	-2,51642E-07	3,56890285
3	0,03	-3,1581E-06	-3,28857E-06	-4,131850827
2	0,03	-3,55E-05	-3,39271E-05	4,345424741
1	0,03	-1,90E-04	-0,000195251	-2,896211605

Tingkat	Waktu	Gaya horisontal Tingkat (kg)		
		Manual (MS. Excel)	PROGSIP 2006	Keteitian (%)
4	0,01	-2,07692E-05	-2,0117E-05	3,139893061
3	0,01	-0,0003945	-0,000404697	-2,584707493
2	0,01	-0,007682174	-0,007737415	-0,719077059
1	0,01	-0,086804362	-0,088272721	-1,691572725
4	0,02	-0,000279292	-0,000294516	-5,451029726
3	0,02	-0,004387763	-0,004582035	-4,427593366
2	0,02	-0,061749508	-0,063421918	-2,708378584
1	0,02	-0,471279538	-0,488464528	-3,646453593
4	0,03	-0,002214331	-0,00215783	2,55159262
3	0,03	-0,025817761	-0,026041694	-0,867359452
2	0,03	-0,234483221	-0,262725295	-12,04439011
1	0,03	-1,356568364	-1,383349713	-1,974198242

Tingkat	Waktu	Gaya Geser Tingkat (kg)		
		Manual (MS. Excel)	PROGSIP 2006	Keteitian (%)
4	0,01	-0,00050117	-0,000521769	-4,110146057
3	0,01	-0,000742481	-0,00078627	-5,897543687
2	0,01	-0,004816223	-0,004863091	-0,973135738
1	0,01	-0,079643495	-0,071667453	10,01468077
4	0,02	-0,005294516	-0,005092918	3,807683563
3	0,02	-0,007487655	-0,00778068	-3,913442818
2	0,02	-0,038829847	-0,039530188	-1,803615743
1	0,02	-0,4356763	-0,410809726	5,707579998
4	0,03	-0,025783026	-0,02514331	2,481153925
3	0,03	-0,038199524	-0,038961071	-1,993602388
2	0,03	-0,160924819	-0,163793279	-1,782484676
1	0,03	-1,274274532	-1,220361644	4,230869189

Tingkat	Waktu	Momen Guling (t. m)		
		Manual (MS. Excel)	PROGSIP 2006	Keteitian (%)
4	0,01	0	0	0
3	0,01	-8,07077E-06	-8,04681E-06	0,29679092
2	0,01	-0,000172322	-0,000177972	-3,27928574
1	0,01	-0,003468452	-0,003442864	0,737730027
Dasar	0,01	-0,043113543	-0,042016844	2,54374601
4	0,02	0	0	0
3	0,02	-0,000120372	-0,000117806	2,131111745
2	0,02	-0,002149439	-0,002068427	3,768999632
1	0,02	-0,029615144	-0,029387814	0,767612015
Dasar	0,02	-0,265285405	-0,252093013	4,972905152
4	0,03	0	0	0
3	0,03	-0,000832387	-0,000863132	-3,693579911
2	0,03	-0,012641752	-0,012142942	3,945737978
1	0,03	-0,125906386	-0,128512869	-2,07017587
Dasar	0,03	-0,793037213	-0,798222682	-0,653874667

## LISTING PROGRAM PROGSIP 2006

Option Explicit

' Deklarasikan variabel global

Public intJumlahTinggi As Integer

Public DenganBase As Boolean

Public intJumlahData As Integer

Public intJumlahBentang As Integer

Public decH1 As Double

Public decHN As Double

Public decMb As Double

Public decKb As Double

Public decQ1 As Double

Public decQN As Double

Public decQT1 As Double

Public decQTN As Double

Public decLTepi As Double

Public decLTengah As Double

Public decProfilKolomTepi, decProfilKolomTengah As Double

Public decProfilBalokTepi, decProfilBalokTengah As Double

Public decInertiaKolomTepi, decInertiaKolomTengah As Double

Public decKekakuanTepi, decKekakuanTengah As Double

Public decKekakuanTotal As Double

Public decKhh, decChh As Double

Public decSkalaGempa As Double

Public Const decG = 9.81

Public Const E = 2 \* 10 ^ 5

Public arrW() As Double

Public arrM() As Double

Public arrW0() As Double ' Omega

Public MatrikMassa() As Double

Public MatrikKekakuan() As Double

Public MatrikEigen() As Double

Public arrAkarPolinomial() As Double

Public decU0, decV0 As Double

Public decDR As Double

Public MatrikModeShape() As Double

Public MatrikInvModeShape() As Double

```
Dim filenumber As Integer
Public N dof As Integer, Dampratio As Single, Dt As Single, Tmax As Single, Sg,
LB, BTepi, Btengah, HTepi, HTengah, Jbentang, h() As Single, Mass() As Single,
KK() As Single, Pt() As Single
```

```
Public Sub SetVariabel()
OpenFile frmUtama.txtBentang.Text, N dof, Dampratio, Dt, Tmax, Sg, LB, BTepi,
Btengah, HTepi, HTengah, Jbentang, h(), Mass(), KK(), Pt()
```

```
intJumlahTinggi = N dof
intJumlahBentang = Jbentang
```

```
decH1 = h(N dof)
If DenganBase = True Then
decHN = h(2)
Else
decHN = h(2)
End If
```

```
decKb = KK(1)
decQ1 = 2500
decQN = 2000
decQT1 = 2500
decQTN = 2000
decLTepi = LB
decLTengah = LB
decProfilKolomTepi = HTepi
decProfilKolomTengah = HTengah
decProfilBalokTepi = BTepi
decProfilBalokTengah = Btengah
```

```
If DenganBase = True Then
'intJumlahTinggi = intJumlahTinggi + 1
intJumlahData = intJumlahTinggi + 1
' set panjang array w
ReDim arrW(intJumlahTinggi)
ReDim arrM(intJumlahTinggi)
Else
'intJumlahTinggi = intJumlahTinggi
intJumlahData = intJumlahTinggi
' set panjang array w
ReDim arrW(intJumlahTinggi)
ReDim arrM(intJumlahTinggi)
End If
decDR = Dampratio
```

```
End Sub
```

Public Sub CariW()

Dim i As Integer

If DenganBase = True Then

For i = 0 To intJumlahTinggi - 1

arrW(i) = (2 \* decProfilKolomTepi \* decHN) + ((intJumlahBentang - 1) \* decProfilKolomTengah \* decHN) + (2 \* decProfilBalokTepi \* decLTepi) + ((intJumlahBentang - 2) \* decProfilBalokTengah \* decLTengah) + (2 \* decQ1 \* decLTepi) + ((intJumlahBentang - 2) \* decQT1 \* decLTengah) + (2 \* decProfilKolomTepi \* decHN) + ((intJumlahBentang - 1) \* decProfilKolomTengah \* decHN)

Next i

arrW(intJumlahTinggi - 1) = (2 \* decProfilKolomTepi \* decHN / 2) + ((intJumlahBentang - 1) \* decProfilKolomTengah \* decHN / 2) + (2 \* decProfilBalokTepi \* decLTepi) + ((intJumlahBentang - 2) \* decProfilBalokTengah \* decLTengah) + (2 \* decQN \* decLTepi) + ((intJumlahBentang - 2) \* decQTN \* decLTengah)

Else

For i = 0 To intJumlahTinggi - 1

arrW(i) = (2 \* decProfilKolomTepi \* decHN) + ((intJumlahBentang - 1) \* decProfilKolomTengah \* decHN) + (2 \* decProfilBalokTepi \* decLTepi) + ((intJumlahBentang - 2) \* decProfilBalokTengah \* decLTengah) + (2 \* decQ1 \* decLTepi) + ((intJumlahBentang - 2) \* decQT1 \* decLTengah) + (2 \* decProfilKolomTepi \* decHN) + ((intJumlahBentang - 1) \* decProfilKolomTengah \* decHN)

Next i

arrW(intJumlahTinggi - 1) = (2 \* decProfilKolomTepi \* decHN / 2) + ((intJumlahBentang - 1) \* decProfilKolomTengah \* decHN / 2) + (2 \* decProfilBalokTepi \* decLTepi) + ((intJumlahBentang - 2) \* decProfilBalokTengah \* decLTengah) + (2 \* decQN \* decLTepi) + ((intJumlahBentang - 2) \* decQTN \* decLTengah)

End If

End Sub

Public Sub CariM()

Dim i As Integer

If DenganBase = True Then

For i = 0 To intJumlahTinggi - 1

arrM(i) = Format(Mass(i + 1), "0.#0")

Next i

Else



```

For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
    arrM(i) = Format(Mass(i + 1), "0.#0")
Next i
End If
End Sub

```

```

Public Sub CariK()
    decInertiaKolomTepi = (decProfilBalokTepi * (decProfilKolomTepi ^ 3)) / 12
    decInertiaKolomTengah = (decProfilBalokTengah * (decProfilKolomTengah ^
        3)) / 12
    decKekakuanTepi = (2 * 12 * E * decInertiaKolomTepi) / (decHN ^ 3)
    decKekakuanTengah = ((intJumlahBentang - 1) * 12 * E *
        decInertiaKolomTengah) / (decHN ^ 3)
    decKekakuanTotal = decKekakuanTepi + decKekakuanTengah
End Sub

```

```

Public Sub SetMatrikMassa()
    Dim i, j As Integer
    ReDim MatrikMassa(intJumlahTinggi, intJumlahTinggi)
    If DenganBase = True Then
        For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
            For j = 0 To intJumlahTinggi - 1
                If i = j Then
                    MatrikMassa(i, j) = arrM(i)
                Else
                    MatrikMassa(i, j) = 0
                End If
            Next j
        Next i
    Else
        For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
            For j = 0 To intJumlahTinggi - 1
                If i = j Then
                    MatrikMassa(i, j) = arrM(i)
                Else
                    MatrikMassa(i, j) = 0
                End If
            Next j
        Next i
    End If
End Sub

```

```

Public Sub SetMatrikKekakuan()
    Dim i, j As Integer
    ReDim MatrikKekakuan(intJumlahTinggi, intJumlahTinggi)
    If DenganBase = True Then
        For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
            If i = 0 Then
                MatrikKekakuan(i, i) = (KK(i + 1) + KK(i + 2))
                MatrikKekakuan(i + 1, i) = -KK(i + 2)
                MatrikKekakuan(i, i + 1) = -KK(i + 2)
            ElseIf i = intJumlahTinggi - 1 Then
                MatrikKekakuan(i, i) = KK(i)
            Else
                MatrikKekakuan(i, i) = 2 * KK(i + 1)
                If i < intJumlahTinggi Then
                    MatrikKekakuan(i + 1, i) = -KK(i + 1)
                    MatrikKekakuan(i, i + 1) = -KK(i + 1)
                End If
            End If
        Next i
    Else
        For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
            For j = 0 To intJumlahTinggi - 1
                If i = j Then
                    If i = 0 Then
                        MatrikKekakuan(i, j) = KK(i + 1) + KK(i + 2)
                    ElseIf i > 0 And i < intJumlahTinggi - 1 Then
                        MatrikKekakuan(i, j) = KK(i) + KK(i + 1)
                    Else
                        MatrikKekakuan(i, j) = KK(i + 1)
                    End If
                ElseIf (j - 1 = i) Or (i - 1 = j) Then
                    MatrikKekakuan(i, j) = -(KK(i + 1))
                Else
                    MatrikKekakuan(i, j) = 0
                End If
            Next j
        Next i
    End If
End Sub

```

```

Public Sub SetMatrikEigen()
    Dim i, j As Integer
    ReDim MatrikEigen(intJumlahTinggi, intJumlahTinggi)
    For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
        For j = 0 To intJumlahTinggi - 1
            MatrikEigen(i, j) = MatrikKekakuan(i, j) / MatrikMassa(i, i)
        Next j
    Next i

```

```
        Next j
    Next i
End Sub
```

```
Public Sub Jacobi(Mat, Optional MaxLoops)
```

```
End Sub
```

```
Public Sub ShowMatrik(Matrik() As Double, Optional strCaption As String =  
    "Matrik")
```

```
    frmMatrik.Caption = strCaption
```

```
    Dim i, j As Integer
```

```
    Dim lvItem As ListItem
```

```
    Dim lvSItem As ListSubItem
```

```
    Dim lvColHeader As ColumnHeader
```

```
    frmMatrik.lvMatrik.ListItems.Clear
```

```
    For i = 0 To UBound(Matrik) - 1
```

```
        Set lvColHeader = frmMatrik.lvMatrik.ColumnHeaders.Add(, "Colom " & i  
            + 1)
```

```
        Set lvItem = frmMatrik.lvMatrik.ListItems.Add(, Matrik(i, 0))
```

```
        For j = 1 To UBound(Matrik) - 1
```

```
            Set lvSItem = lvItem.ListSubItems.Add(, Matrik(i, j))
```

```
        Next j
```

```
    Next i
```

```
    frmMatrik.Show vbModal
```

```
End Sub
```

```
Public Sub ShowArray(Arr() As Double, Optional strCaption As String =  
    "Array")
```

```
    Dim lvSItem As ListSubItem
```

```
    frmMatrik.Caption = strCaption
```

```
    Dim i As Integer
```

```
    Dim lvItem As ListItem
```

```
    Dim lvColHeader As ColumnHeader
```

```
    Set lvColHeader = frmMatrik.lvMatrik.ColumnHeaders.Add
```

```
    lvColHeader.Text = "Colom 1"
```

```
    frmMatrik.lvMatrik.ListItems.Clear
```

```
    For i = 0 To UBound(Arr) - 1
```

```
        Set lvItem = frmMatrik.lvMatrik.ListItems.Add(, Arr(i))
```

```
    Next i
```

```
    frmMatrik.Show vbModal
```

```
End Sub
```

```

Public Sub ShowDataGempa()
    frmMatrik.Caption = "Data Gempa"
    Dim i, j As Integer
    Dim lvItem As ListViewItem
    Dim lvSIItem As ListSubItem
    Dim lvColHeader As ColumnHeader
    frmMatrik.lvMatrik.ListItems.Clear
    Set lvColHeader = frmMatrik.lvMatrik.ColumnHeaders.Add(, "Nama Data")
    Set lvColHeader = frmMatrik.lvMatrik.ColumnHeaders.Add(, "Data")
    For j = 0 To UBound(arrDataGempa) - 1
        Set lvItem = frmMatrik.lvMatrik.ListItems.Add(, "Data ke " & j + 1)
        Set lvSIItem = lvItem.ListSubItems.Add(, arrDataGempa(j))
    Next j
    frmMatrik.Show vbModal
End Sub

```

```

Public Sub OpenFile(FileName As String, Ndof As Integer, Dampratio As Single,
Dt As Single, Tmax As Single, Sg, LB, BTepi, Btengah, HTepi, HTengah,
Jbentang, h() As Single, Mass() As Single, KK() As Single, Pt() As Single)
    Dim N As Integer
    Dim Titles As String
    Dim i As Integer

```

```

Titles = ""

```

```

If FileName = "" Then
    Exit Sub
End If

```

```

ChDir App.Path
filenumber = FreeFile

```

```

Dim temp As String
Open FileName For Input As #filenumber
Input #filenumber, temp$
' Check file of type
Select Case UCase$(Left$(temp$, 7))
    Case "NRMDOFS"
        Line Input #filenumber, Titles$
        Input #filenumber, Titles$
        Input #filenumber, Ndof, Dampratio, Dt, Tmax, Sg, LB, BTepi, Btengah,
            HTepi, HTengah, Jbentang
        ReDim h(Ndof) As Single, Mass(Ndof) As Single, KK(Ndof) As Single
        Line Input #filenumber, temp$
        Input #filenumber, Titles$
        For i = 1 To Ndof

```

```
        Input #filenumber, N
        Input #filenumber, h(N), Mass(N), KK(N)
    Next i
```

```
        Case Else
            FileName = ""
        End Select
    Close #filenumber
End Sub
```

```
Public arrC() As Double
Public decCBase As Double
```

```
Public MatrikMassaN() As Double
Public MatrikRedamanN() As Double
Public MatrikKekakuanN() As Double
Public MatrikKekakuanEfektifN() As Double
Public MatrikAN() As Double
Public MatrikBN() As Double
```

```
Public MatrikHasilAkhir() As Double
Public MatrikSimpanganAkhir() As Double
Public MatrikKecepatanAkhir() As Double
Public MatrikPercepatanAkhir() As Double
```

```
Public Const decDeltaT = 0.01
Public Const decGamma = 0.5
Public Const decBeta = 0.25
Public arrDataGempa() As Double
Public arrKey() As Integer
Public Const decKW = 12398.049
```

```
Public decDataGempa As Double
Public arrY0() As Double
Public arrY1() As Double
Public arrY2() As Double
```

```
Public arrDeltaP0() As Double
Public arrDeltaP1() As Double
```

```
Public arrDeltaY0() As Double
Public arrDeltaY1() As Double
Public arrDeltaY2() As Double
```

```
Public arrY10() As Double
Public arrY11() As Double
```

Public arrY12() As Double

Public arrSimpanganNetto() As Double  
Public arrSimpanganTotal() As Double  
Public arrSimpanganRelatif() As Double  
Public arrYY() As Double  
Public arrF() As Double  
Public arrV() As Double  
Public arrMg() As Double

Dim myExcel As New Excel.Application  
Dim myBook As Excel.Workbook  
Dim mySheet As Excel.Worksheet  
Dim mySheet2 As Excel.Worksheet  
Dim mySheet3 As Excel.Worksheet  
Dim mySheet4 As Excel.Worksheet  
Dim mySheet5 As Excel.Worksheet  
Dim mySheet6 As Excel.Worksheet  
Dim mySheet7 As Excel.Worksheet  
Dim mySheet8 As Excel.Worksheet  
Dim mySheet9 As Excel.Worksheet  
Public strExcelFileName As String

Public iterasi As Integer  
Dim selisih As String

Dim fso As New FileSystemObject  
Dim rsCari As New ADODB.Recordset  
Private vBaris As String  
Private vRangeTabel As String  
Private vBawah As Integer  
Private iRow, iCol As Integer

Public Sub SetMatrikMassaN()  
    Dim i, j, k As Integer  
    Dim decTmp As Double  
    ReDim MatrikMassaN(intJumlahTinggi, intJumlahTinggi)  
    MatrikMassaN = MatrikMassa

End Sub

Public Sub SetMatrikKekakuanN()  
    Dim i, j, k As Integer  
    Dim decTmp As Double  
    ReDim MatrikKekakuanN(intJumlahTinggi, intJumlahTinggi)  
    For i = 0 To intJumlahTinggi - 1

```

    For j = 0 To intJumlahTinggi - 1
        MatrikKekakuanN(i, j) = 0
    Next j
Next i
If DenganBase = True Then
    For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
        If i = 0 Then
            MatrikKekakuanN(i, i) = (decKb + decKekakuanTotal + decKW)
            MatrikKekakuanN(i + 1, i) = -decKekakuanTotal
                MatrikKekakuanN(i, i + 1) = -decKekakuanTotal
        ElseIf i = intJumlahTinggi - 1 Then
            MatrikKekakuanN(i, i) = decKekakuanTotal
        Else
            MatrikKekakuanN(i, i) = 2 * decKekakuanTotal
            If i < intJumlahTinggi Then
                MatrikKekakuanN(i + 1, i) = -decKekakuanTotal
                MatrikKekakuanN(i, i + 1) = -decKekakuanTotal
            End If
        End If
    Next i
Else
    For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
        If i = 0 Then
            MatrikKekakuanN(i, i) = (decKekakuanTotal + decKekakuanTotal)
            MatrikKekakuanN(i + 1, i) = -decKekakuanTotal
            MatrikKekakuanN(i, i + 1) = -decKekakuanTotal
        ElseIf i = intJumlahTinggi - 1 Then
            MatrikKekakuanN(i, i) = decKekakuanTotal
        Else
            MatrikKekakuanN(i, i) = 2 * decKekakuanTotal
            If i < intJumlahTinggi Then
                MatrikKekakuanN(i + 1, i) = -decKekakuanTotal
                MatrikKekakuanN(i, i + 1) = -decKekakuanTotal
            End If
        End If
    Next i
End If
End Sub

```

```

Public Sub SetMatrikRedamanN()
    Dim i, j, k, Wpos As Integer
    Dim decTmp As Double
    Dim arrTmp() As Double
    ReDim arrTmp(intJumlahTinggi)
    Wpos = Round(((intJumlahTinggi) / 4) * 3) - 1
    If DenganBase = True Then

```

```

If frmUtama.optMasa.Value = True Then
    For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
        If i = 0 Then
            arrTmp(i) = (2 * Val(KonversiString(frmUtama.vRedaman)) *
                arrW0(i)) * arrM(i)
        End If

        If i > 0 Then
            arrTmp(i) = (2 * decDR * arrW0(i)) * arrM(i)
        End If
    Next i

ElseIf frmUtama.optKekakuan.Value = True Then
    For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
        If i = 0 Then
            decKb = KK(i + 1)
            arrTmp(i) = (2 * Val(KonversiString(frmUtama.vRedaman)) /
                arrW0(i)) * decKb
        End If

        If i > 0 Then
            arrTmp(i) = (2 * decDR / arrW0(i)) * KK(i + 1)
        End If
    Next i

ElseIf frmUtama.optKombinasi.Value = True Then
    For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
        If i = 0 Then
            decKb = KK(i + 1)
            decB = 2 * (arrW0(i) * Val(KonversiString(frmUtama.vRedaman))
                / arrW0(i) ^ 2)
            decA = (2 * Val(KonversiString(frmUtama.vRedaman)) *
                arrW0(i)) - (decB * arrW0(i) ^ 2)
            arrTmp(i) = decA * arrM(i) + decB * decKb
        End If

        If i > 0 Then
            decB = 2 * (decDR * arrW0(i + 1) - decDR * arrW0(i)) / (arrW0(i +
                1) ^ 2 - arrW0(i) ^ 2)
            decA = 2 * decDR * arrW0(i + 1) - decB * arrW0(i + 1) ^ 2
            arrTmp(i) = decA * arrM(i) + decB * KK(i + 1)
        End If
    Next i
End If

```



```

ReDim MatrikRedamanN(intJumlahTinggi, intJumlahTinggi)
  For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
    For j = 0 To intJumlahTinggi - 1
      MatrikRedamanN(i, j) = 0
    Next j
  Next i

  For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
    If i = (intJumlahTinggi - 1) Then
      MatrikRedamanN(intJumlahTinggi - 1, intJumlahTinggi - 1)
        = arrTmp(intJumlahTinggi - 1)
    Else
      MatrikRedamanN(i, i) = arrTmp(i) + arrTmp(i + 1)
      MatrikRedamanN(i, i + 1) = -arrTmp(i + 1)
      MatrikRedamanN(i + 1, i) = -arrTmp(i + 1)
    End If
  Next i
Else
  If frmUtama.optKekakuan.Value = True Then
    For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
      arrTmp(i) = (2 * decDR / arrW0(i)) * KK(i + 1)
    Next i
    ElseIf frmUtama.optMasa.Value = True Then
      For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
        arrTmp(i) = (2 * decDR * arrW0(i) * arrM(i))
      Next i
    ElseIf frmUtama.optKombinasi.Value = True Then
      For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
        decB = 2 * (decDR * arrW0(i + 1) - decDR * arrW0(i)) /
          (arrW0(i + 1) ^ 2 - arrW0(i) ^ 2)
        decA = 2 * decDR * arrW0(i + 1) - decB * arrW0(i + 1) ^
          2
        arrTmp(i) = decA * arrM(i) + decB * KK(i + 1)
      Next i
    End If

```

```

ReDim MatrikRedamanN(intJumlahTinggi, intJumlahTinggi)
  For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
    For j = 0 To intJumlahTinggi - 1
      MatrikRedamanN(i, j) = 0
    Next j
  Next i
  For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
    If i = (intJumlahTinggi - 1) Then
      MatrikRedamanN(intJumlahTinggi - 1, intJumlahTinggi - 1)
        = arrTmp(intJumlahTinggi - 1)

```

```

        Else
            MatrikRedamanN(i, i) = arrTmp(i) + arrTmp(i + 1)
            MatrikRedamanN(i, i + 1) = -arrTmp(i + 1)
            MatrikRedamanN(i + 1, i) = -arrTmp(i + 1)
        End If
    Next i
End If
End Sub

```

```

Public Sub SetMatrikKekakuanEfektifN()
    Dim i, j, k As Integer
    Dim decTmp As Double
    ReDim MatrikKekakuanEfektifN(intJumlahTinggi, intJumlahTinggi)
    For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
        For j = 0 To intJumlahTinggi - 1
            MatrikKekakuanEfektifN(i, j) = 0
        Next j
    Next i

    For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
        For j = 0 To intJumlahTinggi - 1
            MatrikKekakuanEfektifN(i, j) = MatrikKekakuanN(i, j) + ((decGamma /
                (decBeta * decDeltaT)) * MatrikRedamanN(i, j))
                + ((1 / (decBeta * (decDeltaT ^ 2))) *
                MatrikMassaN(i, j))

        Next j
    Next i
End Sub

```

```

Public Sub InvertMatrix(A() As Double)
    Dim MatrikIdentitas() As Double
    Dim i, j, k As Integer
    Dim decPembagi As Double
    Dim decPengali As Double
    ReDim MatrikIdentitas(UBound(A), UBound(A))
    For i = 0 To UBound(A) - 1
        For j = 0 To UBound(A) - 1
            If i = j Then
                MatrikIdentitas(i, j) = 1
            Else
                MatrikIdentitas(i, j) = 0
            End If
        Next j
    Next i
    For i = 0 To UBound(A) - 1
        decPembagi = 1 / A(i, i)
    Next i

```

```

    For j = 0 To UBound(A) - 1
        A(i, j) = A(i, j) * decPembagi
        MatrikIdentitas(i, j) = MatrikIdentitas(i, j) * decPembagi
    Next j
    For j = 0 To UBound(A) - 1
        If j <> i Then
            decPengali = -A(j, i)
            For k = 0 To UBound(A) - 1
                A(j, k) = (decPengali * A(i, k)) + A(j, k)
                MatrikIdentitas(j, k) = (decPengali * MatrikIdentitas(i, k)) +
                    MatrikIdentitas(j, k)
            Next k
        End If
    Next j
Next i
MatrikKekakuanEfektifN = MatrikIdentitas
End Sub

```

```

Public Function Sederhanakan(arrData() As Double)
Dim i, j As Integer
Dim tmp() As Double
ReDim tmp(UBound(arrData), UBound(arrData))

```

```

For i = 0 To UBound(arrData, 2) - 1
    For j = 0 To UBound(arrData, 1) - 1
        If arrData(i, j) <> 0 Then
            tmp(i, j) = arrData(i, j) / arrData(0, 0)
        Else
            tmp(i, j) = 0
        End If
    Next j
Next i

```

```

MatrikKekakuanEfektifN = tmp
End Function

```

```

Public Sub SetMatrikA()
    Dim i, j, k As Integer
    Dim decTmp As Double
    ReDim MatrikAN(intJumlahTinggi, intJumlahTinggi)
    For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
        For j = 0 To intJumlahTinggi - 1
            MatrikAN(i, j) = ((1 / (decBeta * decDeltaT)) * MatrikMassaN(i, j)) +
                ((decGamma / decBeta) * MatrikRedamanN(i, j))
        Next j
    Next i

```

```
Next i
End Sub
```

```
Public Sub SetMatrikB()
    Dim i, j, k As Integer
    Dim decTmp As Double
    ReDim MatrikBN(intJumlahTinggi, intJumlahTinggi)
    For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
        For j = 0 To intJumlahTinggi - 1
            MatrikBN(i, j) = ((1 / (2 * decBeta)) * MatrikMassaN(i, j)) + (decDeltaT
                * ((decGamma / (2 * decBeta)) - 1) *
                MatrikRedamanN(i, j))
        Next j
    Next i
End Sub
```

```
Public Sub Pembebanan()
    Dim i, j, x As Integer
    Dim Tmp1, Tmp2, Tmp3 As String
    ReDim arrY0(intJumlahTinggi), arrY1(intJumlahTinggi),
        arrY2(intJumlahTinggi)
    ReDim MatrikSimpanganAkhir(1600, intJumlahTinggi)
    ReDim MatrikKecepatanAkhir(1600, intJumlahTinggi)
    ReDim MatrikPercepatanAkhir(1600, intJumlahTinggi)
    ReDim MatrikHasilAkhir(1600, ((5 * (intJumlahTinggi)) + (intJumlahTinggi +
        1)))
    For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
        arrY0(i) = 0
        arrY1(i) = 0
        arrY2(i) = 0
    Next i
    iterasi = 0
    decDataGempa = arrDataGempa(0)

    For iterasi = 0 To 1600
        If DenganBase = True Then
            If frmUtama.optElastoplastis.Value = True Then
                If iterasi > 0 Then
                    If arrKey(iterasi) <> arrKey(iterasi - 1) Then
                        If arrKey(iterasi) = 0 Then
                            decKb = KK(1)
                            SetMatrikKekakuanN
                            SetMatrikKekakuanEfektifN
                            InvertMatrix MatrikKekakuanEfektifN
                        Else
                            decKb = KK(1) * (Val(KonversiString(frmUtama.Alpha)) / 100)
                        End If
                    End If
                End If
            End If
        End For
    End Sub
```

```

        SetMatrikKekakuanN
        SetMatrikKekakuanEfektifN
        InvertMatrix MatrikKekakuanEfektifN
    End If
End If
End If
End If
LangkahA
LangkahB
LangkahC
LangkahD
LangkahE
LangkahF
LangkahG
LangkahH
LangkahL
LangkahM
LangkahN
LangkahO
arrY0 = arrY10
arrY1 = arrY11
arrY2 = arrY12
Tmp1 = ""
Tmp2 = ""
Tmp3 = ""
For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
    MatrikSimpanganAkhir(iterasi, i) = arrY10(i)
    MatrikKecepatanAkhir(iterasi, i) = arrY11(i)
    MatrikPercepatanAkhir(iterasi, i) = arrY12(i)
    MatrikHasilAkhir(iterasi, i) = arrSimpanganNetto(i)
    MatrikHasilAkhir(iterasi, (i + (1 * intJumlahTinggi))) =
        arrSimpanganRelatif(i)
    MatrikHasilAkhir(iterasi, (i + (2 * intJumlahTinggi))) = arrYY(i)
    MatrikHasilAkhir(iterasi, (i + (3 * intJumlahTinggi))) = arrF(i)
    MatrikHasilAkhir(iterasi, (i + (4 * intJumlahTinggi))) = arrV(i)
Next i
For i = 0 To intJumlahTinggi
    MatrikHasilAkhir(iterasi, (i + (5 * intJumlahTinggi))) = arrMg(i)
Next i
decDataGempa = arrDataGempa(iterasi + 1) - arrDataGempa(iterasi)
Next iterasi
frmUtama.cd.DialogTitle = "Simpan Hasil Akhir Dalam Excel"
frmUtama.cd.InitDir = App.Path & "\Hasil Koe"
frmUtama.cd.Filter = "*.xls"
frmUtama.cd.FileName = ""

```

```

frmUtama.cd.ShowSave
strExcelFileName = frmUtama.cd.FileName
If fso.FileExists(strExcelFileName) Then
    x = MsgBox("File " & strExcelFileName & " Sudah ada" & vbCrLf &
        "Apakah akan di replace?", vbQuestion +
        vbYesNo, "Simpan File Excel")

    If x = 6 Then
        fso.DeleteFile strExcelFileName
    Else
        Exit Sub
    End If
End If
If Trim(strExcelFileName) <> "" Then
    Set myBook = myExcel.Workbooks.Add
    myBook.Worksheets.Add
    myBook.Worksheets.Add
    myBook.Worksheets.Add
    myBook.Worksheets.Add
    myBook.Worksheets.Add
    myBook.Worksheets.Add
    Set mySheet8 = myBook.Worksheets(1)
    mySheet8.Name = "Data"
    Set mySheet9 = myBook.Worksheets(2)
    mySheet9.Name = "Grafik"
    Set mySheet = myBook.Worksheets(3)
    mySheet.Name = "Hasil Perhitungan"
    Set mySheet2 = myBook.Worksheets(4)
    mySheet2.Name = "Hasil Mode Shape"
    Set mySheet3 = myBook.Worksheets(5)
    mySheet3.Name = "Simpangan"
    Set mySheet4 = myBook.Worksheets(6)
    mySheet4.Name = "kecepatan"
    Set mySheet5 = myBook.Worksheets(7)
    mySheet5.Name = "percepatan"
    Set mySheet6 = myBook.Worksheets(8)
    mySheet6.Name = "Omega"
    Set mySheet7 = myBook.Worksheets(9)
    mySheet7.Name = "Grafik Perhitungan"

    ExecQueryRO "Select * From t_data Order By t", rsCari
    If rsCari.RecordCount > 0 Then
        With myExcel
            frmUtama.pbExcel.Visible = True

            vBaris = "A"
            vBawah = 4
        End With
    End If
End If

```

```
JudulTabel myExcel, rsCari, vBaris, vBawah  
IsiExcel rsCari  
vRangeTabel = "A4:" & vBaris & vBawah - 1  
.Range(vRangeTabel).Select
```

```
GarisExcel myExcel  
buatGrafikData mySheet8, mySheet9, False
```

```
frmUtama.pbExcel.Visible = False  
End With  
End If
```

```
frmUtama.pbExcel.Visible = True
```

```
mySheet.Cells(1, 1) = "Iterasi"  
mySheet.Cells(1, 2) = "Simpangan Netto"  
mySheet.Cells(1, (intJumlahTinggi) * 1 + 2) = "Simpangan Relatif"  
mySheet.Cells(1, (intJumlahTinggi) * 2 + 2) = "Interstorey Drift"  
mySheet.Cells(1, (intJumlahTinggi) * 3 + 2) = "Gaya Horizontal Tingkat  
(F)"  
mySheet.Cells(1, (intJumlahTinggi) * 4 + 2) = "Gaya Geser Tingkat (V)"  
mySheet.Cells(1, (intJumlahTinggi) * 5 + 2) = "Momen Guling (Mg)"  
selisih = 0  
For i = 0 To 1600  
  DoEvents  
  mySheet.Cells(i + 2, 1) = CDbI(selisih)  
  mySheet3.Cells(i + 1, 1) = CDbI(selisih)  
  mySheet4.Cells(i + 1, 1) = CDbI(selisih)  
  mySheet5.Cells(i + 1, 1) = CDbI(selisih)  
  selisih = Val(KonversiString(selisih)) + 0.01  
  For j = 0 To intJumlahTinggi - 1  
    mySheet.Cells(i + 2, j + 2) = MatrikHasilAkhir(i, j)  
    mySheet.Cells(i + 2, (intJumlahTinggi * 1) + j + 2) =  
      MatrikHasilAkhir(i, j + (intJumlahTinggi * 1))  
    mySheet.Cells(i + 2, (intJumlahTinggi * 2) + j + 2) =  
      MatrikHasilAkhir(i, j + (intJumlahTinggi * 2))  
    mySheet.Cells(i + 2, (intJumlahTinggi * 3) + j + 2) =  
      MatrikHasilAkhir(i, j + (intJumlahTinggi * 3))  
    mySheet.Cells(i + 2, (intJumlahTinggi * 4) + j + 2) =  
      MatrikHasilAkhir(i, j + (intJumlahTinggi * 4))  
    mySheet3.Cells(i + 1, j + 2) = MatrikSimpanganAkhir(i, j)  
    mySheet4.Cells(i + 1, j + 2) = MatrikKecepatanAkhir(i, j)  
    mySheet5.Cells(i + 1, j + 2) = MatrikPercepatanAkhir(i, j)  
  Next j  
  For j = 0 To intJumlahTinggi
```

```

        mySheet.Cells(i + 2, (intJumlahTinggi * 5) + j + 2) =
            MatrikHasilAkhir(i, j + (intJumlahTinggi * 5))
    Next j
    frmUtama.pbExcel.Value = ((i + 1) / 1601) * 100
Next i

buatGrafik mySheet, mySheet7, intJumlahTinggi + 2, "Y", "Simpangan (m)",
    1, 1, False
buatGrafik mySheet, mySheet7, (intJumlahTinggi * 2) + 2, "yy", "Interstorey
    Drift (%)", 2, 1, True
buatGrafik mySheet, mySheet7, (intJumlahTinggi * 3) + 2, "F", "Gaya
    Horisontal Tingkat (kg)", 3, 2, False
buatGrafik mySheet, mySheet7, (intJumlahTinggi * 4) + 2, "V", "Gaya Geser
    (kg)", 4, 2, True
buatGrafik mySheet, mySheet7, (intJumlahTinggi * 5) + 2, "MG", "Momen
    Guling (t.m)", 5, 3, False
buatGrafik mySheet4, mySheet7, 2, "Y1", "Kecepatan (cm/dt)", 6, 3, True
buatGrafik mySheet5, mySheet7, 2, "Yx", "Percepatan (cm/dt2)", 7, 4, False
frmUtama.pbExcel.Visible = False
frmUtama.pbExcel.Visible = True

x = 1
For i = 2 To intJumlahTinggi + 1
    DoEvents
    mySheet2.Cells(1, i) = i - 2
    mySheet2.Cells(2, i) = 0
    For j = 1 To intJumlahTinggi
        DoEvents
        mySheet2.Cells(i + 1, j + 1) = MatrikModeShape(intJumlahTinggi + 2 -
            i, j)
        frmUtama.pbExcel.Value = Round((x / (intJumlahTinggi + 1) ^ 2) *
            100)

        x = x + 1
    Next j
Next i

mySheet2.Cells(1, intJumlahTinggi + 2) = intJumlahTinggi

BuatGrafikModeShape mySheet2, mySheet2

For i = 0 To UBound(arrW0)
    mySheet6.Cells(i + 1, 1) = "W(" & i & ")"
    mySheet6.Cells(i + 1, 2) = arrW0(i)
Next i
frmUtama.pbExcel.Visible = False

```



```

    myBook.SaveAs strExcelFileName
    ClearExcel
End If
End Sub

Private Sub buatGrafik(sheetSource As Excel.Worksheet, sheetDest As
    Excel.Worksheet, CelStart As Integer, Legend As
    String, title As String, graphKe As Integer, posisi
    As Integer, kanan As Boolean)

    Dim i As Integer

    sheetDest.Select
    myBook.Charts.Add
    myBook.ActiveChart.ChartType = xlXYScatterSmoothNoMarkers
    myBook.ActiveChart.SetSourceData sheetDest.Range("A1")

    For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
        myBook.ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries

        myBook.ActiveChart.SeriesCollection(i + 1).XValues = _
            sheetSource.Range(sheetSource.Cells(2, 1), _
            sheetSource.Cells(UBound(arrDataGempa) + 1, 1))

        myBook.ActiveChart.SeriesCollection(i + 1).Values = _
            sheetSource.Range(sheetSource.Cells(2, CelStart + i), _
            sheetSource.Cells(UBound(arrDataGempa) + 1, CelStart + i))

        myBook.ActiveChart.SeriesCollection(i + 1).Name = Legend + Trim(Str(i +
            1))
    Next i

    myBook.ActiveChart.Location xlLocationAsObject, "Grafik Perhitungan"
    With myBook.ActiveChart
        .HasTitle = True
        .ChartTitle.Characters.Text = ""
        .Axes(xlCategory, xlPrimary).HasTitle = True
        .Axes(xlCategory, xlPrimary).AxisTitle.Characters.Text = "Waktu (dt)"
        .Axes(xlValue, xlPrimary).HasTitle = True
        .Axes(xlValue, xlPrimary).AxisTitle.Characters.Text = title
    End With
    With myBook.ActiveChart.Axes(xlCategory)
        .HasMajorGridlines = False
        .HasMinorGridlines = False
    End With
    With myBook.ActiveChart.Axes(xlValue)

```

```

        .HasMajorGridlines = False
        .HasMinorGridlines = False
    End With
    myBook.ActiveChart.HasLegend = True
    myBook.ActiveChart.Legend.Font.Size = 6
    myBook.ActiveChart.Legend.Select
    myExcel.Selection.Position = xlBottom
    myBook.ActiveChart.ChartArea.Select
    myBook.ActiveChart.PlotArea.Select
        With myExcel.Selection.Border
            .Weight = 1
            .LineStyle = 0
        End With
    myExcel.Selection.ClearFormats
    myBook.ActiveSheet.ChartObjects("Chart " + Str(graphKe)).Activate
    myBook.ActiveChart.ChartArea.Select
    myBook.ActiveSheet.Shapes("Chart " + Str(graphKe)).IncrementTop (posisi -
        1) * 300#

    If kanan Then
        myBook.ActiveSheet.Shapes("Chart " + Str(graphKe)).IncrementLeft 245#
    Else
        myBook.ActiveSheet.Shapes("Chart " + Str(graphKe)).IncrementLeft -167#
    End If

    myBook.ActiveChart.Axes(xlValue).Select
    myExcel.Selection.TickLabels.AutoScaleFont = True
    With myExcel.Selection.TickLabels.Font
        .Name = "Arial"
        .FontStyle = "Regular"
        .Size = 7
        .Strikethrough = False
        .Superscript = False
        .Subscript = False
        .OutlineFont = False
        .Shadow = False
        .Underline = xlUnderlineStyleNone
        .ColorIndex = xlAutomatic
        .Background = xlAutomatic
    End With
    myBook.ActiveChart.Axes(xlCategory).Select
    myExcel.Selection.TickLabels.AutoScaleFont = True
    With myExcel.Selection.TickLabels.Font
        .Name = "Arial"
        .FontStyle = "Regular"
        .Size = 7

```

```

        .Strikethrough = False
        .Superscript = False
        .Subscript = False
        .OutlineFont = False
        .Shadow = False
        .Underline = xlUnderlineStyleNone
        .ColorIndex = xlAutomatic
        .Background = xlAutomatic
    End With
    myBook.ActiveChart.Axes(xlValue).AxisTitle.Select
    myExcel.Selection.Font.Bold = False
    myExcel.Selection.AutoScaleFont = True
    With myExcel.Selection.Font
        .Name = "Arial"
        .Size = 8
        .Strikethrough = False
        .Superscript = False
        .Subscript = False
        .OutlineFont = False
        .Shadow = False
        .Underline = xlUnderlineStyleNone
        .ColorIndex = xlAutomatic
        .Background = xlAutomatic
    End With
    myBook.ActiveChart.Axes(xlCategory).AxisTitle.Select
    myExcel.Selection.Font.Bold = False
    myExcel.Selection.AutoScaleFont = True
    With myExcel.Selection.Font
        .Name = "Arial"
        .Size = 8
        .Strikethrough = False
        .Superscript = False
        .Subscript = False
        .OutlineFont = False
        .Shadow = False
        .Underline = xlUnderlineStyleNone
        .ColorIndex = xlAutomatic
        .Background = xlAutomatic
    End With

End Sub

Public Sub InvertTop(arrSource, ByRef arrRes)
    Dim i, j As Integer

    ReDim arrRes(UBound(arrSource), UBound(arrSource))

```

```

For i = 0 To UBound(arrSource) - 1
    For j = 0 To UBound(arrSource) - 1
        arrRes(i, j) = arrSource(i, j) / arrSource(UBound(arrSource) - 1, j)
    Next j
Next i
End Sub

```

```

Private Sub BuatGrafikModeShape(sheetSource As Excel.Worksheet,
                                sheetDestination As Excel.Worksheet)

```

```

    Dim i As Integer

```

```

    sheetDestination.Select

```

```

    For i = 0 To UBound(MatrikModeShape, 2) - 1

```

```

        myExcel.Charts.Add

```

```

        myExcel.ActiveChart.ChartType = xlXYScatterSmooth

```

```

        myExcel.ActiveChart.SetSourceData sheetDestination.Range("A1")

```

```

        myExcel.ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries

```

```

        myExcel.ActiveChart.SeriesCollection(1).XValues = _
            sheetSource.Range(sheetSource.Cells(2, 2 + i), _
                sheetSource.Cells(intJumlahTinggi + 2, 2 + i))

```

```

        myExcel.ActiveChart.SeriesCollection(1).Values = _
            sheetSource.Range(sheetSource.Cells(1, 2), _
                sheetSource.Cells(1, intJumlahTinggi + 2))

```

```

        myExcel.ActiveChart.Location xlLocationAsObject, "Hasil Mode Shape"

```

```

        With myBook.ActiveChart

```

```

            .HasTitle = True

```

```

            .ChartTitle.Characters.Text = "Mode " + Str(i + 1)

```

```

            .Axes(xlCategory, xlPrimary).HasTitle = False

```

```

            .Axes(xlValue, xlPrimary).HasTitle = False

```

```

        End With

```

```

        With myBook.ActiveChart

```

```

            .HasAxis(xlCategory, xlPrimary) = True

```

```

            .HasAxis(xlValue, xlPrimary) = True

```

```

        End With

```

```

        With myBook.ActiveChart.Axes(xlCategory)

```

```

            .HasMajorGridlines = False

```

```

            .HasMinorGridlines = False

```

```

        End With

```

```

        With myBook.ActiveChart.Axes(xlValue)

```

```

            .HasMajorGridlines = False

```

```

            .HasMinorGridlines = False

```

```

        End With

```

```

myBook.ActiveChart.HasLegend = True
myBook.ActiveChart.Legend.Font.Size = 8
myBook.ActiveChart.Legend.Select
myExcel.Selection.Position = xlBottom
'geser posisi
myBook.ActiveChart.ChartArea.Select
myBook.ActiveSheet.ChartObjects("Chart " + Str(i + 1)).Activate
myBook.ActiveChart.ChartArea.Select
myBook.ActiveChart.PlotArea.Select
myExcel.Selection.ClearFormats
myExcel.ActiveWindow.Visible = False
myBook.ActiveSheet.ChartObjects("Chart " + Str(i + 1)).Activate
myBook.ActiveChart.ChartArea.Select
myBook.ActiveChart.Legend.Select
myExcel.Selection.Delete
myBook.ActiveChart.PlotArea.Select
myBook.ActiveChart.ChartArea.Select
With myExcel.Selection.Border
    .Weight = 2
    .LineStyle = -1
End With
myExcel.Selection.Interior.ColorIndex = xlNone
myExcel.ActiveWindow.Visible = False
myBook.ActiveSheet.ChartObjects("Chart " + Str(i + 1)).Activate
myBook.ActiveChart.ChartArea.Select
myBook.ActiveSheet.Shapes("Chart " + Str(i + 1)).Width = 100
With myExcel.Selection.Border
    .Weight = 1
    .LineStyle = 0
End With
myExcel.Selection.Interior.ColorIndex = xlNone
myExcel.ActiveWindow.Visible = False
myBook.ActiveSheet.ChartObjects("Chart " + Str(i + 1)).Activate
myBook.ActiveChart.PlotArea.Select
myBook.ActiveChart.ChartArea.Select
myBook.ActiveChart.PlotArea.Width = 100
myBook.ActiveChart.PlotArea.Top = 20
myBook.ActiveSheet.Shapes("Chart " + Str(i + 1)).IncrementLeft 120 * i
myBook.ActiveSheet.Shapes("Chart " + Str(i + 1)).IncrementTop 30
myBook.ActiveChart.ChartTitle.Select
myExcel.Selection.AutoScaleFont = True
With myExcel.Selection.Font
    .Name = "Arial"
    .Size = 8
    .Strikethrough = False
    .Superscript = False

```

```

        .Subscript = False
        .OutlineFont = False
        .Shadow = False
        .Underline = xlUnderlineStyleNone
        .ColorIndex = xlAutomatic
        .Background = xlAutomatic
    End With
    myBook.ActiveChart.Axes(xlValue).Select
    With myBook.ActiveChart.Axes(xlValue)
        .MinimumScaleIsAuto = True
        .MaximumScale = intJumlahTinggi
        .MinorUnitIsAuto = True
        .MajorUnitIsAuto = True
        .Crosses = xlAutomatic
        .ReversePlotOrder = False
        .ScaleType = xlLinear
        .DisplayUnit = xlNone
    End With
    myExcel.Selection.TickLabels.AutoScaleFont = True
    With myExcel.Selection.TickLabels.Font
        .Name = "Arial"
        .FontStyle = "Regular"
        .Size = 7
        .Strikethrough = False
        .Superscript = False
        .Subscript = False
        .OutlineFont = False
        .Shadow = False
        .Underline = xlUnderlineStyleNone
        .ColorIndex = xlAutomatic
        .Background = xlAutomatic
    End With
    myBook.ActiveChart.Axes(xlCategory).Select
    With myBook.ActiveChart.Axes(xlCategory)
        .MinimumScaleIsAuto = True
        .MaximumScaleIsAuto = True
        .MinorUnitIsAuto = True
        .MajorUnitIsAuto = 1
        .Crosses = xlAutomatic
        .ReversePlotOrder = False
        .ScaleType = xlLinear
        .DisplayUnit = xlNone
    End With
    myExcel.Selection.TickLabels.AutoScaleFont = True
    With myExcel.Selection.TickLabels.Font
        .Name = "Arial"

```

```

        .FontStyle = "Regular"
        .Size = 7
        .Strikethrough = False
        .Superscript = False
        .Subscript = False
        .OutlineFont = False
        .Shadow = False
        .Underline = xlUnderlineStyleNone
        .ColorIndex = xlAutomatic
        .Background = xlAutomatic
    End With
Next i
End Sub

```

```

Public Sub ClearExcel()
    On Error Resume Next
    myBook.Close
    myExcel.Quit
    Set myBook = Null
    Set mySheet = Null
    Set mySheet2 = Null
    Set mySheet3 = Null
    Set mySheet4 = Null
    Set mySheet5 = Null
    Set mySheet6 = Null
    Set mySheet7 = Null
    Set myExcel = Null
End Sub

```

```

Private Sub buatGrafikData(sheetSource As Excel.Worksheet, sheetDest As
                                Excel.Worksheet, Legend As String)

    Dim i As Integer

    sheetDest.Select
    myExcel.Charts.Add
    myExcel.ActiveChart.ChartType = xlXYScatterLinesNoMarkers
    myExcel.ActiveChart.SetSourceData sheetDest.Range("A1")
    myExcel.ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
    myExcel.ActiveChart.SeriesCollection(1).XValues =
                                sheetSource.Range("C5:C" & vBawah - 1)
    myExcel.ActiveChart.SeriesCollection(1).Values = sheetSource.Range("F5:F"
                                & vBawah - 1)
    myExcel.ActiveChart.Location xlLocationAsObject, "Grafik"
    myExcel.ActiveChart.HasLegend = False
End Sub

```

```

Private Sub IsiExcel(rcrdst As ADODB.Recordset)
    vBaris = "M"
    vBawah = 5 + rsCari.RecordCount

    myExcel.Cells(5, 1).CopyFromRecordset rsCari
End Sub

```

Option Explicit

```

Public Sub LangkahA()
    Dim i, j As Integer
    Dim decTemp, decTemp1 As Double
    ReDim arrDeltaP0(intJumlahTinggi)
    ReDim arrDeltaP1(intJumlahTinggi)
    If DenganBase = True Then
        For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
            arrDeltaP0(i) = (decDataGempa) * MatrikMassaN(i, i)
        Next i
        decTemp = 0
        For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
            decTemp = decTemp + arrM(i)
        Next i
        For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
            decTemp = 0
            For j = 0 To intJumlahTinggi - 1
                decTemp = decTemp + (MatrikAN(i, j) * arrY1(j))
            Next j
            decTemp1 = 0
            For j = 0 To intJumlahTinggi - 1
                decTemp1 = decTemp1 + (MatrikBN(i, j) * arrY2(j))
            Next j
            arrDeltaP1(i) = arrDeltaP0(i) + decTemp + decTemp1
        Next i
    Else
        For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
            arrDeltaP0(i) = (decDataGempa) * MatrikMassaN(i, i)
        Next i
        decTemp = 0
        For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
            decTemp = decTemp + arrM(i)
        Next i
        For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
            decTemp = 0
            For j = 0 To intJumlahTinggi - 1
                decTemp = decTemp + (MatrikAN(i, j) * arrY1(j))
            Next j
        Next i
    End If
End Sub

```



```

    decTemp1 = 0
    For j = 0 To intJumlahTinggi - 1
        decTemp1 = decTemp1 + (MatrikBN(i, j) * arrY2(j))
    Next j
    arrDeltaP1(i) = arrDeltaP0(i) + decTemp + decTemp1
Next i
End If
End Sub

```

```

Public Sub LangkahB()
    Dim decTemp As Double
    ReDim arrDeltaY0(intJumlahTinggi)
    Dim i, j As Integer
    For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
        decTemp = 0
        For j = 0 To intJumlahTinggi - 1
            decTemp = decTemp + (MatrikKekakuanEfektifN(i, j) * arrDeltaP1(j))
        Next j
        arrDeltaY0(i) = decTemp
    Next i
End Sub

```

```

Public Sub LangkahC()
    Dim i As Integer
    ReDim arrDeltaY1(intJumlahTinggi)
    For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
        arrDeltaY1(i) = ((decGamma / (decBeta * decDeltaT)) * arrDeltaY0(i)) -
            ((decGamma / decBeta) * arrY1(i)) + (decDeltaT * (1 -
            (decGamma / (2 * decBeta))) * arrY2(i))
    Next i
End Sub

```

```

Public Sub LangkahD()
    Dim i As Integer
    ReDim arrDeltaY2(intJumlahTinggi)
    For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
        arrDeltaY2(i) = ((1 / (decBeta * (decDeltaT ^ 2))) * arrDeltaY0(i)) - ((1 /
            (decBeta * decDeltaT)) * arrY1(i)) - ((1 / (2 *
            decBeta)) * arrY2(i))
    Next i
End Sub

```

```

Public Sub LangkahE()
    Dim i As Integer
    ReDim arrY10(intJumlahTinggi)
    For i = 0 To intJumlahTinggi - 1

```

```
arrY10(i) = (arrY0(i) + arrDeltaY0(i))
Next i
End Sub
```

```
Public Sub LangkahF()
    Dim i As Integer
    ReDim arrY11(intJumlahTinggi)
    For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
        arrY11(i) = (arrY1(i) + arrDeltaY1(i))
    Next i
End Sub
```

```
Public Sub LangkahG()
    Dim i As Integer
    ReDim arrY12(intJumlahTinggi)
    For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
        arrY12(i) = (arrY2(i) + arrDeltaY2(i))
    Next i
End Sub
```

```
Public Sub LangkahH()
    Dim i As Integer
    ReDim arrSimpanganNetto(intJumlahTinggi)
    ReDim arrSimpanganTotal(intJumlahTinggi)
    ReDim arrSimpanganRelatif(intJumlahTinggi)
    If DenganBase = True Then
        For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
            arrSimpanganNetto(i) = arrY10(i)
            If i = 0 Then
                arrSimpanganTotal(i) = arrY10(i) - arrY10(i)
            ElseIf i > 0 Then
                arrSimpanganTotal(i) = arrY10(i) - arrY10(0)
            End If
            If i = 0 Then
                arrSimpanganRelatif(i) = arrSimpanganTotal(i) - 0
            ElseIf i > 0 Then
                arrSimpanganRelatif(i) = arrSimpanganTotal(i) - arrSimpanganTotal(i - 1)
            End If
        Next i
        arrSimpanganNetto(intJumlahTinggi - 1) = arrY10(intJumlahTinggi - 1)
    Else
        For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
            arrSimpanganNetto(i) = arrY10(i)
            If i = 0 Then
                arrSimpanganRelatif(i) = arrY10(i) - 0
            ElseIf i > 0 Then
```

```

        arrSimpanganRelatif(i) = arrY10(i) - arrY10(i - 1)
    End If
Next i
arrSimpanganNetto(intJumlahTinggi - 1) = arrY10(intJumlahTinggi - 1)
End If
End Sub

```

```

Public Sub LangkahL()
    ReDim arrYY(intJumlahTinggi)
    Dim i As Integer
    For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
        If i = 0 Then
            arrYY(i) = arrSimpanganRelatif(i) / decHN * 100 * 100
        ElseIf i > 0 Then
            arrYY(i) = arrSimpanganRelatif(i) / decHN * 100 * 100
        End If
    Next i

```

```

End Sub

```

```

Public Sub LangkahM()
    ReDim arrF(intJumlahTinggi)
    Dim i, j As Integer
    Dim decTmp As Double
    If DenganBase = True Then
        For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
            decTmp = 0
            For j = 0 To intJumlahTinggi - 1
                decTmp = decTmp + (MatrikKekakuanN(i, j)) * (arrSimpanganTotal(j))
            Next j
            arrF(i) = decTmp
        Next i
    Else
        For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
            decTmp = 0
            For j = 0 To intJumlahTinggi - 1
                decTmp = decTmp + (MatrikKekakuanN(i, j)) * (arrSimpanganNetto(j))
            Next j
            arrF(i) = decTmp
        Next i
    End If
End Sub

```

```

Public Sub LangkahN()
    ReDim arrV(intJumlahTinggi)
    Dim i, j As Integer
    Dim decTmp As Double
        For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
            decTmp = 0
            For j = i To intJumlahTinggi - 1
                decTmp = decTmp + arrF(j)
            Next j
            arrV(i) = decTmp
        Next i
End Sub

```

```

Public Sub LangkahO()
    ReDim arrMg(intJumlahTinggi + 1)
    Dim i, j As Integer
    Dim decTmp, decTmp1 As Double
    decTmp1 = decH1
    decTmp = arrF(0) * decTmp1
        For i = 1 To intJumlahTinggi - 1
            decTmp1 = decTmp1 + decHN
            decTmp = decTmp + (arrF(i) * decTmp1)
        Next i
    arrMg(0) = decTmp
    For i = 1 To intJumlahTinggi - 1
        decTmp = 0
        decTmp1 = 0
        For j = i To intJumlahTinggi - 1
            decTmp1 = decTmp1 + decHN
            decTmp = decTmp + (arrF(j) * decTmp1)
        Next j
        arrMg(i) = decTmp
    Next i
    arrMg(intJumlahTinggi) = 0

```

End Sub

```

Public Sub KaliMatrik(A(), B(), C() As Double)
    Dim i, j, k As Integer
    Dim decTemp As Double
    Dim MatrikHasil() As Double
    ReDim MatrikHasil(UBound(B), UBound(B))
    For i = 0 To UBound(B) - 1
        For j = 0 To UBound(B) - 1
            decTemp = 0

```

```

        For k = 0 To UBound(B) - 1
            decTemp = decTemp + (A(i, k) * B(j, k))
        Next k
        MatrikHasil(i, j) = decTemp
    Next j
Next i
C = MatrikHasil
End Sub

Public Sub JudulTabel(vXlObj As Excel.Application, rcrdst As
                    ADODB.Recordset, vBrs As String, vAwal As
                    Integer)

    Dim iCol As Integer
    If rcrdst.RecordCount > 0 Then
        For iCol = 0 To rcrdst.Fields.Count - 1
            vXlObj.Range(Chr(Asc(vBrs)) & vAwal).Select
            vXlObj.ActiveCell.FormulaR1C1 = rcrdst.Fields(iCol).Name
            With vXlObj.Selection
                .Font.Name = "Arial"
                .Font.Size = 10
                .Font.Bold = True
                .Merge
                .HorizontalAlignment = xlCenter
                .VerticalAlignment = xlCenter
                .WrapText = True
                .ShrinkToFit = True
            End With
            vXlObj.Rows(vAwal & ":" & vAwal).RowHeight = 40
            vBrs = Chr(Asc(vBrs) + 1)
        Next iCol
    End If
End Sub

Public Sub GarisExcel(vXlObj As Excel.Application)
    vXlObj.Selection.Borders(xlDiagonalDown).LineStyle = xlNone
    vXlObj.Selection.Borders(xlDiagonalUp).LineStyle = xlNone
    With vXlObj.Selection.Borders(xlEdgeLeft)
        .LineStyle = xlContinuous
        .Weight = xlThin
        .ColorIndex = xlAutomatic
    End With
    With vXlObj.Selection.Borders(xlEdgeTop)
        .LineStyle = xlContinuous
        .Weight = xlThin
        .ColorIndex = xlAutomatic
    End With

```

```

With vXIObj.Selection.Borders(xlEdgeBottom)
    .LineStyle = xlContinuous
    .Weight = xlThin
    .ColorIndex = xlAutomatic
End With
With vXIObj.Selection.Borders(xlEdgeRight)
    .LineStyle = xlContinuous
    .Weight = xlThin
    .ColorIndex = xlAutomatic
End With
With vXIObj.Selection.Borders(xlInsideVertical)
    .LineStyle = xlContinuous
    .Weight = xlThin
    .ColorIndex = xlAutomatic
End With
With vXIObj.Selection.Borders(xlInsideHorizontal)
    .LineStyle = xlContinuous
    .Weight = xlThin
    .ColorIndex = xlAutomatic
End With
End Sub

Public con As New ADODB.Connection
Public rst As New ADODB.Recordset
Public sql As String

Public Sub Koneksi()
On Error GoTo errmsg

    If con.State = adStateOpen Then con.Close
    con.ConnectionString = "Provider=Microsoft.jet.oledb.4.0;" & _
        "Data source=" & App.Path & "\db1.mdb"
    con.Open

Exit Sub
errmsg:
    MsgBox "Gagal Koneksi"
End Sub

Public Sub Disconnect()
    If con.State = adStateOpen Then con.Close
    Set con = Nothing
End Sub

Public Sub ExecQueryRO(strquery As String, rsQuery As Recordset)
    If rsQuery.State = adStateOpen Then rsQuery.Close

```

```
rsQuery.ActiveConnection = con
rsQuery.CursorLocation = adUseClient
rsQuery.CursorType = adOpenStatic
rsQuery.LockType = adLockReadOnly
rsQuery.Open strquery
End Sub
```

```
Public Sub ExecQueryRW(strquery As String, rsQuery As Recordset)
If rsQuery.State = adStateOpen Then rsQuery.Close
rsQuery.ActiveConnection = con
rsQuery.CursorLocation = adUseClient
rsQuery.CursorType = adOpenStatic
rsQuery.LockType = adLockOptimistic
rsQuery.Open strquery
End Sub
```

```
Public Function KonversiString(ByVal s As String) As String
Dim temp() As String
Dim i As Integer

temp = Split(s, ",")
For i = LBound(temp) To UBound(temp)
If i > 0 Then KonversiString = KonversiString & "." & temp(i) Else
KonversiString = temp(i)
Next i
End Function
```

```
Public Function KonversiTitik(ByVal s As String) As String
Dim temp() As String
Dim i As Integer

temp = Split(s, ".")
For i = LBound(temp) To UBound(temp)
If i > 0 Then KonversiTitik = KonversiTitik & "," & temp(i) Else KonversiTitik
= temp(i)
Next i
End Function
```

```
Public Sub SelectAll(Ctrl As Control)
With Ctrl
.SelStart = 0
.SelLength = Len(.Text)
End With
End Sub
```

```

Option Explicit
Private rsSQL As New ADODB.Recordset
Private rsCari As New ADODB.Recordset
Private f() As String, Y() As String, y_maks As String, y_min As String, y_titik()
    As String, r() As String, y_titikdua() As String
Private k As String, C As String, T As String, Delta_T As String
Private kp() As String, k_aksen() As String, delta_f() As String, delta_f_aksen()
    As String, delta_y() As String, delta_y_titik() As String
Private key() As Integer
Private sifat As String
Private tSyarat As String
Private j As String
Private a1 As String, a2 As String, a3 As String, a4 As String
Private Yt As String, Yc As String
Private f1 As String, f2 As String
Private i As Integer
Public m, vRedaman As String
Private j_Sifat As String
Private rMax As String, rMin As String
Private isAwal, isSecond, isMulai As Boolean
Private SelisihR1, SelisihR2, SelisihR As String
Private rPuncakAtas, rPuncakBawah As String
Private y_atas, y_bawah As String
Private r_Kecil, r_Besar As String
Private isPertamaTarik, isPertamaTekan As Boolean
Public Alpha As String
Private RT As String, RC As String
Public fso As New FileSystemObject
Private x As Integer
Private Declare Function ShellExecute Lib "shell32.dll" Alias "ShellExecuteA"
    (ByVal hwnd As Long, ByVal lpOperation As String, ByVal
        lpFile As String, ByVal lpParameters As String, ByVal
        lpDirectory As String, ByVal nShowCmd As Long) As Long
Private Declare Sub Sleep Lib "kernel32" (ByVal dwMilliseconds As Long)
Public Kb As String, JmlBentang As String, Tinggi As String
Public JmlTingkat As String, LBentang As String, BKTepi As String, BKTengah
    As String
Public HKTepi As String, HKTengah As String, DR As String

Private Sub cmdGambar_Click()
    frmGambar.Show 1
End Sub

Private Sub cmdOpenBentang_Click()
    If optDgnBase.Value = True Then
        cd.FileName = ""
    
```



```

    cd.InitDir = App.Path & "\File Data Struktur\BASE"
    cd.Filter = "File Data struktur|*.txt"
    cd.ShowOpen
ElseIf optElastoplastis.Value = True Then
    cd.FileName = ""
    cd.InitDir = App.Path & "\File Data Struktur\BASE"
    cd.Filter = "File Data struktur|*.txt"
    cd.ShowOpen
ElseIf optTanpaBase.Value = True Then
    cd.FileName = ""
    cd.InitDir = App.Path & "\File Data Struktur\TIPIKAL"
    cd.Filter = "File Data struktur|*.txt"
    cd.ShowOpen
End If

If cd.FileName = "" Then Exit Sub
txtBentang.Text = cd.FileName
End Sub

Private Sub cmdOpenData_Click()
    cd.FileName = ""
    cd.InitDir = App.Path & "\Data Gempa"
    cd.Filter = "Data Gempa|*.txt"
    cd.ShowOpen
    If cd.FileName = "" Then Exit Sub
    txtData.Text = cd.FileName
End Sub

Private Sub cmdOpenFile_Click()
    cd.FileName = ""
    cd.InitDir = App.Path & "\Data Inelastik"
    cd.Filter = "Data|*.txt"
    cd.ShowOpen
    If cd.FileName = "" Then Exit Sub
    txtFileData.Text = cd.FileName
End Sub

Private Sub cmdProses_Click()
    Dim strTemp As String
    Dim i As Double

    On Error GoTo errmsg

    If (optDgnBase.Value = True) Or (optElastoplastis.Value = True) Then
        DenganBase = True
    ElseIf optTanpaBase.Value = True Then

```

```

    DenganBase = False
End If

ExecQueryRW "DELETE FROM t_data", rsSQL
ExecQueryRO "SELECT * FROM t_data ORDER BY t", rsSQL

Open txtData.Text For Input As #1
j = 0
i = 0
Delta_T = 0.01
Do While Not EOF(1)
    Input #1, strTemp
    If i > 1 Then
        If strTemp <> "" Then
            ExecQueryRW "INSERT INTO t_data(t,f) VALUES(" & KonversiString(j)
                & "," & strTemp & ")", rsCari
        End If
        j = Val(KonversiString(j)) + Val(KonversiString(Delta_T))
    End If
    i = i + 1
Loop
Close #1

Call HitungAwal
Call HitungSeluruhnya
pbExcel.Visible = False

Hitung
MsgBox "Proses data berhasil!", vbInformation, "Informasi"
Exit Sub
errmsg:

MsgBox Err.Description
Close #1
End Sub

Private Sub cmdReset_Click()
ExecQueryRW "DELETE FROM t_data", rsSQL
k = ""
Alpha = ""
RT = ""
RC = ""
txtData.Text = ""
txtFileData.Text = ""
cmdOpenFile.SetFocus
End Sub

```

```
Private Sub cmdTutup_Click()
```

```
    Set rsCari = Nothing
```

```
    Set rsSQL = Nothing
```

```
    Unload Me
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Form_Load()
```

```
    Koneksi
```

```
    ExecQueryRO "Select * From t_Data Order By t", rsSQL
```

```
End Sub
```

```
Private Sub HitungAwal()
```

```
    Dim w As String
```

```
    ReDim Preserve key(1) As Integer
```

```
    ReDim Preserve Y(1) As String
```

```
    ReDim Preserve f(1) As String
```

```
    ReDim Preserve r(1) As String
```

```
    ReDim Preserve y_titik(1) As String
```

```
    ReDim Preserve y_titikdua(1) As String
```

```
    ReDim Preserve kp(1) As String
```

```
    ReDim Preserve k_aksen(1) As String
```

```
    Dim A, B, C, D, E, O As String
```

```
    Dim temp As String
```

```
    Dim filenumber As Integer
```

```
    Dim Titles
```

```
    filenumber = FreeFile
```

```
    Open txtFileData.Text For Input As #filenumber
```

```
    Input #filenumber, temp$
```

```
    Input #filenumber, A, B, C, D, E, O
```

```
    m = A
```

```
    k = B
```

```
    Alpha = C
```

```
    RT = D
```

```
    RC = E
```

```
    vRedaman = O
```

```
    Close #filenumber
```

```
    Delta_T = 0.01
```

```
'Hitung Nilai Koefisien Redaman
```

```
    C = (Val(KonversiString(vRedaman)) * 2) * (Sqr(Val(KonversiString(m)) *  
        Val(KonversiString(k))))
```

```
'Hitung Nilai Delta T
```

```
    w = Sqr(Val(KonversiString(k)) / Val(KonversiString(m)))
```

$T = (2 * 3.14) / \text{Val}(\text{KonversiString}(w))$

'Menghitung konstanta

$a1 = (3 / \text{Delta\_T})$

$a2 = (6 / \text{Delta\_T})$

$a3 = (\text{Delta\_T} / 2)$

$a4 = (6 / (\text{Delta\_T} ^ 2))$

'Menghitung titik leleh awal

$Yt = \text{Val}(\text{KonversiString}(RT)) / \text{Val}(\text{KonversiString}(k))$

$Yc = \text{Val}(\text{KonversiString}(RC)) / \text{Val}(\text{KonversiString}(k))$

$kp(1) = k$

$k\_aksen(1) = \text{Val}(\text{KonversiString}(k)) + (\text{Val}(\text{KonversiString}(a4)) * \text{Val}(\text{KonversiString}(m))) + (\text{Val}(\text{KonversiString}(a1)) * \text{Val}(\text{KonversiString}(C)))$

$k\_aksen(1) = \text{Format}(k\_aksen(1), "0.##0")$

$Y(1) = 0$

$y\_titik(1) = 0$

$y\_titikdua(1) = 0$

$r(1) = 0$

$rMax = RT$

$rMin = RC$

$j\_Sifat = "e"$

$isAwal = \text{False}$

$isSecond = \text{False}$

$rPuncakAtas = 0$

$rPuncakBawah = 0$

$r\_Kecil = 0$

$r\_Besar = 0$

$isMulai = \text{False}$

$isPertamaTarik = \text{False}$

$isPertamaTekan = \text{False}$

End Sub

Private Sub HitungSeluruhnya()

Dim temp As String

On Error GoTo PROSES\_BARIS\_TERKAHIR

'perhitungan setelah  $t > 0$

ExecQueryRO "SELECT \* FROM t\_data Order By t", rsCari

If rsCari.RecordCount > 0 Then

ReDim Preserve key(rsCari.RecordCount + 1) As Integer

```

ReDim Preserve Y(rsCari.RecordCount + 1) As String
ReDim Preserve f(rsCari.RecordCount + 1) As String
ReDim Preserve r(rsCari.RecordCount + 1) As String
ReDim Preserve y_titik(rsCari.RecordCount + 1) As String
ReDim Preserve y_titikdua(rsCari.RecordCount + 1) As String
ReDim Preserve kp(rsCari.RecordCount + 1) As String
ReDim Preserve k_aksen(rsCari.RecordCount + 1) As String
ReDim Preserve delta_f(rsCari.RecordCount + 1) As String
ReDim Preserve delta_f_aksen(rsCari.RecordCount + 1) As String
ReDim Preserve delta_y(rsCari.RecordCount + 1) As String
ReDim Preserve delta_y_titik(rsCari.RecordCount + 1) As String

```

```

pbExcel.Visible = True
i = 0
rsCari.MoveFirst
Do While Not rsCari.EOF
    i = i + 1
    tSyarat = rsCari(0)
    f(i) = rsCari(1)
    rsCari.MoveNext
    f(i + 1) = rsCari(1)
    rsCari.MovePrevious

```

```

Call PERTAMBAHANGAYA
Call PENENTUANSIFAT

```

```

If key(i + 1) = 0 Then
    sifat = "e"
ElseIf key(i + 1) = 1 Then
    sifat = "p_tarik"
ElseIf key(i + 1) = -1 Then
    sifat = "p_tekan"
End If

```

```

Call PENENTUANKEY

```

```

'Menghitung Gaya Pemulihan
If sifat = "e" Then
    If j_Sifat = "p_tekan" Then
        r(i + 1) = Val(KonversiString(rMin)) - (Val(KonversiString(Yc)) -
            Val(KonversiString(Y(i + 1)))) *
            Val(KonversiString(k))
    End If
    If isAwal = True And isSecond = False Then
        If Val(KonversiString(r(i + 1))) - Val(KonversiString(rMin)) >
            Val(KonversiString(SelisihR)) Then
            r(i + 1) = Val(KonversiString(rMin)) + Val(KonversiString(SelisihR))
        End If
    End If

```

```

    End If
  End If
  ElseIf j_Sifat = "p_tarik" Then
    r(i + 1) = Val(KonversiString(rMax)) - (Val(KonversiString(Yt)) -
      Val(KonversiString(Y(i + 1)))) *
      Val(KonversiString(k))
    If isAwal = True And isSecond = False Then
      If Val(KonversiString(rMax)) - Val(KonversiString(r(i + 1))) >
        Val(KonversiString(SelisihR)) Then
        r(i + 1) = Val(KonversiString(rMax)) - Val(KonversiString(SelisihR))
      End If
    End If
  End If
  ElseIf j_Sifat = "e" Then
    r(i + 1) = Val(KonversiString(RT)) - (Val(KonversiString(Yt)) -
      Val(KonversiString(Y(i + 1)))) *
      Val(KonversiString(k))
  End If

  If isMulai = True Then
    If Val(KonversiString(rPuncakAtas)) < Val(KonversiString(r(i + 1))) Then
      rPuncakAtas = r(i + 1)
    End If

    If Val(KonversiString(rPuncakBawah)) > Val(KonversiString(r(i + 1)))
      Then
      rPuncakBawah = r(i + 1)
    End If
  Else
    rPuncakAtas = r(i + 1)
    rPuncakBawah = r(i + 1)
    isMulai = True
  End If

  ElseIf sifat = "p_tarik" Then
    r(i + 1) = Val(KonversiString(rMax)) - (Val(KonversiString(Yt)) -
      Val(KonversiString(Y(i + 1)))) *
      Val(KonversiString(kp(i + 1)))
  ElseIf sifat = "p_tekan" Then
    r(i + 1) = Val(KonversiString(rMin)) - (Val(KonversiString(Yc)) -
      Val(KonversiString(Y(i + 1)))) *
      Val(KonversiString(kp(i + 1)))
  End If

  r(i + 1) = Format(r(i + 1), "0.##0")

```

```

y_titikdua(i + 1) = (1 / Val(KonversiString(m))) * (Val(KonversiString(f(i +
1))) - (Val(KonversiString(C)) *
Val(KonversiString(y_titik(i + 1)))) -
Val(KonversiString(r(i + 1))))
y_titikdua(i + 1) = Format(y_titikdua(i + 1), "0.##0")

```

```

ExecQueryRW "UPDATE t_data SET y = " & Y(i) & ", vkey = " & key(i) &
", y_titik = " & y_titik(i) & ", y_titikdua = " &
y_titikdua(i) & ", " & _
"kp = " & kp(i) & ", k_aksen = " & k_aksen(i) & ", delta_f = " &
delta_f(i) & ", " & _
"delta_f_aksen = " & delta_f_aksen(i) & ", delta_y = " & delta_y(i) &
", delta_y_titik = " & delta_y_titik(i) & ", r = "
& r(i) & " " & _
"WHERE t = " & KonversiString(tSyarat) & " ", rsSQL
rsCari.MoveNext

```

```

Loop
End If

```

PROSES\_BARIS\_TERKAHIR:

```

rsCari.MoveLast
tSyarat = rsCari(0)
f(i) = rsCari(1)
delta_f(i) = f(i)

```

Call PERTAMBAHANGAYA

```

ExecQueryRW "UPDATE t_data SET y = " & Y(i) & ", vkey = " & key(i) & ",
y_titik = " & y_titik(i) & ", y_titikdua = " &
y_titikdua(i) & ", " & _
"kp = " & kp(i) & ", k_aksen = " & k_aksen(i) & ", delta_f = " &
delta_f(i) & ", " & _
"delta_f_aksen = " & delta_f_aksen(i) & ", delta_y = " & delta_y(i) &
", delta_y_titik = " & delta_y_titik(i) & ", r = "
& r(i) & " " & _
"WHERE t = " & KonversiString(tSyarat) & " ", rsSQL

```

End Sub

Private Sub PENENTUANSIFAT()

'Menentukan Nilai YMaks dan YMin

If Val(KonversiString(Y(i + 1))) > Val(KonversiString(Y(i))) Then

y\_maks = Y(i + 1)

Else

y\_maks = Y(i)

End If

```

If Val(KonversiString(Y(i + 1))) < Val(KonversiString(Y(i))) Then
  y_min = Y(i + 1)
Else
  y_min = Y(i)
End If

```

'Menentukan Sifat

```

If sifat = "e" Then
  If (Val(KonversiString(Y(i + 1))) > Val(KonversiString(Yc))) And
      (Val(KonversiString(Y(i + 1))) <
       Val(KonversiString(Yt))) Then

    key(i + 1) = 0
  ElseIf Val(KonversiString(Y(i + 1))) > Val(KonversiString(Yt)) Then
    key(i + 1) = 1
    If isAwal = True And isSecond = False Then
      If Val(KonversiString(y_atas)) > Val(KonversiString(Y(i + 1))) Then
        If Val(KonversiString(rPuncakAtas)) - Val(KonversiString(rMin)) <
            Val(KonversiString(SelisihR)) Then
          If Val(KonversiString(rPuncakAtas)) - Val(KonversiString(rMin)) <
              Val(KonversiString(SelisihR)) Then
            rMax = rPuncakAtas + (Val(KonversiString(SelisihR)) -
                                   (Val(KonversiString(rPuncakAtas)) -
                                    Val(KonversiString(rMin))))
          Else
            rMax = rPuncakAtas
          End If
        Else
          rMax = rPuncakAtas
        End If
      End If
    Else
      If isAwal = True Then
        If Val(KonversiString(y_atas)) > Val(KonversiString(Y(i + 1))) Then
          rMax = rPuncakAtas
        End If
      Else
        rMax = rPuncakAtas
      End If
    End If
  End If

```

```

If isAwal = False Then
  SelisihR1 = Val(KonversiString(rPuncakAtas)) -
              Val(KonversiString(rPuncakBawah))
End If

```

```

If isSecond = True Then

```



```

SelisihR2 = Val(KonversiString(rPuncakAtas)) -
              Val(KonversiString(rPuncakBawah))
If Val(KonversiString(SelisihR1)) > Val(KonversiString(SelisihR2)) Then
    SelisihR = SelisihR1
Else
    SelisihR = SelisihR2
End If

isAwal = True
isSecond = False
If Val(KonversiString(SelisihR)) < (Val(KonversiString(RT)) -
    Val(KonversiString(RC))) Then
    SelisihR = Val(KonversiString(RT)) - Val(KonversiString(RC))
End If
End If
ElseIf Val(KonversiString(Y(i + 1))) < Val(KonversiString(Yc)) Then
    key(i + 1) = -1
If isAwal = True And isSecond = False Then
    If Val(KonversiString(y_bawah)) < Val(KonversiString(Y(i + 1))) Then
        If Val(KonversiString(rMax)) - Val(KonversiString(rPuncakBawah)) <
            Val(KonversiString(SelisihR)) Then
            If Val(KonversiString(rMax)) - Val(KonversiString(rPuncakBawah)) <
                Val(KonversiString(SelisihR)) Then
                rMin = rPuncakBawah - (Val(KonversiString(SelisihR)) -
                    (Val(KonversiString(rMax)) -
                    Val(KonversiString(rPuncakBawah))))
            Else
                rMin = rPuncakBawah
            End If
        Else
            rMin = rPuncakBawah
        End If
    End If
Else
    rMin = rPuncakBawah
End If
End If
Else
    rMin = rPuncakBawah
End If

If isAwal = False Then
    SelisihR1 = Val(KonversiString(rPuncakAtas)) -
                Val(KonversiString(rPuncakBawah))
End If

If isSecond = True Then
    SelisihR2 = Val(KonversiString(rPuncakAtas)) -
                Val(KonversiString(rPuncakBawah))
    If Val(KonversiString(SelisihR1)) > Val(KonversiString(SelisihR2)) Then

```

```

    SelisihR = SelisihR1
Else
    SelisihR = SelisihR2
End If

isAwal = True
isSecond = False
If Val(KonversiString(SelisihR)) < (Val(KonversiString(RT)) -
    Val(KonversiString(RC))) Then
    SelisihR = Val(KonversiString(RT)) - Val(KonversiString(RC))
End If
End If
End If

ElseIf sifat = "p_tarik" Then
If Val(KonversiString(y_titik(i))) > 0 Then
    If isPertamaTarik = True Then
        If Val(KonversiString(r_Besar)) < Val(KonversiString(r(i))) Then
            r_Besar = r(i)
        End If
    Else
        r_Besar = r(i)
    End If
    key(i + 1) = 1
ElseIf Val(KonversiString(y_titik(i))) < 0 Then
    j_Sifat = "p_tarik"
    key(i + 1) = 0
    Yt = y_maks
    Yc = Val(KonversiString(y_maks)) - (Val(KonversiString(RT)) -
        Val(KonversiString(RC))) /
        Val(KonversiString(k))

    rMax = r_Besar

    If isAwal = False Then
        isSecond = True
        isAwal = True
    End If
    isMulai = False
    isPertamaTarik = False
    y_atas = Y(i)
End If

ElseIf sifat = "p_tekan" Then
If Val(KonversiString(y_titik(i))) < 0 Then
    If isPertamaTekan = True Then
        If Val(KonversiString(r_Kecil)) > Val(KonversiString(r(i))) Then

```

```

        r_Kecil = r(i)
    End If
Else
    r_Kecil = r(i)
End If
key(i + 1) = -1
Elseif Val(KonversiString(y_titik(i))) > 0 Then
    j_Sifat = "p_tekan"
    key(i + 1) = 0
    Yc = y_min
    Yt = Val(KonversiString(y_min)) + (Val(KonversiString(RT)) -
        Val(KonversiString(RC))) /
        Val(KonversiString(k))

    rMin = r_Kecil

    If isAwal = False Then
        isSecond = True
        isAwal = True
    End If
    r_Kecil = 0
    isMulai = False
    isPertamaTekan = False
    y_bawah = Y(i)
End If
End If
End Sub

Private Sub PENENTUANKEY()
    'Menghitung Kekakuan Efektif
    If key(i + 1) = 0 Then
        kp(i + 1) = k
    ElseIf (key(i + 1) = 1) Or (key(i + 1) = -1) Then
        kp(i + 1) = Val(KonversiString(k)) * (Val(KonversiString(Alpha)) / 100)
    End If

    k_aksen(i + 1) = Val(KonversiString(kp(i + 1))) + (Val(KonversiString(a4)) *
        Val(KonversiString(m))) +
        (Val(KonversiString(a1)) *
        Val(KonversiString(C)))

    k_aksen(i + 1) = Format(k_aksen(i + 1), "0.#0")
End Sub

Private Sub PERTAMBAHANGAYA()
    delta_f(i) = Val(KonversiString(f(i + 1))) - Val(KonversiString(f(i)))
    delta_f(i) = Format(delta_f(i), "0.##0")

```

```

' deltafaksen = (deltaf + (((a2 * m) + (3 * c))* ytitik) + (((3 * m) + (a3 * c)) *
ytitikdua)
delta_f_aksen(i) = (Val(KonversiString(delta_f(i)))) +
(((Val(KonversiString(a2)) *
Val(KonversiString(m))) + (3 *
Val(KonversiString(C)))) *
Val(KonversiString(y_titik(i)))) +
(((3 * Val(KonversiString(m))) + (Val(KonversiString(a3)) *
Val(KonversiString(C)))) *
Val(KonversiString(y_titikdua(i))))
delta_f_aksen(i) = Format(delta_f_aksen(i), "0.###0")

delta_y(i) = (Val(KonversiString(delta_f_aksen(i))) /
(Val(KonversiString(k_aksen(i))))
delta_y(i) = Format(delta_y(i), "0.###0")

delta_y_titik(i) = ((3 * Val(KonversiString(delta_y(i))) /
Val(KonversiString(Delta_T))) - (3 *
Val(KonversiString(y_titik(i))) -
((Val(KonversiString(Delta_T)) *
Val(KonversiString(y_titikdua(i)))) / 2)
delta_y_titik(i) = Format(delta_y_titik(i), "0.###0")

Y(i + 1) = Val(KonversiString(Y(i))) + Val(KonversiString(delta_y(i)))
Y(i + 1) = Format(Y(i + 1), "0.###0")
y_titik(i + 1) = Val(KonversiString(y_titik(i))) +
Val(KonversiString(delta_y_titik(i)))
y_titik(i + 1) = Format(y_titik(i + 1), "0.###0")
End Sub

Private Sub proses_mode_shape()
Dim i As Integer
Dim deltat As String
Dim masa As String, kekakuan As String

OpenFile txtBentang.Text, Ndof, Dampratio, Dt, Tmax, Sg, LB, BTepi,
Btengah, HTepi, HTengah, Jbentang, h(), Mass(),
KK(), Pt()

DR = Dampratio
deltat = Dt

' Proses ModeShape
Open "c:\TMP_Data.txt" For Output As #1
Print #1, "NRMDOFS"
Print #1, ""

```

```

Print #1, "NDOF" & vbTab & "DAMPR" & vbTab & "DT" & vbTab &
      "TMAX" & vbTab & "SG"
Print #1, Ndof & vbTab & KonversiString(DR) & vbTab &
      KonversiString(deltat) & vbTab & Tmax &
      vbTab & Sg

Print #1, ""
Print #1, "Tingkat" & vbTab & "H" & vbTab & "MASSA" & vbTab &
      "KEKAKUAN"

For i = 1 To Ndof
  masa = Mass(i)
  kekakuan = KK(i)
  Print #1, i & vbTab & h(i) & vbTab & KonversiString(masa) & vbTab &
      KonversiString(kekakuan)

Next i
Close #1
End Sub

Private Sub Hitung()
  Dim xyz
  Dim temp As String
  Dim strTemp As String
  ' baca variabel input
  Dim i, j, x As Double
  Dim strTmp As String
  Dim arrTmp() As String
  SetVariabel

  ReDim arrDataGempa(1601)
  ReDim arrKey(1601)
  ExecQueryRO "Select f, vkey from t_data Order By t", rsCari
  i = 0
  decSkalaGempa = Sg
  If rsCari.RecordCount > 0 Then
    rsCari.MoveFirst
    Do While Not rsCari.EOF
      arrDataGempa(i) = (CDBl(rsCari!f) / 100) * decSkalaGempa
      arrKey(i) = rsCari!vkey
      i = i + 1
      If i = 1002 Then Exit Do Else rsCari.MoveNext
    Loop
  End If

  If UBound(arrDataGempa) = 0 Then
    xyz = MsgBox("Pilih Data Gempa", vbOKOnly + vbInformation)
    Exit Sub
  End If

```

```

CariW
CariM
CariK
SetMatrikMassa
>ShowMatrik MatrikMassa
SetMatrikKekakuan
>ShowMatrik MatrikKekakuan
SetMatrikEigen
>ShowMatrik MatrikEigen
proses_mode_shape

If fso.FileExists("C:\ModeShapeSelesai.txt") Then
    fso.DeleteFile "C:\ModeShapeSelesai.txt"
End If
i = ShellExecute(hwnd, "open", App.Path & "\Mode Shape\ModeShape.exe", "",
                    "", vbNormal)

```

```

mode_shape:

```

```

i = 0
ReDim arrW0(intJumlahTinggi)
Open "C:\TMP_Hasil.EGN" For Input As #1
Do While Not EOF(1)
    If i < intJumlahTinggi Then
        Input #1, strTmp
        arrW0(i) = KonversiTitik(strTmp)
    Else
        Exit Do
    End If
    i = i + 1
Loop
Close #1

```

```

fso.DeleteFile "C:\TMP_Hasil.EGN"
' Baca matrik mode shape
ReDim MatrikModeShape(intJumlahTinggi, intJumlahTinggi)

```

```

For i = 0 To intJumlahTinggi - 1
    For j = 0 To intJumlahTinggi - 1
        MatrikModeShape(i, j) = 0
    Next j
Next i

```

```

Open "C:\TMP_Hasil.MDS" For Input As #1
i = 1
Do While Not EOF(1)

```

```

If i <= intJumlahTinggi Then
  Input #1, strTmp
  For j = 1 To intJumlahTinggi
    x = InStr(strTmp, " ")
    If x > 0 Then
      MatrikModeShape(i, j) = Trim(Left(KonversiTitik(strTmp), x))
    Else
      MatrikModeShape(i, j) = Trim(KonversiTitik(strTmp))
    End If
    strTmp = Trim(Right(strTmp, Len(strTmp) - x))
  Next j
Else
  Exit Do
End If
i = i + 1
Loop
Close #1
fso.DeleteFile "C:\TMP_Hasil.MDS"
'ShowMatrik MatrikModeShape
SetMatrikMassaN
'ShowMatrik MatrikMassaN
SetMatrikKekakuanN
'ShowMatrik MatrikKekakuanN
SetMatrikRedamanN
'ShowMatrik MatrikRedamanN
SetMatrikKekakuanEfektifN
'ShowMatrik MatrikKekakuanEfektifN
InvertMatrix MatrikKekakuanEfektifN
'ShowMatrik MatrikKekakuanEfektifN
SetMatrikA
'ShowMatrik MatrikAN
SetMatrikB
'ShowMatrik MatrikBN
Pembebanan
End Sub

```