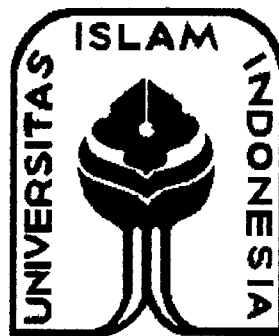


PERPUSTAKAAN FTSP UII  
HADIAH/BELI  
TGL. TERIMA : 21 05 2003  
NO. JUDUL : 111/2003  
NO. INV. : 520000429001  
NO. INDUK :

5120000429001

**TUGAS AKHIR**  
**PENGARUH PENGGUNAAN PENGAKU (BRACING)**  
**TERHADAP RESPON ELASTIK STRUKTUR BAJA**  
**BERTINGKAT BANYAK DENGAN MEMPERHITUNGGAN**  
**ROTASI PONDASI**



جامعة الإسلام الإندونيسية

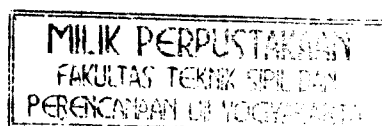


Disusun Oleh:

Nama : IMAM WIBOWO  
No. Mhs. : 98 511 136

Nama : HAFIZH AUZZAMI  
No. Mhs. : 98 511 173

**JURUSAN TEKNIK SIPIL**  
**FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN**  
**UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**  
**YOGYAKARTA**  
**2003**



**TUGAS AKHIR**

**PENGARUH PENGGUNAAN PENGAKU (*BRACING*)  
TERHADAP RESPON ELASTIK STRUKTUR BAJA  
BERTINGKAT BANYAK DENGAN MEMPERHITUNGGAN  
ROTASI PONDASI**

**Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan  
Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil Pada Jurusan Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Universitas Islam Indonesia**

**Disusun Oleh:**

**Nama : IMAM WIBOWO  
No. Mhs. : 98 511 136**

**Nama : HAFIZH AUZZAMI  
No. Mhs. : 98 511 173**

**JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
YOGYAKARTA  
2003**

**TUGAS AKHIR**

**PENGARUH PENGGUNAAN PENGAKU (*BRACING*)  
TERHADAP RESPON ELASTIK STRUKTUR BAJA  
BERTINGKAT BANYAK DENGAN MEMPERHITUNGGAN  
ROTASI PONDASI**

**Diajukan Sebagai Persyaratan Memperoleh  
Derajat Sarjana Teknik Sipil Pada Jurusan Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Universitas Islam Indonesia  
Yogyakarta**

Disusun Oleh:

**Nama : IMAM WIBOWO**

**No. Mhs. : 98 511 136**

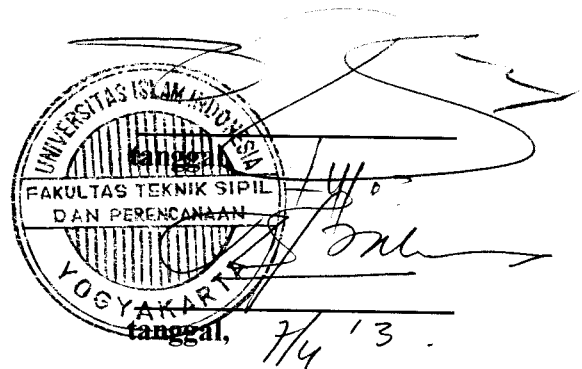
**Nama : HAFIZH AUZZAMI**

**No. Mhs. : 98 511 173**

**Telah diperiksa dan disetujui oleh :**

**Prof. Ir. H. Widodo, MSCE, Ph.D  
Dosen Pembimbing I**

**Ir. Helmy Akbar Bale, MT  
Dosen Pembimbing II**



## KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

*Assalamu 'alaikum Warahmatullah Wabarakatuh*

Puji syukur Alhamdulillah kami panjatkan kehadiran Allah SWT yang senantiasa melimpahkan nikmat, rahmat dan hidayah-Nya kepada kita semua, khususnya kepada kami sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Tidak lupa sholawat serta salam kami panjatkan kehadiran Rasulullah SAW beserta keluarga, sahabat serta pengikutnya sampai akhir jaman.

Tugas akhir dengan judul **Pengaruh Penggunaan Pengaku (*Bracing*) Terhadap Respon Elastik Struktur Baja Bertingkat Banyak Dengan Memperhitungkan Rotasi Pondasi** diajukan sebagai syarat guna memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan 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. Maka pada kesempatan ini dengan penuh hormat dan kerendahan hati penyusun mengucapkan banyak terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu, yaitu:

1. Bapak Prof. Ir. H. Widodo, MSCE, Ph.D. selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, sekaligus sebagai Dosen Pembimbing I.



2. Bapak Ir. Helmy Akbar Bale, MT, selaku Dosen Pembimbing II.
3. Bapak Ir. H. Suharyatmo, MT, selaku Dosen Penguji
4. Bapak Ir. H. Munadhir, MS, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
5. Kedua orang tua dan saudara-saudara kami yang telah banyak memberikan bantuan dan dorongan, baik moral maupun material dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
6. Teman-teman dan semua pihak yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu, yang telah banyak membantu dalam penyusunan Tugas Akhir ini.

Penyusun menyadari bahwa penulisan Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna, mengingat keterbatasan ilmu, kemampuan dan pengalaman kami dalam penelitian dan penulisan. Untuk itu kritik dan saran yang sifatnya membangun sangat kami harapkan guna perbaikan dan pengembangan selanjutnya.

Tidak ada yang dapat kami berikan selain ucapan terima kasih atas bantuan yang telah diberikan semoga dapat diterima sebagai amal baik disisi Allah SWT.

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

*Wassalamu 'alaikum Warahmatullah Wabarakatuh*

Yogyakarta, April 2003

Penyusun

## *My special thanks :*

- ✦ *Allah SWT*  
*Everything I do, I do it for YOU*
- ✦ *Bapak + Ibu tercinta*  
*Hanya kebahagiaan dan kebanggaan ini yang dapat ku persembahkan  
tuk membalas kasih sayang, pengorbanan dan bimbingan Bapak & Ibu  
selama ini.*
- ✦ *'Gadis kecilku' Cimut dhien, yang pertama ... yang terakhir*  
*Sejuta senyummu membuat hari-hariku tak terselimuti oleh duka lara...  
Kesabaran dan kesetiaanmu membuatku ingin cepat 'bla.. bla.. bla..'*
- ✦ *Mr. Prof Widodo and Mr. Helmy*  
*Terima kasih atas bimbingan dan kesabarannya, tanpa Bapak kami tidak  
mungkin dapat seperti 'ini'*
- ✦ *M' Anang, Mb' Yani, Fadel + Gerry*  
*Matur nuwun kagem doa lan sedoyo pitulunganipun...  
Buat Fadel + Gerry, kenakalan dan kepolosan kalian merupakan  
pengobat stresku selama ini.*
- ✦ *Sedulurku kabeh : M' Woko, M'Tanto, Mb' Puji, Mb' Dhani,  
Mb' Titot, Karo dhe Ipung*  
*Dukungan dan doa kalian sangat berarti... itulah arti sebuah  
persaudaraan*
- ✦ *Azzam, my partner*  
*Thanks for everything... Akhirnya kita bisa mengakhiri 'ini' dengan  
indah.*
- ✦ *M-tea, Arie, Giant, Andry, Desta dan teman-teman T. Sipil '08*  
*Makasih atas rasa persahabatan dan bantuannya selama ini...  
Kenangan kita takkan terkikis oleh waktu ... Don't forget me, okay?!*

*Intan si lukang Insinyur*

*\*Allahu Akbar (Allah Maha Besar)*

*Segala puji bagi Engkau ya Allah. Jadikan aku hamba-Mu yang sadar akan segala kekurangan dan keterbatasan agar aku tidak menjadi lupa.*

*\*Abah dan Ibu Tercinta*

*Abah...Ibu... terima kasih banget yach atas segala pengorbanannya baik materi maupun imateri sehingga Ananda dapat menyelesaikan studi dengan baik, dan segala nasehat serta do'a yang selalu Abah dan Ibu berikan kepada Ananda sampai saat ini. Segala pengorbanan Abah dan Ibu tak akan Ananda lupakan sampai Ananda dipulangkan-Nya.*

*\*Mba Vetty dan Mas Khsanan*

*Mba...Mas... Adinda bangga sekali punya kakak seperti Mba Vetty dan Mas Khsanan karena sampai sekarang ini telah banyak membantu Adinda dengan do'anya, thanks banget yach Mba...Mas...*

*\*Dhe Hilman*

*Dhe, kuliah yang serius yach? ingat selalu ama Abah dan Ibu di rumah, jangan hancurkan semua harapan Orang Tua, Oke*

*\*Si kecil " Raihan "*

*Allow keponakanku, cepet besar yach? jadilah anak yang soleh dan berbakti ama kedua Orang Tua, Oke*

*\*Teruntuk keluarga besar di Tegal dan di Bumiayu yang telah memberikan do'a dan semangat sehingga aku bisa seperti sekarang ini*

*\*" Melatiku ", Trims banget yach atas spirit yang telah diberikan kepadaku, dan aku sangat bangga padamu yang dengan setianya telah menungguku walaupun kita terpisah sangat jauh sekali dan aku sering sekali menyakitimu, sekali lagi Trims banget atas kepercayaanmu padaku, percayalah diriku akan selalu jadi milikmu, selamanya.*

*\*Imam Wibowo dan Dini Alifa*

*Thanks atas semuanya yach, U are My BEST PARTNER*

*\*Surya, Maming, Pakde, dan Crew CEEDEDS thanks atas partisipasinya*

*\*Temen-temen kost ( Andry, Wawan, Jerry, Ayik, Ason, Agni dan Fakhirul ), Thanks juga atas semua bantuannya*

*DESIGN BY: HAFIZH*

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
LEMBAR PENGESAHAN .....	ii
KATA PENGANTAR .....	iii
LEMBAR PERSEMBAHAN .....	v
DAFTAR ISI .....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL .....	xxxix
DAFTAR NOTASI .....	xlvi
ABSTRAK .....	xlviii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang Masalah .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan .....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Lingkup Penelitian.....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	6
2.1 Pendahuluan .....	6
2.2 Permasalahan Yang Akan Diteliti.....	9
<b>BAB III LANDASAN TEORI</b> .....	10
3.1 Struktur (SDOF) Akibat Gerakan Tanah .....	10
3.2 Struktur dengan Derajat Kebebasan Banyak (MDOF).....	12

3.3 Massa Struktur.....	14
3.4 Kekakuan Struktur.....	15
3.5 Kekakuan Elemen <i>Bracing</i> .....	16
3.6 Redaman Struktur.....	17
3.7 Struktur dengan Memperhitungkan Rotasi Pondasi Akibat Gerakan Tanah .....	22
3.8 Getaran Bebas pada Struktur Derajat Kebebasan Banyak .....	28
3.8.1 Nilai Karakteristik ( <i>Eigenproblem</i> ) .....	28
3.8.2 Metode Polinomial .....	30
3.9 Metode $\beta$ -Newmark .....	32
<b>BAB IV METODE PENELITIAN .....</b>	<b>35</b>
4.1 Pengumpulan Data .....	35
4.1.1 Data Struktur.....	35
4.1.2 Data Beban Gempa.....	40
4.2 Tahapan Analisis.....	42
4.3 Pengujian.....	42
4.4 Bagan Alir Program Sipil (PROGSIP) 2003 .....	43
<b>BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>45</b>
5.1. Pendahuluan .....	45
5.2. Pembebanan Struktur .....	46
5.3. Perhitungan Massa dan Kekakuan .....	46
5.4. Analisis Respon Struktur Akibat Beban Gempa .....	48
5.4.1 Perhitungan Simpangan Netto .....	49

5.4.2	Perhitungan Rotasi Pondasi .....	56
5.4.3	Perhitungan Simpangan Rotasi .....	63
5.4.4	Perhitungan Simpangan Total .....	70
5.4.5	Perhitungan Simpangan Antar Tingkat .....	77
5.4.6	Perhitungan Gaya Horisontal Tingkat .....	84
5.4.7	Perhitungan Gaya Geser Tingkat .....	91
5.4.8	Perhitungan Momen Guling .....	98
5.5.	Pembahasan .....	105
5.5.1	Simpangan Netto .....	105
5.5.2	Rotasi Pondasi .....	116
5.5.3	Simpangan Rotasi .....	120
5.5.4	Simpangan Total .....	128
5.5.5	Simpangan Antar Tingkat .....	137
5.5.6	Gaya Horisontal Tingkat .....	145
5.5.7	Gaya Geser Tingkat .....	154
5.5.8	Momen Guling .....	164
5.6	Perbandingan Penggunaan Nilai Redaman .....	173
5.7	Perbandingan Penggunaan Tingkat yang Berbeda .....	198
<b>BAB VI</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>217</b>
6.1	Kesimpulan .....	217
6.2	Saran .....	218

## **DAFTAR PUSTAKA**

## **LAMPIRAN**

## DAFTAR GAMBAR

	Hal.
1. <b>Gambar 3.1</b>	Model sistem SDOF akibat gerakan tanah..... 11
2. <b>Gambar 3.2</b>	Model sistem MDOF ..... 12
3. <b>Gambar 3.3</b>	Struktur dengan Bracing ..... 17
4. <b>Gambar 3.4</b>	Struktur MDOF dengan rotasi pondasi ..... 24
5. <b>Gambar 3.5</b>	Struktur bangunan 3 derajat kebebasan ..... 31
6. <b>Gambar 4.1</b>	Denah model struktur 15 tingkat..... 36
7. <b>Gambar 4.2</b>	Potongan portal C struktur Open Frame 15 tingkat..... 36
8. <b>Gambar 4.3</b>	Potongan portal C struktur 15 tingkat dengan Bracing tipe X ..... 36
9. <b>Gambar 4.4</b>	Potongan portal C struktur 15 tingkat dengan Bracing tipe V ..... 36
10. <b>Gambar 4.5</b>	Denah model struktur 7 tingkat..... 37
11. <b>Gambar 4.6</b>	Potongan portal C struktur Open Frame 7 tingkat ..... 38
12. <b>Gambar 4.7</b>	Potongan portal C struktur 7 tingkat dengan Bracing tipe X ..... 38
13. <b>Gambar 4.8</b>	Potongan portal C struktur 7 tingkat dengan Bracing tipe V ..... 38
14. <b>Gambar 4.9</b>	Denah model struktur 10 tingkat..... 39

15. <b>Gambar 4.10</b>	Potongan portal C struktur Open Frame 10 tingkat.....	39
16. <b>Gambar 4.11</b>	Potongan portal C struktur 10 tingkat dengan Bracing tipe X .....	39
17. <b>Gambar 4.12</b>	Potongan portal C struktur 10 tingkat dengan Bracing tipe V .....	39
18. <b>Gambar 5.1</b>	Simpangan netto struktur Open Frame 15 tingkat akibat gempa Bucharest dengan $kh=2.0420E+25$ , $kr=1.1932E+25$ .....	50
19. <b>Gambar 5.2</b>	Simpangan netto struktur Braced X 15 tingkat akibat gempa Bucharest dengan $kh=2.0420E+25$ , $kr=1.1932E+25$ .....	50
20. <b>Gambar 5.3</b>	Simpangan netto struktur Brace V 15 tingkat akibat gempa Bucharest dengan $kh=2.0420E+25$ , $kr=1.1932E+25$ .....	50
21. <b>Gambar 5.4</b>	Simpangan netto struktur Open Frame 15 tingkat akibat gempa Elcentro dengan $kh=2.0420E+25$ , $kr=1.1932E+25$ .....	51
22. <b>Gambar 5.5</b>	Simpangan netto struktur Braced X 15 tingkat akibat gempa Elcentro dengan $kh=2.0420E+25$ , $kr=1.1932E+25$ .....	51



23. <b>Gambar 5.6</b>	Simpangan netto struktur Braced V 15 tingkat akibat gempa Elcentro dengan $kh=2.0420E+25$ , $kr=1.1932E+25$ .....	51
24. <b>Gambar 5.7</b>	Simpangan netto struktur Open Frame 15 tingkat akibat gempa Koyna dengan $kh=2.0420E+25$ , $kr=1.1932E+25$ .....	52
25. <b>Gambar 5.8</b>	Simpangan netto struktur Braced X 15 tingkat akibat gempa Koyna dengan $kh=2.0420E+25$ , $kr=1.1932E+25$ .....	52
26. <b>Gambar 5.9</b>	Simpangan netto struktur Braced V 15 tingkat akibat gempa Koyna dengan $kh=2.0420E+25$ , $kr=1.1932E+25$ .....	52
27. <b>Gambar 5.10</b>	Simpangan netto struktur Open Frame 15 tingkat akibat gempa Bucharest dengan $kh=2.0420E+08$ , $kr=1.1932E+09$ .....	53
28. <b>Gambar 5.11</b>	Simpangan netto struktur Braced X 15 tingkat akibat gempa Bucharest dengan $kh=2.0420E+08$ , $kr=1.1932E+09$ .....	53
29. <b>Gambar 5.12</b>	Simpangan netto struktur Braced V 15 tingkat akibat gempa Bucharest dengan $kh=2.0420E+08$ , $kr=1.1932E+09$ .....	53

30. <b>Gambar 5.13</b>	Simpangan netto struktur Open Frame 15 tingkat akibat gempa Elcentro dengan $kh=2.0420E+08$ , $kr=1.1932E+09$ .....	54
31. <b>Gambar 5.14</b>	Simpangan netto struktur Braced X 15 tingkat akibat gempa Elcentro dengan $kh=2.0420E+08$ , $kr=1.1932E+09$ .....	54
32. <b>Gambar 5.15</b>	Simpangan netto struktur Braced V 15 tingkat akibat gempa Elcentro dengan $kh=2.0420E+08$ , $kr=1.1932E+09$ .....	54
33. <b>Gambar 5.16</b>	Simpangan netto struktur Open Frame 15 tingkat akibat gempa Koyna dengan $kh=2.0420E+08$ , $kr=1.1932E+09$ .....	55
34. <b>Gambar 5.17</b>	Simpangan netto struktur Braced X 15 tingkat akibat gempa Koyna dengan $kh=2.0420E+08$ , $kr=1.1932E+09$ .....	55
35. <b>Gambar 5.18</b>	Simpangan netto struktur Braced V 15 tingkat akibat gempa Koyna dengan $kh=2.0420E+08$ , $kr=1.1932E+09$ .....	55
36. <b>Gambar 5.19</b>	Rotasi Pondasi struktur Open Frame 15 tingkat akibat gempa Bucharest dengan $kh=2.0420E+25$ , $kr=1.1932E+25$ .....	57

37. <b>Gambar 5.20</b>	Rotasi Pondasi struktur Braced X 15 tingkat akibat gempa Bucharest dengan $kh=2.0420E+25$ , $kr=1.1932E+25$ .....	57
38. <b>Gambar 5.21</b>	Rotasi Pondasi struktur Braced V 15 tingkat akibat gempa Bucharest dengan $kh=2.0420E+25$ , $kr=1.1932E+25$ .....	57
39. <b>Gambar 5.22</b>	Rotasi Pondasi struktur Open Frame 15 tingkat akibat gempa Elcentro dengan $kh=2.0420E+25$ , $kr=1.1932E+25$ .....	58
40. <b>Gambar 5.23</b>	Rotasi Pondasi struktur Braced X 15 tingkat akibat gempa Elcentro dengan $kh=2.0420E+25$ , $kr=1.1932E+25$ .....	58
41. <b>Gambar 5.24</b>	Rotasi Pondasi struktur Braced V 15 tingkat akibat gempa Elcentro dengan $kh=2.0420E+25$ , $kr=1.1932E+25$ .....	58
42. <b>Gambar 5.25</b>	Rotasi Pondasi struktur Open Frame 15 tingkat akibat gempa Koyna dengan $kh=2.0420E+25$ , $kr=1.1932E+25$ .....	59
43. <b>Gambar 5.26</b>	Rotasi Pondasi struktur Braced X 15 tingkat akibat gempa Koyna dengan $kh=2.0420E+25$ , $kr=1.1932E+25$ .....	59

44.	<b>Gambar 5.27</b>	Rotasi Pondasi struktur Braced V 15 tingkat akibat gempa Koyna dengan $kh=2.0420E+25$ , $kr=1.1932E+25$ .....	59
45.	<b>Gambar 5.28</b>	Rotasi Pondasi struktur Open Frame 15 tingkat akibat gempa Bucharest dengan $kh=2.0420E+08$ , $kr=1.1932E+09$ .....	60
46.	<b>Gambar 5.29</b>	Rotasi Pondasi struktur Braced X 15 tingkat akibat gempa Bucharest dengan $kh=2.0420E+08$ , $kr=1.1932E+09$ .....	60
47.	<b>Gambar 5.30</b>	Rotasi Pondasi struktur Braced V 15 tingkat akibat gempa Bucharest dengan $kh=2.0420E+08$ , $kr=1.1932E+09$ .....	60
48.	<b>Gambar 5.31</b>	Rotasi Pondasi struktur Open Frame 15 tingkat akibat gempa Elcentro dengan $kh=2.0420E+08$ , $kr=1.1932E+09$ .....	61
49.	<b>Gambar 5.32</b>	Rotasi Pondasi struktur Braced X 15 tingkat akibat gempa Elcentro dengan $kh=2.0420E+08$ , $kr=1.1932E+09$ .....	61
50.	<b>Gambar 5.33</b>	Rotasi Pondasi struktur Braced V 15 tingkat akibat gempa Elcentro dengan $kh=2.0420E+08$ , $kr=1.1932E+09$ .....	61

51. <b>Gambar 5.34</b>	Rotasi Pondasi struktur Open Frame 15 tingkat akibat gempa Koyna dengan $kh=2.0420E+08$ , $kr=1.1932E+09$ .....	62
52. <b>Gambar 5.35</b>	Rotasi Pondasi struktur Braced X 15 tingkat akibat gempa Koyna dengan $kh=2.0420E+08$ , $kr=1.1932E+09$ .....	62
53. <b>Gambar 5.36</b>	Rotasi Pondasi struktur Braced V 15 tingkat akibat gempa Koyna dengan $kh=2.0420E+08$ , $kr=1.1932E+09$ .....	62
54. <b>Gambar 5.37</b>	Simpangan Rotasi struktur Open Frame 15 tingkat akibat gempa Bucharest dengan $kh=2.0420E+25$ , $kr=1.1932E+25$ .....	64
55. <b>Gambar 5.38</b>	Simpangan Rotasi struktur Braced X 15 tingkat akibat gempa Bucharest dengan $kh=2.0420E+25$ , $kr=1.1932E+25$ .....	64
56. <b>Gambar 5.39</b>	Simpangan Rotasi struktur braced V 15 tingkat akibat gempa Bucharest dengan $kh=2.0420E+25$ , $kr=1.1932E+25$ .....	64
57. <b>Gambar 5.40</b>	Simpangan Rotasi struktur Open Frame 15 tingkat akibat gempa Elcentro dengan $kh=2.0420E+25$ , $kr=1.1932E+25$ .....	65

58. <b>Gambar 5.41</b>	Simpangan Rotasi struktur braced X 15 tingkat akibat gempa Elcentro dengan $kh=2.0420E+25$ , $kr=1.1932E+25$ .....	65
59. <b>Gambar 5.42</b>	Simpangan Rotasi struktur Braced V 15 tingkat akibat gempa Elcentro dengan $kh=2.0420E+25$ , $kr=1.1932E+25$ .....	65
60. <b>Gambar 5.43</b>	Simpangan Rotasi struktur Open Frame 15 tingkat akibat gempa Koyna dengan $kh=2.0420E+25$ , $kr=1.1932E+25$ .....	66
61. <b>Gambar 5.44</b>	Simpangan Rotasi struktur Braced X 15 tingkat akibat gempa Koyna dengan $kh=2.0420E+25$ , $kr=1.1932E+25$ .....	66
62. <b>Gambar 5.45</b>	Simpangan Rotasi struktur Braced V 15 tingkat akibat gempa Koyna dengan $kh=2.0420E+25$ , $kr=1.1932E+25$ .....	66
63. <b>Gambar 5.46</b>	Simpangan Rotasi struktur Open Frame 15 tingkat akibat gempa Bucharest dengan $kh=2.0420E+08$ , $kr=1.1932E+09$ .....	67
64. <b>Gambar 5.47</b>	Simpangan Rotasi struktur Braced X 15 tingkat akibat gempa Bucharest dengan $kh=2.0420E+08$ , $kr=1.1932E+09$ .....	67

65.	<b>Gambar 5.48</b>	Simpangan Rotasi struktur Braced V 15 tingkat akibat gempa Bucharest dengan $kh=2.0420E+08$ , $kr=1.1932E+09$ .....	67
66.	<b>Gambar 5.49</b>	Simpangan Rotasi struktur Open Frame 15 tingkat akibat gempa Elcentro dengan $kh=2.0420E+08$ , $kr=1.1932E+09$ .....	68
67.	<b>Gambar 5.50</b>	Simpangan Rotasi struktur Braced X 15 tingkat akibat gempa Elcentro dengan $kh=2.0420E+08$ , $kr=1.1932E+09$ .....	68
68.	<b>Gambar 5.51</b>	Simpangan Rotasi struktur Braced V 15 tingkat akibat gempa Elcentro dengan $kh=2.0420E+08$ , $kr=1.1932E+09$ .....	68
69.	<b>Gambar 5.52</b>	Simpangan Rotasi struktur Open Frame 15 tingkat akibat gempa Koyna dengan $kh=2.0420E+08$ , $kr=1.1932E+09$ .....	69
70.	<b>Gambar 5.53</b>	Simpangan Rotasi struktur Braced X 15 tingkat akibat gempa Koyna dengan $kh=2.0420E+08$ , $kr=1.1932E+09$ .....	69
71.	<b>Gambar 5.54</b>	Simpangan Rotasi struktur Braced V 15 tingkat akibat gempa Koyna dengan $kh=2.0420E+08$ , $kr=1.1932E+09$ .....	69

72.	<b>Gambar 5.55</b>	Simpangan Total struktur Open Frame 15 tingkat akibat gempa Bucharest dengan $kh=2.0420E+25$ , $kr=1.1932E+25$ .....	71
73.	<b>Gambar 5.56</b>	Simpangan Total struktur Braced X 15 tingkat akibat gempa Bucharest dengan $kh=2.0420E+25$ , $kr=1.1932E+25$ .....	71
74.	<b>Gambar 5.57</b>	Simpangan Total struktur Braced V 15 tingkat akibat gempa Bucharest dengan $kh=2.0420E+25$ , $kr=1.1932E+25$ .....	71
75.	<b>Gambar 5.58</b>	Simpangan Total struktur Open Frame 15 tingkat akibat gempa Elcentro dengan $kh=2.0420E+25$ , $kr=1.1932E+25$ .....	72
76.	<b>Gambar 5.59</b>	Simpangan Total struktur Braced X 15 tingkat akibat gempa Elcentro dengan $kh=2.0420E+25$ , $kr=1.1932E+25$ .....	72
77.	<b>Gambar 5.60</b>	Simpangan Total struktur Braced V 15 tingkat akibat gempa Elcentro dengan $kh=2.0420E+25$ , $kr=1.1932E+25$ .....	72
78.	<b>Gambar 5.61</b>	Simpangan Total struktur Open Frame 15 tingkat akibat gempa Koyna dengan $kh=2.0420E+25$ , $kr=1.1932E+25$ .....	73



79.	<b>Gambar 5.62</b>	Simpangan Total struktur Braced X 15 tingkat akibat gempa Koyna dengan $kh=2.0420E+25$ , $kr=1.1932E+25$ .....	73
80.	<b>Gambar 5.63</b>	Simpangan Total struktur Braced V 15 tingkat akibat gempa Koyna dengan $kh=2.0420E+25$ , $kr=1.1932E+25$ .....	73
81.	<b>Gambar 5.64</b>	Simpangan Total struktur Open Frame 15 tingkat akibat gempa Bucharest dengan $kh=2.0420E+08$ , $kr=1.1932E+09$ .....	74
82.	<b>Gambar 5.65</b>	Simpangan Total struktur Braced X 15 tingkat akibat gempa Bucharest dengan $kh=2.0420E+08$ , $kr=1.1932E+09$ .....	74
83.	<b>Gambar 5.66</b>	Simpangan Total struktur Braced V 15 tingkat akibat gempa Bucharest dengan $kh=2.0420E+08$ , $kr=1.1932E+09$ .....	74
84.	<b>Gambar 5.67</b>	Simpangan Total struktur Open Frame 15 tingkat akibat gempa Elcentro dengan $kh=2.0420E+08$ , $kr=1.1932E+09$ .....	75
85.	<b>Gambar 5.68</b>	Simpangan Total struktur Braced X 15 tingkat akibat gempa Elcentro dengan $kh=2.0420E+08$ , $kr=1.1932E+09$ .....	75

86.	<b>Gambar 5.69</b>	Simpangan Total struktur Braced V 15 tingkat akibat gempa Elcentro dengan $kh=2.0420E+08$ , $kr=1.1932E+09$ .....	75
87.	<b>Gambar 5.70</b>	Simpangan Total struktur Open Frame 15 tingkat akibat gempa Koyna dengan $kh=2.0420E+08$ , $kr=1.1932E+09$ .....	76
88.	<b>Gambar 5.71</b>	Simpangan Total struktur Braced X 15 tingkat akibat gempa Koyna dengan $kh=2.0420E+08$ , $kr=1.1932E+09$ .....	76
89.	<b>Gambar 5.72</b>	Simpangan Total struktur Braced V 15 tingkat akibat gempa Koyna dengan $kh=2.0420E+08$ , $kr=1.1932E+09$ .....	76
90.	<b>Gambar 5.73</b>	Inter-storey Drift struktur Open Frame 15 tingkat akibat gempa Bucharest dengan $kh=2.0420E+25$ , $kr=1.1932E+25$ .....	78
91.	<b>Gambar 5.74</b>	Inter-storey Drift struktur Braced X 15 tingkat akibat gempa Bucharest dengan $kh=2.0420E+25$ , $kr=1.1932E+25$ .....	78
92.	<b>Gambar 5.75</b>	Inter-storey Drift struktur Braced V 15 tingkat akibat gempa Bucharest dengan $kh=2.0420E+25$ , $kr=1.1932E+25$ .....	78

93.	<b>Gambar 5.76</b>	Inter-storey Drift struktur Open Frame 15 tingkat akibat gempa Elcentro dengan $kh=2.0420E+25$ , $kr=1.1932E+25$ .....	79
94.	<b>Gambar 5.77</b>	Inter-storey Drift struktur Braced X 15 tingkat akibat gempa Elcentro dengan $kh=2.0420E+25$ , $kr=1.1932E+25$ .....	79
95.	<b>Gambar 5.78</b>	Inter-storey Drift struktur Braced V 15 tingkat akibat gempa Elcentro dengan $kh=2.0420E+25$ , $kr=1.1932E+25$ .....	79
96.	<b>Gambar 5.79</b>	Inter-storey Drift struktur Open Frame 15 tingkat akibat gempa Koyna dengan $kh=2.0420E+25$ , $kr=1.1932E+25$ .....	80
97.	<b>Gambar 5.80</b>	Inter-storey Drift struktur Braced X 15 tingkat akibat gempa Koyna dengan $kh=2.0420E+25$ , $kr=1.1932E+25$ .....	80
98.	<b>Gambar 5.81</b>	Inter-storey Drift struktur Braced V 15 tingkat akibat gempa Koyna dengan $kh=2.0420E+25$ , $kr=1.1932E+25$ .....	80
99.	<b>Gambar 5.82</b>	Inter-storey Drift struktur Open Frame 15 tingkat akibat gempa Bucharest dengan $kh=2.0420E+08$ , $kr=1.1932E+09$ .....	81

100. <b>Gambar 5.83</b>	Inter-storey Drift struktur Braced X 15 tingkat akibat gempa Bucharest dengan $kh=2.0420E+08$ , $kr=1.1932E+09$ .....	81
101. <b>Gambar 5.84</b>	Inter-storey Drift struktur Braced V 15 tingkat akibat gempa Bucharest dengan $kh=2.0420E+08$ , $kr=1.1932E+09$ .....	81
102. <b>Gambar 5.85</b>	Inter-storey Drift struktur Open Frame 15 tingkat akibat gempa Elcentro dengan $kh=2.0420E+08$ , $kr=1.1932E+09$ .....	82
103. <b>Gambar 5.86</b>	Inter-storey Drift struktur Braced X 15 tingkat akibat gempa Elcentro dengan $kh=2.0420E+08$ , $kr=1.1932E+09$ .....	82
104. <b>Gambar 5.87</b>	Inter-storey Drift struktur Braced V 15 tingkat akibat gempa Elcentro dengan $kh=2.0420E+08$ , $kr=1.1932E+09$ .....	82
105. <b>Gambar 5.88</b>	Inter-storey Drift struktur Open Frame 15 tingkat akibat gempa Koyna dengan $kh=2.0420E+08$ , $kr=1.1932E+09$ .....	83
106. <b>Gambar 5.89</b>	Inter-storey Drift struktur Braced X 15 tingkat akibat gempa Koyna dengan $kh=2.0420E+08$ , $kr=1.1932E+09$ .....	83

107. <b>Gambar 5.90</b>	Inter-storey Drift struktur Braced V 15 tingkat akibat gempa Koyna dengan $kh=2.0420E+08$ , $kr=1.1932E+09$ .....	83
108. <b>Gambar 5.91</b>	Gaya Horizontal Tingkat struktur Open Frame 15 tingkat akibat gempa Bucharest dengan $kh=2.0420E+25$ , $kr=1.1932E+25$ .....	85
109. <b>Gambar 5.92</b>	Gaya Horizontal Tingkat struktur Braced X 15 tingkat akibat gempa Bucharest dengan $kh=2.0420E+25$ , $kr=1.1932E+25$ .....	85
110. <b>Gambar 5.93</b>	Gaya Horizontal Tingkat struktur Braced V 15 tingkat akibat gempa Bucharest dengan $kh=2.0420E+25$ , $kr=1.1932E+25$ .....	85
111. <b>Gambar 5.94</b>	Gaya Horizontal Tingkat struktur Open Frame 15 tingkat akibat gempa Elcentro dengan $kh=2.0420E+25$ , $kr=1.1932E+25$ .....	86
112. <b>Gambar 5.85</b>	Gaya Horizontal Tingkat struktur Braced X 15 tingkat akibat gempa Elcentro dengan $kh=2.0420E+25$ , $kr=1.1932E+25$ .....	86
113. <b>Gambar 5.96</b>	Gaya Horizontal Tingkat struktur Braced V 15 tingkat akibat gempa Elcentro dengan $kh=2.0420E+25$ , $kr=1.1932E+25$ .....	86

114. <b>Gambar 5.97</b>	Gaya Horizontal Tingkat struktur Open Frame 15 tingkat akibat gempa Koyna dengan kh=2.0420E+25, kr=1.1932E+25 .....	87
115. <b>Gambar 5.98</b>	Gaya Horizontal Tingkat struktur Braced X 15 tingkat akibat gempa Koyna dengan kh=2.0420E+25, kr=1.1932E+25 .....	87
116. <b>Gambar 5.99</b>	Gaya Horizontal Tingkat struktur Braced V 15 tingkat akibat gempa Koyna dengan kh=2.0420E+25, kr=1.1932E+25 .....	87
117. <b>Gambar 5.100</b>	Gaya Horizontal Tingkat struktur Open Frame 15 tingkat akibat gempa Bucharest dengan kh=2.0420E+08, kr=1.1932E+09 .....	88
118. <b>Gambar 5.101</b>	Gaya Horizontal Tingkat struktur Braced X 15 tingkat akibat gempa Bucharest dengan kh=2.0420E+08, kr=1.1932E+09 .....	88
119. <b>Gambar 5.102</b>	Gaya Horizontal Tingkat struktur Braced V 15 tingkat akibat gempa Bucharest dengan kh=2.0420E+08, kr=1.1932E+09 .....	88
120. <b>Gambar 5.103</b>	Gaya Horizontal Tingkat struktur Open Frame 15 tingkat akibat gempa Elcentro dengan kh=2.0420E+08, kr=1.1932E+09 .....	89

121. <b>Gambar 5.104</b>	Gaya Horizontal Tingkat struktur Braced X 15 tingkat akibat gempa Elcentro dengan $kh=2.0420E+08$ , $kr=1.1932E+09$ .....	89
122. <b>Gambar 5.105</b>	Gaya Horizontal Tingkat struktur Braced V 15 tingkat akibat gempa Elcentro dengan $kh=2.0420E+08$ , $kr=1.1932E+09$ .....	89
123. <b>Gambar 5.106</b>	Gaya Horizontal Tingkat struktur Open Frame 15 tingkat akibat gempa Koyna dengan $kh=2.0420E+08$ , $kr=1.1932E+09$ .....	90
124. <b>Gambar 5.107</b>	Gaya Horizontal Tingkat struktur Braced X 15 tingkat akibat gempa Koyna dengan $kh=2.0420E+08$ , $kr=1.1932E+09$ .....	90
125. <b>Gambar 5.108</b>	Gaya Horizontal Tingkat struktur Braced V 15 tingkat akibat gempa Koyna dengan $kh=2.0420E+08$ , $kr=1.1932E+09$ .....	90
126. <b>Gambar 5.109</b>	Gaya Geser Tingkat struktur Open Frame 15 tingkat akibat gempa Bucharest dengan $kh=2.0420E+25$ , $kr=1.1932E+25$ .....	92
127. <b>Gambar 5.110</b>	Gaya Geser Tingkat struktur Braced X 15 tingkat akibat gempa Bucharest dengan $kh=2.0420E+25$ , $kr=1.1932E+25$ .....	92

128. <b>Gambar 5.111</b>	Gaya Geser Tingkat struktur Braced V 15 tingkat akibat gempa Bucharest dengan kh=2.0420E+25, kr=1.1932E+25 .....	92
129. <b>Gambar 5.112</b>	Gaya Geser Tingkat struktur Open Frame 15 tingkat akibat gempa Elcentro dengan kh=2.0420E+25, kr=1.1932E+25 .....	93
130. <b>Gambar 5.113</b>	Gaya Geser Tingkat struktur Braced X 15 tingkat akibat gempa Elcentro dengan kh=2.0420E+25, kr=1.1932E+25 .....	93
131. <b>Gambar 5.114</b>	Gaya Geser Tingkat struktur Braced V 15 tingkat akibat gempa Elcentro dengan kh=2.0420E+25, kr=1.1932E+25 .....	93
132. <b>Gambar 5.115</b>	Gaya Geser Tingkat struktur Open Frame 15 tingkat akibat gempa Koyna dengan kh=2.0420E+25, kr=1.1932E+25 .....	94
133. <b>Gambar 5.116</b>	Gaya Geser Tingkat struktur Braced X 15 tingkat akibat gempa Koyna dengan kh=2.0420E+25, kr=1.1932E+25 .....	94
134. <b>Gambar 5.117</b>	Gaya Geser Tingkat struktur Braced V 15 tingkat akibat gempa Koyna dengan kh=2.0420E+25, kr=1.1932E+25 .....	94



135. <b>Gambar 5.118</b>	Gaya Geser Tingkat struktur Open Frame 15 tingkat akibat gempa Bucharest dengan $kh=2.0420E+08$ , $kr=1.1932E+09$ .....	95
136. <b>Gambar 5.119</b>	Gaya Geser Tingkat struktur Braced X 15 tingkat akibat gempa Bucharest dengan $kh=2.0420E+08$ , $kr=1.1932E+09$ .....	95
137. <b>Gambar 5.120</b>	Gaya Geser Tingkat struktur Braced V 15 tingkat akibat gempa Bucharest dengan $kh=2.0420E+08$ , $kr=1.1932E+09$ .....	95
138. <b>Gambar 5.121</b>	Gaya Geser Tingkat struktur Open Frame 15 tingkat akibat gempa Elcentro dengan $kh=2.0420E+08$ , $kr=1.1932E+09$ .....	96
139. <b>Gambar 5.122</b>	Gaya Geser Tingkat struktur Braced X 15 tingkat akibat gempa Elcentro dengan $kh=2.0420E+08$ , $kr=1.1932E+09$ .....	96
140. <b>Gambar 5.123</b>	Gaya Geser Tingkat struktur Braced V 15 tingkat akibat gempa Elcentro dengan $kh=2.0420E+08$ , $kr=1.1932E+09$ .....	96
141. <b>Gambar 5.124</b>	Gaya Geser Tingkat struktur Open Frame 15 tingkat akibat gempa Koyna dengan $kh=2.0420E+08$ , $kr=1.1932E+09$ .....	97

142. <b>Gambar 5.125</b>	Gaya Geser Tingkat struktur Braced X 15 tingkat akibat gempa Koyna dengan $kh=2.0420E+08$ , $kr=1.1932E+09$ .....	97
143. <b>Gambar 5.126</b>	Gaya Geser Tingkat struktur Braced V 15 tingkat akibat gempa Koyna dengan $kh=2.0420E+08$ , $kr=1.1932E+09$ .....	97
144. <b>Gambar 5.127</b>	Momen Guling struktur Open Frame 15 tingkat akibat gempa Bucharest dengan $kh=2.0420E+25$ , $kr=1.1932E+25$ .....	99
145. <b>Gambar 5.128</b>	Momen Guling struktur Braced X 15 tingkat akibat gempa Bucharest dengan $kh=2.0420E+25$ , $kr=1.1932E+25$ .....	99
146. <b>Gambar 5.129</b>	Momen Guling struktur Braced V 15 tingkat akibat gempa Bucharest dengan $kh=2.0420E+25$ , $kr=1.1932E+25$ .....	99
147. <b>Gambar 5.130</b>	Momen Guling struktur Open Frame 15 tingkat akibat gempa Elcentro dengan $kh=2.0420E+25$ , $kr=1.1932E+25$ .....	100
148. <b>Gambar 5.131</b>	Momen Guling struktur Braced X 15 tingkat akibat gempa Elcentro dengan $kh=2.0420E+25$ , $kr=1.1932E+25$ .....	100

149. <b>Gambar 5.132</b>	Momen Guling struktur Braced V 15 tingkat akibat gempa Elcentro dengan $kh=2.0420E+25$ , $kr=1.1932E+25$ .....	100
150. <b>Gambar 5.133</b>	Momen Guling struktur Open Frame 15 tingkat akibat gempa Koyna dengan $kh=2.0420E+25$ , $kr=1.1932E+25$ .....	101
151. <b>Gambar 5.134</b>	Momen Guling struktur Braced X 15 tingkat akibat gempa Koyna dengan $kh=2.0420E+25$ , $kr=1.1932E+25$ .....	101
152. <b>Gambar 5.135</b>	Momen Guling struktur Braced V 15 tingkat akibat gempa Koyna dengan $kh=2.0420E+25$ , $kr=1.1932E+25$ .....	101
153. <b>Gambar 5.136</b>	Momen Guling struktur Open Frame 15 tingkat akibat gempa Bucharest dengan $kh=2.0420E+08$ , $kr=1.1932E+09$ .....	102
154. <b>Gambar 5.137</b>	Momen Guling struktur Braced X 15 tingkat akibat gempa Bucharest dengan $kh=2.0420E+08$ , $kr=1.1932E+09$ .....	102
155. <b>Gambar 5.138</b>	Momen Guling struktur Braced V 15 tingkat akibat gempa Bucharest dengan $kh=2.0420E+08$ , $kr=1.1932E+09$ .....	102

156. <b>Gambar 5.139</b>	Momen Guling struktur Open Frame 15 tingkat akibat gempa Elcentro dengan $kh=2.0420E+08$ , $kr=1.1932E+09$ .....	103
157. <b>Gambar 5.140</b>	Momen Guling struktur Braced X 15 tingkat akibat gempa Elcentro dengan $kh=2.0420E+08$ , $kr=1.1932E+09$ .....	103
158. <b>Gambar 5.141</b>	Momen Guling struktur Braced V 15 tingkat akibat gempa Elcentro dengan $kh=2.0420E+08$ , $kr=1.1932E+09$ .....	103
159. <b>Gambar 5.142</b>	Momen Guling struktur Open Frame 15 tingkat akibat gempa Koyna dengan $kh=2.0420E+08$ , $kr=1.1932E+09$ .....	104
160. <b>Gambar 5.143</b>	Momen Guling struktur Braced X 15 tingkat akibat gempa Koyna dengan $kh=2.0420E+08$ , $kr=1.1932E+09$ .....	104
161. <b>Gambar 5.144</b>	Momen Guling struktur Braced V 15 tingkat akibat gempa Koyna dengan $kh=2.0420E+08$ , $kr=1.1932E+09$ .....	104
162. <b>Gambar 5.145</b>	Grafik Simpangan Netto Maksimum akibat 3 gempa .....	106
163. <b>Gambar 5.146</b>	Grafik Simpangan Netto Maksimum dengan 6 kombinasi .....	107

164. <b>Gambar 5.147</b>	Simpangan Horizontal Pondasi dengan kh=2.0420E+25, kr=1.1932E+25.....	108
165. <b>Gambar 5.148</b>	Simpangan Horizontal Pondasi dengan kh=2.0420E+08, kr=1.1932E+09.....	109
166. <b>Gambar 5.149</b>	Simpangan Netto Maksimum dengan kh=2.0420E+25, kr=1.1932E+25.....	110
167. <b>Gambar 5.150</b>	Simpangan Netto Maksimum dengan kh=2.0420E+08, kr=1.1932E+09.....	111
168. <b>Gambar 5.151</b>	Rotasi Pondasi dengan kh=2.0420E+25, kr=1.1932E+25.....	117
169. <b>Gambar 5.152</b>	Rotasi Pondasi dengan kh=2.0420E+08, kr=1.1932E+09.....	118
170. <b>Gambar 5.153</b>	Grafik Simpangan Rotasi Maksimum akibat 3 gempa.....	121
171. <b>Gambar 5.154</b>	Grafik Simpangan Rotasi Maksimum dengan 6 kombinasi.....	122
172. <b>Gambar 5.155</b>	Simpangan Rotasi Maksimum dengan kh=2.0420E+25, kr=1.1932E+25.....	123
173. <b>Gambar 5.156</b>	Simpangan Rotasi Maksimum dengan kh=2.0420E+08, kr=1.1932E+09.....	124
174. <b>Gambar 5.157</b>	Grafik Simpangan Total Maksimum akibat 3 gempa.....	129

175. <b>Gambar 5.158</b>	Grafik Simpangan Total Maksimum dengan 6 kombinasi .....	130
176. <b>Gambar 5.159</b>	Simpangan Total Maksimum dengan $kh=2.0420E+25$ , $kr=1.1932E+25$ .....	131
177. <b>Gambar 5.160</b>	Simpangan Total Maksimum dengan $kh=2.0420E+08$ , $kr=1.1932E+09$ .....	132
178. <b>Gambar 5.161</b>	Grafik Inter-Storey Drift Maksimum akibat 3 gempa .....	138
179. <b>Gambar 5.162</b>	Grafik Inter-Storey Drift Maksimum dengan 6 kombinasi .....	139
180. <b>Gambar 5.163</b>	Inter-Storey Drift Maksimum dengan $kh=2.0420E+25$ , $kr=1.1932E+25$ .....	140
181. <b>Gambar 5.164</b>	Inter-Storey Drift Maksimum dengan $kh=2.0420E+08$ , $kr=1.1932E+09$ .....	141
182. <b>Gambar 5.165</b>	Grafik Gaya Horisontal Tingkat Maksimum akibat 3 gempa.....	146
183. <b>Gambar 5.166</b>	Grafik Gaya Horisontal Tingkat Maksimum dengan 6 kombinasi.....	147
184. <b>Gambar 5.167</b>	Gaya Horisontal Tingkat Maksimum dengan $kh=2.0420E+25$ , $kr=1.1932E+25$ .....	148
185. <b>Gambar 5.168</b>	Gaya Horisontal Tingkat Maksimum dengan $kh=2.0420E+08$ , $kr=1.1932E+09$ .....	149

186. <b>Gambar 5.169</b>	Grafik Gaya Geser Tingkat Maksimum akibat 3 gempa .....	155
187. <b>Gambar 5.170</b>	Grafik Gaya Geser Tingkat Maksimum dengan 6 kombinasi .....	156
188. <b>Gambar 5.171</b>	Gaya Geser Tingkat Maksimum dengan kh=2.0420E+25, kr=1.1932E+25.....	157
189. <b>Gambar 5.172</b>	Gaya Geser Tingkat Maksimum dengan kh=2.0420E+08, kr=1.1932E+09.....	158
190. <b>Gambar 5.173</b>	Grafik Gaya Geser Tingkat Struktur <i>Open</i> <i>Frame</i> ; akibat gempa <i>Koyna</i> ; dengan kh=2.0420E+25, kr=1.1932E+25.....	159
191. <b>Gambar 5.174</b>	Grafik Momen Guling Maksimum akibat 3 gempa .....	165
192. <b>Gambar 5.175</b>	Grafik Momen Guling Maksimum dengan 6 kombinasi .....	166
193. <b>Gambar 5.176</b>	Momen Guling Maksimum dengan kh=2.0420E+25, kr=1.1932E+25.....	167
194. <b>Gambar 5.177</b>	Momen Guling Maksimum dengan kh=2.0420E+08, kr=1.1932E+09.....	168
195. <b>Gambar 5.178</b>	Grafik Simpangan Netto Maksimum akibat gempa Bucharest dengan 3 kombinasi redaman.....	174
196. <b>Gambar 5.179</b>	Grafik Simpangan Netto Maksimum akibat gempa Elcentro dengan 3 kombinasi redaman.....	175

197. <b>Gambar 5.180</b>	Grafik Simpangan Netto Maksimum akibat gempa Koyna dengan 3 kombinasi redaman.....	176
198. <b>Gambar 5.181</b>	Grafik Rotasi Pondasi akibat gempa Bucharest dengan 3 kombinasi redaman.....	177
199. <b>Gambar 5.182</b>	Grafik Rotasi Pondasi akibat gempa Elcentro dengan 3 kombinasi redaman.....	178
200. <b>Gambar 5.183</b>	Grafik Rotasi Pondasi akibat gempa Koyna dengan 3 kombinasi redaman.....	179
201. <b>Gambar 5.184</b>	Grafik Simpangan Rotasi Maksimum akibat gempa Bucharest dengan 3 kombinasi redaman.....	180
202. <b>Gambar 5.185</b>	Grafik Simpangan Rotasi Maksimum akibat gempa Elcentro dengan 3 kombinasi redaman.....	181
203. <b>Gambar 5.186</b>	Grafik Simpangan Rotasi Maksimum akibat gempa Koyna dengan 3 kombinasi redaman.....	182
204. <b>Gambar 5.187</b>	Grafik Simpangan Total Maksimum akibat gempa Bucharest dengan 3 kombinasi redaman.....	183
205. <b>Gambar 5.188</b>	Grafik Simpangan Total Maksimum akibat gempa Elcentro dengan 3 kombinasi redaman.....	184
206. <b>Gambar 5.189</b>	Grafik Simpangan Total Maksimum akibat gempa Koyna dengan 3 kombinasi redaman.....	185
207. <b>Gambar 5.190</b>	Grafik Inter-Storey Drift Maksimum akibat gempa Bucharest dengan 3 kombinasi redaman.....	186



208. <b>Gambar 5.191</b>	Grafik Inter-Storey Drift Maksimum akibat gempa Elcentro dengan 3 kombinasi redaman.....	187
209. <b>Gambar 5.192</b>	Grafik Inter-Storey Drift Maksimum akibat gempa Koyna dengan 3 kombinasi redaman.....	188
210. <b>Gambar 5.193</b>	Grafik Gaya Horizontal Tingkat Maksimum akibat gempa Bucharest dengan 3 kombinasi redaman.....	189
211. <b>Gambar 5.194</b>	Grafik Gaya Horizontal Tingkat Maksimum akibat gempa Elcentro dengan 3 kombinasi redaman.....	190
212. <b>Gambar 5.195</b>	Grafik Gaya Horizontal Tingkat Maksimum akibat gempa Koyna dengan 3 kombinasi redaman.....	191
213. <b>Gambar 5.196</b>	Grafik Gaya Geser Tingkat Maksimum akibat gempa Bucharest dengan 3 kombinasi redaman.....	192
214. <b>Gambar 5.197</b>	Grafik Gaya Geser Tingkat Maksimum akibat gempa Elcentro dengan 3 kombinasi redaman.....	193
215. <b>Gambar 5.198</b>	Grafik Gaya Geser 1 Tingkat Maksimum akibat gempa Koyna dengan 3 kombinasi redaman.....	194
216. <b>Gambar 5.199</b>	Grafik Momen Guling Maksimum akibat gempa Bucharest dengan 3 kombinasi redaman.....	195
217. <b>Gambar 5.200</b>	Grafik Momen Guling Maksimum akibat gempa Elcentro dengan 3 kombinasi redaman.....	196

218. <b>Gambar 5.201</b>	Grafik Momen Guling Maksimum akibat gempa Koyna dengan 3 kombinasi redaman .....	197
219. <b>Gambar 5.202</b>	Grafik Simpangan Netto Maksimum Struktur 10 Tingkat akibat 3 gempa .....	199
220. <b>Gambar 5.203</b>	Grafik Simpangan Netto Maksimum Struktur 10 Tingkat dengan 6 kombinasi .....	200
221. <b>Gambar 5.204</b>	Grafik Simpangan Rotasi Maksimum Struktur 10 Tingkat akibat 3 gempa .....	201
222. <b>Gambar 5.205</b>	Grafik Simpangan Rotasi Maksimum Struktur 10 Tingkat dengan 6 kombinasi .....	202
223. <b>Gambar 5.206</b>	Grafik Simpangan Total Maksimum Struktur 10 Tingkat akibat 3 gempa .....	203
224. <b>Gambar 5.207</b>	Grafik Simpangan Total Maksimum Struktur 10 Tingkat dengan 6 kombinasi .....	204
225. <b>Gambar 5.208</b>	Grafik Inter-Storey Drift Maksimum Struktur 10 Tingkat akibat 3 gempa .....	205
226. <b>Gambar 5.209</b>	Grafik Inter-Storey Drift Maksimum Struktur 10 Tingkat dengan 6 kombinasi .....	206
227. <b>Gambar 5.210</b>	Grafik Simpangan Netto Maksimum Struktur 7 Tingkat akibat 3 gempa .....	207
228. <b>Gambar 5.211</b>	Grafik Simpangan Netto Maksimum Struktur 7 Tingkat dengan 6 kombinasi .....	208

229. <b>Gambar 5.212</b>	Grafik Simpangan Rotasi Maksimum Struktur 7	
	Tingkat akibat 3 gempa.....	209
230. <b>Gambar 5.213</b>	Grafik Simpangan Rotasi Maksimum Struktur 7	
	Tingkat dengan 6 kombinasi .....	210
231. <b>Gambar 5.214</b>	Grafik Simpangan Total Maksimum Struktur 7	
	Tingkat akibat 3 gempa.....	211
232. <b>Gambar 5.215</b>	Grafik Simpangan Total Maksimum Struktur 7	
	Tingkat dengan 6 kombinasi .....	212
233. <b>Gambar 5.216</b>	Grafik Inter-Storey Drift Maksimum Struktur 7	
	Tingkat akibat 3 gempa.....	213
234. <b>Gambar 5.217</b>	Grafik Inter-Storey Drift Maksimum Struktur 7	
	Tingkat dengan 6 kombinasi .....	214

## DAFTAR TABEL

	hal.
1. <b>Tabel 3.1</b> Nilai-nilai rasio redaman untuk berbagai jenis kondisi .....	18
2. <b>Tabel 4.1</b> Dimensi elemen struktur 15 tingkat .....	37
3. <b>Tabel 4.2</b> Dimensi elemen struktur 7 tingkat .....	38
4. <b>Tabel 4.3</b> Beban merata untuk struktur 7 tingkat .....	38
5. <b>Tabel 4.4</b> Dimensi elemen struktur 10 tingkat .....	40
6. <b>Tabel 4.5</b> Beban merata untuk struktur 10 tingkat .....	40
7. <b>Tabel 4.6</b> Data kandungan frekuensi beban gempa (A/V rasio).....	41
8. <b>Tabel 5.1</b> Hasil perhitungan beban merata pada struktur 15 tingkat .....	46
9. <b>Tabel 5.2</b> Hasil perhitungan massa struktur 15 tingkat .....	47
10. <b>Tabel 5.3</b> Hasil perhitungan kekakuan struktur 15 tingkat.....	48
11. <b>Tabel 5.4</b> Simpangan netto maksimum struktur 15 tingkat kh=2.0420E+25, kr=1.1932E+25 dengan menggunakan gempa Bucharest .....	112
12. <b>Tabel 5.5</b> Simpangan netto maksimum struktur 15 tingkat kh=2.0420E+08, kr=1.1932E+09 dengan menggunakan gempa Bucharest .....	112
13. <b>Tabel 5.6</b> Simpangan netto maksimum struktur 15 tingkat kh=2.0420E+25, kr=1.1932E+25 dengan menggunakan gempa Elcentro .....	113

14. <b>Tabel 5.7</b>	Simpangan netto maksimum struktur 15 tingkat kh=2.0420E+08, kr=1.1932E+08 dengan menggunakan gempa Elcentro .....	113
15. <b>Tabel 5.8</b>	Simpangan netto maksimum struktur 15 tingkat kh=2.0420E+25, kr=1.1932E+25 dengan menggunakan gempa Koyna .....	114
16. <b>Tabel 5.9</b>	Simpangan netto maksimum struktur 15 tingkat kh=2.0420E+08, kr=1.1932E+09 dengan menggunakan gempa Koyna .....	114
17. <b>Tabel 5.10</b>	Rotasi Pondasi struktur 15 tingkat untuk Open Frame .....	119
18. <b>Tabel 5.11</b>	Rotasi Pondasi struktur 15 tingkat untuk Braced X .....	119
19. <b>Tabel 5.12</b>	Rotasi Pondasi struktur 15 tingkat untuk Braced V .....	119
20. <b>Tabel 5.13</b>	Simpangan Rotasi maksimum struktur 15 tingkat kh=2.0420E+25, kr=1.1932E+25 dengan menggunakan gempa Bucharest .....	125
21. <b>Tabel 5.14</b>	Simpangan Rotasi maksimum struktur 15 tingkat kh=2.0420E+08, kr=1.1932E+09 dengan menggunakan gempa Bucharest .....	125
22. <b>Tabel 5.15</b>	Simpangan Rotasi maksimum struktur 15 tingkat kh=2.0420E+25, kr=1.1932E+25 dengan menggunakan gempa Elcentro .....	126

23. <b>Tabel 5.16</b>	Simpangan Rotasi maksimum struktur 15 tingkat kh=2.0420E+08, kr=1.1932E+09 dengan menggunakan gempa Elcentro .....	126
24. <b>Tabel 5.17</b>	Simpangan Rotasi maksimum struktur 15 tingkat kh=2.0420E+25, kr=1.1932E+25 dengan menggunakan gempa Koyna .....	127
25. <b>Tabel 5.18</b>	Simpangan Rotasi maksimum struktur 15 tingkat kh=2.0420E+0, kr=1.1932E+25 dengan menggunakan gempa Koyna .....	127
26. <b>Tabel 5.19</b>	Simpangan total maksimum struktur 15 tingkat kh=2.0420E+25, kr=1.1932E+25 dengan menggunakan gempa Bucharest .....	133
27. <b>Tabel 5.20</b>	Simpangan total maksimum struktur 15 tingkat kh=2.0420E+08, kr=1.1932E+09 dengan menggunakan gempa Bucharest .....	133
28. <b>Tabel 5.21</b>	Simpangan total maksimum struktur 15 tingkat kh=2.0420E+25, kr=1.1932E+25 dengan menggunakan gempa Elcentro .....	134
29. <b>Tabel 5.22</b>	Simpangan total maksimum struktur 15 tingkat kh=2.0420E+08, kr=1.1932E+09 dengan menggunakan gempa Elcentro .....	134

30. <b>Tabel 5.23</b>	Simpangan total maksimum struktur 15 tingkat kh=2.0420E+25, kr=1.1932E+25 dengan menggunakan gempa Koyna .....	135
31. <b>Tabel 5.24</b>	Simpangan total maksimum struktur 15 tingkat kh=2.0420E+08, kr=1.1932E+09 dengan menggunakan gempa Koyna .....	135
32. <b>Tabel 5.25</b>	Simpangan antar tingkat maksimum struktur 15 tingkat kh=2.0420E+25, kr=1.1932E+25 dengan menggunakan gempa Bucharest .....	142
33. <b>Tabel 5.26</b>	Simpangan antar tingkat maksimum struktur 15 tingkat kh=2.0420E+08, kr=1.1932E+09 dengan menggunakan gempa Bucharest .....	142
34. <b>Tabel 5.27</b>	Simpangan antar tingkat maksimum struktur 15 tingkat kh=2.0420E+25, kr=1.1932E+25 dengan menggunakan gempa Elcentro .....	143
35. <b>Tabel 5.28</b>	Simpangan antar tingkat maksimum struktur 15 tingkat kh=2.0420E+08, kr=1.1932E+09 dengan menggunakan gempa Elcentro .....	143
36. <b>Tabel 5.29</b>	Simpangan antar tingkat maksimum struktur 15 tingkat kh=2.0420E+25, kr=1.1932E+25 dengan menggunakan gempa Koyna .....	144

37. <b>Tabel 5.30</b>	Simpangan antar tingkat maksimum struktur 15 tingkat kh=2.0420E+08, kr=1.1932E+09 dengan menggunakan gempa Koyna .....	144
38. <b>Tabel 5.31</b>	Gaya Horisontal tingkat maksimum struktur 15 tingkat kh=2.0420E+25, kr=1.1932E+25 dengan menggunakan gempa Bucharest .....	150
39. <b>Tabel 5.32</b>	Gaya Horisontal tingkat maksimum struktur 15 tingkat kh=2.0420E+08, kr=1.1932E+09 dengan menggunakan gempa Bucharest .....	150
40. <b>Tabel 5.33</b>	Gaya Horisontal tingkat maksimum struktur 15 tingkat kh=2.0420E+25, kr=1.1932E+25 dengan menggunakan gempa Elcentro .....	151
41. <b>Tabel 5.34</b>	Gaya Horisontal tingkat maksimum struktur 15 tingkat kh=2.0420E+08, kr=1.1932E+09 dengan menggunakan gempa Elcentro .....	151
42. <b>Tabel 5.35</b>	Gaya Horisontal tingkat maksimum struktur 15 tingkat kh=2.0420E+25, kr=1.1932E+25 dengan menggunakan gempa Koyna .....	152
43. <b>Tabel 5.36</b>	Gaya Horisontal tingkat maksimum struktur 15 tingkat kh=2.0420E+08, kr=1.1932E+09 dengan menggunakan gempa Koyna .....	152
44. <b>Tabel 5.37</b>	Gaya Geser tingkat maksimum struktur 15 tingkat kh=2.0420E+25, kr=1.1932E+25 dengan menggunakan gempa Bucharest .....	160



45. <b>Tabel 5.38</b>	Gaya Geser tingkat maksimum struktur 15 tingkat kh=2.0420E+08, kr=1.1932E+09 dengan menggunakan gempa Bucharest .....	160
46. <b>Tabel 5.39</b>	Gaya Geser tingkat maksimum struktur 15 tingkat kh=2.0420E+25, kr=1.1932E+25 dengan menggunakan gempa Elcentro .....	161
47. <b>Tabel 5.40</b>	Gaya Geser tingkat maksimum struktur 15 tingkat kh=2.0420E+25, kr=1.1932E+25 dengan menggunakan gempa Elcentro .....	161
48. <b>Tabel 5.41</b>	Gaya Geser tingkat maksimum struktur 15 tingkat kh=2.0420E+25, kr=1.1932E+25 dengan menggunakan gempa Koyna .....	162
49. <b>Tabel 5.42</b>	Gaya Geser tingkat maksimum struktur 15 tingkat kh=2.0420E+08, kr=1.1932E+09 dengan menggunakan gempa Koyna .....	162
50. <b>Tabel 5.43</b>	Momen guling maksimum struktur 15 tingkat kh=2.0420E+25, kr=1.1932E+25 dengan menggunakan gempa Bucharest .....	169
51. <b>Tabel 5.44</b>	Momen guling maksimum struktur 15 tingkat kh=2.0420E+08, kr=1.1932E+09 dengan menggunakan gempa Bucharest .....	169

52. <b>Tabel 5.45</b>	Momen guling maksimum struktur 15 tingkat kh=2.0420E+25, kr=1.1932E+25 dengan menggunakan gempa Elcentro .....	170
53. <b>Tabel 5.46</b>	Momen guling maksimum struktur 15 tingkat kh=2.0420E+08, kr=1.1932E+09 dengan menggunakan gempa Elcentro .....	170
54. <b>Tabel 5.47</b>	Momen guling maksimum struktur 15 tingkat kh=2.0420E+25, kr=1.1932E+25 dengan menggunakan gempa Koyna .....	171
55. <b>Tabel 5.48</b>	Momen guling maksimum struktur 15 tingkat kh=2.0420E+08, kr=1.1932E+09 dengan menggunakan gempa Koyna .....	171

## DAFTAR NOTASI

$b$	: lebar
$c$	: redaman
$E$	: modulus elastisitas
$g$	: percepatan gravitasi
$h$	: tinggi
$I$	: inersia
$k$	: kekakuan
$K_h$	: kekakuan horisontal tanah
$K_r$	: kekakuan putar tanah
$C_h$	: redaman horisontal tanah
$C_r$	: redaman putar tanah
$l$	: panjang
$m$	: massa
$t$	: waktu
$w$	: berat
$[C]$	: matriks redaman
$[K]$	: matriks kekakuan
$[M]$	: matriks massa
$P(t)$	: gaya luar
$\Delta P_i$	: intensitas pembebanan
$\Delta t$	: interval waktu

- $\Delta y$  : perubahan simpangan
- $\Delta \dot{y}$  : perubahan kecepatan
- $\Delta \ddot{y}$  : perubahan percepatan
- $M_g$  : momen guling ke-n
- $F_j$  : gaya horisonta tingkat ke-n
- $V$  : gaya geser tingkat
- $y$  : simpangan
- $y_j$  : simpangan antar tingkat
- $\dot{y}$  : kecepatan
- $\ddot{y}$  : percepatan
- $\ddot{y}_b$  : percepatan tanah
- $\theta$  : sudut rotasi
- $\lambda$  : percepatan sudut
- $\omega$  : frekuensi sudut
- $\phi$  : mode shape
- $\xi$  : rasio redaman

## ABSTRAK

Pada konsep desain struktur bangunan daktail gedung bertingkat tinggi, simpangan yang terjadi harus dikendalikan sedemikian rupa sehingga masih berada pada batas-batas keamanan dan kenyamanan. Salah satu alternatif untuk mengatasi permasalahan dalam mengurangi perpindahan lateral yang terjadi adalah dengan melengkapi pengaku (*bracing*) agar diperoleh kestabilan lateral dari struktur. Selain itu sebagai penyerderhanaan dalam analisis struktur, pondasi bangunan umumnya dianggap dijepit secara kaku oleh tanah dasar atau bahkan hanya dianggap didukung oleh sistem sendi. Namun demikian kedua anggapan tersebut tidaklah tepat, karena secara umum tanah bukanlah suatu material yang dapat menjepit secara kaku kolom dari suatu bangunan. Pada *Lumped Parameter Model* kekakuan dan redaman interaksi antara tanah dengan fondasi dimodel sebagai pegas dan dashpot. Kekakuan dan redaman interaksi antara tanah dengan pondasi yang diperoleh kemudian dicangkokkan dengan struktur dan terjadilah sistem struktur yang utuh. Yang menjadi permasalahan adalah bahwa pemakaian pengaku (*bracing*) akan membuat struktur lebih kaku, sedangkan pada struktur yang kaku, penyaluran gaya horizontal akibat gempa oleh struktur ke pondasi menjadi lebih sempurna. Akibatnya potensi pondasi untuk berotasi menjadi lebih besar. Untuk itu perlu diadakan penelitian untuk menjawab permasalahan tersebut.

Penelitian dilaksanakan dengan menghitung respon struktur dari tiga model struktur 15 tingkat, 7 tingkat dan 10 tingkat (*open frame*, *braced X*, dan *braced V*), tiga beban gempa yang dibedakan menurut kandungan frekuensinya yaitu untuk frekuensi rendah menggunakan gempa Bucharest, frekuensi sedang menggunakan gempa Elcentro sedangkan untuk frekuensi tinggi menggunakan gempa Koyna dan dua data interaksi antara tanah dan pondasi. Sebagai alat Bantu dalam menghitung respon struktur tersebut kami membuat program bantu dengan bahasa Microsoft Visual Basic 6.0 yang diberi nama PROGSIP 2003. Di samping itu untuk memvisualisasikan grafik dari output program tersebut digunakan Microsoft Excel.

Berdasarkan respon struktur yang dihasilkan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut : 1) Respon struktur sangat dipengaruhi oleh kedekatan nilai frekuensi struktur dengan frekuensi beban gempa, dimana struktur dengan dukungan tanah (*fixed*) tanah dianggap jepit penuh akan mempunyai nilai frekuensi yang lebih besar dibandingkan dengan pada kondisi tanah dianggap dapat berotasi. 2) Penggunaan pengaku (*bracing*) untuk semua beban gempa akan memperkecil simpangan netto dan simpangan antar tingkat, tetapi justru akan memperbesar rotasi pondasi, simpangan rotasi, simpangan total, gaya horizontal, gaya geser tingkat dan momen guling. 3) Pada bangunan yang semakin tinggi atau banyak tingkat pengaruh penggunaan pengaku (*bracing*) dalam mengurangi besarnya simpangan yang terjadi akan semakin kecil. 4) Gempa dengan durasi waktu yang lama tidak menyebabkan respon struktur menjadi maksimum. 5) Gaya horisontal tingkat beban gempa statik pada perencanaan mendekati sama dengan gaya horisontal tingkat akibat gempa Koyna pada kondisi *code level limit state*.

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang mempunyai permasalahan yang cukup kompleks dalam mengatasi laju pertumbuhan penduduk, hal tersebut terutama terjadi di pulau Jawa yang sudah sangat padat. Kebutuhan akan sarana dan prasarana berupa perumahan, perkantoran, pertokoan dan lain lain menuntut adanya ketersediaan lahan yang luas untuk membangunnya. Selain itu posisi Indonesia yang dilalui oleh dua jalur gempa yaitu *Circum Pasific Earthquake Belt* ( melalui Sulawesi Utara, Kepulauan Maluku, dan Irian Jaya) dan *Trans Asiatic Earthquake Belt* (melalui Sumatra, Jawa, Nusa Tenggara dan Irian Jaya) menuntut bangunan-bangunan yang tahan akan bahaya gempa yang ada.

Dengan adanya keterbatasan lahan dan adanya tingkat resiko gempa maka suatu struktur yang akan didirikan harus didesain menjadi bangunan yang hemat lahan dan mempunyai ketahanan terhadap resiko gempa yang ada. Tuntutan seperti itu membuat dunia konstruksi cenderung mendirikan gedung bertingkat banyak.

Massa gedung merupakan salah satu karakteristik struktur bangunan yang mempengaruhi sifat beban gempa dan sifat ketahanan konstruksi bangunan itu sendiri. Semakin besar massa suatu bangunan maka semakin besar pula beban gempa yang akan dipikul oleh bangunan itu disaat ada gempa, oleh karena itu penggunaan struktur yang ringan merupakan salah satu penyelesaian yang disarankan pada bangunan di daerah rawan gempa.

Untuk mereduksi kerusakan akibat bahaya gempa, diperlukan perencanaan struktur gedung yang memiliki konsep struktur yang daktail. Pada struktur baja daktail gedung bertingkat tinggi apabila menerima beban lateral, akan mengalami simpangan searah gaya yang terjadi. Pada konsep desain struktur bangunan daktail gedung bertingkat tinggi, simpangan yang terjadi harus dikendalikan sedemikian rupa sehingga masih berada pada batas-batas keamanan dan kenyamanan. Salah satu alternatif untuk mengatasi permasalahan dalam mengurangi perpindahan lateral yang terjadi adalah dengan melengkapi pengaku (*bracing*) agar diperoleh kestabilan lateral dari struktur.

Analisis struktur utama untuk bangunan gedung merupakan satu kegiatan penting dalam siklus kegiatan analisis, desain dan kontrol pada problem keteknikan (*engineering problem*). Model fisik, mekanik maupun model matematik merupakan hal penting yang mendasari analisis struktur. Model fisik tersebut dilakukan untuk tujuan menyederhanakan persoalan. Perilaku elemen akibat suatu beban kemudian direpresentasikan menjadi model mekanik dan representasi keseimbangan internal kemudian dinyatakan dalam model matematik.

Sebagai penyederhanaan dalam analisis struktur, pondasi bangunan umumnya dianggap dijepit secara kaku oleh tanah dasar atau bahkan hanya dianggap didukung oleh sistem sendi. Namun demikian kedua anggapan tersebut tidaklah tepat, karena secara umum tanah bukanlah suatu material yang dapat menjepit secara kaku kolom dari suatu bangunan. Pada *Lumped Parameter Model* kekakuan dan redaman interaksi antara tanah dengan fondasi dimodel sebagai pegas dan *dashpot* (model redaman). Kekakuan dan redaman interaksi antara tanah dengan pondasi

yang diperoleh kemudian dicangkokkan dengan struktur dan terjadilah sistem struktur yang utuh. Yang menjadi permasalahan adalah bahwa pemakaian pengaku (*bracing*) akan membuat struktur lebih kaku, sedangkan pada struktur yang kaku, penyaluran gaya horisontal akibat gempa oleh struktur ke pondasi menjadi lebih sempurna. Akibatnya potensi pondasi untuk berotasi menjadi lebih besar.

Atas dasar paparan di atas, maka diperlukan suatu penelitian tentang pengaruh penggunaan pengaku (*bracing*) dan pengaruh penggunaan nilai kekakuan dan redaman interaksi antara tanah dengan pondasi yang berbeda serta penggunaan parameter gerakan tanah yang berbeda terhadap respon elastik struktur baja bertingkat banyak.

## **1.2 Rumusan Masalah**

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

1. Bagaimana pengaruh penggunaan pengaku (*bracing*) terhadap respon struktur
2. Bagaimana pengaruh penggunaan nilai kekakuan redaman interaksi antara tanah dengan pondasi yang berbeda terhadap respon struktur
3. Bagaimana pengaruh penggunaan parameter gerakan tanah (nilai maksimum percepatan tanah, durasi gempa dan frekuensi) yang berbeda terhadap respon struktur



### 1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang ada, maka dalam tugas akhir ini menggunakan integrasi secara langsung menurut  $\beta$ -Newmark. Adapun tujuan tugas akhir ini adalah :

1. Untuk mengetahui pengaruh penggunaan pengaku (*bracing*) terhadap respon struktur
2. Untuk mengetahui respon struktur jika nilai kekakuan dan redaman interaksi antara tanah dengan pondasi yang digunakan berbeda
3. Untuk mengetahui pengaruh penggunaan parameter gerakan tanah yang berbeda terhadap respon struktur

### 1.4 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat dipakai sebagai bahan pertimbangan dalam menghitung dan menganalisa tentang pengaruh rotasi pondasi dan penggunaan pengaku (*bracing*) terhadap perilaku struktur baja bertingkat banyak, sehingga didapatkan suatu desain struktur tahan gempa yang aman dan nyaman bagi pemakainya.

### 1.5 Lingkup Penelitian

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

1. Analisa dan perhitungan struktur, diambil dari struktur yang sudah ada (*open frame* dengan penambahan pengaku tipe X dan tipe V) yaitu hasil desain dalam tugas akhir Wiwit Budi C dan Hariyanto (2000).
2. Analisa massa struktur menggunakan sistem massa dianggap menggumpal pada satu titik (*lumped mass*).
3. Perhitungan kekakuan kolom struktur berdasarkan prinsip *Shear Building*.
4. Nilai redaman horisontal tanah ( $c_h$ ) dan redaman putar ( $c_r$ ) tanah ditetapkan sebesar  $c_h=7264400 \text{ kg}\cdot\text{dt}/\text{m}$ ,  $c_r=17878000 \text{ kg}\cdot\text{dt}/\text{rad}$ .
5. Nilai kekakuan horizontal tanah ( $k_h$ ) dan kekakuan putar tanah ( $k_r$ ) ditetapkan sebesar :  $k_h=2.0420\text{E}+25 \text{ kg}/\text{m}$ ;  $k_r=1.1932\text{E}+25 \text{ kg}/\text{rad}$ , dan  $k_h=2.0420\text{E}+08 \text{ kg}/\text{m}$ ;  $k_r=1.1932\text{E}+09 \text{ kg}/\text{rad}$ .
6. Kekakuan vertikal tanah tidak diperhitungkan
7. Besarnya redaman menggunakan analisis redaman proporsional terhadap massa dan kekakuan (*mass and stiffness proportional damping*)
8. Percepatan tanah diambil dari data gempa yang sudah ada pada kondisi *code level limit state* dengan percepatan tanah maksimum sebesar  $70,4 \text{ cm}/\text{dt}^2$ .
9. Analisa dan perhitungan struktur menggunakan model bangunan 2 dimensi dengan meninjau momen inersia berdasarkan sumbu terkuat.
10. Perhitungan struktur menggunakan integrasi secara langsung menurut  $\beta$ -*Newmark* dengan formulasi untuk analisis linier elastik.
11. Pembuatan program dengan Microsoft Visual Basic 6.0.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Pendahuluan**

Tinjauan pustaka merupakan sebuah tinjauan mengenai teori-teori dan hasil-hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya yang mendukung pelaksanaan penelitian. Dengan demikian penelitian yang dilakukan mempunyai landasan teori yang kuat sehingga dapat memberikan hasil yang optimal.

Di dalam mendesain suatu struktur bangunan bertingkat banyak sangat diperlukan suatu penguasaan ilmu yang berkaitan atau berhubungan dengan struktur bangunan. Adapun dalam melakukan perhitungan dalam mendesain struktur bangunan diperlukan suatu alat bantu karena apabila dilakukan perhitungan secara manual akan memerlukan waktu yang lama dengan tingkat ketelitian yang terbatas. Adapun alat Bantu yang akan digunakan berupa program komputer, karena pemakaian komputer sangat membantu mempermudah dan mempercepat perhitungan-perhitungan dengan teliti.

Banyak program bantu dalam perhitungan struktur yang dapat digunakan seperti Matlab, Microsoft Visual Basic, Borland Delphi, dan lain sebagainya. Adapun dalam penelitian ini program Bantu yang akan digunakan adalah program Microsoft Visual Basic.

Ditinjau dari definisinya, portal merupakan suatu rangka struktur pada bangunan gedung yang harus mempunyai kemampuan untuk menahan beban-beban yang bekerja terhadap struktur tersebut. Untuk mendesain suatu rangka struktur

bertingkat banyak maka dapat diambil suatu alternatif dengan menggunakan elemen baja karena elemen baja mempunyai sifat daktil, sehingga baja mampu mengalami deformasi yang lebih besar setelah batas elastisnya terlampaui. Elemen struktur baja dengan sistem pengaku dipergunakan untuk meningkatkan kekakuan portal secara keseluruhan sehingga dapat mengurangi perpindahan lateral yang terjadi.

Pada penelitian ini ada beberapa hasil penelitian yang telah dilakukan yang digunakan sebagai tinjauan pustaka, antara lain :

### **1. Wiwit Budi C dan Hariyanto (2000)**

Kedua peneliti mengambil topik *Analisis Bracing pada Desain Struktur Baja Tahan Gempa dengan Strong Column Weak Beam*. Dalam penelitian ini kedua peneliti mencoba mengetahui perilaku struktur dengan adanya penggunaan bracing sebagai penerima beban lateral yang ada. Dari hasil penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa struktur portal dengan menggunakan pengaku (*braced*) dapat memberikan pengaruh kekakuan yang lebih besar sehingga dapat mengurangi simpangan yang terjadi.

Pada penelitian beban lateral yang dipakai adalah gaya gempa dengan analisa beban statik ekuivalen., padahal untuk desain struktur dengan tinggi lebih dari 40 m atau 10 tingkat penggunaan beban dinamis akan menghasilkan desain yang lebih baik

### **2. Yustriawan dan Said Khairiansyah (1999)**

Kedua peneliti mengambil *Analisis Pengaku (Bracing) terhadap Kekakuan Portal dengan Variasi Tingkat pada Struktur Baja* sebagai topik dalam penelitian mereka. Penelitian mereka menghasilkan kesimpulan bahwa untuk

mendapatkan kekakuan struktur yang memadai peranan struktur dengan pengaku memberikan pengaruh yang cukup besar dan dengan menggunakan atau memilih struktur bangunan dengan pengaku dapat memberikan keuntungan dari segi ekonomis karena struktur dengan pengaku memiliki perbedaan volume material yang digunakan yaitu lebih kecil dibandingkan dengan struktur portal tanpa pengaku, terutama untuk gedung yang lebih tinggi dari 40 m atau diatas 10 tingkat.

Pada penelitian ini interaksi antara kolom suatu struktur dengan tanah dianggap jepit, padahal tanah umumnya bukanlah merupakan material yang dapat menjepit secara kaku kolom suatu struktur bangunan.

### **3. Riefqi Zuhdan Prihantoro dan Beby Karmady Yovist (2002)**

Kedua peneliti mengambil *Respon Elastik Struktur MDOF dengan Memperhitungkan Rotasi Pondasi* sebagai topik dalam penelitian mereka. Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh penggunaan kekakuan horizontal dan kekakuan putar tanah yang berbeda terhadap respon struktur. Selain itu untuk mengetahui hubungan antara parameter gerakan tanah dengan respon struktur. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa gempa dengan percepatan tanah maksimum tidak menyebabkan respon struktur menjadi maksimum pada waktu yang bersamaan, kekakuan putar tanah ( $k_r$ ) lebih berpengaruh terhadap respon struktur dibandingkan dengan kekakuan horizontal tanah ( $k_h$ ) karena kekakuan horizontal ( $k_h$ ) hanya berpengaruh pada simpangan maksimum pondasi.

Dalam penelitian ini struktur yang digunakan sebagai model adalah model struktur beton bertingkat 12, padahal untuk bangunan bertingkat banyak diperlukan struktur yang ringan untuk mengurangi beban mati dan memperkecil beban lateral akibat gempa, sehingga akan lebih baik jika menggunakan struktur dari elemen baja.

## 2.2 Permasalahan yang akan diteliti

Berdasarkan tinjauan pustaka di atas, maka permasalahan yang akan diteliti adalah pengaruh penggunaan pengaku (*braced*) terhadap respon elastik struktur baja bertingkat banyak dengan memperhitungkan rotasi pondasi. Untuk penelitian tersebut interaksi antara tanah dengan pondasi dimodel menurut prinsip *Lumped Parameter*. Mengingat kekakuan dan redaman interaksi yang ditunjukkan oleh konstanta pegas dan dashpot tidak mudah untuk dievaluasi/dihitung, maka pada penelitian ini konstanta-konstanta tersebut akan diambil nilai tertentu menurut referensi.



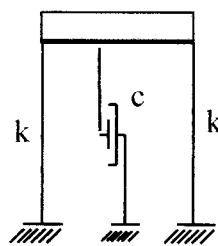
## BAB III

### LANDASAN TEORI

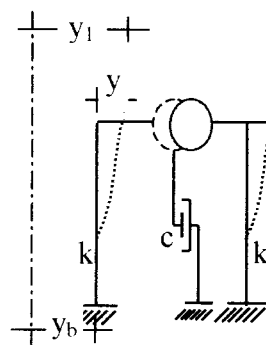
Landasan teori berupa teori-teori yang akan dipergunakan sebagai tuntunan untuk memecahkan masalah yang dihadapi. Landasan teori juga akan memuat teori-teori dinamika struktur, model-model matematik dan penjabarannya.

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

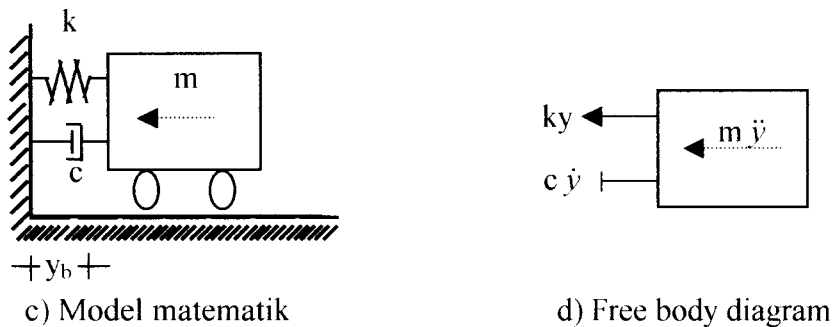
Dalam suatu analisis struktur, selain beban mati dan beban hidup yang umum diperhitungkan adalah beban gempa. Gempa bumi akan menyebabkan permukaan tanah menjadi bergetar. Tanah yang bergetar akan menyebabkan semua benda yang berada di atas tanah ikut bergetar termasuk struktur bangunan di atasnya. (Widodo, 2001). Jika diambil notasi  $m$ ,  $c$ ,  $k$  dan  $y$  berturut-turut adalah massa, koefisien redaman, kekakuan kolom, dan simpangan sedangkan notasi  $F_I$ ,  $F_D$ , dan  $F_S$  berturut-turut adalah gaya momen inersia, gaya redaman dan gaya pegas, maka struktur SDOF akibat gerakan tanah dapat dimodelkan sebagai berikut :



a) Struktur sesungguhnya



b) Model struktur



**Gambar 3.1** Model sistem SDOF akibat gerakan tanah

Berdasarkan *free body diagram* yang ditunjukkan pada Gambar 3.1.d) maka persamaan differensial gerakan adalah

$$m\ddot{y}_1 + c\dot{y}_1 + ky_1 = 0 \quad (3.1)$$

yang mana  $y_1$ ,  $\dot{y}_1$ ,  $\ddot{y}_1$  adalah simpangan, kecepatan dan percepatan.

Akibat gempa bumi, tanah mempunyai percepatan ( $\ddot{y}_b$ ), kecepatan ( $\dot{y}_b$ ), simpangan ( $y_b$ ) masing-masing sebesar

$$\ddot{y}_1 = \ddot{y}_b + \ddot{y}, \quad \dot{y}_1 = \dot{y}_b + \dot{y}, \quad y_1 = y_b + y \quad (3.2)$$

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

Dengan mendistribusikan persamaan (3.2) kedalam persamaan (3.1) maka persamaan (3.1) dapat ditulis menjadi

$$m\ddot{y} + c\dot{y} + ky = -m\ddot{y}_b - c\dot{y}_b - ky_b \quad (3.3)$$

Pada kondisi *rigid body motion* dianggap struktur tidak terjadi simpangan dan kecepatan antara tanah dengan struktur. Dengan demikian persamaan (3.3) menjadi

$$m\ddot{y} + c\dot{y} + ky = -m\ddot{y}_b \quad (3.4)$$

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



Dalam prinsip dinamika struktur diperoleh hubungan

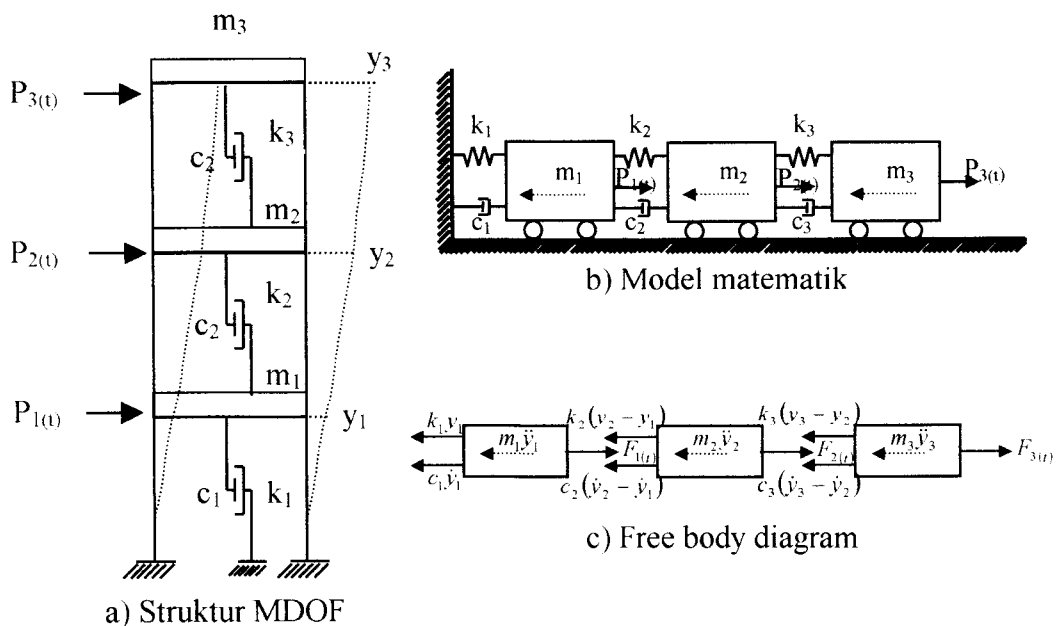
$$\frac{k}{m} = \omega^2 \quad \frac{c}{m} = 2\xi\omega \quad \xi = \text{damping ratio}$$

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \text{ (rad/dt),} \quad \omega = \text{angular frequency} \quad (3.6)$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \text{ (dt),} \quad T = \text{periode} \quad (3.7)$$

### 3.2 Struktur dengan Derajat Kebebasan Banyak (MDOF)

Pada struktur bangunan gedung bertingkat banyak, umumnya massa struktur dapat digumpalkan pada setiap lantai (*lumped mass*), dengan demikian struktur yang semula mempunyai derajat kebebasan tak terhingga akan dapat dipandang sebagai struktur dengan derajat kebebasan terbatas. Untuk memperoleh persamaan differensial gerakan pada struktur kebebasan banyak, maka dapat digunakan anggapan *shear building* sebagaimana pada struktur SDOF.



Gambar 3.2 Struktur MDOF

Pada struktur gedung bertingkat tiga seperti pada Gambar 3.2.a), struktur akan mempunyai tiga derajat kebebasan, sehingga struktur yang mempunyai  $n$ -tingkat akan mempunyai  $n$ -derajat kebebasan dan mempunyai  $n$ -modes. Untuk memperoleh persamaan differensial gerakan pada struktur MDOF umumnya digunakan goyangan senada untuk goyangan yang  $y_3 > y_2 > y_1$ . Berdasarkan keseimbangan dinamik seperti pada Gambar 3.2.c, maka akan diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} m_1 \ddot{y}_1 + c_1 \dot{y}_1 + k_1 y_1 - c_2 (\dot{y}_2 - \dot{y}_1) - k_2 (y_2 - y_1) &= F_{1(t)} \\ m_2 \ddot{y}_2 + c_2 (\dot{y}_2 - \dot{y}_1) + k_2 (y_2 - y_1) - c_3 (\dot{y}_3 - \dot{y}_2) - k_3 (y_3 - y_2) &= F_{2(t)} \\ m_3 \ddot{y}_3 + c_3 (\dot{y}_3 - \dot{y}_2) + k_3 (y_3 - y_2) &= F_{3(t)} \end{aligned} \quad (3.8)$$

Selanjutnya persamaan (3.8) dapat ditulis dalam bentuk matriks yang lebih ringkas

$$[M]\{\ddot{y}\} + [C]\{\dot{y}\} + [K]\{y\} = \{F_{(t)}\} \quad (3.9)$$

dengan  $[M]$ ,  $[C]$ ,  $[K]$ , berturut-turut adalah matriks massa, matriks redaman, matriks kekakuan;

$$\begin{aligned} [M] &= \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix} & [K] &= \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 \\ 0 & -k_3 & k_3 \end{bmatrix} \\ [C] &= \begin{bmatrix} c_1 + c_2 & -c_2 & 0 \\ -c_2 & c_2 + c_3 & -c_3 \\ 0 & -c_3 & c_3 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (3.10)$$

$$\{\ddot{y}\} = \begin{Bmatrix} \ddot{y}_1 \\ \ddot{y}_2 \\ \ddot{y}_3 \end{Bmatrix}, \{\dot{y}\} = \begin{Bmatrix} \dot{y}_1 \\ \dot{y}_2 \\ \dot{y}_3 \end{Bmatrix}, \{y\} = \begin{Bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{Bmatrix} \text{ dan } \{F_{(t)}\} = \begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \end{Bmatrix} \quad (3.11)$$

$\{\ddot{y}\}$ ,  $\{\dot{y}\}$ ,  $\{y\}$  dan  $\{F_{(t)}\}$  adalah vektor percepatan, kecepatan, simpangan dan gaya.

### 3.3 Massa Struktur

Suatu struktur yang kontinyu akan mempunyai distribusi massa yang kontinyu pula sehingga terdapat beberapa derajat kebebasan pada setiap massa maka struktur tersebut akan mempunyai derajat kebebasan yang tak terhingga banyaknya. Hal ini akan menyulitkan analisis struktur karena banyaknya persamaan differensial yang perlu diselesaikan. Oleh karena itu perlu adanya asumsi-asumsi untuk menyederhanakan masalah. Terdapat dua pokok yang umumnya dilakukan untuk mendiskripsikan massa struktur. Pendekatan pertama adalah sistim 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 bentuk fungsi (*shape function*) tertentu. Apabila tiga derajat kebebasan (horisontal, vertikal, dan rotasi) diperhitungkan pada setiap node maka standar *consisten 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 *consisten mass matrix* menjadi lebih tepat. Namun demikian, pada struktur bangunan gedung bertingkat banyak yang mana massa 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* atau *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.

### 3.4 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 *eigenproblem*. 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 dinamik struktur.

Pada prinsip bangunan geser (*shear building*) balok pada lantai tingkat dianggap tetap horizontal baik sebelum maupun sesudah terjadi penggoyangan. Adanya plat 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 dibanding dengan 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 dengan rumus standar sebagai berikut :

$$k_t = 12EI / H^3 \quad (3.13)$$

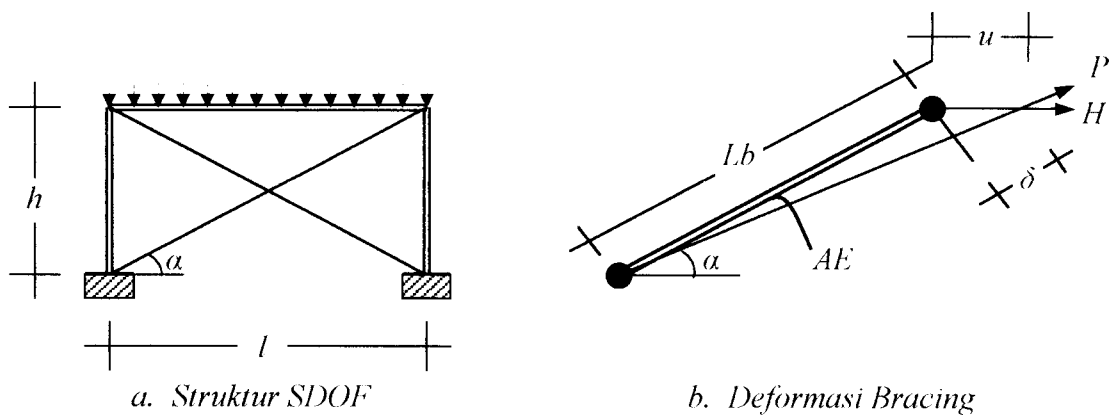
Dengan melihat data struktur maka kekakuan dihitung secara paralel yaitu kekakuan tiap tingkat ( $k_i$ ) merupakan jumlah total dari kekakuan kolom tiap tingkat ( $k_c$ ), secara matematis dapat dituliskan dengan rumus berikut :

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

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 balok maupun kekakuan kolom akan menjadi lebih teliti.

### **3.5 Kekakuan Elemen *Bracing***

Untuk mengurangi terjadinya simpangan horizontal yang berlebihan, suatu struktur kadang-kadang dipasang sistem bracing terutama pada struktur baja. Dengan adanya sistem ini maka struktur akan menjadi kaku, karena *bracing* mempunyai kekakuan yang cukup besar. Walaupun sistem *bracing* dibuat secara bersilangan (dua arah) namun demikian sistem ini hanya akan bekerja dalam satu arah saja yaitu arah tarik. Hal ini terjadi karena pada arah desak struktur/elemen bracing akan mudah sekali tertekuk/buckling. Untuk menurunkan rumus kekakuan elemen *bracing* ini maka diambil model struktur seperti pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 Struktur dengan Bracing

Menurut prinsip mekanika, pada suatu batang tarik akan diperoleh hubungan,

$$P = \frac{AE}{L} \delta, \quad \text{dan } \delta = u \cos(\alpha) \quad (3.15)$$

Kemudian juga diperoleh hubungan,

$$H = P \cos(\alpha) \quad (3.16)$$

Dengan memperhatikan persamaan 3.15) maka persamaan 3.16) akan menjadi,

$$H = \frac{AE}{L} u \cos(\alpha) \cos(\alpha)$$

$$H = \frac{AE}{L} \cos^2(\alpha) u \quad (3.17)$$

Dengan demikian kekakuan *bracing* adalah,

$$Kb = \frac{H}{u} = \frac{AE}{L} \cos^2(\alpha) \quad (3.18)$$

### 3.6 Redaman Struktur

Redaman adalah peristiwa penyerapan energi (*energy dissipation*) oleh struktur akibat adanya berbagai macam sebab. Beberapa penyebab itu diantaranya adalah pelepasan energi oleh adanya gerakan antara molekul di dalam material,

pelepasan energi oleh gesekan 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 menyerap 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 tabel 3.1.

**Tabel 3.1** Nilai-nilai rasio redaman untuk berbagai jenis kondisi

No	Level tegangan ( <i>stress level</i> )	Jenis dan kondisi Struktur	Rasio redaman ( <i>damping ratio</i> )
1.	Tegangan elastik atau tegangan kurang $\frac{1}{2}$ tegangan leleh	○ Struktur baja las, beton prestress, beton biasa retak rambut	2 – 3 %
		○ Beton biasa retak minor	3 – 5 %
		○ Struktur baja sambungan baut, keling, struktur kayu dengan sambungan baut/paku	5 – 7 %
2.	Tegangan sedikit di bawah leleh atau pada saat leleh	○ Struktur baja las, beton prestress tanpa loss of orestress secara total	4 – 7 %
		○ Beton prestress dengan tegangan lanjut	7 – 10 %
		○ Beton biasa	7 – 10 %
		○ Struktur baja dengan sambungan baut, keling, atau struktur kayu dengan sambungan baut	10 – 15 %
		○ Struktur kayu dengan sambungan paku	15 – 20 %

Sumber Newmark N. M, Hall W. J (1982) dalam Widodo (2001)

Untuk memperoleh redaman ada tiga cara yang dapat digunakan, yaitu :

1. Redaman proporsional dengan massa (*mass proportional damping*)

Bentuk umum hubungan antara redaman dengan massa adalah,

$$[C] = \alpha[M] \quad (3.19)$$

apabila prinsip kondisi orthogonal diterapkan pada persamaan (3.19) di atas maka akan diperoleh,

$$\begin{aligned}\phi^T C \phi &= \alpha \phi^T M \phi \\ C_j^* &= \alpha M_j^* \\ 2\xi_j \omega_j M_j^* &= \alpha M_j^*\end{aligned}\quad (3.20)$$

dari persamaan (3.20) akan diperoleh

$$\alpha = 2\xi_j \omega_j \quad (3.21)$$

persamaan (3.21) adalah suatu koefisien matrik massa apabila frekuensi sudut dan rasio redaman telah ditentukan. Untuk setiap mode juga akan mempunyai hubungan seperti pada persamaan (3.20). Oleh karena itu untuk mode ke-i akan diperoleh hubungan,

$$2\xi_i \omega_i M_i^* = \alpha M_i^* \quad (3.22)$$

substitusi nilai  $\alpha$  dari persamaan (3.21) ke dalam persamaan (3.22) selanjutnya akan diperoleh,

$$\begin{aligned}2\xi_i \omega_i M_i^* &= 2\xi_j \omega_j M_i^* \\ \xi_i &= \frac{\xi_j \omega_j}{\omega_i}\end{aligned}\quad (3.23)$$

## 2. Redaman proporsional dengan kekakuan (*stiffness proportional damping*)

Bentuk umum hubungan antara redaman dengan kekakuan adalah,

$$[C] = \beta [K] \quad (3.24)$$

apabila prinsip kondisi orthogonal diterapkan pada persamaan (3.24) di atas maka akan diperoleh,



$$\phi^T C \phi = \beta \phi^T K \phi$$

$$C_j^* \beta K_j^*$$

$$2\xi_j \omega_j M_j^* = \beta \omega_j^2 M_j^* \quad (3.25)$$

dari persamaan (3.25) akan diperoleh,

$$\beta = \frac{2\xi_j}{\omega_j} \quad (3.26)$$

persamaan (3.26) adalah suatu koefisien matrik kekakuan apabila frekuensi sudut dan rasio redaman telah ditentukan. Untuk setiap mode juga akan mempunyai hubungan seperti pada persamaan (3.25). Oleh karena itu untuk mode ke-i akan diperoleh hubungan,

$$2\xi_i \omega_i M_i^* = \beta \omega_j^2 M_i^* \quad (3.27)$$

substitusi nilai  $\beta$  dari persamaan (3.26) ke dalam persamaan (3.27) selanjutnya akan diperoleh,

$$2\xi_i \omega_i M_i^* = \frac{2\xi_j}{\omega_j} \omega_j^2 M_i^* \quad (3.28)$$

$$\xi_i = \frac{\xi_j \omega_j}{\omega_i}$$

3. Redaman proporsional terhadap massa dan kekakuan (*mass and stiffness propotional damping*)

Bentuk umum hubungan antara redaman, massa dan kekakuan tersebut adalah,

$$[C] = \alpha[M] + \beta[K] \quad (3.29)$$

apabila prinsip kondisi orthogonal diterapkan pada persamaan (3.29) di atas maka akan diperoleh,

$$\begin{aligned}\phi^T C \phi &= \alpha \phi^T M \phi + \beta \phi^T K \phi \\ C_j^* &= \alpha M_j^* + \beta \omega_j^2 M_j^* \\ 2\xi_j \omega_j &= \alpha + \beta \omega_j^2\end{aligned}\quad (3.30)$$

untuk dua mode yang berurutan yaitu mode ke-i dan mode ke-j maka dari persamaan (3.31) akan menghasilkan,

$$2\xi_j \omega_j = \alpha + \beta \omega_j^2 \quad (3.31)$$

dan

$$2\xi_i \omega_i = \alpha + \beta \omega_i^2 \quad (3.32)$$

berdasarkan persamaan (3.31) dan (3.32) maka akan diperoleh nilai-nilai  $\beta$  dan  $\alpha$  sebagai berikut,

$$\begin{aligned}\beta &= \frac{2(\xi_j \omega_j - \xi_i \omega_i)}{\omega_j^2 - \omega_i^2} \\ \alpha &= 2\xi_j \omega_j - \beta \omega_j^2\end{aligned}\quad (3.33)$$

persamaan (3.33) adalah suatu koefisien matrik massa dan matrik kekakuan apabila frekuensi sudut dan rasio redaman telah ditentukan. Untuk setiap mode juga akan mempunyai hubungan seperti pada persamaan (3.31) dan persamaan (3.32). Untuk dua mode yang ditinjau, persamaan (3.31) dan persamaan (3.32) dapat ditulis menjadi,

$$\frac{\alpha}{2\omega_j} + \frac{\beta}{2} \omega_j = \xi_j$$

$$\frac{\alpha}{2\omega_i} + \frac{\beta}{2}\omega_i = \xi_i \quad (3.34)$$

persamaan (3.34) adalah persamaan simultan yang mana nilai  $\alpha$  dan  $\beta$  perlu diperhitungkan. Dalam *mass and stiffness proportional damping*, frekuensi sudut dan ratio redaman untuk mode ke-i dan mode ke-j sudah ditentukan dan berfungsi sebagai nilai referensi. Apabila hal ini telah dilakukan maka sebenarnya nilai  $\alpha$  dan  $\beta$  dapat dicari melalui bentuk matrik persamaan (3.34) yaitu,

$$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} \frac{1}{\omega_j} & \omega_j \\ \frac{1}{\omega_i} & \omega_i \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \alpha \\ \beta \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \xi_j \\ \xi_i \end{Bmatrix} \quad (3.35)$$

melalui persamaan (3.35) apabila nilai-nilai frekuensi sudut dan rasio redaman untuk mode ke-i dan mode ke-j sudah ditentukan maka nilai  $\alpha$  dan  $\beta$  dapat dihitung. Selanjutnya nilai-nilai rasio redaman untuk setiap mode dapat dicari dengan mengambil salah satu dari persamaan (3.34) yaitu,

$$\frac{\alpha}{2\omega_i} + \frac{\beta}{2}\omega_i = \xi_i \quad (3.36)$$

dengan catatan nilai  $\alpha$  dan  $\beta$  dihitung menurut persamaan (3.35).

### 3.7 Struktur dengan Memperhitungkan Rotasi Pondasi Akibat Gerakan Tanah

Seperti telah dijelaskan di depan, tanah pada dasar gedung (pondasi) tidak sepenuhnya kaku, karena tanah pada dasar pondasi akan terpengaruh apabila terjadi getaran gedung akibat gerakan tanah. Keadaan gedung yang dikenai beban gempa

akan mengalami getaran ke tiga arah, yaitu getaran arah horizontal, getaran arah vertikal dan getaran berputar. Pada *Lumped Parameter Model* akibat gerakan tanah tersebut maka pondasi gedung akan mengalami rotasi (perputaran), yang mana dipengaruhi oleh nilai kekakuan dan redaman interaksi antara tanah dan pondasi yang berbeda, dalam hal ini kekakuan dan redaman interaksi antara tanah dengan pondasi dimodel sebagai pegas dan *dashpot* (model redaman). Kekakuan dan redaman interaksi yang diperoleh kemudian dicangkokkan dengan struktur dan terjadilah sistem struktur yang utuh.

Pada metode *sub structure* dengan menggunakan pendekatan *Lumped Parameter Model* simpangan horisontal struktur terdiri atas simpangan tanah bebas ( $u_g$ ), simpangan tanah dasar akibat interaksi ( $u_o$ ), simpangan relatif tingkat ke- $j$  ( $u_j$ ), dan simpangan akibat rotasinya pondasi ( $u_r$ ), atau dinyatakan dalam rumus sebagai berikut :

$$u_t = u_g + u_o + u_j + u_r \quad (3.37)$$

dengan  $u_t$  adalah simpangan total struktur.

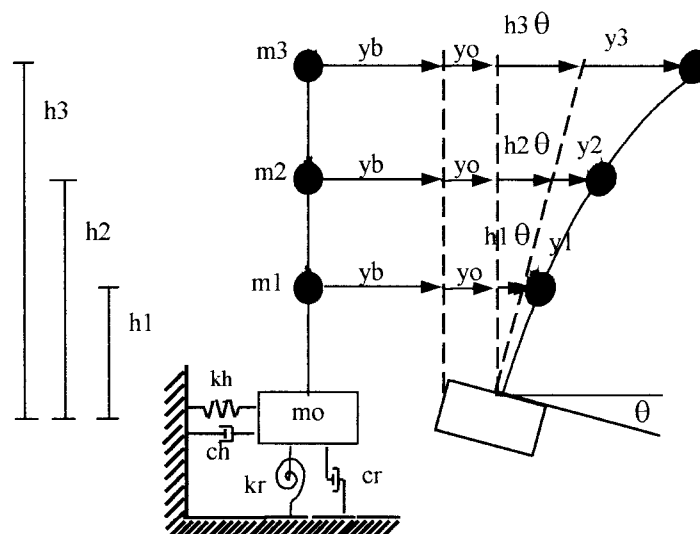
Persamaan differensial gerakan dalam sistem struktur dapat diperoleh dengan mengambil keseimbangan dinamik struktur atas, keseimbangan horisontal, momen dan keseimbangan vertikal sistem struktur. Keseimbangan – keseimbangan itu secara umum dapat ditulis menjadi :

$$\begin{aligned} F_i + F_c + F_k &= 0 \\ F_{i,h} + F_{c,h} + F_{k,h} &= 0 \\ F_{i,m} + F_{c,m} + F_{k,m} &= 0 \\ F_{i,v} + F_{c,v} + F_{k,v} &= 0 \end{aligned} \quad (3.38)$$

indek  $i$ ,  $d$  dan  $s$  berturut – turut berarti *inertia*, *damping* dan *spring*, sedangkan indeks  $h$ ,  $m$  dan  $v$  berturut – turut berarti horisontal, momen dan vertikal.

Unsur – unsur kekakuan dan redaman interaksi antara tanah dengan pondasi untuk vertikal, horisontal dan *rocking modes* masing-masing akan tampak pada elemen  $F_{c,h}$ ,  $F_{k,h}$ ,  $F_{c,m}$ ,  $F_{s,m}$ ,  $F_{c,v}$  dan  $F_{s,v}$ . apabila efek *rigid body motion* dan *vertical mode* diabaikan maka persamaan-persamaan di atas akan membentuk satu set persamaan diferensial dengan variabel  $u_j$ ,  $u_o$  dan  $u_r$  dengan  $u_r$  adalah rotasi pondasi.

Pengaruh gerakan tanah yang mengakibatkan rotasi pondasi pada struktur bangunan karena mengalami getaran arah horisontal dan getaran berputar pada struktur MDOF dapat digambarkan sebagai berikut



**Gambar 3.4** Struktur MDOF dengan rotasi pondasi

Dari Gambar 3.4 dengan asumsi struktur bangunan bergeser ke arah horisontal sedangkan arah vertikal diabaikan dan massa menggumpal (*lumped mass*). Jika gaya inersia, gaya redam serta gaya kekakuan adalah  $F_i$ ,  $F_c$  dan  $F_k$  maka diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
F_I &= \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{Bmatrix} (\ddot{y}_j + \ddot{y}_b + \ddot{y}_0 + h_j \ddot{\theta}) = 0 \\
F_C &= \begin{bmatrix} c_1 & 0 & 0 \\ 0 & c_2 & 0 \\ 0 & 0 & c_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{Bmatrix} (\dot{y}_j + \dot{y}_b + \dot{y}_0 + h_j \dot{\theta}) = 0 \\
F_K &= \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 \\ 0 & -k_3 & k_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{Bmatrix} (y_j + y_b + y_0 + h_j \theta) = 0
\end{aligned} \tag{3.39}$$

Sedangkan untuk keseimbangan struktur untuk arah horisontal diperoleh persamaan sebagai berikut,

$$F_{I,h} = \sum_{j=1}^N m_j (\ddot{y}_j + \ddot{y}_b + \ddot{y}_0 + h_j \ddot{\theta}) + m_0 (\ddot{y}_b + \ddot{y}_0) = 0 \tag{3.40}$$

$$F_{C,h} = \begin{bmatrix} c_1 & 0 & 0 \\ 0 & c_2 & 0 \\ 0 & 0 & c_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{Bmatrix} (\dot{y}_j + \dot{y}_b + \dot{y}_0 + h_j \dot{\theta}) + Ch \dot{y}_0 = 0$$

$$F_{K,h} = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 \\ 0 & -k_3 & k_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{Bmatrix} (y_j + y_b + y_0 + h_j \theta) + Kh y_0 = 0$$

Sedangkan untuk keseimbangan struktur untuk arah putar diperoleh persamaan sebagai berikut,

$$F_{I,r} = \sum_{j=1}^N m_j h_j (\ddot{y}_j + \ddot{y}_b + \ddot{y}_0 + h_j \ddot{\theta}) + I_G \ddot{\theta} = 0$$

$$F_{C,r} = \begin{bmatrix} c_1 & 0 & 0 \\ 0 & c_2 & 0 \\ 0 & 0 & c_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{Bmatrix} (\dot{y}_j + \dot{y}_b + \dot{y}_0 + h_j \dot{\theta}) + Cr \dot{\theta} = 0 \tag{3.41}$$

$$F_{K,r} = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 \\ 0 & -k_3 & k_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} (y_j + y_b + y_0 + h_j \theta) + Kr\theta = 0$$

dari persamaan (3.39), (3.40) dan (3.41) maka akan diperoleh,

$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 & m_1 & m_1 h_1 \\ 0 & m_2 & 0 & m_2 & m_2 h_2 \\ 0 & 0 & m_3 & m_3 & m_3 h_3 \\ m_1 & m_2 & m_3 & m_0 + m_1 + m_2 + m_3 & m_1 h_1 + m_2 h_2 + m_3 h_3 \\ m_1 h_1 & m_2 h_2 & m_3 h_3 & m_1 h_1 + m_2 h_2 + m_3 h_3 & I_G + m_1 h_1^2 + m_2 h_2^2 + m_3 h_3^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{y}_1 \\ \ddot{y}_2 \\ \ddot{y}_3 \\ \ddot{y}_0 \\ \ddot{\theta} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} c_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & c_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & c_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & c_h & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & c_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{y}_1 \\ \dot{y}_2 \\ \dot{y}_3 \\ \dot{y}_0 \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 & 0 & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 & 0 & 0 \\ 0 & -k_3 & k_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & k_h & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & k_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_0 \\ \theta \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} m_1 \ddot{y}_b \\ m_2 \ddot{y}_b \\ m_3 \ddot{y}_b \\ (m_0 + m_1 + m_2 + m_3) \ddot{y}_b \\ (m_1 h_1 + m_2 h_2 + m_3 h_3) \ddot{y}_b \end{bmatrix} \quad (3.42)$$

dimana dalam bentuk matriks adalah sebagai berikut:

$$[M] = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 & m_1 & m_1 h_1 \\ 0 & m_2 & 0 & m_2 & m_2 h_2 \\ 0 & 0 & m_3 & m_3 & m_3 h_3 \\ m_1 & m_2 & m_3 & m_0 + m_1 + m_2 + m_3 & m_1 h_1 + m_2 h_2 + m_3 h_3 \\ m_1 h_1 & m_2 h_2 & m_3 h_3 & m_1 h_1 + m_2 h_2 + m_3 h_3 & I_G + m_1 h_1^2 + m_2 h_2^2 + m_3 h_3^2 \end{bmatrix}$$

$$[C] = \begin{bmatrix} c_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & c_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & c_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & c_h & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & c_r \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned}
[K] &= \begin{bmatrix} k_1+k_2 & -k_2 & 0 & 0 & 0 \\ -k_2 & k_2+k_3 & -k_3 & 0 & 0 \\ 0 & -k_3 & k_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & k_h & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & k_r \end{bmatrix} \\
\ddot{y} &= \begin{bmatrix} \ddot{y}_1 \\ \ddot{y}_2 \\ \ddot{y}_3 \\ \ddot{y}_0 \\ \ddot{\theta} \end{bmatrix} \quad \dot{y} = \begin{bmatrix} \dot{y}_1 \\ \dot{y}_2 \\ \dot{y}_3 \\ \dot{y}_0 \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} \quad y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_0 \\ \theta \end{bmatrix} \tag{3.43}
\end{aligned}$$

Untuk matriks redaman pada struktur atas dapat dihitung dengan tiga cara yaitu, redaman proposional dengan massa, redaman proposional dengan kekakuan dan redaman proposional dengan massa dan kekakuan. Sehingga matriks redaman berturut-turut menjadi,

$$[C] = \begin{bmatrix} \alpha.m_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \alpha.m_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \alpha.m_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & c_h & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & c_r \end{bmatrix} \tag{3.44}$$

$$[C] = \begin{bmatrix} \beta.(k_1+k_2) & \beta.-k_2 & 0 & 0 & 0 \\ \beta.-k_2 & \beta.(k_2+k_3) & \beta.-k_3 & 0 & 0 \\ 0 & \beta.-k_3 & \beta.k_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & c_h & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & c_r \end{bmatrix} \tag{3.45}$$

$$[C] = \begin{bmatrix} \alpha.m_1 + \beta.(k_1+k_2) & \beta.-k_2 & 0 & 0 & 0 \\ \beta.-k_2 & \alpha.m_2 + \beta.(k_2+k_3) & \beta.-k_3 & 0 & 0 \\ 0 & \beta.-k_3 & \alpha.m_3 + \beta.k_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & c_h & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & c_r \end{bmatrix} \tag{3.46}$$



dengan:

$I_G$  = *Inertia polar moment*

$C_h$  = Redaman horisontal tanah

$C_r$  = Redaman horisontal tanah

$K_h$  = Kekakuan horizontal tanah

$K_r$  = Kekakuan putar (rotasi) tanah

### 3.8 Getaran Bebas pada Struktur Derajat Kebebasan Banyak

Suatu struktur akan bergoyang apabila memperoleh pembebanan dari luar misalnya akibat beban angin maupun akibat beban gerakan tanah/gempa. Getaran-getaran seperti ini dikelompokkan sebagai getaran dipaksa atau *force vibration system*. Membahas tentang getaran bebas pada struktur dengan derajat kebebasan banyak akan diperoleh beberapa karakter struktur yang penting dan sangat bermanfaat pada analisa dinamika struktur. Karakter-karakter itu adalah frekuensi sudut, periode getar dan frekuensi alam. Pembahasan getaran bebas ini masih diikuti dengan penyederhanaan permasalahan yaitu dengan menganggap struktur tidak mempunyai redaman (*undamped system*)

#### 3.8.1 Nilai Karakteristik (*Eigenproblem*)

Getaran bebas (*free vibration system*) pada kenyataan jarang terjadi pada struktur MDOF, namun membahas jenis getaran ini akan diperoleh suatu besaran/karakteristik dari struktur yang bersangkutan yang selanjutnya sangat berguna untuk pembahasan-pembahasan respon struktur berikutnya.

Pada getaran bebas untuk struktur dengan derajat kebebasan banyak maka persamaan differensial geraknya adalah seperti persamaan berikut ini dengan nilai ruas kanan sama dengan nol,

$$[M]\{\ddot{y}\} + [C]\{\dot{y}\} + [K]\{y\} = 0 \quad (3.47)$$

Frekuensi sudut pada struktur dengan redaman (*damped frequency*) nilainya hampir sama dengan frekuensi sudut pada struktur tanpa redaman, apabila nilai damping ratio relatif kecil. Jika hal ini diadopsi untuk struktur dengan derajat kebebasan banyak maka untuk nilai  $C = 0$ , persamaan (3.47) menjadi,

$$[M]\{\ddot{y}\} + [K]\{y\} = \{0\} \quad (3.48)$$

Karena persamaan (3.48) adalah persamaan diferensial pada struktur MDOF yang dianggap tidak mempunyai redaman maka sebagaimana penyelesaian persamaan diferensial yang sejenis maka penyelesaian persamaan tersebut diharapkan dalam fungsi harmonik menurut bentuk,

$$\begin{aligned} Y &= \{\phi\}_i \sin(\omega t) \\ \dot{Y} &= \omega \{\phi\}_i \cos(\omega t) \\ \ddot{Y} &= -\omega^2 \{\phi\}_i \sin(\omega t) \end{aligned} \quad (3.49)$$

dimana  $\{\phi\}_i$  adalah suatu ordinat massa pada mode ke-i. Persamaan (3.49) disubstitusikan ke dalam persamaan (3.48) maka akan diperoleh,

$$\begin{aligned} -\omega^2 [M]\{\phi\}_i \sin(\omega t) + [K]\{\phi\}_i \sin(\omega t) &= 0 \\ \{[K] - \omega^2 [M]\}\{\phi\}_i &= 0 \end{aligned} \quad (3.50)$$

Persamaan (3.50) adalah suatu persamaan yang sangat penting dan biasanya disebut dengan persamaan *eigenproblem* atau karakteristik problem atau ada juga

yang menyebut *eigenvalue* problem. Persamaan (3.50) tersebut adalah persamaan simultan yang harus dicari penyelesaiannya. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk menyelesaikan persamaan simultan tersebut adalah dengan memakai dalil Cramer (1704 – 1752). Dalil tersebut menyatakan bahwa penyelesaian persamaan simultan yang homogen akan ada nilainya apabila determinan dari matriks yang merupakan koefisien dari vektor  $\{\phi\}$ , adalah nol, sehingga,

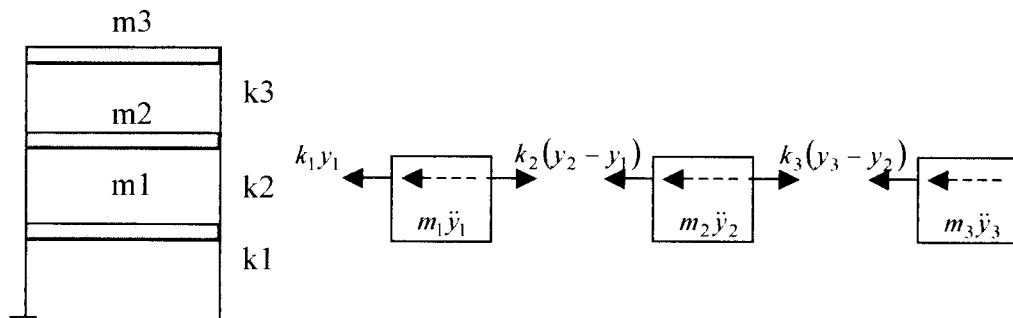
$$\{[K] - \omega^2 [M]\} = 0 \quad (3.51)$$

Dengan adanya hubungan antara jumlah mode dengan jumlah massa struktur maka struktur yang mempunyai n-tingkat maka akan mempunyai n-derajat kebebasan. Persamaan (3.51) akan menghasilkan suatu polinomial pangkat-n yang selanjutnya akan menghasilkan nilai  $\omega_i^2$  untuk  $i = 1, 2, 3, \dots, n$ . Selanjutnya substitusi masing-masing frekuensi sudut  $\omega_i$  kedalam persamaan (3.50) maka akan diperoleh nilai-nilai *mode shape*, sedangkan *mode shape* pada suatu *eigenproblem* diambil dari model struktur yang berada pada tanah dengan kondisi dianggap jepit sempurna.

### 3.8.2 Metode Polinomial

Metode polinomial pada dasarnya masih menggunakan persamaan *eigenproblem*. Untuk mencari atau menghitung *eigenvalue* (nilai-nilai frekuensi sudut) tidak dapat lagi digunakan cara determinan. Cara yang dipakai adalah dengan mentransfer persamaan simultan *eigenproblem* menjadi suatu persamaan polinomial pangkat banyak. Akar-akar persamaan polinomial inilah yang akan dicari yang seterusnya akan menghasilkan nilai-nilai *eigenvektor*.

Untuk membahas cara polinomial ini maka dapat ditinjau suatu struktur dengan tingkat seperti pada Gambar 3.5



**Gambar 3.5** Struktur bangunan 3 derajat kebebasan

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

$$\begin{aligned} m_1 \ddot{y}_1 + k_1 y_1 - k_2 (y_2 - y_1) &= 0 \\ m_2 \ddot{y}_2 + k_2 (y_2 - y_1) - k_3 (y_3 - y_2) &= 0 \\ m_3 \ddot{y}_3 + k_3 (y_3 - y_2) &= 0 \end{aligned} \quad (3.52)$$

Persamaan (3.52) dapat disederhanakan menjadi seperti dibawah ini,

$$\begin{aligned} m_1 \ddot{y}_1 + (k_1 + k_2) y_1 - k_2 y_2 &= 0 \\ m_2 \ddot{y}_2 - k_2 y_1 + (k_2 + k_3) y_2 - k_3 y_3 &= 0 \\ m_3 \ddot{y}_3 - k_3 y_2 + k_3 y_3 &= 0 \end{aligned} \quad (3.53)$$

persamaan (3.53) dapat ditulis dalam bentuk matriks sebagai berikut,

$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{y}_1 \\ \ddot{y}_2 \\ \ddot{y}_3 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} (k_1 + k_2) & -k_2 & 0 \\ -k_2 & (k_2 + k_3) & -k_3 \\ 0 & -k_3 & k_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (3.54)$$

### 3.9 Metode $\beta$ -Newmark

Metode  $\beta$ -Newmark dapat dipakai untuk menyelesaikan integrasi persamaan diferensial *coupled* struktur MDOF secara langsung. Metode  $\beta$ -Newmark yang dimaksud misalnya adalah metode yang berdasarkan pada incremental method, sedangkan untuk struktur yang berperilaku linear inelastik maupun non linear inelastik maka perlu dikembangkan model integrasi yang dapat mensimulasikan perubahan kekakuan menurut fungsi dan waktu.

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

$$m \Delta \ddot{y}_i + c \Delta \dot{y}_i + k \Delta y_i = \Delta P_i \quad (3.55)$$

Apabila beban dinamik yang dipakai adalah beban gempa maka untuk struktur MDOF persamaan differensialnya adalah

$$[M] \Delta \ddot{y}_i + [C] \Delta \dot{y}_i + [K] \Delta y_i = \{M\} \Delta \ddot{y}_{b,i} \quad (3.56)$$

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

$$\Delta y = y_{i+1} - y_i, \quad \Delta \dot{y} = \dot{y}_{i+1} - \dot{y}_i, \quad \Delta \ddot{y} = \ddot{y}_{i+1} - \ddot{y}_i \quad (3.57)$$

Sedangkan perubahan intensitas pembebanan pada interval yang ditinjau adalah

$$\Delta P_i = \Delta P_{i+1} - P_i \quad (3.58)$$

Untuk struktur MDOF akibat gempa bumi maka persamaan differensial yang digunakan

$$\Delta P_i = \{M\} (\ddot{y}_{b,i+1} - y_{b,i}) \quad (3.59)$$

Untuk memulai integrasi numerik tersebut digunakan persamaan

$$\Delta\ddot{y}_i = \frac{1}{\beta(\Delta t)^2} \Delta y_i - \frac{1}{\beta(\Delta t)} \dot{y}_i - \frac{1}{2\beta} \ddot{y}_i \quad (3.60)$$

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

$$\Delta\dot{y}_i = \frac{\gamma}{\beta(\Delta t)} \Delta y_i - \frac{\gamma}{\beta} \dot{y}_i + (\Delta t) \left( 1 - \frac{1}{2\beta} \right) \ddot{y}_i \quad (3.61)$$

Kemudian untuk perubahan simpangan dapat dicari dengan persamaan

$$\Delta y = \frac{\Delta \hat{P}_i}{k} \quad (3.62)$$

yang mana

$$k = \left\{ K + \frac{\gamma}{\beta(\Delta t)} C + \frac{1}{\beta(\Delta t)^2} M \right\} \quad (3.63)$$

$$\Delta \hat{P}_i = (P_{i+1} - P_i) + a \dot{y}_i + b \ddot{y}_i \quad (3.64)$$

Sedangkan untuk struktur MDOF akibat beban gempa bumi maka persamaan (3.60)

akan menjadi

$$\Delta \hat{P}_i = \{M\} (\ddot{y}_{b,i+1} - \ddot{y}_{b,i}) + a \dot{y}_i + b \ddot{y}_i \quad (3.65)$$

dimana nilai a dan b pada persamaan diatas adalah

$$a = \left\{ \frac{1}{\beta(\Delta t)} m + \frac{\gamma}{\beta} c \right\} \quad b = \left\{ \frac{1}{2\beta} m + \Delta t \left( \frac{\gamma}{2\beta} - 1 \right) c \right\} \quad (3.66)$$

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

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

Selanjutnya simpangan, kecepatan, dan percepatan pada akhir interval adalah

$$y_{i+1} = y_i + \Delta y_i$$

$$\dot{y}_{i+1} = \dot{y}_i + \Delta \dot{y}_i$$

$$\ddot{y}_{i+1} = \ddot{y}_i + \Delta \ddot{y}_i \quad (3.67)$$

## **BAB IV**

### **METODE PENELITIAN**

Metode penelitian merupakan suatu urutan atau tata cara pelaksanaan penelitian dalam rangka mencari jawaban/penyelesaian atas suatu permasalahan yang diuraikan menurut suatu tahapan yang sistematis. Dalam penelitian tugas akhir ini, metode yang digunakan meliputi pengumpulan data, pengolahan data, analisis dan pembahasan, dan pengambilan kesimpulan. Untuk membantu menyelesaikan permasalahan yang ada, kami mencoba untuk membuat suatu program bantu dengan menggunakan bahasa Microsoft Visual Basic.

#### **4.1 Pengumpulan Data**

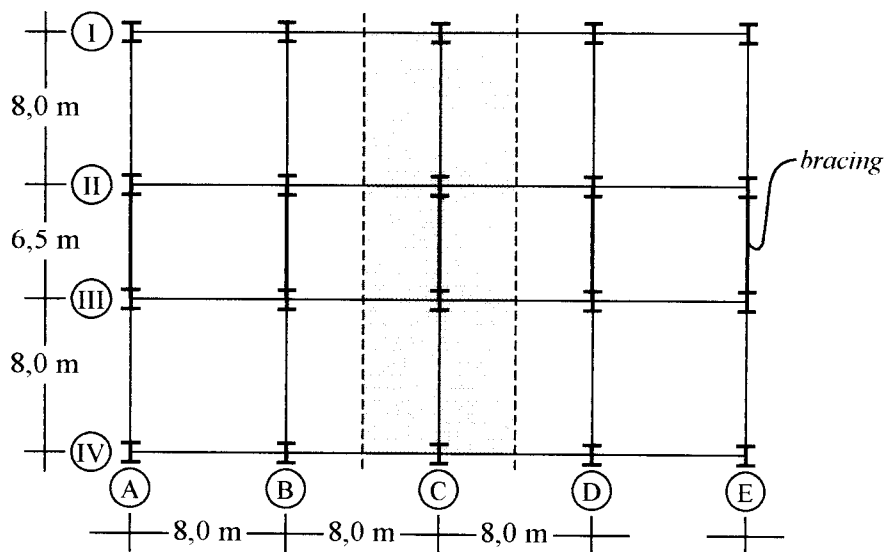
Data-data yang diperlukan dalam tugas akhir ini meliputi data struktur dan data beban gempa. Data struktur diambil dari suatu model struktur baja tahan gempa, sedangkan data beban gempa diambil dari rekaman percepatan tanah akibat gempa yang berupa riwayat waktu (*time history*) percepatan tanah. Perincian data-data tersebut adalah sebagai berikut :

##### **4.1.1 Data Struktur**

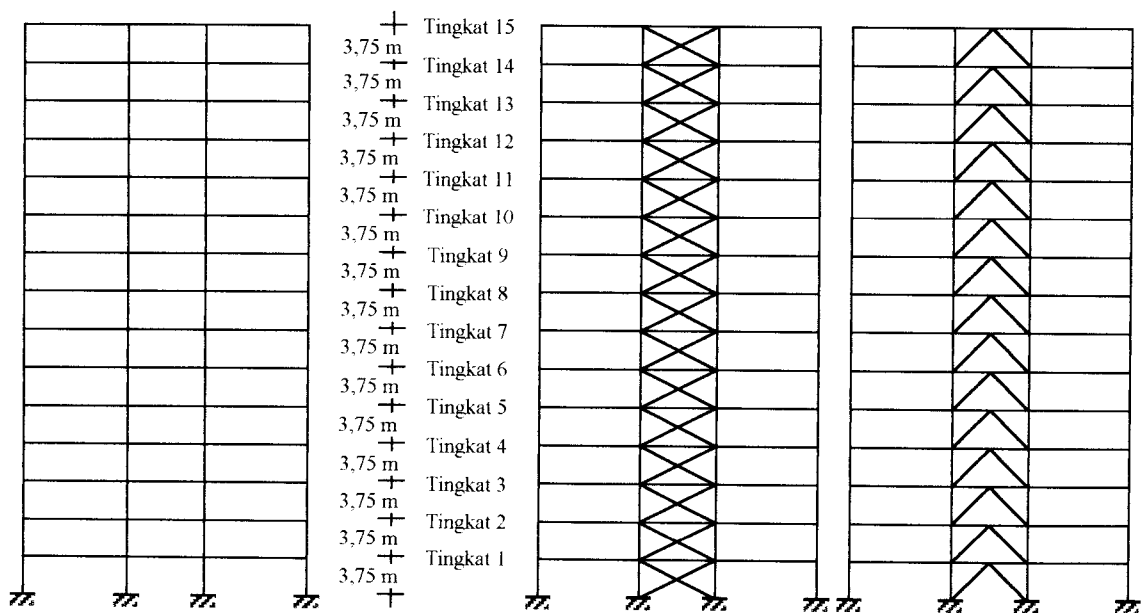
Struktur yang ditinjau merupakan model struktur baja bertingkat 7, 10, dan 15 tingkat. Model struktur 15 tingkat merupakan tahan gempa dengan *strong column weak beam* yang diambil dari tugas akhir Wiwit Budi C dan Hariyanto, 2000. Struktur tersebut merupakan hasil analisis dan desain 3 dimensi, sehingga semua profil atau dimensi dari struktur sudah tersedia. Pada tugas akhir ini ditambahkan *bracing* tipe X dan tipe V pada struktur *open frame* tersebut untuk dapat



menyelesaikan permasalahan yang ada. Sementara itu untuk model 7 tingkat dan 10 tingkat merupakan hasil modifikasi dari struktur 10 tingkat dengan pengaku bracing V yang diambil dari referensi yang ada. Untuk memperjelas model struktur yang digunakan, berikut ini kami cantumkan gambar denah dan perletakkan kolom serta potongan dari model struktur yang kami pakai.



**Gambar 4.1 Denah Perletakan Balok dan Kolom Struktur 15 tingkat**



**Gamb 4.2** Potongan C Struktur Open Frame 15 tingkat

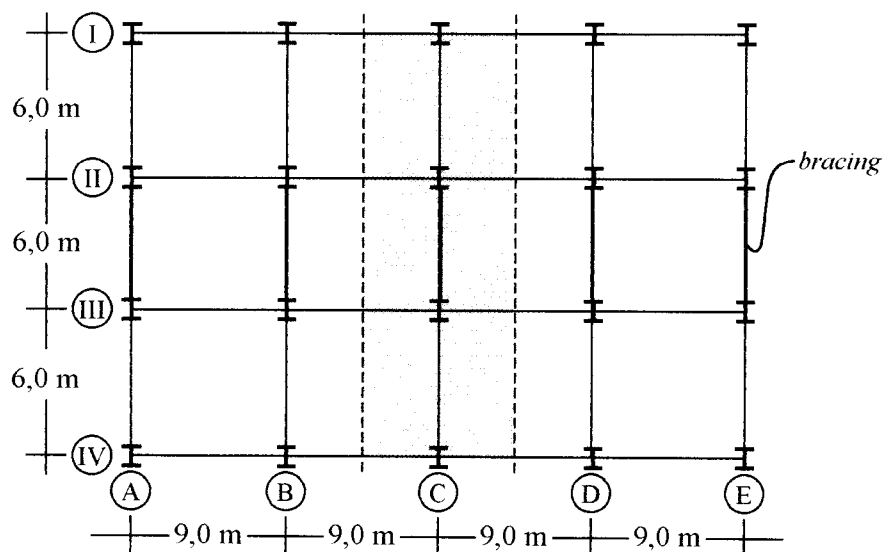
**Gamb 4.3** Potongan C Struktur 15 tingkat dengan bracing tipe X

**Gamb 4.4** Potongan C Struktur 15 tingkat dengan bracing tipe V

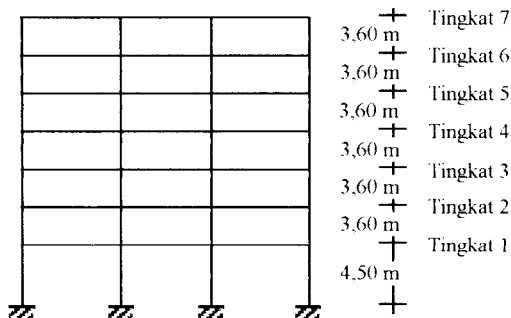
Dimensi balok dan kolom untuk model struktur 15 tingkat diambil dari struktur portal *open frame* dalam tugas akhir Wiwit Budi C dan Hariyanto 2000 , sedangkan dimensi *bracing* diambil dari dimensi bracing dari struktur portal *one brace* dan *two brace* pada tugas akhir itu juga. Selengkapnya dapat disajikan sebagai berikut :

**Tabel 4.1** Dimensi Struktur

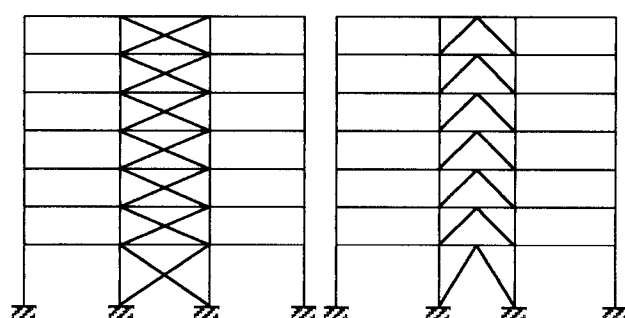
No	Elemen Struktur	Lantai	Profil Baja WF	Berat profil (kg/m)
1	Balok bentang 8 m	1-5	W14X53	78.87
2	Balok bentang 6,5 m	1-5	W14X53	78.87
3	Balok bentang 8 m	6-10	W14X53	78.87
4	Balok bentang 6,5 m	6-10	W14X53	78.87
5	Balok bentang 8 m	11-A	W14X34	50.59
6	Balok bentang 6,5 m	11-A	W14X26	38.69
7	Kolom tepi lantai	1-5	W14X257	382.46
8	Kolom tengah lantai	1-5	W14X370	550.63
9	Kolom tepi lantai	6-10	W14X233	346.75
10	Kolom tengah lantai	6-10	W14X311	462.83
11	Kolom tepi lantai	11-A	W14X193	287.22
12	Kolom tengah lantai	11-A	W14X211	314.00
13	<i>Bracing</i>	1-5	W8x21	31.25
14	<i>Bracing</i>	6-10	W8x18	26.78
15	<i>Bracing</i>	11-A	W8x15	22.32



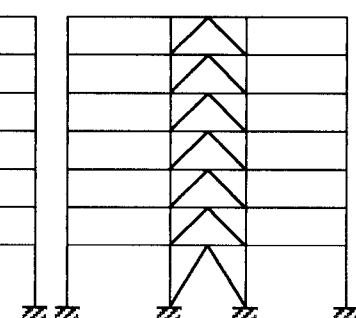
**Gambar 4.5** Denah Perletakan Balok dan Kolom Struktur 7 Tingkat



**Gamb 4.6** Potongan C Struktur Open Frame 7 tingkat



**Gamb 4.7** Potongan C Struktur 7 tingkat dengan *bracing* tipe X



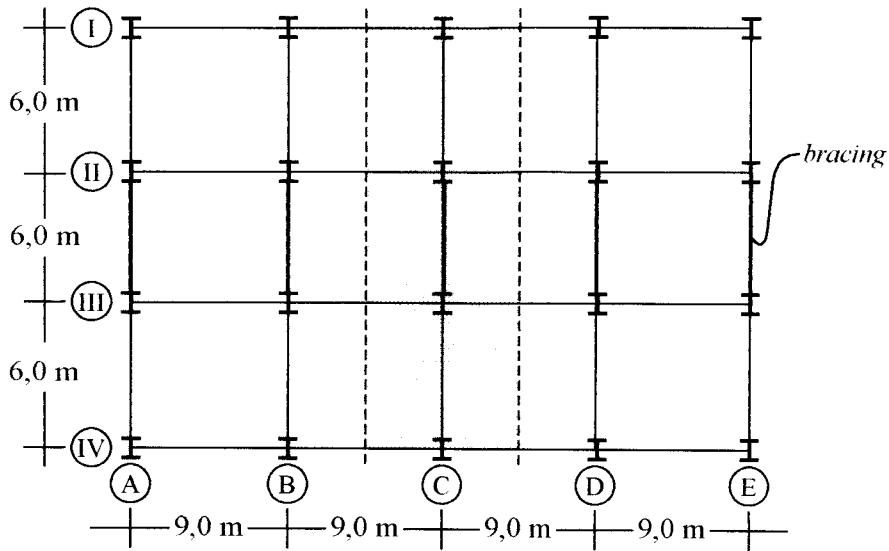
**Gamb 4.8** Potongan C Struktur 7 tingkat dengan *bracing* tipe V

**Tabel 4.2 Dimensi Elemen Struktur 7 Tingkat**

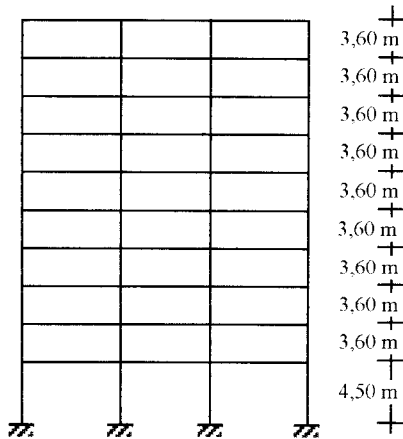
No	Elemen Struktur	Lantai	Profil Baja WF	Berat profil (kg/m)
1	Balok	1-4	W24X55	81.85
2	Balok	5-6	W21X50	74.41
3	Balok	7	W21X44	65.48
4	Kolom tepi lantai	1-2	W14X109	162.21
5	Kolom tengah lantai	1-2	W14X193	287.21
6	Kolom tepi lantai	3-4	W14X90	133.93
7	Kolom tengah lantai	3-4	W14X159	236.62
8	Kolom tepi lantai	5-6	W14X68	101.19
9	Kolom tengah lantai	5-6	W14X109	162.21
10	Kolom tepi lantai	7	W14X30	44.64
11	Kolom tengah lantai	7	W14X43	63.99
12	<i>Bracing</i>	1-7	W8x35	52.08

**Tabel 4.3 Beban Merata untuk Struktur 7 tingkat**

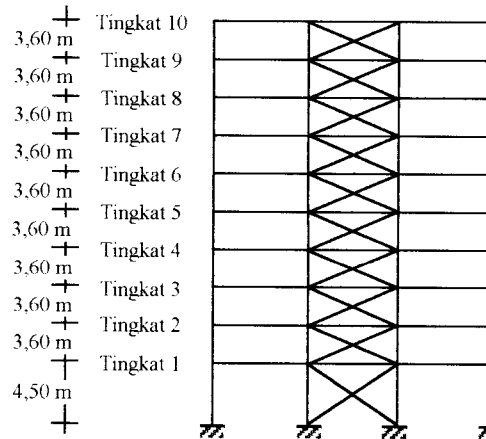
Tingkat	Beban Merata (kg/m)
1 – 6	5374
7	4478



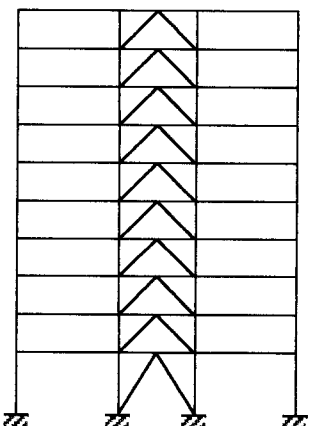
**Gambar 4.9 Denah Perletakan Balok dan Kolom Struktur 10 Tingkat**



**Gamb 4.10** Potongan C Struktur Open Frame 10 tingkat



**Gamb 4.11** Potongan C Struktur 10 tingkat dengan *bracing* tipe X



**Gamb 4.12** Potongan C Struktur 10 tingkat dengan *bracing* tipe V

**Tabel 4.4 Dimensi Elemen Struktur 10 Tingkat**

No	Elemen Struktur	Lantai	Profil Baja WF	Berat profil (kg/m)
1	Balok	1-4	W24X55	81.85
2	Balok	5-6	W21X50	74.41
3	Balok	7-8	W21X44	65.48
4	Balok	8-10	W16X40	78.87
5	Kolom tepi lantai	1-2	W14X159	236.62
6	Kolom tengah lantai	1-2	W14X283	421.15
7	Kolom tepi lantai	3-4	W14X145	215.78
8	Kolom tengah lantai	3-4	W14X257	382.46
9	Kolom tepi lantai	5-6	W14X132	196.44
10	Kolom tengah lantai	5-6	W14X233	346.74
11	Kolom tepi lantai	7-8	W14X99	147.33
12	Kolom tengah lantai	7-8	W14X159	236.62
13	Kolom tepi lantai	9-10	W14X61	90.78
14	Kolom tengah lantai	9-10	W14X99	147.33
15	<i>Bracing</i>	1-10	W8x35	52.08

**Tabel 4.5 Beban Merata untuk Struktur 10 tingkat**

Tingkat	Beban Merata (kg/m)
1 – 9	5374
10	4478

Model struktur 15 tingkat merupakan model utama yang akan dijadikan acuan dalam penelitian ini, sedangkan model struktur 7 tingkat dan 10 tingkat akan kami jadikan pembanding untuk dapat mempertajam analisis dan pengambilan kesimpulan dalam penelitian ini.

#### 4.1.2 Data Beban Gempa

Beban Gempa yang digunakan pada tugas akhir ini diambil dari beban yang telah ada. Pembebanan dilakukan pada batas *code level limit state* dengan

percepatan tanah maksimum sebesar  $70,4 \text{ cm/dt}^2$  yang merupakan batas dalam perencanaan struktur dimana bangunan masih dalam batas elastik murni.

Data kandungan frekuensi beban gempa (A/V rasio) merupakan perbandingan antara percepatan maksimum (A maks) dengan kecepatan maksimum (V maks) gerakan tanah akibat gempa.

**Tabel 4.6** Data kandungan frekuensi beban gempa (A/V rasio)

No.	Beban Gempa	A maks ( $\text{cm/dt}^2$ )	V maks ( $\text{cm/dt}$ )	A/V Rasio ( $\text{g/m/dt}$ )	Keterangan
1.	Bucharest	225,4	75,1	0,30595	Dari data
2.	Tlahuac Bombas	130,4625	40,2011	0,33081	Dari data
3.	Ulcinj	258,5	34,0712	0,7734	Dari data
4.	Miyagi	202,6549	26,559	0,8605	Dari data
5.	Bar Montenegro	371,1	42,93	0,86443	Dari data
6.	Coalinga	440,56	49,96	0,88182	Dari data
7.	Petrovac	441,7	40,402	1,09876	Dari data
8.	Elcentro	342,02	33,4	1,04385	Dari data
9.	Parkfield	407,4	42,6573	1,1241	Dari data
10.	Corint	281,4	25,10723	1,1425	Dari data
11.	Coralitos	436,1	38,44726	1,15625	Dari data
12.	Gilroy	401,8	20,56445	1,9917	Dari data
13.	St. Cruz	392	15,26268	2,6181	Dari data
14.	Koyna India	548,79	16,13209	3,46774	Dari data

Data gempa yang digunakan pada analisis adalah gempa Bucharest mewakili jenis gempa dengan frekuensi rendah, gempa Elcentro mewakili jenis gempa frekuensi sedang dan gempa Koyna mewakili jenis gempa frekuensi tinggi. Ketiga data gempa tersebut diambil pada kondisi *Code Level Limit State* dengan percepatan maksimum sebesar  $70,4 \text{ cm/dt}^2$ . Skala data gempa pada kondisi Code level Limit State adalah sebagai berikut :

1. Skala Gempa Bucharest = 0,3123
2. Skala Gempa Elcentro = 0.2058
3. Skala Gempa Koyna = 0.1283

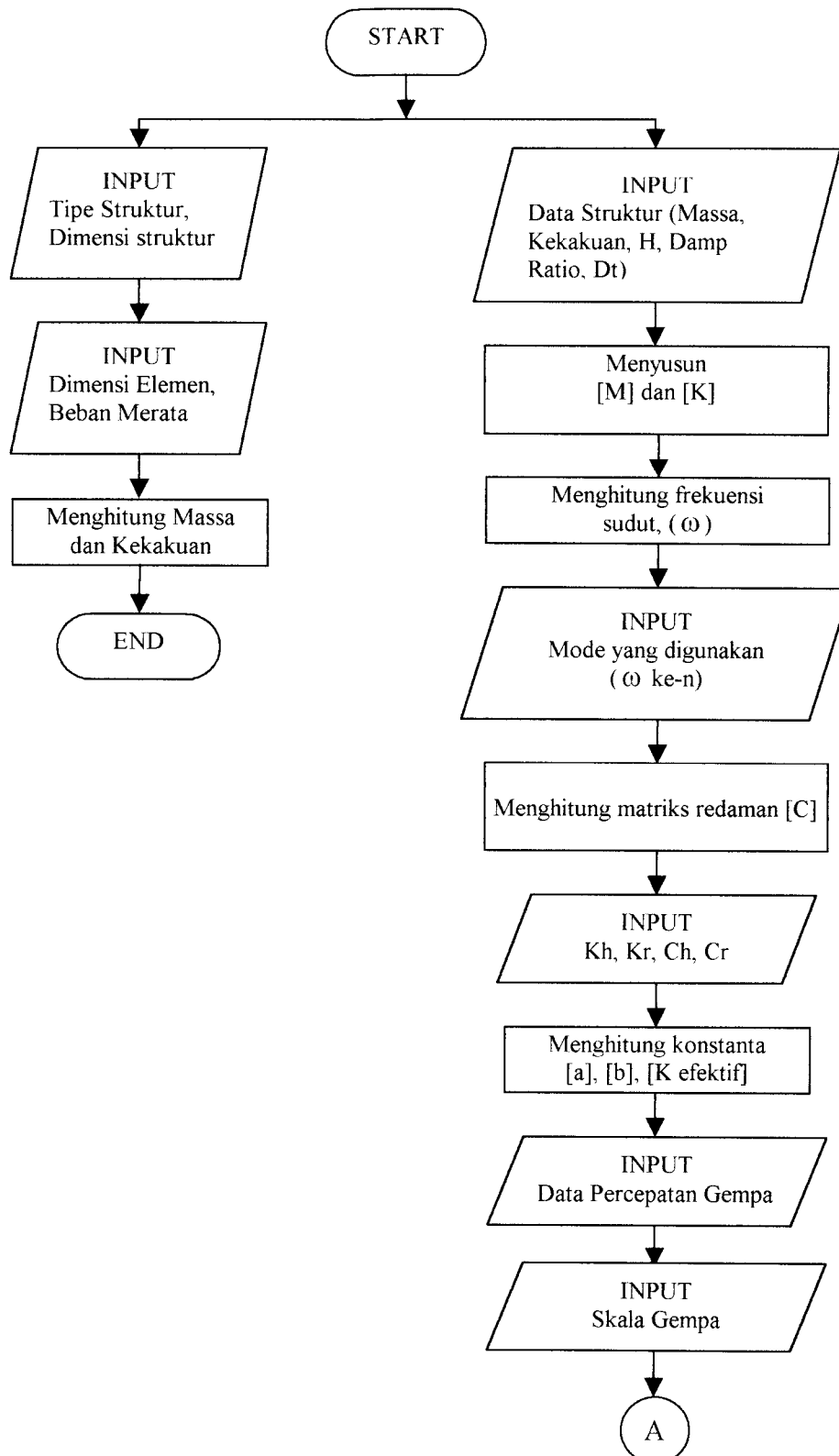
## 4.2 Tahapan Analisa

1. Menghitung massa dengan prinsip *lump mass*
2. Menghitung nilai kekakuan dengan prinsip *Shear Building*
3. Menghitung frekuensi sudut ( $\omega$ )
4. Menghitung matrik redaman (c)
5. Menghitung konstanta-konstanta
6. Menghitung gaya efektif (Pt)
7. Menghitung  $\Delta p$ ,  $\Delta y$ ,  $\Delta \dot{y}$ ,  $\Delta \ddot{y}$ ,  $\Delta \theta$ ,  $\Delta \dot{\theta}$ ,  $\Delta \ddot{\theta}$
8. Menghitung  $y$ ,  $\dot{y}$ ,  $\ddot{y}$ ,  $\theta$
9. Menghitung simpangan rotasi
10. Menghitung simpangan total
11. Menghitung simpangan antar tingkat (*inter-storey drift*)
12. Menghitung gaya horisontal antar tingkat
13. Menghitung gaya geser tingkat
14. Menghitung momen guling (*overturning moment*)

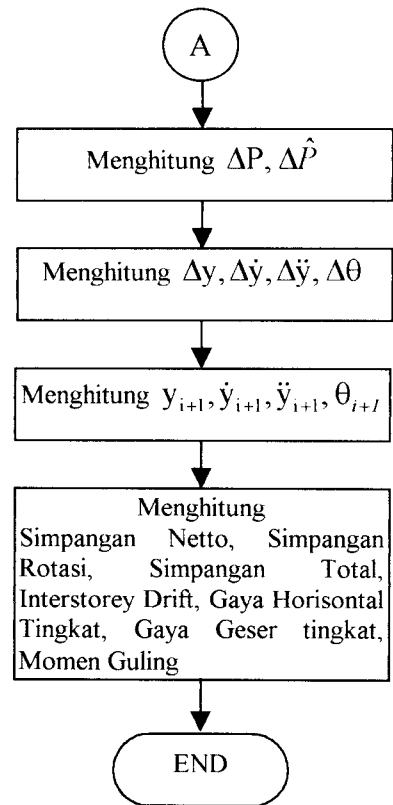
## 4.3 Pengujian

Pengujian yang dilakukan pada tugas akhir ini mencakup 3 macam beban gempa yang berupa riwayat waktu, terhadap struktur dengan parameter nilai simpangan, rotasi pondasi, simpangan rotasi, simpangan antar tingkat, gaya horizontal tingkat, gaya geser tingkat dan momen guling yang terjadi. Pada pengujian ini beban gempa digunakan dengan interval waktu 0,01 detik selama beban gempa berlangsung. Rasio redaman struktur yang dipakai sebesar 5%.

#### 4.4 BAGAN ALIR PROGRAM SIPII ( PROGSIP ) 2003







## BAB V

### ANALISIS DAN PEMBAHASAN

#### 5.1 Pendahuluan

Program PROGSIP 2003 merupakan program yang dibuat dengan bahasa Microsoft Visual Basic 6, dengan cara mengaplikasikan tahapan hitungan manual yang terdapat dalam landasan teori. Program ini terdiri dari dua sub program, yaitu perhitungan massa dan kekakuan struktur dan perhitungan respon struktur akibat beban dinamik. Input pada sub program perhitungan massa dan kekakuan berupa tipe, dimensi struktur dan dimensi elemen-elemen dari struktur tersebut. Hasil dari sub program ini berupa massa dan kekakuan tiap tingkat dari model struktur yang merupakan input untuk sub program perhitungan respon struktur akibat beban dinamik. Sedangkan input untuk sub program perhitungan respon struktur akibat beban dinamik selain hasil dari sub program perhitungan massa dan kekakuan adalah berupa data percepatan tanah dan data interaksi tanah dengan pondasi. Perhitungan analisa dinamik meliputi perhitungan simpangan, kecepatan, percepatan, rotasi pondasi, simpangan rotasi, simpangan total, simpangan antar tingkat (*interstorey drift*), gaya horisontal tingkat, gaya geser tingkat dan momen guling yang semuanya merupakan respon struktur akibat beban dinamik berupa percepatan tanah.



## 5.2 Pembebanan Struktur

Diambil dari data struktur tugas akhir Wiwit Budi C dan Hariyanto (2000)

**Tabel 5.1** Hasil perhitungan beban Merata pada struktur 15 tingkat

Lantai	Beban Merata (kg/m)	
	Balok 8 m	Balok 6,5 m
1 - 14	4001.5	3427
Atap	2112	1716

## 5.3 Perhitungan Massa dan Kekakuan

Anggapan yang dipakai dalam analisa ini adalah *lumped mass* dan prinsip *shear building*, sehingga massa dihitung pada tiap tingkat dan menggumpal di tengah bentang. Kekakuan dihitung secara paralel dimana besarnya kekakuan tiap lantai merupakan jumlah dari kekakuan tiap kolomnya.

Massa tingkat dihitung dengan rumus pada persamaan (3.12) dimana massa adalah berat dibagi gravitasi. Dalam perhitungan ini percepatan gravitasi diambil sebesar  $9.81 \text{ m/dt}^2$ .

Dari rumus tersebut maka hasil perhitungan massa tiap lantai dapat dilihat pada Tabel 5.2.

**Tabel 5.2** Hasil perhitungan massa struktur 15 tingkat

Lantai	Open Frame (kg.dt <sup>2</sup> /m)	Braced X (kg.dt <sup>2</sup> /m)	Braced V (kg.dt <sup>2</sup> /m)
1-4	9691.357755	9739.169337	9722.974622
5	9644.141581	9688.538051	9673.500100
6-9	9596.925407	9637.906764	9624.025579
10	9517.283668	9554.849912	9542.125493
11-14	9364.902474	9399.053605	9387.485951
15	4919.635745	4936.711311	4930.927484

Perhitungan kekakuan menggunakan prinsip *shear building* dimana kekakuan kolom tidak dipengaruhi oleh balok yang menghubungkan kolom-kolom yang ada. Kekakuan tiap kolom dapat dihitung dengan rumus pada persamaan (3.13).

Dengan melihat data struktur maka kekakuan dihitung secara paralel yaitu kekakuan tiap lantai merupakan jumlah dari kekakuan kolom dan kekakuan *bracing*. Dari rumus pada persamaan (3.13), (3.14), dan (3.18) maka kekakuan tingkat satu struktur *open frame* dapat dihitung menggunakan persamaan (3.14).

$$K_{ip} = 2 * \frac{12 * 2.03890018 \times 10^{10} * 0.001415}{(3.75)^3} = 13130154.29 \text{ kg/m}$$

$$K_{ig} = 2 * \frac{12 * 2.03890018 \times 10^{10} * 0.002264}{(3.75)^3} = 21008246.86 \text{ kg/m}$$

$$k_{tot} = 1313015.288788 + 21008246.862061 = 34138401.150849 \text{ kg/m}$$

Selanjutnya hasil perhitungan tiap tingkat disajikan dalam bentuk Tabel 5.3.

**Tabel 5.3** Hasil perhitungan kekakuan struktur 15 tingkat

Lantai	Open Frame (kg/m)	Braced X (kg/m)	Braced V (kg/m)
1-5	34138401.150849	42239488.493392	41142079.250283
6-10	28440934.908223	35359679.357289	34422435.529631
11-15	19542123.626988	25382489.816315	24591327.893439

#### 5.4 Analisis Respon Struktur Akibat Beban Gempa

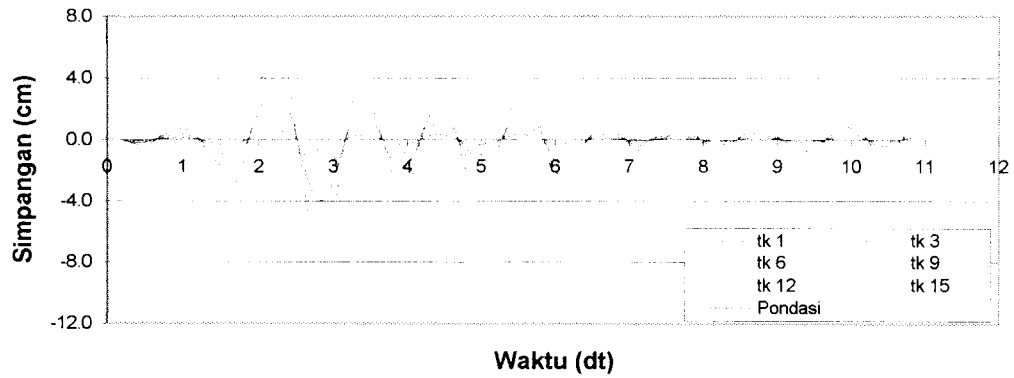
Analisis respon struktur akibat beban gempa merupakan plot grafik nilai-nilai yang dihasilkan oleh program Progsip 2003 selama waktu terjadinya gempa. Data gempa yang digunakan pada analisis adalah gempa Bucharest mewakili jenis gempa dengan frekuensi rendah, gempa Elcentro mewakili jenis gempa frekuensi sedang dan gempa Koyna mewakili jenis gempa frekuensi tinggi. Ketiga data gempa tersebut diambil pada kondisi *Code Level Limit State* dengan percepatan maksimum sebesar  $70,4 \text{ cm/dt}^2$ .

Analisis meliputi Simpangan Netto, Rotasi Pondasi, Simpangan Rotasi, Simpangan Total, Simpangan Antar Tingkat (*Interstorey Drift*), Gaya Horisontal Tingkat, Gaya Geser Tingkat dan Momen Guling pada struktur 15 tingkat dengan mengkombinasikan kekakuan horisontal tanah ( $k_h$ ) dan kekakuan putar tanah ( $k_r$ ). Adapun nilai-nilai  $k_h$  dan  $k_r$  yang dikombinasikan adalah sebagai berikut :

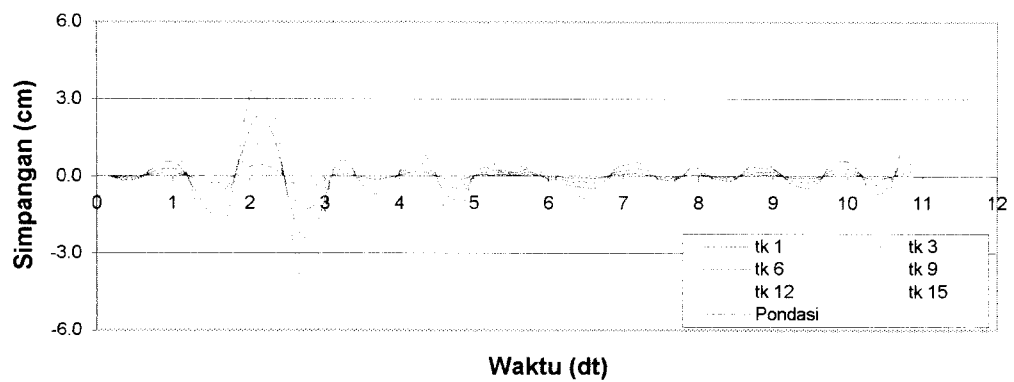
1.  $k_h = 2.0420\text{E}+25$ ,  $k_r = 1.1932\text{E}+25$
2.  $k_h = 2.0420\text{E}+08$ ,  $k_r = 1.1932\text{E}+09$

#### **5.4.1 Perhitungan Simpangan Netto**

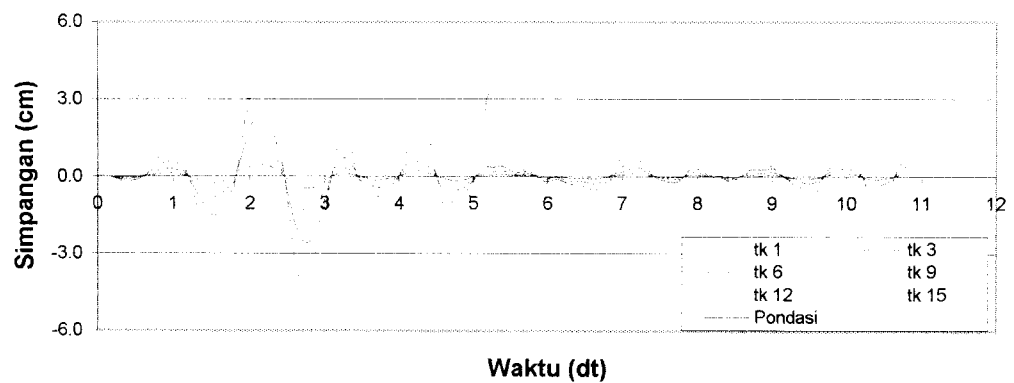
Simpangan netto merupakan simpangan bersih struktur akibat beban gempa. Hasil analisis ditampilkan dalam bentuk grafik antara simpangan struktur lawan waktu, dapat dilihat pada gambar berikut :



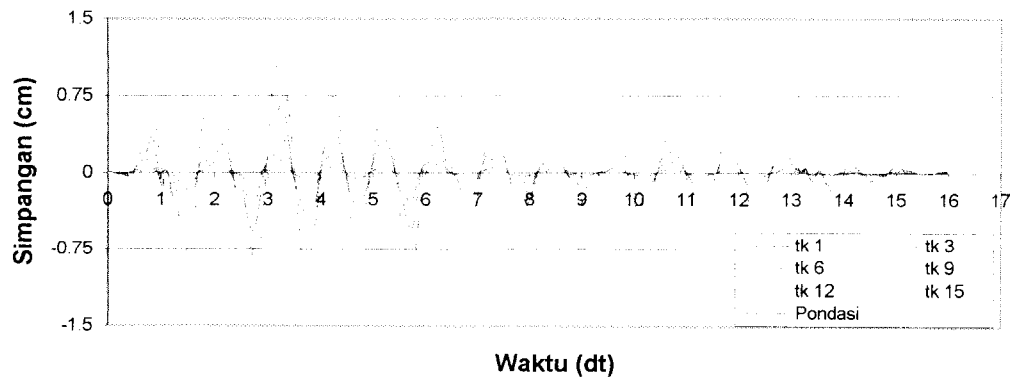
**Gambar 5.1** Simpangan Netto Struktur *Open Frame* 15 tk akibat gempa *Bucharest*;  $kh=2.0420E+25$   $kr=1.1932E+25$



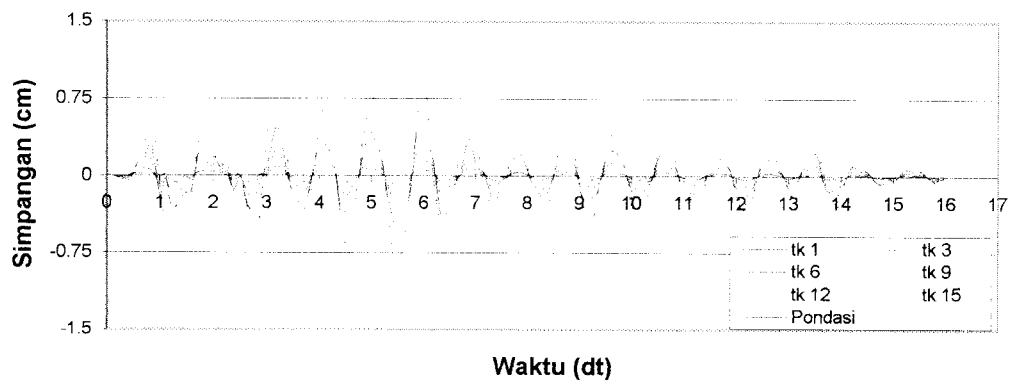
**Gambar 5.2** Simpangan Netto Struktur *Brace X* 15 tk akibat gempa *Bucharest*;  $kh=2.0420E+25$   $kr=1.1932E+25$



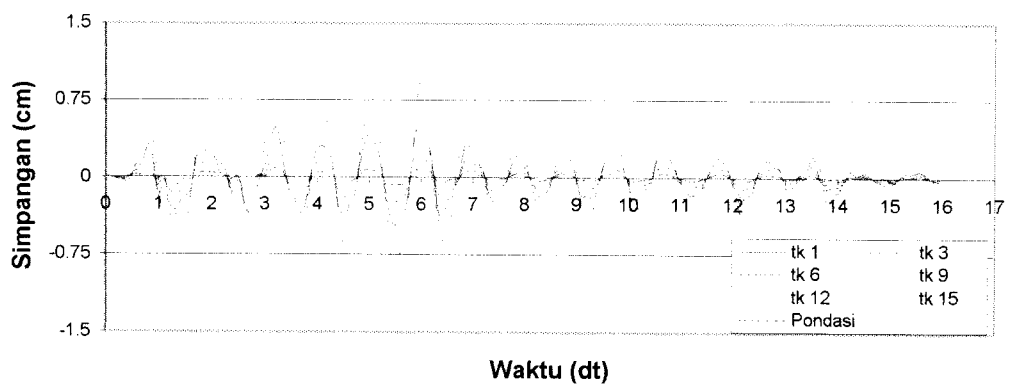
**Gambar 5.3** Simpangan Netto Struktur *Brace V* 15 tk akibat gempa *Bucharest*;  $kh=2.0420E+25$   $kr=1.1932E+25$



**Gambar 5.4** Simpangan Netto Struktur *Open Frame* 15 tk akibat gempa *Elcentro*;  $kh=2.0420E+25$   $kr=1.1932E+25$

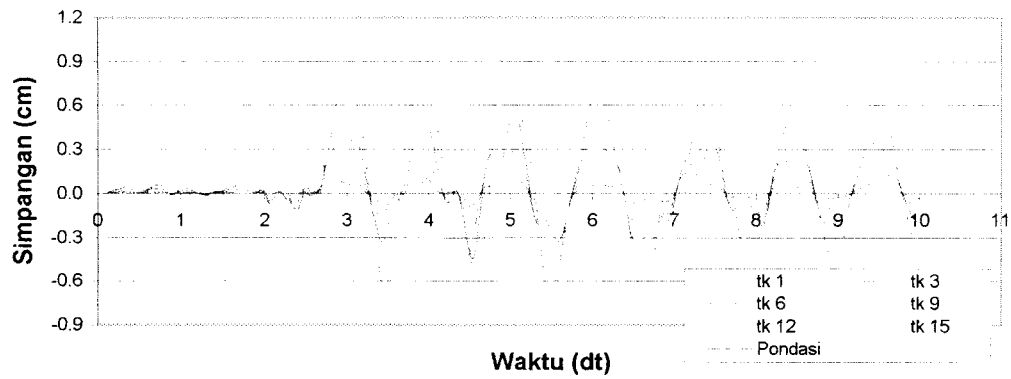


**Gambar 5.5** Simpangan Netto Struktur *Brace X* 15 tk akibat gempa *Elcentro*;  $kh=2.0420E+25$   $kr=1.1932E+25$

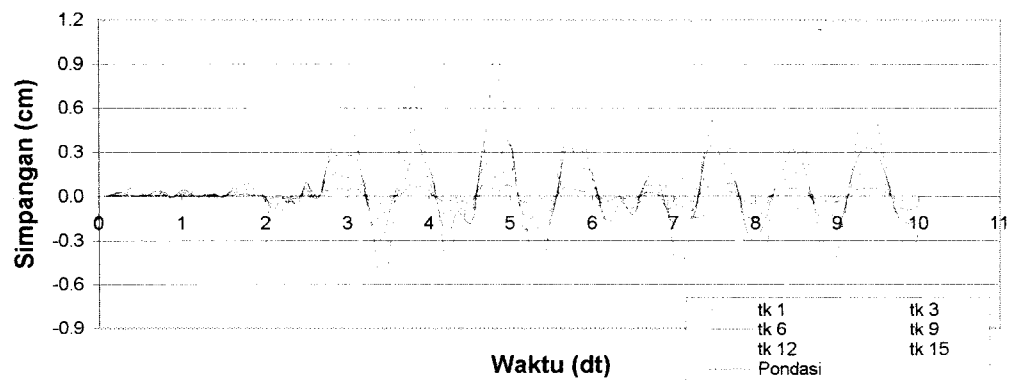


**Gambar 5.6** Simpangan Netto Struktur *Brace V* 15 tk akibat gempa *Elcentro*;  $kh=2.0420E+25$   $kr=1.1932E+25$

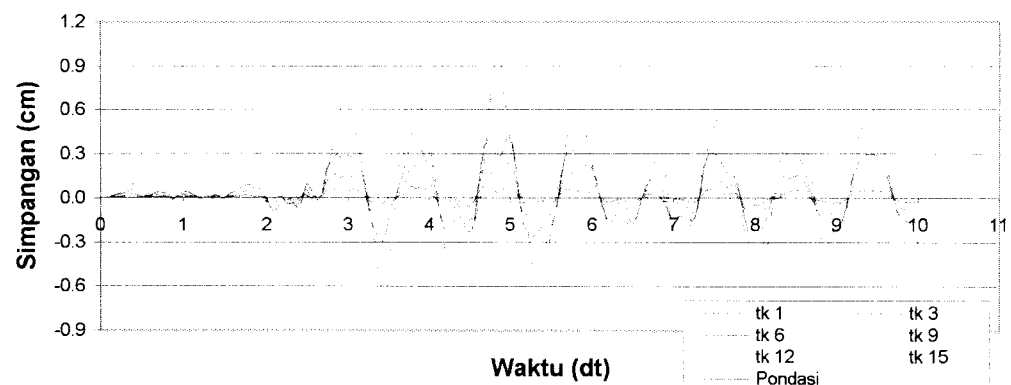




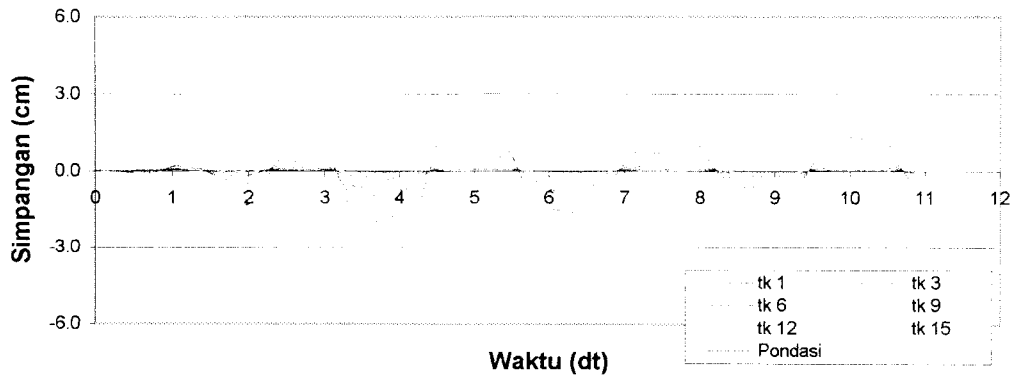
**Gambar 5.7** Simpangan Netto Struktur *Open Frame* 15 tk akibat gempa *Koyna* ;  $kh=2.0420E+25$   $kr=1.1932E+25$



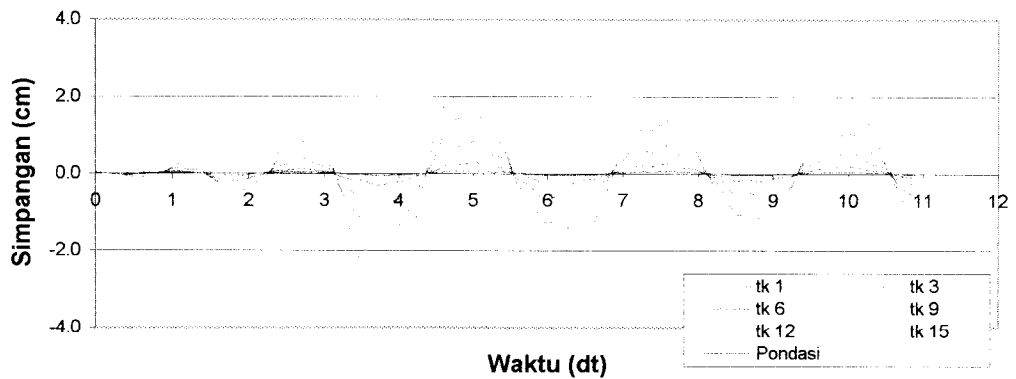
**Gambar 5.8** Simpangan Netto Struktur *Brace X* 15 tk akibat gempa *Koyna* ;  $kh=2.0420E+25$   $kr=1.1932E+25$



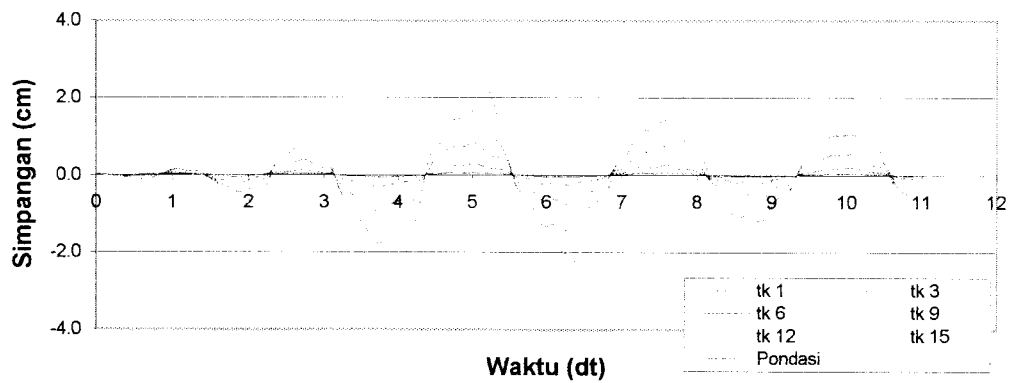
**Gambar 5.9** Simpangan Netto Struktur *Brace V* 15 tk akibat gempa *Koyna* ;  $kh=2.0420E+25$   $kr=1.1932E+25$



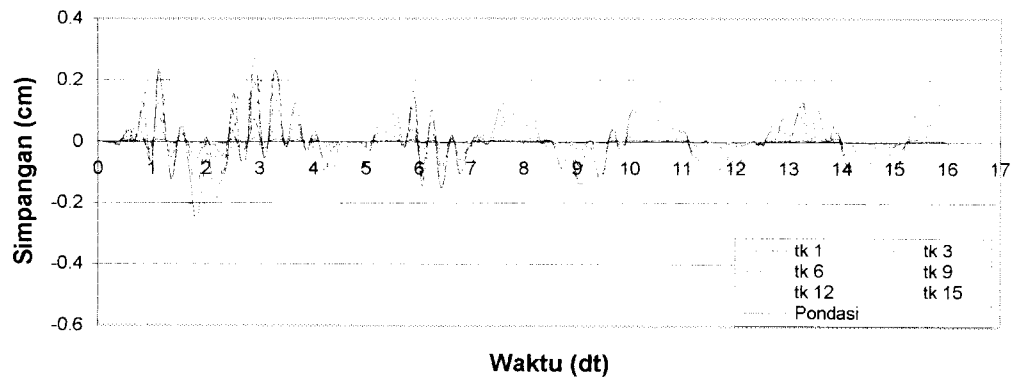
**Gambar 5.10** Simpangan Netto Struktur *Open Frame* 15 tk akibat gempa *Bucharest* ;  $kh=2.0420E+08$   $kr=1.1932E+09$



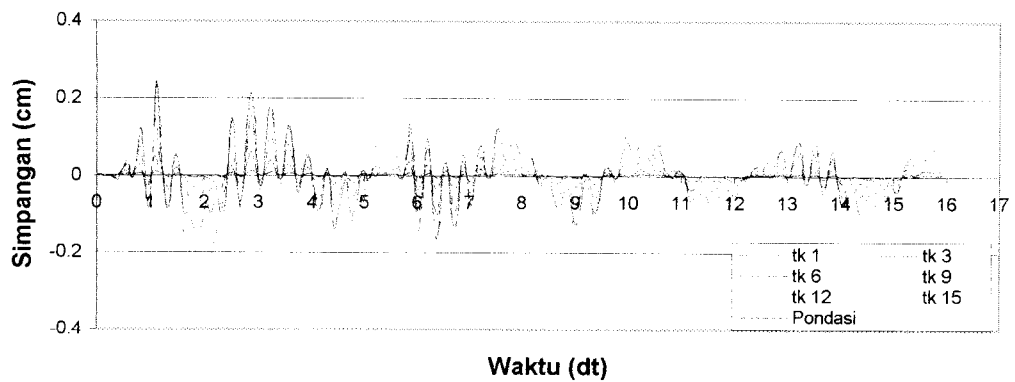
**Gambar 5.11** Simpangan Netto Struktur *Brace X* 15 tk akibat gempa *Bucharest* ;  $kh=2.0420E+08$   $kr=1.1932E+09$



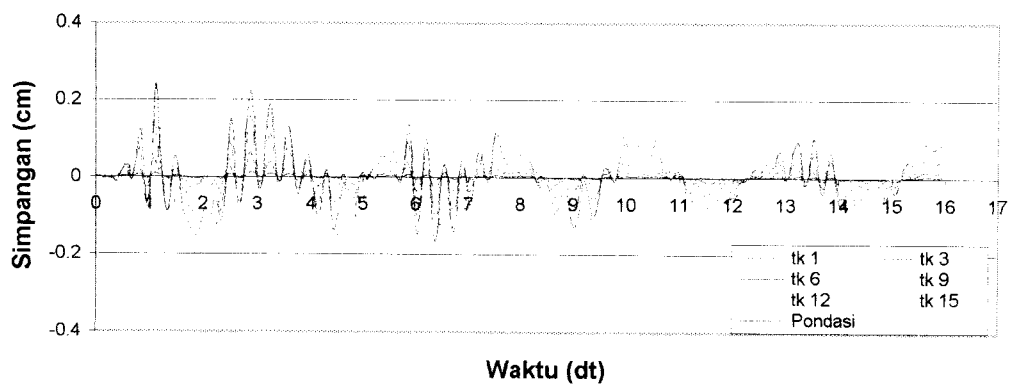
**Gambar 5.12** Simpangan Netto Struktur *Brace V* 15 tk akibat gempa *Bucharest* ;  $kh=2.0420E+08$   $kr=1.1932E+09$



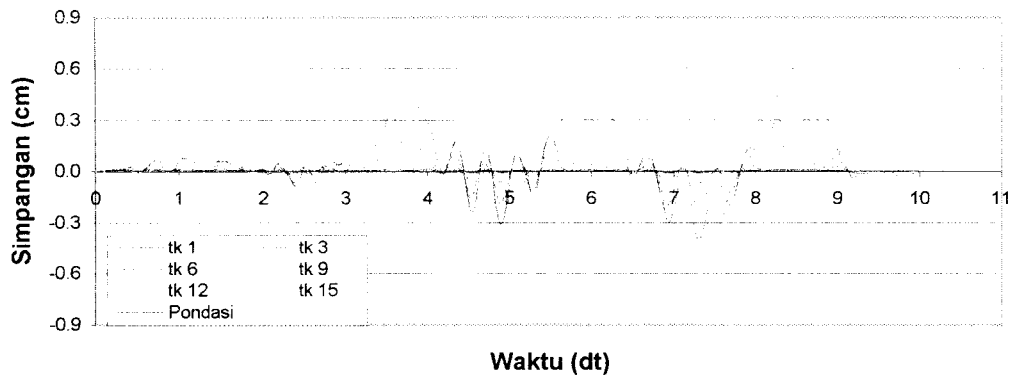
**Gambar 5.13** Simpangan Netto Struktur *Open Frame* 15 tk akibat gempa *Elcentro*;  $kh=2.0420E+08$   $kr=1.1932E+09$



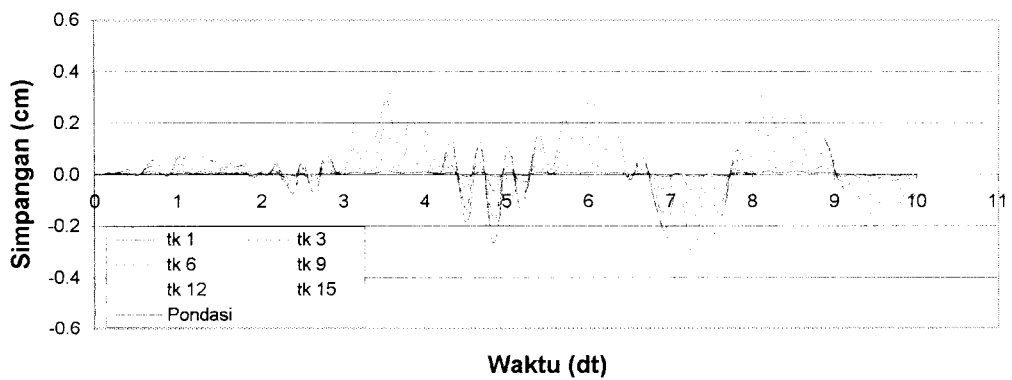
**Gambar 5.14** Simpangan Netto Struktur *Brace X* 15 tk akibat gempa *Elcentro*;  $kh=2.0420E+08$   $kr=1.1932E+09$



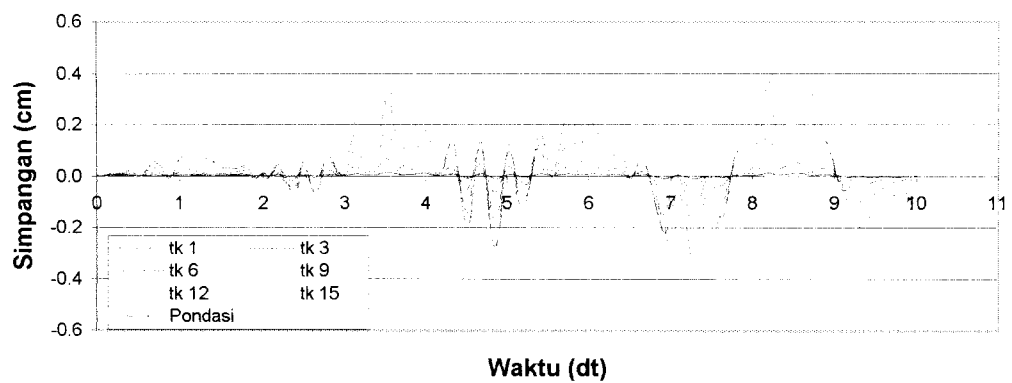
**Gambar 5.15** Simpangan Netto Struktur *Brace V* 15 tk akibat gempa *Elcentro*;  $kh=2.0420E+08$   $kr=1.1932E+09$



**Gambar 5.16** Simpangan Netto Struktur *Open Frame* 15 tk akibat gempa *Koyna* ;  $kh=2.0420E+08$   $kr=1.1932E+09$



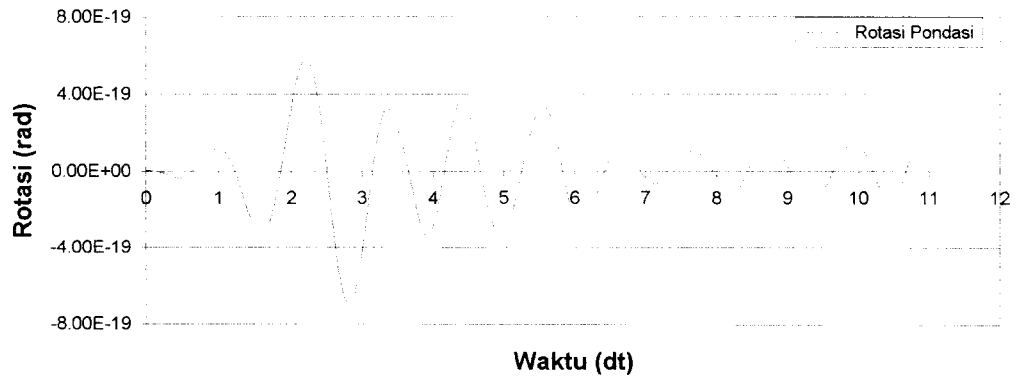
**Gambar 5.17** Simpangan Netto Struktur *Brace X* 15 tk akibat gempa *Koyna* ;  $kh=2.0420E+08$   $kr=1.1932E+09$



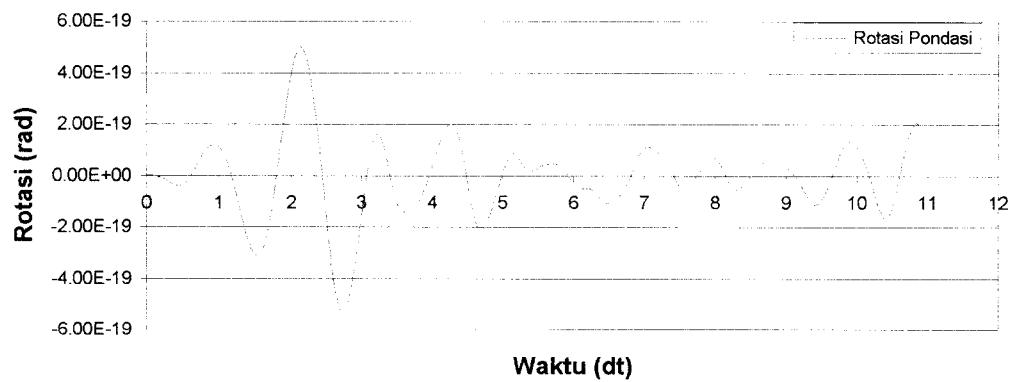
**Gambar 5.18** Simpangan Netto Struktur *Brace V* 15 tk akibat gempa *Koyna* ;  $kh=2.0420E+08$   $kr=1.1932E+09$

#### **5.4.2 Perhitungan Rotasi Pondasi**

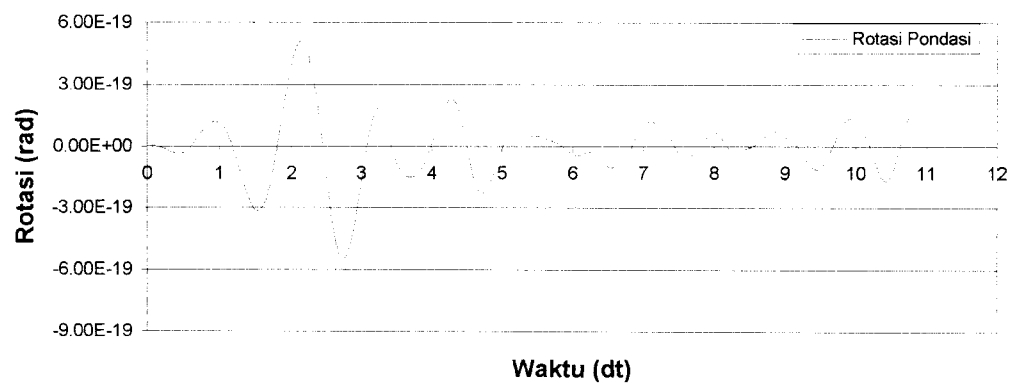
Rotasi pondasi adalah nilai sudut yang terjadi pada pondasi yang dipengaruhi oleh kekakuan horisontal tanah  $k_h$ , dan kekakuan putar tanah  $k_r$ . Hasil analisis ditampilkan dalam bentuk grafik antara nilai sudut rotasi lawan waktu, dapat dilihat pada gambar berikut :



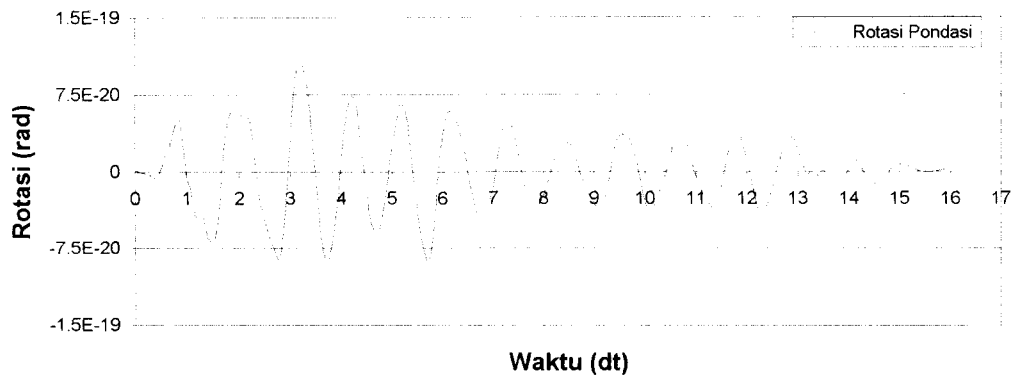
**Gambar 5.19** Rotasi Pondasi Struktur *Open Frame* 15 tk akibat gempa *Bucharest*;  $kh=2.0420E+25$   $kr=1.1932E+25$



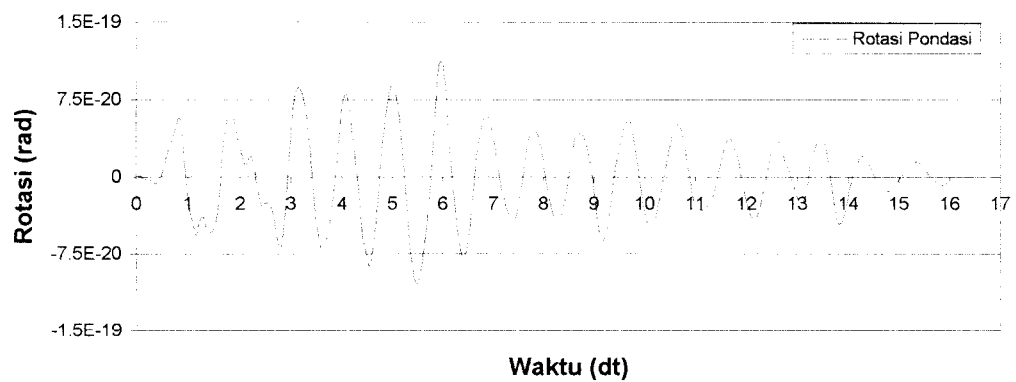
**Gambar 5.20** Rotasi Pondasi Struktur *Brace X* 15 tk akibat gempa *Bucharest*;  $kh=2.0420E+25$   $kr=1.1932E+25$



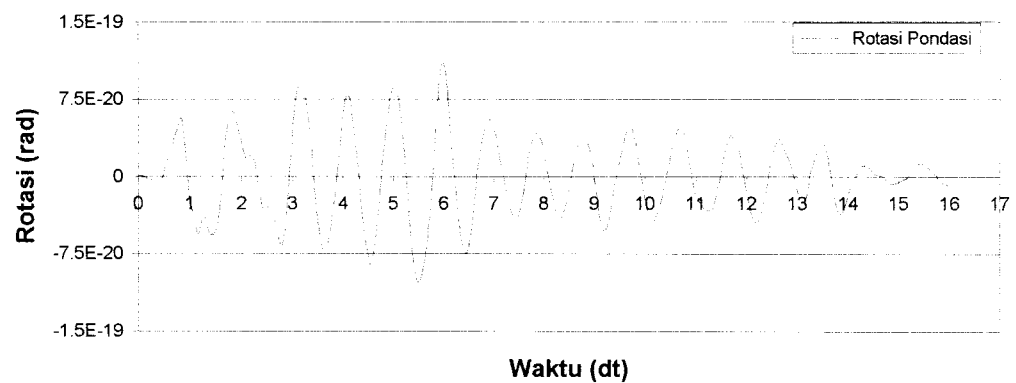
**Gambar 5.21** Rotasi Pondasi Struktur *Brace V* 15 tk akibat gempa *Bucharest*;  $kh=2.0420E+25$   $kr=1.1932E+25$



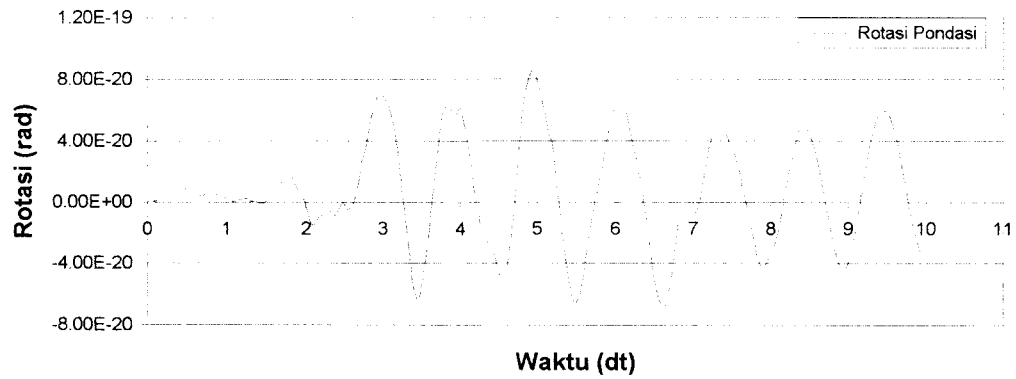
**Gambar 5.22 Rotasi Pondasi Struktur *Open Frame* 15 tk**  
akibat gempa *Elcentro*;  $kh=2.0420E+25$   $kr=1.1932E+25$



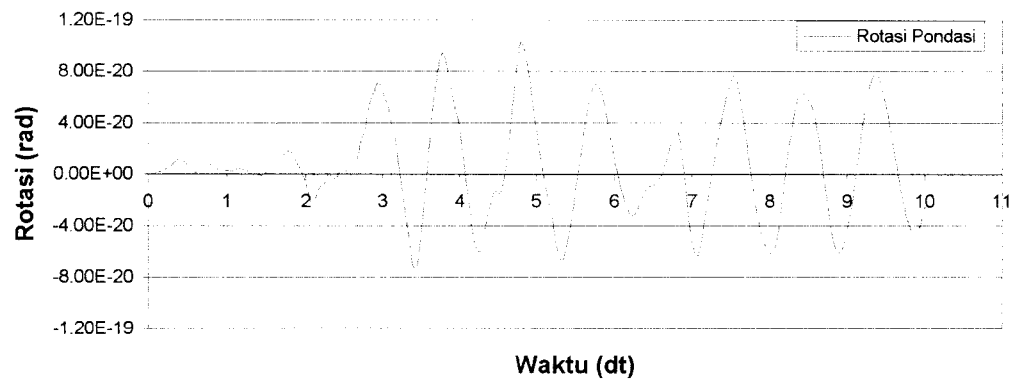
**Gambar 5.23 Rotasi Pondasi Struktur *Brace X* 15 tk**  
akibat gempa *Elcentro*;  $kh=2.0420E+25$   $kr=1.1932E+25$



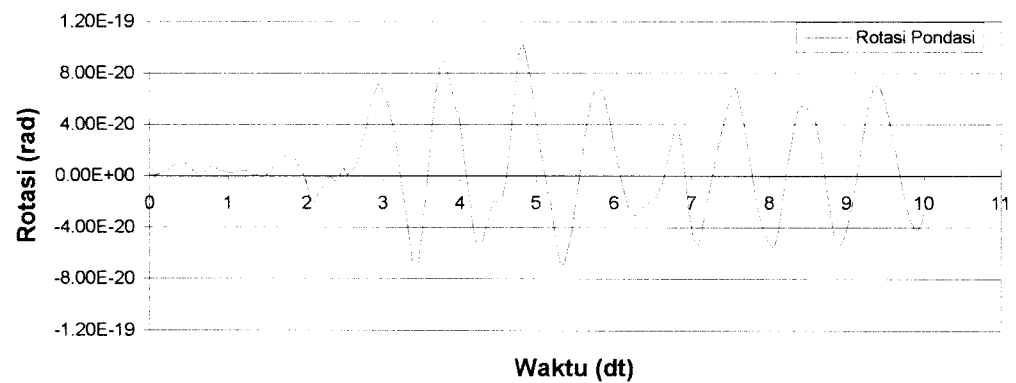
**Gambar 5.24 Rotasi Pondasi Struktur *Brace V* 15 tk**  
akibat gempa *Elcentro*;  $kh=2.0420E+25$   $kr=1.1932E+25$



**Gambar 5.25 Rotasi Pondasi Struktur *Open Frame* 15 tk**  
akibat gempa *Koyna*;  $kh=2.0420E+25$   $kr=1.1932E+25$

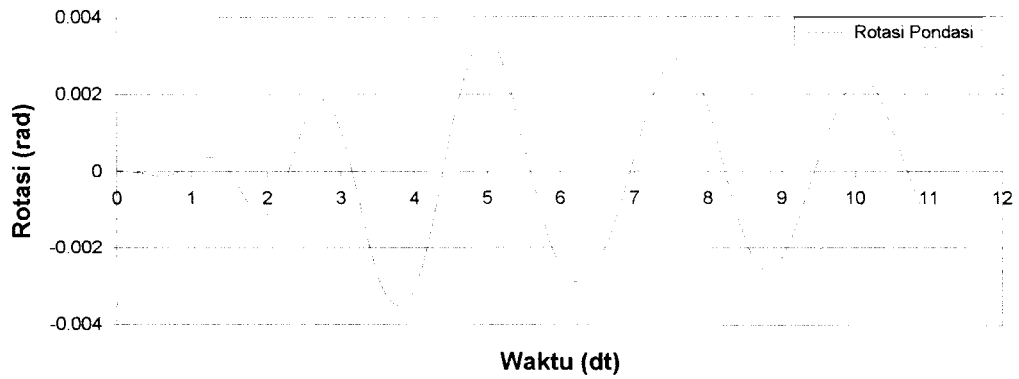


**Gambar 5.26 Rotasi Pondasi Struktur *Brace X* 15 tk**  
akibat gempa *Koyna*;  $kh=2.0420E+25$   $kr=1.1932E+25$

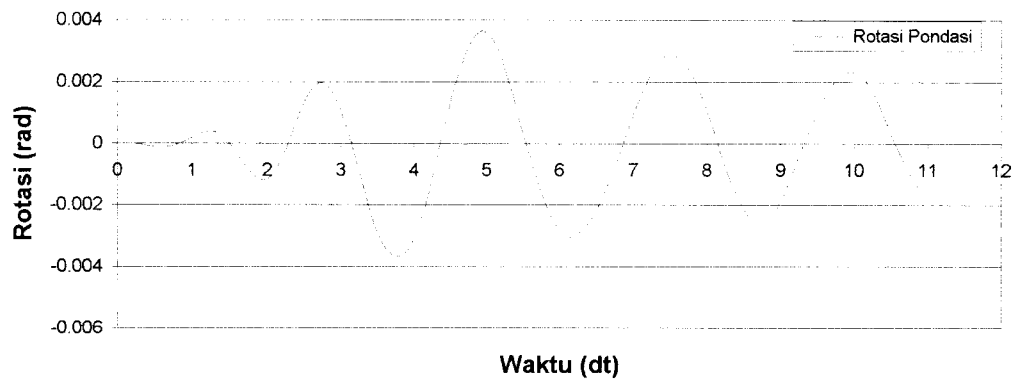


**Gambar 5.27 Rotasi Pondasi Struktur *Brace V* 15 tk**  
akibat gempa *Koyna*;  $kh=2.0420E+25$   $kr=1.1932E+25$

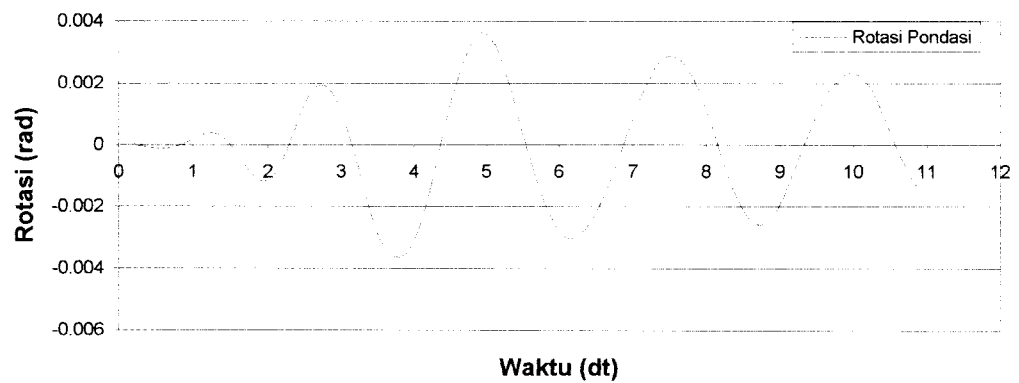




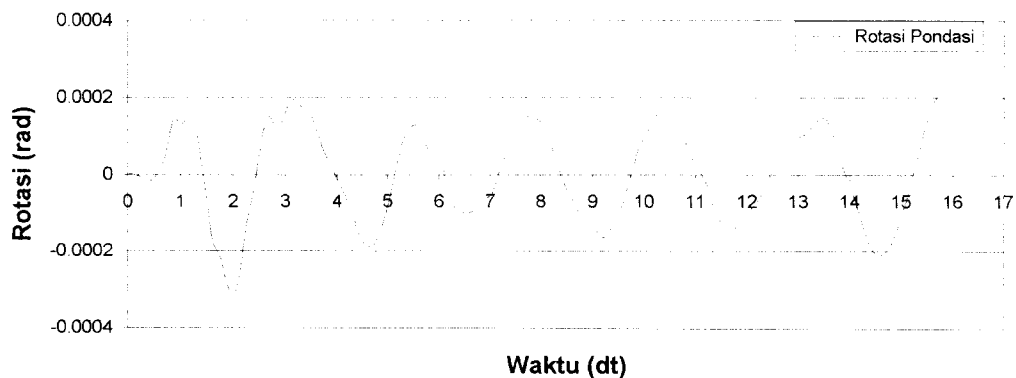
**Gambar 5.28 Rotasi Pondasi Struktur *Open Frame* 15 tk**  
akibat gempa *Bucharest*;  $kh=2.0420E+08$   $kr=1.1932E+09$



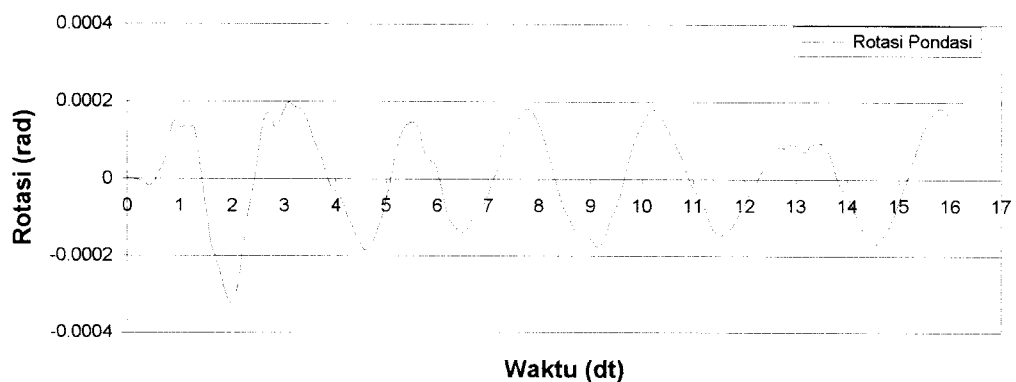
**Gambar 5.29 Rotasi Pondasi Struktur *Brace X* 15 tk**  
akibat gempa *Bucharest*;  $kh=2.0420E+08$   $kr=1.1932E+09$



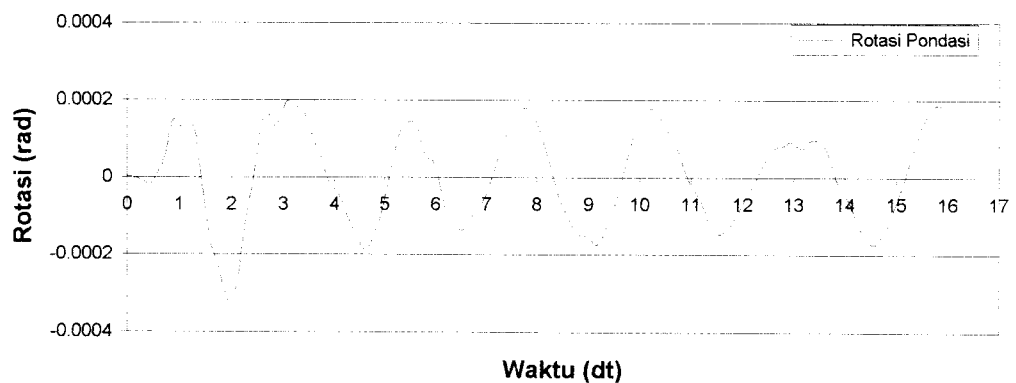
**Gambar 5.30 Rotasi Pondasi Struktur *Brace V* 15 tk**  
akibat gempa *Bucharest*;  $kh=2.0420E+08$   $kr=1.1932E+09$



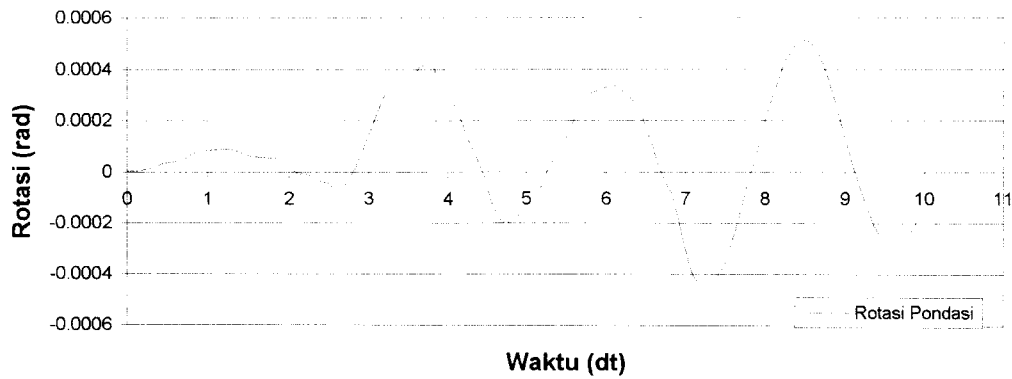
**Gambar 5.31 Rotasi Pondasi Struktur *Open Frame* 15 tk**  
akibat gempa *Elcentro*;  $kh=2.0420E+08$   $kr=1.1932E+09$



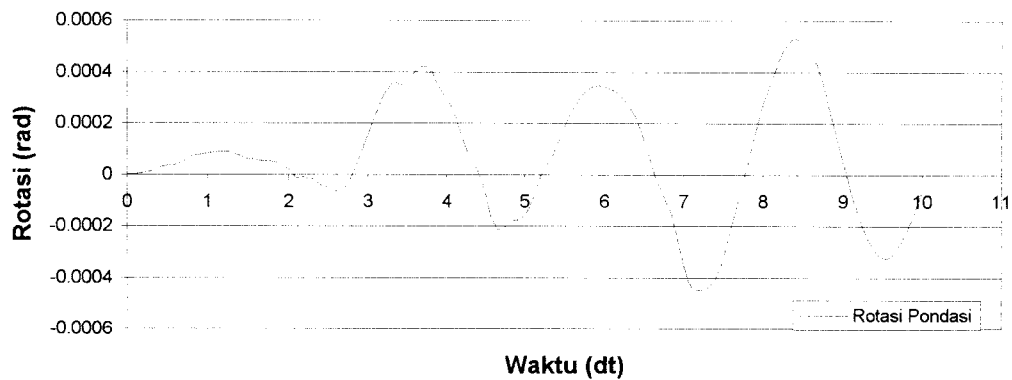
**Gambar 5.32 Rotasi Pondasi Struktur *Brace X* 15 tk**  
akibat gempa *Elcentro*;  $kh=2.0420E+08$   $kr=1.1932E+09$



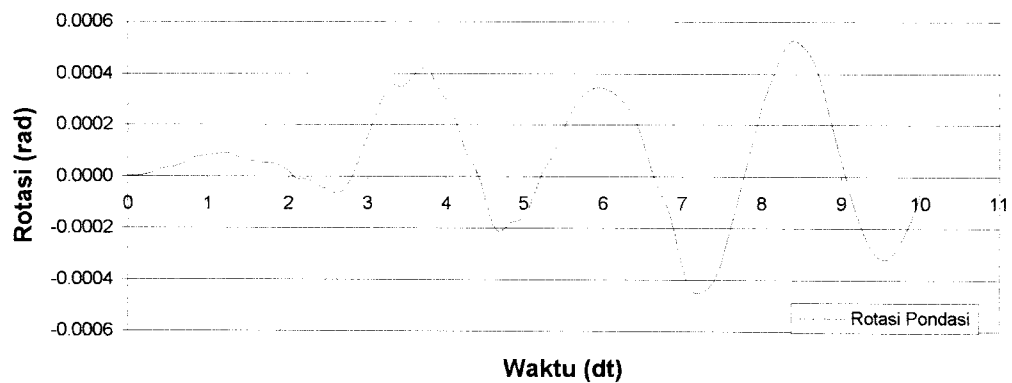
**Gambar 5.33 Rotasi Pondasi Struktur *Brace V* 15 tk**  
akibat gempa *Elcentro*;  $kh=2.0420E+08$   $kr=1.1932E+09$



**Gambar 5.34 Rotasi Pondasi Struktur *Open Frame* 15 tk**  
akibat gempa *Koyna*;  $kh=2.0420E+08$   $kr=1.1932E+09$



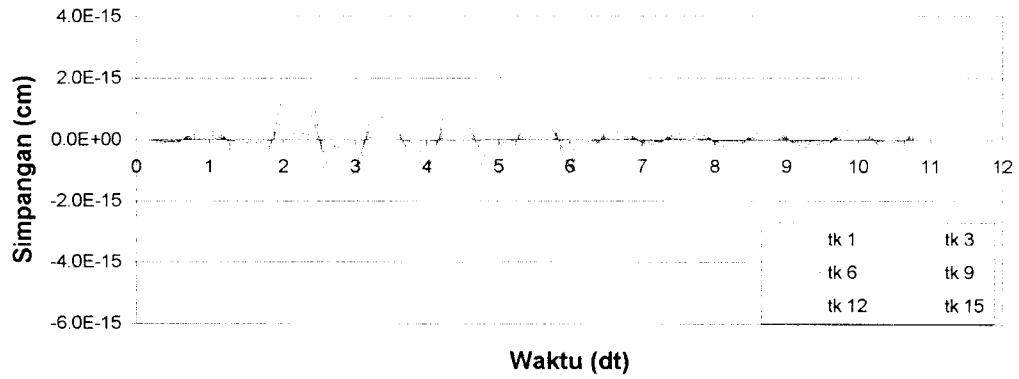
**Gambar 5.35 Rotasi Pondasi Struktur *Brace X* 15 tk**  
akibat gempa *Koyna*;  $kh=2.0420E+08$   $kr=1.1932E+09$



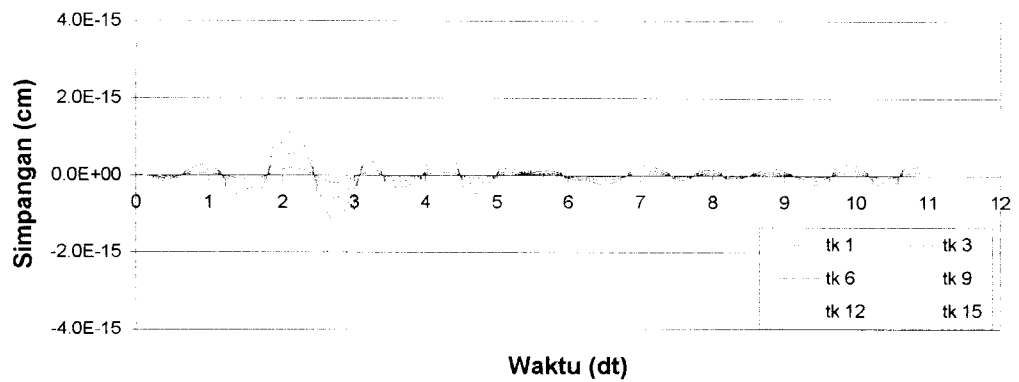
**Gambar 5.36 Rotasi Pondasi Struktur *Brace V* 15 tk**  
akibat gempa *Koyna*;  $kh=2.0420E+08$   $kr=1.1932E+09$

#### **5.4.3 Perhitungan Simpangan Rotasi**

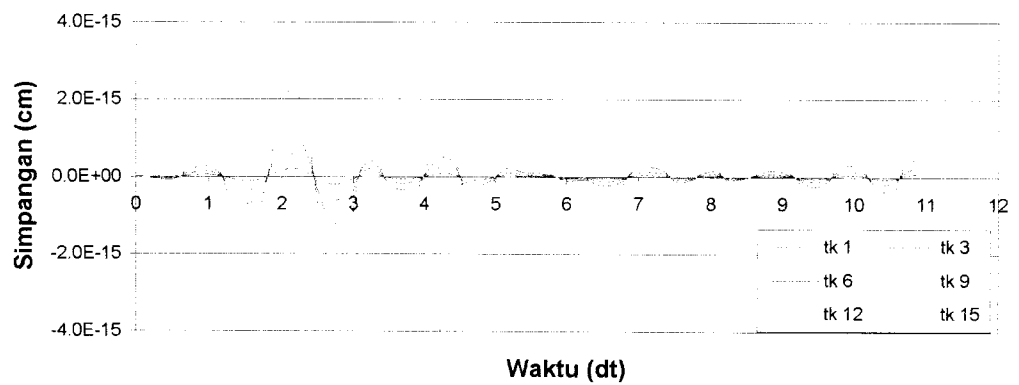
Simpangan rotasi merupakan simpangan struktur yang disebabkan terjadinya rotasi pada pondasi akibat beban gempa. Hasil analisis ditampilkan dalam bentuk grafik antara simpangan struktur lawan waktu, dapat dilihat pada gambar berikut :



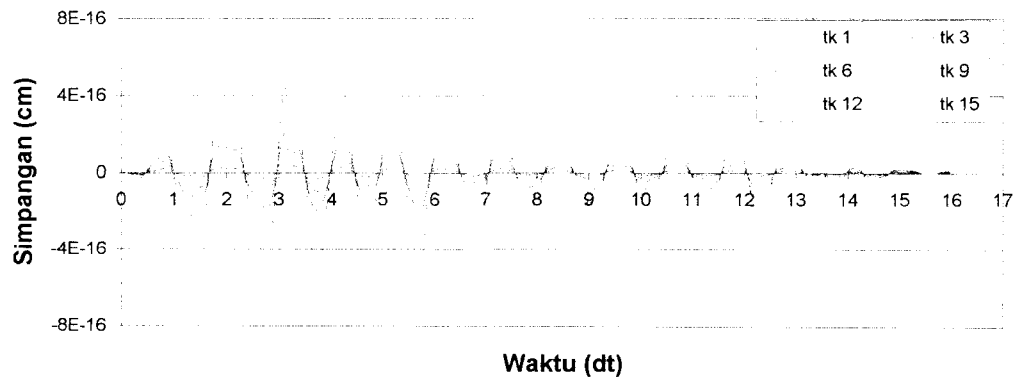
**Gambar 5.37** Simpangan Rotasi Struktur *Open Frame* 15 tk akibat gempa *Bucharest* ;  $kh=2.0420E+25$   $kr=1.1932E+25$



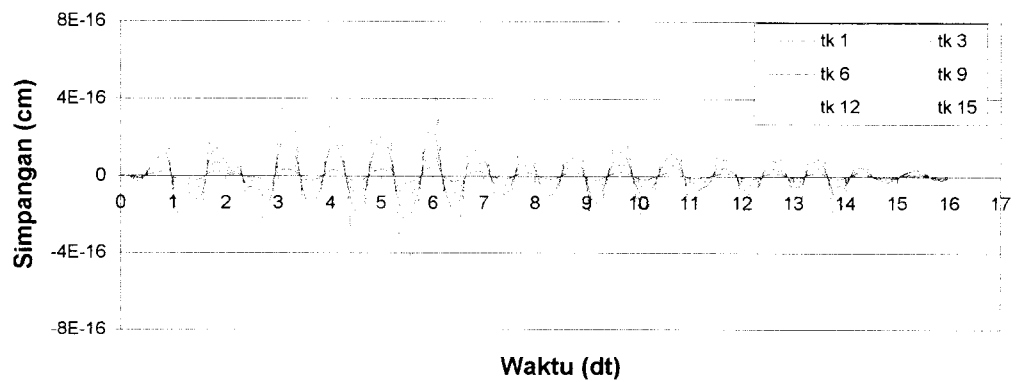
**Gambar 5.38** Simpangan Rotasi Struktur *Brace X* 15 tk akibat gempa *Bucharest* ;  $kh=2.0420E+25$   $kr=1.1932E+25$



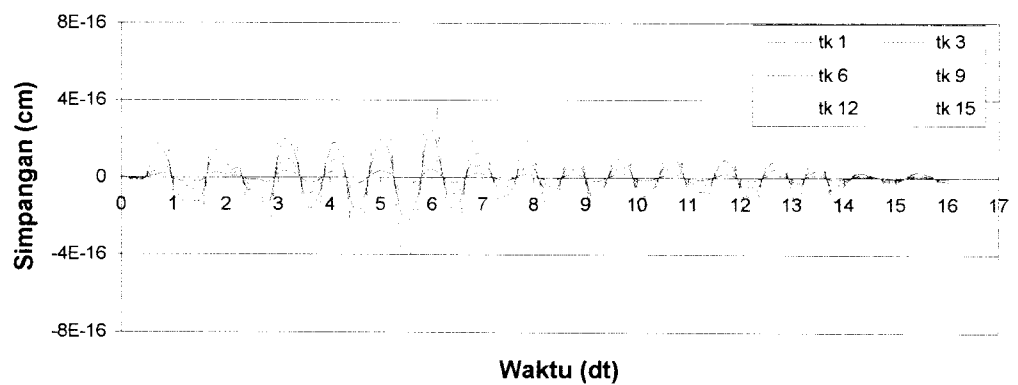
**Gambar 5.39** Simpangan Rotasi Struktur *Brace V* 15 tk akibat gempa *Bucharest* ;  $kh=2.0420E+25$   $kr=1.1932E+25$



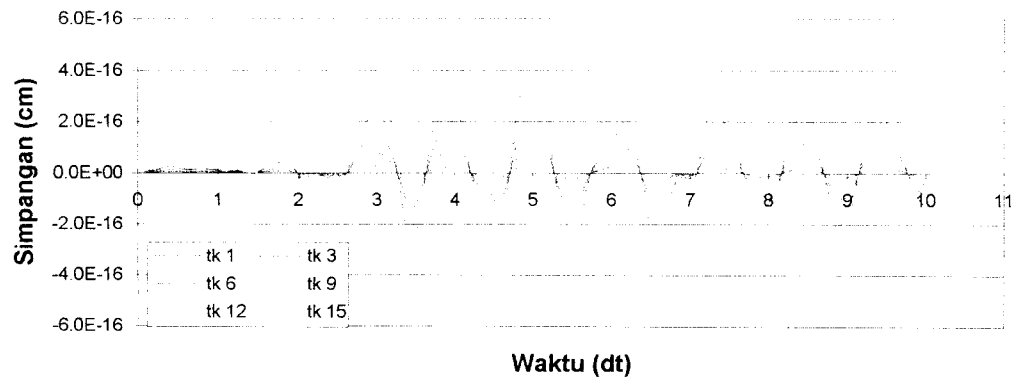
**Gambar 5.40** Simpangan Rotasi Struktur *Open Frame* 15 tk akibat gempa *Elcentro*;  $kh=2.0420E+25$   $kr=1.1932E+25$



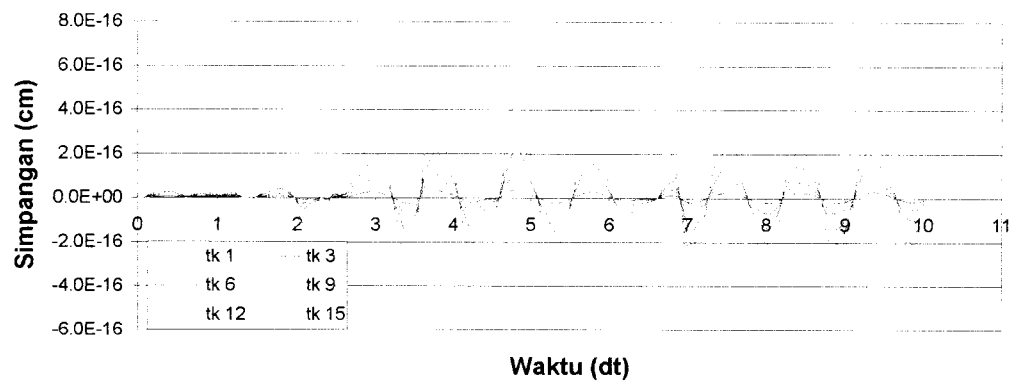
**Gambar 5.41** Simpangan Rotasi Struktur *Brace X* 15 tk akibat gempa *Elcentro*;  $kh=2.0420E+25$   $kr=1.1932E+25$



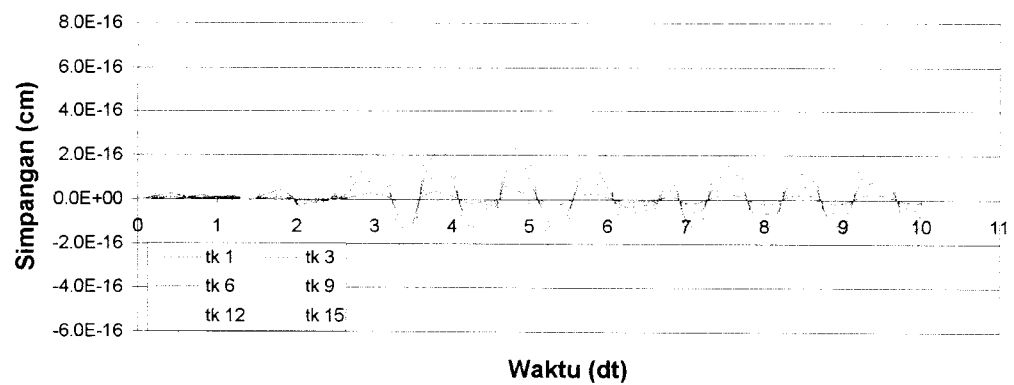
**Gambar 5.42** Simpangan Rotasi Struktur *Brace V* 15 tk akibat gempa *Elcentro*;  $kh=2.0420E+25$   $kr=1.1932E+25$



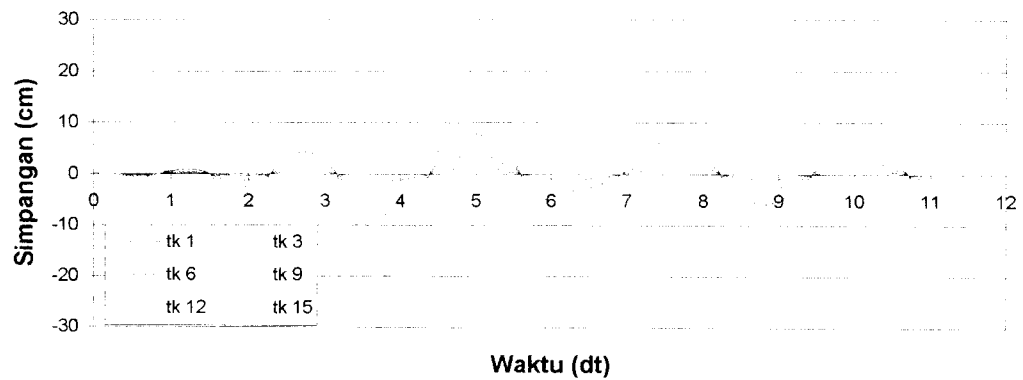
**Gambar 5.43** Simpangan Rotasi Struktur *Open Frame* 15 tk akibat gempa *Koyna*;  $kh=2.0420E+25$   $kr=1.1932E+25$



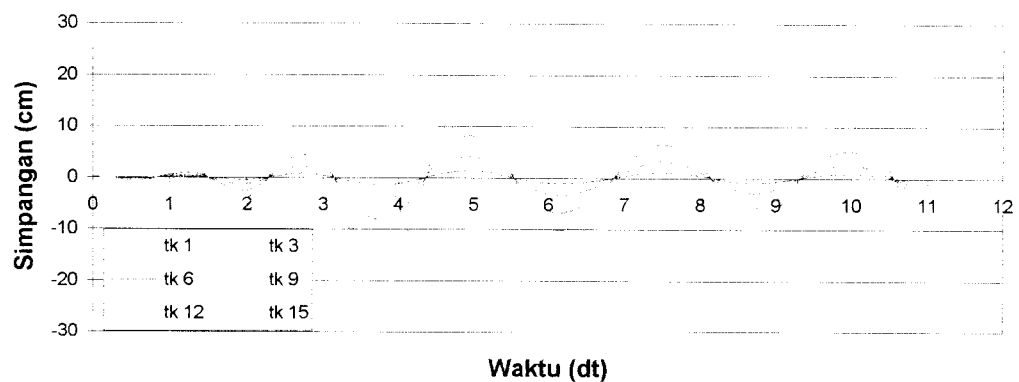
**Gambar 5.44** Simpangan Rotasi Struktur *Brace X* 15 tk akibat gempa *Koyna*;  $kh=2.0420E+25$   $kr=1.1932E+25$



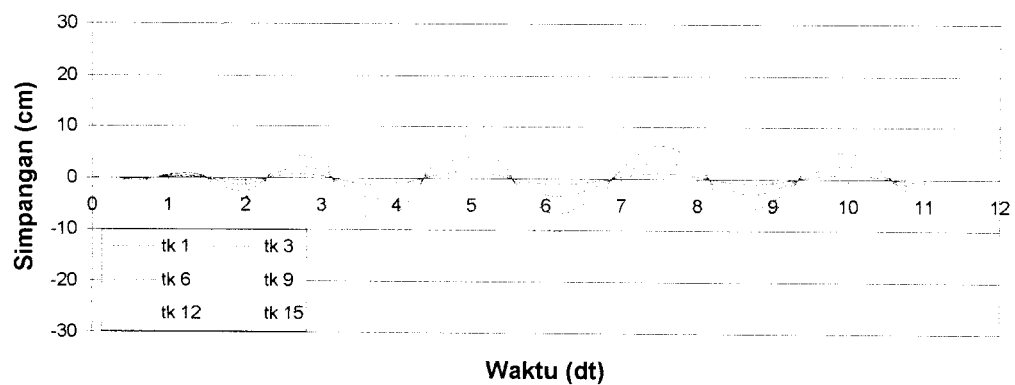
**Gambar 5.45** Simpangan Rotasi Struktur *Brace V* 15 tk akibat gempa *Koyna*;  $kh=2.0420E+25$   $kr=1.1932E+25$



**Gambar 5.46** Simpangan Rotasi Struktur *Open Frame* 15 tk akibat gempa *Bucharest* ;  $kh=2.0420E+08$   $kr=1.1932E+09$

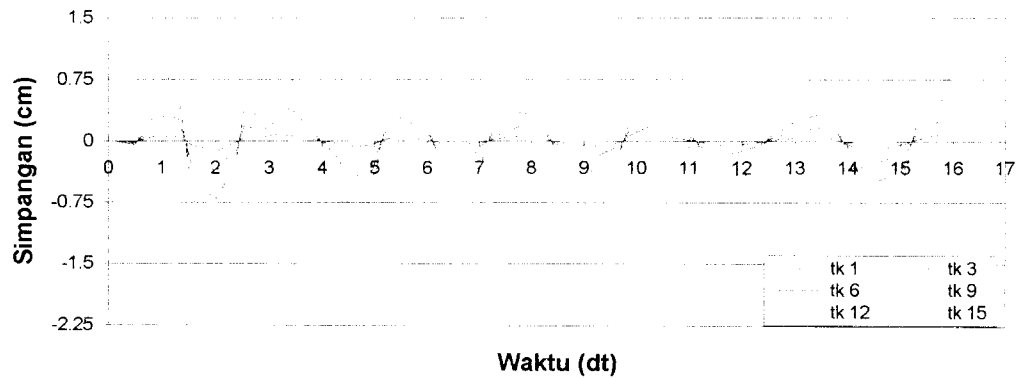


**Gambar 5.47** Simpangan Rotasi Struktur *Brace X* 15 tk akibat gempa *Bucharest* ;  $kh=2.0420E+08$   $kr=1.1932E+09$

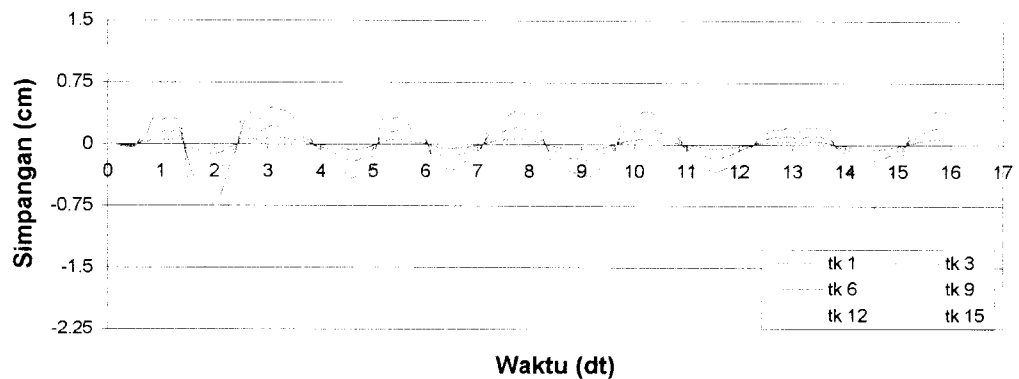


**Gambar 5.48** Simpangan Rotasi Struktur *Brace V* 15 tk akibat gempa *Bucharest* ;  $kh=2.0420E+08$   $kr=1.1932E+09$

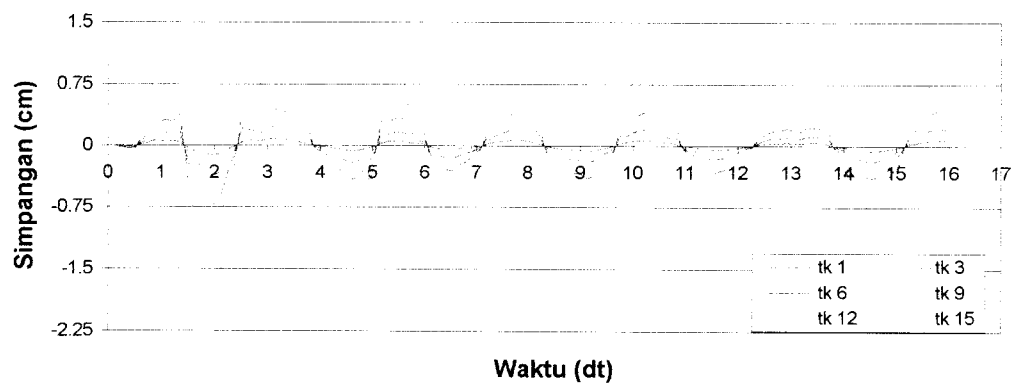




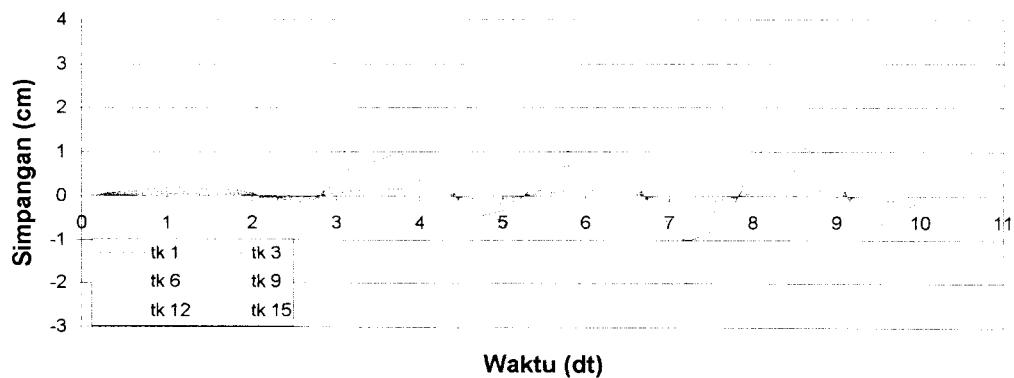
**Gambar 5.49** Simpangan Rotasi Struktur *Open Frame* 15 tk akibat gempa *Elcentro*;  $kh=2.0420E+08$   $kr=1.1932E+09$



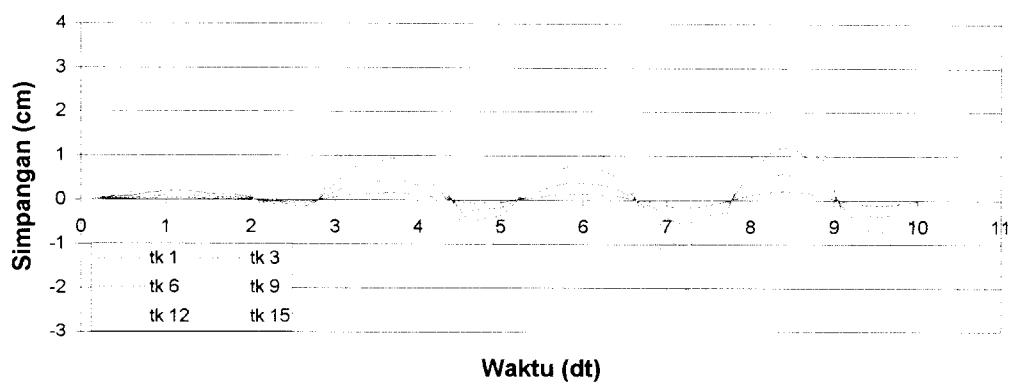
**Gambar 5.50** Simpangan Rotasi Struktur *Brace X* 15 tk akibat gempa *Elcentro*;  $kh=2.0420E+08$   $kr=1.1932E+09$



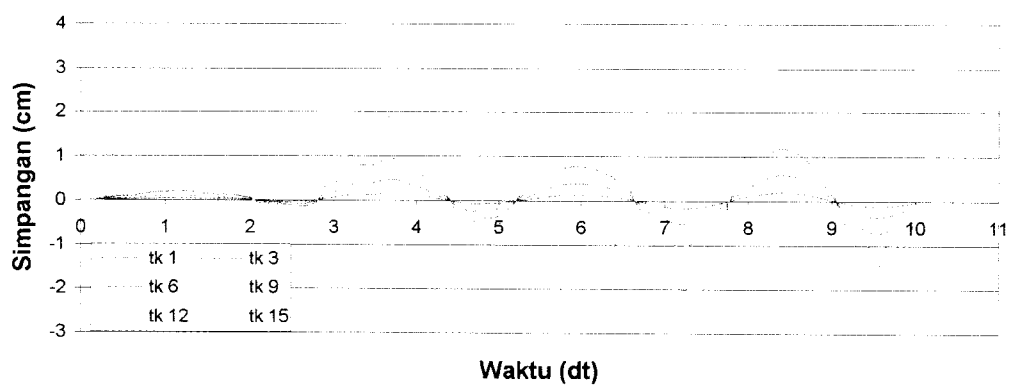
**Gambar 5.51** Simpangan Rotasi Struktur *Brace V* 15 tk akibat gempa *Elcentro*;  $kh=2.0420E+08$   $kr=1.1932E+09$



**Gambar 5.52** Simpangan Rotasi Struktur *Open Frame* 15 tk akibat gempa *Koyna*;  $kh=2.0420E+08$   $kr=1.1932E+09$



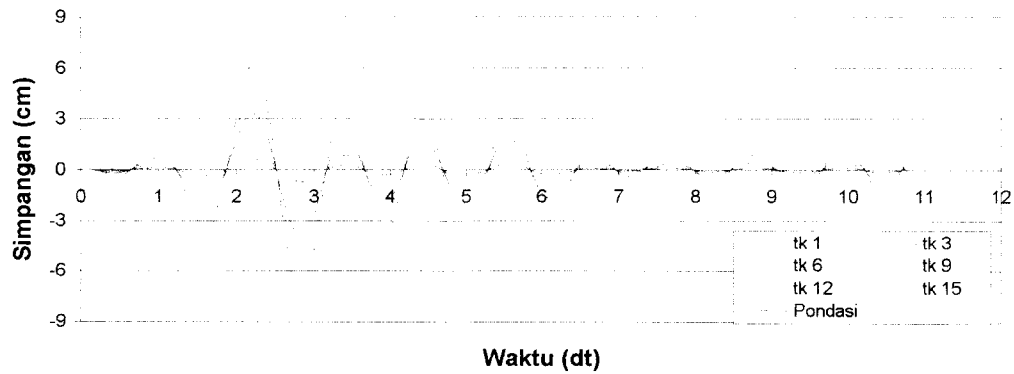
**Gambar 5.53** Simpangan Rotasi Struktur *Brace X* 15 tk akibat gempa *Koyna*;  $kh=2.0420E+08$   $kr=1.1932E+09$



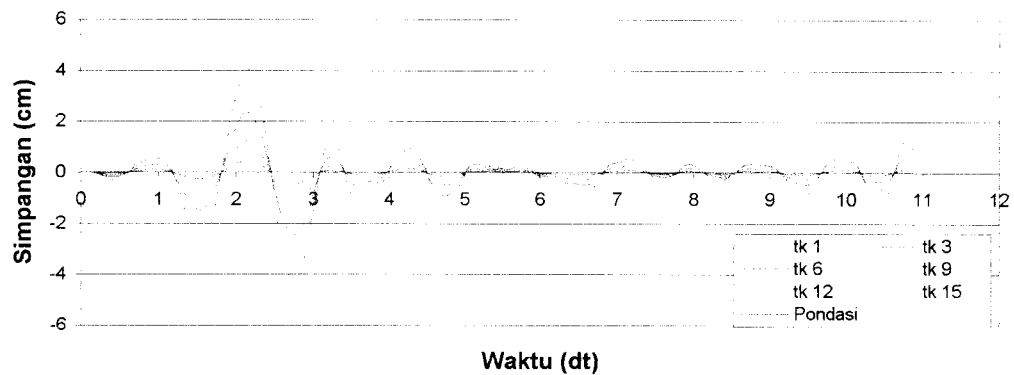
**Gambar 5.54** Simpangan Rotasi Struktur *Brace V* 15 tk akibat gempa *Koyna*;  $kh=2.0420E+08$   $kr=1.1932E+09$

#### **5.4.4 Perhitungan Simpangan Total**

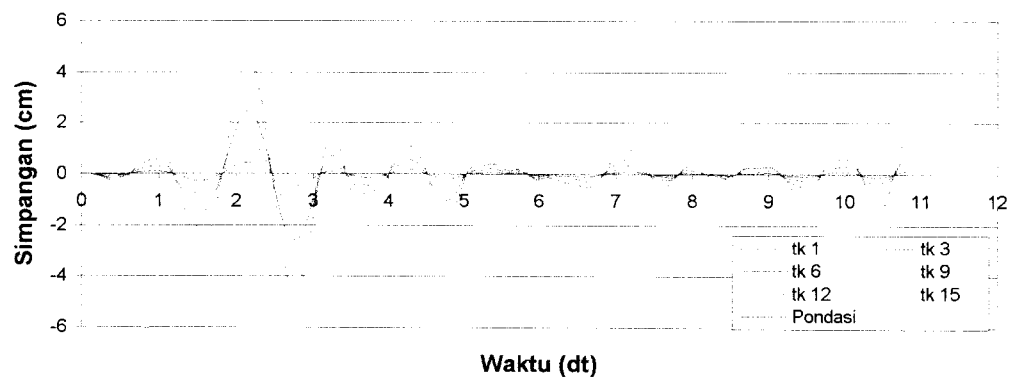
Simpangan total merupakan jumlah dari simpangan bersih struktur (simpangan netto) ditambah simpangan struktur yang diakibatkan terjadinya rotasi pada pondasi (simpangan rotasi) dan ditambah simpangan pada pondasi akibat beban gempa. Hasil analisis ditampilkan dalam bentuk grafik antara simpangan total struktur lawan waktu, dapat dilihat pada gambar berikut :



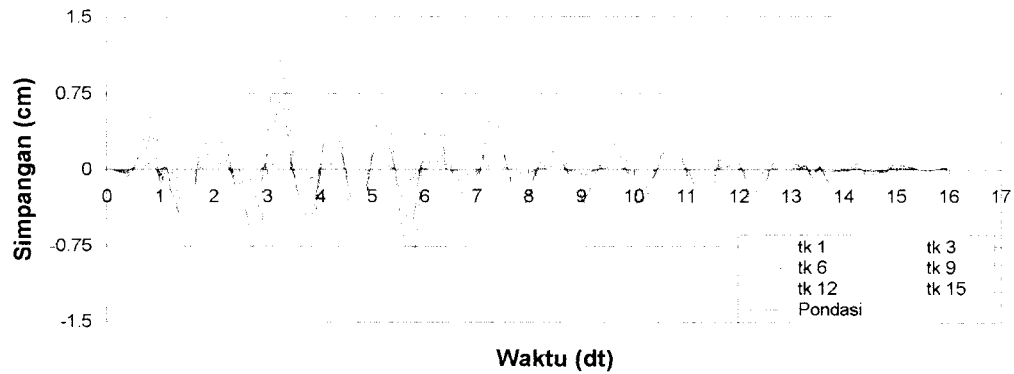
**Gambar 5.55 Simpangan Total Struktur *Open Frame* 15 tk**  
akibat gempa *Bucharest* ;  $kh=2.0420E+25$   $kr=1.1932E+25$



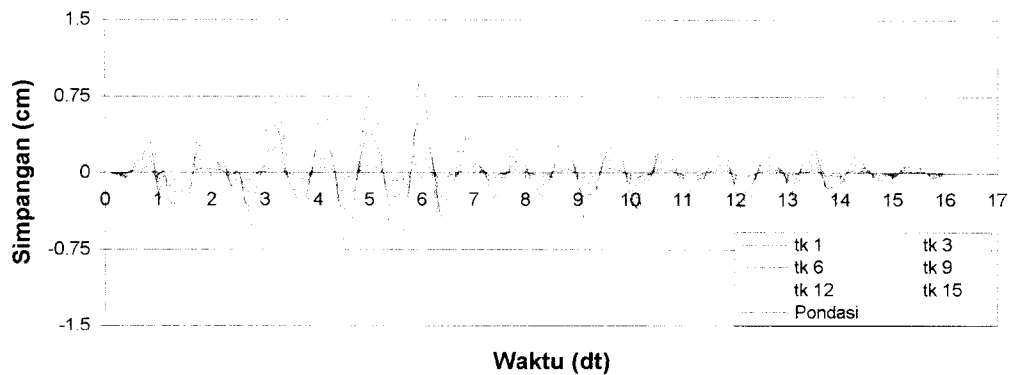
**Gambar 5.56 Simpangan Total Struktur *Brace X* 15 tk**  
akibat gempa *Bucharest* ;  $kh=2.0420E+25$   $kr=1.1932E+25$



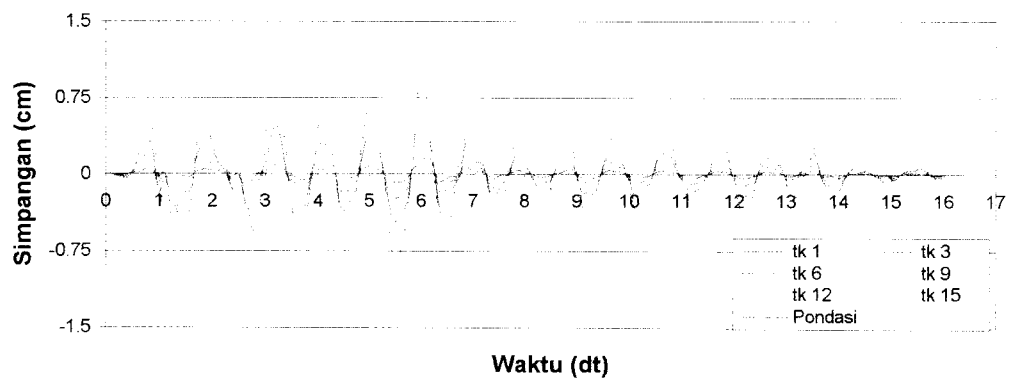
**Gambar 5.57 Simpangan Total Struktur *Brace V* 15 tk**  
akibat gempa *Bucharest* ;  $kh=2.0420E+25$   $kr=1.1932E+25$



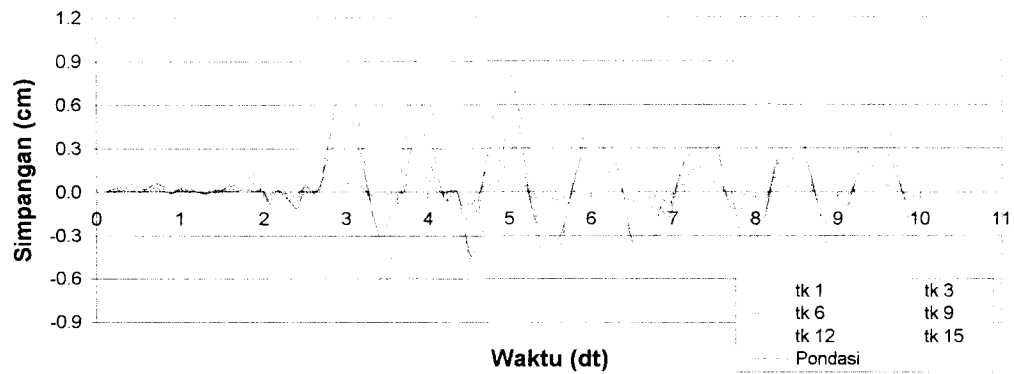
**Gambar 5.58** Simpangan Total Struktur *Open Frame* 15 tk  
akibat gempa *Elcentro*;  $kh=2.0420E+25$   $kr=1.1932E+25$



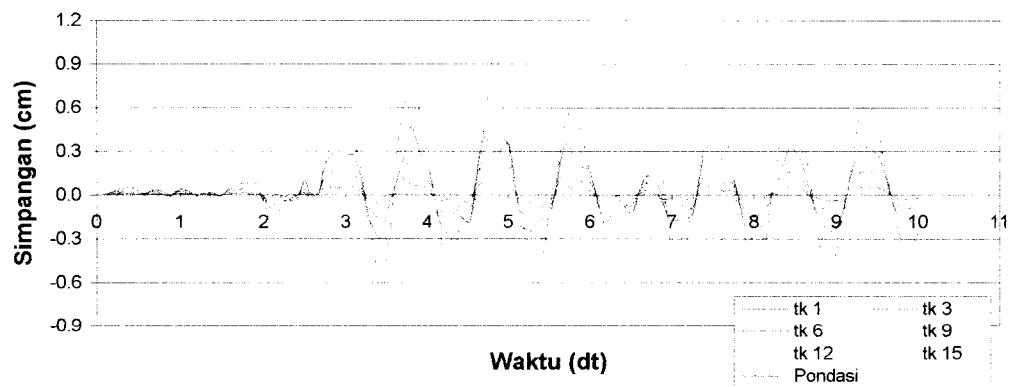
**Gambar 5.59** Simpangan Total Struktur *Brace X* 15 tk  
akibat gempa *Elcentro*;  $kh=2.0420E+25$   $kr=1.1932E+25$



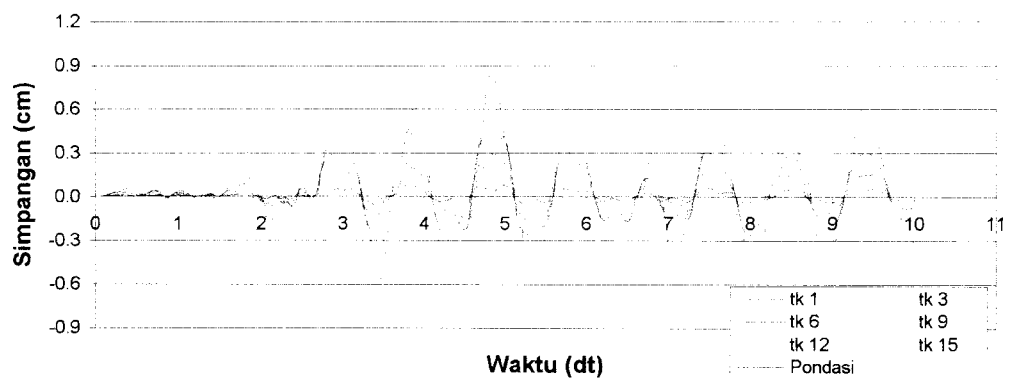
**Gambar 5.60** Simpangan Total Struktur *Brace V* 15 tk  
akibat gempa *Elcentro*;  $kh=2.0420E+25$   $kr=1.1932E+25$



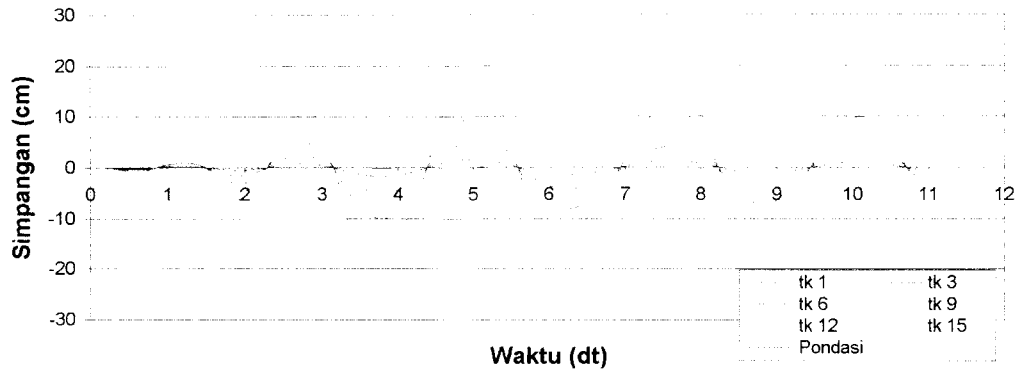
**Gambar 5.61** Simpangan Total Struktur *Open Frame* 15 tk akibat gempa *Koyna*;  $kh=2.0420E+25$   $kr=1.1932E+25$



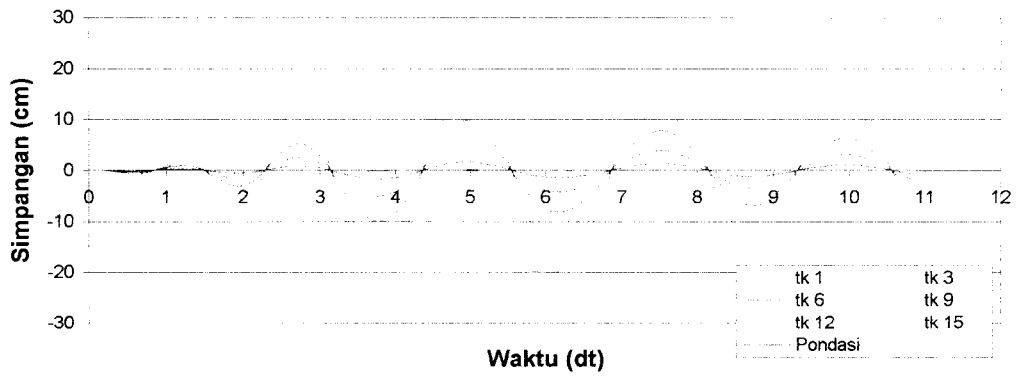
**Gambar 5.62** Simpangan Total Struktur *Brace X* 15 tk akibat gempa *Koyna*;  $kh=2.0420E+25$   $kr=1.1932E+25$



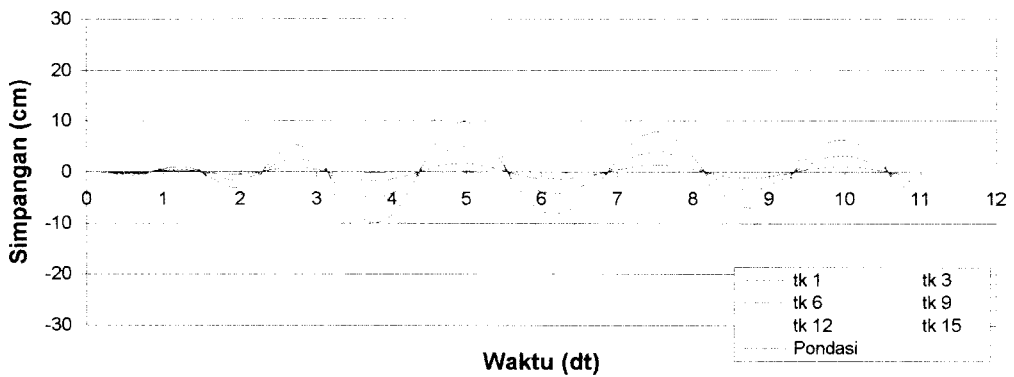
**Gambar 5.63** Simpangan Total Struktur *Brace V* 15 tk akibat gempa *Koyna*;  $kh=2.0420E+25$   $kr=1.1932E+25$



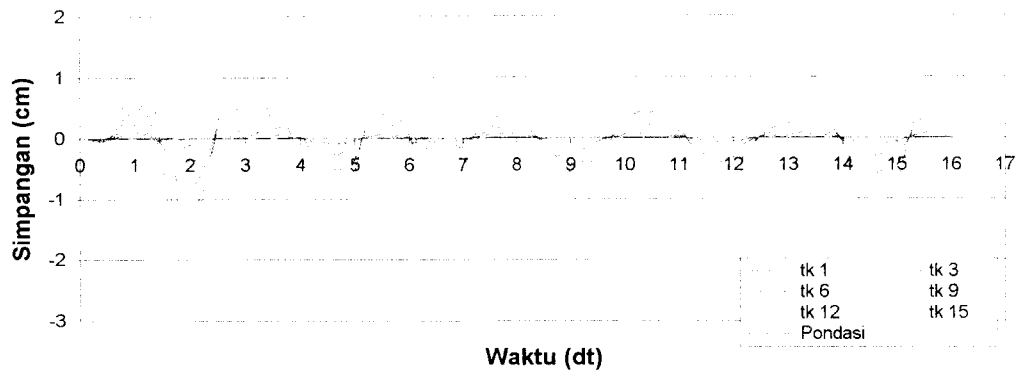
**Gambar 5.64** Simpangan Total Struktur *Open Frame* 15 tk akibat gempa *Bucharest* ;  $kh=2.0420E+08$   $kr=1.1932E+09$



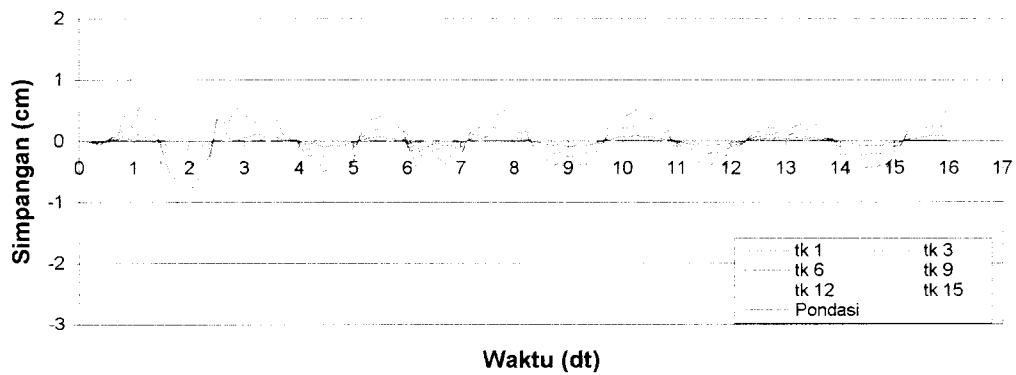
**Gambar 5.65** Simpangan Total Struktur *Brace X* 15 tk akibat gempa *Bucharest* ;  $kh=2.0420E+08$   $kr=1.1932E+09$



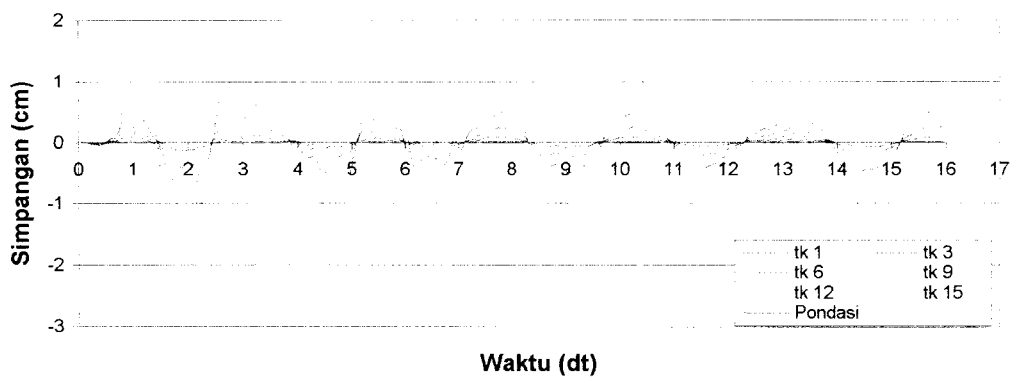
**Gambar 5.66** Simpangan Total Struktur *Brace V* 15 tk akibat gempa *Bucharest* ;  $kh=2.0420E+08$   $kr=1.1932E+09$



**Gambar 5.67** Simpangan Total Struktur *Open Frame* 15 tk  
akibat gempa *Elcentro*;  $kh=2.0420E+08$   $kr=1.1932E+09$

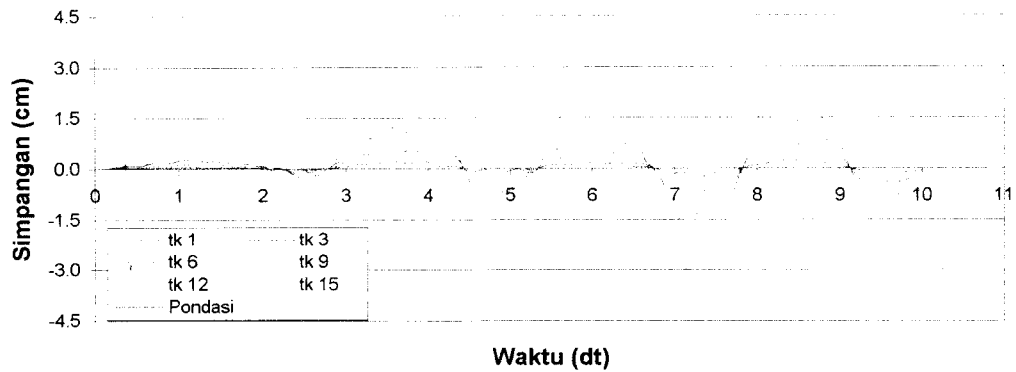


**Gambar 5.68** Simpangan Total Struktur *Brace X* 15 tk  
akibat gempa *Elcentro*;  $kh=2.0420E+08$   $kr=1.1932E+09$

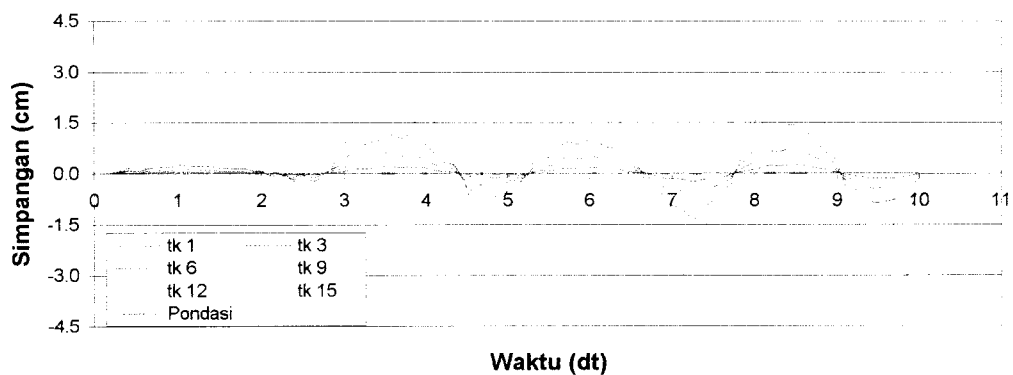


**Gambar 5.69** Simpangan Total Struktur *Brace V* 15 tk  
akibat gempa *Elcentro*;  $kh=2.0420E+08$   $kr=1.1932E+09$

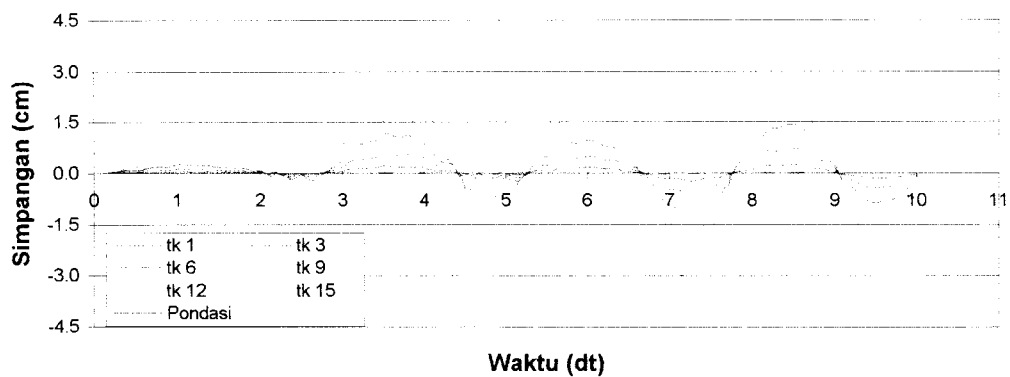




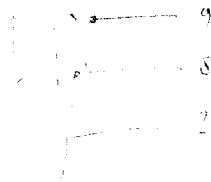
**Gambar 5.70** Simpangan Total Struktur *Open Frame* 15 tk akibat gempa *Koyna*;  $kh=2.0420E+08$   $kr=1.1932E+09$



**Gambar 5.71** Simpangan Total Struktur *Brace X* 15 tk akibat gempa *Koyna*;  $kh=2.0420E+08$   $kr=1.1932E+09$



**Gambar 5.72** Simpangan Total Struktur *Brace V* 15 tk akibat gempa *Koyna*;  $kh=2.0420E+08$   $kr=1.1932E+09$



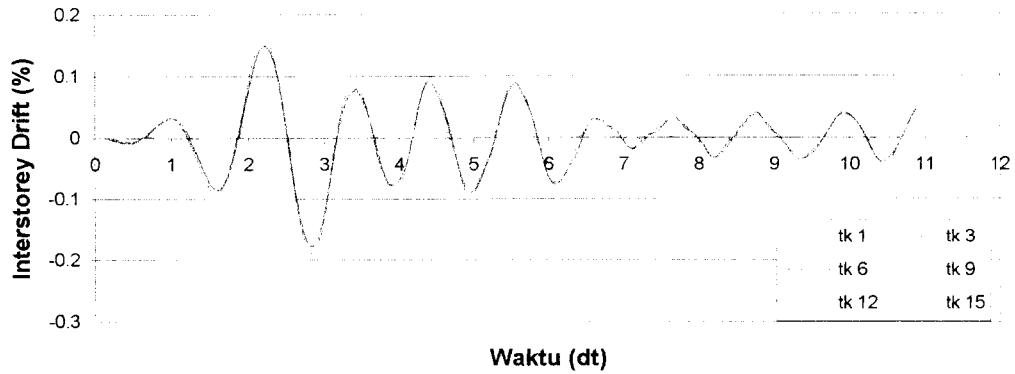
**5.4.5 Perhitungan Simpangan Antar Tingkat (*Interstorey Drift*)**

Simpangan antar tingkat adalah selisih simpangan netto suatu tingkat dengan simpangan netto tingkat dibawahnya yang dibagi tinggi tingkat, pada waktu yang bersamaan. Besarnya nilai simpangan antar tingkat dihitung dengan :

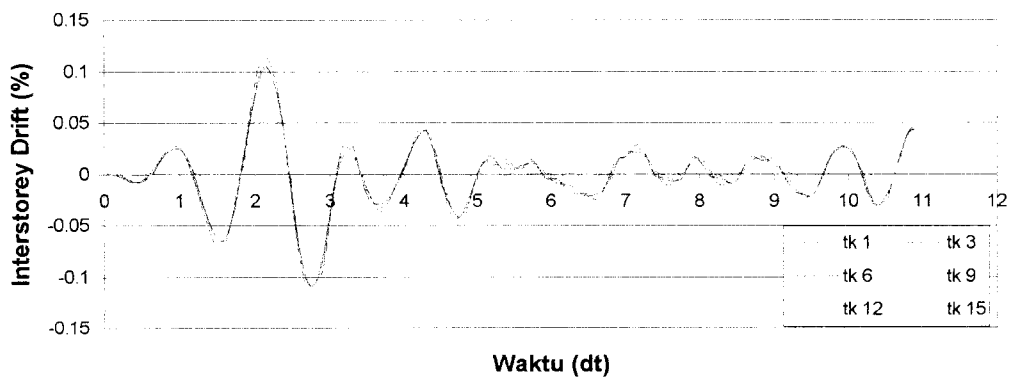
$$yy_j(t) = \frac{y_j(t) - y_{j-1}(t)}{h} * 100\% \dots\dots\dots (5.1)$$

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

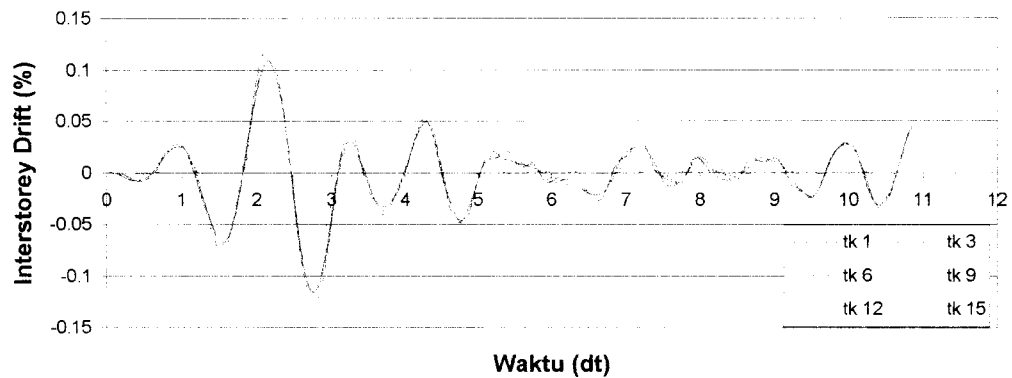
Hasil analisis ditampilkan dalam bentuk grafik antara simpangan antar tingkat (*interstorey drift*) lawan waktu, dapat dilihat pada gambar berikut :



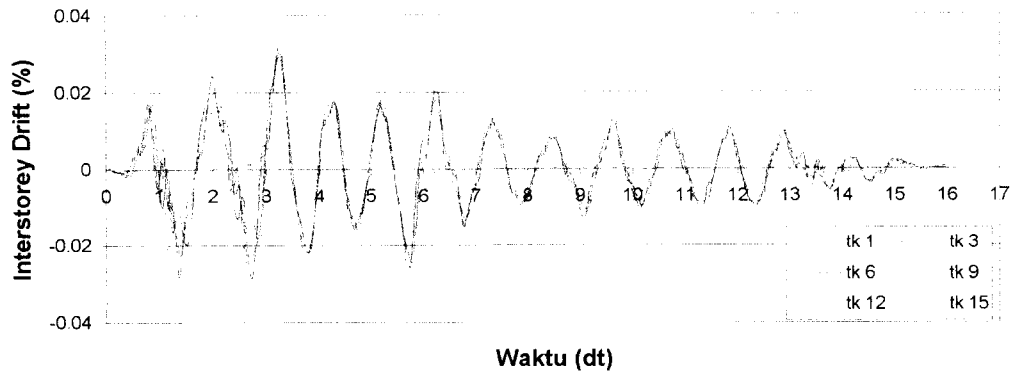
**Gambar 5.73 Inter-storey Drift Struktur *Open Frame* 15 tk**  
akibat gempa *Bucharest* ;  $kh=2.0420E+25$   $kr=1.1932E+25$



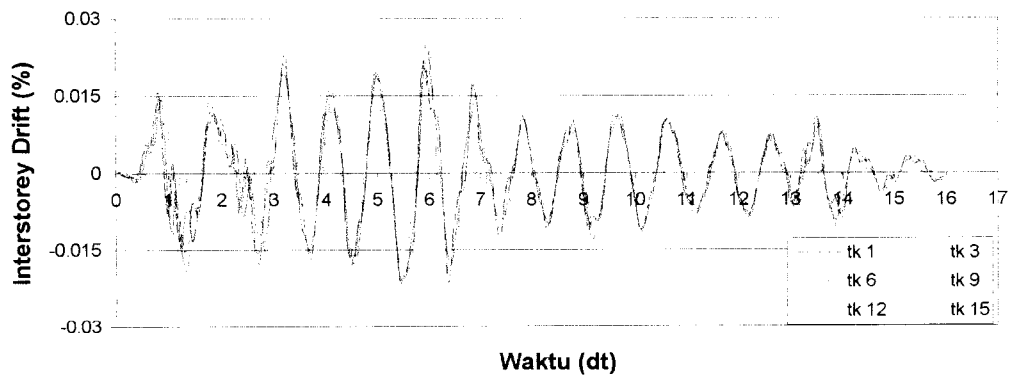
**Gambar 5.74 Inter-storey Drift Struktur *Brace X* 15 tk**  
akibat gempa *Bucharest* ;  $kh=2.0420E+25$   $kr=1.1932E+25$



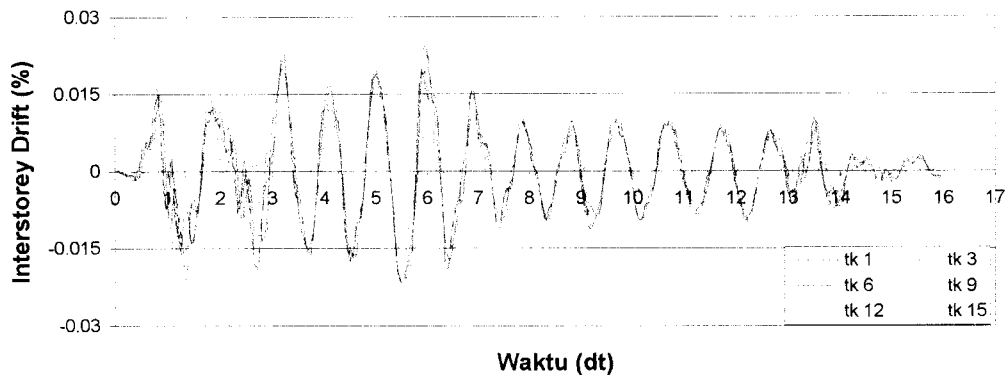
**Gambar 5.75 Inter-storey Drift Struktur *Brace V* 15 tk**  
akibat gempa *Bucharest* ;  $kh=2.0420E+25$   $kr=1.1932E+25$



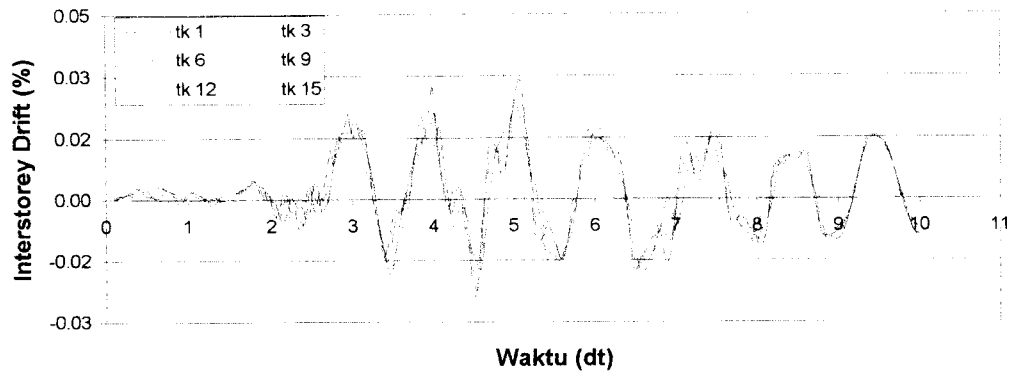
**Gambar 5.76 Inter-storey Drift Struktur *Open Frame* 15 tk akibat gempa *Elcentro* ;  $kh=2.0420E+25$   $kr=1.1932E+25$**



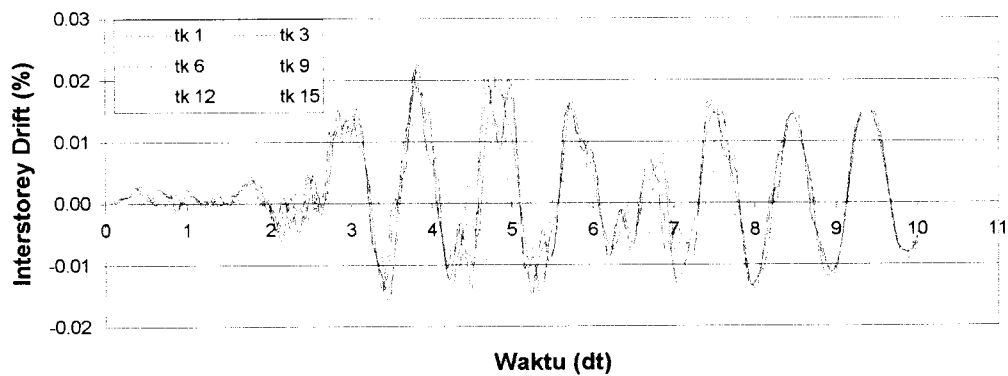
**Gambar 5.77 Inter-storey Drift Struktur *Brace X* 15 tk akibat gempa *Elcentro* ;  $kh=2.0420E+25$   $kr=1.1932E+25$**



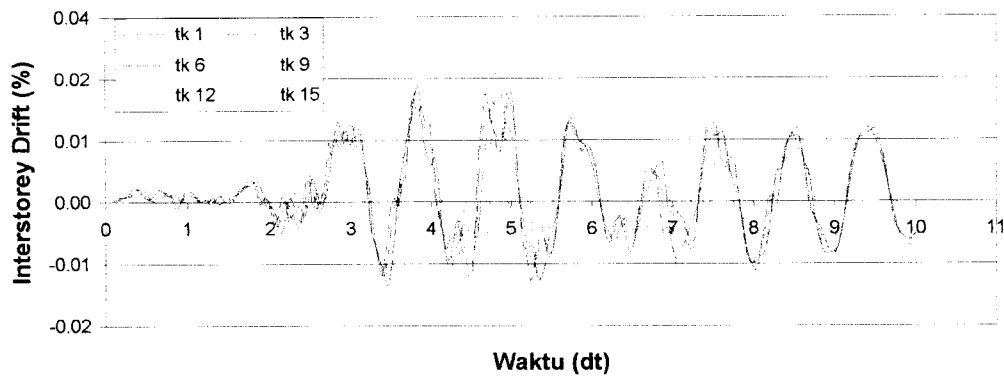
**Gambar 5.78 Inter-storey Drift Struktur *Brace V* 15 tk akibat gempa *Elcentro* ;  $kh=2.0420E+25$   $kr=1.1932E+25$**



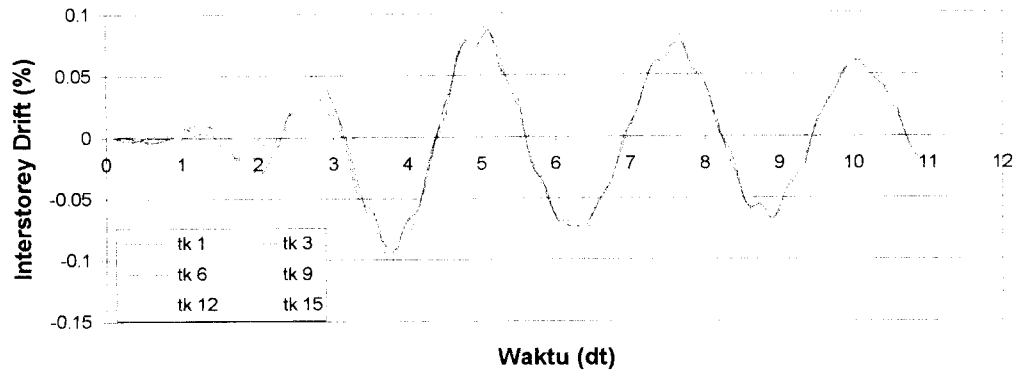
**Gambar 5.79 Inter-storey Drift Struktur *Open Frame* 15 tk**  
akibat gempa *Koyna*;  $kh=2.0420E+25$   $kr=1.1932E+25$



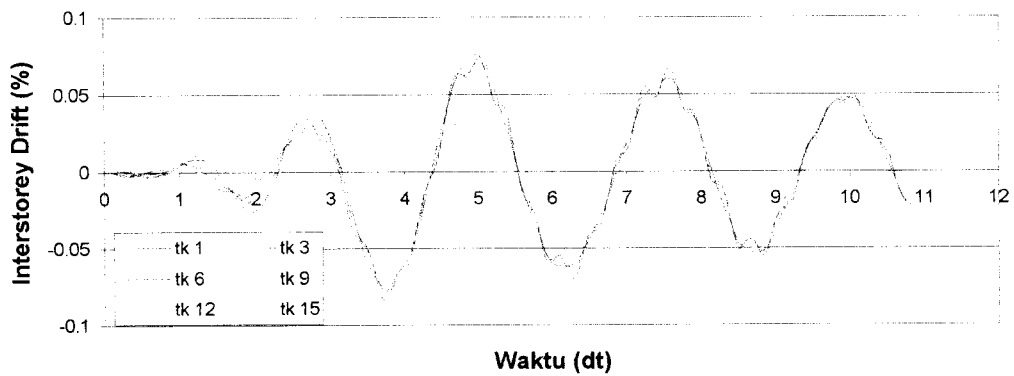
**Gambar 5.80 Inter-storey Drift Struktur *Brace X* 15 tk**  
akibat gempa *Koyna*;  $kh=2.0420E+25$   $kr=1.1932E+25$



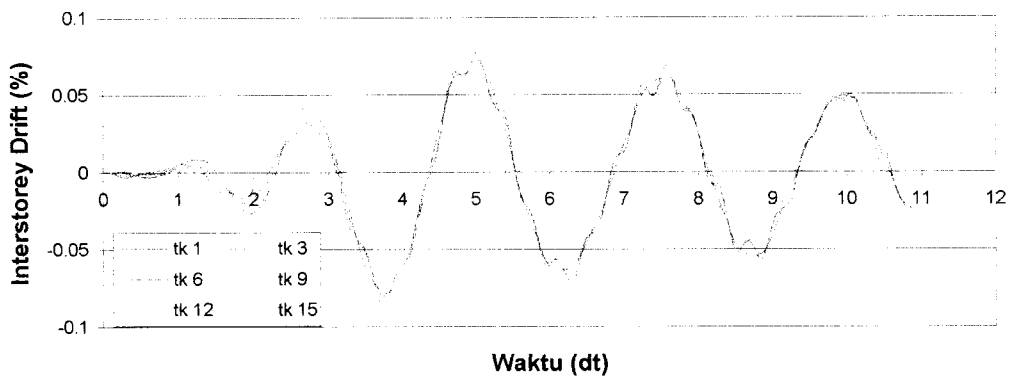
**Gambar 5.81 Inter-storey Drift Struktur *Brace V* 15 tk**  
akibat gempa *Koyna*;  $kh=2.0420E+25$   $kr=1.1932E+25$



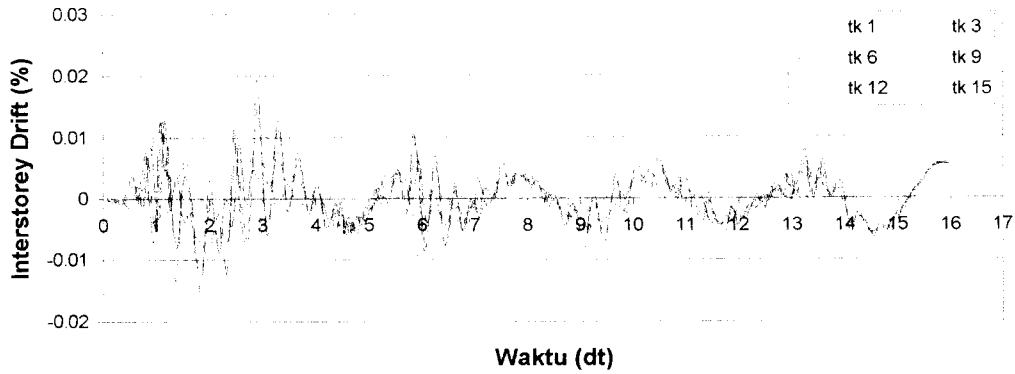
**Gambar 5.82 Inter-storey Drift Struktur *Open Frame* 15 tk**  
akibat gempa *Bucharest* ;  $kh=2.0420E+08$   $kr=1.1932E+09$



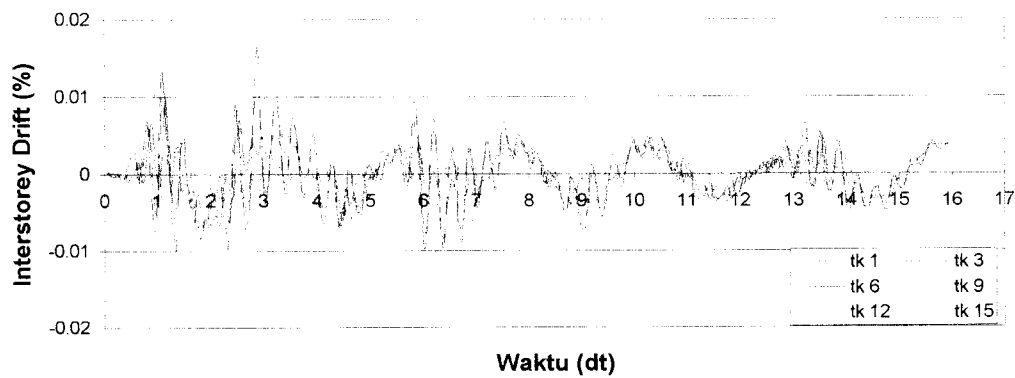
**Gambar 5.83 Inter-storey Drift Struktur *Brace X* 15 tk**  
akibat gempa *Bucharest* ;  $kh=2.0420E+08$   $kr=1.1932E+09$



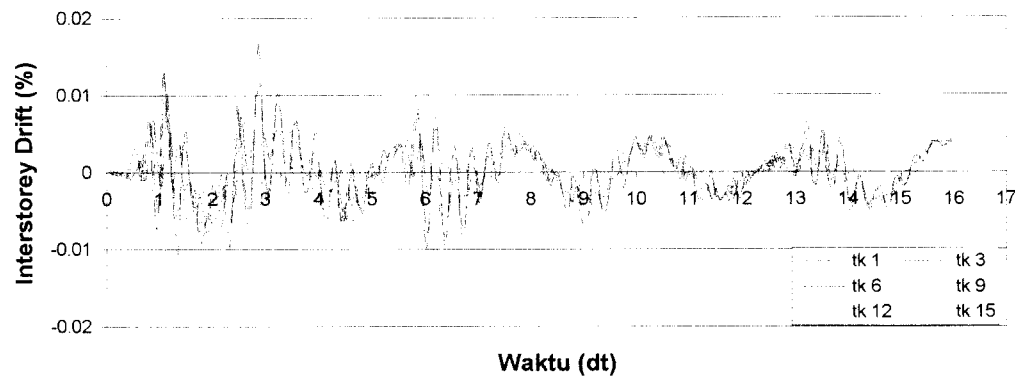
**Gambar 5.84 Inter-storey Drift Struktur *Brace V* 15 tk**  
akibat gempa *Bucharest* ;  $kh=2.0420E+08$   $kr=1.1932E+09$



**Gambar 5.85 Inter-storey Drift Struktur *Open Frame* 15 tk**  
akibat gempa *Elcentro* ;  $kh=2.0420E+08$   $kr=1.1932E+09$



**Gambar 5.86 Inter-storey Drift Struktur *Brace X* 15 tk**  
akibat gempa *Elcentro* ;  $kh=2.0420E+08$   $kr=1.1932E+09$



**Gambar 5.87 Inter-storey Drift Struktur *Brace V* 15 tk**  
akibat gempa *Elcentro* ;  $kh=2.0420E+08$   $kr=1.1932E+09$

#### 5.4.6 Perhitungan Gaya Horizontal Tingkat

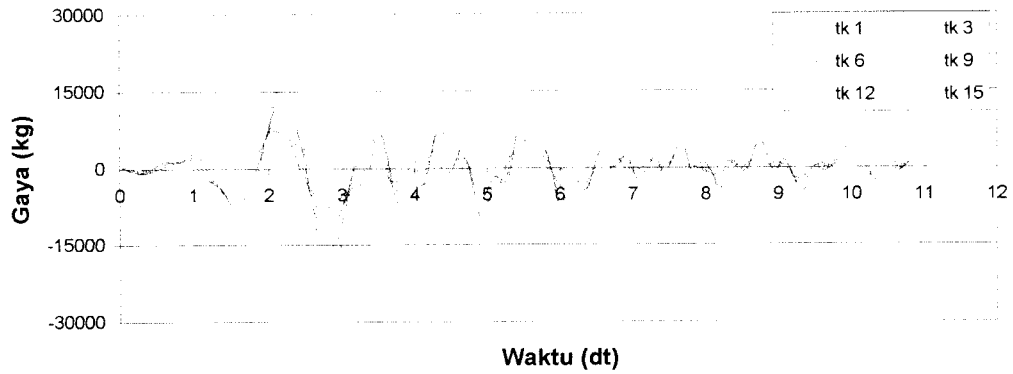
Gaya horisontal tingkat dihitung dengan mengalikan simpangan netto dan kekakuan struktur. Besarnya nilai gaya horisontal tingkat dihitung dengan :

$$F_j(t) = y_j(t) * k_j \dots\dots\dots (5.2)$$

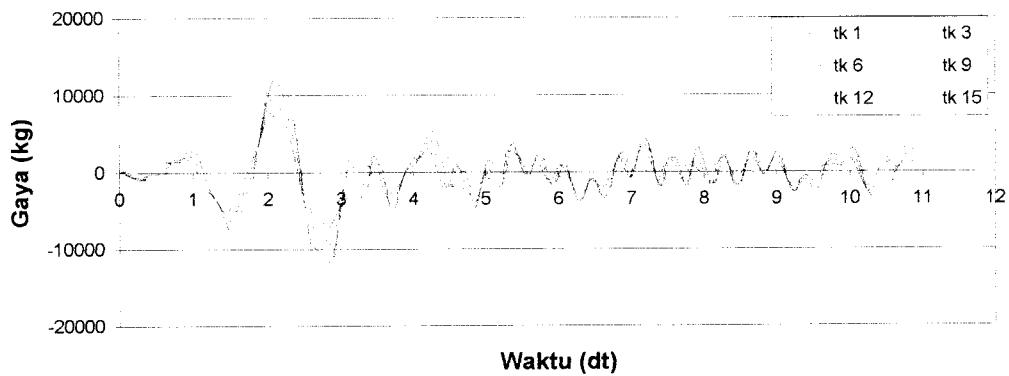
dimana,  $F$ ,  $y$ , dan  $k$  adalah gaya horisontal tingkat, simpangan netto dan kekakuan tiap tingkat yang merupakan fungsi dari waktu.

Hasil analisis ditampilkan dalam bentuk grafik antara gaya horisontal tingkat lawan waktu, dapat dilihat pada gambar berikut :

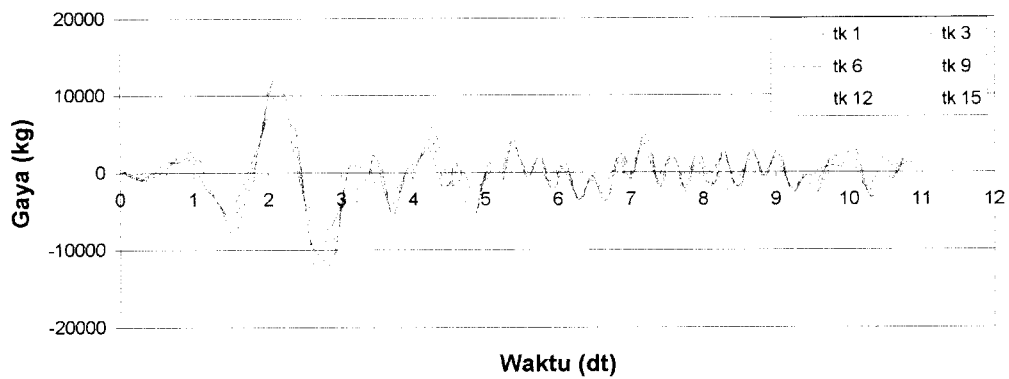




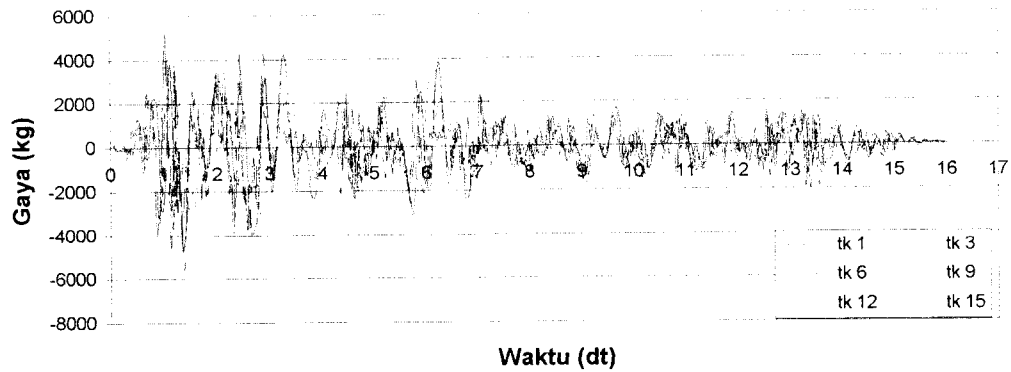
**Gambar 5.91 Gaya Horizontal Tingkat Struktur *Open Frame* 15 tk akibat gempa *Bucharest* ;  $kh=2.0420E+25$   $kr=1.1932E+25$**



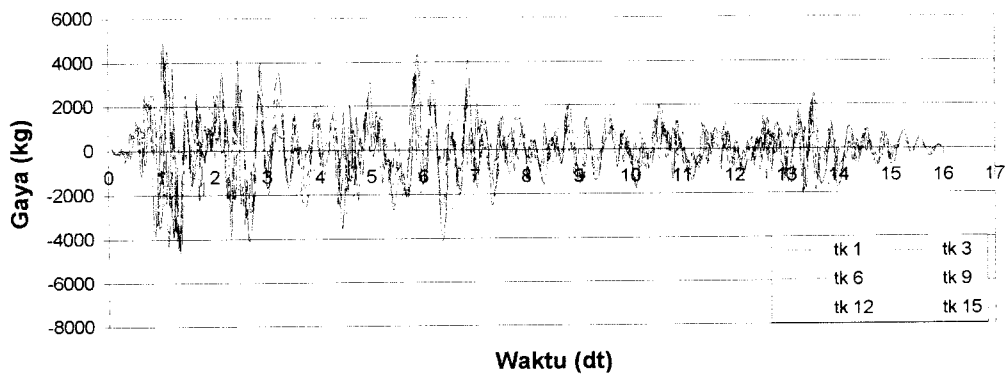
**Gambar 5.92 Gaya Horizontal Tingkat Struktur *Brace X* 15 tk akibat gempa *Bucharest* ;  $kh=2.0420E+25$   $kr=1.1932E+25$**



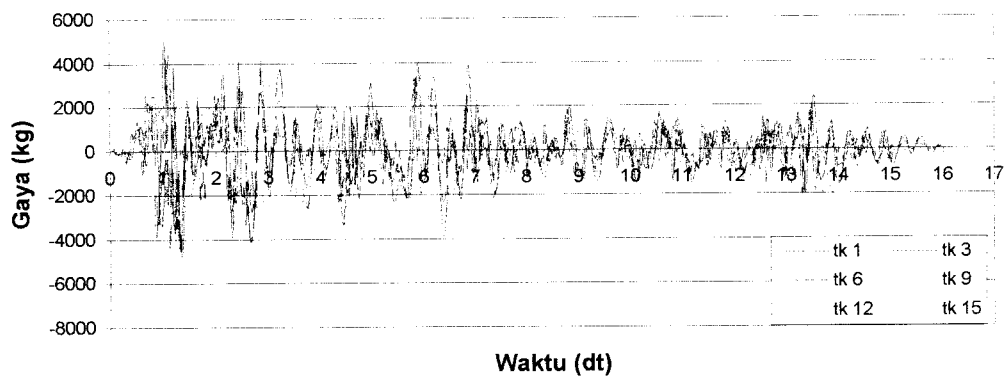
**Gambar 5.93 Gaya Horizontal Tingkat Struktur *Brace V* 15 tk akibat gempa *Bucharest* ;  $kh=2.0420E+25$   $kr=1.1932E+25$**



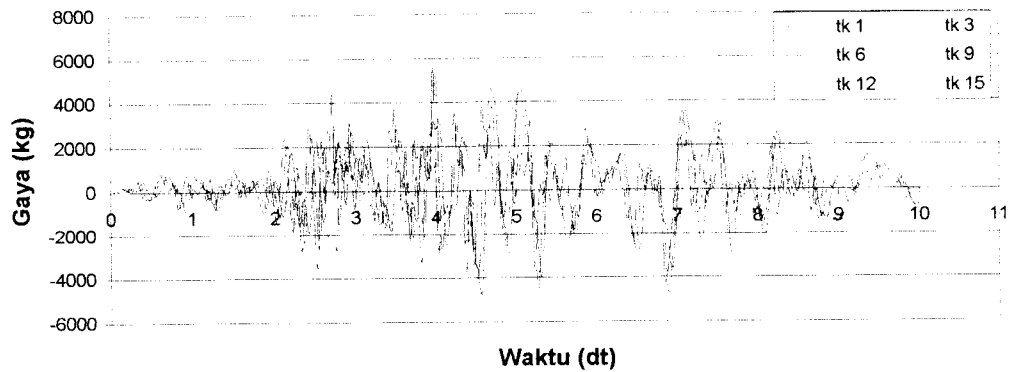
**Gambar 5.94 Gaya Horizontal Tingkat Struktur *Open Frame* 15 tk**  
akibat gempa *Elcentro* ;  $kh=2.0420E+25$   $kr=1.1932E+25$



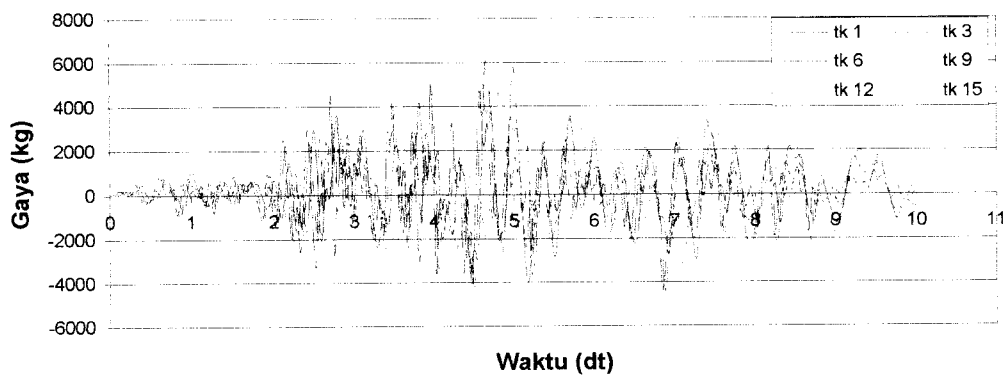
**Gambar 5.95 Gaya Horizontal Tingkat Struktur *Brace X* 15 tk**  
akibat gempa *Elcentro* ;  $kh=2.0420E+25$   $kr=1.1932E+25$



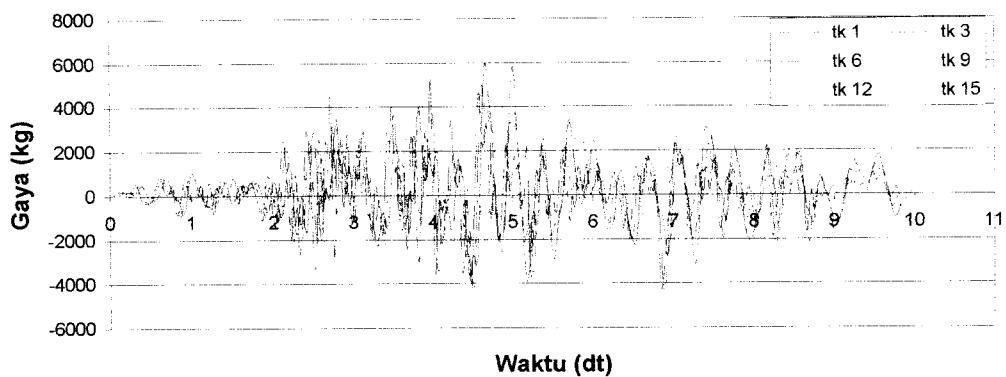
**Gambar 5.96 Gaya Horizontal Tingkat Struktur *Brace V* 15 tk**  
akibat gempa *Elcentro* ;  $kh=2.0420E+25$   $kr=1.1932E+25$



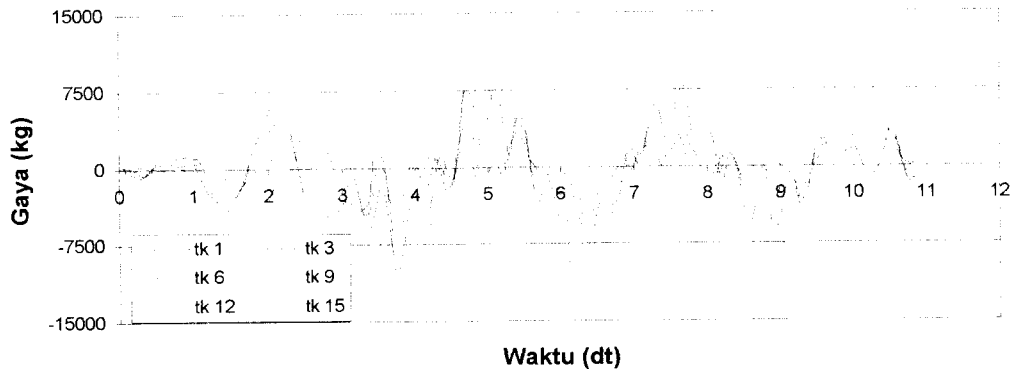
**Gambar 5.97 Gaya Horizontal Tingkat Struktur *Open Frame* 15 tk akibat gempa *Koyna* ;  $kh=2.0420E+25$   $kr=1.1932E+25$**



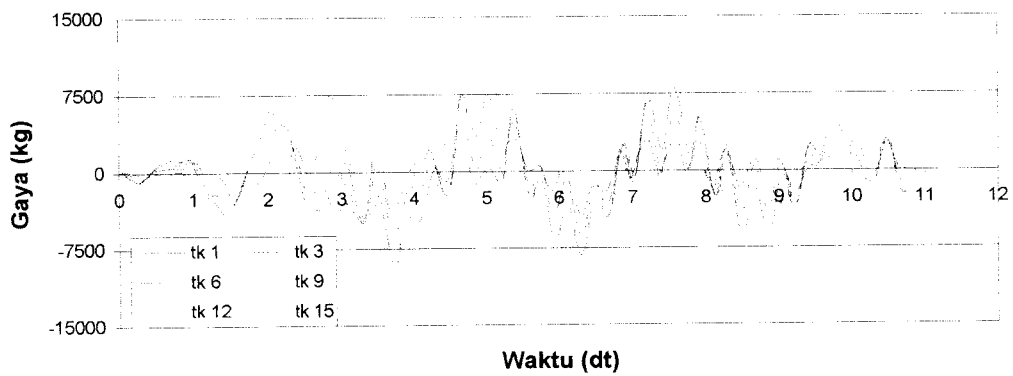
**Gambar 5.98 Gaya Horizontal Tingkat Struktur *Brace X* 15 tk akibat gempa *Koyna* ;  $kh=2.0420E+25$   $kr=1.1932E+25$**



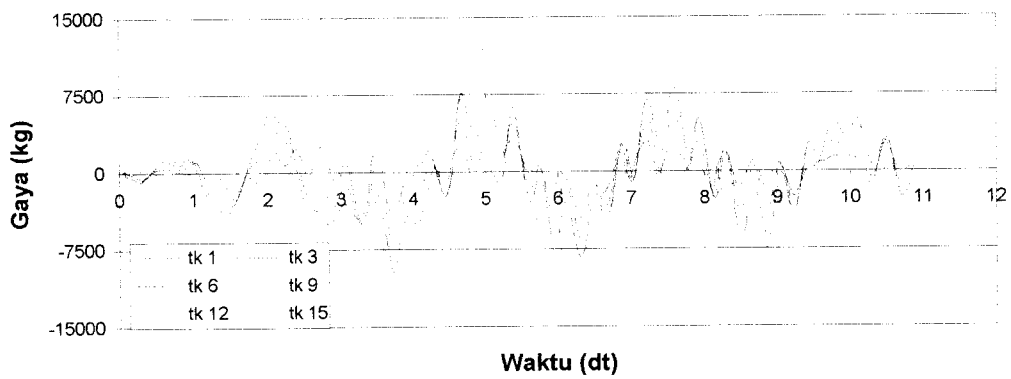
**Gambar 5.99 Gaya Horizontal Tingkat Struktur *Brace V* 15 tk akibat gempa *Koyna* ;  $kh=2.0420E+25$   $kr=1.1932E+25$**



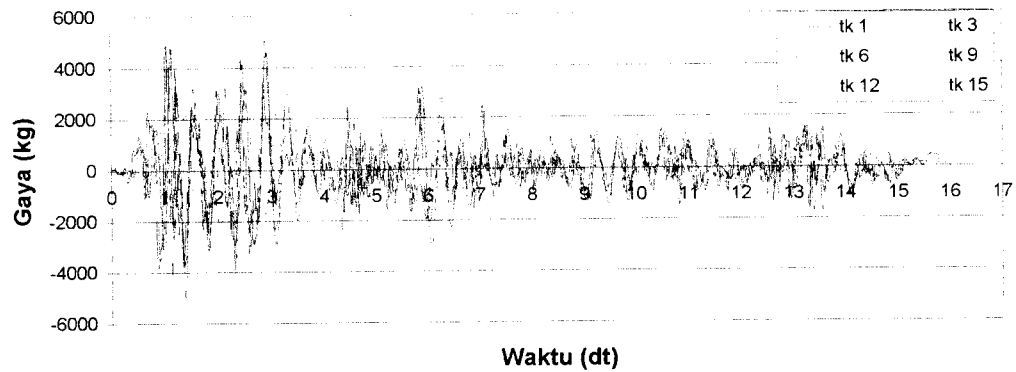
**Gambar 5.100 Gaya Horizontal Tingkat Struktur *Open Frame* 15 tk akibat gempa *Bucharest* ; kh=2.0420E+08 kr=1.1932E+09**



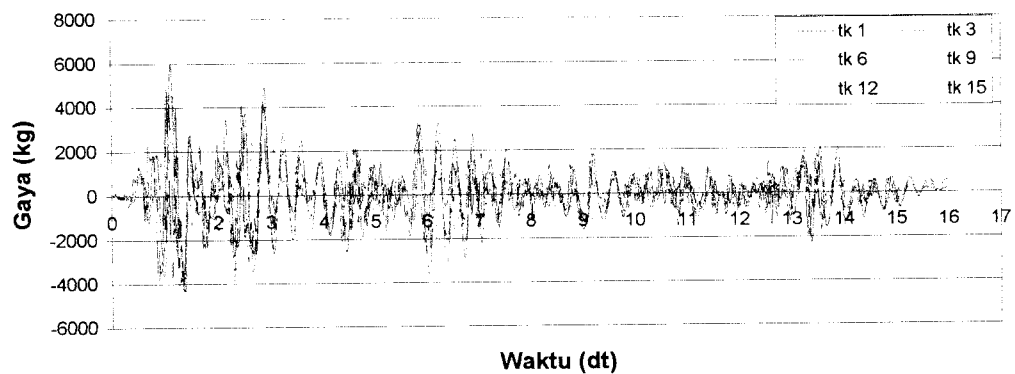
**Gambar 5.101 Gaya Horizontal Tingkat Struktur *Brace X* 15 tk akibat gempa *Bucharest* ; kh=2.0420E+08 kr=1.1932E+09**



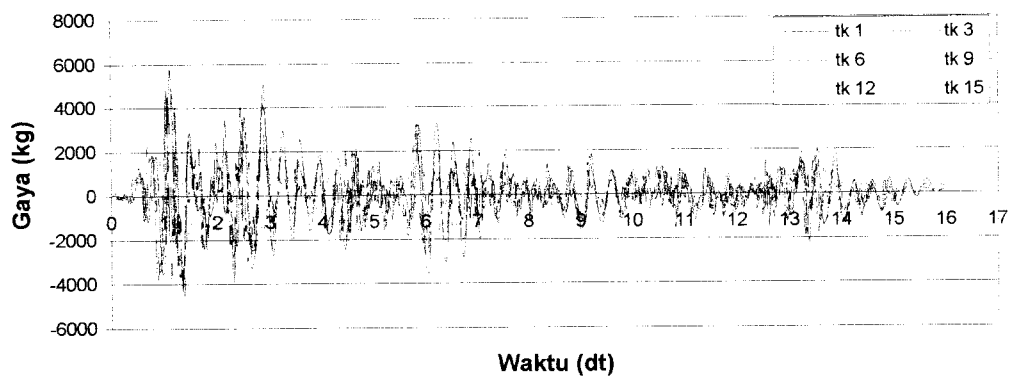
**Gambar 5.102 Gaya Horizontal Tingkat Struktur *Brace V* 15 tk akibat gempa *Bucharest* ; kh=2.0420E+08 kr=1.1932E+09**



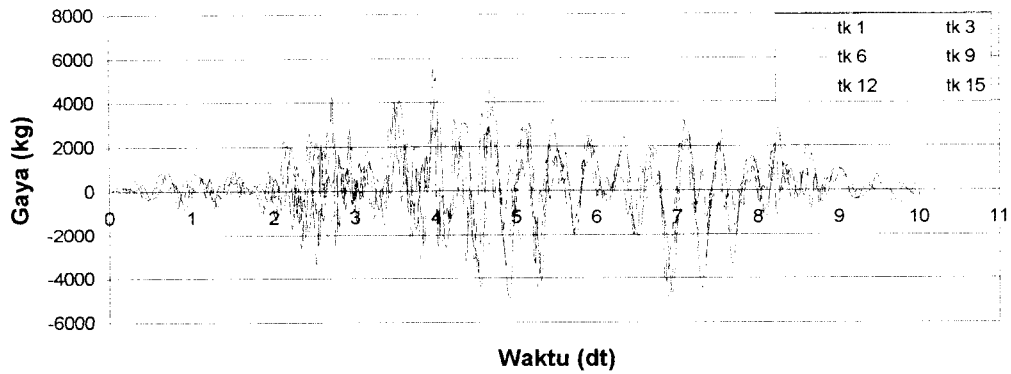
**Gambar 5.103 Gaya Horizontal Tingkat Struktur *Open Frame* 15 tk**  
akibat gempa *Elcentro*;  $kh=2.0420E+08$   $kr=1.1932E+09$



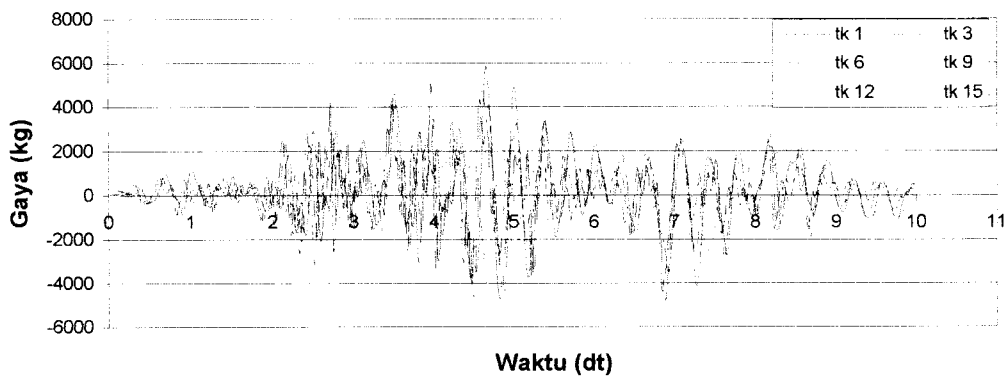
**Gambar 5.104 Gaya Horizontal Tingkat Struktur *Brace X* 15 tk**  
akibat gempa *Elcentro*;  $kh=2.0420E+08$   $kr=1.1932E+09$



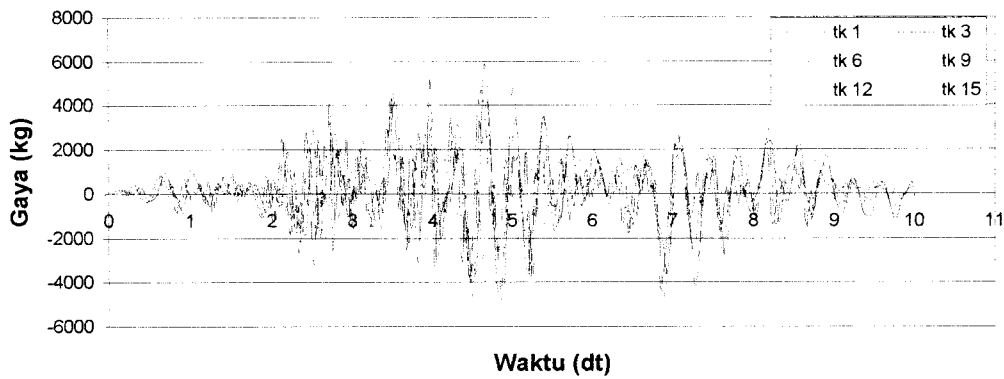
**Gambar 5.105 Gaya Horizontal Tingkat Struktur *Brace V* 15 tk**  
akibat gempa *Elcentro*;  $kh=2.0420E+08$   $kr=1.1932E+09$



**Gambar 5.106 Gaya Horizontal Tingkat Struktur *Open Frame* 15 tk akibat gempa *Koyna* ;  $kh=2.0420E+08$   $kr=1.1932E+09$**



**Gambar 5.107 Gaya Horizontal Tingkat Struktur *Brace X* 15 tk akibat gempa *Koyna* ;  $kh=2.0420E+08$   $kr=1.1932E+09$**



**Gambar 5.108 Gaya Horizontal Tingkat Struktur *Brace V* 15 tk akibat gempa *Koyna* ;  $kh=2.0420E+08$   $kr=1.1932E+09$**

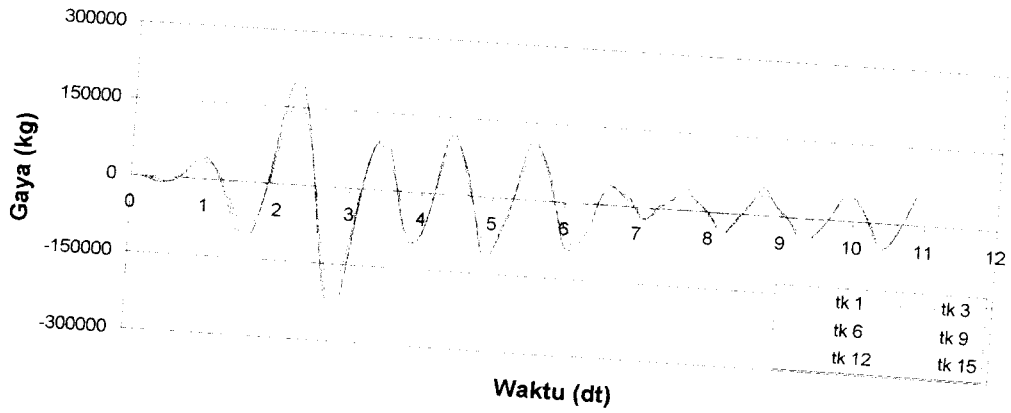
#### 5.4.7 Perhitungan Gaya Geser Tingkat

Gaya geser tingkat diperoleh dengan menjumlahkan gaya horisontal tiap tingkat. Besarnya nilai gaya geser tingkat dihitung dengan :

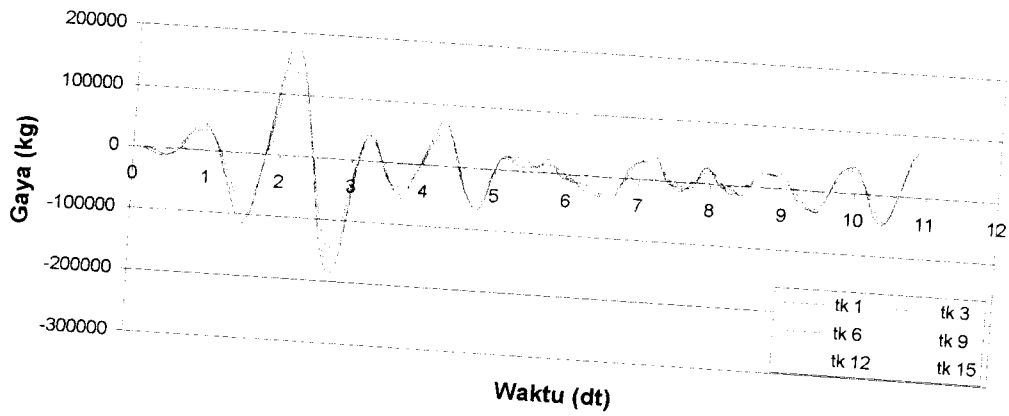
$$V(t) = \sum_{j=1}^n F(t) \dots\dots\dots (5.3)$$

dimana,  $V$  dan  $F$  adalah gaya geser tingkat dan gaya horisontal tingkat yang merupakan fungsi waktu.

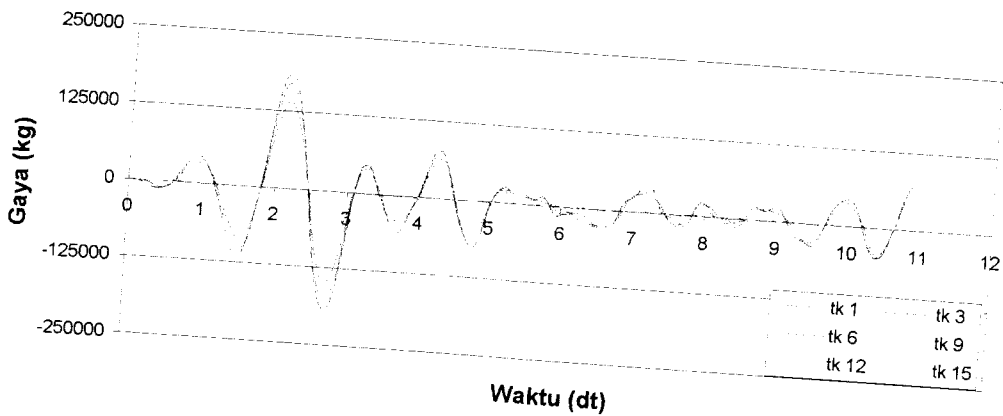
Hasil analisis ditampilkan dalam bentuk grafik antara gaya geser tingkat lawan waktu, dapat dilihat pada gambar berikut :



**Gambar 5.109** Gaya Geser Tingkat Struktur *Open Frame* 15 tk akibat gempa *Bucharest* ;  $kh=2.0420E+25$   $kr=1.1932E+25$

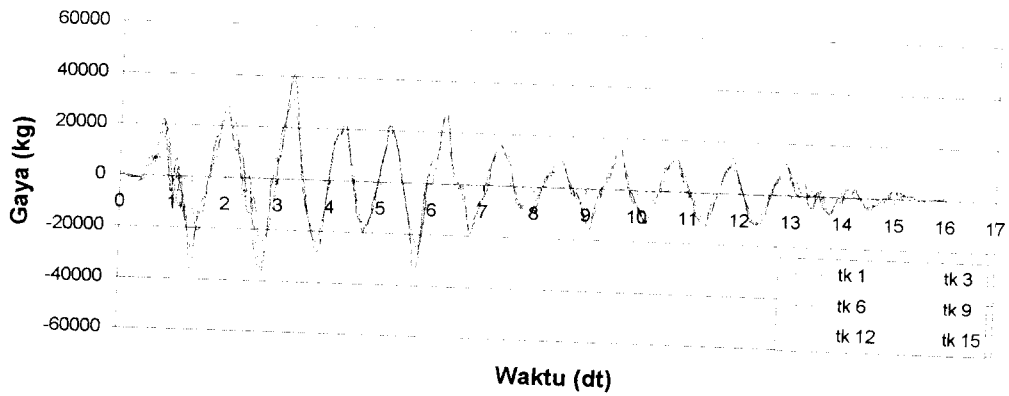


**Gambar 5.110** Gaya Geser Tingkat Struktur *Brace X* 15 tk akibat gempa *Bucharest* ;  $kh=2.0420E+25$   $kr=1.1932E+25$

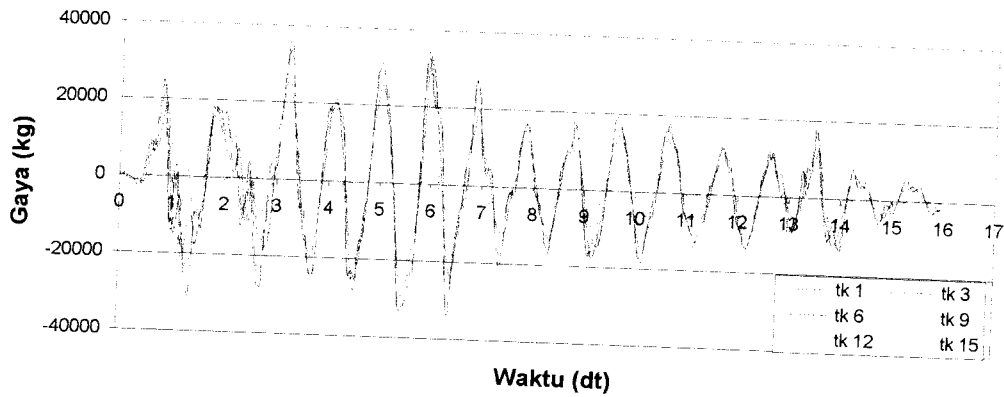


**Gambar 5.111** Gaya Geser Tingkat Struktur *Brace V* 15 tk akibat gempa *Bucharest* ;  $kh=2.0420E+25$   $kr=1.1932E+25$

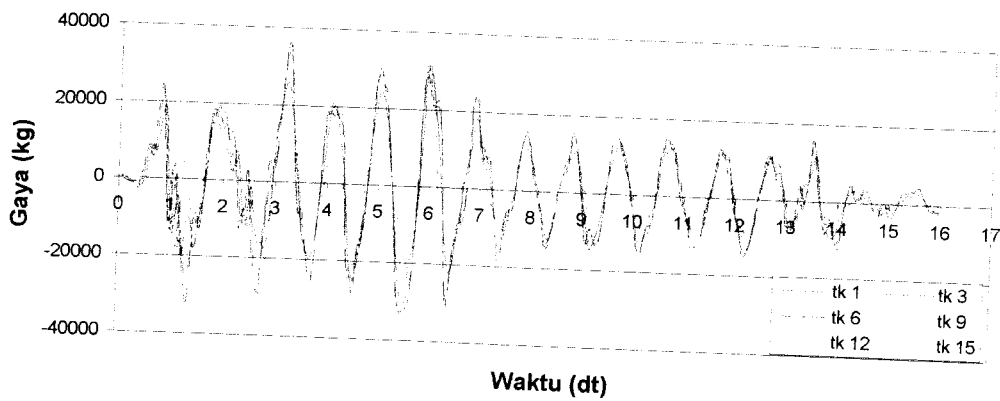




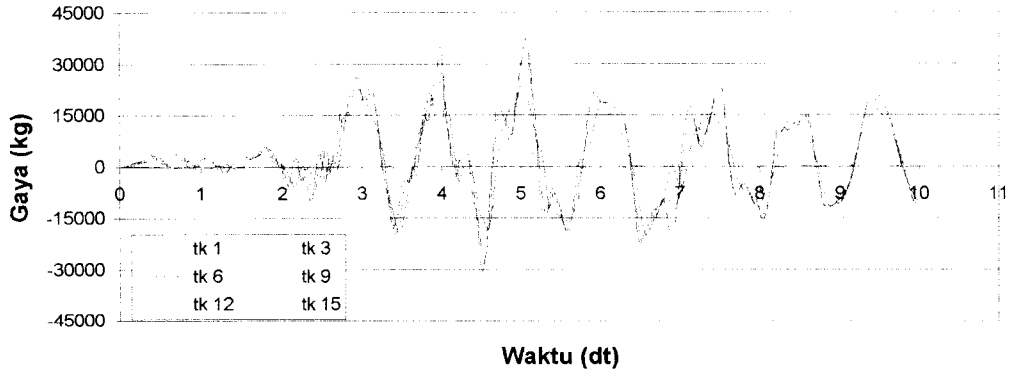
**Gambar 5.112 Gaya Geser Tingkat Struktur *Open Frame* 15 tk akibat gempa *Elcentro* ;  $kh=2.0420E+25$   $kr=1.1932E+25$**



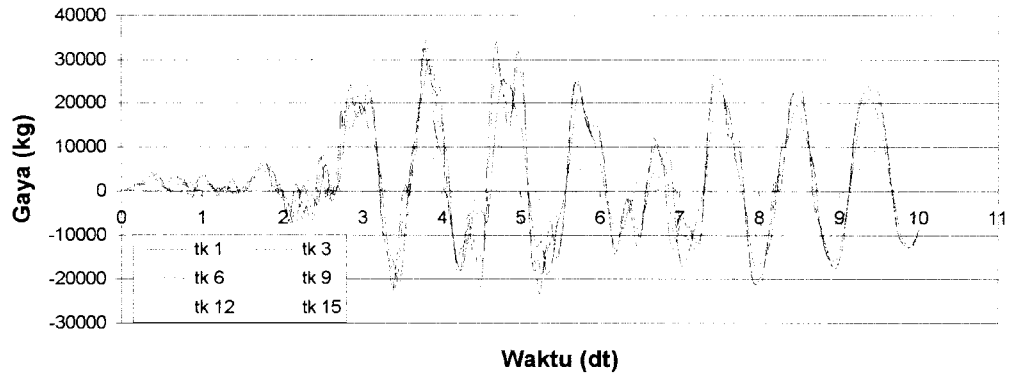
**Gambar 5.113 Gaya Geser Tingkat Struktur *Brace X* 15 tk akibat gempa *Elcentro* ;  $kh=2.0420E+25$   $kr=1.1932E+25$**



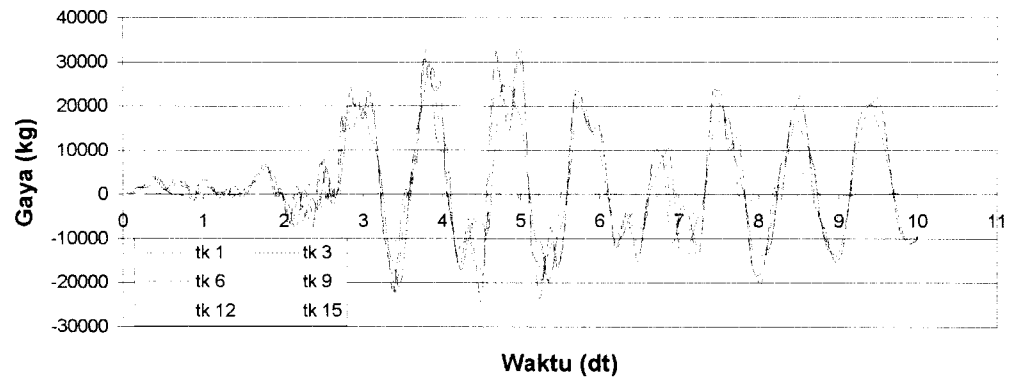
**Gambar 5.114 Gaya Geser Tingkat Struktur *Brace V* 15 tk akibat gempa *Elcentro* ;  $kh=2.0420E+25$   $kr=1.1932E+25$**



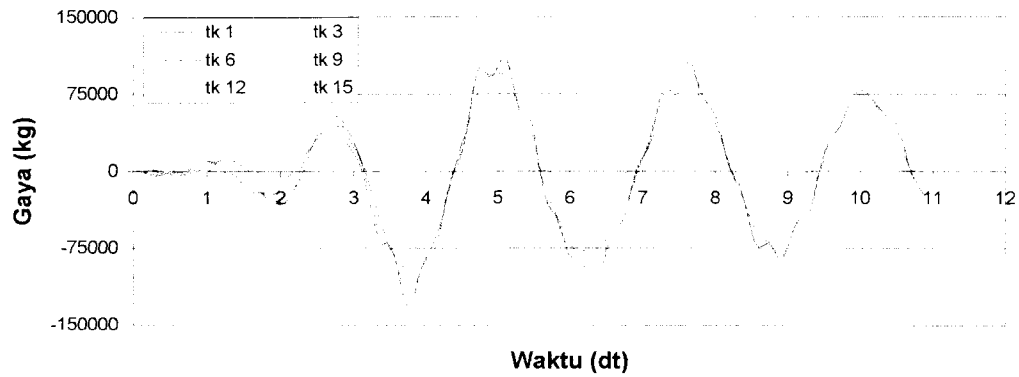
**Gambar 5.105 Gaya Geser Tingkat Struktur *Open Frame* 15 tk akibat gempa *Koyna* ; kh=2.0420E+25 kr=1.1932E+25**



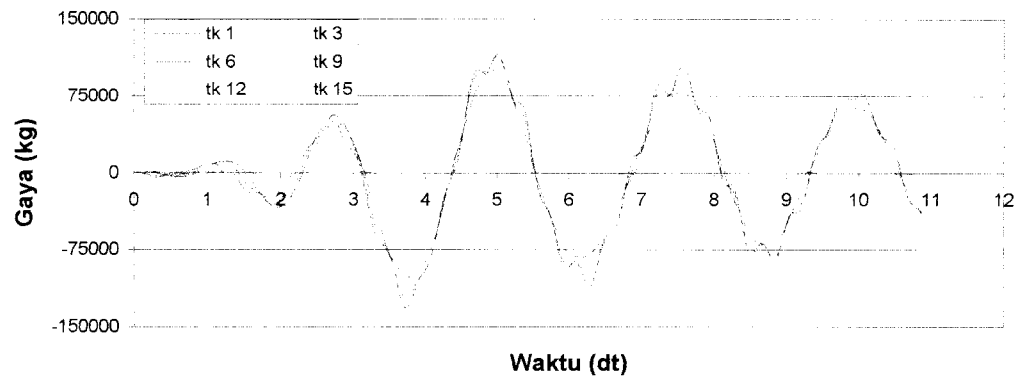
**Gambar 5.116 Gaya Geser Tingkat Struktur *Brace X* 15 tk akibat gempa *Koyna* ; kh=2.0420E+25 kr=1.1932E+25**



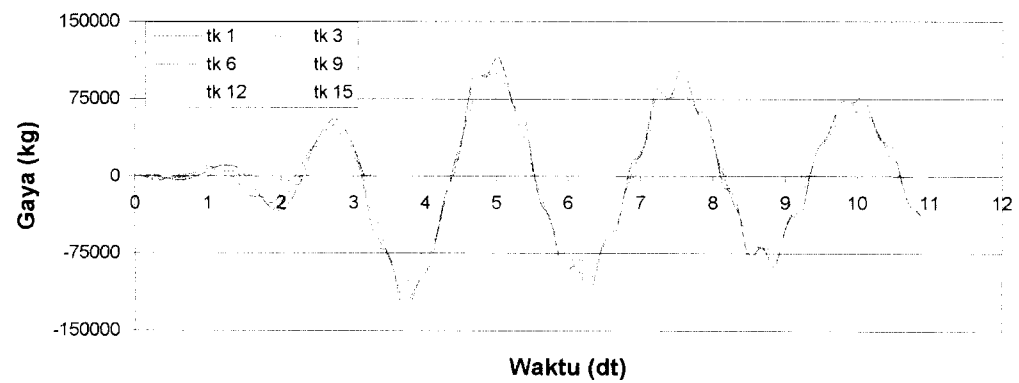
**Gambar 5.117 Gaya Geser Tingkat Struktur *Brace V* 15 tk akibat gempa *Koyna* ; kh=2.0420E+25 kr=1.1932E+25**



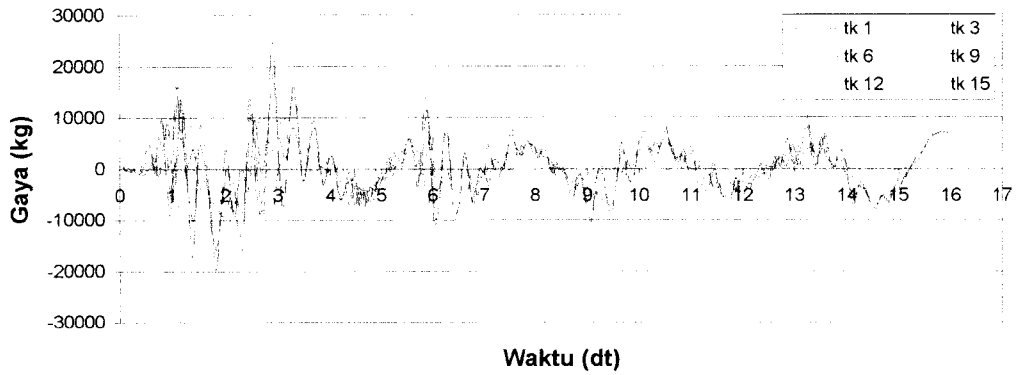
**Gambar 5.118 Gaya Geser Tingkat Struktur *Open Frame* 15 tk**  
akibat gempa *Bucharest*;  $kh=2.0420E+08$   $kr=1.1932E+09$



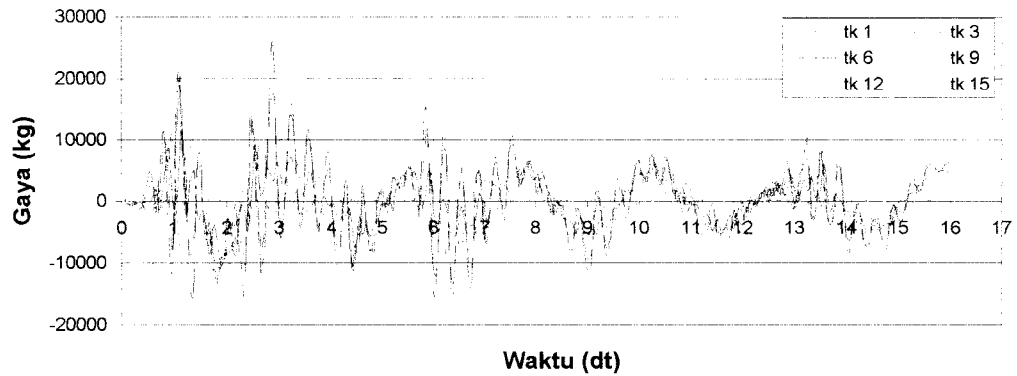
**Gambar 5.119 Gaya Geser Tingkat Struktur *Brace X* 15 tk**  
akibat gempa *Bucharest*;  $kh=2.0420E+08$   $kr=1.1932E+09$



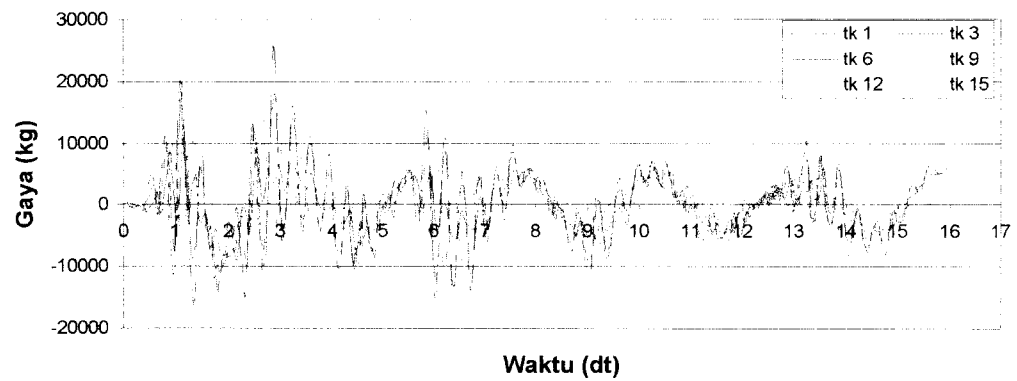
**Gambar 5.120 Gaya Geser Tingkat Struktur *Brace V* 15 tk**  
akibat gempa *Bucharest*;  $kh=2.0420E+08$   $kr=1.1932E+09$



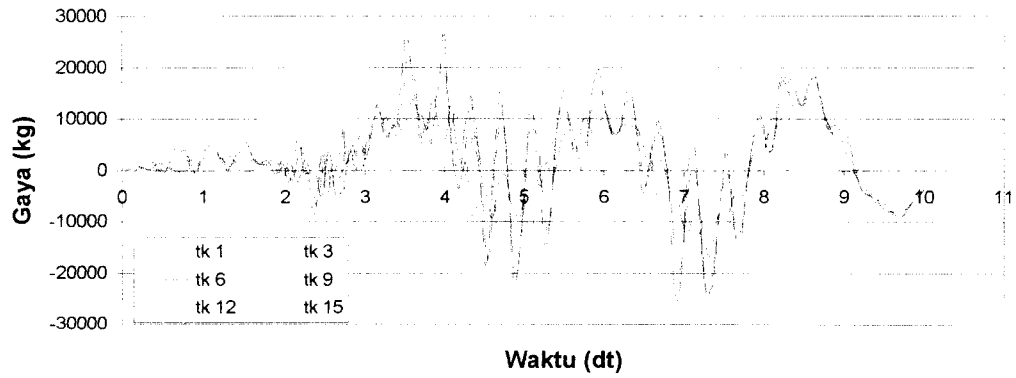
**Gambar 5.121 Gaya Geser Tingkat Struktur *Open Frame* 15 tk**  
 akibat gempa *Elcentro* ;  $kh=2.0420E+08$   $kr=1.1932E+09$



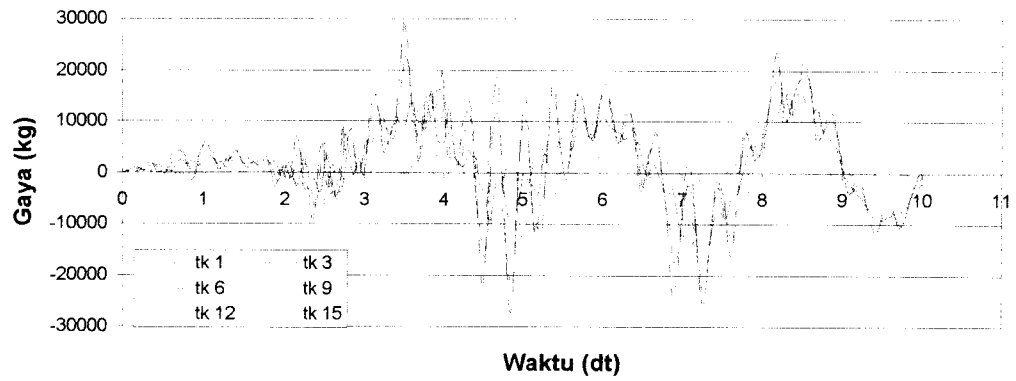
**Gambar 5.122 Gaya Geser Tingkat Struktur *Brace X* 15 tk**  
 akibat gempa *Elcentro* ;  $kh=2.0420E+08$   $kr=1.1932E+09$



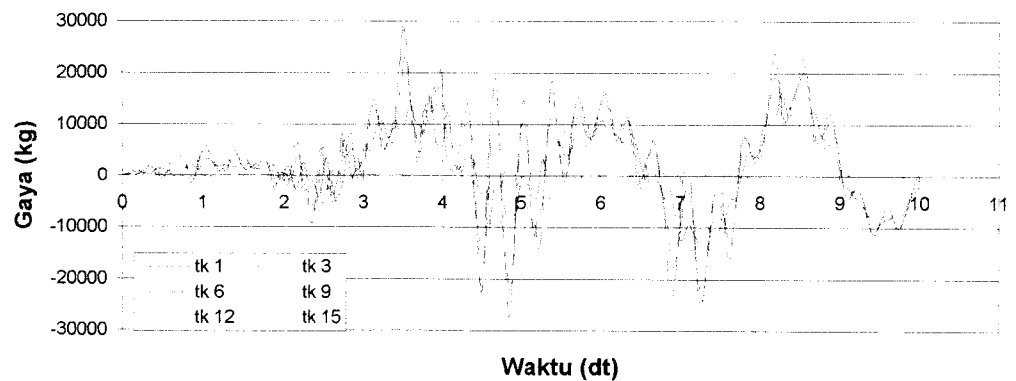
**Gambar 5.123 Gaya Geser Tingkat Struktur *Brace V* 15 tk**  
 akibat gempa *Elcentro* ;  $kh=2.0420E+08$   $kr=1.1932E+09$



**Gambar 5.124 Gaya Geser Tingkat Struktur *Open Frame* 15 tk**  
akibat gempa *Koyna* ;  $kh=2.0420E+08$   $kr=1.1932E+09$



**Gambar 5.125 Gaya Geser Tingkat Struktur *Brace X* 15 tk**  
akibat gempa *Koyna* ;  $kh=2.0420E+08$   $kr=1.1932E+09$



**Gambar 5.126 Gaya Geser Tingkat Struktur *Brace V* 15 tk**  
akibat gempa *Koyna* ;  $kh=2.0420E+08$   $kr=1.1932E+09$

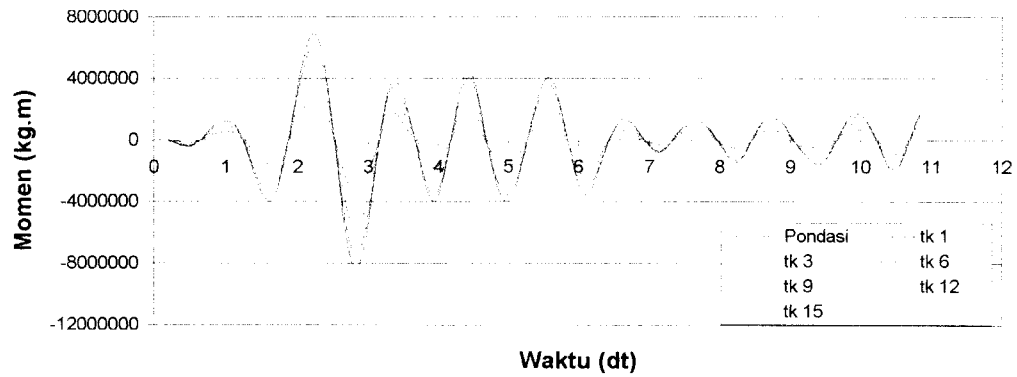
#### 5.4.8 Perhitungan Momen Guling

Momen Guling diperoleh dengan mengalikan gaya horisontal tingkat dan tinggi tingkat yang bersangkutan. Besarnya nilai momen guling dihitung dengan :

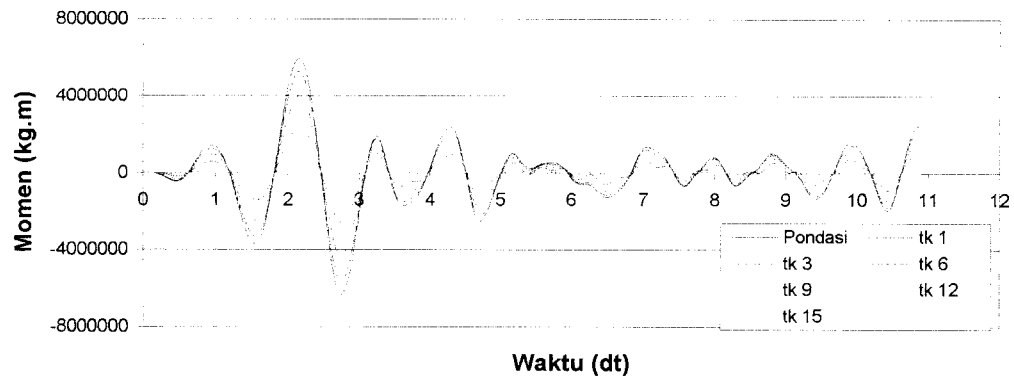
$$M_g = F_j(t) * H \dots\dots\dots (5.4)$$

dimana  $M_g$  dan  $F$  adalah Momen Guling dan Gaya Horisontal tingkat yang merupakan fungsi waktu sedangkan  $H$  adalah tinggi tingkat.

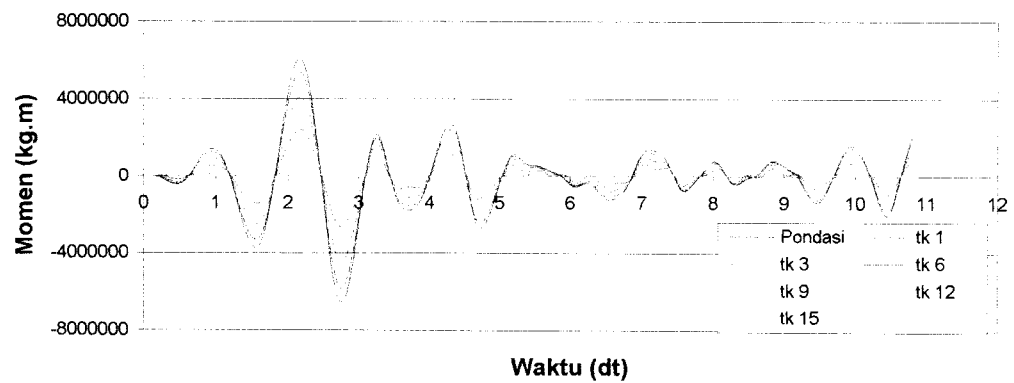
Hasil analisis ditampilkan dalam bentuk grafik antara momen guling lawan waktu, dapat dilihat pada gambar berikut :



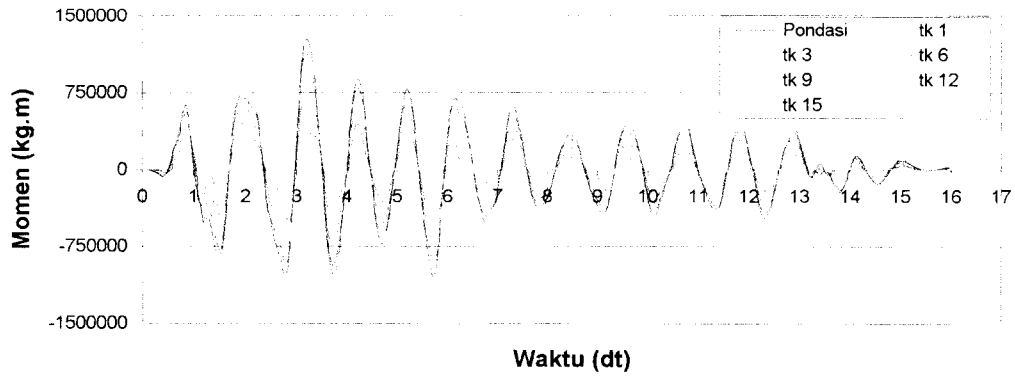
**Gambar 5.127 Momen Guling Struktur *Open Frame* 15 tk**  
akibat gempa *Bucharest*;  $kh=2.0420E+25$   $kr=1.1932E+25$



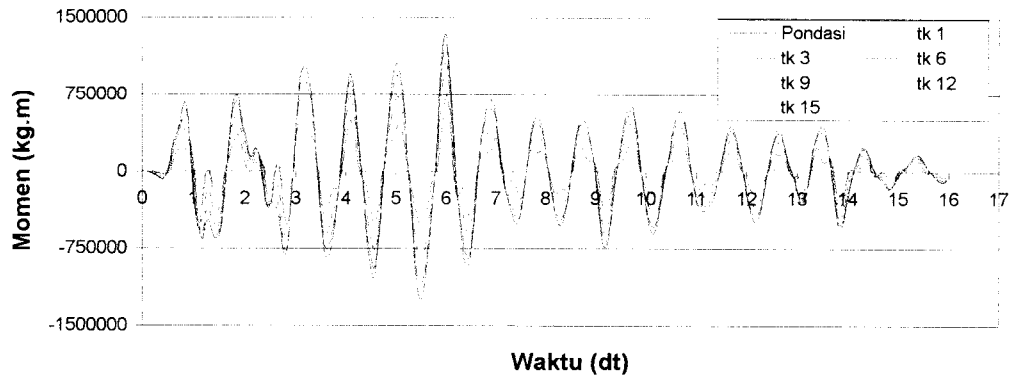
**Gambar 5.128 Momen Guling Struktur *Brace X* 15 tk**  
akibat gempa *Bucharest*;  $kh=2.0420E+25$   $kr=1.1932E+25$



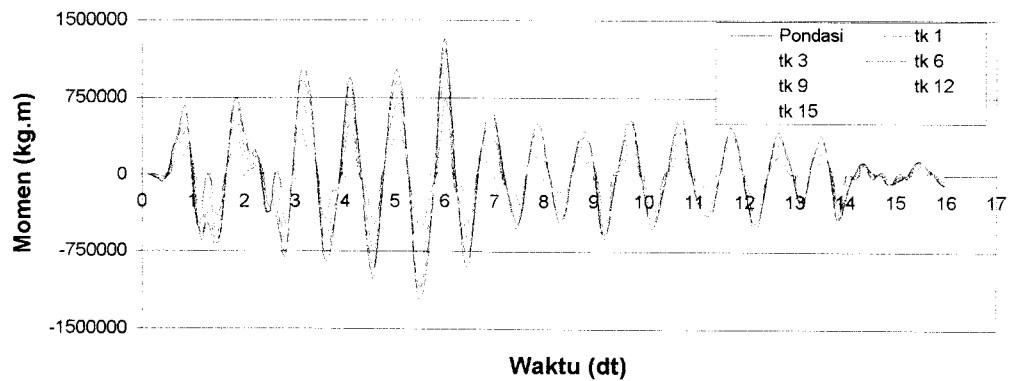
**Gambar 5.129 Momen Guling Struktur *Brace V* 15 tk**  
akibat gempa *Bucharest*;  $kh=2.0420E+25$   $kr=1.1932E+25$



**Gambar 5.130 Momen Guling Struktur *Open Frame* 15 tk akibat gempa *Elcentro* ;  $kh=2.0420E+25$   $kr=1.1932E+25$**

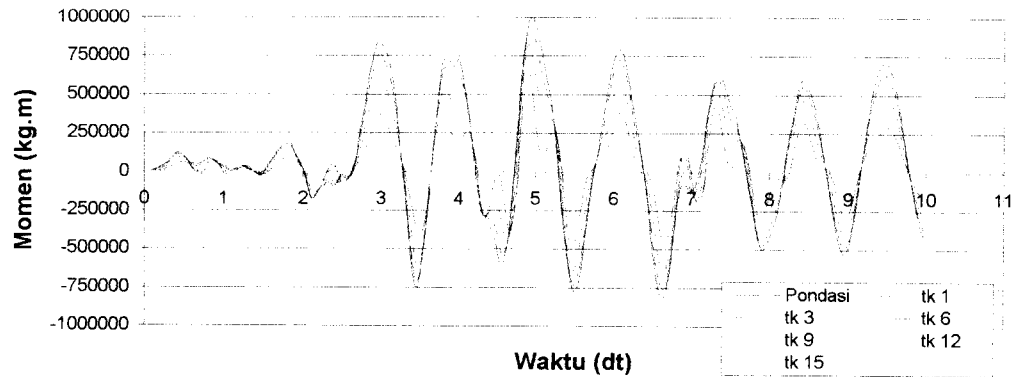


**Gambar 5.131 Momen Guling Struktur *Brace X* 15 tk akibat gempa *Elcentro* ;  $kh=2.0420E+25$   $kr=1.1932E+25$**

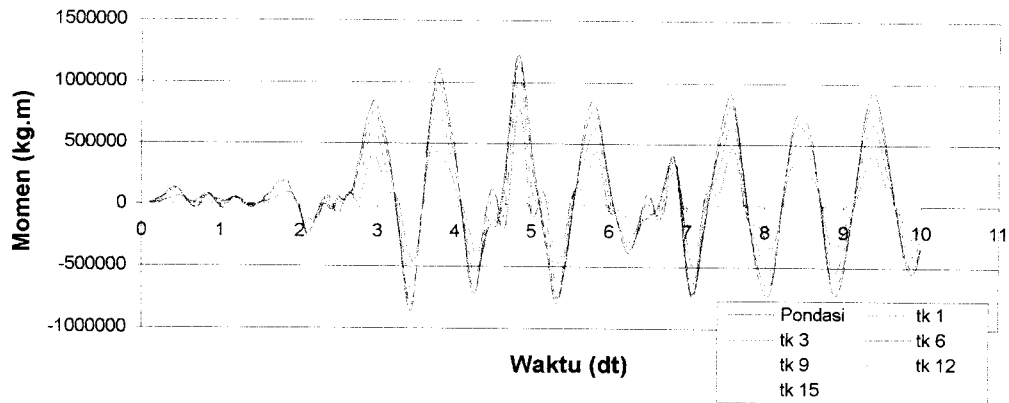


**Gambar 5.132 Momen Guling Struktur *Brace V* 15 tk akibat gempa *Elcentro* ;  $kh=2.0420E+25$   $kr=1.1932E+25$**

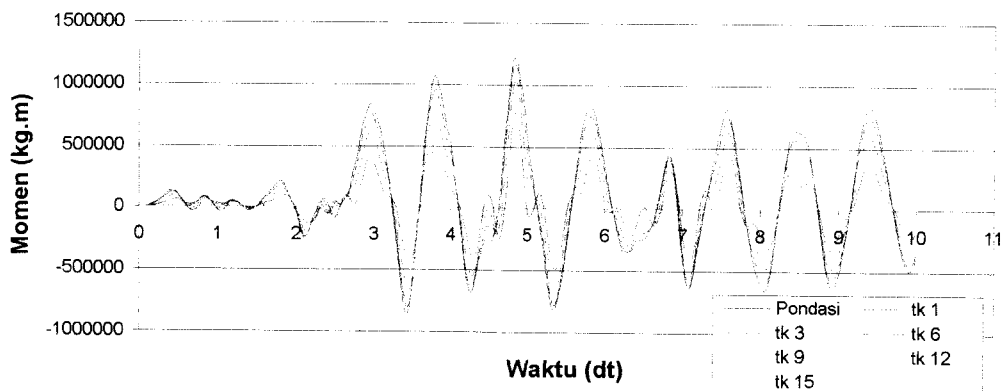




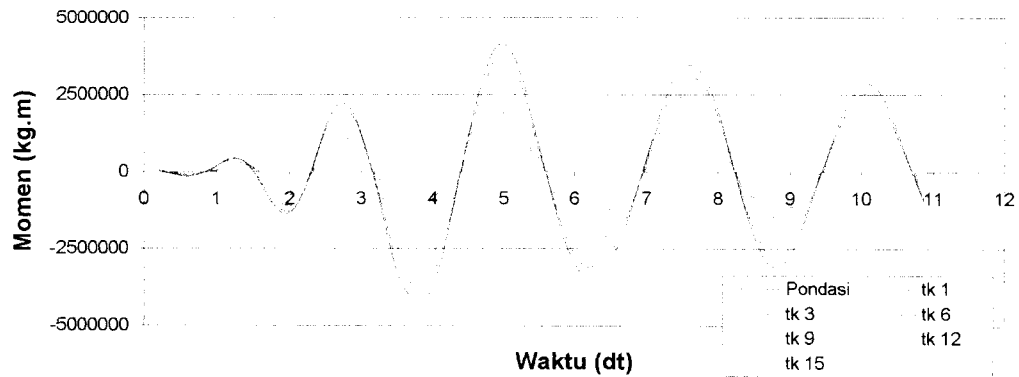
**Gambar 5.133 Momen Guling Struktur *Open Frame* 15 tk**  
akibat gempa *Koyna* ;  $kh=2.0420E+25$   $kr=1.1932E+25$



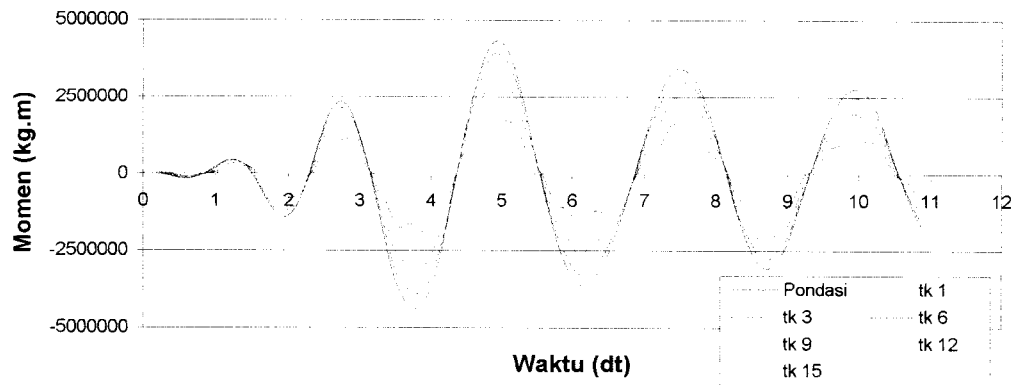
**Gambar 5.134 Momen Guling Struktur *Brace X* 15 tk**  
akibat gempa *Koyna* ;  $kh=2.0420E+25$   $kr=1.1932E+25$



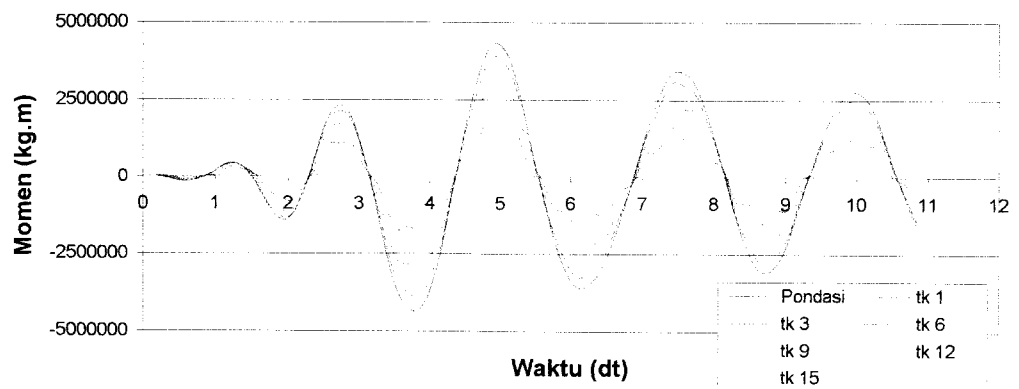
**Gambar 5.135 Momen Guling Struktur *Brace V* 15 tk**  
akibat gempa *Koyna* ;  $kh=2.0420E+25$   $kr=1.1932E+25$



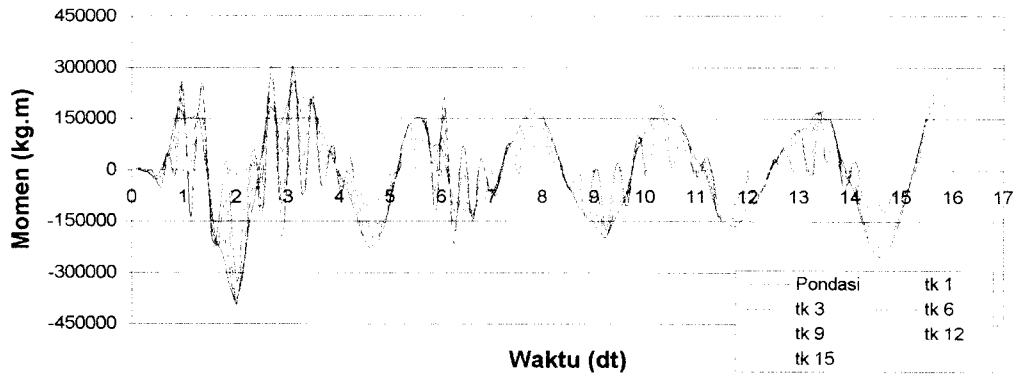
**Gambar 5.136 Momen Guling Struktur *Open Frame* 15 tk**  
akibat gempa *Bucharest*;  $kh=2.0420E+08$   $kr=1.1932E+09$



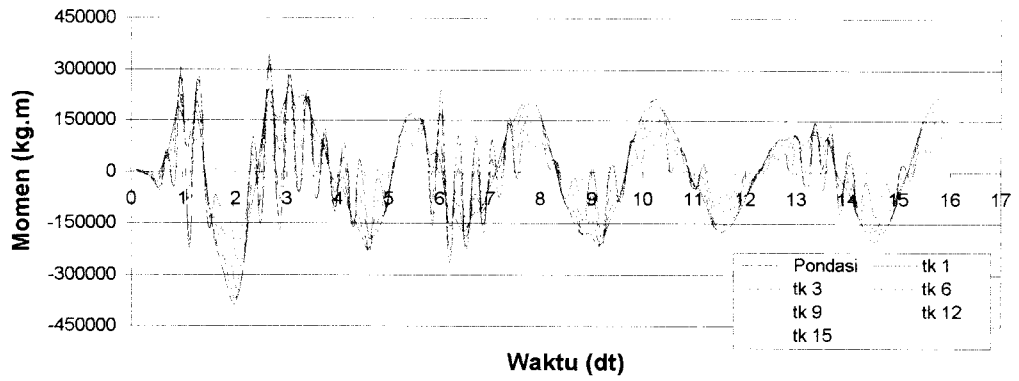
**Gambar 5.137 Momen Guling Struktur *Brace X* 15 tk**  
akibat gempa *Bucharest*;  $kh=2.0420E+08$   $kr=1.1932E+09$



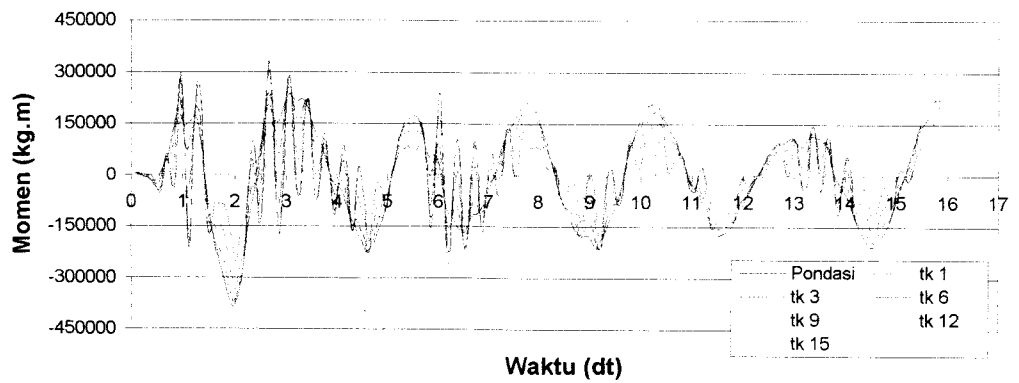
**Gambar 5.138 Momen Guling Struktur *Brace V* 15 tk**  
akibat gempa *Bucharest*;  $kh=2.0420E+08$   $kr=1.1932E+09$



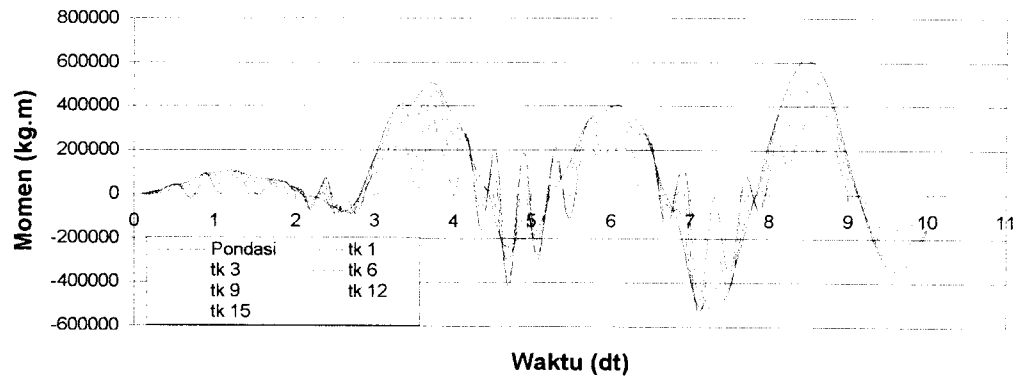
**Gambar 5.139 Momen Guling Struktur *Open Frame* 15 tk akibat gempa *Elcentro* ; kh=2.0420E+08 kr=1.1932E+09**



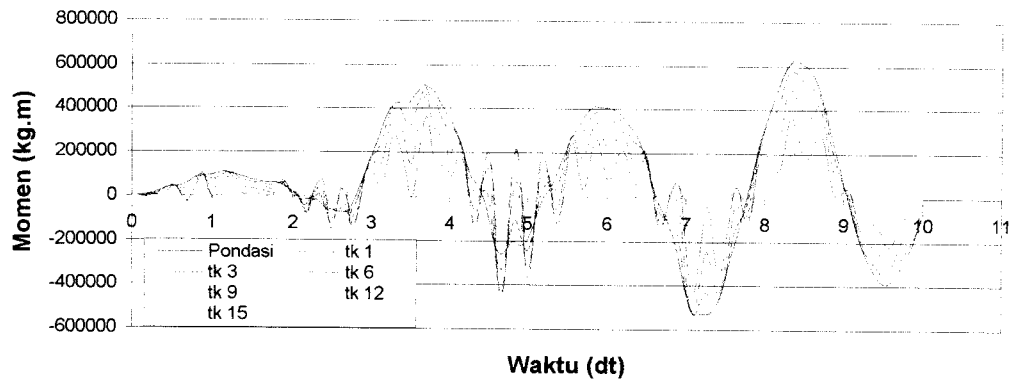
**Gambar 5.140 Momen Guling Struktur *Brace X* 15 tk akibat gempa *Elcentro* ; kh=2.0420E+08 kr=1.1932E+09**



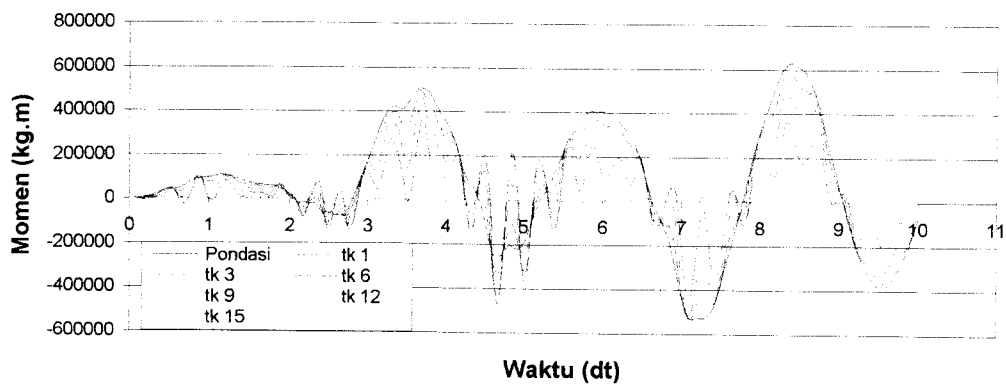
**Gambar 5.141 Momen Guling Struktur *Brace V* 15 tk akibat gempa *Elcentro* ; kh=2.0420E+08 kr=1.1932E+09**



**Gambar 5.142 Momen Guling Struktur *Open Frame* 15 tk**  
akibat gempa *Koyna* ;  $kh=2.0420E+08$   $kr=1.1932E+09$



**Gambar 5.143 Momen Guling Struktur *Brace X* 15 tk**  
akibat gempa *Koyna* ;  $kh=2.0420E+08$   $kr=1.1932E+09$



**Gambar 5.144 Momen Guling Struktur *Brace V* 15 tk**  
akibat gempa *Koyna* ;  $kh=2.0420E+08$   $kr=1.1932E+09$

## 5.5 Pembahasan

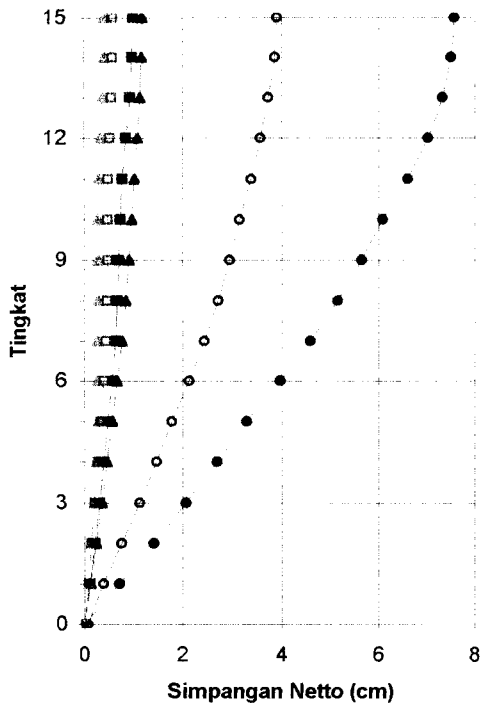
Pembahasan respon struktur yang ditinjau meliputi simpangan netto maksimum, rotasi pondasi, simpangan rotasi maksimum, simpangan total maksimum, simpangan antar tingkat maksimum, gaya horisontal tingkat maksimum, gaya geser tingkat maksimum dan momen guling maksimum akibat beban gempa Bucharest, gempa Elcentro dan gempa Koyna pada *code level*.

Nilai kekakuan horisontal tanah ( $k_h$ ) dan kekakuan putar tanah ( $k_r$ ) dibagi menjadi 2 jenis kombinasi. Adapun nilai-nilai  $k_h$  dan  $k_r$  yang dikombinasikan adalah sebagai berikut :

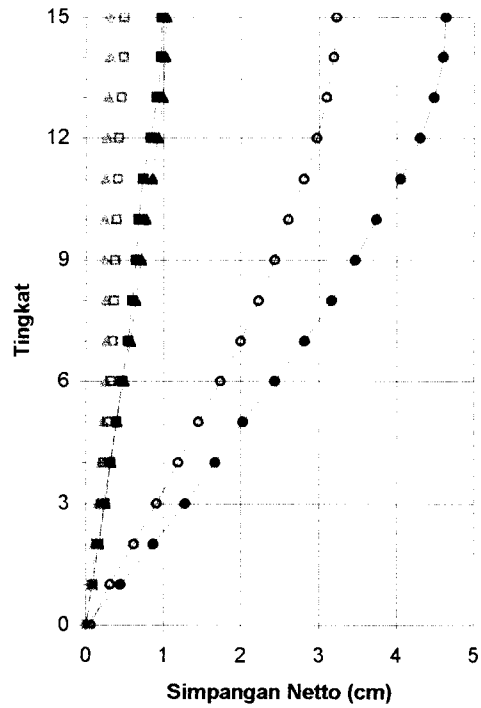
1.  $k_h = 2.0420E+25$ ,  $k_r = 1.1932E+25$  (jepit penuh kombinasi I)
2.  $k_h = 2.0420E+08$ ,  $k_r = 1.1932E+09$  (tidak jepit penuh kombinasi II)

### 5.5.1 Simpangan Netto

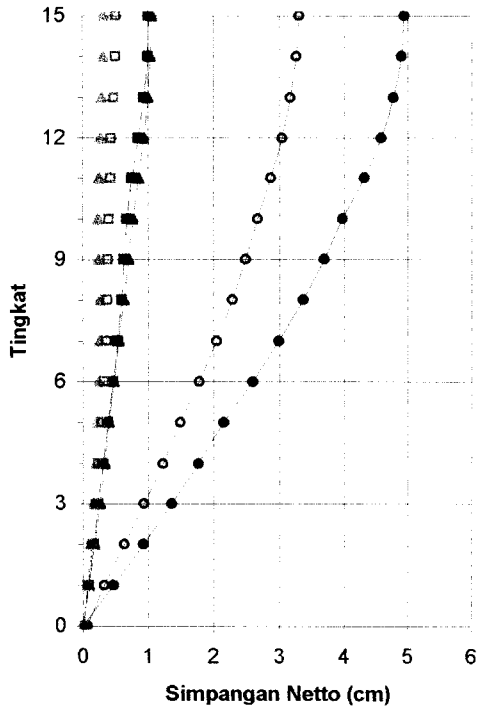
Pembahasan simpangan netto berdasarkan gambar 5.145 sampai dengan gambar 5.150 dan tabel 5.4 sampai dengan tabel 5.9 dengan 3 beban gempa dan 2 kombinasi kekakuan horisontal dan kekakuan putar tanah di bawah ini.



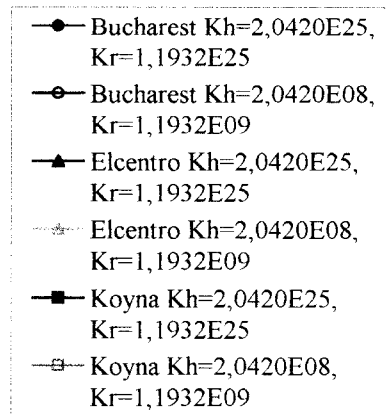
A. Struktur Open Frame



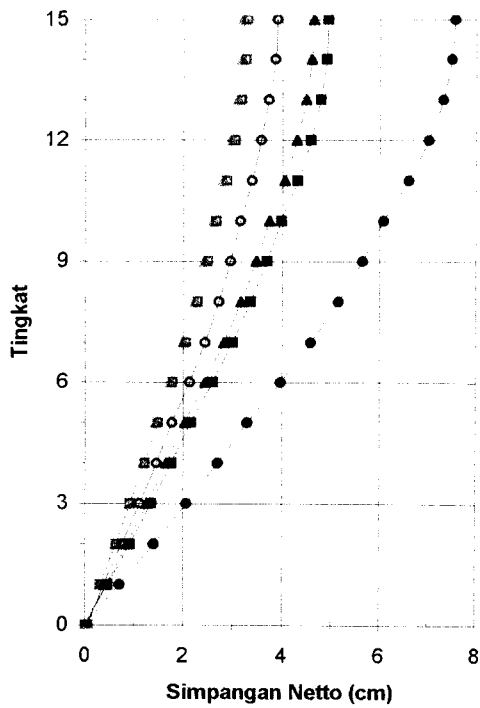
B. Struktur Braced X



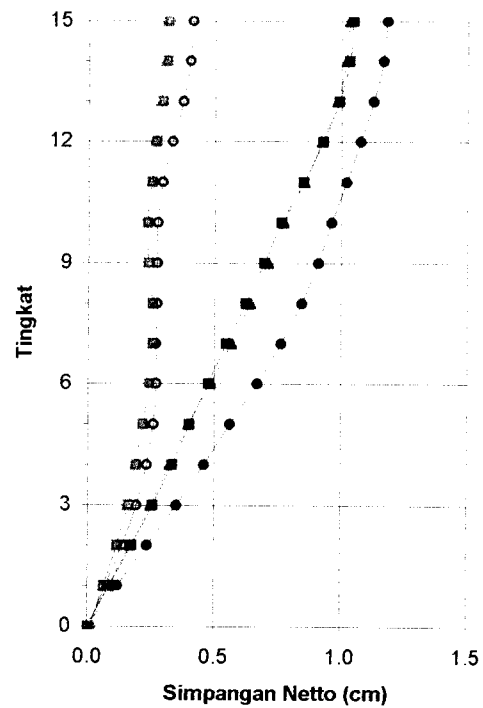
C. Struktur Braced V



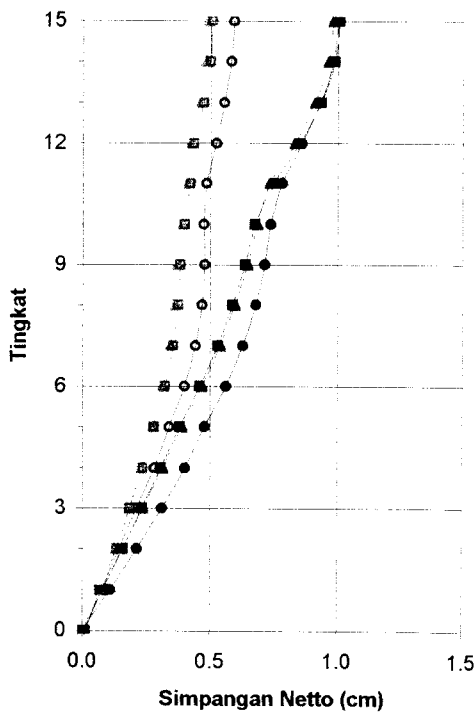
Gambar 5.145 Grafik Simpangan Netto Maksimum akibat 3 gempa



A. Gempa Bucharest



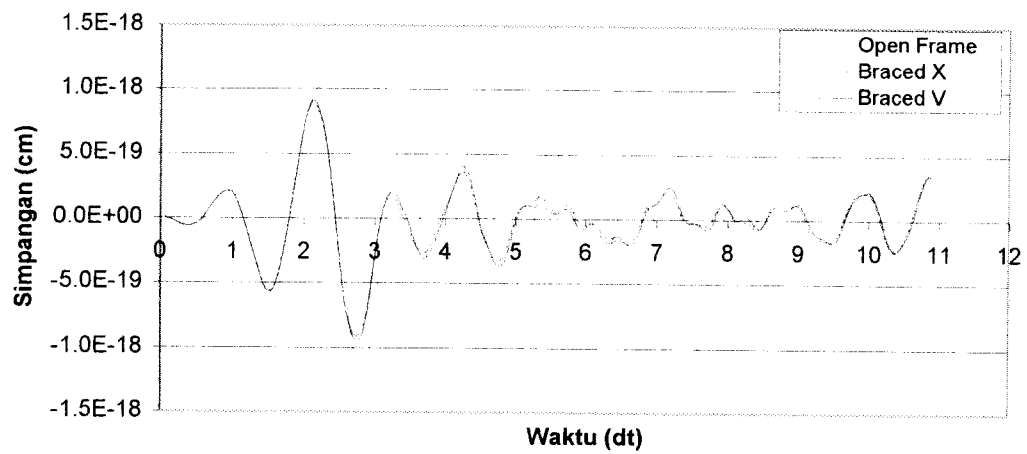
B. Gempa Elcentro



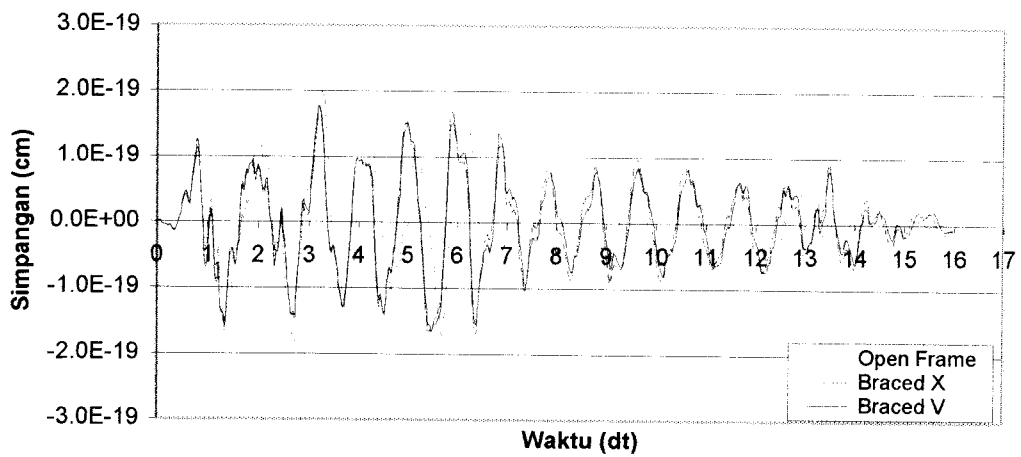
C. Gempa Koyna

- Open Frame  $K_h=2,0420E25$ ,  $K_r=1,1932E25$
- Open Frame  $K_h=2,0420E08$ ,  $K_r=1,1932E09$
- ◆ Braced X  $K_h=2,0420E25$ ,  $K_r=1,1932E25$
- ◇ Braced X  $K_h=2,0420E08$ ,  $K_r=1,1932E09$
- Braced V  $K_h=2,0420E25$ ,  $K_r=1,1932E25$
- ◊ Braced V  $K_h=2,0420E08$ ,  $K_r=1,1932E09$

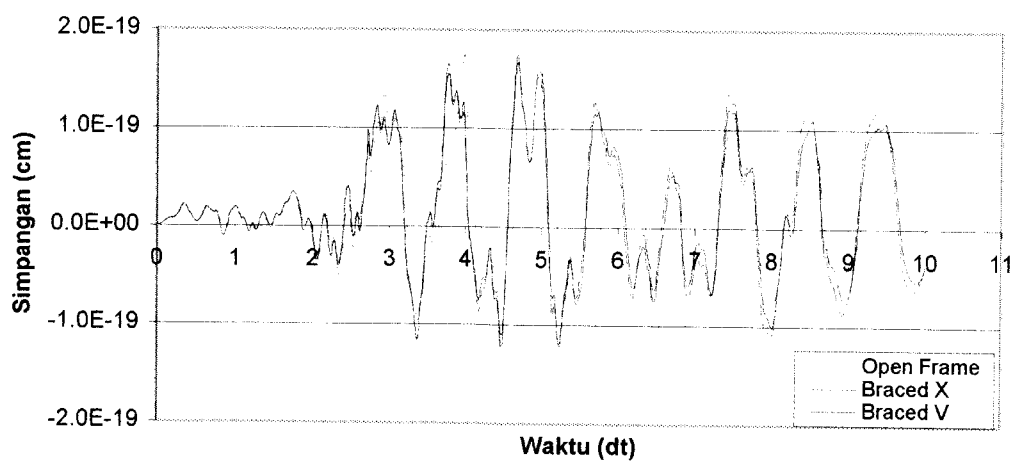
Gambar 5.146 Grafik Simpangan Netto Maksimum dengan 6 kombinasi



**A. Gempa Bucharest**



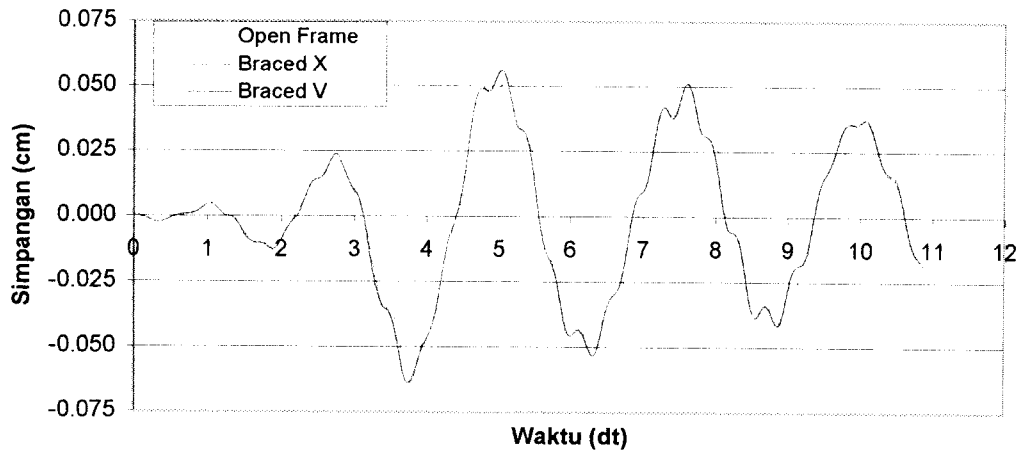
**B. Gempa Elcentro**



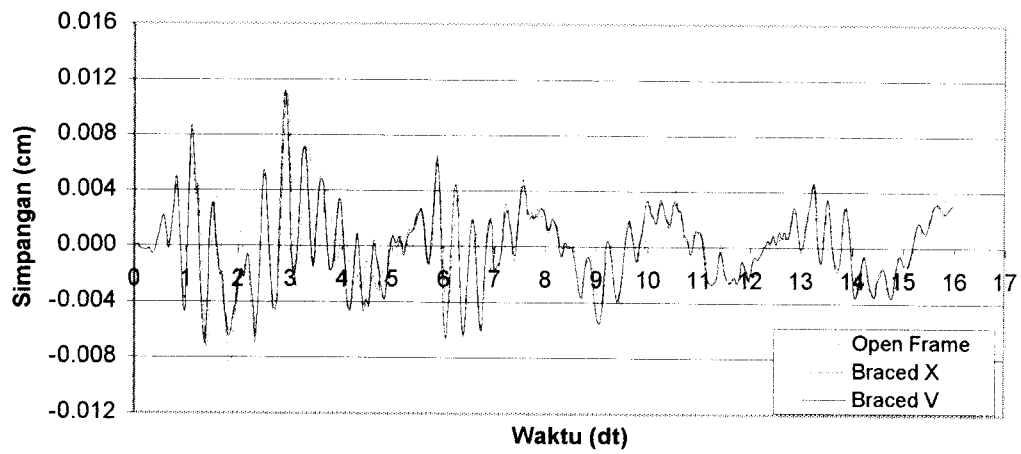
**C. Gempa Koyna**

**Gambar 5.147 Simpangan Horizontal Pondasi dengan  $K_h=2.0420E+25$ ;  $K_r=1.1932E+25$**

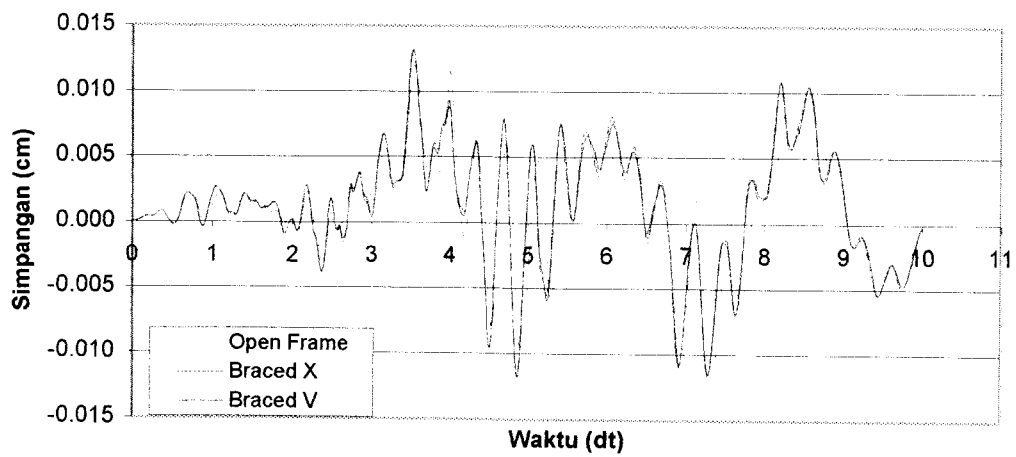




**A. Gempa Bucharest**

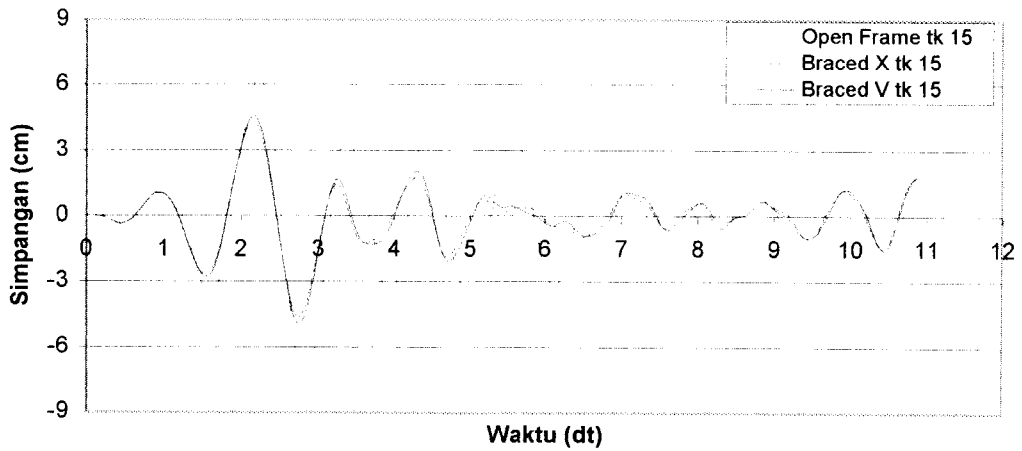


**B. Gempa Elcentro**

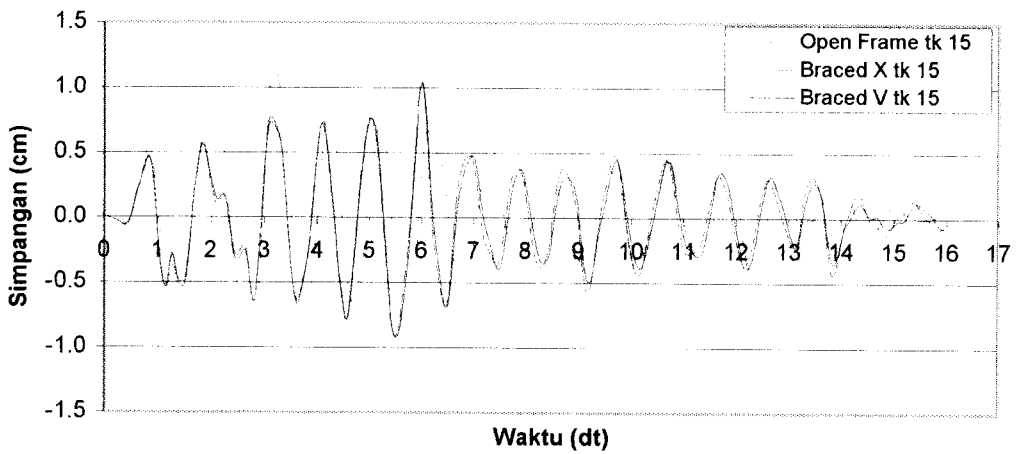


**C. Gempa Koyna**

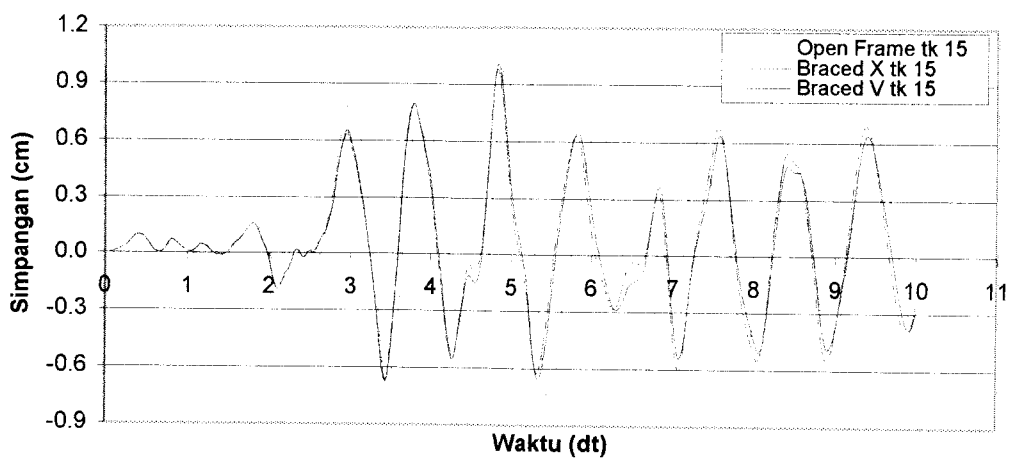
**Gambar 5.148 Simpangan Horisontal Pondasi dengan  $K_h=2.0420E+08$ ;  $K_r=1.1932E+09$**



**A. Gempa Bucharest**

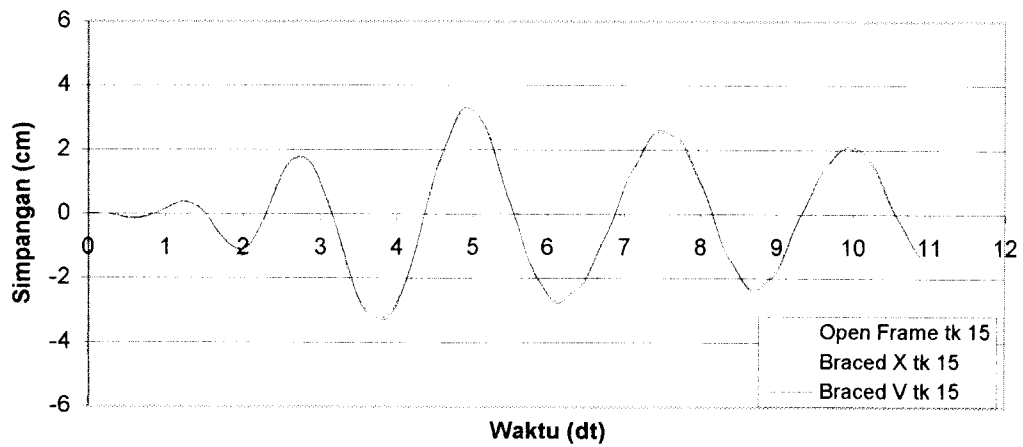


**B. Gempa Elcentro**

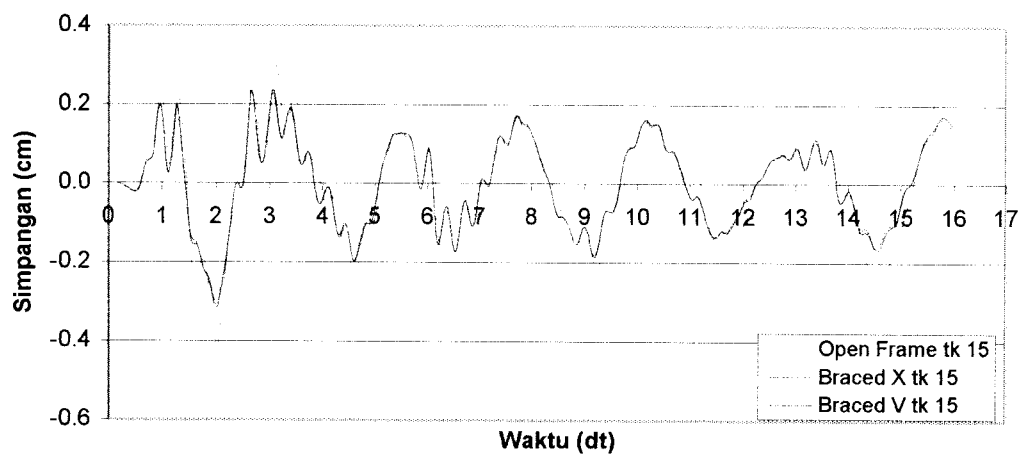


**C. Gempa Koyna**

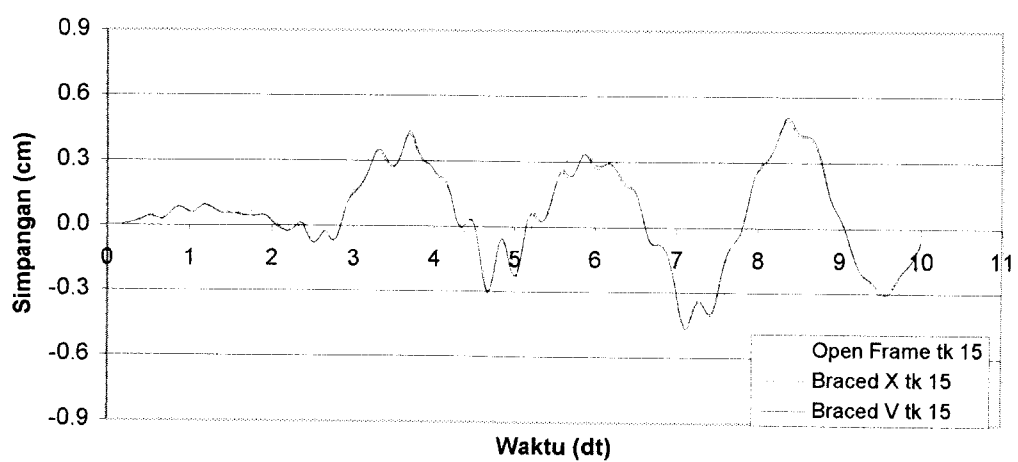
**Gambar 5.149 Simpangan Netto Maksimum dengan  $K_h=2.0420E+25$ ;  $K_r=1.1932E+25$**



### A. Gempa Bucharest



### B. Gempa Elcentro



### C. Gempa Koyna

**Gambar 5.150 Simpangan Netto Maksimum dengan  $K_h=2.0420E+08$ ;  $K_r=1.1932E+09$**

**Tabel 5.4** Simpangan netto maksimum struktur 15 tingkat  $kh=2.0420E+25$ ,  
 $kr=1.1932E+25$  dengan menggunakan gempa Bucharest

Tingkat	Simpangan Netto (cm)		
	Open Frame	Braced X	Braced V
0	1,1948E-18	9,1261E-19	9,4521E-19
1	7,1309E-01	4,4078E-01	4,6879E-01
2	1,4039E+00	8,6591E-01	9,2113E-01
3	2,0678E+00	1,2734E+00	1,3548E+00
4	2,7003E+00	1,6612E+00	1,7677E+00
5	3,2975E+00	2,0272E+00	2,1580E+00
6	3,9672E+00	2,4364E+00	2,5949E+00
7	4,5845E+00	2,8154E+00	2,9988E+00
8	5,1450E+00	3,1603E+00	3,3662E+00
9	5,6438E+00	3,4680E+00	3,6940E+00
10	6,0756E+00	3,7355E+00	3,9788E+00
11	6,6012E+00	4,0488E+00	4,3152E+00
12	7,0184E+00	4,2991E+00	4,5839E+00
13	7,3213E+00	4,4827E+00	4,7801E+00
14	7,5059E+00	4,5951E+00	4,9002E+00
15	7,5697E+00	4,6341E+00	4,9418E+00

**Tabel 5.5** Simpangan netto maksimum struktur 15 tingkat  $kh=2.0420E+08$ ,  
 $kr=1.1932E+09$  dengan menggunakan gempa Bucharest

Tingkat	Simpangan Netto (cm)		
	Open Frame	Braced X	Braced V
0	6,3469E-02	6,3781E-02	6,3817E-02
1	3,8444E-01	3,1200E-01	3,2072E-01
2	7,5883E-01	6,1600E-01	6,3312E-01
3	1,1186E+00	9,0871E-01	9,3373E-01
4	1,4594E+00	1,1869E+00	1,2192E+00
5	1,7771E+00	1,4475E+00	1,4862E+00
6	2,1266E+00	1,7349E+00	1,7810E+00
7	2,4413E+00	1,9963E+00	2,0480E+00
8	2,7172E+00	2,2287E+00	2,2850E+00
9	2,9527E+00	2,4321E+00	2,4921E+00
10	3,1495E+00	2,6054E+00	2,6680E+00
11	3,3803E+00	2,8075E+00	2,8733E+00
12	3,5675E+00	2,9739E+00	3,0428E+00
13	3,7282E+00	3,1021E+00	3,1740E+00
14	3,8606E+00	3,1880E+00	3,2644E+00
15	3,9081E+00	3,2219E+00	3,2998E+00

**Tabel 5.6** Simpangan netto maksimum struktur 15 tingkat  $kh=2.0420E+25$ ,  
 $kr=1.1932E+25$  dengan menggunakan gempa Elcentro

Tingkat	Simpangan Netto (cm)		
	Open Frame	Braced X	Braced V
0	1,9841E-19	1,7691E-19	1,7699E-19
1	1,1926E-01	8,5294E-02	8,7797E-02
2	2,3689E-01	1,6883E-01	1,7400E-01
3	3,5108E-01	2,4833E-01	2,5641E-01
4	4,5979E-01	3,2235E-01	3,3311E-01
5	5,6067E-01	3,9679E-01	4,0284E-01
6	6,6970E-01	4,8450E-01	4,7674E-01
7	7,6487E-01	5,6626E-01	5,4673E-01
8	8,4523E-01	6,4130E-01	6,2322E-01
9	9,0988E-01	7,0982E-01	6,9558E-01
10	9,6202E-01	7,7224E-01	7,6281E-01
11	1,0222E+00	8,5220E-01	8,5006E-01
12	1,0762E+00	9,2398E-01	9,2857E-01
13	1,1269E+00	9,8201E-01	9,9197E-01
14	1,1649E+00	1,0188E+00	1,0319E+00
15	1,1799E+00	1,0323E+00	1,0468E+00

**Tabel 5.7** Simpangan netto maksimum struktur 15 tingkat  $kh=2.0420E+08$ ,  
 $kr=1.1932E+09$  dengan menggunakan gempa Elcentro

Tingkat	Simpangan Netto (cm)		
	Open Frame	Braced X	Braced V
0	1,0912E-02	1,1211E-02	1,1154E-02
1	7,2237E-02	6,1808E-02	6,3287E-02
2	1,3851E-01	1,1436E-01	1,1747E-01
3	1,9347E-01	1,5553E-01	1,6080E-01
4	2,3396E-01	1,8551E-01	1,9168E-01
5	2,5925E-01	2,1843E-01	2,1680E-01
6	2,7109E-01	2,4330E-01	2,4310E-01
7	2,6711E-01	2,5578E-01	2,5581E-01
8	2,7271E-01	2,5225E-01	2,5437E-01
9	2,7310E-01	2,3678E-01	2,3903E-01
10	2,7364E-01	2,3286E-01	2,3510E-01
11	2,9280E-01	2,4614E-01	2,5156E-01
12	3,3215E-01	2,6130E-01	2,6855E-01
13	3,7374E-01	2,8573E-01	2,9297E-01
14	4,0305E-01	3,0226E-01	3,1045E-01
15	4,1373E-01	3,0828E-01	3,1684E-01

**Tabel 5.8** Simpangan netto maksimum struktur 15 tingkat  $kh=2.0420E+25$ ,  
 $kr=1.1932E+25$  dengan menggunakan gempa Koyna

Tingkat	Simpangan Netto (cm)		
	Open Frame	Braced X	Braced V
0	1,8243E-19	1,7508E-19	1,6764E-19
1	1,0993E-01	8,0443E-02	7,9791E-02
2	2,1490E-01	1,5744E-01	1,5915E-01
3	3,1271E-01	2,3755E-01	2,3437E-01
4	4,0119E-01	3,1463E-01	3,0766E-01
5	4,7942E-01	3,8854E-01	3,7999E-01
6	5,6077E-01	4,6731E-01	4,6015E-01
7	6,2818E-01	5,3775E-01	5,2990E-01
8	6,7953E-01	5,9621E-01	5,8825E-01
9	7,1326E-01	6,4378E-01	6,3634E-01
10	7,3548E-01	6,8231E-01	6,7508E-01
11	7,8029E-01	7,3243E-01	7,4613E-01
12	8,5724E-01	8,3051E-01	8,4969E-01
13	9,3008E-01	9,0914E-01	9,3236E-01
14	9,8133E-01	9,6116E-01	9,8638E-01
15	1,0001E+00	9,7980E-01	1,0058E+00

**Tabel 5.9** Simpangan netto maksimum struktur 15 tingkat  $kh=2.0420E+08$ ,  
 $kr=1.1932E+09$  dengan menggunakan gempa Koyna

Tingkat	Simpangan Netto (cm)		
	Open Frame	Braced X	Braced V
0	1,1946E-02	1,3127E-02	1,3059E-02
1	7,8443E-02	6,9517E-02	7,0614E-02
2	1,4436E-01	1,3140E-01	1,3356E-01
3	2,1511E-01	1,8408E-01	1,8817E-01
4	2,8225E-01	2,3026E-01	2,3518E-01
5	3,4127E-01	2,7412E-01	2,8028E-01
6	3,9949E-01	3,1568E-01	3,2319E-01
7	4,4272E-01	3,4549E-01	3,5432E-01
8	4,6901E-01	3,6391E-01	3,7377E-01
9	4,7903E-01	3,7242E-01	3,8261E-01
10	4,7528E-01	3,9329E-01	4,0085E-01
11	4,8582E-01	4,1237E-01	4,2140E-01
12	5,2340E-01	4,2598E-01	4,3634E-01
13	5,5380E-01	4,6027E-01	4,7249E-01
14	5,8109E-01	4,8290E-01	4,9692E-01
15	5,9181E-01	4,9119E-01	5,0571E-01

Dari hasil grafik simpangan netto maksimum pada gambar 5.145 sampai dengan gambar 5.150 dan tabel 5.4 sampai dengan 5.9 maka,

1. Simpangan Netto maksimum tiap tingkat akan semakin besar pada tingkat yang lebih tinggi, karena pada tingkat yang lebih tinggi nilai kekakuan struktur akan semakin kecil dan tinggi tingkat akan semakin besar sehingga simpangan yang dihasilkan akan semakin besar.
2. Simpangan Netto pada kondisi tanah dianggap jepit penuh (*fixed*) lebih besar dari simpangan pada struktur yang mengalami rotasi, karena semakin kaku tanah (asumsi jepit) maka getaran yang terjadi diteruskan dengan sempurna atau semakin besar pada struktur.
3. Pondasi (lantai dasar) pada kondisi tanah dianggap jepit penuh (*fixed*) tidak terjadi simpangan (sangat kecil), sedangkan pada struktur yang mengalami rotasi terjadi simpangan pondasi, karena pada kondisi tersebut tanah dianggap menyatu/menjepit pondasi struktur dengan sempurna, sehingga simpangan pada pondasi akan kecil.
4. Simpangan terbesar pada semua struktur adalah simpangan akibat gempa Bucharest, karena gempa Bucharest akan berasosiasi dengan baik dengan strstruktur bertingkat tinggi (berfrekuensi rendah).
5. Struktur *open frame* akan mempunyai nilai simpangan yang lebih besar daripada struktur yang menggunakan pengaku (*bracing*). Sementara itu pada kondisi tanah dianggap jepit penuh (*fixed*) nilai simpangan *braced X* sedikit lebih kecil dari simpangan pada struktur *braced V*, sedangkan pada kondisi tanah dianggap tidak jepit penuh nilai simpangan pada struktur

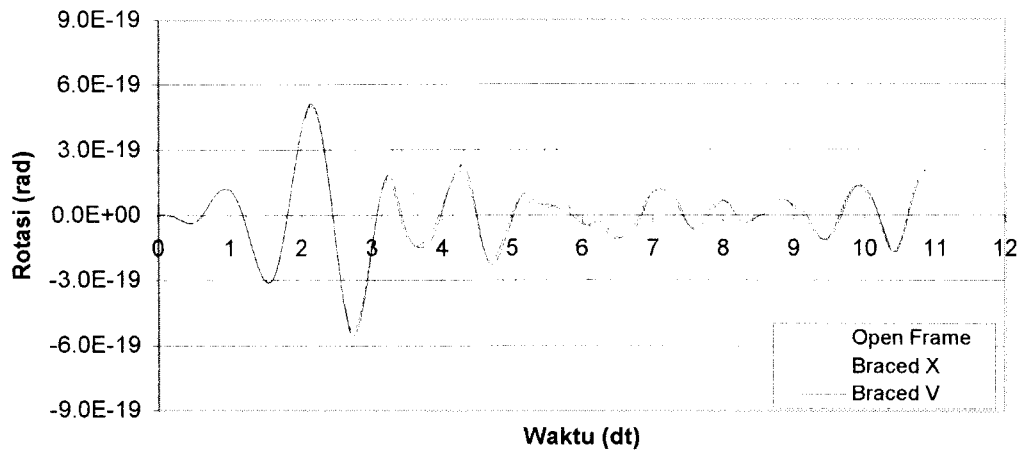
*braced X* relatif sama dengan simpangan struktur *braced V*. Hal tersebut terjadi karena nilai simpangan tingkat akan berbanding terbalik dengan kekakuan tingkat. Sementara itu pada kondisi tanah dianggap dapat berotasi, simpangan yang terjadi lebih kecil dari yang dianggap jepit sempurna sehingga perbedaan nilai simpangan struktur *braced X* dan *braced V* menjadi kecil pula.

6. Pada kondisi tanah dianggap jepit penuh gempa Elcentro akan menghasilkan simpangan yang lebih besar dari gempa Koyna, sedangkan pada kondisi tanah dianggap tidak jepit penuh akan berlaku sebaliknya.

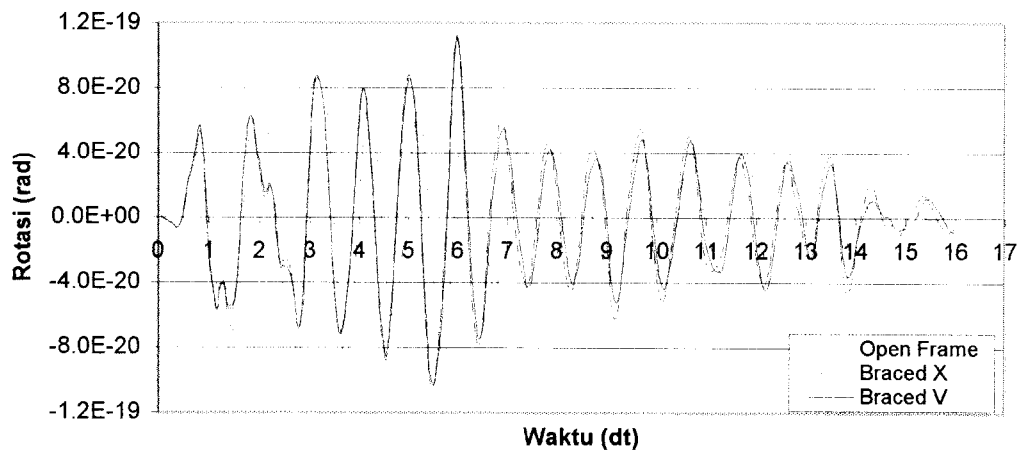
### **5.5.2 Rotasi Pondasi**

Pembahasan rotasi pondasi berdasarkan gambar 5.151 sampai dengan gambar 5.152 dan tabel 5.10 sampai dengan 5.12, dengan 3 beban gempa dan 2 kombinasi kekakuan horisontal dan kekakuan putar tanah di bawah ini.

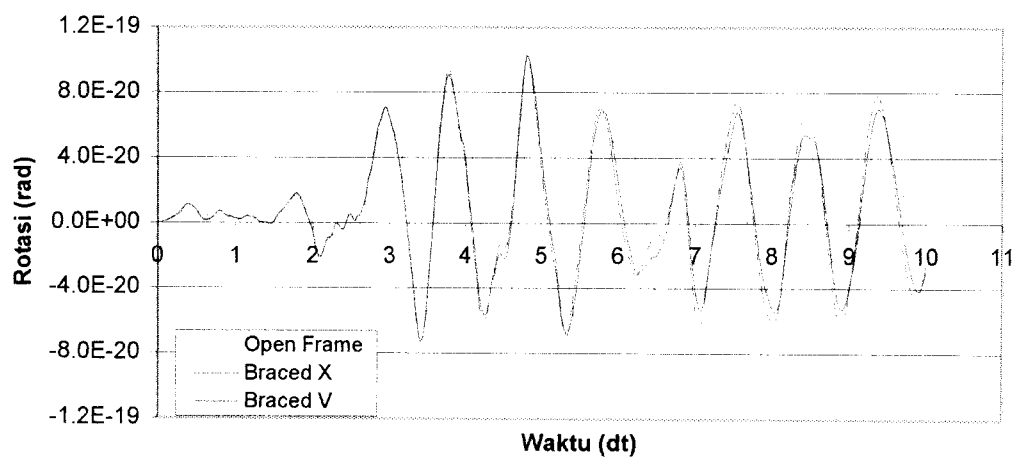




### A. Gempa Bucharest

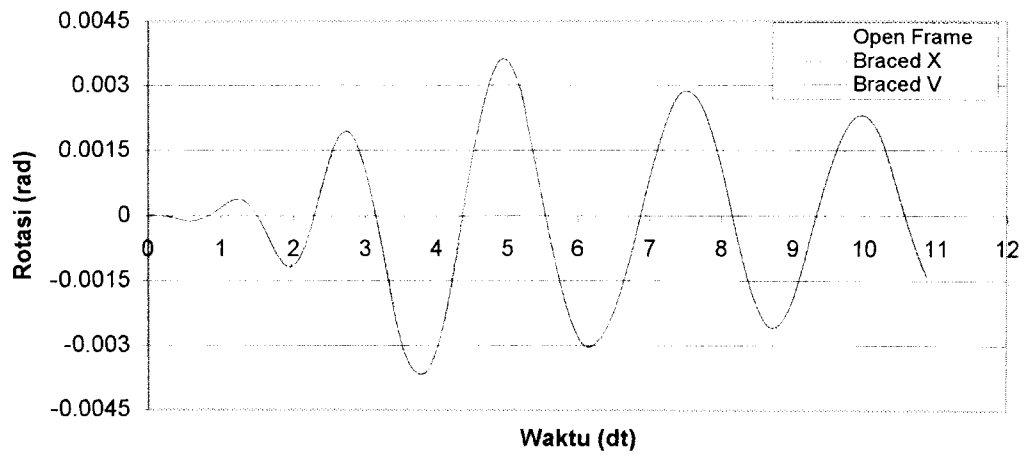


### B. Gempa Elcentro

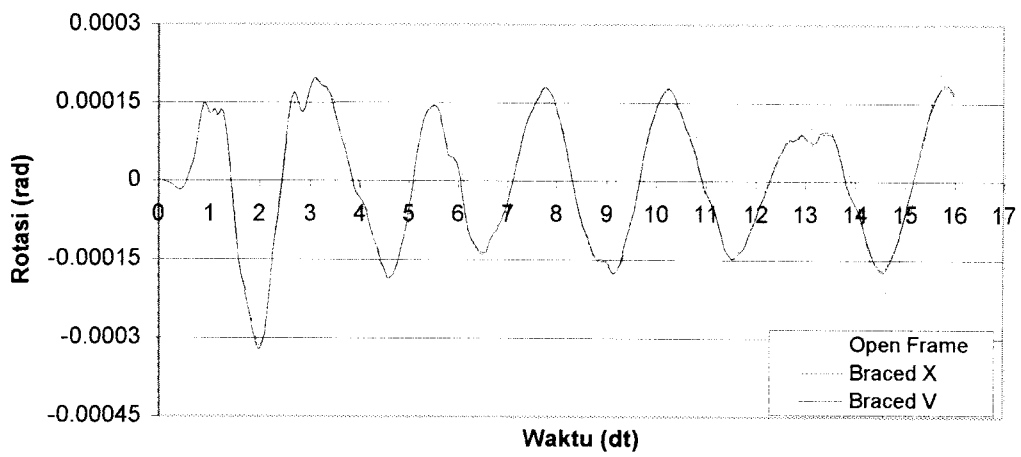


### C. Gempa Koyna

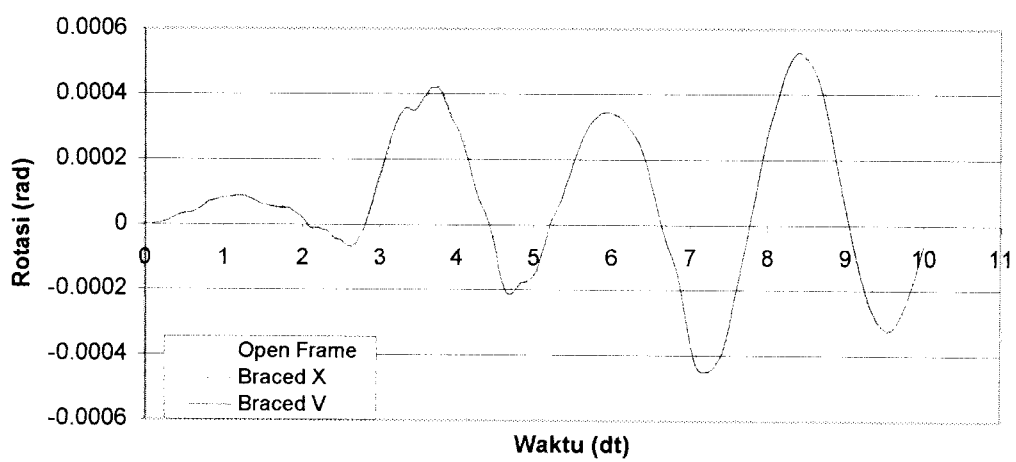
**Gambar 5.151 Rotasi Pondasi  
dengan  $K_h=2.0420E+25$ ;  $K_r=1.1932E+25$**



**A. Gempa Bucharest**



**B. Gempa Elcentro**



**C. Gempa Koyna**

**Gambar 5.152 Rotasi Pondasi  
dengan  $K_h=2.0420E+08$ ;  $K_r=1.1932E+09$**

**Tabel 5.10** Rotasi pondasi maksimum struktur 15 tingkat untuk *Open Frame*

GEMPA	ROTASI ( Rad )	
	<b>Kh = 2,0420E+25, Kr = 1,1932E+25</b>	<b>Kh =2,0420E+08, Kr = 1,1932E+09</b>
BUCHAREST	6,96126296E-19	3,52530749E-03
ELCENTRO	1,07724663E-19	3,14135440E-04
KOYNA	8,56762389E-20	5,11498033E-04

**Tabel 5.11** Rotasi pondasi maksimum struktur 15 tingkat untuk *Braced Tipe X*

GEMPA	ROTASI ( Rad )	
	<b>Kh = 2,0420E+25, Kr = 1,1932E+25</b>	<b>Kh =2,0420E+08, Kr = 1,1932E+09</b>
BUCHAREST	5,32282819E-19	3,66550895E-03
ELCENTRO	1,12730359E-19	3,22160044E-04
KOYNA	1,02932801E-19	5,29010596E-04

**Tabel 5.12** Rotasi pondasi maksimum struktur 15 tingkat untuk *Braced Tipe V*

GEMPA	ROTASI ( Rad )	
	<b>Kh = 2,0420E+25, Kr = 1,1932E+25</b>	<b>Kh =2,0420E+08, Kr = 1,1932E+09</b>
BUCHAREST	5,52135301E-19	3,64946396E-03
ELCENTRO	1,10455232E-19	3,21247765E-04
KOYNA	1,02371112E-19	5,27786424E-04

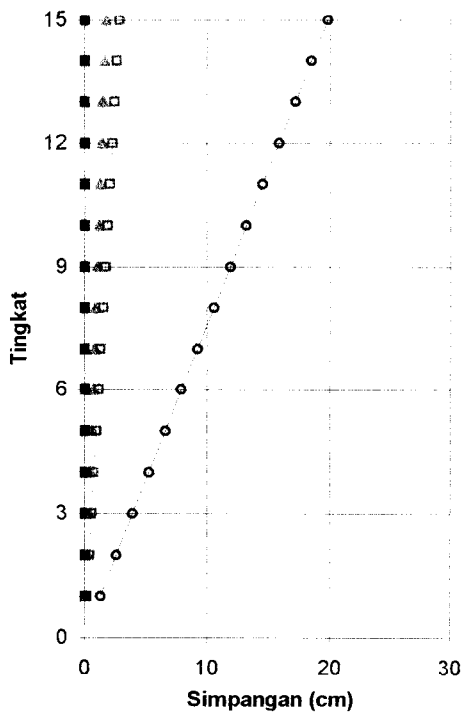
Dari hasil grafik rotasi pondasi pada gambar 5.151 dan gambar 5.152 dan tabel 5.10 sampai dengan 5.12 maka,

1. Sudut Rotasi pada kondisi tanah dianggap jepit penuh akan memberikan sudut rotasi yang kecil (mendekati nol), karena tanah dianggap menyatu atau mampu menjepit pondasi dengan sempurna sehingga perputaran yang ada sangat kecil.
2. Gempa Bucharest akan memberikan nilai sudut rotasi yang paling besar dibandingkan dengan gempa Elcentro dan Koyna, karena gempa Bucharest merupakan gempa dengan frekuensi rendah yang berasosiasi dengan baik dengan bangunan tinggi (berfrekuensi rendah).

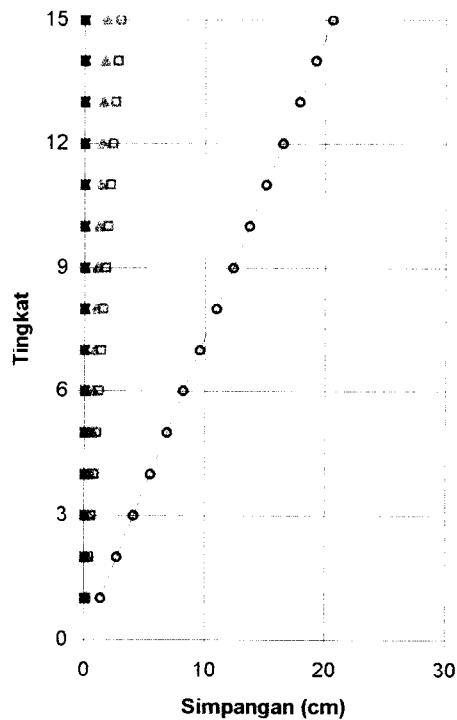
3. Pada kondisi tanah dianggap jepit penuh nilai rotasi pondasi pondasi akibat gempa Elcentro akan lebih besar dari nilai rotasi akibat gempa Koyna, sedangkan pada kondisi tanah tidak dianggap jepit penuh akan terjadi sebaliknya.
4. Pada beban gempa frekuensi rendah (Bucharest) dan kondisi tanah dianggap jepit penuh struktur *open frame* akan memberikan nilai sudut rotasi yang lebih besar dibandingkan dengan struktur yang menggunakan *bracing*. Hal tersebut terjadi karena struktur *open frame* pada kondisi tanah dianggap jepit penuh mempunyai berfrekuensi lebih rendah dibandingkan dengan struktur *braced*, sehingga akan mempunyai nilai rotasi yang lebih besar saat berasosiasi dengan gempa bucharest.
5. Pada beban gempa frekuensi sedang dan tinggi (Elcentro dan Koyna) dan kondisi tanah dianggap jepit penuh struktur *braced X* akan memberikan nilai sudut rotasi yang lebih besar dibandingkan dengan struktur *open frame* dan *braced V*, karena struktur *braced X* mempunyai frekuensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan struktur *open frame* dan *braced V* sehingga akan mempunyai nilai rotasi yang lebih besar saat berasosiasi dengan gempa frekuensi sedang maupun tinggi.

### 5.5.3 Simpangan Rotasi

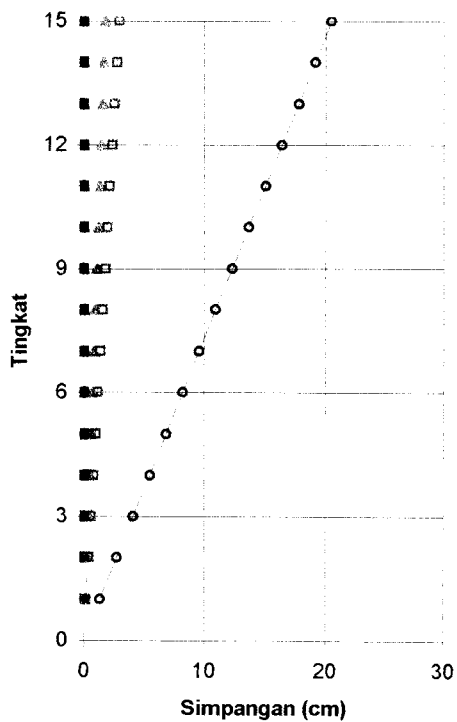
Pembahasan simpangan rotasi berdasarkan gambar 5.153 sampai dengan gambar 5.156 dan tabel 5.13 sampai dengan tabel 5.18 dengan 3 beban gempa dan 2 kombinasi kekakuan horisontal dan kekakuan putar tanah di bawah ini.



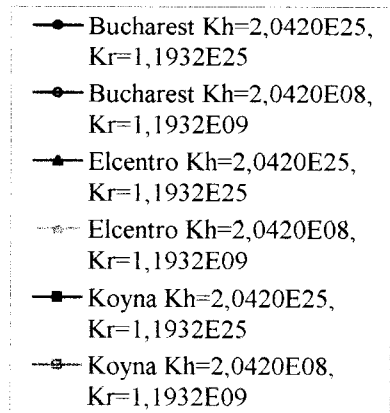
A. Struktur Open Frame



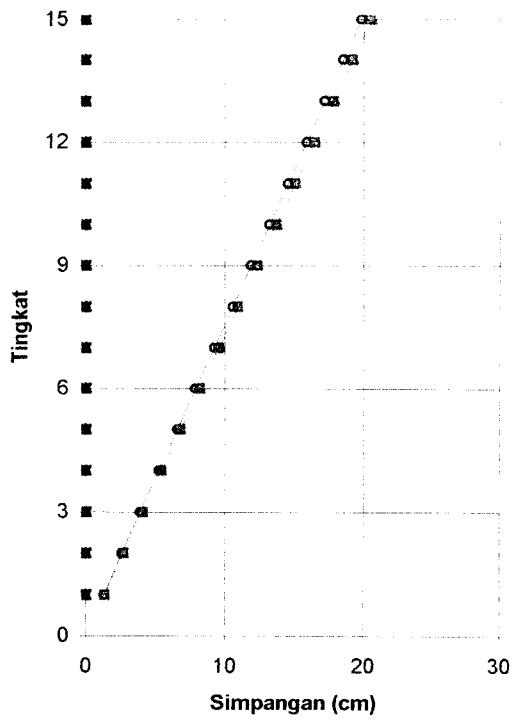
B. Struktur Braced X



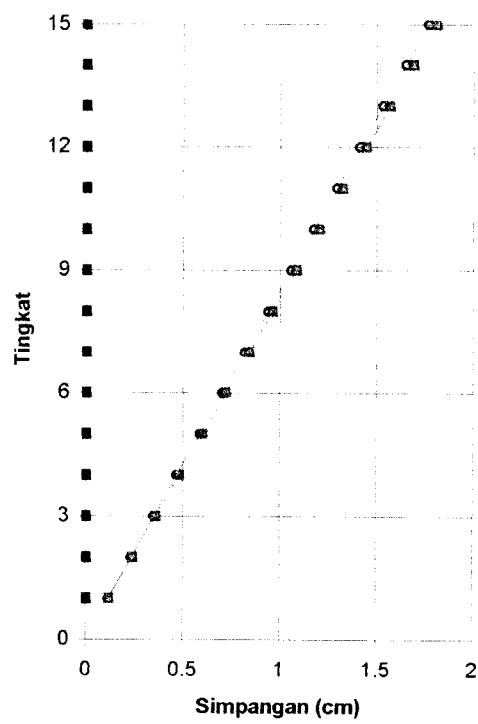
C. Struktur Braced V



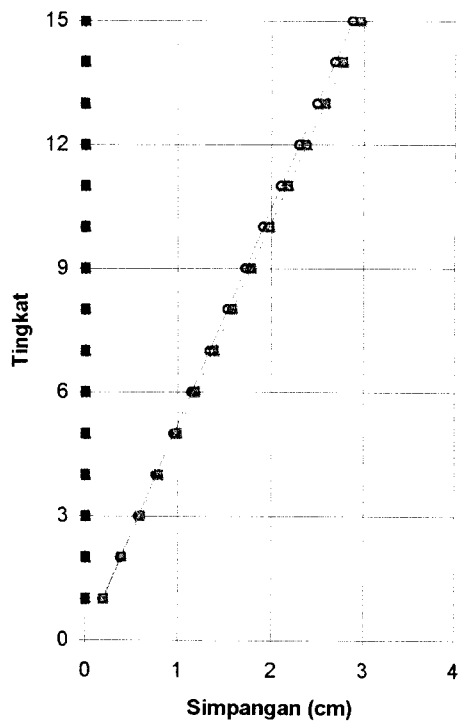
Gambar 5.153 Grafik Simpangan Rotasi Maksimum akibat 3 gempa



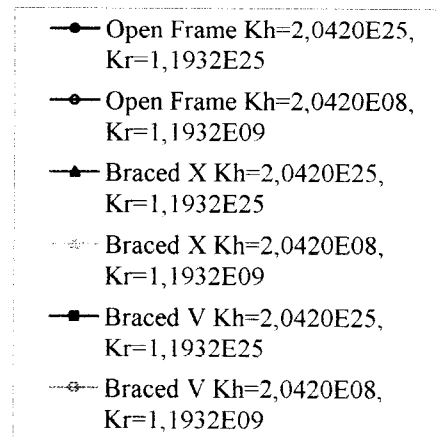
A. Gempa Bucharest



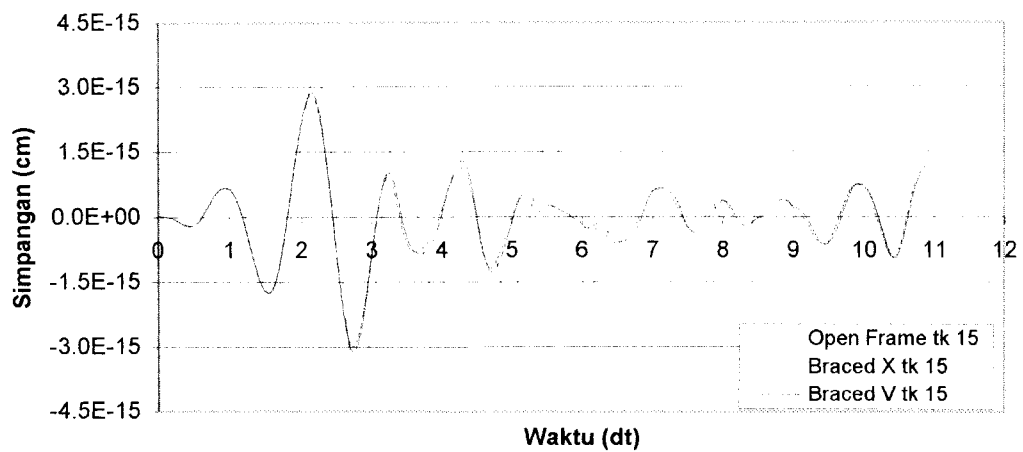
B. Gempa Elcentro



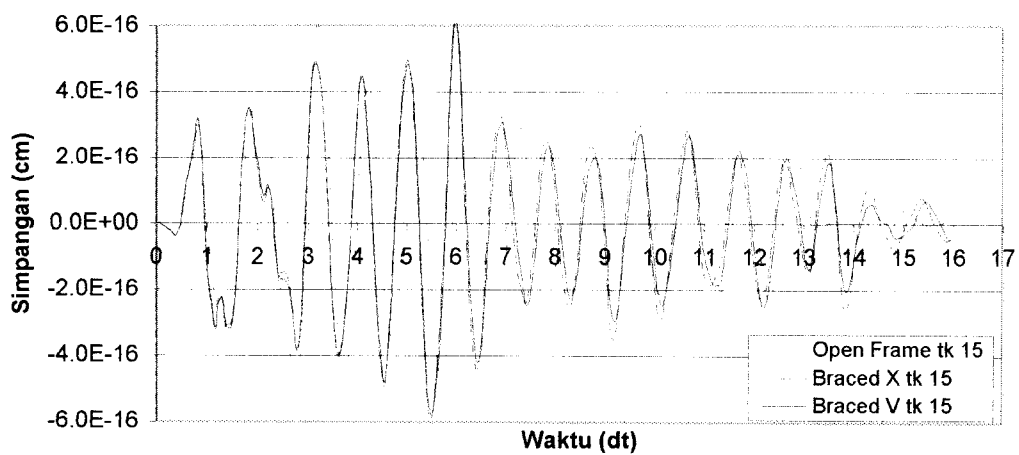
C. Gempa Koyna



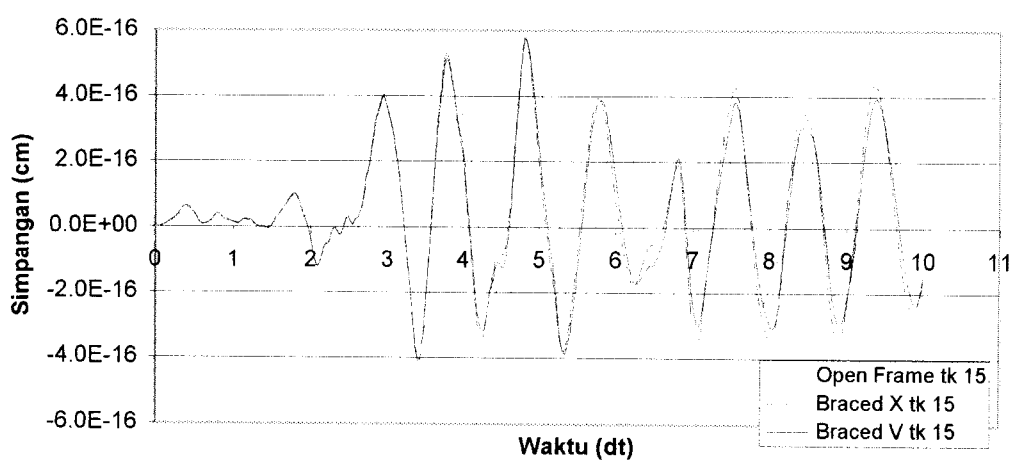
Gambar 5.154 Grafik Simpangan Rotasi Maksimum dengan 6 kombinasi



**A. Gempa Bucharest**

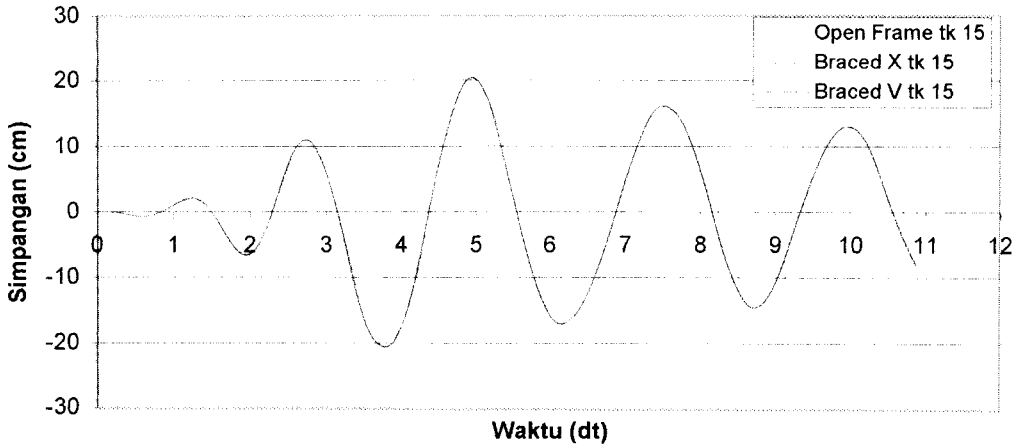


**B. Gempa Elcentro**

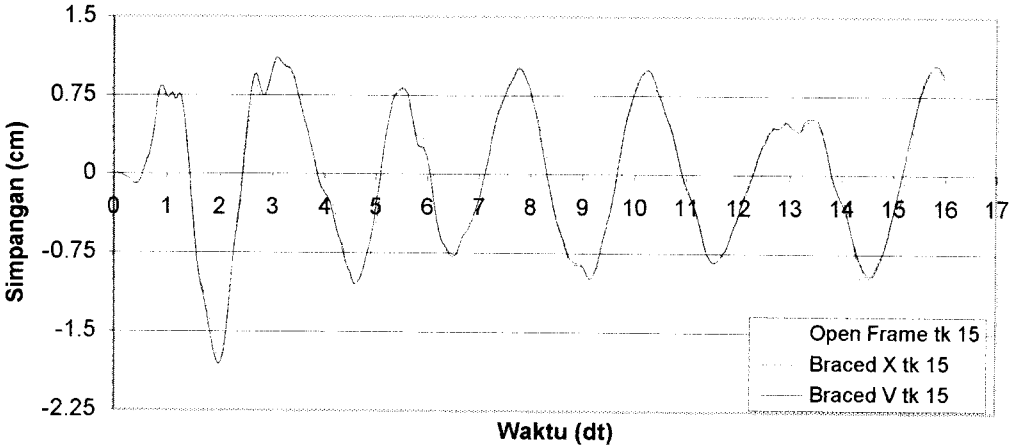


**C. Gempa Koyna**

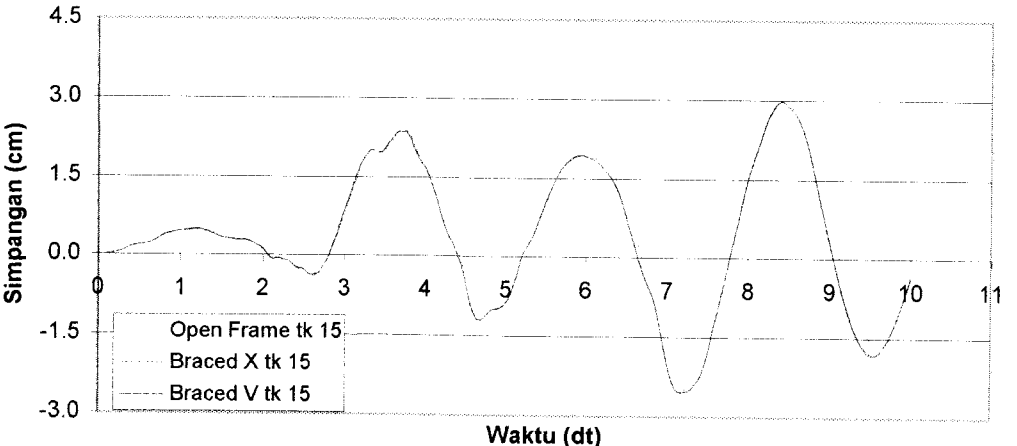
**Gambar 5.155 Simpangan Rotasi Maksimum dengan  $K_h=2.0420E+25$ ;  $K_r=1.1932E+25$**



A. Gempa Bucharest



B. Gempa Elcentro



C. Gempa Koyna

Gambar 5.156 Simpangan Rotasi Maksimum dengan  $K_h=2.0420E+08$ ;  $K_r=1.1932E+09$



**Tabel 5.13** Simpangan rotasi maksimum struktur 15 tingkat  $kh=2.0420E+25$ ,  
 $kr=1.1932E+25$  dengan menggunakan gempa Bucharest

Tingkat	Simpangan Rotasi (cm)		
	Open Frame	Braced X	Braced V
1	2,6105E-16	1,9961E-16	2,0705E-16
2	5,2209E-16	3,9921E-16	4,1410E-16
3	7,8314E-16	5,9882E-16	6,2115E-16
4	1,0442E-15	7,9842E-16	8,2820E-16
5	1,3052E-15	9,9803E-16	1,0353E-15
6	1,5663E-15	1,1976E-15	1,2423E-15
7	1,8273E-15	1,3972E-15	1,4494E-15
8	2,0884E-15	1,5968E-15	1,6564E-15
9	2,3494E-15	1,7965E-15	1,8635E-15
10	2,6105E-15	1,9961E-15	2,0705E-15
11	2,8715E-15	2,1957E-15	2,2776E-15
12	3,1326E-15	2,3953E-15	2,4846E-15
13	3,3936E-15	2,5949E-15	2,6917E-15
14	3,6547E-15	2,7945E-15	2,8987E-15
15	3,9157E-15	2,9941E-15	3,1058E-15

**Tabel 5.14** Simpangan rotasi maksimum struktur 15 tingkat  $kh=2.0420E+08$ ,  
 $kr=1.1932E+09$  dengan menggunakan gempa Bucharest

Tingkat	Simpangan Rotasi (cm)		
	Open Frame	Braced X	Braced V
1	1,3220E+00	1,3746E+00	1,3686E+00
2	2,6440E+00	2,7491E+00	2,7371E+00
3	3,9660E+00	4,1237E+00	4,1057E+00
4	5,2880E+00	5,4983E+00	5,4742E+00
5	6,6100E+00	6,8729E+00	6,8428E+00
6	7,9320E+00	8,2474E+00	8,2113E+00
7	9,2540E+00	9,6220E+00	9,5799E+00
8	1,0576E+01	1,0997E+01	1,0948E+01
9	1,1898E+01	1,2371E+01	1,2317E+01
10	1,3220E+01	1,3746E+01	1,3686E+01
11	1,4542E+01	1,5120E+01	1,5054E+01
12	1,5864E+01	1,6495E+01	1,6423E+01
13	1,7186E+01	1,7869E+01	1,7791E+01
14	1,8508E+01	1,9244E+01	1,9160E+01
15	1,9830E+01	2,0619E+01	2,0528E+01

**Tabel 5.15** Simpangan rotasi maksimum struktur 15 tingkat  $kh=2.0420E+25$ ,  
 $kr=1.1932E+25$  dengan menggunakan gempa Elcentro

Tingkat	Simpangan Rotasi (cm)		
	Open Frame	Braced X	Braced V
1	4,0397E-17	4,2274E-17	4,1421E-17
2	8,0793E-17	8,4548E-17	8,2841E-17
3	1,2119E-16	1,2682E-16	1,2426E-16
4	1,6159E-16	1,6910E-16	1,6568E-16
5	2,0198E-16	2,1137E-16	2,0710E-16
6	2,4238E-16	2,5364E-16	2,4852E-16
7	2,8278E-16	2,9592E-16	2,8994E-16
8	3,2317E-16	3,3819E-16	3,3137E-16
9	3,6357E-16	3,8046E-16	3,7279E-16
10	4,0397E-16	4,2274E-16	4,1421E-16
11	4,4436E-16	4,6501E-16	4,5563E-16
12	4,8476E-16	5,0729E-16	4,9705E-16
13	5,2516E-16	5,4956E-16	5,3847E-16
14	5,6555E-16	5,9183E-16	5,7989E-16
15	6,0595E-16	6,3411E-16	6,2131E-16

**Tabel 5.16** Simpangan rotasi maksimum struktur 15 tingkat  $kh=2.0420E+08$ ,  
 $kr=1.1932E+09$  dengan menggunakan gempa Elcentro

Tingkat	Simpangan Rotasi (cm)		
	Open Frame	Braced X	Braced V
1	1,1780E-01	1,2081E-01	1,2047E-01
2	2,3560E-01	2,4162E-01	2,4094E-01
3	3,5340E-01	3,6243E-01	3,6140E-01
4	4,7120E-01	4,8324E-01	4,8187E-01
5	5,8900E-01	6,0405E-01	6,0234E-01
6	7,0680E-01	7,2486E-01	7,2281E-01
7	8,2461E-01	8,4567E-01	8,4328E-01
8	9,4241E-01	9,6648E-01	9,6374E-01
9	1,0602E+00	1,0873E+00	1,0842E+00
10	1,1780E+00	1,2081E+00	1,2047E+00
11	1,2958E+00	1,3289E+00	1,3251E+00
12	1,4136E+00	1,4497E+00	1,4456E+00
13	1,5314E+00	1,5705E+00	1,5661E+00
14	1,6492E+00	1,6913E+00	1,6866E+00
15	1,7670E+00	1,8122E+00	1,8070E+00

**Tabel 5.17** Simpangan rotasi maksimum struktur 15 tingkat  $kh=2.0420E+25$ ,  
 $kr=1.1932E+25$  dengan menggunakan gempa Koyna

Tingkat	Simpangan Rotasi (cm)		
	Open Frame	Braced X	Braced V
1	3,2129E-17	3,8600E-17	3,8389E-17
2	6,4257E-17	7,7200E-17	7,6778E-17
3	9,6386E-17	1,1580E-16	1,1517E-16
4	1,2851E-16	1,5440E-16	1,5356E-16
5	1,6064E-16	1,9300E-16	1,9195E-16
6	1,9277E-16	2,3160E-16	2,3034E-16
7	2,2490E-16	2,7020E-16	2,6872E-16
8	2,5703E-16	3,0880E-16	3,0711E-16
9	2,8916E-16	3,4740E-16	3,4550E-16
10	3,2129E-16	3,8600E-16	3,8389E-16
11	3,5341E-16	4,2460E-16	4,2228E-16
12	3,8554E-16	4,6320E-16	4,6067E-16
13	4,1767E-16	5,0180E-16	4,9906E-16
14	4,4980E-16	5,4040E-16	5,3745E-16
15	4,8193E-16	5,7900E-16	5,7584E-16

**Tabel 5.18** Simpangan rotasi maksimum struktur 15 tingkat  $kh=2.0420E+08$ ,  
 $kr=1.1932E+09$  dengan menggunakan gempa Koyna

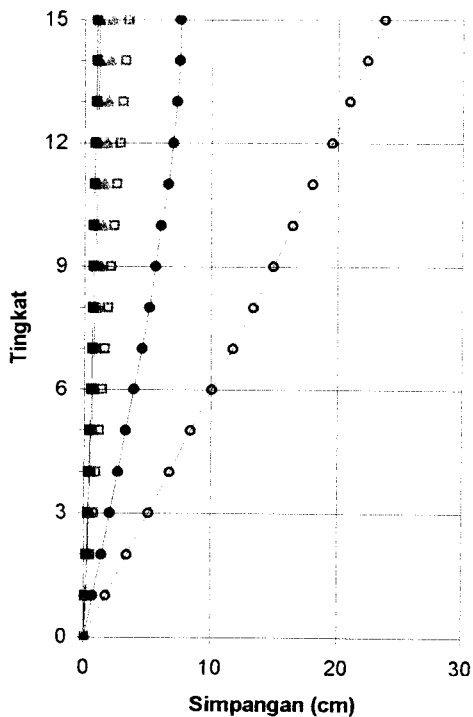
Tingkat	Simpangan Rotasi (cm)		
	Open Frame	Braced X	Braced V
1	1,9181E-01	1,9838E-01	1,9792E-01
2	3,8362E-01	3,9676E-01	3,9584E-01
3	5,7544E-01	5,9514E-01	5,9376E-01
4	7,6725E-01	7,9352E-01	7,9168E-01
5	9,5906E-01	9,9189E-01	9,8960E-01
6	1,1509E+00	1,1903E+00	1,1875E+00
7	1,3427E+00	1,3887E+00	1,3854E+00
8	1,5345E+00	1,5870E+00	1,5834E+00
9	1,7263E+00	1,7854E+00	1,7813E+00
10	1,9181E+00	1,9838E+00	1,9792E+00
11	2,1099E+00	2,1822E+00	2,1771E+00
12	2,3017E+00	2,3805E+00	2,3750E+00
13	2,4936E+00	2,5789E+00	2,5730E+00
14	2,6854E+00	2,7773E+00	2,7709E+00
15	2,8772E+00	2,9757E+00	2,9688E+00

Dari hasil grafik simpangan rotasi maksimum pada gambar 5.153 sampai dengan gambar 5.156 dengan 2 kombinasi kekakuan horisontal tanah dan kekakuan putar tanah maka,

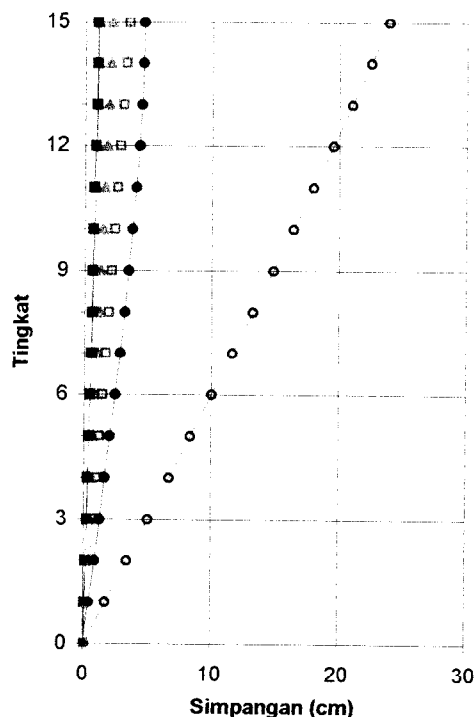
1. Gempa Bucharest akan memberikan simpangan akibat rotasi yang lebih besar dibandingkan dengan gempa Elcentro dan Koyna, karena gempa Bucharest (frekuensi rendah) akan berasosiasi dengan baik terhadap bangunan bertingkat tinggi (berfrekuensi rendah) dibandingkan dengan gempa Elcentro (frekuensi sedang) dan Koyna (frekuensi tinggi).
2. Simpangan akibat rotasi akan semakin besar pada tingkat yang lebih tinggi, karena simpangan akibat rotasi berbanding lurus dengan sudut rotasi dan tinggi struktur.
3. Pada kondisi tanah dianggap jepit penuh nilai simpangan rotasi akan mendekati nilai nol, karena tanah dianggap menjepit bangunan dengan sempurna sehingga sudut perputaran bangunan sangat kecil dan simpangan akibat rotasi menjadi sangat kecil.
4. Pada kondisi tanah dianggap jepit penuh gempa Elcentro akan menghasilkan simpangan yang lebih besar dari gempa Koyna, sedangkan pada kondisi tanah dianggap tidak jepit penuh akan berlaku sebaliknya.

#### **5.5.4 Simpangan Total**

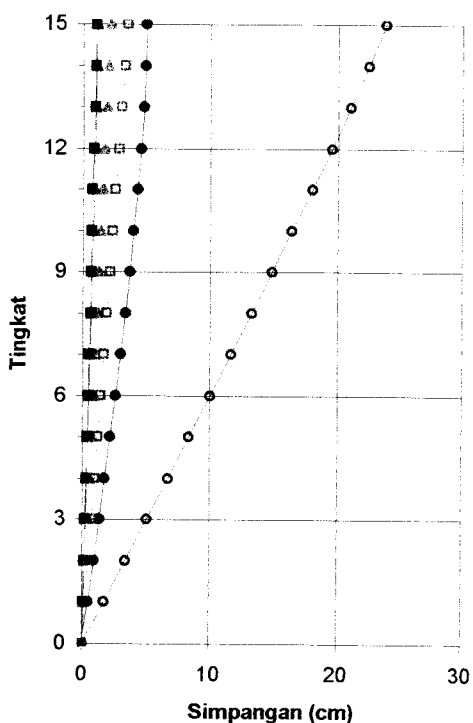
Pembahasan simpangan total berdasarkan gambar 5.157 sampai dengan gambar 5.160 dan tabel 5.19 sampai dengan tabel 5.24 dengan 3 beban gempa dan 2 kombinasi kekakuan horisontal dan kekakuan putar tanah di bawah ini.



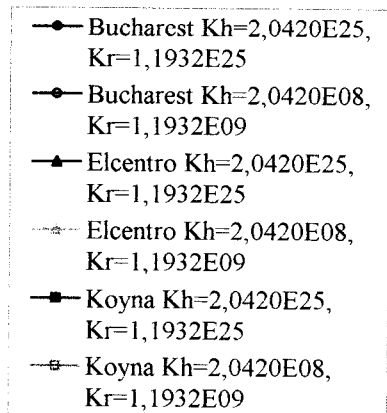
A. Struktur Open Frame



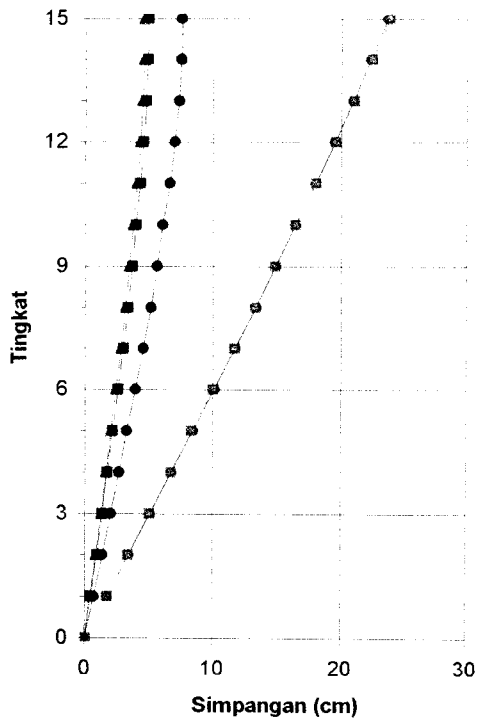
B. Struktur Braced X



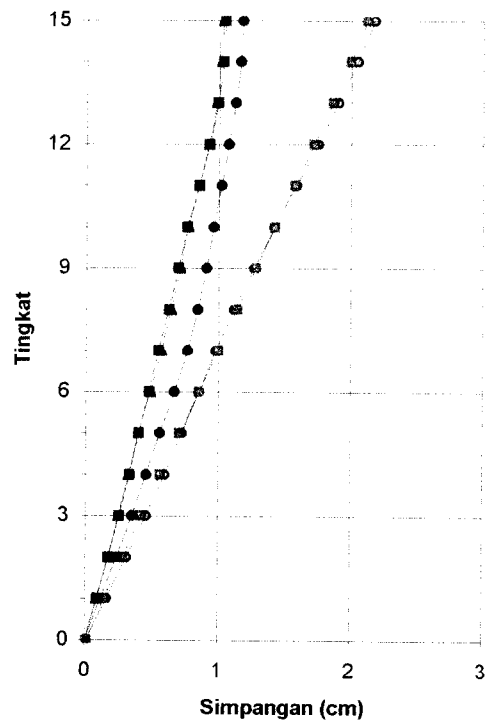
C. Struktur Braced V



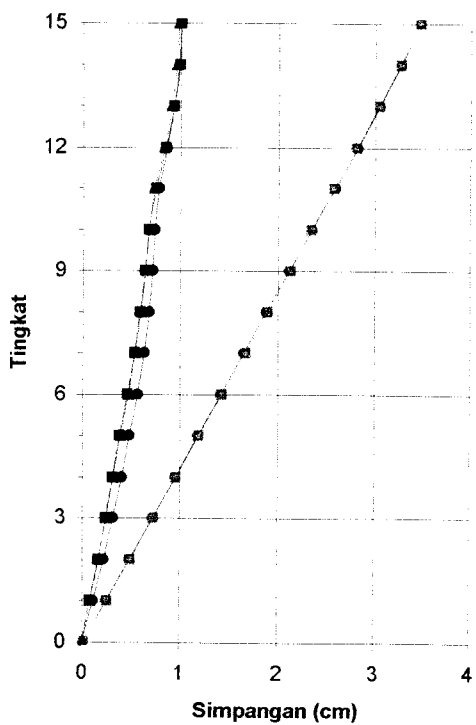
Gambar 5.157 Grafik Simpangan Total Maksimum akibat 3 gempa



A. Gempa Bucharest



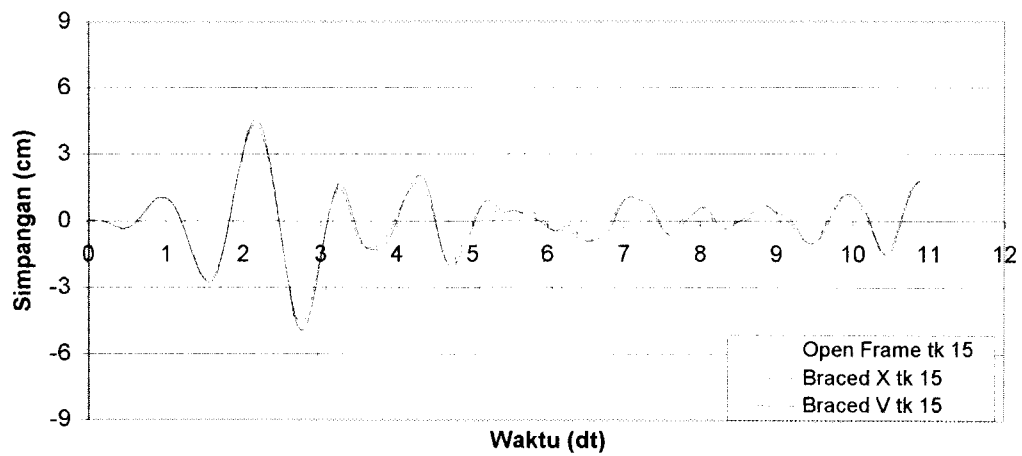
B. Gempa Elcentro



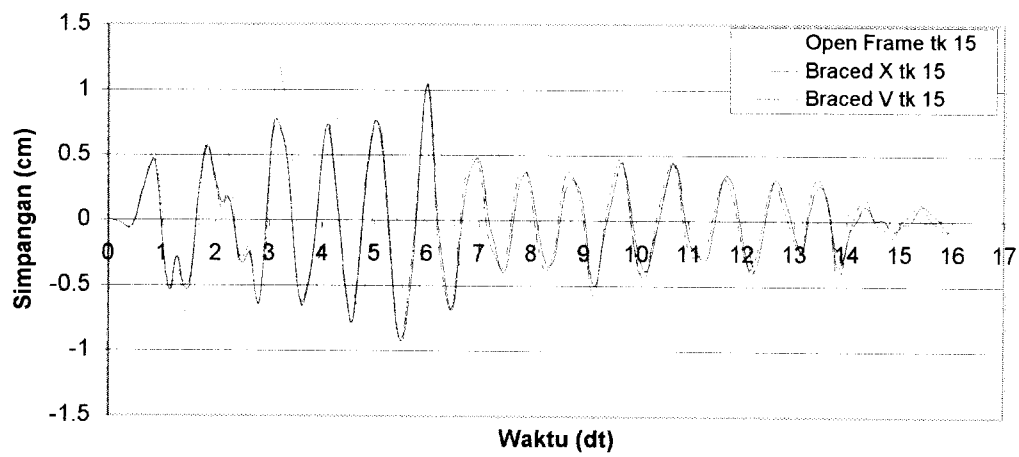
C. Gempa Koyna

- Open Frame  $K_h=2,0420E25$ ,  $K_r=1,1932E25$
- Open Frame  $K_h=2,0420E08$ ,  $K_r=1,1932E09$
- ▲— Braced X  $K_h=2,0420E25$ ,  $K_r=1,1932E25$
- ◻— Braced X  $K_h=2,0420E08$ ,  $K_r=1,1932E09$
- Braced V  $K_h=2,0420E25$ ,  $K_r=1,1932E25$
- ◻— Braced V  $K_h=2,0420E08$ ,  $K_r=1,1932E09$

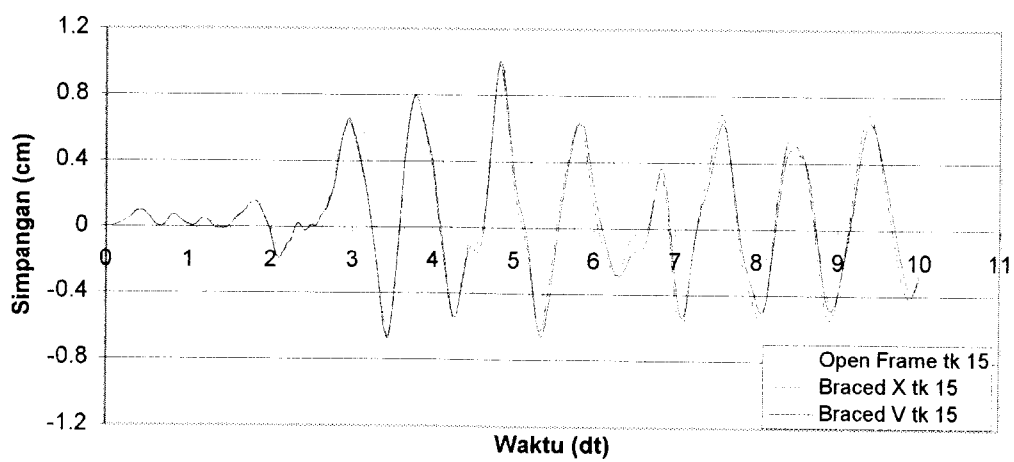
Gambar 5.158 Grafik Simpangan Total Maksimum dengan 6 kombinasi



### A. Gempa Bucharest

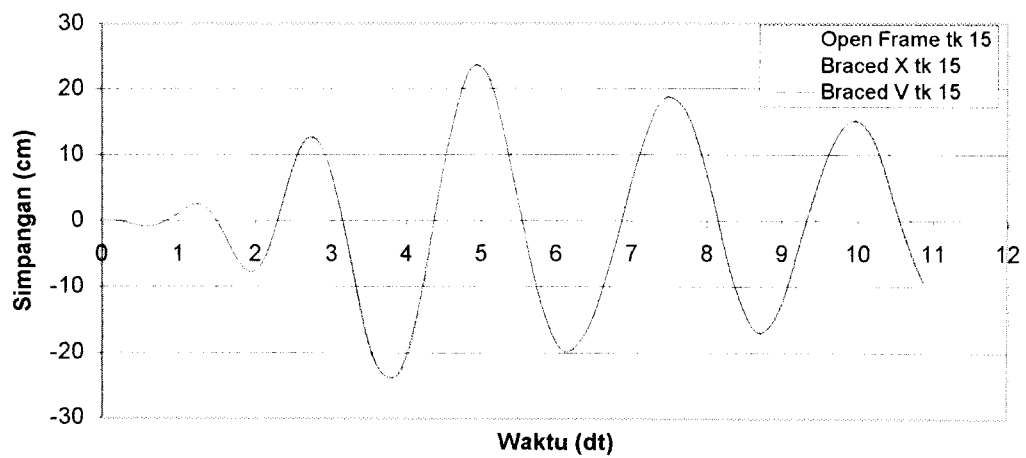


### B. Gempa Elcentro

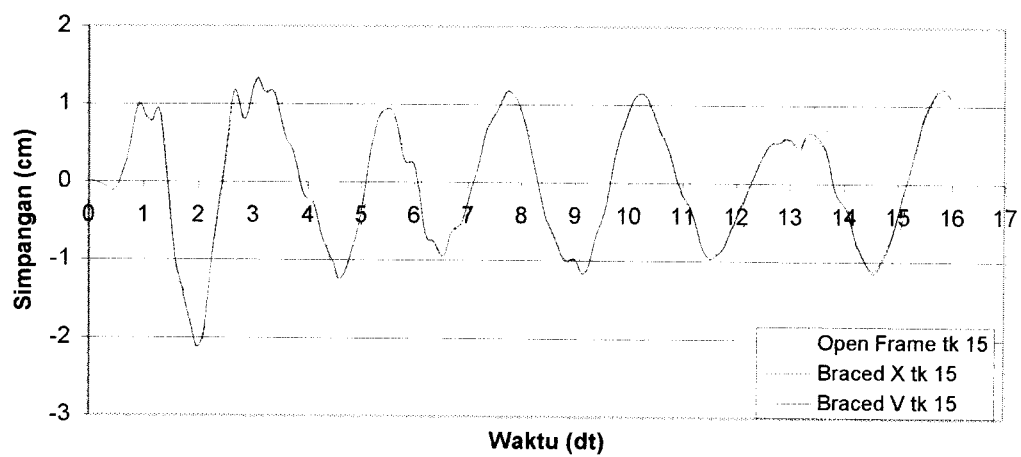


### C. Gempa Koyna

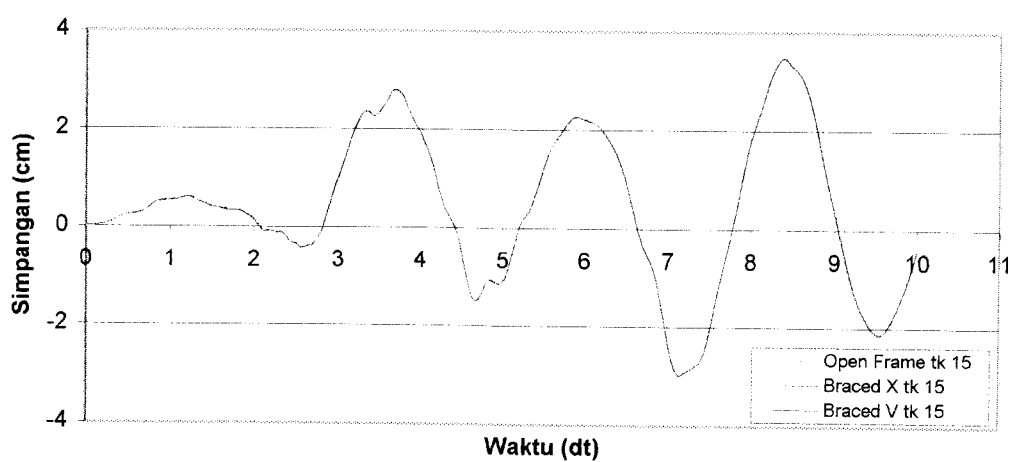
**Gambar5.159 Simpangan Total Maksimum dengan  $K_h=2.0420E+25$ ;  $K_r=1.1932E+25$**



**A. Gempa Bucharest**



**B. Gempa Elcentro**



**C. Gempa Koyna**

**Gambar 5.160 Simpangan Total Maksimum dengan  $K_h=2.0420E+08$ ;  $K_r=1.1932E+09$**



**Tabel 5.19** Simpangan total maksimum struktur 15 tingkat  $kh=2.0420E+25$ ,  
 $kr=1.1932E+25$  dengan menggunakan gempa Bucharest

Tingkat	Simpangan Total (cm)		
	Open Frame	Braced X	Braced V
0	1,1948E-18	9,1261E-19	9,4521E-19
1	7,1309E-01	4,4078E-01	4,6879E-01
2	1,4039E+00	8,6591E-01	9,2113E-01
3	2,0678E+00	1,2734E+00	1,3548E+00
4	2,7003E+00	1,6612E+00	1,7677E+00
5	3,2975E+00	2,0272E+00	2,1580E+00
6	3,9672E+00	2,4364E+00	2,5949E+00
7	4,5845E+00	2,8154E+00	2,9988E+00
8	5,1450E+00	3,1603E+00	3,3662E+00
9	5,6438E+00	3,4680E+00	3,6940E+00
10	6,0756E+00	3,7355E+00	3,9788E+00
11	6,6012E+00	4,0488E+00	4,3152E+00
12	7,0184E+00	4,2991E+00	4,5839E+00
13	7,3213E+00	4,4827E+00	4,7801E+00
14	7,5059E+00	4,5951E+00	4,9002E+00
15	7,5697E+00	4,6341E+00	4,9418E+00

**Tabel 5.20** Simpangan total maksimum struktur 15 tingkat  $kh=2.0420E+08$ ,  
 $kr=1.1932E+09$  dengan menggunakan gempa Bucharest

Tingkat	Simpangan Total (cm)		
	Open Frame	Braced X	Braced V
0	6,3469E-02	6,3781E-02	6,3817E-02
1	1,7653E+00	1,7438E+00	1,7463E+00
2	3,4574E+00	3,4164E+00	3,4210E+00
3	5,1356E+00	5,0787E+00	5,0849E+00
4	6,7954E+00	6,7275E+00	6,7348E+00
5	8,4331E+00	8,3602E+00	8,3677E+00
6	1,0104E+01	1,0021E+01	1,0030E+01
7	1,1740E+01	1,1659E+01	1,1667E+01
8	1,3341E+01	1,3270E+01	1,3276E+01
9	1,4902E+01	1,4851E+01	1,4856E+01
10	1,6424E+01	1,6406E+01	1,6408E+01
11	1,7984E+01	1,7989E+01	1,7988E+01
12	1,9493E+01	1,9532E+01	1,9528E+01
13	2,0951E+01	2,1030E+01	2,1022E+01
14	2,2358E+01	2,2481E+01	2,2468E+01
15	2,3710E+01	2,3883E+01	2,3864E+01

**Tabel 5.21** Simpangan total maksimum struktur 15 tingkat  $kh=2.0420E+25$ ,  
 $kr=1.1932E+25$  dengan menggunakan gempa Elcentro

Tingkat	Simpangan Total (cm)		
	Open Frame	Braced X	Braced V
0	1,9841E-19	1,7691E-19	1,7699E-19
1	1,1926E-01	8,5294E-02	8,7797E-02
2	2,3689E-01	1,6883E-01	1,7400E-01
3	3,5108E-01	2,4833E-01	2,5641E-01
4	4,5979E-01	3,2235E-01	3,3311E-01
5	5,6067E-01	3,9679E-01	4,0284E-01
6	6,6970E-01	4,8450E-01	4,7674E-01
7	7,6487E-01	5,6626E-01	5,4673E-01
8	8,4523E-01	6,4130E-01	6,2322E-01
9	9,0988E-01	7,0982E-01	6,9558E-01
10	9,6202E-01	7,7224E-01	7,6281E-01
11	1,0222E+00	8,5220E-01	8,5006E-01
12	1,0762E+00	9,2398E-01	9,2857E-01
13	1,1269E+00	9,8201E-01	9,9197E-01
14	1,1649E+00	1,0188E+00	1,0319E+00
15	1,1799E+00	1,0323E+00	1,0468E+00

**Tabel 5.22** Simpangan total maksimum struktur 15 tingkat  $kh=2.0420E+08$ ,  
 $kr=1.1932E+09$  dengan menggunakan gempa Elcentro

Tingkat	Simpangan Total (cm)		
	Open Frame	Braced X	Braced V
0	1,0912E-02	1,1211E-02	1,1154E-02
1	1,6290E-01	1,4577E-01	1,4282E-01
2	3,1251E-01	2,8768E-01	2,8264E-01
3	4,5663E-01	4,2929E-01	4,2265E-01
4	5,9436E-01	5,7067E-01	5,6315E-01
5	7,2467E-01	7,1200E-01	7,0435E-01
6	8,5412E-01	8,5711E-01	8,5022E-01
7	9,8154E-01	1,0011E+00	9,9559E-01
8	1,1209E+00	1,1434E+00	1,1396E+00
9	1,2686E+00	1,2844E+00	1,2827E+00
10	1,4185E+00	1,4240E+00	1,4238E+00
11	1,5836E+00	1,5700E+00	1,5715E+00
12	1,7464E+00	1,7147E+00	1,7172E+00
13	1,9024E+00	1,8561E+00	1,8597E+00
14	2,0471E+00	1,9913E+00	1,9951E+00
15	2,1748E+00	2,1178E+00	2,1216E+00

**Tabel 5.23** Simpangan total maksimum struktur 15 tingkat  $kh=2.0420E+25$ ,  
 $kr=1.1932E+25$  dengan menggunakan gempa Koyna

Tingkat	Simpangan Total (cm)		
	Open Frame	Braced X	Braced V
0	1,8243E-19	1,7508E-19	1,6764E-19
1	1,0993E-01	8,0443E-02	7,9791E-02
2	2,1490E-01	1,5744E-01	1,5915E-01
3	3,1271E-01	2,3755E-01	2,3437E-01
4	4,0119E-01	3,1463E-01	3,0766E-01
5	4,7942E-01	3,8854E-01	3,7999E-01
6	5,6077E-01	4,6731E-01	4,6015E-01
7	6,2818E-01	5,3775E-01	5,2990E-01
8	6,7953E-01	5,9621E-01	5,8825E-01
9	7,1326E-01	6,4378E-01	6,3634E-01
10	7,3548E-01	6,8231E-01	6,7508E-01
11	7,8029E-01	7,3243E-01	7,4613E-01
12	8,5724E-01	8,3051E-01	8,4969E-01
13	9,3008E-01	9,0914E-01	9,3236E-01
14	9,8133E-01	9,6116E-01	9,8638E-01
15	1,0001E+00	9,7980E-01	1,0058E+00

**Tabel 5.24** Simpangan total maksimum struktur 15 tingkat  $kh=2.0420E+08$ ,  
 $kr=1.1932E+09$  dengan menggunakan gempa Koyna

Tingkat	Simpangan Total (cm)		
	Open Frame	Braced X	Braced V
0	1,1946E-02	1,3127E-02	1,3059E-02
1	2,4735E-01	2,5122E-01	2,5245E-01
2	4,8350E-01	4,8931E-01	4,9193E-01
3	7,1806E-01	7,2406E-01	7,2763E-01
4	9,5265E-01	9,5739E-01	9,5992E-01
5	1,1837E+00	1,1927E+00	1,1894E+00
6	1,4192E+00	1,4330E+00	1,4287E+00
7	1,6512E+00	1,6692E+00	1,6656E+00
8	1,8828E+00	1,9002E+00	1,8975E+00
9	2,1157E+00	2,1251E+00	2,1237E+00
10	2,3475E+00	2,3447E+00	2,3446E+00
11	2,5906E+00	2,5712E+00	2,5736E+00
12	2,8254E+00	2,8052E+00	2,8101E+00
13	3,0535E+00	3,0372E+00	3,0443E+00
14	3,2720E+00	3,2582E+00	3,2670E+00
15	3,4738E+00	3,4649E+00	3,4739E+00

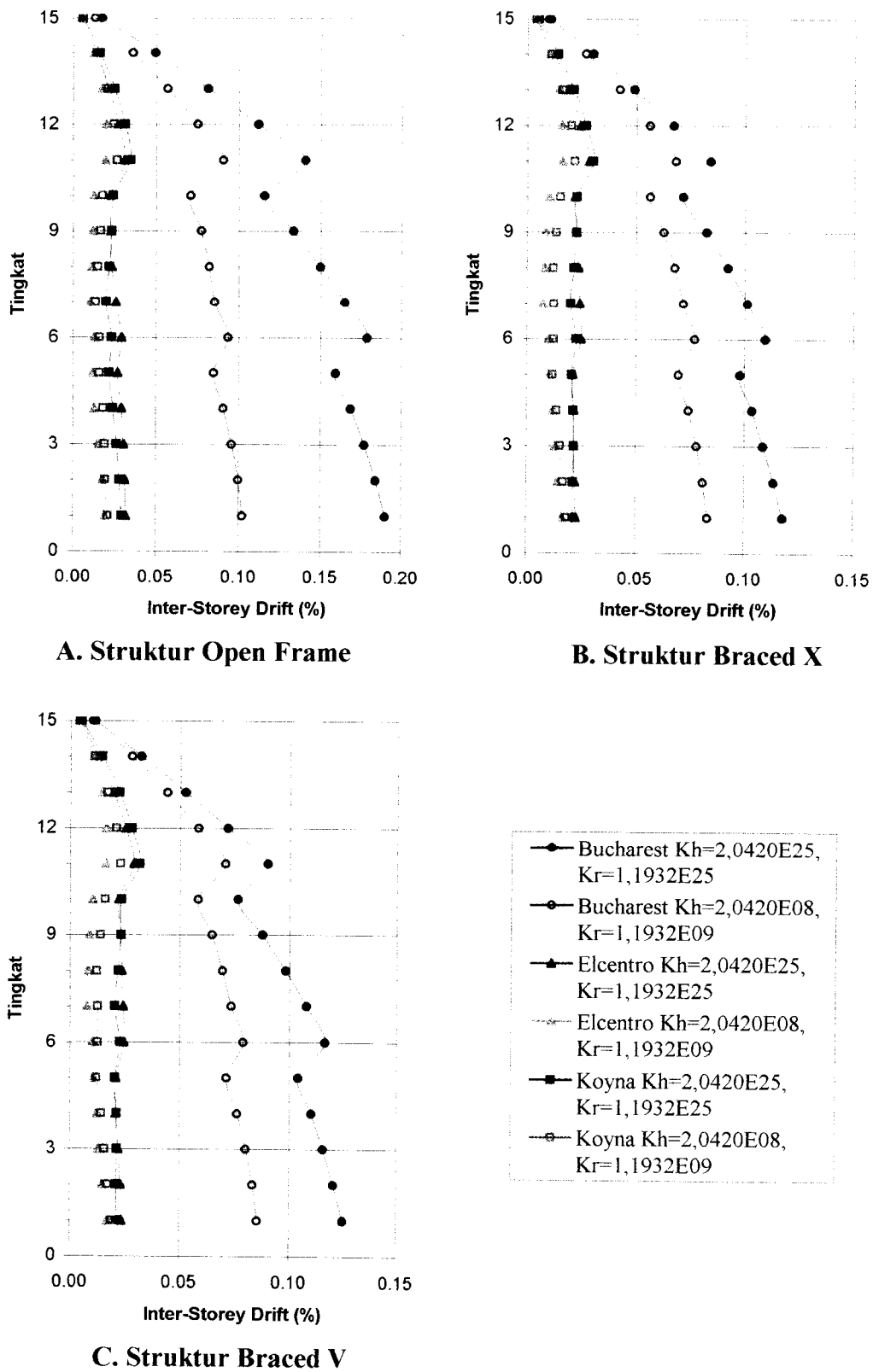
Dari hasil grafik simpangan total maksimum pada gambar 5.157 sampai dengan gambar 5.160 dan tabel 5.19 sampai dengan 5.24 maka,

1. Gempa Bucharest akan memberikan simpangan total yang lebih besar dibandingkan dengan gempa Elcentro dan Koyna, karena gempa Bucharest (frekuensi rendah) akan berasosiasi dengan baik terhadap bangunan bertingkat tinggi (berfrekuensi rendah) dibandingkan dengan gempa Elcentro (frekuensi sedang) dan Koyna (frekuensi tinggi).
2. Simpangan total pada kondisi tanah dianggap jepit penuh akan lebih kecil dibandingkan dengan pada kondisi tanah dianggap tidak jepit penuh (mengalami rotasi). Hal tersebut terjadi karena simpangan total dipengaruhi oleh simpangan netto, akibat rotasi dan simpangan pondasi, sehingga tanah yang mampu berotasi akan mempunyai nilai simpangan total yang lebih besar.
3. Semua struktur pada kondisi tanah tidak dianggap jepit penuh akan mempunyai nilai simpangan total yang relatif sama, karena sudut rotasi yang ada relatif sama sehingga nilai simpangan totalnya pun akan relatif sama.
4. Pada kondisi tanah dianggap jepit penuh struktur *open frame* akan memberikan nilai simpangan total yang lebih besar dibandingkan dengan struktur yang menggunakan *bracing*. Hal tersebut terjadi karena pada kondisi tersebut simpangan total lebih banyak dipengaruhi simpangan netto dari struktur dimana nilai simpangan berbanding terbalik dengan nilai kekakuan tingkat.

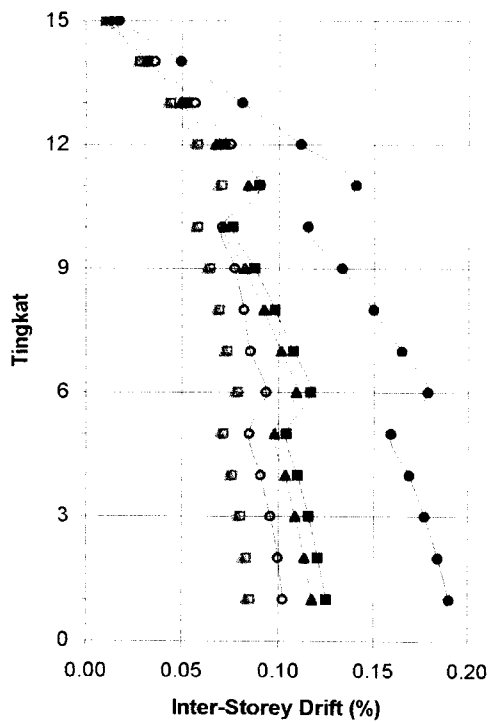
5. Pada beban gempa frekuensi rendah (Bucharest) dan kondisi tanah dianggap tidak jepit penuh struktur *braced X* akan memberikan nilai simpangan total yang lebih besar dibandingkan dengan struktur *braced V* dan *open frame*, karena pada kondisi tersebut simpangan total lebih dipengaruhi oleh simpangan akibat rotasi, sedangkan simpangan akibat rotasi pada struktur *braced X* akan lebih besar dari pada struktur yang lain.

#### **5.5.5 Simpangan Antar Tingkat**

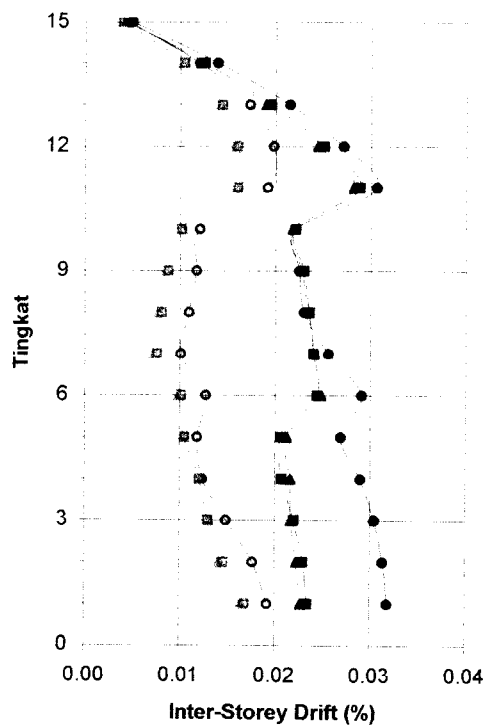
Pembahasan simpangan antar tingkat berdasarkan gambar 5.161 sampai dengan gambar 5.164 dan tabel 5.25 sampai dengan tabel 5.30 dengan 3 beban gempa dan 2 kombinasi kekakuan horisontal dan kekakuan putar tanah di bawah ini.



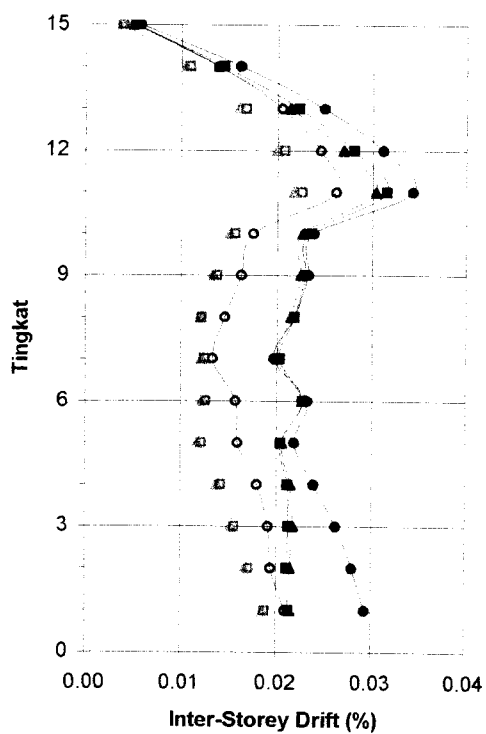
Gambar 5.161 Grafik Inter-Storey Drift Maksimum akibat 3 gempa



**A. Gempa Bucharest**



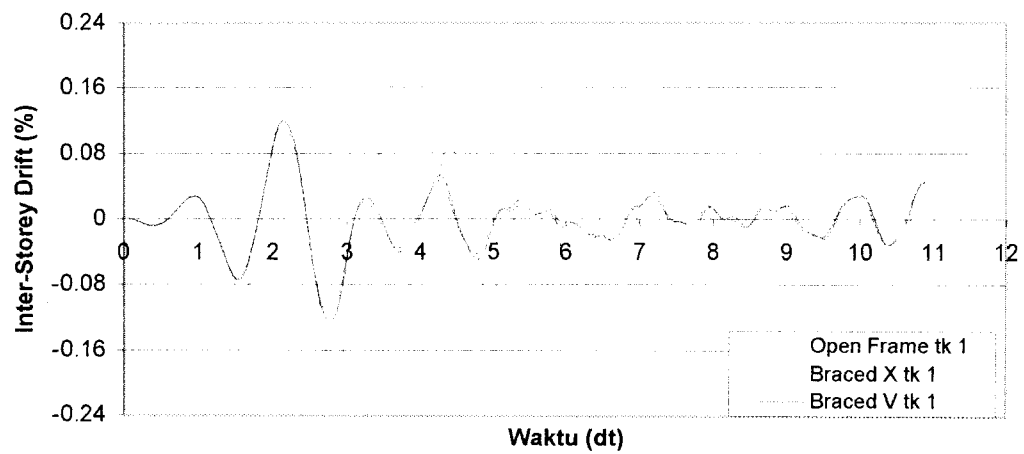
**B. Gempa Elcentro**



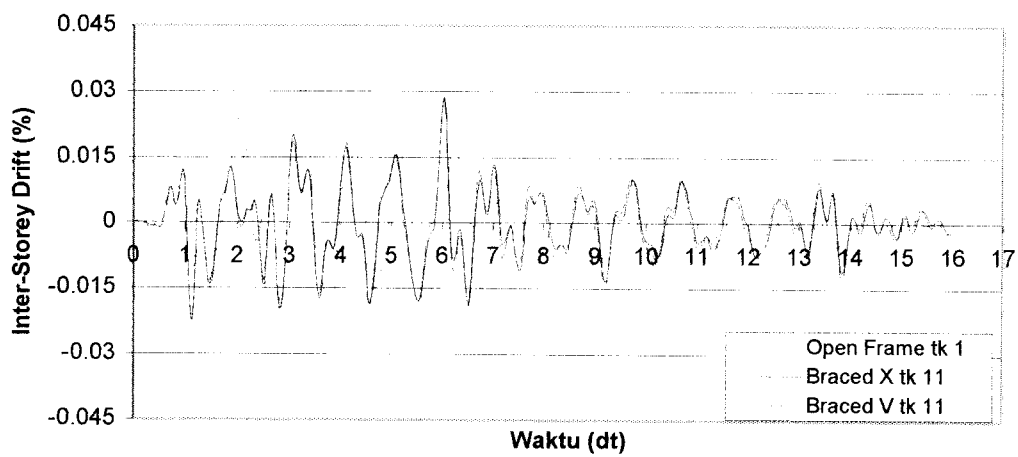
**C. Gempa Koyna**

- Open Frame  $K_h=2,0420E25$ ,  $K_r=1,1932E25$
- Open Frame  $K_h=2,0420E08$ ,  $K_r=1,1932E09$
- ▲ Braced X  $K_h=2,0420E25$ ,  $K_r=1,1932E25$
- ◆ Braced X  $K_h=2,0420E08$ ,  $K_r=1,1932E09$
- Braced V  $K_h=2,0420E25$ ,  $K_r=1,1932E25$
- Braced V  $K_h=2,0420E08$ ,  $K_r=1,1932E09$

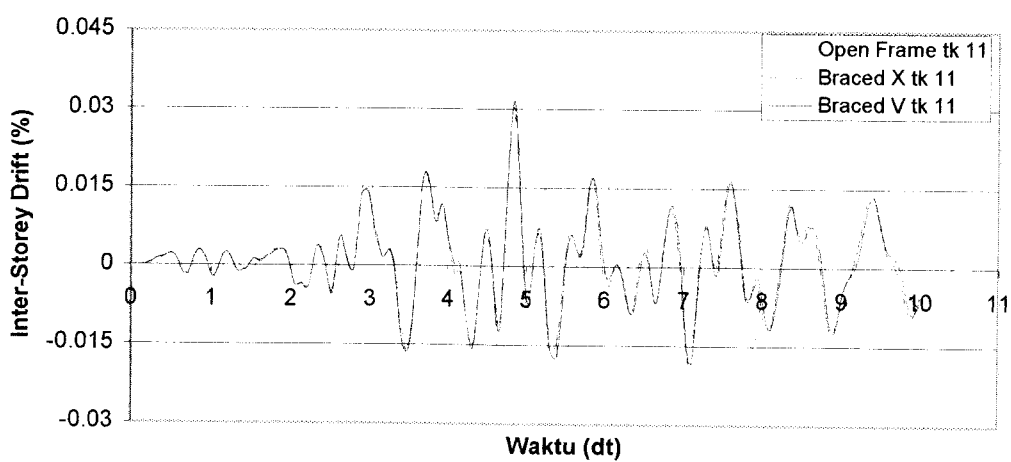
**Gambar 5.162 Grafik Inter-Storey Drift Maksimum dengan 6 kombinasi**



### A. Gempa Bucharest



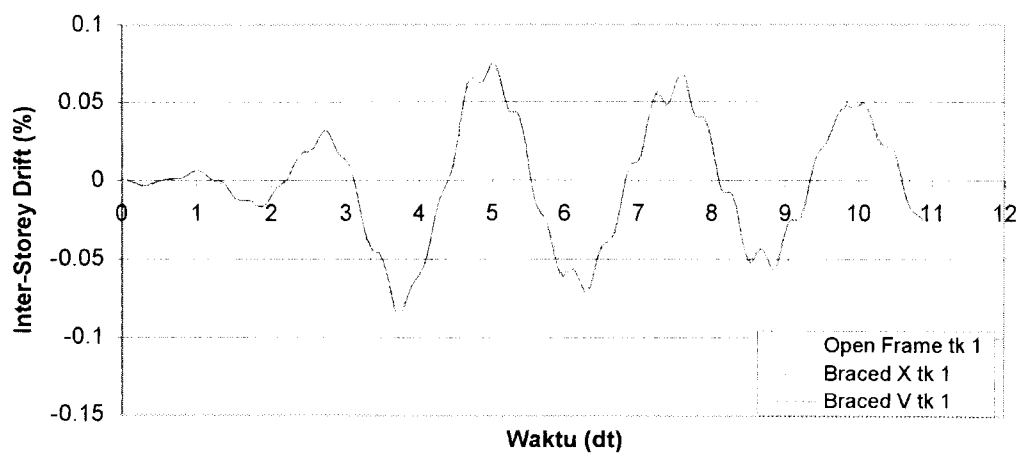
### B. Gempa Elcentro



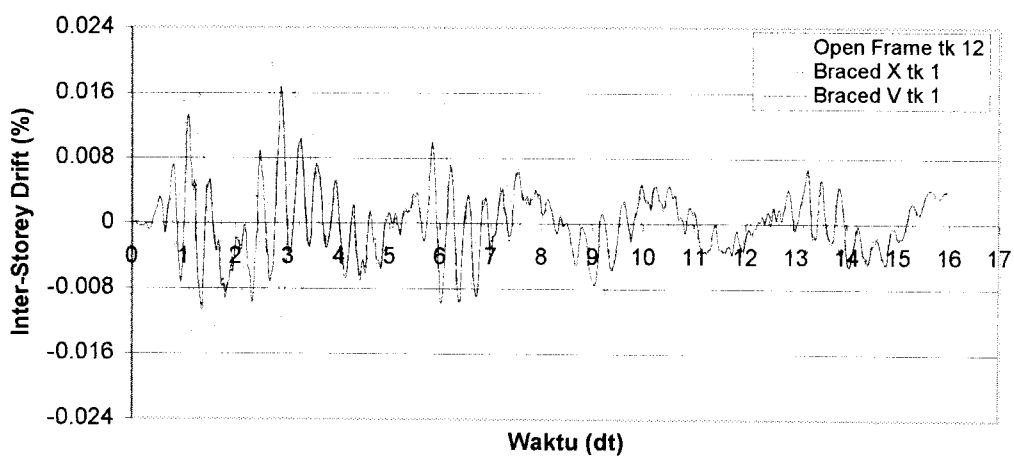
### C. Gempa Koyna

**Gambar 5.163 Inter-Storey Drift Maksimum dengan  $K_h=2.0420E+25$ ;  $K_r=1.1932E+25$**

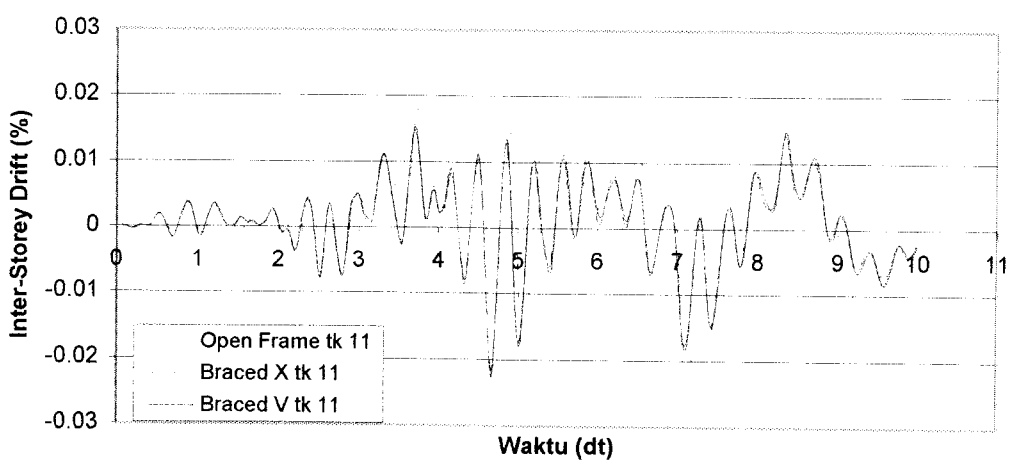




**A. Gempa Bucharest**



**B. Gempa Elcentro**



**C. Gempa Koyna**

**Gambar 5.164 Inter-Storey Drift Maksimum dengan  $K_h=2.0420E+08$ ;  $K_r=1.1932E+09$**

**Tabel 5.25** Simpangan antar tingkat maksimum struktur 15 tingkat  
 $kh=2.0420E+25$ ,  $kr=1.1932E+25$  dengan menggunakan gempa  
 Bucharest

Tingkat	Simpangan Antar Tingkat (%)		
	Open Frame	Braced X	Braced V
1	1,9016E-01	1,1754E-01	1,2501E-01
2	1,8422E-01	1,1337E-01	1,2062E-01
3	1,7703E-01	1,0866E-01	1,1568E-01
4	1,6868E-01	1,0346E-01	1,1021E-01
5	1,5927E-01	9,7754E-02	1,0414E-01
6	1,7877E-01	1,0931E-01	1,1656E-01
7	1,6493E-01	1,0114E-01	1,0784E-01
8	1,4966E-01	9,2131E-02	9,8215E-02
9	1,3312E-01	8,2279E-02	8,7681E-02
10	1,1532E-01	7,1603E-02	7,6309E-02
11	1,4049E-01	8,3977E-02	8,9905E-02
12	1,1160E-01	6,7111E-02	7,1813E-02
13	8,1146E-02	4,9051E-02	5,2465E-02
14	4,9499E-02	3,0046E-02	3,2126E-02
15	1,7133E-02	1,0423E-02	1,1143E-02

**Tabel 5.26** Simpangan antar tingkat maksimum struktur 15 tingkat  
 $kh=2.0420E+08$ ,  $kr=1.1932E+09$  dengan menggunakan gempa  
 Bucharest

Tingkat	Simpangan Antar Tingkat (%)		
	Open Frame	Braced X	Braced V
1	1,0252E-01	8,3199E-02	8,5525E-02
2	9,9838E-02	8,1068E-02	8,3308E-02
3	9,5943E-02	7,8057E-02	8,0162E-02
4	9,0904E-02	7,4220E-02	7,6178E-02
5	8,4847E-02	6,9630E-02	7,1396E-02
6	9,3531E-02	7,7045E-02	7,8926E-02
7	8,5375E-02	7,1760E-02	7,3369E-02
8	8,2091E-02	6,7791E-02	6,9469E-02
9	7,7293E-02	6,2732E-02	6,4442E-02
10	7,0681E-02	5,6418E-02	5,8079E-02
11	9,0542E-02	6,8179E-02	7,0697E-02
12	7,5080E-02	5,6123E-02	5,8264E-02
13	5,6638E-02	4,2335E-02	4,3974E-02
14	3,5745E-02	2,6815E-02	2,7880E-02
15	1,2850E-02	9,6869E-03	1,0069E-02

**Tabel 5.27** Simpangan antar tingkat maksimum struktur 15 tingkat

kh=2.0420E+25, kr=1.1932E+25 dengan menggunakan gempa  
Elcentro

Tingkat	Simpangan Antar Tingkat (%)		
	Open Frame	Braced X	Braced V
1	3,1802E-02	2,2745E-02	2,3413E-02
2	3,1370E-02	2,2276E-02	2,2988E-02
3	3,0451E-02	2,1731E-02	2,1976E-02
4	2,8989E-02	2,1623E-02	2,0702E-02
5	2,6900E-02	2,1239E-02	2,0632E-02
6	2,9139E-02	2,4844E-02	2,4446E-02
7	2,5599E-02	2,4168E-02	2,4022E-02
8	2,3023E-02	2,3478E-02	2,3578E-02
9	2,2537E-02	2,2782E-02	2,2992E-02
10	2,2157E-02	2,1775E-02	2,2098E-02
11	3,0621E-02	2,8197E-02	2,8813E-02
12	2,7118E-02	2,4445E-02	2,5088E-02
13	2,1495E-02	1,9034E-02	1,9528E-02
14	1,3937E-02	1,2131E-02	1,2506E-02
15	4,9839E-03	4,2965E-03	4,4339E-03

**Tabel 5.28** Simpangan antar tingkat maksimum struktur 15 tingkat

kh=2.0420E+08, kr=1.1932E+09 dengan menggunakan gempa  
Elcentro

Tingkat	Simpangan Antar Tingkat (%)		
	Open Frame	Braced X	Braced V
1	1,9263E-02	1,6482E-02	1,6876E-02
2	1,7690E-02	1,4094E-02	1,4608E-02
3	1,4869E-02	1,3053E-02	1,2988E-02
4	1,2414E-02	1,2012E-02	1,2058E-02
5	1,1841E-02	1,0292E-02	1,0512E-02
6	1,2722E-02	9,8535E-03	1,0183E-02
7	1,0115E-02	7,2054E-03	7,5459E-03
8	1,0937E-02	7,8024E-03	8,0860E-03
9	1,1747E-02	8,5017E-03	8,7439E-03
10	1,2069E-02	1,0203E-02	1,0134E-02
11	1,9182E-02	1,5965E-02	1,6063E-02
12	1,9806E-02	1,5819E-02	1,6027E-02
13	1,7348E-02	1,4232E-02	1,4417E-02
14	1,2008E-02	1,0284E-02	1,0429E-02
15	4,5551E-03	3,8982E-03	3,9529E-03

**Tabel 5.29** Simpangan antar tingkat maksimum struktur 15 tingkat

kh=2.0420E+25, kr=1.1932E+25 dengan menggunakan gempa Koyna

Tingkat	Simpangan Antar Tingkat (%)		
	Open Frame	Braced X	Braced V
1	2,9314E-02	2,1451E-02	2,1278E-02
2	2,7992E-02	2,1438E-02	2,1163E-02
3	2,6214E-02	2,1726E-02	2,1280E-02
4	2,3860E-02	2,1475E-02	2,1185E-02
5	2,1838E-02	2,0555E-02	2,0434E-02
6	2,3227E-02	2,2611E-02	2,2668E-02
7	1,9670E-02	2,0082E-02	2,0319E-02
8	2,1852E-02	2,1432E-02	2,1870E-02
9	2,3240E-02	2,2450E-02	2,3000E-02
10	2,3853E-02	2,2627E-02	2,3329E-02
11	3,4351E-02	3,0372E-02	3,1529E-02
12	3,1168E-02	2,6897E-02	2,8030E-02
13	2,4935E-02	2,1318E-02	2,2235E-02
14	1,6151E-02	1,3872E-02	1,4422E-02
15	5,7560E-03	4,9715E-03	5,1750E-03

**Tabel 5.30** Simpangan antar tingkat maksimum struktur 15 tingkat

kh=2.0420E+08, kr=1.1932E+09 dengan menggunakan gempa Koyna

Tingkat	Simpangan Antar Tingkat (%)		
	Open Frame	Braced X	Braced V
1	2,0918E-02	1,8538E-02	1,8830E-02
2	1,9461E-02	1,6754E-02	1,7126E-02
3	1,9184E-02	1,5275E-02	1,5622E-02
4	1,8002E-02	1,3748E-02	1,4184E-02
5	1,5919E-02	1,1762E-02	1,2161E-02
6	1,5725E-02	1,2232E-02	1,2574E-02
7	1,3311E-02	1,2165E-02	1,2403E-02
8	1,4600E-02	1,1990E-02	1,2164E-02
9	1,6293E-02	1,3349E-02	1,3751E-02
10	1,7539E-02	1,5102E-02	1,5611E-02
11	2,6178E-02	2,1748E-02	2,2605E-02
12	2,4503E-02	1,9981E-02	2,0766E-02
13	2,0483E-02	1,5990E-02	1,6710E-02
14	1,3917E-02	1,0450E-02	1,0873E-02
15	5,1719E-03	3,7738E-03	3,9163E-03

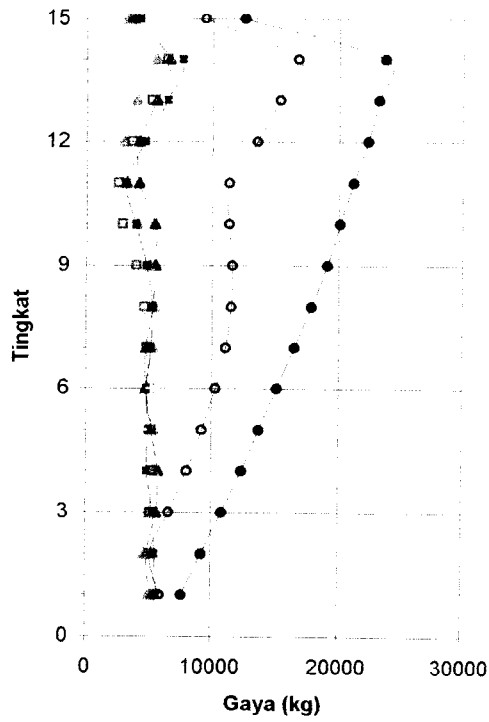
Dari hasil grafik simpangan antar tingkat maksimum pada gambar 5.161 sampai dengan gambar 5.164 dan tabel 5.25 sampai dengan 5.30 maka,

1. Simpangan antar tingkat akan bertambah besar sesuai dengan penurunan kekakuan yang terjadi, serta pada kekakuan yang sama simpangan antar tingkat akan mengalami penurunan pada tingkat yang lebih tinggi, karena nilai simpangan antar tingkat berbanding terbalik dengan nilai kekakuan tingkat.
2. Struktur *open frame* akan mempunyai nilai simpangan antar tingkat yang lebih besar daripada struktur yang menggunakan *bracing*, karena struktur *open frame* mempunyai nilai kekakuan yang lebih kecil dibandingkan dengan kekakuan struktur *braced* sehingga nilai simpangan antar tingkatnya akan lebih besar.
3. Struktur *braced V* akan mempunyai nilai simpangan antar tingkat yang lebih besar daripada struktur *braced X*, karena struktur *braced V* mempunyai nilai kekakuan yang lebih kecil dibandingkan dengan kekakuan struktur *braced X* sehingga nilai simpangan antar tingkatnya akan lebih besar.

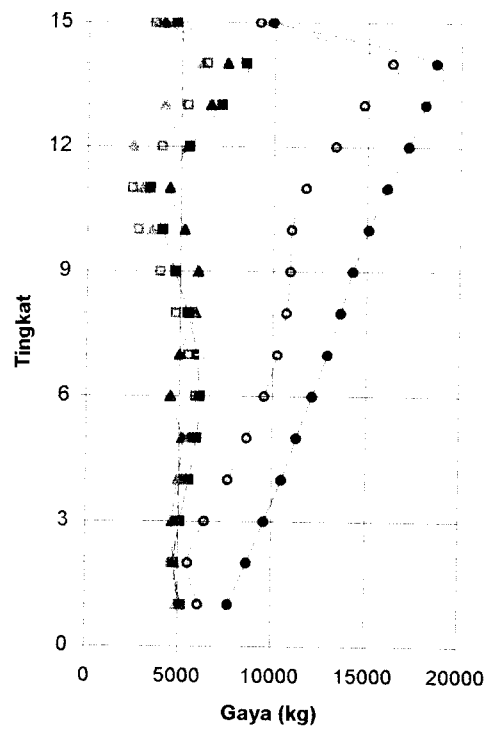
#### 5.5.6 Gaya Horisontal Tingkat

Pembahasan grafik gaya horisontal tingkat berdasarkan gambar 5.165 sampai dengan gambar 5.168 dan tabel 5.31 sampai dengan tabel 5.36 dengan 3 beban gempa dan 2 kombinasi kekakuan horisontal dan kekakuan putar tanah serta gaya horisontal akibat beban gempa statik

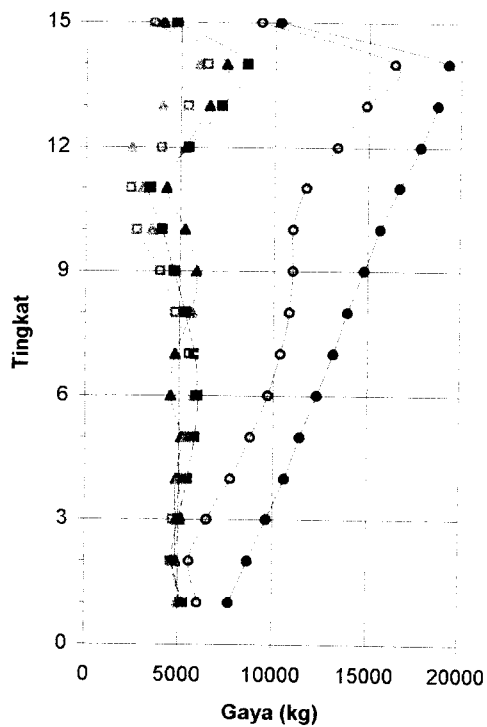




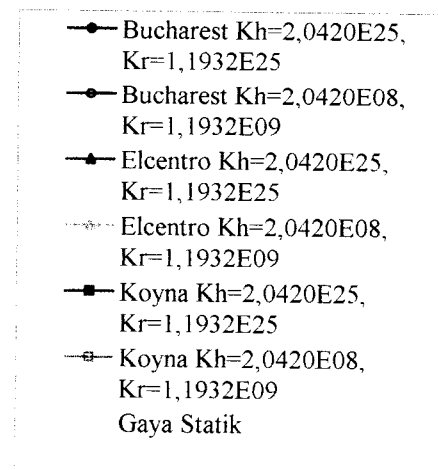
A. Struktur Open Frame



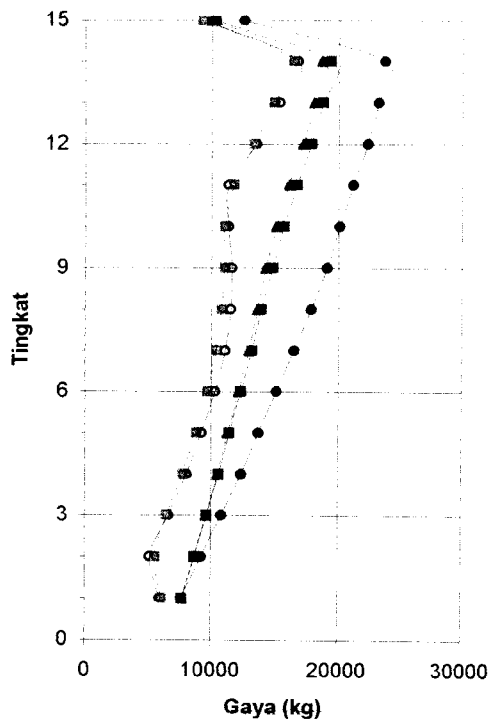
B. Struktur Braced X



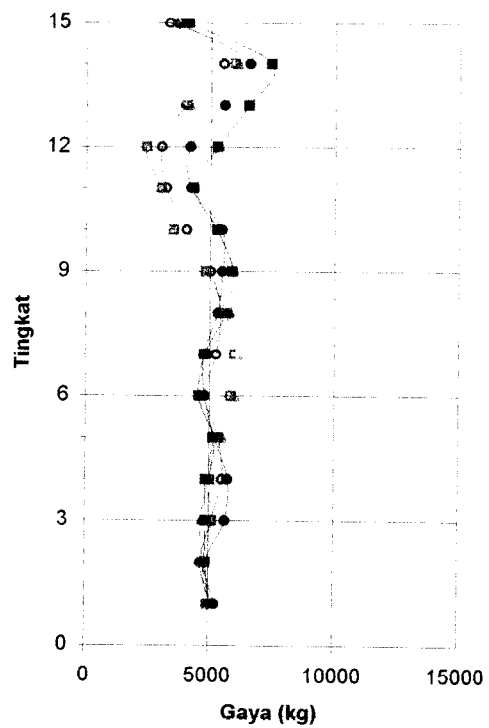
C. Struktur Braced V



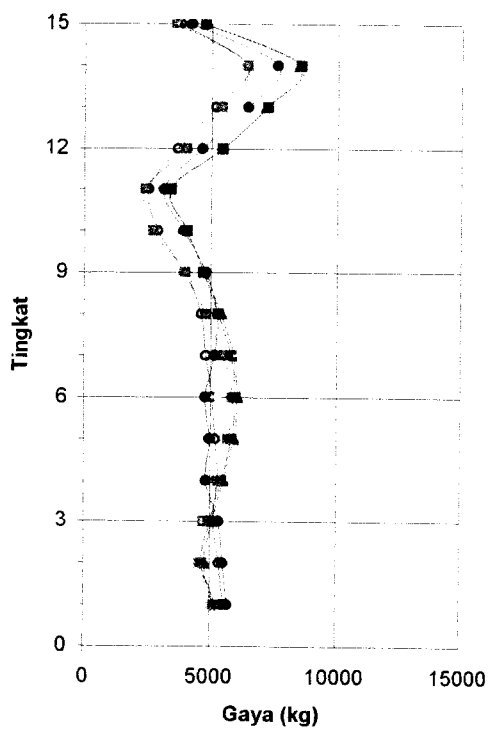
Gambar 5.165 Grafik Gaya Horisontal Tingkat Maks. akibat 3 gempa



**A. Gempa Bucharest**



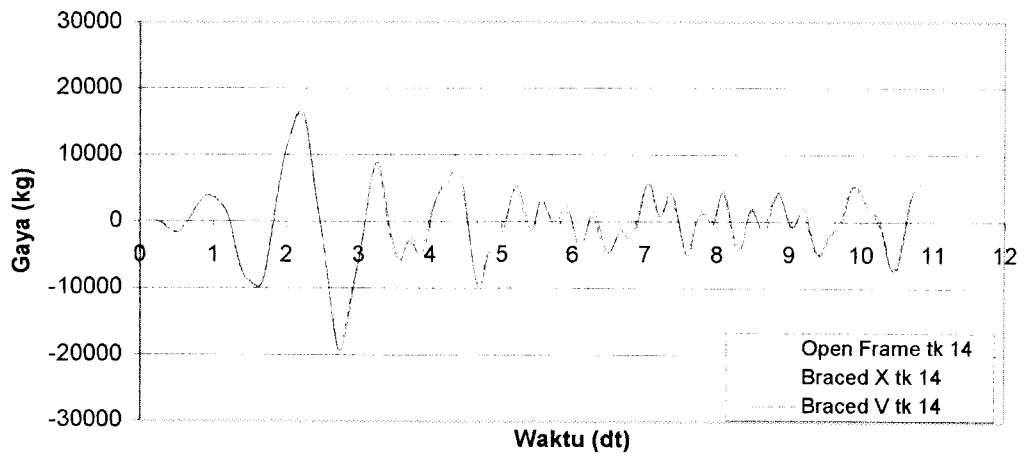
**B. Gempa Elcentro**



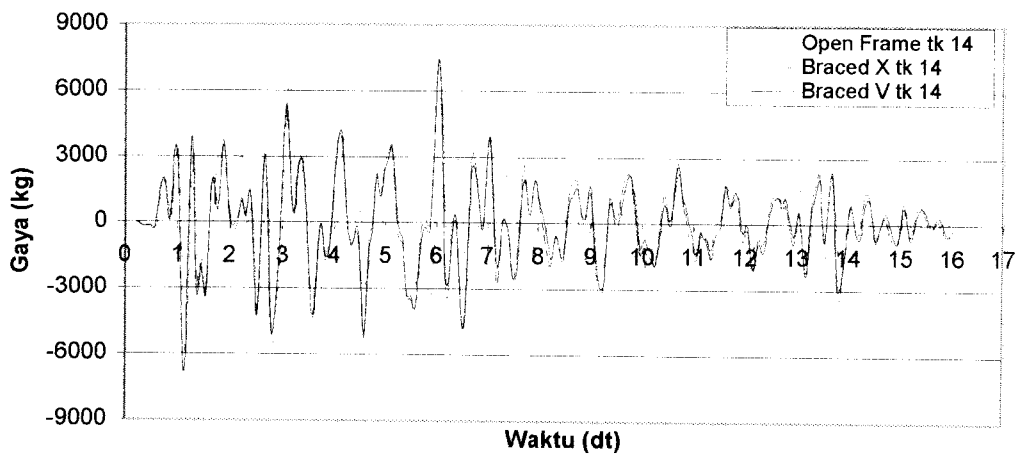
**C. Gempa Koyana**

- Open Frame  $K_h=2,0420E25$ ,  $K_r=1,1932E25$
  - Open Frame  $K_h=2,0420E08$ ,  $K_r=1,1932E09$
  - ▲ Braced X  $K_h=2,0420E25$ ,  $K_r=1,1932E25$
  - ☆ Braced X  $K_h=2,0420E08$ ,  $K_r=1,1932E09$
  - Braced V  $K_h=2,0420E25$ ,  $K_r=1,1932E25$
  - Braced V  $K_h=2,0420E08$ ,  $K_r=1,1932E09$
- Gaya Statik

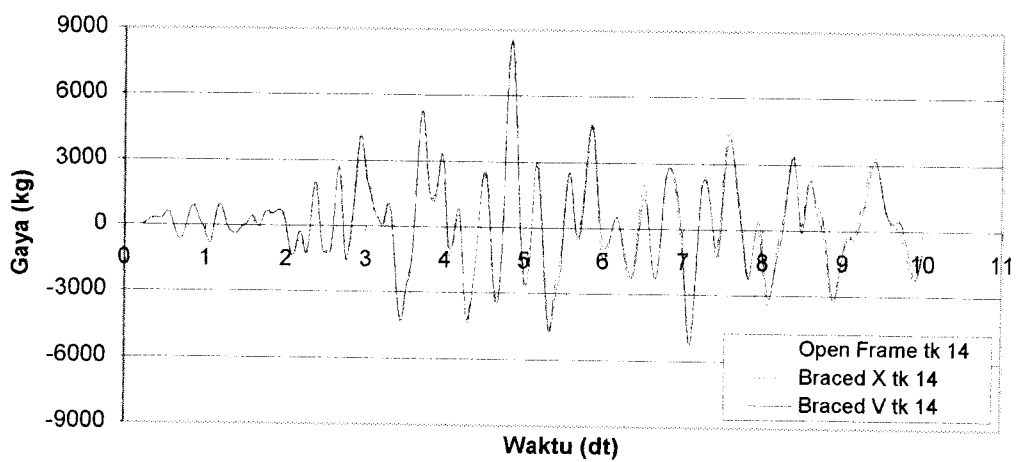
**Gambar 5.166 Grafik Gaya Horisontal Tingkat Maks dengan 6 kombinasi**



**A. Gempa Bucharest**



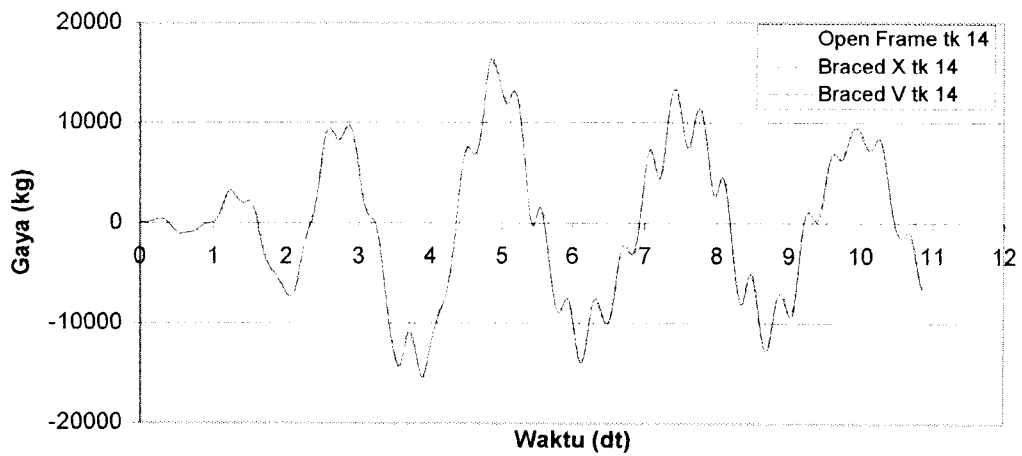
**B. Gempa Elcentro**



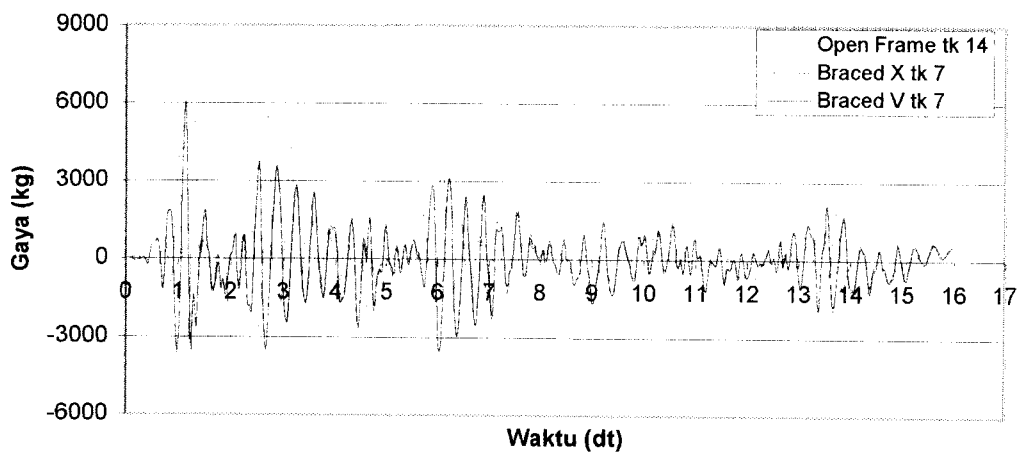
**C. Gempa Koyna**

**Gambar 5.167 Gaya Horizontal Tingkat Maksimum dengan  $K_h=2.0420E+25$ ;  $K_r=1.1932E+25$**

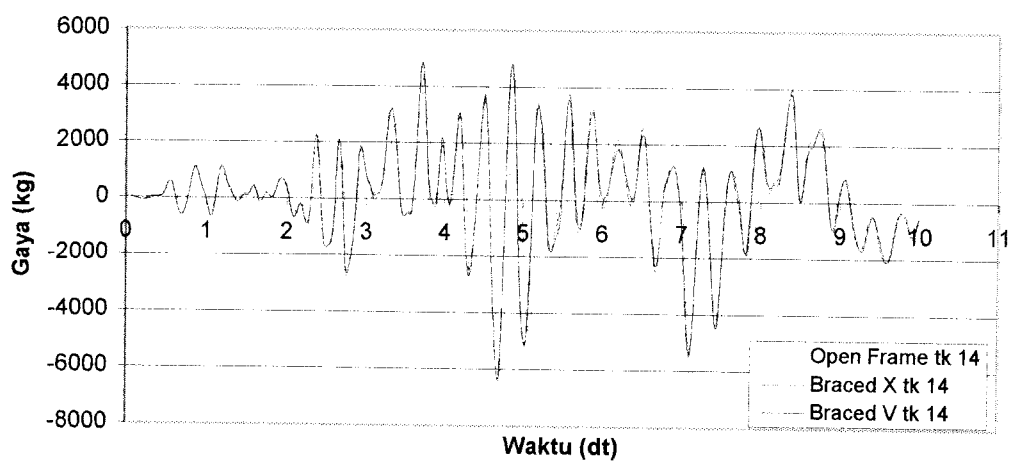




**A. Gempa Bucharest**



**B. Gempa Elcentro**



**C. Gempa Koyna**

**Gambar 5.168 Gaya Horisontal Tingkat Maksimum dengan  $K_h=2.0420E+08$ ;  $K_r=1.1932E+09$**

**Tabel 5.31** Gaya horisontal tingkat maksimum struktur 15 tingkat

kh=2.0420E+25, kr=1.1932E+25 dengan menggunakan gempa  
Bucharest

Tingkat	Gaya Horisontal Tingkat (kg)		
	Open Frame	Braced X	Braced V
1	7,6413E+03	7,7009E+03	7,6831E+03
2	9,2204E+03	8,6651E+03	8,6688E+03
3	1,0821E+04	9,6072E+03	9,6543E+03
4	1,2354E+04	1,0517E+04	1,0599E+04
5	1,3696E+04	1,1294E+04	1,1417E+04
6	1,5139E+04	1,2128E+04	1,2312E+04
7	1,6527E+04	1,2927E+04	1,3166E+04
8	1,7845E+04	1,3633E+04	1,3917E+04
9	1,9105E+04	1,4260E+04	1,4806E+04
10	2,0086E+04	1,5087E+04	1,5677E+04
11	2,1194E+04	1,6091E+04	1,6715E+04
12	2,2356E+04	1,7198E+04	1,7843E+04
13	2,3193E+04	1,8090E+04	1,8755E+04
14	2,3719E+04	1,8678E+04	1,9350E+04
15	1,2555E+04	9,9214E+03	1,0276E+04

**Tabel 5.32** Gaya horisontal tingkat maksimum struktur 15 tingkat

kh=2.0420E+08, kr=1.1932E+09 dengan menggunakan gempa  
Bucharest

Tingkat	Gaya Horisontal Tingkat (kg)		
	Open Frame	Braced X	Braced V
1	5,9026E+03	6,0795E+03	6,0574E+03
2	5,1255E+03	5,5205E+03	5,5861E+03
3	6,6191E+03	6,4106E+03	6,5041E+03
4	8,0205E+03	7,6301E+03	7,7503E+03
5	9,2177E+03	8,6599E+03	8,7953E+03
6	1,0290E+04	9,5559E+03	9,6996E+03
7	1,1086E+04	1,0258E+04	1,0385E+04
8	1,1507E+04	1,0709E+04	1,0822E+04
9	1,1586E+04	1,0935E+04	1,1020E+04
10	1,1332E+04	1,0988E+04	1,1017E+04
11	1,1331E+04	1,1739E+04	1,1697E+04
12	1,3515E+04	1,3321E+04	1,3347E+04
13	1,5328E+04	1,4815E+04	1,4906E+04
14	1,6778E+04	1,6310E+04	1,6425E+04
15	9,4169E+03	9,2204E+03	9,2857E+03

**Tabel 5.33** Gaya horisontal tingkat maksimum struktur 15 tingkat  
 $kh=2.0420E+25$ ,  $kr=1.1932E+25$  dengan menggunakan gempa  
 Elcentro

Tingkat	Gaya Horisontal Tingkat (kg)		
	Open Frame	Braced X	Braced V
1	5,2217E+03	5,0541E+03	5,0603E+03
2	4,8916E+03	4,7815E+03	4,8674E+03
3	5,6360E+03	4,6649E+03	4,8692E+03
4	5,7405E+03	4,9639E+03	4,8585E+03
5	5,2004E+03	5,1610E+03	5,1344E+03
6	4,7737E+03	4,5174E+03	4,5554E+03
7	4,7613E+03	4,9954E+03	4,7755E+03
8	5,3078E+03	5,8105E+03	5,6486E+03
9	5,4903E+03	5,9650E+03	5,9053E+03
10	5,4677E+03	5,2240E+03	5,2725E+03
11	4,2069E+03	4,3975E+03	4,2928E+03
12	4,1717E+03	5,3586E+03	5,2707E+03
13	5,5600E+03	6,5702E+03	6,5357E+03
14	6,5612E+03	7,4638E+03	7,4438E+03
15	3,6524E+03	4,0896E+03	4,0888E+03

**Tabel 5.34** Gaya horisontal tingkat maksimum struktur 15 tingkat  
 $kh=2.0420E+08$ ,  $kr=1.1932E+09$  dengan menggunakan gempa  
 Elcentro

Tingkat	Gaya Horisontal Tingkat (kg)		
	Open Frame	Braced X	Braced V
1	5,0508E+03	4,9288E+03	4,9295E+03
2	4,6580E+03	4,8075E+03	4,7854E+03
3	5,0916E+03	5,0709E+03	5,1198E+03
4	5,5075E+03	5,0089E+03	5,0343E+03
5	5,3663E+03	5,4910E+03	5,3259E+03
6	4,7967E+03	5,9791E+03	5,8286E+03
7	5,2567E+03	6,0885E+03	5,9823E+03
8	5,4202E+03	5,6912E+03	5,6469E+03
9	5,0150E+03	4,7912E+03	4,8087E+03
10	4,0419E+03	3,4627E+03	3,5186E+03
11	3,2124E+03	2,9542E+03	3,0144E+03
12	3,0361E+03	2,4129E+03	2,4300E+03
13	3,9747E+03	4,1231E+03	4,0412E+03
14	5,5128E+03	6,0786E+03	5,9721E+03
15	3,3381E+03	3,7104E+03	3,6452E+03

**Tabel 5.35** Gaya horisontal tingkat maksimum struktur 15 tingkat

kh=2.0420E+25, kr=1.1932E+25 dengan menggunakan gempa Koyna

Tingkat	Gaya Horisontal Tingkat (kg)		
	Open Frame	Braced X	Braced V
1	5,6892E+03	5,1672E+03	5,2660E+03
2	5,5302E+03	4,7910E+03	4,6904E+03
3	5,3405E+03	5,0839E+03	5,0043E+03
4	4,8326E+03	5,5232E+03	5,4612E+03
5	4,9740E+03	5,9352E+03	5,8502E+03
6	4,7998E+03	6,0707E+03	5,9986E+03
7	5,1597E+03	5,9031E+03	5,8308E+03
8	5,2578E+03	5,4133E+03	5,3103E+03
9	4,8169E+03	4,7236E+03	4,7069E+03
10	3,9147E+03	4,0307E+03	4,0579E+03
11	3,1430E+03	3,3836E+03	3,4272E+03
12	4,6507E+03	5,4450E+03	5,4553E+03
13	6,4561E+03	7,1634E+03	7,2125E+03
14	7,6180E+03	8,4720E+03	8,5438E+03
15	4,2182E+03	4,7321E+03	4,7723E+03

**Tabel 5.36** Gaya horisontal tingkat maksimum struktur 15 tingkat

kh=2.0420E+08, kr=1.1932E+09 dengan menggunakan gempa Koyna

Tingkat	Gaya Horisontal Tingkat (kg)		
	Open Frame	Braced X	Braced V
1	5,5468E+03	5,0695E+03	5,1800E+03
2	5,3764E+03	4,6799E+03	4,6088E+03
3	5,1409E+03	4,8131E+03	4,7115E+03
4	5,3099E+03	5,3522E+03	5,2810E+03
5	5,2037E+03	5,7274E+03	5,6843E+03
6	5,0532E+03	5,8528E+03	5,8848E+03
7	4,8174E+03	5,4654E+03	5,5227E+03
8	4,6278E+03	4,7921E+03	4,7882E+03
9	3,9595E+03	3,9269E+03	3,9901E+03
10	2,9091E+03	2,7359E+03	2,7089E+03
11	2,5427E+03	2,3944E+03	2,3969E+03
12	3,6702E+03	3,9902E+03	4,0181E+03
13	5,1767E+03	5,3652E+03	5,4062E+03
14	6,4090E+03	6,3547E+03	6,4151E+03
15	3,7901E+03	3,5920E+03	3,6115E+03

Dari hasil grafik gaya horisontal tingkat maksimum pada gambar 5.165 sampai dengan gambar 5.168 dan tabel 5.31 sampai dengan 5.36 maka,

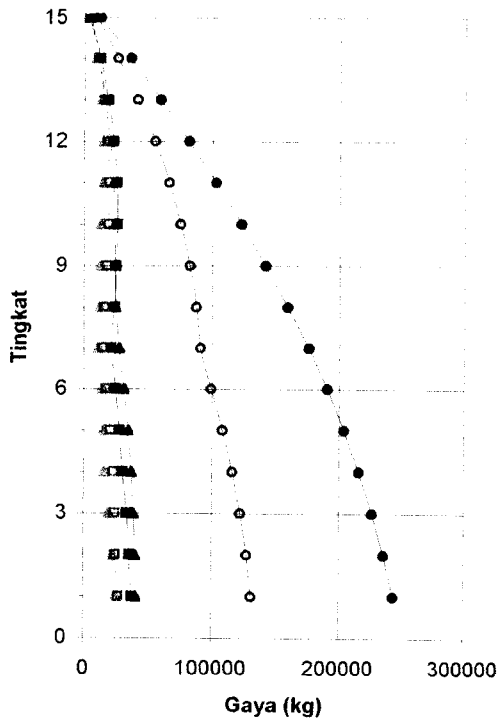
1. Gaya horizontal tingkat akibat gempa Bucharest akan mempunyai nilai yang besar dibandingkan dengan gaya horizontal tingkat akibat gempa Elcentro dan Koyna, karena gempa Bucharest (frekuensi rendah) akan berasosiasi dengan lebih baik dengan struktur bertingkat tinggi (berfrekuensi rendah) dibandingkan dengan gempa Elcentro (frekuensi sedang) maupun Koyna (frekuensi tinggi).
2. Gaya horizontal tingkat pada kondisi tanah dianggap jepit penuh akan mempunyai nilai yang lebih besar dibandingkan dengan pada kondisi tanah dianggap tidak jepit penuh. Hal tersebut dikarenakan nilai simpangan pada kondisi tanah dianggap jepit penuh akan lebih besar dibandingkan dengan pada saat kondisi tanah dianggap tidak jepit penuh.
3. Pada gempa frekuensi rendah (Bucharest) struktur *open frame* akan mempunyai nilai gaya horisontal tingkat yang lebih besar daripada struktur yang menggunakan *bracing*, karena struktur *open frame* mempunyai nilai frekuensi lebih kecil dibandingkan dengan struktur *braced*, sehingga akan berasosiasi dengan lebih terhadap gempa Bucharest.
4. Pada gempa frekuensi sedang (Elcentro) dan tinggi (Koyna) struktur *open frame* akan mempunyai nilai gaya horisontal tingkat yang lebih kecil daripada struktur yang menggunakan *bracing*, karena struktur *braced* mempunyai nilai frekuensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan *open*

*frame* sehingga mampu berasosiasi dengan lebih baik terhadap gempa Elcentro dan Koyna.

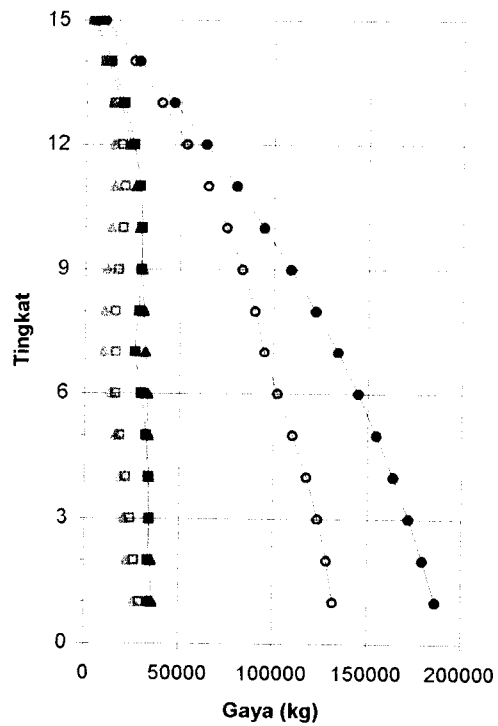
5. Gaya horisontal akibat gempa frekuensi sedang dan tinggi (Elcentro dan Koyna) akan mempunyai nilai yang mendekati sama dengan gaya statik, sedangkan untuk gempa frekuensi rendah (Bucharest) gaya horisontal yang dihasilkan lebih besar daripada gaya statik.

#### **5.5.7 Gaya Geser Tingkat**

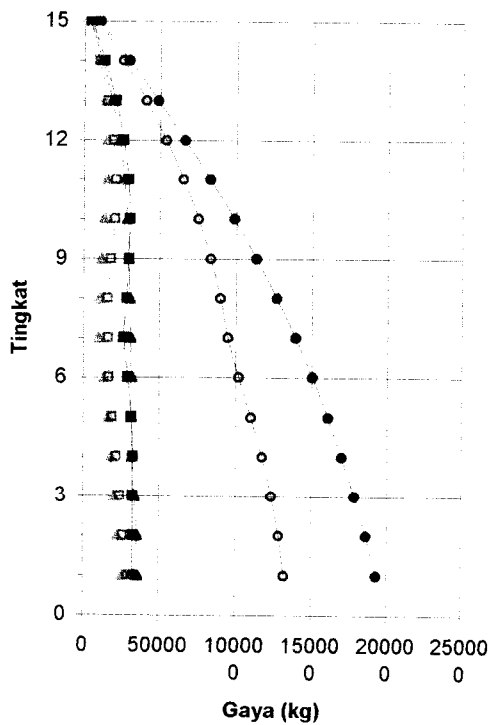
Pembahasan gaya geser tingkat berdasarkan gambar 5.169 sampai dengan gambar 5.173 dan tabel 5.37 sampai dengan tabel 5.42 dengan 3 beban gempa dan 2 kombinasi kekakuan horisontal tanah dan kekakuan putar tanah di bawah ini.



A. Struktur Open Frame



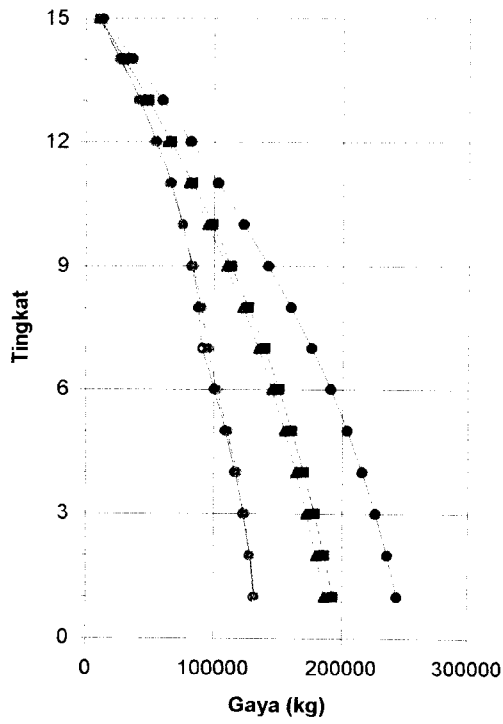
B. Struktur Braced X



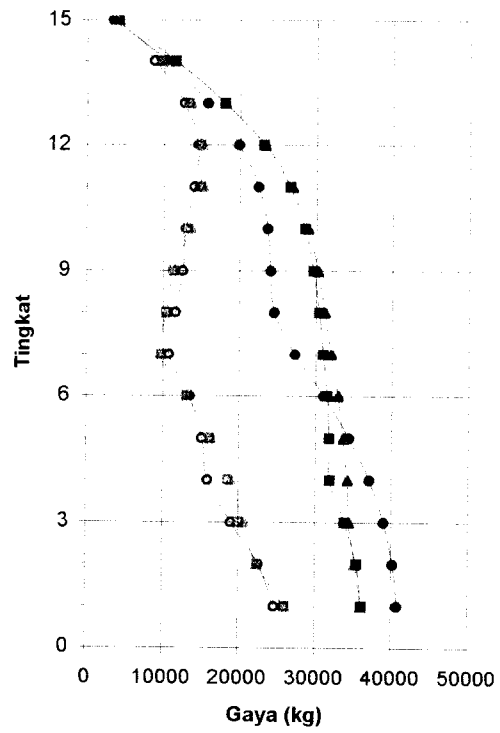
C. Struktur Braced V

- Bucharest Kh=2,0420E25, Kr=1,1932E25
- Bucharest Kh=2,0420E08, Kr=1,1932E09
- ▲— Elcentro Kh=2,0420E25, Kr=1,1932E25
- ◇— Elcentro Kh=2,0420E08, Kr=1,1932E09
- Koyna Kh=2,0420E25, Kr=1,1932E25
- Koyna Kh=2,0420E08, Kr=1,1932E09

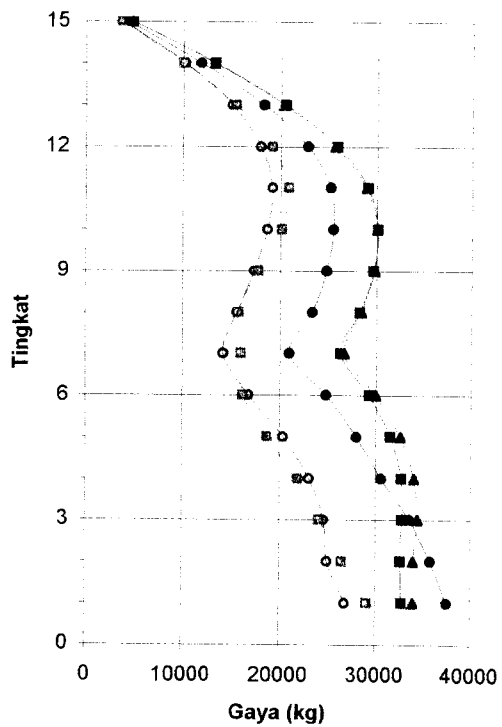
Gambar 5.169 Grafik Gaya Geser Tingkat Maks. akibat 3 gempa



A. Gempa Bucharest



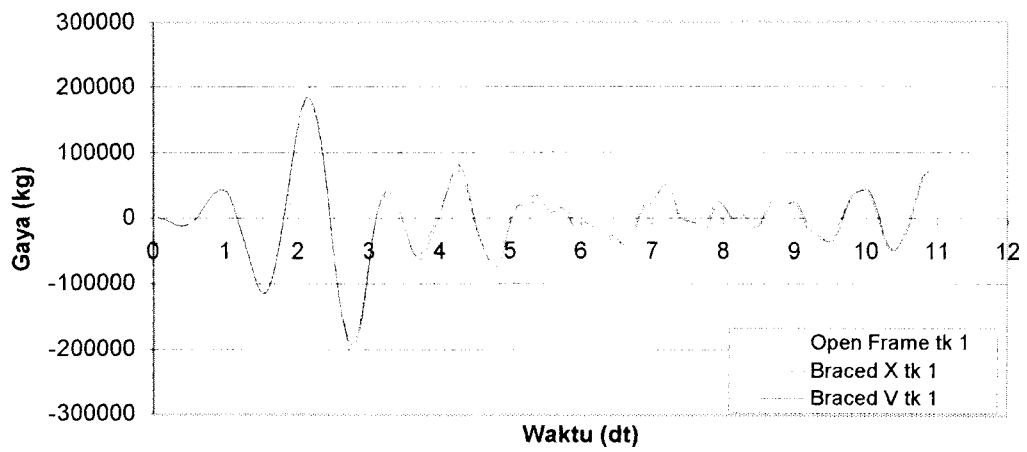
B. Gempa Elcentro



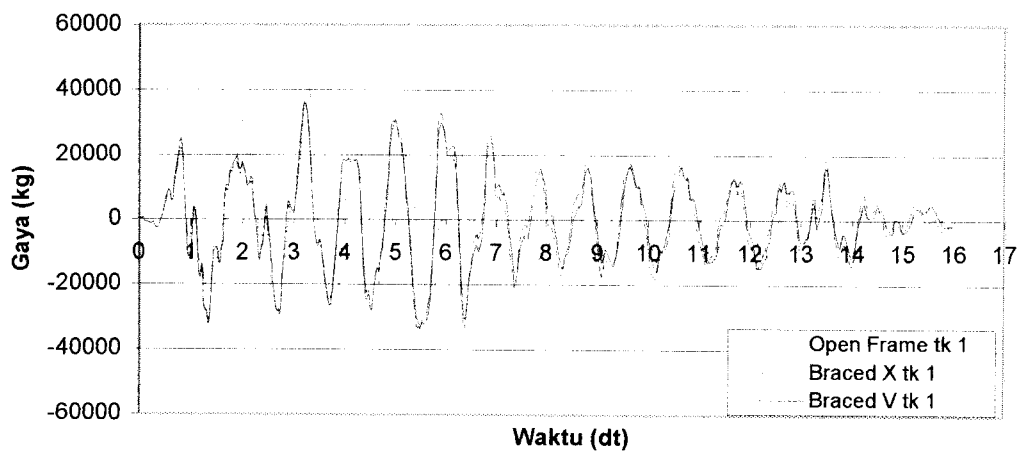
C. Gempa Koyana

Gambar 5.170 Grafik Gaya Geser Tingkat Maks. dengan 6 kombinasi

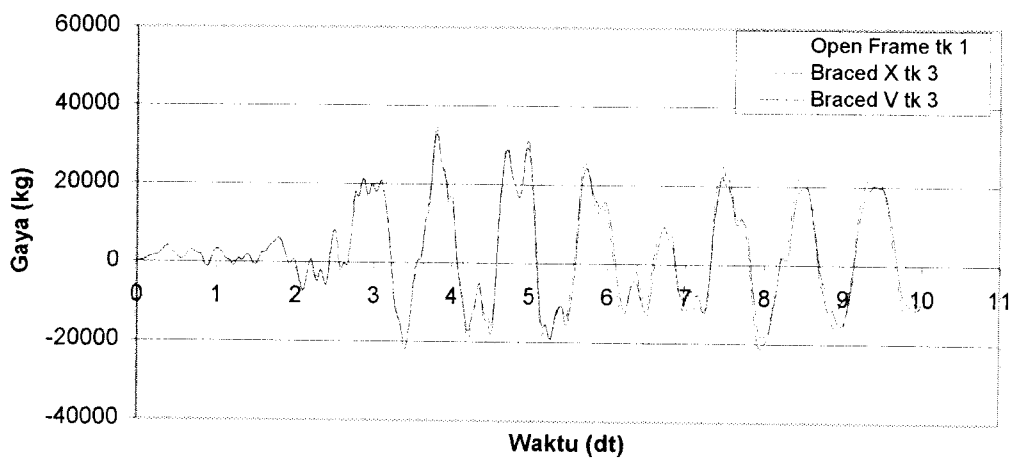




**A. Gempa Bucharest**

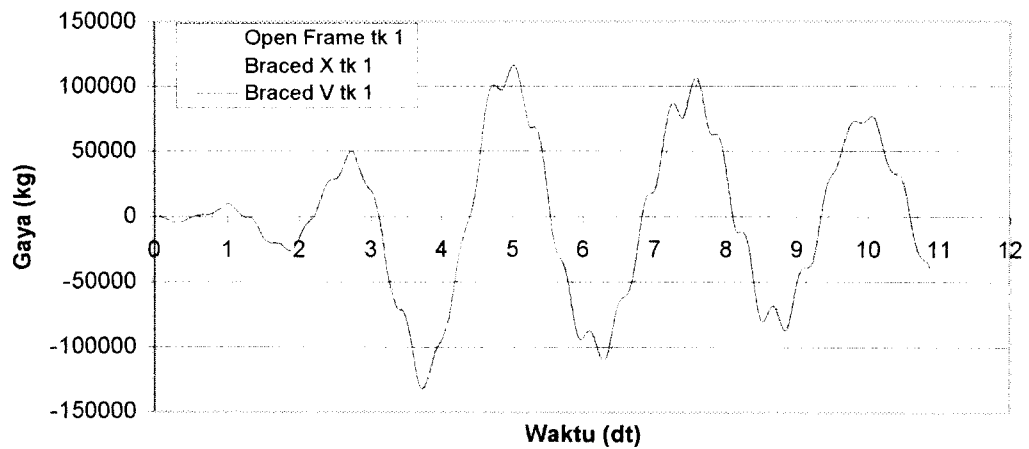


**B. Gempa Elcentro**

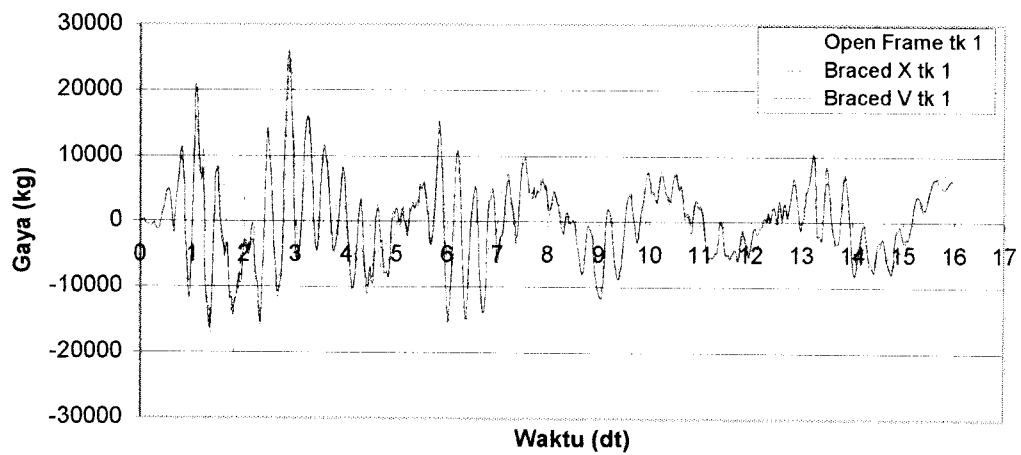


**C. Gempa Koyna**

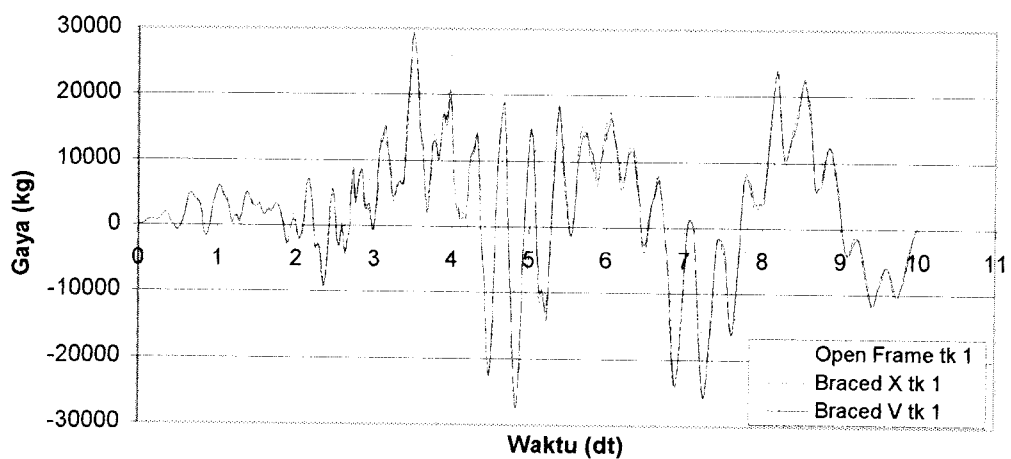
**Gambar 5.171 Gaya Geser Tingkat Maksimum dengan  $K_h=2.0420E+25$ ;  $K_r=1.1932E+25$**



### A. Gempa Bucharest

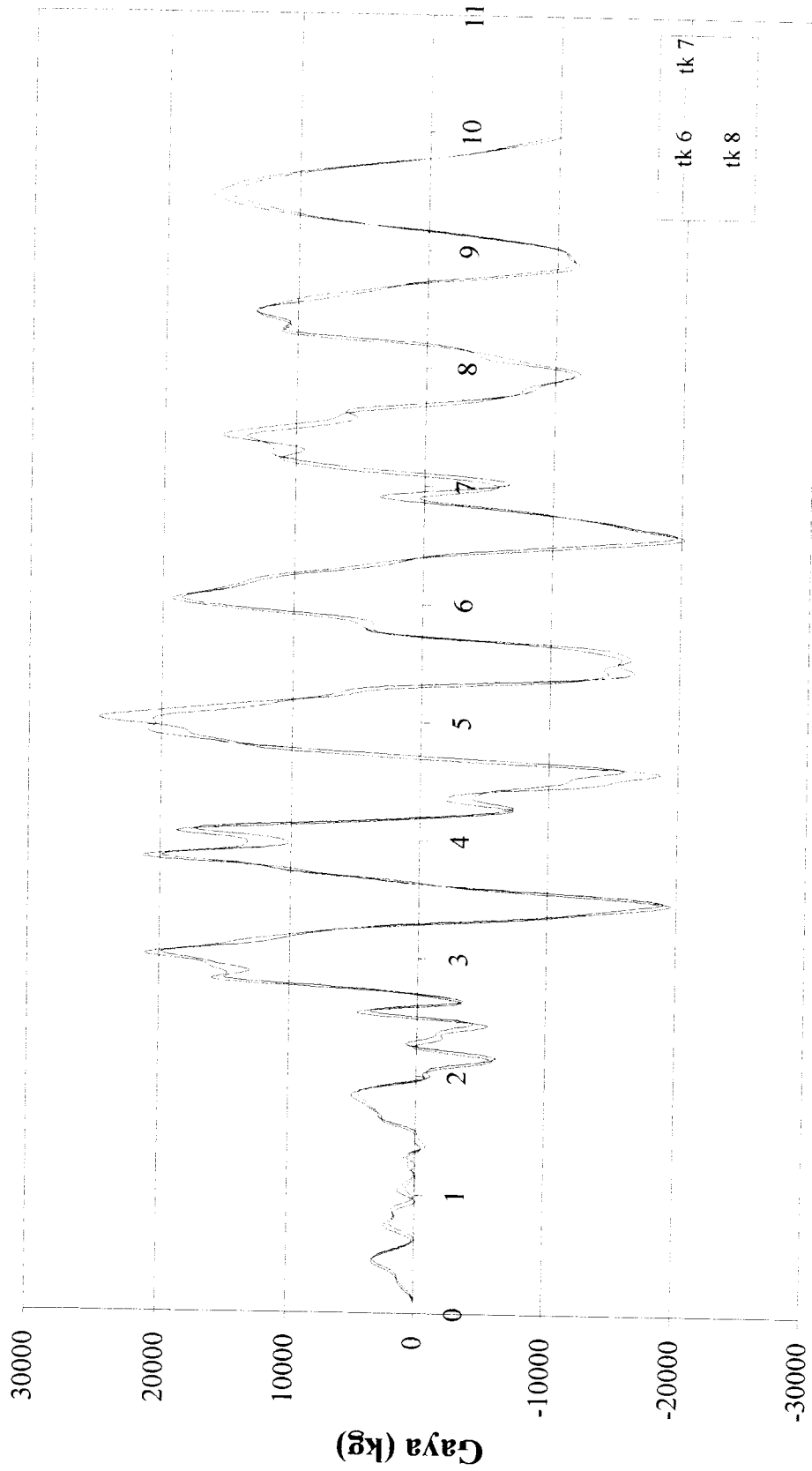


### B. Gempa Elcentro



### C. Gempa Koyna

**Gambar 5.172 Gaya Geser Tingkat Maksimum dengan  $K_h=2.0420E+08$ ;  $K_r=1.1932E+09$**



**Waktu (dt)**

**Gambar 5.173** Grafik Gaya Geser Tingkat Struktur Open I-frame akibat gempa *Koyua* ; dengan  $kh=2.0420E+25$ ,  $kt=1.1932E+25$

**Tabel 5.37** Gaya geser tingkat maksimum struktur 15 tingkat  $kh=2.0420E+25$ ,  
 $kr=1.1932E+25$  dengan menggunakan gempa Bucharest

Tingkat	Gaya Geser Tingkat (kg)		
	Open Frame	Braced X	Braced V
1	2,4344E+05	1,8618E+05	1,9287E+05
2	2,3584E+05	1,7957E+05	1,8610E+05
3	2,2663E+05	1,7212E+05	1,7847E+05
4	2,1595E+05	1,6388E+05	1,7004E+05
5	2,0390E+05	1,5484E+05	1,6067E+05
6	1,9066E+05	1,4495E+05	1,5046E+05
7	1,7590E+05	1,3411E+05	1,3921E+05
8	1,5961E+05	1,2216E+05	1,2678E+05
9	1,4198E+05	1,0910E+05	1,1318E+05
10	1,2299E+05	9,4944E+04	9,8503E+04
11	1,0296E+05	7,9933E+04	8,2908E+04
12	8,1784E+04	6,3879E+04	6,6224E+04
13	5,9466E+04	4,6689E+04	4,8381E+04
14	3,6274E+04	2,8599E+04	2,9626E+04
15	1,2555E+04	9,9214E+03	1,0276E+04

**Tabel 5.38** Gaya geser tingkat maksimum struktur 15 tingkat  $kh=2.0420E+08$ ,  
 $kr=1.1932E+09$  dengan menggunakan gempa Bucharest

Tingkat	Gaya Geser Tingkat (kg)		
	Open Frame	Braced X	Braced V
1	1,3124E+05	1,3179E+05	1,3195E+05
2	1,2781E+05	1,2841E+05	1,2853E+05
3	1,2282E+05	1,2364E+05	1,2368E+05
4	1,1637E+05	1,1756E+05	1,1753E+05
5	1,0862E+05	1,1029E+05	1,1015E+05
6	9,9754E+04	1,0216E+05	1,0188E+05
7	9,1055E+04	9,5153E+04	9,4708E+04
8	8,7553E+04	8,9890E+04	8,9673E+04
9	8,2436E+04	8,3182E+04	8,3184E+04
10	7,5384E+04	7,4809E+04	7,4971E+04
11	6,6352E+04	6,4896E+04	6,5195E+04
12	5,5021E+04	5,3420E+04	5,3729E+04
13	4,1506E+04	4,0296E+04	4,0552E+04
14	2,6195E+04	2,5524E+04	2,5710E+04
15	9,4169E+03	9,2204E+03	9,2857E+03

**Tabel 5.39** Gaya geser tingkat maksimum struktur 15 tingkat  $kh=2.0420E+25$ ,  
 $kr=1.1932E+25$  dengan menggunakan gempa Elcentro

Tingkat	Gaya Geser Tingkat (kg)		
	Open Frame	Braced X	Braced V
1	4,0712E+04	3,6028E+04	3,6121E+04
2	4,0159E+04	3,5285E+04	3,5467E+04
3	3,8983E+04	3,4422E+04	3,3906E+04
4	3,7111E+04	3,4251E+04	3,1939E+04
5	3,4437E+04	3,3642E+04	3,1831E+04
6	3,1078E+04	3,2943E+04	3,1556E+04
7	2,7302E+04	3,2047E+04	3,1009E+04
8	2,4555E+04	3,1131E+04	3,0436E+04
9	2,4036E+04	3,0209E+04	2,9678E+04
10	2,3631E+04	2,8874E+04	2,8525E+04
11	2,2440E+04	2,6839E+04	2,6571E+04
12	1,9873E+04	2,3268E+04	2,3136E+04
13	1,5752E+04	1,8117E+04	1,8008E+04
14	1,0214E+04	1,1547E+04	1,1533E+04
15	3,6524E+03	4,0896E+03	4,0888E+03

**Tabel 5.40** Gaya geser tingkat maksimum struktur 15 tingkat  $kh=2.0420E+08$ ,  
 $kr=1.1932E+09$  dengan menggunakan gempa Elcentro

Tingkat	Gaya Geser Tingkat (kg)		
	Open Frame	Braced X	Braced V
1	2,4661E+04	2,6107E+04	2,6038E+04
2	2,2646E+04	2,2324E+04	2,2537E+04
3	1,9036E+04	2,0676E+04	2,0038E+04
4	1,5892E+04	1,9027E+04	1,8603E+04
5	1,5159E+04	1,6303E+04	1,6218E+04
6	1,3569E+04	1,3066E+04	1,3145E+04
7	1,0788E+04	9,5543E+03	9,7406E+03
8	1,1665E+04	1,0346E+04	1,0438E+04
9	1,2528E+04	1,1273E+04	1,1287E+04
10	1,2872E+04	1,3529E+04	1,3081E+04
11	1,4057E+04	1,5196E+04	1,4813E+04
12	1,4514E+04	1,5058E+04	1,4780E+04
13	1,2713E+04	1,3546E+04	1,3295E+04
14	8,8002E+03	9,7890E+03	9,6173E+03
15	3,3381E+03	3,7104E+03	3,6452E+03

**Tabel 5.41** Gaya geser tingkat maksimum struktur 15 tingkat  $kh=2.0420E+25$ ,  
 $kr=1.1932E+25$  dengan menggunakan gempa Koyna

Tingkat	Gaya Geser Tingkat (kg)		
	Open Frame	Braced X	Braced V
1	3,7528E+04	3,3979E+04	3,2828E+04
2	3,5835E+04	3,3958E+04	3,2652E+04
3	3,3559E+04	3,4414E+04	3,2831E+04
4	3,0546E+04	3,4016E+04	3,2684E+04
5	2,7957E+04	3,2559E+04	3,1527E+04
6	2,4772E+04	2,9981E+04	2,9261E+04
7	2,0979E+04	2,6629E+04	2,6228E+04
8	2,3306E+04	2,8419E+04	2,8231E+04
9	2,4786E+04	2,9769E+04	2,9689E+04
10	2,5440E+04	3,0003E+04	3,0115E+04
11	2,5174E+04	2,8909E+04	2,9075E+04
12	2,2841E+04	2,5602E+04	2,5849E+04
13	1,8273E+04	2,0292E+04	2,0505E+04
14	1,1836E+04	1,3204E+04	1,3300E+04
15	4,2182E+03	4,7321E+03	4,7723E+03

**Tabel 5.42** Gaya geser tingkat maksimum struktur 15 tingkat  $kh=2.0420E+08$ ,  
 $kr=1.1932E+09$  dengan menggunakan gempa Koyna

Tingkat	Gaya Geser Tingkat (kg)		
	Open Frame	Braced X	Braced V
1	2,6779E+04	2,9363E+04	2,9052E+04
2	2,4914E+04	2,6539E+04	2,6422E+04
3	2,4559E+04	2,4195E+04	2,4102E+04
4	2,3046E+04	2,1776E+04	2,1883E+04
5	2,0380E+04	1,8631E+04	1,8762E+04
6	1,6772E+04	1,6220E+04	1,6231E+04
7	1,4197E+04	1,6131E+04	1,6010E+04
8	1,5571E+04	1,5899E+04	1,5702E+04
9	1,7377E+04	1,7701E+04	1,7750E+04
10	1,8706E+04	2,0025E+04	2,0151E+04
11	1,9184E+04	2,0701E+04	2,0845E+04
12	1,7957E+04	1,9019E+04	1,9150E+04
13	1,5011E+04	1,5220E+04	1,5410E+04
14	1,0199E+04	9,9467E+03	1,0027E+04
15	3,7901E+03	3,5920E+03	3,6115E+03

Dari hasil grafik gaya geser tingkat maksimum pada gambar 5.169 sampai dengan gambar 5.173 dan tabel 5.37 sampai dengan 5.42 maka,

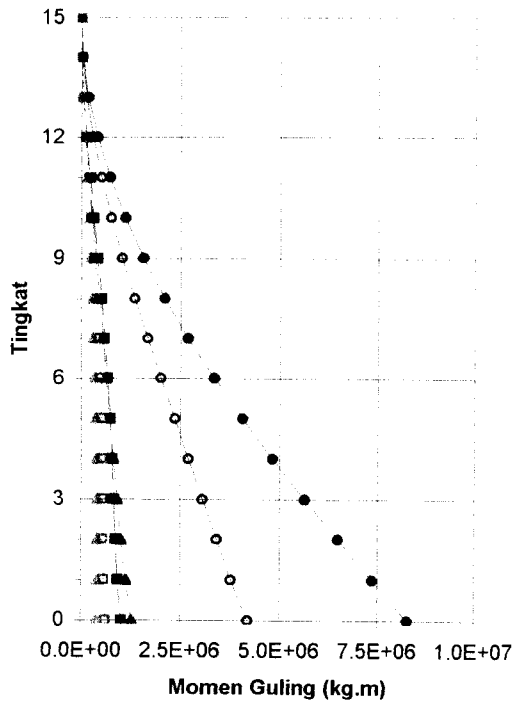
1. Gempa Bucharest akan memberikan gaya geser tingkat yang lebih besar dibandingkan dengan gempa Elcentro dan Koyna, karena gempa Bucharest (frekuensi rendah) akan berasosiasi dengan lebih baik dengan struktur bertingkat tinggi (berfrekuensi rendah) dibandingkan dengan gempa Elcentro (frekuensi sedang) maupun Koyna (frekuensi tinggi).
2. Gaya Geser Tingkat pada kondisi tanah dianggap jepit penuh akan mempunyai nilai yang lebih besar dibandingkan dengan pada kondisi tanah dianggap tidak jepit penuh. Hal tersebut dikarenakan nilai gaya pada kondisi tanah dianggap jepit penuh akan lebih besar dibandingkan dengan pada saat kondisi tanah dianggap tidak jepit penuh.
3. Pada kondisi tanah dianggap jepit penuh struktur *open frame* akan mempunyai gaya geser tingkat yang lebih besar dari struktur yang menggunakan *bracing*, sedangkan pada kondisi tanah dianggap tidak jepit penuh gaya geser tingkat struktur *open frame* lebih kecil daripada pada struktur yang menggunakan *bracing*.
4. Pada gempa frekuensi rendah (Bucharest) struktur *braced V* akan mempunyai gaya geser tingkat yang lebih besar dari struktur *braced X*, karena struktur *braced V* mempunyai nilai frekuensi yang sedikit lebih kecil daripada *braced X* sehingga akan berasosiasi dengan lebih baik terhadap gempa Bucharest (frekuensi rendah).

5. Pada gempa frekuensi sedang (Elcentro) *struktur braced V* akan mempunyai gaya geser tingkat yang sama dengan struktur *braced X*, karena struktur *braced V* mempunyai nilai frekuensi yang sedikit lebih kecil daripada *braced X* sehingga akan berasosiasi dengan relatif sama terhadap gempa Elcentro (frekuensi sedang).
6. Pada gempa frekuensi tinggi (Koyna) dimana gaya geser tingkat struktur *braced V* lebih kecil daripada pada struktur *braced X*, karena struktur *braced V* mempunyai nilai frekuensi yang sedikit lebih kecil daripada *braced X* sehingga akan berasosiasi dengan lebih buruk terhadap gempa Koyna (frekuensi tinggi).
7. Dari gambar 5.173 dapat kita lihat bahwa gaya geser pada tingkat 7 memang lebih kecil dari tingkat 6 dan 8 sesuai dengan gambar 5.170. Hal tersebut terjadi karena gaya geser yang dimaksudkan adalah merupakan gaya geser maksimum dari kumulatif gaya horisontal tingkat dan bukan kumulatif dari maksimum gaya horisontal tingkat.

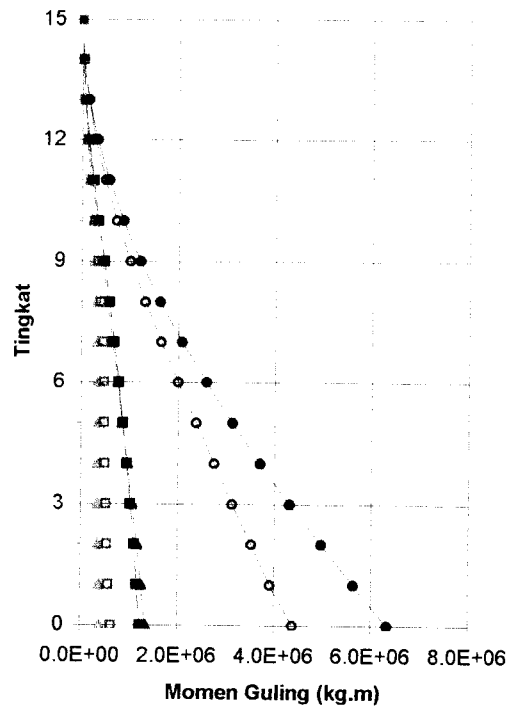
### **5.5.8 Momen Guling**

Pembahasan momen guling berdasarkan gambar 5.174 sampai dengan gambar 5.177 dan tabel 5.43 sampai dengan tabel 5.48 dengan 3 beban gempa dan 2 kombinasi kekakuan horisontal tanah dan kekakuan putar tanah di bawah ini.

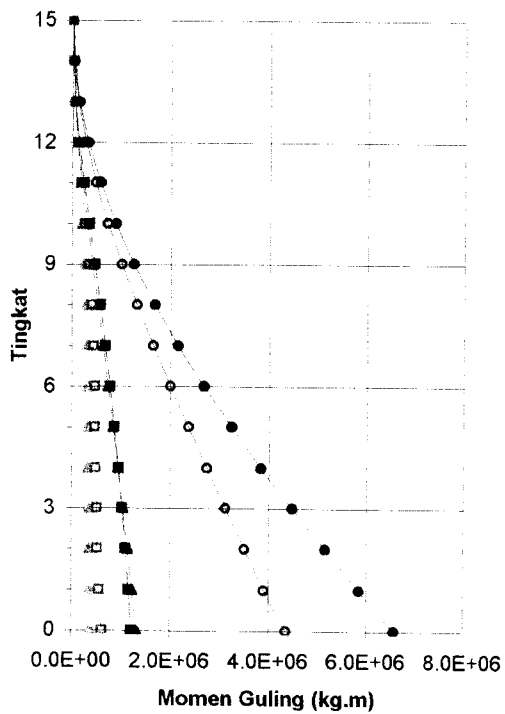




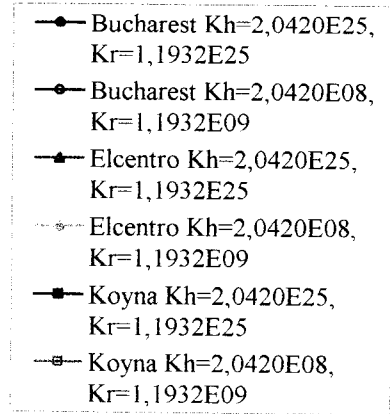
A. Struktur Open Frame



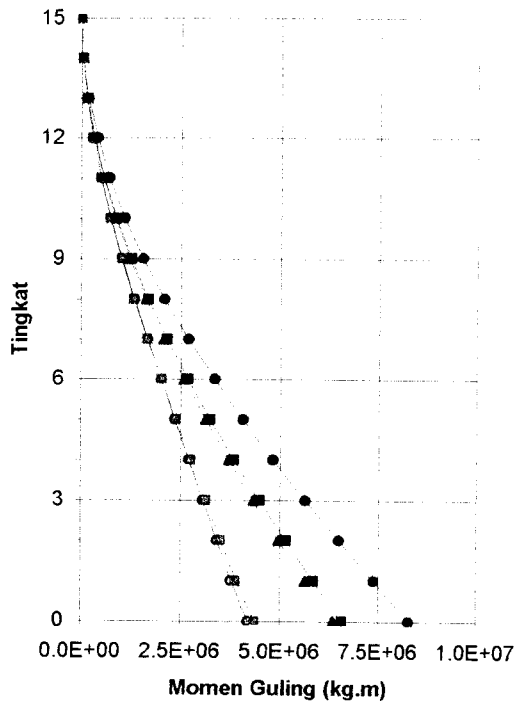
B. Struktur Braced X



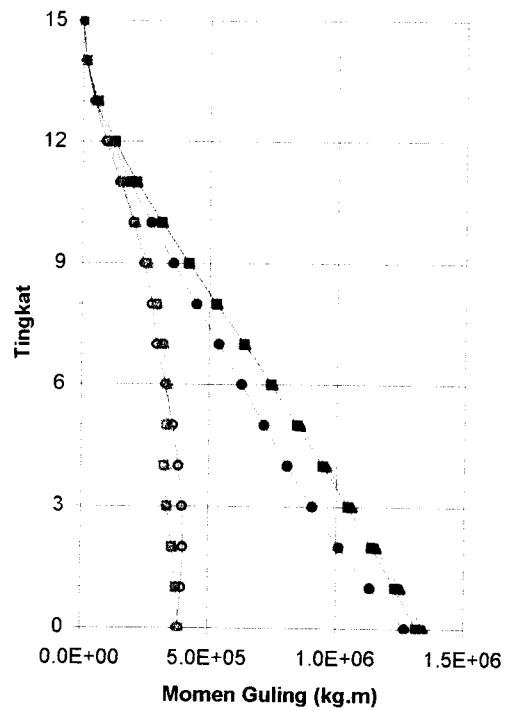
C. Struktur Braced V



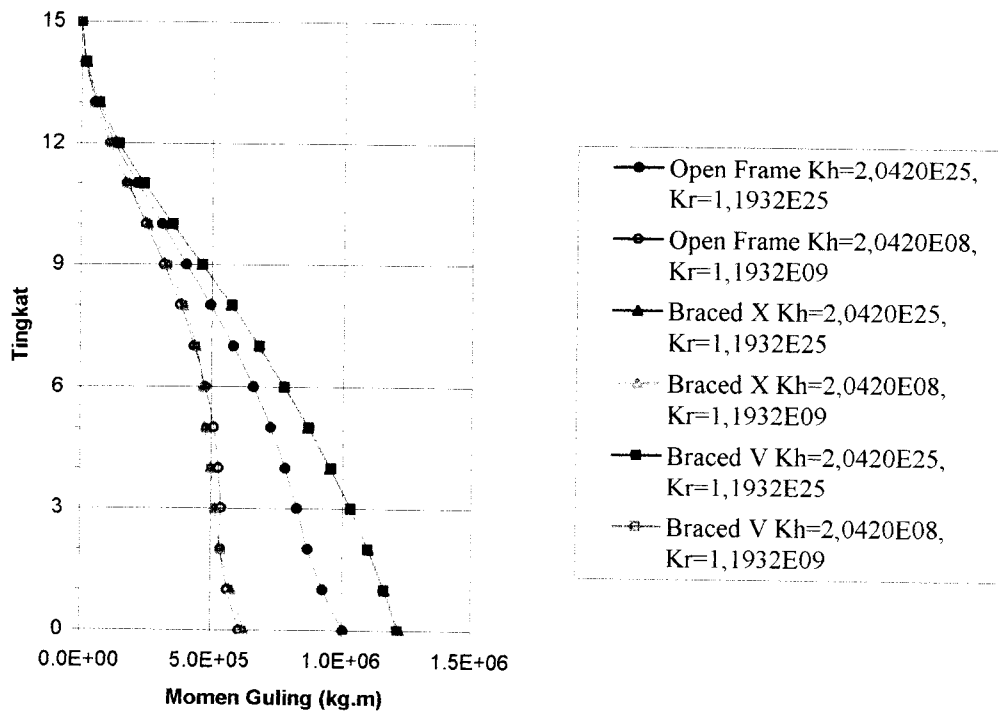
Gambar 5.174 Grafik Momen Guling Maksimum akibat 3 gempa



A. Gempa Bucharest

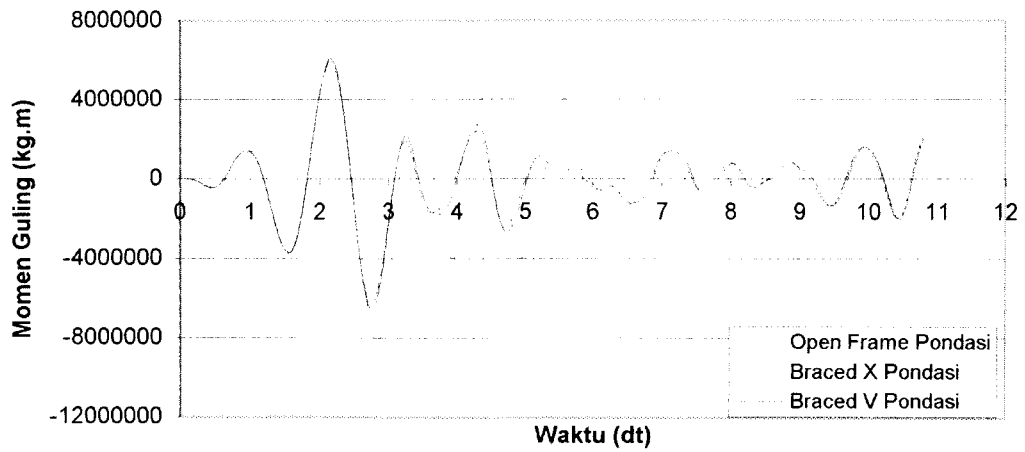


B. Gempa Elcentro

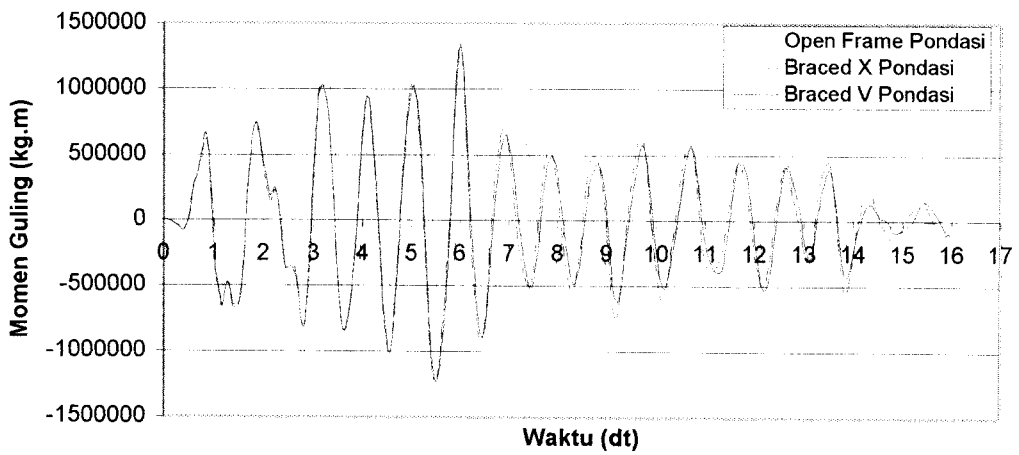


C. Gempa Koyana

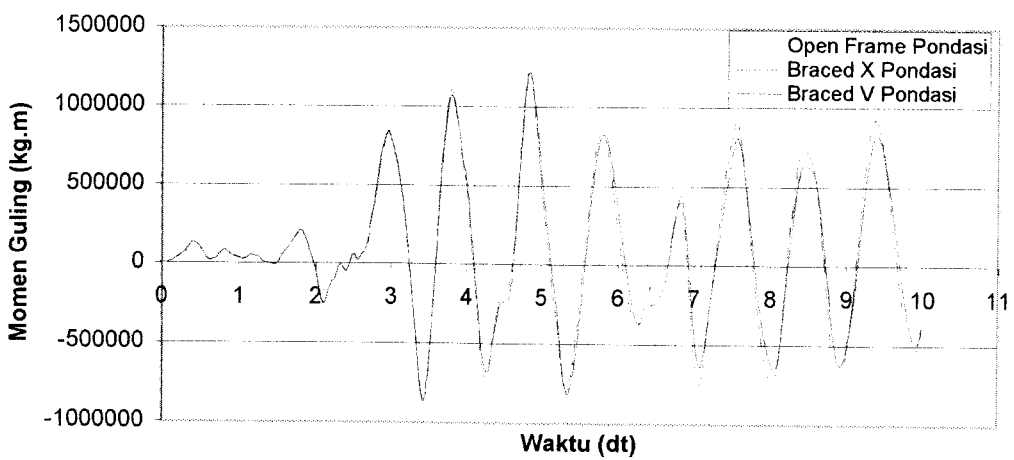
Gambar 5.175 Grafik Momen Guling Maksimum dengan 6 kombinasi



**A. Gempa Bucharest**

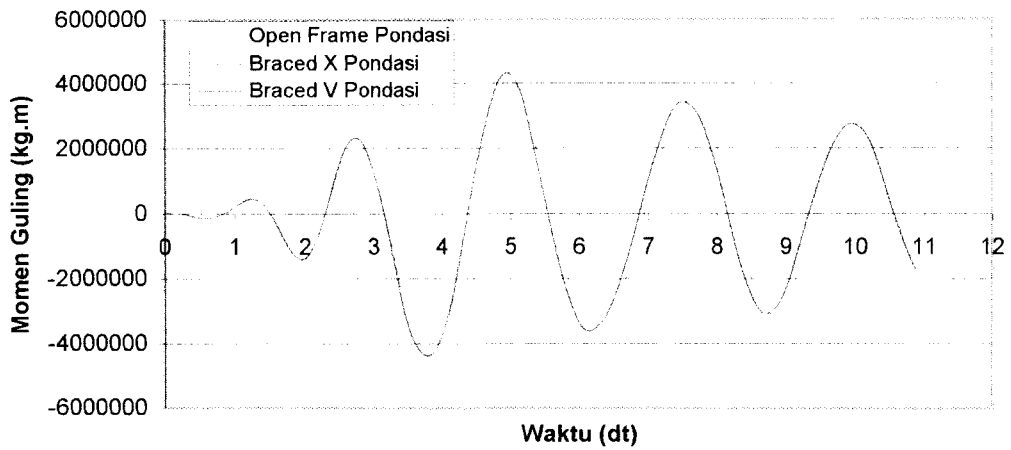


**B. Gempa Elcentro**

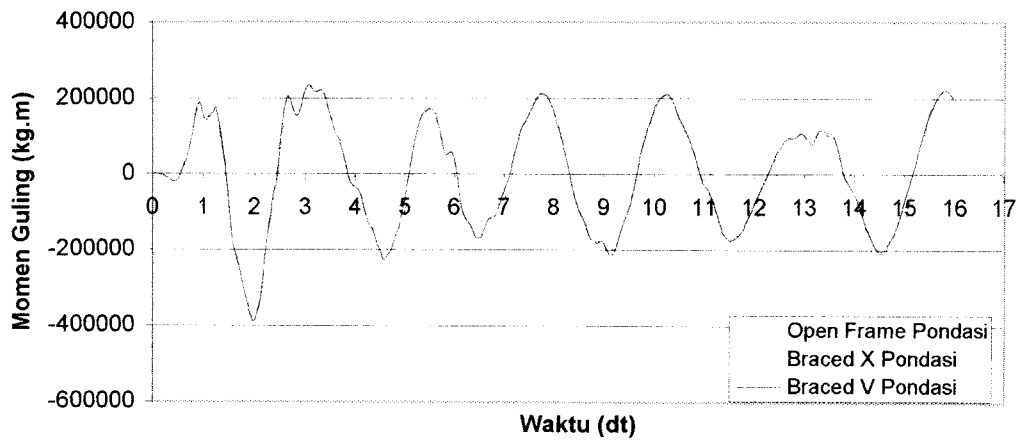


**C. Gempa Koyna**

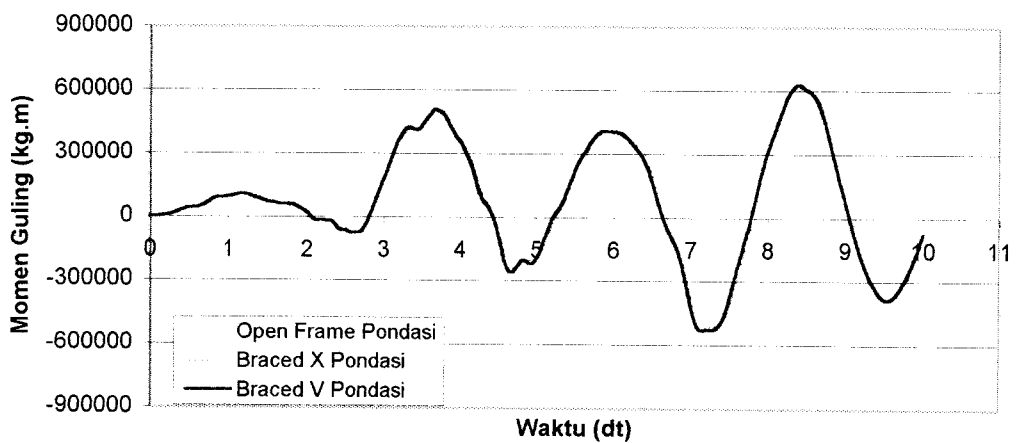
**Gambar 5.176 Momen Guling Maksimum dengan  $K_h=2.0420E+25$ ;  $K_r=1.1932E+25$**



**A. Gempa Bucharest**



**B. Gempa Elcentro**



**C. Gempa Koyna**

**Gambar 5.177 Momen Guling Maksimum dengan  $K_h=2.0420E+08$ ;  $K_r=1.1932E+09$**

**Tabel 5.43** Momen guling maksimum struktur 15 tingkat  $kh=2.0420E+25$ ,  
 $kr=1.1932E+25$  dengan menggunakan gempa Bucharest

Tingkat	Momen Guling (kg.m)		
	Open Frame	Braced X	Braced V
0	8,2788E+06	6,3292E+06	6,5667E+06
1	7,3668E+06	5,6348E+06	5,8465E+06
2	6,4836E+06	4,9643E+06	5,1508E+06
3	5,6346E+06	4,3208E+06	4,4828E+06
4	4,8266E+06	3,7073E+06	3,8459E+06
5	4,0637E+06	3,1273E+06	3,2437E+06
6	3,3497E+06	2,5838E+06	2,6801E+06
7	2,6906E+06	2,0809E+06	2,1590E+06
8	2,0920E+06	1,6236E+06	1,6840E+06
9	1,5596E+06	1,2148E+06	1,2597E+06
10	1,0987E+06	8,5883E+05	8,9031E+05
11	7,1280E+05	5,5908E+05	5,7940E+05
12	4,0611E+05	3,1954E+05	3,3106E+05
13	1,8311E+05	1,4445E+05	1,4963E+05
14	4,7082E+04	3,7205E+04	3,8536E+04
15	0,0000E+00	0,0000E+00	0,0000E+00

**Tabel 5.44** Momen guling maksimum struktur 15 tingkat  $kh=2.0420E+08$ ,  
 $kr=1.1932E+09$  dengan menggunakan gempa Bucharest

Tingkat	Momen Guling (kg.m)		
	Open Frame	Braced X	Braced V
0	4,2116E+06	4,3788E+06	4,3598E+06
1	3,7772E+06	3,9224E+06	3,9055E+06
2	3,4196E+06	3,5252E+06	3,5137E+06
3	3,0632E+06	3,1354E+06	3,1286E+06
4	2,7076E+06	2,7517E+06	2,7488E+06
5	2,3545E+06	2,3737E+06	2,3741E+06
6	2,0056E+06	2,0057E+06	2,0082E+06
7	1,6644E+06	1,6507E+06	1,6552E+06
8	1,3361E+06	1,3144E+06	1,3199E+06
9	1,0269E+06	1,0039E+06	1,0086E+06
10	7,4423E+05	7,2410E+05	7,2849E+05
11	4,9541E+05	4,8141E+05	4,8447E+05
12	2,8913E+05	2,8138E+05	2,8325E+05
13	1,3354E+05	1,3027E+05	1,3124E+05
14	3,5314E+04	3,4577E+04	3,4821E+04
15	0,0000E+00	0,0000E+00	0,0000E+00

**Tabel 5.45** Momen guling maksimum struktur 15 tingkat  $kh=2.0420E+25$ ,  
 $kr=1.1932E+25$  dengan menggunakan gempa Elcentro

Tingkat	Momen Guling (kg.m)		
	Open Frame	Braced X	Braced V
0	1,2700E+06	1,3437E+06	1,3163E+06
1	1,1336E+06	1,2535E+06	1,2306E+06
2	1,0117E+06	1,1581E+06	1,1395E+06
3	9,0546E+05	1,0616E+06	1,0460E+06
4	8,0861E+05	9,6000E+05	9,4834E+05
5	7,1637E+05	8,5710E+05	8,4639E+05
6	6,2714E+05	7,4966E+05	7,4256E+05
7	5,3778E+05	6,4089E+05	6,3469E+05
8	4,4832E+05	5,3058E+05	5,2598E+05
9	3,5821E+05	4,1976E+05	4,1781E+05
10	2,6959E+05	3,1374E+05	3,1186E+05
11	1,8544E+05	2,1381E+05	2,1230E+05
12	1,1097E+05	1,2655E+05	1,2611E+05
13	5,1997E+04	5,8613E+04	5,8581E+04
14	1,3696E+04	1,5336E+04	1,5333E+04
15	0,0000E+00	0,0000E+00	0,0000E+00

**Tabel 5.46** Momen guling maksimum struktur 15 tingkat  $kh=2.0420E+08$ ,  
 $kr=1.1932E+09$  dengan menggunakan gempa Elcentro

Tingkat	Momen Guling (kg.m)		
	Open Frame	Braced X	Braced V
0	3,8021E+05	3,8813E+05	3,8690E+05
1	3,9366E+05	3,7397E+05	3,7364E+05
2	3,9973E+05	3,5793E+05	3,5701E+05
3	3,9556E+05	3,3924E+05	3,3672E+05
4	3,8254E+05	3,3425E+05	3,2505E+05
5	3,5919E+05	3,4312E+05	3,3377E+05
6	3,2866E+05	3,4081E+05	3,3192E+05
7	2,9400E+05	3,2586E+05	3,1788E+05
8	2,7512E+05	2,9773E+05	2,9096E+05
9	2,4329E+05	2,5733E+05	2,5193E+05
10	1,9956E+05	2,0693E+05	2,0288E+05
11	1,4699E+05	1,5572E+05	1,5273E+05
12	9,2874E+04	1,0142E+05	9,9592E+04
13	4,5328E+04	5,0623E+04	4,9735E+04
14	1,2518E+04	1,3914E+04	1,3670E+04
15	0,0000E+00	0,0000E+00	0,0000E+00

**Tabel 5.47** Momen guling maksimum struktur 15 tingkat  $kh=2.0420E+25$ ,  
 $kr=1.1932E+25$  dengan menggunakan gempa Koyna

Tingkat	Momen Guling (kg.m)		
	Open Frame	Braced X	Braced V
0	1,0052E+06	1,2239E+06	1,2174E+06
1	9,2666E+05	1,1651E+06	1,1618E+06
2	8,6965E+05	1,1021E+06	1,1001E+06
3	8,2696E+05	1,0307E+06	1,0316E+06
4	7,8187E+05	9,5209E+05	9,5443E+05
5	7,2657E+05	8,6737E+05	8,6996E+05
6	6,5939E+05	7,7621E+05	7,7883E+05
7	5,8135E+05	6,7741E+05	6,8053E+05
8	4,9489E+05	5,7101E+05	5,7483E+05
9	4,0309E+05	4,5937E+05	4,6350E+05
10	3,0857E+05	3,4694E+05	3,5057E+05
11	2,1438E+05	2,3909E+05	2,4154E+05
12	1,2873E+05	1,4335E+05	1,4460E+05
13	6,0204E+04	6,7261E+04	6,7710E+04
14	1,5818E+04	1,7745E+04	1,7896E+04
15	0,0000E+00	0,0000E+00	0,0000E+00

**Tabel 5.48** Momen guling maksimum struktur 15 tingkat  $kh=2.0420E+08$ ,  
 $kr=1.1932E+09$  dengan menggunakan gempa Koyna

Tingkat	Momen Guling (kg.m)		
	Open Frame	Braced X	Braced V
0	6,1030E+05	6,2894E+05	6,2777E+05
1	5,6402E+05	5,7720E+05	5,7691E+05
2	5,3719E+05	5,3743E+05	5,3337E+05
3	5,3780E+05	5,1474E+05	5,1445E+05
4	5,2876E+05	4,9738E+05	4,9676E+05
5	5,0871E+05	4,7361E+05	4,7563E+05
6	4,7686E+05	4,6702E+05	4,6885E+05
7	4,3419E+05	4,3949E+05	4,4072E+05
8	3,8020E+05	3,9147E+05	3,9410E+05
9	3,1676E+05	3,2864E+05	3,3137E+05
10	2,4709E+05	2,5563E+05	2,5716E+05
11	1,7589E+05	1,7838E+05	1,8041E+05
12	1,0875E+05	1,0784E+05	1,0893E+05
13	5,2460E+04	5,0770E+04	5,1143E+04
14	1,4213E+04	1,3470E+04	1,3543E+04
15	0,0000E+00	0,0000E+00	0,0000E+00

Dari hasil grafik momen guling maksimum pada gambar 5.174 sampai dengan gambar 5.177 dan tabel 5.43 sampai dengan 5.48 maka,

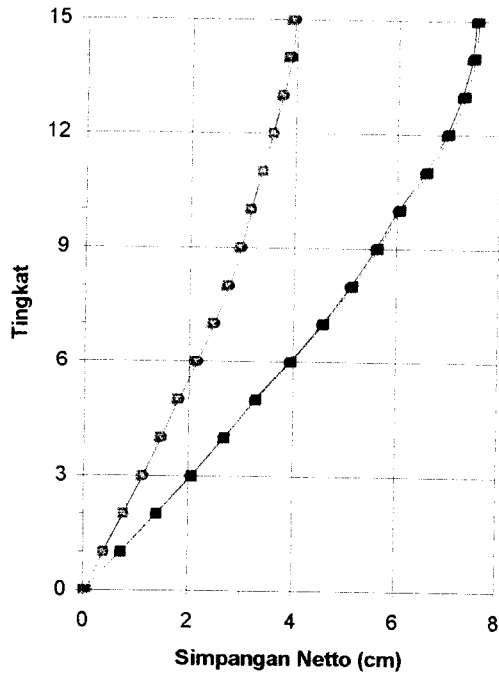
1. Momen guling akan mengalami nilai maksimum pada lantai dasar (pondasi) sedangkan nilai minimum akan terjadi pada tingkat paling atas, karena momen guling merupakan fungsi penjumlahan terhadap gaya-gaya yang bekerja di atasnya.
2. Pada kondisi tanah dianggap jepit penuh, nilai momen guling yang terjadi akan lebih besar daripada pada kondisi tanah dianggap tidak jepit penuh, karena gaya yang terjadi pada kondisi tanah dianggap jepit penuh akan lebih besar dibandingkan dengan pada kondisi tanah dianggap tidak jepit penuh sehingga momen yang dihasilkan akan lebih besar pula.
3. Pada gempa frekuensi rendah (Bucharest) struktur *open frame* akan mempunyai nilai momen guling yang lebih besar dibandingkan dengan struktur yang menggunakan *bracing*, karena struktur *open frame* mempunyai nilai frekuensi yang lebih rendah dibandingkan dengan struktur *braced* sehingga mampu berasosiasi dengan lebih baik terhadap gempa Bucharest.
4. Pada gempa frekuensi sedang dan tinggi (Elcentro dan Koyna) struktur *open frame* akan mempunyai nilai momen guling yang lebih kecil dibandingkan dengan struktur yang menggunakan *bracing*, karena struktur *braced* mempunyai nilai frekuensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan *open frame* sehingga mampu berasosiasi dengan lebih baik terhadap gempa Elcentro dan Koyna.



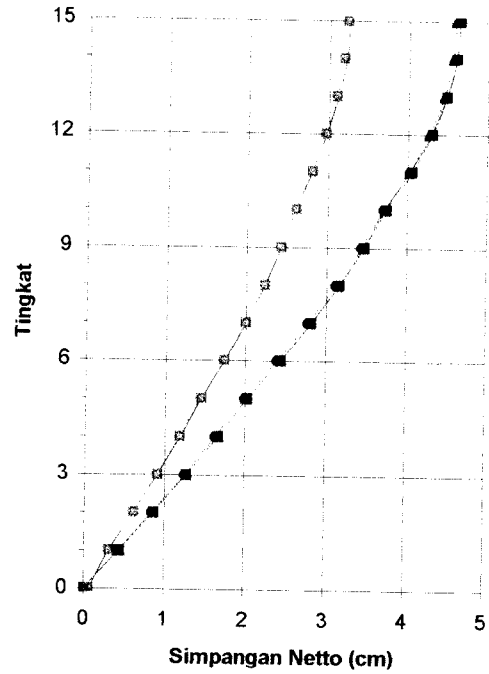
5. Pada gempa frekuensi rendah (Bucharest) struktur *braced V* akan mempunyai momen guling yang lebih besar dari struktur *braced X*, karena struktur *braced V* mempunyai nilai frekuensi yang sedikit lebih kecil daripada *braced X* sehingga akan berasosiasi dengan lebih baik terhadap gempa Bucharest (frekuensi rendah).
8. Pada gempa frekuensi sedang (Elcentro) struktur *braced V* akan mempunyai momen guling yang sama dengan struktur *braced X*, karena struktur *braced V* mempunyai nilai frekuensi yang sedikit lebih kecil daripada *braced X* sehingga akan berasosiasi dengan relatif sama terhadap gempa Elcentro (frekuensi sedang).
9. Pada gempa frekuensi tinggi (Koyna) dimana momen guling struktur *braced X* lebih kecil daripada pada struktur *braced V*, karena struktur *braced X* mempunyai nilai frekuensi yang sedikit lebih besar daripada *braced V* sehingga akan berasosiasi dengan lebih baik terhadap gempa Koyna (frekuensi tinggi).

### **5.6 Perbandingan Penggunaan Nilai Redaman**

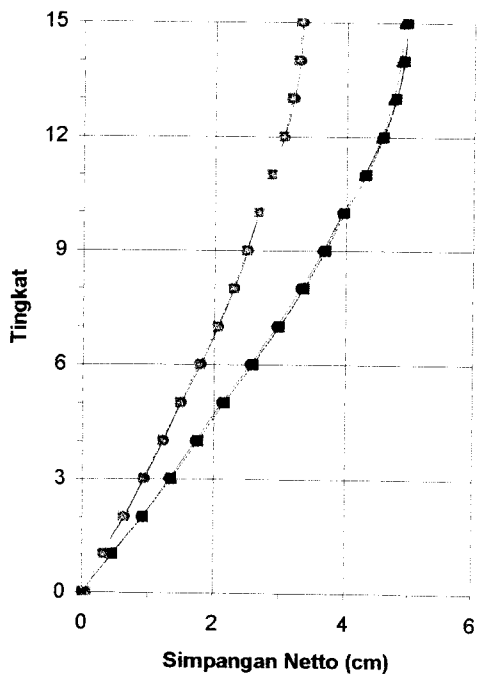
Dalam analisis ini membandingkan hasil respon struktur dengan menggunakan nilai redaman yang berbeda, yaitu redaman proposional dengan massa digunakan mode ke-1, redaman proposional dengan kekakuan digunakan mode ke-1 dan redaman proposional dengan massa (mode ke-5) dan kekakuan (mode ke-10). Hasil analisis diplotkan dalam grafik yang merupakan nilai-nilai maksimum dari respon struktur yang disajikan pada gambar 5.178 sampai dengan gambar 5.201 dibawah ini.



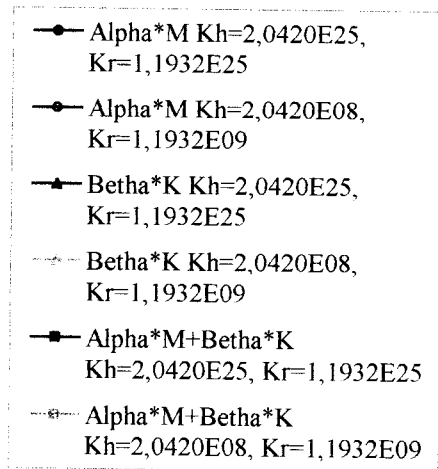
**A. Struktur Open Frame**



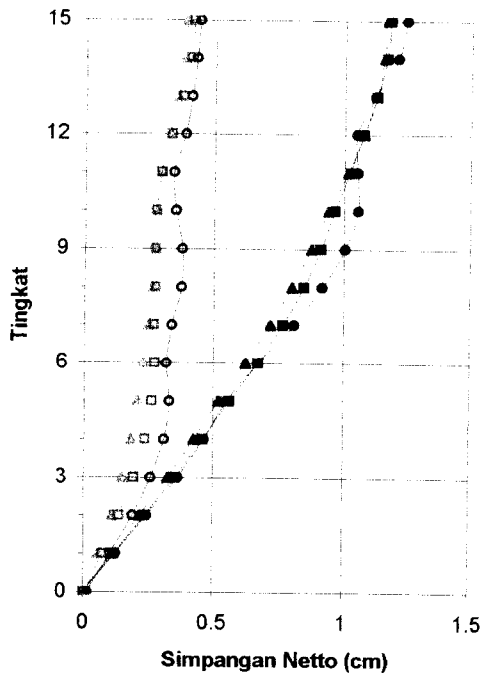
**B. Struktur Brace X**



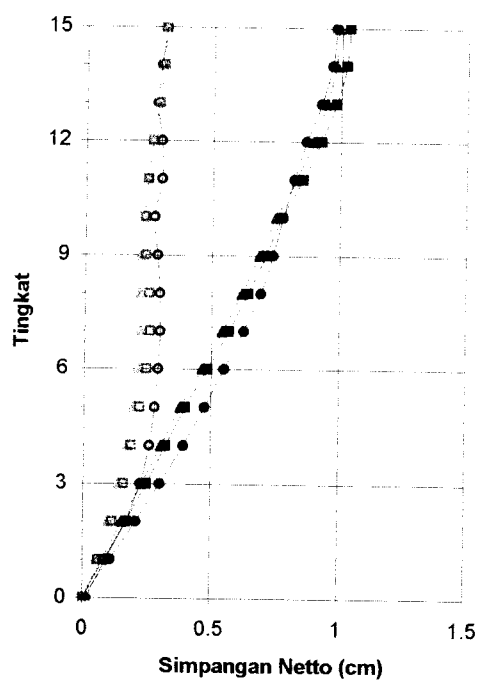
**C. Struktur Brace V**



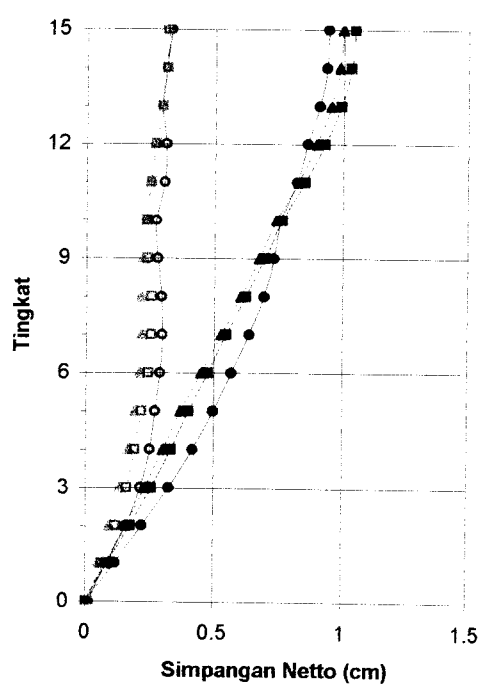
**Gambar 5.178 Grafik Simpangan Netto Maksimum akibat gempa Bucharest dengan 3 kombinasi redaman**



**A. Struktur Open Frame**



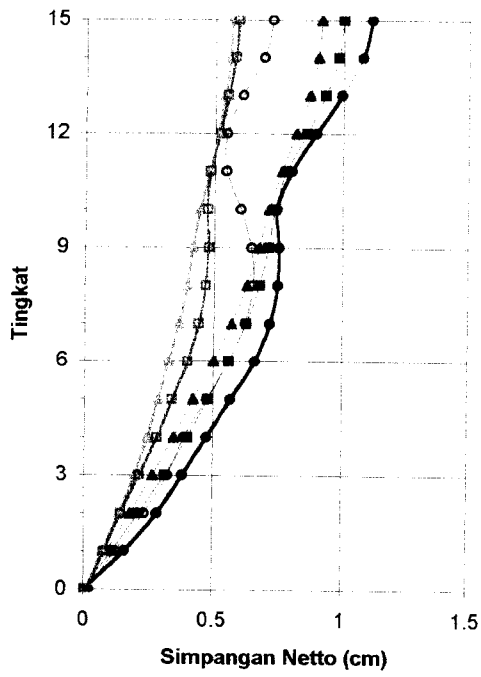
**B. Struktur Brace X**



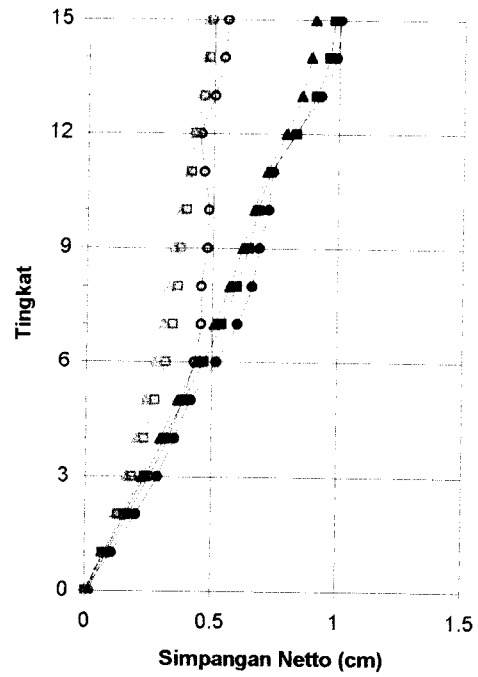
**C. Struktur Brace V**

- Alpha\*M Kh=2,0420E25, Kr=1,1932E25
- Alpha\*M Kh=2,0420E08, Kr=1,1932E09
- ▲— Beta\*K Kh=2,0420E25, Kr=1,1932E25
- \*— Beta\*K Kh=2,0420E08, Kr=1,1932E09
- Alpha\*M+Beta\*K Kh=2,0420E25, Kr=1,1932E25
- Alpha\*M+Beta\*K Kh=2,0420E08, Kr=1,1932E09

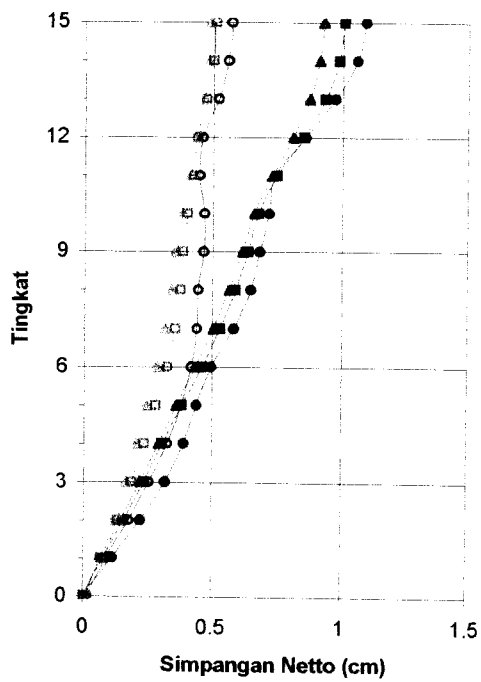
**Gambar 5.179 Grafik Simpangan Netto Maksimum akibat gempa Elcentro dengan 3 kombinasi redaman**



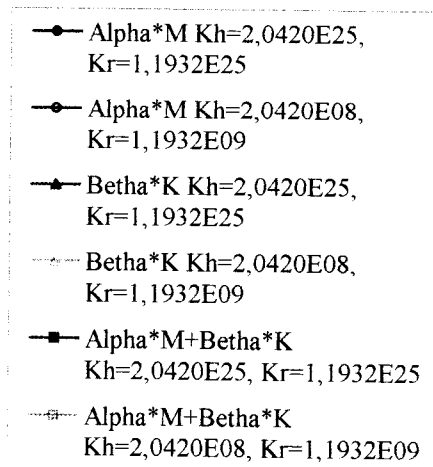
**A. Struktur Open Frame**



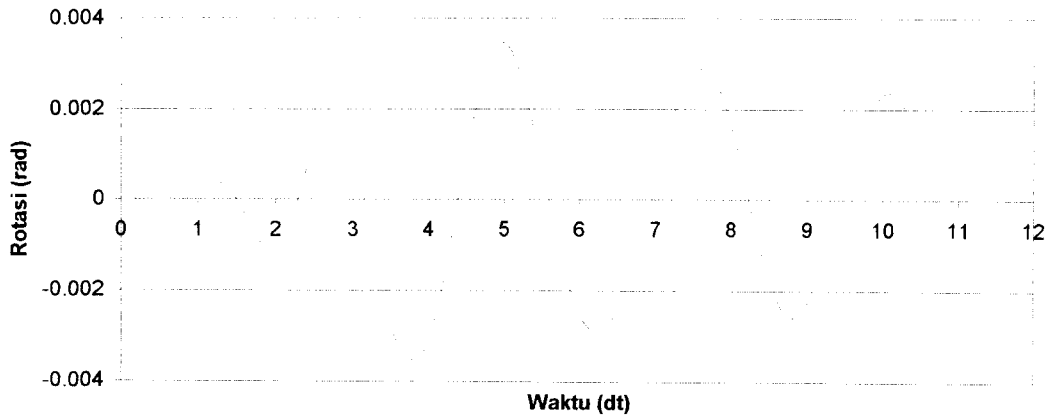
**B. Struktur Brace X**



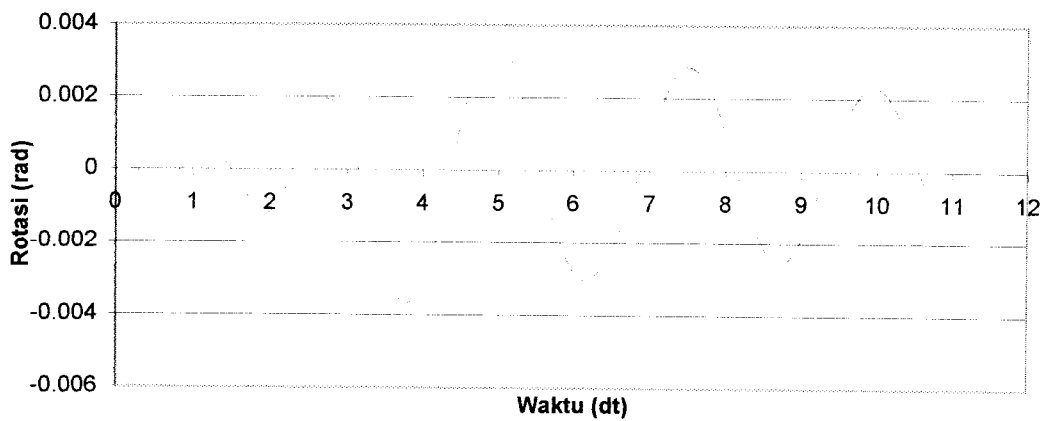
**C. Struktur Brace V**



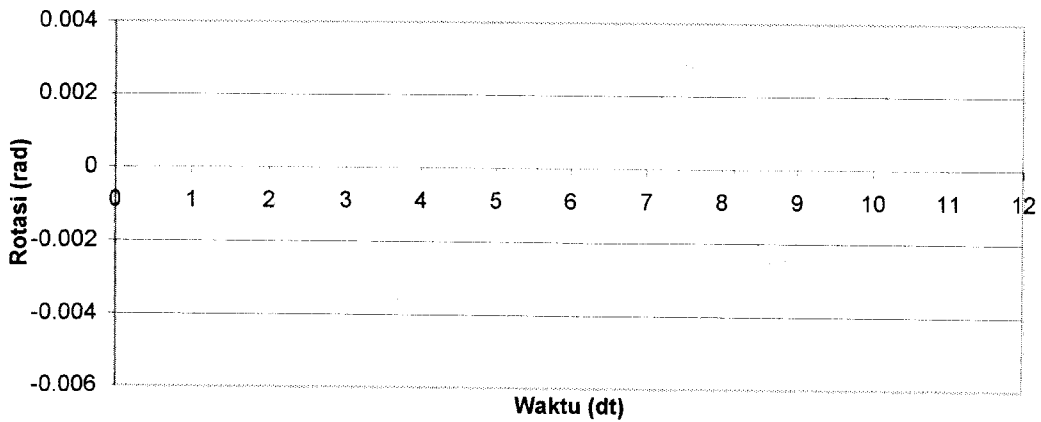
**Gambar 5.180 Grafik Simpangan Netto Maksimum akibat gempa Koyna dengan 3 kombinasi redaman**



**A. Struktur Open Frame**



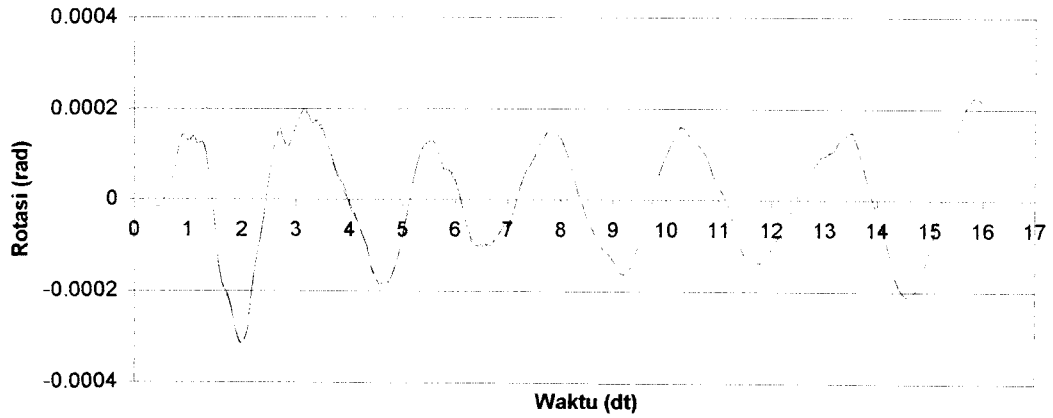
**B. Struktur Braced X**



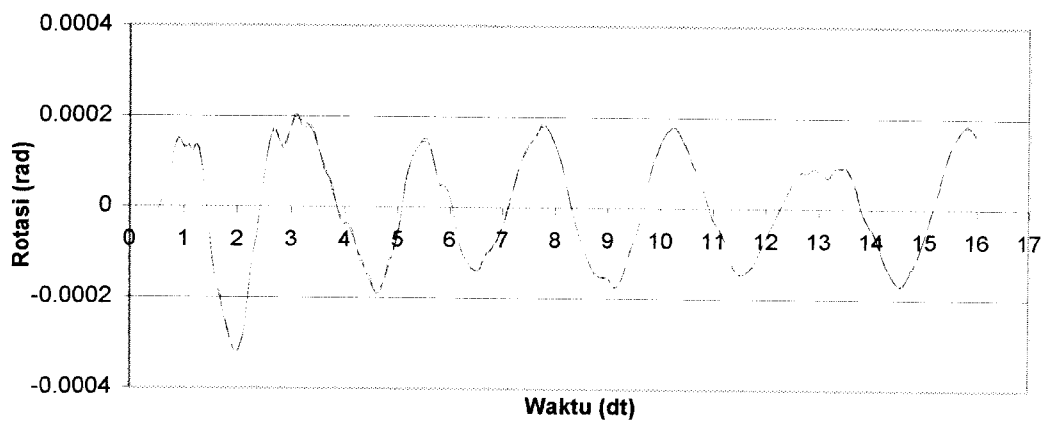
**C. Struktur Braced V**

- $K_h=2.0420E+25, K_r=1.1932E+25 \text{ Alpha} * M$
- $K_h=2.0420E+25, K_r=1.1932E+25 \text{ Betha} * K$
- $K_h=2.0420E+25, K_r=1.1932E+25 \text{ Alpha} * M + \text{Betha} * K$
- $K_h=2.0420E+08, K_r=1.1932E+09 \text{ Alpha} * M$
- $K_h=2.0420E+08, K_r=1.1932E+09 \text{ Betha} * K$
- $K_h=2.0420E+08, K_r=1.1932E+09 \text{ Alpha} * M + \text{Betha} * K$

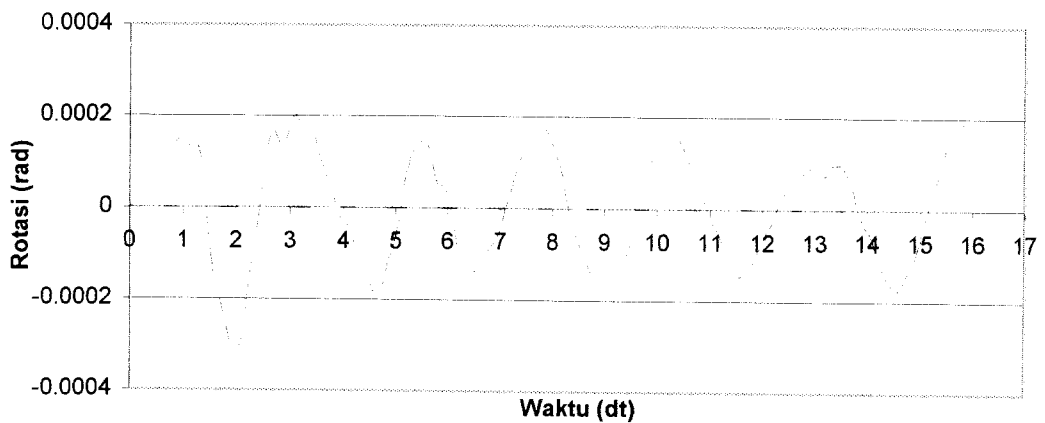
**Gambar 5.181 Grafik Rotasi Pondasi akibat gempa Bucharest dengan 3 kombinasi redaman**



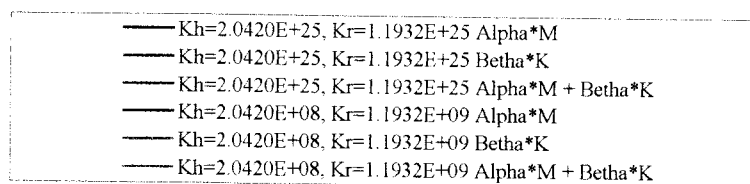
**A. Struktur Open Frame**



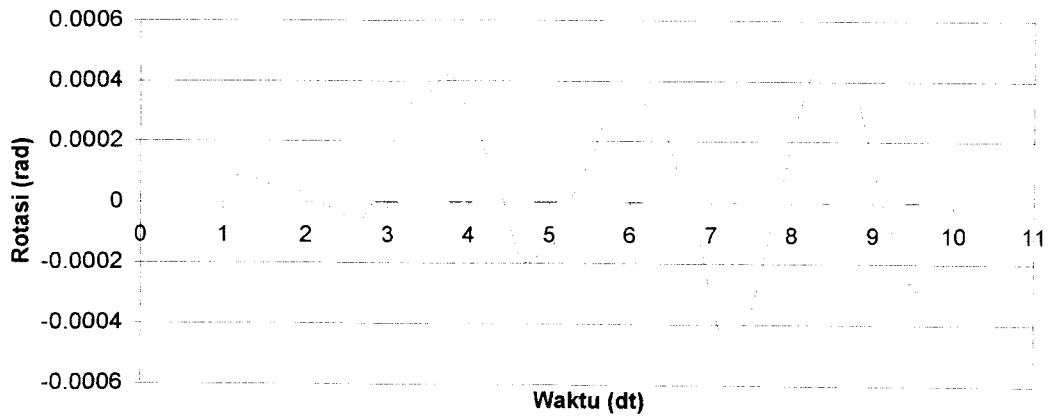
**B. Struktur Braced X**



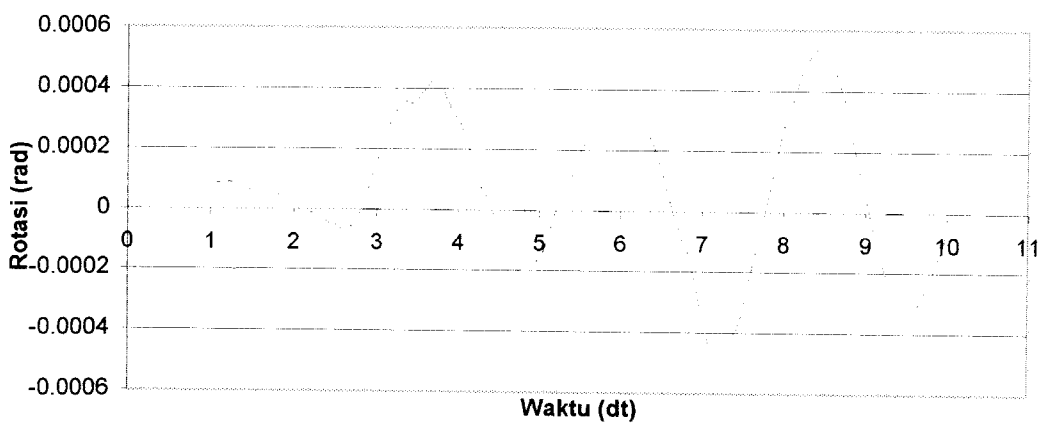
**C. Struktur Braced V**



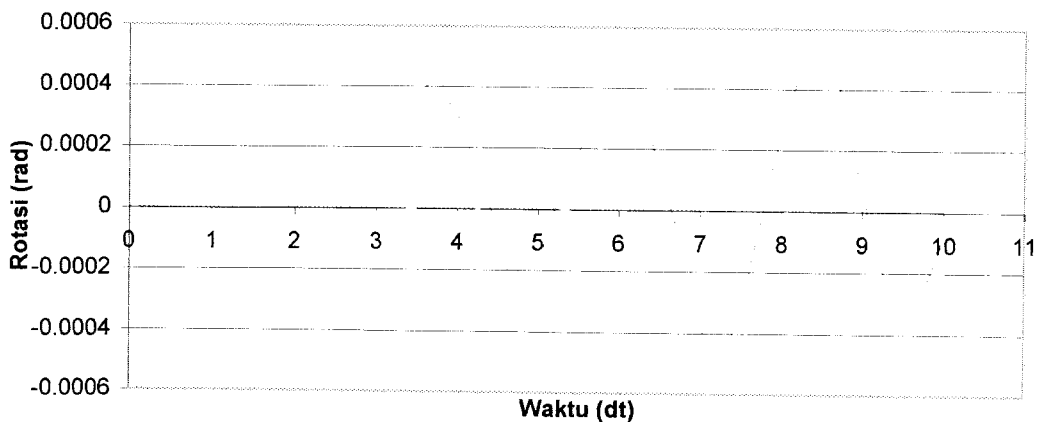
**Gambar 5.182 Grafik Rotasi Pondasi akibat gempa Elcentro dengan 3 kombinasi redaman**



**A. Struktur Open Frame**



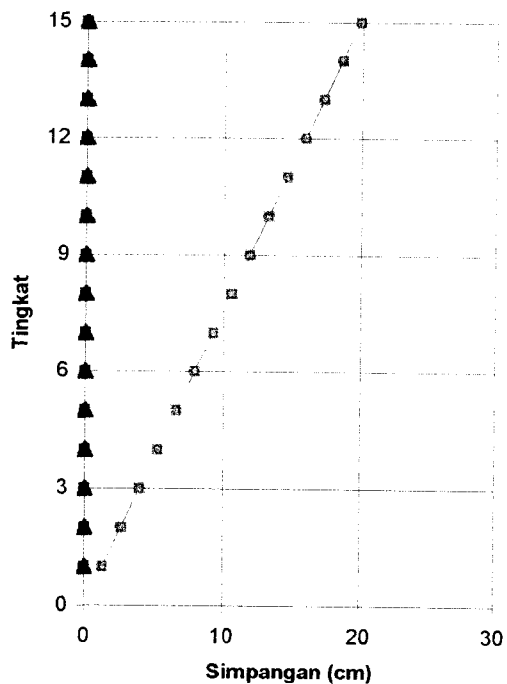
**B. Struktur Brace X**



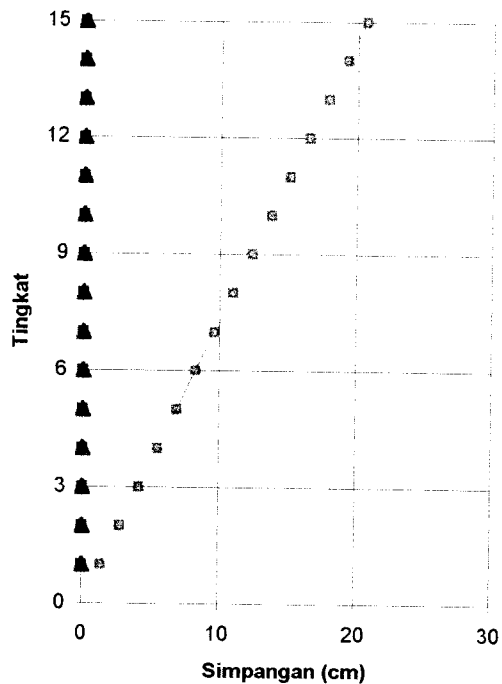
**C. Struktur Brace V**

- Kh=2.0420E+25, Kr=1.1932E+25 Alpha\*M
- Kh=2.0420E+25, Kr=1.1932E+25 Betha\*K
- Kh=2.0420E+25, Kr=1.1932E+25 Alpha\*M + Betha\*K
- Kh=2.0420E+08, Kr=1.1932E+09 Alpha\*M
- Kh=2.0420E+08, Kr=1.1932E+09 Betha\*K
- Kh=2.0420E+08, Kr=1.1932E+09 Alpha\*M + Betha\*K

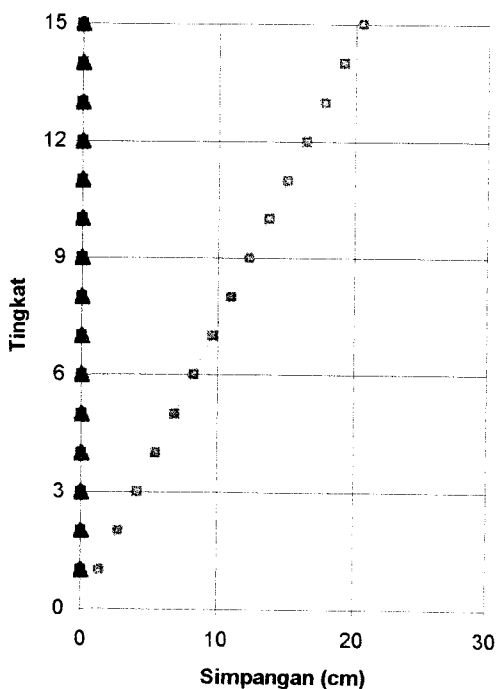
**Gambar 5.183 Grafik Rotasi Pondasi akibat gempa Koyna dengan 3 kombinasi redaman**



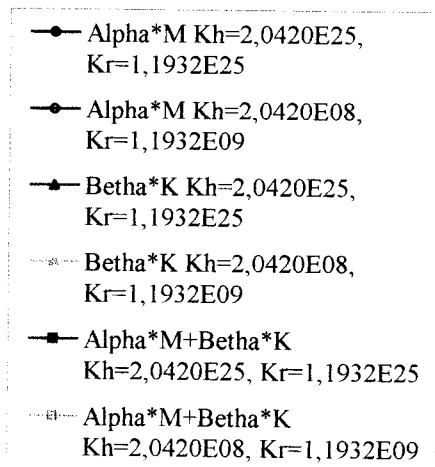
A. Struktur Open Frame



B. Struktur Brace X

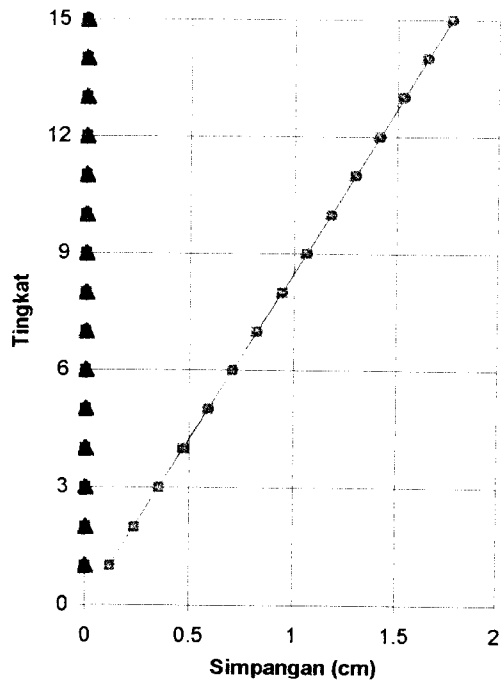


C. Struktur Brace V

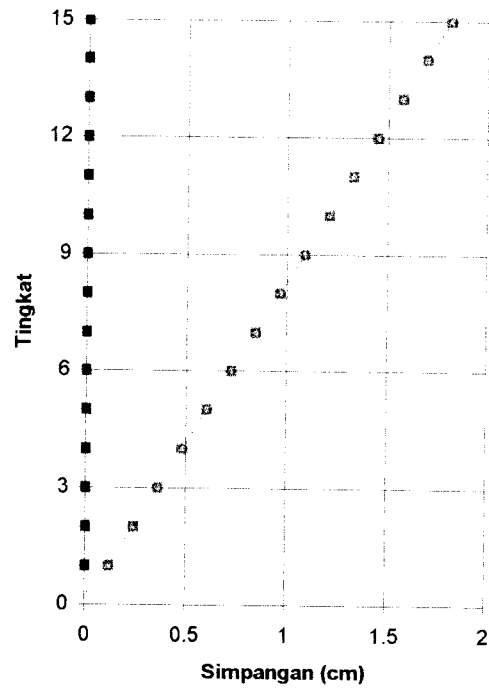


Gambar 5.184 Grafik Simpangan Rotasi Maksimum akibat gempa Bucharest dengan 3 kombinasi redaman

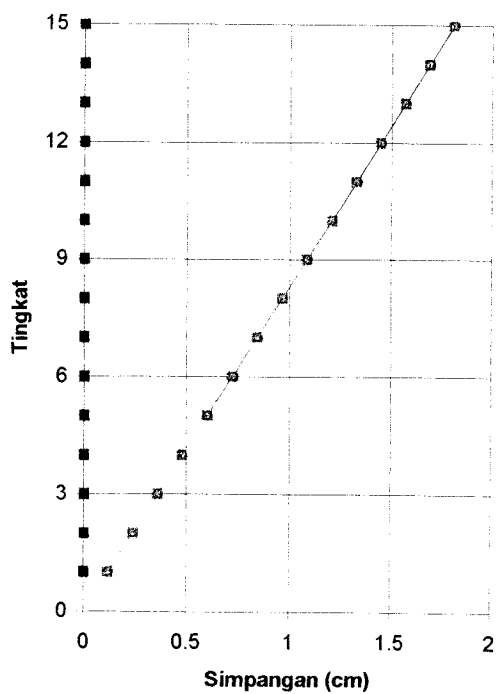




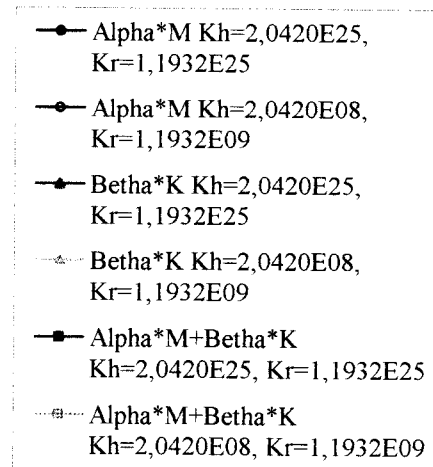
A. Struktur Open Frame



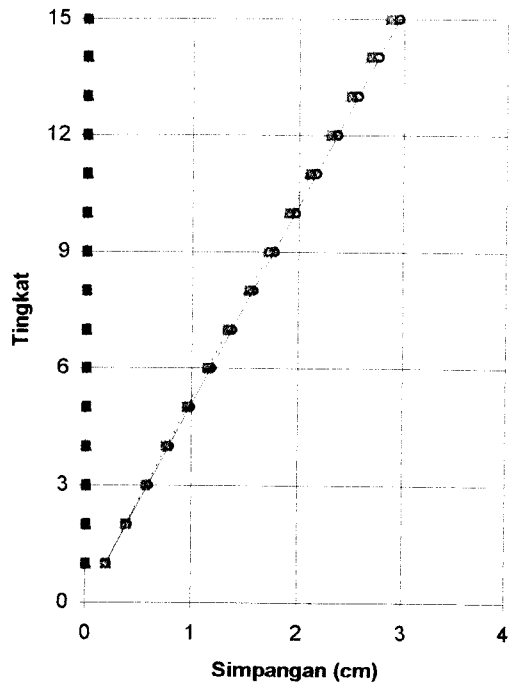
B. Struktur Brace X



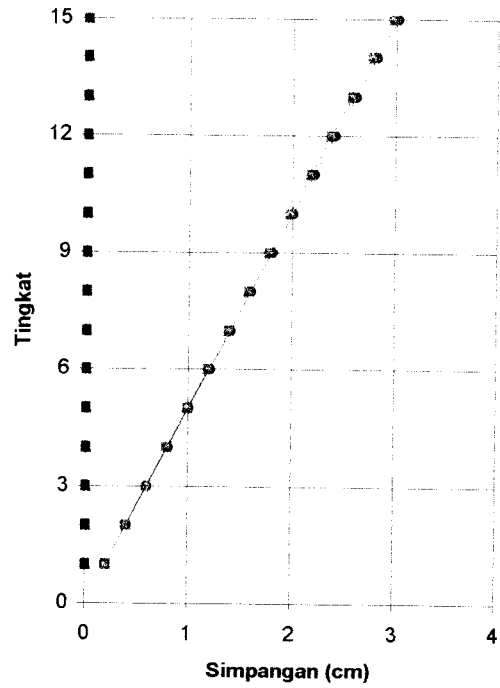
C. Struktur Brace V



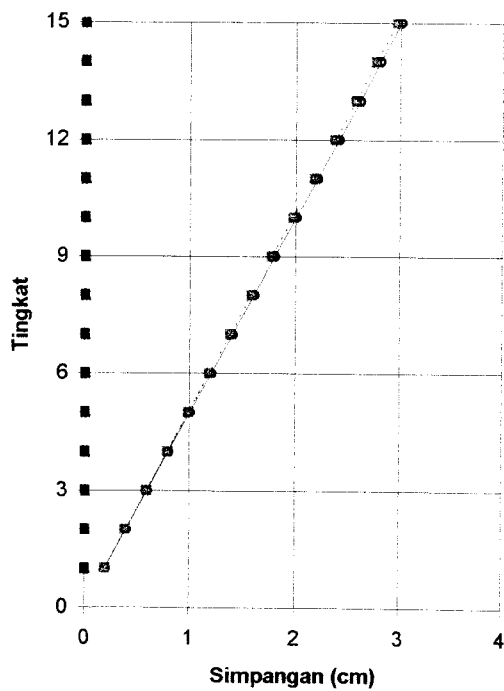
Gambar 5.185 Grafik Simpangan Rotasi Maksimum akibat gempa Elcentro dengan 3 kombinasi redaman



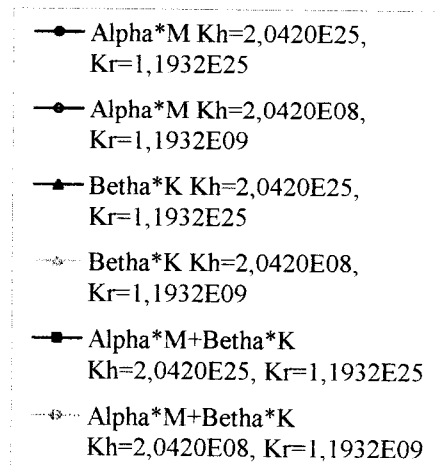
A. Struktur Open Frame



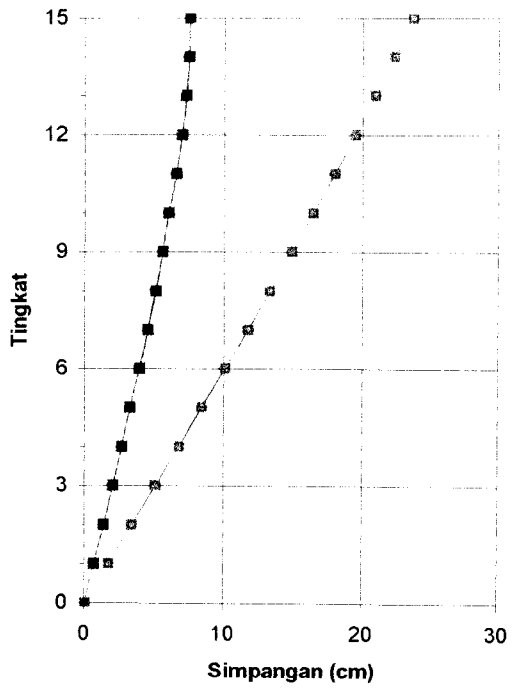
B. Struktur Brace X



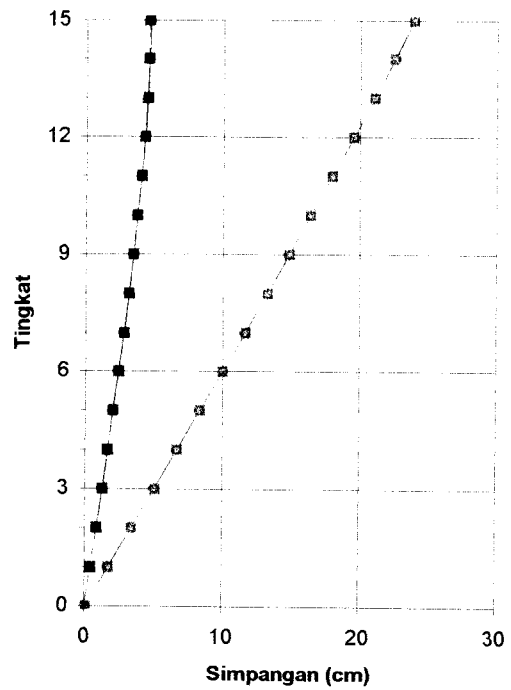
C. Struktur Brace V



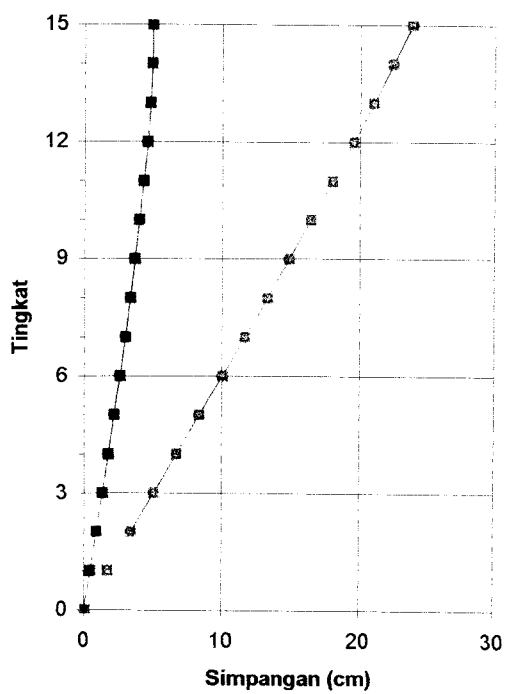
Gambar 5.186 Grafik Simpangan Rotasi Maksimum akibat gempa Koyna dengan 3 kombinasi redaman



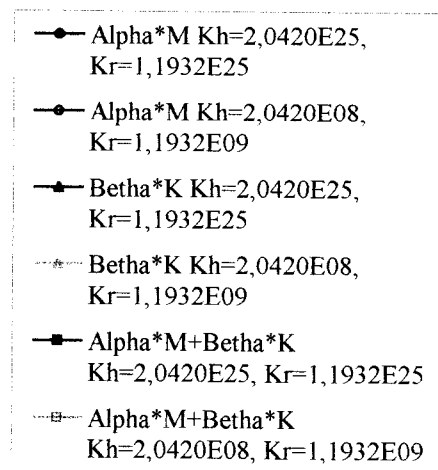
A. Struktur Open Frame



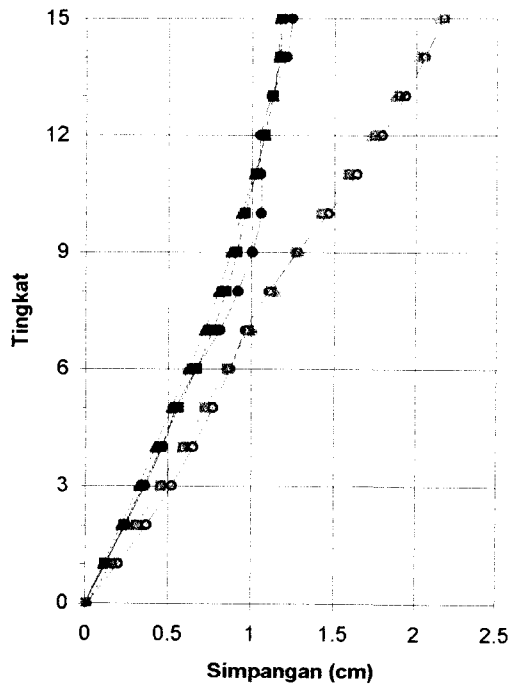
B. Struktur Brace X



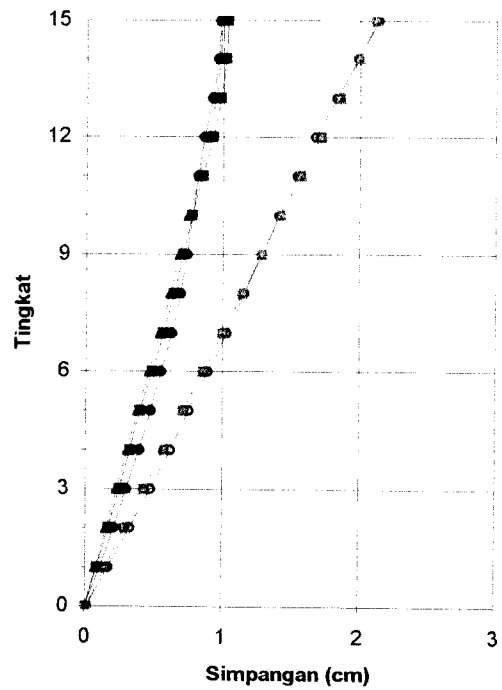
C. Struktur Brace V



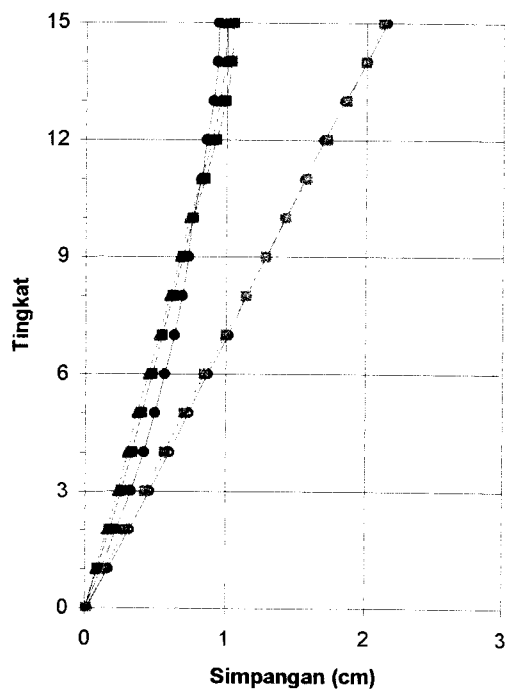
**Gambar 5.187 Grafik Simpangan Total Maksimum akibat gempa Bucharest dengan 3 kombinasi redaman**



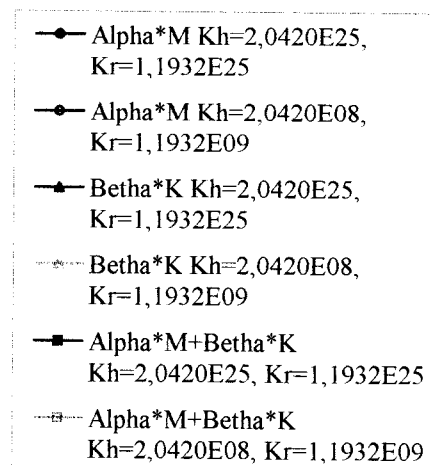
A. Struktur Open Frame



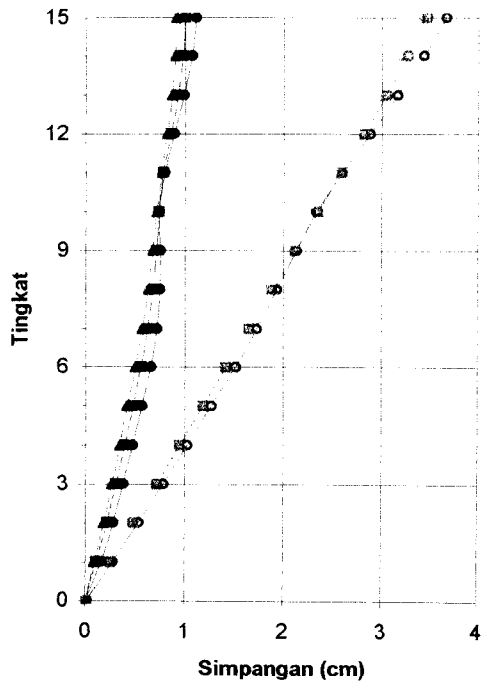
B. Struktur Brace X



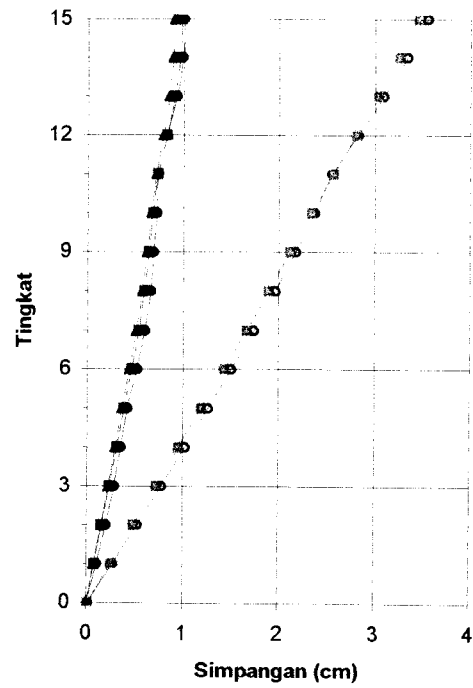
C. Struktur Brace V



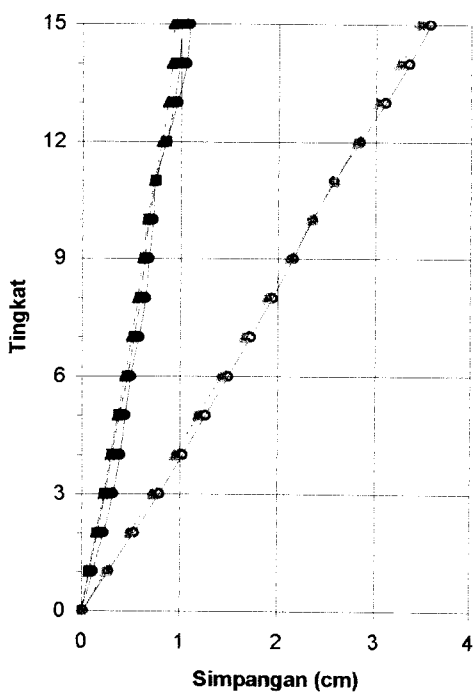
Gambar 5.188 Grafik Simpangan Total Maksimum akibat gempa Elcentro dengan 3 kombinasi redaman



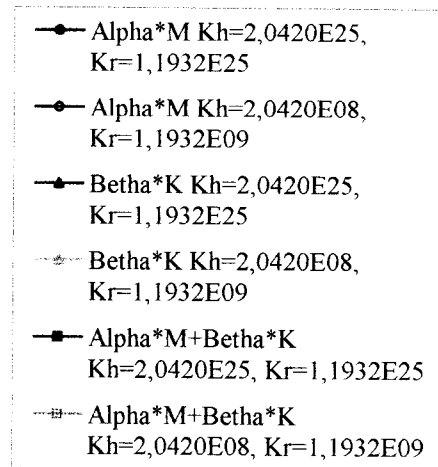
**A. Struktur Open Frame**



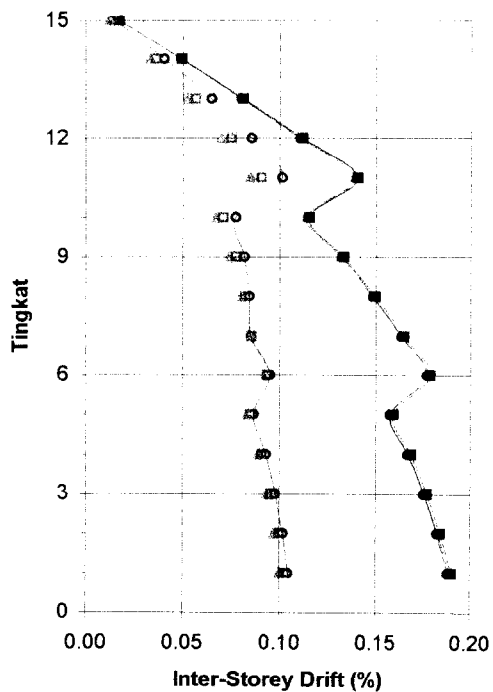
**B. Struktur Brace X**



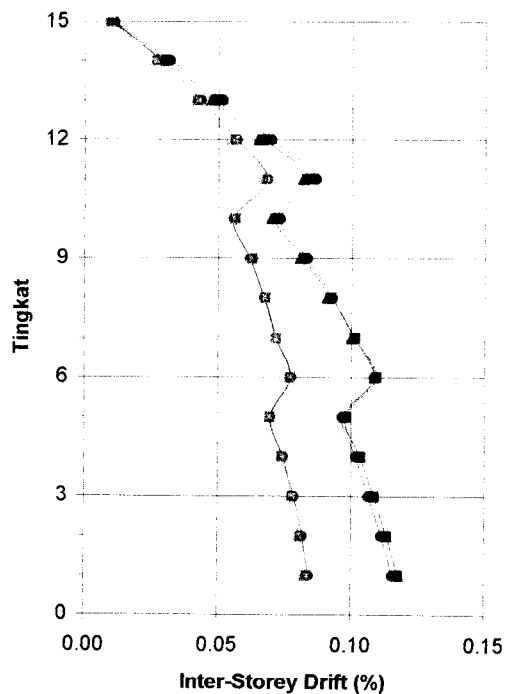
**C. Struktur Brace V**



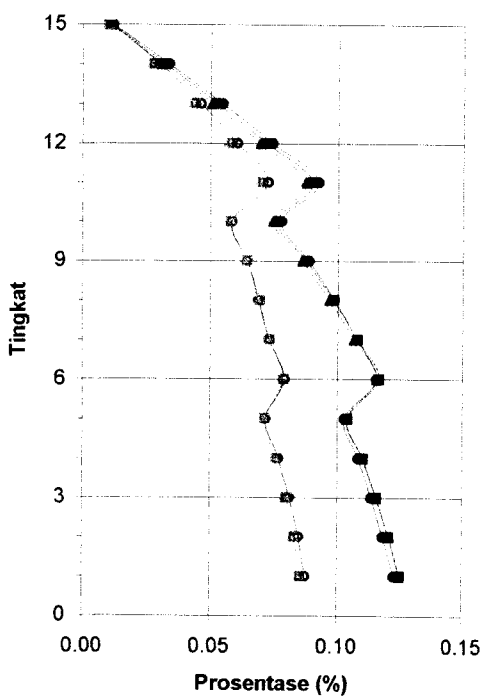
**Gambar 5.189 Grafik Simpangan Total Maksimum akibat gempa Koyna dengan 3 kombinasi redaman**



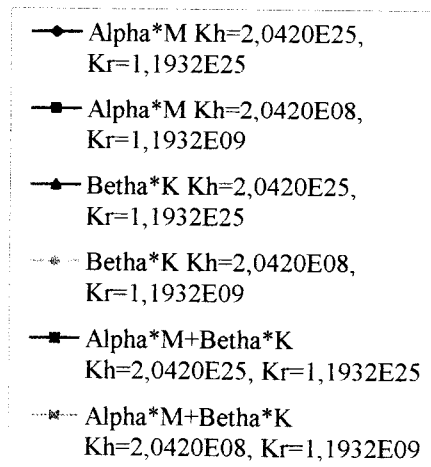
A. Struktur Open Frame



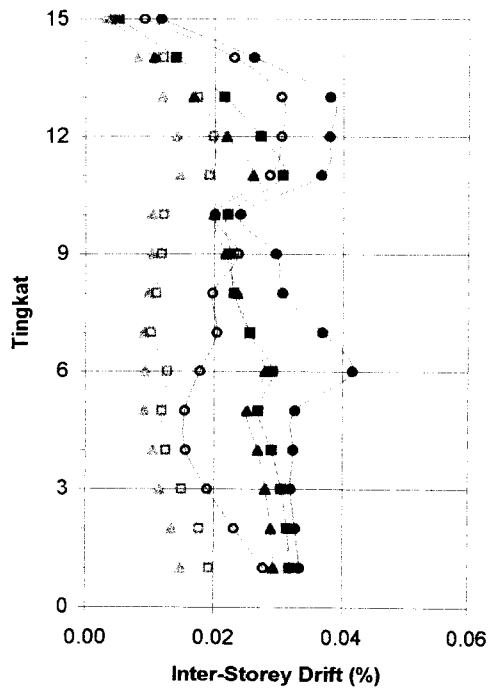
B. Struktur Brace X



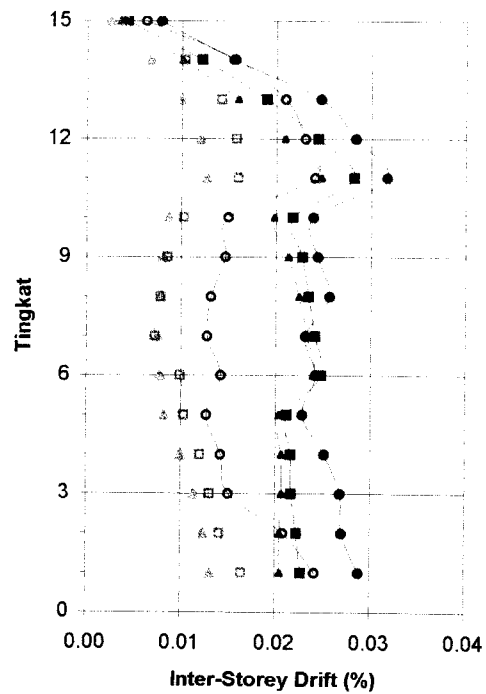
C. Struktur Brace V



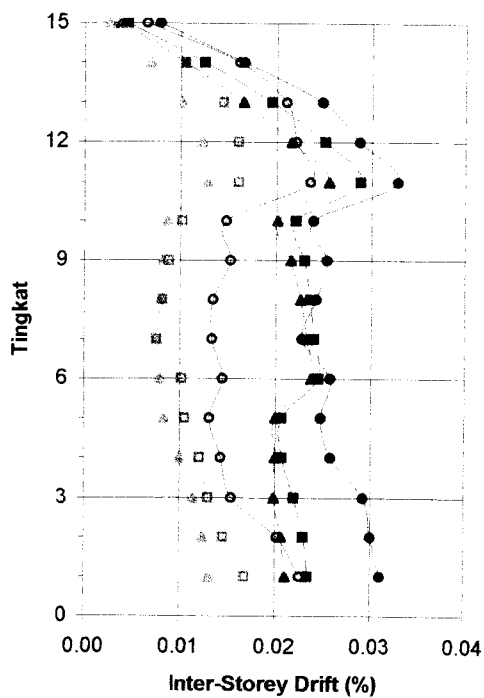
Gambar 5.190 Grafik Inter-storey Drift Maksimum akibat gempa Bucharest dengan 3 kombinasi redaman



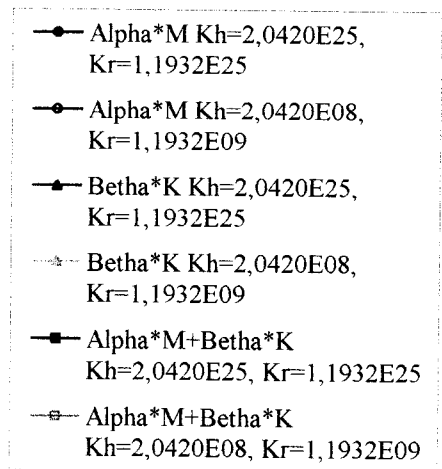
A. Struktur Open Frame



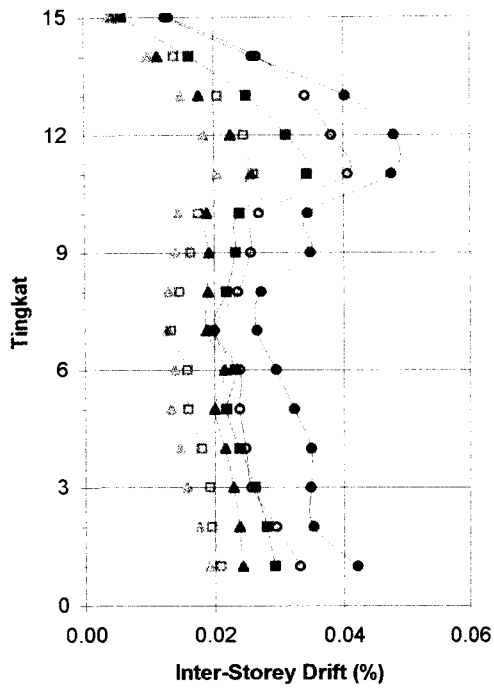
B. Struktur Brace X



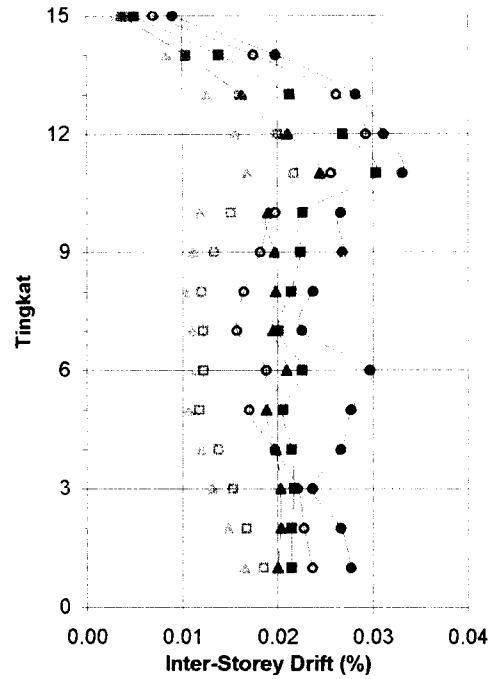
C. Struktur Brace V



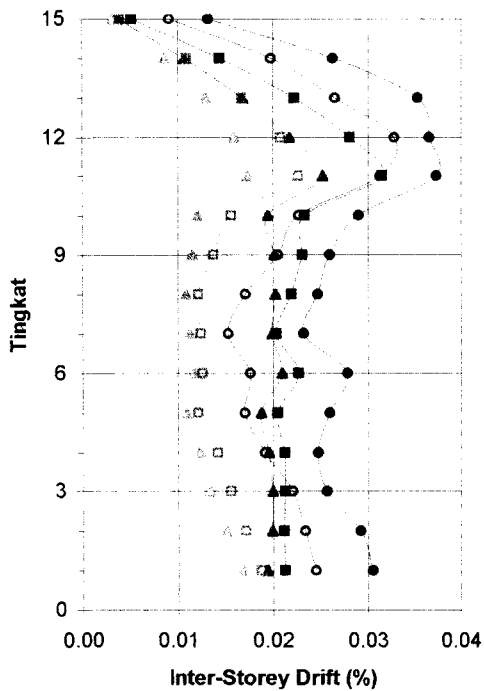
Gambar 5.191 Grafik Inter-storey Drift Maksimum akibat gempa Elcentro dengan 3 kombinasi redaman



A. Struktur Open Frame



B. Struktur Brace X

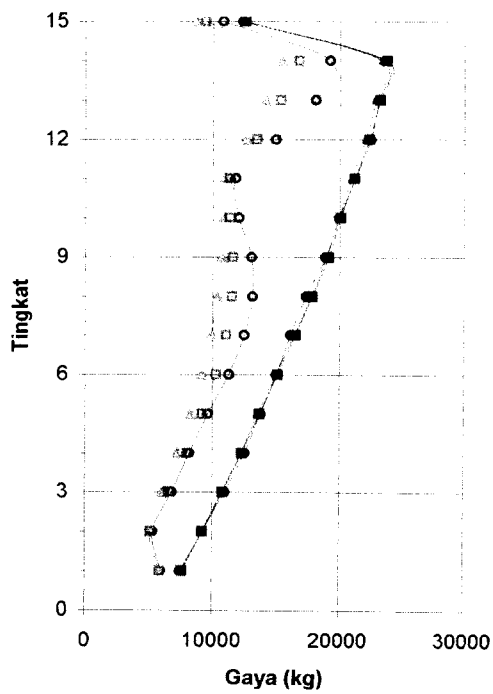


C. Struktur Brace V

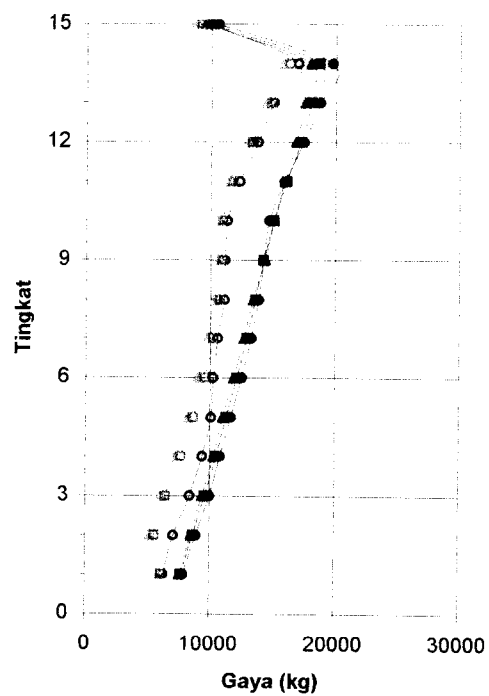
- Alpha\*M Kh=2,0420E25, Kr=1,1932E25
- Alpha\*M Kh=2,0420E08, Kr=1,1932E09
- ▲— Betha\*K Kh=2,0420E25, Kr=1,1932E25
- \*— Betha\*K Kh=2,0420E08, Kr=1,1932E09
- Alpha\*M+Betha\*K Kh=2,0420E25, Kr=1,1932E25
- Alpha\*M+Betha\*K Kh=2,0420E08, Kr=1,1932E09

Gambar 5.192 Grafik Inter-storey Drift Maksimum akibat gempa Koyna dengan 3 kombinasi redaman

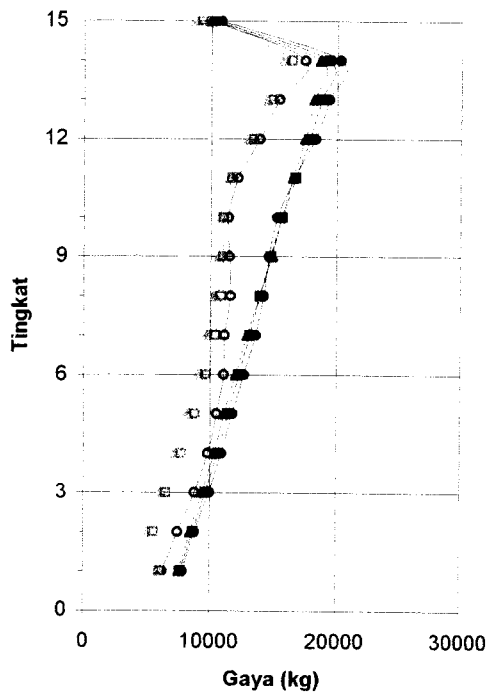




A. Struktur Open Frame



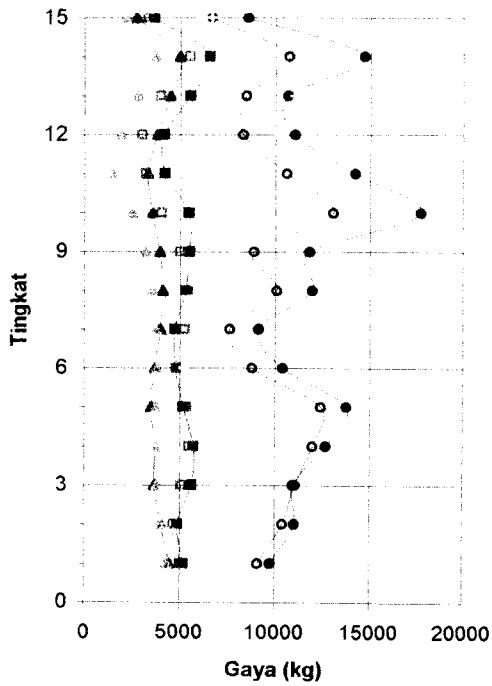
B. Struktur Brace X



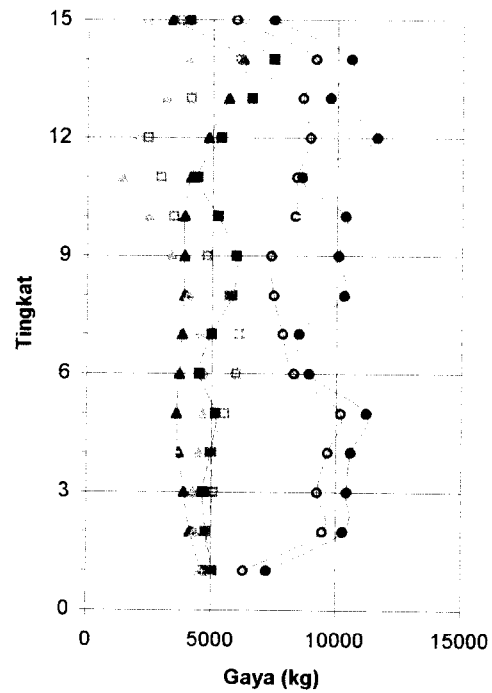
C. Struktur Brace V

- Alpha\*M Kh=2,0420E25, Kr=1,1932E25
- Alpha\*M Kh=2,0420E08, Kr=1,1932E09
- Betha\*K Kh=2,0420E25, Kr=1,1932E25
- Betha\*K Kh=2,0420E08, Kr=1,1932E09
- Alpha\*M+Betha\*K Kh=2,0420E25, Kr=1,1932E25
- Alpha\*M+Betha\*K Kh=2,0420E08, Kr=1,1932E09
- Gaya Statik

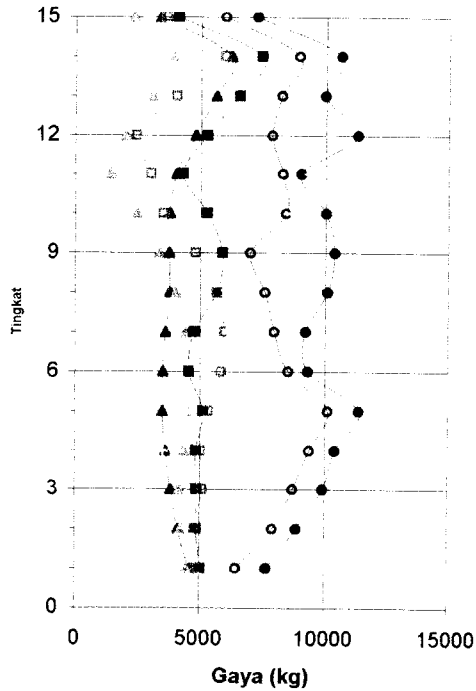
Gambar 5.193 Grafik Gaya Horizontal Tingkat Maksimum akibat gempa Bucharest dengan 3 kombinasi redaman



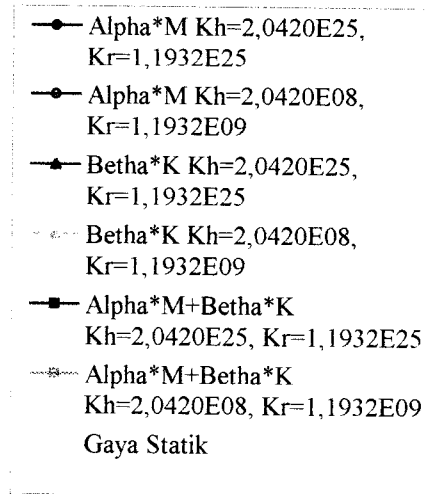
A. Struktur Open Frame



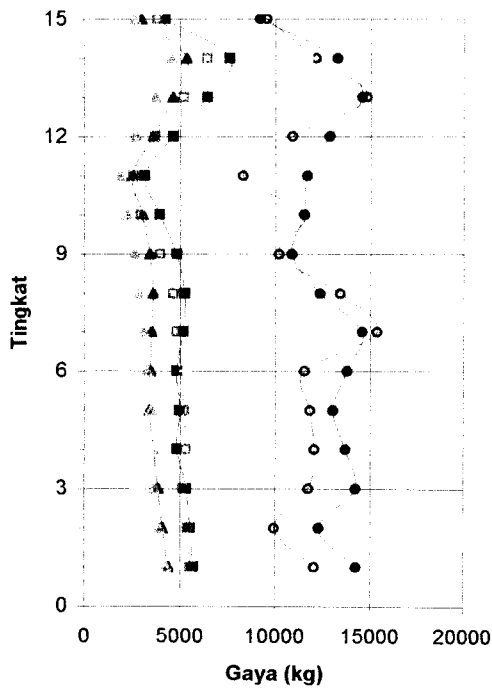
B. Struktur Brace X



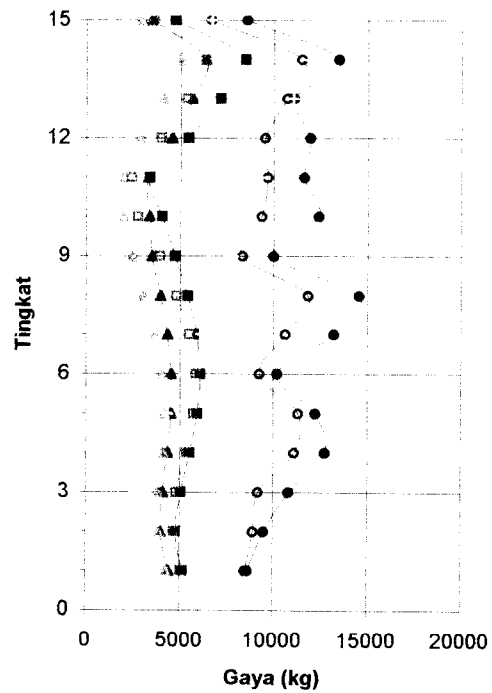
C. Struktur Brace V



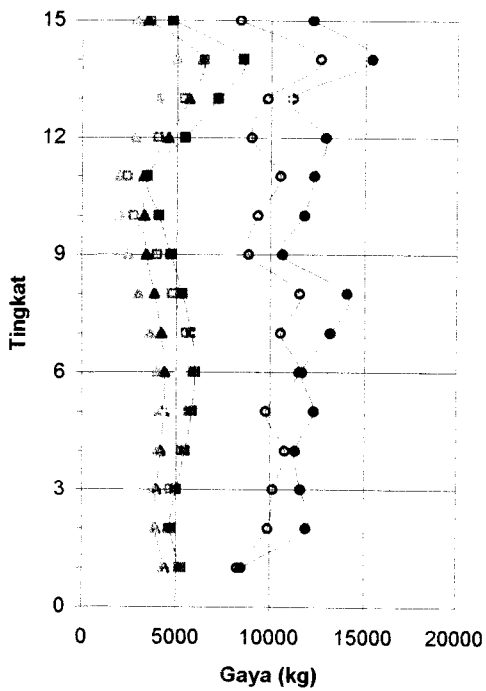
Gambar 5.194 Grafik Gaya Horizontal Tingkat Maksimum akibat gempa Elcentro dengan 3 kombinasi redaman



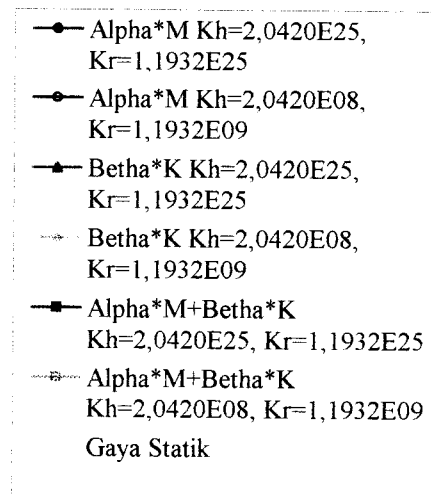
A. Struktur Open Frame



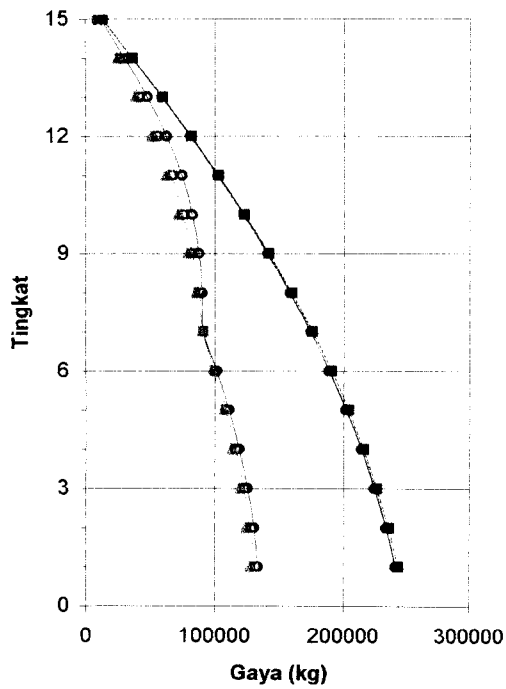
B. Struktur Brace X



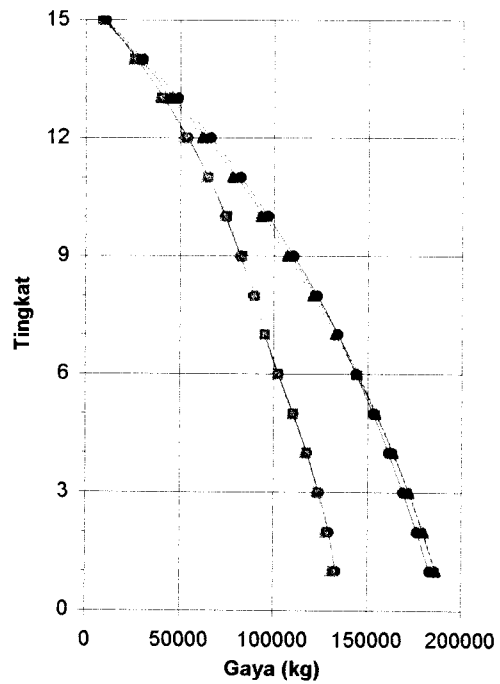
C. Struktur Brace V



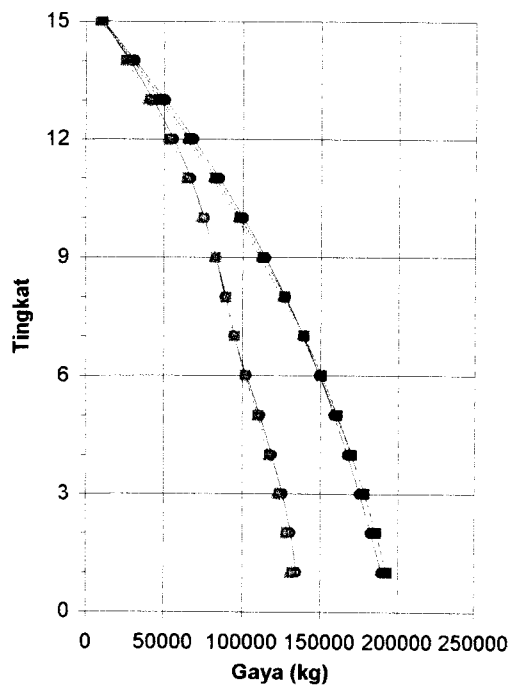
Gambar 5.195 Grafik Gaya Horizontal Tingkat Maksimum akibat gempa Koyna dengan 3 kombinasi redaman



A. Struktur Open Frame



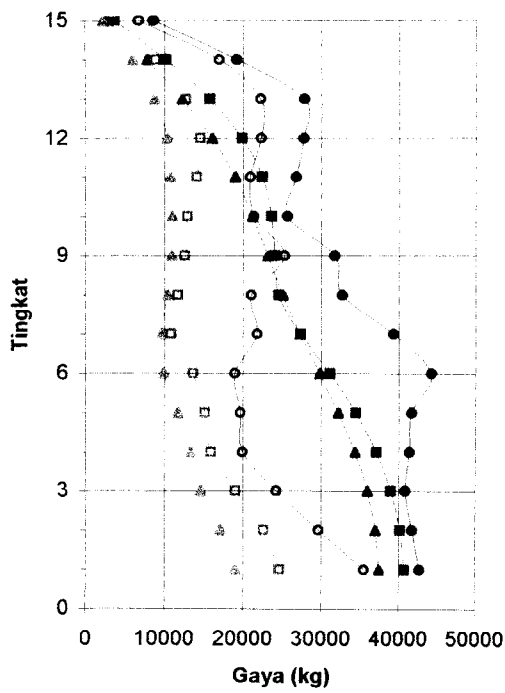
B. Struktur Brace X



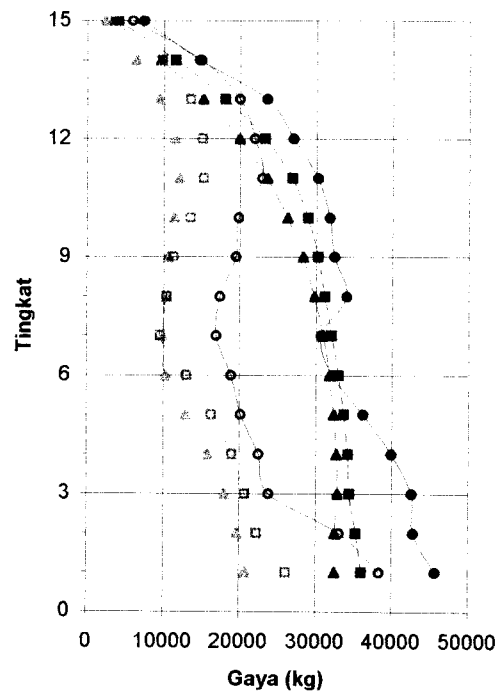
C. Struktur Brace V

- Alpha\*M Kh=2,0420E25, Kr=1,1932E25
- Alpha\*M Kh=2,0420E08, Kr=1,1932E09
- ▲— Beta\*K Kh=2,0420E25, Kr=1,1932E25
- ◆— Beta\*K Kh=2,0420E08, Kr=1,1932E09
- Alpha\*M+Betha\*K Kh=2,0420E25, Kr=1,1932E25
- Alpha\*M+Betha\*K Kh=2,0420E08, Kr=1,1932E09

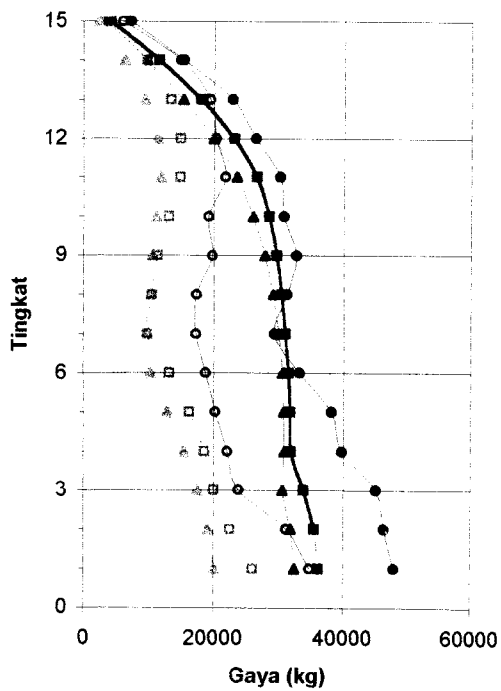
Gambar 5.196 Grafik Gaya Geser Tingkat Maksimum akibat gempa Bucharest dengan 3 kombinasi redaman



A. Struktur Open Frame



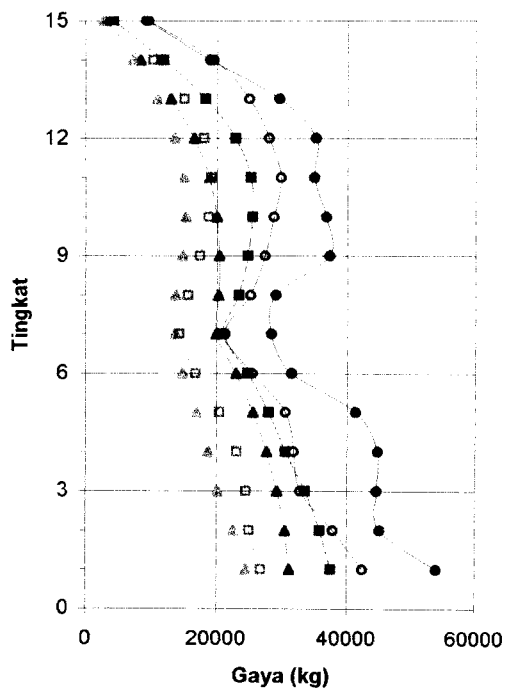
B. Struktur Brace X



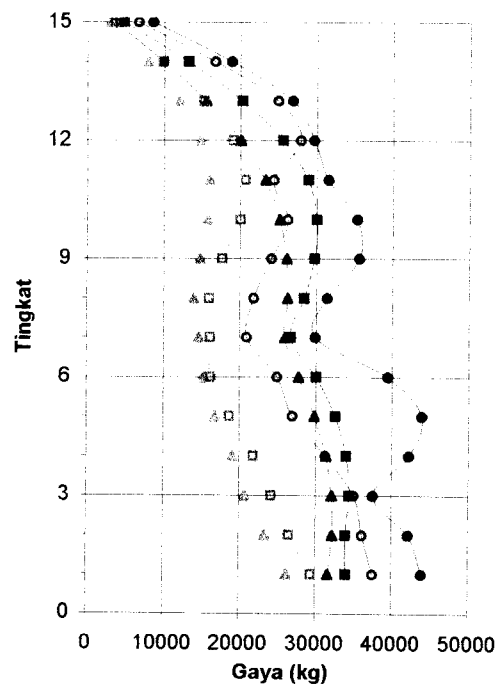
C. Struktur Brace V

- Alpha\*M Kh=2,0420E25, Kr=1,1932E25
- Alpha\*M Kh=2,0420E08, Kr=1,1932E09
- ▲ Beta\*K Kh=2,0420E25, Kr=1,1932E25
- △ Beta\*K Kh=2,0420E08, Kr=1,1932E09
- Alpha\*M+Betha\*K Kh=2,0420E25, Kr=1,1932E25
- Alpha\*M+Betha\*K Kh=2,0420E08, Kr=1,1932E09

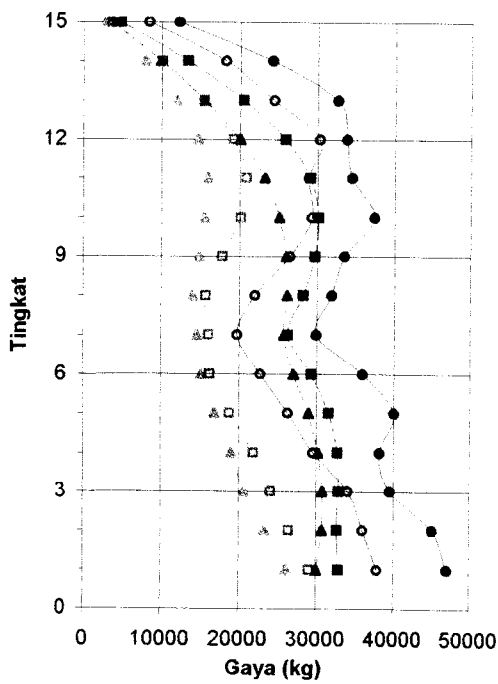
Gambar 5.197 Grafik Gaya Geser Tingkat Maksimum akibat gempa Elcentro dengan 3 kombinasi redaman



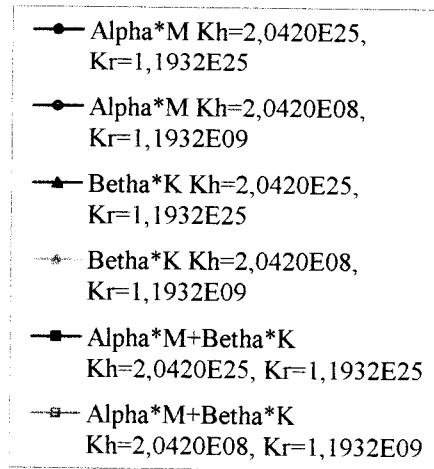
A. Struktur Open Frame



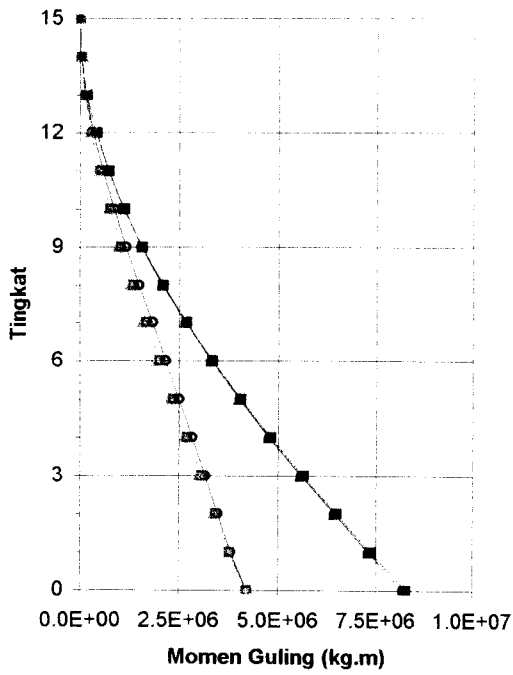
B. Struktur Brace X



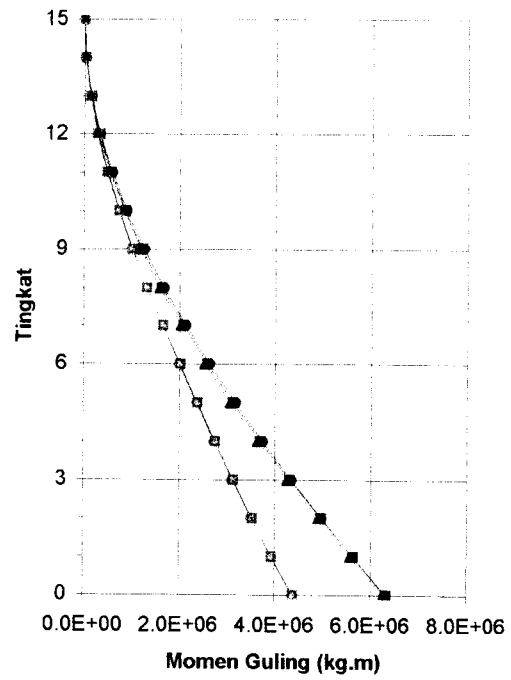
C. Struktur Brace V



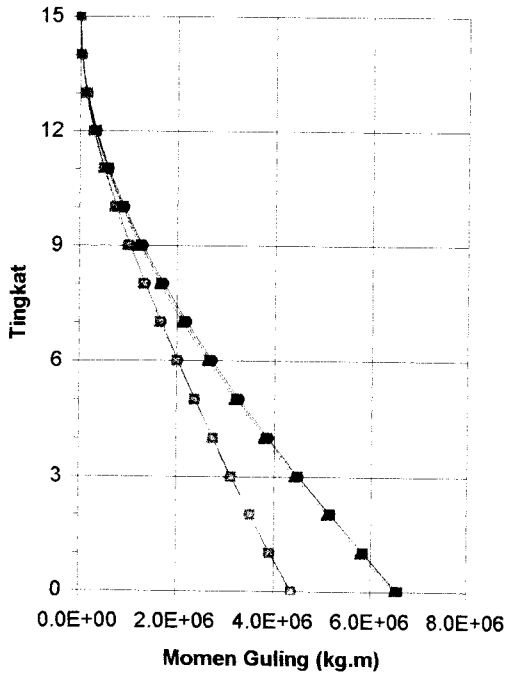
Gambar 5.198 Grafik Gaya Geser Tingkat Maksimum akibat gempa Koyna dengan 3 kombinasi redaman



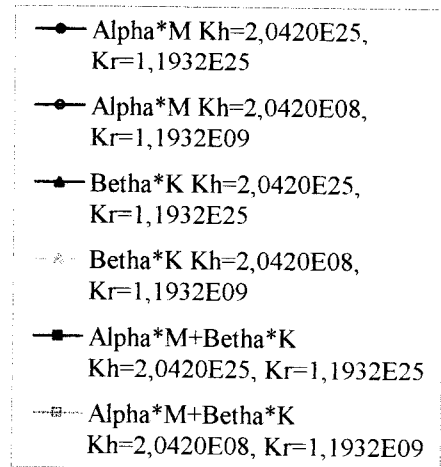
A. Struktur Open Frame



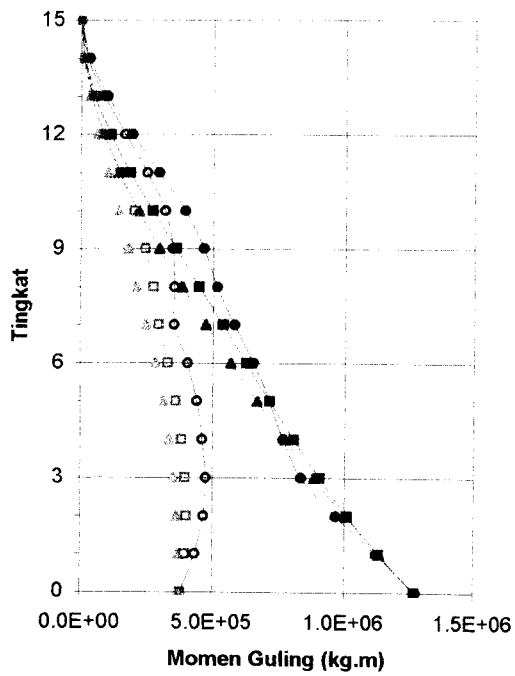
B. Struktur Brace X



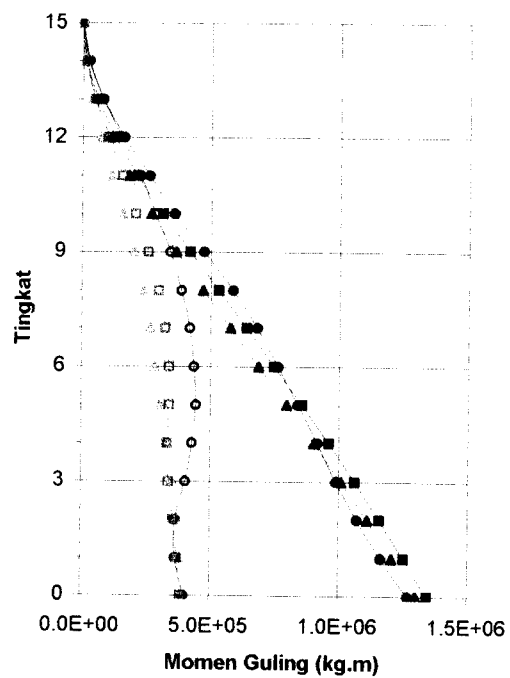
C. Struktur Brace V



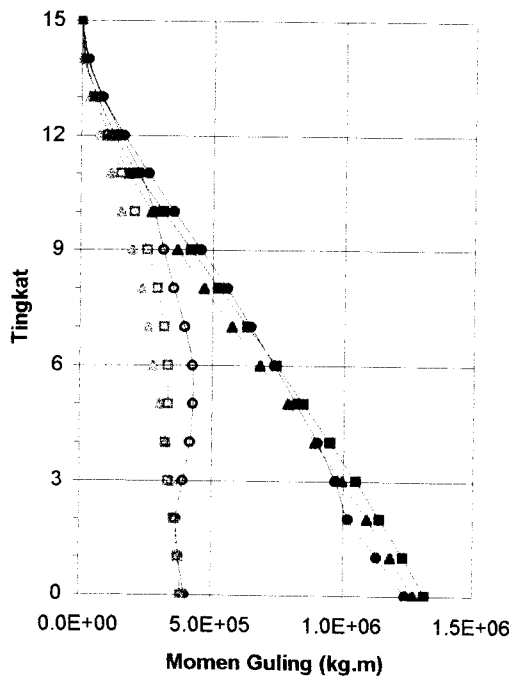
Gambar 5.199 Grafik Momen Guling Maksimum akibat gempa Bucharest dengan 3 kombinasi redaman



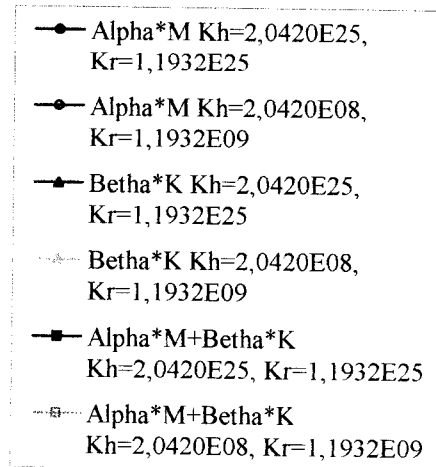
A. Struktur Open Frame



B. Struktur Brace X

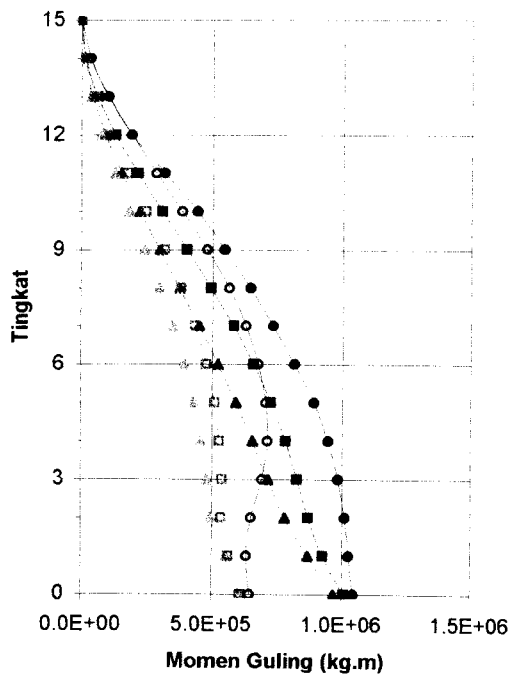


C. Struktur Brace V

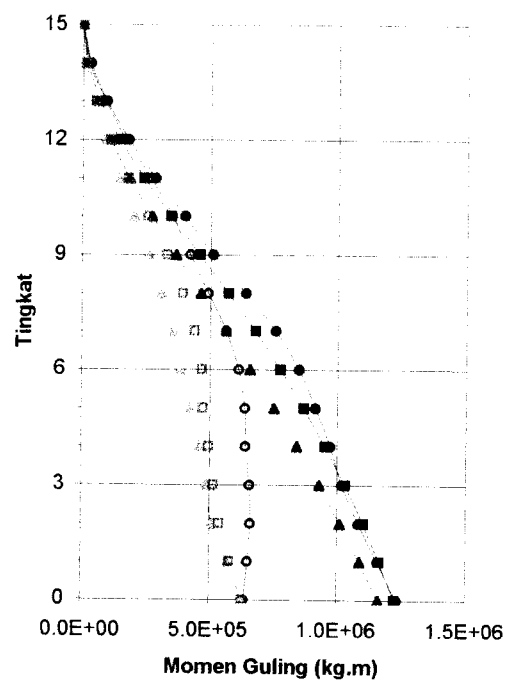


Gambar 5.200 Grafik Momen Guling Maksimum akibat gempa Elcentro dengan 3 kombinasi redaman

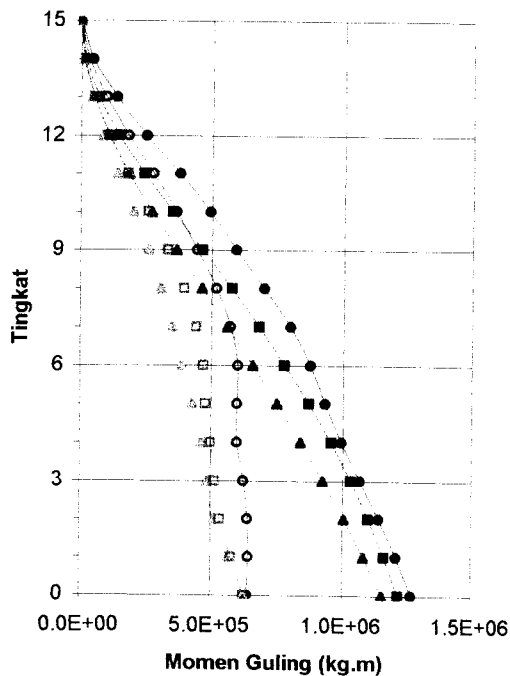




A. Struktur Open Frame



B. Struktur Brace X



C. Struktur Brace V

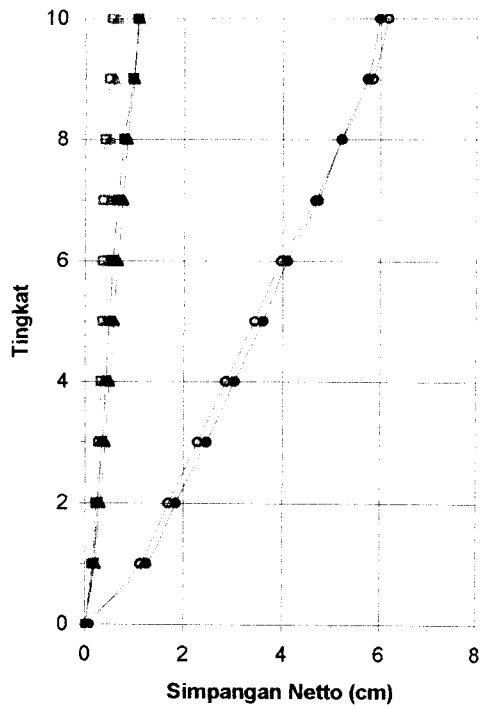
- Alpha\*M Kh=2,0420E25, Kr=1,1932E25
- Alpha\*M Kh=2,0420E08, Kr=1,1932E09
- ▲ Beta\*K Kh=2,0420E25, Kr=1,1932E25
- ☆ Beta\*K Kh=2,0420E08, Kr=1,1932E09
- Alpha\*M+Betha\*K Kh=2,0420E25, Kr=1,1932E25
- Alpha\*M+Betha\*K Kh=2,0420E08, Kr=1,1932E09

Gambar 5.201 Grafik Momen Guling Maksimum akibat gempa Koyna dengan 3 kombinasi redaman

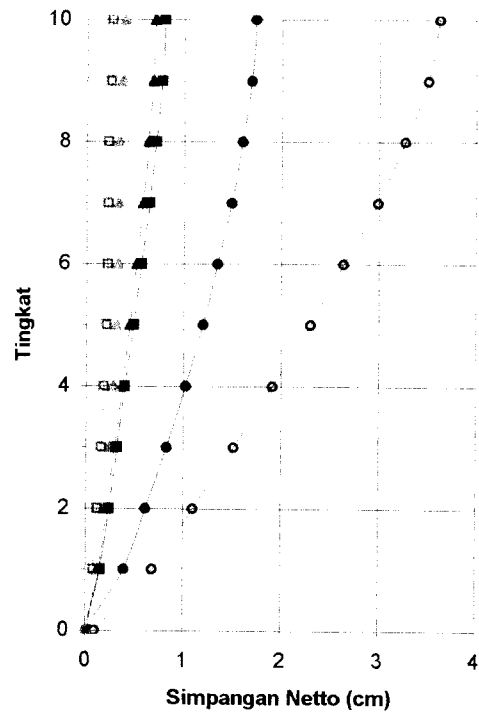
Dari hasil grafik respon struktur tiga buah model struktur dengan 3 beban gempa dan 2 kombinasi pada gambar 5.178 sampai dengan gambar 5.201 maka, redaman proposional dengan massa memberikan respon struktur yang lebih besar dari pada redaman proposional dengan kekakuan maupun redaman proposional dengan massa dan kekakuan. Karena pada redaman proporsional dengan massa matrik redaman hanya pada diagonal matrik saja, sehingga nilainya relatif kecil. Hal tersebut terjadi karena secara fisik massa hanya bersinggungan dengan udara saja. Sementara itu pada redaman proporsional dengan kekakuan nilai redaman tidak hanya pada diagonal matrik saja dan untuk struktur yang kekakuan yang besar nilai redamannya pun akan besar pula sehingga respon struktur yang dihasilkan akan relatif kecil. Sedangkan untuk redaman proporsional dengan massa dan kekakuan, nilai redaman merupakan kombinasi dari kedua redaman yang terdahulu dimana nilai redamannya akan berada diantaranya, sehingga respon strukturnya pun akan berada diantara respon struktur redaman proporsional dengan massa dan redaman proporsional dengan kekakuan.

### **5.7 Perbandingan Penggunaan Tingkat yang berbeda**

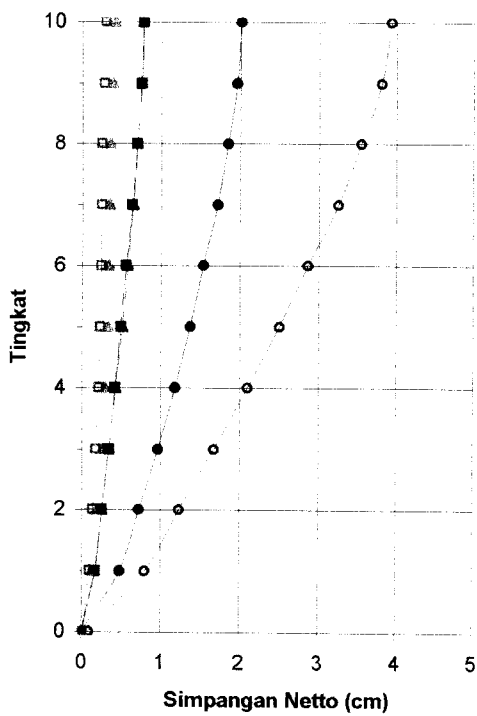
Dalam analisis ini membandingkan hasil respon struktur dengan menggunakan jumlah tingkat yang berbeda, yaitu 15 tingkat, 10 tingkat, dan 7 tingkat. Hasil analisis respon struktur untuk 10 tingkat dan 7 tingkat diplotkan dalam grafik yang merupakan nilai-nilai maksimum dari simpangan netto, simpangan rotasi, simpangan total dan simpangan antar tingkat disajikan pada gambar 5.202 sampai dengan gambar 5.217 dibawah ini.



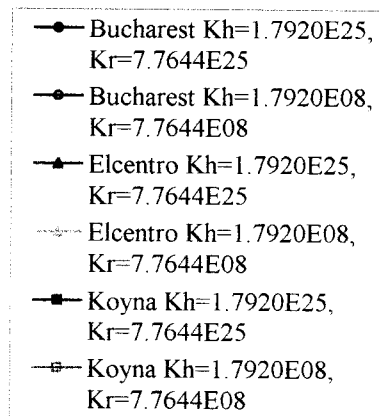
A. Struktur Open Frame



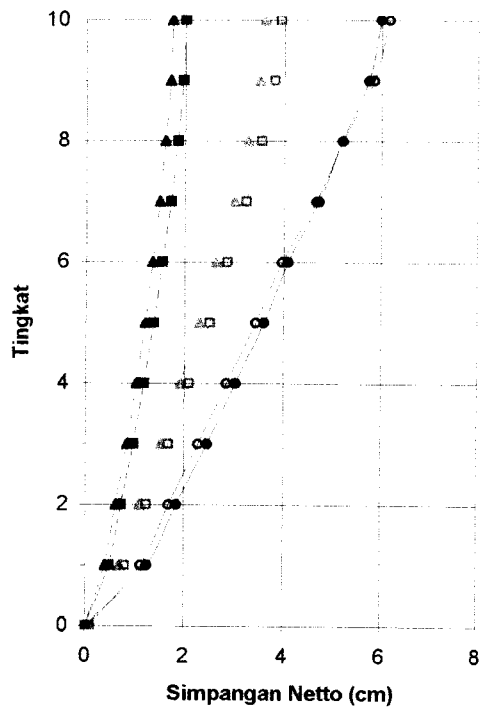
B. Struktur Braced X



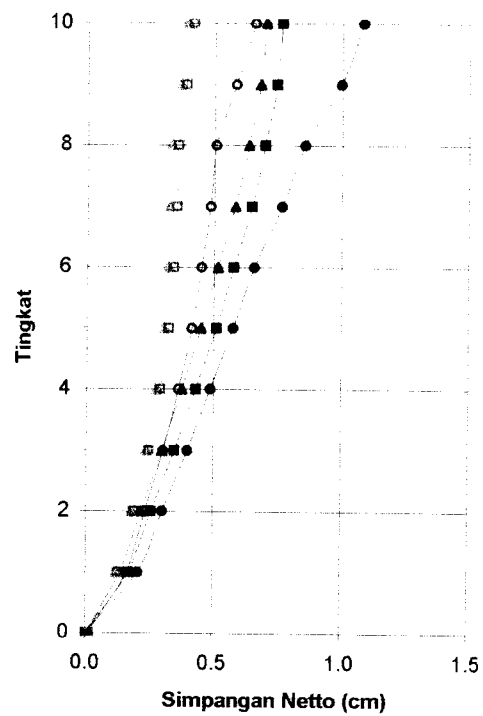
C. Struktur Braced V



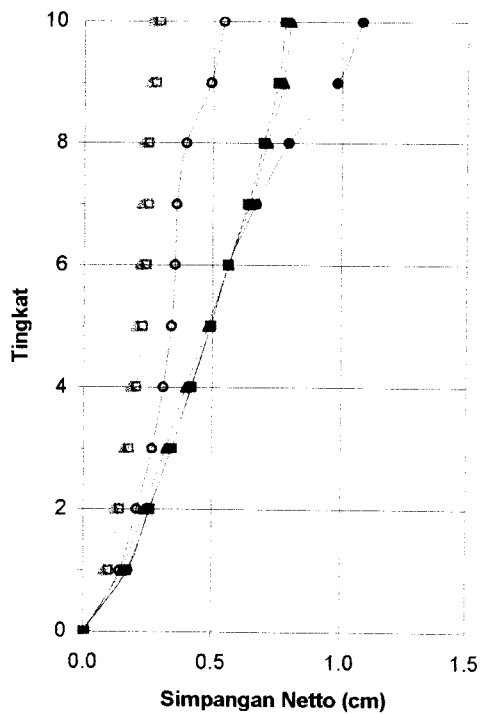
Gambar 5.202 Grafik Simpangan Netto Maksimum akibat 3 gempa



A. Gempa Bucharest



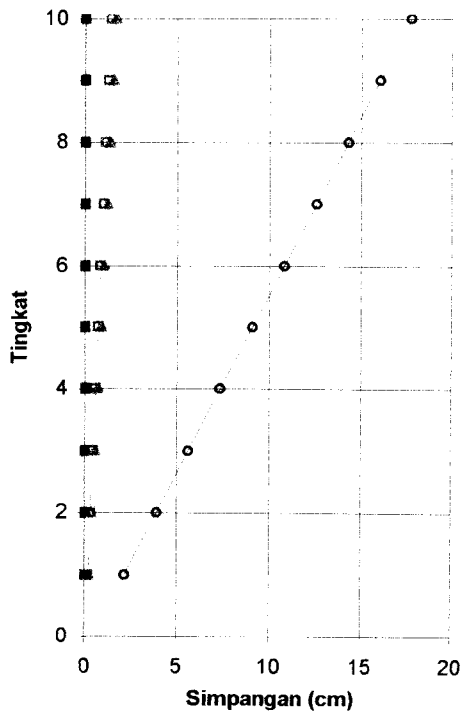
B. Gempa Elcentro



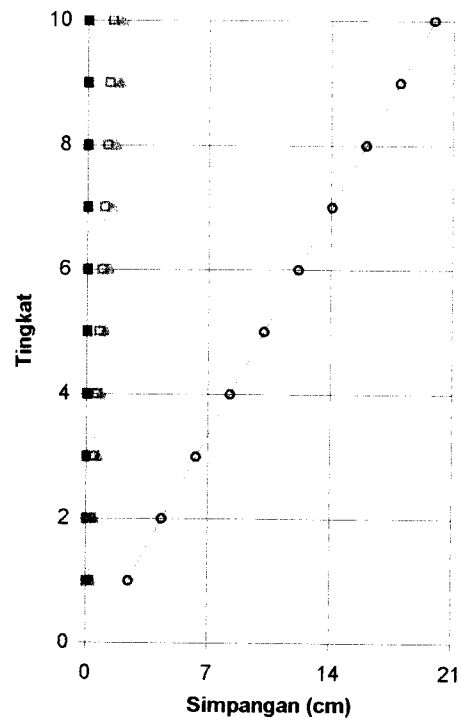
C. Gempa Koyna

- Open Frame  $K_h=1.7920E25$ ,  $K_r=7.7644E25$
- Open Frame  $K_h=1.7920E08$ ,  $K_r=7.7644E08$
- ▲ Braced X  $K_h=1.7920E25$ ,  $K_r=7.7644E25$
- △ Braced X  $K_h=1.7920E08$ ,  $K_r=7.7644E08$
- Braced V  $K_h=1.7920E25$ ,  $K_r=7.7644E25$
- Braced V  $K_h=1.7920E08$ ,  $K_r=7.7644E08$

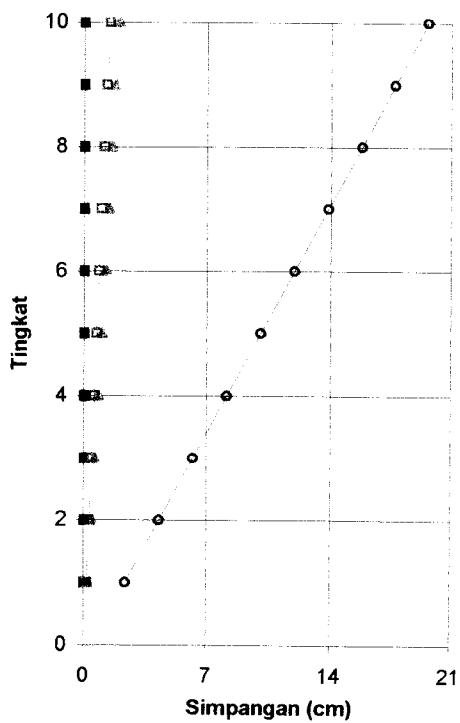
Gambar 5.203 Grafik Simpangan Netto Maksimum dengan 6 kombinasi



A. Struktur Open Frame



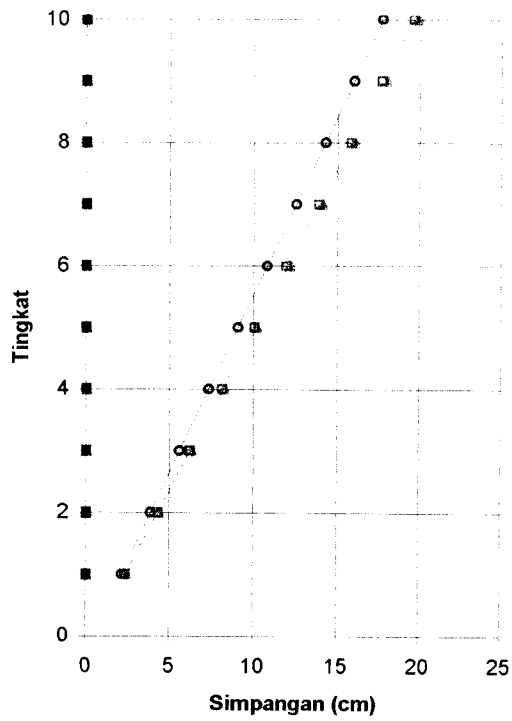
B. Struktur Braced X



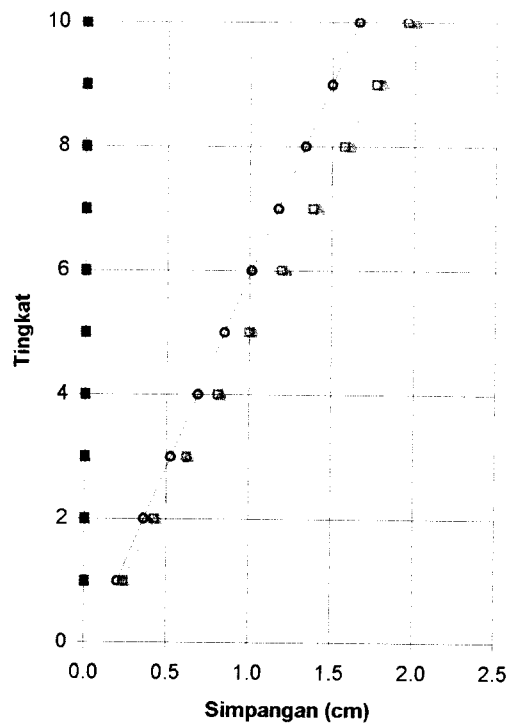
C. Struktur Braced V

- Bucharest  $K_h=1.7920E25$ ,  $K_r=7.7644E25$
- Bucharest  $K_h=1.7920E08$ ,  $K_r=7.7644E08$
- ▲— Elcentro  $K_h=1.7920E25$ ,  $K_r=7.7644E25$
- ◇— Elcentro  $K_h=1.7920E08$ ,  $K_r=7.7644E08$
- Koyna  $K_h=1.7920E25$ ,  $K_r=7.7644E25$
- Koyna  $K_h=1.7920E08$ ,  $K_r=7.7644E08$

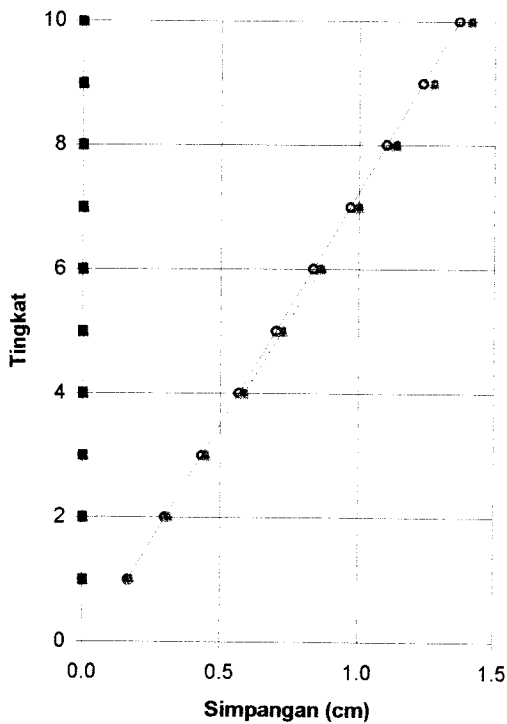
Gambar 5.204 Grafik Simpangan Rotasi Maksimum akibat 3 gempa



A. Gempa Bucharest



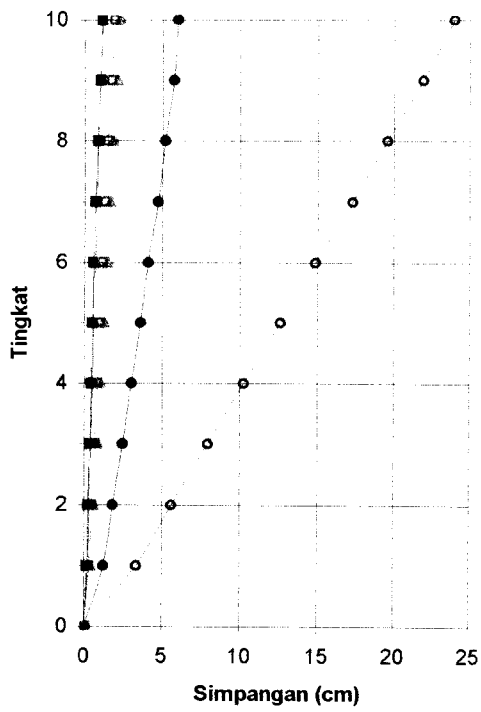
B. Gempa Elcentro



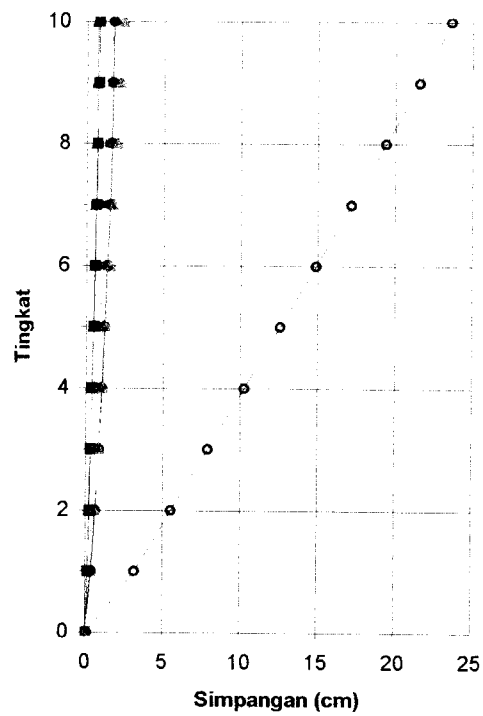
C. Gempa Koyna

- Open Frame  $K_h=1.7920E25$ ,  $K_r=7.7644E25$
- Open Frame  $K_h=1.7920E08$ ,  $K_r=7.7644E08$
- ▲— Braced X  $K_h=1.7920E25$ ,  $K_r=7.7644E25$
- △— Braced X  $K_h=1.7920E08$ ,  $K_r=7.7644E08$
- Braced V  $K_h=1.7920E25$ ,  $K_r=7.7644E25$
- Braced V  $K_h=1.7920E08$ ,  $K_r=7.7644E08$

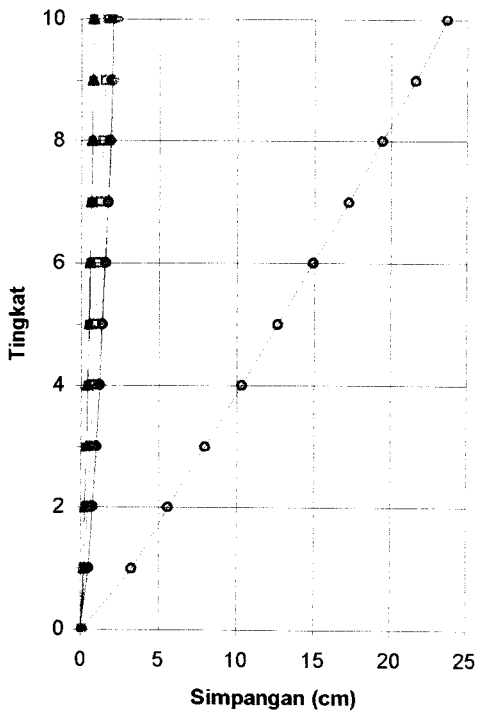
Gambar 5.205 Grafik Simpangan Rotasi Maksimum dengan 6 kombinasi



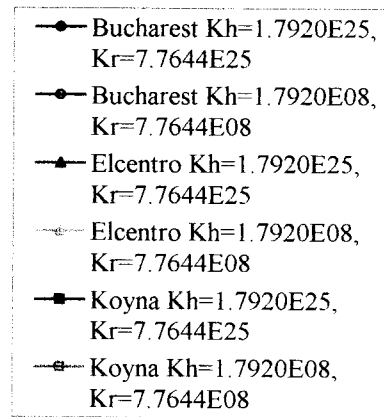
A. Struktur Open Frame



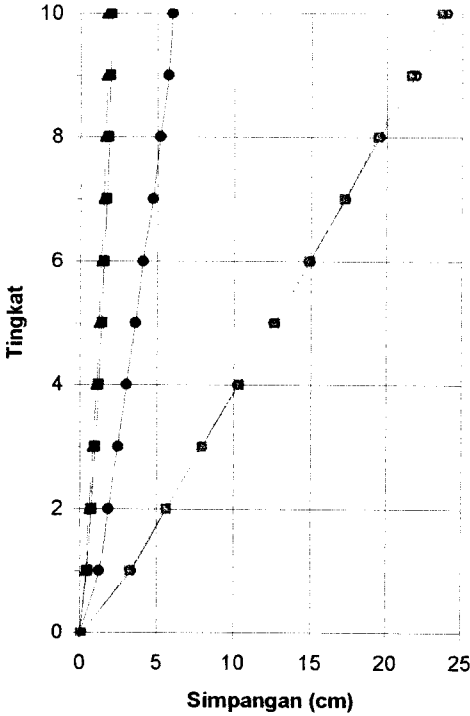
B. Struktur Braced X



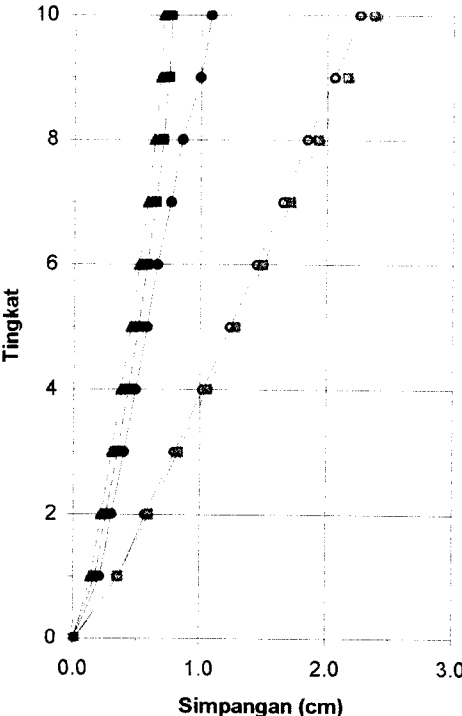
C. Struktur Braced V



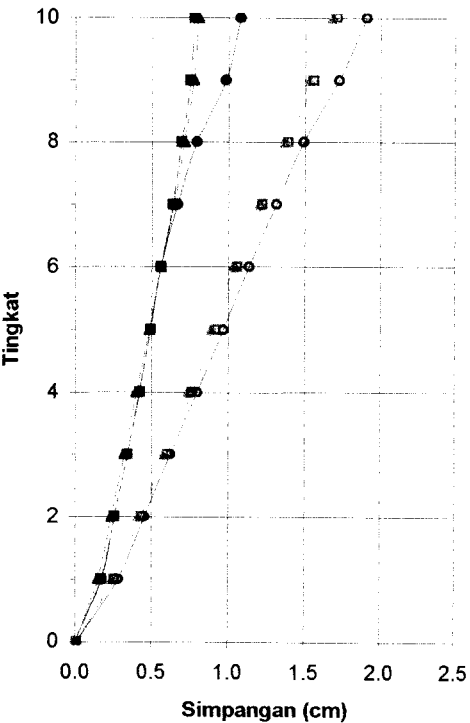
Gambar 5.206 Grafik Simpangan Total Maksimum akibat 3 gempa



A. Gempa Bucharest



B. Gempa Elcentro

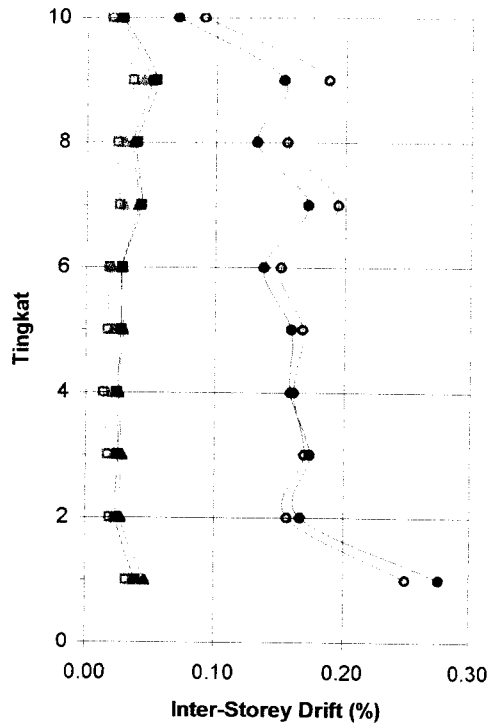


C. Gempa Koyna

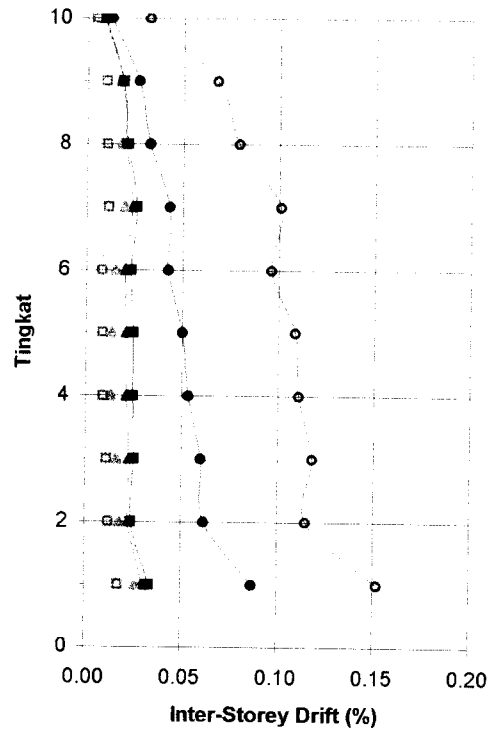
- Open Frame  $K_h=1.7920E25$ ,  $K_r=7.7644E25$
- Open Frame  $K_h=1.7920E08$ ,  $K_r=7.7644E08$
- ▲ Braced X  $K_h=1.7920E25$ ,  $K_r=7.7644E25$
- △ Braced X  $K_h=1.7920E08$ ,  $K_r=7.7644E08$
- Braced V  $K_h=1.7920E25$ ,  $K_r=7.7644E25$
- Braced V  $K_h=1.7920E08$ ,  $K_r=7.7644E08$

Gambar 5.207 Grafik Simpangan Total Maksimum dengan 6 kombinasi

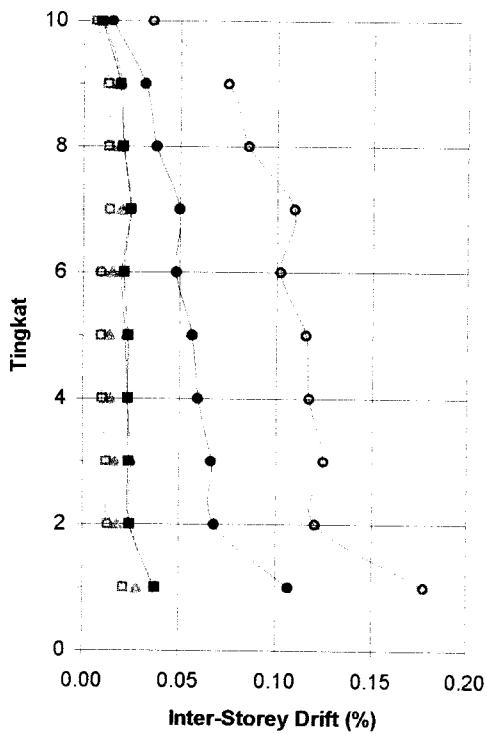




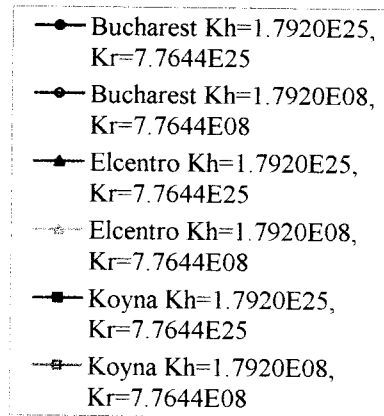
A. Struktur Open Frame



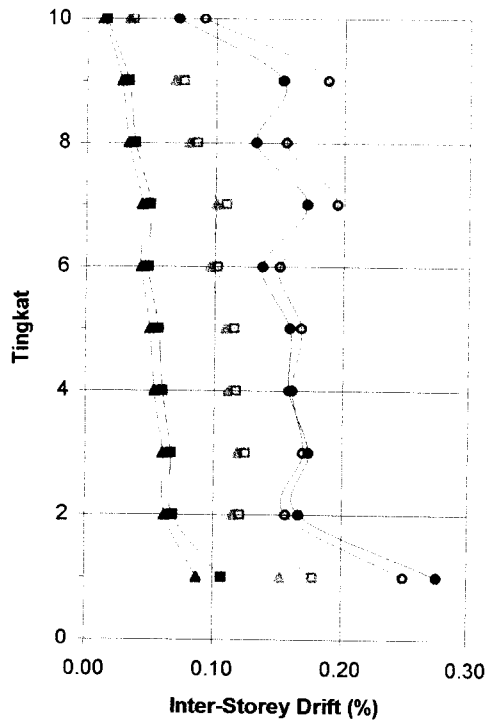
B. Struktur Braced X



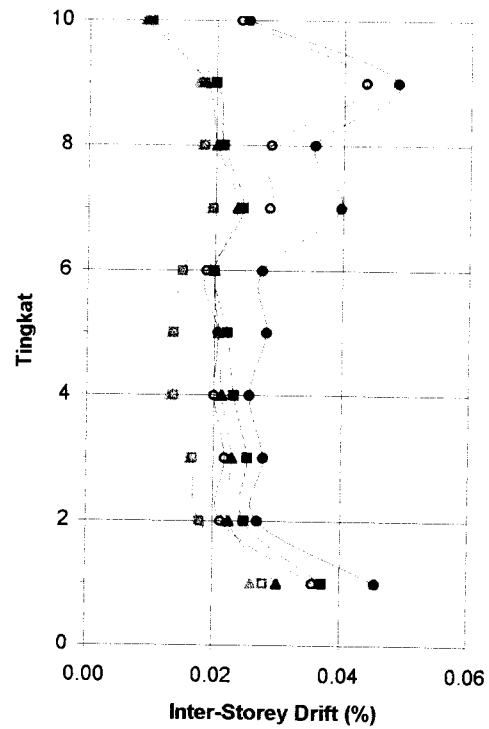
C. Struktur Braced V



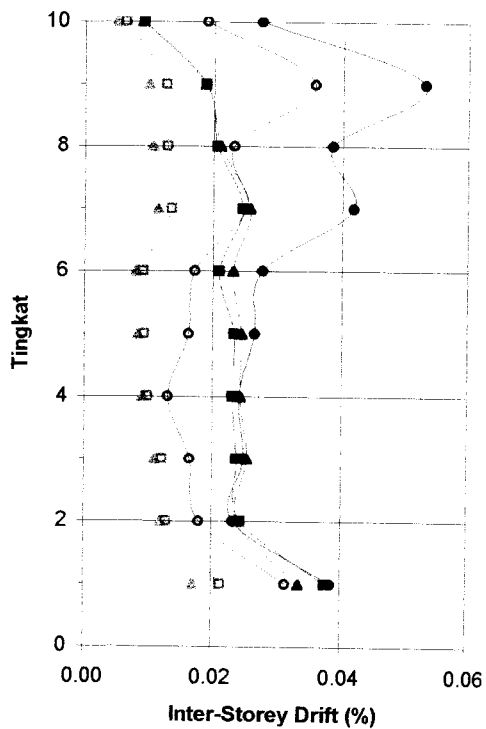
Gambar 5.208 Grafik Inter-Storey Drift Maksimum akibat 3 gempa



A. Gempa Bucharest



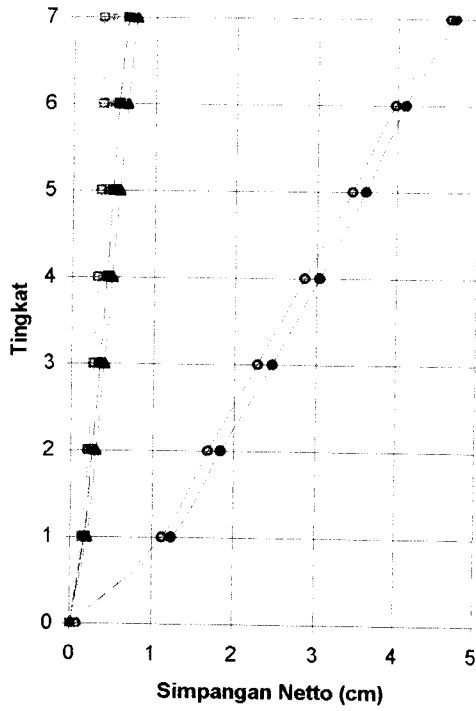
B. Gempa Elcentro



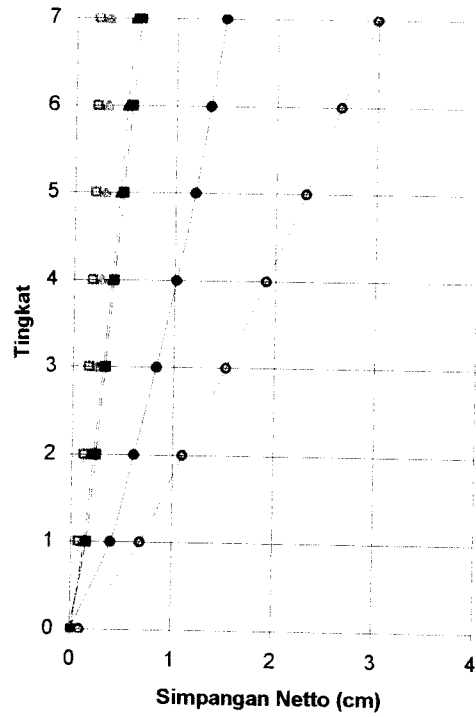
C. Gempa Koyna

- Open Frame  $K_h=1.7920E25$ ,  $K_r=7.7644E25$
- Open Frame  $K_h=1.7920E08$ ,  $K_r=7.7644E08$
- ▲ Braced X  $K_h=1.7920E25$ ,  $K_r=7.7644E25$
- Braced X  $K_h=1.7920E08$ ,  $K_r=7.7644E08$
- Braced V  $K_h=1.7920E25$ ,  $K_r=7.7644E25$
- ▣ Braced V  $K_h=1.7920E08$ ,  $K_r=7.7644E08$

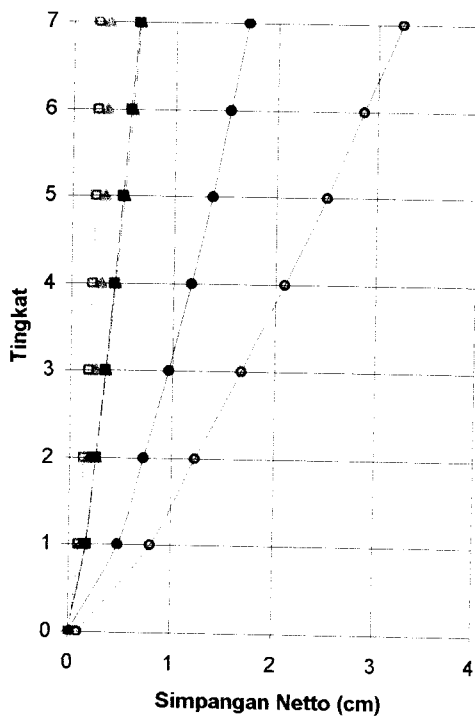
Gambar 5.209 Grafik Inter-Storey Drift Maksimum dengan 6 kombinasi



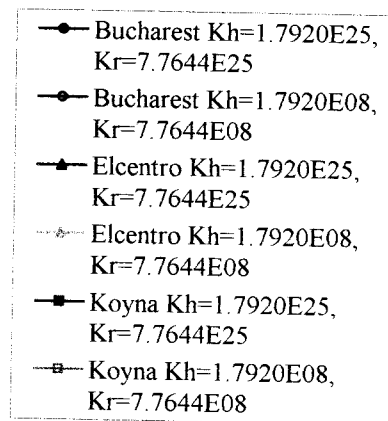
A. Struktur Open Frame



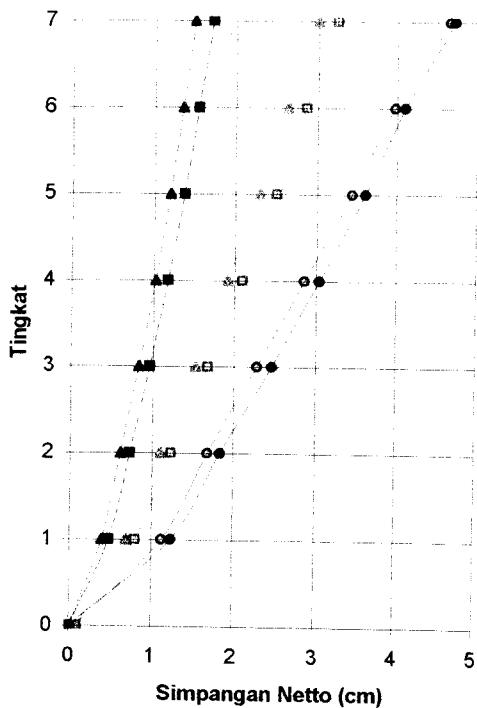
B. Struktur Braced X



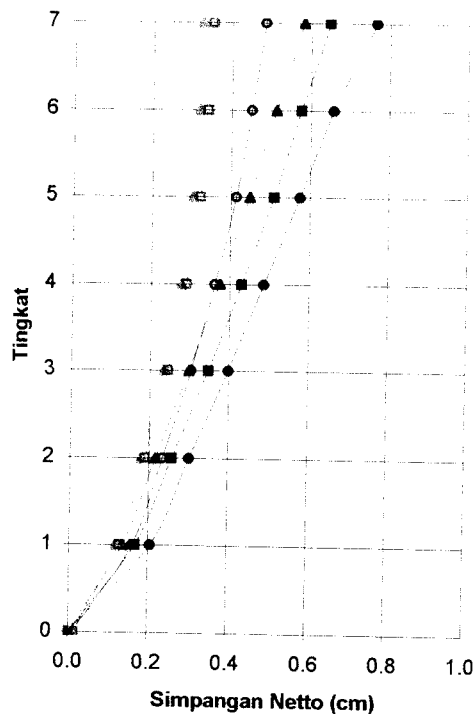
C. Struktur Braced V



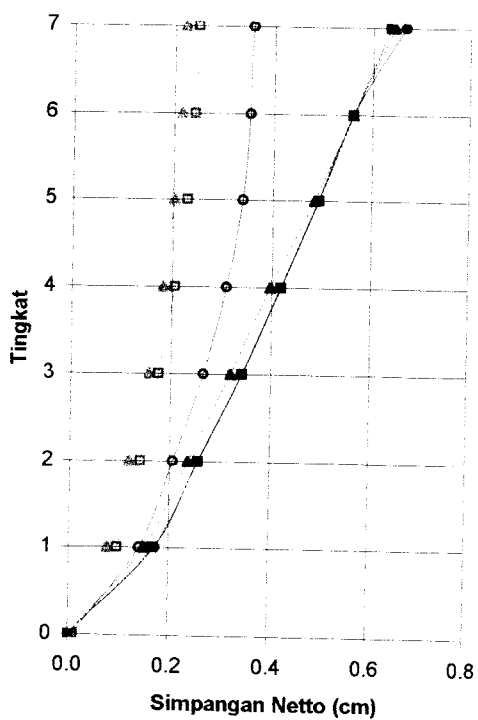
Gambar 5.210 Grafik Simpangan Netto Maksimum akibat 3 gempa



A. Gempa Bucharest



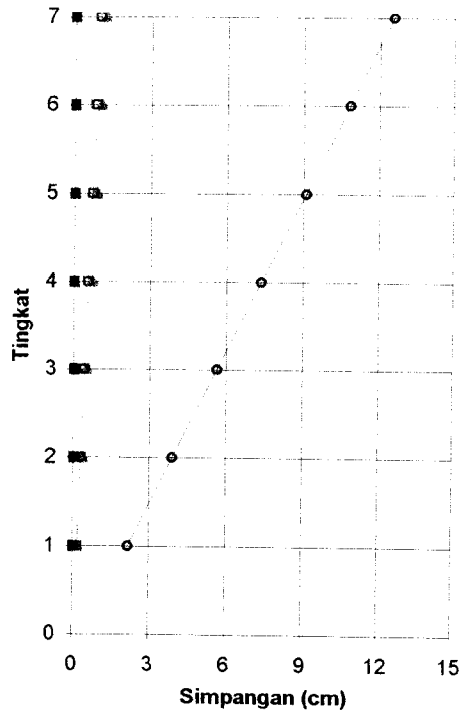
B. Gempa Elcentro



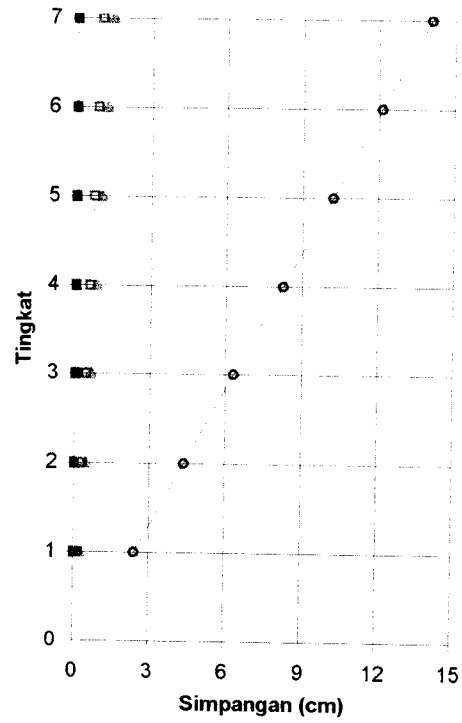
C. Gempa Koyna

- Open Frame  $K_h=1.7920E25$ ,  $K_r=7.7644E25$
- Open Frame  $K_h=1.7920E08$ ,  $K_r=7.7644E08$
- ▲— Braced X  $K_h=1.7920E25$ ,  $K_r=7.7644E25$
- △— Braced X  $K_h=1.7920E08$ ,  $K_r=7.7644E08$
- Braced V  $K_h=1.7920E25$ ,  $K_r=7.7644E25$
- Braced V  $K_h=1.7920E08$ ,  $K_r=7.7644E08$

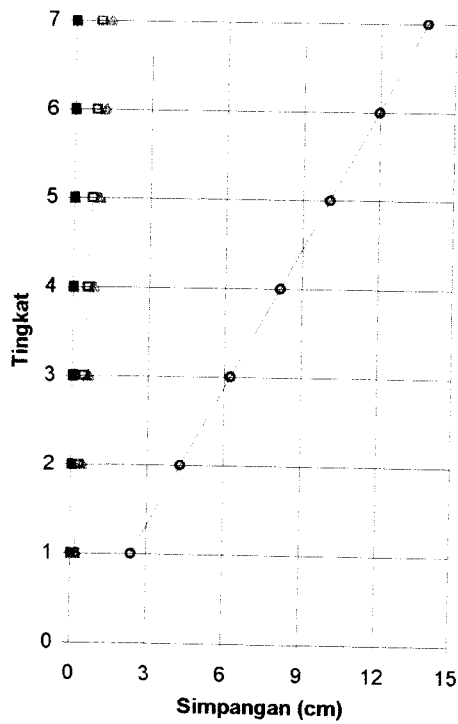
Gambar 5.211 Grafik Simpangan Netto Maksimum dengan 6 kombinasi



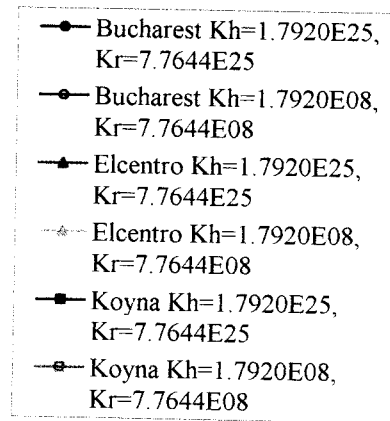
A. Struktur Open Frame



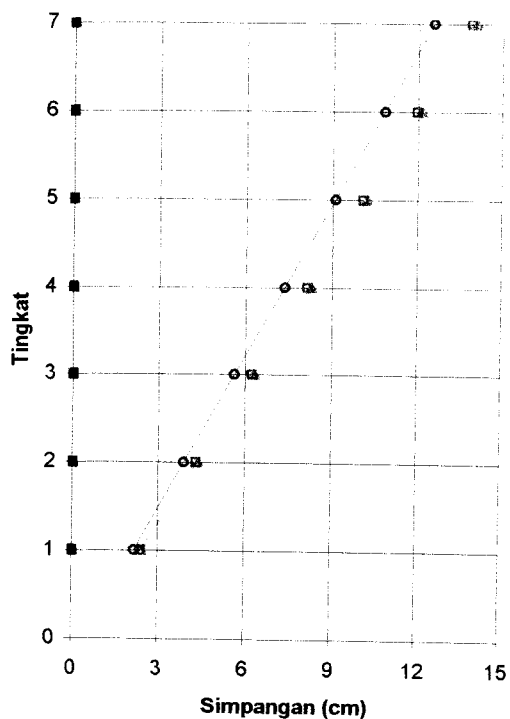
B. Struktur Braced X



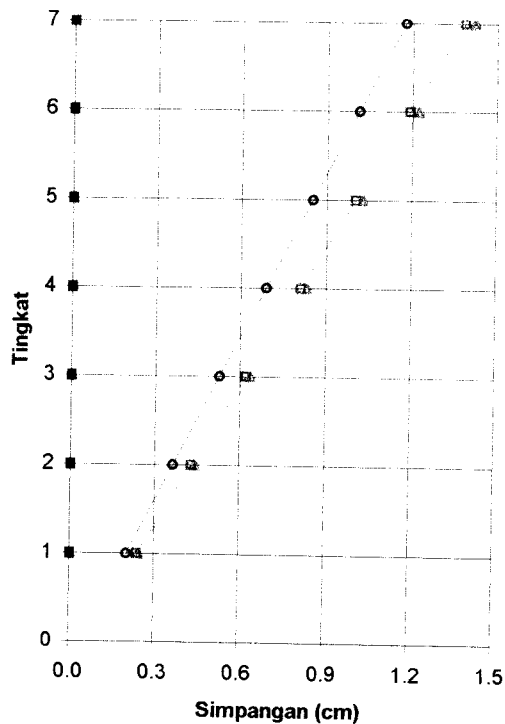
C. Struktur Braced V



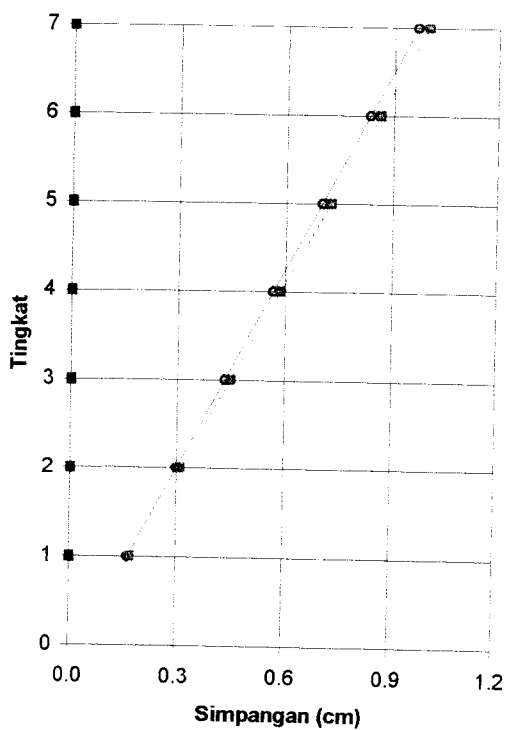
Gambar 5.212 Grafik Simpangan Rotasi Maksimum akibat 3 gempa



A. Gempa Bucharest



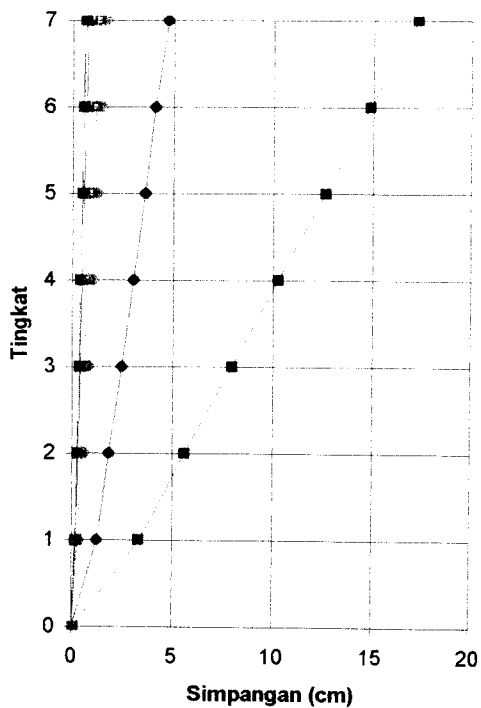
B. Gempa Elcentro



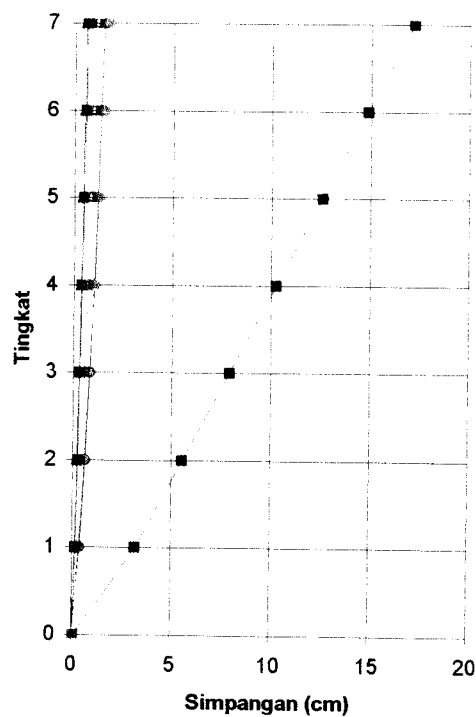
C. Gempa Koyana

- Open Frame  $K_h=1.7920E25$ ,  $K_r=7.7644E25$
- Open Frame  $K_h=1.7920E08$ ,  $K_r=7.7644E08$
- ▲— Braced X  $K_h=1.7920E25$ ,  $K_r=7.7644E25$
- ☆— Braced X  $K_h=1.7920E08$ ,  $K_r=7.7644E08$
- Braced V  $K_h=1.7920E25$ ,  $K_r=7.7644E25$
- Braced V  $K_h=1.7920E08$ ,  $K_r=7.7644E08$

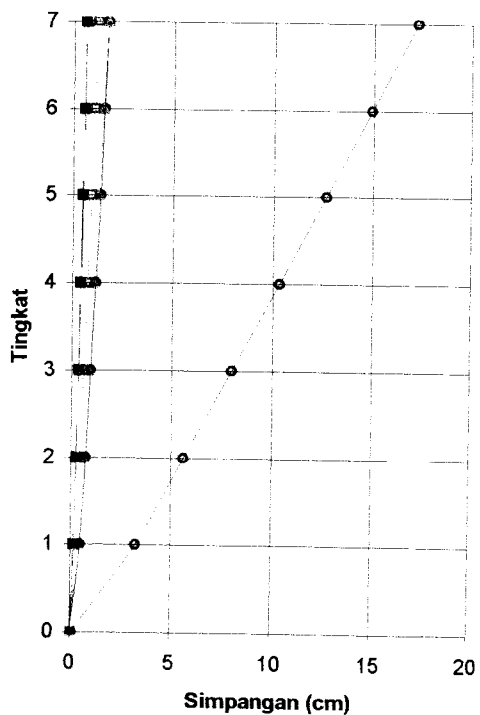
Gambar 5.213 Grafik Simpangan Rotasi Maksimum dengan 6 kombinasi



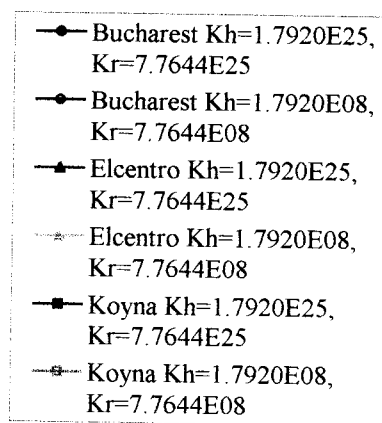
A. Struktur Open Frame



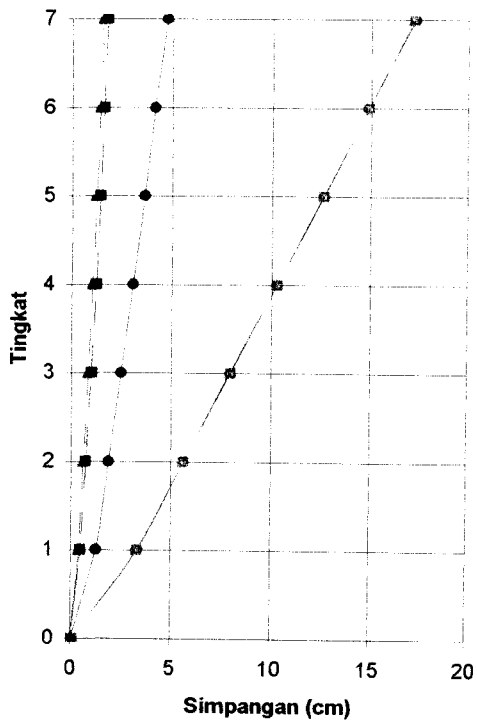
B. Struktur Braced X



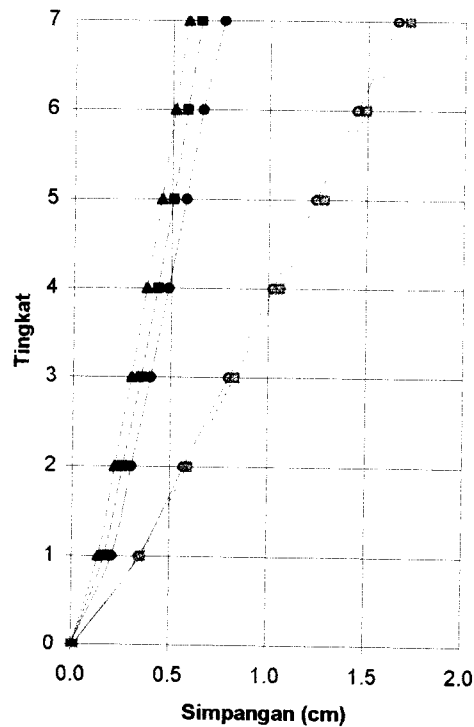
C. Struktur Braced V



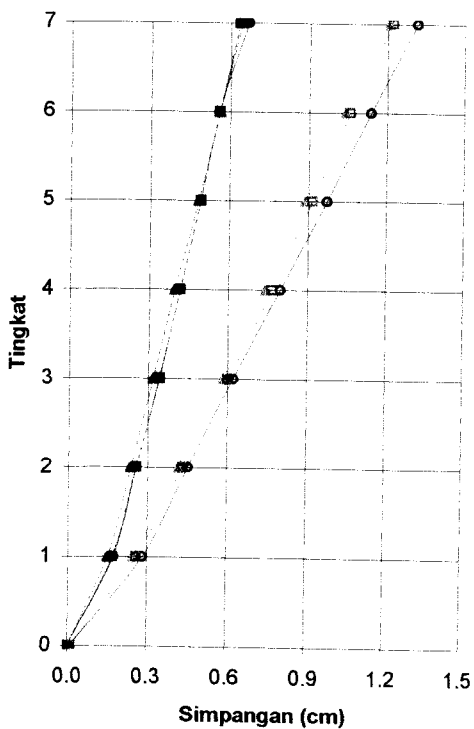
Gambar 5.214 Grafik Simpangan Total Maksimum akibat 3 gempa



A. Gempa Bucharest



B. Gempa Elcentro

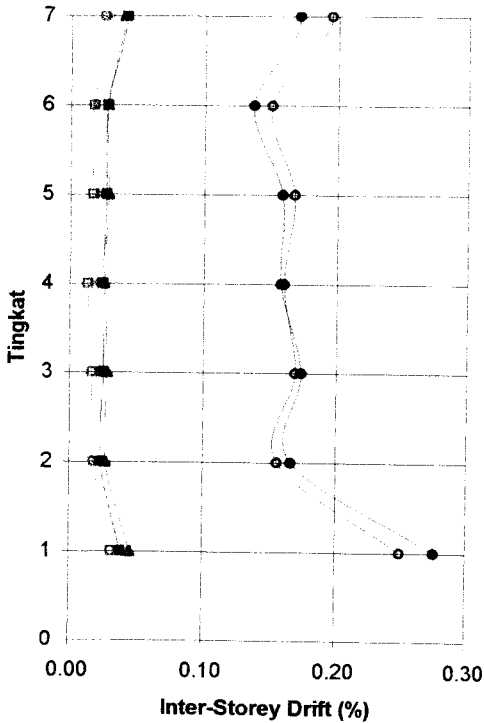


C. Gempa Koyna

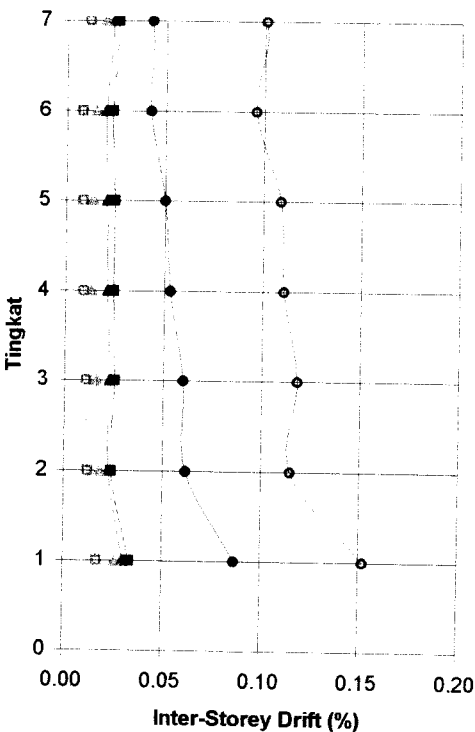
- Open Frame  $K_h=1.7920E25$ ,  $K_r=7.7644E25$
- Open Frame  $K_h=1.7920E08$ ,  $K_r=7.7644E08$
- ▲ Braced X  $K_h=1.7920E25$ ,  $K_r=7.7644E25$
- Braced X  $K_h=1.7920E08$ ,  $K_r=7.7644E08$
- Braced V  $K_h=1.7920E25$ ,  $K_r=7.7644E25$
- ⊠ Braced V  $K_h=1.7920E08$ ,  $K_r=7.7644E08$

Gambar 5.215 Grafik Simpangan Total Maksimum dengan 6 kombinasi

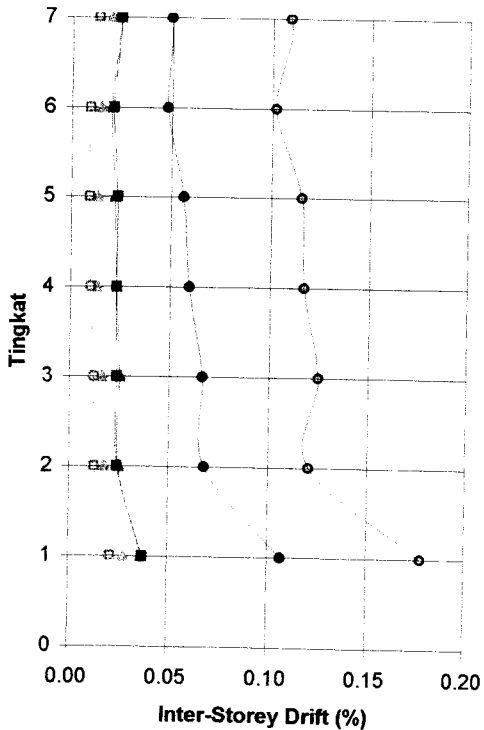




A. Struktur Open Frame



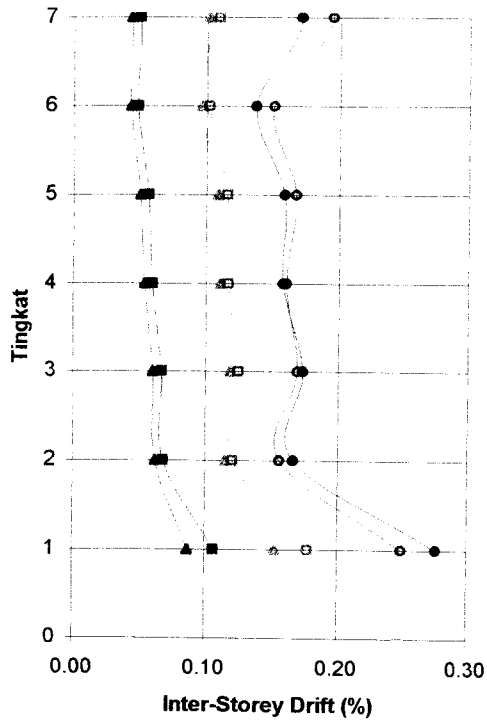
B. Struktur Braced X



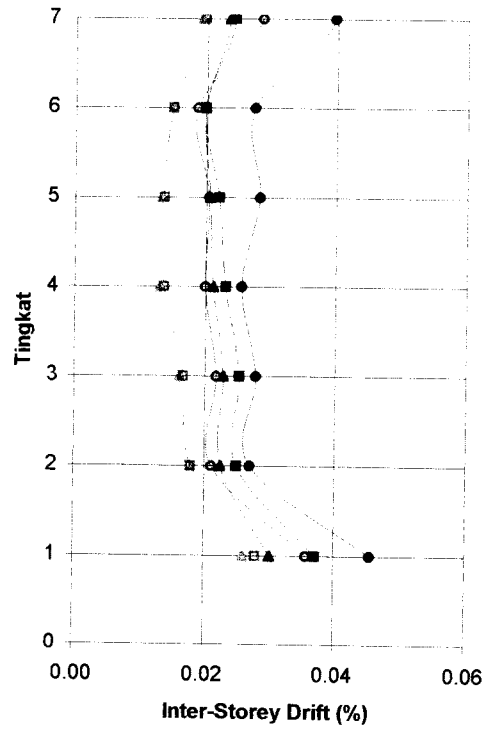
C. Struktur Braced V

- Bucharest Kh=1.7920E25, Kr=7.7644E25
- Bucharest Kh=1.7920E08, Kr=7.7644E08
- ▲— Elcentro Kh=1.7920E25, Kr=7.7644E25
- ◇— Elcentro Kh=1.7920E08, Kr=7.7644E08
- Koyna Kh=1.7920E25, Kr=7.7644E25
- Koyna Kh=1.7920E08, Kr=7.7644E08

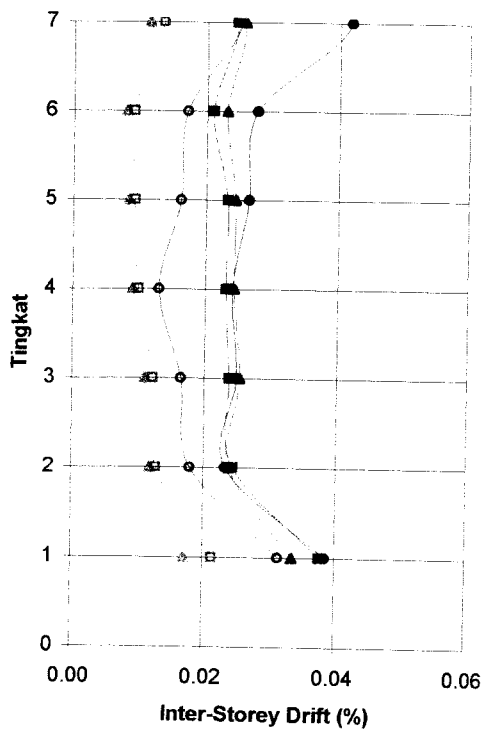
Gambar 5.216 Grafik Inter-Storey Drift Maksimum akibat 3 gempa



A. Gempa Bucharest



B. Gempa Elcentro



C. Gempa Koyna

- Open Frame  $K_h=1.7920E25$ ,  $K_r=7.7644E25$
- Open Frame  $K_h=1.7920E08$ ,  $K_r=7.7644E08$
- ▲— Braced X  $K_h=1.7920E25$ ,  $K_r=7.7644E25$
- △— Braced X  $K_h=1.7920E08$ ,  $K_r=7.7644E08$
- Braced V  $K_h=1.7920E25$ ,  $K_r=7.7644E25$
- Braced V  $K_h=1.7920E08$ ,  $K_r=7.7644E08$

Gambar 5.217 Grafik Inter-Storey Drift Maksimum dengan 6 kombinasi

Dari grafik 2.202 sampai dengan 2.217 dapat kita ambil kesimpulan bahwa respon struktur akan sangat dipengaruhi oleh nilai frekuensi dari struktur. Struktur dengan frekuensi rendah (bertingkat 15) akan menghasilkan respon struktur yang lebih besar jika dikenai beban gempa dengan frekuensi rendah (gempa Bucharest) pula. Sedangkan struktur bertingkat lebih rendah (bertingkat 7) bila dikenai beban gempa frekuensi rendah (gempa Bucharest) akan menghasilkan respon struktur yang lebih kecil dibandingkan dengan respon struktur pada struktur 15 tingkat.

Selain jumlah tingkat, nilai frekuensi struktur akan dipengaruhi oleh nilai interaksi antara tanah dengan pondasi. Respon struktur pada bangunan bertingkat tinggi (15 tingkat) yang dikenai beban gempa Bucharest pada kondisi tanah dianggap jepit sempurna akan lebih besar dibandingkan dengan respon struktur pada kondisi tanah dianggap tidak jepit sempurna (dapat berotasi). Sebaliknya respon struktur pada bangunan bertingkat tinggi (7 tingkat) yang dikenai beban gempa Bucharest pada kondisi tanah dianggap jepit sempurna akan lebih kecil dibandingkan dengan respon struktur pada kondisi tanah dianggap tidak jepit sempurna (dapat berotasi). Hal tersebut terjadi karena nilai interaksi kekakuan horisontal tanah ( $k_h$ ) dan kekakuan rotasi tanah ( $k_r$ ) yang lebih besar akan menghasilkan nilai frekuensi struktur yang lebih besar pula. Pada struktur 15 tingkat nilai frekuensi untuk kondisi tanah dianggap jepit sempurna lebih dekat dengan nilai frekuensi gempa Bucharest dibandingkan dengan pada kondisi tanah dapat berotasi dimana nilai frekuensinya lebih kecil dari nilai frekuensi gempa Bucharest, sehingga respon struktur yang dihasilkan akan lebih besar pula. Sedangkan pada struktur 7 tingkat nilai frekuensi untuk kondisi tanah dianggap

jepit sempurna lebih besar dibandingkan dengan pada kondisi tanah dapat berotasi, sehingga akan lebih jauh dari nilai frekuensi gempa Bucharest dan akan menghasilkan respon struktur yang lebih kecil dibandingkan dengan respon struktur pada kondisi tanah dianggap dapat berotasi.

Penggunaan pengaku (*bracing*) akan memperbesar nilai frekuensi struktur, dimana nilai frekuensi untuk struktur *braced X* akan lebih besar dari *braced V* dan *open frame*. Selain itu penggunaan pengaku (*bracing*) pada bangunan bertingkat tinggi (15 tingkat) akan lebih kecil fungsinya dibandingkan dengan pada bangunan bertingkat lebih rendah (7 tingkat), hal tersebut dibuktikan dengan selisih simpangan yang terjadi antara yang menggunakan pengaku (*bracing*) dan struktur *open frame*, dimana semakin tinggi bangunannya maka selisih simpangannya akan semakin kecil.

## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 6.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian Pengaruh Penggunaan Pengaku (*Bracing*) terhadap Respon Elastik Struktur Baja Bertingkat Banyak Dengan Memperhitungkan Rotasi Pondasi adalah sebagai berikut:

1. Respon struktur sangat dipengaruhi oleh kedekatan nilai frekuensi struktur dengan nilai frekuensi beban gempa, dimana struktur dengan dukungan tanah *fixed* (tanah dianggap jepit penuh) akan mempunyai nilai frekuensi struktur yang lebih besar dibandingkan dengan kondisi tanah dianggap dapat berotasi, sehingga pada akan memberikan respon yang besar pada simpangan netto, simpangan antar tingkat, gaya horisontal tingkat, gaya geser tingkat dan momen guling dibanding dengan struktur yang mengalami rotasi, sebaliknya pada simpangan rotasi dan simpangan total akan memberikan respon yang lebih kecil dibandingkan dengan struktur yang mengalami rotasi.
2. Penggunaan pengaku (*bracing*) untuk semua beban gempa akan memperkecil simpangan netto dan simpangan antar tingkat, tetapi justru akan memperbesar rotasi pondasi, simpangan rotasi, simpangan total, gaya horizontal, gaya geser tingkat dan momen guling.

3. Pada bangunan yang semakin tinggi atau banyak tingkat pengaruh penggunaan pengaku (*bracing*) dalam mengurangi besarnya simpangan yang terjadi akan semakin kecil.
4. Gempa dengan durasi waktu yang lama (gempa Elcentro) tidak menyebabkan respon struktur menjadi maksimum.
5. Gempa dengan frekuensi rendah yaitu gempa Bucharest dengan A/V rasio 0,30595 g/m/dt cenderung menyebabkan respon struktur yang lebih besar dibandingkan dengan gempa frekuensi sedang (gempa Elcentro) dengan A/V rasio 1,04385 g/m/dt dan gempa frekuensi tinggi (gempa Koyna) dengan A/V rasio 3,46774 g/m/dt.
6. Gaya horisontal akibat beban gempa statik pada perencanaan struktur mendekati sama dengan gaya horisontal tingkat akibat gempa pada frekuensi tinggi (gempa Koyna) pada kondisi *code level limit state*.
7. Redaman proposional dengan massa memberikan respon struktur yang lebih besar dari pada redaman proposional dengan kekakuan maupun redaman proposional dengan massa dan kekakuan.

## 6.2 Saran

1. Perlu dilakukan penelitian dengan menggunakan struktur yang berbeda tingkat, dengan nilai kekakuan horisontal, kekakuan putar, redaman horisontal dan redaman putar tanah yang sesuai untuk tingkat struktur yang bersangkutan.

2. Perlu diadakan penelitian dengan menggunakan *level design limit state* yang berbeda.
3. Perlu diadakan penelitian terhadap struktur yang menggunakan *structural bracing*.
4. Perlu dilakukan penelitian terhadap bangunan yang mengalami rotasi pondasi dengan tidak hanya memperhitungkan kekakuan horisontal dan putar tanah tetapi juga memperhitungkan kekakuan vertikal tanah.
5. Perlu diadakan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan banyak beban gempa yang telah diketahui karakteristik beban gempanya dengan model struktur yang divariasi (kekakuan, massa dan rasio redaman).

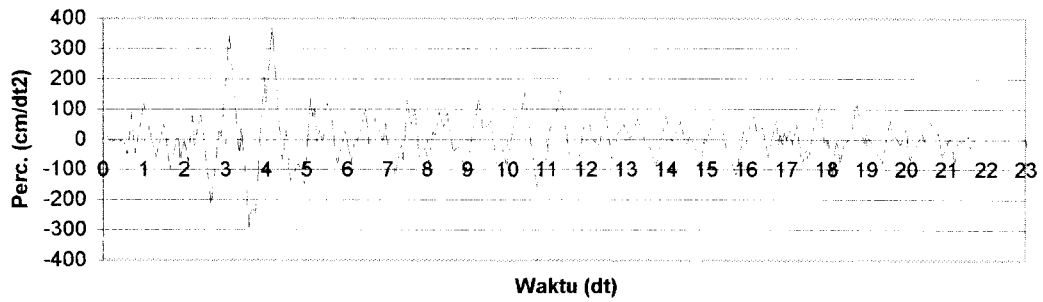
## DAFTAR PUSTAKA

- Chopra, A.K. 1995, *Dynamics of Structure Theory and Application to Earthquake Engineering*, Prentice Hall Inc.
- Chu-Kia Wang, 1970, *Matrix Mehtodes of Struktural Analysis*, Amarican Publishing, Company.
- Clough, R.W. and J. Penzzen, 1992, *Dynamics of Structure*, second edition, Mc. Graw-Hill Book Company.
- Kiyoshi Mutho, 1987, *Analisa Perancangan Gedung Tahan Gempa*, Erlangga, Jakarta.
- Pas, M., 1987, *Dinamika Struktur Teory dan Perhitungan*, edisi kedua, Erlangga, Jakarta.
- Riefqi Zuhdan Prihantoro dan Beby Karmady Yovist, 2002, *Respon Elastik Struktur MDOF dengan Memperhitungkan Rotasi Pondasi*, Tugas Akhir S-1, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Pamungkas, 2002, *Tip dan Trik Mocrosoft Visual Basic 6.0*, Elex Media Komputindo, Jakarta
- Widodo, 1995, *Rocking of Multystorey Buildings*, Thesis Ph.D, Dept. Of Civil Engineering University of Canterbury, Cristchurch, New Zealand,
- Widodo, 1999, *Model-model Analisis untuk Interaksi Antara Tanah dengan Inelastik Struktur Bangunan*, Jurnal Tekologi, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia Jakarta, No.2, Th.XIII, Juni 1999
- Widodo, 2001, *Respon Dinamik Struktur Elastik*, Universitas Islam Indonesia Press, Yogyakarta.
- Wiwit Budi C dan Hariyanto, 2000, *Analisis Bracing pada Desain Struktur Baja Tahan Gempa dengan Strong Column Weak Beam*, Tugas Akhir S-1, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Yustriawan dan Said Khairiansyah, 1999, *Analisis Pengaku (Bracing) terhadap Kekakuan Portal dengan Variasi Tingkat pada Struktur Baja*, Tugas Akhir S-1, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

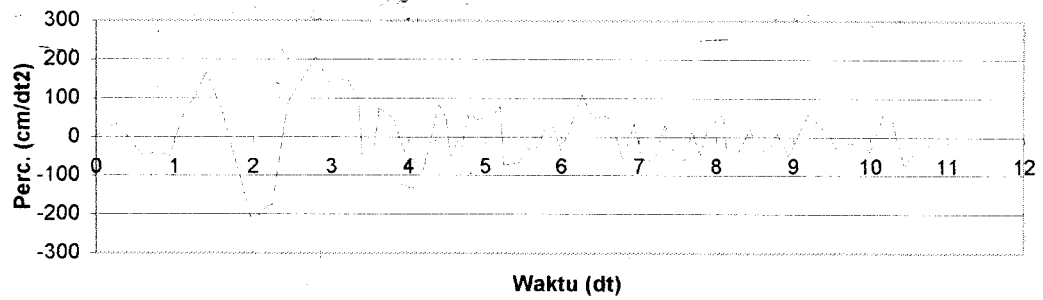


# LAMPIRAN

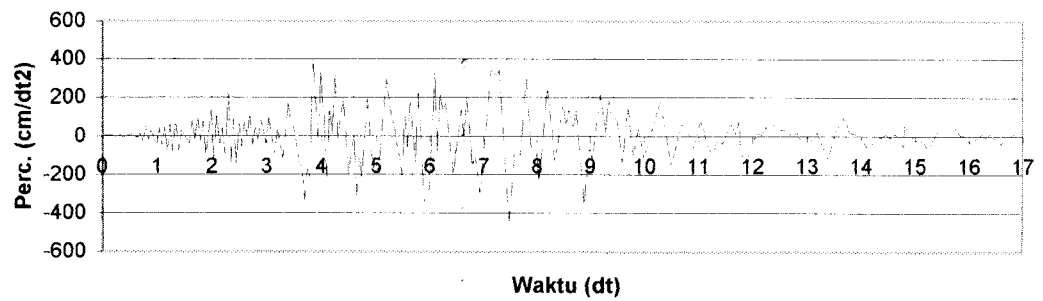
### BARMONTENEGRO



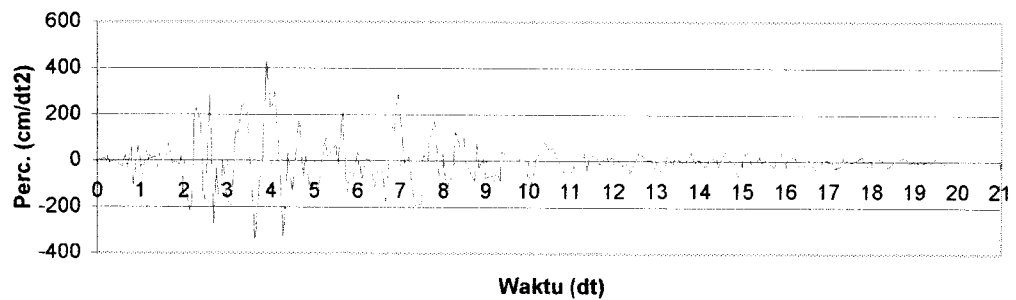
### BUCHAREST

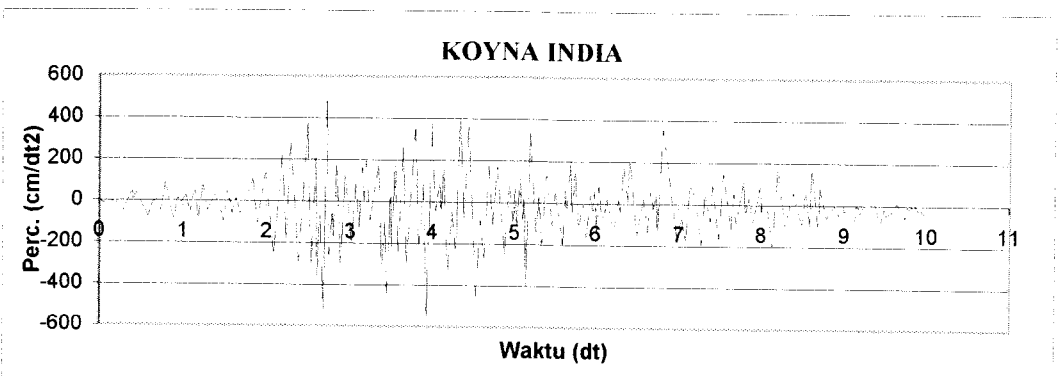
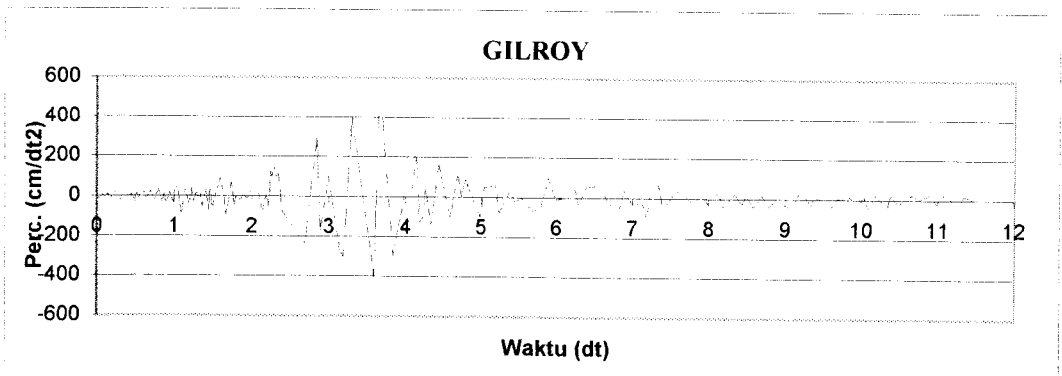
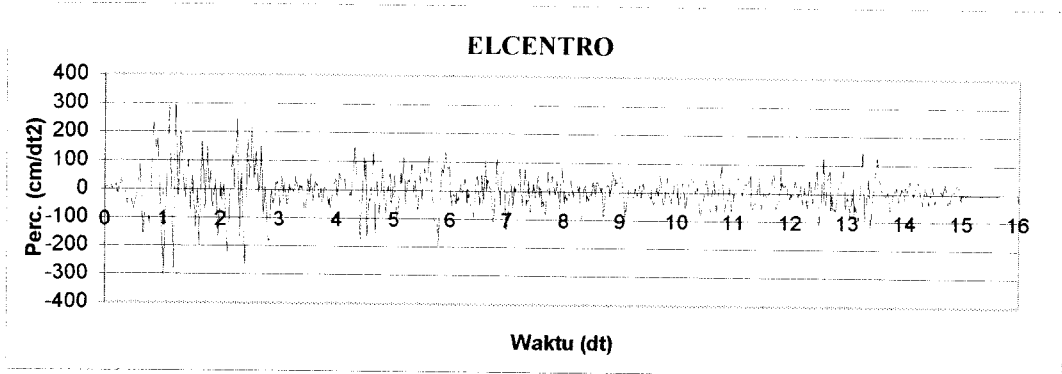
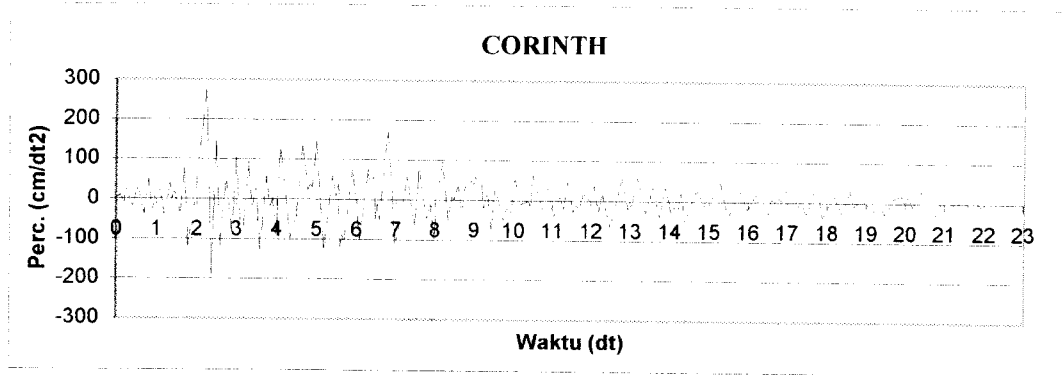


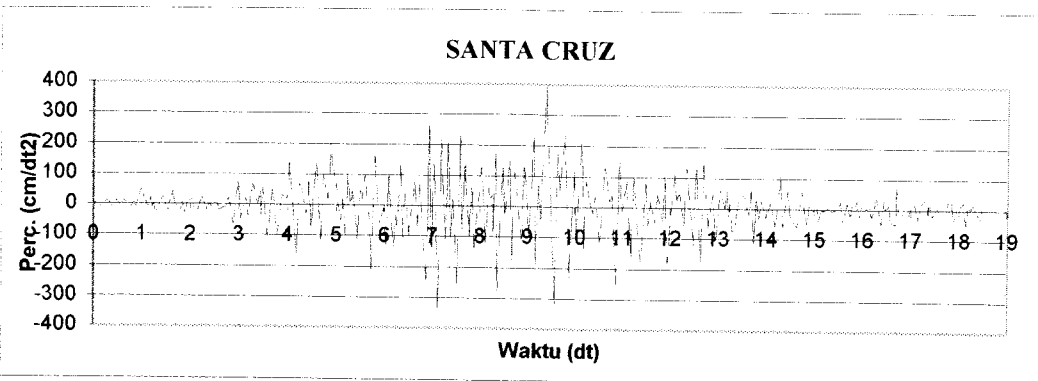
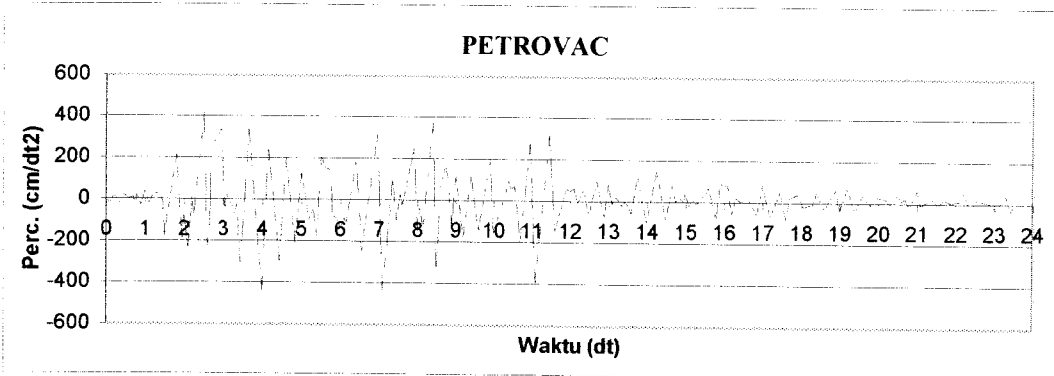
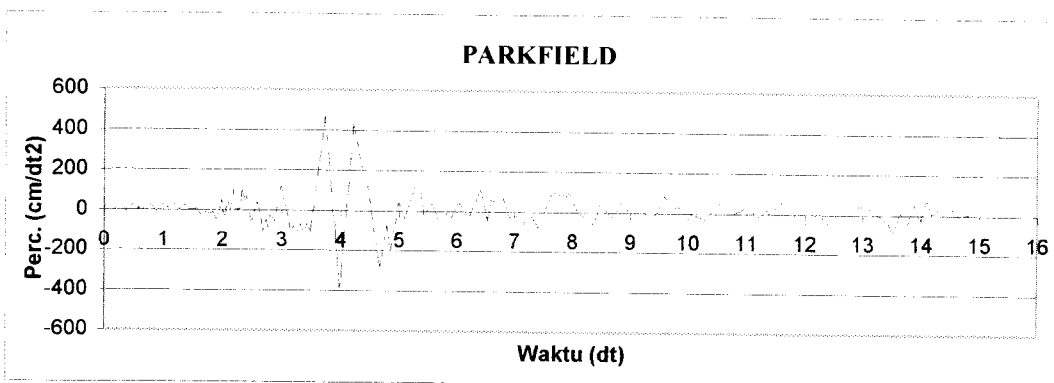
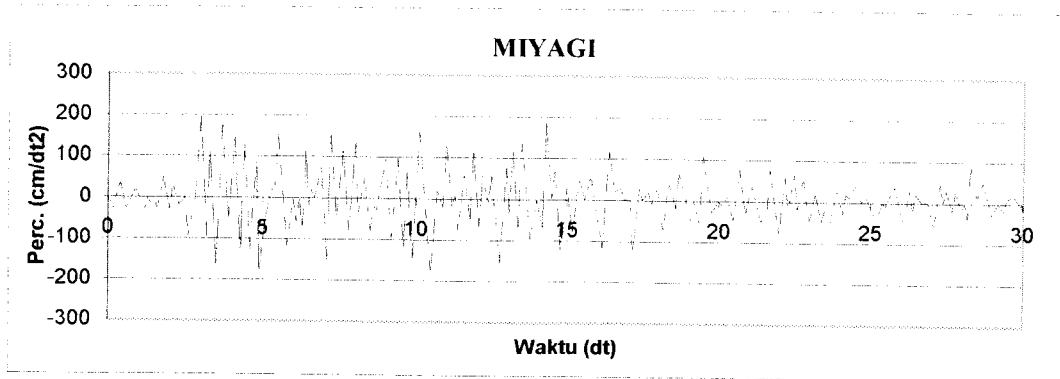
### COALINGGA



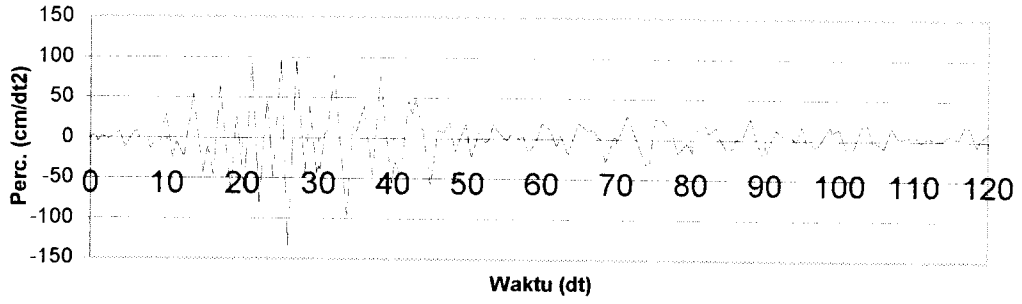
### CORALITOS



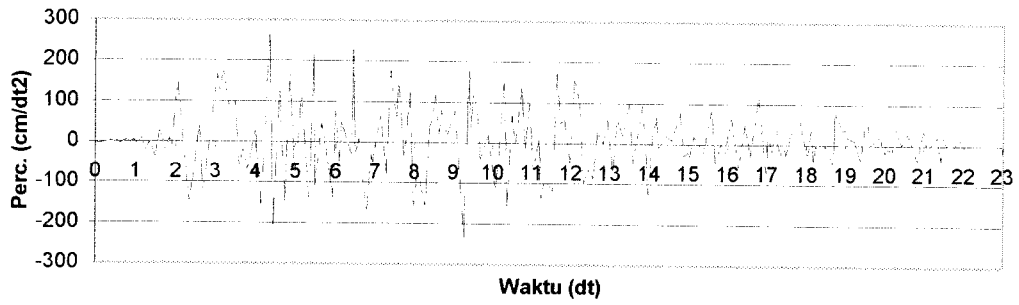




### TLAHUAC BOMBAS



### ULCINJ



## HITUNGAN INTERPOLASI NILAI INTERAKSI ANTARA TANAH DENGAN PONDASI

Jml Tkt	Horisontal	Letak	1 kolom		4 kolom		Keterangan
			Ton/m	kg/m	Ton/m	kg/m	
6	kh	tepi	3.7833E+04	3.7833E+07	1.5133E+05	1.5133E+08	dari data
	kh	tengah	2.3782E+05	2.3782E+08	9.5130E+05	9.5130E+08	dari data
7	kh	tepi	3.9575E+04	3.9575E+07	1.5830E+05	1.5830E+08	hasil Interpolasi
	kh	tengah	2.0795E+05	2.0795E+08	8.3181E+05	8.3181E+08	hasil Interpolasi
10	kh	tepi	4.4800E+04	4.4800E+07	1.7920E+05	1.7920E+08	hasil Interpolasi
	kh	tengah	1.1834E+05	1.1834E+08	4.7335E+05	4.7335E+08	hasil Interpolasi
12	kh	tepi	4.8284E+04	4.8284E+07	1.9314E+05	1.9314E+08	dari data
	kh	tengah	5.8596E+04	5.8596E+07	2.3438E+05	2.3438E+08	dari data
15	kh	tepi	5.1051E+04	5.1051E+07	2.0420E+05	2.0420E+08	hasil Interpolasi
	kh	tengah	6.2745E+04	6.2745E+07	2.5098E+05	2.5098E+08	hasil Interpolasi
18	kh	tepi	5.3818E+04	5.3818E+07	2.1527E+05	2.1527E+08	dari data
	kh	tengah	6.6895E+04	6.6895E+07	2.6758E+05	2.6758E+08	dari data

Jml Tkt	Horisontal	Letak	1 kolom		4 kolom		Keterangan
			Ton.dt/m	kg.dt/m	Ton.dt/m	kg.dt/m	
6	ch	tepi	1.0587E+03	1.0587E+06	4.2348E+03	4.2348E+06	dari data
	ch	tengah	1.5231E+03	1.5231E+06	6.0924E+03	6.0924E+06	dari data
7	ch	tepi	1.1559E+03	1.1559E+06	4.6237E+03	4.6237E+06	hasil Interpolasi
	ch	tengah	1.6767E+03	1.6767E+06	6.7069E+03	6.7069E+06	hasil Interpolasi
10	ch	tepi	1.4476E+03	1.4476E+06	5.7903E+03	5.7903E+06	hasil Interpolasi
	ch	tengah	2.1376E+03	2.1376E+06	8.5505E+03	8.5505E+06	hasil Interpolasi
12	ch	tepi	1.6420E+03	1.6420E+06	6.5681E+03	6.5681E+06	dari data
	ch	tengah	2.4449E+03	2.4449E+06	9.7796E+03	9.7796E+06	dari data
15	ch	tepi	1.8161E+03	1.8161E+06	7.2644E+03	7.2644E+06	hasil Interpolasi
	ch	tengah	2.7223E+03	2.7223E+06	1.0889E+04	1.0889E+07	hasil Interpolasi
18	ch	tepi	1.9902E+03	1.9902E+06	7.9606E+03	7.9606E+06	dari data
	ch	tengah	2.9998E+03	2.9998E+06	1.1999E+04	1.1999E+07	dari data

## HITUNGAN INTERPOLASI NILAI INTERAKSI ANTARA TANAH DENGAN PONDASI

Jml Tkt	Rotasi	Letak	1 kolom		4 kolom		Keterangan
			Ton/rad	kg/rad	Ton/rad	kg/rad	
6	kr	tepi	1.1033E+05	1.1033E+08	4.4131E+05	4.4131E+08	dari data
	kr	tengah	2.3782E+05	2.3782E+08	9.5130E+05	9.5130E+08	dari data
7	kr	tepi	1.3127E+05	1.3127E+08	5.2510E+05	5.2510E+08	hasil Interpolasi
	kr	tengah	2.9738E+05	2.9738E+08	1.1895E+06	1.1895E+09	hasil Interpolasi
10	kr	tepi	1.9411E+05	1.9411E+08	7.7644E+05	7.7644E+08	hasil Interpolasi
	kr	tengah	4.7605E+05	4.7605E+08	1.9042E+06	1.9042E+09	hasil Interpolasi
12	kr	tepi	2.3600E+05	2.3600E+08	9.4401E+05	9.4401E+08	dari data
	kr	tengah	5.9516E+05	5.9516E+08	2.3807E+06	2.3807E+09	dari data
15	kr	tepi	2.9830E+05	2.9830E+08	1.1932E+06	1.1932E+09	hasil Interpolasi
	kr	tengah	7.7135E+05	7.7135E+08	3.0854E+06	3.0854E+09	hasil Interpolasi
18	kr	tepi	3.6059E+05	3.6059E+08	1.4424E+06	1.4424E+09	dari data
	kr	tengah	9.4753E+05	9.4753E+08	3.7901E+06	3.7901E+09	dari data

Jml Tkt	Rotasi	Letak	1 kolom		4 kolom		Keterangan
			Ton.dt/rad	kg.dt/rad	Ton.dt/rad	kg.dt/rad	
6	cr	tepi	1.5372E+03	1.5372E+06	6.1488E+03	6.1488E+06	dari data
	cr	tengah	3.4486E+03	3.4486E+06	1.3794E+04	1.3794E+07	dari data
7	cr	tepi	1.8616E+03	1.8616E+06	7.4465E+03	7.4465E+06	hasil Interpolasi
	cr	tengah	4.4303E+03	4.4303E+06	1.7721E+04	1.7721E+07	hasil Interpolasi
10	cr	tepi	2.8349E+03	2.8349E+06	1.1340E+04	1.1340E+07	hasil Interpolasi
	cr	tengah	7.3755E+03	7.3755E+06	2.9502E+04	2.9502E+07	hasil Interpolasi
12	cr	tepi	3.4838E+03	3.4838E+06	1.3935E+04	1.3935E+07	dari data
	cr	tengah	9.3390E+03	9.3390E+06	3.7356E+04	3.7356E+07	dari data
15	cr	tepi	4.4695E+03	4.4695E+06	1.7878E+04	1.7878E+07	hasil Interpolasi
	cr	tengah	1.1662E+04	1.1662E+07	4.6649E+04	4.6649E+07	hasil Interpolasi
18	cr	tepi	5.4552E+03	5.4552E+06	2.1821E+04	2.1821E+07	dari data
	cr	tengah	1.3986E+04	1.3986E+07	5.5942E+04	5.5942E+07	dari data

## VERIFIKASI PERHITUNGAN MASSA DAN KEKAKUAN

### MENGHITUNG BERAT DAN MASSA TINGKAT

$$M_i = \frac{W_i}{g}, \text{ dimana } g = 9,81 \text{ kg/m}^2$$

#### A. Rumus umum (Struktur Open Frame)

$$W_0 = (\text{Berat profil kolom tepi tingkat } 1 \times \frac{1}{2} \times 2 \times H_1) + (\text{Berat profil kolom tengah tingkat } 1 \times \frac{1}{2} \times 2 \times H_1)$$

$$W_i = (\text{Berat profil kolom tepi tingkat } i \times \frac{1}{2} \times 2 \times H_i) + (\text{Berat profil kolom tengah tingkat } i \times \frac{1}{2} \times 2 \times H_i) + (\text{Berat profil kolom tepi tingkat } (i+1) \times \frac{1}{2} \times 2 \times H_{i+1}) + (\text{Berat profil kolom tengah tingkat } (i+1) \times \frac{1}{2} \times 2 \times H_{i+1}) + (\text{Berat profil balok } (L_1) \text{ tingkat } i \times L_1) + (\text{Berat profil balok } (L_2) \text{ tingkat } i \times L_2) + (\text{Berat profil balok } (L_3) \text{ tingkat } i \times L_3) + (\text{Beban merata balok } (L_1) \text{ tingkat } i \times L_1) + (\text{Beban merata balok } (L_2) \text{ tingkat } i \times L_2) + (\text{Beban merata balok } (L_3) \text{ tingkat } i \times L_3)$$

$$W_n = (\text{Berat profil kolom tepi tingkat } n \times \frac{1}{2} \times 2 \times H_n) + (\text{Berat profil kolom tengah tingkat } n \times \frac{1}{2} \times 2 \times H_n) + (\text{Berat profil balok } (L_1) \text{ tingkat } n \times L_1) + (\text{Berat profil balok } (L_2) \text{ tingkat } n \times L_2) + (\text{Berat profil balok } (L_3) \text{ tingkat } n \times L_3) + (\text{Beban merata balok } (L_1) \text{ tingkat } n \times L_1) + (\text{Beban merata balok } (L_2) \text{ tingkat } n \times L_2) + (\text{Beban merata balok } (L_3) \text{ tingkat } n \times L_3)$$



## B. Rumus tambahan untuk Braced X

$$W_0 = (\text{Berat Profil } bracing \text{ tingkat } 1 \times 2 \times \frac{1}{2} \times \sqrt{L_2^2 + H_1^2})$$

$$W_i = (\text{Berat Profil } bracing \text{ tingkat } i \times 2 \times \frac{1}{2} \times \sqrt{L_2^2 + H_i^2}) + (\text{Berat Profil } bracing \text{ tingkat } (i+1) \times 2 \times \frac{1}{2} \times \sqrt{L_2^2 + H_{i+1}^2})$$

$$W_n = (\text{Berat Profil } bracing \text{ tingkat } n \times 2 \times \frac{1}{2} \times \sqrt{L_2^2 + H_n^2})$$

## C. Rumus tambahan untuk Braced V

$$W_0 = (\text{Berat Profil } bracing \text{ tingkat } 1 \times 2 \times \frac{1}{2} \times \sqrt{\frac{1}{2}L_2^2 + H_1^2})$$

$$W_i = (\text{Berat Profil } bracing \text{ tingkat } i \times 2 \times \frac{1}{2} \times \sqrt{\frac{1}{2}L_2^2 + H_i^2}) + (\text{Berat Profil } bracing \text{ tingkat } (i+1) \times 2 \times \frac{1}{2} \times \sqrt{\frac{1}{2}L_2^2 + H_{i+1}^2})$$

$$W_n = (\text{Berat Profil } bracing \text{ tingkat } n \times 2 \times \frac{1}{2} \times \sqrt{\frac{1}{2}L_2^2 + H_n^2})$$

## MENGHITUNG KEKAKUAN TINGKAT

Kekakuan tingkat  $i$  = Kekakuan Kolom Tepi tingkat  $i$  + Kekakuan Kolom

Tengah tingkat  $i$  - (Kekakuan Brace X tingkat  $i$ ) +

(Kekakuan Brace V tingkat  $i$ )

### A. Rumus umum (Struktur Open Frame)

$$\text{Kekakuan Kolom Tepi} = 2 * \frac{12 * E * I}{(H_1)^3}$$

$$\text{Kekakuan Kolom Tengah} = 2 * \frac{12 * E * I}{(H_1)^3}$$

### B. Rumus tambahan untuk Braced X

$$\text{Kekakuan bracing X} = \frac{A * E}{L} \cos^2(\alpha_1), \alpha_1 = \text{arc.tan} \frac{H_1}{L_2}$$

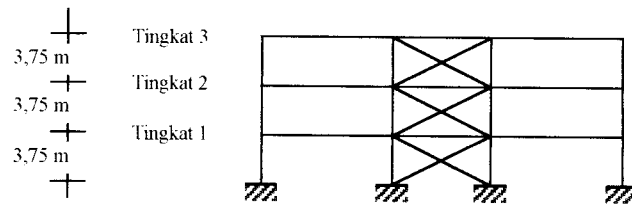
$$\text{Kekakuan bracing X} = \frac{A * E * L_2^2}{L^3}$$

### C. Rumus tambahan untuk Braced V

$$\text{Kekakuan bracing V} = \frac{A * E}{L} \cos^2(\alpha_1), \alpha_1 = \text{arc.tan} \frac{H_1}{\frac{1}{2} L_2}$$

$$\text{Kekakuan bracing V} = \frac{A * E * (\frac{1}{2} L_2^2)}{L^3}$$

### Contoh Struktur Braced X 3 tingkat



### Tabel Profil yang digunakan

No	Elemen Struktur	Lantai	Profil Baja A36	Berat profil (kg/m)
1	Balok bentang 8 m	1-3	W14X53	78.87
2	Balok bentang 6,5 m	1-3	W14X53	78.87
3	Kolom tepi lantai	1-3	W14X257	382.46
4	Kolom tengah lantai	1-3	W14X370	550.63
5	Bracing	1-3	W8x21	31.25

### Tabel Beban Merata

Lantai	Beban Merata (kg/m)	
	Balok 8 m	Balok 6,5 m
1 - 2	4001.5	3427
3	2112	1716

## I. MENGHITUNG MASSA TINGKAT

$$W_0 = (382.457834 \times \frac{1}{2} \times 2 \times 3.75) + (550.620228 \times \frac{1}{2} \times 2 \times 3.75) + (31.251418 \\ \times 2 \times \frac{1}{2} \times \sqrt{6.5^2 + 3.75^2})$$

$$W_0 = 3733.558546 \text{ kg}$$

$$W_{1-2} = (382.457834 \times \frac{1}{2} \times 2 \times 3.75) + (550.620228 \times \frac{1}{2} \times 2 \times 3.75) + (382.457834 \\ \times \frac{1}{2} \times 2 \times 3.75) + (550.620228 \times \frac{1}{2} \times 2 \times 3.75) + (78.872627 \times 8) + \\ (78.872627 \times 6.5) + (78.872627 \times 8) + (4001.5 \times 8) + (3427 \times 6.5) + \\ (4001.5 \times 8) + (31.251418 \times 2 \times \frac{1}{2} \times \sqrt{6.5^2 + 3.75^2}) + (31.251418 \times 2 \times \frac{1}{2} \\ \times \sqrt{6.5^2 + 3.75^2})$$

$$W_{1-2} = 95541.251199 \text{ kg}$$

$$W_3 = (382.457834 \times \frac{1}{2} \times 2 \times 3.75) + (550.620228 \times \frac{1}{2} \times 2 \times 3.75) + (78.872627 \\ \times 8) + (78.872627 \times 6.5) + (78.872627 \times 8) + (2112 \times 8) + (1716 \times 6.5) + \\ (2112 \times 8) + (31.251418 \times 2 \times \frac{1}{2} \times \sqrt{6.5^2 + 3.75^2})$$

$$W_3 = 50454.192653 \text{ kg}$$

$$\text{Massa tingkat 0} = \frac{3733.558546}{9.81} = 380.587008 \text{ kg.dt}^2/\text{m}$$

$$\text{Massa tingkat 1 dan 2} = \frac{95541.251199}{9.81} = 9739.169337 \text{ kg.dt}^2/\text{m}$$

$$\text{Massa tingkat 3} = \frac{50454.192653}{9.81} = 5143.138904 \text{ kg.dt}^2/\text{m}$$

## II. MENGHITUNG KEKAKUAN TINGKAT

a. Kolom Tepi (profil W14 x 257)

$$E = 29000 \text{ Ksi} = 2.03890018 \times 10^{10} \text{ kg/m}^2$$

$$I = 0,001415 \text{ m}^4$$

$$H_1 = 3.75 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Kekakuan Kolom Tepi} &= 2 * \frac{12 * 2.03890018 \times 10^{10} * 0.001415}{(3.75)^3} \\ &= 13130154.288788 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

b. Kolom Tengah (profil W14 x 370)

$$E = 29000 \text{ Ksi} = 2.03890018 \times 10^{10} \text{ kg/m}^2$$

$$I = 0,002264 \text{ m}^4$$

$$H_1 = 3.75 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Kekakuan Kolom Tengah} &= 2 * \frac{12 * 2.03890018 \times 10^{10} * 0.002264}{(3.75)^3} \\ &= 21008246.862061 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

c. *Bracing* X (profil W8 x 21)

$$E = 29000 \text{ Ksi} = 2.03890018 \times 10^{10} \text{ kg/m}^2$$

$$A = 0,003974 \text{ m}^2$$

$$L_2 = 6.50 \text{ m}$$

$$L = \sqrt{3.75^2 + 6.5^2} = 7.504165 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Kekakuan Brace X} &= \frac{0.003974 * 2.03890018 \times 10^{10} * 6.5^2}{(7.504165)^3} \\ &= 8101087.342543 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kekakuan tingkat}_{1-3} &= 13130154.288788 + 21008246.862061 + 8101087.342543 \\ &= 42239488,493392 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

## VERIFIKASI

Untuk verifikasi struktur yang digunakan adalah struktur 3 tingkat dengan beban gempa Bucharest, dihitung dengan cara manual dan program PROGSIP 2003.

### DATA STRUKTUR

Struktur yang ditinjau merupakan suatu model *shear building* 3 tingkat dari struktur baja. Perhitungan massa dan kekakuan struktur sudah dihitung terlebih dahulu dengan manual dan PROGSIP 2003 yang hasilnya sebagai berikut :

Tingkat	Tinggi ( H )	Massa ( M )	Kekakuan ( K )
0	0	380,5870077	Kh = 2E+07 Kr = 2E+08
1	3,75	9739,169337	42239488,493392
2	3,75	9739,169337	42239488,493392
3	3,75	5143,138904	42239488,493392

### PERHITUNGAN MANUAL

Dalam perhitungan manual ini dalam mencari besarnya omega (  $\omega$  ) kami menggunakan metode Polinomial dan dukungan dianggap tidak jepit penuh. Untuk mencari besarnya simpangan, simpangan antar tingkat, gaya horisontal tingkat, gaya horisontal tingkat kumulatif dan momen guling, kami menggunakan metode  $\beta$ -Newmark.

## PENYELESAIAN

### A. Mencari Eigen

$$M = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 9739,169337 & 0 & 0 \\ 0 & 9739,169337 & 0 \\ 0 & 0 & 5143,138904 \end{bmatrix}$$

$$K = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 \\ 0 & -k_3 & k_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 84478976,986784 & -42239488,493392 & 0 \\ -42239488,493392 & 84478976,986784 & -42239488,493392 \\ 0 & -42239488,493392 & 42239488,493392 \end{bmatrix}$$

misal dipakai unit kekakuan  $K = 42239488,493392 \text{ kg/m}$ , maka :

$$K = \begin{bmatrix} 2k & -k & 0 \\ -k & k & -k \\ 0 & -k & k \end{bmatrix}$$

Dengan memperhatikan matrik-matrik diatas, maka persamaan *eigenproblem* yang dapat disusun adalah sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} 2k - 9739,169337\omega^2 m & -k & 0 \\ -k & 2k - 9739,169337\omega^2 m & -k \\ 0 & -k & k - 5143,138904\omega^2 m \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

persamaan tersebut dapat juga ditulis menjadi :

$$\begin{bmatrix} 2 - 9739,169337 \frac{\omega^2}{k} m & -1 & 0 \\ -1 & 2 - 9739,169337 \frac{\omega^2}{k} m & -1 \\ 0 & -1 & 1 - 5143,138904 \frac{\omega^2}{k} m \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

apabila diambil notasi bahwa  $\lambda = \frac{\omega^2}{k} m$  maka persamaan tersebut akan menjadi :

$$\begin{bmatrix} 2 - 9739,169337 * \lambda & -1 & 0 \\ -1 & 2 - 9739,169337 * \lambda & -1 \\ 0 & -1 & 1 - 5143,138904 * \lambda \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

dan apabila persamaan tersebut disederhanakan akan diperoleh :

$$(2 - 9739,169337 * \lambda) * \phi_1 - \phi_2 = 0$$

$$-\phi_1 + (2 - 9739,169337 * \lambda) * \phi_2 - \phi_3 = 0$$

$$-\phi_2 + (1 - 5143,138904 * \lambda) * \phi_3 = 0$$

dengan mengambil :

$$\phi_1 = 1$$

dengan mensubstitusikan nilai tersebut pada persamaan diatas akan diperoleh :

$$\phi_2 = (2 - 9739,169337 * \lambda)$$

selanjutnya dengan mensubstitusikan nilai – nilai tersebut, setelah disusun maka diperoleh :

$$4,878340251E+11 * \lambda^3 - 295211022,2 * \lambda^2 + 44646,92472 * \lambda - 1 = 0$$

persamaan diatas adalah persamaan polinomial pangkat 3 dan nilai yang akan dicari adalah

nilai - nilai  $\lambda$  yang merupakan akar – akar dari persamaan tersebut. Maka diperoleh akar –

akar persamaan diatas sebagai berikut :

$$\lambda_1 = 2,700469684E - 05$$

$$\lambda_2 = 2,015849672E - 04$$

$$\lambda_3 = 3,765567731E - 04$$

maka :

$$\omega = \sqrt{\lambda * \frac{k}{m}}$$

$$\omega_1 = \sqrt{(2,700469684E - 05) * \frac{42239488,493392}{1}} = 33,77372620 \text{ rad/detik}$$

$$\omega_2 = \sqrt{(2,015849672E - 04) * \frac{42239488,493392}{1}} = 92,27592265 \text{ rad/detik}$$

$$\omega_3 = \sqrt{(3,765567731E - 04) * \frac{42239488,493392}{1}} = 126,1172688 \text{ rad/detik}$$

## METODE $\beta$ - NEWMARK

Matrik massa dan matrik kekakuan dari struktur yang mengalami rotasi pondasi adalah sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 & m_1 & m_1 * h_1 \\ 0 & m_2 & 0 & m_2 & m_2 * h_2 \\ 0 & 0 & m_3 & m_3 & m_3 * h_3 \\ m_1 & m_2 & m_3 & m_0 + m_1 + m_2 + m_3 & m_1 * h_1 + m_2 * h_2 + m_3 * h_3 \\ m_1 * h_1 & m_2 * h_2 & m_3 * h_3 & m_1 * h_1 + m_2 * h_2 + m_3 * h_3 & I_g + m_1 * h_1 + m_2 * h_2 + m_3 * h_3 \end{bmatrix}$$

$$\begin{Bmatrix} \ddot{y}_1 \\ \ddot{y}_2 \\ \ddot{y}_3 \\ \ddot{y}_0 \\ \ddot{\theta} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 & 0 & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 & 0 & 0 \\ 0 & -k_3 & k_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & kh & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & kr \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{y}_1 \\ \ddot{y}_2 \\ \ddot{y}_3 \\ \ddot{y}_0 \\ \ddot{\theta} \end{Bmatrix} = - \begin{Bmatrix} m_1 * \ddot{y}_b \\ m_2 * \ddot{y}_b \\ m_3 * \ddot{y}_b \\ (m_0 + m_1 + m_2 + m_3) * \ddot{y}_b \\ (m_1 * h_1 + m_2 * h_2 + m_3 * h_3) * \ddot{y}_b \end{Bmatrix}$$

$$[M] = \begin{bmatrix} 9739,169337 & 0 & 0 & 9739,169337 & 36521,88501 \\ 0 & 9739,169337 & 0 & 9739,169337 & 73043,77003 \\ 0 & 0 & 5143,138904 & 5143,138904 & 57860,31267 \\ 9739,169337 & 9739,169337 & 5143,138904 & 25002,06459 & 167425,9677 \\ 36521,88501 & 73043,77003 & 57860,31267 & 167425,9677 & 1335713,862 \end{bmatrix}$$

$$[K] = \begin{bmatrix} 84478976,986784 & -42239488,493392 & 0 & 0 & 0 \\ -42239488,493392 & 84478976,986784 & -42239488,493392 & 0 & 0 \\ 0 & -42239488,493392 & 42239488,493392 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2E + 07 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2E + 08 \end{bmatrix}$$



## MENCARI MATRIK REDAMAN

Untuk mencari redaman pada struktur atas digunakan alternatif pertama sehingga digunakan rumus sebagai berikut :

$$\alpha = 2 * \xi_1 * \omega_1 = 2 * 0,05 * 33,77372620 = 3.37737262$$

matrik redaman :

$$[ C ] = \begin{bmatrix} \alpha * m_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \alpha * m_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \alpha * m_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & ch & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & cr \end{bmatrix}$$
$$= \begin{bmatrix} 32892.803860 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 32892.803860 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 17370.296515 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 525000 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 993000 \end{bmatrix}$$

## MENCARI KEKAKUAN EFEKTIF

Dalam mencari nilai kekakuan efektif ditentukan dahulu nilai  $\gamma = 0,5$  dan  $\beta = 0,25$  baru kemudian menghitung nilai kekakuan efektif sebagai berikut :

$$K = [ K ] + \frac{\gamma}{\beta * \Delta t} [ C ] + \frac{1}{\beta * (\Delta t)^2} [ M ]$$

$$K = \begin{bmatrix} 84478976,986784 & -42239488,493392 & 0 & 0 & 0 \\ -42239488,493392 & 84478976,986784 & -42239488,493392 & 0 & 0 \\ 0 & -42239488,493392 & 42239488,493392 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2E+07 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2E+08 \end{bmatrix}$$

$$+ \frac{0,5}{0,25 * 0,01} * \begin{bmatrix} 33376,53689 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 33376,53689 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 17625,75015 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 525000 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 993000 \end{bmatrix}$$

$$+ \frac{1}{0,25 * 0,01^2} \begin{bmatrix} 9739,169337 & 0 & 0 & 9739,169337 & 36521,88501 \\ 0 & 9739,169337 & 0 & 9739,169337 & 73043,77003 \\ 0 & 0 & 5143,138904 & 5143,138904 & 57860,31267 \\ 9739,169337 & 9739,169337 & 5143,138904 & 25002,06459 & 167425,9677 \\ 36521,88501 & 73043,77003 & 57860,31267 & 167425,9677 & 1335713,862 \end{bmatrix}$$

$$K = \begin{bmatrix} 4.806243E+08 & -4.223949E+07 & 0 & 3.895668E+08 & 1.460875E+09 \\ -4.223949E+07 & 4.806243E+08 & -4.223949E+07 & 3.895668E+08 & 2.921751E+09 \\ 0 & -4.223949E+07 & 2.514391E+08 & 2.057256E+08 & 2.314413E+09 \\ 3.895668E+08 & 3.895668E+08 & 2.057256E+08 & 1.125083E+09 & 6.697039E+09 \\ 1.460875E+09 & 2.921751E+09 & 2.314413E+09 & 6.697039E+09 & 5.382715E+10 \end{bmatrix}$$

## INVERS MATRIK KEKAKUAN EFEKTIF

$$K^{-1} = \begin{bmatrix} 8.616252E-09 & 1.047743E-08 & 1.334787E-08 & -3.309529E-09 & -9.647205E-10 \\ 1.047743E-08 & 2.110374E-08 & 2.665761E-08 & -1.833286E-09 & -2.347983E-09 \\ 1.334787E-08 & 2.665761E-08 & 4.144328E-08 & -2.070819E-10 & -3.565421E-09 \\ -3.309529E-09 & -1.833286E-09 & -2.070819E-10 & 5.888140E-09 & -5.343513E-10 \\ -9.647205E-10 & -2.347983E-09 & -3.565421E-09 & -5.343513E-10 & 3.919952E-10 \end{bmatrix}$$

**MENCARI KONSTANTA “a”**

$$a = \frac{1}{\beta * \Delta t} [M] + \frac{\gamma}{\beta} [C]$$

$$a = \frac{1}{0,25 * 0,01} \begin{bmatrix} 9739,169337 & 0 & 0 & 9739,169337 & 36521,88501 \\ 0 & 9739,169337 & 0 & 9739,169337 & 73043,77003 \\ 0 & 0 & 5143,138904 & 5143,138904 & 57860,31267 \\ 9739,169337 & 9739,169337 & 5143,138904 & 25002,06459 & 167425,9677 \\ 36521,88501 & 73043,77003 & 57860,31267 & 167425,9677 & 1335713,862 \end{bmatrix}$$

$$+ \frac{0,5}{0,25} \begin{bmatrix} 32892.803860 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 32892.803860 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 17370.296515 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 525000 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 993000 \end{bmatrix}$$

$$a = \begin{bmatrix} 3.961453E + 06 & 0 & 0 & 3.895668E + 06 & 1.460875E + 07 \\ 0 & 3.961453E + 06 & 0 & 3.895668E + 06 & 2.921751E + 07 \\ 0 & 0 & 2.091996E + 06 & 2.057256E + 06 & 2.314413E + 07 \\ 3.895668E + 06 & 3.895668E + 06 & 2.057256E + 06 & 1.105083E + 07 & 6.697039E + 07 \\ 1.460875E + 07 & 2.921751E + 07 & 2.314413E + 07 & 6.697039E + 07 & 5.362715E + 08 \end{bmatrix}$$

**MENCARI KONSTANTA “b”**

$$b = \frac{1}{2 * \beta} [M] + \Delta t * \left( \frac{\gamma}{2 * \beta} - 1 \right) [C]$$

$$\begin{aligned}
b &= \frac{1}{2 * 0,25} \begin{bmatrix} 9739,169337 & 0 & 0 & 9739,169337 & 36521,88501 \\ 0 & 9739,169337 & 0 & 9739,169337 & 73043,77003 \\ 0 & 0 & 5143,138904 & 5143,138904 & 57860,31267 \\ 9739,169337 & 9739,169337 & 5143,138904 & 25002,06459 & 167425,9677 \\ 36521,88501 & 73043,77003 & 57860,31267 & 167425,9677 & 1335713,862 \end{bmatrix} \\
&+ 0,01 * \left( \frac{0,5}{2 * 0,25} - 1 \right) \begin{bmatrix} 32892.803860 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 32892.803860 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 17370.296515 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 525000 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 993000 \end{bmatrix} \\
b &= \begin{bmatrix} 1.947834E + 04 & 0 & 0 & 1.947834E + 04 & 7.304377E + 04 \\ 0 & 1.947834E + 04 & 0 & 1.947834E + 04 & 1.460875E + 05 \\ 0 & 0 & 1.028628E + 04 & 1.028628E + 04 & 1.157206E + 05 \\ 1.947834E + 04 & 1.947834E + 04 & 1.028628E + 04 & 5.000413E + 04 & 3.348519E + 05 \\ 7.304377E + 04 & 1.460875E + 05 & 1.157206E + 05 & 3.348519E + 05 & 2.671428E + 06 \end{bmatrix}
\end{aligned}$$

## PERHITUNGAN PEMBEBANAN

Perhitungan pembebanan menggunakan beban gempa bucharest, dimana untuk percepatan gempa adalah sebagai berikut :

Untuk selang waktu 0,01 detik = 0,01372 m/dt<sup>2</sup>

Untuk selang waktu 0,02 detik = 0,02744 m/dt<sup>2</sup>

Untuk selang waktu 0,03 detik = 0,04116 m/dt<sup>2</sup>

1. Langkah 1 (saat 0,01 detik)

Kondisi pertama diketahui  $y_0 = 0$  ;  $\dot{y}_0 = 0$  ;  $\ddot{y}_0 = 0$

$$\Delta \dot{p}_0 = (\ddot{y}b_1 - \ddot{y}b_0) \begin{bmatrix} m_1 \\ m_2 \\ m_3 \\ m_0 + m_1 + m_2 + m_3 \\ m_1 h_1 + m_2 h_2 + m_3 h_3 \end{bmatrix}$$

$$\Delta \dot{p}_0 = -(0.01372 - 0) \begin{bmatrix} 9739.169337 \\ 9739.169337 \\ 5143.138904 \\ 25002.06459 \\ 167425.9677 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -133,6214033 \\ -133,6214033 \\ -70,56386576 \\ -343,0283262 \\ -2297,084277 \end{bmatrix}$$

a. Menghitung pertambahan pembebanan ( $\Delta P_0$ )

$$\Delta P_0 = \Delta \dot{P}_0 + a * \dot{y}_0 + b * \ddot{y}_0 = \begin{Bmatrix} -133,6214033 \\ -133,6214033 \\ -70,56386576 \\ -343,0283262 \\ -2297,084277 \end{Bmatrix}$$

b. Menghitung pertambahan simpangan ( $\Delta y_0$ )

$$K * \Delta y_0 = \Delta P_0$$

$$\Delta y_0 = K^{-1} * \Delta P_0$$

$$\Delta y_0 = \begin{bmatrix} 8.616252E-09 & 1.047743E-08 & 1.334787E-08 & -3.309529E-09 & -9.647205E-10 \\ 1.047743E-08 & 2.110374E-08 & 2.665761E-08 & -1.833286E-09 & -2.347983E-09 \\ 1.334787E-08 & 2.665761E-08 & 4.144328E-08 & -2.070819E-10 & -3.565421E-09 \\ -3.309529E-09 & -1.833286E-09 & -2.070819E-10 & 5.888140E-09 & -5.343513E-10 \\ -9.647205E-10 & -2.347983E-09 & -3.565421E-09 & -5.343513E-10 & 3.919952E-10 \end{bmatrix}$$

$$* \begin{bmatrix} -133,6214033 \\ -133,6214033 \\ -70,56386576 \\ -343,0283262 \\ -2297,084277 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1.418960E-07 \\ -7,860215E-08 \\ -8,878636E-09 \\ -9,054600E-08 \\ -2,291031E-08 \end{bmatrix}$$

c. Menghitung pertambahan kecepatan ( $\Delta \dot{y}_0$ )

$$\Delta \dot{y}_0 = \frac{\gamma}{\beta * \Delta t} \Delta y_0 - \frac{\gamma}{\beta} \dot{y}_0 + (\Delta t) * \left(1 - \frac{\gamma}{2 * \beta}\right) * \ddot{y}_0$$

$$\Delta \dot{y}_0 = \frac{0,5}{0,25 * 0,01} \begin{bmatrix} -1.418960E-07 \\ -7,860215E-08 \\ -8,878636E-09 \\ -9,054600E-08 \\ -2,291031E-08 \end{bmatrix} - 0 + 0 = \begin{bmatrix} -2,837921E-05 \\ -1,572043E-05 \\ -1,775727E-06 \\ -1,810920E-05 \\ -4,582063E-06 \end{bmatrix}$$

d. Menghitung pertambahan percepatan ( $\Delta \ddot{y}_0$ )

$$\Delta \ddot{y}_0 = \frac{1}{\beta * (\Delta t)^2} \Delta y_0 - \frac{1}{\beta * \Delta t} \dot{y}_0 - \frac{1}{2 * \beta} \ddot{y}_0$$

$$\Delta \ddot{y}_0 = \frac{1}{0,25 * (0,01)^2} \begin{bmatrix} -1.418960E-07 \\ -7,860215E-08 \\ -8,878636E-09 \\ -9,054600E-08 \\ -2,291031E-08 \end{bmatrix} - 0 - 0 = \begin{bmatrix} -5,675842E-03 \\ -3,144086E-03 \\ -3,551455E-04 \\ -3,621840E-03 \\ -9,164126E-04 \end{bmatrix}$$

e. Menghitung simpangan ( $y_1$ )

$$y_1 = y_0 + \Delta y_0 = \begin{Bmatrix} -1,418960E-07 \\ -7,860215E-08 \\ -8,878636E-09 \\ -9,054600E-08 \\ -2,291031E-08 \end{Bmatrix}$$

f. Menghitung kecepatan ( $\dot{y}_1$ )

$$\dot{y}_1 = \dot{y}_0 + \Delta \dot{y}_0 = \begin{Bmatrix} -2,837921E-05 \\ -1,572043E-05 \\ -1,775727E-06 \\ -1,810920E-05 \\ -4,582063E-06 \end{Bmatrix}$$

g. Menghitung percepatan ( $\ddot{y}_1$ )

$$\ddot{y}_1 = \ddot{y}_0 + \Delta \ddot{y}_0 = \begin{Bmatrix} -5,675842E-03 \\ -3,144086E-03 \\ -3,551455E-04 \\ -3,621840E-03 \\ -9,164126E-04 \end{Bmatrix}$$

h. Menghitung simpangan netto

Dapat dilihat pada perhitungan simpangan pada baris pertama hingga baris NDOF+1.

1. Lantai 1,  $y = -1,418960E-07 \text{ m} = -1,418960E-05 \text{ cm}$
2. Lantai 2,  $y = -7,860215E-08 \text{ m} = -7,860215E-06 \text{ cm}$
3. Lantai 3,  $y = -8,878636E-09 \text{ m} = -8,878636E-07 \text{ cm}$
4. Pondasi,  $y = -9,054600E-08 \text{ m} = -9,054600E-06 \text{ cm}$

i. Menghitung sudut rotasi pondasi ( $\phi$ )

Sudut rotasi pondasi terletak pada  $\Delta y_0$  dibaris NDOF+2 atau baris paling bawah.

$$\phi = -2,291031E-08 \text{ rad} = -1,31266407E-06^\circ$$

j. Menghitung simpangan rotasi

Simpangan rotasi dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$y = h * \tan ( \phi )$$

1. Lantai 1,  $y = 3,75 * \tan (-1.31266407E-06 ) = -8.591368E-08 \text{ m}$   
 $= -8.591368E-06 \text{ cm}$
2. Lantai 2,  $y = 7,5 * \tan (-1.31266407E-06 ) = -1.718274E-07 \text{ m}$   
 $= -1.718274E-05 \text{ cm}$
3. Lantai 3,  $y = 11,25 * \tan (-1.31266407E-06 ) = -2.577410E-07 \text{ m}$   
 $= -2.577410E-05 \text{ cm}$

k. Menghitung simpangan total

Simpangan total adalah jumlah dari simpangan netto pondasi ditambah simpangan netto ditambah simpangan rotasi.

1. Tingkat 1,  $y = -9,054600E-06 -1,418960E-05 -8.591368E-06$   
 $= -3,183557E-05 \text{ cm}$
2. Tingkat 2,  $y = -9,054600E-06 -7,860215E-06 -1.718274E-05$   
 $= -3.409755E-05 \text{ cm}$
3. Tingkat 3,  $y = -9,054600E-06 -8,878636E-07 -2.577410E-05$   
 $= -3,571657E-05 \text{ cm}$
4. Pondasi,  $y = -9,054600E-06 \text{ cm}$

l. Menghitung simpangan antar tingkat,  $yy$  ( interstorey drift )

Simpangan antar tingkat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$yy_j(t) = \frac{yy_j(t) - yy_{j-1}(t)}{h}$$



$$1. \text{ Lantai 1, } yy_1 = \frac{Y_{\text{nettolantai1}}}{\text{tinggi tingkat 1}} * 100\%$$

$$= \frac{-1,418960E-07}{3,75} * 100 \% = - 3,783895E-06 \%$$

$$2. \text{ Lantai 2, } yy_2 = \frac{Y_{\text{nettolantai2}} - Y_{\text{nettolantai1}}}{\text{tinggi lantai 2}} * 100\%$$

$$= \frac{(-7,860215E-08) + (1,418960E-07)}{3,75} * 100 \%$$

$$= 1,687837E-06 \%$$

$$3. \text{ Lantai 3, } yy_3 = \frac{Y_{\text{nettolantai3}} - Y_{\text{nettolantai2}}}{\text{tinggi lantai 3}} * 100\%$$

$$= \frac{(-8,878636E-09) + (7,860215E-08)}{3,75} * 100 \%$$

$$= 1,859294E-06 \%$$

m. Menghitung gaya horisontal tingkat ( F )

Gaya horisontal tingkat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$F_j(t) = y_j(t) * k_j$$

$$F = \begin{bmatrix} 84478976,986784 & -42239488,493392 & 0 \\ -42239488,493392 & 84478976,986784 & -42239488,493392 \\ 0 & -42239488,493392 & 42239488,493392 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} -1,418960E-07 \\ -7,860215E-08 \\ -8,878636E-09 \end{Bmatrix}$$

$$F = \begin{Bmatrix} -8.667118 \\ -0,2715841 \\ 2.9450860 \end{Bmatrix}$$

n. Menghitung gaya horisontal tingkat kumulatif ( V )

Gaya horisontal tingkat kumulatif merupakan jumlah gaya horisontal tingkat pada tingkat yang ditinjau, dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$V(t) = \sum_{j=1}^n F_j(t)$$

1. Lantai 1,  $V_1 = F_1 + F_2 + F_3 = - 8.667118 - 0.2715841 + 2.9450860$   
 $= - 5.993616 \text{ kg}$

2. Lantai 2,  $V_2 = F_2 + F_3 = - 0,2715841 + 2.9450860 = 2,673502 \text{ kg}$

3. Lantai 3,  $V_3 = F_3 = 2.9450860 \text{ kg}$

o. Menghitung momen guling ( Mg )

Momen guling merupakan perkalian antara gaya horisontal tingkat dengan tinggi tingkat yang ditinjau, dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$Mg = F_j(t) * H$$

1. Dasar,  $Mg_0 = F_1 * H_1 + F_2 * H_2 + F_3 * H_3$   
 $= (-8.667118 * 3,75) + (-0,2715841 * 7,5) + (2.945086 * 11,25)$   
 $= -1.406359 \text{ kg.m}$

2. Lantai 1,  $Mg_1 = F_2 * H_2 + F_3 * H_3$   
 $= (-0,2715841 * 3,75) + (2.945086 * 7,5)$   
 $= 21.06970 \text{ kg.m}$

3. Lantai 2,  $Mg_2 = F_3 * H_3$   
 $= (2.945086 * 3,75)$   
 $= 11.04407 \text{ kg.m}$

4. Lantai 3,  $Mg_3 = 0 \text{ kg.m}$

2. Langkah 2 (saat 0,02 detik)

$$\Delta \dot{p}_1 = (\ddot{y}h_2 - \dot{y}h_1) \begin{bmatrix} m_1 \\ m_2 \\ m_3 \\ m_0 + m_1 + m_2 + m_3 \\ m_1h_1 + m_2h_2 + m_3h_3 \end{bmatrix}$$

$$\Delta \dot{p}_1 = -(0.02744 - 0,01372) \begin{bmatrix} 9739.169337 \\ 9739.169337 \\ 5143.138904 \\ 25002.06459 \\ 167425.9677 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -133,6214033 \\ -133,6214033 \\ -70,56386576 \\ -343,0283262 \\ -2297,084277 \end{bmatrix}$$

a. Menghitung pertambahan pembebanan ( $\Delta P_0$ )

$$\Delta P_1 = \Delta \dot{P}_1 + a^* \dot{y}_1 + b^* \ddot{y}_1 = \begin{bmatrix} -133,6214033 \\ -133,6214033 \\ -70,56386576 \\ -343,0283262 \\ -2297,084277 \end{bmatrix} +$$

$$\begin{bmatrix} 3.961453E+06 & 0 & 0 & 3.895668E+06 & 1.460875E+07 \\ 0 & 3.961453E+06 & 0 & 3.895668E+06 & 2.921751E+07 \\ 0 & 0 & 2.091996E+06 & 2.057256E+06 & 2.314413E+07 \\ 3.895668E+06 & 3.895668E+06 & 2.057256E+06 & 1.105083E+07 & 6.697039E+07 \\ 1.460875E+07 & 2.921751E+07 & 2.314413E+07 & 6.697039E+07 & 5.362715E+08 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} -2,837921E-05 \\ -1,572043E-05 \\ -1,775727E-06 \\ -1,810920E-05 \\ -4,582063E-06 \end{bmatrix} +$$

$$\begin{bmatrix} 1.947834E+04 & 0 & 0 & 1.947834E+04 & 7.304377E+04 \\ 0 & 1.947834E+04 & 0 & 1.947834E+04 & 1.460875E+05 \\ 0 & 0 & 1.028628E+04 & 1.028628E+04 & 1.157206E+05 \\ 1.947834E+04 & 1.947834E+04 & 1.028628E+04 & 5.000413E+04 & 3.348519E+05 \\ 7.304377E+04 & 1.460875E+05 & 1.157206E+05 & 3.348519E+05 & 2.671428E+06 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} -5,675842E-03 \\ -3,144086E-03 \\ -3,551455E-04 \\ -3,621840E-03 \\ -9,164126E-04 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} -631.571601 \\ -665.986502 \\ -364.537982 \\ -1688.883289 \\ -11457.993157 \end{bmatrix}$$

b. Menghitung pertambahan simpangan ( $\Delta y_1$ )

$$K * \Delta y_0 = \Delta P_1$$

$$\Delta y_1 = K^{-1} * \Delta P_1$$

$$\Delta y_1 = \begin{bmatrix} 8.616252E-09 & 1.047743E-08 & 1.334787E-08 & -3.309529E-09 & -9.647205E-10 \\ 1.047743E-08 & 2.110374E-08 & 2.665761E-08 & -1.833286E-09 & -2.347983E-09 \\ 1.334787E-08 & 2.665761E-08 & 4.144328E-08 & -2.070819E-10 & -3.565421E-09 \\ -3.309529E-09 & -1.833286E-09 & -2.070819E-10 & 5.888140E-09 & -5.343513E-10 \\ -9.647205E-10 & -2.347983E-09 & -3.565421E-09 & -5.343513E-10 & 3.919952E-10 \end{bmatrix}$$

$$* \begin{bmatrix} -631.571601 \\ -665.986502 \\ -364.537982 \\ -1688.883289 \\ -11457.993157 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -6,422467E-07 \\ -3,903940E-07 \\ -8,908549E-08 \\ -4,351493E-07 \\ -1,162745E-07 \end{bmatrix}$$

c. Menghitung pertambahan kecepatan ( $\Delta \dot{y}_1$ )

$$\Delta \dot{y}_1 = \frac{\gamma}{\beta * \Delta t} \Delta y_1 - \frac{\gamma}{\beta} \dot{y}_1 + (\Delta t) * \left(1 - \frac{\gamma}{2 * \beta}\right) * \ddot{y}_1$$

$$\Delta \dot{y}_1 = \frac{0,5}{0,25 * 0,01} \begin{bmatrix} -6,422467E-07 \\ -3,903940E-07 \\ -8,908549E-08 \\ -4,351493E-07 \\ -1,162745E-07 \end{bmatrix} - \frac{0,5}{0,25} \begin{bmatrix} -2,837921E-05 \\ -1,572043E-05 \\ -1,775727E-06 \\ -1,810920E-05 \\ -4,582063E-06 \end{bmatrix} +$$

$$(0,01) * \left(1 - \frac{0,5}{2 * 0,25}\right) * \begin{bmatrix} -5,675842E-03 \\ -3,144086E-03 \\ -3,551455E-04 \\ -3,621840E-03 \\ -9,164126E-04 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -7,169093E-05 \\ -4,663793E-05 \\ -1,426564E-05 \\ -5,081147E-05 \\ -1,409077E-06 \end{bmatrix}$$

d. Menghitung pertambahan percepatan ( $\Delta \ddot{y}_1$ )

$$\Delta \ddot{y}_1 = \frac{1}{\beta * (\Delta t)^2} \Delta y_1 - \frac{1}{\beta * \Delta t} \dot{y}_1 - \frac{1}{2 * \beta} \ddot{y}_1$$

$$\Delta \ddot{y}_1 = \frac{1}{0,25 * (0,01)^2} \begin{Bmatrix} -6,422467E-07 \\ -3,903940E-07 \\ -8,908549E-08 \\ -4,351493E-07 \\ -1,162745E-07 \end{Bmatrix} - \frac{1}{0,25 * 0,01} \begin{Bmatrix} -2,837921E-05 \\ -1,572043E-05 \\ -1,775727E-06 \\ -1,810920E-05 \\ -4,582063E-06 \end{Bmatrix}$$

$$- \frac{1}{2 * 0,25} \begin{Bmatrix} -5,675842E-03 \\ -3,144086E-03 \\ -3,551455E-04 \\ -3,621840E-03 \\ -9,164126E-04 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -2,986502E-03 \\ -3,039414E-03 \\ -2,142838E-03 \\ -2,918613E-03 \\ -9,853289E-04 \end{Bmatrix}$$

e. Menghitung simpangan ( $y_2$ )

$$y_2 = y_1 + \Delta y_1 = \begin{Bmatrix} -1,418960E-07 \\ -7,860215E-08 \\ -8,878636E-09 \\ -9,054600E-08 \\ -2,291031E-08 \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} -6,422467E-07 \\ -3,903940E-07 \\ -8,908549E-08 \\ -4,351493E-07 \\ -1,162745E-07 \end{Bmatrix}$$

$$= \begin{Bmatrix} -7,841428E-07 \\ -4,689961E-07 \\ -9,796413E-08 \\ -5,256953E-07 \\ -1,391848E-07 \end{Bmatrix}$$

f. Menghitung kecepatan ( $\dot{y}_2$ )

$$\dot{y}_2 = \dot{y}_1 + \Delta \dot{y}_1 = \begin{Bmatrix} -2,837921E-05 \\ -1,572043E-05 \\ -1,775727E-06 \\ -1,810920E-05 \\ -4,582063E-06 \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} -7,169093E-05 \\ -4,663793E-05 \\ -1,426564E-05 \\ -5,081147E-05 \\ -1,409077E-06 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -1,000701E-04 \\ -6,235836E-05 \\ -1,604137E-05 \\ -6,892067E-05 \\ -1,867283E-05 \end{Bmatrix}$$

g. Menghitung percepatan ( $\ddot{y}_2$ )

$$\ddot{y}_2 = \ddot{y}_1 + \Delta \ddot{y}_1 = \begin{Bmatrix} -5,675842E-03 \\ -3,144086E-03 \\ -3,551455E-04 \\ -3,621840E-03 \\ -9,164126E-04 \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} -2,986502E-03 \\ -3,039414E-03 \\ -2,142838E-03 \\ -2,918613E-03 \\ -9,853289E-04 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -8,662344E-03 \\ -6,183500E-03 \\ -2,497983E-03 \\ -6,540453E-03 \\ -1,901741E-03 \end{Bmatrix}$$

h. Menghitung simpangan netto

Dapat dilihat pada perhitungan simpangan pada baris pertama hingga baris NDOF+1.

1. Lantai 1,  $y = -7.841428E-07m = -7.841428E-05 \text{ cm}$
2. Lantai 2,  $y = -4.689961E-07 \text{ m} = -4.689961E-05 \text{ cm}$
3. Lantai 3,  $y = -9.796413E-08 \text{ m} = -9.796413E-06 \text{ cm}$
4. Pondasi,  $y = -5.256953E-07 \text{ m} = -5.256953E-05 \text{ cm}$

i. Menghitung sudut rotasi pondasi ( $\phi$ )

Sudut rotasi pondasi terletak pada  $\Delta y_0$  dibaris NDOF+2 atau baris paling bawah.

$$\phi = -1.391848E-07 \text{ rad} = -7.974701612E-06^\circ$$

j. Menghitung simpangan rotasi

Simpangan rotasi dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$y = h * \tan(\phi)$$

1. Lantai 1,  $y = 3,75 * \tan(-7.974701612E-06) = -5.219430E-07 \text{ m}$   
 $= -5.219430E-05 \text{ cm}$
2. Lantai 2,  $y = 7,5 * \tan(-7.974701612E-06) = -1.043886E-06 \text{ m}$   
 $= -1.043886E-04 \text{ cm}$
3. Lantai 3,  $y = 11,25 * \tan(-7.974701612E-06) = -1.565829E-06 \text{ m}$   
 $= -1.565829E-04 \text{ cm}$

k. Menghitung simpangan total

Simpangan total adalah jumlah dari simpangan netto pondasi ditambah simpangan netto ditambah simpangan rotasi.

$$\begin{aligned} 1. \text{ Tingkat 1, } y &= -5.256953E-05 - 7.841428E-05 - 5.219430E-05 \\ &= -1.831781E-04 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2. \text{ Tingkat 2, } y &= -5.256953E-05 - 4.689961E-05 - 1.043886E-04 \\ &= -2,038577E-04 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 3. \text{ Tingkat 3, } y &= -5.256953E-05 - 9.796413E-06 - 1.565829E-04 \\ &= -2,189488E-04 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$4. \text{ Pondasi, } y = -5.256953E-05 \text{ cm}$$

l. Menghitung simpangan antar tingkat,  $yy$  ( interstorey drift )

Simpangan antar tingkat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$yy_j(t) = \frac{yy_j(t) - yy_{j-1}(t)}{h}$$

$$\begin{aligned} 1. \text{ Lantai 1, } yy_1 &= \frac{Y_{nettolantai1}}{\text{tinggi tingkat 1}} * 100\% \\ &= \frac{-7,841428E-07}{3,75} * 100 \% = - 2,091047E-05 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2. \text{ Lantai 2, } yy_2 &= \frac{Y_{nettolantai2} - Y_{nettolantai1}}{\text{tinggilantai 2}} * 100\% \\ &= \frac{(-4,689961E-07) + (7,841428E-07)}{3,75} * 100 \% \\ &= 8,403911E-06 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
3. \text{ Lantai 3, } y_3 &= \frac{Y_{\text{nettolantai3}} - Y_{\text{nettolantai2}}}{\text{tinggilantai3}} * 100\% \\
&= \frac{(-9,796413E-07) + (4,689961E-07)}{3,75} * 100\% \\
&= -9.894186E-06\%
\end{aligned}$$

m. Menghitung gaya horisontal tingkat ( F )

Gaya horisontal tingkat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$F_j(t) = y_j(t) * k_j$$

$$F = \begin{bmatrix} 84478976,986784 & -42239488,493392 & 0 \\ -42239488,493392 & 84478976,986784 & -42239488,493392 \\ 0 & -42239488,493392 & 42239488,493392 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} -7,841428E-07 \\ -4,689961E-07 \\ -9,796413E-08 \end{Bmatrix}$$

$$F = \begin{Bmatrix} -46.43342 \\ -2.360567 \\ 15.67220 \end{Bmatrix} \text{ kg}$$

n. Menghitung gaya horisontal tingkat kumulatif ( V )

Gaya horisontal tingkat kumulatif merupakan jumlah gaya horisontal tingkat pada tingkat yang ditinjau, dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$V(t) = \sum_{j=1}^n F_j(t)$$

$$1. \text{ Lantai 1, } V_1 = F_1 + F_2 + F_3 = -46.43342 - 2.360567 + 15.67220$$

$$= -33.12179 \text{ kg}$$

$$2. \text{ Lantai 2, } V_2 = F_2 + F_3 = -2.360567 + 15.67220 = 13.31163 \text{ kg}$$

$$3. \text{ Lantai 3, } V_3 = F_3 = 15.67220 \text{ kg}$$



o. Menghitung momen guling ( Mg )

Momen guling merupakan perkalian antara gaya horisontal tingkat dengan tinggi tingkat yang ditinjau, dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$Mg = F_j (t) * H$$

$$\begin{aligned} 1. \text{ Dasar, } Mg_0 &= F_1 * H_1 + F_2 * H_2 + F_3 * H_3 \\ &= (- 46.43342 * 3,75 ) + (- 2.360567 * 7,5 ) + ( 15.67220 * 11,25 ) \\ &= -15.51733 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2. \text{ Lantai 1, } Mg_1 &= F_2 * H_2 + F_3 * H_3 \\ &= (- 2.360567 * 3,75 ) + ( 15.67220 * 7,5 ) \\ &= 108.6894 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 3. \text{ Lantai 2, } Mg_2 &= F_3 * H_3 \\ &= ( 15.67220 * 3,75 ) \\ &= 58.77075 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$4. \text{ Lantai 3, } Mg_3 = 0 \text{ kg.m}$$

3. Langkah 3 (saat 0,03 detik)

$$\Delta \dot{p}2 = (\ddot{y}b3 - \ddot{y}b2) \begin{bmatrix} m_1 \\ m_2 \\ m_3 \\ m_0 + m_1 + m_2 + m_3 \\ m_1 h_1 + m_2 h_2 + m_3 h_3 \end{bmatrix}$$

$$\Delta \dot{p}2 = -(0,04116 - 0,02744) \begin{bmatrix} 9739.169337 \\ 9739.169337 \\ 5143.138904 \\ 25002.06459 \\ 167425.9677 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -133,6214033 \\ -133,6214033 \\ -70,56386576 \\ -343,0283262 \\ -2297,084277 \end{bmatrix}$$

a. Menghitung pertambahan pembebanan ( $\Delta P_2$ )

$$\Delta P_2 = \Delta \dot{P}_2 + \mathbf{a}^* \dot{y}_2 + \mathbf{b}^* \ddot{y}_2 = \begin{Bmatrix} -133,6214033 \\ -133,6214033 \\ -70,56386576 \\ -343,0283262 \\ -2297,084277 \end{Bmatrix} +$$

$$\begin{bmatrix} 3.961453E+06 & 0 & 0 & 3.895668E+06 & 1.460875E+07 \\ 0 & 3.961453E+06 & 0 & 3.895668E+06 & 2.921751E+07 \\ 0 & 0 & 2.091996E+06 & 2.057256E+06 & 2.314413E+07 \\ 3.895668E+06 & 3.895668E+06 & 2.057256E+06 & 1.105083E+07 & 6.697039E+07 \\ 1.460875E+07 & 2.921751E+07 & 2.314413E+07 & 6.697039E+07 & 5.362715E+08 \end{bmatrix} * \begin{Bmatrix} -2.837921E-05 \\ -1.572043E-05 \\ -1.775727E-06 \\ -1.810920E-05 \\ -4.582063E-06 \end{Bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 1.947834E+04 & 0 & 0 & 1.947834E+04 & 7.304377E+04 \\ 0 & 1.947834E+04 & 0 & 1.947834E+04 & 1.460875E+05 \\ 0 & 0 & 1.028628E+04 & 1.028628E+04 & 1.157206E+05 \\ 1.947834E+04 & 1.947834E+04 & 1.028628E+04 & 5.000413E+04 & 3.348519E+05 \\ 7.304377E+04 & 1.460875E+05 & 1.157206E+05 & 3.348519E+05 & 2.671428E+06 \end{bmatrix} * \begin{Bmatrix} -5.675842E-03 \\ -3.144086E-03 \\ -3.551455E-04 \\ -3.621840E-03 \\ -9.164126E-04 \end{Bmatrix} =$$

$$\begin{Bmatrix} -1506.359015 \\ -1720.378999 \\ -991.118736 \\ -4299.672908 \\ -29677.135318 \end{Bmatrix}$$

b. Menghitung pertambahan simpangan ( $\Delta y_3$ )

$$K * \Delta y_2 = \Delta P_2$$

$$\Delta y_2 = K^{-1} * \Delta P_2$$

$$\Delta y_2 = \begin{bmatrix} 8.616252E-09 & 1.047743E-08 & 1.334787E-08 & -3.309529E-09 & -9.647205E-10 \\ 1.047743E-08 & 2.110374E-08 & 2.665761E-08 & -1.833286E-09 & -2.347983E-09 \\ 1.334787E-08 & 2.665761E-08 & 4.144328E-08 & 2.070819E-10 & -3.565421E-09 \\ -3.309529E-09 & -1.833286E-09 & -2.070819E-10 & 5.888140E-09 & -5.343513E-10 \\ -9.647205E-10 & -2.347983E-09 & -3.565421E-09 & -5.343513E-10 & 3.919952E-10 \end{bmatrix}$$

$$* \begin{bmatrix} -1506.359015 \\ -1720.378999 \\ -991.118736 \\ -4299.672908 \\ -29677.135318 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1,373619E-06 \\ -9,461416E-07 \\ -3,412175E-07 \\ -1,114530E-06 \\ -3,093660E-07 \end{bmatrix}$$

c. Menghitung pertambahan kecepatan ( $\Delta \dot{y}_2$ )

$$\Delta \dot{y}_2 = \frac{\gamma}{\beta * \Delta t} \Delta y_2 - \frac{\gamma}{\beta} \dot{y}_2 + (\Delta t) * \left( 1 - \frac{\gamma}{2 * \beta} \right) * \ddot{y}_2$$

$$\Delta \dot{y}_2 = \frac{0,5}{0,25 * 0,01} \begin{bmatrix} -1,373619E-06 \\ -9,461416E-07 \\ -3,412175E-07 \\ -1,114530E-06 \\ -3,093660E-07 \end{bmatrix} - \frac{0,5}{0,25} \begin{bmatrix} -1.000701E-04 \\ -6,235836E-05 \\ -1,604137E-05 \\ -6,892067E-05 \\ -1,867283E-05 \end{bmatrix} +$$

$$(0,01) * \left( 1 - \frac{0,5}{2 * 0,25} \right) * \begin{bmatrix} -8.662344E-03 \\ -6.183500E-03 \\ -2.497983E-03 \\ -6.540453E-03 \\ -1.901741E-03 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -7.458350E-05 \\ -6.451159E-05 \\ -3.616075E-05 \\ -8.506457E-05 \\ -2.452754E-05 \end{bmatrix}$$

d. Menghitung pertambahan percepatan ( $\Delta \ddot{y}_2$ )

$$\Delta \ddot{y}_2 = \frac{1}{\beta * (\Delta t)^2} \Delta y_2 - \frac{1}{\beta * \Delta t} \dot{y}_2 - \frac{1}{2 * \beta} \ddot{y}_2$$

$$\Delta \ddot{y}_2 = \frac{1}{0,25 * (0,01)^2} \begin{Bmatrix} -1,373619E-06 \\ -9,461416E-07 \\ -3,412175E-07 \\ -1,114530E-06 \\ -3,093660E-07 \end{Bmatrix} - \frac{1}{0,25 * 0,01} \begin{Bmatrix} -1.000701E-04 \\ -6,235836E-05 \\ -1,604137E-05 \\ -6,892067E-05 \\ -1,867283E-05 \end{Bmatrix}$$

$$- \frac{1}{2 * 0,25} \begin{Bmatrix} -8.662344E-03 \\ -6.183500E-03 \\ -2.497983E-03 \\ -6.540453E-03 \\ -1.901741E-03 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 2.407987E-03 \\ -5.353188E-04 \\ -2.236184E-03 \\ -3.932008E-03 \\ -1.102026E-03 \end{Bmatrix}$$

e. Menghitung simpangan ( $y_3$ )

$$y_3 = y_2 + \Delta y_2 = \begin{Bmatrix} -7,841428E-07 \\ -4,689961E-07 \\ -9,796413E-08 \\ -5,256953E-07 \\ -1,391848E-07 \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} -1,373619E-06 \\ -9,461416E-07 \\ -3,412175E-07 \\ -1,114530E-06 \\ -3,093660E-07 \end{Bmatrix}$$

$$= \begin{Bmatrix} -2.157762E-06 \\ -1.415138E-06 \\ -4.391816E-07 \\ -1.640225E-06 \\ -4.485508E-07 \end{Bmatrix}$$

f. Menghitung kecepatan ( $\dot{y}_3$ )

$$\dot{y}_3 = \dot{y}_2 + \Delta \dot{y}_2 = \begin{Bmatrix} -1.000701E-04 \\ -6,235836E-05 \\ -1,604137E-05 \\ -6,892067E-05 \\ -1,867283E-05 \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} -7.458350E-05 \\ -6.451159E-05 \\ -3.616075E-05 \\ -8.506457E-05 \\ -2.452754E-05 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} -1.746536E-04 \\ -1.268700E-04 \\ -5.220213E-05 \\ -1.539852E-04 \\ -4.320038E-05 \end{Bmatrix}$$

g. Menghitung percepatan ( $\ddot{y}_3$ )

$$\ddot{y}_3 = \ddot{y}_2 + \Delta \ddot{y}_2 = \begin{Bmatrix} -8.662344E-03 \\ -6.183500E-03 \\ -2.497983E-03 \\ -6.540453E-03 \\ -1.901741E-03 \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} 2.407987E-03 \\ -5.353188E-04 \\ -2.236184E-03 \\ -3.932008E-03 \\ -1.102026E-03 \end{Bmatrix}$$
$$= \begin{Bmatrix} -6.254357E-03 \\ -6.718819E-03 \\ -4.734167E-03 \\ -1.047246E-02 \\ -3.003767E-03 \end{Bmatrix}$$

h. Menghitung simpangan netto

Dapat dilihat pada perhitungan simpangan pada baris pertama hingga baris NDOF+1.

1. Lantai 1,  $y = -2.157762E-06 \text{ m} = -2.157762E-04 \text{ cm}$
2. Lantai 2,  $y = -1.415138E-06 \text{ m} = -1.415138E-04 \text{ cm}$
3. Lantai 3,  $y = -4.391816E-07 \text{ m} = -4.391816E-05 \text{ cm}$
4. Pondasi,  $y = -1.640225E-06 \text{ m} = -1.640225E-04 \text{ cm}$

i. Menghitung sudut rotasi pondasi ( $\phi$ )

Sudut rotasi pondasi terletak pada  $\Delta y_0$  dibaris NDOF+2 atau baris paling bawah.

$$\phi = -4.485508E-07 \text{ rad} = -2.570006774E-05^\circ$$

j. Menghitung simpangan rotasi

Simpangan rotasi dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$y = h * \tan(\phi)$$

1. Lantai 1,  $y = 3,75 * \tan(-2.570006774E-05) = -1.682066E-06 \text{ m}$   
 $= -1.682066E-04 \text{ cm}$

$$2. \text{ Lantai 2, } y = 7,5 * \tan (-2.570006774E-05 ) = -3.364131E-06 \text{ m}$$

$$= -3.364131E-04 \text{ cm}$$

$$3. \text{ Lantai 3, } y = 11,25 * \tan (-2.570006774E-05 ) = -5.046197E-06 \text{ m}$$

$$= -5.046197E-04 \text{ cm}$$

k. Menghitung simpangan total

Simpangan total adalah jumlah dari simpangan netto ditambah simpangan rotasi ditambah simpangan netto pondasi.

$$1. \text{ Tingkat 1, } y = -1.640225E-04 -2.157762E-04 -1.682066E-04$$

$$= -5.480052E-04 \text{ cm}$$

$$2. \text{ Tingkat 2, } y = -1.640225E-04 -1.415138E-04 -3.364131E-04$$

$$= -6.419494E-04 \text{ cm}$$

$$3. \text{ Tingkat 3, } y = -1.640225E-04 -4.391816E-05 -5.046197E-04$$

$$= -7.125603E-04 \text{ cm}$$

$$4. \text{ Pondasi, } y = -1.640225E-04E-04 \text{ cm}$$

l. Menghitung simpangan antar tingkat,  $yy$  ( interstorey drift )

Simpangan antar tingkat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$yy_j(t) = \frac{yy_j(t) - yy_{j-1}(t)}{h}$$

$$1. \text{ Lantai 1, } yy_1 = \frac{Y_{nettolantai1}}{\text{tinggi tingkat 1}} * 100\%$$

$$= \frac{-2.157762E-06}{3,75} * 100 \% = -5,754031E-05 \%$$

$$\begin{aligned}
2. \text{ Lantai 2, } y_{y_2} &= \frac{Y_{\text{nettolantai 2}} - Y_{\text{nettolantai 1}}}{\text{tinggi lantai 2}} * 100\% \\
&= \frac{(-1.415138E - 06) - (-2.157762E - 06)}{3,75} * 100\% \\
&= 1,980331E-05\%
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
3. \text{ Lantai 3, } y_{y_3} &= \frac{Y_{\text{nettolantai 3}} - Y_{\text{nettolantai 2}}}{\text{tinggi lantai 3}} * 100\% \\
&= \frac{(-4.391816E - 07) - (-1.415138E - 06)}{3,75} * 100\% \\
&= 2,602550E-05\%
\end{aligned}$$

m. Menghitung gaya horisontal tingkat ( F )

Gaya horisontal tingkat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$F_j(t) = y_j(t) * k_j$$

$$F = \begin{bmatrix} 84478976,986784 & -42239488,493392 & 0 \\ -42239488,493392 & 84478976,986784 & -42239488,493392 \\ 0 & -42239488,493392 & 42239488,493392 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -2.157762E - 04 \\ -1.415138E - 04 \\ -4.391816E - 05 \end{bmatrix}$$

$$F = \begin{Bmatrix} -122.5108 \\ -9.855829 \\ 41.22389 \end{Bmatrix} \text{ kg}$$

n. Menghitung gaya horisontal tingkat kumulatif ( V )

Gaya horisontal tingkat kumulatif merupakan jumlah gaya horisontal tingkat pada tingkat yang ditinjau, dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$V(t) = \sum_{j=1}^n F_j(t)$$

$$\begin{aligned}
1. \text{ Lantai 1, } V_1 &= F_1 + F_2 + F_3 = -122.5108 - 9.855829 + 41.22389 \\
&= -91.14275 \text{ kg}
\end{aligned}$$

2. Lantai 2,  $V_2 = F_2 + F_3 = -9.855829 + 41.22389 = 31,36806 \text{ kg}$

3. Lantai 3,  $V_3 = F_3 = 41.22389 \text{ kg}$

o. Menghitung momen guling ( Mg )

Momen guling merupakan perkalian antara gaya horisontal tingkat dengan tinggi tingkat yang ditinjau, dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$Mg = F_j (t) * H$$

1. Dasar,  $Mg_0 = F_1 * H_1 + F_2 * H_2 + F_3 * H_3$

$$= (-122.5108 * 3,75) + (-9.855829 * 7,5) + (41.22389 * 11,25)$$

$$= -69.56553 \text{ kg.m}$$

2. Lantai 1,  $Mg_1 = F_2 * H_2 + F_3 * H_3$

$$= (-9.855829 * 3,75) + (41.22389 * 7,5)$$

$$= 272.2198 \text{ kg.m}$$

3. Lantai 2,  $Mg_2 = F_3 * H_3$

$$= (41.22389 * 3,75)$$

$$= 154.5896 \text{ kg.m}$$

4. Lantai 3,  $Mg_3 = 0 \text{ kg.m}$



**TABEL PERBANDINGAN HASIL PERHITUNGAN PROGSIP 2003  
DENGAN HASIL PERHITUNGAN MANUAL (MS. EXCEL)**

Tingkat	Waktu	Simpangan Netto (cm)		
		Manual ( MS. Excel )	Program	Ketelitian (%)
Pondasi	0.01	-9.054600E-06	-9.054597E-06	0.000033
1	0.01	-1.418960E-05	-1.418960E-05	0.000000
2	0.01	-7.860215E-06	-7.860201E-06	0.000178
3	0.01	-8.878636E-07	-8.878426E-07	0.002365
Pondasi	0.02	-5.256953E-05	-5.256952E-05	0.000019
1	0.02	-7.841428E-05	-7.841426E-05	0.000026
2	0.02	-4.689961E-05	-4.689957E-05	0.000085
3	0.02	-9.796413E-06	-9.796359E-06	0.000551
Pondasi	0.03	-1.640225E-04	-1.640225E-04	0.000000
1	0.03	-2.157762E-04	-2.157761E-04	0.000046
2	0.03	-1.415138E-04	-1.415137E-04	0.000071
3	0.03	-4.391816E-05	-4.391808E-05	0.000182

Tingkat	Waktu	Rotasi Pondasi (rad)		
		Manual ( MS. Excel )	Program	Ketelitian (%)
Pondasi	0.01	-2.291031E-08	-2.291034E-08	0.000131
	0.02	-1.391848E-07	-1.391849E-07	0.000072
	0.03	-4.485508E-07	-4.485509E-07	0.000022

Tingkat	Waktu	Simpangan Rotasi (cm)		
		Manual ( MS. Excel )	Program	Ketelitian (%)
1	0.01	-8.591368E-06	-8.591376E-06	0.000093
2	0.01	-1.718274E-05	-1.718275E-05	0.000058
3	0.01	-2.577410E-05	-2.577413E-05	0.000116
1	0.02	-5.219430E-05	-5.219432E-05	0.000038
2	0.02	-1.043886E-04	-1.043886E-04	0.000000
3	0.02	-1.565829E-04	-1.565830E-04	0.000064
1	0.03	-1.682066E-04	-1.682066E-04	0.000000
2	0.03	-3.364131E-04	-3.364132E-04	0.000030
3	0.03	-5.046197E-04	-5.046198E-04	0.000020

Tingkat	Waktu	Simpangan Total (cm)		
		Manual ( MS. Excel )	Program	Ketelitian (%)
Pondasi	0.01	-9.054600E-06	-9.054597E-06	0.000033
1	0.01	-3.183557E-05	-3.183557E-05	0.000000
2	0.01	-3.409755E-05	-3.409755E-05	0.000000
3	0.01	-3.571657E-05	-3.571657E-05	0.000000
Pondasi	0.02	-5.256953E-05	-5.256952E-05	0.000019
1	0.02	-1.831781E-04	-1.831781E-04	0.000000
2	0.02	-2.038577E-04	-2.038577E-04	0.000000
3	0.02	-2.189488E-04	-2.189488E-04	0.000000
Pondasi	0.03	-1.640225E-04	-1.640225E-04	0.000000
1	0.03	-5.480052E-04	-5.480052E-04	0.000000
2	0.03	-6.419494E-04	-6.419494E-04	0.000000
3	0.03	-7.125603E-04	-7.125603E-04	0.000000

Tingkat	Waktu	Simpangan Antar Tingkat (%)		
		Manual ( MS. Excel )	Program	Ketelitian (%)
1	0.01	-3.783895E-06	-3.783893E-06	0.000053
2	0.01	1.687837E-06	1.687839E-06	0.000118
3	0.01	1.859294E-06	1.859296E-06	0.000108
1	0.02	-2.091047E-05	-2.091047E-05	0.000000
2	0.02	8.403911E-06	8.403916E-06	0.000059
3	0.02	9.894186E-06	9.894190E-06	0.000040
1	0.03	-5.754031E-05	-5.754030E-05	0.000017
2	0.03	1.980331E-05	1.980331E-05	0.000000
3	0.03	2.602550E-05	2.602550E-05	0.000000

Tingkat	Waktu	Gaya Horisontal Tingkat (kg)		
		Manual ( MS. Excel )	Program	Ketelitian (%)
1	0.01	-8.667118E+00	-8.667118E+00	0.000000
2	0.01	-2.715841E-01	-2.715836E-01	0.000184
3	0.01	2.945086E+00	2.945088E+00	0.000068
1	0.02	-4.643342E+01	-4.643342E+01	0.000000
2	0.02	-2.360567E+00	-2.360565E+00	0.000085
3	0.02	1.567220E+01	1.567221E+01	0.000064
1	0.03	-1.225108E+02	-1.225108E+02	0.000000
2	0.03	-9.855829E+00	-9.855821E+00	0.000081
3	0.03	4.122389E+01	4.122389E+01	0.000000

Tingkat	Waktu	Gaya Horizontal Tingkat Kumulatif (kg)		
		Manual ( MS. Excel )	Program	Ketelitian (%)
1	0.01	-5.993616E+00	-5.993614E+00	0.000033
2	0.01	2.673502E+00	2.673505E+00	0.000112
3	0.01	2.945086E+00	2.945088E+00	0.000068
1	0.02	-3.312179E+01	-3.312178E+01	0.000030
2	0.02	1.331163E+01	1.331164E+01	0.000075
3	0.02	1.567220E+01	1.567221E+01	0.000064
1	0.03	-9.114275E+01	-9.114273E+01	0.000022
2	0.03	3.136806E+01	3.136807E+01	0.000032
3	0.03	4.122389E+01	4.122389E+01	0.000000

Tingkat	Waktu	Momen Guling (kg.m)		
		Manual ( MS. Excel )	Program	Ketelitian (%)
Pondasi	0.01	-1.406359E+00	-1.406326E+00	0.002346
1	0.01	2.106970E+01	2.106973E+01	0.000142
2	0.01	1.104407E+01	1.104408E+01	0.000091
3	0.01	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000
Pondasi	0.02	-1.551733E+01	-1.551724E+01	0.000580
1	0.02	1.086894E+02	1.086894E+02	0.000000
2	0.02	5.877075E+01	5.877078E+01	0.000051
3	0.02	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000
Pondasi	0.03	-6.956553E+01	-6.956539E+01	0.000201
1	0.03	2.722198E+02	2.722199E+02	0.000037
2	0.03	1.545896E+02	1.545896E+02	0.000000
3	0.03	0.000000E+00	0.000000E+00	0.000000

## 2. LISTING PROGRAM

### EIGEN VALUE (METODE JAKOBI)

```

Sub Cari_Eigen(A() As Single, n As Integer, Eigenvalue()
As Single, Eigenvector() As Single)
CRLF = Chr$(13) + Chr$(10)
Static AIK() As Single: ReDim AIK(n)
ReDim Eigenvalue(n), Eigenvector(n, n)
SIGMA1 = 0
For I = 1 To n
    SIGMA1 = SIGMA1 + A(I, I) ^ 2
    Eigenvector(I, I) = 1
Next I
MaxIteration = 33
frmProgressBar.ProgressBar.Max = MaxIteration
For Iteration = 1 To MaxIteration
    frmProgressBar.ProgressBar.Value = Iteration
    For j = 1 To n - 1
        For K = j + 1 To n
            Q = Abs(A(j, j) - A(K, K))
            If (Q > TOLERANCE) Then
                If (Abs(A(j, K)) <= TOLERANCE) Then GoTo
ZeroOffDiagonalElement
                P = 2 * A(j, K) * Q / (A(j, j) - A(K, K))
                SPQ = Sqr(P ^ 2 + Q ^ 2)
                CosA = Sqr((1 + Q / SPQ) / 2)
                SinA = P / (2 * CosA * SPQ)
            Else
                CosA = 1 / Sqr(2)
                SinA = CosA
            End If
            For I = 1 To n
                EVKI = Eigenvector(I, j)
                Eigenvector(I, j) = EVKI * CosA + Eigenvector(I,
K) * SinA
                Eigenvector(I, K) = EVKI * SinA - Eigenvector(I,
K) * CosA
                If (I <= K) Then
                    AIK(I) = A(j, I)
                    A(j, I) = CosA * AIK(I) + SinA * A(I, K)
                    If (I = K) Then A(K, I) = SinA * AIK(I) - CosA
* A(K, I)
                Else
                    AIK1 = A(j, I)
                    A(j, I) = CosA * AIK1 + SinA * A(K, I)
                    A(K, I) = SinA * AIK1 - CosA * A(K, I)
                End If
            Next I
            AIK(K) = SinA * AIK(j) - CosA * AIK(K)
            For I = 1 To K
                If (I > j) Then
                    A(I, K) = SinA * AIK(I) - CosA * A(I, K)
                Else
                    AKI = A(I, j)
                    A(I, j) = CosA * AKI + SinA * A(I, K)
                    A(I, K) = SinA * AKI - CosA * A(I, K)
                End If
            Next I
        Next K
    Next j
ZeroOffDiagonalElement:
If K <= n Then A(j, K) = 0
SIGMA2 = 0
For j = 1 To n

```

```

    Eigenvalue(j) = A(j, j)
    SIGMA2 = SIGMA2 + Eigenvalue(j) ^ 2
Next j
If (1 - SIGMA1 / SIGMA2 < TOLERANCE) Then
    Erase AIK
    Converged = True
    Exit Sub
End If
SIGMA1 = SIGMA2
Next Iteration
frmProgressBar.ProgressBar.Value = 0
Converged = False
End Sub
Sub EigenVector_Transformasi(CEigenVal() As Single,
Decomposed, N dof As Integer, ModeShp() As Single, U()
As Single)
If Decomposed Then
    For I = 1 To N dof
        If CEigenVal(I) < TOLERANCE Then
            CEigenVal(I) = 0
        Else
            CEigenVal(I) = Sqr(CEigenVal(I))
        End If
    Next I
Else
    For I = 1 To N dof
        CEigenVal(I) = 1 / Sqr(CEigenVal(I))
    Next I
End If
For I = 1 To N dof
    For j = 1 To N dof
        Sum = 0
        For K = 1 To N dof
            Sum = Sum + U(K, I) * ModeShp(K, j)
        Next K
        ModeShp(I, j) = Sum
    Next j
Next I
frmProgressBar.ProgressBar.Max = N dof
For I = 1 To N dof
    frmProgressBar.ProgressBar.Value = I
    BIG = 0
    For j = 1 To N dof
        C1 = Abs(ModeShp(j, I))
        C2 = Abs(BIG)
        If (C1 > C2) Then BIG = C1
    Next j
    For j = 1 To N dof
        ModeShp(j, I) = ModeShp(j, I) / BIG
    Next j
Next I
frmProgressBar.ProgressBar.Value = 0
End Sub

```

### (PROGSIP 2002)

```

Option Explicit
'JAKOBI
Option Base 0
Public bTestProgram As Boolean
Public bRiefqibTestProgram As Boolean
Public bRiefqiTampilkan As Boolean
Sub Proses_All()
Dim Y As Integer
Dim YN As Integer
Dim X As Integer
Dim I As Integer
Dim j As Integer

```

```

Dim U As Integer
Dim DiKolom As Single
Dim Ki_09_K As Double
Dim S As Single
Dim Vs As Double
Ndf = lngnd
Clear_Dim 'deklarasi u/ redim
Clear_Var 'hapus variabel ID
'-----
' rumus FORM MATRIK_MASSANYA
'-----
' hitungan u/ frmMatrik_Massa - 1
frmProgressBar.ProgressBar.Max = Ndf
For Y = 1 To Ndf
    frmProgressBar.ProgressBar.Value = Y
    For YN = 1 To Y
        DoEvents
        HKum(Y) = HKum(Y) + h(YN)
    Next YN
Next Y
frmProgressBar.ProgressBar.Value = 0
' hitungan u/ frmMatrik_Massa - 2
' beri nilai NOL
For Y = 1 To Ndf + 2
    For YN = 1 To Ndf + 2
        DoEvents
        Matrik_MassaNya(Y, YN) = 0
    Next YN
Next Y
' beri nilai m1,m2,m3 miring
For Y = 1 To Ndf
    For YN = 1 To Ndf
        DoEvents
        If (Y = YN) Then Matrik_MassaNya(Y, YN) =
MaSs(YN)
    Next YN
Next Y
' beri nilai m1,m2,m3 horisontal
For Y = Ndf + 1 To Ndf + 1
    For YN = 1 To Ndf
        DoEvents
        Matrik_MassaNya(Y, YN) = MaSs(YN)
    Next YN
Next Y
' beri nilai m1,m2,m3 vertikal
For Y = Ndf + 1 To Ndf + 1
    For YN = 1 To Ndf
        DoEvents
        Matrik_MassaNya(YN, Y) = MaSs(YN)
    Next YN
Next Y
' beri nilai m1,m2,m3 horisontal paling bawah paling kiri
m1h1,m2h2,m3xh3
For Y = Ndf + 2 To Ndf + 2
    For YN = 1 To Ndf
        DoEvents
        Matrik_MassaNya(Y, YN) = MaSs(YN) * HKum(YN)
    Next YN
Next Y
' beri nilai m1,m2,m3 horisontal Mo+m1+m2+m3
For Y = Ndf + 1 To Ndf + 1
    Vs = Mo
    For YN = 1 To Ndf
        DoEvents
        Vs = Vs + MaSs(YN)
        Matrik_MassaNya(Y, Ndf + 1) = Vs
    Next YN

```

```

Next Y
' beri nilai m1,m2,m3 horisontal paling bawah tengah
m1h1+m2h2+m3h3
For Y = Ndf + 1 To Ndf + 1
    Vs = 0
    For YN = 1 To Ndf
        DoEvents
        Vs = Vs + (MaSs(YN) * HKum(YN))
        Matrik_MassaNya(Ndf + 2, Ndf + 1) = Vs
    Next YN
Next Y
' beri nilai m1,m2,m3 horisontal paling kanan ke bawah
sebanyak ndof+2 m1h1,m2h2,m3xh3
For Y = Ndf + 2 To Ndf + 2
    For YN = 1 To Ndf
        DoEvents
        Matrik_MassaNya(YN, Y) = MaSs(YN) * HKum(YN)
    Next YN
Next Y
' beri nilai m1,m2,m3 horisontal paling bawah tengah
m1h1+m2h2+m3h3
For Y = Ndf + 2 To Ndf + 2
    Vs = 0
    For YN = 1 To Ndf
        DoEvents
        Vs = Vs + (MaSs(YN) * HKum(YN))
        Matrik_MassaNya(Ndf + 1, Ndf + 2) = Vs
    Next YN
Next Y
' beri nilai m1,m2,m3 horisontal paling bawah tengah
Ig+m1(h1^2)+m2(h2^2)+m3(h3^2)
For Y = Ndf + 2 To Ndf + 2
    Vs = Ig
    For YN = 1 To Ndf
        DoEvents
        Vs = Vs + (MaSs(YN) * (HKum(YN) ^ 2))
        Matrik_MassaNya(Ndf + 2, Ndf + 2) = Vs
    Next YN
Next Y
' MATRIK KEKAKUAN
For Y = 1 To Ndf + 2
    For YN = 1 To Ndf + 2
        DoEvents
        Matrik_Kekakuan(Y, YN) = 0
    Next YN
Next Y
' k1+k2 lalu diagonal kebawah k2+k3
For Y = 2 To Ndf
    For YN = 2 To Ndf
        DoEvents
        If Y - 1 = YN - 1 Then
            Matrik_Kekakuan(Y - 1, YN - 1) = KK(Y - 1) +
KK(Y)
        End If
    Next YN
Next Y
Matrik_Kekakuan(Ndf, Ndf) = KK(Ndf)
Matrik_Kekakuan(Ndf + 1, Ndf + 1) = Kh
Matrik_Kekakuan(Ndf + 2, Ndf + 2) = Kr
' -k2 diagonal ke kanan bawah -k3
U = 0
For Y = 2 To Ndf
    DoEvents
    U = U + 1
    Matrik_Kekakuan(U, Y) = -KK(Y)
    Matrik_Kekakuan(Y, Y - 1) = -KK(Y)
Next Y

```

```

'MATRIK REDAMAN
'hitung u/ frnMatrik_Massa - 1
'cari Alpha
'frnInputOmega -> Untuk [C] proportional dengan [M]
dipakai mode ke=
'-----
'SEBELUM perintah dibawah ini. JANGAN ada redim
CEigenVal(ndof)
Select Case ComboCMK
Case 0
  Alpha1 = 2 * Dampratio * CEigenVal(ComboCM)
  'rumus Matrik_C = Alpha * Matrik_Massa
For Y = Ndof + 2 To Ndof + 2
  For X = Ndof + 2 To Ndof + 2
    DoEvents
    Matrik_C(Y, X) = CR
  Next X
Next Y
For Y = Ndof + 1 To Ndof + 1
  For X = Ndof + 1 To Ndof + 1
    DoEvents
    Matrik_C(Y, X) = CH
  Next X
Next Y
For Y = 1 To Ndof
  For X = 1 To Ndof
    DoEvents
    Matrik_C(Y, X) = Alpha1 * Matrik_MassaNya(Y, X)
  Next X
Next Y
Case 1
For Y = Ndof + 2 To Ndof + 2
  For X = Ndof + 2 To Ndof + 2
    DoEvents
    Matrik_C(Y, X) = CR
  Next X
Next Y
For Y = Ndof + 1 To Ndof + 1
  For X = Ndof + 1 To Ndof + 1
    DoEvents
    Matrik_C(Y, X) = CH
  Next X
Next Y
For Y = 1 To Ndof
  For X = 1 To Ndof
    DoEvents
    Matrik_C(Y, X) = Beta1 * Matrik_Kekakuan(Y, X)
  Next X
Next Y
Case 2
If CEigenValMaks = CEigenValMin Then
  Beta2 = 0
Else
  Beta2 = (2 * (Dampratio * CEigenValMaks -
Dampratio * CEigenValMin)) / ((CEigenValMaks ^ 2) -
CEigenValMin ^ 2)
End If
  Alpha2 = 2 * Dampratio * CEigenValMaks - Beta2 *
(CEigenValMaks ^ 2)
  'rumus Matrik_C = (Alpha2 * Matrik_Massa) + (Beta2 *
Matrik_Kekakuan)
For Y = Ndof + 2 To Ndof + 2
  For X = Ndof + 2 To Ndof + 2
    DoEvents
    Matrik_C(Y, X) = CR
  Next X
Next Y
For Y = Ndof + 1 To Ndof + 1
  For X = Ndof + 1 To Ndof + 1
    DoEvents
    Matrik_C(Y, X) = CH
  Next X
Next Y
For Y = 1 To Ndof
  For X = 1 To Ndof
    DoEvents
    Matrik_C(Y, X) = (Alpha2 * Matrik_MassaNya(Y,
X)) + (Beta2 * Matrik_Kekakuan(Y, X))
  Next X
Next Y
End Select
'cari Matrik_K
Betha = 0.25
Gamma = 0.5
For Y = 1 To Ndof + 2
  For X = 1 To Ndof + 2
    DoEvents
    Matrik_K(Y, X) = Matrik_Kekakuan(Y, X) + (Gamma /
(Betha * Dt)) * Matrik_C(Y, X) + (1 / (Betha * (Dt ^ 2))) *
Matrik_MassaNya(Y, X)
  Next X
Next Y
'cari Matrik_A
For Y = 1 To Ndof + 2
  For X = 1 To Ndof + 2
    DoEvents
    Matrik_A(Y, X) = (1 / (Betha * Dt)) *
Matrik_MassaNya(Y, X) + (Gamma / Betha) * Matrik_C(Y,
X)
  Next X
Next Y
'cari Matrik_B
For Y = 1 To Ndof + 2
  For X = 1 To Ndof + 2
    DoEvents
    Matrik_B(Y, X) = (1 / (2 * Betha)) *
Matrik_MassaNya(Y, X) + (Dt * (Gamma / (2 * Betha) - 1))
* Matrik_C(Y, X)
  Next X
Next Y
'cari pengurangan next - prev
For I = 1 To Sebanyak_N
  DoEvents
  If I = 1 Then
    PerVNextMinPrev(I) = (Pt(I) - 0) / 100
  Else
    PerVNextMinPrev(I) = (Pt(I) - Pt(I - 1)) / 100
  End If
Next I
Dim BarisNo As Integer
' mengisi DeltaPRiefPakai(I, Y) dg perkalian massa dan
PerVNextMinPrev barisSatu saja
' kolom satu ke Ndof
For I = 1 To Sebanyak_N
  BarisNo = I
  For Y = 1 To Ndof
    DoEvents
    DeltaPRiefPakai(I, Y) = -MaSs(Y) *
PerVNextMinPrev(BarisNo)
  Next Y
Next I
' sigma massa1 smp massaNDof dikalikan
PerVNextMinPrev barisSatu saja
Vs = Mo
For YN = 1 To Ndof

```

```

Vs = Vs + MaSs(YN)
Next YN
For I = 1 To Sebanyak_N
  BarisNo = I
  For Y = N dof + 1 To N dof + 1
    DoEvents
    DeltaPRiefPakai(I, Y) = -Vs *
PerVNextMinPrev(BarisNo)
  Next Y
Next I
' beri nilai m1,m2,m3 horisontal paling bawah tengah
m1h1+m2h2+m3h3
For Y = N dof + 1 To N dof + 1
  Vs = 0
  For YN = 1 To N dof
    DoEvents
    Vs = Vs + (MaSs(YN) * HKum(YN))
  Next YN
Next Y
For I = 1 To Sebanyak_N
  BarisNo = I
  For Y = N dof + 2 To N dof + 2
    DoEvents
    DeltaPRiefPakai(I, Y) = -Vs *
PerVNextMinPrev(BarisNo)
  Next Y
Next I
Dim bProsesNOL As Boolean
Dim PNoI As Single
Dim sf As String
sf = "#####0"
Dim A As Double
Dim B As Double
Dim C As Double
Dim DH As Double
Dim E As Double
Dim F As Double
Dim G As Double
'Loop 0 NOL
For I = 1 To 1 'Angka ini memang SATU to SATU
TIDAK BERUBAH u/ Sebanyak_N
  For Y = 1 To N dof + 2
    DoEvents
    DeltaPAks1Dim(Y) = DeltaPRiefPakai(I, Y)
  Next Y
  MergerMatrik Matrik_K(), DeltaPAks1Dim().
MatMerger2Dim(), N dof + 2, I
  BuatDuaDimensi DeltaPAks1Dim(), DeltaPAks(), I,
N dof + 2
  GaussJourdan MatMerger2Dim(), DeltaV1Dim(), N dof
+ 2, True, Sebanyak_N
  BuatTigaDimensi MatMerger2Dim(), MatMerger(), I,
N dof + 2
  BuatDuaDimensi DeltaV1Dim(), DeltaV(), I, N dof + 2
  For Y = 1 To N dof + 2
    DoEvents
    DeltaVAks(I, Y) = (Gamma / (Betha * Dt) * DeltaV(I,
Y)) - (Gamma / Betha) * VAks(I, Y) + Dt * (1 - (Gamma /
(2 * Betha))) * VDoubleAks(I, Y)
    'DeltaVDoubleAks(i, y) = 1 / (Betha * (Dt ^ 2)) *
DeltaV(i, y) - (1 / (Betha * Dt) * VAks(i, y) - (1 / (2 *
Betha)) * VDoubleAks(i, y))
    A = 1 / (Betha * (Dt ^ 2)) *
    B = DeltaV(I, Y) '-
    C = 1 / (Betha * Dt) *
    DH = VAks(I, Y) '-
    E = 1 / (2 * Betha) *

```

```

F = VDoubleAks(I, Y)
DeltaVDoubleAks(I, Y) = (A * B) - (C * DH) - (E * F)
V_IniLho(I + 1, Y) = V_IniLho(I, Y) + DeltaV(I, Y)
VAks(I + 1, Y) = VAks(I, Y) + DeltaVAks(I, Y)
VDoubleAks(I + 1, Y) = VDoubleAks(I, Y) +
DeltaVDoubleAks(I, Y)
  Next Y
Next I
A = 0: B = 0: C = 0: DH = 0: E = 0: F = 0: G = 0
Dim M As Integer
Dim IKolom As Integer
Dim K As Integer
M = N dof + 2
'Loop 1 sampai Sebanyak_N
For I = 2 To Sebanyak_N 'Angka ini memang DUA to ...
'-----proses perkalian
  IKolom = I
  For X = 1 To N dof + 2
    DoEvents
    MA_Kali_VAks(IKolom, X) = 0
    MB_Kali_VDoubleAks(IKolom, X) = 0
    For K = 1 To M
      DoEvents
      MA_Kali_VAks(IKolom, X) =
MA_Kali_VAks(IKolom, X) + (Matrik_A(X, K) *
VAks(IKolom, K))
      MB_Kali_VDoubleAks(IKolom, X) =
MB_Kali_VDoubleAks(IKolom, X) + (Matrik_B(X, K) *
VDoubleAks(IKolom, K))
    Next K
  Next X
'-----proses perkalian

  For Y = 1 To N dof + 2
    DoEvents
    DeltaPAks1Dim(Y) = DeltaPRiefPakai(I, Y) +
MA_Kali_VAks(I, Y) + MB_Kali_VDoubleAks(I, Y)
  Next Y
  MergerMatrik Matrik_K(), DeltaPAks1Dim(),
MatMerger2Dim(), N dof + 2, I
  BuatDuaDimensi DeltaPAks1Dim(), DeltaPAks(), I,
N dof + 2
  GaussJourdan MatMerger2Dim(), DeltaV1Dim(), N dof
+ 2, True, Sebanyak_N
  BuatTigaDimensi MatMerger2Dim(), MatMerger(), I,
N dof + 2
  BuatDuaDimensi DeltaV1Dim(), DeltaV(), I, N dof + 2
  For Y = 1 To N dof + 2
    DoEvents
    'DeltaVAks(i, y) = (Gamma / (Betha * Dt) * DeltaV(i,
y)) - (Gamma / Betha) * VAks(i, y) + Dt * (1 - (Gamma / (2
* Betha))) * VDoubleAks(i, y)
    A = Gamma / (Betha * Dt) *
    B = DeltaV(I, Y) '-
    C = Gamma / Betha *
    DH = VAks(I, Y) *
    F = Dt * (1 - (Gamma / (2 * Betha))) *
    G = VDoubleAks(I, Y)
    DeltaVAks(I, Y) = A * B - C * DH + F * G
    A = 0: B = 0: C = 0: DH = 0: E = 0: F = 0: G = 0
    'DeltaVDoubleAks(i, y) = 1 / (Betha * (Dt ^ 2)) *
DeltaV(i, y) - (1 / (Betha * Dt) * VAks(i, y) - (1 / (2 *
Betha)) * VDoubleAks(i, y))
    A = 1 / (Betha * (Dt ^ 2)) *
    B = DeltaV(I, Y) '-
    C = 1 / (Betha * Dt) *
    DH = VAks(I, Y) *
    DH = VAks(I, Y) '-

```

```

E = 1 / (2 * Beta) *
F = VDoubleAks(I, Y)
DeltaVDoubleAks(I, Y) = A * B - C * DH - E * F
A = 0: B = 0: C = 0: DH = 0: E = 0: F = 0: G = 0
DoEvents
V_IniLho(I + 1, Y) = V_IniLho(I, Y) + DeltaV(I, Y)
VAks(I + 1, Y) = VAks(I, Y) + DeltaVAks(I, Y)
VDoubleAks(I + 1, Y) = VDoubleAks(I, Y) +
DeltaVDoubleAks(I, Y)
Next Y
Next I
' Simpangan Rotasi
Dim RadianRief As Double
Const PI = 3.14159265
For Y = 1 To Sebanyak_N
For X = 1 To N dof
DoEvents
RadianRief = V_IniLho(Y, N dof + 2)
SimRot(Y, X) = HKum(X) * Tan(RadianRief) * 100
Next X
Next Y
' Simpangan Total
For Y = 1 To Sebanyak_N
For X = N dof + 1 To N dof + 1
SimTOT(Y, X) = V_IniLho(Y, N dof + 1) * 100
Next X
Next Y
For Y = 1 To Sebanyak_N
For X = 1 To N dof
DoEvents
SimTOT(Y, X) = (V_IniLho(Y, X) * 100) +
SimRot(Y, X)
Next X
Next Y
' InterstoreyDrift Netto
ReDim Ide(Sebanyak_N + 2, N dof + 2)
For I = 1 To Sebanyak_N
U = 1
YN = 1
For Y = 1 To 1
DoEvents
uji = V_IniLho(I, Y)
Ide(I, YN) = (uji / h(U)) * 100
Next Y
Next I
For I = 1 To Sebanyak_N
U = 2
For Y = 2 To N dof + 1
DoEvents
uji = (V_IniLho(I, Y) - V_IniLho(I, Y - 1))
Ide(I, Y) = (uji / h(U)) * 100
Next Y
U = U + 1
If U > N dof Then U = 1
Next I
' rumus tambahan gaya horisontal tingkat Netto
ReDim Ft(Sebanyak_N + 2, N dof + 2)
M = N dof
For I = 2 To Sebanyak_N 'Angka ini memang DUA to ...
'Rumus : Ft = Matrik_K * V_IniLho
'-----proses perkalian
IKolom = I
For X = 1 To N dof
Ft(IKolom, X) = 0
For K = 1 To M
DoEvents
Ft(IKolom, X) = Ft(IKolom, X) +
((Matrik_Kekakuan(X, K) / 100) * V_IniLho(IKolom, K)) *
100 ' * SimTOT(IKolom, K))
Next K
Next X
'-----proses perkalian
Next I
'rumus tambahan gaya geser kumulatif tingkat
'Rumus: jumlah Ft(IKolom, X) ditambah lantai sebelumnya
sesuai tingkatnya
ReDim FtKom(Sebanyak_N + 2, N dof + 4)
For I = 1 To Sebanyak_N
For Y = 2 To N dof - 2
For YN = Y To N dof
DoEvents
FtKom(I, Y) = FtKom(I, Y) + Ft(I, YN)
Next YN
Next Y
Next I
For I = 1 To Sebanyak_N
For Y = N dof To N dof
DoEvents
FtKom(I, Y) = Ft(I, Y)
Next Y
Next I
For I = 1 To Sebanyak_N
DoEvents
Vs = 0
Vs = Ft(I, N dof - 1) + Ft(I, N dof)
FtKom(I, N dof - 1) = Vs
Next I
DiKolom = 1
For I = 1 To Sebanyak_N
Vs = 0
For YN = 1 To N dof
DoEvents
Vs = Vs + Ft(I, YN)
Next YN
FtKom(I, DiKolom) = Vs
Next I
' operkan nilai dari Ft ke FtBaru
ReDim FtBaru(Sebanyak_N + 2, N dof + 2)
DiKolom = 1
For I = 1 To Sebanyak_N
DoEvents
FtBaru(I, DiKolom) = Ft(I, N dof + 1)
Next I
For I = 1 To Sebanyak_N
For YN = 1 To N dof
DoEvents
FtBaru(I, YN + 1) = Ft(I, YN)
Next YN
Next I
' rumus tambahan Moment Guling
'Rumus: Mg = (ft ke N) dikalikan (hkum ke n)
ReDim Mg(Sebanyak_N + 2, N dof + 2)
Vs = 0
For Y = 2 To Sebanyak_N
U = 2
Q = 1
Tambah = False
Awal = 1
For X = 1 To N dof + 1
If Tambah Then
Awal = Awal + 1
U = Awal + 1
Tambah = False

```



```

End If
For YN = Awal To N dof
    '-----
    DoEvents
    Vs = Vs + h(U - 1)
    Mg(Y, X) = Mg(Y, X) + (FtBaru(Y, U) * Vs)
    '-----
    Q = Q + 1
    U = U + 1
Next YN
U = 2
Q = 1
Tambah = Truc
Vs = 0
Next X
Next Y
' konversikan u/ meter dari cm
For I = 1 To Sebanyak_N
    For Y = 1 To N dof + 1
        DoEvents
        V_IniLho(I, Y) = V_IniLho(I, Y) * 100
    Next Y
Next I
' BAGIAN TULIS KE FILE
TulisFile_All
Sub Clear_Dim()
N dof = lngnd
ReDim MHkw(N dof)
'matrik kekakuan
ReDim Matrik_Kekakuan(N dof + 2, N dof + 2)
'matrik redaman
ReDim Matrik_C(N dof + 2, N dof + 2)
ReDim Matrik_K(N dof + 2, N dof + 2) 'ReDim
Matrik_K(N dof + 3, N dof + 3)
ReDim Matrik_A(N dof + 2, N dof + 2)
ReDim Matrik_B(N dof + 2, N dof + 2)
'frmSiklus
ReDim PerVNextMinPrev(Sebanyak_N)
ReDim V_IniLho(Sebanyak_N + 2, N dof + 2)
ReDim VAks(Sebanyak_N + 2, N dof + 2)
ReDim VDoubleAks(Sebanyak_N + 2, N dof + 3)
ReDim DeltaPAks1Dim(N dof + 2)
ReDim DeltaPAks(Sebanyak_N, N dof + 2)
ReDim DeltaVDoubleAks(Sebanyak_N, N dof + 2)
ReDim DeltaV1Dim(N dof + 2)
ReDim DeltaV_wess(Sebanyak_N + 10, N dof + 2)
ReDim DeltaV(Sebanyak_N, N dof + 2)
ReDim DeltaVAks(Sebanyak_N + 2, N dof + 2)
ReDim DeltaPRief(Sebanyak_N, N dof + 2)
ReDim MA_Kali_VAks(Sebanyak_N, N dof + 2)
ReDim MB_Kali_VDoubleAks(Sebanyak_N, N dof + 2)
ReDim TotalRif(Sebanyak_N)
ReDim MatMerger2Dim(Sebanyak_N + 2, N dof + 3)
ReDim MatMerger(Sebanyak_N + 2, N dof + 2, N dof + 3)
'3D
ReDim MaTriKkaKs(N dof + 2, N dof + 2)
ReDim Ide(Sebanyak_N + 2, N dof + 2)
ReDim Ft(Sebanyak_N + 2, N dof + 2)
ReDim FtKom(Sebanyak_N + 2, N dof + 4)
ReDim Ggd(Sebanyak_N + 2)
ReDim UntukMg(Sebanyak_N + 2, N dof + 2)
ReDim HMinH(N dof + 4)
ReDim HPlusH(N dof + 4)
ReDim Mg(Sebanyak_N + 2, N dof + 2)
ReDim MatHasil3D(Sebanyak_N + 2, N dof + 2, N dof + 2)
ReDim SimRot(Sebanyak_N, N dof + 1)
ReDim SimTOT(Sebanyak_N, N dof + 2)

ReDim DeltaPRiefPakai(Sebanyak_N, N dof + 2)
ReDim Matrik_MassaNya(N dof + 2, N dof + 2)
End Sub
'Rifqi-Bas. frmMatrik_Massa
KumpulMHkw = 0
End Sub
Sub TulisFile_All()
Dim Y As Integer
Dim YN As Integer
Dim X As Integer
Dim I As Integer
Dim j As Integer
Dim U As Integer
Dim DiKolom As Single
Dim Ki_09_K As Single
Dim S As Single
Dim Vs As Single
Dim sf As String
Dim Spasi As String
Dim wess$
Dim Filenumber As Integer
Dim Jarak As Integer
'-----
bRiefqiTampilkan = True
bRiefqibTestProgram = False
Dim NilaiPlus As Double
Dim NilaiMin As Double
'-----
Jarak = 10
N dof = lngnd
If bRiefqiTampilkan Then
    sf =
    "#####0.#####0"
    wess$ = "V_IniLho"
    Filenumber = FreeFile
    Open frmSave.Text2 & "\" & wess$ & ".Txt" For
    Output As #Filenumber
    Print #Filenumber, App.Title & " (Dapat dilihat pada
    file *.Txt)"
    Print #Filenumber.
    Print #Filenumber, "Data Struktur : " & FileName
    Print #Filenumber, "Data Percepatan: " & FileName2
    Print #Filenumber, "TMax : " & TMax
    Print #Filenumber, "Dt : " & Dt
    Print #Filenumber, "Sebanyak_N : " & TMax / Dt
    Print #Filenumber.
    Print #Filenumber, "Table V_IniLho"
    Print #Filenumber, GarisF(Len("Table V_IniLho"))
    For I = 1 To Sebanyak_N
        For Y = 1 To N dof + 2
            If (Y = 1) Then
                Jarak = 1
            Else
                Jarak = 35
            End If
            'Print #Filenumber, Tab(Jarak * (y - 1)); i & ",
            & y; " "; Format(V_IniLho(i, y), sf);
            Print #Filenumber, Tab(Jarak * (Y - 1)); I & ",
            & Y; " "; V_IniLho(I, Y);
            Next Y
        Next I
    Print #Filenumber.
    Print #Filenumber, GarisF((Jarak * N dof) + Jarak +
    13)
    CariMinMaksAbs 1, N dof + 2, 1, Sebanyak_N,
    V_IniLho()
    For X = 1 To N dof + 2

```

```

        Print #Filenumber. Tab(Jarak * (X - 1));
"Maks="; Maks(X);
    Next X
    For X = 1 To N dof + 2
        Print #Filenumber. Tab(Jarak * (X - 1)); "Min=";
Min(X);
    Next X
    For X = 1 To N dof + 2
        Print #Filenumber. Tab(Jarak * (X - 1));
"AbsNya="; AbsNya(X);
    Next X
    Print #Filenumber.
    Print #Filenumber.
    Print #Filenumber.
    Close #Filenumber
End If
If bRiefqiTampilkan Then
    sf =
"#####0.#####0"
    wess$ = "VAks"
    Filenumber = FreeFile
    Open frmSave.Text2 & "\" & wess$ & ".Txt" For
Output As #Filenumber
    Print #Filenumber. App.Title & " (Dapat dilihat pada
file *.Txt)"
    Print #Filenumber.
    Print #Filenumber. "Data Struktur : " & FileName
    Print #Filenumber. "Data Percepatan: " & FileName2
    Print #Filenumber. "TMax      : " & TMax
    Print #Filenumber. "Dt        : " & Dt
    Print #Filenumber. "Sebanyak_N : " & TMax / Dt
    Print #Filenumber.
    Print #Filenumber. "Table VAks"
    Print #Filenumber. GarisF(Len("Table VAks"))
    For I = 1 To Sebakanyak_N
        For Y = 1 To N dof + 2
            If (Y = 1) Then
                Jarak = 1
            Else
                Jarak = 35
            End If
            Print #Filenumber. I & " " & Y; " "; VAks(I, Y)
        Next Y
    Next I
    Print #Filenumber.
    Close #Filenumber
End If
If bRiefqiTampilkan Then
    sf =
"#####0.#####0"
    wess$ = "VDoubleAks"
    Filenumber = FreeFile
    Open frmSave.Text2 & "\" & wess$ & ".Txt" For
Output As #Filenumber
    Print #Filenumber. App.Title & " (Dapat dilihat pada
file *.Txt)"
    Print #Filenumber.
    Print #Filenumber. "Data Struktur : " & FileName
    Print #Filenumber. "Data Percepatan: " & FileName2
    Print #Filenumber. "TMax      : " & TMax
    Print #Filenumber. "Dt        : " & Dt
    Print #Filenumber. "Sebanyak_N : " & TMax / Dt
    Print #Filenumber.
    Print #Filenumber. "Table VDoubleAks"
    Print #Filenumber. GarisF(Len("Table
VDoubleAks"))
    ' mencari nilai u/ Jarak. yg sesuai bagi semua kolom
        Spasinya = 15
        U = N dof + 1
        For I = 1 To Sebakanyak_N
            For Y = 1 To N dof
                If Len(Format(VDoubleAks(I, Y). sf)) > Jarak
Then
                    SelisihJarak = Len(Format(VDoubleAks(I,
Y). sf)) - Jarak
                    Jarak = Jarak + SelisihJarak + Spasinya
                End If
            Next Y
        Next I
        SimJarak = Jarak
        For I = 1 To Sebakanyak_N
            For Y = 1 To N dof + 2
                If (Y = 1) Then
                    Jarak = 1
                Else
                    'Jarak = SimJarak
                    Jarak = 35
                End If
                Print #Filenumber. Tab(Jarak * (Y - 1)); I & " "
& Y; " "; VDoubleAks(I, Y);
                'Print #Filenumber. i & " " & y; " ";
VDoubleAks(i, y)
            Next Y
        Next I
        Print #Filenumber.
        Close #Filenumber
    End If
    If bRiefqiTampilkan Then
        sf =
"#####0.#####0"
        wess$ = "Matrik_A"
        Filenumber = FreeFile
        Open frmSave.Text2 & "\" & wess$ & ".Txt" For
Output As #Filenumber
        Print #Filenumber. App.Title & " (Dapat dilihat pada
file *.Txt)"
        Print #Filenumber.
        Print #Filenumber. "Data Struktur : " & FileName
        Print #Filenumber. "Data Percepatan: " & FileName2
        Print #Filenumber. "TMax      : " & TMax
        Print #Filenumber. "Dt        : " & Dt
        Print #Filenumber. "Sebanyak_N : " & TMax / Dt
        Print #Filenumber.
        Print #Filenumber. "Table Matrik_A"
        Print #Filenumber. GarisF(Len("Table Matrik_A"))
        For I = 1 To N dof + 2
            For Y = 1 To N dof + 2
                If (Y = 1) Then
                    Jarak = 1
                Else
                    Jarak = 35
                End If
                'Print #Filenumber. Tab(Jarak * (y - 1)); i & " "
& y; " "; Format(Matrik_A(i, y). sf);
                Print #Filenumber. Tab(Jarak * (Y - 1)); I & " "
& Y; " "; Matrik_A(I, Y);
                Next Y
            Next I
            Print #Filenumber.
            Print #Filenumber.
            Close #Filenumber
        End If
        If bRiefqiTampilkan Then

```

```

sf =
"#####0.#####0"
wess$ = "Matrik_B"
Filenumber = FreeFile
Open frmSave.Text2 & "\" & wess$ & ".Txt" For
Output As #Filenumber
Print #Filenumber. App.Title & " (Dapat dilihat pada
file *.Txt)"
Print #Filenumber.
Print #Filenumber. "Data Struktur : " & FileName
Print #Filenumber. "Data Percepatan: " & FileName2
Print #Filenumber. "TMax      : " & TMax
Print #Filenumber. "Dt       : " & Dt
Print #Filenumber. "Sebanyak_N : " & TMax / Dt
Print #Filenumber.
Print #Filenumber. "Table Matrik_B"
Print #Filenumber. GarisF(Len("Table Matrik_B"))
For I = 1 To N dof + 2
  For Y = 1 To N dof + 2
    If (Y = 1) Then
      Jarak = 1
    Else
      Jarak = 35
    End If
    'Print #Filenumber. Tab(Jarak * (y - 1)): i & ". " &
y: " "; Format(Matrik_B(i, y), sf);
    Print #Filenumber. Tab(Jarak * (Y - 1)); I & ". "
& Y: " "; Matrik_B(I, Y);
    Next Y
  Next I
  Print #Filenumber.
  Print #Filenumber.
  Close #Filenumber
End If
If bRiefqiTampilkan Then
sf =
"#####0.#####0"
wess$ = "Matrik_C"
Filenumber = FreeFile
Open frmSave.Text2 & "\" & wess$ & ".Txt" For
Output As #Filenumber
Print #Filenumber. App.Title & " (Dapat dilihat pada
file *.Txt)"
Print #Filenumber.
Print #Filenumber. "Data Struktur : " & FileName
Print #Filenumber. "Data Percepatan: " & FileName2
Print #Filenumber. "TMax      : " & TMax
Print #Filenumber. "Dt       : " & Dt
Print #Filenumber. "Sebanyak_N : " & TMax / Dt
Print #Filenumber.
Print #Filenumber. "Table Matrik_C"
Print #Filenumber. GarisF(Len("Table Matrik_C"))
For I = 1 To N dof + 2
  For Y = 1 To N dof + 2
    If (Y = 1) Then
      Jarak = 1
    Else
      Jarak = 35
    End If
    'Print #Filenumber. Tab(Jarak * (y - 1)): i & ". " &
y: " "; Format(Matrik_C(i, y), sf);
    Print #Filenumber. Tab(Jarak * (Y - 1)); I & ". "
& Y: " "; Matrik_C(I, Y);
    Next Y
  Next I
  Print #Filenumber.
  Print #Filenumber.
  Close #Filenumber
End If
If bRiefqiTampilkan Then
sf =
"#####0.#####0"
wess$ = "Matrik_K"
Filenumber = FreeFile
Open frmSave.Text2 & "\" & wess$ & ".Txt" For
Output As #Filenumber
Print #Filenumber. App.Title & " (Dapat dilihat pada
file *.Txt)"
Print #Filenumber.
Print #Filenumber. "Data Struktur : " & FileName
Print #Filenumber. "Data Percepatan: " & FileName2
Print #Filenumber. "TMax      : " & TMax
Print #Filenumber. "Dt       : " & Dt
Print #Filenumber. "Sebanyak_N : " & TMax / Dt
Print #Filenumber.
Print #Filenumber. "Table Matrik_K"
Print #Filenumber. GarisF(Len("Table Matrik_K"))
For I = 1 To N dof + 2
  For Y = 1 To N dof + 2
    If (Y = 1) Then
      Jarak = 1
    Else
      Jarak = 50
    End If
    'Print #Filenumber. Tab(Jarak * (Y - 1)); I & ". "
& Y: " "; Format(Matrik_K(I, Y), sf);
    Next Y
  Next I
  Print #Filenumber.
  Print #Filenumber.
  Close #Filenumber
End If
If bRiefqiTampilkan Then
sf =
"#####0.#####0"
wess$ = "Matrik_Kekakuan"
Filenumber = FreeFile
Open frmSave.Text2 & "\" & wess$ & ".Txt" For
Output As #Filenumber
Print #Filenumber. App.Title & " (Dapat dilihat pada
file *.Txt)"
Print #Filenumber.
Print #Filenumber. "Data Struktur : " & FileName
Print #Filenumber. "Data Percepatan: " & FileName2
Print #Filenumber. "TMax      : " & TMax
Print #Filenumber. "Dt       : " & Dt
Print #Filenumber. "Sebanyak_N : " & TMax / Dt
Print #Filenumber.
Print #Filenumber. "Table Matrik_Kekakuan"
Print #Filenumber. GarisF(Len("Table
Matrik_Kekakuan"))
For I = 1 To N dof + 2
  For Y = 1 To N dof + 2
    If (Y = 1) Then
      Jarak = 1
    Else
      Jarak = 35
    End If
    'Print #Filenumber. Tab(Jarak * (y - 1)): i & ". "
& y: " "; Format(Matrik_Kekakuan(i, y), sf);
    Print #Filenumber. Tab(Jarak * (Y - 1)); I & ". "
& Y: " "; Matrik_Kekakuan(I, Y);
    Next Y
  Next I
  Print #Filenumber.
  Print #Filenumber.
  Close #Filenumber
End If

```



```

If bRiefqiTampilkan Then
    sf =
    "#####0.#####0"
    wess$ = "FtKom"
    Filenumber = FreeFile
    Open frmSave.Text2 & "\ & wess$ & ".Txt" For
Output As #Filenumber
    Print #Filenumber. App.Title & " (Dapat dilihat pada
file *.Txt)"
    Print #Filenumber.
    Print #Filenumber. "Data Struktur : " & FileName
    Print #Filenumber. "Data Percepatan: " & FileName2
    Print #Filenumber. "TMax      : " & TMax
    Print #Filenumber. "Dt      : " & Dt
    Print #Filenumber. "Sebanyak_N : " & TMax / Dt
    Print #Filenumber.
    Print #Filenumber. "Table FtKom - Gaya Geser
Kumulatif Tingkat"
    Print #Filenumber. GarisF(Len("Table FtKom - Gaya
Geser Kumulatif Tingkat"))
    For I = 1 To Sebyanyak_N
    For Y = 1 To N dof + 1
    If (Y = 1) Then
        Jarak = 1
    Else
        Jarak = 35
    End If
    Print #Filenumber. Tab(Jarak * (Y - 1)); I & ".
& Y: " "; FtKom(I, Y);
    Next Y
    Next I
    Print #Filenumber.
    Print #Filenumber. GarisF((Jarak * N dof) + Jarak +
13)
    CariMinMaksAbs I. N dof + 1. I. Sebyanyak_N,
FtKom()
    For X = 1 To N dof + 1
    Print #Filenumber. Tab(Jarak * (X - 1));
"Maks=": Maks(X);
    Next X
    For X = 1 To N dof + 1
    Print #Filenumber. Tab(Jarak * (X - 1)); "Min=":
Min(X);
    Next X
    For X = 1 To N dof + 1
    Print #Filenumber. Tab(Jarak * (X - 1));
"AbsNya=": AbsNya(X);
    Next X
    Print #Filenumber.
    Print #Filenumber.
    Print #Filenumber.
    Close #Filenumber
End If
If bRiefqiTampilkan Then
    sf =
    "#####0.#####0"
    wess$ = "MG"
    Filenumber = FreeFile
    Open frmSave.Text2 & "\ & wess$ & ".Txt" For
Output As #Filenumber
    Print #Filenumber. App.Title & " (Dapat dilihat pada
file *.Txt)"
    Print #Filenumber.
    Print #Filenumber. "Data Struktur : " & FileName
    Print #Filenumber. "Data Percepatan: " & FileName2
    Print #Filenumber. "TMax      : " & TMax
    Print #Filenumber. "Dt      : " & Dt
    Print #Filenumber. "Sebanyak_N : " & TMax / Dt
    Print #Filenumber.
    Print #Filenumber. "Table MG - Moment Guling"
    Print #Filenumber. GarisF(Len("Table MG - Moment
Guling"))
    For I = 1 To Sebyanyak_N
    For Y = 1 To N dof + 1
    If (Y = 1) Then
        Jarak = 1
    Else
        Jarak = 35
    End If
    Print #Filenumber. Tab(Jarak * (Y - 1)); I & ".
& Y: " "; Mg(I, Y);
    Next Y
    Next I
    Print #Filenumber.
    Print #Filenumber. GarisF((Jarak * N dof) + Jarak +
13)
    CariMinMaksAbs I. N dof + 1. I. Sebyanyak_N,
Mg()
    For X = 1 To N dof + 1
    Print #Filenumber. Tab(Jarak * (X - 1));
"Maks=": Maks(X);
    Next X
    For X = 1 To N dof + 1
    Print #Filenumber. Tab(Jarak * (X - 1)); "Min=":
Min(X);
    Next X
    For X = 1 To N dof + 1
    Print #Filenumber. Tab(Jarak * (X - 1));
"AbsNya=": AbsNya(X);
    Next X
    Print #Filenumber.
    Print #Filenumber.
    Print #Filenumber.
    Close #Filenumber
End If
If bRiefqiTampilkan Then
    sf =
    "#####0.#####0"
    wess$ = "SimRot"
    Filenumber = FreeFile
    Open frmSave.Text2 & "\ & wess$ & ".Txt" For
Output As #Filenumber
    Print #Filenumber. App.Title & " (Dapat dilihat pada
file *.Txt)"
    Print #Filenumber. "Table SIMRot - Simpangan
Rotasi"
    Print #Filenumber. GarisF(Len("Table SIMRot -
Simpangan Rotasi"))
    For I = 1 To Sebyanyak_N
    For Y = 1 To N dof
    Print #Filenumber. Tab(Jarak * (Y - 1)); I & ".
& Y: " "; SimRot(I, Y);
    Next Y
    Next I
    Print #Filenumber.
    Print #Filenumber. GarisF((Jarak * N dof) + Jarak +
13)
    CariMinMaksAbs I. N dof. I. Sebyanyak_N,
SimRot()
    For X = 1 To N dof
    Print #Filenumber. Tab(Jarak * (X - 1));
"Maks=": Maks(X);
    Next X
    For X = 1 To N dof

```

```

Print #Filenumber. Tab(Jarak * (X - 1)): "Min=";
Min(X);
Next X
For X = 1 To N dof
Print #Filenumber. Tab(Jarak * (X - 1)):
"AbsNya="; AbsNya(X);
Next X
Print #Filenumber.
Print #Filenumber.
Print #Filenumber.
Close #Filenumber
End If
If bRiefqiTampilkan Then
sf =
"#####0.#####0"
wess$ = "SimTOT"
Filenumber = FreeFile
Open frmSave.Text2 & "\ & wess$ & ".Txt" For
Output As #Filenumber
Print #Filenumber. App.Title & " (Dapat dilihat pada
file *.Txt)"
Print #Filenumber. "Table SimTOT - Simpangan
Total"
Print #Filenumber. GarisF(Len("Table SimTOT -
Simpangan Total"))
For I = 1 To Sebanyak_N
For Y = 1 To N dof + 1
Print #Filenumber. Tab(Jarak * (Y - 1)): I & ". "
& Y: " "; SimTOT(I, Y);
Next Y
Next I
Print #Filenumber.
Print #Filenumber. GarisF((Jarak * N dof) + Jarak +
13)
CariMinMaksAbs I. N dof + 1. I. Sebanyak_N,
SimTOT()
For X = 1 To N dof + 1
Print #Filenumber. Tab(Jarak * (X - 1)):
"Maks="; Maks(X);
Next X
For X = 1 To N dof + 1
Print #Filenumber. Tab(Jarak * (X - 1)): "Min=";
Min(X);
Next X
For X = 1 To N dof + 1
Print #Filenumber. Tab(Jarak * (X - 1)):
"AbsNya="; AbsNya(X);
Next X
Print #Filenumber.
Print #Filenumber.
Print #Filenumber.
Close #Filenumber
End If
If bRiefqiTampilkan Then
sf =
"#####0.#####0"
wess$ = "Matrik_MassaNya"
Filenumber = FreeFile
Open frmSave.Text2 & "\ & wess$ & ".Txt" For
Output As #Filenumber
Print #Filenumber. App.Title & " (Dapat dilihat pada
file *.Txt)"
Print #Filenumber.
Print #Filenumber. "Data Struktur : " & FileName
Print #Filenumber. "Data Percepatan: " & FileName2
Print #Filenumber. "TMax : " & TMax
Print #Filenumber. "Dt : " & Dt
Print #Filenumber. "Sebanyak_N : " & TMax / Dt
Print #Filenumber.
Print #Filenumber. "Table Matrik_MassaNya"
Print #Filenumber. GarisF(Len("Table
Matrik_MassaNya"))
For I = 1 To N dof + 2
For Y = 1 To N dof + 2
If (Y = 1) Then
Jarak = 1
Else
Jarak = 50
End If
' Matrik_MassaNya(I, Y)
Print #Filenumber. Tab(Jarak * (Y - 1)): I & ". "
& Y: " "; Format(Matrik_MassaNya(I, Y), sf);
Next Y
Next I
Print #Filenumber.
Print #Filenumber.
Close #Filenumber
End If
End Sub
Private Sub CariMinMaksAbs(iAwal1 As Integer, iN dof As
Integer, iAwal2 As Integer, iSebanyak_N As Integer, iVar()
As Double)
Dim Y As Integer
Dim X As Integer
Dim NilaiPlus As Double
Dim NilaiMin As Double
ReDim Maks(N dof + 5)
ReDim Min(N dof + 5)
ReDim AbsNya(N dof + 5)
For X = iAwal1 To iN dof
NilaiMin = 0
NilaiPlus = 0
If iVar(iAwal2, X) < 0 Then NilaiMin =
iVar(iAwal2, X)
If iVar(iAwal2, X) > 0 Then NilaiPlus =
iVar(iAwal2, X)
For Y = iAwal2 + 1 To iSebanyak_N
DoEvents
If iVar(Y, X) < 0 Then If iVar(Y, X) <
NilaiMin Then NilaiMin = iVar(Y, X)
If iVar(Y, X) > 0 Then If iVar(Y, X) >
NilaiPlus Then NilaiPlus = iVar(Y, X)
If Abs(NilaiMin) > Abs(NilaiPlus) Then
AbsNya(X) = NilaiMin
Else
AbsNya(X) = NilaiPlus
End If
Min(X) = NilaiMin
Maks(X) = NilaiPlus
Next Y
Next X
End Sub
' form frmProgSIP
' OpenFile FileName, N dof, Dampratio, Dt, TMax, Mo,
IG, Kr, Kh
Public Mo As Single
Public Ig As Single
Public Kr As Single
Public Kh As Single
Public FileName2 As String
Public ComboCM As Integer
Public ComboCK As Integer
Public ComboCMK As Integer
Public HKum() As Single

```

```

Public MHkw() As Single
Public KumpulMHkw As Single
Public IgKumpulMHkw As Single
'matrik kekakuan
Public Matrik_Kekakuan() As Single 'matrik kekakuan
Public CEigenVal() As Single
Public Alpha As Single
'matrik redaman
Public Matrik_C() As Double
Public Matrik_K() As Double
Public Matrik_A() As Double
Public Matrik_B() As Double
Public Betha As Double
Public Gamma As Double
'frmSiklus
Public DeltaP() As Double
Public Massa() As Double
Public SeBanyak_N As Integer
Public PerVNextMinPrev() As Double
Public V_IniLho() As Double
Public VAks() As Double
Public VDoubleAks() As Double
Public DeltaPAks1Dim() As Double
Public DeltaPAks() As Double
Public DeltaV1Dim() As Double
Public DeltaV() As Double
Public DeltaV_wess() As Double
Public DeltaVAks() As Double
Public DeltaVDoubleAks() As Double
Public MA_Kali_VAks() As Double
Public MB_Kali_VDoubleAks() As Double
Public DeltaPRief() As Double
Public TotalRif() As Double
Public MaTrlkKaKs() As Double
Public MatMerger2Dim() As Double
Public MatMerger() As Double
Public Ide() As Double
Public Ft() As Double
Public FtKom() As Double
Public Ggd() As Double
Public UntukMg() As Double
Public HPlusH() As Double
Public HMinH() As Double
Public Mg() As Double
Public Maks() As Double
Public Min() As Double
Public AbsNya() As Double
Public MatHasil3D() As Double
Public CEigenValMaks As Single
Public CEigenValMin As Single
Public Alpha1 As Single
Public Alpha2 As Single
Public Beta1 As Single
Public Beta2 As Single
'Public EQS As Single
'Public SimRot() As Double
Public SimTOT() As Double
Public DeltaPRiefPakai() As Double
Public Matrik_MassaNya() As Single
Public FtBaru() As Double
Sub GaussJourdan(MatKP() As Double, MatDeltaV() As
Double, N_Dof As Integer, Rubah As Boolean, JumN As
Integer)
Dim IP As Integer
Dim I As Integer
Dim j As Integer
Dim OP As Double

```

```

Dim N_DofPlus1 As Integer
Dim Simpan() As Double
METODE GAUSS JORDAN
'ReDim Simpan(N_Dof, N_Dof) 'cek jenis MatKP
ADALAH ReDim MatMerger2Dim(SeBanyak_N + 2, N_dof
+ 3)
ReDim Simpan(JumN, N_Dof)
For I = 1 To N_Dof
  For j = 1 To N_Dof
    Simpan(I, j) = MatKP(I, j)
  Next j
Next I
'start GaussJourdan -----
N_DofPlus1 = N_Dof + 1
'cari MatKP()
For IP = 1 To N_Dof
  For I = 1 To N_Dof
    If (I = IP) Then GoTo Mekan
    OP = -MatKP(I, IP) / MatKP(IP, IP)
    For j = IP To N_DofPlus1
      MatKP(I, j) = MatKP(I, j) + OP * MatKP(IP, j)
    Next j
  Next I
Mekan:
  Next I
Next IP
'cari MatDeltaV()
For I = 1 To N_Dof
  MatDeltaV(I) = MatKP(I, N_DofPlus1) / MatKP(I, I)
Next I
'end GaussJourdan -----
If Rubah Then
  For I = 1 To N_Dof
    For j = 1 To N_Dof
      MatKP(I, j) = Simpan(I, j)
    Next j
  Next I
End If
End Sub
Sub MergerMatrik(MatKecil() As Double, MatDeltaV() As
Double, MatHasil() As Double, N_Dof As Integer, PosNow
As Integer)
Dim I As Integer
Dim j As Integer
Dim X As Integer
Dim Y As Integer
For I = 1 To N_Dof
  Y = Y + 1
  For j = 1 To N_Dof
    MatHasil(I, j) = MatKecil(I, j)
    X = j
  Next j
  MatHasil(I, X + 1) = MatDeltaV(Y)
'jangan di NOL-kan akan di pakai BuatDuaDimensi
MatDeltaV(y) = 0
Next I
End Sub
Sub BuatDuaDimensi(MatrikAsli() As Double, MatHasil()
As Double, PosNow As Integer, N_Dof As Integer)
Dim I As Integer
Dim j As Integer

For j = 1 To N_Dof
  MatHasil(PosNow, j) = MatrikAsli(j) 'asli
'jangan di NOL-kan akan di pakai MatrikAsli(j) = 0 'asli
Next j
End Sub

```

```

Sub BuatTigaDimensi(MatrikAsli() As Double, MatHasil()
As Double, PosNow As Integer, N_Dof As Integer)
Dim I As Integer
Dim j As Integer
Dim X As Integer
Dim Y As Integer
For I = PosNow To PosNow
For Y = 1 To N_Dof 'baris=ndof+2, N_Dof harus diisi
ndof+2
For X = 1 To N_Dof + 1 'kolom=ndof+3, N_Dof harus
diisi ndof+2
MatHasil(I, Y, X) = MatrikAsli(Y, X)
'sudah ada yaitu MatMerger()
'MatHasil3D(I, Y, X) = MatrikAsli(Y, X)
Next X
Next Y
Next I
End Sub
Sub Tambahkan(MatrikAsli() As Double, MatHasil() As
Double, PosNow As Integer, N_Dof As Integer)
Dim I As Integer
Dim j As Integer
For j = 1 To N_Dof
MatHasil(PosNow + j) = MatrikAsli(j) 'asli
MatHasil(PosNow + j) = MatrikAsli(j) + 13'ReDim
DeltaV_wess(Sebanyak_N + 10)
MatHasil(PosNow, j) = MatrikAsli(j) + 13 'ReDim
DeltaV_wess(Sebanyak_N + 10, NdoF + 2)
MatHasil(PosNow, j) = MatrikAsli(j) 'ReDim
DeltaV_wess(Sebanyak_N + 10, NdoF + 2)
'jangan di NOL-kan akan di pakai MatrikAsli(j) = 0 'asli
Next j
End Sub

```

#### MASSA DAN KEKAKUAN

```

Dim OCE As Database
Dim PROFIL As Recordset
Dim BATANG As Recordset
Dim REPORT As Recordset
Dim RENTBRC As Integer
Public Mo As Single

```

```

Private Sub CmHITUNG_Click()
'mendeklarasikan variabel
Dim KTEPI1, KTEPI1, KTEPI1W, KTEG1L, KTEG1I,
KTEG1W As Double
Dim KTEP2L, KTEP2W, KTEG2L, KTEG2W As Double
Dim BL1L, BL1W, BL1Q, BL2L, BL2W, BL2Q, BL3L,
BL3W, BL3Q As Double
Dim BR1L, BR1A, BR1W, BR2L, BR2W As Double
Dim SBR1L, SBR1A, SBR1W, SBR2L, SBR2W As Double
Dim Z
Dim n, T
T = Val(Fnewstruktur.NDOF)
For n = 1 To T
'menentukan index elemen
BATANG.Index = "ELEMIDX"
'mencari elemen kolom tepi tingkat N
Text1.Text = "KOLOM TEPI TK " & n
BATANG.Seek "=", Text1.Text
'membuat variabel
KTEPI1 = BATANG!PANJANG
KTEPI1 = BATANG!INERTIA
KTEPI1W = BATANG!Weight
'menghapus elemen yang sudah dihitung
BATANG.Delete
'mencari elemen kolom tengah tingkat N

```

```

Text1.Text = "KOLOM TENGAH TK " & n
BATANG.Seek "=", Text1.Text
'membuat variabel
KTEG1L = BATANG!PANJANG
KTEG1I = BATANG!INERTIA
KTEG1W = BATANG!Weight
'menghapus elemen yang sudah dihitung
BATANG.Delete
'mencari elemen kolom tepi tingkat N+1
Text1.Text = "KOLOM TEPI TK " & (n + 1)
BATANG.Seek "=", Text1.Text
If BATANG.NoMatch Then
KTEP2L = 0
KTEP2W = 0
Else
'membuat variabel
KTEP2L = BATANG!PANJANG
KTEP2W = BATANG!Weight
End If
'mencari elemen kolom tengah tingkat N+1
Text1.Text = "KOLOM TENGAH TK " & (n + 1)
BATANG.Seek "=", Text1.Text
If BATANG.NoMatch Then
KTEG2L = 0
KTEG2W = 0
Else
'membuat variabel
KTEG2L = BATANG!PANJANG
KTEG2W = BATANG!Weight
End If
'mencari elemen BALOK L1 tingkat N
Text1.Text = "BALOK L1 TK " & n
BATANG.Seek "=", Text1.Text
'membuat variabel
BL1L = BATANG!PANJANG
BL1Q = BATANG![beban merata]
BL1W = BATANG!Weight
'menghapus elemen yang sudah dihitung
BATANG.Delete
'mencari elemen BALOK L2 tingkat N
Text1.Text = "BALOK L2 TK " & n
BATANG.Seek "=", Text1.Text
'membuat variabel
BL2L = BATANG!PANJANG
BL2Q = BATANG![beban merata]
BL2W = BATANG!Weight
'menghapus elemen yang sudah dihitung
BATANG.Delete
'mencari elemen BALOK L3 tingkat N
If Fnewstruktur.L3.Visible = True Then
Text1.Text = "BALOK L3 TK " & n
BATANG.Seek "=", Text1.Text
'membuat variabel
BL3L = BATANG!PANJANG
BL3Q = BATANG![beban merata]
BL3W = BATANG!Weight
'menghapus elemen yang sudah dihitung
BATANG.Delete
End If
'konfirmasi bentuk bracing
If Fnewstruktur.OpBRACEX.Value = True Then
'mencari elemen BRACING X tingkat N
Text1.Text = "BRACING X TK " & n
BATANG.Seek "=", Text1.Text
'membuat variabel
Z = Val(Fnewstruktur.L2)
BRIL = BATANG!PANJANG

```



```

BR1A = BATANG!AREA
BR1W = BATANG!Weight
'menghapus elemen yang sudah dihitung
BATANG.Delete
'mencari elemen BRACING X tingkat N+1
Text1.Text = "BRACING X TK " & (n + 1)
BATANG.Seek "=", Text1.Text
If BATANG.NoMatch Then
BR2L = 0
BR2W = 0
Else
'membuat variabel
BR2L = BATANG!PANJANG
BR2W = BATANG!Weight
End If
Else
'konfirmasi bentuk bracing
If Fnewstruktur.OpBRACEV.Value = True Then
'mencari elemen BRACING V tingkat N
Text1.Text = "BRACING V TK " & n
BATANG.Seek "=", Text1.Text
'membuat variabel
Z = Val(Fnewstruktur.L2 * 0.5)
BR1L = BATANG!PANJANG
BR1A = BATANG!AREA
BR1W = BATANG!Weight
'menghapus elemen yang sudah dihitung
BATANG.Delete
'mencari elemen BRACING V tingkat N+1
Text1.Text = "BRACING V TK " & (n + 1)
BATANG.Seek "=", Text1.Text
If BATANG.NoMatch Then
BR2L = 0
BR2W = 0
Else
'membuat variabel
BR2L = BATANG!PANJANG
BR2W = BATANG!Weight
End If
Else
BR1L = 1
BR1A = 0
BR1W = 0
End If
End If
'konfirmasi bentuk structural bracing
If Fnewstruktur.OpSbraX.Value = True Then
'mencari elemen Structural Bracing X tingkat N
Text1.Text = "STR BRACED X TK " & n
BATANG.Seek "=", Text1.Text
If BATANG.NoMatch Then
'bila tingkat tidak memiliki structural bracing
Z = Val(Fnewstruktur.L1 + Fnewstruktur.L2 +
Fnewstruktur.L3)
SBR1L = 1
SBR1A = 0
SBR1W = 0
Else
'membuat variabel
Z = Val(Fnewstruktur.L2)
SBR1L = BATANG!PANJANG
SBR1A = BATANG!AREA
SBR1W = BATANG!Weight
'menghapus elemen yang sudah dihitung
BATANG.Delete
End If
'mencari elemen Structural bracing V tingkat N+rentang
bracing
Text1.Text = "STR BRACED V TK " & (n + RENTBRC)
BATANG.Seek "=", Text1.Text
If BATANG.NoMatch Then
SBR2L = 0
SBR2W = 0
Else
'membuat variabel
SBR2L = BATANG!PANJANG
SBR2W = BATANG!Weight
End If
Else
SBR1L = 1
SBR1A = 0
SBR1W = 0
End If
End If
REPORT.AddNew
REPORT!tingkat = n
REPORT!tinggi = KTEP1L
If Fnewstruktur.L3.Visible = False Then
If n = 1 Then
Mo = ((2 * 0.5 * KTEP1W * KTEP1L) + (0.5 * KTEG1W *
KTEG1L)) / 9.81
End If
REPORT!Massa = ((BL1Q + BL1W) * BL1L) + ((BL2Q +
BL2W) * BL2L) + (2 * 0.5 * KTEP1W * KTEP1L) + (0.5 *
KTEG1W * KTEG1L) + (2 * 0.5 * KTEP2W * KTEP2L) +
(0.5 * KTEG2W * KTEG2L) / 9.81
REPORT!KEKAKUAN = (2 * 12 * 20389001180# *
KTEP1L / KTEP1L ^ 3) + (12 * 20389001180# * KTEG1L /
KTEG1L ^ 3)

```

```

'mencari elemen Structural bracing X tingkat N+rentang
bracing
Text1.Text = "STR BRACED X TK " & (n + RENTBRC)
BATANG.Seek "=", Text1.Text
If BATANG.NoMatch Then
SBR2L = 0
SBR2W = 0
Else
'membuat variabel
SBR2L = BATANG!PANJANG
SBR2W = BATANG!Weight
End If
Else
'konfirmasi bentuk bracing
If Fnewstruktur.OpSbraV.Value = True Then
'mencari elemen Structural bracing V tingkat N
Text1.Text = "STR BRACED V TK " & n
BATANG.Seek "=", Text1.Text
If BATANG.NoMatch Then
'bila tingkat tidak memiliki structural bracing
Z = 0.5 * Val(Fnewstruktur.L1 + Fnewstruktur.L2 +
Fnewstruktur.L3)
SBR1L = 1
SBR1A = 0
SBR1W = 0
Else
'membuat variabel
Z = Val(Fnewstruktur.L2)
SBR1L = BATANG!PANJANG
SBR1A = BATANG!AREA
SBR1W = BATANG!Weight
'menghapus elemen yang sudah dihitung
BATANG.Delete
End If
'mencari elemen Structural bracing V tingkat N+rentang
bracing
Text1.Text = "STR BRACED V TK " & (n + RENTBRC)
BATANG.Seek "=", Text1.Text
If BATANG.NoMatch Then
SBR2L = 0
SBR2W = 0
Else
'membuat variabel
SBR2L = BATANG!PANJANG
SBR2W = BATANG!Weight
End If
Else
SBR1L = 1
SBR1A = 0
SBR1W = 0
End If
End If
REPORT.AddNew
REPORT!tingkat = n
REPORT!tinggi = KTEP1L
If Fnewstruktur.L3.Visible = False Then
If n = 1 Then
Mo = ((2 * 0.5 * KTEP1W * KTEP1L) + (0.5 * KTEG1W *
KTEG1L)) / 9.81
End If
REPORT!Massa = ((BL1Q + BL1W) * BL1L) + ((BL2Q +
BL2W) * BL2L) + (2 * 0.5 * KTEP1W * KTEP1L) + (0.5 *
KTEG1W * KTEG1L) + (2 * 0.5 * KTEP2W * KTEP2L) +
(0.5 * KTEG2W * KTEG2L) / 9.81
REPORT!KEKAKUAN = (2 * 12 * 20389001180# *
KTEP1L / KTEP1L ^ 3) + (12 * 20389001180# * KTEG1L /
KTEG1L ^ 3)

```

```

REPORT.Update
Else
If n = 1 Then
Mo = ((2 * 0.5 * KTEP1W * KTEP1L) + (2 * 0.5 *
KTEG1W * KTEG1L) + (2 * 0.5 * BR1W * BR1L)) / 9.81
End If
REPORT!Massa = (((BL1Q + BL1W) * BL1L) + ((BL2Q +
BL2W) * BL2L) + ((BL3Q + BL3W) * BL3L) + (2 * 0.5 *
KTEP1W * KTEP1L) + (2 * 0.5 * KTEG1W * KTEG1L) +
(2 * 0.5 * KTEP2W * KTEP2L) + (2 * 0.5 * KTEG2W *
KTEG2L) + (2 * 0.5 * BR1W * BR1L) + (2 * 0.5 * BR2W *
BR2L) + (2 * 0.5 * SBR1W * SBR1L)) / 9.81
REPORT!KEKAKUAN = (2 * 12 * 20389001180# *
KTEP1L / KTEP1L ^ 3) + (2 * 12 * 20389001180# *
KTEG1L / KTEG1L ^ 3) + (BR1A * 20389001180# * Z ^ 2 /
(BR1L ^ 3))
REPORT!JK_STRUC_BRACE] = (SBR1A * 20389001180#
* Z ^ 2 / (SBR1L ^ 3))
REPORT.Update
End If
Next n
MsgBox "HITUNGAN SUDAH SELESAI". vbOKOnly.
"AMIEN"
Form3.Show
End Sub

Private Sub CmHAPUS_Click()
n = Val(Fnewstruktur.NDOF.Text)
Dim TING As Integer
For TING = 1 To n
If Text2(TING).Text <> "" Then
BAT = MsgBox("MENGHAPUS DATA " &
Text2(TING).Text. vbOKCancel + vbQuestion.
"KONFIRMASI")
If BAT = vbOK Then
BATANG.Seek "=", Text2(TING).Text
BATANG.Delete
End If
End If
Next TING

Private Sub ComSAVE_Click()
n = Val(Fnewstruktur.NDOF.Text)
L1 = Val(Fnewstruktur.L1.Text)
L2 = Val(Fnewstruktur.L2.Text)
L3 = Val(Fnewstruktur.L3.Text)
H1 = Val(Fnewstruktur.H1.Text)
H2 = Val(Fnewstruktur.H2.Text)
'memasukkan data ganda
If DBCbPROFIL.Text <> "" Then
If (OpBALOK.Value = True) And (TMerata = "") Then
MsgBox "ANDA BELUM MENGISI BEBAN MERATA"
Else
Dim TING As Integer
For TING = 1 To Val(Fnewstruktur.NDOF.Text)
If Text2(TING).Text <> "" Then
'cari kode profil dalam tabel profil
PROFIL.Index = "PROFIDX"
PROFIL.Seek "=", DBCbPROFIL.Text
'konfirmasi menghindari data ganda
BATANG.Index = "ELEMIDX"
BATANG.Seek "=", Text2(TING).Text
If BATANG.NoMatch Then
BATANG.AddNew
BATANG!elemen = Text2(TING).Text
BATANG!PROFIL = DBCbPROFIL.Text
BATANG!AREA = PROFIL!AREA
BATANG!INERTIA = PROFIL!INERTIA
BATANG!Weight = PROFIL!Weight
If (OpKOLOM.Value = True) Then
If (Text2(TING).Text = "KOLOM TEPI TK 1") Or
(Text2(TING).Text = "KOLOM TENGAH TK 1") Then
BATANG!PANJANG = Fnewstruktur.H1.Text
Else
BATANG!PANJANG = Fnewstruktur.H2.Text
End If
End If
If OpBALOK.Value = True Then
BATANG!beban merata] = TMerata.Text
If (OpBALOK.Value = True) And (Op01.Value = True)
Then
BATANG!PANJANG = Fnewstruktur.L1.Text
Else
If (OpBALOK.Value = True) And (Op02.Value = True)
Then
BATANG!PANJANG = Fnewstruktur.L2.Text
Else
If (OpBALOK.Value = True) And (Op03.Value = True)
Then
BATANG!PANJANG = Fnewstruktur.L3.Text
End If
End If
End If
End If
If (OpBRACING.Value = True) And
(Fnewstruktur.OpBRACEX.Value = True) Then
If Text2(TING).Text = "BRACING X TK 1" Then
BATANG!PANJANG = Val(Fnewstruktur.H1.Text ^ 2 +
Fnewstruktur.L2.Text ^ 2) ^ 0.5
Else
BATANG!PANJANG = Val(Fnewstruktur.H2.Text ^ 2 +
Fnewstruktur.L2.Text ^ 2) ^ 0.5
End If
End If
If (OpBRACING.Value = True) And
(Fnewstruktur.OpBRACEV.Value = True) Then
If Text2(TING).Text = "BRACING V TK 1" Then
BATANG!PANJANG = Val(Fnewstruktur.H1.Text ^ 2 +
(Fnewstruktur.L2.Text / 2) ^ 2) ^ 0.5
Else
BATANG!PANJANG = Val(Fnewstruktur.H2.Text ^ 2 +
(Fnewstruktur.L2.Text / 2) ^ 2) ^ 0.5
End If
End If
If (OpSBRAC.Value = True) And
(Fnewstruktur.OpSbraX.Value = True) Then
If (Text2(TING).Text = "STR BRACED X TK 2") Or
(Text2(TING).Text = "STR BRACED X TK 3") Or
(Text2(TING).Text = "STR BRACED X TK 5") Or
((Text2(TING).Text = "STR BRACED X TK 4") And
Fnewstruktur.RENTBRC = 4) Then
BATANG!PANJANG = Val((H1 + H2 * (RENTBRC - 1))
^ 2 + (L1 + L2 + L3) ^ 2) ^ 0.5
Else
BATANG!PANJANG = Val((H2 * RENTBRC) ^ 2 + (L1 +
L2 + L3) ^ 2) ^ 0.5
End If
End If
If (OpSBRAC.Value = True) And
(Fnewstruktur.OpSbraV.Value = True) Then
If (Text2(TING).Text = "STR BRACED V TK 2") Or
(Text2(TING).Text = "STR BRACED V TK 3") Or
(Text2(TING).Text = "STR BRACED V TK 5") Or

```

```

((Text2(TING).Text = "STR BRACED V TK 4") And
Fnewstruktur.RENTBRC = 4) Then
BATANG!PANJANG = Val((H1 + H2 * (RENTBRC - 1)) ^
2 + ((L1 + L2 + L3) / 2) ^ 2) ^ 0.5
Else
BATANG!PANJANG = Val((H2 * RENTBRC) ^ 2 + ((L1 +
L2 + L3) / 2) ^ 2) ^ 0.5
End If
End If
BATANG.Update
Else
Rep = MsgBox("DATA SUDAH ADA. AKAN
MENGANTI DATA " & Text2(TING).Text, vbOKCancel
+ vbInformation, "KONFIRMASI")
If Rep = vbOK Then
BATANG.Edit
BATANG!elemen = Text2(TING).Text
BATANG!PROFIL = DBCbPROFIL.Text
BATANG!AREA = PROFIL!AREA
BATANG!INERTIA = PROFIL!INERTIA
BATANG!Weight = PROFIL!Weight
If (OpKOLOM.Value = True) Then
If (Text2(TING).Text = "KOLOM TEPI TK 1") Or
(Text2(TING).Text = "KOLOM TENGAH TK 1") Then
BATANG!PANJANG = Fnewstruktur.H1.Text
Else
BATANG!PANJANG = Fnewstruktur.H2.Text
End If
End If
If OpBALOK.Value = True Then
BATANG!|beban merata| = TMerata.Text
If (OpBALOK.Value = True) And (Op01.Value = True)
Then
BATANG!PANJANG = Fnewstruktur.L1.Text
Else
If (OpBALOK.Value = True) And (Op02.Value = True)
Then
BATANG!PANJANG = Fnewstruktur.L2.Text
Else
If (OpBALOK.Value = True) And (Op03.Value = True)
Then
BATANG!PANJANG = Fnewstruktur.L3.Text
End If
End If
End If
End If
If (OpBRACING.Value = True) And
(Fnewstruktur.OpBRACEX.Value = True) Then
If Text2(TING).Text = "BRACING X TK 1" Then
BATANG!PANJANG = Val(Fnewstruktur.H1.Text ^ 2 +
Fnewstruktur.L2.Text ^ 2) ^ 0.5
Else
BATANG!PANJANG = Val(Fnewstruktur.H2.Text ^ 2 +
Fnewstruktur.L2.Text ^ 2) ^ 0.5
End If
End If
If (OpBRACING.Value = True) And
(Fnewstruktur.OpBRACEV.Value = True) Then
If Text2(TING).Text = "BRACING V TK 1" Then
BATANG!PANJANG = Val(Fnewstruktur.H1.Text ^ 2 +
(Fnewstruktur.L2.Text / 2) ^ 2) ^ 0.5
Else
BATANG!PANJANG = Val(Fnewstruktur.H2.Text ^ 2 +
(Fnewstruktur.L2.Text / 2) ^ 2) ^ 0.5
End If
End If
If (OpSBRAC.Value = True) And
(Fnewstruktur.OpSbraX.Value = True) Then
If (Text2(TING).Text = "STR BRACED X TK 2") Or
(Text2(TING).Text = "STR BRACED X TK 3") Or
(Text2(TING).Text = "STR BRACED X TK 5") Or
((Text2(TING).Text = "STR BRACED X TK 4") And
Fnewstruktur.RENTBRC = 4) Then
BATANG!PANJANG = Val((H1 + H2 * (RENTBRC - 1))
^ 2 + (L1 + L2 + L3) ^ 2) ^ 0.5
Else
BATANG!PANJANG = Val((H2 * RENTBRC) ^ 2 + (L1 +
L2 + L3) ^ 2) ^ 0.5
End If
End If
If (OpSBRAC.Value = True) And
(Fnewstruktur.OpSbraV.Value = True) Then
If (Text2(TING).Text = "STR BRACED V TK 2") Or
(Text2(TING).Text = "STR BRACED V TK 3") Or
(Text2(TING).Text = "STR BRACED V TK 5") Or
((Text2(TING).Text = "STR BRACED V TK 4") And
Fnewstruktur.RENTBRC = 4) Then
BATANG!PANJANG = Val((H1 + H2 * (RENTBRC - 1))
^ 2 + ((L1 + L2 + L3) / 2) ^ 2) ^ 0.5
Else
BATANG!PANJANG = Val((H2 * RENTBRC) ^ 2 + ((L1
+ L2 + L3) / 2) ^ 2) ^ 0.5
End If
End If
BATANG.Update
Else
DBCbPROFIL.Text = ""
TMerata.Text = ""
End If
End If
End If
Next TING
Else
MsgBox "ANDA BELUM MEMILIH PROFIL"
End If
Adodc1.Refresh
DataGrid1.Refresh
Beep

```