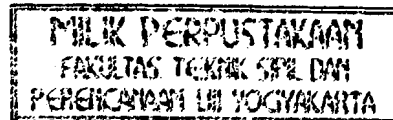


TUGAS AKHIR

**RESPONS ELASTIK STRUKTUR MDOF
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 : RIEFQI ZUHDAN PRIHANTORO
No. Mhs. : 95 310 020
Nirm. : 950051013114120020

Nama : BEBY KARMADY YOVIST
No. Mhs. : 95 310 240
NIRM. : 950051013114120237

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

2002

Tugas Akhir ini kupersembahkan untuk;

➤ *Almamater tercinta Universitas Islam Indonesia*

➤ *Teman-teman Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia*

Semoga Tugas Akhir ini bermanfaat dikemudian hari

➤ *Bapak – Ibu yang tidak bosan-bosannya selalu membimbingku dari kecil hingga sekarang,*

■ *Papa dan Mama yang selalu membimbing dan menasehatiku*

➤ *Keluarga Mbak Noor – Mas Sigit Keluarga Mbak Nafie' – Mas Pey yang selalu mengingatkan akan tanggung jawab tentang sekolahku*

■ *Adek-adekku Wiwin dan Wida yang selalu sabar dan tabah dalam menempuh kehidupan ini*

➤ *Keponakanku Rusyda Dyah Utari Aditya yang selalu mengganguku dengan tingkah lucunya*

■ *Matahari kecilku Rja Andriani you're my Inspiration*

➤ *Kupu – Kupu Liarku Palupi Listyani yang selalu menemani dan memberikan inspirasi pada saat-saat jenuh-ku*

RERE

BEBY

TUGAS AKHIR

**RESPONS ELASTIK STRUKTUR MDOF
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 : RIEFQI ZUHDAN P
No. Mhs. : 95 310 020
Nirm. : 950051013114120020**

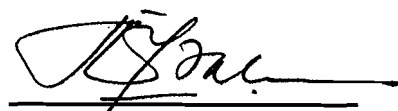
**Nama : BEBY KARMADY YOVIST
No. Mhs. : 95 310 240
NIRM. : 950051013114120237**

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

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


tanggal, 12/4/2002

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


tanggal, 17/4/2002

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Assalamu'alaikum Warahmatullah Wabarakatuh

Puji syukur Alhamdulillah kami panjatkan kehadirat 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 kehadirat Rasulullah SAW beserta keluarga, sahabat serta pengikutnya sampai akhir jaman.

Tugas akhir dengan judul “RESPONS ELASTIK STRUKTUR MDOF DENGAN MEMPERHITUNGGAN 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 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. Helmi Akbar Bale, MT, selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
3. Bapak Ir. H. Munadhir, MS, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
4. Staf Dosen dan Karyawan 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. Ria Andriani dan Sri Palupi Listyani yang tidak bosan-bosannya mengingatkan kami berdua untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
7. Rekan-rekan F'95 Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia, semoga persahabatan kita tetap terjalin terus.
8. Rekan-rekan Kost Sendowo A-7 atas dorongan dan pengertiannya selama penulisan Tugas Akhir ini.
9. Teman-teman dan semua pihak yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu, yang telah banyak membantu kami 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, Maret 2002

Rere I. Beby

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xxii
DAFTAR NOTASI.....	xxv
ABSTRAK.....	xxvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Batasan Masalah.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Pendahuluan.....	5
2.2 Permasalahan Yang Akan Diteliti.....	8
BAB III LANDASAN TEORI.....	10
3.1 Struktur dengan Derajat Kebebasan Tunggal (SDOF).....	10
3.1.1 Struktur (SDOF) Akibat Beban Dinamik.....	10

3.1.2 Struktur (SDOF) Akibat Gerakan Tanah.....	12
3.2 Struktur dengan Derajat Kebebasan Banyak (MDOF).....	13
3.3 Massa Struktur.....	16
3.4 Kekakuan Struktur.....	18
3.5 Redaman Struktur.....	20
3.6 Struktur dengan Memperhitungkan Rotasi Pondasi Akibat Gerakan Tanah.....	26
3.7 Getaran Bebas pada Struktur Derajat Kebebasan Banyak.....	30
3.7.1 Nilai Karakteristik (<i>Eigenproblem</i>).....	31
3.7.2 Metode Polinomial.....	33
3.7.3 Metode Transformasi Jacobi.....	36
3.7.4 Metode Gauss Jordan.....	40
3.8 Metode β -Newmark.....	41
BAB IV METODE PENELITIAN	45
4.1 Pengumpulan Data.....	45
4.1.1 Data Struktur.....	45
4.1.2 Data Beban Gempa dan Kandungan Frekuensi Beban Gempa.....	48
4.2 Tahapan Analisis.....	49
4.3 Pengujian.....	50
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN	51
5.1. Pendahuluan.....	51
5.2. Pembebanan Struktur.....	52

5.3. Perhitungan Massa dan Kekakuan.....	52
5.4. Analisis Respon Struktur Akibat Beban Gempa	54
5.4.1 Perhitungan Simpangan Netto.....	55
5.4.2 Perhitungan Rotasi Pondasi.....	60
5.4.3 Perhitungan Simpangan Rotasi	65
5.4.4 Perhitungan Simpangan Total.....	70
5.4.5 Perhitungan Simpangan Antar Tingkat.....	75
5.4.6 Perhitungan Gaya Horisontal Tingkat.....	80
5.4.7 Perhitungan Gaya Geser Tingkat	85
5.4.8 Perhitungan Momen Guling.....	90
5.5. Pembahasan	95
5.5.1 Simpangan Netto.....	95
5.5.2 Rotasi Pondasi.....	102
5.5.3 Simpangan Rotasi.....	106
5.5.4 Simpangan Total	111
5.5.5 Simpangan Antar Tingkat.....	117
5.5.6 Gaya Horisontal Tingkat.....	123
5.5.7 Gaya Geser Tingkat.....	129
5.5.8 Momen Guling	135
5.6 Perbandingan Penggunaan Nilai Redaman.....	141
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....	151
6.1 Kesimpulan.....	151
6.2 Saran.....	152

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

	Hal.
1. Gambar 3.1	Model sistem SDOF akibat beban dinamik..... 11
2. Gambar 3.2	Model sistem SDOF akibat gerakan tanah..... 12
3. Gambar 3.3	Struktur MDOF 24
4. Gambar 3.4	Struktur MDOF dengan rotasi pondasi 26
5. Gambar 3.5	Struktur bangunan 3 derajat kebebasan..... 33
6. Gambar 4.1	Denah model struktur 12 tingkat..... 46
7. Gambar 4.2	Potongan portal D struktur 12 tingkat 46
8. Gambar 5.1	Simpangan netto struktur 12 tingkat akibat gempa Bucharest dengan $k_h=2E+15$, $k_r=4E+15$ 56
9. Gambar 5.2	Simpangan netto struktur 12 tingkat akibat gempa Elcentro dengan $k_h=2E+15$, $k_r=4E+15$ 56
10. Gambar 5.3	Simpangan netto struktur 12 tingkat akibat gempa Koyna dengan $k_h=2E+15$, $k_r=4E+15$ 56
11. Gambar 5.4	Simpangan netto struktur 12 tingkat akibat gempa Bucharest dengan $k_h=2E+07$, $k_r=4E+08$ 57
12. Gambar 5.5	Simpangan netto struktur 12 tingkat akibat gempa Elcentro dengan $k_h=2E+07$, $k_r=4E+08$ 57
13. Gambar 5.6	Simpangan netto struktur 12 tingkat akibat gempa Koyna dengan $k_h=2E+07$, $k_r=4E+08$ 57

14. Gambar 5.7	Simpangan netto struktur 12 tingkat akibat gempa Bucharest dengan $k_h=2E+07$, $k_r=2E+08$	58
15. Gambar 5.8	Simpangan netto struktur 12 tingkat akibat gempa Elcentro dengan $k_h=2E+07$, $k_r=2E+08$	58
16. Gambar 5.9	Simpangan netto struktur 12 tingkat akibat gempa Koyna dengan $k_h=2E+07$, $k_r=2E+08$	58
17. Gambar 5.10	Simpangan netto struktur 12 tingkat akibat gempa Bucharest dengan $k_h=1E+07$, $k_r=4E+08$	59
18. Gambar 5.11	Simpangan netto struktur 12 tingkat akibat gempa Elcentro dengan $k_h=1E+07$, $k_r=4E+08$	59
19. Gambar 5.12	Simpangan netto struktur 12 tingkat akibat gempa Koyna dengan $k_h=1E+07$, $k_r=4E+08$	59
20. Gambar 5.13	Rotasi pondasi struktur 12 tingkat akibat gempa Bucharest dengan $k_h=2E+15$, $k_r=4E+15$	61
21. Gambar 5.14	Rotasi pondasi struktur 12 tingkat akibat gempa Elcentro dengan $k_h=2E+15$, $k_r=4E+15$	61
22. Gambar 5.15	Rotasi pondasi struktur 12 tingkat akibat gempa Koyna dengan $k_h=2E+15$, $k_r=4E+15$	61
23. Gambar 5.16	Rotasi pondasi struktur 12 tingkat akibat gempa Bucharest dengan $k_h=2E+07$, $k_r=4E+08$	62
24. Gambar 5.17	Rotasi pondasi struktur 12 tingkat akibat gempa Elcentro dengan $k_h=2E+07$, $k_r=4E+08$	62

25.	Gambar 5.18	Rotasi pondasi struktur 12 tingkat akibat gempa Koyna dengan $kh=2E+07$, $kr=4E+08$	62
26.	Gambar 5.19	Rotasi pondasi struktur 12 tingkat akibat gempa Bucharest dengan $kh=2E+07$, $kr=2E+08$	63
27.	Gambar 5.20	Rotasi pondasi struktur 12 tingkat akibat gempa Elcentro dengan $kh=2E+07$, $kr=2E+08$	63
28.	Gambar 5.21	Rotasi pondasi struktur 12 tingkat akibat gempa Koyna dengan $kh=2E+07$, $kr=2E+08$	63
29.	Gambar 5.22	Rotasi pondasi struktur 12 tingkat akibat gempa Bucharest dengan $kh=1E+07$, $kr=4E+08$	64
30.	Gambar 5.23	Rotasi pondasi struktur 12 tingkat akibat gempa Elcentro dengan $kh=1E+07$, $kr=4E+08$	64
31.	Gambar 5.24	Rotasi pondasi struktur 12 tingkat akibat gempa Koyna dengan $kh=1E+07$, $kr=4E+08$	64
32.	Gambar 5.25	Simpangan rotasi struktur 12 tingkat akibat gempa Bucharest dengan $kh=2E+15$, $kr=4E+15$	66
33.	Gambar 5.26	Simpangan rotasi struktur 12 tingkat akibat gempa Elcentro dengan $kh=2E+15$, $kr=4E+15$	66
34.	Gambar 5.27	Simpangan rotasi struktur 12 tingkat akibat gempa Koyna dengan $kh=2E+15$, $kr=4E+15$	66
35.	Gambar 5.28	Simpangan rotasi struktur 12 tingkat akibat gempa Bucharest dengan $kh=2E+07$, $kr=4E+08$	67

36. Gambar 5.29	Simpangan rotasi struktur 12 tingkat akibat gempa Elcentro dengan $k_h=2E+07$, $k_r=4E+08$	67
37. Gambar 5.30	Simpangan rotasi struktur 12 tingkat akibat gempa Koyna dengan $k_h=2E+07$, $k_r=4E+08$	67
38. Gambar 5.31	Simpangan rotasi struktur 12 tingkat akibat gempa Bucharest dengan $k_h=2E+07$, $k_r=2E+08$	68
39. Gambar 5.32	Simpangan rotasi struktur 12 tingkat akibat gempa Elcentro dengan $k_h=2E+07$, $k_r=2E+08$	68
40. Gambar 5.33	Simpangan rotasi struktur 12 tingkat akibat gempa Koyna dengan $k_h=2E+07$, $k_r=2E+08$	68
41. Gambar 5.34	Simpangan rotasi struktur 12 tingkat akibat gempa Bucharest dengan $k_h=1E+07$, $k_r=4E+08$	69
42. Gambar 5.35	Simpangan rotasi struktur 12 tingkat akibat gempa Elcentro dengan $k_h=1E+07$, $k_r=4E+08$	69
43. Gambar 5.36	Simpangan rotasi struktur 12 tingkat akibat gempa Koyna dengan $k_h=1E+07$, $k_r=4E+08$	69
44. Gambar 5.37	Simpangan total struktur 12 tingkat akibat gempa Bucharest dengan $k_h=2E+15$, $k_r=4E+15$	71
45. Gambar 5.38	Simpangan total struktur 12 tingkat akibat gempa Elcentro dengan $k_h=2E+15$, $k_r=4E+15$	71
46. Gambar 5.39	Simpangan total struktur 12 tingkat akibat gempa Koyna dengan $k_h=2E+15$, $k_r=4E+15$	71

47.	Gambar 5.40	Simpangan total struktur 12 tingkat akibat gempa Bucharest dengan $kh=2E+07$, $kr=4E+08$	72
48.	Gambar 5.41	Simpangan total struktur 12 tingkat akibat gempa Elcentro dengan $kh=2E+07$, $kr=4E+08$	72
49.	Gambar 5.42	Simpangan total struktur 12 tingkat akibat gempa Koyna dengan $kh=2E+07$, $kr=4E+08$	72
50.	Gambar 5.43	Simpangan total struktur 12 tingkat akibat gempa Bucharest dengan $kh=2E+07$, $kr=2E+08$	73
51.	Gambar 5.44	Simpangan total struktur 12 tingkat akibat gempa Elcentro dengan $kh=2E+07$, $kr=2E+08$	73
52.	Gambar 5.45	Simpangan total struktur 12 tingkat akibat gempa Koyna dengankh= $2E+07$, $kr=2E+08$	73
53.	Gambar 5.46	Simpangan total struktur 12 tingkat akibat gempa Bucharest dengan $kh=1E+07$, $kr=4E+08$	74
54.	Gambar 5.47	Simpangan total struktur 12 tingkat akibat gempa Elcentro dengan $kh=1E+07$, $kr=4E+08$	74
55.	Gambar 5.48	Simpangan total struktur 12 tingkat akibat gempa Koyna dengan $kh=1E+07$, $kr=4E+08$	74
56.	Gambar 5.49	Interstorey drift struktur 12 tingkat akibat gempa Bucharest dengan $kh=2E+15$, $kr=4E+15$	76
57.	Gambar 5.50	Interstorey drift struktur 12 tingkat akibat gempa Elcentro dengan $kh=2E+15$, $kr=4E+15$	76

58.	Gambar 5.51	Interstorey drift struktur 12 tingkat akibat gempa Koyna dengan $k_h=2E+15$, $k_r=4E+15$	76
59.	Gambar 5.52	Interstorey drift struktur 12 tingkat akibat gempa Bucharest dengan $k_h=2E+07$, $k_r=4E+08$	77
60.	Gambar 5.53	Interstorey drift struktur 12 tingkat akibat gempa Elcentro dengan $k_h=2E+07$, $k_r=4E+08$	77
61.	Gambar 5.54	Interstorey drift struktur 12 tingkat akibat gempa Koyna dengan $k_h=2E+07$, $k_r=4E+08$	77
62.	Gambar 5.55	Interstorey drift struktur 12 tingkat akibat gempa Bucharest dengan $k_h=2E+07$, $k_r=2E+08$	78
63.	Gambar 5.56	Interstorey drift struktur 12 tingkat akibat gempa Elcentro dengan $k_h=2E+07$, $k_r=2E+08$	78
64.	Gambar 5.57	Interstorey drift struktur 12 tingkat akibat gempa Koyna dengan $k_h=2E+07$, $k_r=2E+08$	78
65.	Gambar 5.58	Interstorey drift struktur 12 tingkat akibat gempa Bucharest dengan $k_h=1E+07$, $k_r=4E+08$	79
66.	Gambar 5.59	Interstorey drift struktur 12 tingkat akibat gempa Elcentro dengan $k_h=1E+07$, $k_r=4E+08$	79
67.	Gambar 5.60	Interstorey drift struktur 12 tingkat akibat gempa Koyna dengan $k_h=1E+07$, $k_r=4E+08$	79
68.	Gambar 5.61	Gaya horisontal tingkat struktur 12 tingkat akibat gempa Bucharest dengan $k_h=2E+15$, $k_r=4E+15$	81

69.	Gambar 5.62	Gaya horisontal tingkat struktur 12 tingkat akibat gempa Elcentro dengan $k_h=2E+15$, $k_r=4E+15$	81
70.	Gambar 5.63	Gaya horisontal tingkat struktur 12 tingkat akibat gempa Koyna dengan $k_h=2E+15$, $k_r=4E+15$	81
71.	Gambar 5.64	Gaya horisontal tingkat struktur 12 tingkat akibat gempa Bucharest dengan $k_h=2E+07$, $k_r=4E+08$	82
72.	Gambar 5.65	Gaya horisontal tingkat struktur 12 tingkat akibat gempa Elcentro dengan $k_h=2E+07$, $k_r=4E+08$	82
73.	Gambar 5.66	Gaya horisontal tingkat struktur 12 tingkat akibat gempa Koyna dengan $k_h=2E+07$, $k_r=4E+08$	82
74.	Gambar 5.67	Gaya horisontal tingkat struktur 12 tingkat akibat gempa Bucharest dengan $k_h=2E+07$, $k_r=2E+08$	83
75.	Gambar 5.68	Gaya horisontal tingkat struktur 12 tingkat akibat gempa Elcentro dengan $k_h=2E+07$, $k_r=2E+08$	83
76.	Gambar 5.69	Gaya horisontal tingkat struktur 12 tingkat akibat gempa Koyna dengan $k_h=2E+07$, $k_r=2E+08$	83
77.	Gambar 5.70	Gaya horisontal tingkat struktur 12 tingkat akibat gempa Bucharest dengan $k_h=1E+07$, $k_r=4E+08$	84
78.	Gambar 5.71	Gaya horisontal tingkat struktur 12 tingkat akibat gempa Elcentro dengan $k_h=1E+07$, $k_r=4E+08$	84
79.	Gambar 5.72	Gaya horisontal tingkat struktur 12 tingkat akibat gempa Koyna dengan $k_h=1E+07$, $k_r=4E+08$	84

80.	Gambar 5.73	Gaya geser tingkat struktur 12 tingkat akibat gempa Bucharest dengan $k_h=2E+15$, $k_r=4E+15$	86
81.	Gambar 5.74	Gaya geser tingkat struktur 12 tingkat akibat gempa Elcentro dengan $k_h=2E+15$, $k_r=4E+15$	86
82.	Gambar 5.75	Gaya geser tingkat struktur 12 tingkat akibat gempa Koyna dengan $k_h=2E+15$, $k_r=4E+15$	86
83.	Gambar 5.76	Gaya geser tingkat struktur 12 tingkat akibat gempa Bucharest dengan $k_h=2E+07$, $k_r=4E+08$	87
84.	Gambar 5.77	Gaya geser tingkat struktur 12 tingkat akibat gempa Elcentro dengan $k_h=2E+07$, $k_r=4E+08$	87
85.	Gambar 5.78	Gaya geser tingkat struktur 12 tingkat akibat gempa Koyna dengan $k_h=2E+07$, $k_r=4E+08$	87
86.	Gambar 5.79	Gaya geser tingkat struktur 12 tingkat akibat gempa Bucharest dengan $k_h=2E+07$, $k_r=2E+08$	88
87.	Gambar 5.80	Gaya geser tingkat struktur 12 tingkat akibat gempa Elcentro dengan $k_h=2E+07$, $k_r=2E+08$	88
88.	Gambar 5.81	Gaya geser tingkat struktur 12 tingkat akibat gempa Koyna dengan $k_h=2E+07$, $k_r=2E+08$	88
89.	Gambar 5.82	Gaya geser tingkat struktur 12 tingkat akibat gempa Bucharest dengan $k_h=1E+07$, $k_r=4E+08$	89
90.	Gambar 5.83	Gaya geser tingkat struktur 12 tingkat akibat gempa Elcentro dengan $k_h=1E+07$, $k_r=4E+08$	89

91. Gambar 5.84	Gaya geser tingkat struktur 12 tingkat akibat gempa Koyna dengan $k_h=1E+07$, $k_r=4E+08$	89
92. Gambar 5.85	Momen guling struktur 12 tingkat akibat gempa Bucharest dengan $k_h=2E+15$, $k_r=4E+15$	91
93. Gambar 5.86	Momen guling struktur 12 tingkat akibat gempa Elcentro dengan $k_h=2E+15$, $k_r=4E+15$	91
94. Gambar 5.87	Momen guling struktur 12 tingkat akibat gempa Koyna dengan $k_h=2E+15$, $k_r=4E+15$	91
95. Gambar 5.88	Momen guling struktur 12 tingkat akibat gempa Bucharest dengan $k_h=2E+07$, $k_r=4E+08$	92
96. Gambar 5.89	Momen guling struktur 12 tingkat akibat gempa Elcentro dengan $k_h=2E+07$, $k_r=4E+08$	92
97. Gambar 5.90	Momen guling struktur 12 tingkat akibat gempa Koyna dengan $k_h=2E+07$, $k_r=4E+08$	92
98. Gambar 5.91	Momen guling struktur 12 tingkat akibat gempa Bucharest dengan $k_h=2E+07$, $k_r=2E+08$	93
99. Gambar 5.92	Momen guling struktur 12 tingkat akibat gempa Elcentro dengan $k_h=2E+07$, $k_r=2E+08$	93
100. Gambar 5.93	Momen guling struktur 12 tingkat akibat gempa Koyna dengan $k_h=2E+07$, $k_r=2E+08$	93
101. Gambar 5.94	Momen guling struktur 12 tingkat akibat gempa Bucharest dengan $k_h=1E+07$, $k_r=4E+08$	94

102. Gambar 5.85	Momen guling struktur 12 tingkat akibat gempa Elcentro dengan $k_h=1E+07$, $k_r=4E+08$	94
103. Gambar 5.96	Momen guling struktur 12 tingkat akibat gempa Koyna dengan $k_h=1E+07$, $k_r=4E+08$	94
104. Gambar 5.97	Grafik simpangan netto maksimum akibat 3 gempa	96
105. Gambar 5.98	Grafik simpangan netto maksimum dengan 4 kombinasi	97
106. Gambar 5.99	Grafik simpangan netto maksimum dengan 4 kombinasi lawan waktu.....	98
107. Gambar 5.100	Grafik rotasi pondasi akibat 3 gempa.....	103
108. Gambar 5.101	Grafik rotasi pondasi dengan 4 kombinasi lawan waktu.....	104
109. Gambar 5.102	Grafik simpangan rotasi maksimum akibat 3 gempa	106
110. Gambar 5.103	Grafik simpangan rotasi maksimum dengan 4 kombinasi	107
111. Gambar 5.104	Grafik simpangan rotasi maksimum dengan 4 kombinasi lawan waktu.....	108
112. Gambar 5.105	Grafik simpangan total maksimum akibat 3 gempa	112
113. Gambar 5.106	Grafik simpangan total maksimum dengan 4 kombinasi	113

114. Gambar 5.107	Grafik simpangan total maksimum dengan 4 kombinasi lawan waktu.....	114
115. Gambar 5.108	Grafik simpangan antar tingkat maksimum akibat 3 gempa.....	118
116. Gambar 5.109	Grafik simpangan antar tingkat maksimum dengan 4 kombinasi.....	119
117. Gambar 5.110	Grafik simpangan antar tingkat maksimum dengan 4 kombinasi lawan waktu	120
118. Gambar 5.111	Grafik gaya horisontal tingkat maksimum akibat 3 gempa	124
119. Gambar 5.112	Grafik gaya horisontal tingkat maksimum dengan 4 kombinasi.....	125
120. Gambar 5.113	Grafik gaya horisontal tingkat maksimum dengan 4 kombinasi lawan waktu	126
121. Gambar 5.114	Grafik gaya geser tingkat maksimum akibat 3 gempa	130
122. Gambar 5.115	Grafik gaya geser tingkat maksimum dengan 4 kombinasi	131
123. Gambar 5.116	Grafik gaya geser tingkat maksimum dengan 4 kombinasi lawan waktu.....	132
124. Gambar 5.117	Grafik momen guling maksimum akibat 3 gempa	136
125. Gambar 5.118	Grafik momen guling maksimum dengan 4 kombinasi	137

126. Gambar 5.119	Grafik momen guling maksimum dengan 4 kombinasi lawan waktu.....	138
127. Gambar 5.120	Grafik simpangan netto dengan 3 kombinasi redaman.....	142
128. Gambar 5.119	Grafik rotasi dengan 3 kombinasi redaman.....	143
129. Gambar 5.119	Grafik simpangan rotasi dengan 3 kombinasi redaman.....	144
130. Gambar 5.119	Grafik simpangan total dengan 3 kombinasi redaman.....	145
131. Gambar 5.119	Grafik simpangan antar tingkat dengan 3 kombinasi redaman.....	146
132. Gambar 5.119	Grafik gaya horisontal tingkat dengan 3 kombinasi redaman.....	147
133. Gambar 5.119	Grafik gaya geser tingkat dengan 3 kombinasi redaman.....	148
134. Gambar 5.119	Grafik momen guling dengan 3 kombinasi redaman.....	149

DAFTAR TABEL

	hal.
1. Tabel 3.1 Nilai-nilai rasio redaman untuk berbagai jenis kondisi	21
2. Tabel 4.1 Data dimensi kolom struktur 12 tingkat	47
3. Tabel 4.2 Data dimensi balok struktur 12 tingkat	47
4. Tabel 4.3 Data kandungan frekuensi beban gempa (A/V rasio).....	49
5. Tabel 5.1 Hasil perhitungan beban pada struktur 12 tingkat.....	52
6. Tabel 5.2 Hasil perhitungan massa struktur 12 tingkat	53
7. Tabel 5.3 Hasil perhitungan kekakuan struktur 12 tingkat.....	54
8. Tabel 5.4 Simpangan netto maksimum struktur 12 tingkat kh=2E+15, kr=4E+15	99
9. Tabel 5.5 Simpangan netto maksimum struktur 12 tingkat kh=2E+07, kr=4E+08	99
10. Tabel 5.6 Simpangan netto maksimum struktur 12 tingkat kh=2E+07, kr=2E+08	100
11. Tabel 5.7 Simpangan netto maksimum struktur 12 tingkat kh=1E+07, kr=4E+08	100
12. Tabel 5.8 Rotasi pondasi maksimum struktur 12 tingkat.....	105
13. Tabel 5.9 Simpangan rotasi maksimum struktur 12 tingkat kh=2E+15, kr=4E+15	109

14. Tabel 5.10	Simpangan rotasi maksimum struktur 12 tingkat kh=2E+07, kr=4E+08	109
15. Tabel 5.11	Simpangan rotasi maksimum struktur 12 tingkat kh=2E+07, kr=2E+08	110
16. Tabel 5.12	Simpangan rotasi maksimum struktur 12 tingkat kh=1E+07, kr=4E+08	110
17. Tabel 5.13	Simpangan total maksimum struktur 12 tingkat kh=2E+15, kr=4E+15	115
18. Tabel 5.14	Simpangan total maksimum struktur 12 tingkat kh=2E+07, kr=4E+08	115
19. Tabel 5.15	Simpangan total maksimum struktur 12 tingkat kh=2E+07, kr=2E+08	116
20. Tabel 5.16	Simpangan total maksimum struktur 12 tingkat kh=1E+07, kr=4E+08	116
21. Tabel 5.17	Simpangan antar tingkat maksimum struktur 12 tingkat kh=2E+15, kr=4E+15	121
22. Tabel 5.18	Simpangan antar tingkat maksimum struktur 12 tingkat kh=2E+07, kr=4E+08	121
23. Tabel 5.19	Simpangan antar tingkat maksimum struktur 12 tingkat kh=2E+07, kr=2E+08	122
24. Tabel 5.20	Simpangan antar tingkat maksimum struktur 12 tingkat kh=1E+07, kr=4E+08	122

25. Tabel 5.21	Gaya horisontal tingkat maksimum struktur 12 tingkat kh=2E+15, kr=4E+15	127
26. Tabel 5.22	Gaya horisontal tingkat maksimum struktur 12 tingkat kh=2E+07, kr=4E+08	127
27. Tabel 5.23	Gaya horisontal tingkat maksimum struktur 12 tingkat kh=2E+07, kr=2E+08	128
28. Tabel 5.24	Gaya horisontal tingkat maksimum struktur 12 tingkat kh=1E+07, kr=4E+08	128
29. Tabel 5.25	Gaya geser tingkat maksimum struktur 12 tingkat kh=2E+15, kr=4E+15	133
30. Tabel 5.26	Gaya geser tingkat maksimum struktur 12 tingkat kh=2E+07, kr=4E+08	133
31. Tabel 5.27	Gaya geser tingkat maksimum struktur 12 tingkat kh=2E+07, kr=2E+08	134
32. Tabel 5.28	Gaya geser tingkat maksimum struktur 12 tingkat kh=1E+07, kr=4E+08	134
33. Tabel 5.29	Momen guling maksimum struktur 12 tingkat kh=2E+15, kr=4E+15	139
34. Tabel 5.30	Momen guling maksimum struktur 12 tingkat kh=2E+07, kr=4E+08	139
35. Tabel 5.31	Momen guling maksimum struktur 12 tingkat kh=2E+07, kr=2E+08	140
36. Tabel 5.32	Momen guling maksimum struktur 12 tingkat kh=1E+07, kr=4E+08	140

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
- ΔP_i : intensitas pembebanan
- Δt : interval waktu

- Δy : 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
- θ : sudut rotasi
- λ : percepatan sudut
- ω : frekuensi sudut
- ϕ : mode shape
- ξ : rasio redaman

ABSTRAK

Perancangan struktur tahan gempa, pada prinsipnya adalah pengendalian simpangan struktur, yang meliputi *relative displacement* dan *inter story drift*. Representasi terbaik dari beban gempa adalah riwayat percepatan tanah (*Time History Acceleration*) dan dari riwayat percepatan tanah dapat diketahui kandungan frekuensi beban gempa. Pada kondisi beban yang sudah kompleks misalnya beban gempa, maka respon struktur tidak mungkin dihitung secara analitik, apalagi pada struktur dengan derajat kebebasan banyak baik pada respon *elastik* maupun *inelastik*. Untuk mengatasi kesulitan pemakaian cara analitik pada problema yang sudah kompleks, maka hitungan secara numerik sering dipakai. Proses perhitungan numerik yang digunakan adalah Metode Integrasi β -Newmark dan menjadi pokok bahasan dalam penulisan Tugas Akhir ini.

Metode Integrasi β -Newmark ini mempunyai dua pendekatan dasar yaitu: (1) percepatan dianggap bervariasi linier sepanjang selang waktu dan (2) karakteristik redaman dan kekakuan dari struktur dievaluasi pada awal selang waktu dan dianggap tetap konstan sepanjang selang waktu tersebut. Proses perhitungan dengan menggunakan metode β -Newmark tanpa melalui perhitungan mode shape atau dengan kata lain proses perhitungan dilakukan dengan Integrasi Persamaan Differensial secara langsung. Untuk menyelesaikan persamaan-persamaan dalam Metode β -Newmark ini kami membuat program bantu dengan bahasa Microsoft Visual Basic 6.0 yang diberi nama PROGSIP 2002. Di samping itu untuk memvisualisasikan grafik dari *output* program tersebut digunakan Microsoft Excel.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan beban gempa, kekakuan horisontal dan kekakuan putar tanah, redaman horisontal dan redaman putar tanah dan juga untuk mengetahui hubungan antara parameter gerakan tanah (percepatan tanah, waktu dan frekuensi) dengan respon struktur. Berdasarkan respon dari struktur 12 tingkat serta tiga beban gempa yang dibedakan menurut kandungan frekuensinya yaitu untuk frekuensi rendah dipakai gempa Bucharest, frekuensi sedang dipakai gempa Elcentro sedangkan untuk frekuensi tinggi gempa Koyna maka dapat disimpulkan sebagai berikut : 1) Gempa dengan percepatan tanah yang maksimum dan durasi waktu yang lama tidak menyebabkan respon struktur menjadi maksimum. 2) Gempa dengan kandungan frekuensi tinggi cenderung menyebabkan respon yang relatif kecil dibandingkan dengan respon akibat gempa dengan frekuensi sedang dan rendah. 3) Kekakuan putar tanah (k_r) lebih berpengaruh terhadap respon struktur, sedangkan kekakuan horisontal tanah (k_h) berpengaruh terhadap simpangan maksimum pondasi. 4) Struktur dengan dukungan tanah *fixed* memberi respon yang besar pada simpangan netto, simpangan antar tingkat, gaya horisontal tingkat, gaya geser tingkat dan momen guling. 5) Gaya horisontal tingkat beban gempa statik pada perencanaan mendekati sama dengan gaya horisontal tingkat akibat gempa Koyna pada kondisi *code level*.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Tingkat pertumbuhan penduduk Indonesia yang cukup pesat dewasa ini menuntut antisipasi penyediaan sarana dan prasarana berupa perumahan dalam skala besar, perkantoran, pertokoan dan pelayanan umum yang sangat kompleks terutama untuk memenuhi tuntutan di daerah perkotaan yang mempunyai keterbatasan lahan.

Sejalan dengan perkembangan dunia konstruksi modern dewasa ini yang semakin pesat dan cenderung menuju ke arah pembangunan struktur gedung bertingkat banyak. Untuk menjawab kecenderungan tersebut diperlukan pengetahuan analisis struktur yang baik dan memadai guna mengantisipasi hal tersebut. Analisis struktur dan disain dengan cara yang sistematis, cepat dan teliti semakin diperlukan.

Suatu struktur terutama gedung bertingkat akan banyak mengalami pembebanan. Dimana bukan hanya beban statis yang bekerja pada struktur tersebut tetapi juga terdapat beban dinamis seperti angin, mesin, pergerakan manusia dalam struktur, dan juga yang sangat penting adalah beban akibat gempa bumi. Beban-beban tersebut sangat mempengaruhi kekuatan struktur. Beban dinamis khususnya gempa bumi mempunyai kemampuan merusak yang sangat

besar. Jenis-jenis kerusakan akibat beban gempa antara lain adalah efek perlemahan tingkat, perilaku kolom dan balok pendek, perbesaran rotasi total joint, terjadinya rotasi pondasi dan benturan antara bangunan yang berdekatan yang diakibatkan oleh gaya geser tingkat.

Secara umum struktur bangunan gedung tidaklah selalu dinyatakan dalam suatu sistem yang mempunyai derajat kebebasan tunggal (*Single Degree Of Freedom*, SDOF). Struktur bangunan gedung justru banyak yang mempunyai derajat kebebasan banyak (*Multi Degree Of Freedom*, MDOF). Pada struktur gedung bertingkat banyak, umumnya massa struktur dapat digumpalkan ke tempat-tempat tertentu misalnya digumpalkan pada tiap-tiap muka lantai tingkat. Dengan demikian struktur yang mempunyai derajat kebebasan tak terhingga akan menjadi struktur dengan derajat kebebasan terbatas.

Pada kondisi beban yang sudah kompleks misalnya beban gempa maka respon struktur tidak mungkin dihitung secara analitik, apalagi pada struktur dengan derajat kebebasan banyak pada respon elastik maupun inelastik. Untuk mengatasi kesulitan pemakaian cara analitik pada masalah yang sudah kompleks maka hitungan secara numerik sering dipakai. Hitungan ini tidak lagi secara analitik tetapi proses hitungan dibuat sedemikian rupa sehingga persoalan dapat diselesaikan dengan menggunakan numerik, yaitu hitungan dengan menggunakan angka. Hitungan secara numerik ini dapat diwakilkan pada komputer melalui suatu program.

Pada penelitian-penelitian yang lalu dukungan suatu struktur dianggap jepit penuh, sehingga pada struktur tidak terjadi rotasi pondasi. Oleh karena itu

pada penelitian ini memperhitungkan pengaruh rotasi pondasi struktur, karena akibat gerakan tanah yang disebabkan gempa bumi dukungan struktur tidak jepit penuh karena dipengaruhi oleh kekakuan horizontal, kekakuan vertikal dan kekakuan putar tanah yang berbeda. Adapun respon struktur yang dianalisis dalam tugas akhir ini meliputi simpangan, rotasi pondasi, simpangan rotasi, simpangan total, simpangan antar tingkat, gaya horizontal tingkat, gaya geser tingkat dan momen guling.

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Apakah terdapat hubungan antara parameter gerakan tanah (nilai maksimum percepatan tanah, durasi atau lamanya gempa serta kandungan frekuensi) dengan respon struktur.
2. Bagaimana pengaruh penggunaan kekakuan horizontal dan kekakuan putar tanah yang berbeda terhadap respon struktur.

1.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah yang ada maka dalam tugas akhir ini menggunakan metode integrasi secara langsung menurut β -Newmark. Tujuan penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Untuk mengetahui hubungan antara parameter gerakan tanah (nilai maksimum percepatan tanah, lamanya gempa serta kandungan frekuensi) dengan respon struktur.
2. Untuk mengetahui respon struktur jika kekakuan horizontal dan kekakuan putar tanah yang digunakan berbeda.

1.4 Manfaat Penelitian

Dengan memperhitungkan beban gempa yang terjadi maka hasil yang diperoleh dapat digunakan dalam mengestimasi efek rotasi pondasi dan gaya geser tingkat terhadap perencanaan suatu struktur.

1.5 Batasan Masalah

Beberapa batasan masalah yang dipakai dalam penyelesaian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Analisa dan perhitungan diambil dari data struktur yang sudah ada.
2. Analisa massa struktur digunakan sistem massa dianggap menggumpal pada satu titik (*lumped mass*).
3. Untuk menghitung kekakuan kolom struktur berdasarkan prinsip *Shear Building*.
4. Nilai redaman horisontal tanah (c_h) dan redaman putar (c_r) tanah ditetapkan sebesar $c_h=525000 \text{ kg}\cdot\text{dt}/\text{m}$, $c_r=993000 \text{ kg}\cdot\text{dt}/\text{rad}$
5. Nilai kekakuan horisontal tanah (k_h) dan kekakuan putar tanah (k_r) ditetapkan sebesar, $k_h=2\text{E}+15 \text{ kg}/\text{m}$; $k_r=4\text{E}+15 \text{ kg}/\text{rad}$, $k_h=2\text{E}+07 \text{ kg}/\text{m}$; $k_r=4\text{E}+08 \text{ kg}/\text{rad}$, $k_h=2\text{E}+07 \text{ kg}/\text{m}$; $k_r=2\text{E}+08 \text{ kg}/\text{rad}$ dan $k_h=1\text{E}+07 \text{ kg}/\text{m}$; $k_r=4\text{E}+08 \text{ kg}/\text{rad}$.
6. Kekakuan vertikal tanah tidak diperhitungkan.
7. Besarnya redaman dapat dihitung dengan 3 alternatif, sedangkan pada perhitungan analisis digunakan alternatif ke-1.
8. Percepatan tanah diambil dari data gempa yang sudah ada pada kondisi *code level*.
9. Pembuatan program dengan Microsoft Visual Basic 6.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

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 agar memberikan hasil yang optimal.

2.1 Pendahuluan

Dalam mendesain struktur bangunan penguasaan ilmu tentang struktur sangat mutlak diperlukan. Penggunaan komputer sebagai alat bantu dapat dirasakan manfaatnya, karena pemakaian komputer sangat membantu memudahkan dan mempercepat perhitungan-perhitungan dengan teliti, yang apabila dilakukan secara manual akan memerlukan waktu yang lama dengan tingkat ketelitian yang terbatas.

Banyak program bantu dalam perhitungan struktur yang dapat digunakan, seperti Matlab, Microsoft Visual Basic, Borland Delphi dan lain-lainnya. Dalam penelitian ini menggunakan bahasa Microsoft Visual Basic 6.0 untuk membuat program PROGSIP 2002.

Pada penyusunan tugas akhir ini menggunakan tinjauan pustaka penelitian-penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya, antara lain :

1. Eddi Wahyudi dan Hamdi Buldan (1995).

Kedua peneliti ini mengambil topik *Analisa Dinamik pada Struktur Gedung Bertingkat Banyak*. Dalam penelitian ini kedua peneliti mencoba mencari metode yang tepat dalam perencanaan gedung bertingkat banyak yaitu menggunakan analisa dinamik. Dengan menggunakan metode ini hasil yang diperoleh akan dianalisa dan dibandingkan dengan hasil perencanaan apabila digunakan metode analisis statik ekuivalen yang telah umum digunakan. Sistem pembahasan yang dilakukan akan dimulai dari metode analisis menggunakan derajat kebebasan tunggal (SDOF) dan kemudian meningkat pada derajat kebebasan banyak (MDOF).

Pada penelitian ini percepatan tanah tidak diperhitungkan maka hasilnya selalu tetap, padahal semakin besar percepatan tanah semakin besar pula gaya geser gempa yang terjadi, dan selain itu gaya geser yang dihasilkan oleh metode ini tidak terdistribusi secara linier.

2. Dhani Prasetyo dan Jayadi Windu Armita (2000).

Kedua peneliti ini mengambil topik *Respon Seismik Struktur Beton Bertingkat Banyak Akibat Beban Gempa*. Pada penelitian ini kedua peneliti mencoba mengetahui sejauh mana pengaruh kandungan frekuensi beban gempa terhadap respon struktur bertingkat banyak dengan melihat hasil analisa simpangan relatif, simpangan antar tingkat, gaya geser tingkat dan gaya geser dasar. Untuk memperoleh rentang frekuensi atau rasio percepatan maksimum dan kecepatan

maksimum beban gempa yang cenderung menyebabkan respon struktur menjadi maksimum dengan melihat simpangan relatif tingkat, simpangan antar tingkat, gaya geser tingkat dan gaya geser dasar yang terjadi pada struktur.

Dalam penelitian ini kedua peneliti menggunakan model struktur dengan kekakuan, massa, rasio redaman yang sama, padahal dalam kenyataannya tidak semua struktur mempunyai kondisi seperti di atas.

3. Agung Febriarto dan Yesri Elrian (2000)

Kedua peneliti ini mengambil topik *Respon Seismik Struktur Bangunan Bertingkat Dengan Integrasi Persamaan Differensial Secara Langsung*. Pada penelitian ini kedua peneliti menggunakan metode Wilson- θ , dimana perhitungan disajikan dalam bentuk Algoritma untuk solusi langkah demi langkah dari sistem suatu linear dengan menggunakan metode integrasi Wilson- θ . Tujuan dari penelitian yang dilakukan oleh kedua peneliti diatas adalah untuk mengetahui pengaruh penggunaan beban gempa terhadap respon struktur yang mempunyai beda tingkat dan sejauh mana hubungan antara parameter gerakan tanah (percepatan tanah, waktu, respon spektra dan frekuensi) dengan respon struktur.

Dari tiga beban gempa yang digunakan dibedakan menurut kandungan frekuensinya yaitu; frekuensi rendah digunakan gempa Bucharest, frekuensi sedang digunakan gempa Petrovac dan frekuensi

tinggi digunakan gempa Koyna, kedua penulis ini menyimpulkan: pola simpangan relatif maksimum dan gaya geser dasar berkebalikan dengan pola simpangan antar tingkat, percepatan tanah dengan magnitude yang maksimum tidak menyebabkan respon struktur menjadi maksimum pada waktu yang sama dan gempa dengan kandungan frekuensi tinggi cenderung menyebabkan respon yang relatif kecil dibandingkan dengan respon akibat gempa dengan frekuensi sedang dan tinggi.

2.2 Permasalahan Yang Akan Diteliti

Berdasarkan tinjauan pustaka di atas maka perlu adanya penelitian dengan pokok-pokok permasalahan sebagai berikut :

1. Pada perencanaan struktur bertingkat banyak yang direncanakan dengan beban gempa perlu direncanakan dengan beban gempa yang mendekati kenyataan yang berupa riwayat waktu (*time story*) sehingga dapat diketahui perilaku dinamik struktur akibat beban gempa tersebut.
2. Untuk mengetahui sejauh mana beban gempa terhadap respon struktur maka akan ditinjau pengaruh kandungan frekuensi beban gempa terhadap respon struktur yang berupa rotasi pondasi, simpangan, simpangan maksimum, simpangan antar tingkat (*interstorey drift*), simpangan antar tingkat maksimum, gaya horisontal tingkat, gaya horisontal tingkat maksimum, gaya geser tingkat, gaya geser tingkat maksimum, momen guling dan momen guling maksimum.

3. Untuk mengetahui sejauh mana respon struktur jika kekakuan horisontal dan kekakuan putar tanah yang digunakan berbeda
4. Untuk mendapatkan hasil yang sesuai dengan sifat beban dinamik maka digunakan program komputer yang mampu menyelesaikan persoalan dinamik.

BAB III

LANDASAN TEORI

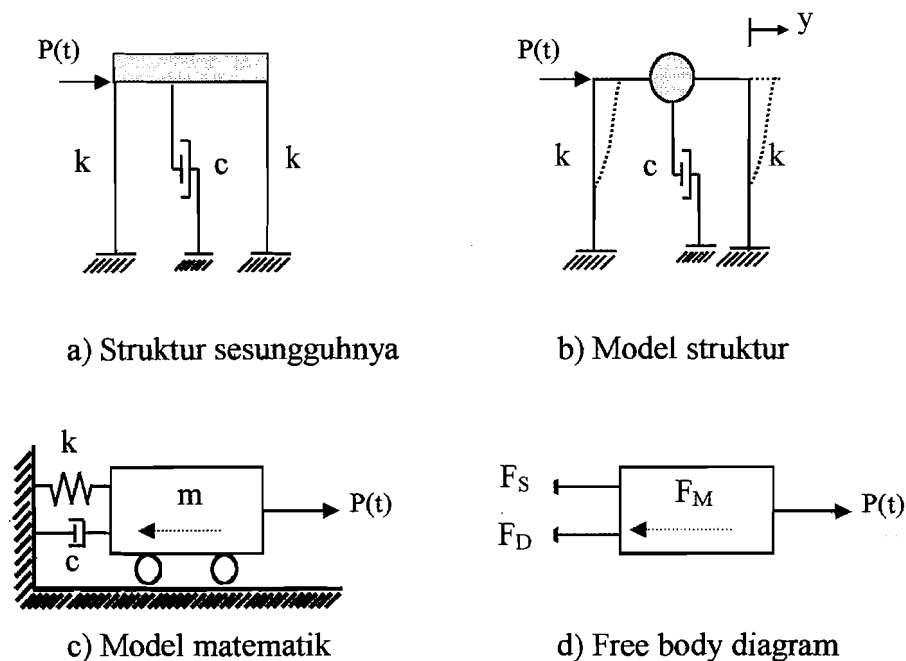
Landasan teori berupa teori-teori yang akan dipergunakan sebagai tuntunan untuk memecahkan masalah yang dihadapi. Landasan teori juga akan memuat teori-teori dinamika struktur, model-model matematik dan penjabarannya.

3.1 Struktur dengan Derajat Kebebasan Tunggal (SDOF)

3.1.1 Struktur (SDOF) Akibat Beban Dinamik

Dalam hal ini beban merupakan fungsi/berubah menurut waktu. Oleh karena itu penyelesaian persoalan ini merupakan fungsi dari waktu yang mana solusi selengkapnya dapat dikerjakan secara berulang-ulang bergantung pada fungsi waktu yang ditinjau.

Beban dinamik seperti beban akibat putaran mesin atau beban akibat beban angin akan membebani secara langsung pada struktur bangunan dan umumnya dianggap bekerja secara langsung pada elevasi lantai, misalnya beban akibat putaran mesin $P_{(t)} = P_0 \sin \omega t$. Model sistem dengan derajat kebebasan tunggal akibat beban dinamik ditunjukkan dalam Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Model sistem SDOF akibat beban dinamik

Berdasarkan keseimbangan dinamik dengan *free body diagram* sebagai mana terlihat dalam Gambar 3.1.d) maka keseimbangan gaya adalah sebagai berikut:

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

dengan,

$$F_M = m \cdot \ddot{y} \quad F_D = c \cdot \dot{y} \quad F_S = k \cdot y \quad (3.2)$$

F_M , F_D , F_S masing-masing adalah gaya inersia, gaya redam, gaya tarik/desak pegas yang mempersentasikan kekakuan kolom, $P(t)$ adalah beban dinamik, dan \ddot{y} , \dot{y} , y masing-masing adalah percepatan, kecepatan dan simpangan, dan m , c , k masing-masing adalah massa, redaman dan kekakuan.

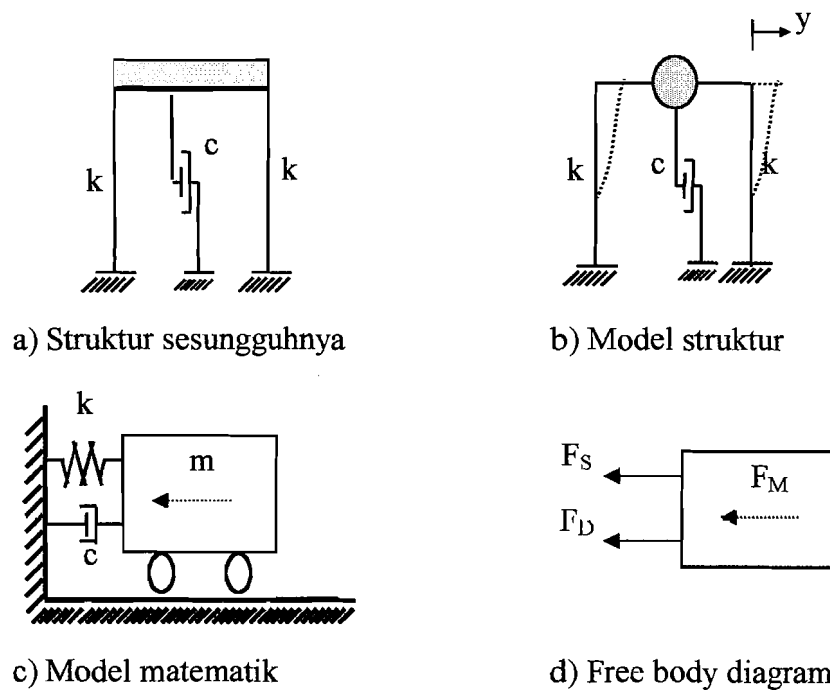
Substitusi persamaan (3.2) kedalam persamaan (3.1), sehingga didapatkan persamaan

$$m\ddot{y} + c\dot{y} + ky = P_{(t)} \quad (3.3)$$

persamaan (3.3) disebut persamaan diferensial gerakan (*differential equation of motion*).

3.1.2 Struktur (SDOF) Akibat Gerakan Tanah

Beban dinamik 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)



Gambar 3.2 Model sistem SDOF akibat gerakan tanah

Berdasarkan *free body diagram* yang ditunjukkan pada Gambar 3.2.d) maka persamaan differensial gerakan adalah

$$m\ddot{y}_1 + c\dot{y}_1 + ky_1 = 0 \quad (3.4)$$

Persamaan (3.4) merupakan kondisi khusus dari persamaan (3.3). Akibat gempa bumi, tanah mempunyai percepatan, kecepatan, simpangan masing-masing sebesar

$$\ddot{y}_1 = \ddot{y}_b + \ddot{y}, \quad \dot{y}_1 = \dot{y}_b + \dot{y}, \quad y_1 = y_b + y \quad (3.5)$$

Dengan mendistribusikan persamaan (3.5) kedalam persamaan (3.4) maka persamaan (3.4) dapat ditulis menjadi

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

Pada kondisi *rigid body motion* dianggap struktur tidak terjadi simpangan dan kecepatan antara tanah dengan struktur. Dengan demikian persamaan (3.6) menjadi

$$m\ddot{y} + c\dot{y} + ky = -m\ddot{y}_b \quad (3.7)$$

$$\ddot{y} + \frac{c}{m}\dot{y} + \frac{k}{m}y = -\ddot{y}_b \quad (3.8)$$

Dalam prinsip dinamika struktur diperoleh hubungan

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

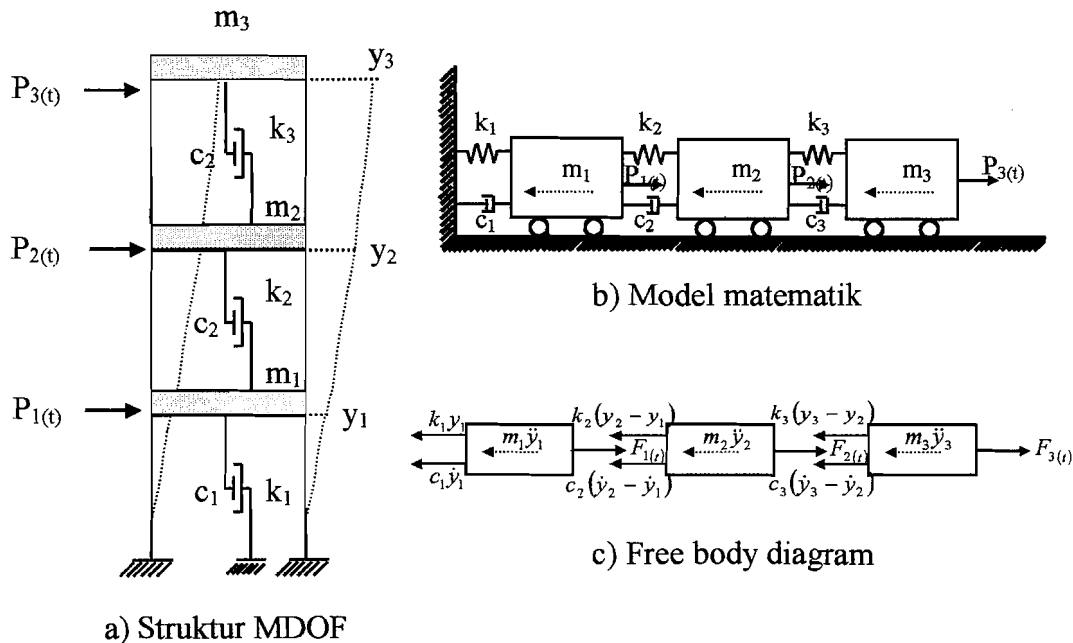
$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \text{ (rad/dt)}, \quad \omega = \text{angular frequency} \quad (3.9)$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \text{ (dt)}, \quad T = \text{periode} \quad (3.10)$$

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 3.3 Struktur MDOF

Pada struktur gedung bertingkat tiga seperti pada Gambar 3.3.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 3.3.c), maka akan diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
m_1 \ddot{y}_1 + c_1 \dot{y}_1 + k_1 y_1 - c_2 (\dot{y}_2 - \dot{y}_1) - k_2 (y_2 - y_1) &= F_{1(t)} \\
m_2 \ddot{y}_2 + c_2 (\dot{y}_2 - \dot{y}_1) + k_2 (y_2 - y_1) - c_3 (\dot{y}_3 - \dot{y}_2) - k_3 (y_3 - y_2) &= F_{2(t)} \\
m_3 \ddot{y}_3 + c_3 (\dot{y}_3 - \dot{y}_2) + k_3 (y_3 - y_2) &= F_{3(t)}
\end{aligned} \tag{3.11}$$

Selanjutnya persamaan (3.34) dapat ditulis dalam bentuk matriks yang lebih ringkas

$$[M]\{\ddot{y}\} + [C]\{\dot{y}\} + [K]\{y\} = \{F_{(t)}\} \tag{3.12}$$

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

$$\begin{aligned}
[M] &= \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix} \\
[K] &= \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 \\ 0 & -k_3 & k_3 \end{bmatrix} \\
[C] &= \begin{bmatrix} c_1 + c_2 & -c_2 & 0 \\ -c_2 & c_2 + c_3 & -c_3 \\ 0 & -c_3 & c_3 \end{bmatrix}
\end{aligned} \tag{3.13}$$

$$\{\ddot{y}\} = \begin{Bmatrix} \ddot{y}_1 \\ \ddot{y}_2 \\ \ddot{y}_3 \end{Bmatrix}, \{\dot{y}\} = \begin{Bmatrix} \dot{y}_1 \\ \dot{y}_2 \\ \dot{y}_3 \end{Bmatrix}, \{y\} = \begin{Bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{Bmatrix} \text{ dan } \{F_{(t)}\} = \begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \end{Bmatrix} \tag{3.14}$$

$\{\ddot{y}\}$, $\{\dot{y}\}$, $\{y\}$ 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.

1. Model *lumped mass*

Pada model ini massa dianggap menggumpal pada tempat-tempat (*lumped mass*) join atau tempat-tempat tertentu. Dalam hal ini gerakan/*degree of freedom* suatu join sudah ditentukan. Untuk titik nodal yang hanya mempunyai satu derajat kebebasan/satu translasi maka nantinya elemen atau struktur yang bersangkutan akan mempunyai matrik yang isinya hanya bagian diagonal saja (Widodo, 2001). Clough dan Penzien (1993) dalam Widodo (2001) mengatakan bahwa bagian *off-diagonal* akan sama dengan nol karena gaya inersia hanya bekerja pada tiap-tiap massa. Selanjutnya dikatakan bahwa apabila terdapat gerakan rotasi massa (*rotation degree of freedom*) maka pada model *lumped mass* ini juga tidak akan ada *rotation moment of inertia*.

Jika prinsip tersebut dipakai maka hanya terdapat satu *degree of freedom* untuk setiap titik nodal/massa yaitu simpangan horisontal,

kondisi seperti ini pada prinsip bangunan geser (*shear building*). Untuk bangunan bertingkat banyak, konsentrasi beban akan terpusat pada tiap-tiap lantai tingkat bangunan. Sehingga untuk setiap tingkat hanya ada satu massa yang mewakili tingkat yang bersangkutan. Karena hanya terdapat satu derajat kebebasan yang terjadi pada setiap tingkat/massa maka jumlah derajat kebebasan pada suatu bangunan bertingkat banyak akan ditunjukkan oleh banyaknya tingkat bangunan yang bersangkutan.

Besar massa pada tiap tingkat dapat dihitung dengan rumus :

$$m_i = w/g \quad (3.15)$$

dimana m_i , w , g secara berurutan adalah massa, berat dan percepatan gravitasi.

2. Model *consistent mass matrix*

Pada prinsip ini elemen struktur akan berdeformasi menurut bentuk fungsi tertentu. Jika tiga derajat kebebasan (horisontal, vertikal dan rotasi) diperhitungkan pada setiap nodal maka standar *consistent mass matrix* akan menghasilkan *full populated consistent matrix* artinya suatu matrik yang *off-diagonal* matriknya tidak akan sama dengan nol. Clough dan Penzien (1993) dalam Widodo (2001) mengatakan bahwa pemakaian *consistent mass matrix* akan memerlukan hitungan yang lebih banyak. Dalam model *lumped mass* tidak akan terjadi ketergantungan antara massa (*mass coupling*) karena

matrik massa adalah diagonal. Apabila tidak demikian maka *mass of moment of inertia* akibat translasi dan rotasi harus diperhitungkan.

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 lantai tingkat dianggap tetap horisontal baik sebelum maupun sesudah terjadinya penggoyangan. Adanya plat lantai yang menyatu secara kaku dengan balok diharapkan dapat membantu kekakuan balok sehingga anggapan tersebut tidak terlalu kasar. Plat dan balok lantai yang kaku dan tetap horisontal sebelum dan sesudah penggoyangan juga berarti bahwa balok mempunyai kekakuan tak terhingga. Sebelum dan sesudah penggoyangan joint sama sekali tidak mengalami rotasi.

Pada disain struktur bangunan tahan gempa dikehendaki agar kolom lebih kuat dibandingkan dengan balok. Namun mungkin saja balok mempunyai kekakuan yang lebih besar dari kolomnya walaupun kekuatan yang ada harus sebaliknya. Dengan demikian, pada disain bangunan tahan gempa masih memungkinkan memakai model kekakuan yang dihitung menurut prinsip *shear building*, sekaligus memakai model *lumped mass*.

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.

Dalam penelitian ini besarnya kekakuan tiap tingkat dihitung dengan prinsip *shear building* sebagai berikut :

$$k_i = 12EI / H^3 \quad (3.16)$$

dengan $I = bh^3 / 12$, sehingga

$$k_i = E * bh^3 / H^3 \quad (3.17)$$

I adalah momen inersia dan E adalah modulus elastisitas bahan, modulus elastisitas dari beton bertulang diambil 200000 kg/cm^2 .

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

$$k_i = \sum k_c \quad (3.18)$$

dengan k_i dan k_c adalah kekakuan tingkat dan kekakuan kolom, sehingga kekakuan tingkat ke- i dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$k_{t_i} = 2 * k_{ctp_i} + \sum_{i=1}^n k_{ctg_i} \quad (3.19)$$

dimana k_{t_i} , k_{ctp_i} , k_{ctg_i} adalah kekakuan tingkat ke- i , kekakuan kolom tepi dan kekakuan kolom tengah.

3.5 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*) ξ . Nilai rasio redaman untuk berbagai macam material dan tingkat respon struktur adalah 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	<ul style="list-style-type: none"> ○ Struktur baja las, beton prestress, beton biasa retak rambut ○ Beton biasa retak minor ○ Struktur baja sambungan baut, keling, struktur kayu dengan sambungan baut/paku 	<p>2 – 3 %</p> <p>3 – 5 %</p> <p>5 – 7 %</p>
2.	Tegangan sedikit di bawah leleh atau pada saat leleh	<ul style="list-style-type: none"> ○ Struktur baja las, beton prestress tanpa loss of orestress secara total ○ Beton prestress dengan tegangan lanjut ○ Beton biasa ○ Struktur baja dengan sambungan baut, keling, atau struktur kayu dengan sambungan baut ○ Struktur kayu dengan sambungan paku 	<p>4 – 7 %</p> <p>7 – 10 %</p> <p>7 – 10 %</p> <p>10 – 15 %</p> <p>15 – 20 %</p>

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,

$$[C] = \alpha[M] \quad (3.20)$$

apabila prinsip kondisi orthogonal diterapkan pada persamaan (3.20) di atas maka akan diperoleh,

$$\begin{aligned} \phi^T C \phi &= \alpha \phi^T M \phi \\ C_j^* &= \alpha M_j^* \\ 2\xi_j \omega_j M_j^* &= \alpha M_j^* \end{aligned} \quad (3.21)$$

dari persamaan (3.21) akan diperoleh

$$\alpha = 2\xi_j \omega_j \quad (3.22)$$

persamaan (3.22) adalah suatu koefisien matrik massa apabila frekuensi sudut dan rasio redaman telah ditentukan. Untuk setiap mode juga akan mempunyai hubungan seperti pada persamaan (3.21). Oleh karena itu untuk mode ke-i akan diperoleh hubungan,

$$2\xi_i \omega_i M_i^* = \alpha M_i^* \quad (3.23)$$

substitusi nilai α dari persamaan (3.22) ke dalam persamaan (3.23) selanjutnya akan diperoleh,

$$\begin{aligned} 2\xi_i \omega_i M_i^* &= 2\xi_j \omega_j M_i^* \\ \xi_i &= \frac{\xi_j \omega_j}{\omega_i} \end{aligned} \quad (3.24)$$

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

Bentuk umum hubungan antara redaman dengan kekakuan adalah,

$$[C] = \beta[K] \quad (3.25)$$

apabila prinsip kondisi orthogonal diterapkan pada persamaan (3.25)

di atas maka akan diperoleh,

$$\begin{aligned} \phi^T C \phi &= \beta \phi^T K \phi \\ C_j^* \beta K_j^* \\ 2\xi_j \omega_j M_j^* &= \beta \omega_j^2 M_j^* \end{aligned} \quad (3.26)$$

dari persamaan (3.26) akan diperoleh,

$$\beta = \frac{2\xi_j}{\omega_j} \quad (3.27)$$

persamaan (3.27) adalah suatu koefisien matrik kekakuan apabila frekuensi sudut dan rasio redaman telah ditentukan. Untuk setiap mode juga akan mempunyai hubungan seperti pada persamaan (3.26). oleh karena itu untuk mode ke-i akan diperoleh hubungan,

$$2\xi_i \omega_i M_i^* = \beta \omega_j^2 M_i^* \quad (3.28)$$

substitusi nilai β dari persamaan (3.27) ke dalam persamaan (3.28)

selanjutnya akan diperoleh,

$$\begin{aligned} 2\xi_i \omega_i M_i^* &= \frac{2\xi_j}{\omega_j} \omega_j^2 M_i^* \\ \xi_i &= \frac{\xi_j \omega_j}{\omega_i} \end{aligned} \quad (3.29)$$

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

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

$$[C] = \alpha[M] + \beta[K] \quad (3.30)$$

apabila prinsip kondisi orthogonal diterapkan pada persamaan (3.30) di atas maka akan diperoleh,

$$\begin{aligned} \phi^T C \phi &= \alpha \phi^T M \phi + \beta \phi^T K \phi \\ C_j^* &= \alpha M_j^* + \beta \omega_j^2 M_j^* \\ 2\xi_j \omega_j &= \alpha + \beta \omega_j^2 \end{aligned} \quad (3.31)$$

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

$$2\xi_j \omega_j = \alpha + \beta \omega_j^2 \quad (3.32)$$

dan

$$2\xi_i \omega_i = \alpha + \beta \omega_i^2 \quad (3.33)$$

berdasarkan persamaan (3.32) dan (3.33) maka akan diperoleh nilai-nilai β dan α sebagai berikut,

$$\begin{aligned} \beta &= \frac{2(\xi_j \omega_j - \xi_i \omega_i)}{\omega_j^2 - \omega_i^2} \\ \alpha &= 2\xi_j \omega_j - \beta \omega_j^2 \end{aligned} \quad (3.34)$$

persamaan (3.34) 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 (3.32) dan persamaan (3.33). Untuk dua mode yang ditinjau, persamaan (3.32) dan persamaan (3.33) dapat ditulis menjadi,

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

persamaan (3.35) adalah persamaan simultan yang mana nilai α dan β 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 α dan β dapat dicari melalui bentuk matrik persamaan (3.35) yaitu,

$$\frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 & \omega_j \\ \omega_j & 1 \\ 1 & \omega_i \\ \omega_i & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \alpha \\ \beta \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \xi_j \\ \xi_i \end{Bmatrix}\quad (3.36)$$

melalui persamaan (3.36) apabila nilai-nilai frekuensi sudut dan rasio redaman untuk mode ke-i dan mode ke-j sudah ditentukan maka nilai α dan β dapat dihitung. Selanjutnya nilai-nilai rasio redaman untuk setiap mode dapat dicari dengan mengambil salah satu dari persamaan (3.35) yaitu,

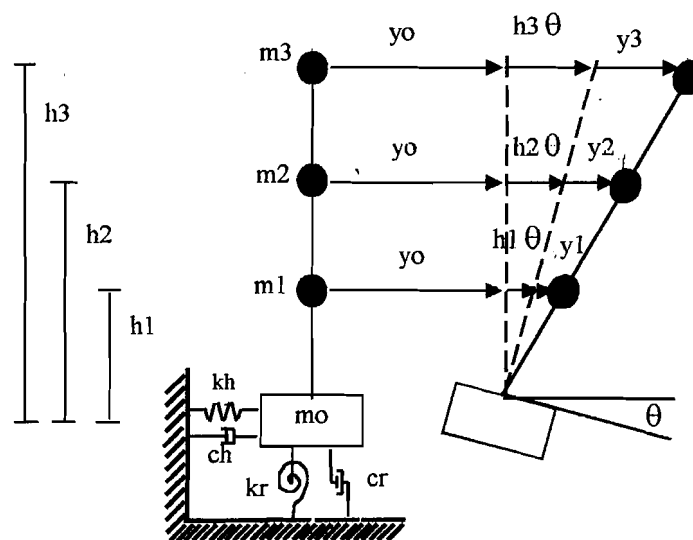
$$\frac{\alpha}{2\omega_i} + \frac{\beta}{2}\omega_i = \xi_i\quad (3.37)$$

dengan catatan nilai α dan β dihitung menurut persamaan (3.36).

3.6 Struktur dengan Memperhitungkan Rotasi Pondasi Akibat Gerakan Tanah

Tanah pada dasar gedung (pondasi) tidak sepenuhnya kaku, karena tanah pada dasar pondasi akan terpengaruh apabila terjadi getaran gedung akibat gerakan tanah. Keadaan gedung akan mengalami getaran ke tiga arah, yaitu getaran arah horizontal, getaran arah vertikal dan getaran berputar. Akibat gerakan tanah tersebut maka pondasi gedung akan mengalami rotasi (perputaran), yang mana dipengaruhi oleh nilai kekakuan horizontal, kekakuan vertikal dan kekakuan putar tanah yang berbeda.

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



Model struktur

Gambar 3.4 Struktur MDOF dengan rotasi pondasi

Dari Gambar 3.4 dengan asumsi struktur bangunan bergeser ke arah horizontal sedangkan arah vertikal diabaikan dan massa mengumpul (*lumped mass*). Jika

gaya inersia, gaya redam serta gaya kekakuan adalah F_I, F_C dan F_K maka diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 F_I &= \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \{ \ddot{y}_j + \ddot{y}_b + \ddot{y}_0 + h_j \ddot{\theta} \} = 0 \\
 F_C &= \begin{bmatrix} c_1 & 0 & 0 \\ 0 & c_2 & 0 \\ 0 & 0 & c_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \{ \dot{y}_j + \dot{y}_b + \dot{y}_0 + h_j \dot{\theta} \} = 0 \\
 F_K &= \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 \\ 0 & -k_3 & k_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \{ y_j + y_b + y_0 + h_j \theta \} = 0
 \end{aligned} \tag{3.38}$$

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

$$F_{I,h} = \sum_{j=1}^N m_j \{ \ddot{y}_j + \ddot{y}_b + \ddot{y}_0 + h_j \ddot{\theta} \} + m_0 \{ \ddot{y}_b + \ddot{y}_0 \} = 0 \tag{3.39}$$

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

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

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

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

$$F_{C,r} = \begin{bmatrix} c_1 & 0 & 0 \\ 0 & c_2 & 0 \\ 0 & 0 & c_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \left\{ \dot{y}_j + \dot{y}_b + \dot{y}_0 + h_j \dot{\theta} \right\} + Cr\dot{\theta} = 0 \quad (3.40)$$

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

dari persamaan (3.38), (3.39) dan (3.40) maka akan diperoleh,

$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 & m_1 & m_1 h_1 \\ 0 & m_2 & 0 & m_2 & m_2 h_2 \\ 0 & 0 & m_3 & m_3 & m_3 h_3 \\ m_1 & m_2 & m_3 & m_0 + m_1 + m_2 + m_3 & m_1 h_1 + m_2 h_2 + m_3 h_3 \\ m_1 h_1 & m_2 h_2 & m_3 h_3 & m_1 h_1 + m_2 h_2 + m_3 h_3 & I_G + m_1 h_1^2 + m_2 h_2^2 + m_3 h_3^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{y}_1 \\ \ddot{y}_2 \\ \ddot{y}_3 \\ \ddot{y}_0 \\ \ddot{\theta} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} c_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & c_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & c_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & c_h & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & c_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{y}_1 \\ \dot{y}_2 \\ \dot{y}_3 \\ \dot{y}_0 \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 & 0 & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 & 0 & 0 \\ 0 & -k_3 & k_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & k_h & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & k_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_0 \\ \theta \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} m_1 \ddot{y}_b \\ m_2 \ddot{y}_b \\ m_3 \ddot{y}_b \\ (m_0 + m_1 + m_2 + m_3) \ddot{y}_b \\ (m_1 h_1 + m_2 h_2 + m_3 h_3) \ddot{y}_b \end{bmatrix} \quad (3.41)$$

dimana dalam bentuk matriks adalah sebagai berikut:

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

$$\begin{aligned}
[C] &= \begin{bmatrix} c_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & c_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & c_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & c_h & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & c_r \end{bmatrix} \\
[K] &= \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 & 0 & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 & 0 & 0 \\ 0 & -k_3 & k_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & k_h & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & k_r \end{bmatrix} \\
\ddot{y} &= \begin{bmatrix} \ddot{y}_1 \\ \ddot{y}_2 \\ \ddot{y}_3 \\ \ddot{y}_0 \\ \ddot{\theta} \end{bmatrix} \quad \dot{y} = \begin{bmatrix} \dot{y}_1 \\ \dot{y}_2 \\ \dot{y}_3 \\ \dot{y}_0 \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} \quad y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_0 \\ \theta \end{bmatrix} \tag{3.42}
\end{aligned}$$

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,

$$[C] = \begin{bmatrix} \alpha.m_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \alpha.m_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \alpha.m_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & c_h & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & c_r \end{bmatrix} \tag{3.43}$$

$$[C] = \begin{bmatrix} \beta.(k_1 + k_2) & \beta.-k_2 & 0 & 0 & 0 \\ \beta.-k_2 & \beta.(k_2 + k_3) & \beta.-k_3 & 0 & 0 \\ 0 & \beta.-k_3 & \beta.k_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & c_h & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & c_r \end{bmatrix} \tag{3.44}$$

$$[C] = \begin{bmatrix} \alpha.m_1 + \beta.(k_1 + k_2) & \beta.-k_2 & 0 & 0 & 0 \\ \beta.-k_2 & \alpha.m_2 + \beta.(k_2 + k_3) & \beta.-k_3 & 0 & 0 \\ 0 & \beta.-k_3 & \alpha.m_3 + \beta.k_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & c_h & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & c_r \end{bmatrix} \quad (3.45)$$

dengan:

I_G = Inertia polar moment

C_h = Redaman horisontal tanah

C_r = Redaman horisontal tanah

K_h = Kekakuan horisontal tanah

K_r = Kekakuan putar (rotasi) tanah

3.7 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*).

3.7.1 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,

$$[M]\{\ddot{y}\} + [C]\{\dot{y}\} + [K]\{y\} = 0 \quad (3.46)$$

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 (3.46) menjadi,

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

Karena persamaan (3.47) 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,

$$\begin{aligned} Y &= \{\phi\}_i \sin(\omega t) \\ \dot{Y} &= \omega \{\phi\}_i \cos(\omega t) \\ \ddot{Y} &= -\omega^2 \{\phi\}_i \sin(\omega t) \end{aligned} \quad (3.48)$$

dimana $\{\phi\}_i$ adalah suatu ordinat massa pada mode ke-i. Persamaan (3.48) disubstitusikan ke dalam persamaan (3.47) maka akan diperoleh,

$$-\omega^2 [M] \{\phi\}_i \sin(\omega t) + [K] \{\phi\}_i \sin(\omega t) = 0$$

$$[K] - \omega^2 [M] \{\phi\}_i = 0 \quad (3.49)$$

Persamaan (3.49) adalah suatu persamaan yang sangat penting dan biasanya disebut dengan persamaan *eigenproblem* atau karakteristik problem atau ada juga yang menyebut *eigenvalue* problem. Persamaan (3.49) 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 $\{\phi\}_i$ adalah nol, sehingga,

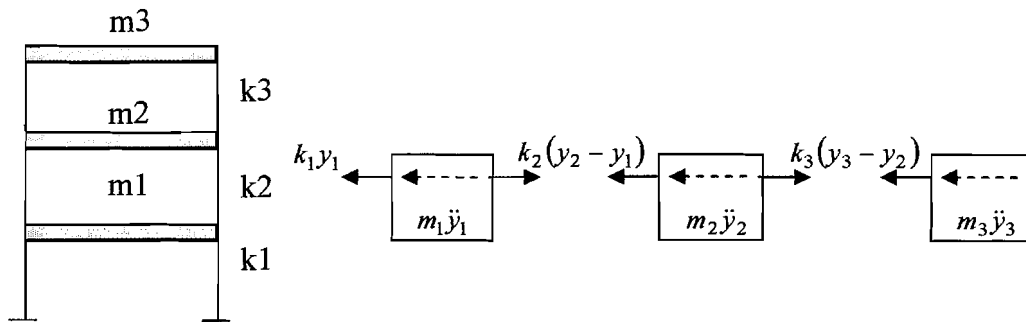
$$[K] - \omega^2 [M] = 0 \quad (3.50)$$

Dengan adanya hubungan antara jumlah mode dengan jumlah massa struktur maka struktur yang mempunyai n-tingkat maka akan mempunyai n-derajat kebebasan. Persamaan (3.50) akan menghasilkan suatu polinomial pangkat-n yang selanjutnya akan menghasilkan nilai ω_i^2 untuk $i = 1, 2, 3, \dots, n$. Selanjutnya substitusi masing-masing frekuensi sudut ω_i kedalam persamaan (3.49) maka akan diperoleh nilai-nilai *mode shape*.

3.7.2 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,

$$\begin{aligned}
 m_1 \ddot{y}_1 + k_1 y_1 - k_2 (y_2 - y_1) &= 0 \\
 m_2 \ddot{y}_2 + k_2 (y_2 - y_1) - k_3 (y_3 - y_2) &= 0 \\
 m_3 \ddot{y}_3 + k_3 (y_3 - y_2) &= 0
 \end{aligned}
 \tag{3.51}$$

Persamaan (3.51) dapat disederhanakan menjadi seperti dibawah ini,

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

persamaan (3.52) dapat ditulis dalam bentuk matriks sebagai berikut,

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

untuk lebih jelasnya mengenai metode polinomial maka diambil contoh hitungan seperti struktur pada Gambar 3.5.

Data struktur: $m_1=1,0 \text{ kg.dt}^2/\text{cm}$; $m_2=1,5 \text{ kg.dt}^2/\text{cm}$; $m_3=2,0 \text{ kg.dt}^2/\text{cm}$

$k_1=1800 \text{ kg/cm}$ (2 kolom); $k_2=1200 \text{ kg/cm}$ (2 kolom);

$k_3=600 \text{ kg/cm}$ (2 kolom)

maka matriks massa dan matriks kekakuan untuk struktur tersebut jika dipakai unit massa $m=1 \text{ kg.dt}^2/\text{cm}$ dan unit kekakuan $k=600 \text{ kg/cm}$ adalah,

$$[M] = \begin{bmatrix} 2m & 0 & 0 \\ 0 & 1,5m & 0 \\ 0 & 0 & m \end{bmatrix} \quad [K] = \begin{bmatrix} 5k & -2k & 0 \\ -2k & 3k & -k \\ 0 & -k & k \end{bmatrix} \quad (3.54)$$

Dengan memperhatikan matriks-matriks di atas maka persamaan *eigenproblem* yang dapat disusun adalah sebagai berikut,

$$\begin{bmatrix} 5k - 2\omega^2 m & -2k & 0 \\ -2k & 3k - 1,5\omega^2 m & -k \\ 0 & -k & k - \omega^2 m \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (3.55)$$

Persamaan (3.25) dapat ditulis menjadi,

$$\begin{bmatrix} 5 - 2 \frac{\omega^2}{k/m} & -2 & 0 \\ -2 & 3 - 1,5 \frac{\omega^2}{k/m} & -1 \\ 0 & -1 & 1 - \frac{\omega^2}{k/m} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (3.56)$$

Apabila diambil suatu notasi

$$\lambda = \frac{\omega^2}{k/m} \quad (3.57)$$

maka persamaan (3.56) menjadi

$$\begin{aligned} (5 - 2\lambda)\phi_1 - 2\phi_2 &= 0 \\ -2\phi_1 + (3 - 1,5\lambda)\phi_2 - \phi_3 &= 0 \\ \phi_2 + (1 - \lambda)\phi_3 &= 0 \end{aligned} \quad (3.58)$$

Penyelesaian persamaan simultan homogen tidaklah memberikan nilai-nilai yang pasti, tetapi hasil-hasil yang diperoleh hanya merupakan perbandingan antara yang satu dengan yang lain. Oleh karena itu dengan mengambil nilai,

$$\phi_1 = 1 \quad (3.59)$$

Dengan mensubstitusi nilai persamaan (3.59) ke dalam baris pertama persamaan (3.58) akan diperoleh,

$$\phi_2 = (2,5 - \lambda) \quad (3.60)$$

Selanjutnya substitusi persamaan (3.60) ke dalam baris ke-2 persamaan (3.58) maka akan diperoleh,

$$\phi_3 = 1,5\lambda^2 - 6,75\lambda + 5,5 \quad (3.61)$$

Selanjutnya substitusi persamaan (3.60) dan (3.61) ke dalam persamaan (3.58), setelah disusun akan diperoleh,

$$1,5\lambda^3 - 8,25\lambda^2 + 11,25\lambda - 3 = 0 \quad (3.62)$$

Persamaan (3.62) adalah persamaan polinomial pangkat 3 dan nilai yang akan dicari adalah nilai-nilai λ yang merupakan akar persamaan tersebut. Untuk mencari akar-akar persamaan (3.62) adalah dengan cara yang paling sederhana

yaitu dengan cara coba-coba. Setelah nilai-nilai λ diperoleh maka nilai percepatan sudut dapat dicari dengan menggunakan persamaan (3.57). nilai akar-akar dari persamaan (3.62) berikut nilai percepatan sudutnya adalah,

$$\begin{aligned}\lambda_1 = 0,3515 \text{ maka } \omega_1 &= \sqrt{0,3515 * \frac{600}{1}} = 14,5224 \text{ rad/dt} \\ \lambda_2 = 1,6066 \text{ maka } \omega_2 &= \sqrt{1,6066 * \frac{600}{1}} = 31,0500 \text{ rad/dt} \\ \lambda_3 = 3,5419 \text{ maka } \omega_3 &= \sqrt{3,5419 * \frac{600}{1}} = 46,0992 \text{ rad/dt}\end{aligned}\tag{3.63}$$

Pada struktur yang memiliki derajat kebebasan banyak maka akan diperoleh persamaan polinomial yang berpangkat banyak pula sehingga akan kesulitan untuk mencari koefisien persamaan-persamaan polinomial. Selain itu untuk mencari akar-akar persamaan yang jumlahnya bergantung pada jumlah DOF.

3.7.3 Metode Transformasi Jacobi

Metode solusi dasar Jacobi telah dikembangkan untuk menyelesaikan masalah-masalah matriks yang riil dan simetris. Metode Jacobi berusaha mentransformasi suatu matriks A menjadi matriks diagonal A_{k+1} . Dalam keadaan ini elemen-elemen diagonal utama matriks A_{k+1} adalah harga-harga *eigen* yang dicari.

Untuk merubah matriks A menjadi matriks diagonal A_{k+1} dilakukan transformasi ortogonal. Oleh sebab itu hubungan antara matriks A dan A_{k+1} adalah serupa *ortogonal similiar orthogonal*, sehingga harga-harga *eigen* dari matriks A_{k+1} adalah juga harga-harga *eigen* dari matriks A .

Andaikan $A_0 = A$ dan U_i adalah matriks ortogonal yang memenuhi hubungan,

$$A_1 = U_1^{-1} * A_0 * U_1 \quad (3.64)$$

atau dalam bentuk umum

$$A_{k+1} = U_{k+1}^{-1} * A_k * U_{k+1} \quad (3.65)$$

yang mana $U_k = U_1, U_2, U_3, \dots, U_k$. Untuk $k = \alpha$, matriks A_{k+1} menjadi matriks diagonal.

Masalahnya sekarang bagaimana mentransformasikan matriks A menjadi matriks diagonal A_{k+1} . Jacobi memperkenalkan cara untuk mentransformasikan tersebut yang sering disebut matriks rotasi. Matriks rotasi U_{k+1} adalah sebuah matriks diagonal yang diubah menjadi,

$$U_{k+1} = \begin{matrix} & \begin{matrix} i & j \end{matrix} \\ \begin{matrix} i \\ j \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & - & 0 \\ 0 & \cos \alpha & -\sin \alpha & - & 0 \\ 0 & \sin \alpha & \cos \alpha & - & 0 \\ - & - & - & - & - \\ 0 & 0 & 0 & - & 0 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (3.66)$$

Elemen-elemen untuk baris ke i dan j maupun kolom ke i dan j diganti dengan $\cos \alpha$ dan $\sin \alpha$ seperti pada persamaan berikut,

$$\begin{aligned} U_{ii} &= \cos \alpha & U_{jj} &= -\sin \alpha \\ U_{ji} &= \sin \alpha & U_{ji} &= \cos \alpha \end{aligned} \quad (3.67)$$

Sudut α dicari dari persamaan,

$$\operatorname{tg} 2\alpha = 2 \frac{a_{ij}^{(k)}}{a_{ii}^{(k)} - a_{jj}^{(k)}} \quad (3.68)$$

Jadi dengan demikian dapat diperoleh elemen-elemen dari matriks U_{k+1} karena matriksnya dalam bentuk ortogonal sehingga $U_{k+1}^{-1} = U_{k+1}^T$. Dari sini dapat dihitung $A_{k+1} = U_{k+1}^{-1} * A_k * U_{k+1}$ untuk $k=0$

Untuk k besar matriks A_{k+1} akan berubah menjadi,

$$A_{k+1} = \begin{bmatrix} a_{11}^{(k)} & 0 & - & 0 \\ 0 & a_{22}^{(k)} & - & 0 \\ - & - & - & - \\ 0 & 0 & - & a_{nn}^{(k)} \end{bmatrix} \quad (3.69)$$

dimana harga-harga eigen dari matriks A_k atau A_{k+1} adalah,

$$\lambda_1 = a_{11}^{(k)}, \lambda_2 = a_{22}^{(k)}, \lambda_n = a_{nn}^{(k)} \quad (3.70)$$

Untuk lebih jelas mengenai metode Jacobi diambil contoh matrik di bawah ini,

$$A = \begin{bmatrix} 5 & 2 & 6 \\ 2 & 4 & 3 \\ 6 & 3 & 2 \end{bmatrix} \quad (3.71)$$

Pertama diusahakan untuk mengonolkan elemen yang bukan diagonal, misalnya a_{12} atau a_{21} . Dalam hal ini $k=0$, $i=1$ dan $j=2$ maka diperoleh,

$$\alpha = \frac{1}{2} \operatorname{arctg} \frac{2 * a_{12}^{(0)}}{a_{11}^{(0)} - a_{22}^{(0)}} \quad (3.72)$$

$$\alpha = \frac{1}{2} \operatorname{arctg} \frac{2 * 2}{5 - 4} = 37,98$$

Setelah nilai α diperoleh maka persamaan (3.67) yang merupakan elemen-elemen matriks U_{k+1} persamaan (3.66) adalah,

$$\begin{aligned} U_{11} &= \cos \alpha = 0,7882 & U_{12} &= -\sin \alpha = -0,6154 \\ U_{21} &= \sin \alpha = 0,6154 & U_{22} &= \cos \alpha = 0,7882 \end{aligned} \quad (3.73)$$

maka matriks persamaan (3.66) menjadi,

$$U_1 = \begin{bmatrix} 0,7882 & -0,6154 & 0 \\ 0,6154 & 0,7882 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.74)$$

$$U_1^{-1} = U_1^T = \begin{bmatrix} 0,7882 & 0,6154 & 0 \\ -0,6154 & 0,7882 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Dengan diketahuinya nilai dari persamaan (3.71) dan persamaan (3.74) maka dari persamaan (3.65) diperoleh,

$$A_1 = \begin{bmatrix} 6,5614 & 0,0000 & 6,5754 \\ 0,0000 & 2,4384 & -1,3278 \\ 6,5754 & -1,3278 & 2,0000 \end{bmatrix} \quad (3.75)$$

Terlihat bahwa a_{12} dan a_{21} telah menjadi nol, selanjutnya kita mengeliminasi elemen non diagonal yang lain, misalnya a_{13} kemudian langkah selanjutnya sama seperti pada saat mengeliminasi a_{12} maka akan diperoleh,

$$A_2 = \begin{bmatrix} 11,2406 & -0,7648 & 0,0001 \\ 0,7648 & 2,4384 & -1,0819 \\ 0,0001 & -1,0819 & -2,6790 \end{bmatrix} \quad (3.76)$$

Terlihat bahwa a_{13} dan a_{31} telah mendekati nol maka selanjutnya mengeliminasi a_{23} . Adapun langkahnya sama seperti pada saat mengeliminasi a_{12} dan a_{13} , maka akan diperoleh,

$$A_3 = \begin{bmatrix} 11,2403 & -0,7544 & -0,1528 \\ 0,7544 & 2,6574 & 0,0000 \\ 0,1528 & 0,0000 & -2,8980 \end{bmatrix} \quad (3.77)$$

Sampai dengan tahap ini baru dilakukan satu kali putaran. Untuk putaran selanjutnya mengikuti prosedur yang dilakukan pada putaran pertama. Terlihat

bahwa elemen-elemen non diagonal makin mendekati nol. Proses ini dilanjutkan sampai matriks A berubah menjadi matriks diagonal. Dalam hal ini untuk 3 kali putaran diperoleh matriks diagonal A sebagai berikut,

$$A = \begin{bmatrix} 11,30 & 0,00 & 0,00 \\ 0,00 & 2,59 & 0,00 \\ 0,00 & 0,00 & -2,90 \end{bmatrix} \quad (3.78)$$

sehingga dapat disimpulkan,

$$\lambda_1 = 11,30 \quad \lambda_2 = 2,59 \quad \lambda_3 = -2,90$$

Pembahasan di atas tampak bahwa metode Jacobi membutuhkan ketelitian dalam setiap rotasi/putaran, sebab hasil matriks putaran sebelumnya mempengaruhi nilai matriks selanjutnya.

3.7.4 Metode Gauss Jordan

Metode eliminasi Gauss mempergunakan operasi baris elementer untuk menghapus semua elemen-elemen matriks yang berada disebelah kiri diagonal utama matriks A(n x n). Dalam pelaksanaan metode Gauss Jordan, matriks A(n x n) terlebih dahulu dijadikan A(n x n+1) karena vektor pada kolom $\Delta \dot{P}_i$ diletakkan di dalam kolom n+1.

Secara simbolis, metode Gauss Jordan dapat diterangkan sebagai berikut. Misalnya suatu persamaan linier simultan ditulis dalam bentuk persamaan matriks sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Delta y_1 \\ \Delta y_2 \\ \Delta y_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \Delta \dot{P}_1 \\ \Delta \dot{P}_2 \\ \Delta \dot{P}_3 \end{Bmatrix} \quad (3.79)$$

Untuk mencari harga-harga Δy_1 , Δy_2 , Δy_3 maka langkah-langkah yang harus dilakukan adalah menggabungkan matriks A dan vektor $\Delta \dot{P}_i$ sehingga matriks $A(n \times n)$ menjadi $A(n \times n+1)$.

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \Delta \dot{P}_1 \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & \Delta \dot{P}_2 \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & \Delta \dot{P}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \end{bmatrix} \quad (3.80)$$

selanjutnya nilai matriks tersebut diubah menjadi

$$\begin{bmatrix} 1 & b_{12} & b_{13} & b_{14} \\ 0 & b_{22} & b_{23} & b_{24} \\ 0 & b_{32} & b_{33} & b_{34} \end{bmatrix} \text{ kemudian menjadi } \begin{bmatrix} 1 & 0 & c_{13} & c_{14} \\ 0 & 1 & c_{23} & c_{24} \\ 0 & 0 & c_{33} & c_{34} \end{bmatrix} \quad (3.81)$$

yang akhirnya menjadi

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & d_{14} \\ 0 & 1 & 0 & d_{24} \\ 0 & 0 & 1 & d_{34} \end{bmatrix} \quad (3.82)$$

maka akan diperoleh nilai-nilai $\Delta y_1 = d_{14}$, $\Delta y_2 = d_{24}$ dan $\Delta y_3 = d_{34}$

3.8 Metode β -Newmark

Metode β -Newmark dapat dipakai untuk menyelesaikan integrasi persamaan diferensial *coupled* struktur MDOF secara langsung. Metode β -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 β -Newmark adalah

$$m \Delta \ddot{y}_i + c \Delta \dot{y}_i + k \Delta y_i = \Delta P_i \quad (3.83)$$

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

$$[M] \Delta \ddot{y}_i + [C] \Delta \dot{y}_i + [K] \Delta y_i = \{M\} \Delta \ddot{y}_{b,i} \quad (3.84)$$

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

$$\Delta y = y_{i+1} - y_i, \Delta \dot{y} = \dot{y}_{i+1} - \dot{y}_i, \Delta \ddot{y} = \ddot{y}_{i+1} - \ddot{y}_i \quad (3.85)$$

Sedangkan perubahan intensitas pembebanan pada interval yang ditinjau adalah

$$\Delta P_i = \Delta P_{i+1} - P_i \quad (3.86)$$

Untuk struktur MDOF akibat gempa bumi maka persamaan differensial yang digunakan

$$\Delta P_i = \{M\} (\ddot{y}_{b,i+1} - y_{b,i}) \quad (3.87)$$

Untuk memulai integrasi numerik tersebut digunakan persamaan

$$\Delta \ddot{y}_i = \frac{1}{\beta(\Delta t)^2} \Delta y_i - \frac{1}{\beta(\Delta t)} \dot{y}_i - \frac{1}{2\beta} \ddot{y}_i \quad (3.88)$$

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

$$\Delta \dot{y}_i = \frac{\gamma}{\beta(\Delta t)} \Delta y_i - \frac{\gamma}{\beta} \dot{y}_i + (\Delta t) \left(1 - \frac{1}{2\beta} \right) \ddot{y}_i \quad (3.89)$$

Kemudian untuk perubahan simpangan dapat dicari dengan persamaan

$$\Delta y = \frac{\Delta \hat{P}_i}{k} \quad (3.90)$$

yang mana

$$k = \left\{ K + \frac{\gamma}{\beta(\Delta t)} C + \frac{1}{\beta(\Delta t)^2} M \right\} \quad (3.91)$$

$$\Delta \hat{P}_i = (P_{i+1} - P_i) + a \dot{y}_i + b \ddot{y}_i \quad (3.92)$$

Sedangkan untuk struktur MDOF akibat beban gempa bumi maka persamaan

(3.88) akan menjadi

$$\Delta \hat{P}_i = \{M\}(\ddot{y}_{b,i+1} - \ddot{y}_{b,i}) + a \dot{y}_i + b \ddot{y}_i \quad (3.93)$$

dimana nilai a dan b pada persamaan diatas adalah

$$a = \left\{ \frac{1}{\beta(\Delta t)} m + \frac{\gamma}{\beta} c \right\} \quad b = \left\{ \frac{1}{2\beta} m + \Delta t \left(\frac{\gamma}{2\beta} - 1 \right) c \right\} \quad (3.94)$$

Pada metode β -Newmark terdapat perbedaan nilai koefisien berdasarkan metode yang digunakan, yaitu :

1. Metode percepatan rata-rata, dengan nilai koefisien $\gamma = \frac{1}{2}$ dan

$$\beta = \frac{1}{4}.$$

2. Metode percepatan linier, dengan nilai koefisien $\gamma = \frac{1}{2}$ dan $\beta = \frac{1}{6}$.

Selanjutnya simpangan, kecepatan, dan percepatan pada akhir interval adalah

$$\begin{aligned}y_{i+1} &= y_i + \Delta y_i \\ \dot{y}_{i+1} &= \dot{y}_i + \Delta \dot{y}_i \\ \ddot{y}_{i+1} &= \ddot{y}_i + \Delta \ddot{y}_i\end{aligned}\tag{3.95}$$

Tahap-tahapan integrasi numerik berdasarkan interval waktu pada metode β -Newmark adalah sebagai berikut:

1. Nilai matriks k , m , ξ dan dt diketahui terlebih dahulu.
2. Disusun matriks $[M]$, matriks redaman $[C]$ dan matriks kekakuan
3. Dihitung nilai k pada persamaan (3.91) nilai a dan b pada persamaan (3.94)
4. Dihitung nilai ΔP_i pada persamaan (3.87), $\Delta \hat{P}_i$ pada persamaan (3.93), Δy_i pada persamaan (3.90), $\Delta \dot{y}_i$ pada persamaan (3.89) dan $\Delta \ddot{y}_i$ pada persamaan (3.88).
5. Dihitung nilai simpangan, kecepatan dan percepatan struktur pada akhir interval menurut persamaan (3.95).
6. Untuk hitungan selanjutnya kembali kelangkah ke-4.

BAB IV

METODE PENELITIAN

Metode penelitian adalah tata cara pelaksanaan penelitian dalam rangka mencari jawaban atas permasalahan yang diuraikan menurut suatu urutan yang sistematis. Metode yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini meliputi penggunaan data yang diperlukan dan analisis pengolahan data. Dalam tugas akhir ini dibuat program komputer dengan menggunakan Microsoft Visual Basic 6, untuk mempermudah perhitungan struktur yang digunakan sebagai obyek.

4.1 Pengumpulan Data

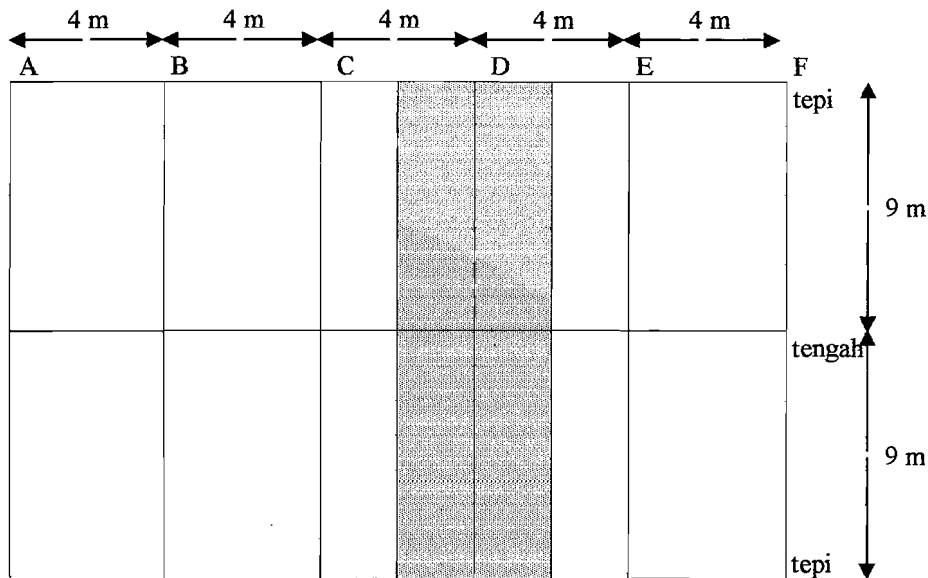
Pada tugas akhir ini data-data yang diperlukan meliputi data struktur dan data beban gempa. Data struktur diambil dari suatu model struktur shear building 12 tingkat, sedangkan data beban gempa diambil rekaman percepatan tanah akibat gempa yang berupa riwayat waktu percepatan tanah. Secara rinci data-data yang dipergunakan adalah sebagai berikut.

4.1.1 Data Struktur

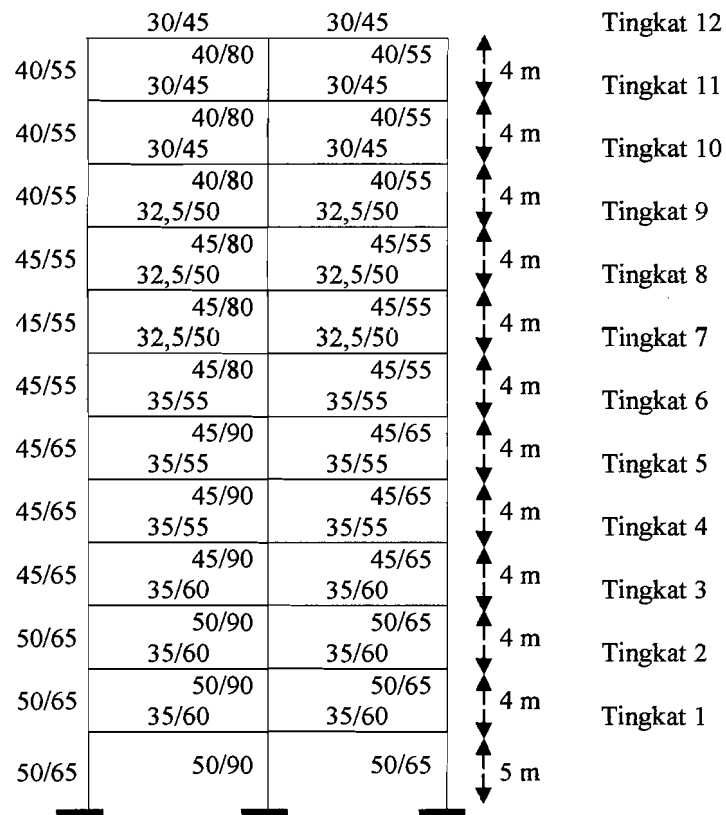
Struktur yang ditinjau merupakan suatu model *shear building* 12 tingkat dari struktur beton bertulang. Struktur diasumsikan sebagai bangunan untuk perkantoran dengan dimensi kolom dan dimensi balok ditentukan secara langsung, secara lengkap dapat dilihat pada Gambar 4.1 dan 4.2.



Data struktur diambil dari tugas akhir Utama Sahala K. S



Gambar 4.1 Denah model struktur 12 tingkat



Gambar 4.2 Potongan portal D struktur 12 tingkat

Dimensi kolom yang digunakan dalam model struktur ditentukan secara langsung, lebih lengkapnya seperti tersaji pada Tabel 4.1

Tabel 4.1 Data dimensi kolom struktur 12 tingkat

No.	Kolom	Dimensi (cm)
1	tp. 1, 2, 3	50/65
2	tp. 4, 5, 6	45/65
3	tp. 7, 8, 9	45/55
4	tp. 10, 11, 12	40/55
5	tg. 1, 2, 3	50/90
6	tg. 4, 5, 6	45/90
7	tg. 7, 8, 9	45/80
8	tg. 10, 11, 12	40/80

Dimensi balok yang digunakan dalam model struktur ditentukan secara langsung, lebih lengkapnya seperti tersaji pada Tabel 4.2

Tabel 4.2 Data dimensi balok struktur 12 tingkat

No.	Balok	Dimensi (cm)
1	1, 2, 3	35/60
2	4, 5, 6	35/55
3	7, 8, 9	32,5/50
4	10, 11, 12	30/45

4.1.2 Data Beban Gempa dan Kandungan Frekuensi Beban Gempa

Beban gempa yang digunakan pada tugas akhir ini diambil dari beban gempa yang telah ada sebagaimana terdapat dalam lampiran. 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.

Percepatan tanah maksimum langsung didapat dari data percepatan tanah akibat gempa, sedangkan kecepatan tanah maksimum sebagian didapat langsung dari data kecepatan tanah akibat gempa dan sebagian didapat dengan cara mengintegrasikan data percepatan tanah. A/V rasio merupakan harga pendekatan karena besarnya kemungkinan kesalahan dalam integrasi sehingga hasil akhir dari penelitian ini tidak memberikan harga mutlak, tetapi kecenderungan dalam batas yang dapat diterima.

Data kandungan frekuensi beban gempa (A/V rasio) dikelompokkan ke dalam tiga kelompok yaitu, kandungan frekuensi rendah, sedang dan tinggi. Selanjutnya data gempa yang digunakan dalam penelitian secara keseluruhan disajikan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Data kandungan frekuensi beban gempa (A/V rasio)

No.	Beban Gempa	A maks (cm/dt ²)	V maks (cm/dt)	A/V Rasio (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

4.2 Tahapan Analisa

Tahapan analisa meliputi langkah-langkah sebagai berikut :

1. Menghitung massa balok dengan prinsip "*lump mass*"
2. Menghitung nilai inersia (I)
3. Menghitung nilai kekakuan (K)
4. Menghitung frekuensi sudut (ω)
5. Menghitung matrik redaman (C)
6. Menghitung konstanta-konstanta a, b, k

7. Menghitung gaya efektif (P_1)
8. Menghitung Δp , Δy , $\Delta \dot{y}$, $\Delta \ddot{y}$, $\Delta \theta$, $\Delta \dot{\theta}$, $\Delta \ddot{\theta}$
9. Menghitung y , \dot{y} , \ddot{y} , θ
10. Menghitung simpangan rotasi
11. Menghitung simpangan total
12. Menghitung simpangan antar tingkat (*interstorey drift*)
13. Menghitung gaya horisontal tingkat
14. Menghitung gaya geser tingkat
15. Menghitung momen guling.

Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan komputer PROGSIP 2002 yang dibuat dengan software Microsoft Visual Basic 6 untuk mempermudah dan mempercepat analisa perhitungan dan selanjutnya output dari program tersebut diplotkan ke Microsoft Excel untuk menampilkan grafik secara teliti.

4.3 Pengujian

Pengujian yang dilakukan pada tugas akhir ini mencakup pengaruh beberapa macam beban gempa yang berupa riwayat waktu, terhadap respon struktur dengan parameter nilai simpangan, rotasi pondasi, simpangan antar tingkat, gaya horisontal tingkat, gaya geser tingkat serta momen guling yang terjadi. Pada pengujian ini beban gempa digunakan pada kondisi *code level* dengan interval waktu 0,01 detik selama beban gempa berlangsung. Struktur mempunyai rasio redaman sebesar 5%.

BAB V

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Pendahuluan

Perhitungan dinamik menggunakan fasilitas yang tersedia pada program PROGSIP 2002 yang dibuat dengan bahasa Microsoft Visual Basic 6, dengan cara mengaplikasikan tahapan hitungan manual. Input dalam analisa adalah berupa massa, kekakuan, selang waktu (detik), waktu maksimum, jumlah tingkat, tinggi tingkat dan data percepatan tanah. 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 Utama Sahala K. S

Tabel 5.1 Hasil perhitungan beban pada struktur 12 tingkat

No.	Lantai	Beban tiap lantai (kg)
1.	1,2	87648
2.	3	86904
3.	4, 5	84900
4.	6	84036
5.	7, 8	81228
6.	9	80580
7.	10, 11	78168
8.	12	48480

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 (3.11) dimana massa adalah berat dibagi gravitasi. Dalam perhitungan ini percepatan gravitasi diambil sebesar 9.80 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 12 tingkat

No.	Lantai	Massa (kg.dt ² /m)
1.	1, 2	8943,67347
2.	3	8867,75510
3.	4, 5	8663,26531
4.	6	8575,10204
5.	7, 8	8288,57143
6.	9	8222,44898
7.	10, 11	7976,32653
8.	12	4946,93878

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 (3.12).

Dengan melihat data struktur maka kekakuan dihitung secara paralel yaitu kekakuan tiap lantai merupakan jumlah dari kekakuan kolom. Dari rumus pada persamaan (3.12) maka kekakuan tingkat satu dapat dihitung menggunakan persamaan (3.15).

$$K_{ip} = 2E+09 * 0,50 * 0,65^3 / 5^3 = 2197000 \text{ kg/m}$$

$$K_{ig} = 2E+09 * 0,50 * 0,90^3 / 5^3 = 5832000 \text{ kg/m}$$

$$k_{tot} = 2 * 2197000 + 5832000 = 10226000 \text{ kg/m}$$

Selanjutnya hasil perhitungan tiap tingkat disajikan dalam bentuk Tabel 5.3.

Tabel 5.3 Hasil perhitungan kekakuan struktur 12 tingkat

No.	Lantai	Kekakuan (kg/m)
1.	1	10226000,00000
2.	2, 3	19972656,25000
3.	4, 5, 6	17975390,62500
4.	7, 8, 9	11879296,87500
5.	10, 11, 12	10559375,00000

5.4 Analisis Respon Struktur Akibat Beban Gempa

Analisis respon struktur akibat beban gempa merupakan plot grafik nilai-nilai yang dihasilkan oleh program Progsip 2002 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.

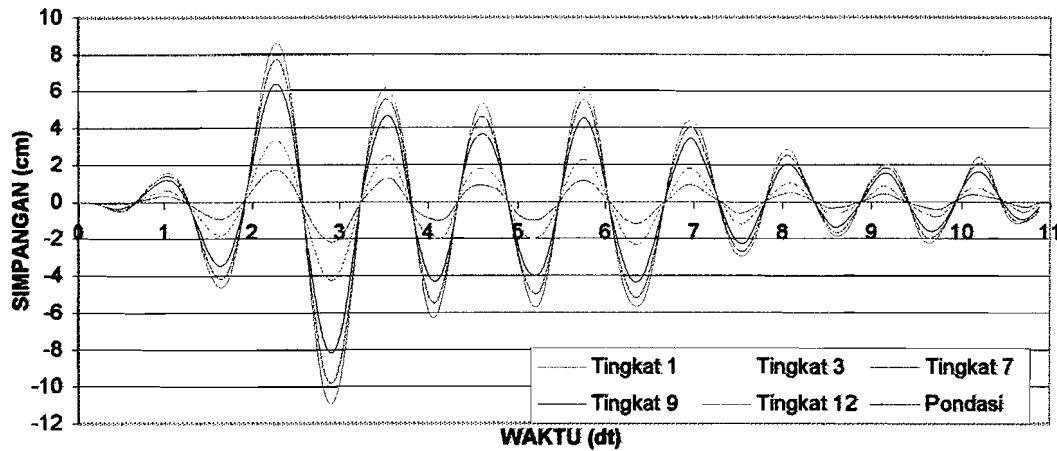
Analisis meliputi Simpangan Netto, Rotasi Pondasi, Simpangan Rotasi, Simpangan Total, Simpangan Antar Tingkat (*Interstorey Drift*), Gaya Horisontal Tingkat, Gaya Geser Tingkat dan Moment Guling pada struktur 12 tingkat dengan mengkombinasikan kekakuan horisontal tanah (k_h) dan kekakuan putar tanah (k_r).

Adapun nilai-nilai k_h dan k_r yang dikombinasikan adalah sebagai berikut :

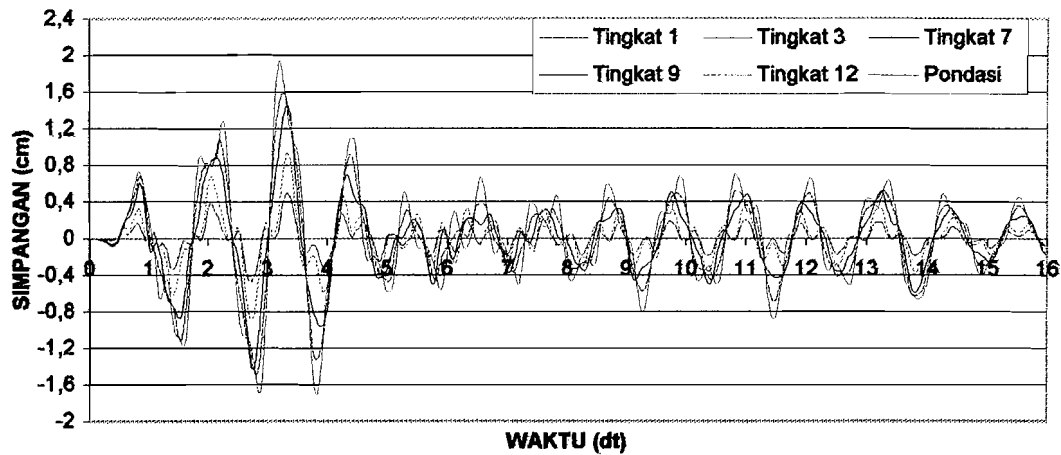
1. $k_h = 2E+15$, $k_r = 4E+15$
2. $k_h = 2E+07$, $k_r = 4E+08$
3. $k_h = 2E+07$, $k_r = 2E+08$
4. $k_h = 1E+07$, $k_r = 4E+08$

5.4.1 Perhitungan Simpangan Netto

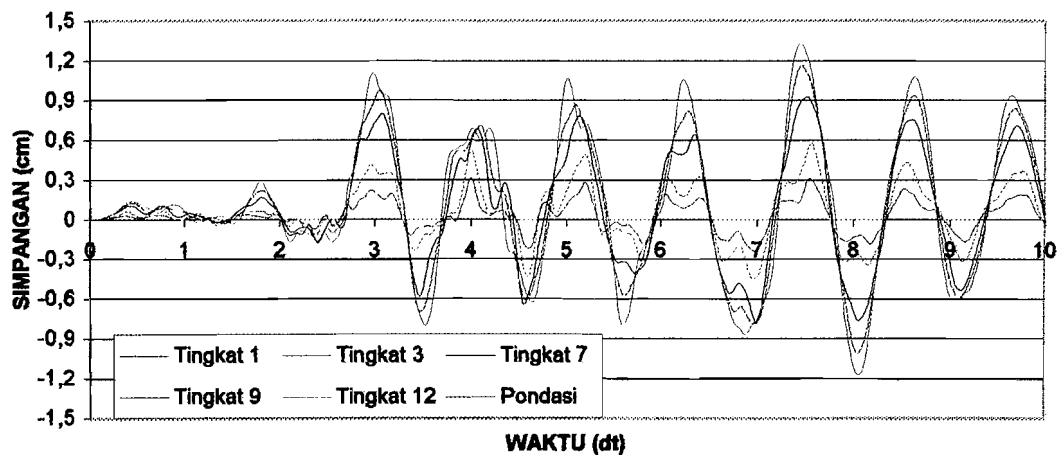
Simpangan netto merupakan simpangan bersih struktur akibat beban gempa. Hasil analisis ditampilkan dalam bentuk grafik antara simpangan struktur lawan waktu, dapat dilihat pada gambar berikut :



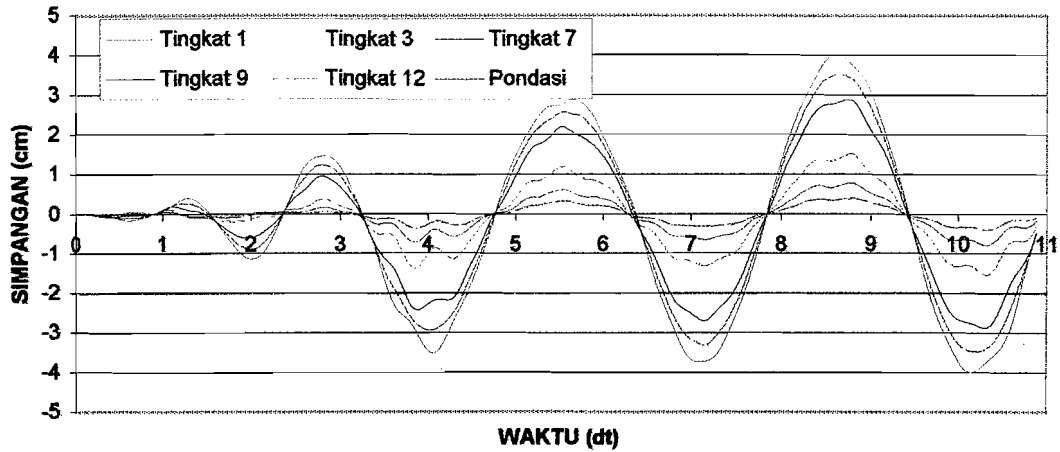
Gambar 5.1 Simpangan netto struktur 12 tk akibat gempa Bucharest
 $kh=2E+15$, $kr=4E+15$



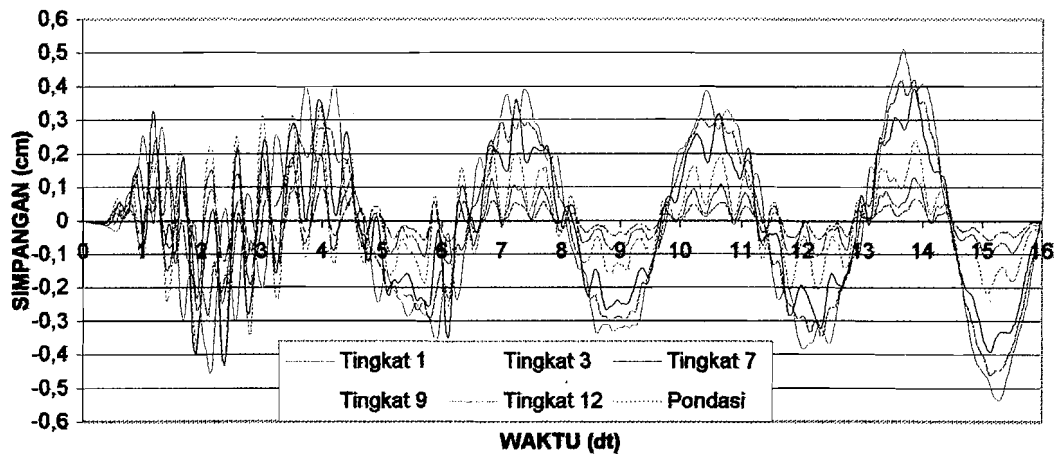
Gambar 5.2 Simpangan netto struktur 12 tk akibat gempa Elcentro
 $kh=2E+15$, $kr=4E+15$



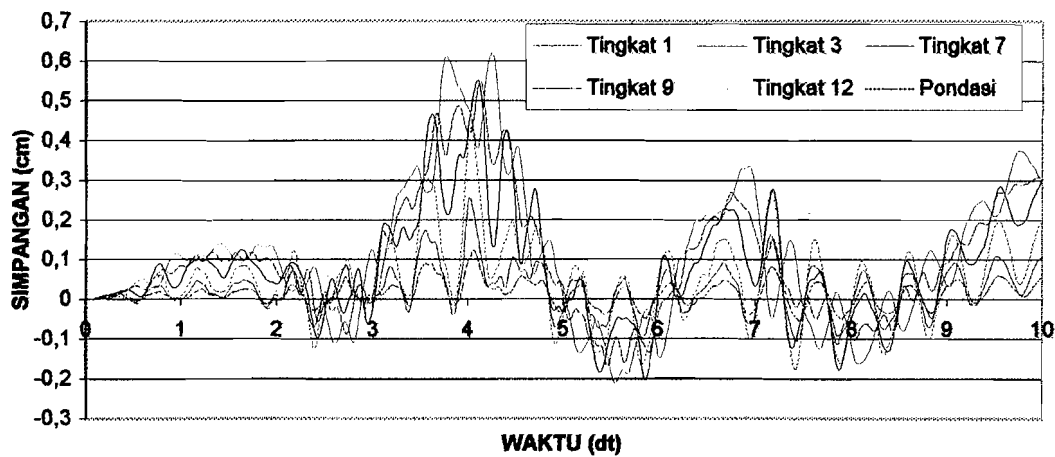
Gambar 5.3 Simpangan netto struktur 12 tk akibat gempa Koyna
 $kh=2E+15$, $kr=4E+15$



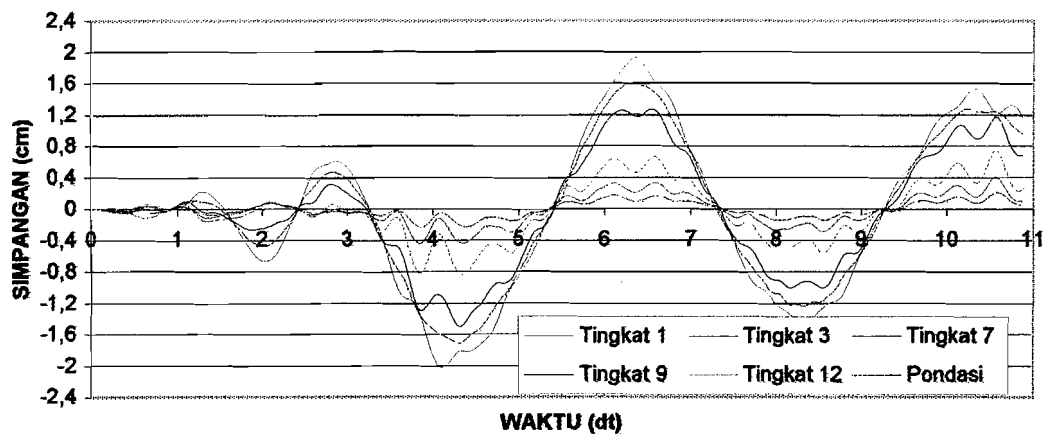
Gambar 5.4 Simpangan netto struktur 12 tk akibat gempa Bucharest
 $kh=2E+07$, $kr=4E+08$



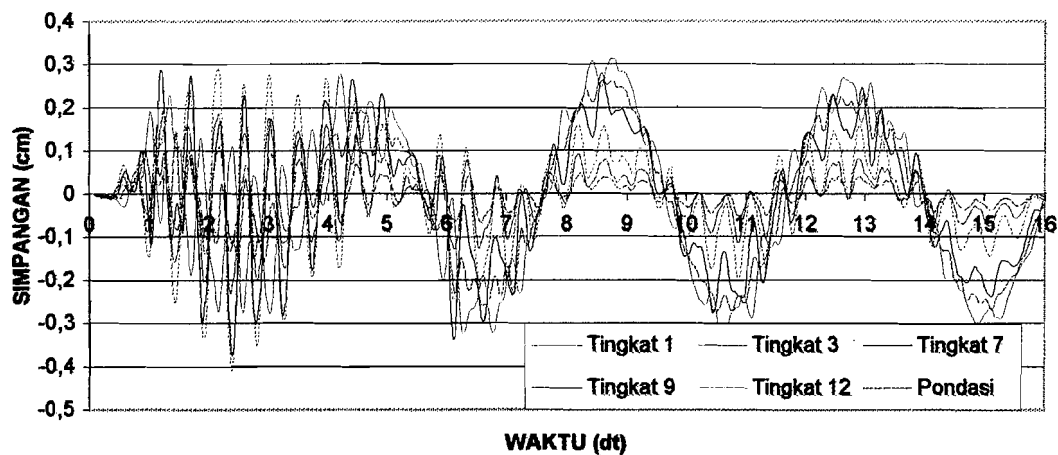
Gambar 5.5 Simpangan netto struktur 12 tk akibat gempa Elcentro
 $kh=2E+07$, $kr=4E+08$



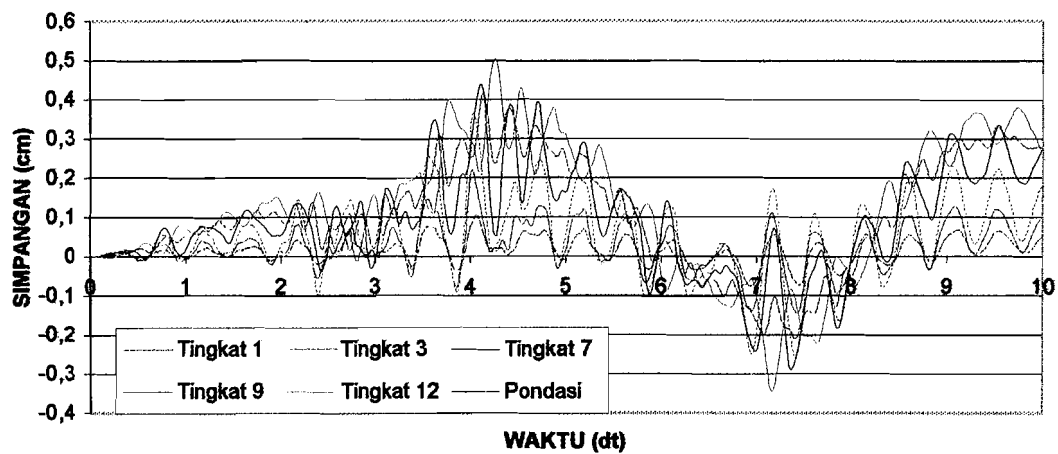
Gambar 5.6 Simpangan netto struktur 12 tk akibat gempa Koyna
 $kh=2E+07$, $kr=4E+08$



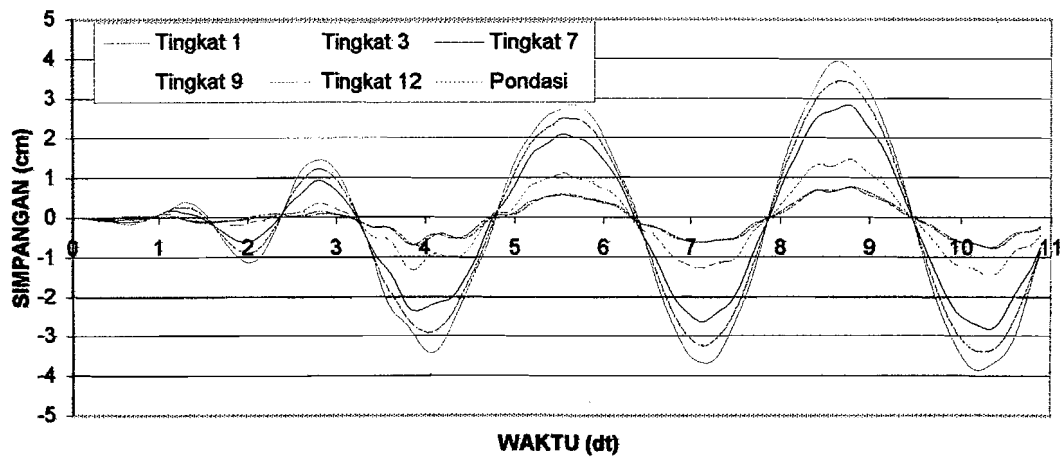
Gambar 5.7 Simpangan netto struktur 12 tk akibat gempa Bucharest
 $kh=2E+07$, $kr=2E+08$



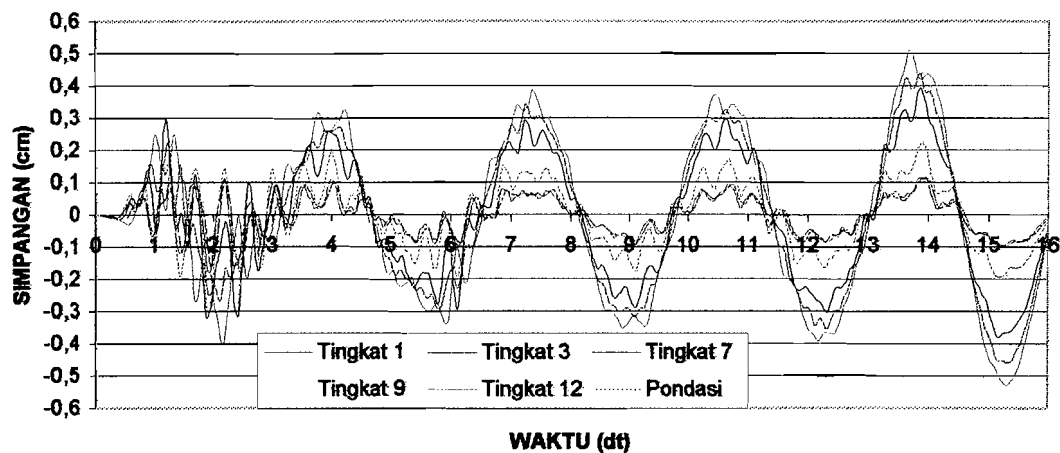
Gambar 5.8 Simpangan netto struktur 12 tk akibat gempa Elcentro
 $kh=2E+07$, $kr=2E+08$



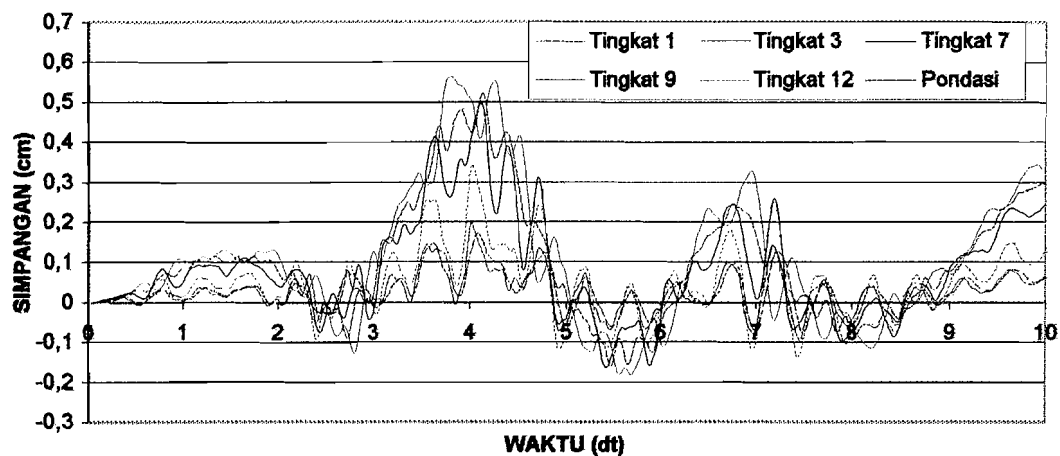
Gambar 5.9 Simpangan netto struktur 12 tk akibat gempa Koyna
 $kh=2E+07$, $kr=2E+08$



Gambar 5.10 Simpangan netto struktur 12 tk akibat gempa Bucharest
 $kh=1E+07$, $kr=4E+08$



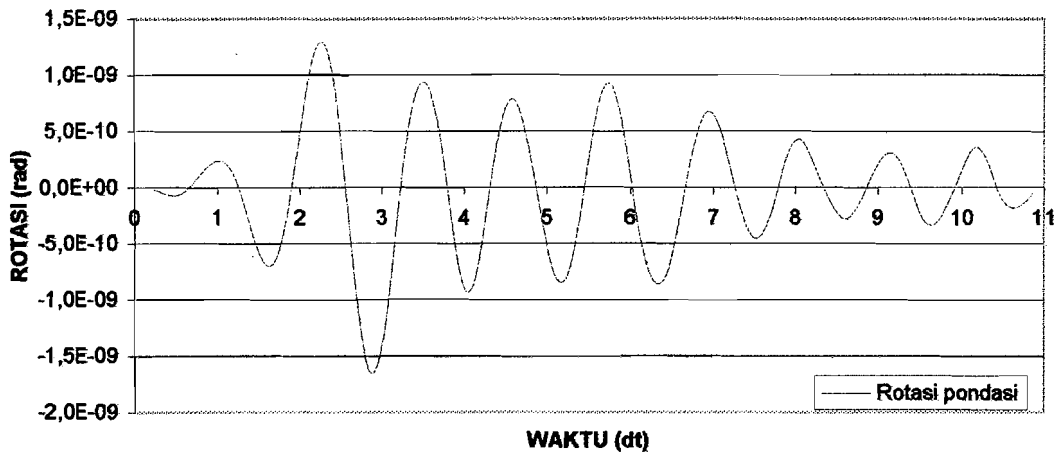
Gambar 5.11 Simpangan netto struktur 12 tk akibat gempa Elcentro
 $kh=1E+07$, $kr=4E+08$



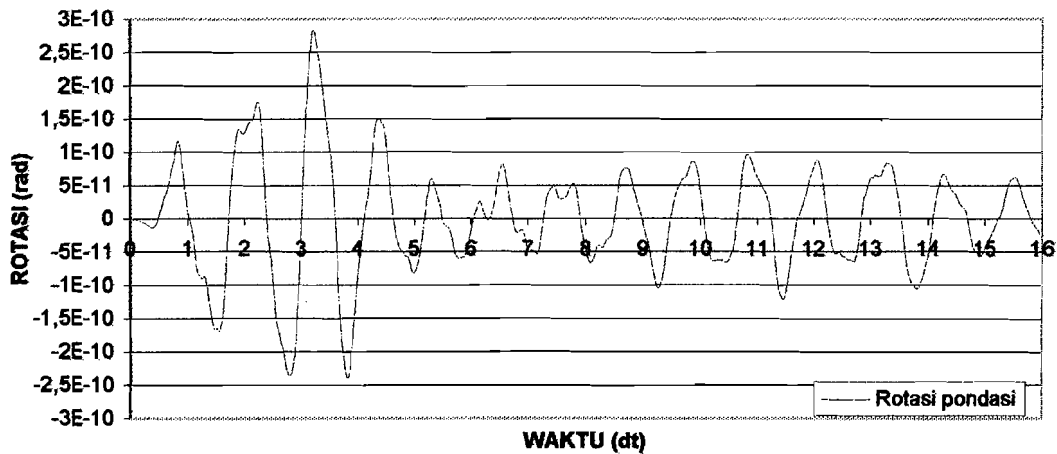
Gambar 5.12 Simpangan netto struktur 12 tk akibat gempa Koyna
 $kh=1E+07$, $kr=4E+08$

5.4.2 Perhitungan Rotasi Pondasi

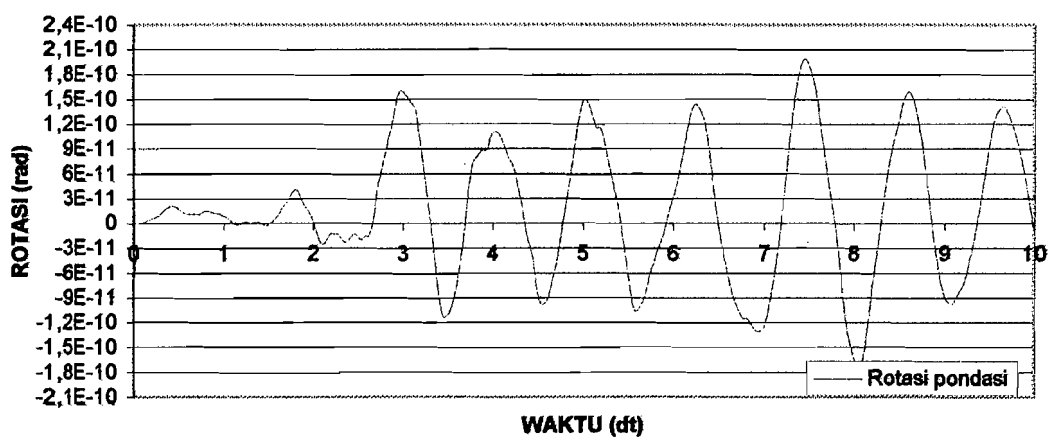
Rotasi pondasi adalah nilai sudut yang terjadi pada pondasi yang dipengaruhi oleh kekakuan horisontal tanah k_h , dan kekakuan putar tanah k_r . Hasil analisis ditampilkan dalam bentuk grafik antara nilai sudut rotasi lawan waktu, dapat dilihat pada gambar berikut :



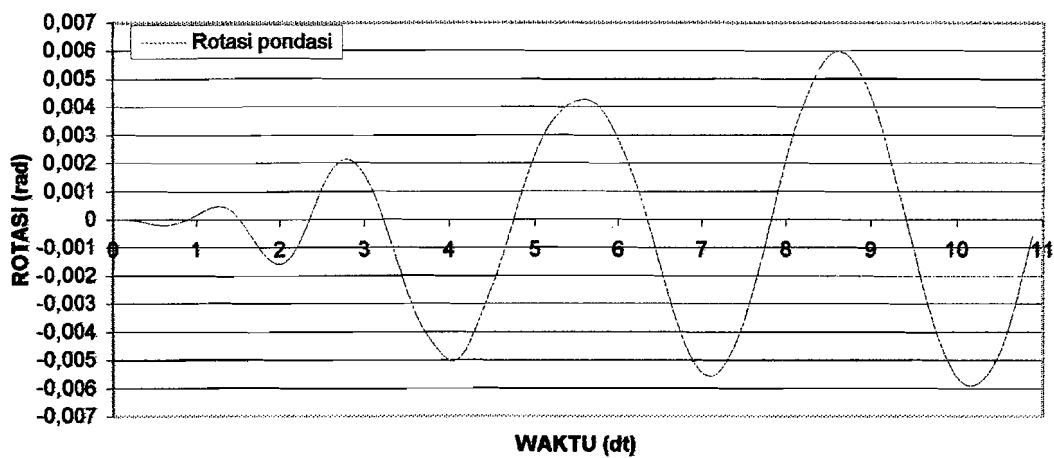
Gambar 5.13 Rotasi pondasi struktur 12 tk akibat gempa Bucharest
 $kh=2E+15$, $kr=4E+15$



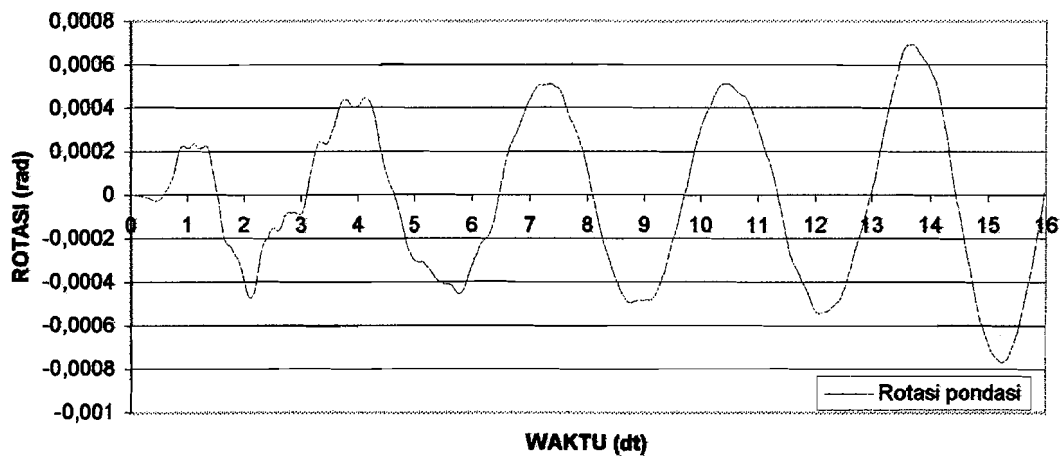
Gambar 5.14 Rotasi pondasi struktur 12 tk akibat gempa Elcentro
 $kh=2E+15$, $kr=4E+15$



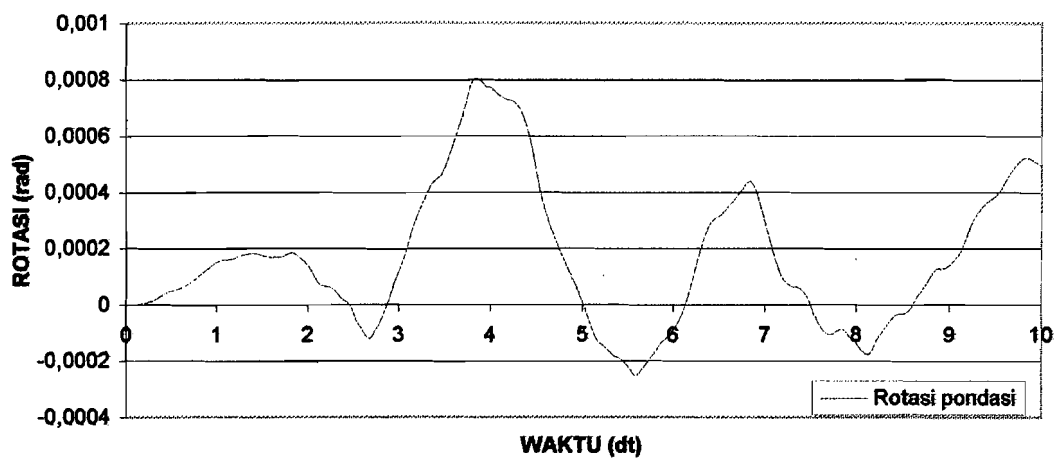
Gambar 5.15 Rotasi pondasi struktur 12 tk akibat gempa Koyna
 $kh=2E+15$, $kr=4E+15$



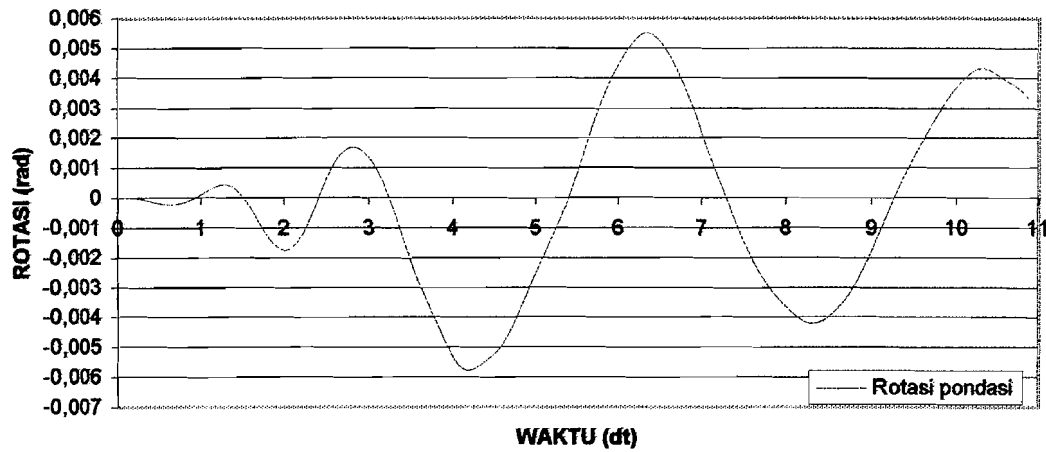
Gambar 5.16 Rotasi pondasi struktur 12 tk akibat gempa Bucharest
 $kh=2E+07$, $kr=4E+08$



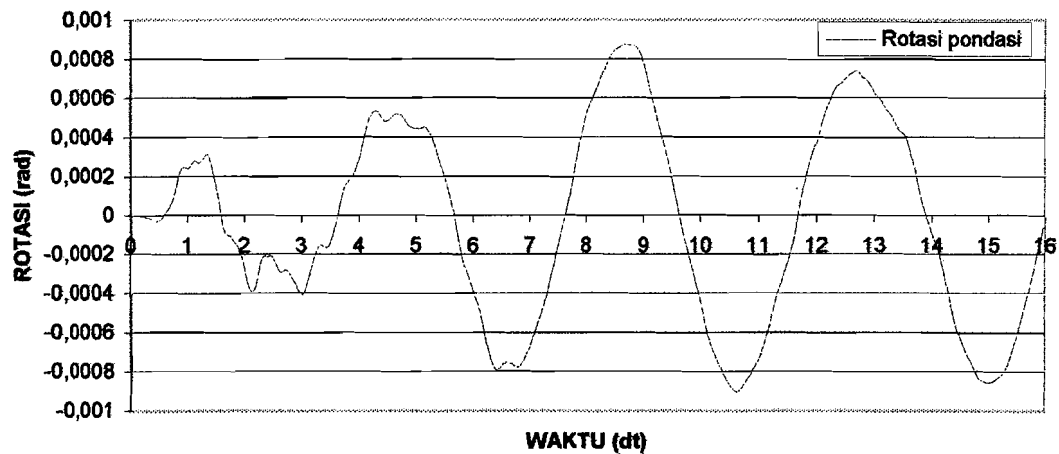
Gambar 5.17 Rotasi pondasi struktur 12 tk akibat gempa Elcentro
 $kh=2E+07$, $kr=4E+08$



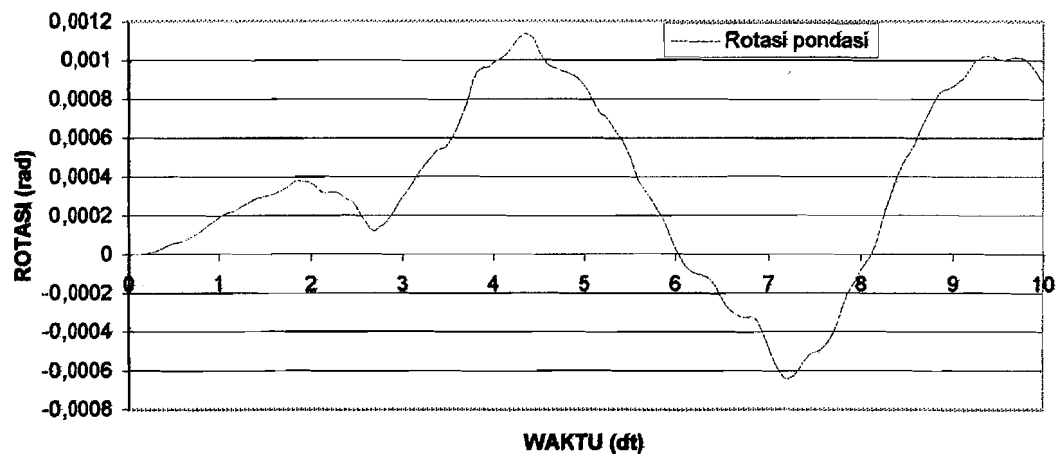
Gambar 5.18 Rotasi pondasi struktur 12 tk akibat gempa Koyna
 $kh=2E+07$, $kr=4E+08$



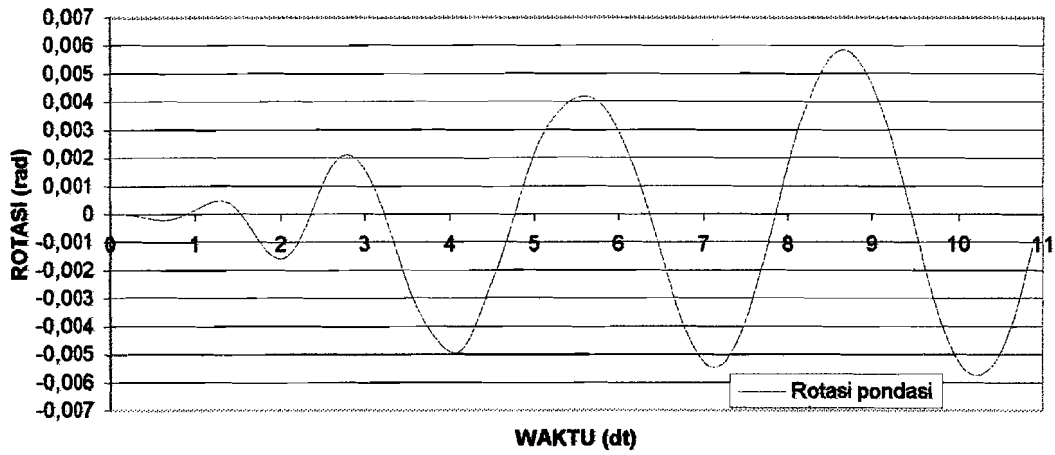
Gambar 5.19 Rotasi pondasi struktur 12 tk akibat gempa Bucharest
 $kh=2E+07$, $kr=2E+08$



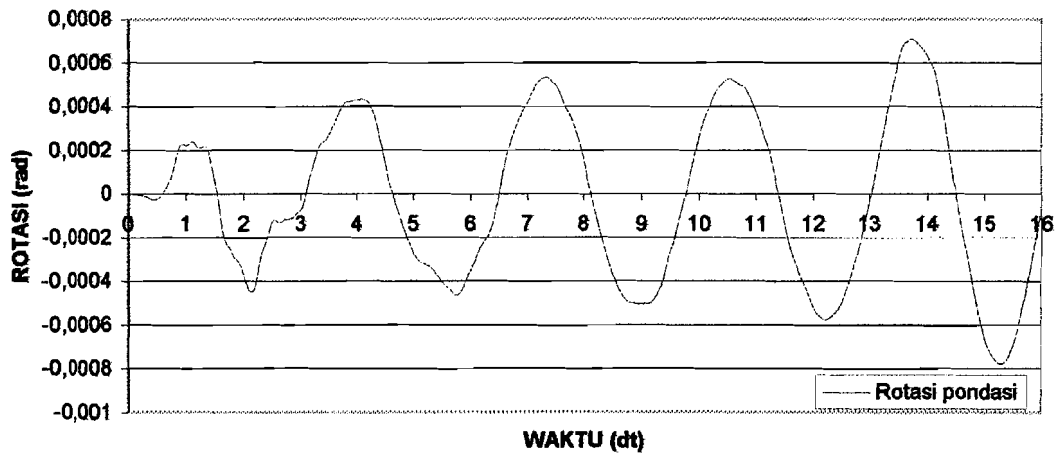
Gambar 5.20 Rotasi pondasi struktur 12 tk akibat gempa Elcentro
 $kh=2E+07$, $kr=2E+08$



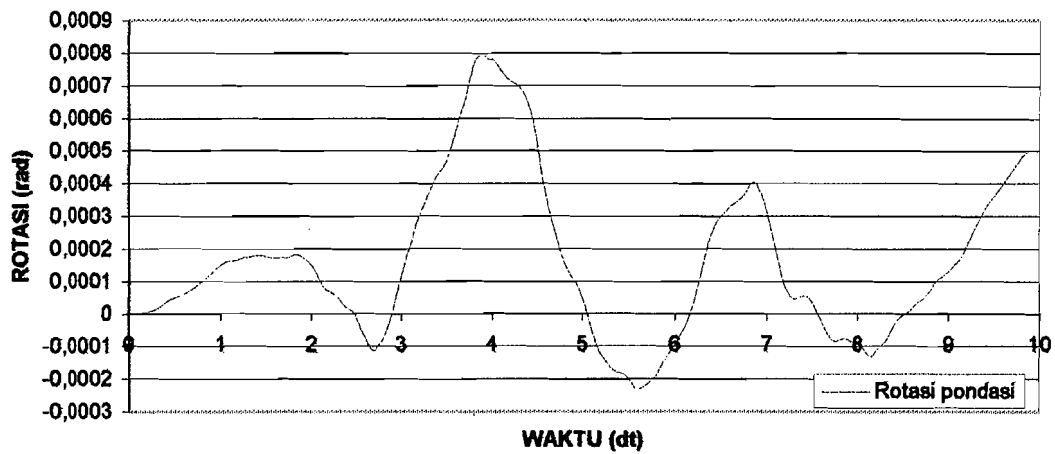
Gambar 5.21 Rotasi pondasi struktur 12 tk akibat gempa Koyna
 $kh=2E+07$, $kr=2E+08$



Gambar 5.22 Rotasi pondasi struktur 12 tk akibat gempa Bucharest
 $kh=1E+07$, $kr=4E+08$



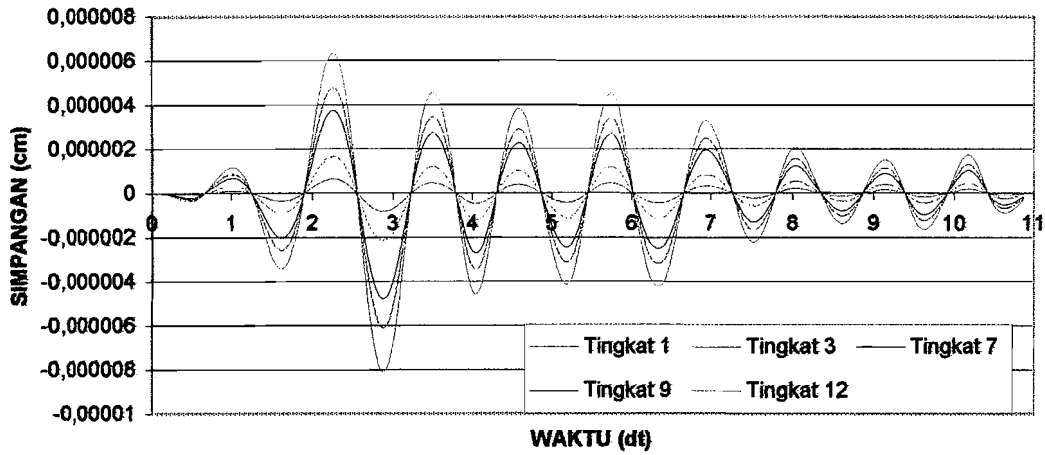
Gambar 5.23 Rotasi pondasi struktur 12 tk akibat gempa Elcentro
 $kh=1E+07$, $kr=4E+08$



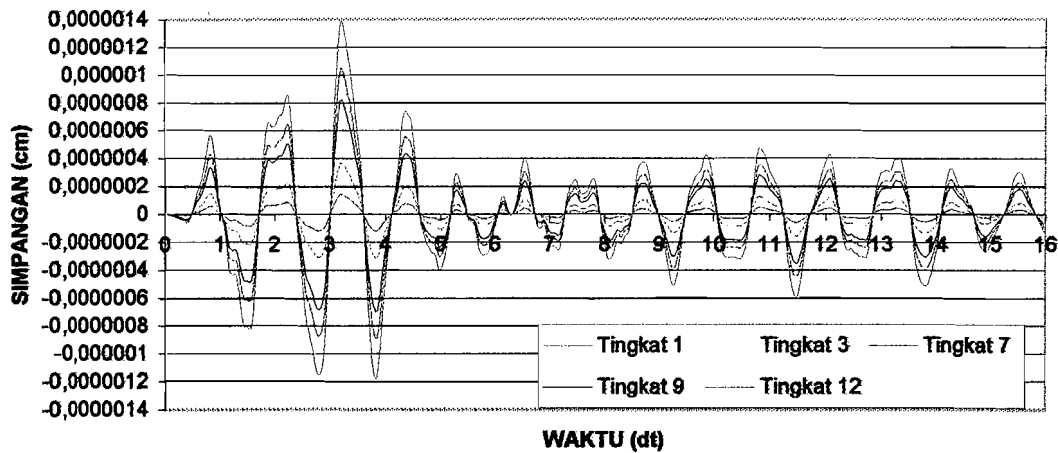
Gambar 5.24 Rotasi pondasi struktur 12 tk akibat gempa Koyna
 $kh=1E+07$, $kr=4E+08$

5.4.3 Perhitungan Simpangan Rotasi

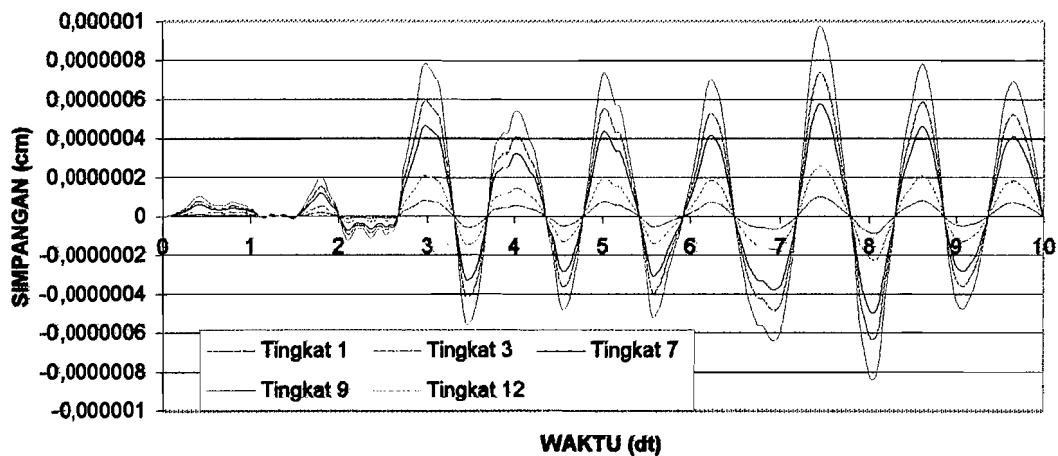
Simpangan rotasi merupakan simpangan struktur yang disebabkan terjadinya rotasi pada pondasi akibat beban gempa. Hasil analisis ditampilkan dalam bentuk grafik antara simpangan struktur lawan waktu, dapat dilihat pada gambar berikut :



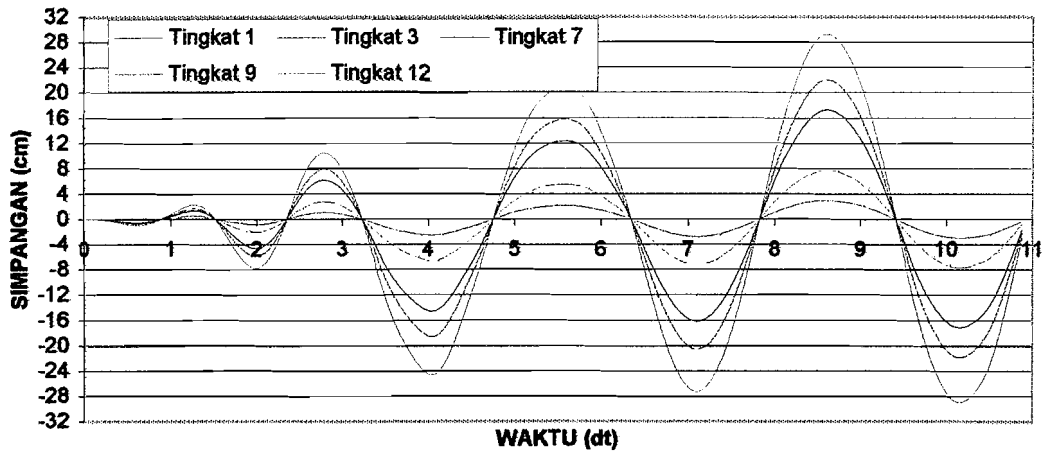
Gambar 5.25 Simpangan rotasi struktur 12 tk akibat gempa Bucharest
 $kh=2E+15$, $kr=4E+15$



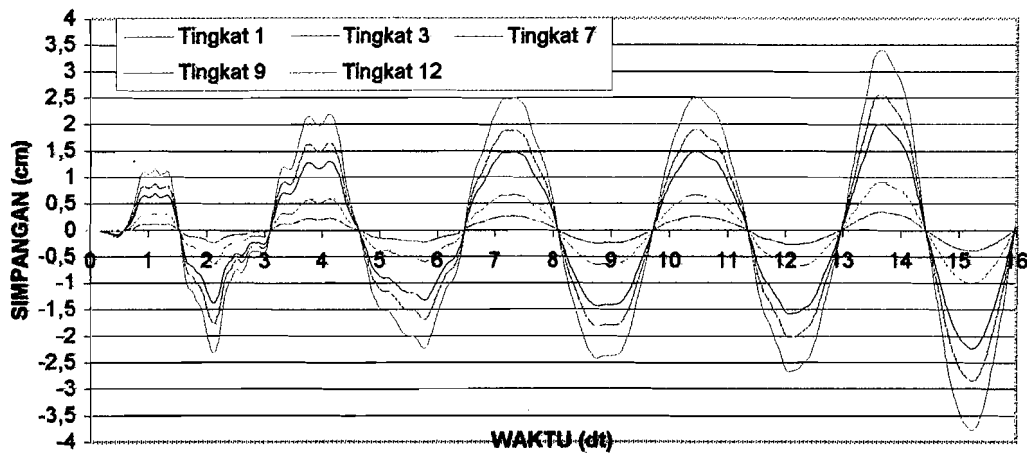
Gambar 5.26 Simpangan rotasi struktur 12 tk akibat gempa Elcentro
 $kh=2E+15$, $kr=4E+15$



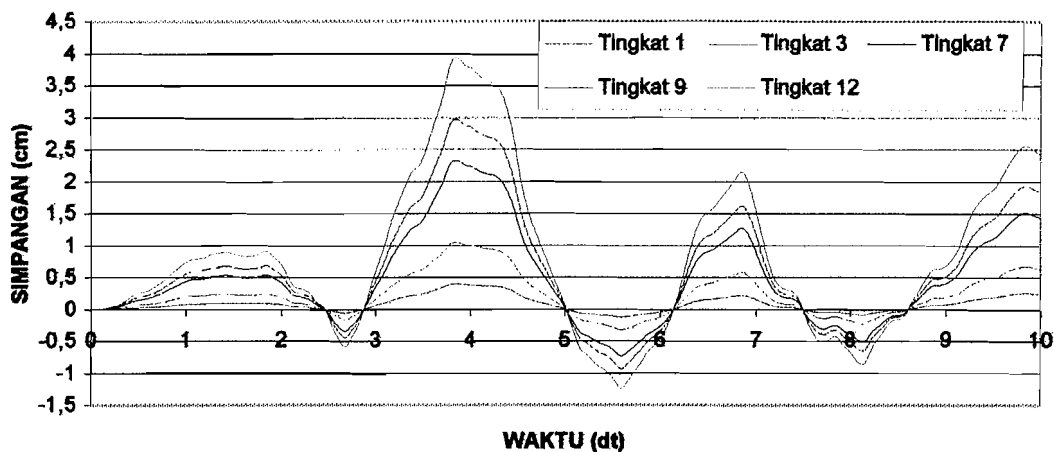
Gambar 5.27 Simpangan rotasi struktur 12 tk akibat gempa Koyna
 $kh=2E+15$, $kr=4E+15$



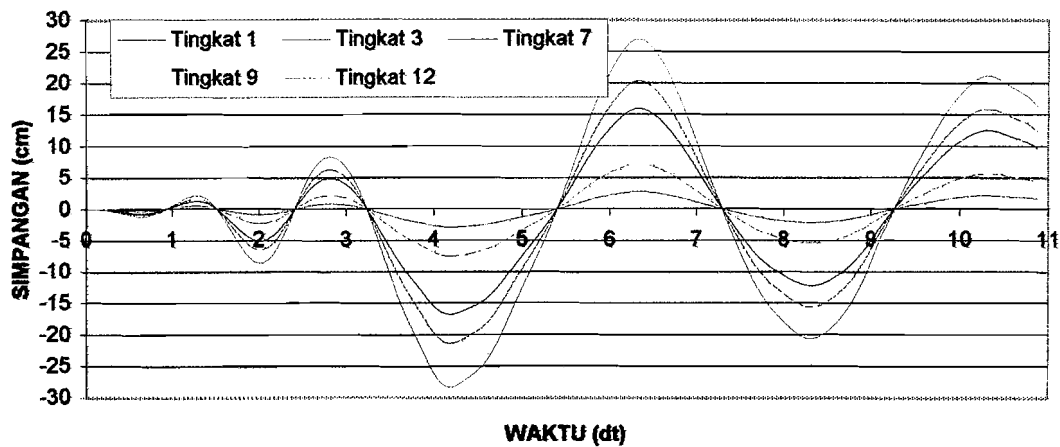
Gambar 5.28 Simpangan rotasi struktur 12 tk akibat gempa Bucharest
 $kh=2E+07$, $kr=4E+08$



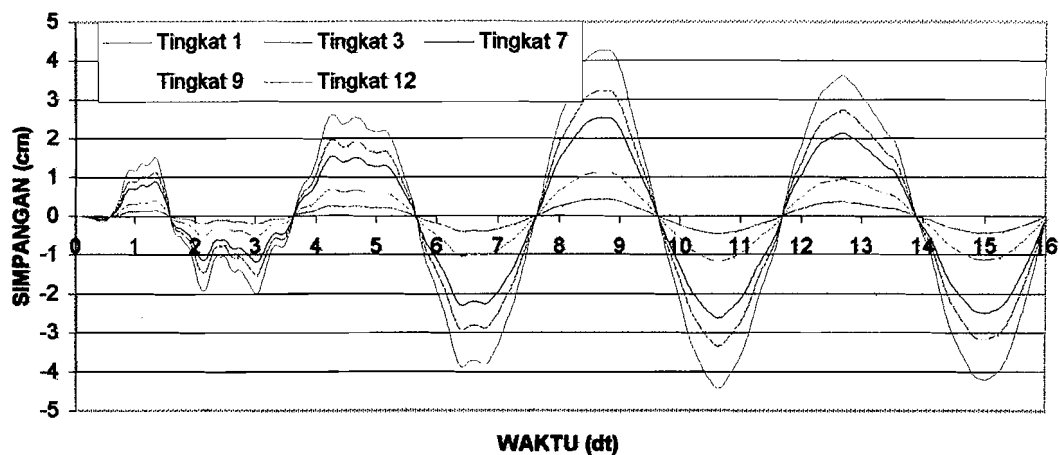
Gambar 5.29 Simpangan rotasi struktur 12 tk akibat gempa Elcentro
 $kh=2E+07$, $kr=4E+08$



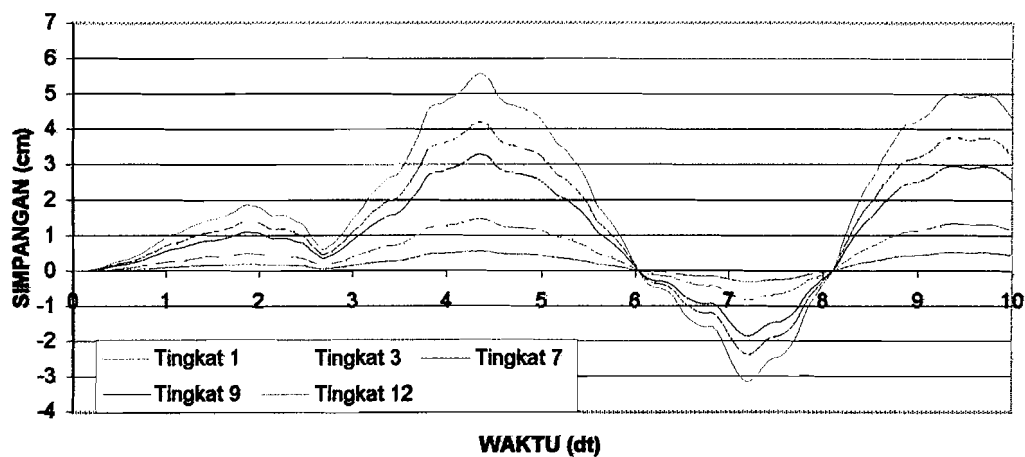
Gambar 5.30 Simpangan rotasi struktur 12 tk akibat gempa Koyna
 $kh=2E+07$, $kr=4E+08$



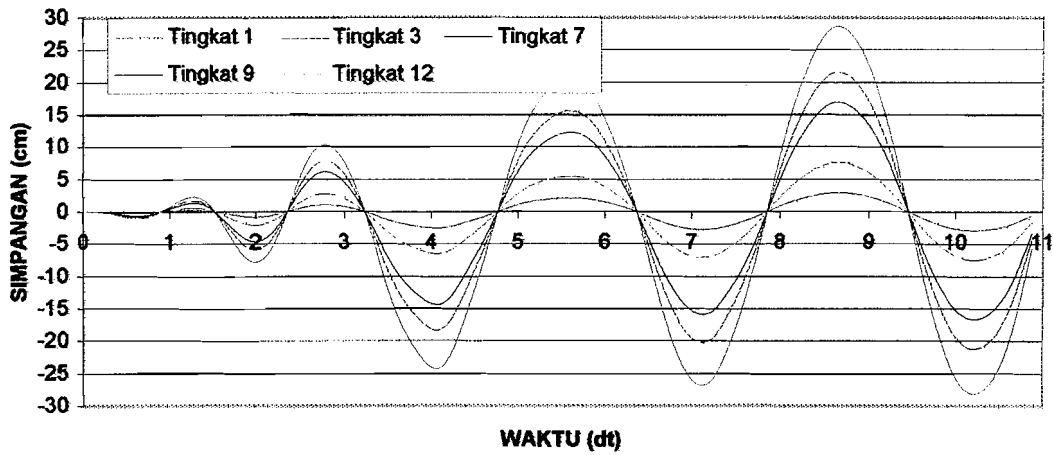
Gambar 5.31 Simpangan rotasi struktur 12 tk akibat gempa Bucharest
 $kh=2E+07$, $kr=2E+08$



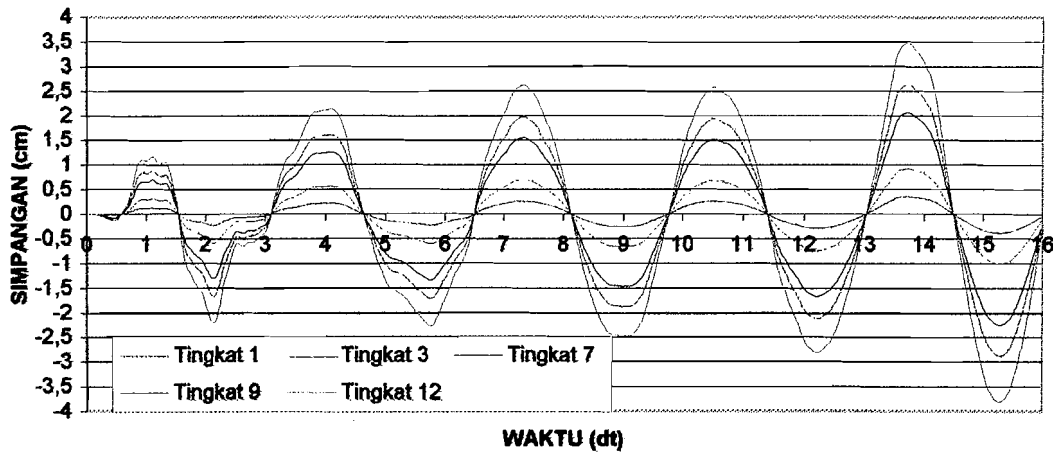
Gambar 5.32 Simpangan rotasi struktur 12 tk akibat gempa Elcentro
 $kh=2E+07$, $kr=2E+08$



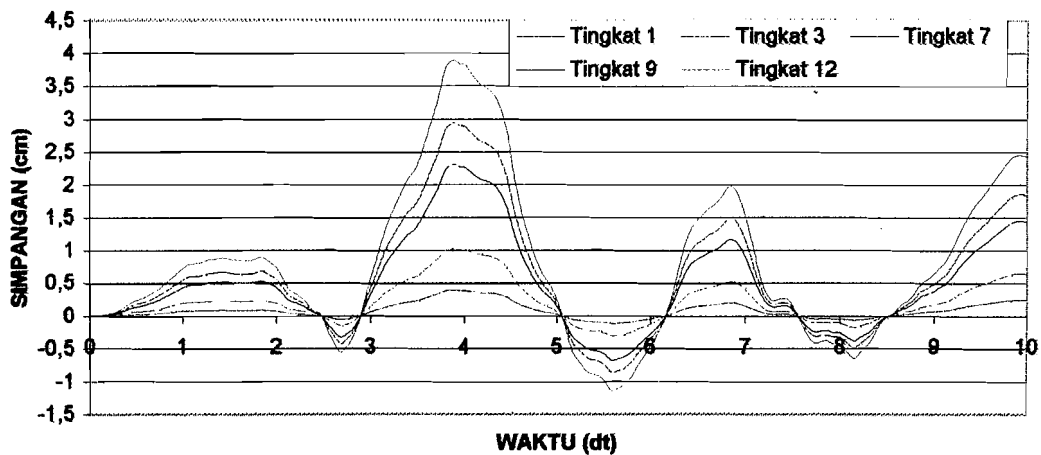
Gambar 5.33 Simpangan rotasi struktur 12 tk akibat gempa Koyna
 $kh=2E+07$, $kr=2E+08$



Gambar 5.34 Simpangan rotasi struktur 12 tk akibat gempa Bucharest
 $kh=1E+07$, $kr=4E+08$



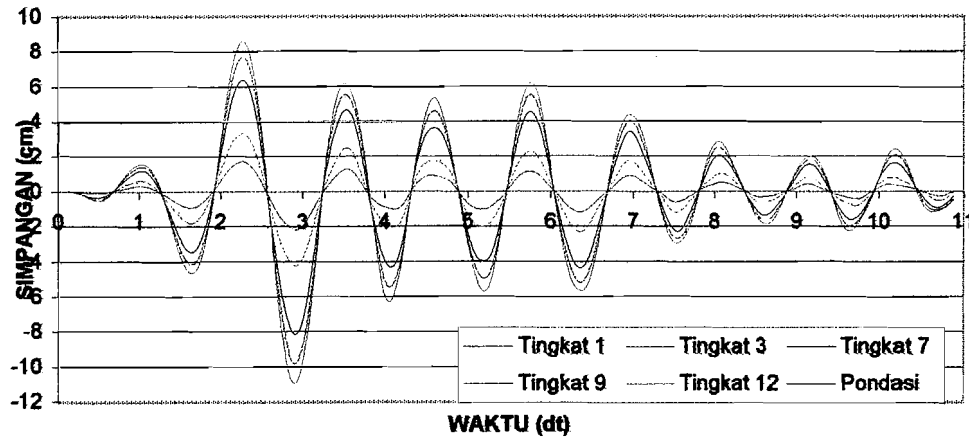
Gambar 5.35 Simpangan rotasi struktur 12 tk akibat gempa Elcentro
 $kh=1E+07$, $kr=4E+08$



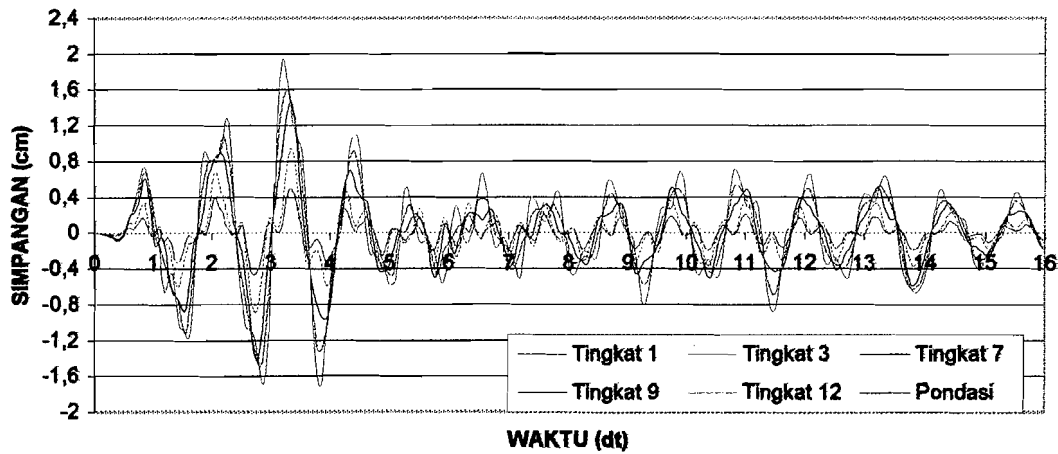
Gambar 5.36 Simpangan rotasi struktur 12 tk akibat gempa Koyna
 $kh=1E+07$, $kr=4E+08$

5.4.4 Perhitungan Simpangan Total

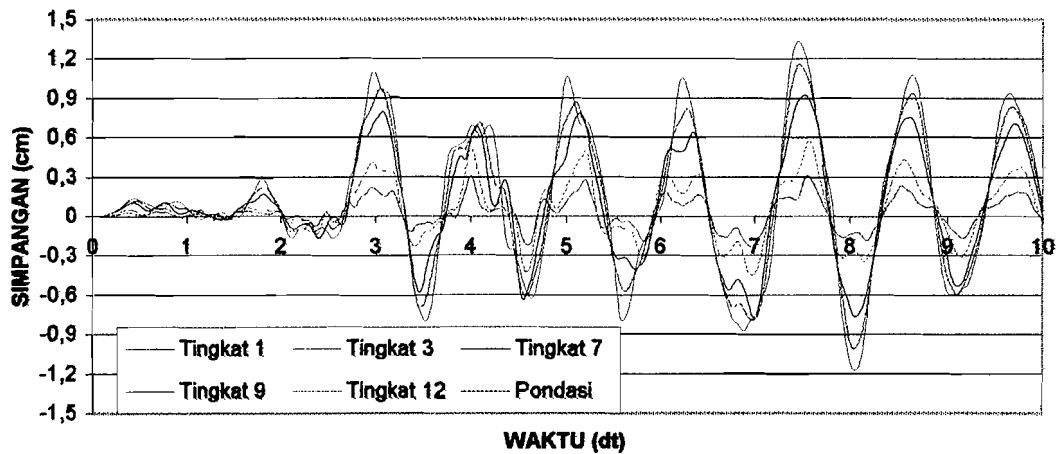
Simpangan total merupakan jumlah dari simpangan bersih struktur (simpangan netto) ditambah simpangan struktur yang diakibat terjadinya rotasi pada pondasi (simpangan rotasi) dan ditambah simpangan pada pondasi akibat beban gempa. Hasil analisis ditampilkan dalam bentuk grafik antara simpangan total struktur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



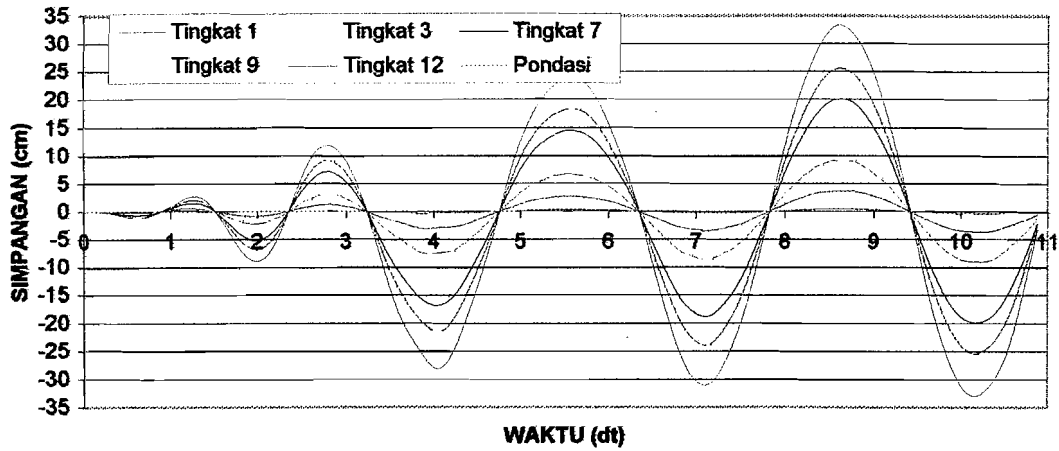
Gambar 5.37 Simpangan total struktur 12 tk akibat gempa Bucharest
 $kh=2E+15$, $kr=4E+15$



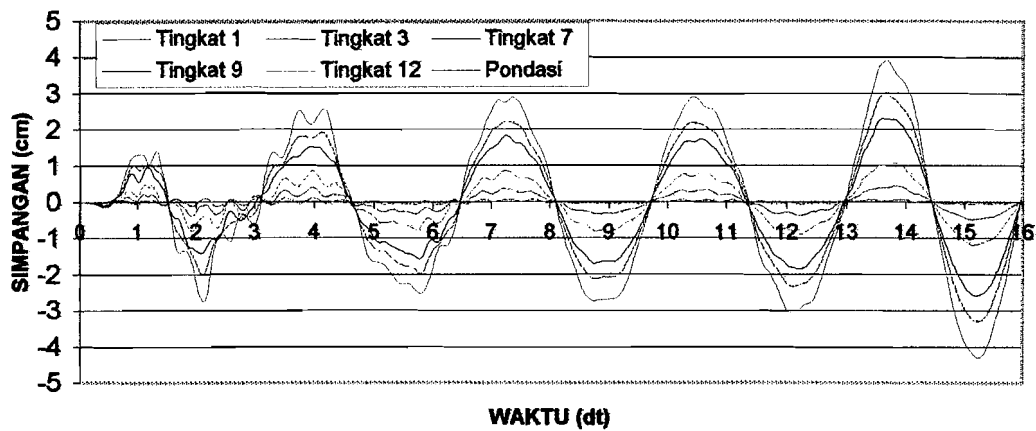
Gambar 5.38 Simpangan total struktur 12 tk akibat gempa Elcentro
 $kh=2E+15$, $kr=4E+15$



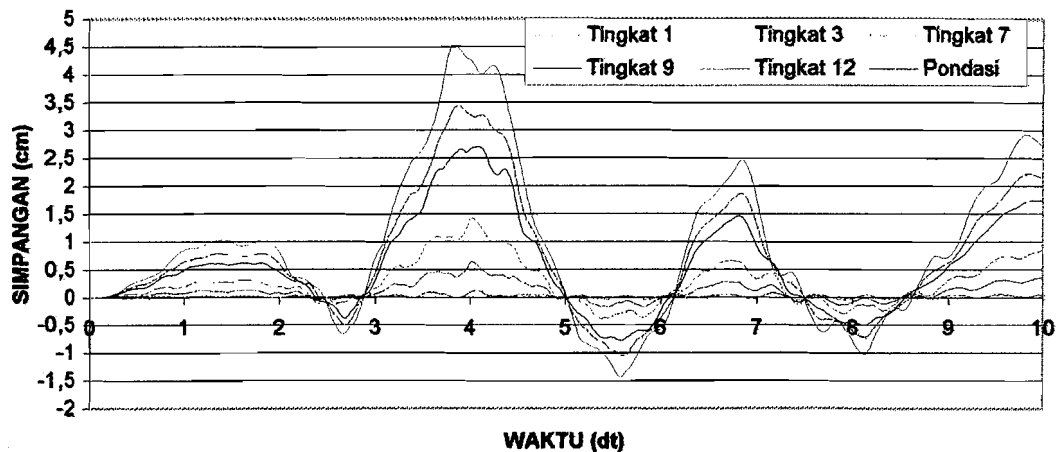
Gambar 5.39 Simpangan total struktur 12 tk akibat gempa Koyna
 $kh=2E+15$, $kr=4E+15$



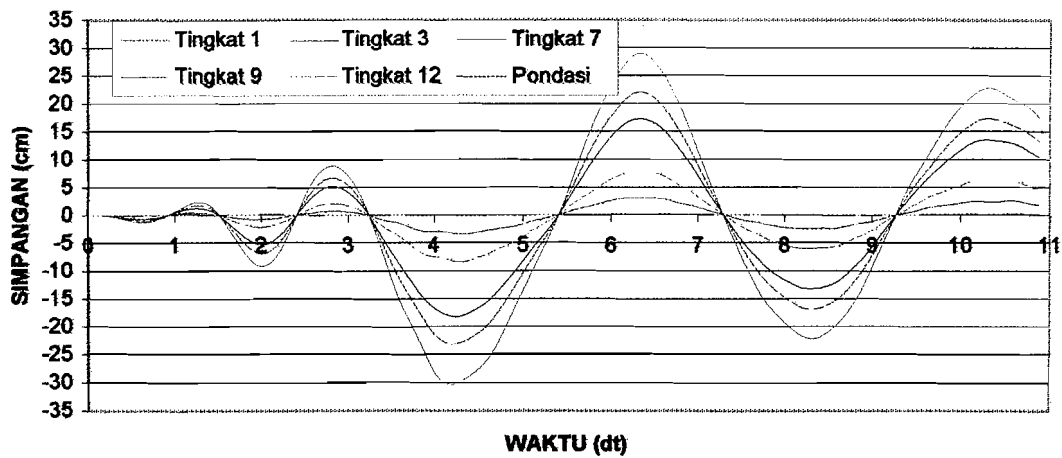
Gambar 5.40 Simpangan total struktur 12 tk akibat gempa Bucharest
 $kh=2E+07$, $kr=4E+08$



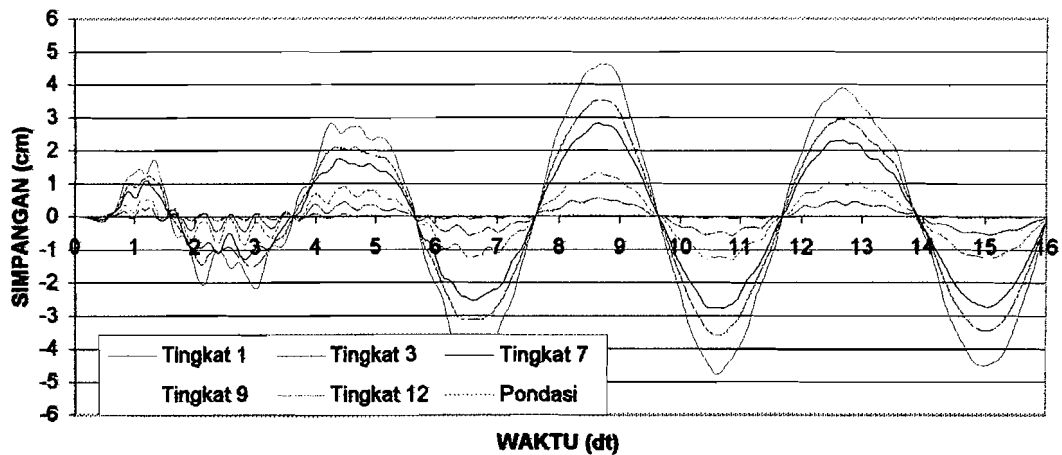
Gambar 5.41 Simpangan total struktur 12 tk akibat gempa Elcentro
 $kh=2E+07$, $kr=4E+08$



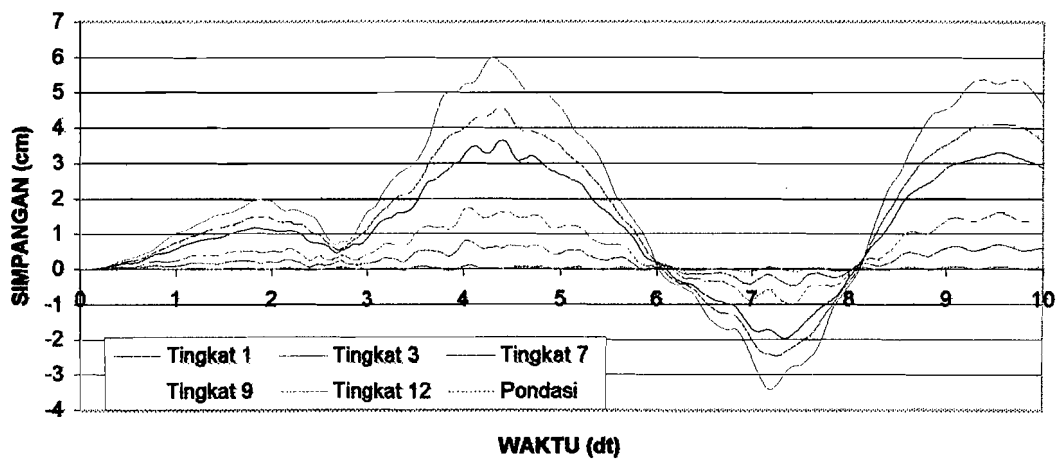
Gambar 5.42 Simpangan total struktur 12 tk akibat gempa Koyna
 $kh=2E+07$, $kr=4E+08$



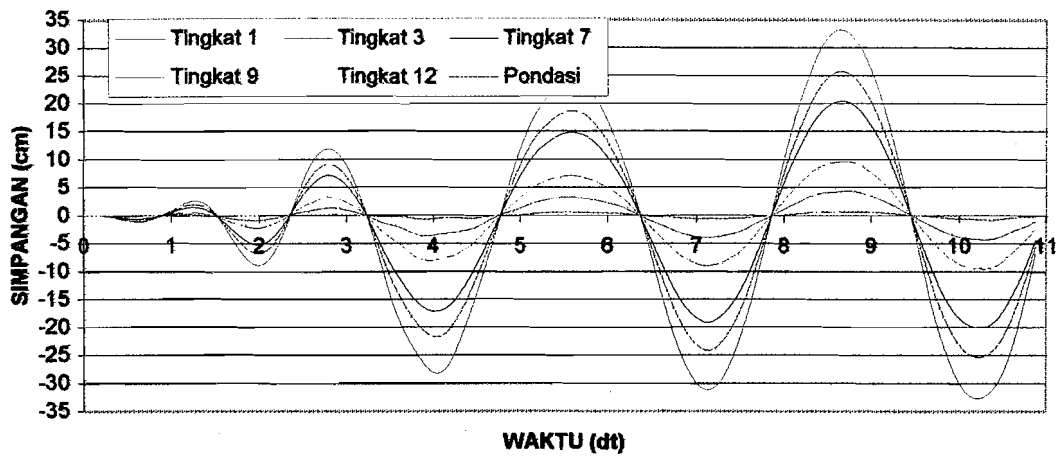
Gambar 5.43 Simpangan total struktur 12 tk akibat gempa Bucharest
 $kh=2E+07$, $kr=2E+08$



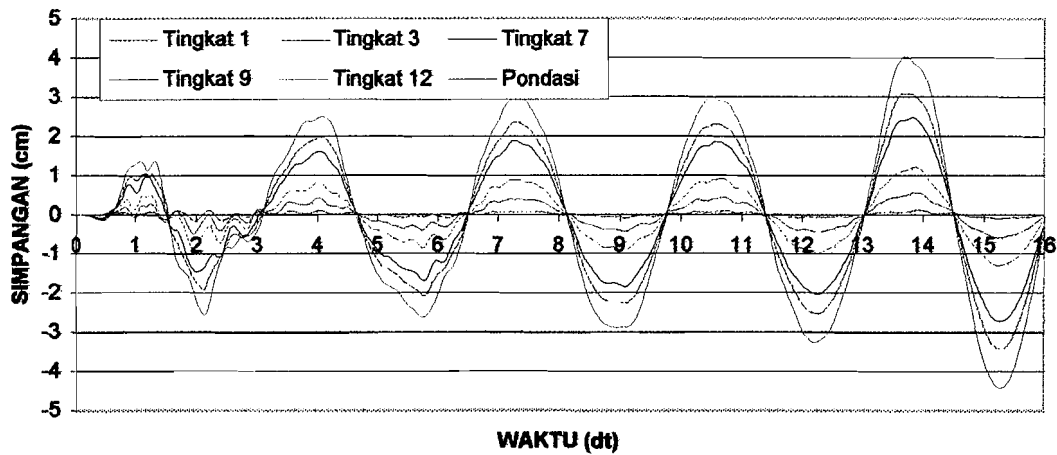
Gambar 5.44 Simpangan total struktur 12 tk akibat gempa Elcentro
 $kh=2E+07$, $kr=2E+08$



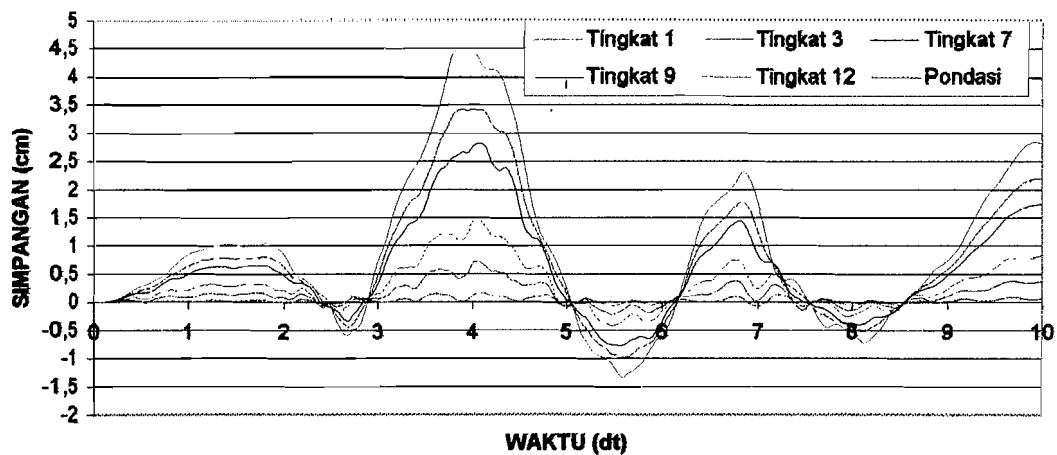
Gambar 5.45 Simpangan total struktur 12 tk akibat gempa Koyna
 $kh=2E+07$, $kr=2E+08$



Gambar 5.46 Simpangan total struktur 12 tk akibat gempa Bucharest
 $kh=1E+07$, $kr=4E+08$



Gambar 5.47 Simpangan total struktur 12 tk akibat gempa Elcentro
 $kh=1E+07$, $kr=4E+08$



Gambar 5.48 Simpangan total struktur 12 tk akibat gempa Koyna
 $kh=1E+07$, $kr=4E+08$

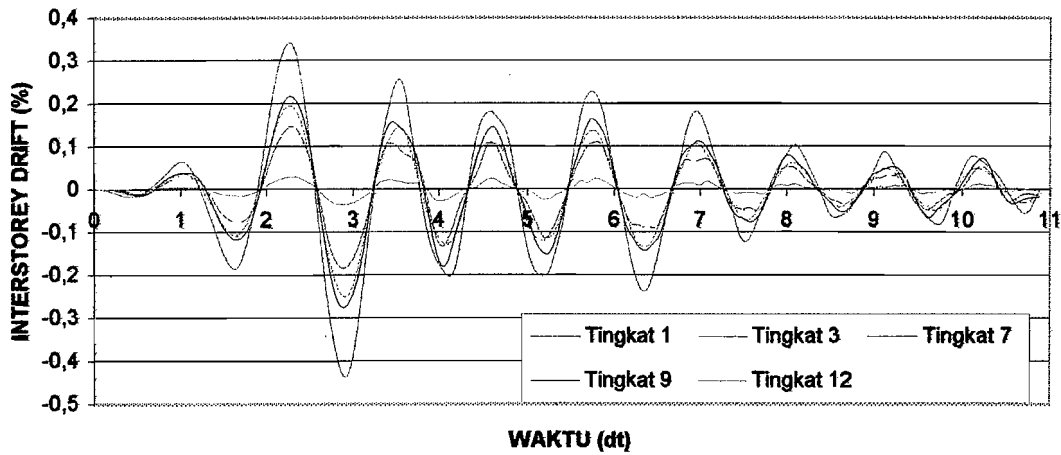
5.4.5 Perhitungan Simpangan Antar Tingkat (*Interstorey Drift*)

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 :

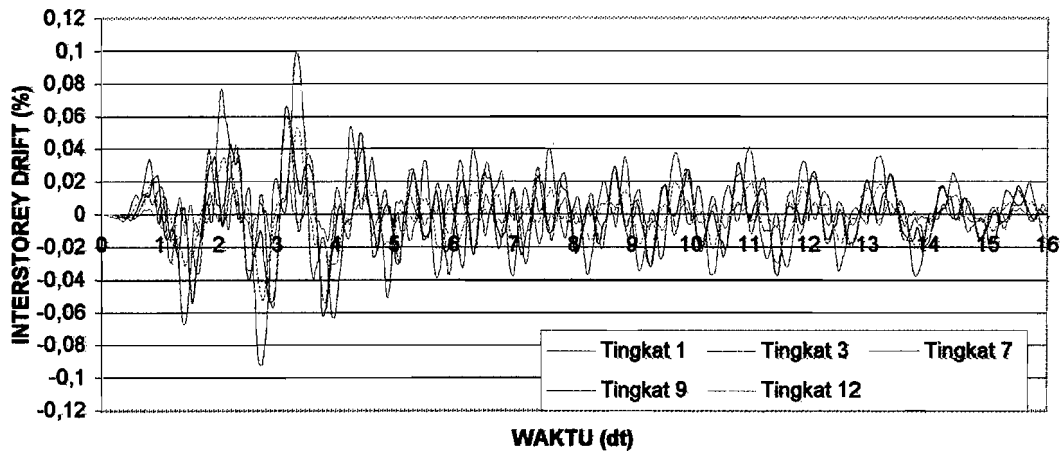
$$yy_j(t) = \frac{y_j(t) - y_{j-1}(t)}{h} * 100\% \dots\dots\dots (5.1)$$

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.

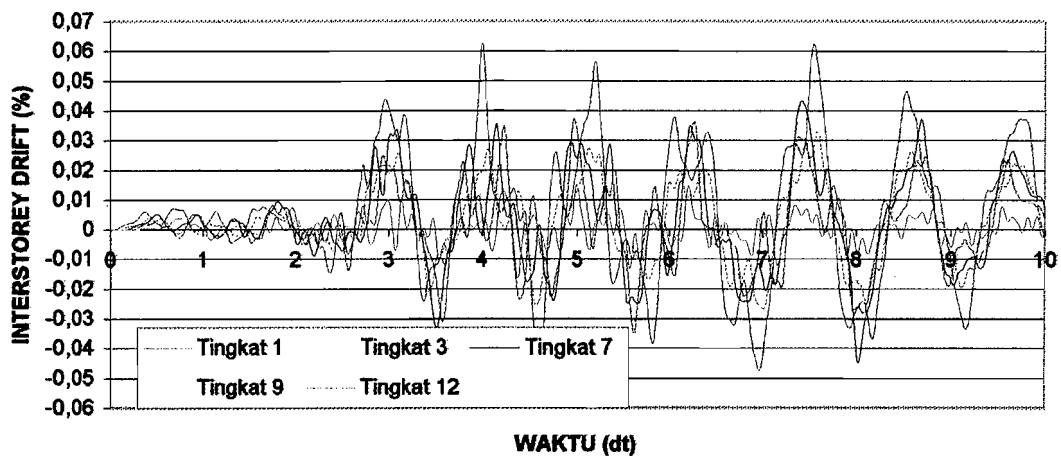
Hasil analisis ditampilkan dalam bentuk grafik antara simpangan antar tingkat (*interstorey drift*) lawan waktu, dapat dilihat pada gambar berikut :



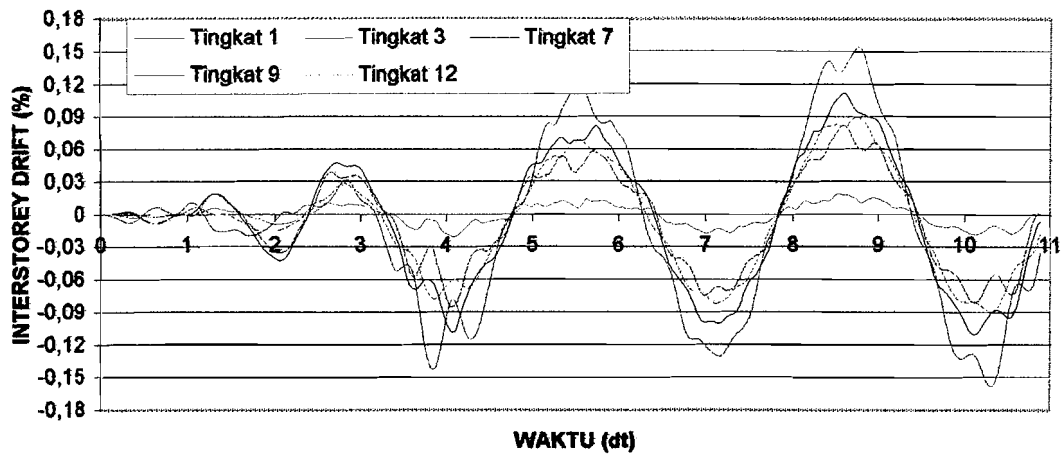
Gambar 5.49 Interstorey drift struktur 12 tk akibat gempa Bucharest
 $kh=2E+15$, $kr=4E+15$



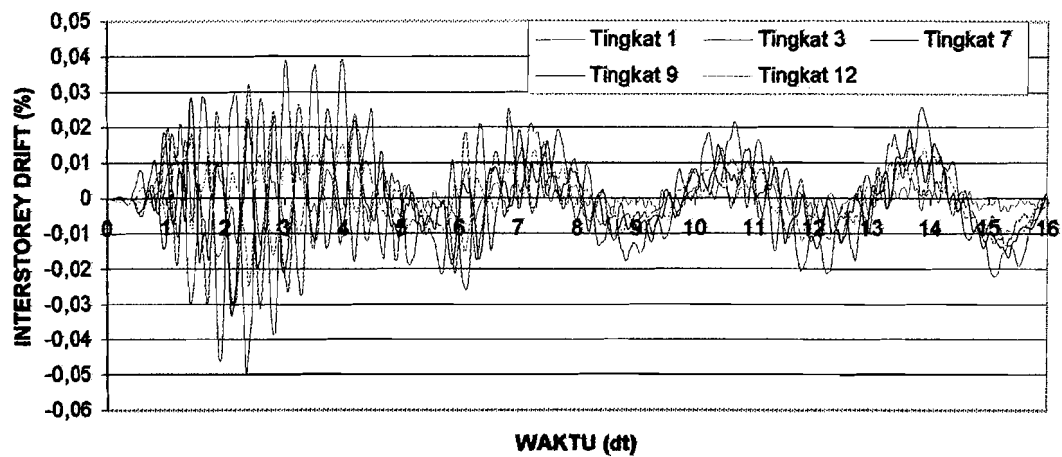
Gambar 5.50 Interstorey drift struktur 12 tk akibat gempa Elcentro
 $kh=2E+15$, $kr=4E+15$



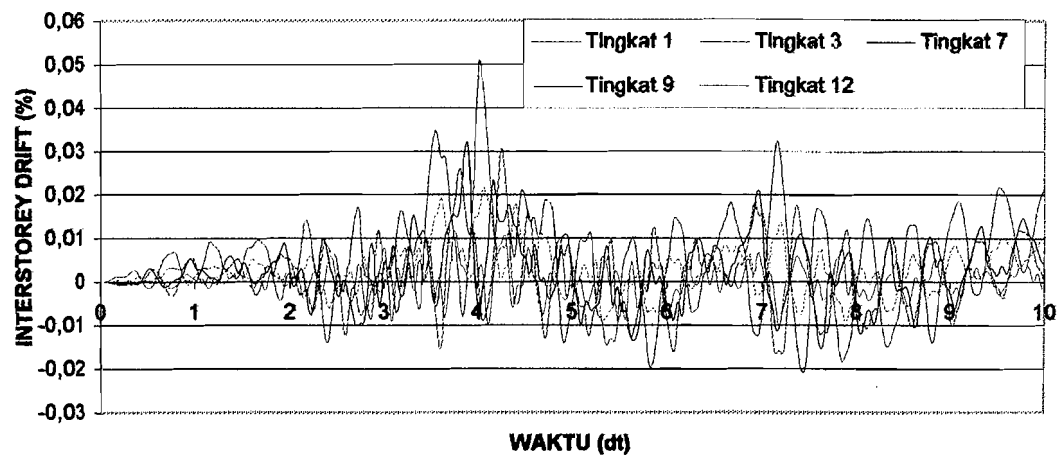
Gambar 5.51 Interstorey drift struktur 12 tk akibat gempa Koyna
 $kh=2E+15$, $kr=4E+15$



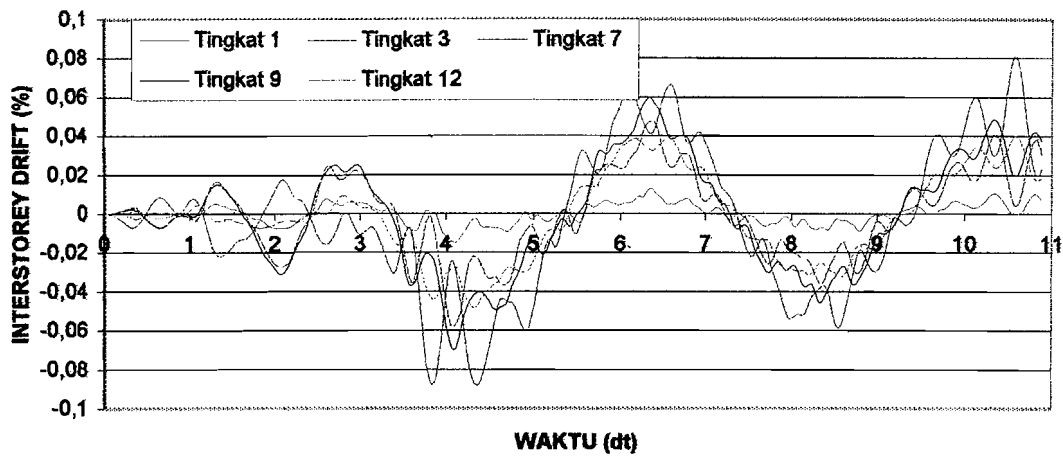
Gambar 5.52 Interstorey drift struktur 12 tk akibat gempa Bucharest
 $kh=2E+07$, $kr=4E+08$



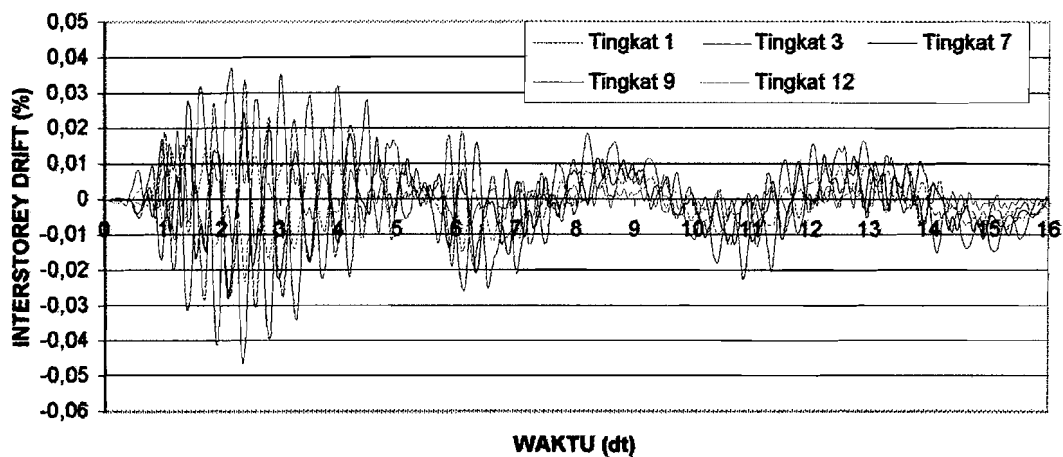
Gambar 5.53 Interstorey drift struktur 12 tk akibat gempa Elcentro
 $kh=2E+07$, $kr=4E+08$



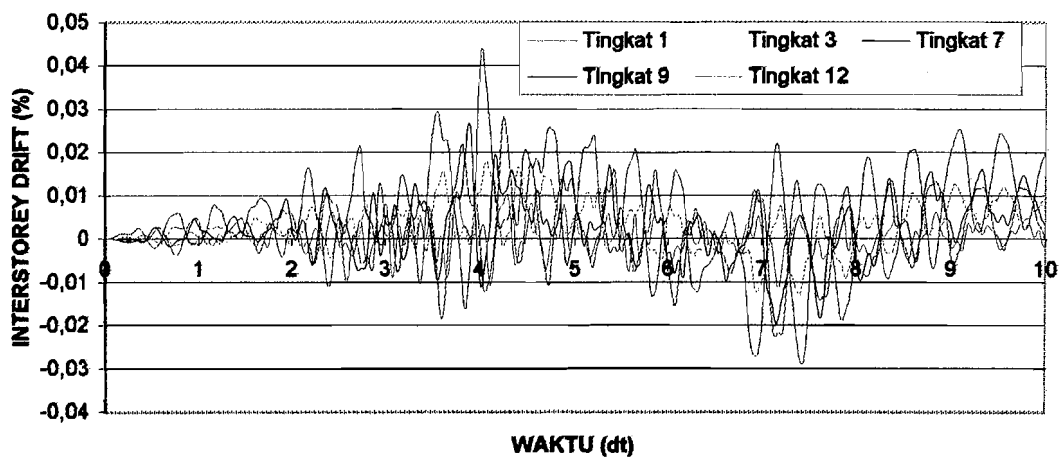
Gambar 5.54 Interstorey drift struktur 12 tk akibat gempa Koyna
 $kh=2E+07$, $kr=4E+08$



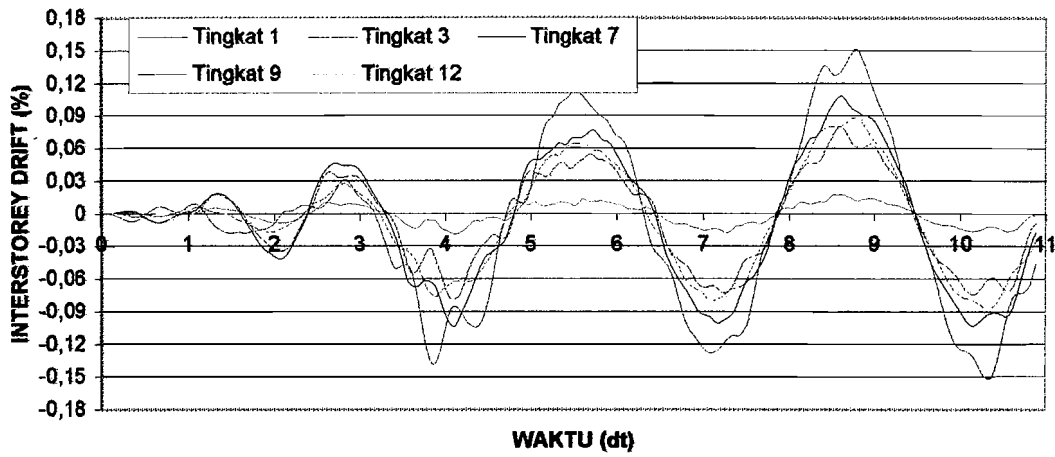
Gambar 5.55 Interstorey drift struktur 12 tk akibat gempa Bucharest
 $kh=2E+07$, $kr=2E+08$



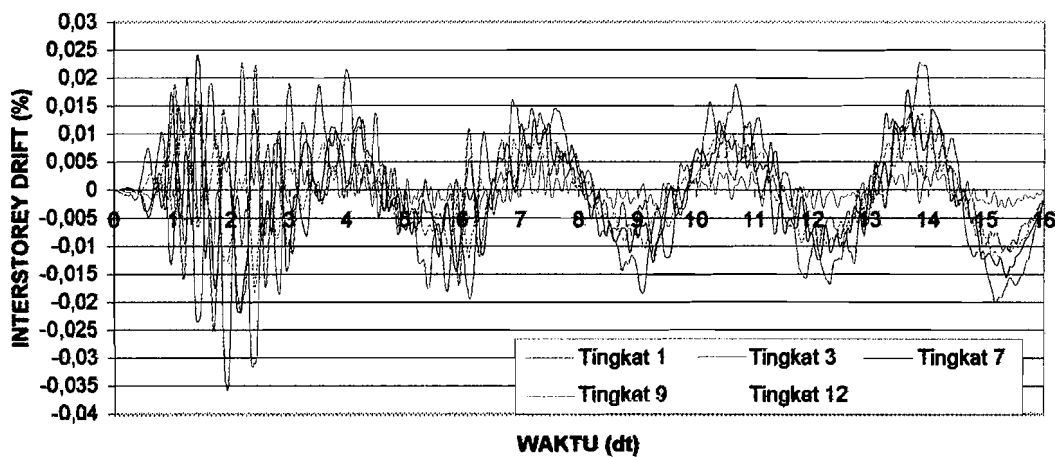
Gambar 5.56 Interstorey drift struktur 12 tk akibat gempa Elcentro
 $kh=2E+07$, $kr=2E+08$



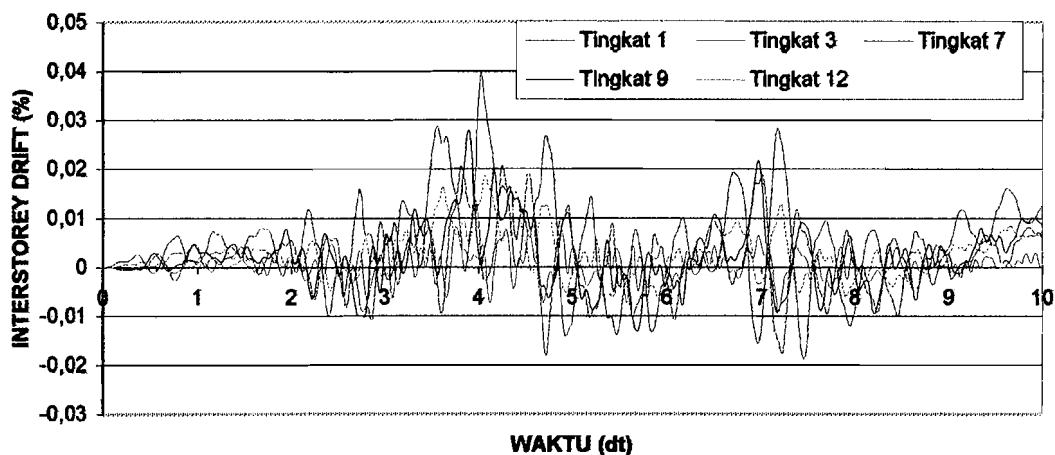
Gambar 5.57 Interstorey drift struktur 12 tk akibat gempa Koyna
 $kh=2E+07$, $kr=2E+08$



Gambar 5.58 Interstorey drift struktur 12 tk akibat gempa Bucharest
 $kh=1E+07$, $kr=4E+08$



Gambar 5.59 Interstorey drift struktur 12 tk akibat gempa Elcentro
 $kh=1E+07$, $kr=4E+08$



Gambar 5.60 Interstorey drift struktur 12 tk akibat gempa Koyna
 $kh=1E+07$, $kr=4E+08$

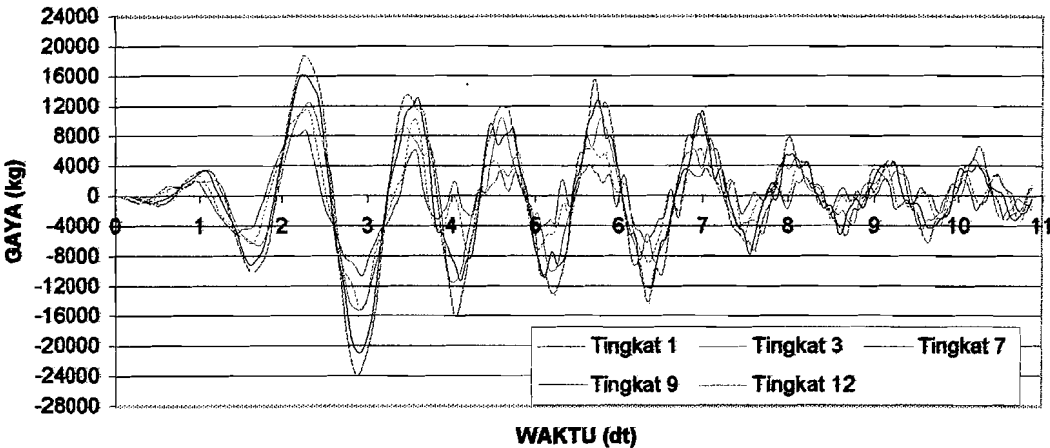
5.4.6 Perhitungan Gaya Horizontal Tingkat

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

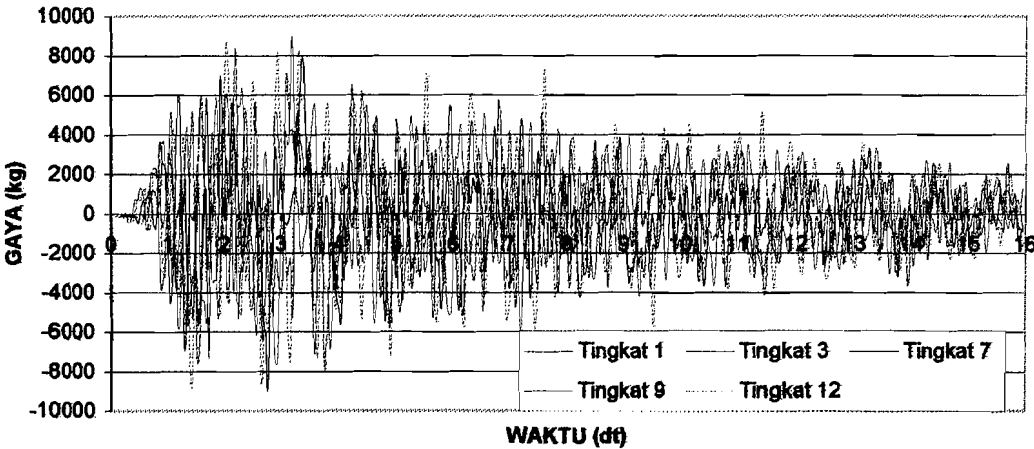
$$F_j(t) = y_j(t) * k_j \dots\dots\dots (5.2)$$

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

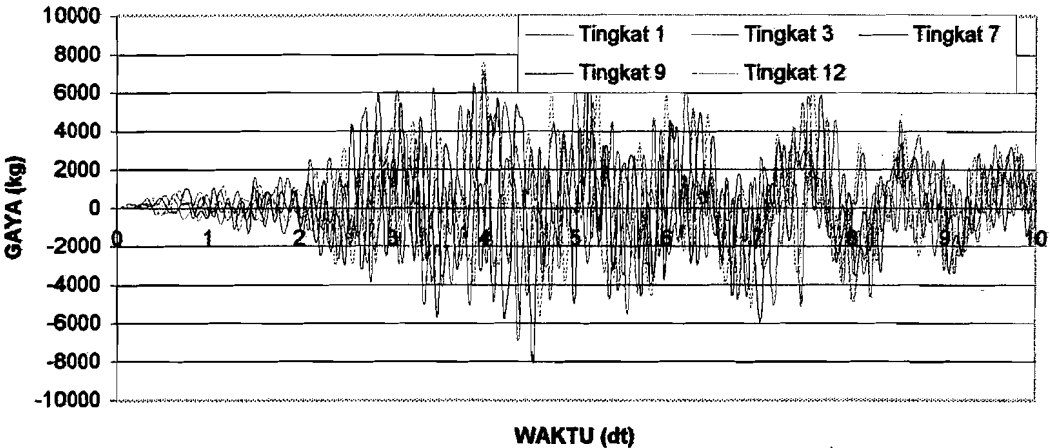
Hasil analisis ditampilkan dalam bentuk grafik antara gaya horisontal tingkat lawan waktu, dapat dilihat pada gambar berikut :



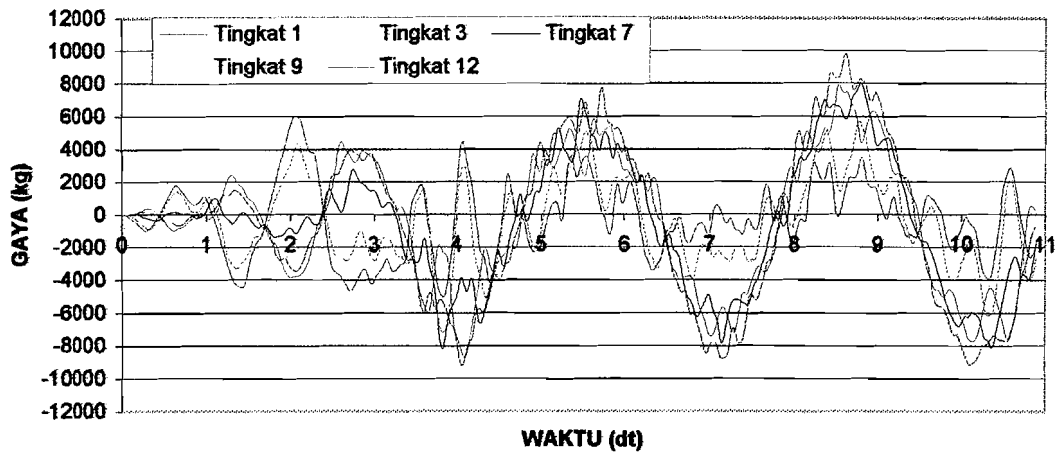
Gambar 5.61 Gaya horisontal tk struktur 12 tk akibat gempa Bucharest
 $kh=2E+15, kr=4E+15$



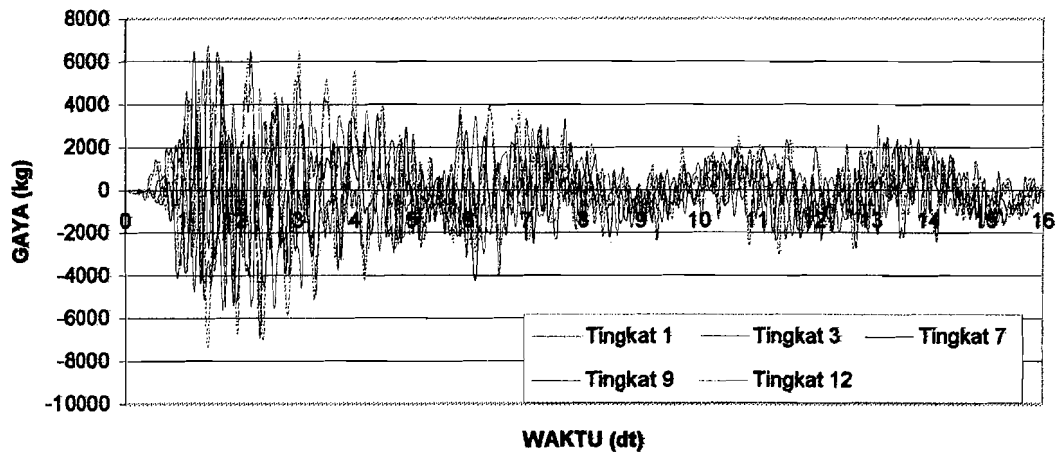
Gambar 5.62 Gaya horisontal tk struktur 12 tk akibat gempa Elcentro
 $kh=2E+15, kr=4E+15$



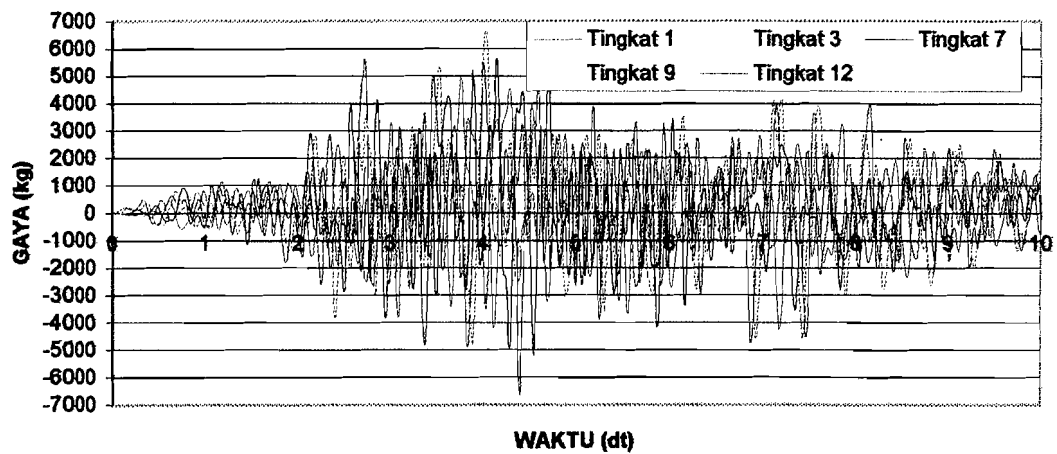
Gambar 5.63 Gaya horisontal tk struktur 12 tk akibat gempa Koyna
 $kh=2E+15, kr=4E+15$



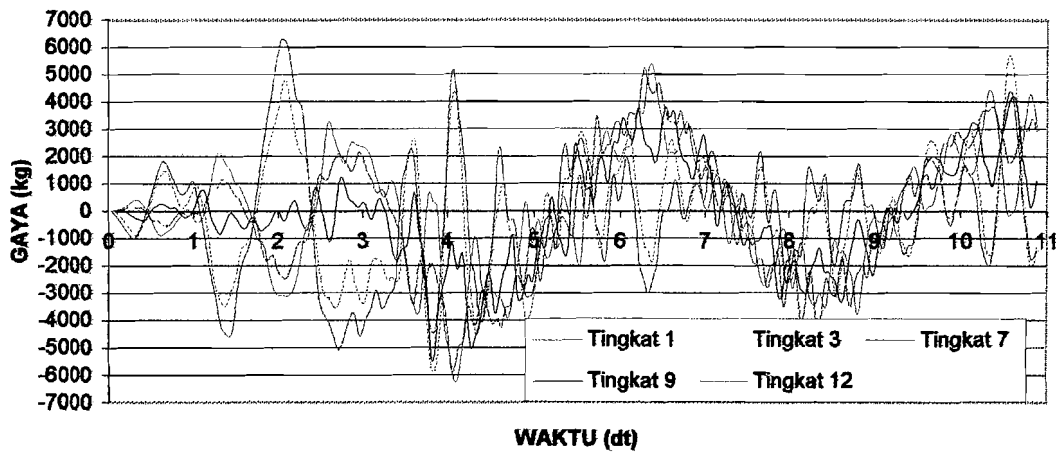
Gambar 5.64 Gaya horisontal tk struktur 12 tk akibat gempa Bucharest
 $kh=2E+07$, $kr=4E+08$



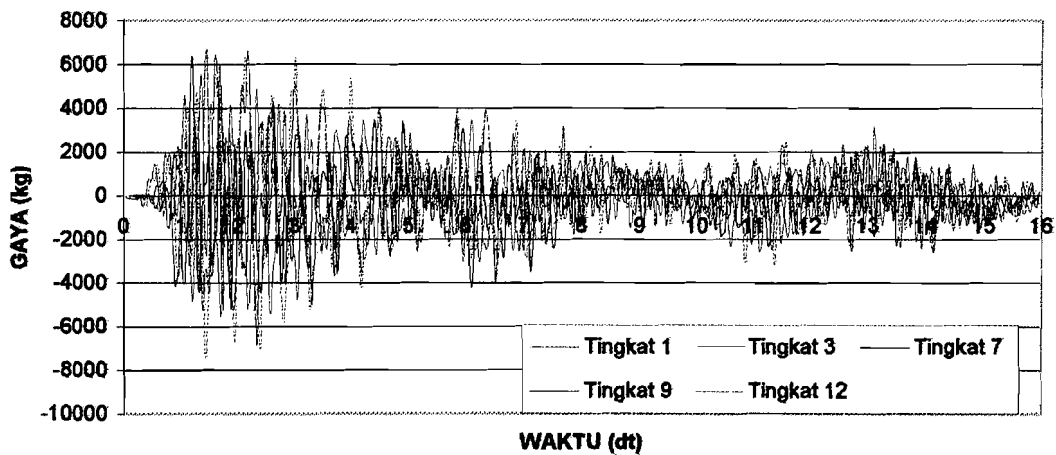
Gambar 5.65 Gaya horisontal tk struktur 12 tk akibat gempa Elcentro
 $kh=2E+07$, $kr=4E+08$



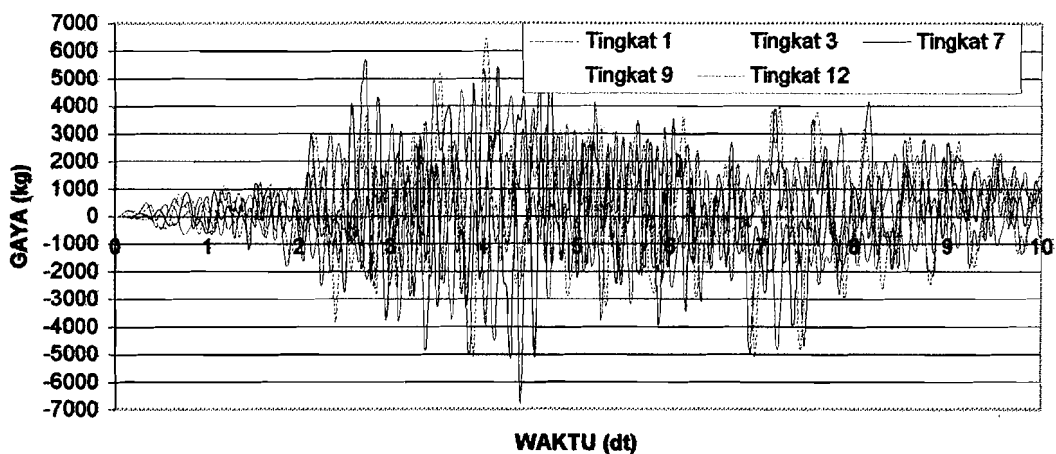
Gambar 5.66 Gaya horisontal tk struktur 12 tk akibat gempa Koyna
 $kh=2E+07$, $kr=4E+08$



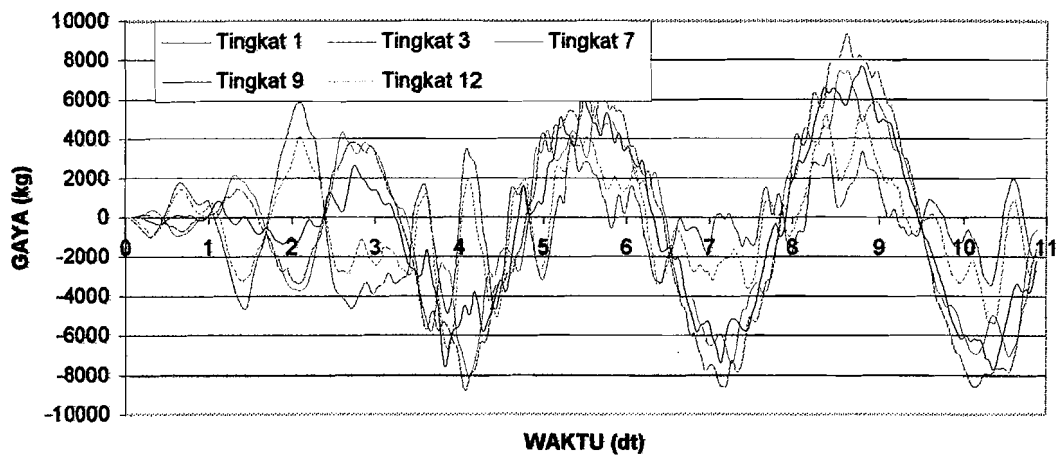
Gambar 5.67 Gaya horisontal tk struktur 12 tk akibat gempa Bucharest
 $kh=2E+07$, $kr=2E+08$



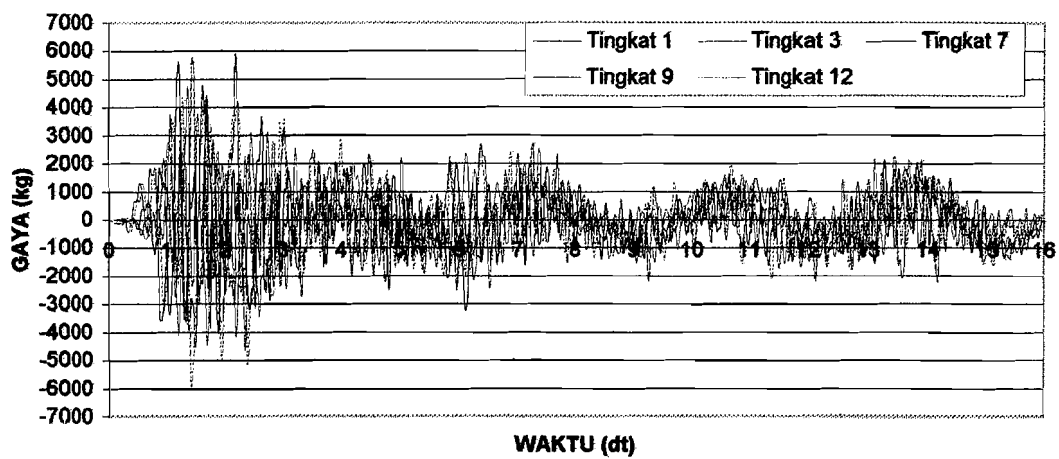
Gambar 5.68 Gaya horisontal tk struktur 12 tk akibat gempa Elcentro
 $kh=2E+07$, $kr=2E+08$



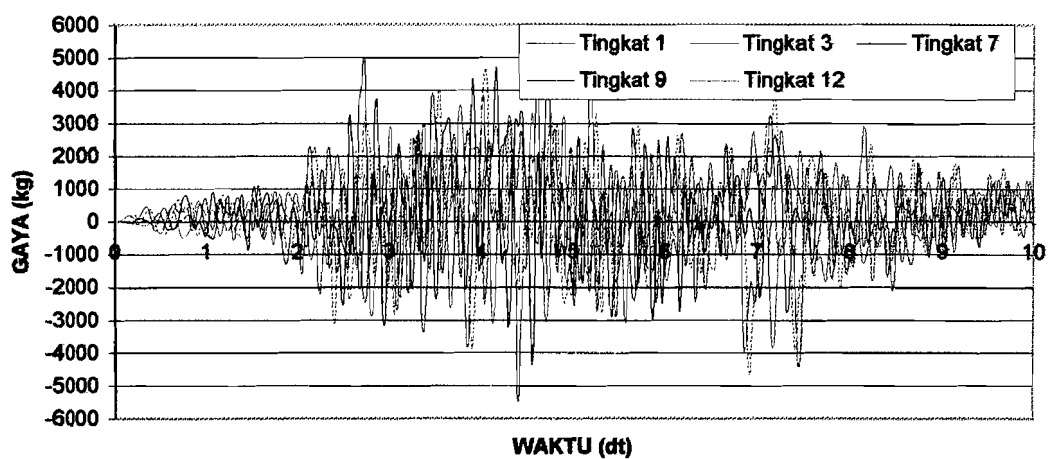
Gambar 5.69 Gaya horisontal tk struktur 12 tk akibat gempa Koyna
 $kh=2E+07$, $kr=2E+08$



Gambar 5.70 Gaya horisontal tk struktur 12 tk akibat gempa Bucharest
 $kh=1E+07$, $kr=4E+08$



Gambar 5.71 Gaya horisontal tk struktur 12 tk akibat gempa Elcentro
 $kh=1E+07$, $kr=4E+08$



Gambar 5.72 Gaya horisontal tk struktur 12 tk akibat gempa Koyna
 $kh=1E+07$, $kr=4E+08$

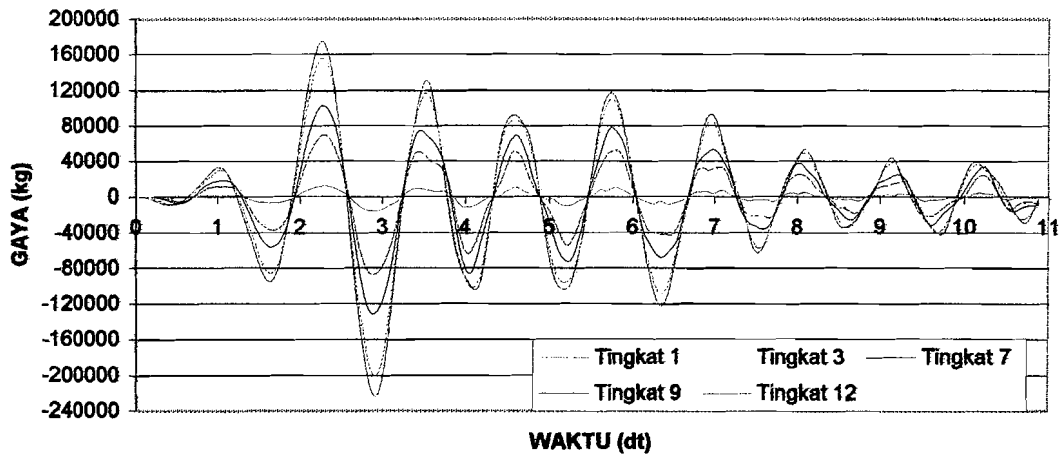
5.4.7 Perhitungan Gaya Geser Tingkat

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

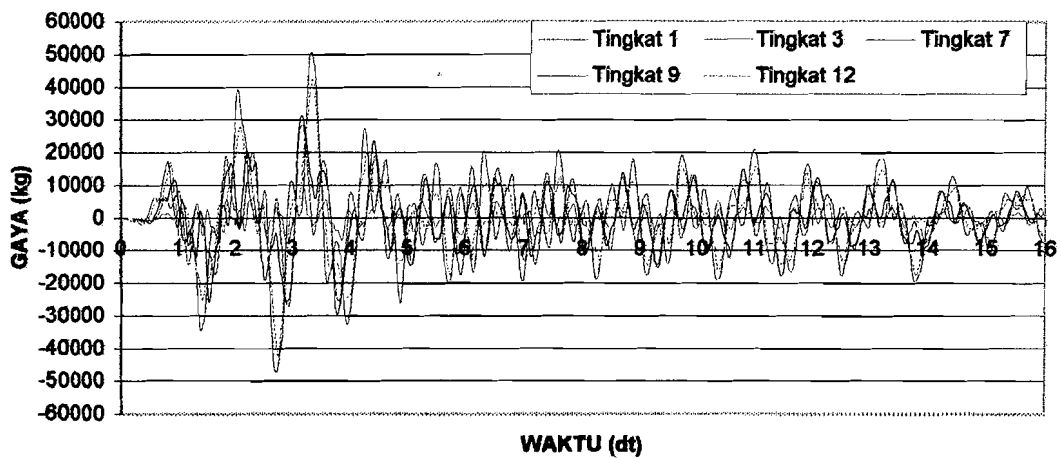
$$V(t) = \sum_{j=1}^n F(t) \dots\dots\dots(5.3)$$

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

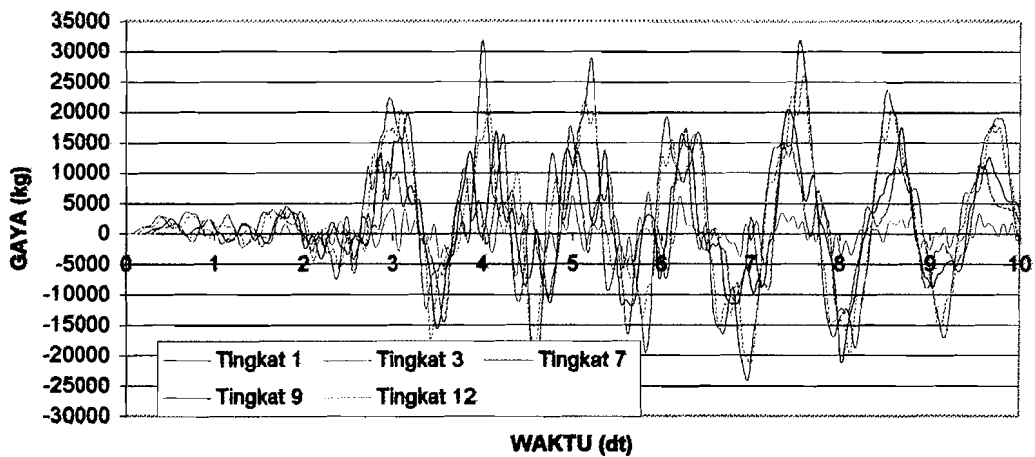
Hasil analisis ditampilkan dalam bentuk grafik antara gaya geser tingkat lawan waktu, dapat dilihat pada gambar berikut :



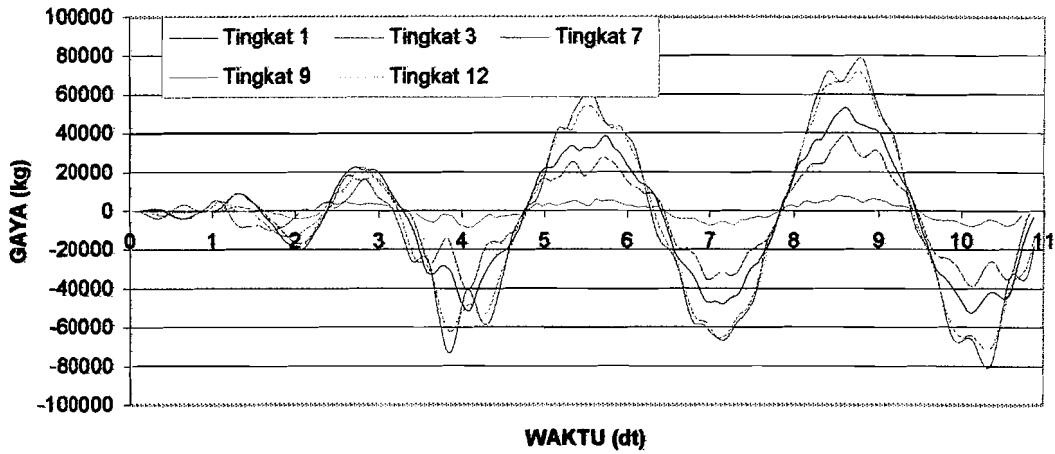
Gambar 5.73 Gaya geser tingkat struktur 12 tk akibat gempa Bucharest
 $kh=2E+15$, $kr=4E+15$



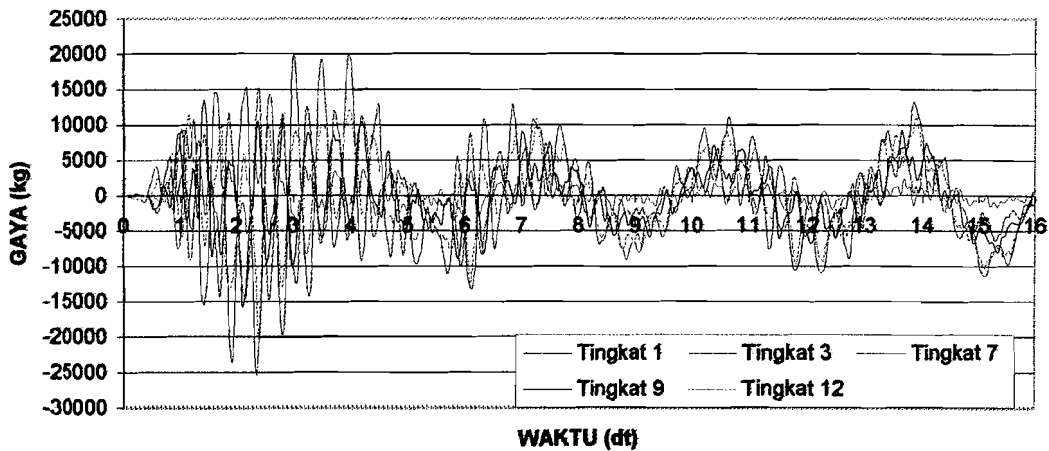
Gambar 5.74 Gaya geser tingkat struktur 12 tk akibat gempa Elcentro
 $kh=2E+15$, $kr=4E+15$



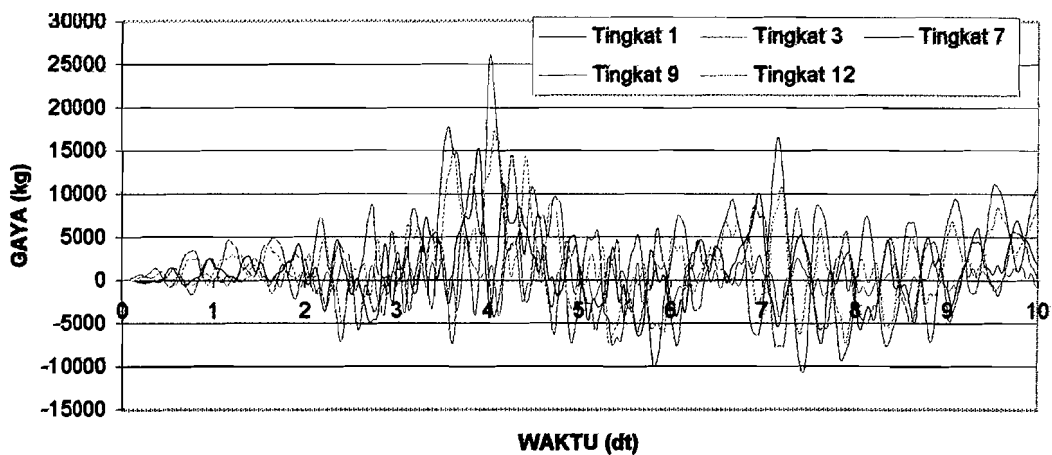
Gambar 5.75 Gaya geser tingkat struktur 12 tk akibat gempa Koyna
 $kh=2E+15$, $kr=4E+15$



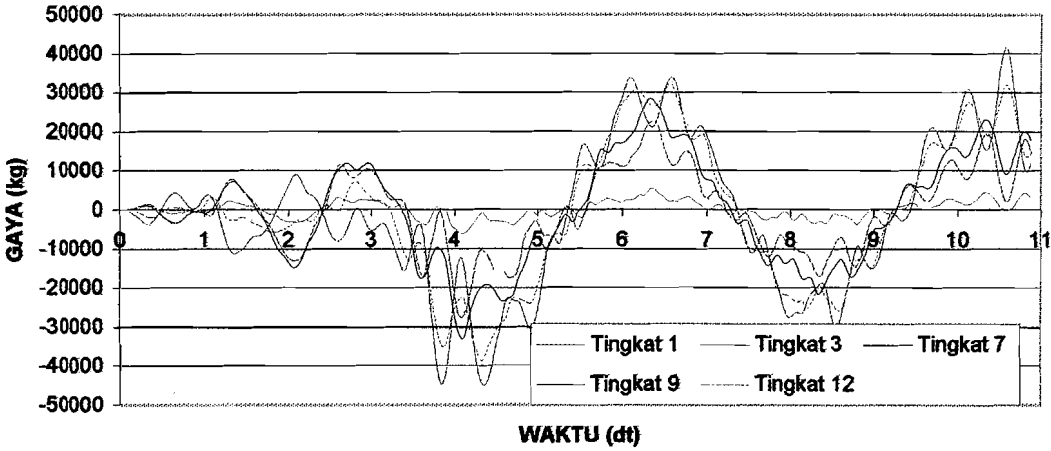
Gambar 5.76 Gaya geser tingkat struktur 12 tk akibat gempa Bucharest
 $kh=2E+07$, $kr=4E+08$



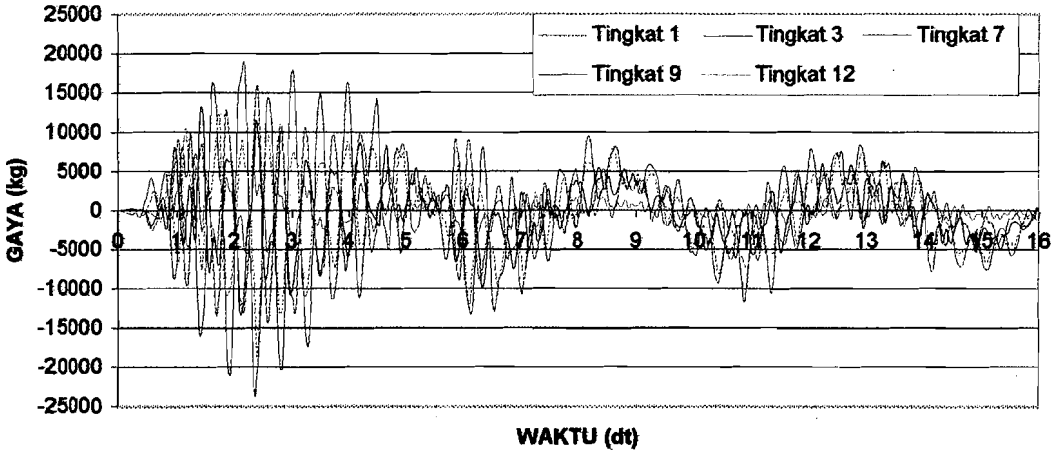
Gambar 5.77 Gaya geser tingkat struktur 12 tk akibat gempa Elcentro
 $kh=2E+07$, $kr=4E+08$



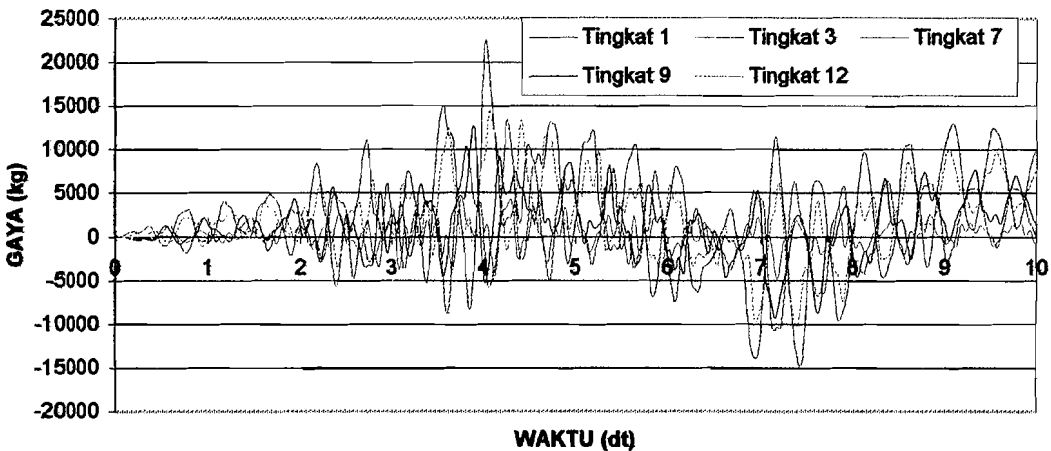
Gambar 5.78 Gaya geser tingkat struktur 12 tk akibat gempa Koyna
 $kh=2E+07$, $kr=4E+08$



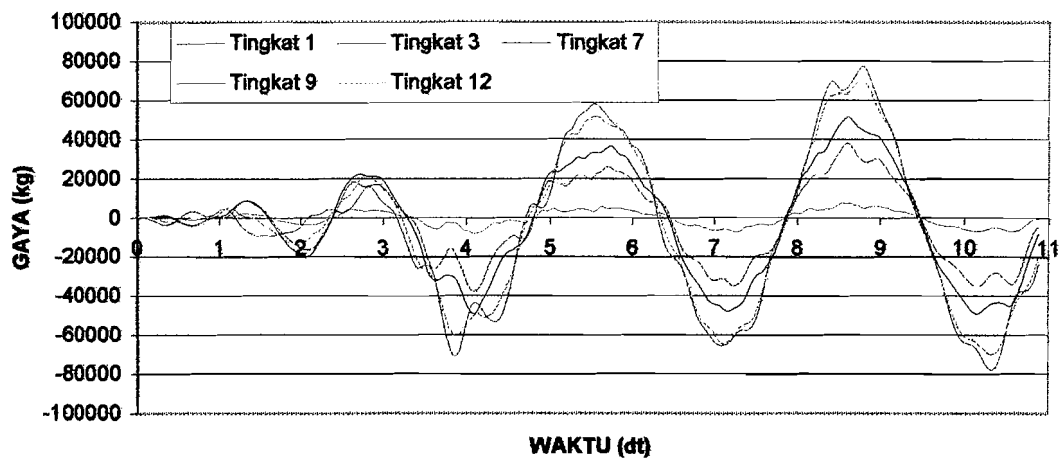
Gambar 5.79 Gaya geser tingkat struktur 12 tk akibat gempa Bucharest
 $kh=2E+07, kr=2E+08$



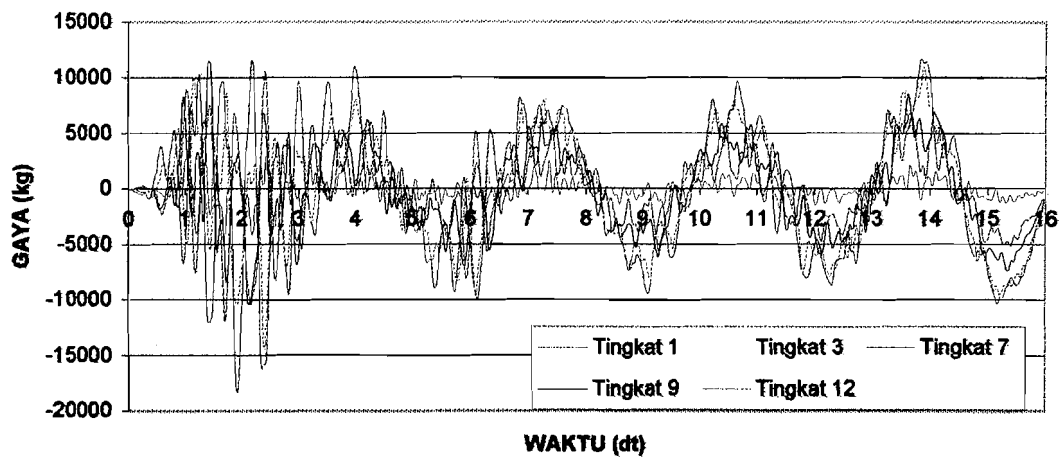
Gambar 5.80 Gaya geser tingkat struktur 12 tk akibat gempa Elcentro
 $kh=2E+07, kr=2E+08$



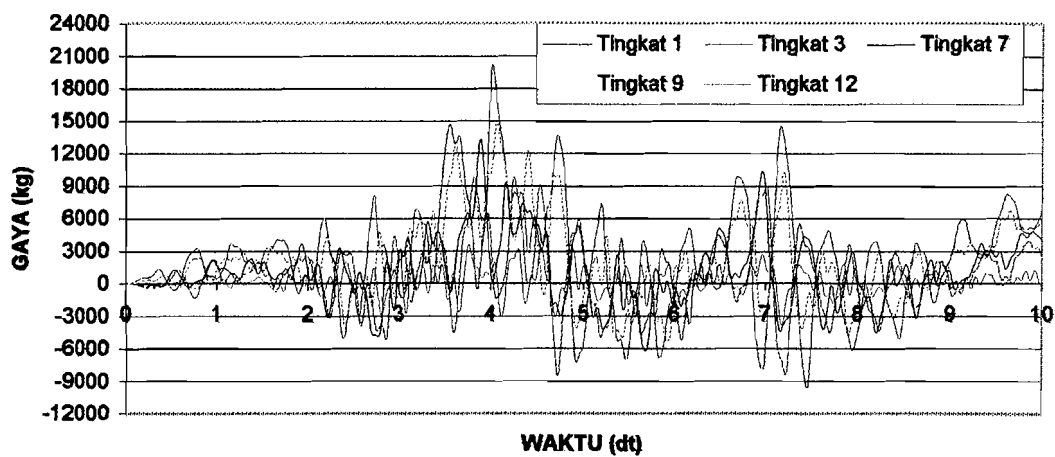
Gambar 5.81 Gaya geser tingkat struktur 12 tk akibat gempa Koyna
 $kh=2E+07, kr=2E+08$



Gambar 5.82 Gaya geser tingkat struktur 12 tk akibat gempa Bucharest
 $kh=1E+07$, $kr=4E+08$



Gambar 5.83 Gaya geser tingkat struktur 12 tk akibat gempa Elcentro
 $kh=1E+07$, $kr=4E+08$



Gambar 5.84 Gaya geser tingkat struktur 12 tk akibat gempa Koyna
 $kh=1E+07$, $kr=4E+08$

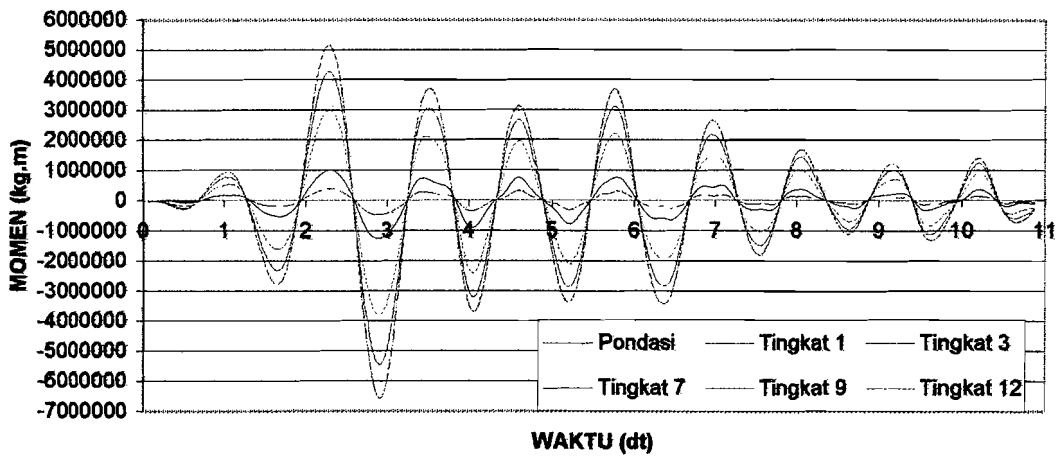
5.4.8 Perhitungan Momen Guling

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

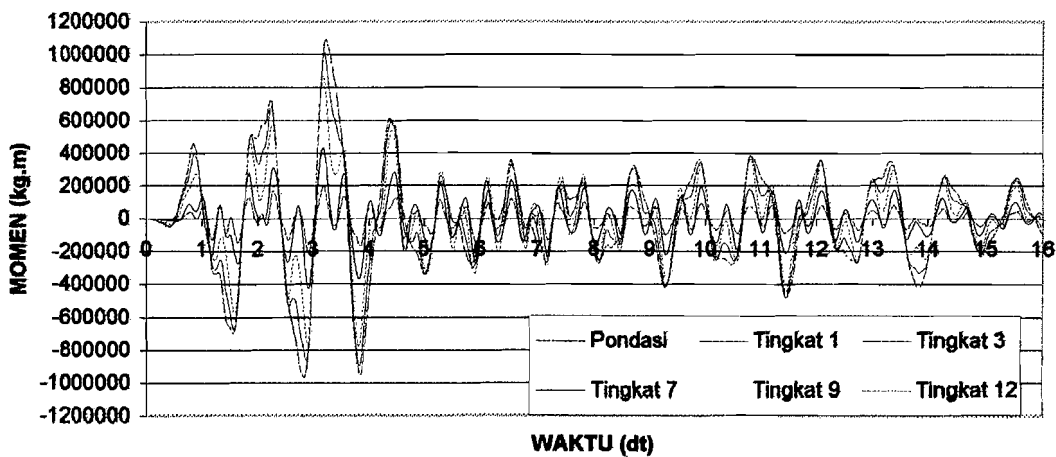
$$M_g = F_j(t) * H \dots\dots\dots (5.4)$$

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

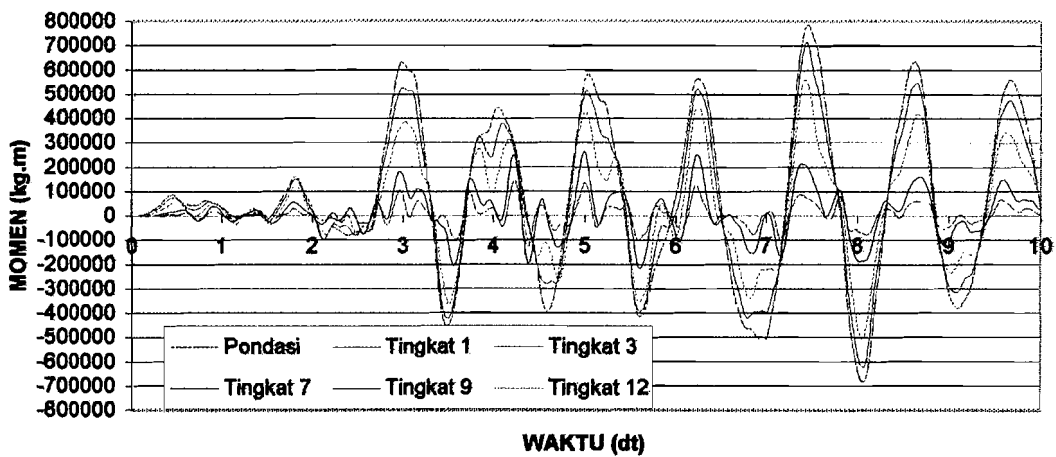
Hasil analisis ditampilkan dalam bentuk grafik antara momen guling lawan waktu, dapat dilihat pada gambar berikut :



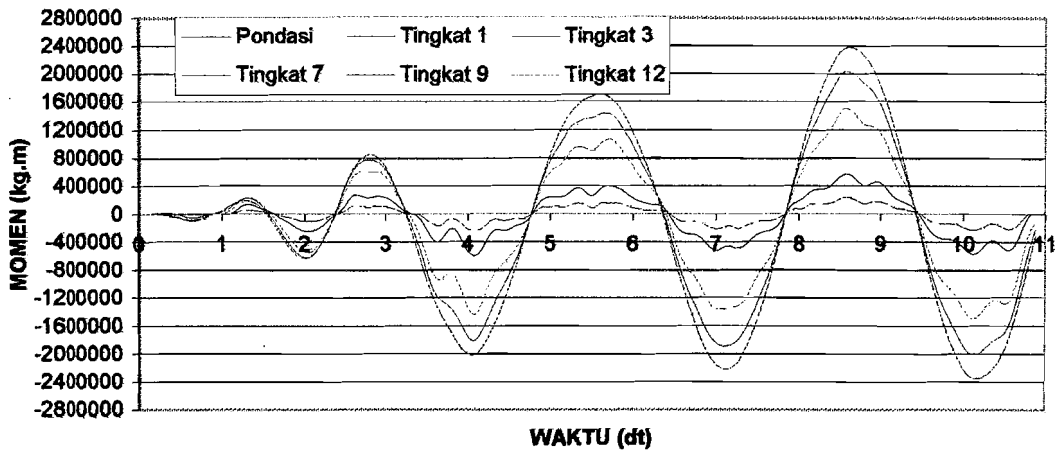
Gambar 5.85 Momen guling struktur 12 tk akibat gempa Bucharest
 $kh=2E+15$, $kr=4E+15$



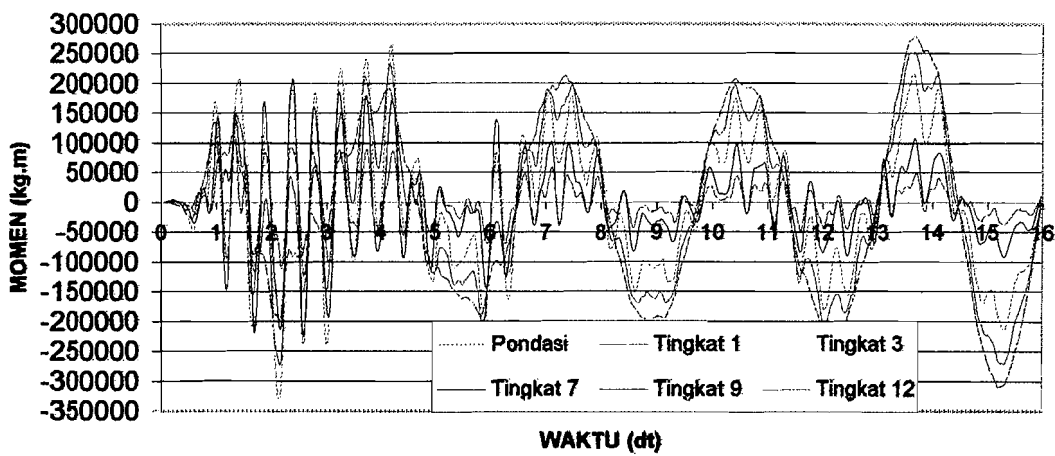
Gambar 5.86 Momen guling struktur 12 tk akibat gempa Elcentro
 $kh=2E+15$, $kr=4E+15$



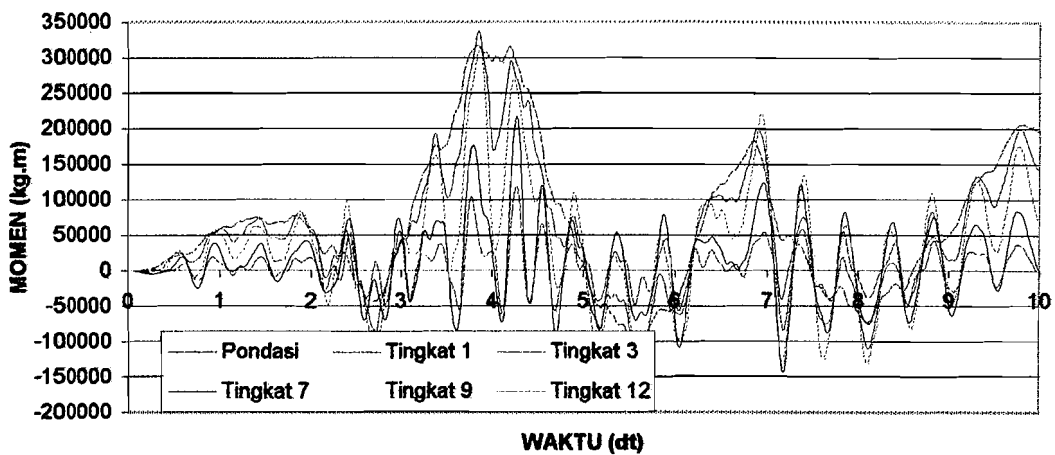
Gambar 5.87 Momen guling struktur 12 tk akibat gempa Koyna
 $kh=2E+15$, $kr=4E+15$



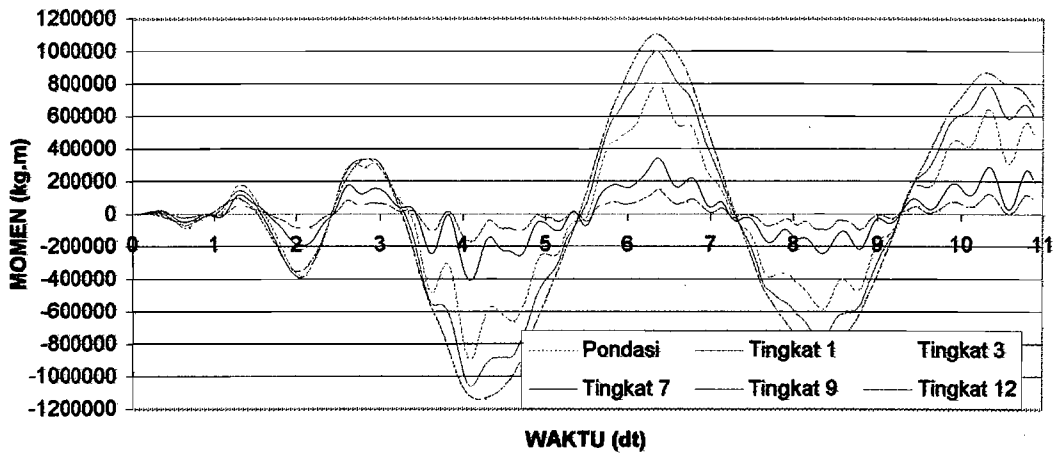
Gambar 5.88 Momen guling struktur 12 tk akibat gempa Bucharest
 $kh=2E+07$, $kr=4E+08$



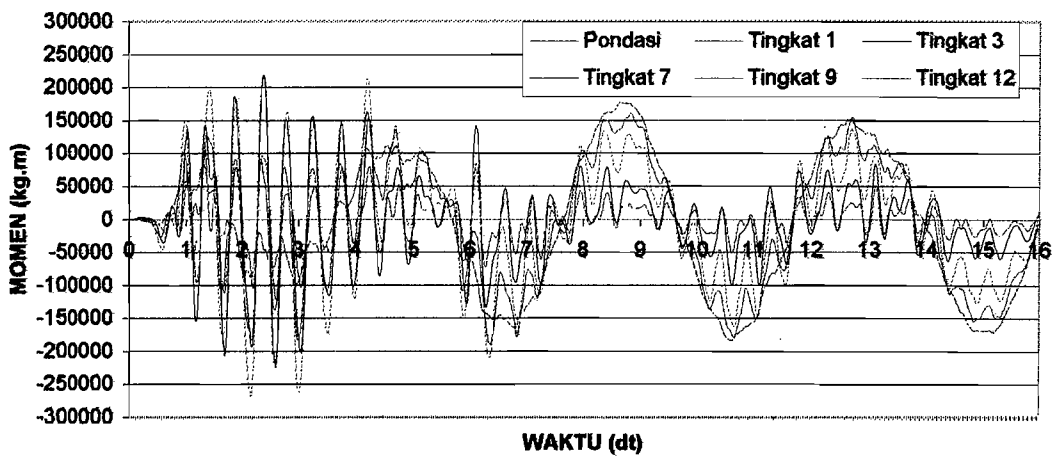
Gambar 5.89 Momen guling struktur 12 tk akibat gempa Elcentro
 $kh=2E+07$, $kr=4E+08$



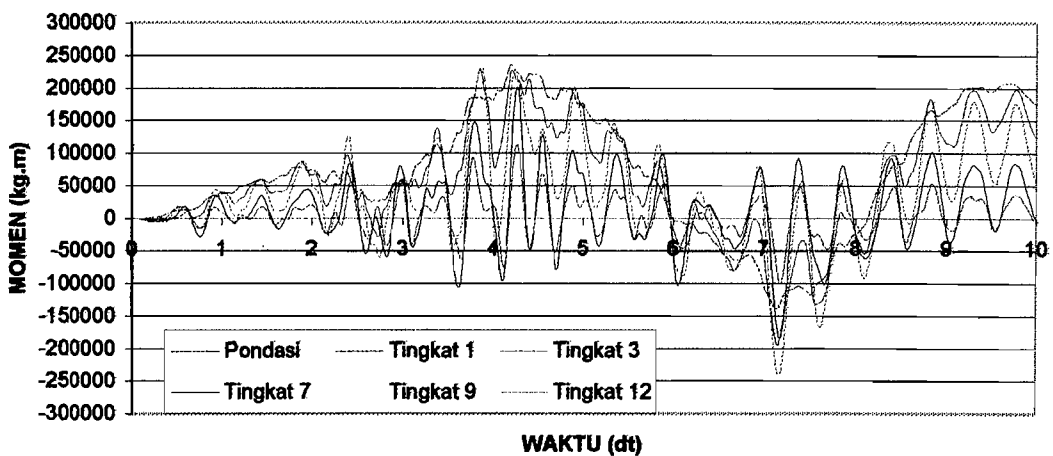
Gambar 5.90 Momen guling struktur 12 tk akibat gempa Koyna
 $kh=2E+07$, $kr=4E+08$



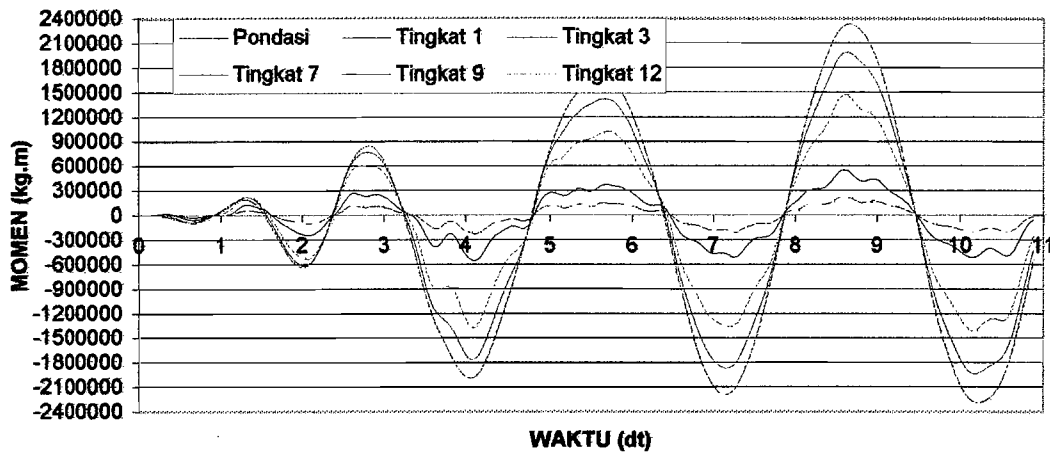
Gambar 5.91 Momen guling struktur 12 tk akibat gempa Bucharest
 $kh=2E+07$, $kr=2E+08$



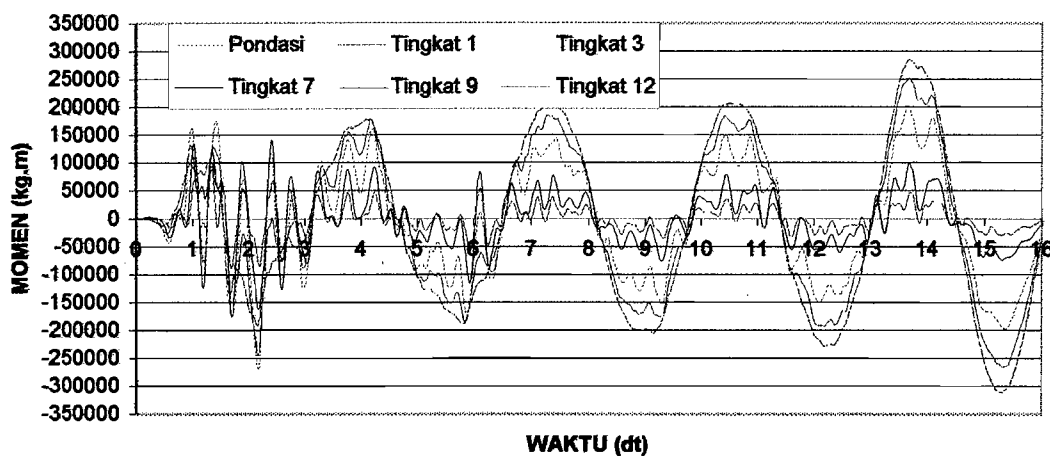
Gambar 5.92 Momen guling struktur 12 tk akibat gempa Elcentro
 $kh=2E+07$, $kr=2E+08$



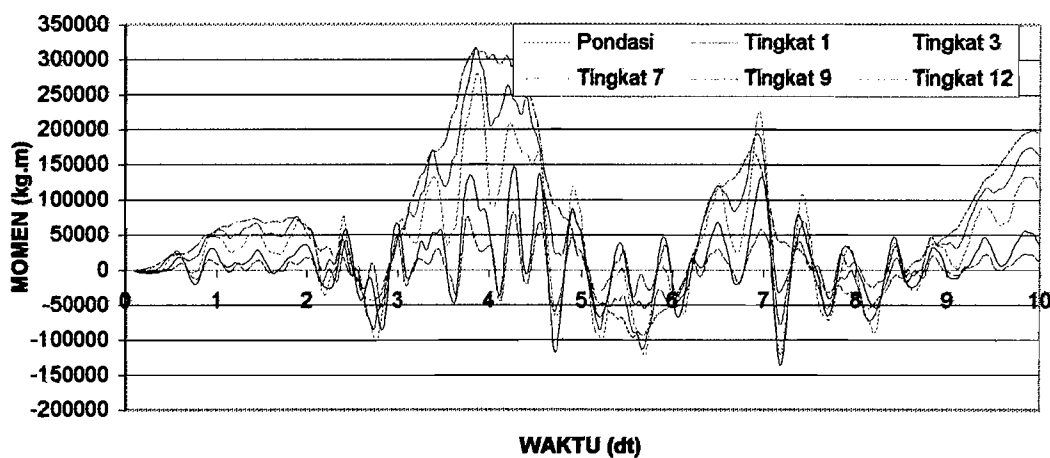
Gambar 5.93 Momen guling struktur 12 tk akibat gempa Koyna
 $kh=2E+07$, $kr=2E+08$



Gambar 5.94 Momen guling struktur 12 tk akibat gempa Bucharest
 $kh=1E+07$, $kr=4E+08$



Gambar 5.95 Momen guling struktur 12 tk akibat gempa Elcentro
 $kh=1E+07$, $kr=4E+08$



Gambar 5.96 Momen guling struktur 12 tk akibat gempa Koyna
 $kh=1E+07$, $kr=4E+08$

5.5 Pembahasan

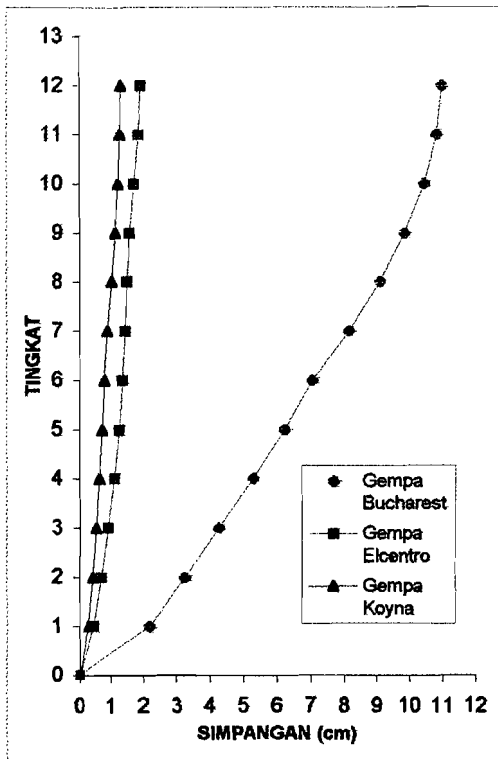
Pembahasan respon struktur yang ditinjau meliputi simpangan netto maksimum, rotasi pondasi, simpangan rotasi maksimum, simpangan total maksimum, simpangan antar tingkat maksimum, gaya horisontal tingkat maksimum, gaya geser tingkat maksimum dan momen guling maksimum akibat beban gempa Bucharest, gempa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

Nilai kekakuan horisontal tanah (k_h) dan kekakuan putar tanah (k_r) dibagi menjadi 4 jenis kombinasi. Adapun nilai-nilai k_h dan k_r yang dikombinasikan adalah sebagai berikut :

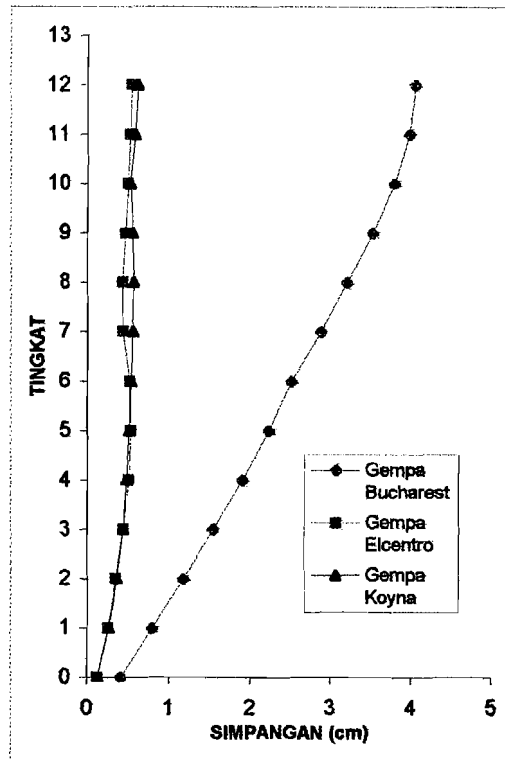
1. $k_h = 2E+15$, $k_r = 4E+15$ (jepit penuh kombinasi I)
2. $k_h = 2E+07$, $k_r = 4E+08$ (tidak jepit penuh kombinasi II)
3. $k_h = 2E+07$, $k_r = 2E+08$ (tidak jepit penuh kombinasi III)
4. $k_h = 1E+07$, $k_r = 4E+08$ (tidak jepit penuh kombinasi IV)

5.5.1 Simpangan Netto

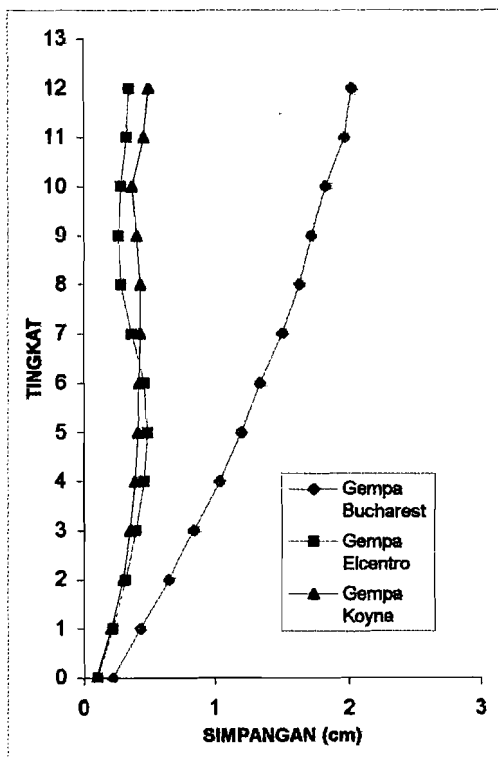
Pembahasan simpangan netto berdasarkan gambar 5.97 sampai dengan gambar 5.99 dan tabel 5.4 sampai dengan tabel 5.7 dengan 3 beban gempa dan 4 kombinasi kekakuan horisontal dan kekakuan putar tanah di bawah ini.



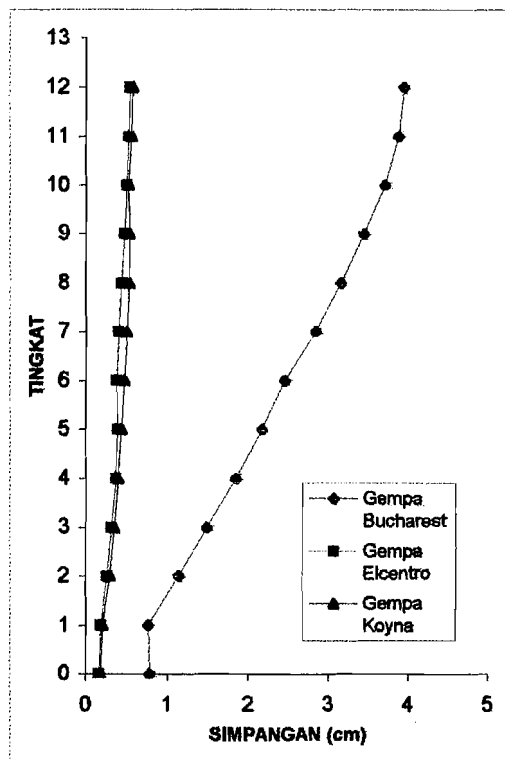
A. $kh=2E+15, kr=4E+15$



B. $kh=2E+07, kr=4E+08$

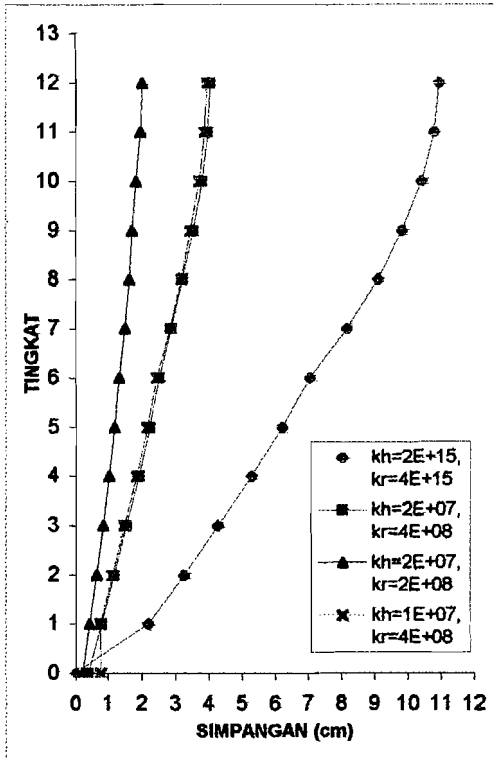


C. $kh=2E+07, kr=2E+08$

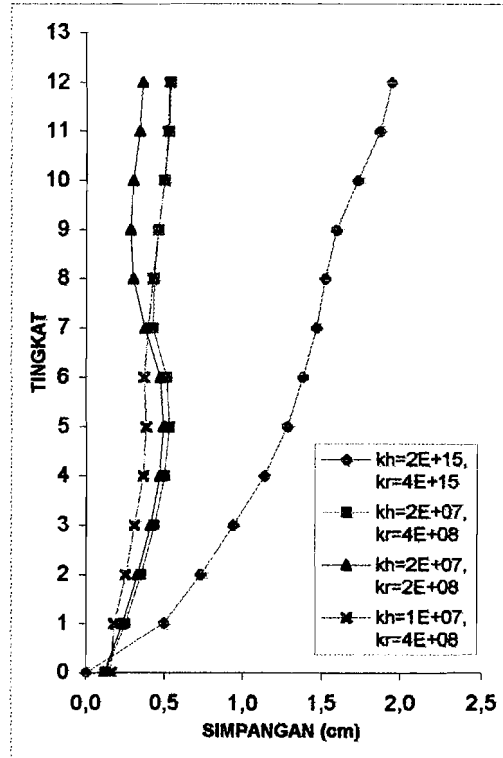


D. $kh=1E+07, kr=4E+08$

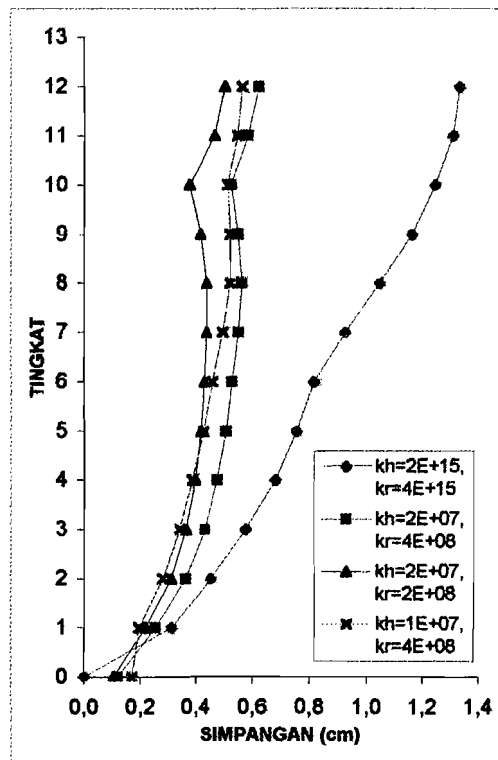
Gambar 5.97 Grafik simpangan netto maksimum akibat 3 gempa



A. Gempa Bucharest

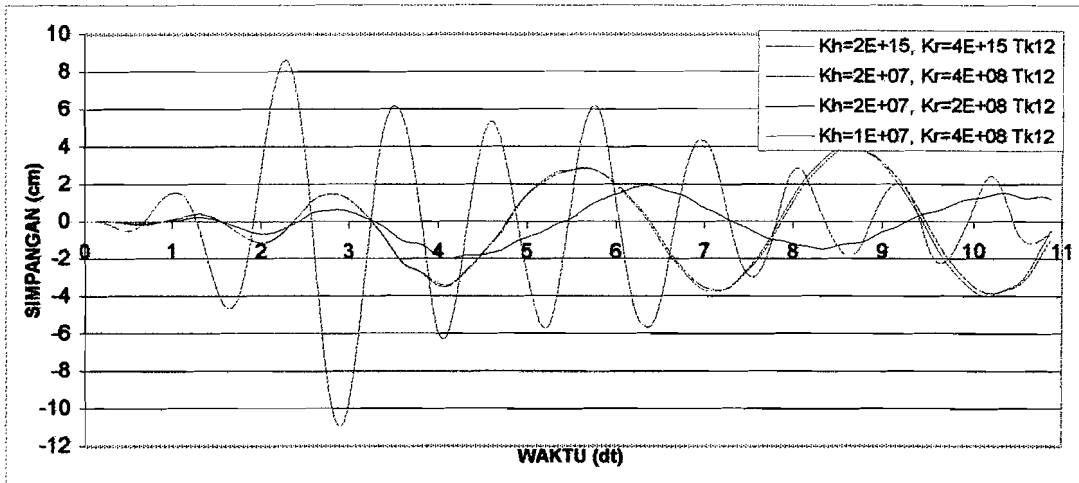


B. Gempa Eicentro

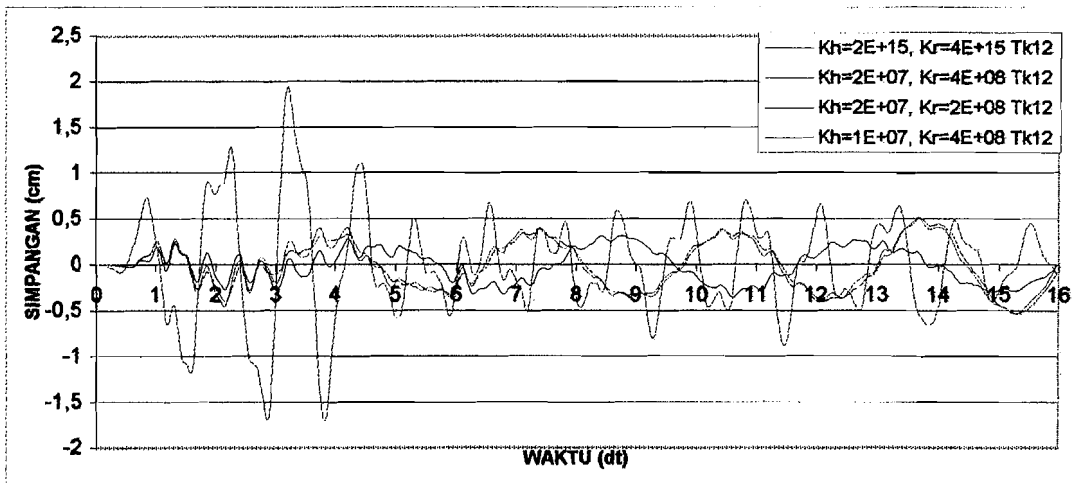


C. Gempa Koyna

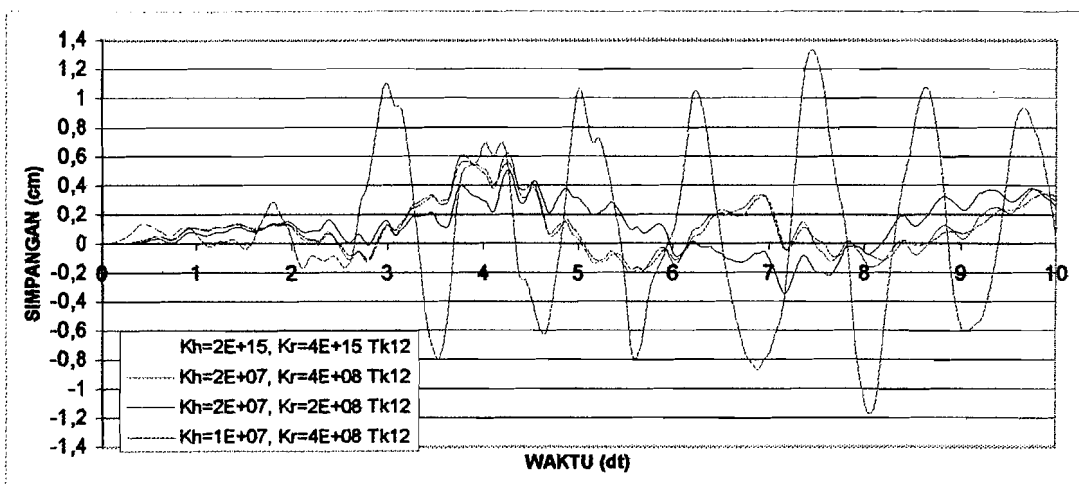
Gambar 5.98 Grafik simpangan netto maksimum dengan 4 kombinasi



A.Gempa Bucharest



B.Gempa Elcentro



C.Gempa Koyna

Gambar 5.99 Grafik simpangan netto maks dengan 4 kombinasi lawan waktu

Tabel 5.4 Simpangan netto maksimum struktur 12 tingkat $kh=2E+15$, $kr=4E+15$

Tingkat	Simpangan (cm)		
	Gempa Bucharest	Gempa Elcentro	Gempa Koyna
0	0,00000	0,00000	0,00000
1	2,18633	0,49568	0,31265
2	3,25338	0,73141	0,45575
3	4,25546	0,94120	0,57776
4	5,28540	1,13897	0,68217
5	6,22290	1,28216	0,75454
6	7,05838	1,37853	0,81514
7	8,16095	1,46491	0,92348
8	9,08774	1,51943	1,04430
9	9,82266	1,59193	1,16100
10	10,42389	1,72884	1,24440
11	10,79869	1,86547	1,30672
12	10,94285	1,94121	1,33110

Tabel 5.5 Simpangan netto maksimum struktur 12 tingkat $kh=2E+07$, $kr=4E+08$

Tingkat	Simpangan (cm)		
	Gempa Bucharest	Gempa Elcentro	Gempa Koyna
0	0,40803	0,12316	0,12186
1	0,79187	0,24839	0,25529
2	1,17760	0,34923	0,36213
3	1,53746	0,43306	0,43223
4	1,90305	0,50089	0,47826
5	2,22969	0,53024	0,50919
6	2,51427	0,51471	0,52996
7	2,88011	0,42533	0,55049
8	3,20325	0,43032	0,56186
9	3,52069	0,46002	0,54820
10	3,79390	0,49737	0,52536
11	3,97130	0,52590	0,58551
12	4,04173	0,53622	0,62111

Tabel 5.6 Simpangan netto maksimum struktur 12 tingkat $k_h=2E+07$, $k_r=2E+08$

Tingkat	Simpangan (cm)		
	Gempa Bucharest	Gempa Elcentro	Gempa Koyna
0	0,23158	0,11604	0,10537
1	0,44035	0,23205	0,21999
2	0,65031	0,32703	0,31062
3	0,84277	0,40905	0,36458
4	1,03226	0,47037	0,39808
5	1,19628	0,49314	0,41862
6	1,33340	0,47106	0,43122
7	1,50031	0,37399	0,43843
8	1,62755	0,29502	0,43919
9	1,71569	0,27930	0,41582
10	1,82248	0,29774	0,37718
11	1,95876	0,33718	0,46966
12	2,01734	0,35909	0,50430

Tabel 5.7 Simpangan netto maksimum struktur 12 tingkat $k_h=1E+07$, $k_r=4E+08$

Tingkat	Simpangan (cm)		
	Gempa Bucharest	Gempa Elcentro	Gempa Koyna
0	0,77703	0,15948	0,17115
1	0,76037	0,17947	0,19741
2	1,13238	0,25322	0,28254
3	1,48199	0,30732	0,34150
4	1,84085	0,36213	0,38890
5	2,16557	0,38203	0,42861
6	2,45540	0,36780	0,46187
7	2,83659	0,39310	0,49723
8	3,15971	0,42472	0,52106
9	3,43919	0,45889	0,52075
10	3,70108	0,49530	0,51311
11	3,87270	0,51901	0,54786
12	3,94336	0,52949	0,56335

Dari hasil grafik simpangan netto maksimum pada gambar 5.97 sampai dengan gambar 5.99 dan tabel 5.4 sampai dengan 5.7 maka,

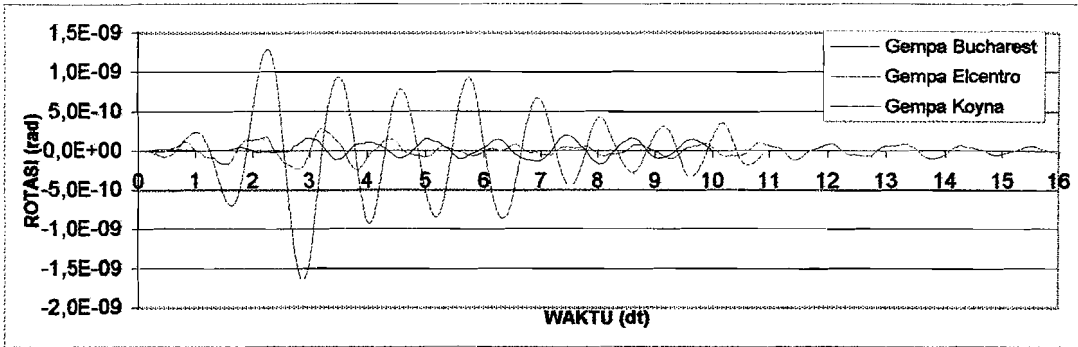
1. Simpangan netto maksimum tiap tingkat akan semakin besar pada tingkat yang lebih tinggi.

2. Simpangan pada kondisi tanah dianggap jepit penuh (*fixed*, kombinasi I) akan lebih besar dari simpangan pada struktur yang mengalami rotasi (kombinasi II, III dan IV).
3. Pondasi (lantai dasar) pada kombinasi I tidak terjadi simpangan sedangkan simpangan pondasi (lantai dasar) pada kombinasi IV akan lebih besar dari simpangan pada kombinasi II dan III.
4. Simpangan terbesar pada semua tingkat adalah simpangan akibat gempa Bucharest.
5. Untuk frekuensi gempa rendah (gempa Bucharest), perubahan nilai kekakuan horisontal tanah (k_h) memberikan simpangan yang lebih besar dibanding akibat perubahan nilai kekakuan putar tanah (k_r).
6. Untuk frekuensi gempa sedang (gempa Elcentro), perubahan nilai kekakuan horisontal tanah (k_h) memberikan simpangan yang lebih besar pada pondasi, tingkat 7 sampai dengan tingkat 12. Sedangkan perubahan nilai kekakuan putar tanah (k_r), memberikan simpangan yang lebih besar pada tingkat 1 sampai dengan tingkat 6.
7. Untuk frekuensi gempa tinggi (gempa Koyna), perubahan nilai kekakuan horisontal tanah (k_h) memberikan simpangan yang lebih besar pada pondasi, tingkat 5 sampai dengan tingkat 12. Sedangkan perubahan nilai kekakuan putar tanah (k_r), memberikan simpangan yang lebih besar pada tingkat 1 sampai dengan tingkat 4.

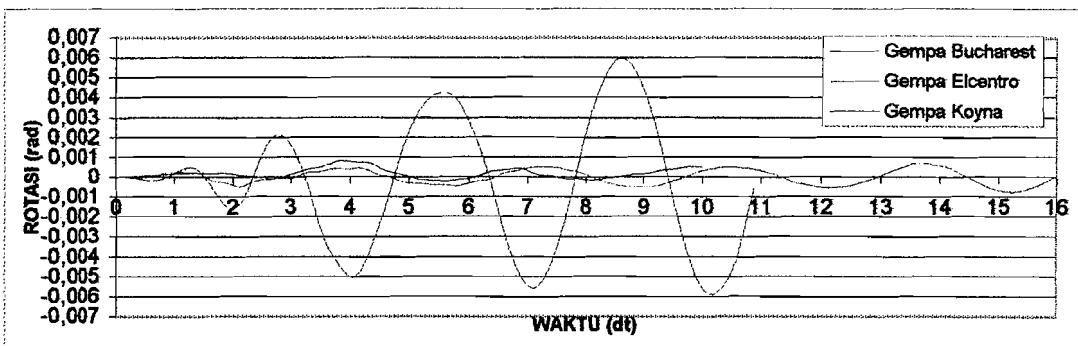
8. Perubahan nilai kekakuan putar tanah (k_r) lebih besar mempengaruhi perubahan simpangan dibanding dengan perubahan nilai kekakuan horisontal tanah (k_h).

5.5.2 Rotasi Pondasi

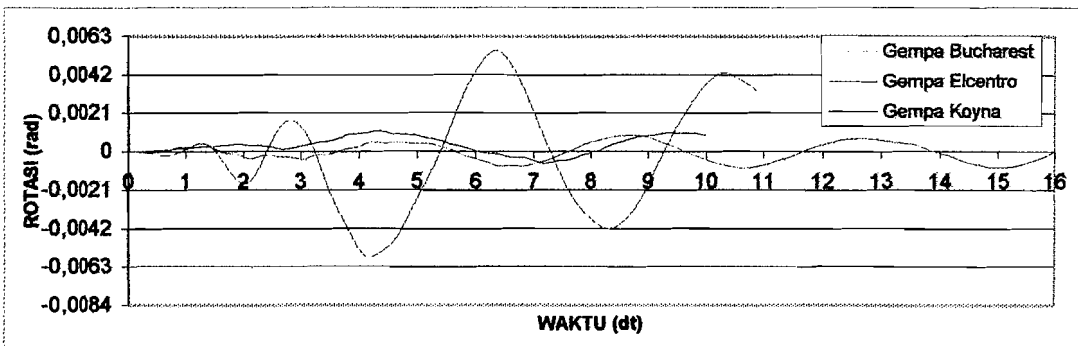
Pembahasan rotasi pondasi berdasarkan gambar 5.100 sampai dengan gambar 5.101 dan tabel 5.8 dengan 3 beban gempa dan 4 kombinasi kekakuan horisontal dan kekakuan putar tanah di bawah ini.



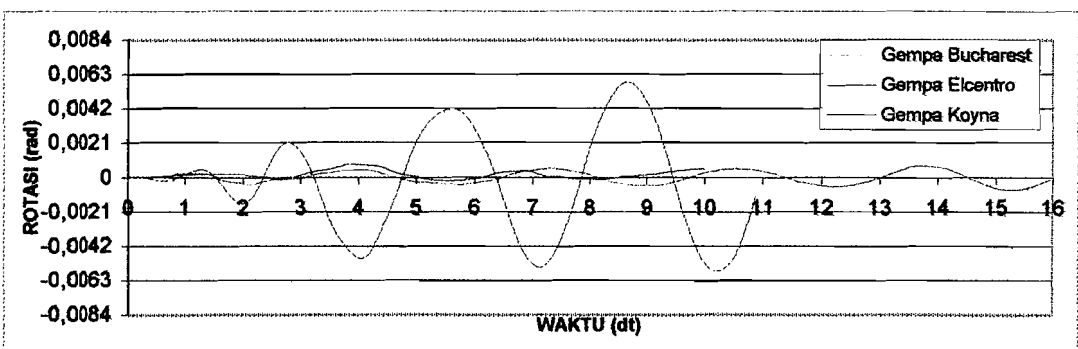
A. $kh=2E+15, kr=4E+15$



B. $kh=2E+07, kr=4E+08$

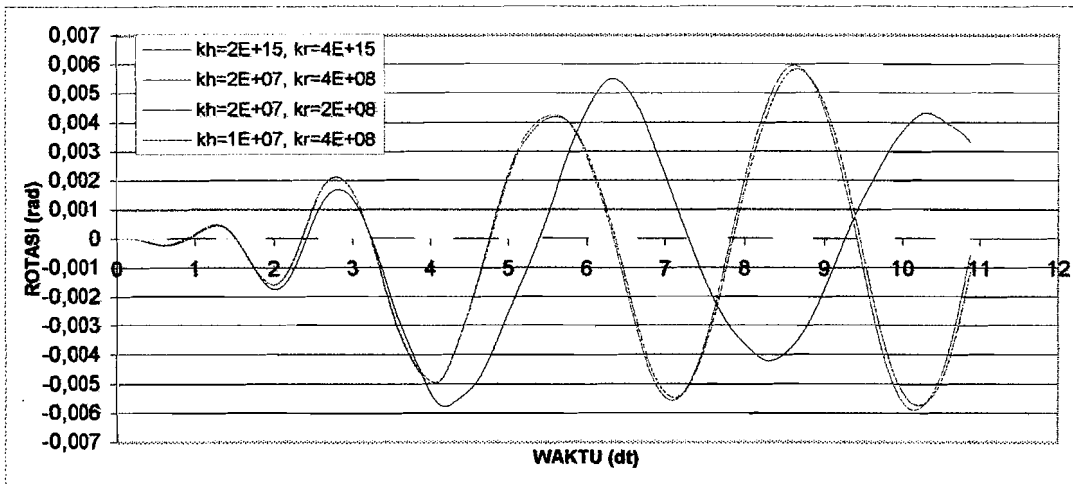


C. $kh=2E+07, kr=2E+08$

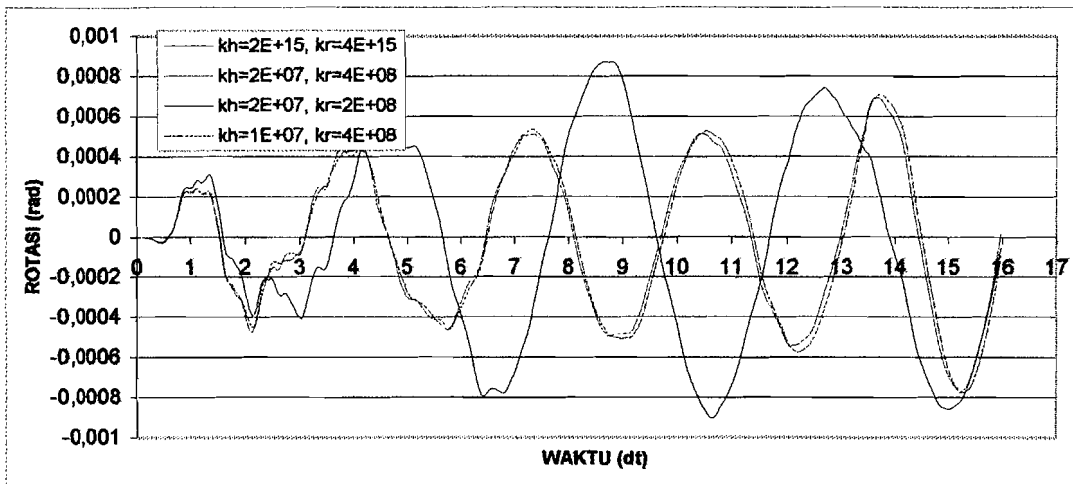


D. $kh=1E+07, kr=4E+08$

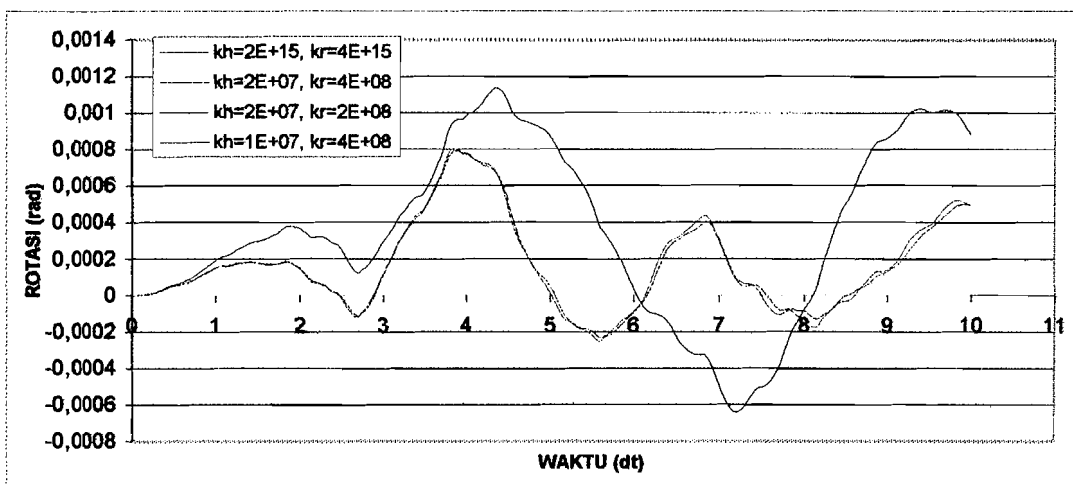
Gambar 5.100 Grafik rotasi pondasi akibat 3 gempa



A.Gempa Bucharest



B.Gempa Elcentro



C.Gempa Koyna

Gambar 5.101 Grafik rotasi pondasi dengan 4 kombinasi lawan waktu

Tabel 5.8 Rotasi pondasi maksimum struktur 12 tingkat

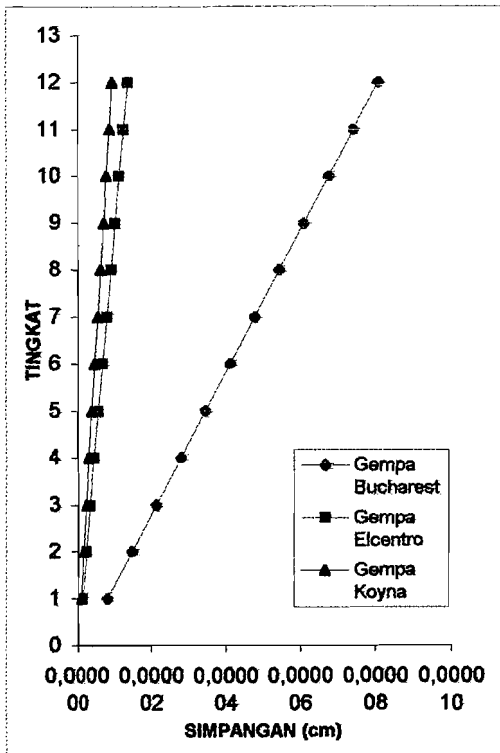
Gempa	Rotasi (Rad)			
	kh=2E+15 kr=4E+15	kh=2E+07 kr=4E+08	kh=2E+07 Kr=2E+08	kh=1E+07 kr=4E+08
Bucharest	0,00000000165	0,00596	0,00578	0,00584
Elcentro	0,00000000028	0,00077	0,00090	0,00078
Koyna	0,00000000020	0,00080	0,00114	0,00079

Dari hasil grafik rotasi pondasi pada gambar 5.100 dan gambar 5.101 dan tabel 5.8 maka,

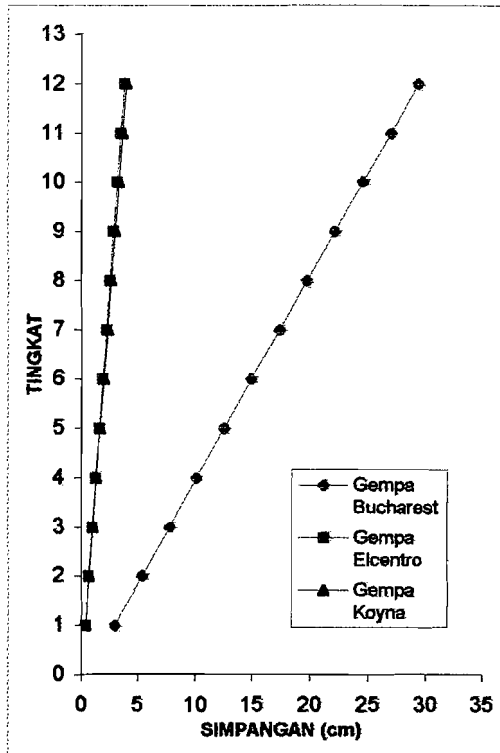
1. Sudut rotasi pada kombinasi I (tanah dianggap jepit penuh) memberikan nilai sudut paling kecil atau mendekati nol.
2. Gempa Bucharest memberikan nilai sudut rotasi paling besar dibandingkan dengan gempa Elcentro dan gempa Koyna.
3. Perubahan nilai kekakuan putar tanah (kr) lebih mempengaruhi perubahan sudut rotasi dibanding dengan perubahan nilai kekakuan horisontal tanah (kh).

5.5.3 Simpangan Rotasi

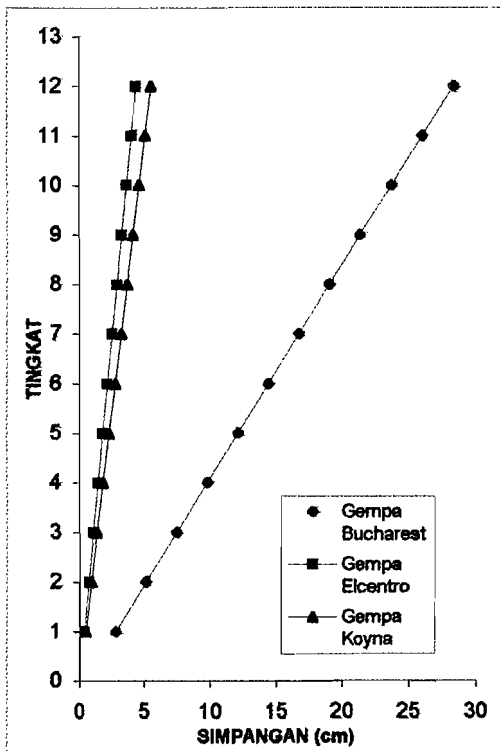
Pembahasan simpangan rotasi berdasarkan gambar 5.102 sampai dengan gambar 5.104 dan tabel 5.9 sampai dengan tabel 5.12 dengan 3 beban gempa dan 4 kombinasi kekakuan horisontal dan kekakuan putar tanah di bawah ini.



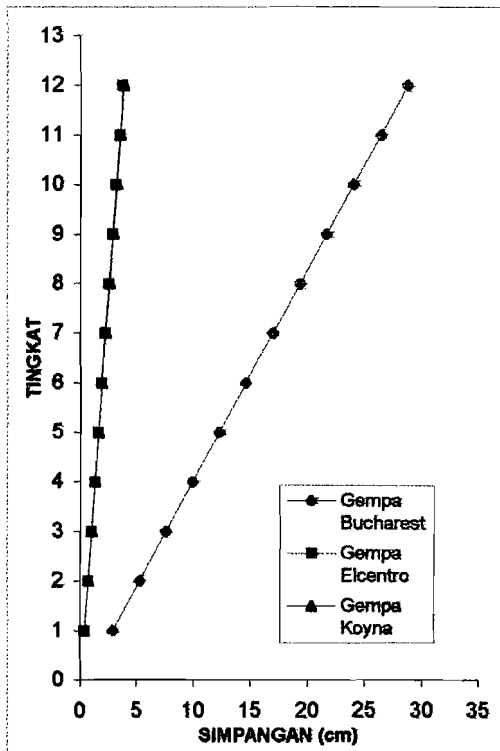
A. $kh=2E+15, kr=4E+15$



B. $kh=2E+07, kr=4E+08$

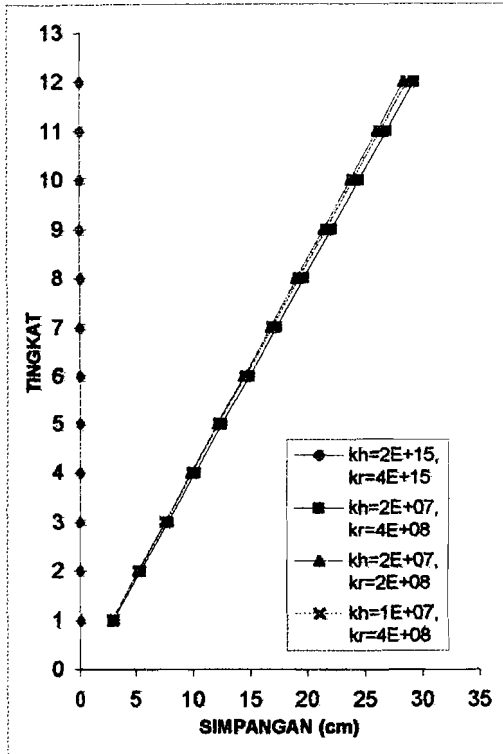


C. $kh=2E+07, kr=2E+08$

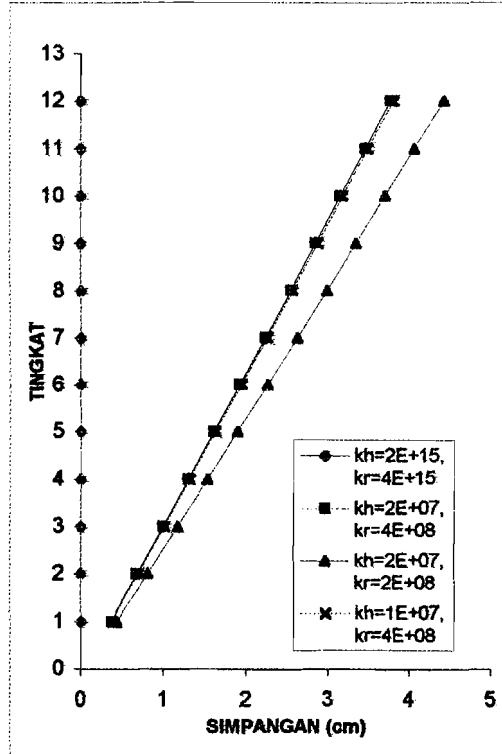


D. $kh=1E+07, kr=4E+08$

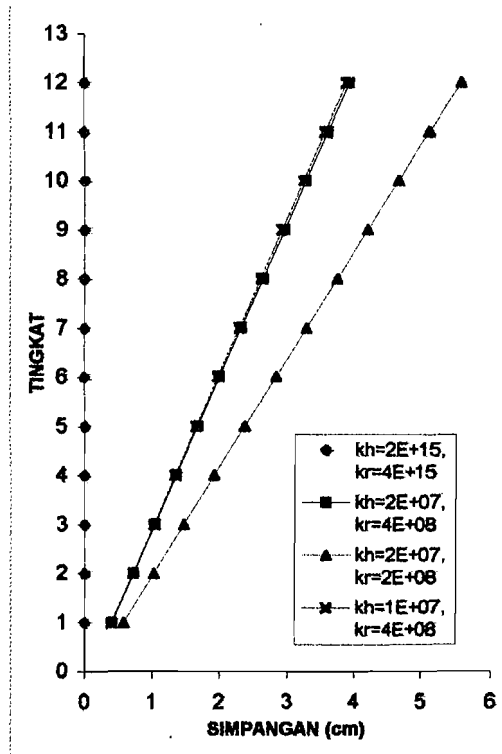
Gambar 3.102 Grafik simpangan rotasi maksimum akibat 3 gempa



A. Gempa Bucharest

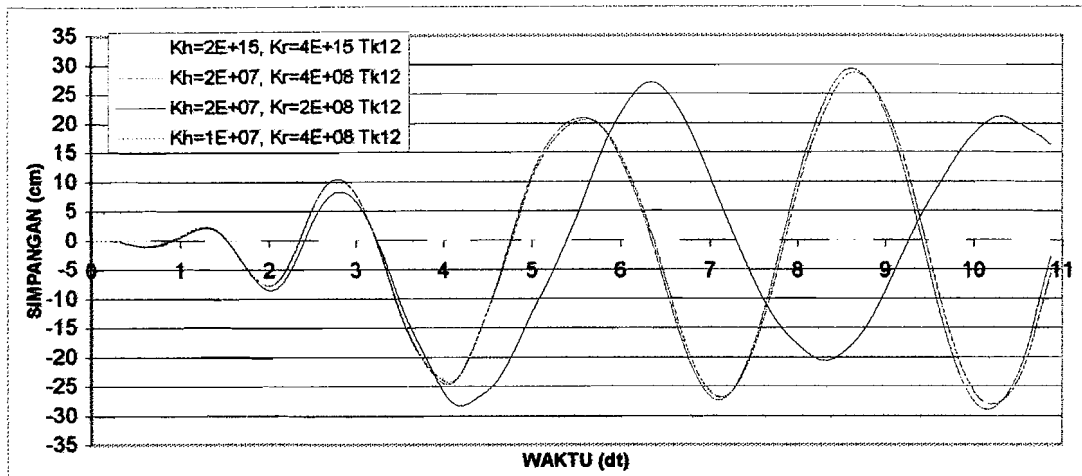


B. Gempa Elcentro

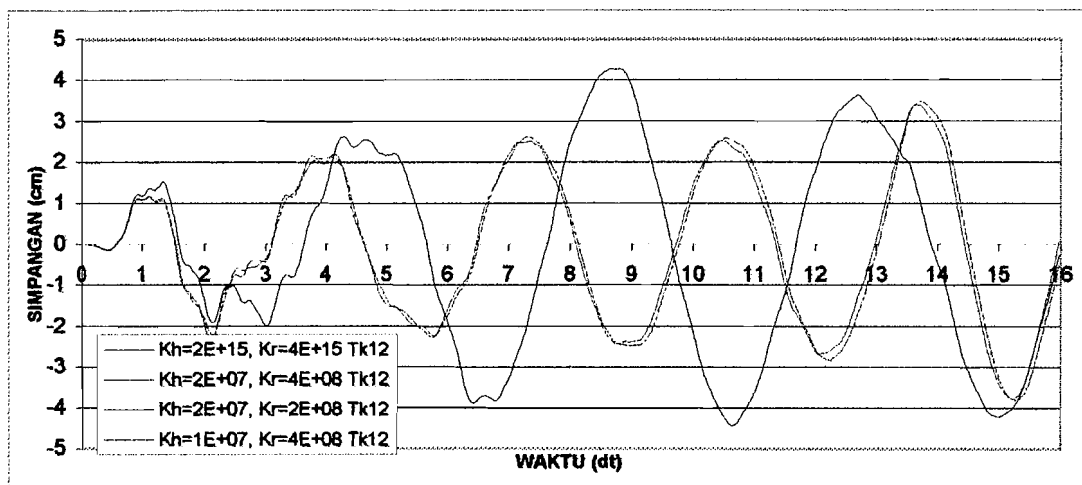


C. Gempa Koyna

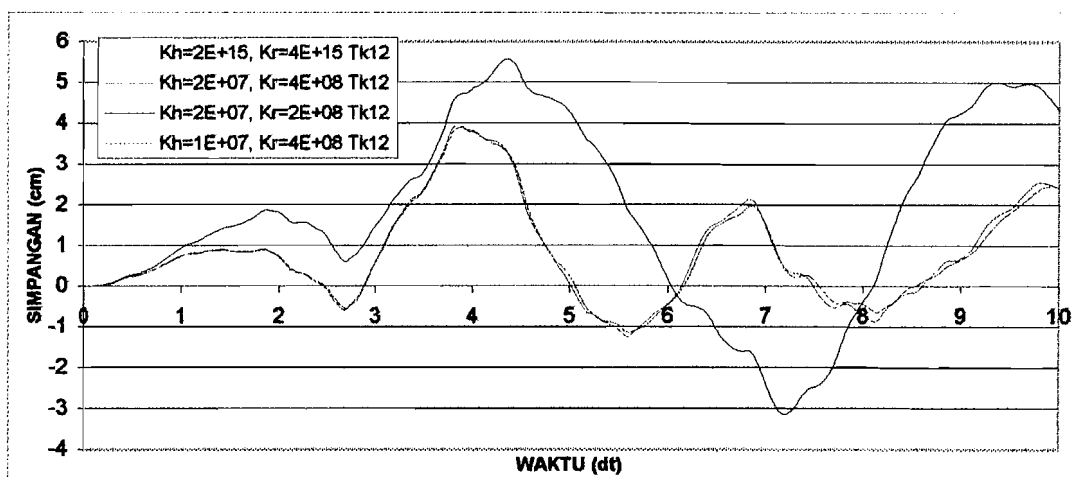
Gambar 5.103 Grafik simpangan rotasi maksimum dengan 4 kombinasi



A. Gempa Bucharest



B. Gempa Elcentro



C. Gempa Koyna

Gambar 5.104 Grafik simpangan rotasi maks dengan 4 kombinasi lawan waktu

Tabel 5.9 Simpangan rotasi maksimum struktur 12 tingkat $kh=2E+15$, $kr=4E+15$

Tingkat	Simpangan (cm)		
	Gempa Bucharest	Gempa Elcentro	Gempa Koyna
1	8,25405E-07	1,41715E-07	9,96295E-08
2	1,48573E-06	2,55088E-07	1,79333E-07
3	2,14605E-06	3,68460E-07	2,59037E-07
4	2,80638E-06	4,81832E-07	3,38740E-07
5	3,46670E-06	5,95204E-07	4,18444E-07
6	4,12702E-06	7,08577E-07	4,98148E-07
7	4,78735E-06	8,21949E-07	5,77851E-07
8	5,44767E-06	9,35321E-07	6,57555E-07
9	6,10800E-06	1,04869E-06	7,37258E-07
10	6,76832E-06	1,16207E-06	8,16962E-07
11	7,42864E-06	1,27544E-06	8,96666E-07
12	8,08897E-06	1,38881E-06	9,76369E-07

Tabel 5.10 Simpangan rotasi maksimum struktur 12 tingkat $kh=2E+07$, $kr=4E+08$

Tingkat	Simpangan (cm)		
	Gempa Bucharest	Gempa Elcentro	Gempa Koyna
1	2,98115	0,38499	0,40119
2	5,36606	0,69298	0,72214
3	7,75098	1,00097	1,04310
4	10,13590	1,30897	1,36405
5	12,52082	1,61696	1,68500
6	14,90573	1,92495	2,00595
7	17,29065	2,23294	2,32691
8	19,67557	2,54094	2,64786
9	22,06049	2,84893	2,96881
10	24,44540	3,15692	3,28976
11	26,83032	3,46491	3,61072
12	29,21524	3,77291	3,93167

Tabel 5.11 Simpangan rotasi maksimum struktur 12 tingkat $k_h=2E+07$, $k_r=2E+08$

Tingkat	Simpangan (cm)		
	Gempa Bucharest	Gempa Elcentro	Gempa Koyna
1	2,89065	0,45161	0,56833
2	5,20317	0,81289	1,02300
3	7,51569	1,17417	1,47766
4	9,82822	1,53546	1,93233
5	12,14074	1,89674	2,38700
6	14,45326	2,25803	2,84166
7	16,76578	2,61931	3,29633
8	19,07830	2,98059	3,75099
9	21,39082	3,34188	4,20566
10	23,70334	3,70316	4,66032
11	26,01586	4,06445	5,11499
12	28,32839	4,42573	5,56966

Tabel 5.12 Simpangan rotasi maksimum struktur 12 tingkat $k_h=1E+07$, $k_r=4E+08$

Tingkat	Simpangan (cm)		
	Gempa Bucharest	Gempa Elcentro	Gempa Koyna
1	2,91767	0,38813	0,39668
2	5,25181	0,69864	0,71403
3	7,58594	1,00915	1,03138
4	9,92008	1,31965	1,34872
5	12,25422	1,63016	1,66607
6	14,58835	1,94067	1,98342
7	16,92249	2,25117	2,30076
8	19,25662	2,56168	2,61811
9	21,59076	2,87219	2,93545
10	23,92490	3,18270	3,25280
11	26,25903	3,49320	3,57015
12	28,59317	3,80371	3,88749

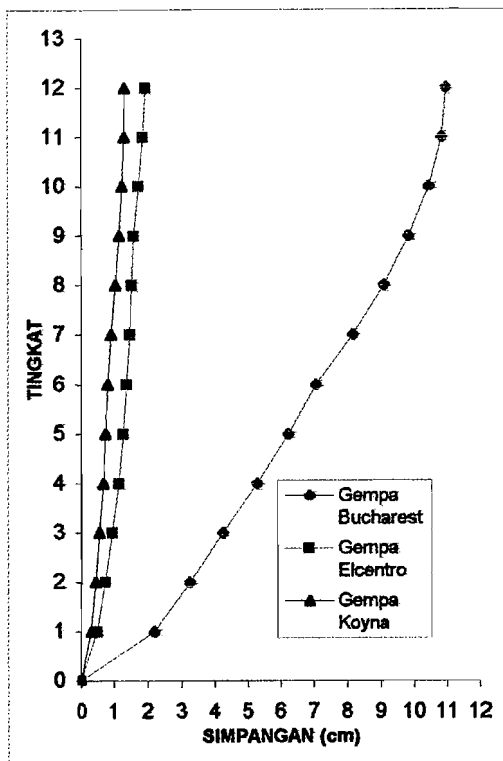
Dari hasil grafik simpangan rotasi maksimum pada gambar 5.102 sampai dengan gambar 5.104 dengan 4 kombinasi kekakuan horisontal tanah dan kekakuan putar tanah maka,

1. Gempa Bucharest memberikan simpangan akibat rotasi paling besar dibanding dengan gempa Elcentro dan gempa Koyna.

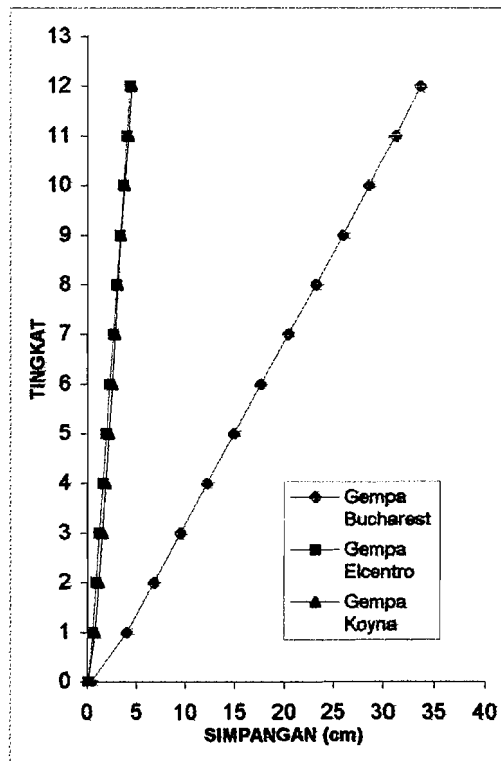
2. Simpangan akibat rotasi berbanding lurus dengan sudut rotasi dan tinggi struktur.
3. Untuk gempa Bucharest (frekuensi rendah) perubahan nilai kekakuan horisontal tanah (k_h) memberikan simpangan yang lebih besar dibanding dengan perubahan nilai kekakuan putar tanah (k_r).
4. Untuk gempa Elcentro dan gempa Koyna, perubahan nilai kekakuan putar tanah (k_r) memberikan simpangan yang lebih besar dibanding dengan perubahan nilai kekakuan horisontal tanah (k_h).
5. Perubahan nilai kekakuan putar tanah lebih besar mempengaruhi perubahan simpangan dibanding dengan perubahan nilai kekakuan horisontal tanah.

5.5.4 Simpangan Total

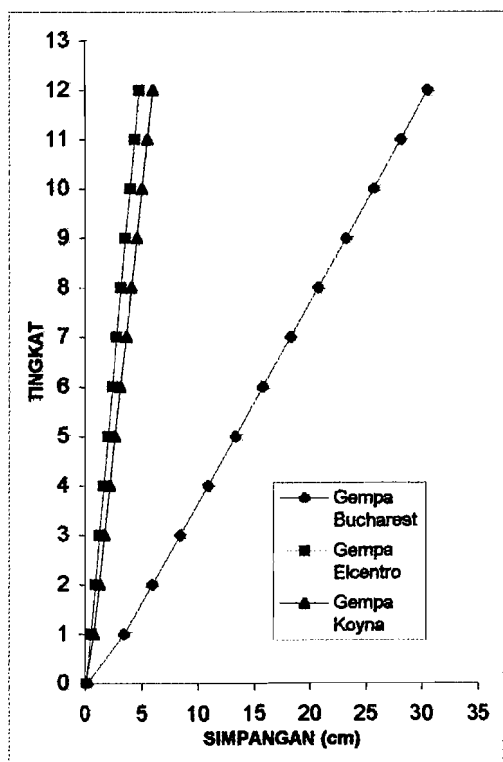
Pembahasan simpangan total berdasarkan gambar 5.105 sampai dengan gambar 5.107 dan tabel 5.13 sampai dengan tabel 5.16 dengan 3 beban gempa dan 4 kombinasi kekakuan horisontal dan kekakuan putar tanah di bawah ini.



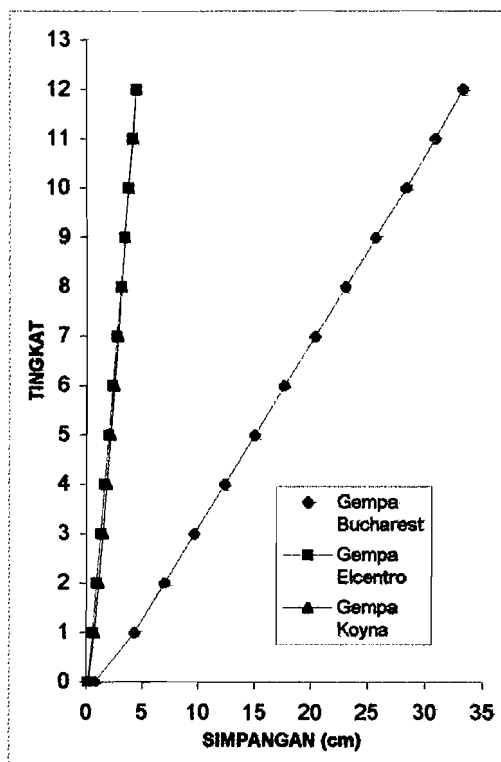
A. kh=2E+15, kr=4E+15



B. kh=2E+07, kr=4E+08

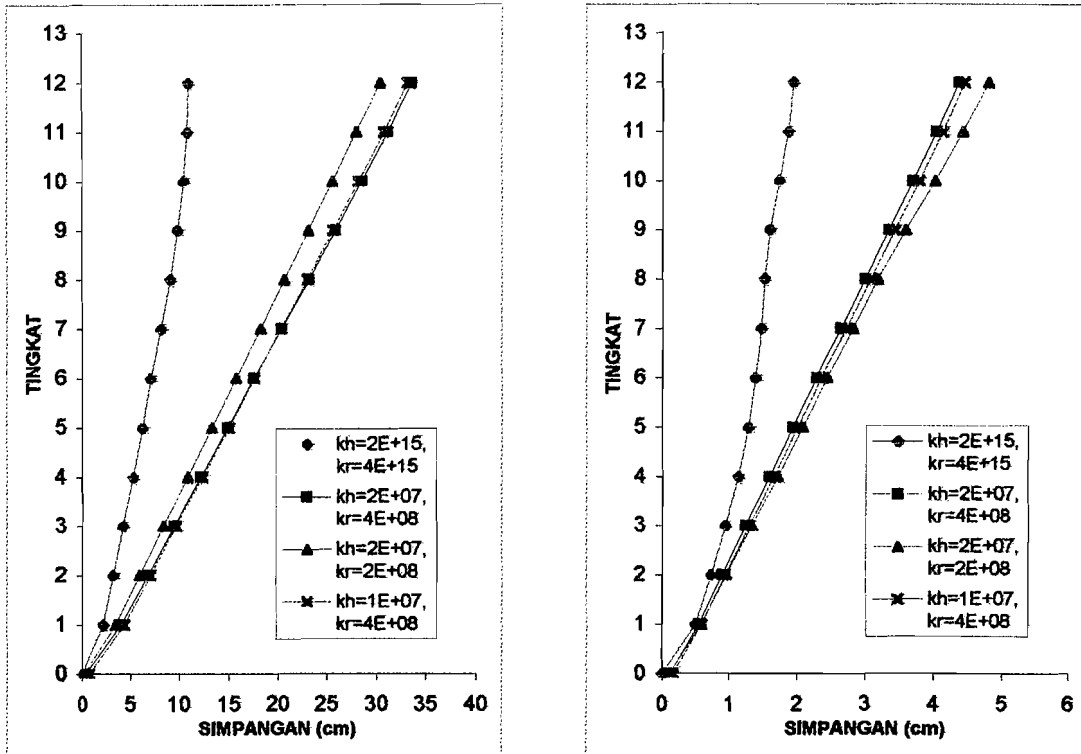


C. kh=2E+07, kr=2E+08



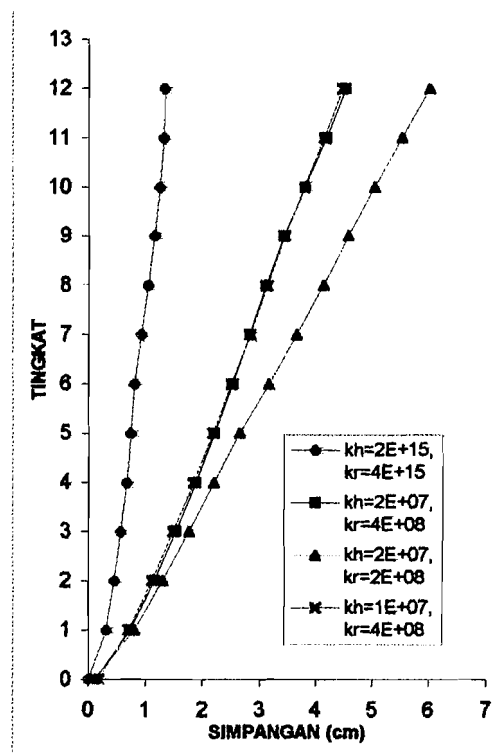
D. kh=1E+07, kr=4E+08

Gambar 5.105 Grafik simpangan total maksimum akibat 3 gempa



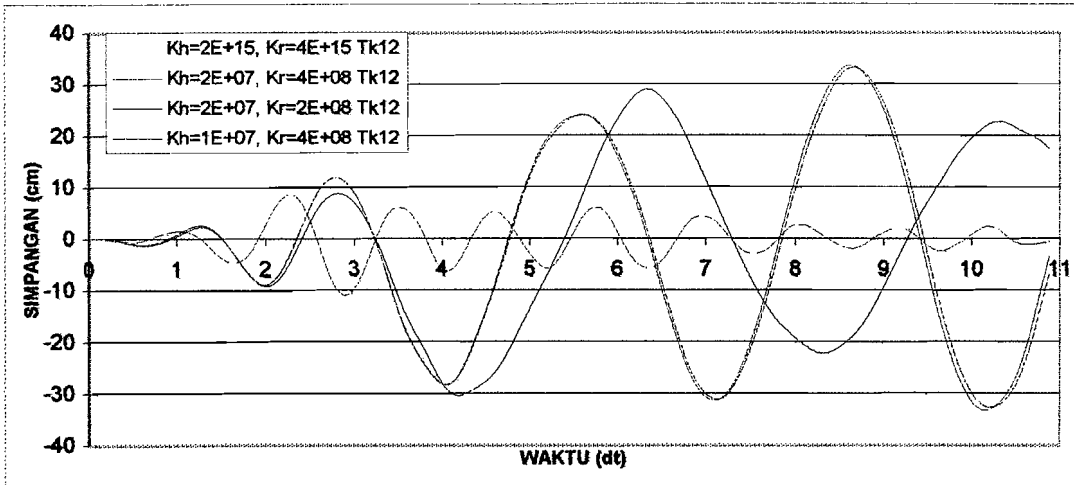
A. Gempa Bucharest

B. Gempa Elcentro

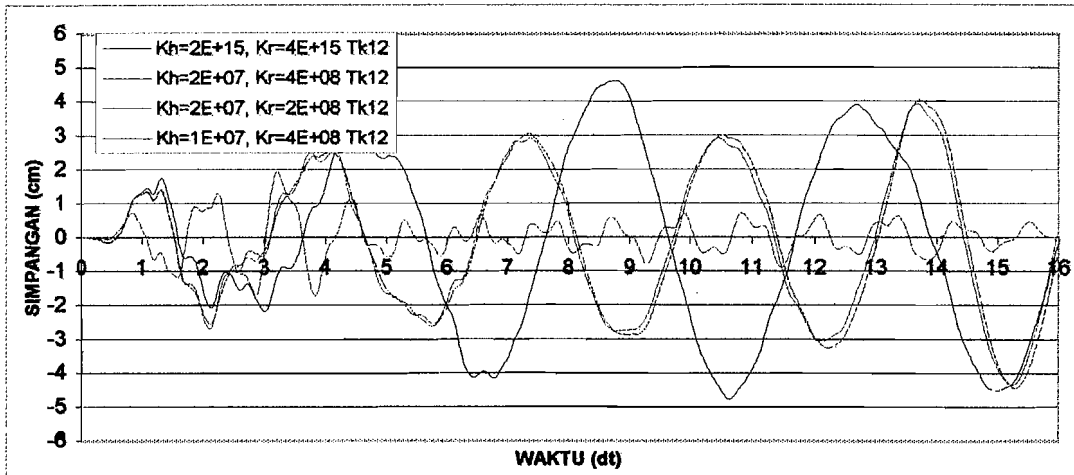


C. Gempa Koyna

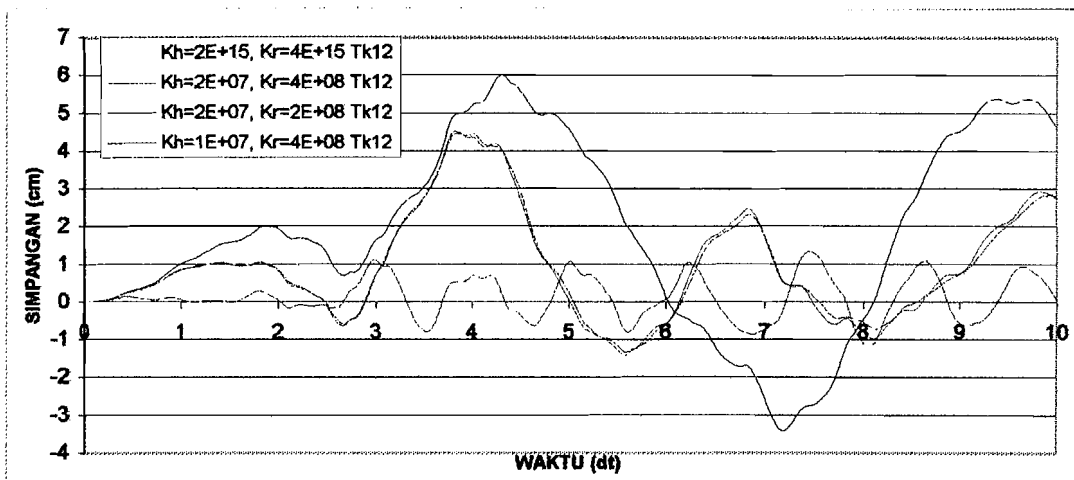
Gambar 5.106 Grafik simpangan total maksimum dengan 4 kombinasi



A. Gempa Bucharest



B. Gempa Elcentro



C. Gempa Koyna

Gambar 5.107 Grafik simpangan total maks dengan 4 kombinasi lawan waktu

Tabel 5.13 Simpangan total maksimum struktur 12 tingkat $k_h=2E+15$, $k_r=4E+15$

Tingkat	Simpangan (cm)		
	Gempa Bucharest	Gempa Elcentro	Gempa Koyna
0	0,0000000114	0,0000000026	0,0000000015
1	2,18633	0,49568	0,31265
2	3,25338	0,73141	0,45575
3	4,25546	0,94120	0,57776
4	5,28541	1,13897	0,68217
5	6,22290	1,28216	0,75454
6	7,05839	1,37853	0,81514
7	8,16095	1,46491	0,92348
8	9,08775	1,51943	1,04430
9	9,82267	1,59193	1,16100
10	10,42390	1,72884	1,24440
11	10,79870	1,86547	1,30673
12	10,94285	1,94121	1,33111

Tabel 5.14 Simpangan total maksimum struktur 12 tingkat $k_h=2E+07$, $k_r=4E+08$

Tingkat	Simpangan (cm)		
	Gempa Bucharest	Gempa Elcentro	Gempa Koyna
0	0,40803	0,12316	0,12186
1	4,05134	0,54081	0,74517
2	6,77164	0,89348	1,15892
3	9,48172	1,24065	1,53463
4	12,21238	1,58901	1,88545
5	14,92397	1,93772	2,21359
6	17,61608	2,28296	2,52487
7	20,43698	2,64245	2,82478
8	23,21406	2,99351	3,10675
9	25,92401	3,33945	3,42376
10	28,58300	3,68898	3,79879
11	31,14545	4,02486	4,17264
12	33,60080	4,34316	4,51144

Tabel 5.15 Simpangan total maksimum struktur 12 tingkat $k_h=2E+07$, $k_r=2E+08$

Tingkat	Simpangan (cm)		
	Gempa Bucharest	Gempa Elcentro	Gempa Koyna
0	0,23158	0,11604	0,10537
1	3,46068	0,57367	0,80819
2	5,92918	0,95038	1,29825
3	8,39030	1,32596	1,75799
4	10,86092	1,71003	2,20358
5	13,31696	2,08512	2,65211
6	15,75577	2,45250	3,15209
7	18,24056	2,81632	3,65016
8	20,70469	3,18214	4,11967
9	23,16299	3,58368	4,56561
10	25,62143	4,00253	5,03035
11	28,03626	4,40655	5,50981
12	30,39186	4,78749	5,99823

Tabel 5.16 Simpangan total maksimum struktur 12 tingkat $k_h=1E+07$, $k_r=4E+08$

Tingkat	Simpangan (cm)		
	Gempa Bucharest	Gempa Elcentro	Gempa Koyna
0	0,77703	0,15948	0,17115
1	4,35173	0,58232	0,72133
2	7,01005	0,94004	1,11548
3	9,66951	1,29631	1,48672
4	12,35017	1,65460	1,84333
5	15,00833	2,00786	2,18346
6	17,63959	2,35596	2,50642
7	20,38142	2,71626	2,82672
8	23,07538	3,07345	3,12880
9	25,71158	3,42668	3,43080
10	28,30679	3,77563	3,78572
11	30,81071	4,10985	4,12803
12	33,21408	4,42879	4,45450

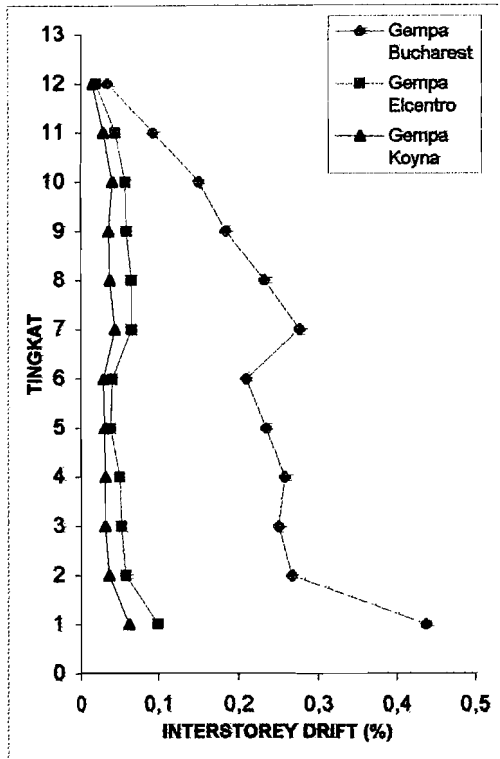
Dari hasil grafik simpangan total maksimum pada gambar 5.105 sampai dengan gambar 5.107 dan tabel 5.13 sampai dengan 5.16 maka,

1. Gempa Bucharest memberikan simpangan total yang lebih besar dibanding dengan gempa Elcentro dan gempa Koyna.

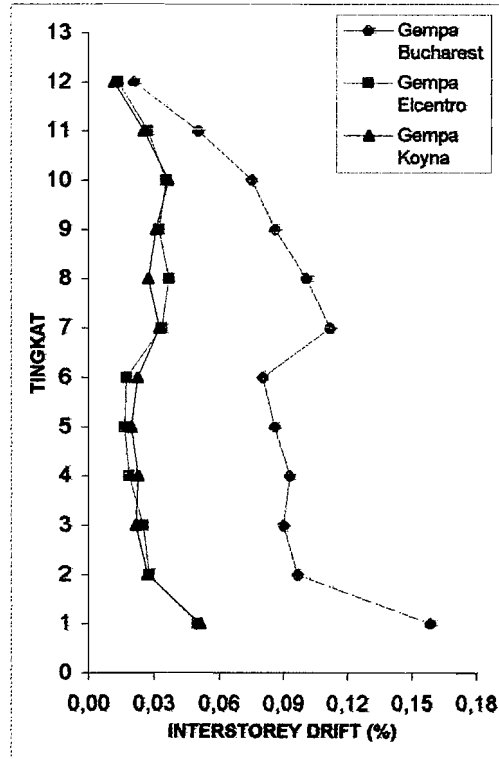
2. Simpangan total pada kombinasi I (tanah jepit penuh) lebih kecil dibanding dengan simpangan total apabila struktur mengalami rotasi (kombinasi II, III dan IV).
3. Untuk gempa frekuensi rendah (gempa Bucharest), perubahan nilai kekakuan horisontal tanah (kh) memberikan simpangan yang lebih besar dibanding dengan perubahan nilai kekakuan putar tanah (kr).
4. Untuk gempa frekuensi sedang dan tinggi (gempa Elcentro dan gempa Koyna), perubahan nilai kekakuan putar tanah (kr) memberikan simpangan yang lebih besar dibanding dengan perubahan nilai kekakuan horisontal tanah (kh).
5. Perubahan nilai kekakuan putar tanah (kr) lebih besar mempengaruhi perubahan simpangan total dibanding dengan perubahan nilai kekakuan horisontal tanah (kh).

5.5.5 Simpangan Antar Tingkat

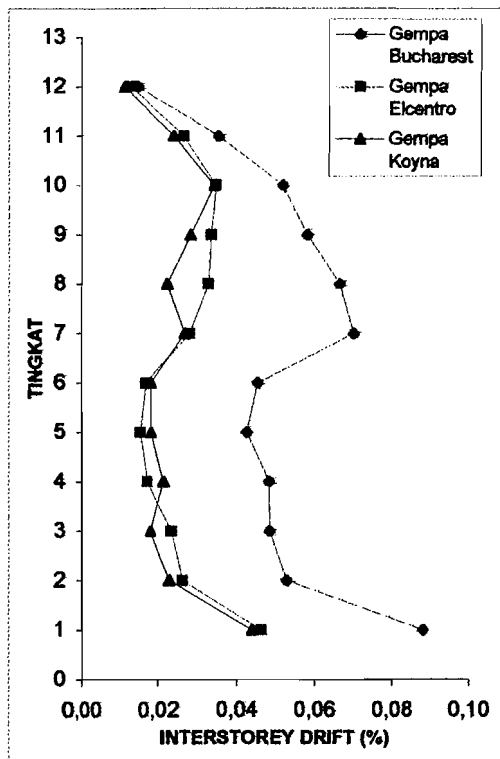
Pembahasan simpangan antar tingkat berdasarkan gambar 5.108 sampai dengan gambar 5.110 tabel 5.17 sampai dengan tabel 5.20 dengan 3 beban gempa dan 4 kombinasi kekakuan horisontal dan kekakuan putar tanah di bawah ini.



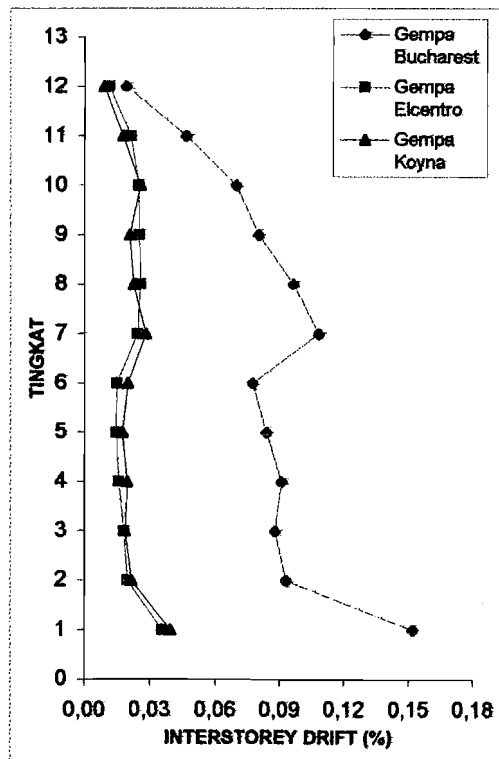
A. kh=2E+15, kr=4E+15



B. kh=2E+07, kr=4E+08

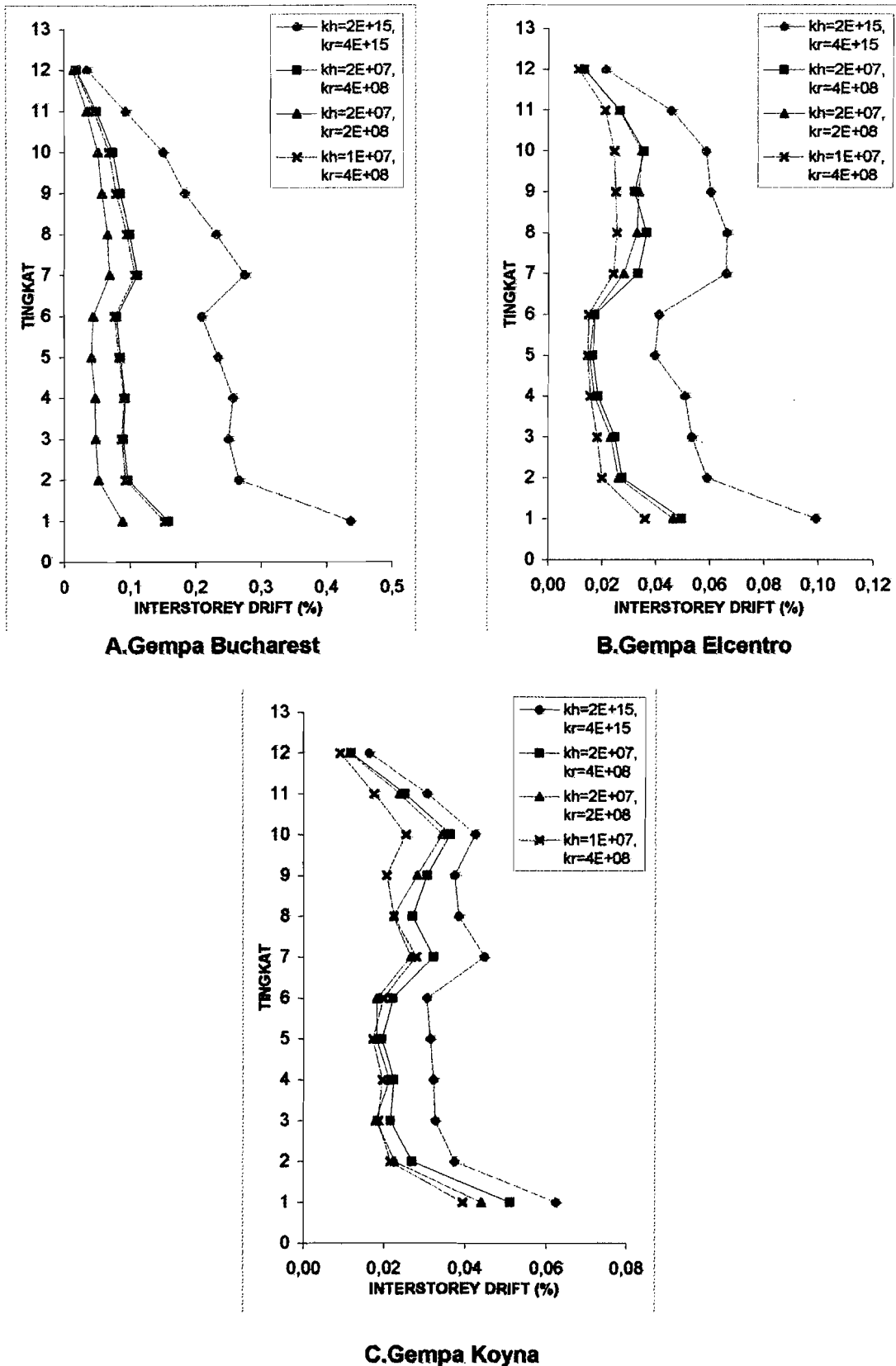


C. kh=2E+07, kr=2E+08

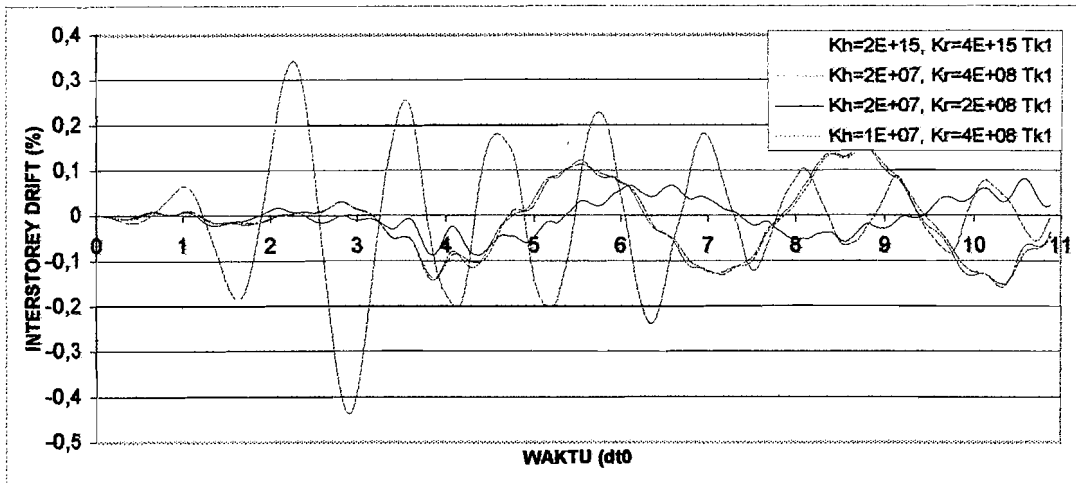


D. kh=1E+07, kr=4E+08

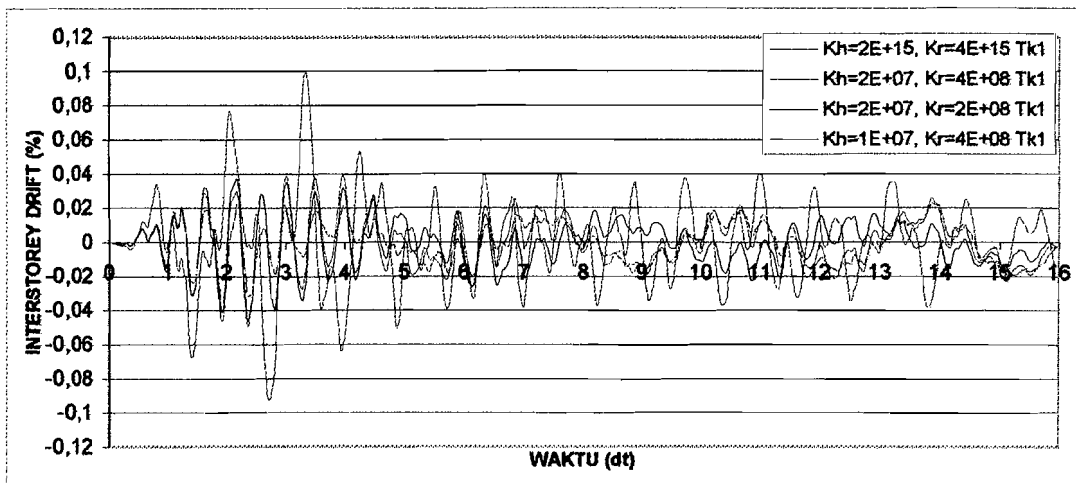
Gambar 5.108 Grafik interstorey drift maksimum akibat 3 gempa



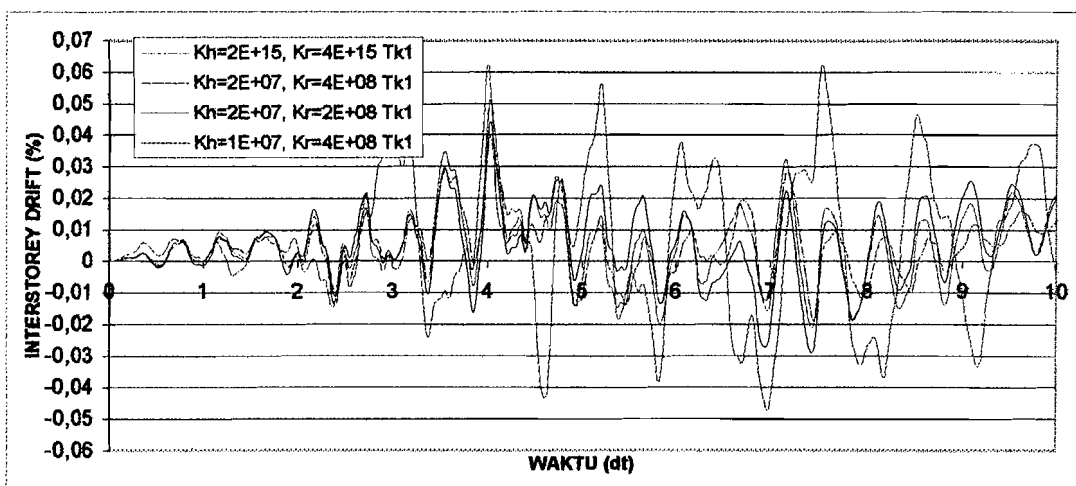
Gambar 5.109 Grafik simpangan antar tingkat maksimum dengan 4 kombinasi



A.Gempa Bucharest



B.Gempa Elcentro



C.Gempa Koyna

Gambar 5.110 Grafik simpangan antar tk maks dengan 4 kombinasi lawan waktu

Tabel 5.17 Simpangan antar tingkat maksimum struktur 12 tingkat

$$kh=2E+15, kr=4E+15$$

Tingkat	Simpangan Antar Tingkat (%)		
	Gempa Bucharest	Gempa Elcentro	Gempa Koyna
1	0,43727	0,09914	0,06253
2	0,26676	0,05893	0,03746
3	0,25052	0,05324	0,03275
4	0,25772	0,05088	0,03233
5	0,23479	0,03955	0,03152
6	0,20957	0,04115	0,03065
7	0,27621	0,06609	0,04465
8	0,23216	0,06610	0,03828
9	0,18415	0,06013	0,03730
10	0,15051	0,05844	0,04234
11	0,09371	0,04562	0,03062
12	0,03604	0,02132	0,01638

Tabel 5.18 Simpangan antar tingkat maksimum struktur 12 tingkat

$$kh=2E+07, kr=4E+08$$

Tingkat	Simpangan Antar Tingkat (%)		
	Gempa Bucharest	Gempa Elcentro	Gempa Koyna
1	0,15837	0,04968	0,05106
2	0,09643	0,02761	0,02703
3	0,08999	0,02486	0,02170
4	0,09260	0,01859	0,02257
5	0,08557	0,01662	0,01947
6	0,07995	0,01727	0,02233
7	0,11145	0,03321	0,03219
8	0,10018	0,03645	0,02711
9	0,08562	0,03204	0,03062
10	0,07460	0,03536	0,03626
11	0,04987	0,02680	0,02515
12	0,02049	0,01337	0,01177

Tabel 5.19 Simpangan antar tingkat maksimum struktur 12 tingkat

$$k_h=2E+07, k_r=2E+08$$

Tingkat	Simpangan Antar Tingkat (%)		
	Gempa Bucharest	Gempa Elcentro	Gempa Koyna
1	0,08807	0,04641	0,04400
2	0,05281	0,02617	0,02279
3	0,04844	0,02340	0,01807
4	0,04827	0,01719	0,02144
5	0,04264	0,01538	0,01823
6	0,04534	0,01686	0,01823
7	0,06996	0,02806	0,02675
8	0,06644	0,03296	0,02245
9	0,05812	0,03361	0,02824
10	0,05180	0,03470	0,03431
11	0,03548	0,02647	0,02398
12	0,01481	0,01320	0,01143

Tabel 5.20 Simpangan antar tingkat maksimum struktur 12 tingkat

$$k_h=1E+07, k_r=4E+08$$

Tingkat	Simpangan Antar Tingkat (%)		
	Gempa Bucharest	Gempa Elcentro	Gempa Koyna
1	0,15207	0,03589	0,03948
2	0,09300	0,02002	0,02159
3	0,08784	0,01819	0,01865
4	0,09087	0,01579	0,01968
5	0,08376	0,01473	0,01742
6	0,07716	0,01481	0,01985
7	0,10801	0,02416	0,02799
8	0,09594	0,02554	0,02253
9	0,07979	0,02503	0,02061
10	0,06940	0,02463	0,02550
11	0,04641	0,02119	0,01758
12	0,01912	0,01127	0,00909

Dari hasil grafik simpangan antar tingkat maksimum pada gambar 5.108 sampai dengan gambar 5.110 dan tabel 5.17 sampai dengan 5.20 maka,

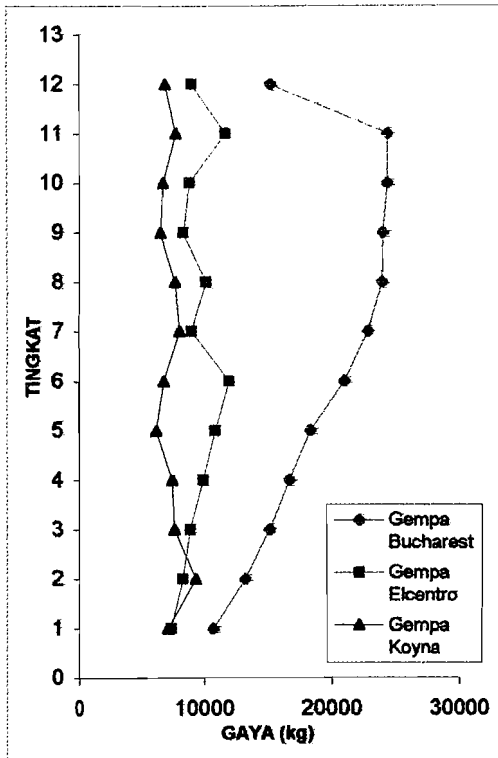
1. Simpangan antar tingkat akan bertambah besar sesuai dengan penurunan kekakuan yang terjadi, serta pada kekakuan yang

sama simpangan antar tingkat akan mengalami penurunan untuk tingkat yang lebih tinggi.

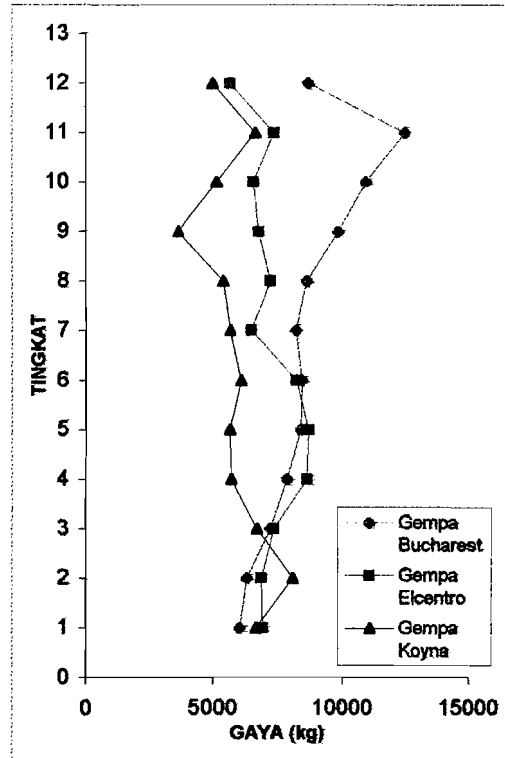
2. Simpangan antar tingkat pada kombinasi I (tanah jepit penuh), simpangan antar tingkat maksimum terjadi pada tingkat 1 berlaku untuk gempa frekuensi rendah, frekuensi sedang dan frekuensi tinggi.
3. Simpangan antar tingkat pada kondisi tanah jepit penuh (kombinasi I) lebih besar dibanding dengan simpangan antar tingkat apabila struktur mengalami rotasi.
4. Perubahan nilai kekakuan putar tanah (k_r) lebih besar mempengaruhi perubahan simpangan antar tingkat dibanding dengan perubahan nilai kekakuan horisontal tanah (k_h).

5.5.6 Gaya Horisontal Tingkat

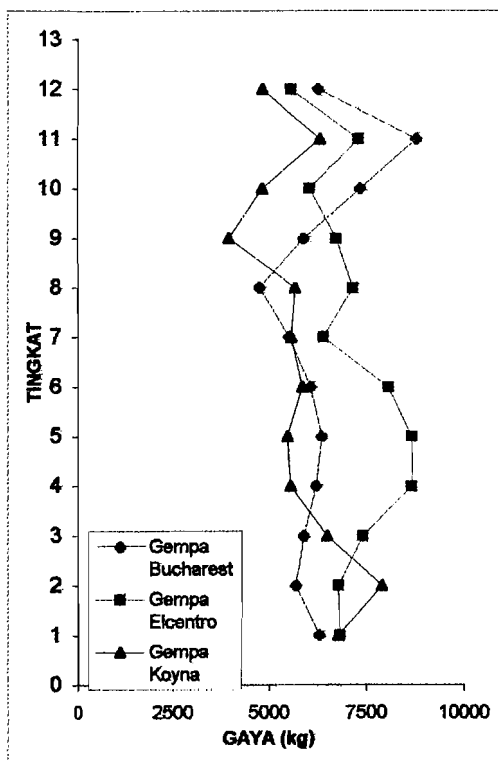
Pembahasan grafik gaya horisontal tingkat berdasarkan gambar 5.111 sampai dengan gambar 5.113 dan tabel 5.21 sampai dengan tabel 5.24 dengan 3 beban gempa dan 4 kombinasi kekakuan horisontal dan kekakuan putar tanah serta gaya horisontal akibat beban gempa statik (diambil dari tugas akhir Utama Sahala K. S) di bawah ini.



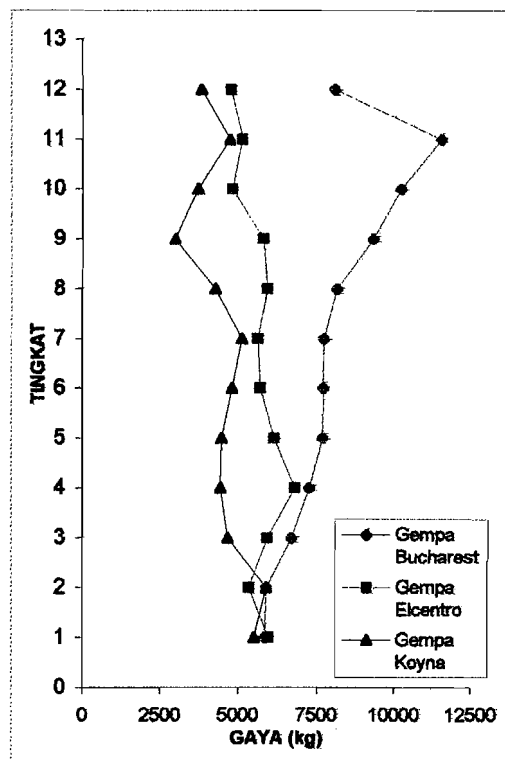
A. $kh=2E+15$, $kr=4E+15$



B. $kh=2E+07$, $kr=4E+08$

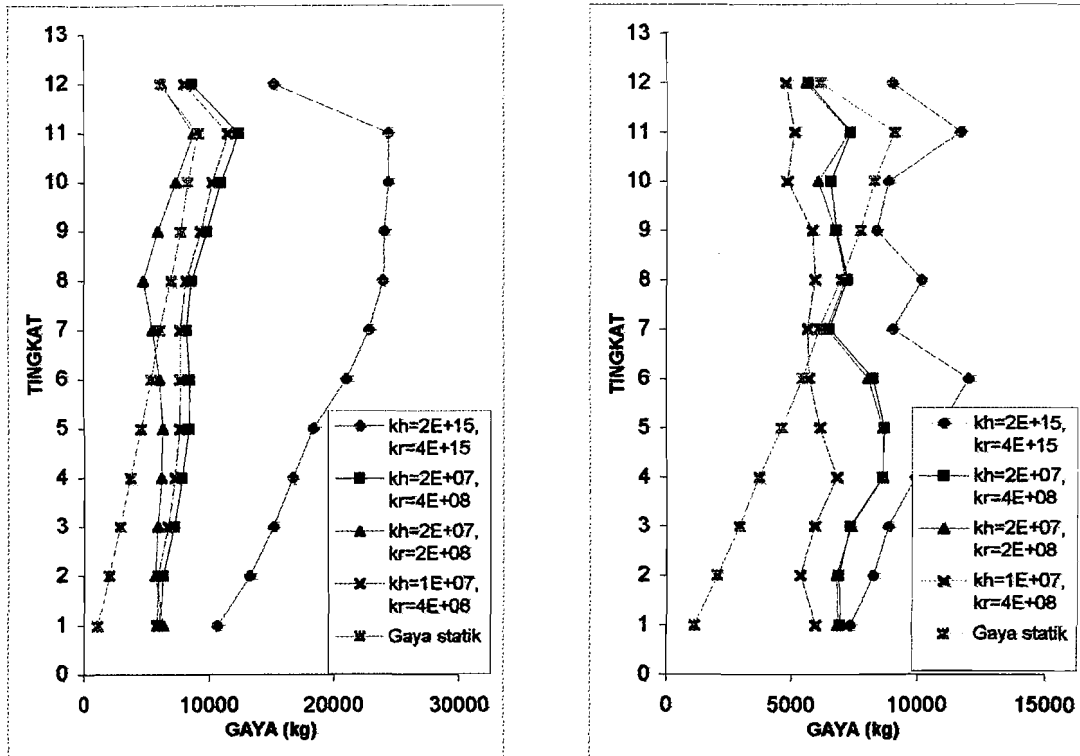


C. $kh=2E+07$, $kr=2E+08$



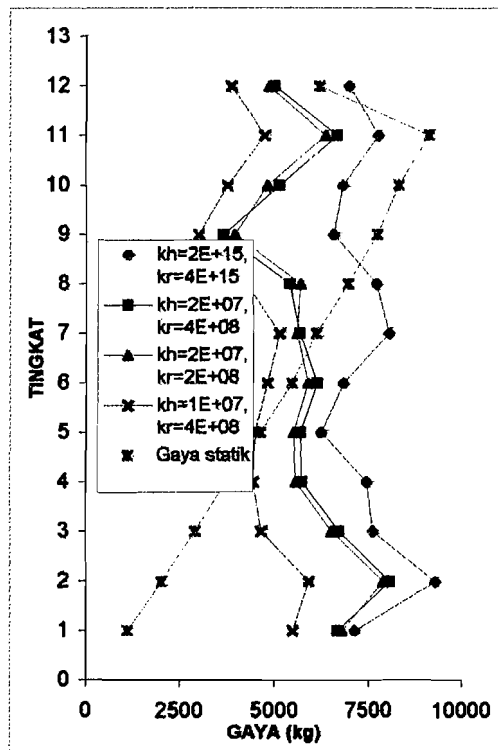
D. $kh=1E+07$, $kr=4E+08$

Gambar 5.111 Grafik gaya horisontal tingkat maksimum akibat 3 gempa



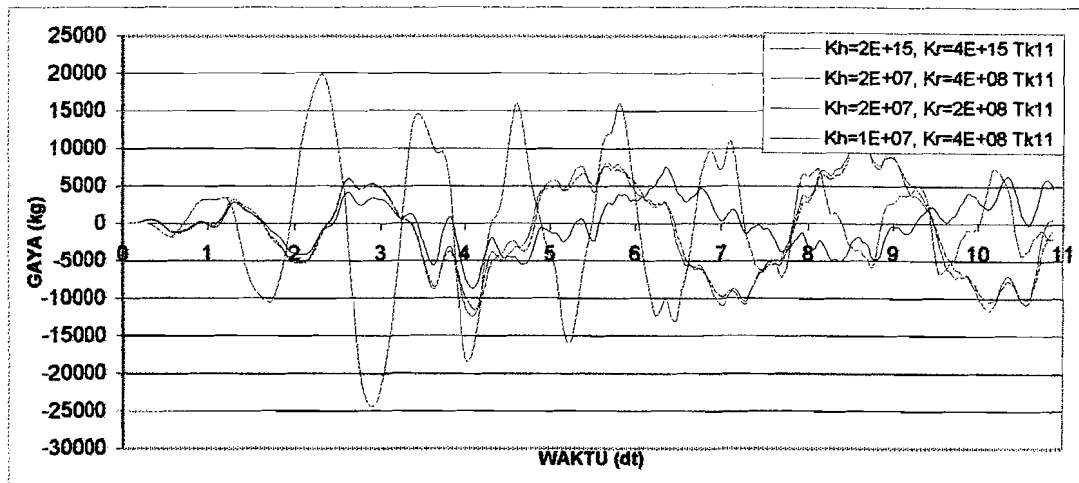
A. Gempa Bucharest

B. Gempa Elcentro

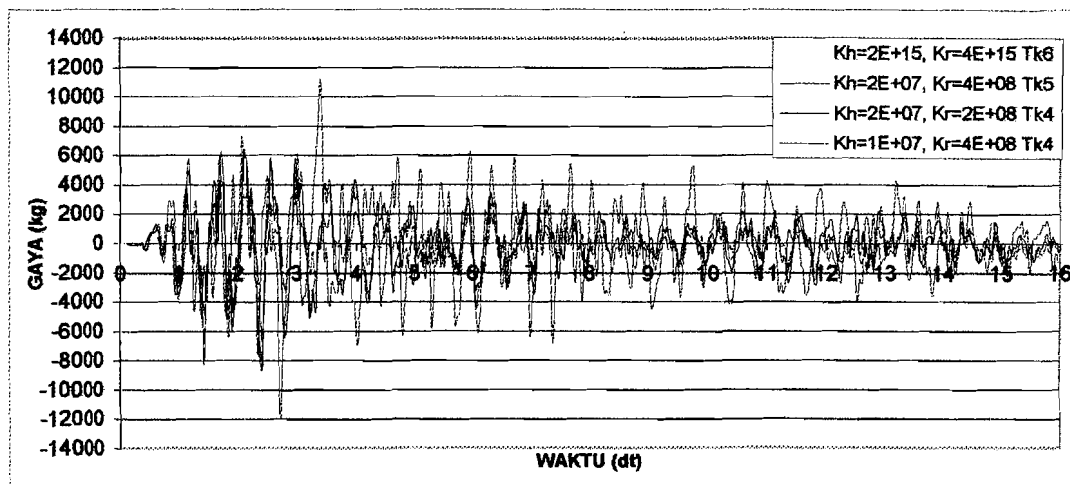


C. Gempa Koyna

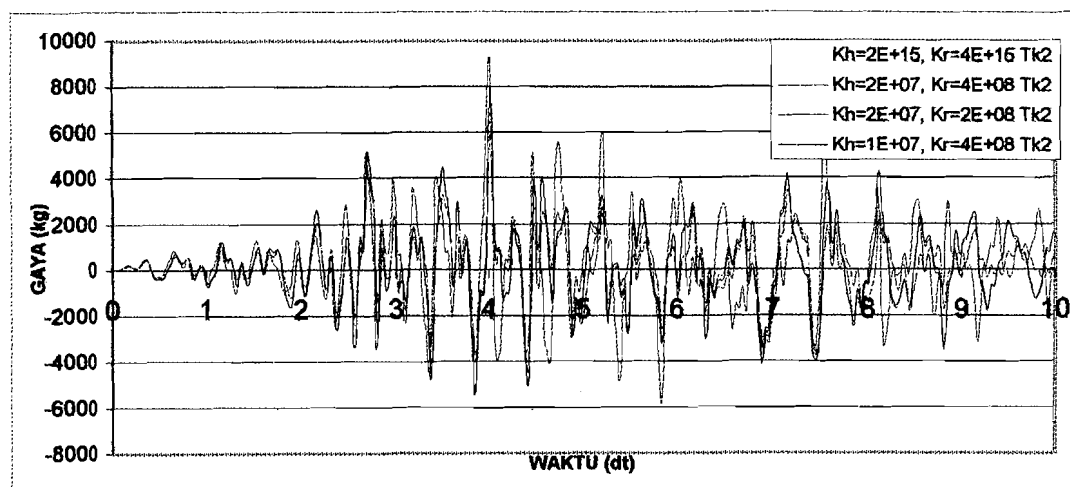
Gambar 5.112 Grafik gaya horisontal tingkat maksimum dengan 4 kombinasi



A.Gempa Bucharest



B.Gempa Elcentro



C.Gempa Koyna

Gambar 5.113 Grafik gaya horisontal tk maks dengan 4 kombinasi lawan waktu

Tabel 5.21 Gaya horisontal tingkat maksimum struktur 12 tingkat

$$k_h=2E+15, k_r=4E+15$$

Tingkat	Gaya Horisontal Tingkat (Kg)		
	Gempa Bucharest	Gempa Elcentro	Gempa Koyna
1	10658,78534	7352,92950	7120,83356
2	13205,10759	8265,81154	9287,00014
3	15156,84149	8858,41985	7605,48688
4	16727,18122	9903,52883	7432,21490
5	18390,24666	10854,08677	6203,59611
6	20987,92462	11985,72509	6796,79310
7	22822,09552	9015,10768	8038,74197
8	23946,50016	10154,65603	7683,62446
9	24017,78462	8367,16006	6535,31495
10	24375,99729	8835,37194	6776,38931
11	24375,99729	11651,47840	7727,11162
12	15221,61238	9003,73182	6920,44894

Tabel 5.22 Gaya horisontal tingkat maksimum struktur 12 tingkat

$$k_h=2E+07, k_r=4E+08$$

Tingkat	Gaya Horisontal Tingkat (Kg)		
	Gempa Bucharest	Gempa Elcentro	Gempa Koyna
1	6028,97988	6908,49082	6660,37351
2	6304,72929	6874,00078	8066,02017
3	7198,97503	7339,85063	6685,93734
4	7861,00145	8637,75743	5701,16499
5	8392,24074	8687,31942	5649,91037
6	8445,14513	8228,30894	6093,93101
7	8191,75799	6473,85788	5656,39094
8	8603,99170	7186,24748	5389,84711
9	9810,85422	6736,83067	3653,25098
10	10919,61074	6539,62602	5119,70259
11	12417,37378	7318,94839	6610,75091
12	8655,33470	5648,53383	4972,78788

Tabel 5.23 Gaya horisontal tingkat maksimum struktur 12 tingkat

$$k_h=2E+07, k_r=2E+08$$

Tingkat	Gaya Horisontal Tingkat (Kg)		
	Gempa Bucharest	Gempa Elcentro	Gempa Koyna
1	6307,84569	6827,54871	6779,28996
2	5692,20246	6784,70519	7888,21950
3	5890,35965	7400,49128	6483,75197
4	6197,51676	8652,90042	5553,24184
5	6343,18955	8629,66103	5477,10914
6	6058,69242	8049,47323	5852,36496
7	5518,53891	6389,40972	5571,32181
8	4742,82050	7127,82813	5667,63960
9	5877,43731	6708,26485	3941,59332
10	7310,81301	6038,97539	4804,43565
11	8743,40617	7274,97490	6296,59139
12	6254,28410	5575,83513	4826,94744

Tabel 5.24 Gaya horisontal tingkat maksimum struktur 12 tingkat

$$k_h=1E+07, k_r=4E+08$$

Tingkat	Gaya Horisontal Tingkat (Kg)		
	Gempa Bucharest	Gempa Elcentro	Gempa Koyna
1	5834,26981	5954,96104	5495,89335
2	5894,86127	5353,33657	5897,14242
3	6699,14456	5932,00899	4657,82004
4	7267,81148	6806,95396	4435,79085
5	7676,41030	6136,31510	4462,86314
6	7708,50790	5694,76617	4797,43771
7	7723,15480	5631,77426	5117,48853
8	8140,42555	5924,07952	4269,24360
9	9313,97406	5800,05132	3002,37533
10	10219,08726	4817,93018	3750,61277
11	11526,83893	5125,75956	4725,96860
12	8077,62474	4760,77554	3839,78221

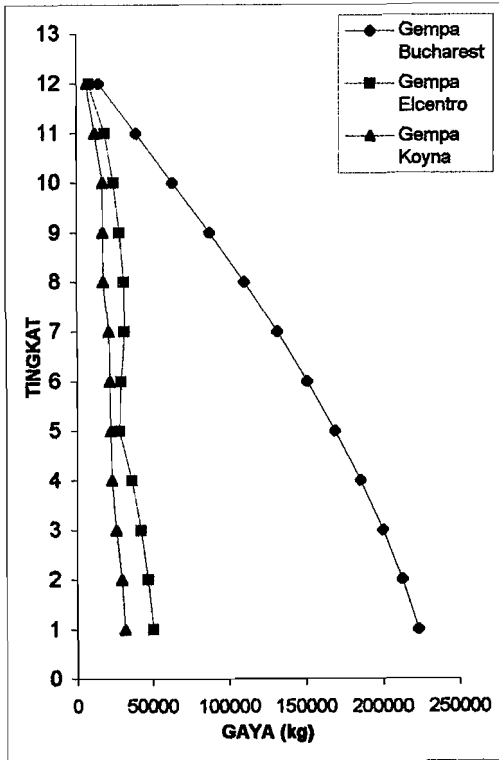
Dari hasil grafik gaya horisontal tingkat maksimum pada gambar 5.111 sampai dengan gambar 5.113 dan tabel 5.21 sampai dengan 5.24 maka,

1. Gaya horisontal tingkat akibat gempa Bucharest lebih besar dari gaya horisontal tingkat akibat gempa Elcentro dan gempa Koyna.

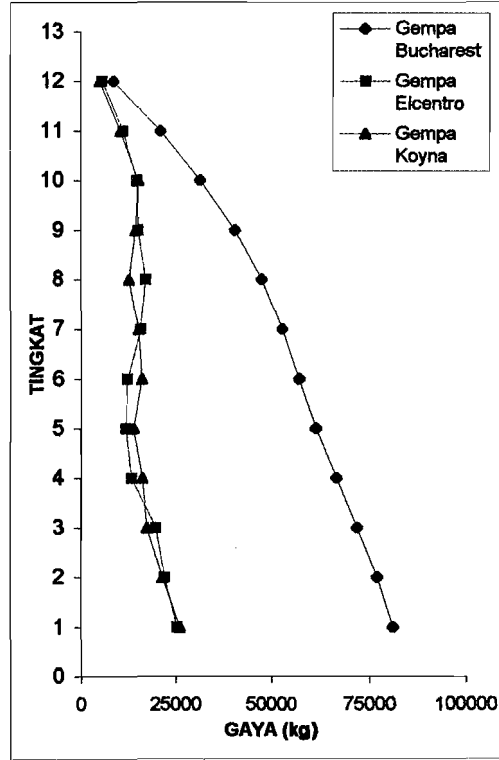
2. Pada kombinasi I (tanah jepit penuh, *fixed*) memberikan gaya horisontal tingkat lebih besar dibandingkan apabila struktur mengalami rotasi (kombinasi II, III dan IV).
3. Frekuensi gempa semakin rendah maka gaya horisontal tingkat semakin besar.
4. Gaya horisontal akibat beban gempa statik pada saat perencanaan struktur mendekati sama dengan gaya horisontal dengan percepatan gempa pada kondisi *code level* untuk gempa frekuensi tinggi. Sedangkan untuk gempa frekuensi rendah dan frekuensi sedang, gaya horisontal akibat percepatan gempa pada kondisi *code level* jauh lebih besar dibanding dengan gaya horisontal akibat beban gempa statik.
5. Perubahan nilai kekakuan putar tanah (k_r) memberikan gaya horisontal tingkat lebih besar dibanding dengan perubahan nilai kekakuan horisontal tanah (k_h).

5.5.7 Gaya Geser Tingkat

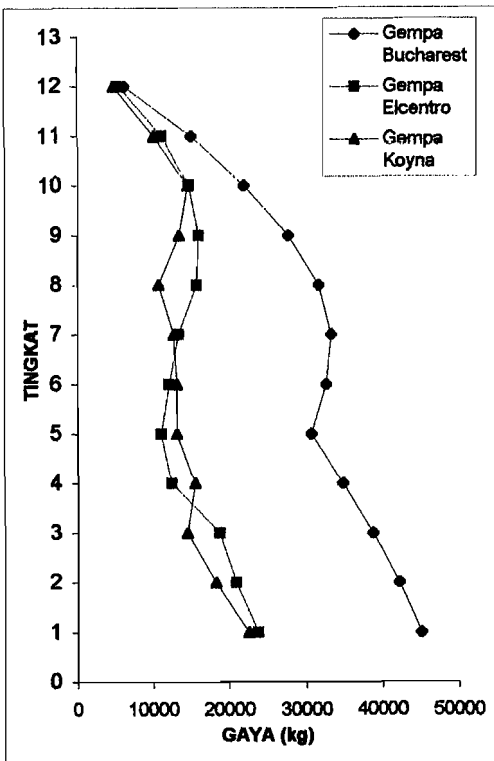
Pembahasan gaya geser tingkat berdasarkan gambar 5.114 sampai dengan gambar 5.116 dan tabel 5.25 sampai dengan tabel 5.28 dengan 3 beban gempa dan 4 kombinasi kekakuan horisontal tanah dan kekakuan putar tanah di bawah ini.



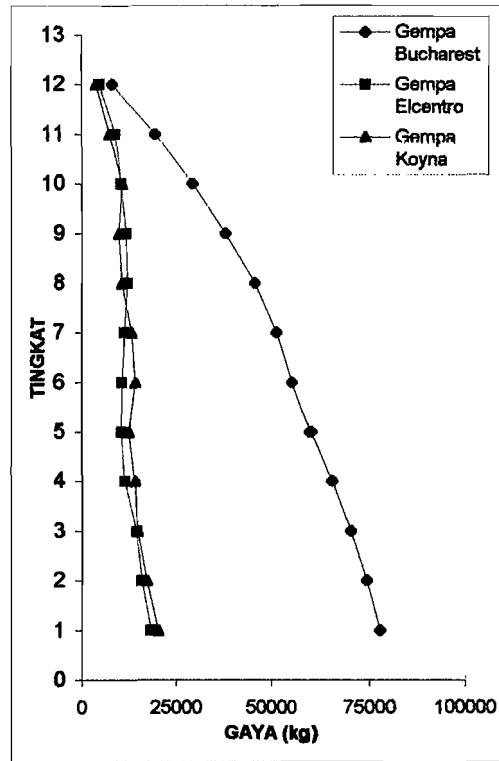
A. $kh=2E+15, kr=4E+15$



B. $kh=2E+07, kr=4E+08$

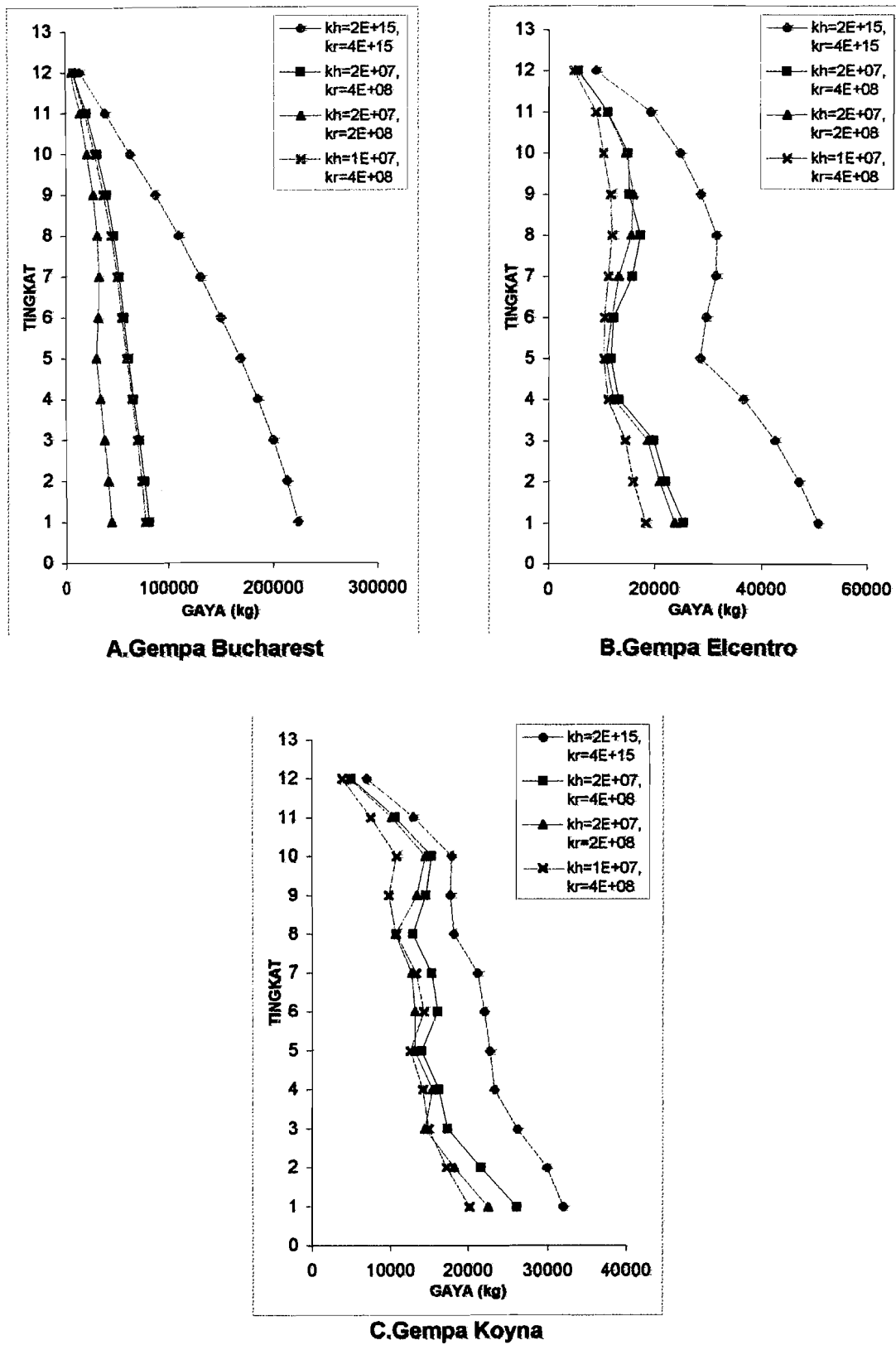


C. $kh=2E+07, kr=2E+08$

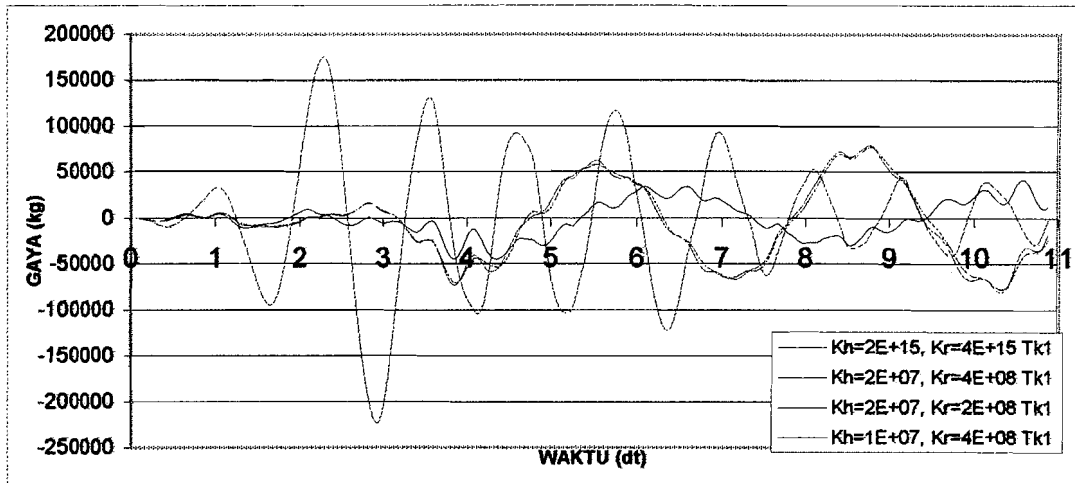


D. $kh=1E+07, kr=4E+08$

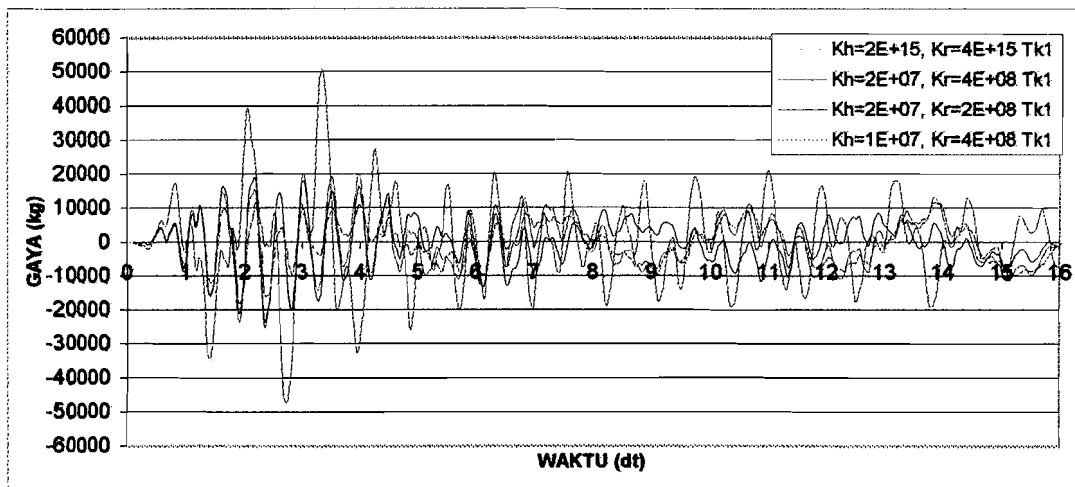
Gambar 5.114 Grafik gaya geser tingkat maksimum akibat 3 gempa



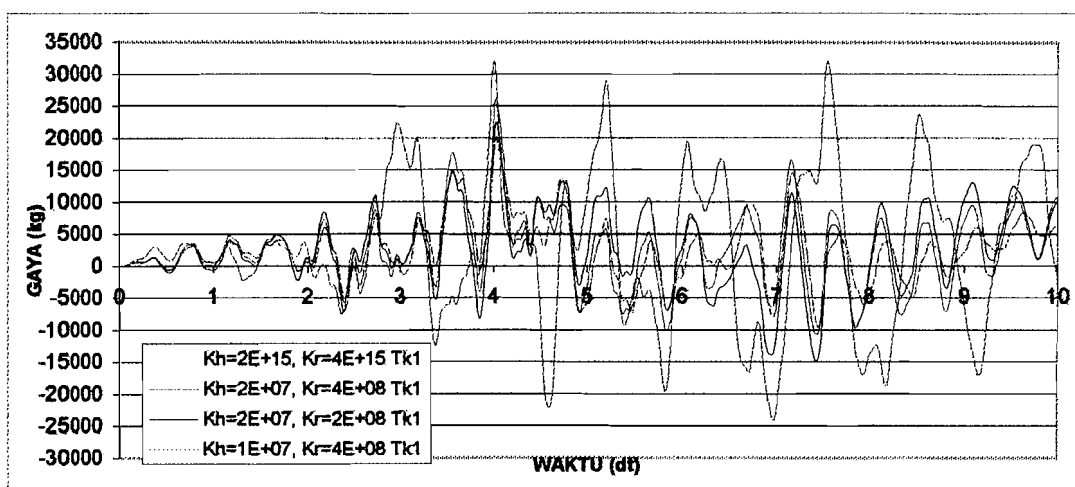
Gambar 5.115 Grafik gaya geser tingkat maksimum dengan 4 kombinasi



A. Gempa Bucharest



B. Gempa Elcentro



C. Gempa Koyna

Gambar 5.116 Grafik gaya geser tingkat maksimum dg 4 kombinasi lawan waktu

Tabel 5.25 Gaya geser tingkat maksimum struktur 12 tingkat

$$kh=2E+15, kr=4E+15$$

Tingkat	Gaya Geser tingkat (Kg)		
	Gempa Bucharest	Gempa Elcentro	Gempa Koyna
1	223574,12985	50688,17722	31972,06700
2	213118,71101	47082,16014	29923,98727
3	200141,39333	42535,31742	26162,24876
4	185303,35407	36580,66559	23246,25017
5	168816,29246	28437,93421	22665,82914
6	150685,40980	29590,40928	22034,30053
7	131246,27986	31405,10442	21218,75235
8	110316,40438	31410,60928	18191,41493
9	87500,96155	28574,18207	17722,44220
10	63572,43777	24683,17959	17882,88717
11	39582,81285	19268,81443	12931,77303
12	15221,61238	9003,73182	6920,44894

Tabel 5.26 Gaya geser tingkat maksimum struktur 12 tingkat

$$kh=2E+07, kr=4E+08$$

Tingkat	Gaya Geser tingkat (Kg)		
	Gempa Bucharest	Gempa Elcentro	Gempa Koyna
1	80976,51218	25400,05248	26106,03173
2	77040,70927	22058,13275	21597,50447
3	71894,96335	19858,77546	17339,69161
4	66583,25750	13365,48506	16229,92477
5	61524,39465	11949,51203	13998,23332
6	57485,50775	12417,19421	16058,94367
7	52956,19347	15782,22804	15297,90858
8	47604,70513	17322,21217	12881,82344
9	40682,84899	15226,79931	14548,42418
10	31510,93300	14936,86377	15316,35307
11	21063,62535	11318,49577	10622,64611
12	8655,33470	5648,53383	4972,78788

Tabel 5.27 Gaya geser tingkat maksimum struktur 12 tingkat

$$k_h=2E+07, k_r=2E+08$$

Tingkat	Gaya Geser tingkat (Kg)		
	Gempa Bucharest	Gempa Elcentro	Gempa Koyna
1	45030,05916	23729,10772	22496,35176
2	42186,98138	20904,83063	18203,13668
3	38702,15501	18693,72140	14435,13772
4	34707,55691	12361,95428	15417,73662
5	30656,35130	11060,12836	13109,08649
6	32600,90042	12123,67263	13107,68651
7	33244,33688	13332,45362	12709,97672
8	31571,37889	15662,44433	10667,62973
9	27617,92958	15968,98367	13417,33654
10	21878,64378	14656,24630	14489,82369
11	14985,26609	11178,85794	10130,48384
12	6254,28410	5575,83513	4826,94744

Tabel 5.28 Gaya geser tingkat maksimum struktur 12 tingkat

$$k_h=1E+07, k_r=4E+08$$

Tingkat	Gaya Geser tingkat (Kg)		
	Gempa Bucharest	Gempa Elcentro	Gempa Koyna
1	77755,52083	18353,11468	20186,69383
2	74300,08557	15997,55797	17247,40006
3	70178,82663	14531,25019	14898,25950
4	65339,20696	11355,75241	14147,85778
5	60224,46873	10591,15949	12527,79877
6	55478,33812	10650,05020	14268,93609
7	51324,85769	11479,32606	13298,30126
8	45590,18400	12133,61711	10707,94255
9	37915,14333	11892,01484	9795,36928
10	29312,32190	10402,24976	10769,07850
11	19604,46367	8948,87984	7424,06935
12	8077,62474	4760,77554	3839,78221

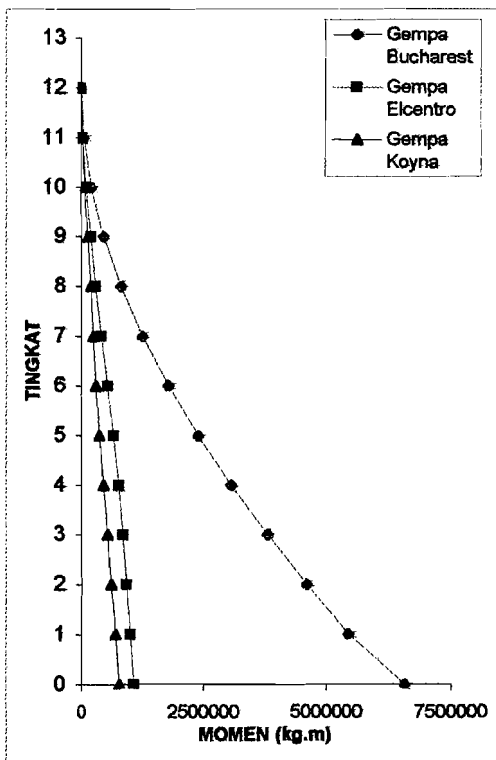
Dari hasil grafik gaya geser tingkat maksimum pada gambar 5.114 sampai dengan gambar 5.116 dan tabel 5.25 sampai dengan 5.28 maka,

1. Pola gaya geser tingkat untuk semua beban gempa relatif sama dimana gaya geser tingkat semakin besar pada tingkat yang lebih rendah karena gaya horisontal tingkat akan ditahan oleh tingkat dibawahnya.

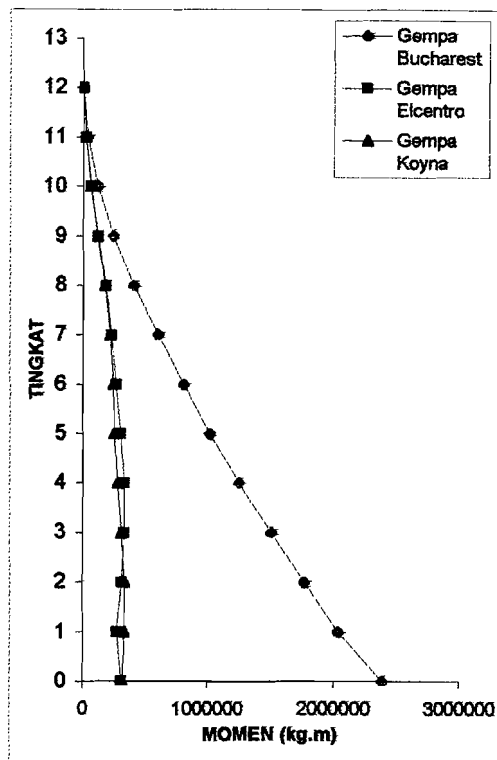
2. Gaya geser tingkat paling besar diakibatkan oleh gempa Bucharest.
3. Gaya geser tingkat pada kombinasi I (tanah jepit penuh, *fixed*) lebih besar dibanding dengan gaya geser tingkat apabila struktur mengalami rotasi.
4. Untuk gempa frekuensi rendah (gempa Bucharest), perubahan nilai kekakuan horisontal tanah (k_h) memberikan gaya yang lebih besar dibanding dengan perubahan nilai kekakuan putar tanah (k_r).
5. Untuk gempa frekuensi sedang (gempa Elcentro) dan gempa frekuensi tinggi (gempa Koyan), perubahan nilai kekakuan putar tanah (k_r) memberikan gaya yang lebih besar dibanding dengan perubahan nilai kekakuan horisontal tanah (k_h).
6. Perubahan nilai kekakuan putar tanah (k_r) lebih besar mempengaruhi perubahan gaya geser tingkat dibanding dengan perubahan nilai kekakuan horisontal tanah (k_h).

5.5.8 Momen Guling

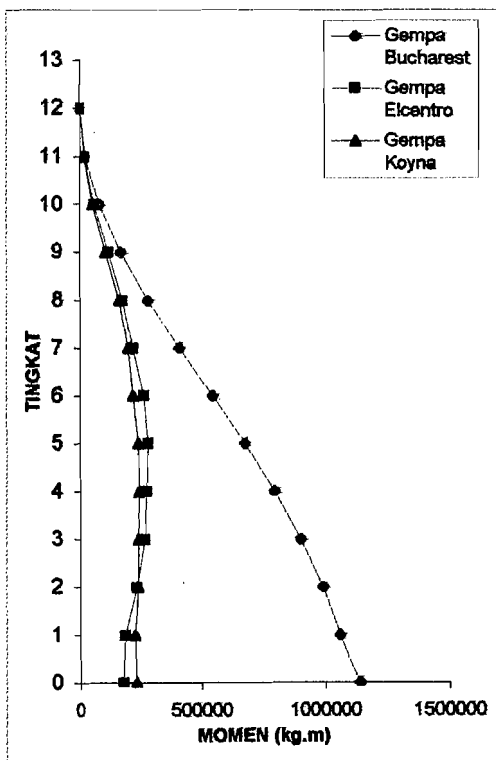
Pembahasan momen guling berdasarkan gambar 5.117 samapai dengan gambar 5.119 dan tabel 5.29 samapai dengan tabel 5.32 dengan 3 beban gempa dan 4 kombinasi kekakuan horisontal tanah dan kekakuan putar tanah di bawah ini.



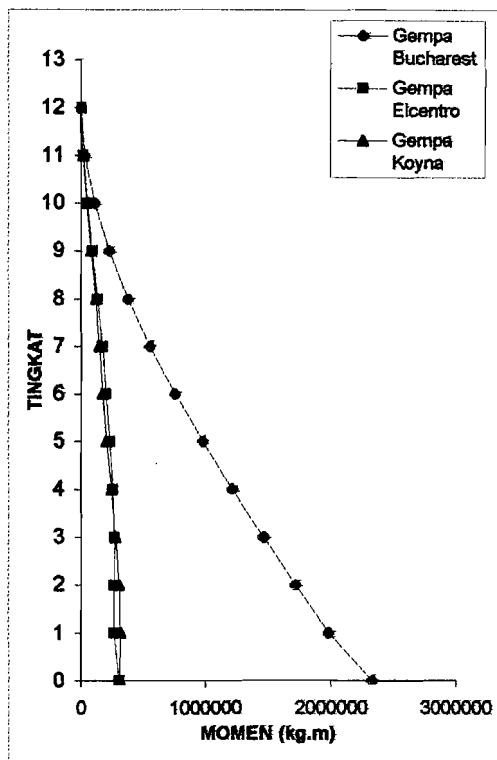
A. $kh=2E+15, kr=4E+15$



B. $kh=2E+07, kr=4E+08$

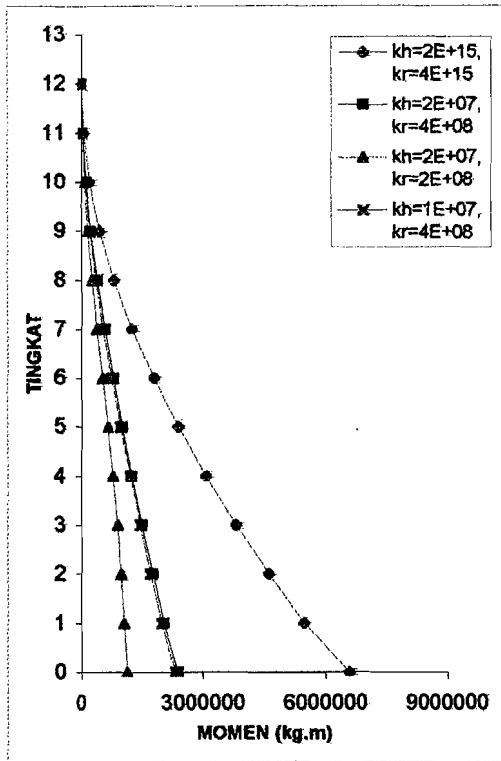


C. $kh=2E+07, kr=2E+08$

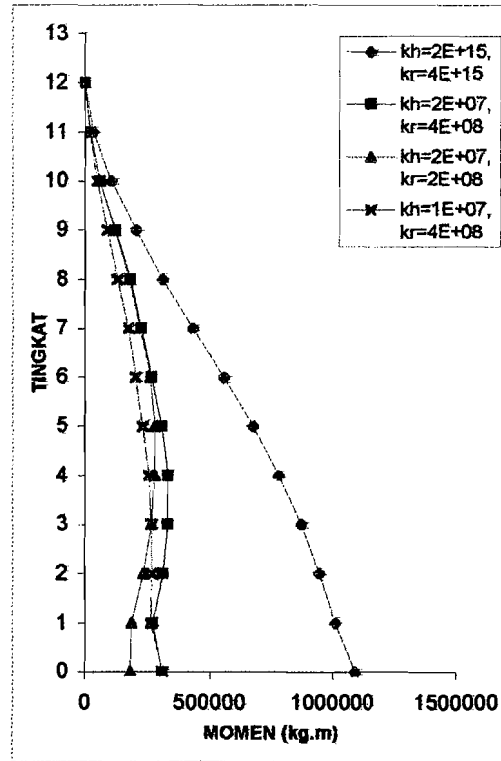


D. $kh=1E+07, kr=4E+08$

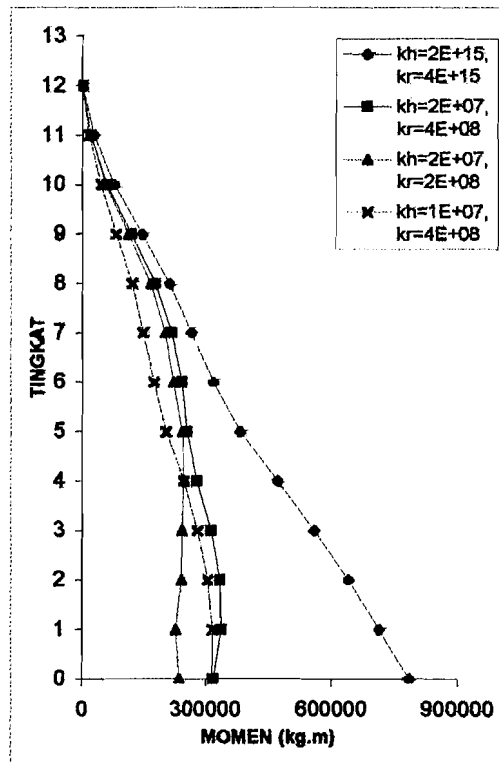
Gambar 5.117 Grafik momen guling maksimum akibat 3 gempa



A. Gempa Bucharest

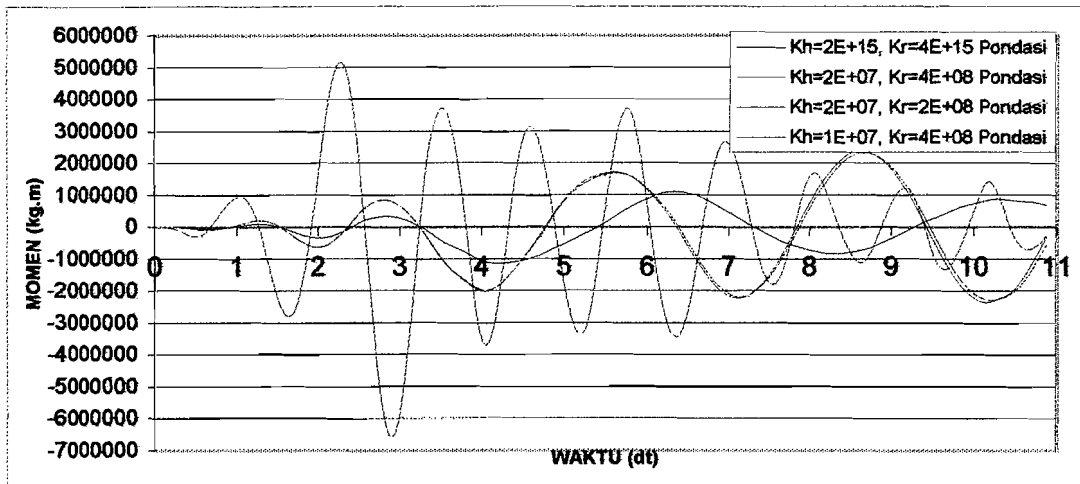


B. Gempa Elcentro

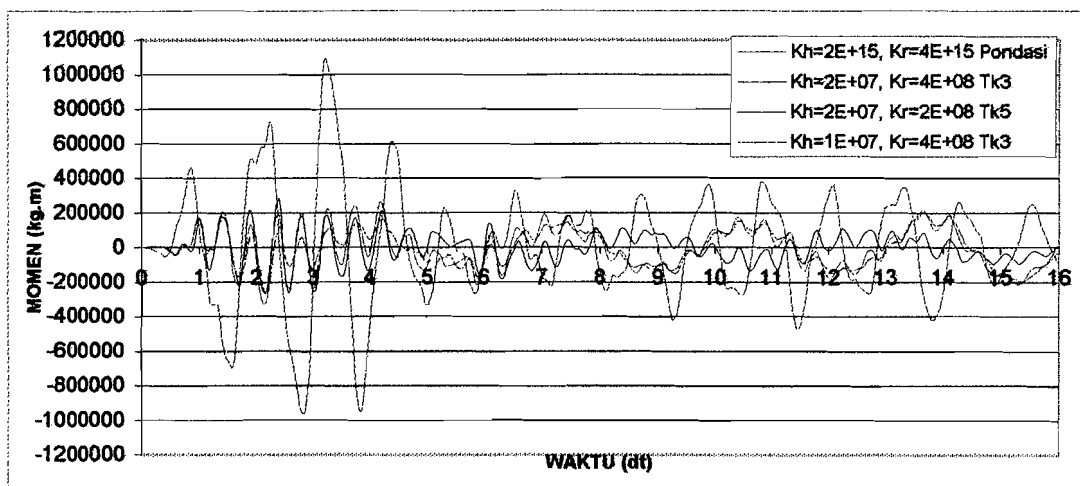


C. Gempa Koyna

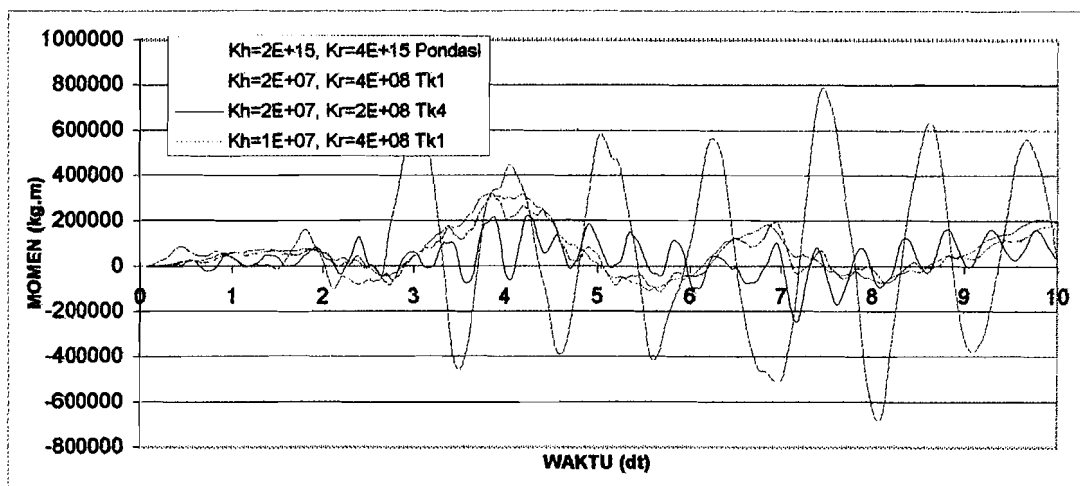
Gambar 5.118 Grafik momen guling maksimum dengan 4 kombinasi



A.Gempa Bucharest



B.Gempa Elcentro



C.Gempa Koyna

Gambar 5.119 Grafik momen guling maks dengan 4 kombinasi lawan waktu

Tabel 5.29 Momen guling maksimum struktur 12 tingkat $k_h=2E+15$, $k_r=4E+15$

Tingkat	Momen Guling (Kg. m)		
	Gempa Bucharest	Gempa Elcentro	Gempa Koyna
0	6573473,28031	1090806,14265	786947,70919
1	5457792,37337	1009487,99204	716132,88727
2	4606368,13424	943533,28933	642731,13668
3	3807638,36209	870143,35471	559201,97273
4	3067433,46397	778785,99369	471611,09668
5	2392417,87626	674483,08348	381549,21255
6	1789676,23707	557137,12523	317964,39661
7	1264691,11765	432612,00720	263855,88376
8	823425,50014	312759,14809	210533,27191
9	473448,26472	205534,92369	144629,95732
10	219194,58902	107544,60182	77737,75701
11	60886,44950	36014,92728	27681,79578
12	0,00000	0,00000	0,00000

Tabel 5.30 Momen guling maksimum struktur 12 tingkat $k_h=2E+07$, $k_r=4E+08$

Tingkat	Momen Guling (Kg. m)		
	Gempa Bucharest	Gempa Elcentro	Gempa Koyna
0	2378910,27744	310263,29015	317978,59318
1	2034446,91748	273178,39281	337728,93487
2	1767464,17525	313061,24729	334892,01866
3	1505962,49719	333233,52189	312211,39580
4	1252119,75473	331374,89022	278125,67766
5	1016967,18989	307688,14413	253669,50184
6	803613,34072	267259,94692	242821,47833
7	597074,06873	225287,84099	216430,27690
8	406679,29399	183319,04554	176497,36081
9	244605,22332	124277,31979	118303,66410
10	118875,84023	64703,23021	59518,69466
11	34621,33881	22594,13531	19891,15150
12	0,00000	0,00000	0,00000

Tabel 5.31 Momen guling maksimum struktur 12 tingkat $k_h=2E+07$, $k_r=2E+08$

Tingkat	Momen Guling (Kg. m)		
	Gempa Bucharest	Gempa Elcentro	Gempa Koyna
0	1140073,22680	183471,34435	235289,47495
1	1059963,34775	189179,32679	228283,10992
2	988913,19454	235552,80693	241598,16092
3	899267,78697	267640,16257	241765,57677
4	792388,87748	278133,74357	247809,94326
5	671418,34826	281086,83140	241870,15195
6	541019,00248	263777,23786	221240,62141
7	408352,00189	220609,64885	200903,24915
8	282375,77198	179611,10783	165757,08323
9	172423,07917	122165,98350	112106,37123
10	84920,60429	63540,99831	56974,02421
11	25017,13641	22303,34051	19307,78977
12	0,00000	0,00000	0,00000

Tabel 5.32 Momen guling maksimum struktur 12 tingkat $k_h=1E+07$, $k_r=4E+08$

Tingkat	Momen Guling (Kg. m)		
	Gempa Bucharest	Gempa Elcentro	Gempa Koyna
0	2327885,55733	311489,01770	314683,59979
1	1982974,68072	265654,24753	316788,56594
2	1717287,88967	267343,46480	305056,89289
3	1460818,59996	268900,34511	280408,78122
4	1214325,98167	256382,12834	247336,48663
5	979084,93640	232483,88896	203522,58321
6	757239,07861	203010,69593	174080,99785
7	554920,79786	175569,85679	146949,15881
8	377796,60844	133966,76170	121135,56234
9	227977,64122	92133,00526	81974,22302
10	110728,35362	53817,62640	45055,40623
11	32310,49894	19043,10217	15359,12883
12	0,00000	0,00000	0,00000

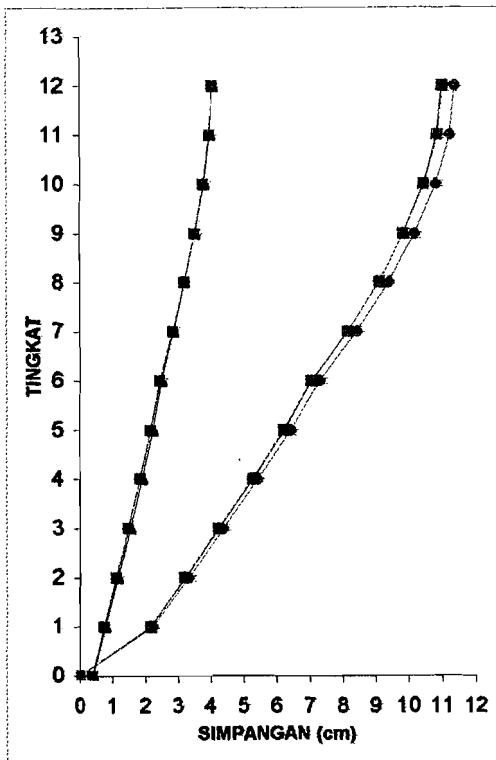
Dari hasil grafik momen guling maksimum pada gambar 5.117 sampai dengan gambar 5.119 dan tabel 5.29 sampai dengan 5.32 maka,

1. Momen guling dipengaruhi oleh gaya horisontal tingkat dan tinggi tingkat.

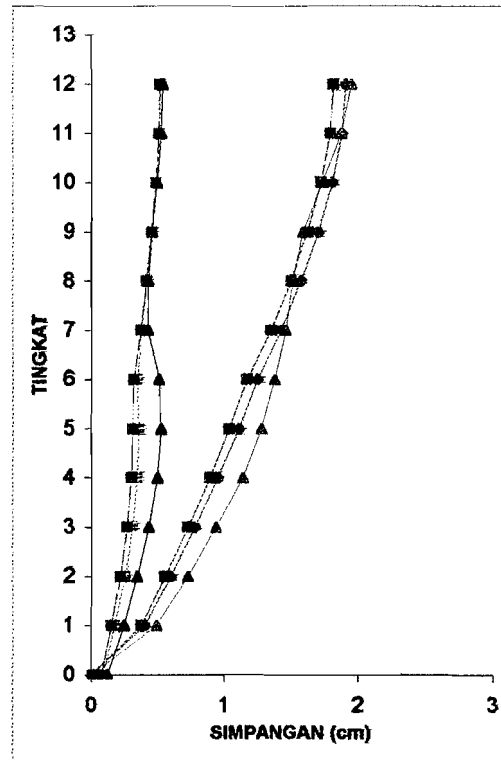
2. Momen guling akan mengalami nilai maksimum pada lantai dasar, sedangkan nilai minimum terjadi pada tingkat paling atas.
3. Pada kombinasi I (tanah jepit penuh, *fixed*), momen guling yang terjadi lebih besar dibandingkan dengan struktur yang mengalami rotasi.
4. Perubahan nilai kekakuan horisontal tanah (k_h), memberikan momen guling yang lebih besar pada gempa frekuensi rendah, sedangkan untuk gempa dengan frekuensi sedang (gempa Elcentro) dan frekuensi tinggi (gempa Koyna) perubahan nilai kekakuan horisontal tanah (k_h) memberikan momen guling yang lebih besar pada pondasi, tingkat 1 sampai dengan tingkat 3. sementara perubahan nilai kekakuan putar tanah (k_r) memberikan momen guling yang lebih besar pada tingkat 4 sampai dengan 11.
5. Perubahan nilai kekakuan putar tanah (k_r) lebih besar mempengaruhi perubahan momen guling dibanding dengan perubahan nilai kekakuan horisontal tanah (k_h).

5.6 Perbandingan Penggunaan Nilai Redaman

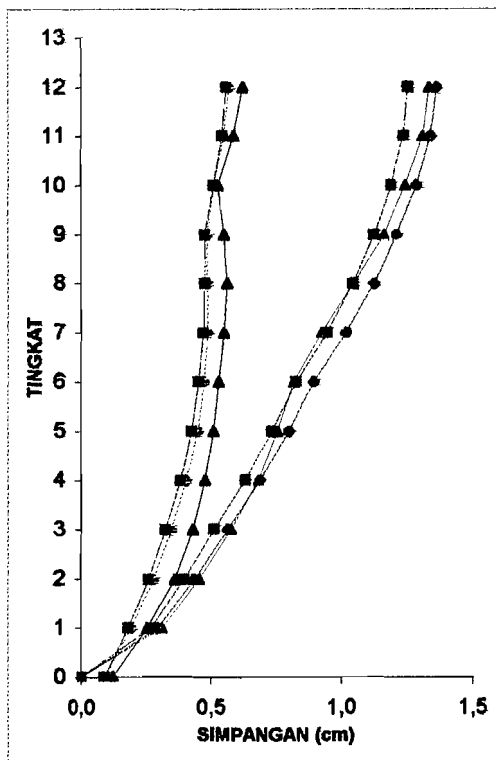
Dalam analisis ini membandingkan hasil respon struktur dengan menggunakan nilai redaman yang berbeda, yaitu redaman proposional dengan massa digunakan mode ke-1, redaman proposional dengan kekakuan digunakan mode ke-1 dan redaman proposional dengan massa (mode ke-1) dan kekakuan (mode ke-7). Hasil analisis diplotkan dalam grafik yang merupakan nilai-nilai maksimum dari respon struktur yang disajikan pada gambar 5.120 sampai dengan gambar 5.127 dibawah ini.



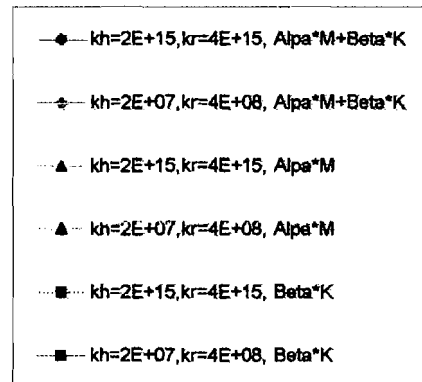
A. Gempa Bucharest



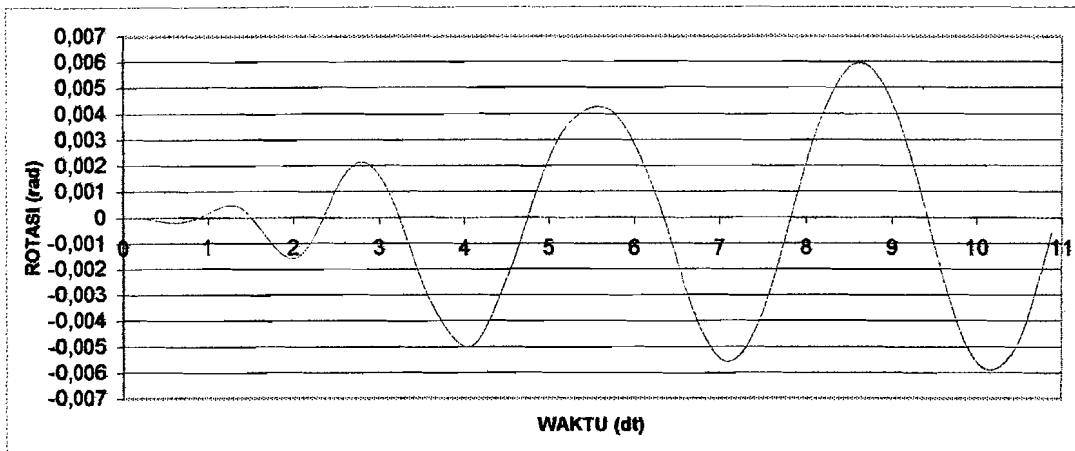
B. Gempa Elcentro



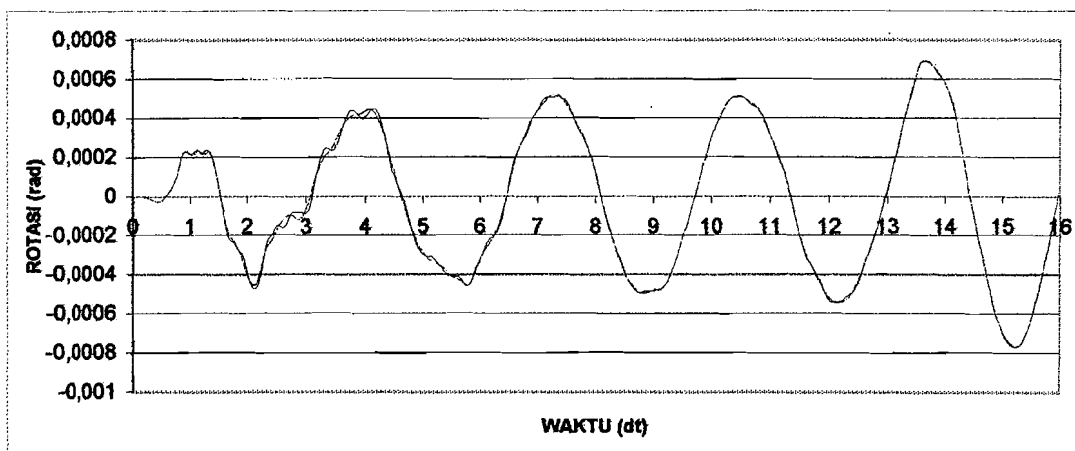
C. Gempa Koyna



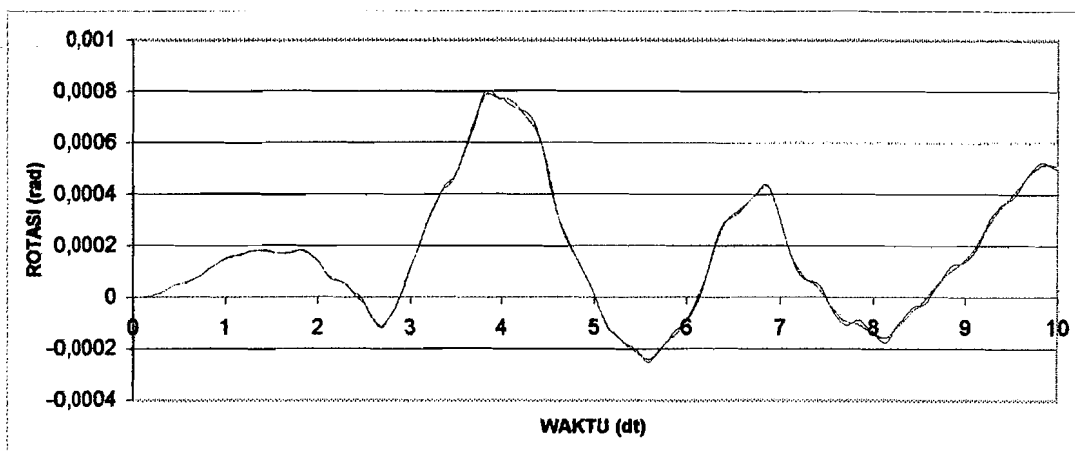
Gambar 5.120 Grafik simpangan netto dengan 3 kombinasi redaman



A.Gempa Bucharest



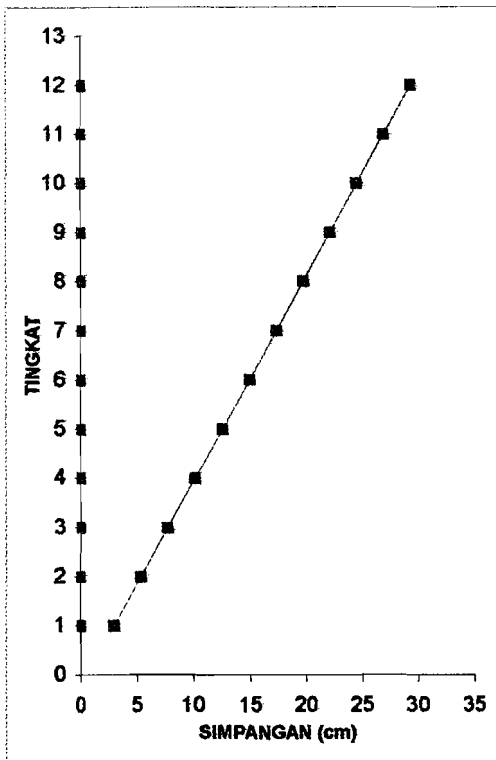
B.Gempa Elcentro



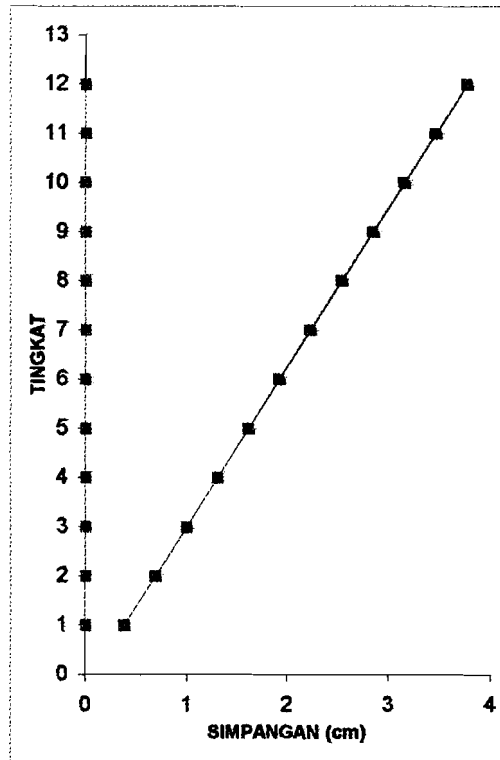
C.Gempa Koyna

kh=2E+15,kr=4E+15, Alpha*M+Beta*K	kh=2E+07,kr=4E+08, Alpha*M+Beta*K
kh=2E+15,kr=4E+15, Alpha*M	kh=2E+07,kr=4E+08, Alpha*M
kh=2E+15,kr=4E+15, Beta*K	kh=2E+07,kr=4E+08, Beta*K

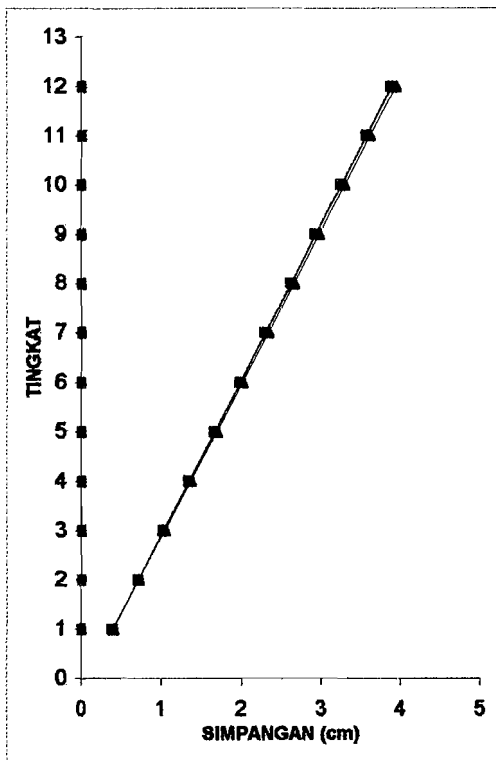
Gambar 5.121 Grafik rotasi dengan 3 kombinasi redaman



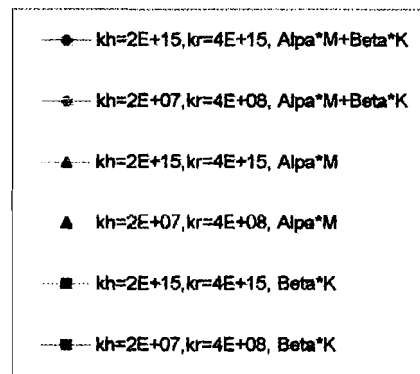
A. Gempa Bucharest



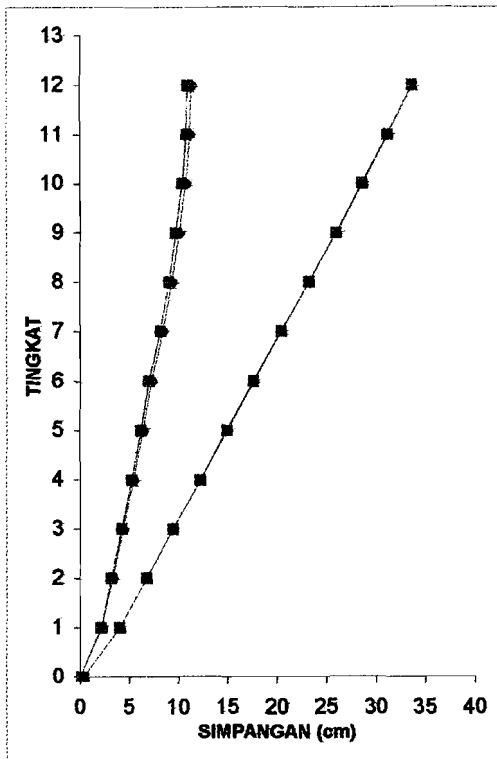
B. Gempa Elcentro



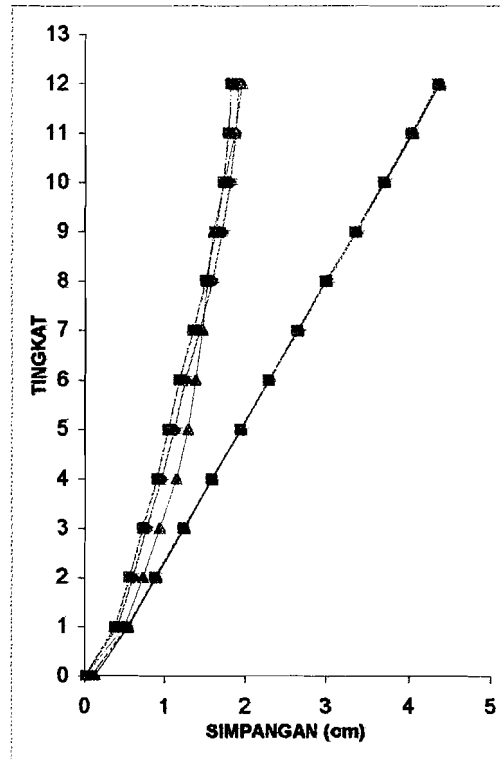
C. Gempa Koyna



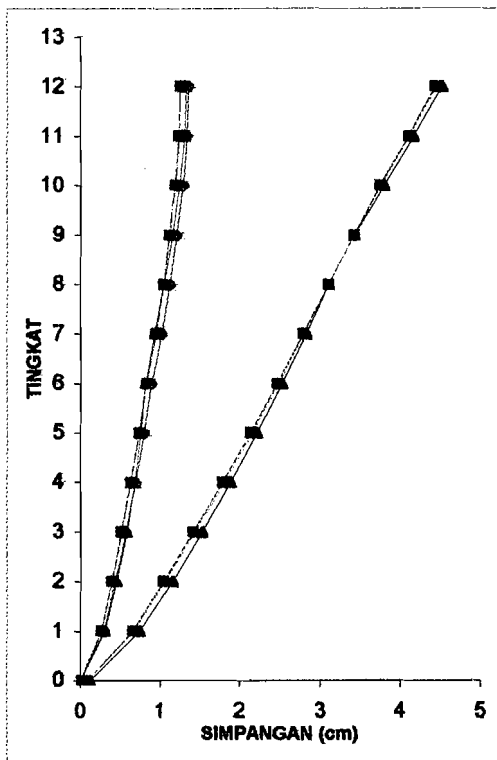
Gambar 5.122 Grafik simpangan rotasi dengan 3 kombinasi redaman



A. Gempa Bucharest



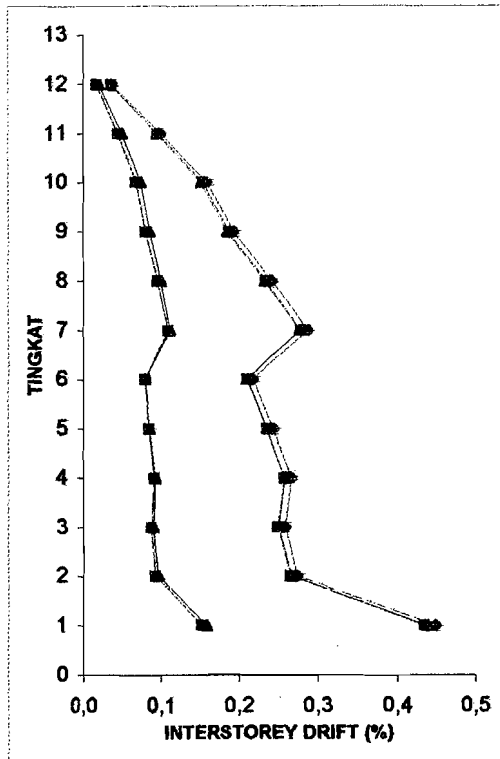
B. Gempa Elcentro



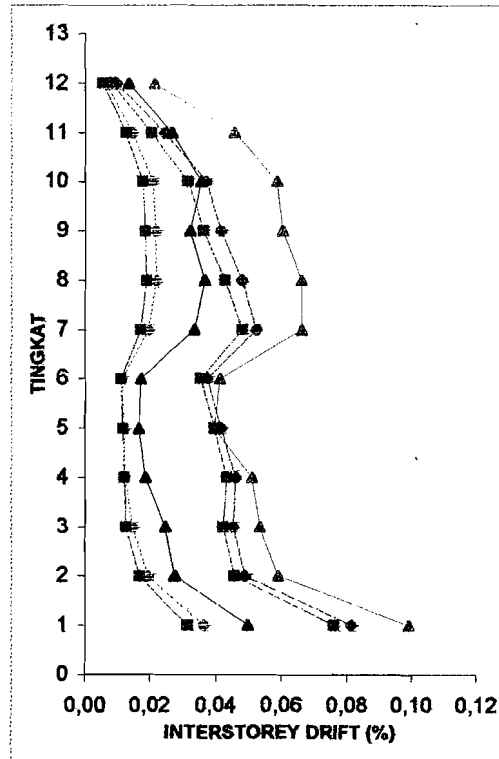
C. Gempa Koyana

- ◆ $kh=2E+15, kr=4E+15, \text{Alpa}^*M+\text{Beta}^*K$
- ◐ $kh=2E+07, kr=4E+08, \text{Alpa}^*M+\text{Beta}^*K$
- ◑ $kh=2E+15, kr=4E+15, \text{Alpa}^*M$
- ◒ $kh=2E+07, kr=4E+08, \text{Alpa}^*M$
- ◓ $kh=2E+15, kr=4E+15, \text{Beta}^*K$
- ◔ $kh=2E+07, kr=4E+08, \text{Beta}^*K$

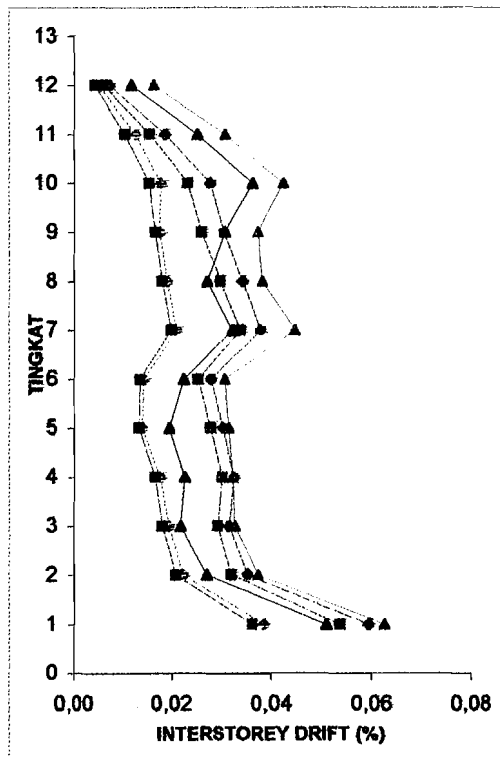
Gambar 5.123 Grafik simpangan total dengan 3 kombinasi redaman



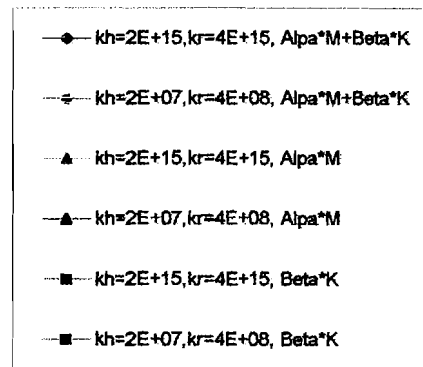
A. Gempa Bucharest



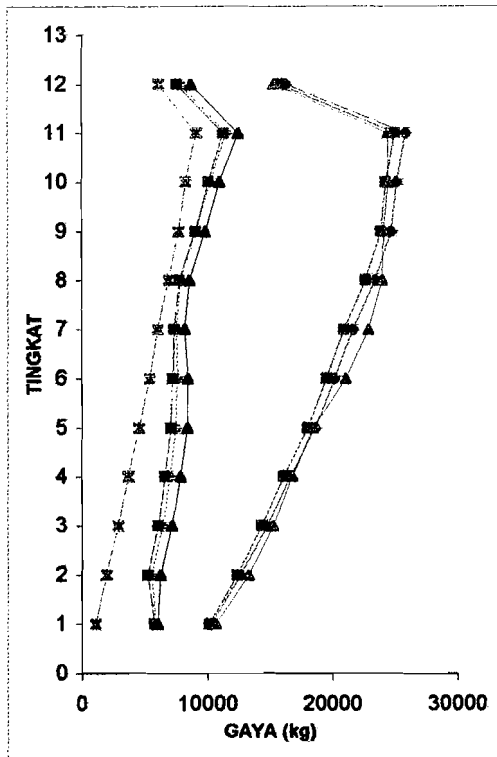
B. Gempa Elcentro



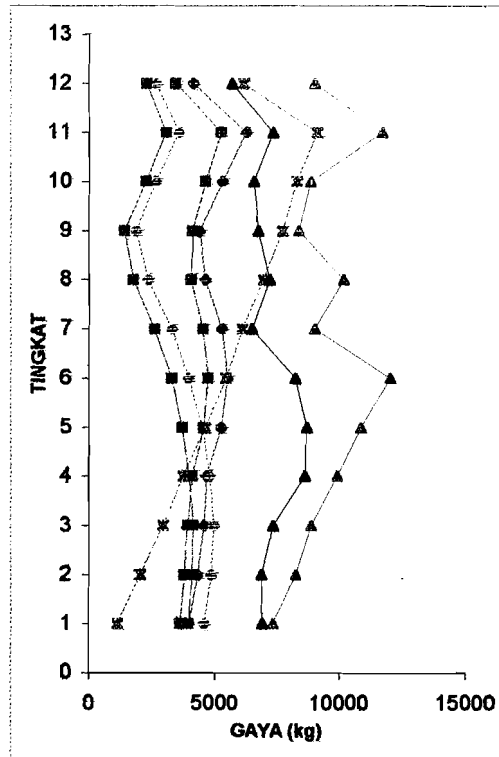
C. Gempa Koyna



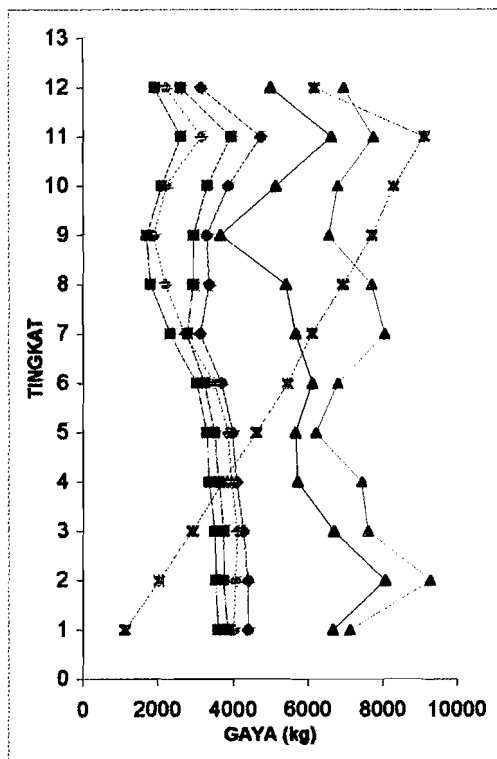
Gambar 5.124 Grafik simpangan antar tingkat dengan 3 kombinasi redaman



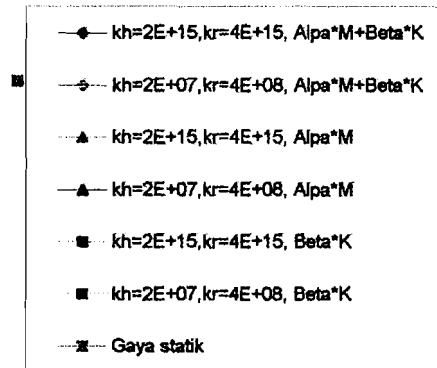
A. Gempa Bucharest



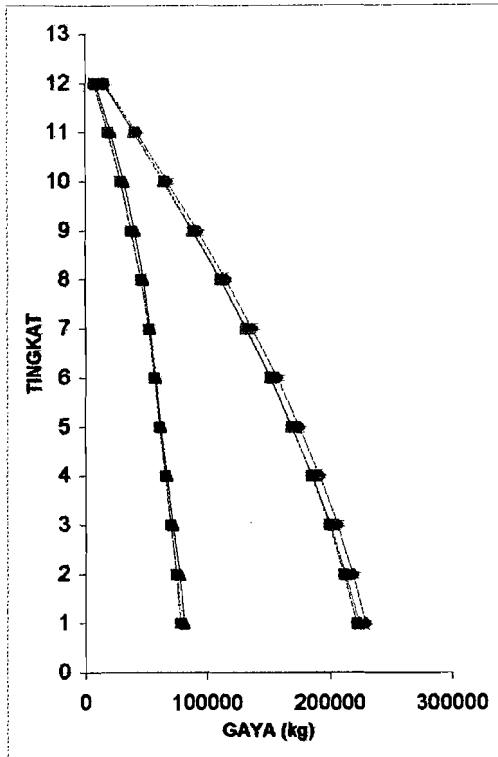
B. Gempa Elcentro



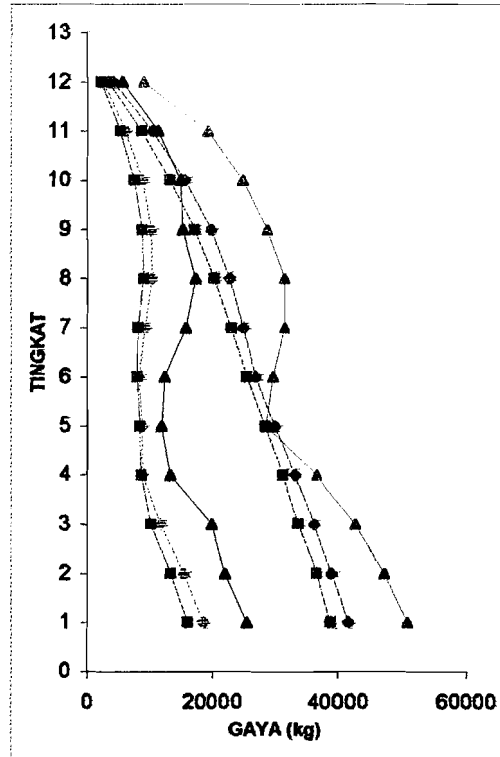
C. Gempa Koyna



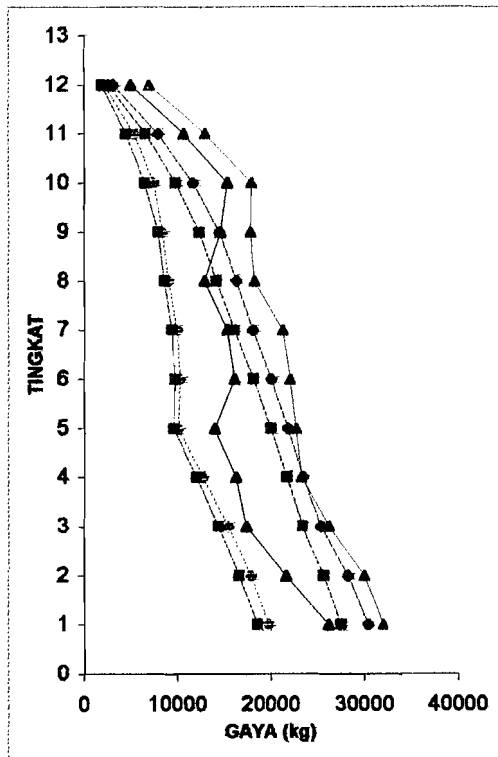
Gambar 5.125 Grafik gaya horisontal tingkat dengan 3 kombinasi redaman



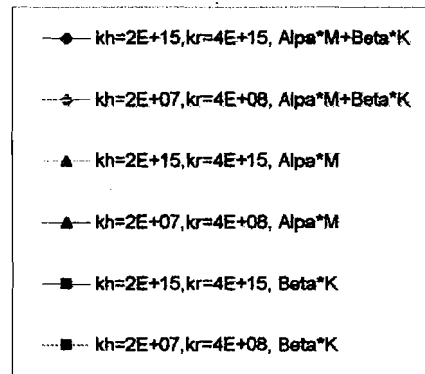
A. Gempa Bucharest



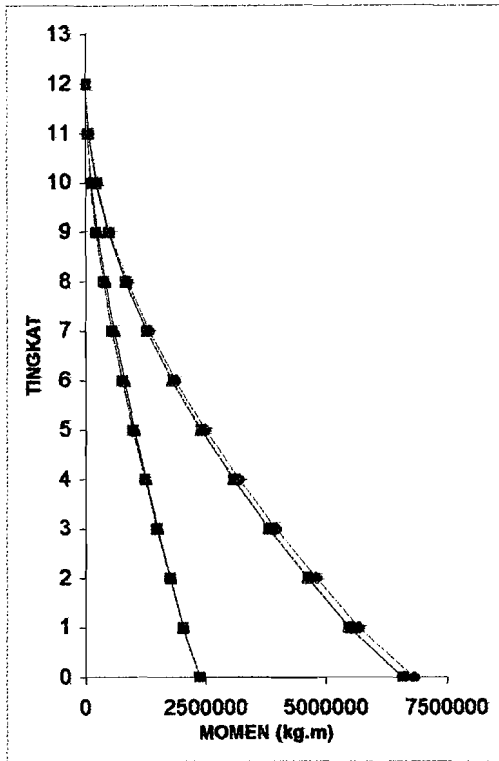
B. Gempa Elcentro



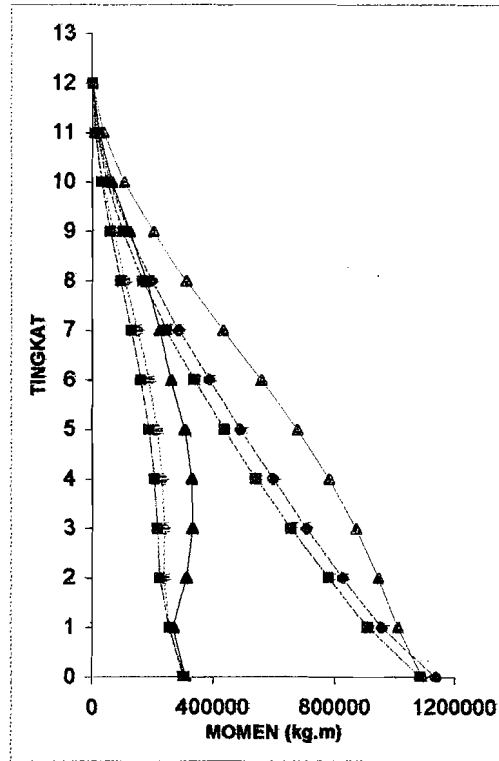
C. Gempa Koyna



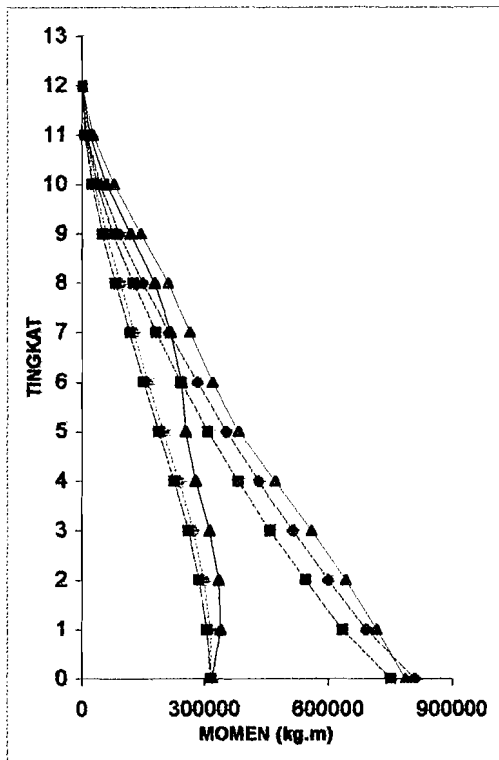
Gambar 5.126 Grafik gaya geser tingkat dengan 3 kombinasi redaman



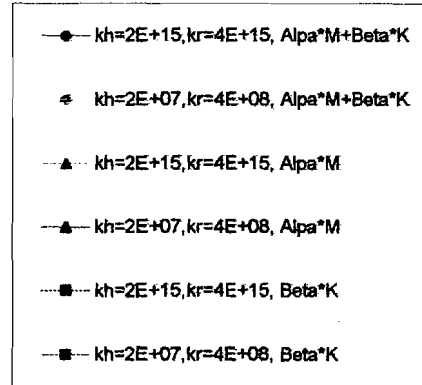
A. Gempa Bucharest



B. Gempa Elcentro



C. Gempa Koyna



Gambar 5.127 Grafik momen guling dengan 3 kombinasi redaman

Dari hasil grafik respon struktur dengan 3 beban gempa dan 2 kombinasi pada gambar 5.120 sampai dengan gambar 5.127 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 rasio redaman berbanding terbalik dengan frekuensi sudut sehingga rasio redaman pada mode-mode yang lebih tinggi akan semakin kecil menyebabkan respon struktur yang lebih besar. Sedangkan untuk gempa frekuensi rendah (gempa Bucharest), redaman proposional dengan massa dan kekakuan memberikan nilai yang lebih besar dibanding redaman proposional dengan massa maupun redaman proposional dengan kekakuan.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian Respon Elastik Struktur MDOF Dengan Memperhitungkan Rotasi Pondasi adalah sebagai berikut:

1. Gempa dengan percepatan tanah maksimum tidak menyebabkan respon struktur menjadi maksimum pada waktu yang bersamaan. Seperti pada gempa Koyna dengan percepatan maksimum $548,79 \text{ cm/dt}^2$ respon struktur yang terjadi lebih kecil dibandingkan dengan respon struktur akibat gempa Bucharest dengan percepatan tanah maksimum $225,4 \text{ cm/dt}^2$.
2. Gempa dengan durasi waktu yang lama (gempa Elcentro) tidak menyebabkan respon struktur menjadi maksimum.
3. Gempa dengan frekuensi rendah yaitu gempa Bucharest dengan A/V rasio $0,30595 \text{ g/m/dt}$ cenderung menyebabkan respon struktur yang lebih besar dibandingkan dengan gempa frekuensi sedang (gempa Elcentro) dengan A/V rasio $1,04385 \text{ g/m/dt}$ dan gempa frekuensi tinggi (gempa Koyna) dengan A/V rasio $3,46774 \text{ g/m/dt}$.
4. Kekakuan putar tanah (k_r) lebih berpengaruh terhadap respon struktur dibanding dengan perubahan nilai kekakuan horisontal tanah (k_h),

KARTU PESERTA TUGAS AKHIR

NO.	N A M A	NO. MHS.	BID.STUDI
1	RIEFQI ZUHDAN P	95 310 020	STRUKTUR
2	BEBY KARMADY Y.	95 310 240	STRUKTUR

JUDUL TUGAS AKHIR :

RISPON ELASTIK STRUKTUR MDOF DENGAN MEMPERHITUNGGAN PENGARUH ROTASI FONDASI.

**PERIODE I : SEPTEMBER – PEBRUARI
TAHUN : 2000 / 2001**

No.	Kegiatan	Bulan Ke :					
		Sept.	Okt.	Nop.	Des.	Jan.	Peb.
1.	Pendaftaran						
2.	Penentuan Dosen Pembimbing						
3.	Pembuatan Proposal						
4.	Seminar Proposal						
5.	Konsultasi Penyusunan TA.						
6.	Sidang-Sidang						
7.	Pendadaran.						

DOSEN PEMBIMBING I : IR.H.WIDODO, MSCE, P.E.D

DOSEN PEMBIMBING II : IR.HELMI AKBAR BALE, MT



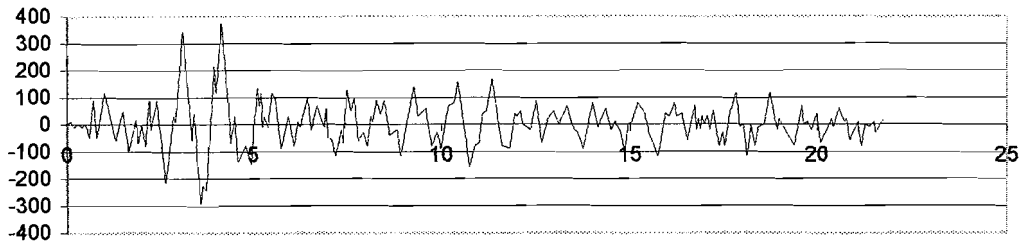
Yogyakarta, 14 Desember 2000
a.n. Dekan,

[Signature]
IR. H. TADJUDDIN BM ARIS, MS

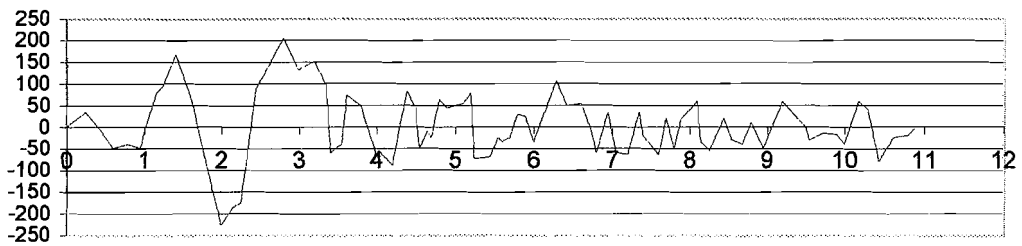
Catatan :

Seminar : 10 APRIL 2001
Sidang : 19 MARET 2002
Pendadaran : 06 APRIL 2002

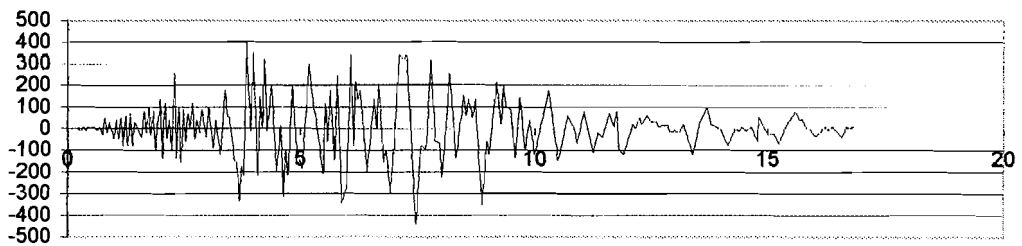
BARMONTENEGRO



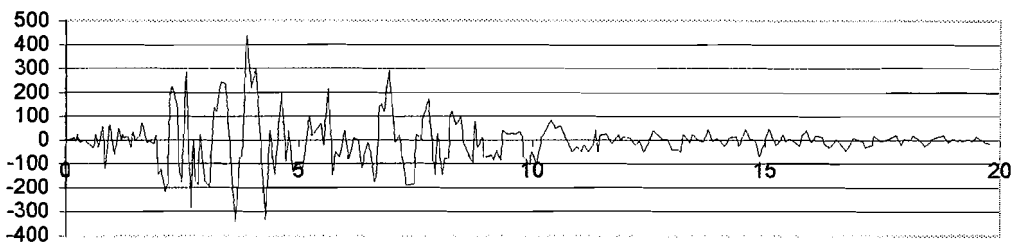
BUCHAREST



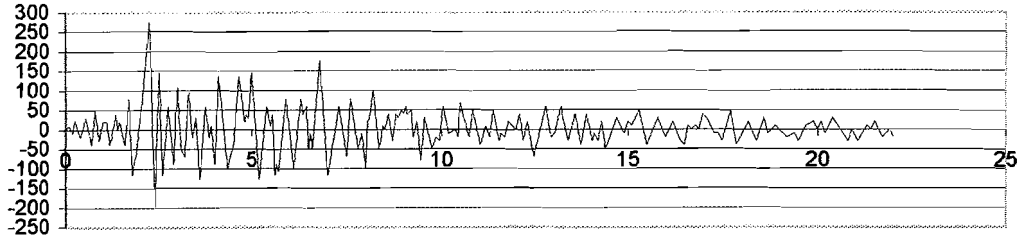
COALINGGA



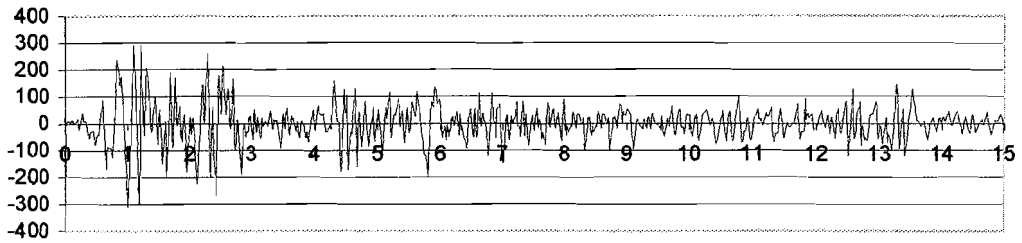
CORALITOS



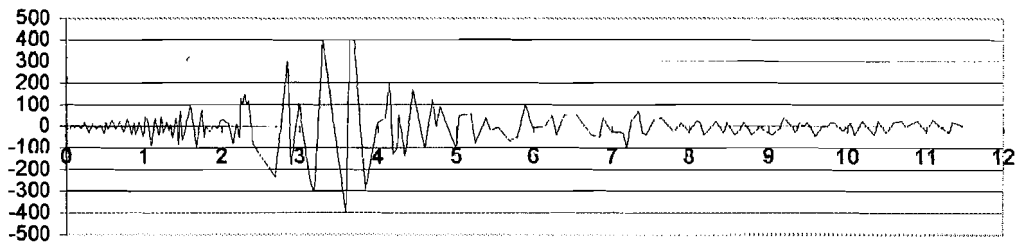
CORINTH



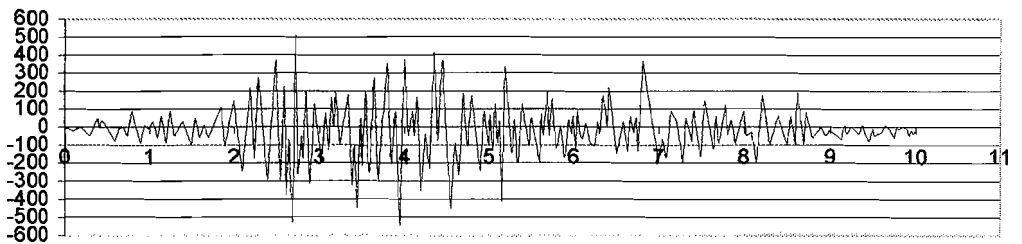
ELCENTRO



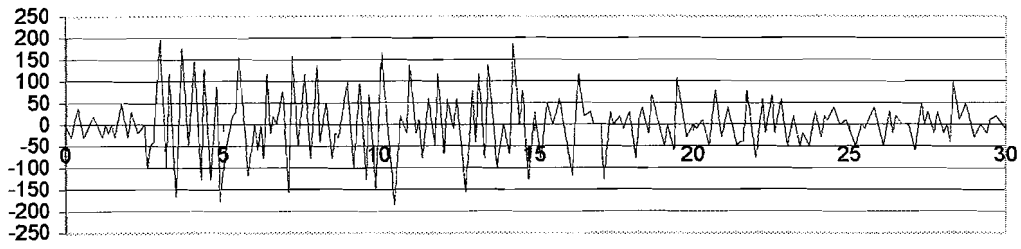
GILROY



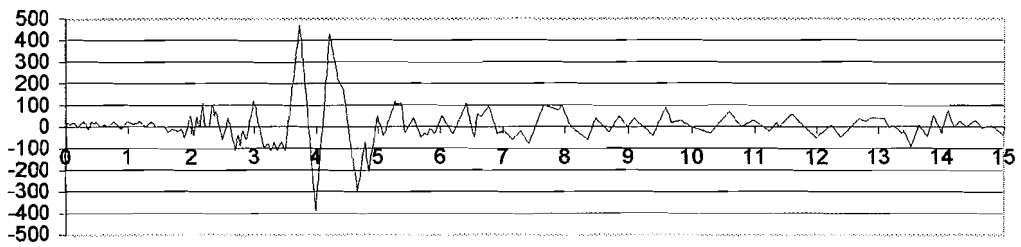
KOYNA INDIA



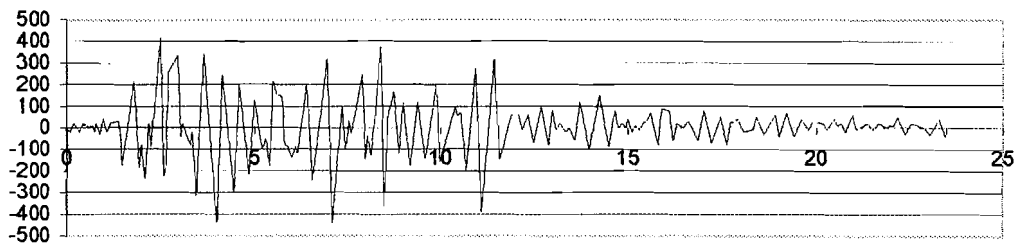
MIYAGI



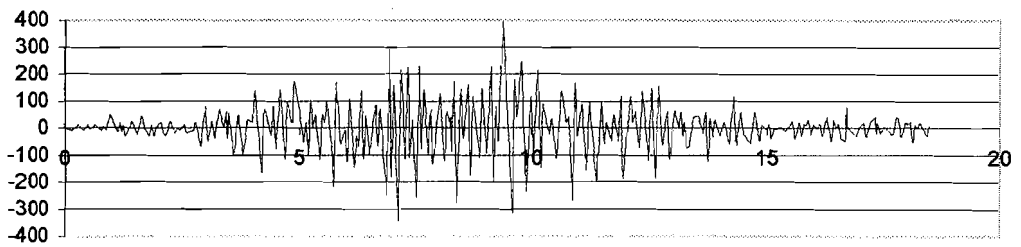
PARKFIELD



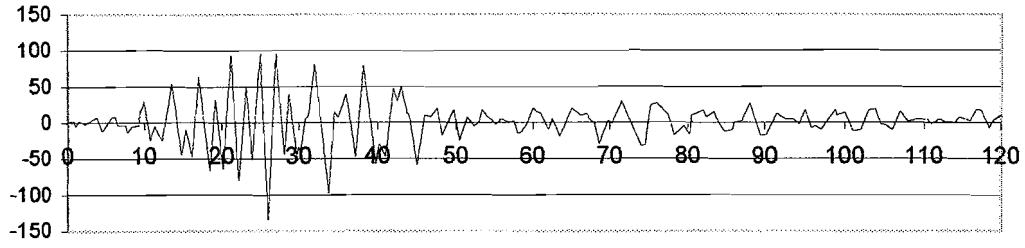
PETROVAC



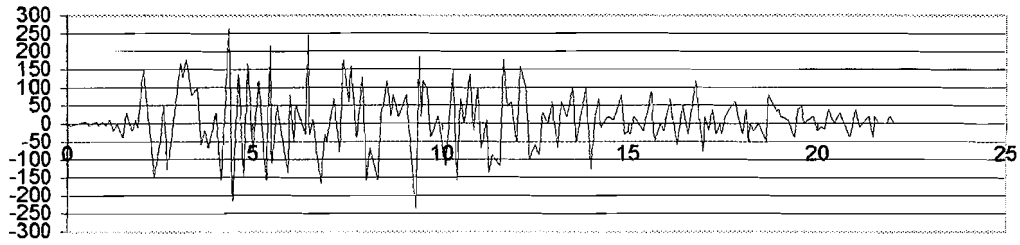
SANTA CRUZ



TLAHUAC BOMBAS



ULCINJ



VERIFIKASI

Untuk verifikasi struktur yang digunakan adalah struktur 3 tingkat dengan beban gempa t, dihitung dengan cara manual dan program PROGSIP 2002.

DATA STRUKTUR

Struktur yang ditinjau merupakan suatu model *shear building* 3 tingkat dari struktur beton bertulang. Pembebanan pada perhitungan ini tidak kami hitung tetapi sudah ditentukan.

Tingkat	Tinggi	Massa	Kekakuan
0	0	0	Kh = 2E+07 Kr = 4E+08
1	H1 = 4	2	1800
2	H2 = 4	1,5	1200
3	H3 = 4	1	600

PERHITUNGAN MANUAL

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

PENYELESAIAN

- Mencari Eigen

$$M = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2 & 0 & 0 \\ 0 & 1,5 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$K = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 \\ 0 & -k_1 & k_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1800 & -1200 & 0 \\ -1200 & 1800 & -600 \\ 0 & -600 & 600 \end{bmatrix}$$

Misal dipakai unit kekakuan $k = 600 \text{ kg/m}$, maka matrik K adalah

$$K = \begin{bmatrix} 5k & -2k & 0 \\ -2k & 3k & -k \\ 0 & -k & k \end{bmatrix}$$

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

$$\begin{bmatrix} 5k - 2\omega^2 m & -2k & 0 \\ -2k & 3k - 1,5\omega^2 m & -k \\ 0 & -k & k - \omega^2 m \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

persamaan tersebut dapat juga ditulis menjadi

$$\begin{bmatrix} 5 - 2\frac{\omega^2}{k/m} & -2 & 0 \\ -2 & 3 - 1,5\frac{\omega^2}{k/m} & -1 \\ 0 & -1 & 1 - \frac{\omega^2}{k/m} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

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

$$\begin{bmatrix} 5-2\lambda & -2 & 0 \\ -2 & 3-1,5\lambda & -1 \\ 0 & -1 & 1-\lambda \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix}$$

dan apabila persamaan tersebut disederhanakan akan diperoleh:

$$(5-2\lambda)\phi_1 - 2\phi_2 = 0$$

$$-2\phi_1 + (3 - 1,5\lambda)\phi_2 - \phi_3 = 0$$

$$-\phi_2 + (1 - \lambda)\phi_3 = 0$$

dengan mengambil

$$\phi_1 = 1$$

dengan mensubstitusikan nilai tersebut pada persamaan diatas akan diperoleh

$$\phi_2 = (2,5 - \lambda)$$

selanjutnya dengan mensubstitusi nilai-nilai tersebut, setelah disusun maka diperoleh,

$$1,5\lambda^3 - 8,25\lambda^2 + 11,25\lambda - 3 = 0$$

persamaan diatas adalah persamaan polinomial pangkat 3 dan nilai yang akan dicari adalah nilai-nilai λ yang merupakan akar-akar dari persamaan tersebut.

Maka diperoleh akar-akar persamaan diatas sebagai berikut:

$$\lambda_1 = 0,3515, \text{ maka } \omega_1 = \sqrt{0,3515 \frac{600}{1}} = 14,5224 \text{ rad/det}$$

$$\lambda_2 = 1,6066, \text{ maka } \omega_2 = \sqrt{1,6066 \frac{600}{1}} = 31,0500 \text{ rad/det}$$

$$\lambda_3 = 3,5419, \text{ maka } \omega_3 = \sqrt{3,5419 \frac{600}{1}} = 46,0992 \text{ rad/det}$$

- **METODE β -NEWMARK**

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

$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 & m_1 & m_1 h_1 \\ 0 & m_2 & 0 & m_2 & m_2 h_2 \\ 0 & 0 & m_3 & m_3 & m_3 h_3 \\ m_1 & m_2 & m_3 & m_0 + m_1 + m_2 + m_3 & m_1 h_1 + m_2 h_2 + m_3 h_3 \\ m_1 h_1 & m_2 h_2 & m_3 h_3 & m_1 h_1 + m_2 h_2 + m_3 h_3 & I_G + m_1 h_1^2 + m_2 h_2^2 + m_3 h_3^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{y}_1 \\ \ddot{y}_2 \\ \ddot{y}_3 \\ \ddot{y}_0 \\ \ddot{\theta} \end{Bmatrix} +$$

$$\begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 & 0 & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 & 0 & 0 \\ 0 & -k_3 & k_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & k_h & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & k_r \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_0 \\ \theta \end{Bmatrix} = - \begin{Bmatrix} m_1 \ddot{y}_b \\ m_2 \ddot{y}_b \\ m_3 \ddot{y}_b \\ (m_0 + m_1 + m_2 + m_3) \ddot{y}_b \\ (m_1 h_1 + m_2 h_2 + m_3 h_3) \ddot{y}_b \end{Bmatrix}$$

$$[M] = \begin{bmatrix} 2 & 0 & 0 & 2 & 8 \\ 0 & 1,5 & 0 & 1,5 & 12 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 12 \\ 2 & 1,5 & 1 & 4,5 & 32 \\ 8 & 12 & 12 & 32 & 272 \end{bmatrix}$$

$$[K] = \begin{bmatrix} 3000 & -1200 & 0 & 0 & 0 \\ -1200 & 1800 & -600 & 0 & 0 \\ 0 & -600 & 600 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2E+07 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 4E+08 \end{bmatrix}$$

- **Mencari Matrik Redaman**

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

$$\alpha = 2\xi_i \omega_i = 2 \cdot 0,05 \cdot 14,5224 = 1,45224$$

$$[C] = \begin{bmatrix} \alpha.m1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \alpha.m2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \alpha.m3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & Ch & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & Cr \end{bmatrix} =$$

$$\begin{bmatrix} 2,90E+00 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2,18E+00 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1,45E+00 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 5,25E+05 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 9,93E+05 \end{bmatrix}$$

- **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:

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

$$k = \begin{bmatrix} 3000 & -1200 & 0 & 0 & 0 \\ -1200 & 1800 & -600 & 0 & 0 \\ 0 & -600 & 600 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2E+07 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 4E+08 \end{bmatrix} + \frac{0,5}{0,25 \cdot 0,01}$$

$$\begin{bmatrix} 2,90E+00 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2,18E+00 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1,45E+00 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 5,25E+05 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 9,93E+05 \end{bmatrix} +$$

$$\frac{1}{0,25 \cdot 0,01^2} \begin{bmatrix} 2 & 0 & 0 & 2 & 8 \\ 0 & 1,5 & 0 & 1,5 & 12 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 12 \\ 2 & 1,5 & 1 & 4,5 & 32 \\ 8 & 12 & 12 & 32 & 272 \end{bmatrix}$$

$$k = \begin{bmatrix} 8,35809E+04 & -1,20000E+03 & 0,00000E+00 & 8,00000E+04 & 3,20000E+05 \\ -1,20000E+03 & 6,22357E+04 & -6,00000E+02 & 6,00000E+04 & 4,80000E+05 \\ 0,00000E+00 & -6,00000E+02 & 4,08904E+04 & 4,00000E+04 & 4,80000E+05 \\ 8,00000E+04 & 6,00000E+04 & 4,00000E+04 & 1,25180E+08 & 1,28000E+06 \\ 3,20000E+05 & 4,80000E+05 & 4,80000E+05 & 1,28000E+06 & 6,09480E+08 \end{bmatrix}$$

- Mencari Konstanta "a"

$$a = \frac{1}{\beta \cdot \Delta t} [M] + \frac{\gamma}{\beta} [C]$$

$$a = \frac{1}{0,25 \cdot 0,01} \cdot \begin{bmatrix} 2 & 0 & 0 & 2 & 8 \\ 0 & 1,5 & 0 & 1,5 & 12 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 12 \\ 2 & 1,5 & 1 & 4,5 & 32 \\ 8 & 12 & 12 & 32 & 272 \end{bmatrix} + \frac{0,5}{0,25}$$

$$\begin{bmatrix} 2,90E+00 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2,18E+00 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1,45E+00 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 5,25E+05 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 9,93E+05 \end{bmatrix} =$$

$$\begin{bmatrix} 8,05809E+02 & 0,00000E+00 & 0,00000E+00 & 8,00000E+02 & 3,20000E+03 \\ 0,00000E+00 & 6,04357E+02 & 0,00000E+00 & 6,00000E+02 & 4,80000E+03 \\ 0,00000E+00 & 0,00000E+00 & 4,02904E+02 & 4,00000E+02 & 4,80000E+03 \\ 8,00000E+02 & 6,00000E+02 & 4,00000E+02 & 1,05180E+06 & 1,28000E+04 \\ 3,20000E+03 & 4,80000E+03 & 4,80000E+03 & 1,28000E+04 & 2,09480E+06 \end{bmatrix}$$

- Mencari Konstanta "b"

$$b = \frac{1}{2 \cdot \beta} [M] + \Delta t \left(\frac{\gamma}{2 \cdot \beta} - 1 \right) \cdot [C]$$

$$b = \frac{1}{2 \cdot 0,25} \cdot \begin{bmatrix} 2 & 0 & 0 & 2 & 8 \\ 0 & 1,5 & 0 & 1,5 & 12 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 12 \\ 2 & 1,5 & 1 & 4,5 & 32 \\ 8 & 12 & 12 & 32 & 272 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4 & 0 & 0 & 4 & 16 \\ 0 & 3 & 0 & 3 & 24 \\ 0 & 0 & 2 & 2 & 24 \\ 4 & 3 & 2 & 9 & 64 \\ 16 & 24 & 24 & 64 & 544 \end{bmatrix}$$

- Perhitungan Pembebanan

Perhitungan pembebanan menggunakan beban gempa Koyna dimana untuk percepatan gempa untuk selang waktu 0,01 detik sampai dengan 0,03 detik adalah sama yaitu sebesar $-0,0196 \text{ m/dt}^2$. Pada pembebanan ini massa M_0 dan inersia polar momen I_G diabaikan karena pengaruhnya sebenarnya sangat kecil.

$$\Delta p_0 = \Delta p_1 = \Delta p_2 = -0,0196 \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} m_1 \\ m_2 \\ m_3 \\ m_1 + m_2 + m_3 \\ m_1 \cdot h_1 + m_2 \cdot h_2 + m_3 \cdot h_3 \end{Bmatrix}$$

$$\Delta p_0 = \Delta p_1 = \Delta p_2 = -0,0196 \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 2 \\ 1,5 \\ 1 \\ 4,5 \\ 32 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 3,9200E-02 \\ 2,9400E-02 \\ 1,9600E-02 \\ 8,8200E-02 \\ 6,2720E-01 \end{Bmatrix}$$

• **HITUNGAN UNTUK SETIAP SELANG WAKTU**

Untuk perhitungan setiap selang waktu diperlukan mengetahui invers dari matriks

k (kekakuan efektif). Besarnya invers kekakuan efektif adalah

$$k^{-1} = \begin{bmatrix} 1,20013E-05 & 2,90532E-07 & 8,91495E-08 & -7,77019E-09 & -6,58382E-09 \\ 2,90532E-07 & 1,61869E-05 & 4,00220E-07 & -7,93712E-09 & -1,31991E-08 \\ 8,91495E-08 & 4,00220E-07 & 2,47016E-05 & -7,93951E-09 & -1,97993E-08 \\ -7,77019E-09 & -7,93712E-09 & -7,93951E-09 & 7,99981E-09 & -2,17412E-13 \\ -6,58382E-09 & -1,31991E-08 & -1,97993E-08 & -2,17412E-13 & 1,67019E-09 \end{bmatrix}$$

1) Langkah 1 (saat 0,01 detik)

Untuk kondisi pertama diketahui bahwa $y_0 = 0$; $\dot{y}_0 = 0$; $\ddot{y}_0 = 0$

a. Menghitung pertambahan pembebanan (Δp_0)

$$\Delta p_0 = \Delta p_0 + a \cdot y_0 + b \cdot \ddot{y}_0 = \begin{Bmatrix} 3,9200E-02 \\ 2,9400E-02 \\ 1,9600E-02 \\ 8,8200E-02 \\ 6,2720E-01 \end{Bmatrix}$$

b. Menghitung pertambahan simpangan (Δy_0)

$$k \cdot \Delta y_0 = \Delta p_0$$

$$\Delta y_0 = k^{-1} \cdot \Delta p_0$$

$$\Delta y_0 =$$

$$\begin{bmatrix} 1,20013E-05 & 2,90532E-07 & 8,91495E-08 & -7,77019E-09 & -6,58382E-09 \\ 2,90532E-07 & 1,61869E-05 & 4,00220E-07 & -7,93712E-09 & -1,31991E-08 \\ 8,91495E-08 & 4,00220E-07 & 2,47016E-05 & -7,93951E-09 & -1,97993E-08 \\ -7,77019E-09 & -7,93712E-09 & -7,93951E-09 & 7,99981E-09 & -2,17412E-13 \\ -6,58382E-09 & -1,31991E-08 & -1,97993E-08 & -2,17412E-13 & 1,67019E-09 \end{bmatrix}$$

$$* \begin{Bmatrix} 3,9200E-02 \\ 2,9400E-02 \\ 1,9600E-02 \\ 8,8200E-02 \\ 6,2720E-01 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 4,75924E-07 \\ 4,86149E-07 \\ 4,86295E-07 \\ 1,18894E-11 \\ 1,33165E-11 \end{Bmatrix}$$

c. Menghitung pertambahan kecepatan ($\Delta \dot{y}_0$)

$$\Delta \dot{y}_0 = \frac{\gamma}{\beta \Delta t} \Delta y_0 - \frac{\gamma}{\beta} \dot{y}_0$$

$$\Delta \dot{y}_0 = \frac{0,5}{0,25 \cdot 0,01} \begin{Bmatrix} 4,75924E-07 \\ 4,86149E-07 \\ 4,86295E-07 \\ 1,18894E-11 \\ 1,33165E-11 \end{Bmatrix} - \frac{0,5}{0,25} \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 9,51848E-05 \\ 9,72297E-05 \\ 9,72590E-05 \\ 2,37787E-09 \\ 2,66330E-09 \end{Bmatrix}$$

d. Menghitung pertambahan percepatan ($\Delta \ddot{y}_0$)

$$\Delta \ddot{y}_0 = \frac{1}{\beta \Delta t^2} \Delta y_0 - \frac{1}{\beta \Delta t} \dot{y}_0 - \frac{1}{2\beta} \ddot{y}_0$$

$$\Delta \ddot{y}_0 = \frac{1}{0,25 \cdot 0,01^2} \begin{Bmatrix} 4,75924E-07 \\ 4,86149E-07 \\ 4,86295E-07 \\ 1,18894E-11 \\ 1,33165E-11 \end{Bmatrix} - \frac{1}{0,25 \cdot 0,01} \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} - \frac{1}{2 \cdot 0,25} \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} =$$

$$\begin{Bmatrix} 1,90370E-02 \\ 1,94459E-02 \\ 1,94518E-02 \\ 4,75575E-07 \\ 5,32660E-07 \end{Bmatrix}$$

e. Menghitung simpangan (y_1)

$$y_1 = y_0 + \Delta y_0 = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} 4,75924E-07 \\ 4,86149E-07 \\ 4,86295E-07 \\ 1,18894E-11 \\ 1,33165E-11 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 4,75924E-07 \\ 4,86149E-07 \\ 4,86295E-07 \\ 1,18894E-11 \\ 1,33165E-11 \end{Bmatrix}$$

f. Menghitung kecepatan (\dot{y}_1)

$$\dot{y}_1 = \dot{y}_0 + \Delta \dot{y}_0 = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} 9,51848E-05 \\ 9,72297E-05 \\ 9,72590E-05 \\ 2,37787E-09 \\ 2,66330E-09 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 9,51848E-05 \\ 9,72297E-05 \\ 9,72590E-05 \\ 2,37787E-09 \\ 2,66330E-09 \end{Bmatrix}$$

g. Menghitung percepatan (\ddot{y}_1)

$$\ddot{y}_1 = \ddot{y}_0 + \Delta \ddot{y}_0 = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} 1,90370E-02 \\ 1,94459E-02 \\ 1,94518E-02 \\ 4,75575E-07 \\ 5,32660E-07 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 1,90370E-02 \\ 1,94459E-02 \\ 1,94518E-02 \\ 4,75575E-07 \\ 5,32660E-07 \end{Bmatrix}$$

h. Menghitung simpangan netto

Dapat dilihat pada perhitungan simpangan pada baris pertama hingga baris NDOF+1

$$\Rightarrow \text{Lantai 1, } y = 4,75924\text{E-07 m} = 4,75924\text{E-05 cm}$$

$$\Rightarrow \text{Lantai 2, } y = 4,86149\text{E-07 m} = 4,86149\text{E-05 cm}$$

$$\Rightarrow \text{Lantai 3, } y = 4,86295\text{E-07 m} = 4,86295\text{E-05 cm}$$

$$\Rightarrow \text{Pondasi, } y = 1,18894\text{E-11 m} = 1,18894\text{E-09 cm}$$

i. Menghitung sudut rotasi pondasi (θ)

Sudut rotasi pondasi terletak pada Δy_0 di baris NDOF+2 atau baris paling bawah.

$$\theta = 1,33165\text{E-11 rad}$$

j. Menghitung simpangan rotasi

Simpangan rotasi dihitung dengan rumus sebagai berikut $y = h * \tan(\theta)$

$$\begin{aligned} \Rightarrow \text{Lantai 1, } y &= 4 * \tan(1,33165\text{E-11}) = 5,32660\text{E-11 m} \\ &= 5,32660\text{E-09 cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow \text{Lantai 2, } y &= 8 * \tan(1,33165\text{E-11}) = 1,06532\text{E-10 m} \\ &= 1,06532\text{E-08 cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow \text{Lantai 3, } y &= 12 * \tan(1,33165\text{E-11}) = 1,59798\text{E-10 m} \\ &= 1,59798\text{E-08 cm} \end{aligned}$$

k. Menghitung simpangan total

Simpangan total adalah jumlah dari simpangan netto ditambah simpangan rotasi.

$$\Rightarrow T_k 1,y = 4,75924E-05 + 5,32660E-09 + 1,18894E-09 = 4,75989E-05 \text{ cm}$$

$$\Rightarrow T_k 2,y = 4,86149E-05 + 1,06532E-08 + 1,18894E-09 = 4,86268E-05 \text{ cm}$$

$$\Rightarrow T_k 3,y = 4,86295E-05 + 1,59798E-08 + 1,18894E-09 = 4,86467E-05 \text{ cm}$$

$$\Rightarrow \text{Pondasi, } y = 1,18894E-09 \text{ cm}$$

l. Menghitung simpangan antar tingkat, yy (*interstorey drift*)

Simpangan antar tingkat dihitung dengan rumus sebagai berikut,

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

$$\begin{aligned} \Rightarrow \text{Lantai 1, } yy_1 &= \frac{Y_{\text{netto lantai1}}}{\text{tinggi tingkat1}} * 100\% \\ &= \frac{4,75924E-07}{4} * 100\% = 1,18981E-5\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow \text{Lantai 2, } yy_2 &= \frac{Y_{\text{netto lantai2}} - Y_{\text{netto lantai1}}}{\text{tinggi tingkat2}} * 100\% \\ &= \frac{4,86149E-07 - 4,75924E-07}{4} * 100\% = 2,55E-7\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow \text{Lantai 3, } yy_3 &= \frac{Y_{\text{netto lantai3}} - Y_{\text{netto lantai2}}}{\text{tinggi tingkat3}} * 100\% \\ &= \frac{4,86295E-07 - 4,86149E-07}{4} * 100\% = 3,65E-7\% \end{aligned}$$

m. Menghitung gaya horisontal tingkat (F)

Gaya horisontal tingkat dihitung dengan rumus sebagai berikut,

$$F_j(t) = y_j(t) * k_j$$

$$F = \begin{bmatrix} 3000 & -1200 & 0 \\ -1200 & 1800 & -600 \\ 0 & -600 & 600 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 4,75924E-07 \\ 4,86149E-07 \\ 4,86295E-07 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 8,44393E-04 \\ 1,21824E-05 \\ 8,76000E-08 \end{Bmatrix} \text{ kg}$$

n. Menghitung gaya horisontal tingkat kumulatif (V)

Gaya horisontal tingkat kumulatif adalah merupakan jumlah gaya horisontal tingkat pada tingkat yang ditinjau, dihitung dengan rumus

sebagai berikut $V(t) = \sum_{j=1}^n F(t)$

$$\Rightarrow \text{Lantai 1, } V_1 = F_1 + F_2 + F_3 = 8,56663E-04 \text{ kg}$$

$$\Rightarrow \text{Lantai 2, } V_2 = F_2 + F_3 = 1,22700E-05 \text{ kg}$$

$$\Rightarrow \text{Lantai 3, } V_3 = F_3 = 8,76000E-08 \text{ kg}$$

o. Menghitung moment guling (M_g)

Momen guling merupakan perkalian gaya horisontal tingkat dengan tinggi tingkat yang ditinjau, dihitung dengan rumus sebagai berikut, $M_g = F_j(t) * H$

$$\begin{aligned} \Rightarrow \text{Dasar, } M_{g0} &= F_1 * H_1 + F_2 * H_2 + F_3 * H_3 \\ &= 8,44393E-04 * 4 + 1,21824E-05 * 8 + 8,76000E-08 * 12 \\ &= 3,47608E-03 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow \text{Lantai 1, } M_{g1} &= F_2 \cdot H_2 + F_3 \cdot H_3 \\ &= 1,21824\text{E-}05 \cdot 4 + 8,76000\text{E-}08 \cdot 8 \\ &= 4,94304\text{E-}05 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow \text{Lantai 2, } M_{g2} &= F_3 \cdot H_3 \\ &= 8,76000\text{E-}08 \cdot 4 = 3,50400\text{E-}07 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$\Rightarrow \text{Lantai 3, } M_{g3} = 0 \text{ kg.m}$$

2) Langkah 2 (saat 0,02 detik)

a. Menghitung pertambahan pembebanan (Δp_1)

$$\Delta p_1 = \Delta p_1 + a \cdot y_1 + b \cdot \ddot{y}_1 = \begin{Bmatrix} 3,9200\text{E-}02 \\ 2,9400\text{E-}02 \\ 1,9600\text{E-}02 \\ 8,8200\text{E-}02 \\ 6,2720\text{E-}01 \end{Bmatrix} +$$

$$\begin{Bmatrix} 8,05809\text{E+}02 \\ 0,00000\text{E+}00 \\ 0,00000\text{E+}00 \\ 8,00000\text{E+}02 \\ 3,20000\text{E+}03 \end{Bmatrix} \begin{bmatrix} 0,00000\text{E+}00 & 0,00000\text{E+}00 & 0,00000\text{E+}00 & 8,00000\text{E+}02 & 3,20000\text{E+}03 \\ 6,04357\text{E+}02 & 0,00000\text{E+}00 & 0,00000\text{E+}00 & 6,00000\text{E+}02 & 4,80000\text{E+}03 \\ 0,00000\text{E+}00 & 0,00000\text{E+}00 & 4,02904\text{E+}02 & 4,00000\text{E+}02 & 4,80000\text{E+}03 \\ 6,00000\text{E+}02 & 4,00000\text{E+}02 & 4,00000\text{E+}02 & 1,05180\text{E+}06 & 1,28000\text{E+}04 \\ 4,80000\text{E+}03 & 4,80000\text{E+}03 & 4,80000\text{E+}03 & 1,28000\text{E+}04 & 2,09480\text{E+}06 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 9,51848\text{E-}05 \\ 9,72297\text{E-}05 \\ 9,72590\text{E-}05 \\ 2,37787\text{E-}09 \\ 2,66330\text{E-}09 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} 4 & 0 & 0 & 4 & 16 \\ 0 & 3 & 0 & 3 & 24 \\ 0 & 0 & 2 & 2 & 24 \\ 4 & 3 & 2 & 9 & 64 \\ 16 & 24 & 24 & 64 & 544 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1,90370\text{E-}02 \\ 1,94459\text{E-}02 \\ 1,94518\text{E-}02 \\ 4,75575\text{E-}07 \\ 5,32660\text{E-}07 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 1,92069\text{E-}01 \\ 1,46528\text{E-}01 \\ 9,77172\text{E-}02 \\ 4,37552\text{E-}01 \\ 3,10940\text{E+}00 \end{Bmatrix}$$

b. Menghitung pertambahan simpangan (Δy_1)

$$k \cdot \Delta y_1 = \Delta p_1$$

$$\Delta y_1 = k^{-1} \cdot \Delta p_1$$

$$\Delta y_1 =$$

$$\begin{bmatrix} 1,20013E-05 & 2,90532E-07 & 8,91495E-08 & -7,77019E-09 & -6,58382E-09 \\ 2,90532E-07 & 1,61869E-05 & 4,00220E-07 & -7,93712E-09 & -1,31991E-08 \\ 8,91495E-08 & 4,00220E-07 & 2,47016E-05 & -7,93951E-09 & -1,97993E-08 \\ -7,77019E-09 & -7,93712E-09 & -7,93951E-09 & 7,99981E-09 & -2,17412E-13 \\ -6,58382E-09 & -1,31991E-08 & -1,97993E-08 & -2,17412E-13 & 1,67019E-09 \end{bmatrix}$$

$$x \begin{bmatrix} 1,92069E-01 \\ 1,46528E-01 \\ 9,77172E-02 \\ 4,37552E-01 \\ 3,10940E+00 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2,33249E-06 \\ 2,42222E-06 \\ 2,42450E-06 \\ 6,84052E-11 \\ 5,98755E-11 \end{bmatrix}$$

c. Menghitung pertambahan kecepatan ($\Delta \dot{y}_1$)

$$\Delta \dot{y}_1 = \frac{\gamma}{\beta \Delta t} \Delta y_1 - \frac{\gamma}{\beta} \dot{y}_1$$

$$\Delta \dot{y}_1 = \frac{0,5}{0,25 \cdot 0,01} \begin{bmatrix} 2,33249E-06 \\ 2,42222E-06 \\ 2,42450E-06 \\ 6,84052E-11 \\ 5,98755E-11 \end{bmatrix} - \frac{0,5}{0,25} \begin{bmatrix} 9,51848E-05 \\ 9,72297E-05 \\ 9,72590E-05 \\ 2,37787E-09 \\ 2,66330E-09 \end{bmatrix} =$$

$$\begin{bmatrix} 2,76128E-04 \\ 2,89985E-04 \\ 2,90383E-04 \\ 8,92530E-09 \\ 6,64849E-09 \end{bmatrix}$$

d. Menghitung pertambahan percepatan ($\Delta \ddot{y}_1$)

$$\Delta \ddot{y}_1 = \frac{1}{\beta \Delta t^2} \Delta y_1 - \frac{1}{\beta \Delta t} \dot{y}_1 - \frac{1}{2\beta} \ddot{y}_1$$

$$\ddot{y}_1 = \frac{1}{0,25 \cdot 0,01^2} \begin{Bmatrix} 2,33249E-06 \\ 2,42222E-06 \\ 2,42450E-06 \\ 6,84052E-11 \\ 5,98755E-11 \end{Bmatrix} - \frac{1}{0,25 \cdot 0,01} \begin{Bmatrix} 9,51848E-05 \\ 9,72297E-05 \\ 9,72590E-05 \\ 2,37787E-09 \\ 2,66330E-09 \end{Bmatrix} -$$

$$\frac{1}{2 \cdot 0,25} \begin{Bmatrix} 1,90370E-02 \\ 1,94459E-02 \\ 1,94518E-02 \\ 4,75575E-07 \\ 5,32660E-07 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 1,71517E-02 \\ 1,91051E-02 \\ 1,91729E-02 \\ 8,33910E-07 \\ 2,64377E-07 \end{Bmatrix}$$

e. Menghitung simpangan (y_2)

$$y_2 = y_1 + \Delta y_1 = \begin{Bmatrix} 4,75924E-07 \\ 4,86149E-07 \\ 4,86295E-07 \\ 1,18894E-11 \\ 1,33165E-11 \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} 2,33249E-06 \\ 2,42222E-06 \\ 2,42450E-06 \\ 6,84052E-11 \\ 5,98755E-11 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 2,80841E-06 \\ 2,90837E-06 \\ 2,91080E-06 \\ 8,02946E-11 \\ 7,31920E-11 \end{Bmatrix} .$$

f. Menghitung kecepatan (\dot{y}_2)

$$\dot{y}_2 = \dot{y}_1 + \Delta \dot{y}_1 = \begin{Bmatrix} 9,51848E-05 \\ 9,72297E-05 \\ 9,72590E-05 \\ 2,37787E-09 \\ 2,66330E-09 \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} 2,76128E-04 \\ 2,89985E-04 \\ 2,90383E-04 \\ 8,92530E-09 \\ 6,64849E-09 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 3,71313E-04 \\ 3,87214E-04 \\ 3,87642E-04 \\ 1,13032E-08 \\ 9,31179E-09 \end{Bmatrix}$$

g. Menghitung percepatan (\ddot{y}_2)

$$\ddot{y}_2 = \ddot{y}_1 + \Delta \ddot{y}_1 = \begin{Bmatrix} 1,90370E-02 \\ 1,94459E-02 \\ 1,94518E-02 \\ 4,75575E-07 \\ 5,32660E-07 \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} 1,90370E-02 \\ 1,94459E-02 \\ 1,94518E-02 \\ 4,75575E-07 \\ 5,32660E-07 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 3,61887E-02 \\ 3,85510E-02 \\ 3,86247E-02 \\ 1,30948E-06 \\ 7,97037E-07 \end{Bmatrix}$$

h. Menghitung simpangan netto

Dapat dilihat pada perhitungan simpangan pada baris pertama hingga baris NDOF+1

$$\Rightarrow \text{Lantai 1, } y = 2,80841\text{E-06 m} = 2,80841\text{E-04 cm}$$

$$\Rightarrow \text{Lantai 2, } y = 2,90837\text{E-06 m} = 2,90837\text{E-04 cm}$$

$$\Rightarrow \text{Lantai 3, } y = 2,91080\text{E-06 m} = 2,91080\text{E-04 cm}$$

$$\Rightarrow \text{Pondasi, } y = 8,02946\text{E-11 m} = 8,02946\text{E-09 cm}$$

i. Menghitung sudut rotasi pondasi (θ)

Sudut rotasi pondasi terletak pada Δy_0 di baris NDOF+2 atau baris paling bawah.

$$\theta = 7,31920\text{E-11 rad}$$

j. Menghitung simpangan rotasi

Simpangan rotasi dihitung dengan rumus sebagai berikut

$$y = h * \tan(\theta)$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow \text{Lantai 1, } y &= 4 * \tan(7,31920\text{E-11}) = 2,92768\text{E-10 m} \\ &= 2,92768\text{E-08 cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow \text{Lantai 2, } y &= 8 * \tan(7,31920\text{E-11}) = 5,85536\text{E-10 m} \\ &= 5,85536\text{E-08 cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow \text{Lantai 3, } y &= 12 * \tan(7,31920\text{E-11}) = 8,78304\text{E-10 m} \\ &= 8,78304\text{E-08 cm} \end{aligned}$$

k. Menghitung simpangan total

Simpangan total adalah jumlah dari simpangan netto ditambah simpangan rotasi.

$$\Rightarrow \text{Tk 1, } y = 2,80841\text{E-}04 + 2,92768\text{E-}08 + 8,02946\text{E-}09 = 2,80878\text{E-}04 \text{ cm}$$

$$\Rightarrow \text{Tk 2, } y = 2,90837\text{E-}04 + 5,85536\text{E-}08 + 8,02946\text{E-}09 = 2,90904\text{E-}04 \text{ cm}$$

$$\Rightarrow \text{Tk 3, } y = 2,91080\text{E-}04 + 8,78304\text{E-}08 + 8,02946\text{E-}09 = 2,91176\text{E-}04 \text{ cm}$$

$$\Rightarrow \text{Pondasi, } y = 8,02946\text{E-}09 \text{ cm}$$

l. Menghitung simpangan antar tingkat, yy (*interstorey drift*)

Simpangan antar tingkat dihitung dengan rumus sebagai berikut,

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

$$\Rightarrow \text{Lantai 1, } yy_1 = \frac{Y_{\text{netto lantai 1}}}{\text{tinggi tingkat 1}} * 100\%$$

$$= \frac{2,80841\text{E-}06}{4} * 100\% = 7,021\text{E-}05\%$$

$$\Rightarrow \text{Lantai 2, } yy_2 = \frac{Y_{\text{netto lantai 2}} - Y_{\text{netto lantai 1}}}{\text{tinggi tingkat 2}} * 100\%$$

$$= \frac{2,90837\text{E-}06 - 2,80841\text{E-}06}{4} * 100\% = 2,49\text{E-}06\%$$

$$\Rightarrow \text{Lantai 3, } yy_3 = \frac{Y_{\text{netto lantai 3}} - Y_{\text{netto lantai 2}}}{\text{tinggi tingkat 3}} * 100\%$$

$$= \frac{2,91080\text{E-}06 - 2,90837\text{E-}06}{4} * 100\% = 6,075\text{E-}08\%$$

m. Menghitung gaya horisontal tingkat (F)

Gaya horisontal tingkat dihitung dengan rumus sebagai berikut,

$$F_j(t) = y_j(t) * k_j$$

$$F = \begin{bmatrix} 3000 & -1200 & 0 \\ -1200 & 1800 & -600 \\ 0 & -600 & 600 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 2,80841E-06 \\ 2,90837E-06 \\ 2,91080E-06 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 4,93519E-03 \\ 1,18494E-04 \\ 1,45800E-06 \end{Bmatrix} \text{ kg}$$

n. Menghitung gaya horisontal tingkat kumulatif (V)

Gaya horisontal tingkat kumulatif adalah merupakan jumlah gaya horisontal tingkat pada tingkat yang ditinjau, dihitung dengan rumus

sebagai berikut $V(t) = \sum_{j=1}^n F(t)$

$$\Rightarrow \text{Lantai 1, } V_1 = F_1 + F_2 + F_3 = 5,05514E-03 \text{ kg}$$

$$\Rightarrow \text{Lantai 2, } V_2 = F_2 + F_3 = 1,19952E-04 \text{ kg}$$

$$\Rightarrow \text{Lantai 3, } V_3 = F_3 = 1,45800E-06 \text{ kg}$$

o. Menghitung moment guling (M_g)

Momen guling merupakan perkalian gaya horisontal tingkat dengan tinggi tingkat yang ditinjau, dihitung dengan rumus sebagai berikut, $M_g = F_j(t) * H$

$$\Rightarrow \text{Dasar, } M_{g0} = F_1 * H_1 + F_2 * H_2 + F_3 * H_3$$

$$= 4,93519E-03 * 4 + 1,18494E-04 * 8 + 1,45800E-06 * 12$$

$$= 2,07062E-02 \text{ kg.m}$$

$$\Rightarrow \text{Lantai 1, } M_{g1} = F_2 * H_2 + F_3 * H_3$$

$$= 1,18494\text{E-}04 * 4 + 1,45800\text{E-}06 * 8$$

$$= 4,85640\text{E-}04 \text{ kg.m}$$

$$\Rightarrow \text{Lantai 2, } M_{g2} = F3 * H3$$

$$= 1,45800\text{E-}06 * 4 = 5,83200\text{E-}06 \text{ kg.m}$$

$$\Rightarrow \text{Lantai 3, } M_{g3} = 0 \text{ kg.m}$$

3) Langkah 3 (saat 0,03 detik)

a. Menghitung pertambahan pembebanan ($\Delta p2$)

$$\Delta p2 = \Delta p2 + a.y2 + b.y2 = \begin{Bmatrix} 3,9200\text{E-}02 \\ 2,9400\text{E-}02 \\ 1,9600\text{E-}02 \\ 8,8200\text{E-}02 \\ 6,2720\text{E-}01 \end{Bmatrix} +$$

$$\begin{Bmatrix} 8,05809\text{E+}02 & 0,00000\text{E+}00 & 0,00000\text{E+}00 & 8,00000\text{E+}02 & 3,20000\text{E+}03 \\ 0,00000\text{E+}00 & 6,04357\text{E+}02 & 0,00000\text{E+}00 & 6,00000\text{E+}02 & 4,80000\text{E+}03 \\ 0,00000\text{E+}00 & 0,00000\text{E+}00 & 4,02904\text{E+}02 & 4,00000\text{E+}02 & 4,80000\text{E+}03 \\ 8,00000\text{E+}02 & 6,00000\text{E+}02 & 4,00000\text{E+}02 & 1,05180\text{E+}06 & 1,28000\text{E+}04 \\ 3,20000\text{E+}03 & 4,80000\text{E+}03 & 4,80000\text{E+}03 & 1,28000\text{E+}04 & 2,09480\text{E+}06 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} 3,71313\text{E-}04 \\ 3,87214\text{E-}04 \\ 3,87642\text{E-}04 \\ 1,13032\text{E-}08 \\ 9,31179\text{E-}09 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} 4 & 0 & 0 & 4 & 16 \\ 0 & 3 & 0 & 3 & 24 \\ 0 & 0 & 2 & 2 & 24 \\ 4 & 3 & 2 & 9 & 64 \\ 16 & 24 & 24 & 64 & 544 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 3,61887\text{E-}02 \\ 3,85510\text{E-}02 \\ 3,86247\text{E-}02 \\ 1,30948\text{E-}06 \\ 7,97037\text{E-}07 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 4,83219\text{E-}01 \\ 3,79143\text{E-}01 \\ 2,53103\text{E-}01 \\ 1,12236\text{E+}00 \\ 7,98611\text{E+}00 \end{Bmatrix}$$

b. Menghitung pertambahan simpangan ($\Delta y2$)

$$k.\Delta y2 = \Delta p2$$

$$\Delta y2 = k^{-1}.\Delta p2$$

$$\Delta y_2 =$$

$$\begin{bmatrix} 1,20013E-05 & 2,90532E-07 & 8,91495E-08 & -7,77019E-09 & -6,58382E-09 \\ 2,90532E-07 & 1,61869E-05 & 4,00220E-07 & -7,93712E-09 & -1,31991E-08 \\ 8,91495E-08 & 4,00220E-07 & 2,47016E-05 & -7,93951E-09 & -1,97993E-08 \\ -7,77019E-09 & -7,93712E-09 & -7,93951E-09 & 7,99981E-09 & -2,17412E-13 \\ -6,58382E-09 & -1,31991E-08 & -1,97993E-08 & -2,17412E-13 & 1,67019E-09 \end{bmatrix}$$

$$x \begin{bmatrix} 4,83219E-01 \\ 3,79143E-01 \\ 2,53103E-01 \\ 1,12236E+00 \\ 7,98611E+00 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 5,87066E-06 \\ 6,26451E-06 \\ 6,27985E-06 \\ 2,03433E-10 \\ 1,41025E-10 \end{bmatrix}$$

c. Menghitung pertambahan kecepatan ($\Delta \dot{y}_2$)

$$\Delta \dot{y}_2 = \frac{\gamma}{\beta \cdot \Delta t} \Delta y_2 - \frac{\gamma}{\beta} \dot{y}_2$$

$$\Delta \dot{y}_2 = \frac{0,5}{0,25 \cdot 0,01} \begin{bmatrix} 5,87066E-06 \\ 6,26451E-06 \\ 6,27985E-06 \\ 2,03433E-10 \\ 1,41025E-10 \end{bmatrix} - \frac{0,5}{0,25} \begin{bmatrix} 3,71313E-04 \\ 3,87214E-04 \\ 3,87642E-04 \\ 1,13032E-08 \\ 9,31179E-09 \end{bmatrix} =$$

$$\begin{bmatrix} 4,31506E-04 \\ 4,78473E-04 \\ 4,80687E-04 \\ 1,80803E-08 \\ 9,58143E-09 \end{bmatrix}$$

d. Menghitung pertambahan percepatan ($\Delta \ddot{y}_2$)

$$\Delta \ddot{y}_2 = \frac{1}{\beta \cdot \Delta t^2} \Delta y_2 - \frac{1}{\beta \cdot \Delta t} \dot{y}_2 - \frac{1}{2 \cdot \beta} \ddot{y}_2$$

$$\Delta \ddot{y}_2 = \frac{1}{0,25 \cdot 0,01^2} \begin{Bmatrix} 5,87066E-06 \\ 6,26451E-06 \\ 6,27985E-06 \\ 2,03433E-10 \\ 1,41025E-10 \end{Bmatrix} - \frac{1}{0,25 \cdot 0,01} \begin{Bmatrix} 3,71313E-04 \\ 3,87214E-04 \\ 3,87642E-04 \\ 1,13032E-08 \\ 9,31179E-09 \end{Bmatrix} -$$

$$\frac{1}{2,0,25} \begin{Bmatrix} 3,61887E-02 \\ 3,85510E-02 \\ 3,86247E-02 \\ 1,30948E-06 \\ 7,97037E-07 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 1,39238E-02 \\ 1,85926E-02 \\ 1,88879E-02 \\ 9,97097E-07 \\ 3,22212E-07 \end{Bmatrix}$$

e. Menghitung simpangan (y_3)

$$y_3 = y_2 + \Delta y_2 = \begin{Bmatrix} 2,80841E-06 \\ 2,90837E-06 \\ 2,91080E-06 \\ 8,02946E-11 \\ 7,31920E-11 \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} 5,87066E-06 \\ 6,26451E-06 \\ 6,27985E-06 \\ 2,03433E-10 \\ 1,41025E-10 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 8,67907E-06 \\ 9,17288E-06 \\ 9,19065E-06 \\ 2,83728E-10 \\ 2,14217E-10 \end{Bmatrix}$$

f. Menghitung kecepatan (\dot{y}_3)

$$\dot{y}_3 = \dot{y}_2 + \Delta \dot{y}_2 = \begin{Bmatrix} 3,71313E-04 \\ 3,87214E-04 \\ 3,87642E-04 \\ 1,13032E-08 \\ 9,31179E-09 \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} 4,31506E-04 \\ 4,78473E-04 \\ 4,80687E-04 \\ 1,80803E-08 \\ 9,58143E-09 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 8,02819E-04 \\ 8,65687E-04 \\ 8,68328E-04 \\ 2,93835E-08 \\ 1,88932E-08 \end{Bmatrix}$$

g. Menghitung percepatan (\ddot{y}_3)

$$\ddot{y}_3 = \ddot{y}_2 + \Delta \ddot{y}_2 = \begin{Bmatrix} 3,61887E-02 \\ 3,85510E-02 \\ 3,86247E-02 \\ 1,30948E-06 \\ 7,97037E-07 \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} 1,39238E-02 \\ 1,85926E-02 \\ 1,88879E-02 \\ 9,97097E-07 \\ 3,22212E-07 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 5,01125E-02 \\ 5,71436E-02 \\ 5,75126E-02 \\ 2,30658E-06 \\ 1,11925E-06 \end{Bmatrix}$$

h. Menghitung simpangan netto

Dapat dilihat pada perhitungan simpangan pada baris pertama hingga baris NDOF+1

$$\Rightarrow \text{Lantai 1, } y = 8,67907\text{E-}06 \text{ m} = 8,67907\text{E-}04 \text{ cm}$$

$$\Rightarrow \text{Lantai 2, } y = 9,17288\text{E-}06 \text{ m} = 9,17288\text{E-}04 \text{ cm}$$

$$\Rightarrow \text{Lantai 3, } y = 9,19065\text{E-}06 \text{ m} = 9,19065\text{E-}04 \text{ cm}$$

$$\Rightarrow \text{Pondasi, } y = 2,83728\text{E-}10 \text{ m} = 2,83728\text{E-}08 \text{ cm}$$

i. Menghitung sudut rotasi pondasi (θ)

Sudut rotasi pondasi terletak pada Δy_0 di baris NDOF+2 atau baris paling bawah.

$$\theta = 2,14217\text{E-}10 \text{ rad}$$

j. Menghitung simpangan rotasi

Simpangan rotasi dihitung dengan rumus sebagai berikut

$$y = h * \tan(\theta)$$

$$\Rightarrow \text{Lantai 1, } y = 4 * \tan(2,14217\text{E-}10) = 8,56868\text{E-}10 \text{ m} = 8,56868\text{E-}08 \text{ cm}$$

$$\Rightarrow \text{Lantai 2, } y = 8 * \tan(2,14217\text{E-}10) = 1,71374\text{E-}09 \text{ m} = 1,71374\text{E-}07 \text{ cm}$$

$$\Rightarrow \text{Lantai 3, } y = 12 * \tan(2,14217\text{E-}10) = 2,57060\text{E-}09 \text{ m} = 2,57060\text{E-}07 \text{ cm}$$

k. Menghitung simpangan total

Simpangan total adalah jumlah dari simpangan netto ditambah simpangan rotasi.

$$\Rightarrow \text{Tk 1, } y = 8,67907\text{E-}04 + 8,56868\text{E-}08 + 2,83728\text{E-}08 = 8,68021\text{E-}04 \text{ cm}$$

$$\Rightarrow \text{Tk 2, } y = 9,17288\text{E-}04 + 1,71374\text{E-}07 + 2,83728\text{E-}08 = 9,17487\text{E-}04 \text{ cm}$$

$$\Rightarrow T_k 3, y = 9,19073E-4 + 2,57060E-07 + 2,83728E-08 = 9,19350E-04 \text{ cm}$$

$$\Rightarrow \text{Pondasi, } y = 2,83728E-08 \text{ cm}$$

l. Menghitung simpangan antar tingkat, yy (*interstorey drift*)

Simpangan antar tingkat dihitung dengan rumus sebagai berikut,

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

$$\begin{aligned} \Rightarrow \text{Lantai 1, } yy_1 &= \frac{Y_{\text{netto lantai1}}}{\text{tinggi tingkat1}} * 100\% \\ &= \frac{8,67907E-06}{4} * 100\% = 2,16977E-4\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow \text{Lantai 2, } yy_2 &= \frac{Y_{\text{netto lantai2}} - Y_{\text{netto lantai1}}}{\text{tinggi tingkat2}} * 100\% \\ &= \frac{9,17288E-06 - 8,67907E-06}{4} * 100\% = 1,2345E-5\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow \text{Lantai 3, } yy_3 &= \frac{Y_{\text{netto lantai3}} - Y_{\text{netto lantai2}}}{\text{tinggi tingkat3}} * 100\% \\ &= \frac{9,19065E-06 - 9,17288E-06}{4} * 100\% = 4,4425E-7\% \end{aligned}$$

m. Menghitung gaya horisontal tingkat (F)

Gaya horisontal tingkat dihitung dengan rumus sebagai berikut,

$$F_j(t) = y_j(t) * k_j$$

$$F = \begin{bmatrix} 3000 & -1200 & 0 \\ -1200 & 1800 & -600 \\ 0 & -600 & 600 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 8,67907E-06 \\ 9,17288E-06 \\ 9,19065E-06 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 1,50298E-02 \\ 5,81910E-04 \\ 1,06620E-05 \end{Bmatrix} \text{ kg}$$

n. Menghitung gaya horizontal tingkat komulatif (V)

Gaya horizontal tingkat komulatif adalah merupakan jumlah gaya horizontal tingkat pada tingkat yang ditinjau, dihitung dengan rumus

sebagai berikut
$$V(t) = \sum_{j=1}^n F_j(t)$$

\Rightarrow Lantai 1, $V_1 = F_1 + F_2 + F_3 = 1,56223E-02$ kg

\Rightarrow Lantai 2, $V_2 = F_2 + F_3 = 5,92572E-04$ kg

\Rightarrow Lantai 3, $V_3 = F_3 = 1,06620E-05$ kg

o. Menghitung moment guling (M_g)

Momen guling merupakan perkalian gaya horizontal tingkat dengan tinggi tingkat yang ditinjau, dihitung dengan rumus sebagai

berikut,
$$M_g = F_j(t) * H$$

\Rightarrow Dasar, $M_{g0} = F_1 * H_1 + F_2 * H_2 + F_3 * H_3$
 $= 1,50298E-02 * 4 + 5,81910E-04 * 8 + 1,06620E-05 * 12$
 $= 6,49022E-02$ kg.m

\Rightarrow Lantai 1, $M_{g1} = F_2 * H_2 + F_3 * H_3$
 $= 5,81910E-04 * 4 + 1,06620E-05 * 8$
 $= 2,41294E-03$ kg.m

\Rightarrow Lantai 2, $M_{g2} = F_3 * H_3$
 $= 1,06620E-05 * 4 = 4,26480E-05$ kg.m

\Rightarrow Lantai 3, $M_{g3} = 0$ kg.m

Hasil perbandingan antara perhitungan manual dan program PROGSIP

2002 disajikan dalam tabel-tabel berikut ini,

Tingkat	Waktu	Simpangan Netto		
		Manual	Program	Ketelitian (%)
Pondasi	0,01	1,18894E-09	1,18891E-09	2,40199E-03
1	0,01	4,75924E-05	4,75924E-05	-6,23816E-05
2	0,01	4,86149E-05	4,86149E-05	6,13664E-05
3	0,01	4,86295E-05	4,86295E-05	-4,09379E-05
Pondasi	0,02	8,02946E-09	8,02932E-09	1,76298E-03
1	0,02	2,80841E-04	2,80841E-04	-1,60967E-04
2	0,02	2,90837E-04	2,90837E-04	-1,07583E-05
3	0,02	2,91080E-04	2,91080E-04	1,80016E-05
Pondasi	0,03	2,83728E-08	2,83724E-08	1,43956E-03
1	0,03	1,18894E-09	1,18891E-09	2,40199E-03
2	0,03	4,75924E-05	4,75924E-05	-6,23816E-05
3	0,03	4,86149E-05	4,86149E-05	6,13664E-05

Tingkat	Waktu	Rotasi Pondasi		
		Manual	Program	Ketelitian (%)
Pondasi	0,01	1,33165E-11	1,33161E-11	2,72769E-03
	0,02	7,31920E-11	7,31903E-11	2,37920E-03
	0,03	2,14217E-10	2,14213E-10	1,89492E-03

Tingkat	Waktu	Simpangan Rotasi		
		Manual	Program	Ketelitian (%)
1	0,01	5,32660E-09	5,32645E-09	2,72769E-03
2	0,01	1,06532E-08	1,06529E-08	2,72769E-03
3	0,01	1,59798E-08	1,59794E-08	2,72769E-03
1	0,02	2,92768E-08	2,92761E-08	2,37920E-03
2	0,02	5,85536E-08	5,85522E-08	2,37920E-03
3	0,02	8,78304E-08	8,78283E-08	2,37920E-03
1	0,03	8,56868E-08	8,56852E-08	1,89492E-03
2	0,03	1,71374E-07	1,71370E-07	2,12832E-03
3	0,03	2,57060E-07	2,57056E-07	1,73932E-03

Tingkat	Waktu	Simpangan Total		
		Manual	Program	Ketelitian (%)
Pondasi	0,01	1,18894E-09	1,18891E-09	2,52326E-03
1	0,01	4,75989E-05	4,75989E-05	0,00000E+00
2	0,01	4,86268E-05	4,86267E-05	2,05648E-04
3	0,01	4,86467E-05	4,86467E-05	0,00000E+00
Pondasi	0,02	8,02946E-09	8,02932E-09	1,74358E-03
1	0,02	2,80878E-04	2,80879E-04	-3,56026E-04
2	0,02	2,90904E-04	2,90901E-04	1,03127E-03
3	0,02	2,91176E-04	2,91176E-04	0,00000E+00
Pondasi	0,03	2,83728E-08	2,83724E-08	1,40980E-03
1	0,03	8,68021E-04	8,68022E-04	-1,15205E-04
2	0,03	9,17487E-04	9,17488E-04	-1,08993E-04
3	0,03	9,19350E-04	9,19351E-04	-1,08773E-04

Tingkat	Waktu	Simpangan Antar tingkat		
		Manual	Program	Ketelitian (%)
1	0,01	1,18981E-05	1,18981E-05	0,00000
2	0,01	2,55000E-07	2,55610E-07	-2,39263E-01
3	0,01	3,65000E-07	3,66244E-09	9,89966E+01
1	0,02	7,02100E-05	7,02104E-05	5,69719E-04
2	0,02	2,49000E-06	2,49889E-06	-3,57221E-01
3	0,02	6,07500E-08	6,07291E-08	3,44396E-02
1	0,03	2,16977E-04	2,16977E-04	0,0000
2	0,03	1,23450E-05	1,23452E-05	-1,46766E-03
3	0,03	4,44250E-07	4,44220E-07	6,72287E-03

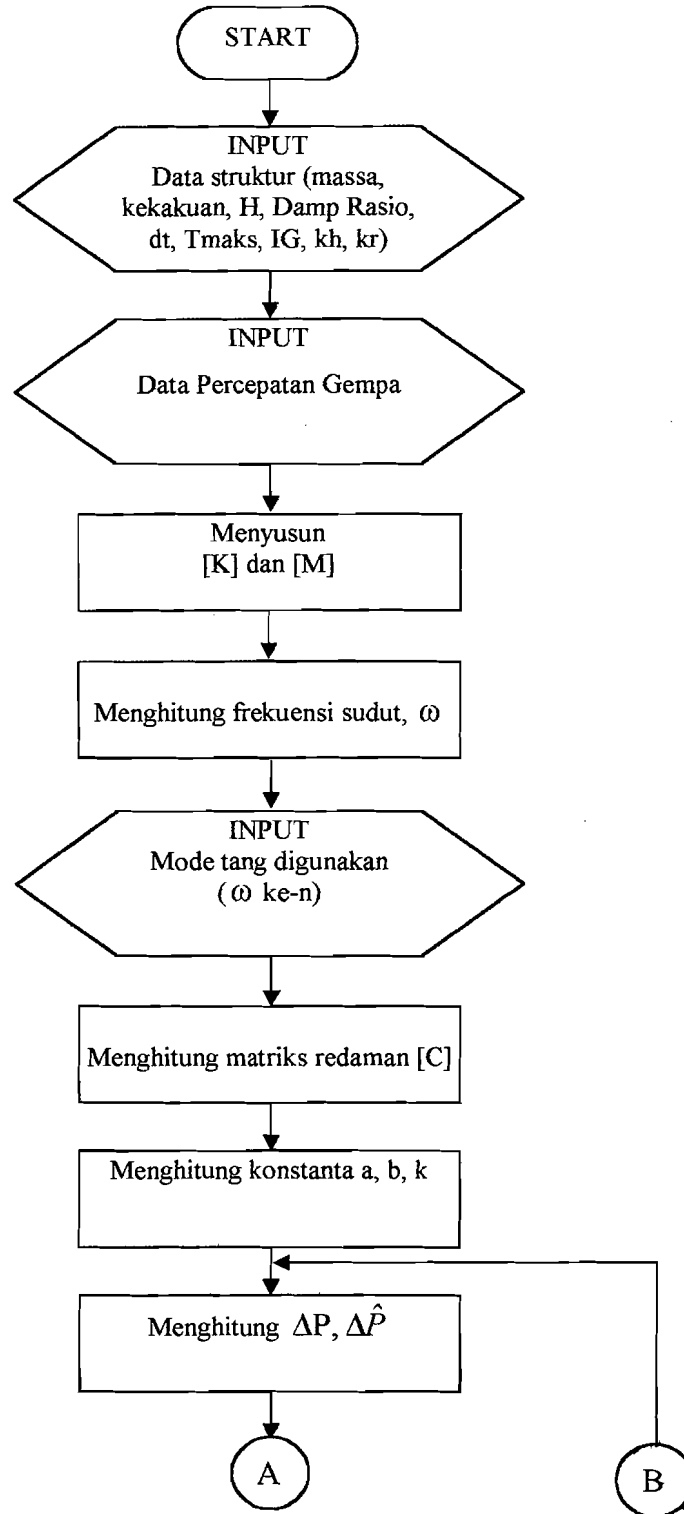
Tingkat	Waktu	Gaya Horizontal Tingkat		
		Manual	Program	Ketelitian (%)
1	0,01	8,44393E-04	8,44394E-04	-1,71563E-04
2	0,01	1,21824E-05	1,21814E-05	8,31291E-03
3	0,01	8,76000E-08	8,78984E-08	-3,40692E-01
1	0,02	4,93519E-03	4,93520E-03	-1,86140E-04
2	0,02	1,18494E-04	1,18489E-04	3,83744E-03
3	0,02	1,45800E-06	1,45750E-06	3,44396E-02
1	0,03	1,50298E-02	1,50298E-02	2,08607E-04
2	0,03	5,81910E-04	5,81907E-04	4,44475E-04
3	0,03	1,06620E-05	1,06613E-05	6,72287E-03

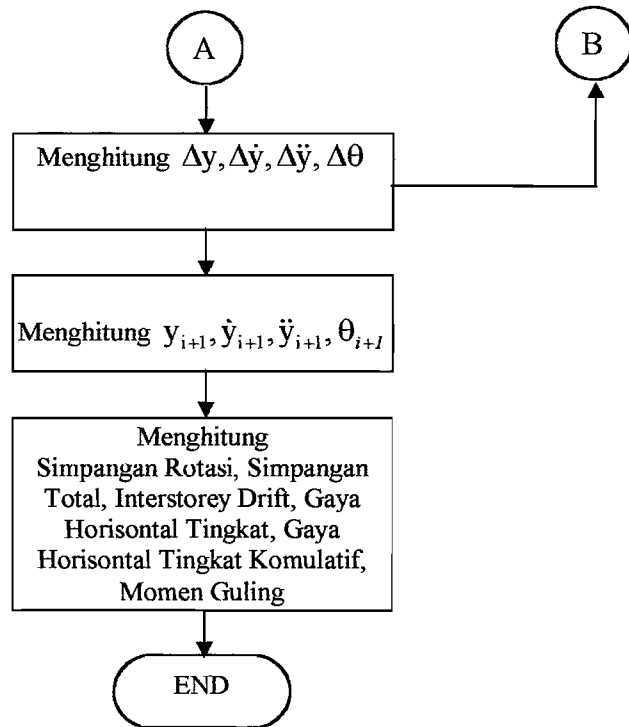
Tingkat	Waktu	Gaya Horisontal Tingkat Kumulatif		
		Manual	Program	Ketelitian (%)
1	0,01	8,56663E-04	8,56664E-04	-8,57280E-05
2	0,01	1,22700E-05	1,22693E-05	5,82123E-03
3	0,01	8,76000E-08	8,78984E-08	-3,40692E-01
1	0,02	5,05514E-03	5,05515E-03	-1,21403E-04
2	0,02	1,19952E-04	1,19947E-04	4,20941E-03
3	0,02	1,45800E-06	1,45750E-06	3,44396E-02
1	0,03	1,56223E-02	1,56223E-02	-2,39040E-04
2	0,03	5,92572E-04	5,92569E-04	5,57440E-04
3	0,03	1,06620E-05	1,06613E-05	6,72287E-03

Tingkat	Waktu	Momen Guling		
		Manual	Program	Ketelitian (%)
Dasar	0,01	3,47608E-03	3,47608E-03	-1,05703E-04
1	0,01	4,94304E-05	4,94287E-05	3,36488E-03
2	0,01	3,50400E-07	3,51594E-07	-3,40692E-01
3	0,01	0,00000E+00	0,00000E+00	0,00000E+00
Dasar	0,02	2,07062E-02	2,07062E-02	-1,13147E-05
1	0,02	4,85640E-04	4,85618E-04	4,57244E-03
2	0,02	5,83200E-06	5,82999E-06	3,44396E-02
3	0,02	0,00000E+00	0,00000E+00	0,00000E+00
Dasar	0,03	6,49022E-02	6,49023E-02	-1,06767E-04
1	0,03	2,41294E-03	2,41292E-03	8,32184E-04
2	0,03	4,26480E-05	4,26451E-05	6,72287E-03
3	0,03	0,00000E+00	0,00000E+00	0,00000E+00

BAGAN ALIR DAN LISTING PROGSIP 2002

1. BAGAN ALIR





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 l = 1 To n
                    EVKI = Eigenvector(l, j)
                    Eigenvector(l, j) = EVKI * CosA +
                    Eigenvector(l, K) * SinA
                    Eigenvector(l, K) = EVKI * SinA -
                    Eigenvector(l, K) * CosA
                    If (l <= K) Then
                        AIK(l) = A(j, l)
                        A(j, l) = CosA * AIK(l) + SinA * A(l, K)
                        If (l = K) Then A(K, l) = SinA * AIK(l)
                        - CosA * A(K, l)
                    Else
                        AIK1 = A(j, l)
                        A(j, l) = CosA * AIK1 + SinA * A(K, l)
                        A(K, l) = SinA * AIK1 - CosA * A(K, l)
                    End If
                Next l
                AIK(K) = SinA * AIK(j) - CosA * AIK(K)
                For l = 1 To K
                    If (l > j) Then
                        A(l, K) = SinA * AIK(l) - CosA * A(l, K)
                    Else
                        AKI = A(l, j)
                        A(l, j) = CosA * AKI + SinA * A(l, K)
                        A(l, K) = SinA * AKI - CosA * A(l, K)
                    End If
                Next l
                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 = I 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
Ndof = lngnd
Clear_Dim ' deklarasasi u/ redim
Clear_Var 'hapus variabel 1D
'-----
'rumus FORM MATRIK_MASSANYA
'-----
'hitungan u/ frmMatrik_Massa - 1
frmProgressBar.ProgressBar.Max = Ndof
For Y = 1 To Ndof
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 Ndof + 2
For YN = 1 To Ndof + 2
DoEvents
Matrik_MassaNya(Y, YN) = 0
Next YN
Next Y
'beri nilai m1,m2,m3 miring
For Y = 1 To Ndof
For YN = 1 To Ndof
DoEvents
If (Y = YN) Then Matrik_MassaNya(Y, YN) =
MaSs(YN)
Next YN
Next Y
'beri nilai m1,m2,m3 horisontal
For Y = Ndof + 1 To Ndof + 1
For YN = 1 To Ndof
DoEvents
Matrik_MassaNya(Y, YN) = MaSs(YN)
Next YN
Next Y
'beri nilai m1,m2,m3 vertikal
For Y = Ndof + 1 To Ndof + 1
For YN = 1 To Ndof
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 = Ndof + 2 To Ndof + 2
For YN = 1 To Ndof
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 = Ndof + 1 To Ndof + 1
Vs = Mo
For YN = 1 To Ndof
DoEvents
Vs = Vs + MaSs(YN)
Matrik_MassaNya(Y, Ndof + 1) = Vs
Next YN
Next Y
' beri nilai m1,m2,m3 horisontal paling bawah
tengah m1h1+m2h2+m3h3
For Y = Ndof + 1 To Ndof + 1
Vs = 0
For YN = 1 To Ndof
DoEvents
Vs = Vs + (MaSs(YN) * HKum(YN))
Matrik_MassaNya(Ndof + 2, Ndof + 1) = Vs
Next YN
Next Y
' beri nilai m1,m2,m3 horisontal paling kanan ke
bawah sebanyak ndof+2 m1h1,m2h2,m3xh3
For Y = Ndof + 2 To Ndof + 2
For YN = 1 To Ndof
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 = Ndof + 2 To Ndof + 2
Vs = 0
For YN = 1 To Ndof
DoEvents
Vs = Vs + (MaSs(YN) * HKum(YN))
Matrik_MassaNya(Ndof + 1, Ndof + 2) = Vs
Next YN
Next Y
' beri nilai m1,m2,m3 horisontal paling bawah
tengah Ig+mI(h1^2)+m2(h2^2)+m3(h3^2)
For Y = Ndof + 2 To Ndof + 2
Vs = Ig
For YN = 1 To Ndof
DoEvents
Vs = Vs + (MaSs(YN) * (HKum(YN) ^ 2))
Matrik_MassaNya(Ndof + 2, Ndof + 2) = Vs
Next YN
Next Y
' MATRIK KEKAKUAN
' beri nilai NOL
For Y = 1 To Ndof + 2
For YN = 1 To Ndof + 2
DoEvents

```



```

    Matrik_Kekakuan(Y, YN) = 0
    Next YN
Next Y
' k1+k2 lalu diagonal kebawah k2+k3
For Y = 2 To N dof
    For YN = 2 To N dof
        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(N dof, N dof) = KK(N dof)
    Matrik_Kekakuan(N dof + 1, N dof + 1) = Kh
    Matrik_Kekakuan(N dof + 2, N dof + 2) = Kr
    ' -k2 diagonal ke kanan bawah -k3
    U = 0
    For Y = 2 To N dof
        DoEvents
        U = U + 1
        Matrik_Kekakuan(U, Y) = -KK(Y)
        Matrik_Kekakuan(Y, Y - 1) = -KK(Y)
    Next Y
    'Matrik REDAMAN
    'hitungan u/ frmMatrik_Massa - 1
    'cari Alpha
    'frmInputOmega -> Untuk [C] proportional dengan
[M] dipakai mode ke=
    '-----
    'SEBELUM perintah dibawah ini, JANGAN ada
redim CEigenVal(n dof)
    Select Case ComboCMK
    Case 0
        Alpha1 = 2 * Dampratio *
CEigenVal(ComboCM)
        'rumus Matrik_U = Alpha * Matrik_Massa
        For Y = 1 To N dof + 2
            For X = 1 To N dof + 2
                DoEvents
                Matrik_C(Y, X) = Alpha1 *
Matrik_MassaNya(Y, X)
            Next X
        Next Y
    Case 1
        Beta1 = (2 * Dampratio) /
CEigenVal(ComboCM)
        'rumus Matrik_C = Beta1 * Matrik_Kekakuan
        For Y = 1 To N dof + 2
            For X = 1 To N dof + 2
                DoEvents
                Matrik_C(Y, X) = Beta1 *
Matrik_Kekakuan(Y, X)
            Next X
        Next Y
    Case 2
        If CEigenValMaks = CEigenValMin Then
            Beta2 = 0
            'Debug.Print Dampratio, CEigenValMaks,
CEigenValMaks ^ 2, CEigenValMin, CEigenValMin
^ 2

```

```

        'Debug.Print Dampratio * CEigenValMaks -
Dampratio * CEigenValMin
        'Debug.Print (2 * (Dampratio *
CEigenValMaks - Dampratio * CEigenValMin))
        'Debug.Print ((CEigenValMaks ^ 2) -
CEigenValMin ^ 2)
        'Debug.Print
    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 = 1 To N dof + 2
        For X = 1 To N dof + 2
            DoEvents
            Matrik_C(Y, X) = (Alpha2 *
Matrik_MassaNya(Y, X)) + (Beta2 *
Matrik_Kekakuan(Y, X))
        Next X
    Next Y
End Select
'cari Matrik_K
Beta = 0.25
Gamma = 0.5
For Y = 1 To N dof + 2
    For X = 1 To N dof + 2
        DoEvents
        Matrik_K(Y, X) = Matrik_Kekakuan(Y, X) +
(Gamma / (Beta * Dt)) * Matrik_C(Y, X) + (1 /
(Beta * (Dt ^ 2))) * Matrik_MassaNya(Y, X)
    Next X
Next Y
'cari Matrik_A
For Y = 1 To N dof + 2
    For X = 1 To N dof + 2
        DoEvents
        Matrik_A(Y, X) = (1 / (Beta * Dt)) *
Matrik_MassaNya(Y, X) + (Gamma / Beta) *
Matrik_C(Y, X)
    Next X
Next Y
'cari Matrik_B
For Y = 1 To N dof + 2
    For X = 1 To N dof + 2
        DoEvents
        Matrik_B(Y, X) = (1 / (2 * Beta)) *
Matrik_MassaNya(Y, X) + (Dt * (Gamma / (2 *
Beta) - 1)) * Matrik_C(Y, X)
    Next X
Next Y
'end rumus FORM Matrik_Massa
'cari pengurangan next - prev
For I = 1 To Sebarang_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

```

```

End If
Next I
Dim BarisNo As Integer
' mengisi DeltaPRiefPakai(I, Y) dg perkalian
masa dan PerVNextMinPrev barisSatu saja
' kolom satu ke N dof
For I = 1 To Sebanyak_N
    BarisNo = I
    For Y = 1 To N dof
        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 N dof
    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 bProsesNOI As Boolean
Dim PNol As Single
Dim sf As String
sf = "#####0.#####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: DII = 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) '-
E = 1 / (2 * Betha) '*
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) - V_IniLho(I, N dof + 1))
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 = True

```

```

  Vs = 0
  Next X
Next Y
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 DeltaPAksIDim(N dof + 2)
  ReDim DeltaPAks(Sebanyak_N, N dof + 2)
  ReDim DeltaVDoubleAks(Sebanyak_N, N dof + 2)
  ReDim DeltaVIDim(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
Ndof = 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 Ndof + 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 * Ndof) +
Jarak + 13)
CariMinMaksAbs 1, Ndof + 2, 1,
Sebanyak_N, V_IniLho()
For X = 1 To Ndof + 2
Print #Filenumber, Tab(Jarak * (X - 1));
"Maks="; Maks(X);
Next X
For X = 1 To Ndof + 2
Print #Filenumber, Tab(Jarak * (X - 1));
"Min="; Min(X);
Next X
For X = 1 To Ndof + 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 Sebanyak_N
For Y = 1 To Ndof + 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 Sebanyak_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 Sebanyak_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_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);

```

```

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 Ndof + 2
            For Y = 1 To Ndof + 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 Ndof + 2
            For Y = 1 To Ndof + 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 Ndof + 2
            For Y = 1 To Ndof + 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$ = "CEigenVal"
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 CEigenVal"
  Print #Filenumber, GarisF(Len("Table
CEigenVal"))
  For Y = 1 To N dof
    Print #Filenumber, Y; " ";
Format(CEigenVal(Y), sf)
  Next Y
  Print #Filenumber,
  Close #Filenumber
End If
If bRiefqiTampilkan Then
  sf =
"#####0.#####0"
  wess$ = "Ide"
  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 Ide - Simpangan
Antar Tingkat"
  Print #Filenumber, GarisF(Len("Table Ide -
Simpangan Antar Tingkat"))
  For l = 1 To Sebanyak_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; " "; Ide(I, Y);
      Next Y
    Next l
  Print #Filenumber,

```

```

  Print #Filenumber, GarisF((Jarak * N dof) +
Jarak + 13)
  CariMinMaksAbs l, N dof + 1, 1,
Sebanyak_N, Ide()
  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$ = "Ft"
  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 Ft - Gaya
Horizontal Tingkat Ft"
  Print #Filenumber, GarisF(Len("Table Ft -
Gaya Horizontal Tingkat Ft"))
  For l = 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; " "; Ft(I, Y);
      Next Y
    Next l
  Print #Filenumber,
  Print #Filenumber, GarisF((Jarak * N dof) +
Jarak + 13)
  CariMinMaksAbs l, N dof + 2, 1,
Sebanyak_N, Ft()
  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$ = "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 Sebanyak_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 1, N dof + 1, 1,
Sebanyak_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,

```

```

        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 Sebanyak_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 1, N dof + 1, 1,
Sebanyak_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 Sebanyak_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 1, N dof, 1,
Sebanyak_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 1, N dof + 1, 1,
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_MassuNya"
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,
iNdof 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(Ndof + 5)
        ReDim Min(Ndof + 5)
        ReDim AbsNya(Ndof + 5)
        For X = iAwal1 To iNdof
            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, Ndof, 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 MatTrIkKaKs() 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, Ndof + 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 Makan
    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
  Makan:
  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 i = PosNow To PosNow
  For j = 1 To N_Dof
    MatHasil(i, j) = MatrikAsli(j) 'asli
    'jangan di NOL-kan akan di pakai MatrikAsli(j)
= 0 'asli
  Next j
Next i
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, N dof + 2)
  MatHasil(PosNow, j) = MatrikAsli(j) 'ReDim
DeltaV_wess(Sebanyak_N + 10, N dof + 2)
  'jangan di NOL-kan akan di pakai MatrikAsli(j)
= 0 'asli
  Next j
End Sub

```

KARTU PESERTA TUGAS AKHIR

NO.	N A M A	NO. MHS.	BID.STUDI
1	RIEFQI ZUHDAN P	95 310 020	STRUKTUR
2	BEBY KARMADY Y.	95 310 240	STRUKTUR

JUDUL TUGAS AKHIR :

RISPON ELASTIK STRUKTUR MDOF DENGAN MEMPERHITUNGGAN PENGARUH ROTASI FONDASI.

**PERIODE I : SEPTEMBER – PEBRUARI
TAHUN : 2000 / 2001**

No.	Kegiatan	Bulan Ke :					
		Sept.	Okt.	Nop.	Des.	Jan.	Peb.
1.	Pendaftaran						
2.	Penentuan Dosen Pembimbing						
3.	Pembuatan Proposal						
4.	Seminar Proposal						
5.	Konsultasi Penyusunan TA.						
6.	Sidang-Sidang						
7.	Pendadaran.						

DOSEN PEMBIMBING I : IR.H.WIDODO, MSCE, Ph.D

DOSEN PEMBIMBING II : IR.HELMI AKBAR BALE, MT



Yogyakarta, 14 Desember 2000
a.n. Dekan,

[Signature]
IR. H. TADJUDDIN BM ARIS, MS

Catatan :

Seminar : 10 APRIL 2001
Sidang : 19 APRIL 2002
Pendadaran : 06 APRIL 2002