

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).

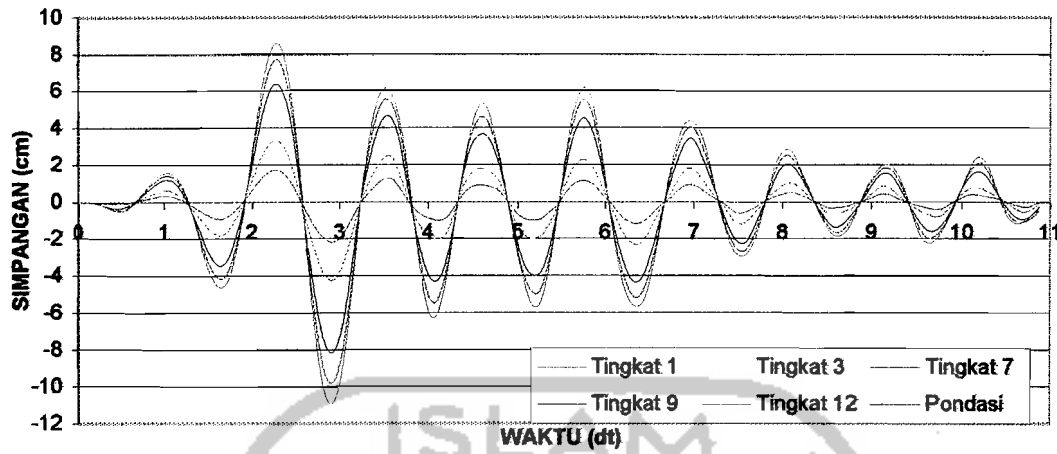
Adapun nilai-nilai k_h dan k_r yang dikombinasikan adalah sebagai berikut :

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

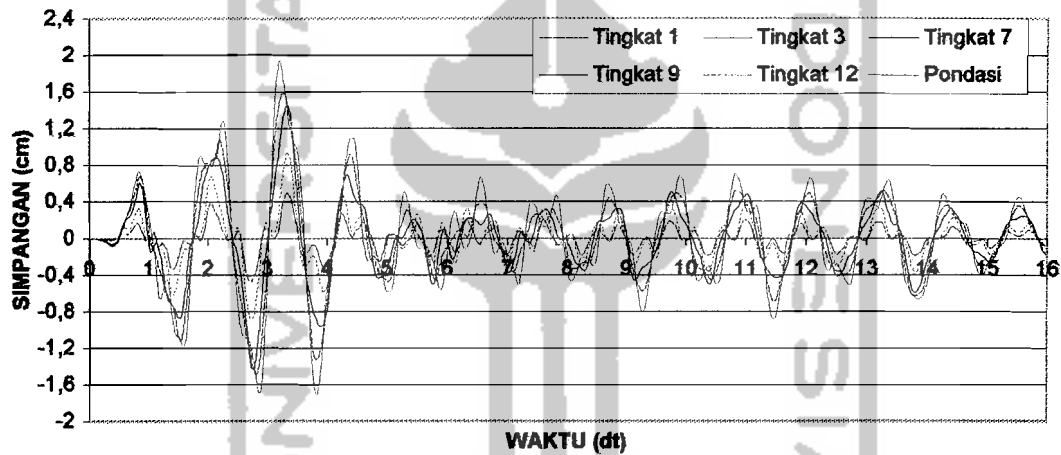
5.4.1 Perhitungan Simpangan Netto

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 :

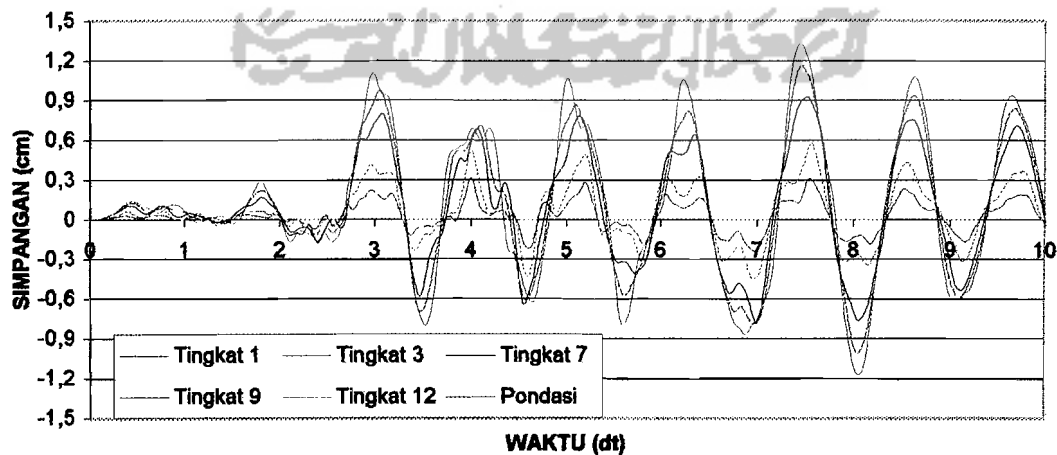




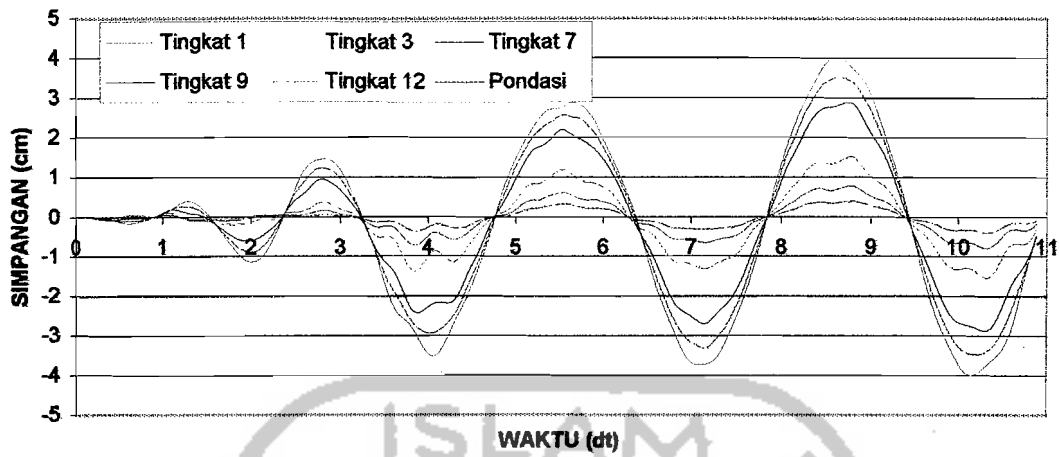
Gambar 5.1 Simpangan netto struktur 12 tk akibat gempa Bucharest
 $kh=2E+15$, $kr=4E+15$



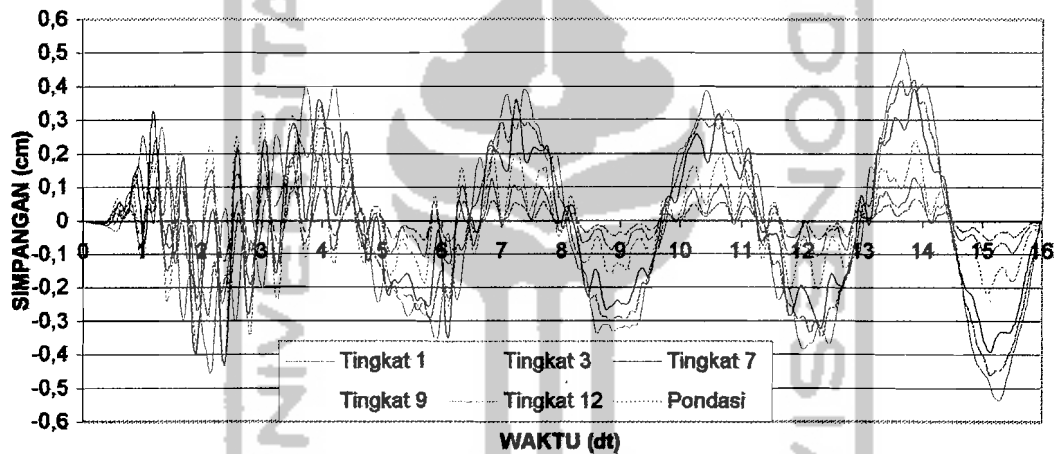
Gambar 5.2 Simpangan netto struktur 12 tk akibat gempa Elcentro
 $kh=2E+15$, $kr=4E+15$



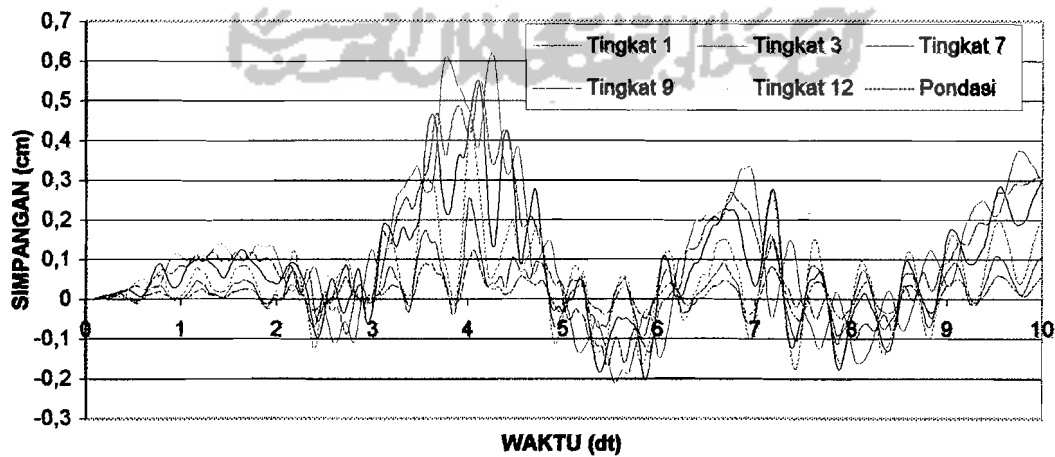
Gambar 5.3 Simpangan netto struktur 12 tk akibat gempa Koyna
 $kh=2E+15$, $kr=4E+15$



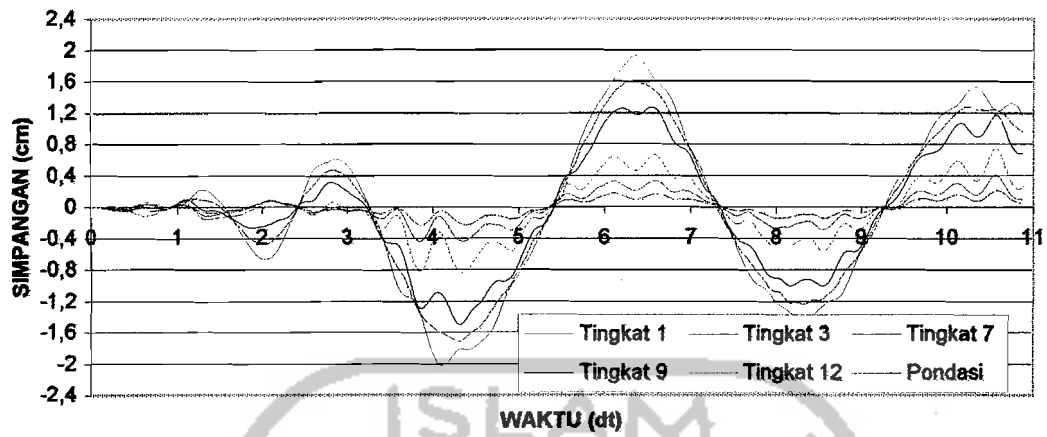
Gambar 5.4 Simpangan netto struktur 12 tk akibat gempa Bucharest
 $kh=2E+07$, $kr=4E+08$



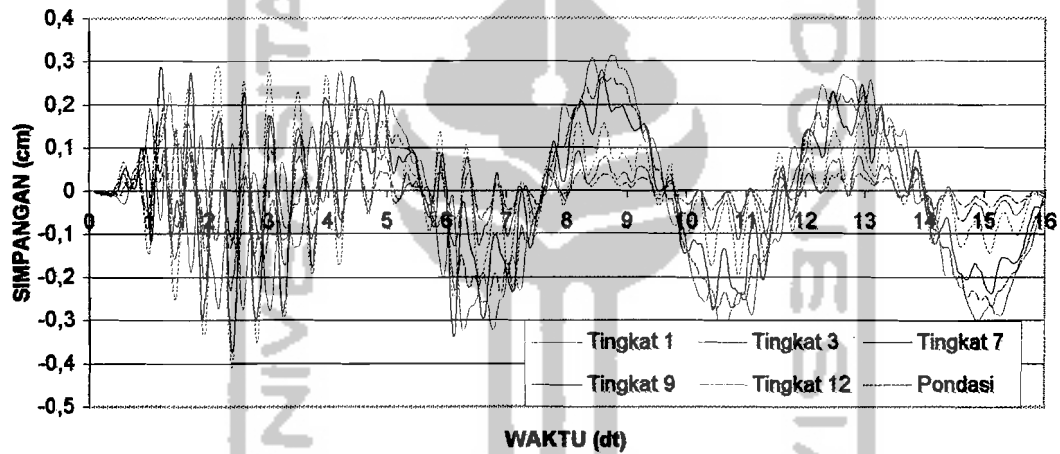
Gambar 5.5 Simpangan netto struktur 12 tk akibat gempa Elcentro
 $kh=2E+07$, $kr=4E+08$



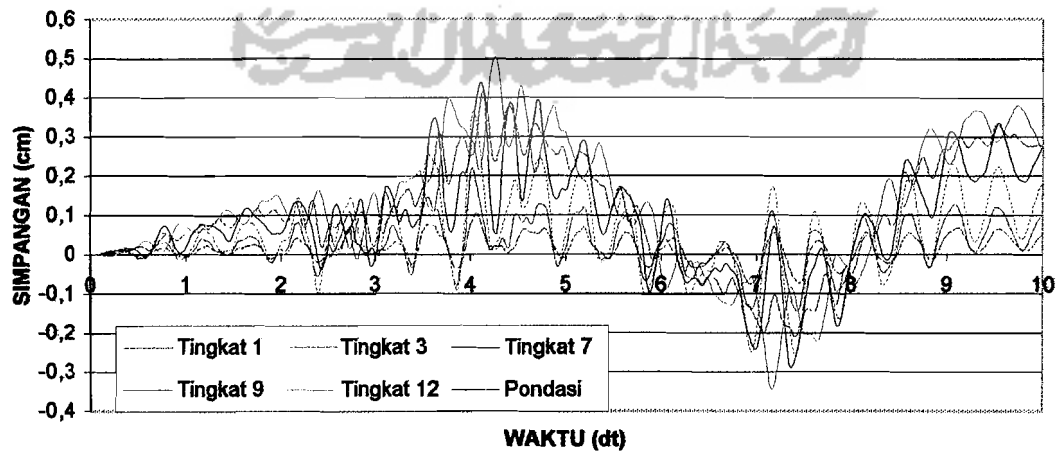
Gambar 5.6 Simpangan netto struktur 12 tk akibat gempa Koyna
 $kh=2E+07$, $kr=4E+08$



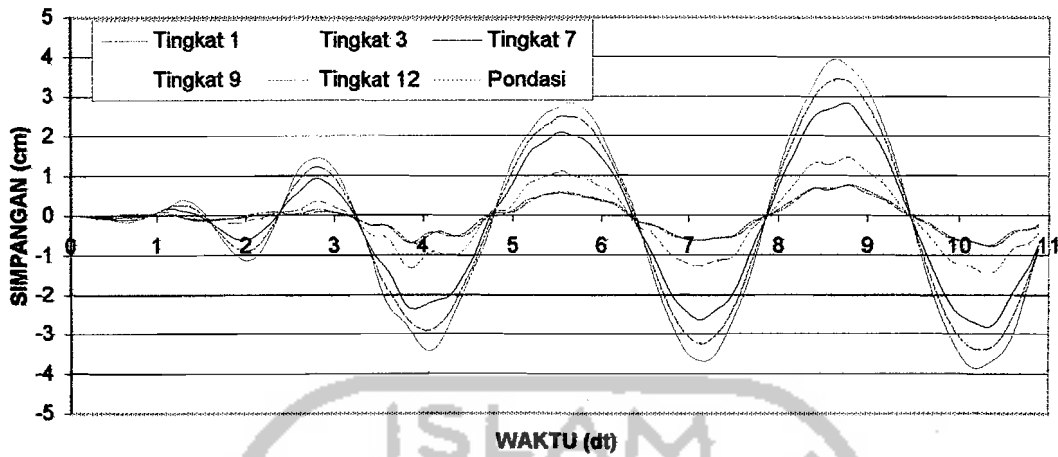
Gambar 5.7 Simpangan netto struktur 12 tk akibat gempa Bucharest
 $kh=2E+07$, $kr=2E+08$



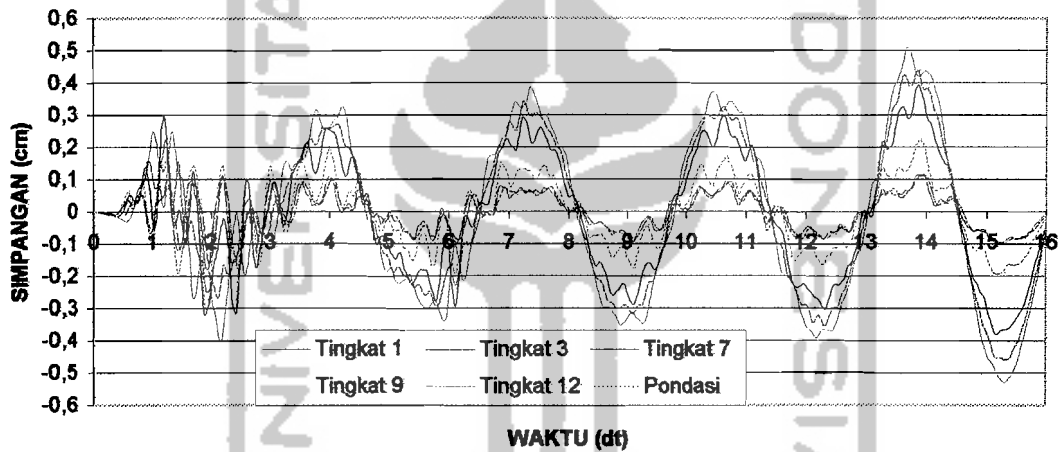
Gambar 5.8 Simpangan netto struktur 12 tk akibat gempa Elcentro
 $kh=2E+07$, $kr=2E+08$



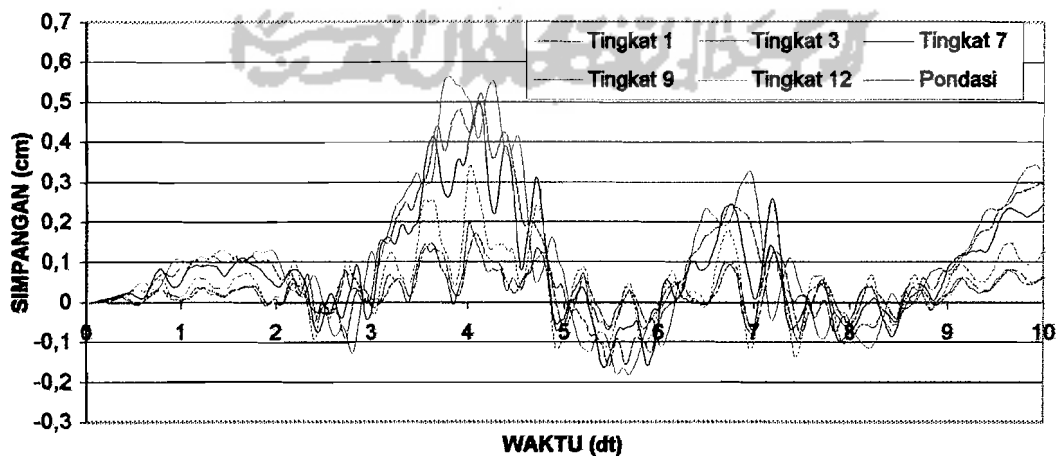
Gambar 5.9 Simpangan netto struktur 12 tk akibat gempa Koyna
 $kh=2E+07$, $kr=2E+08$



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

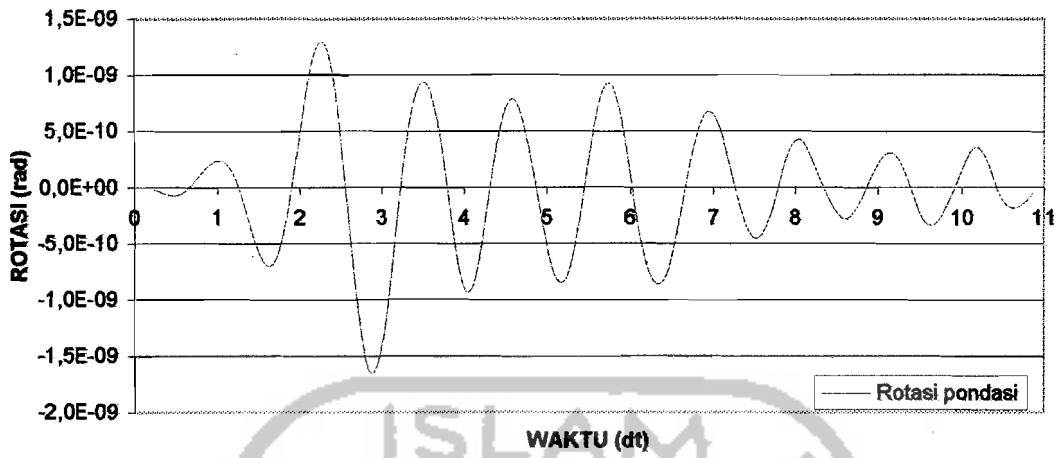


Gambar 5.12 Simpangan netto struktur 12 tk akibat gempa Koyna
 $kh=1E+07$, $kr=4E+08$

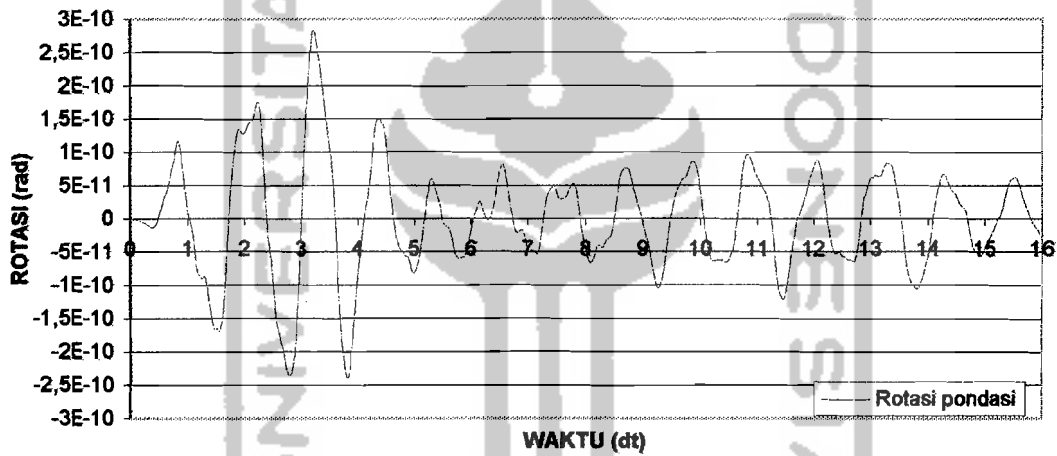
5.4.2 Perhitungan Rotasi Pondasi

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 :

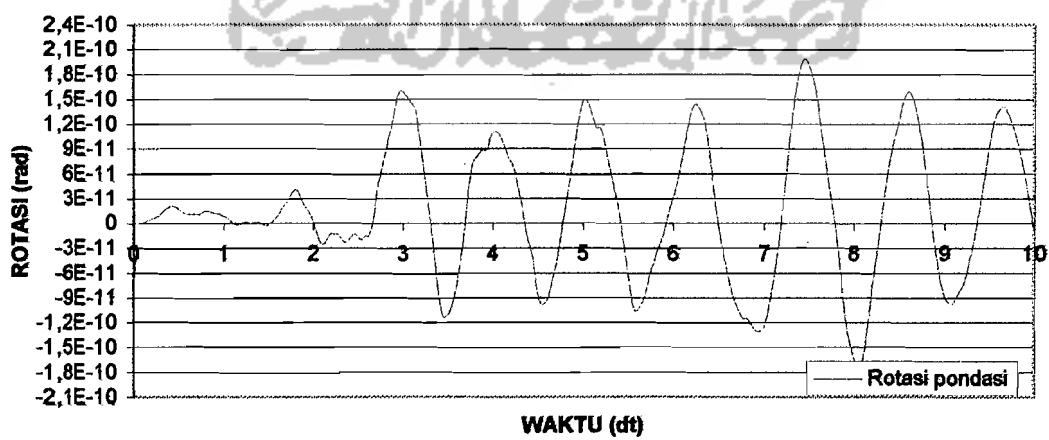




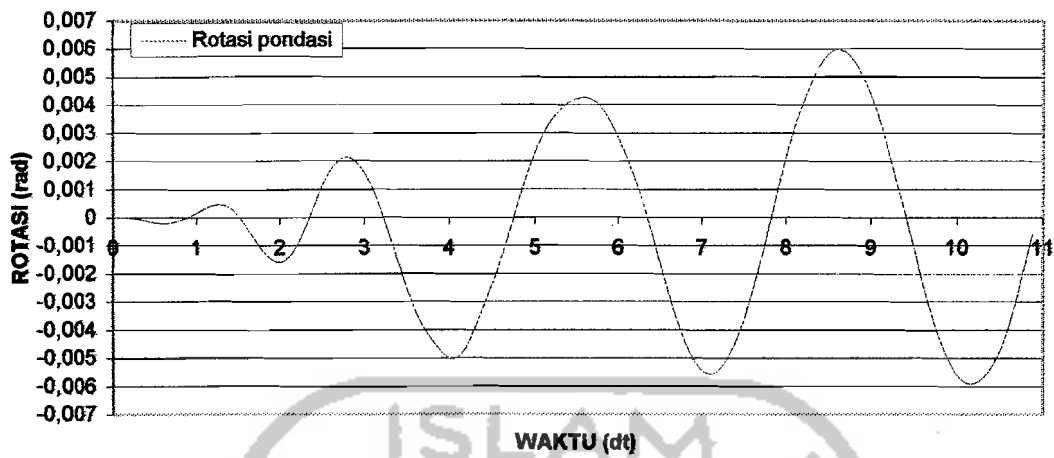
Gambar 5.13 Rotasi pondasi struktur 12 tk akibat gempa Bucharest
 $kh=2E+15$, $kr=4E+15$



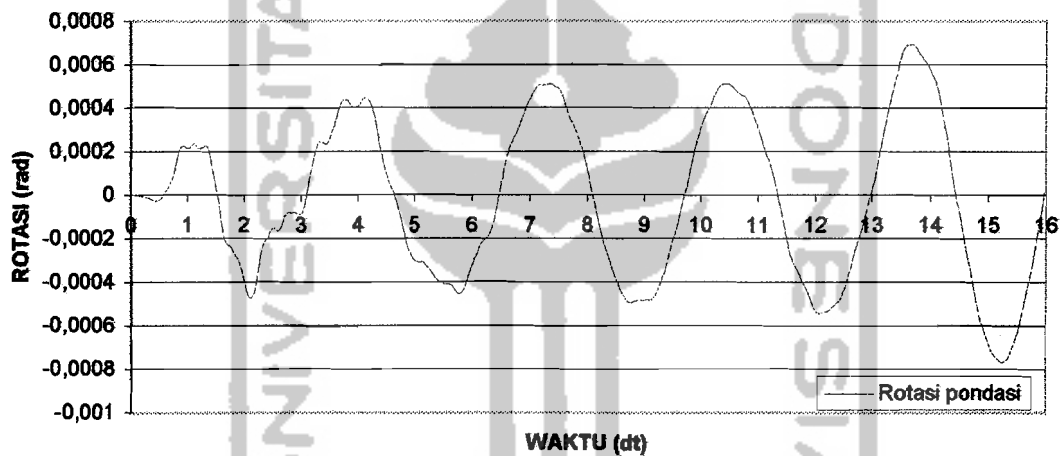
Gambar 5.14 Rotasi pondasi struktur 12 tk akibat gempa Elcentro
 $kh=2E+15$, $kr=4E+15$



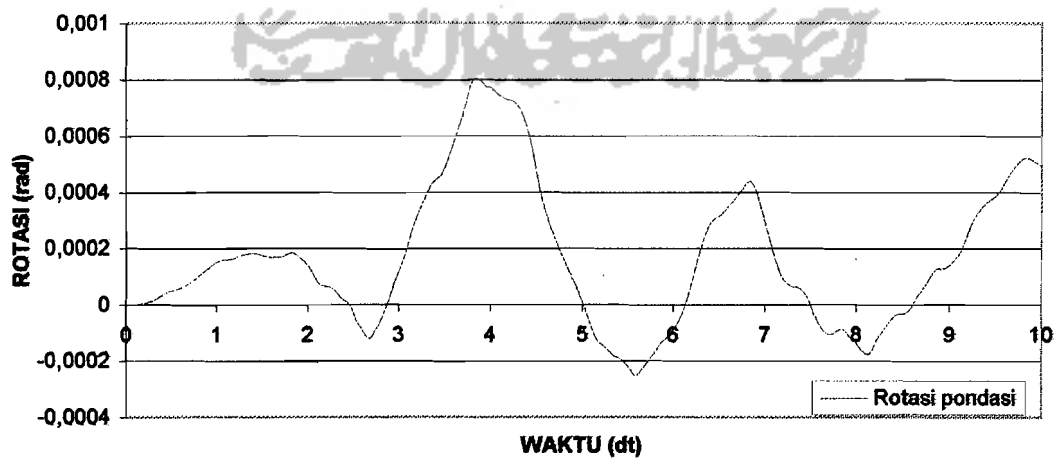
Gambar 5.15 Rotasi pondasi struktur 12 tk akibat gempa Koyna
 $kh=2E+15$, $kr=4E+15$



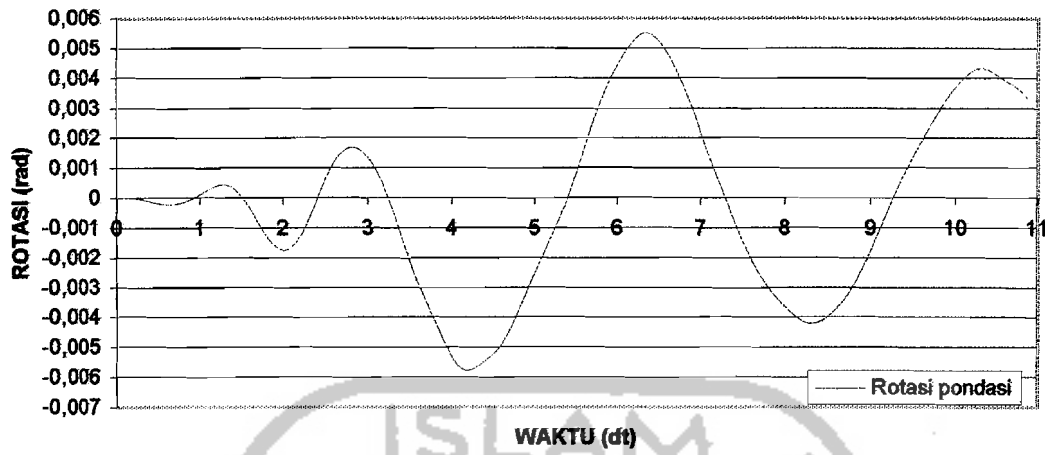
Gambar 5.16 Rotasi pondasi struktur 12 tk akibat gempa Bucharest
 $kh=2E+07$, $kr=4E+08$



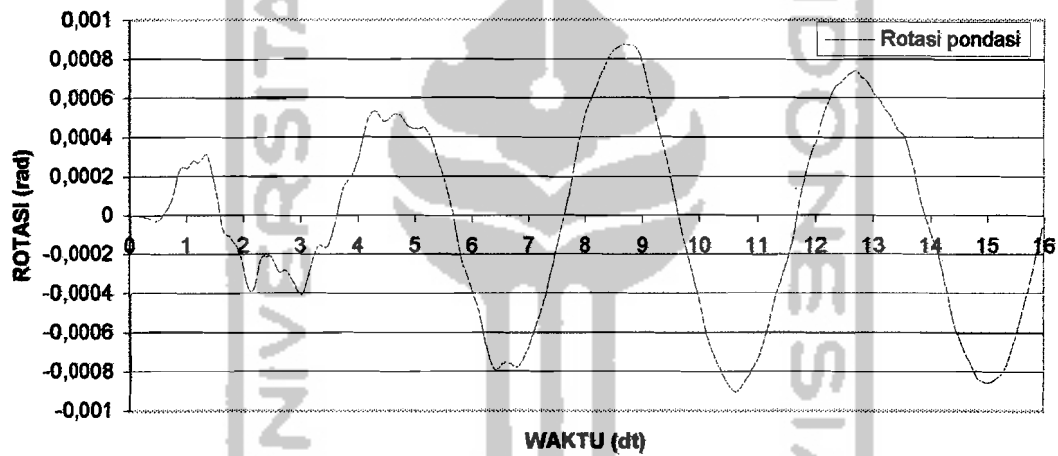
Gambar 5.17 Rotasi pondasi struktur 12 tk akibat gempa Elcentro
 $kh=2E+07$, $kr=4E+08$



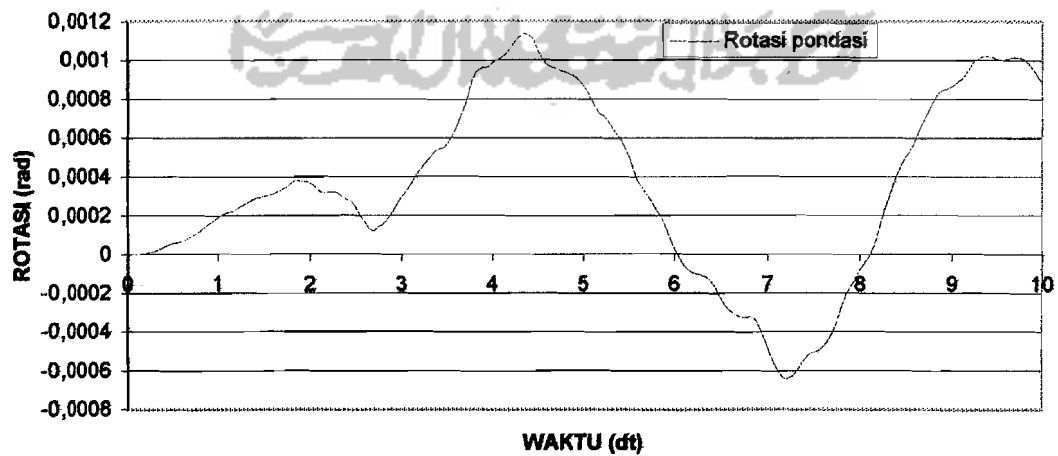
Gambar 5.18 Rotasi pondasi struktur 12 tk akibat gempa Koyna
 $kh=2E+07$, $kr=4E+08$



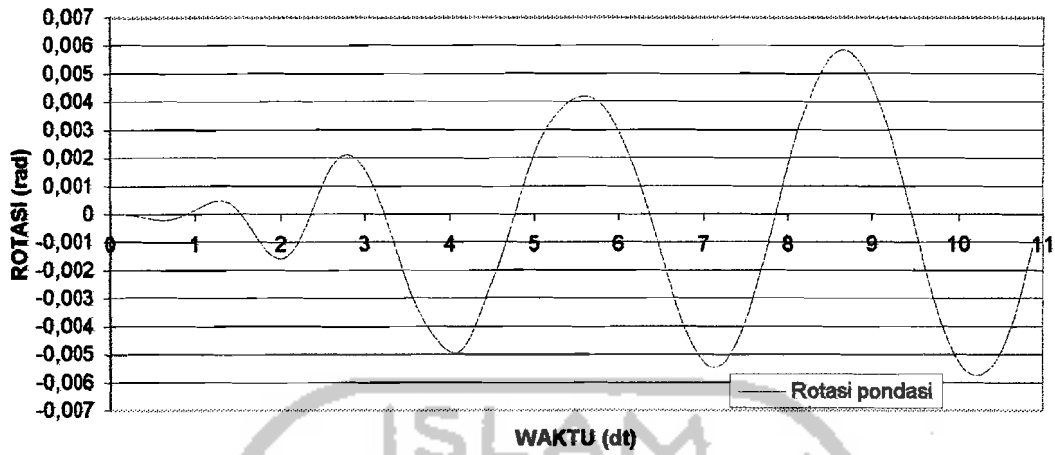
Gambar 5.19 Rotasi pondasi struktur 12 tk akibat gempa Bucharest
 $kh=2E+07$, $kr=2E+08$



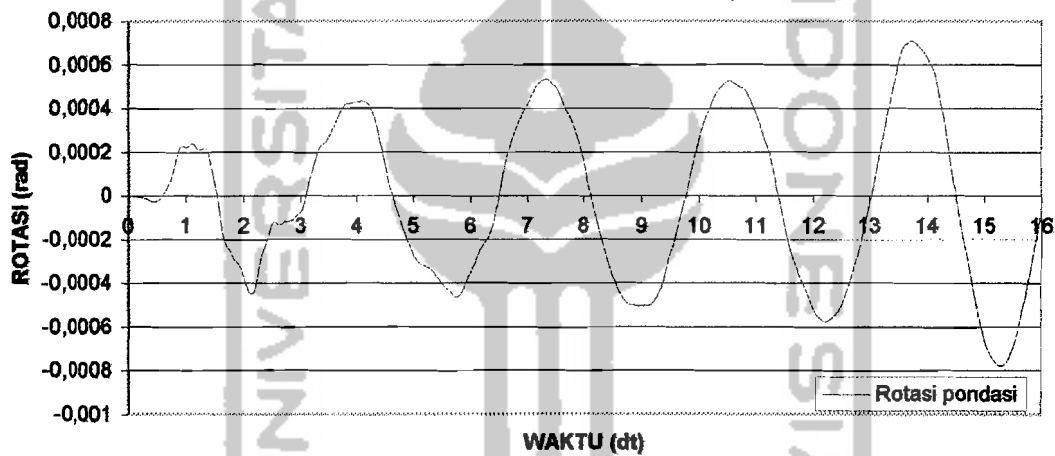
Gambar 5.20 Rotasi pondasi struktur 12 tk akibat gempa Elcentro
 $kh=2E+07$, $kr=2E+08$



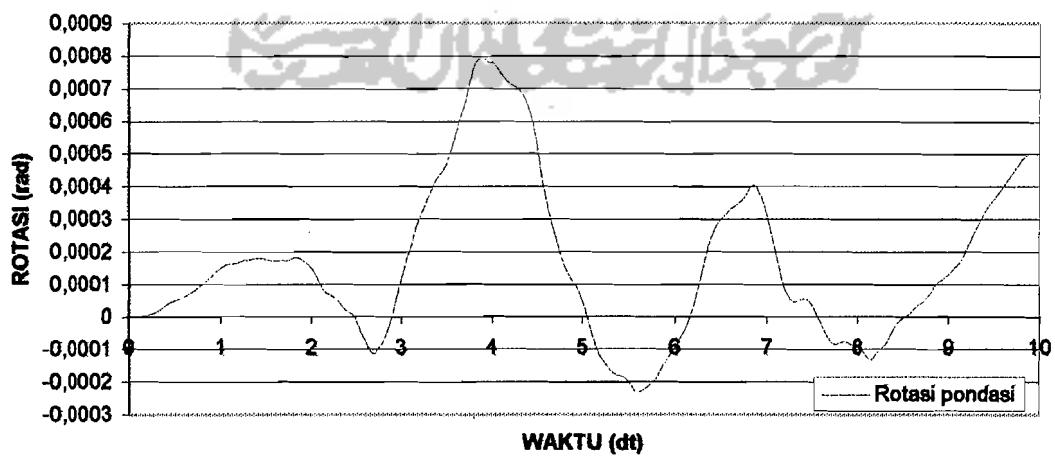
Gambar 5.21 Rotasi pondasi struktur 12 tk akibat gempa Koyna
 $kh=2E+07$, $kr=2E+08$



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

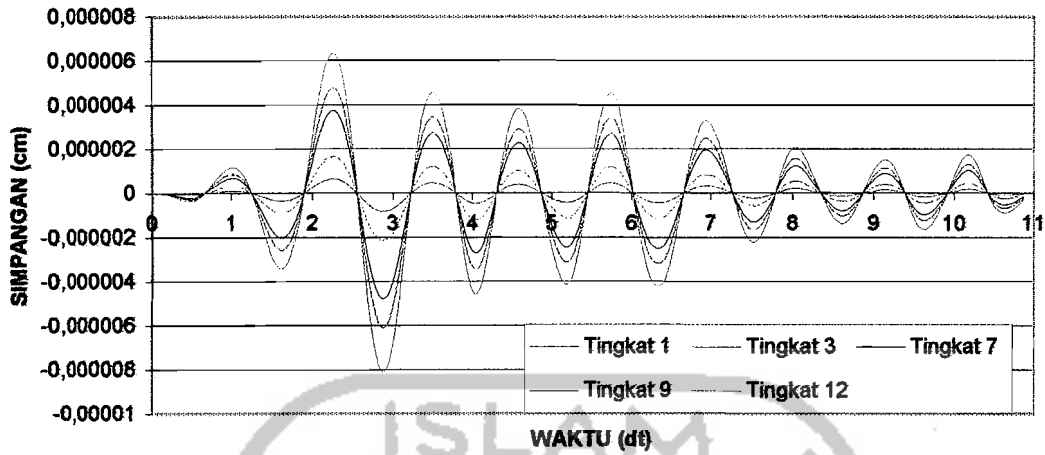


Gambar 5.24 Rotasi pondasi struktur 12 tk akibat gempa Koyna
 $kh=1E+07$, $kr=4E+08$

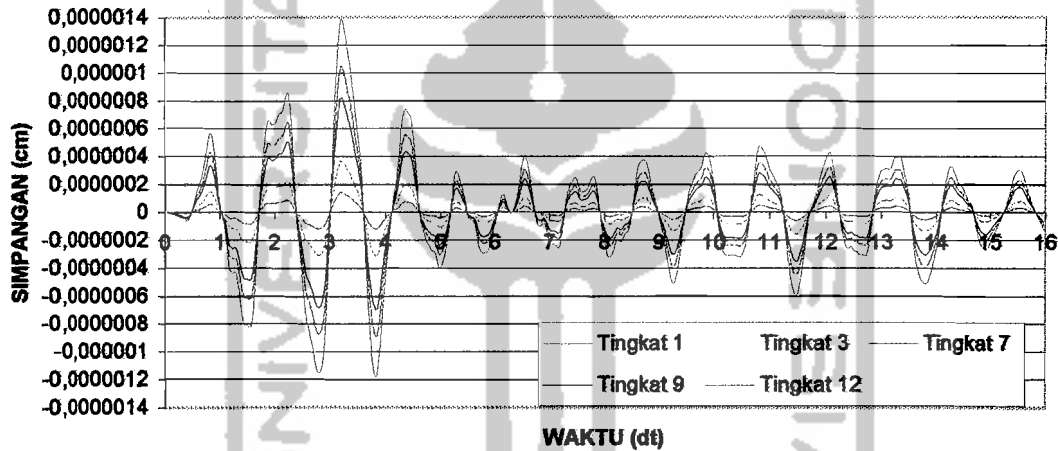
5.4.3 Perhitungan Simpangan Rotasi

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 :

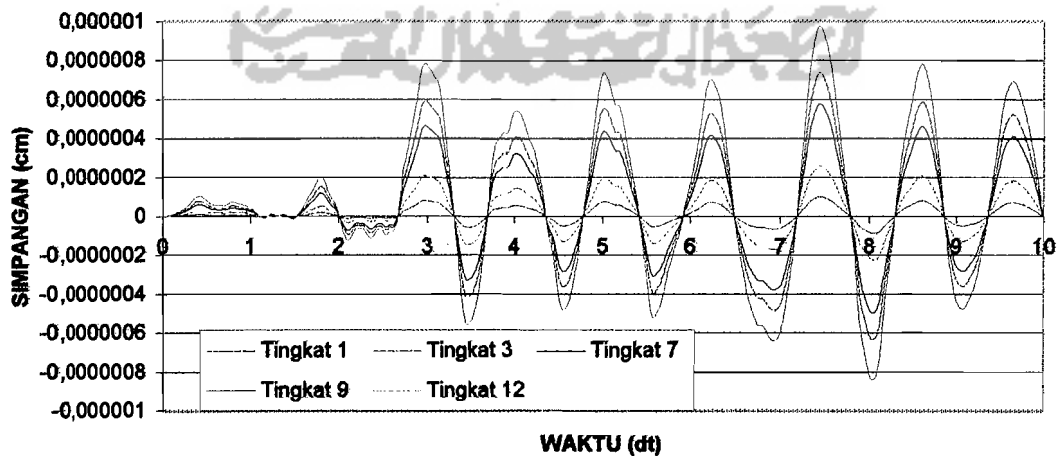




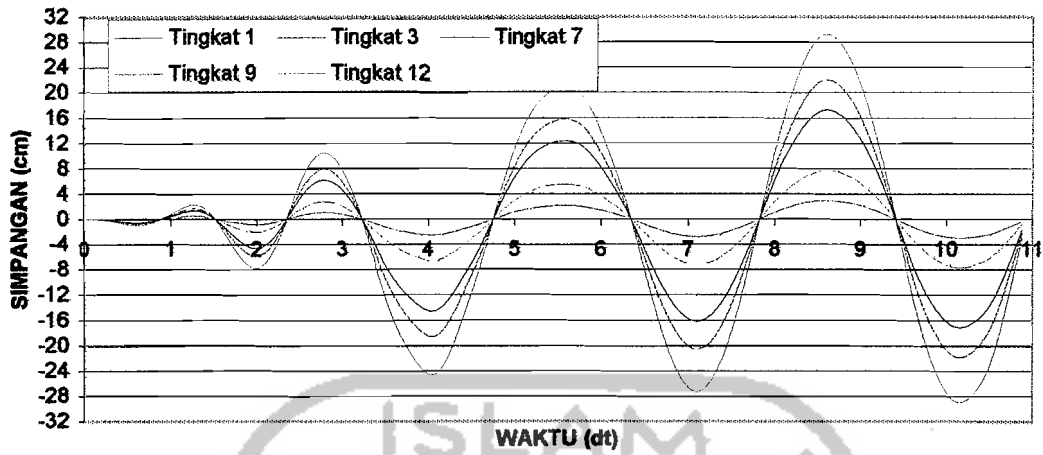
Gambar 5.25 Simpangan rotasi struktur 12 tk akibat gempa Bucharest
 $kh=2E+15$, $kr=4E+15$



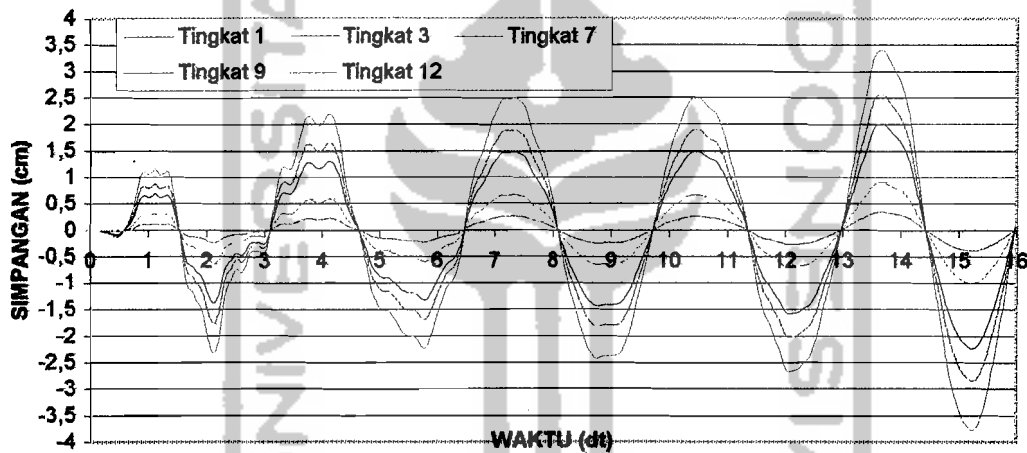
Gambar 5.26 Simpangan rotasi struktur 12 tk akibat gempa Elcentro
 $kh=2E+15$, $kr=4E+15$



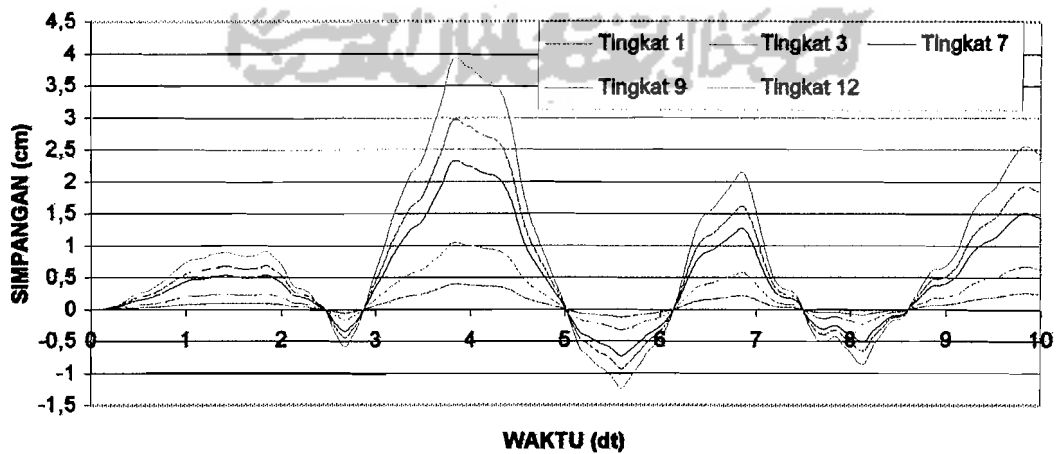
Gambar 5.27 Simpangan rotasi struktur 12 tk akibat gempa Koyna
 $kh=2E+15$, $kr=4E+15$



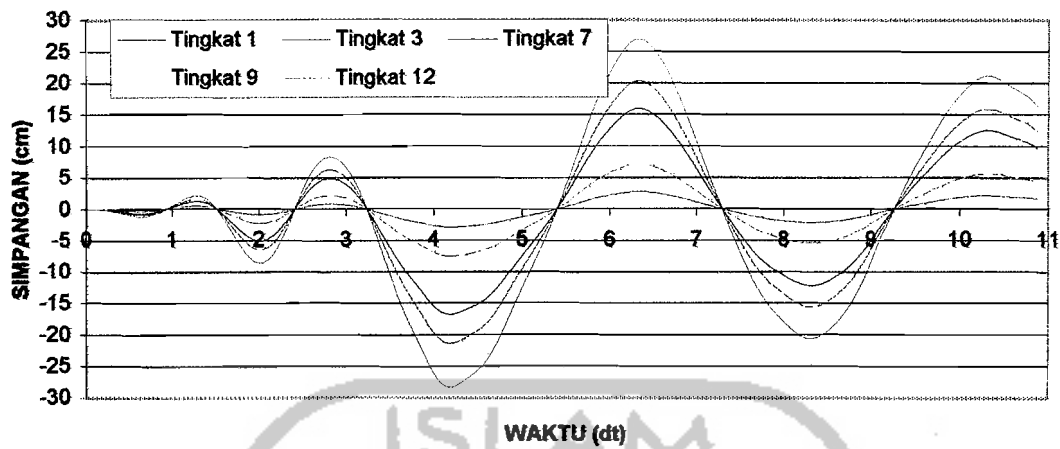
Gambar 5.28 Simpangan rotasi struktur 12 tk akibat gempa Bucharest
 $kh=2E+07$, $kr=4E+08$



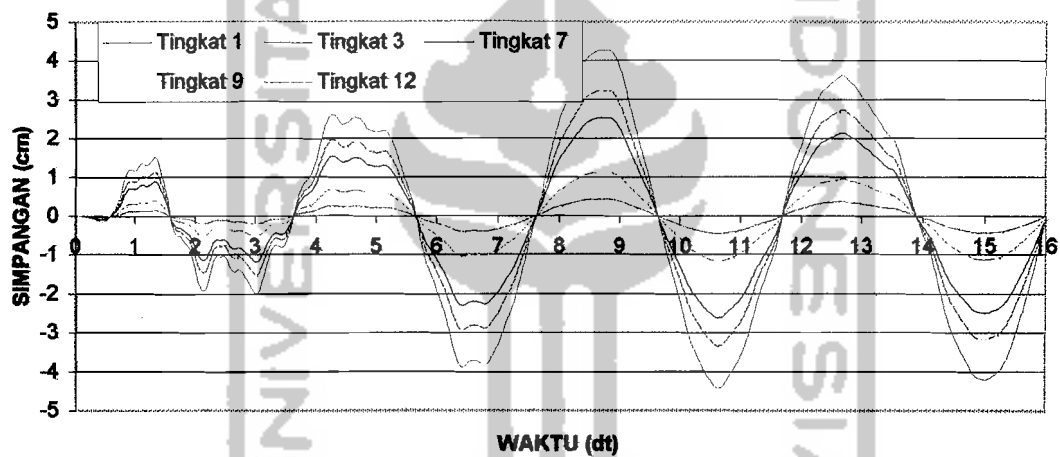
Gambar 5.29 Simpangan rotasi struktur 12 tk akibat gempa Elcentro
 $kh=2E+07$, $kr=4E+08$



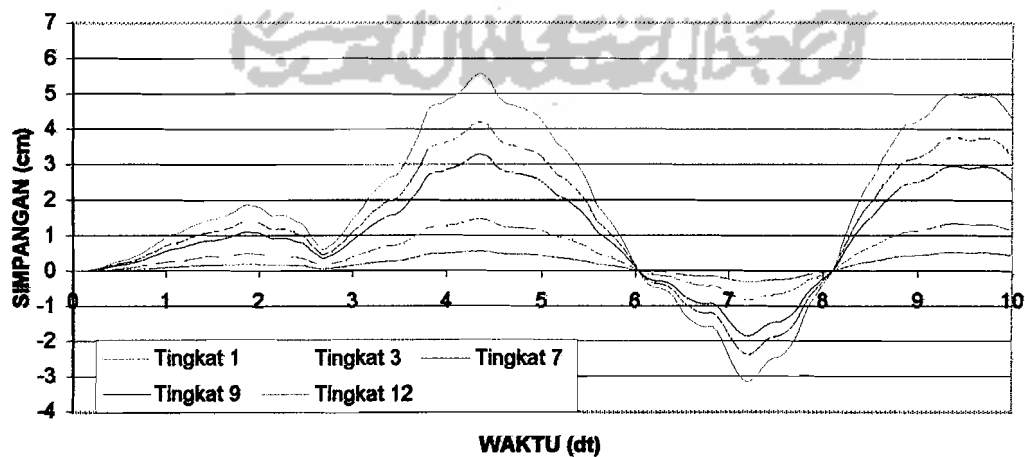
Gambar 5.30 Simpangan rotasi struktur 12 tk akibat gempa Koyna
 $kh=2E+07$, $kr=4E+08$



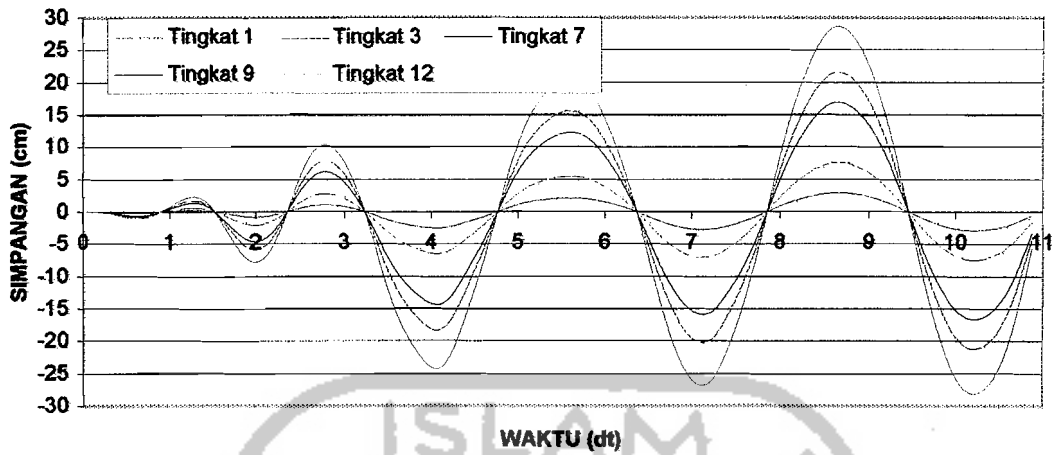
Gambar 5.31 Simpangan rotasi struktur 12 tk akibat gempa Bucharest
 $kh=2E+07$, $kr=2E+08$



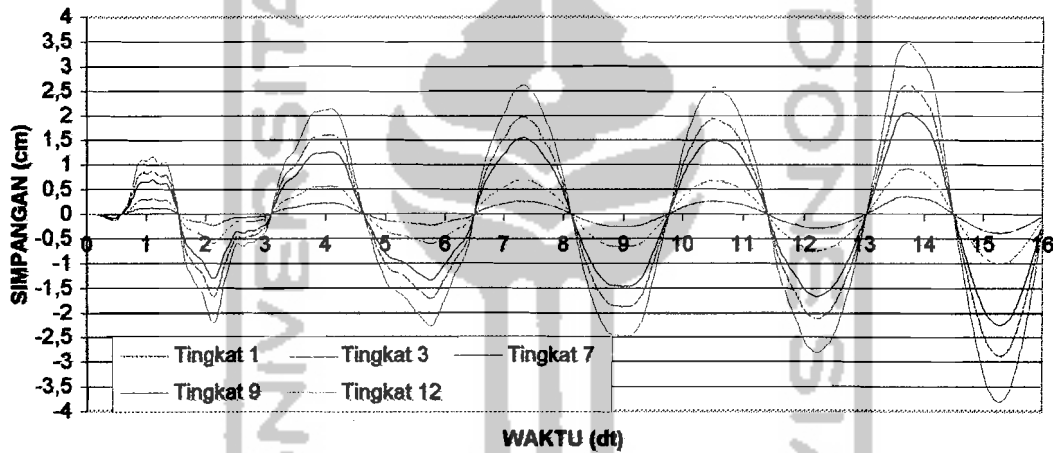
Gambar 5.32 Simpangan rotasi struktur 12 tk akibat gempa Elcentro
 $kh=2E+07$, $kr=2E+08$



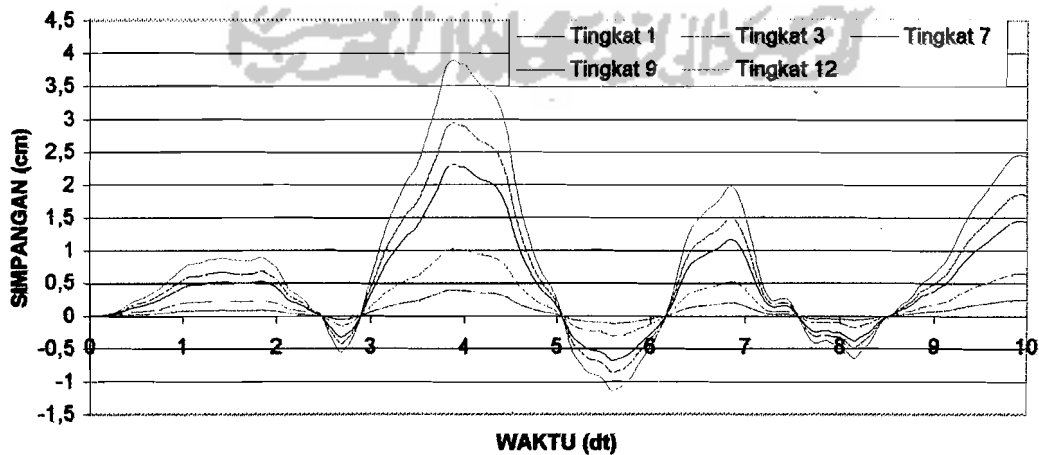
Gambar 5.33 Simpangan rotasi struktur 12 tk akibat gempa Koyna
 $kh=2E+07$, $kr=2E+08$



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

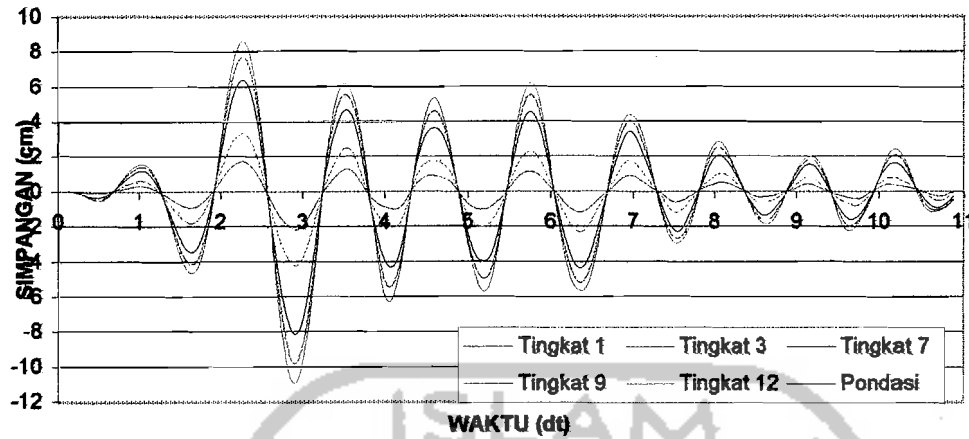


Gambar 5.36 Simpangan rotasi struktur 12 tk akibat gempa Koyna
 $kh=1E+07$, $kr=4E+08$

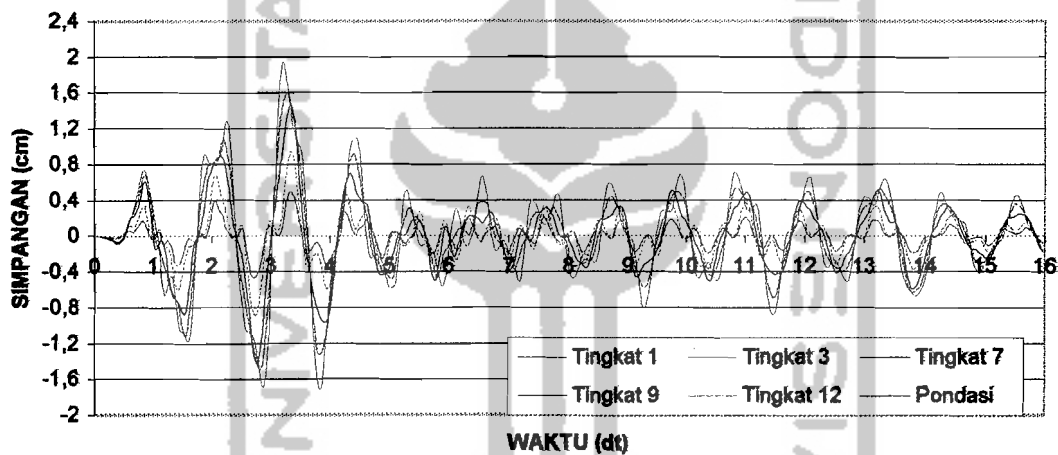
5.4.4 Perhitungan Simpangan Total

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 :

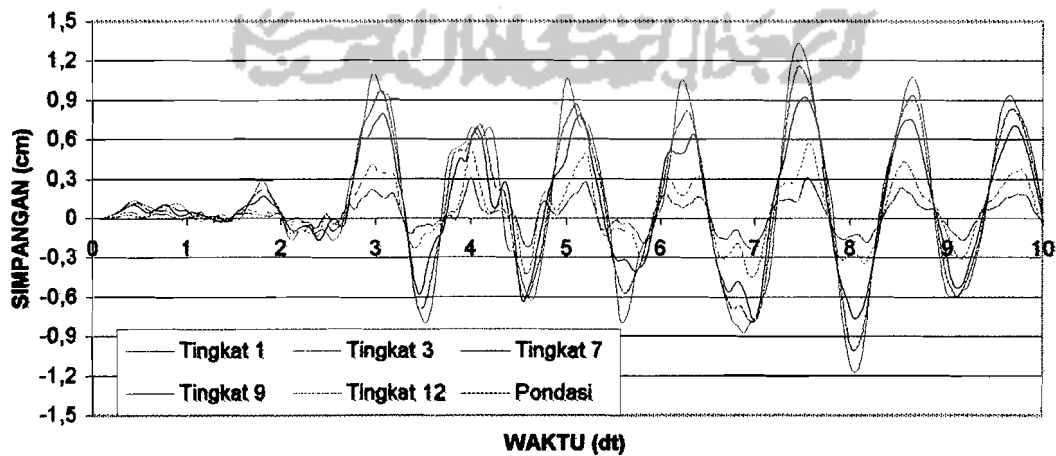




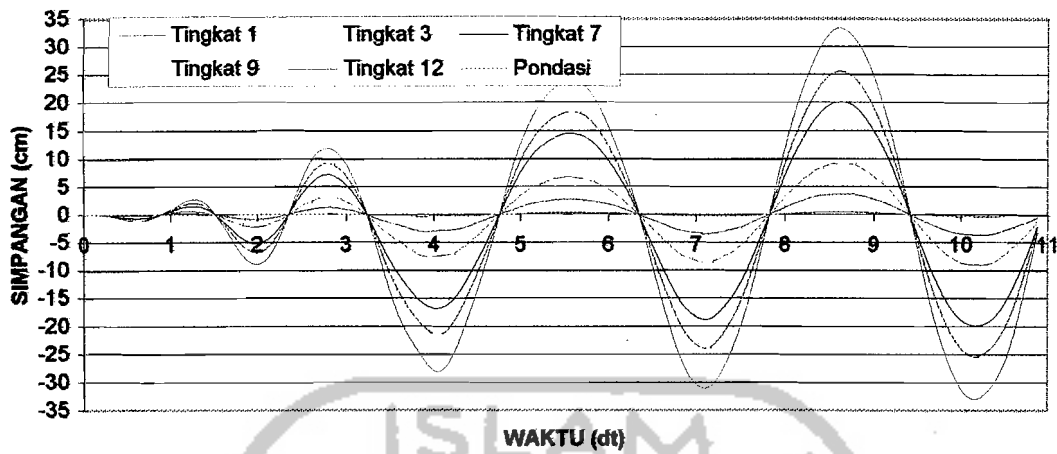
Gambar 5.37 Simpangan total struktur 12 tk akibat gempa Bucharest
 $kh=2E+15$, $kr=4E+15$



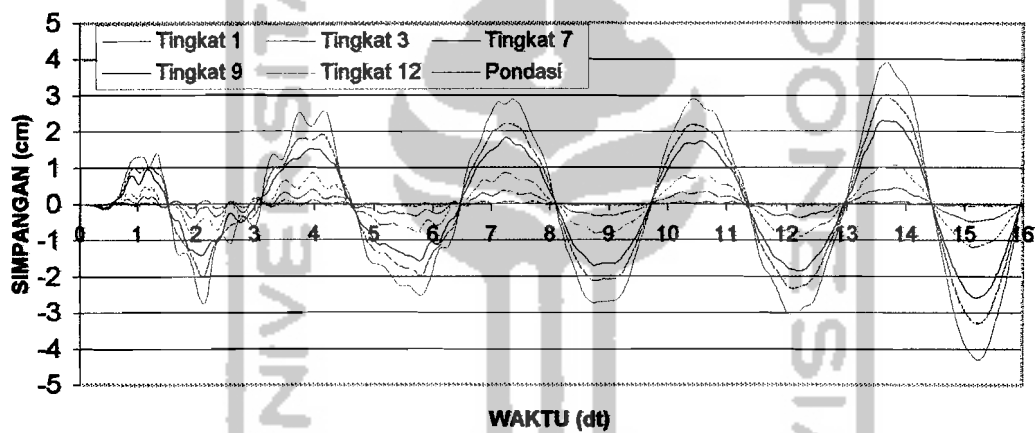
Gambar 5.38 Simpangan total struktur 12 tk akibat gempa Elcentro
 $kh=2E+15$, $kr=4E+15$



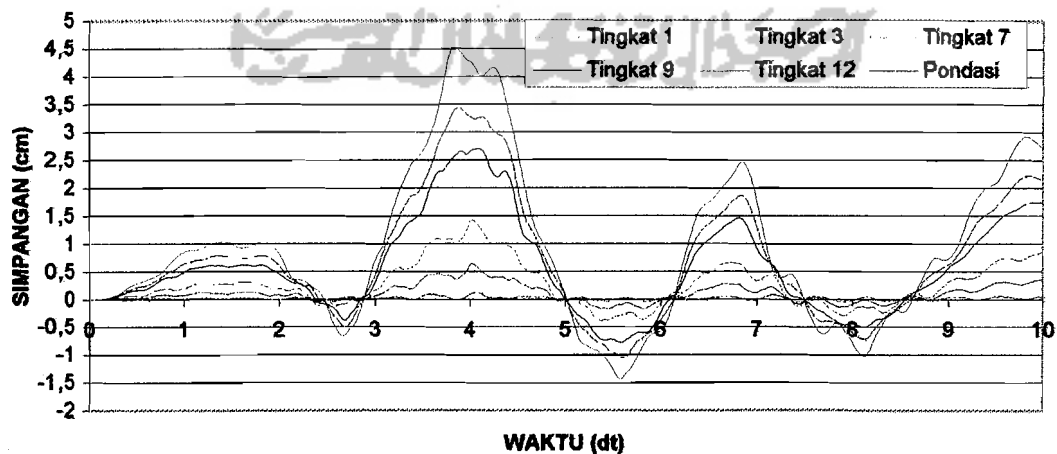
Gambar 5.39 Simpangan total struktur 12 tk akibat gempa Koyna
 $kh=2E+15$, $kr=4E+15$



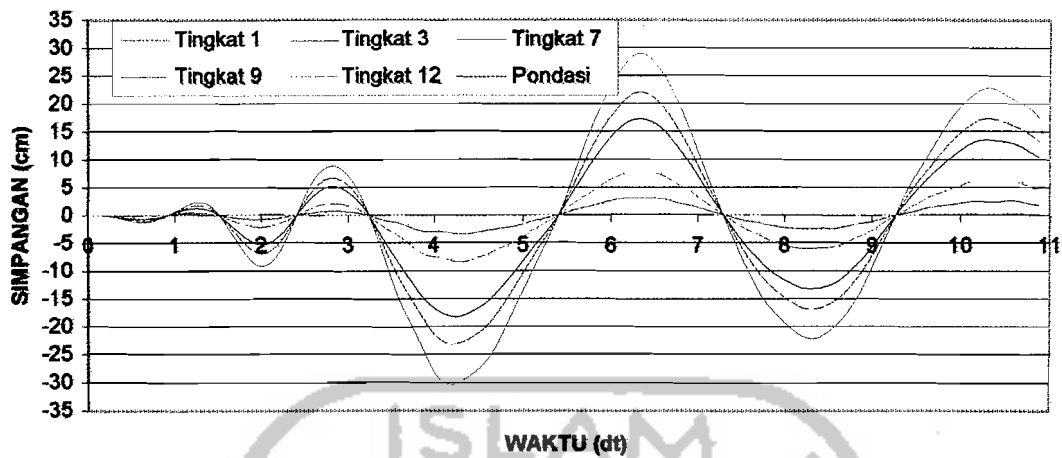
Gambar 5.40 Simpangan total struktur 12 tk akibat gempa Bucharest
 $kh=2E+07$, $kr=4E+08$



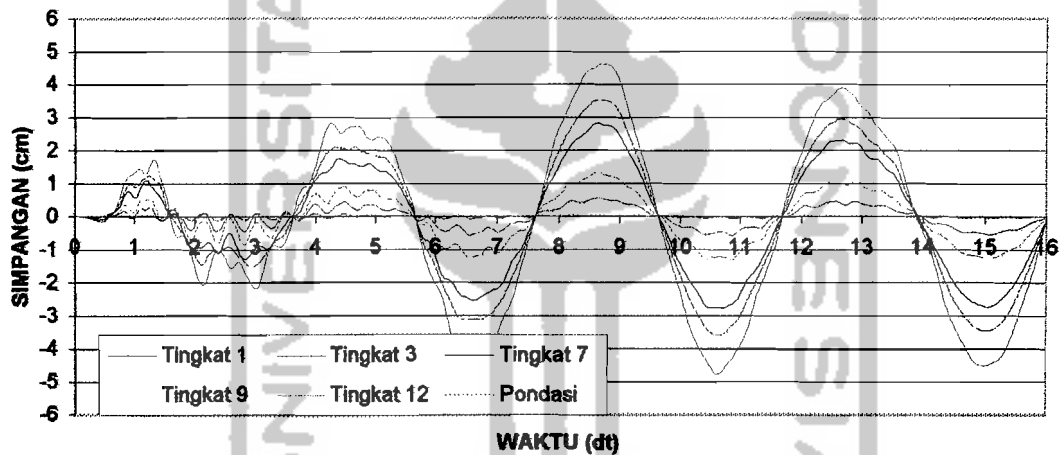
Gambar 5.41 Simpangan total struktur 12 tk akibat gempa Elcentro
 $kh=2E+07$, $kr=4E+08$



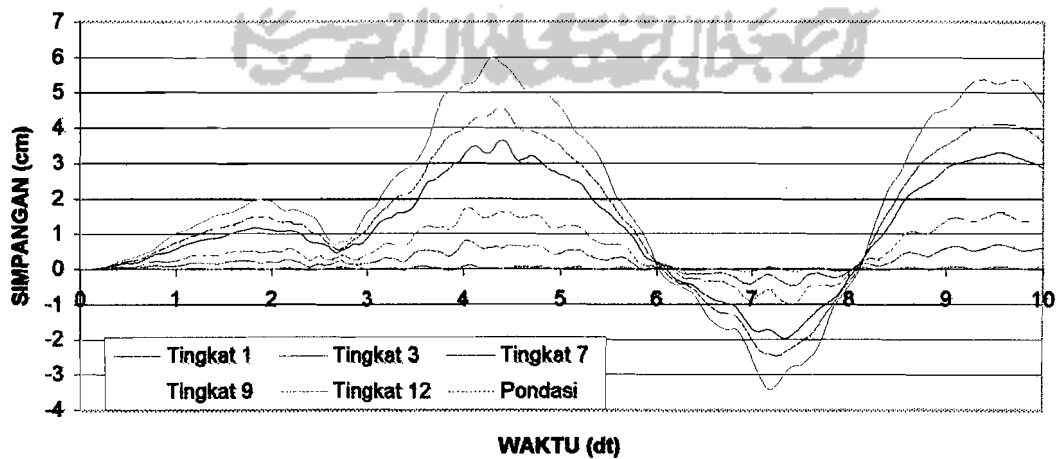
Gambar 5.42 Simpangan total struktur 12 tk akibat gempa Koyna
 $kh=2E+07$, $kr=4E+08$



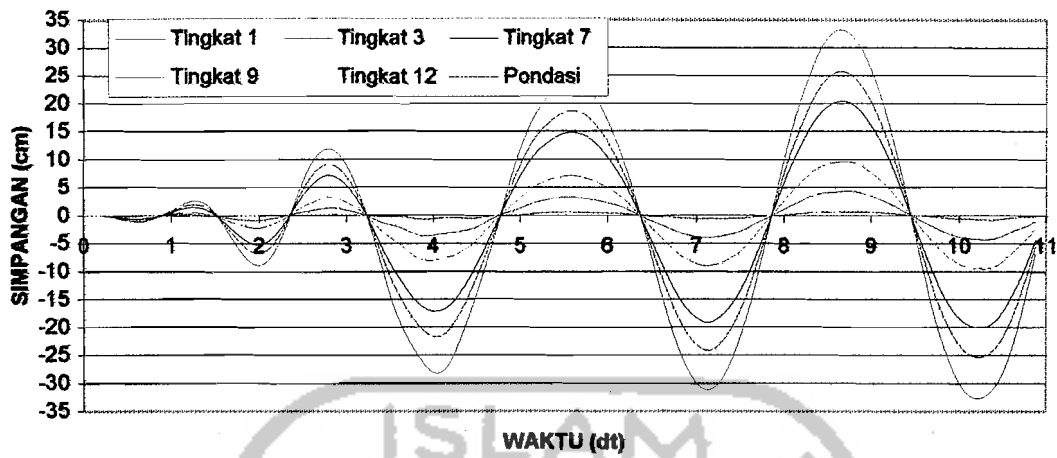
Gambar 5.43 Simpangan total struktur 12 tk akibat gempa Bucharest
 $kh=2E+07$, $kr=2E+08$



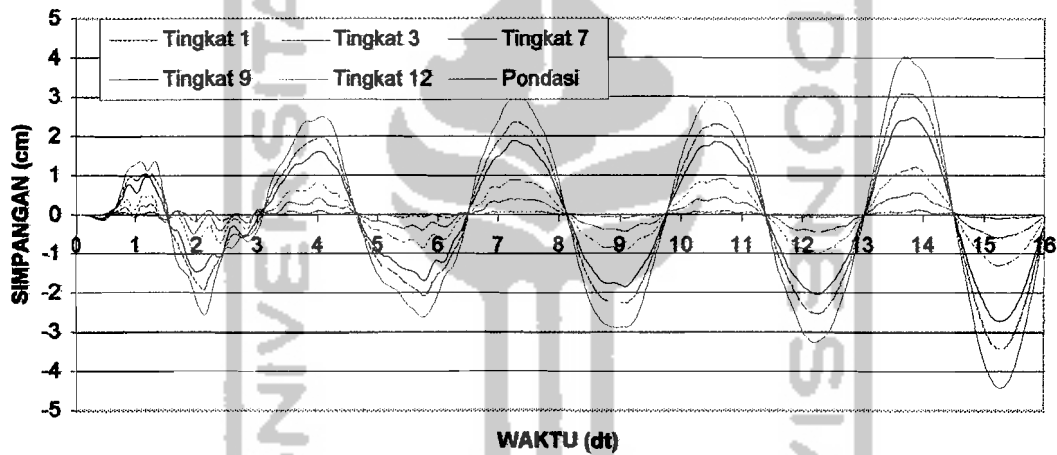
Gambar 5.44 Simpangan total struktur 12 tk akibat gempa Elcentro
 $kh=2E+07$, $kr=2E+08$



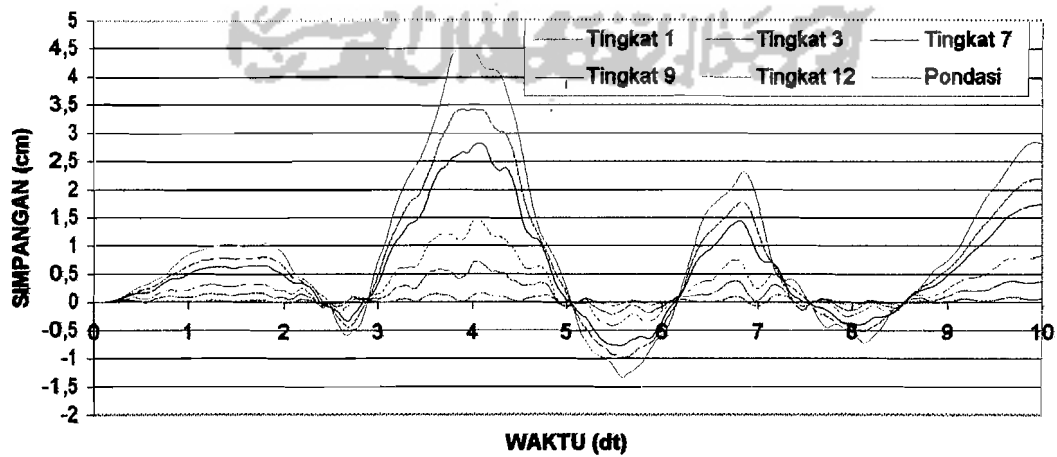
Gambar 5.45 Simpangan total struktur 12 tk akibat gempa Koyna
 $kh=2E+07$, $kr=2E+08$



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

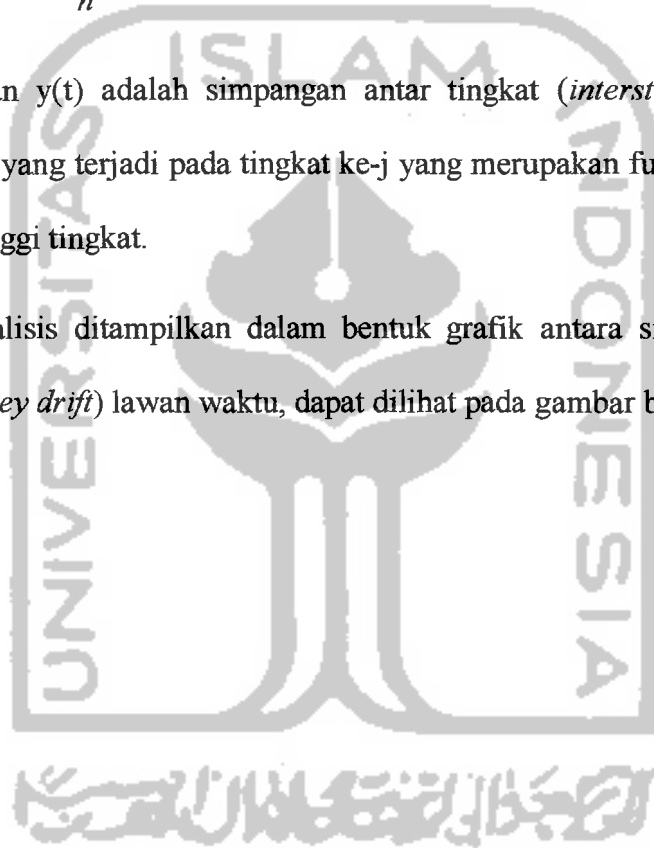
5.4.5 Perhitungan Simpangan Antar Tingkat (*Interstorey Drift*)

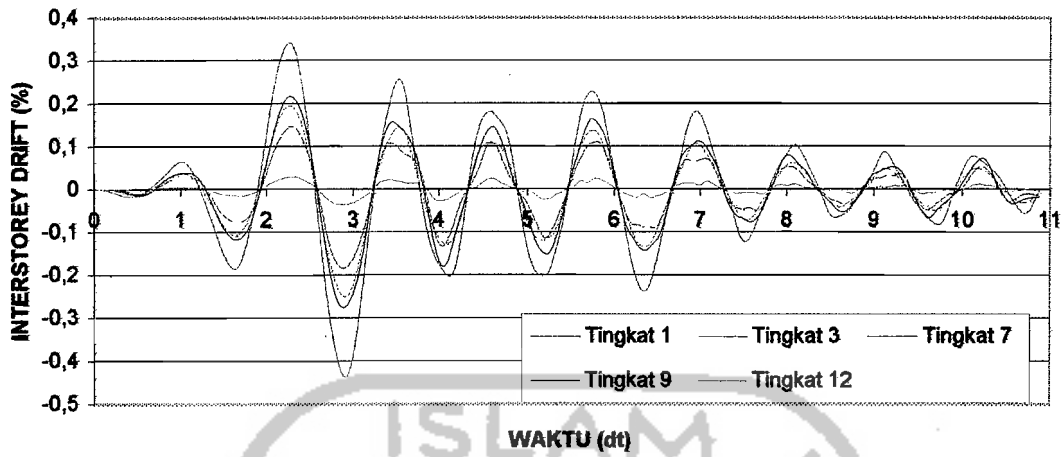
Simpangan antar tingkat adalah selisih simpangan netto suatu tingkat dengan simpangan netto tingkat dibawahnya yang dibagi tinggi tingkat, pada waktu yang bersamaan. Besarnya nilai simpangan antar tingkat dihitung dengan :

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

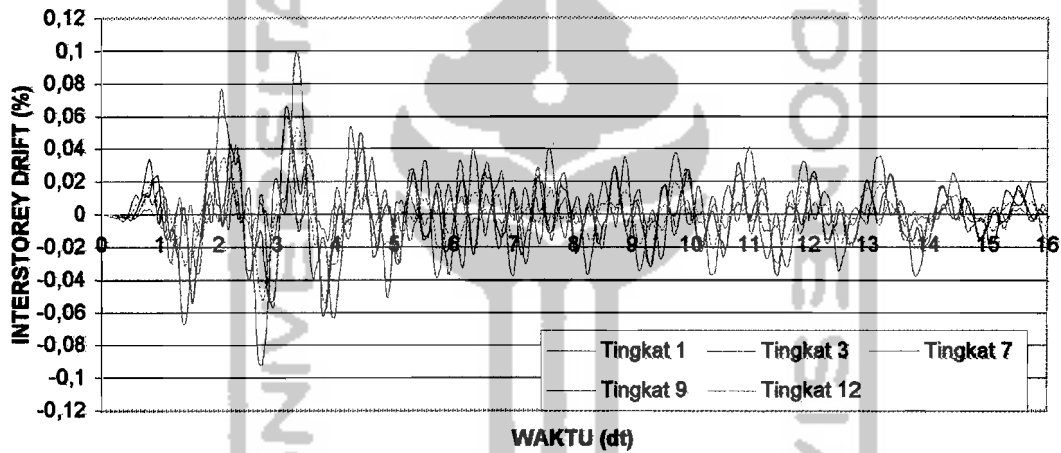
dimana $yy(t)$ dan $y(t)$ adalah simpangan antar tingkat (*interstorey drift*) dan simpangan netto yang terjadi pada tingkat ke-j yang merupakan fungsi dari waktu serta h adalah tinggi tingkat.

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

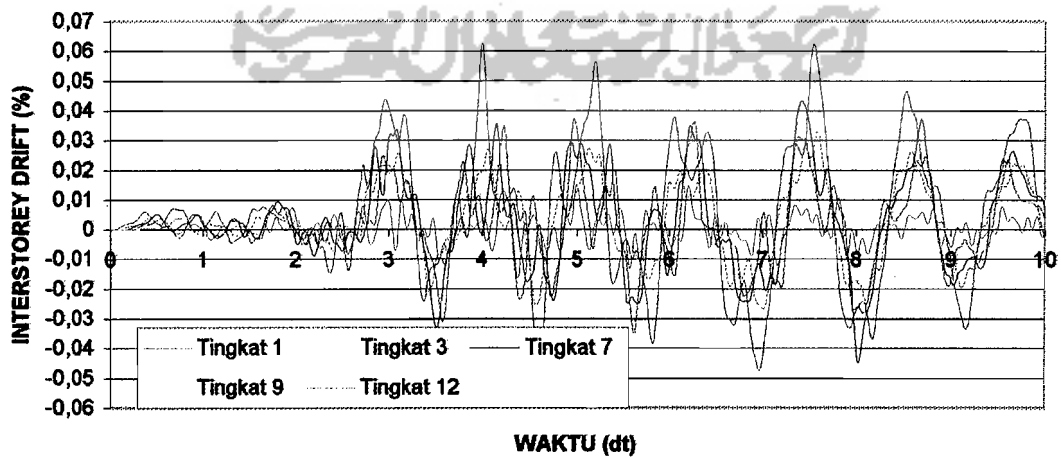




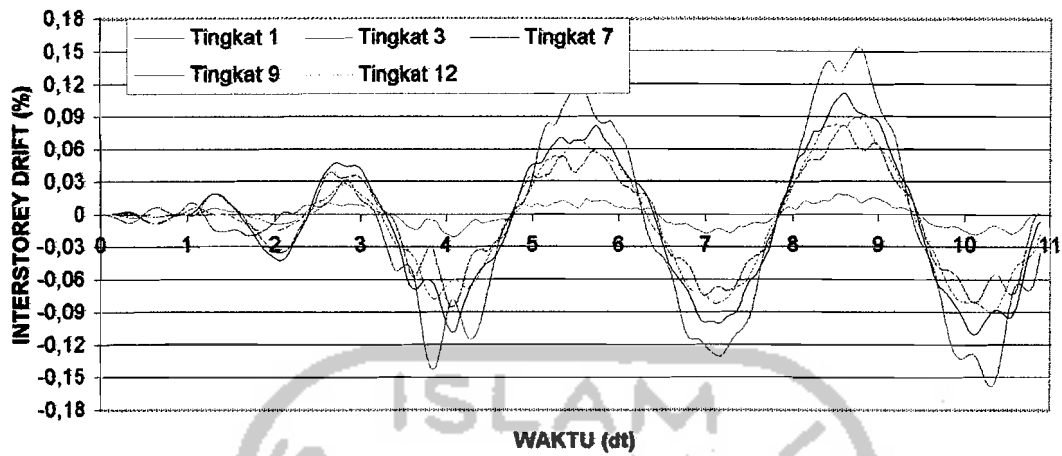
Gambar 5.49 Interstorey drift struktur 12 tk akibat gempa Bucharest
 $kh=2E+15$, $kr=4E+15$



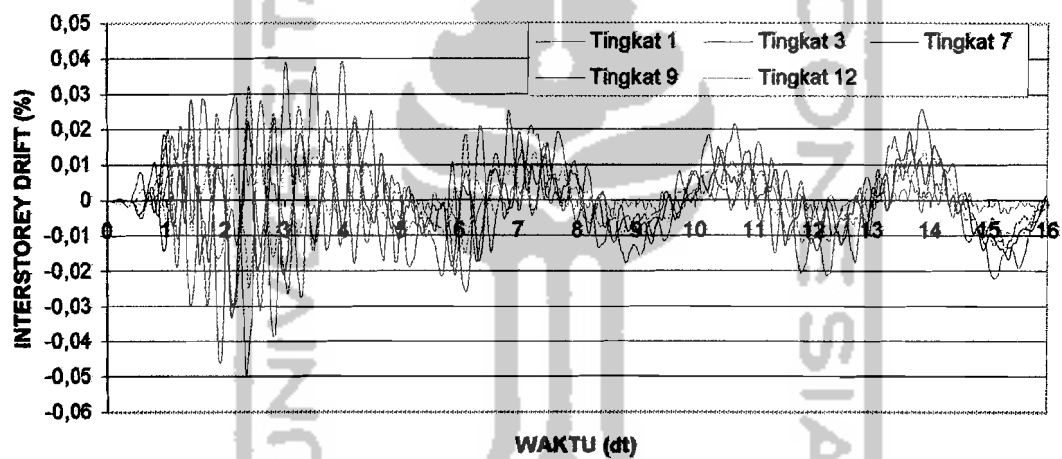
Gambar 5.50 Interstorey drift struktur 12 tk akibat gempa Elcentro
 $kh=2E+15$, $kr=4E+15$



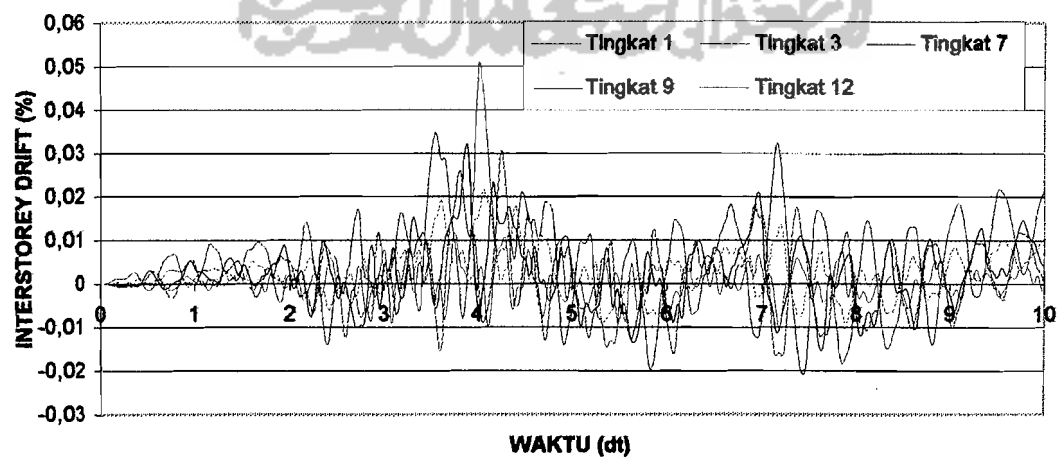
Gambar 5.51 Interstorey drift struktur 12 tk akibat gempa Koyna
 $kh=2E+15$, $kr=4E+15$



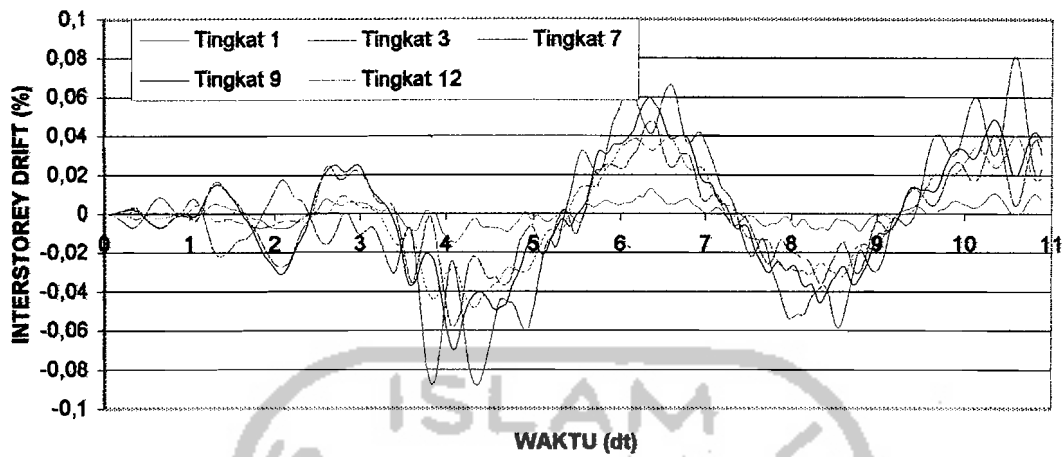
Gambar 5.52 Interstorey drift struktur 12 tk akibat gempa Bucharest
 $kh=2E+07$, $kr=4E+08$



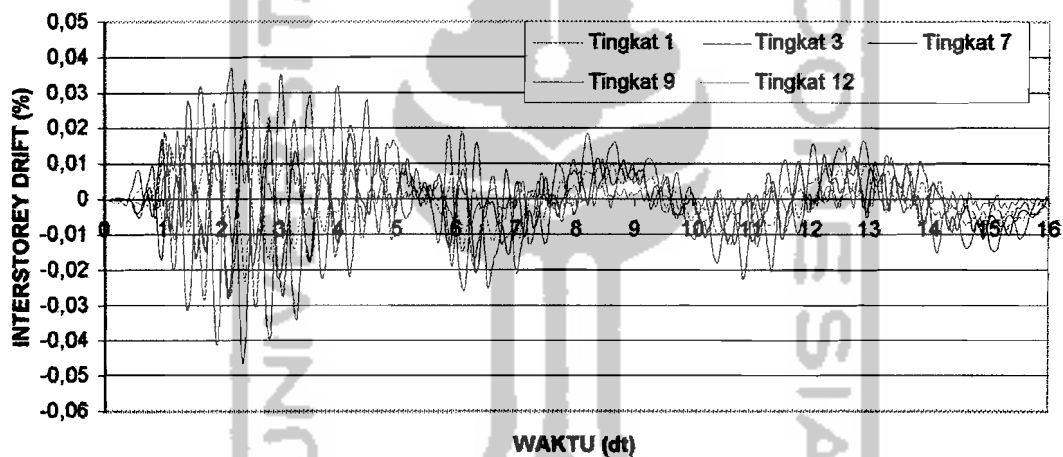
Gambar 5.53 Interstorey drift struktur 12 tk akibat gempa Elcentro
 $kh=2E+07$, $kr=4E+08$



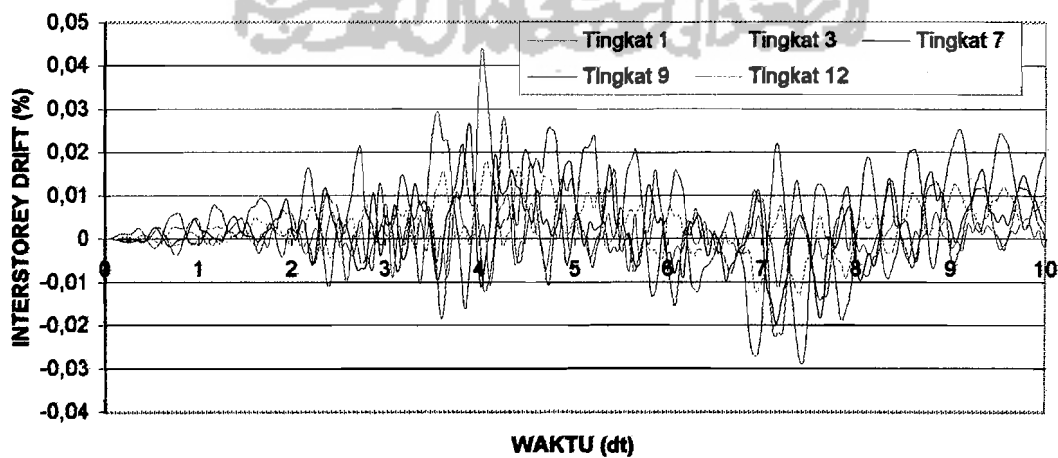
Gambar 5.54 Interstorey drift struktur 12 tk akibat gempa Koyna
 $kh=2E+07$, $kr=4E+08$



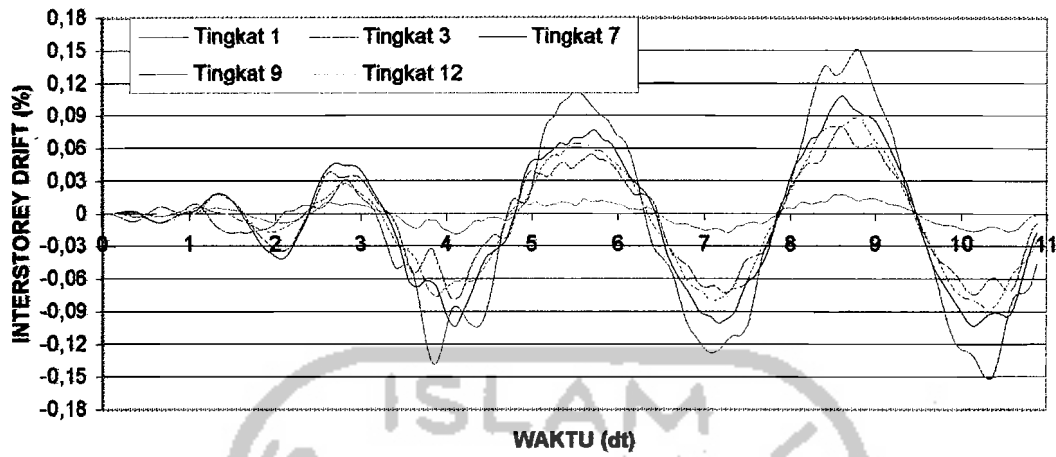
Gambar 5.55 Interstorey drift struktur 12 tk akibat gempa Bucharest
 $kh=2E+07$, $kr=2E+08$



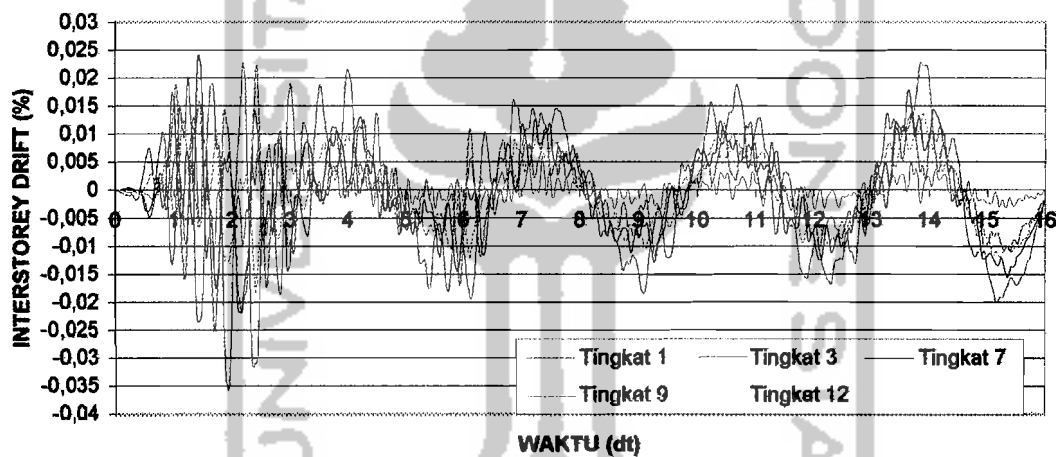
Gambar 5.56 Interstorey drift struktur 12 tk akibat gempa Elcentro
 $kh=2E+07$, $kr=2E+08$



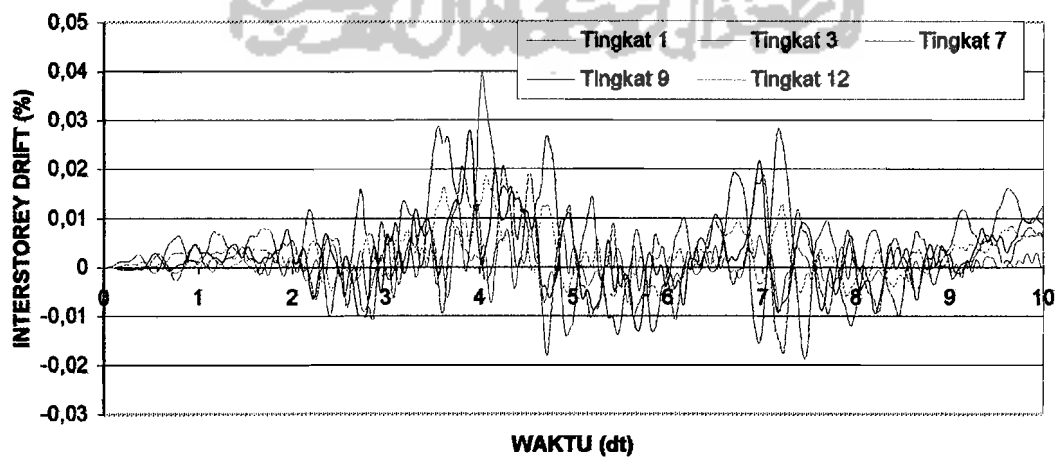
Gambar 5.57 Interstorey drift struktur 12 tk akibat gempa Koyna
 $kh=2E+07$, $kr=2E+08$



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 Horisontal Tingkat

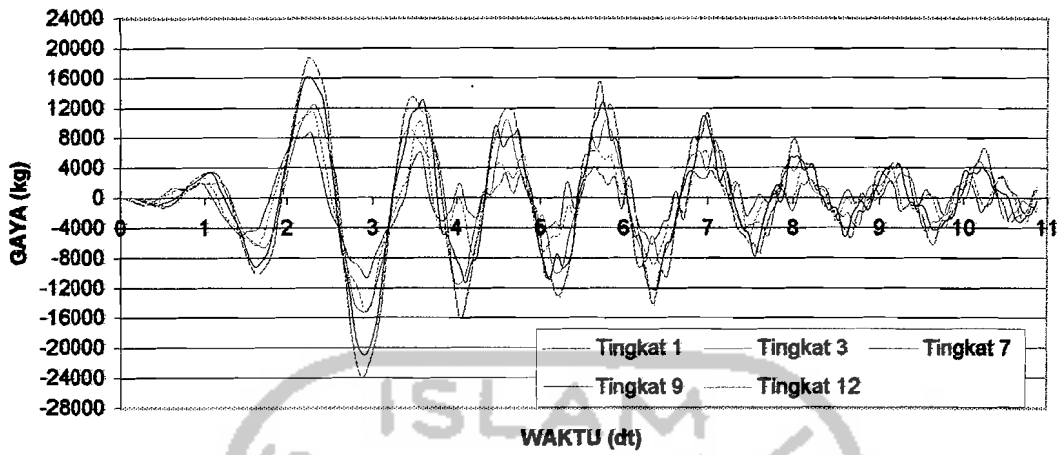
Gaya horisontal tingkat dihitung dengan mengalikan simpangan netto dan kekakuan struktur. Besarnya nilai gaya horisontal tingkat dihitung dengan :

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

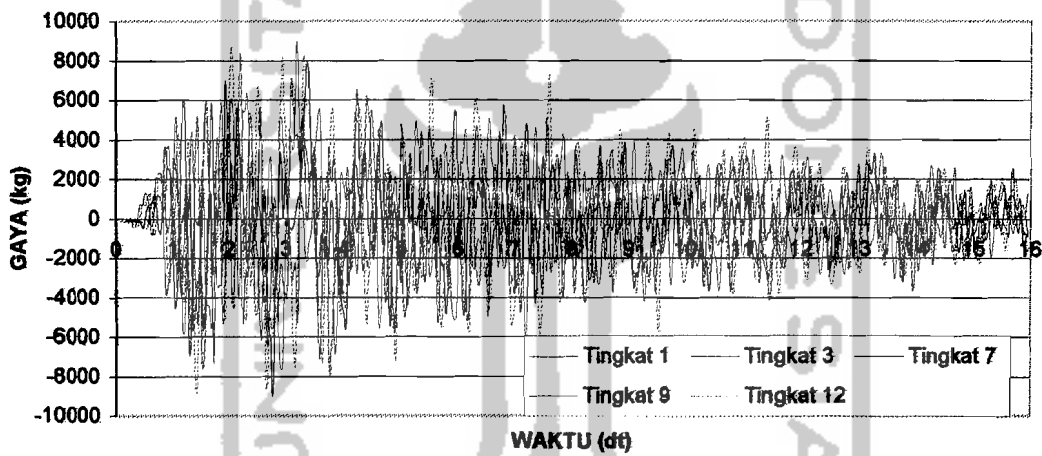
dimana, F, y, dan k adalah gaya horisontal tingkat, simpangan netto dan kekakuan tiap tingkat yang merupakan fungsi dari waktu.

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

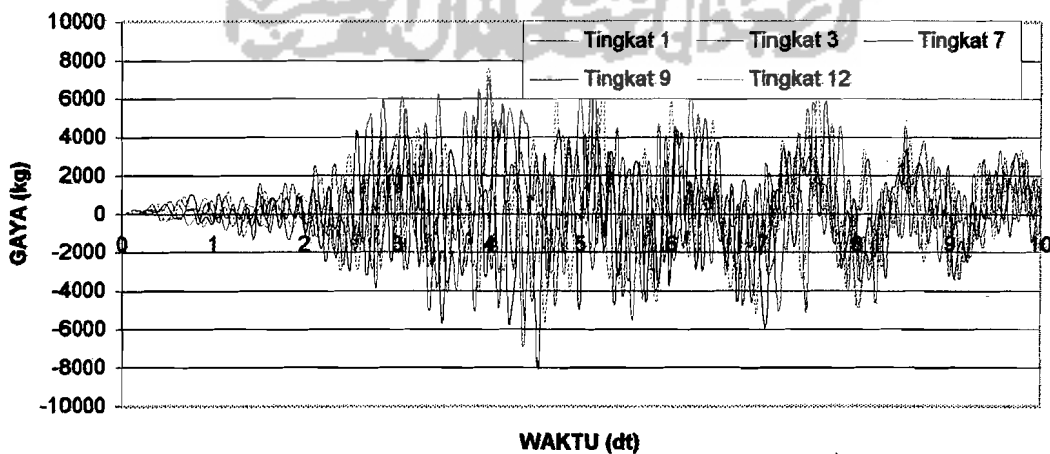




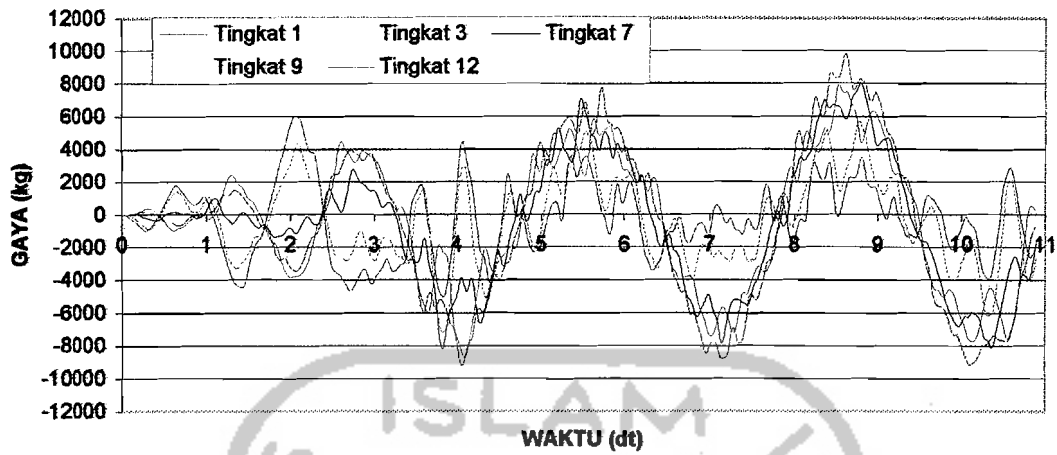
Gambar 5.61 Gaya horisontal tk struktur 12 tk akibat gempa Bucharest
 $kh=2E+15$, $kr=4E+15$



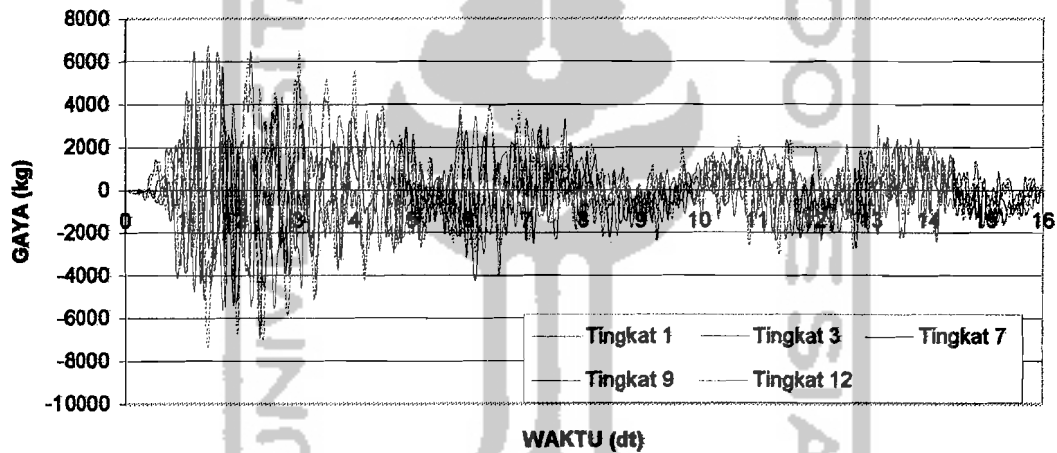
Gambar 5.62 Gaya horisontal tk struktur 12 tk akibat gempa Elcentro
 $kh=2E+15$, $kr=4E+15$



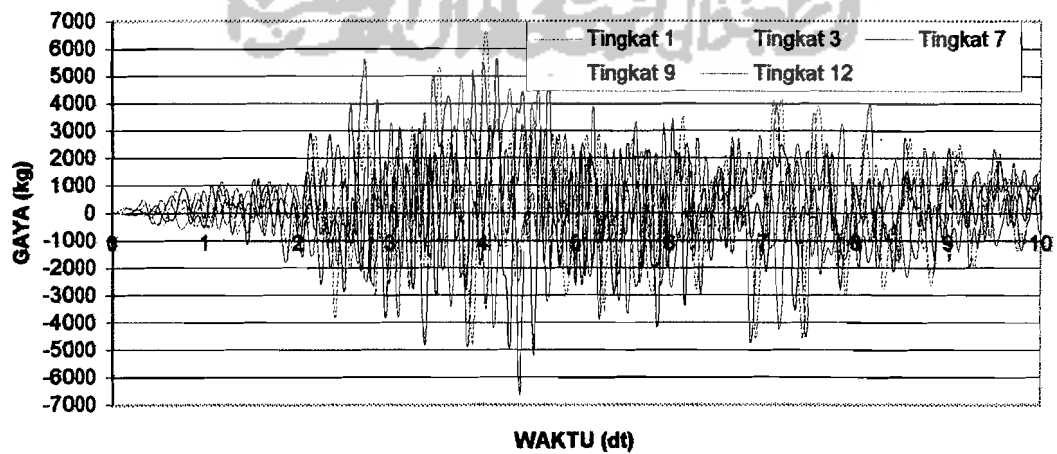
Gambar 5.63 Gaya horisontal tk struktur 12 tk akibat gempa Koyna
 $kh=2E+15$, $kr=4E+15$



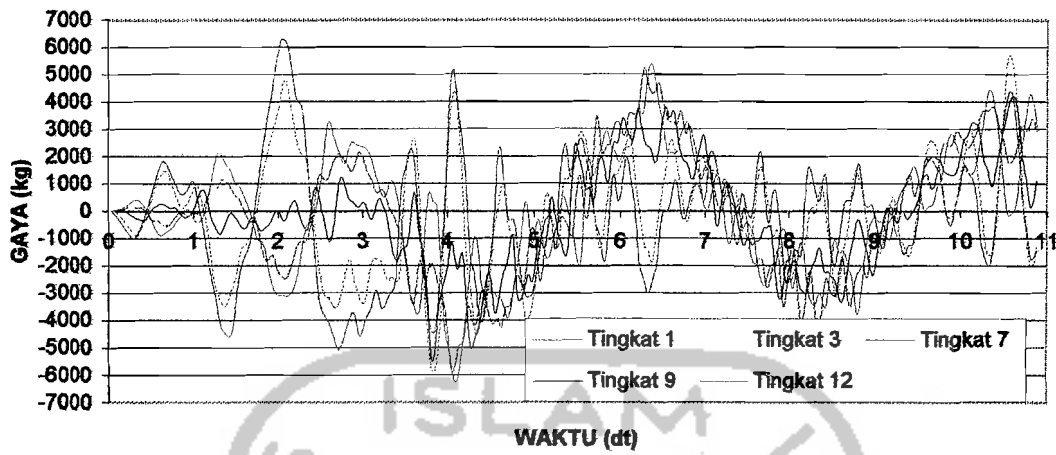
Gambar 5.64 Gaya horisontal tk struktur 12 tk akibat gempa Bucharest
 $kh=2E+07$, $kr=4E+08$



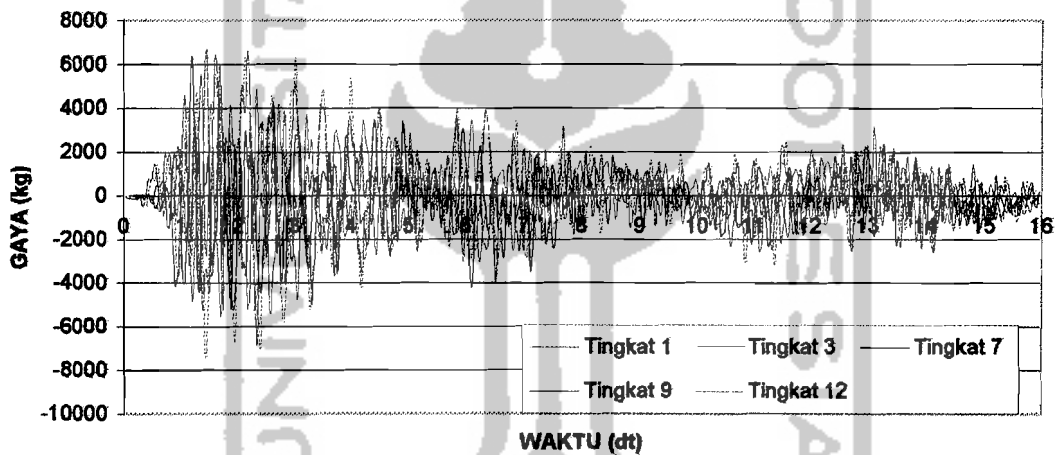
Gambar 5.65 Gaya horisontal tk struktur 12 tk akibat gempa Elcentro
 $kh=2E+07$, $kr=4E+08$



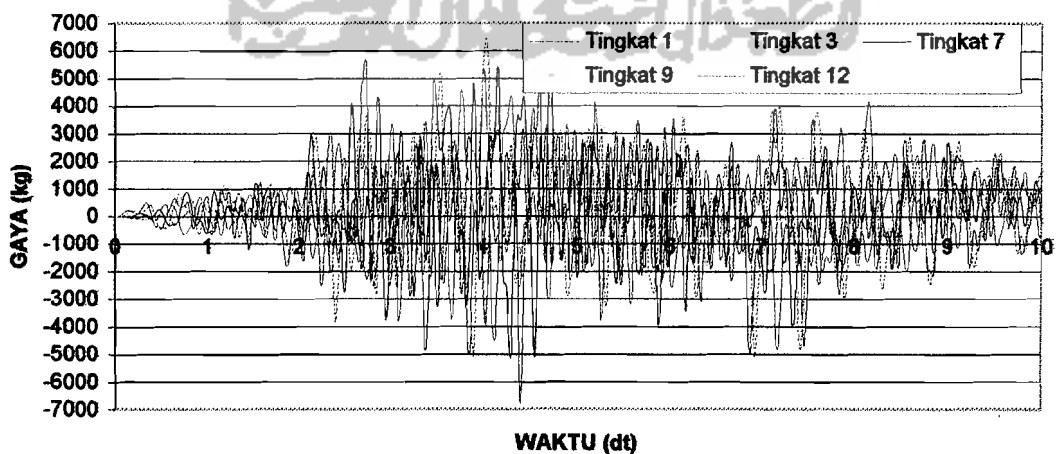
Gambar 5.66 Gaya horisontal tk struktur 12 tk akibat gempa Koyna
 $kh=2E+07$, $kr=4E+08$



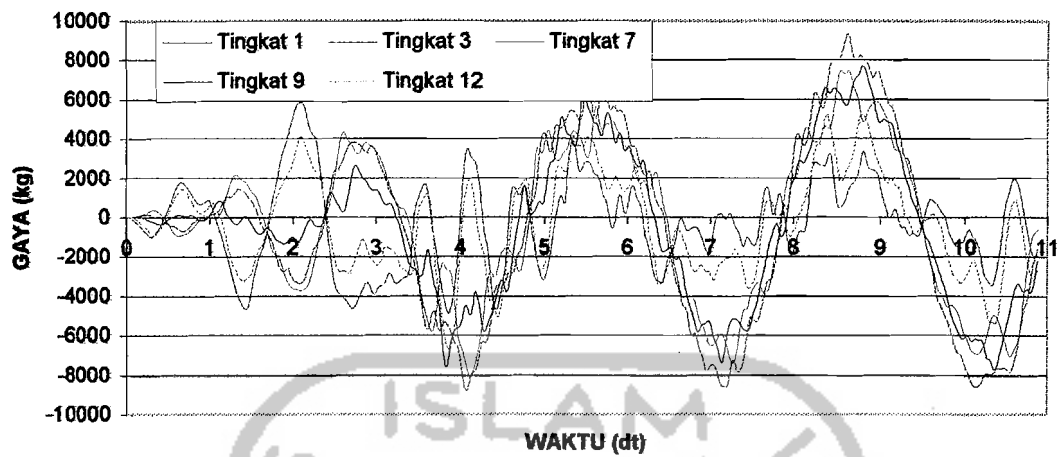
Gambar 5.67 Gaya horisontal tk struktur 12 tk akibat gempa Bucharest
 $kh=2E+07$, $kr=2E+08$



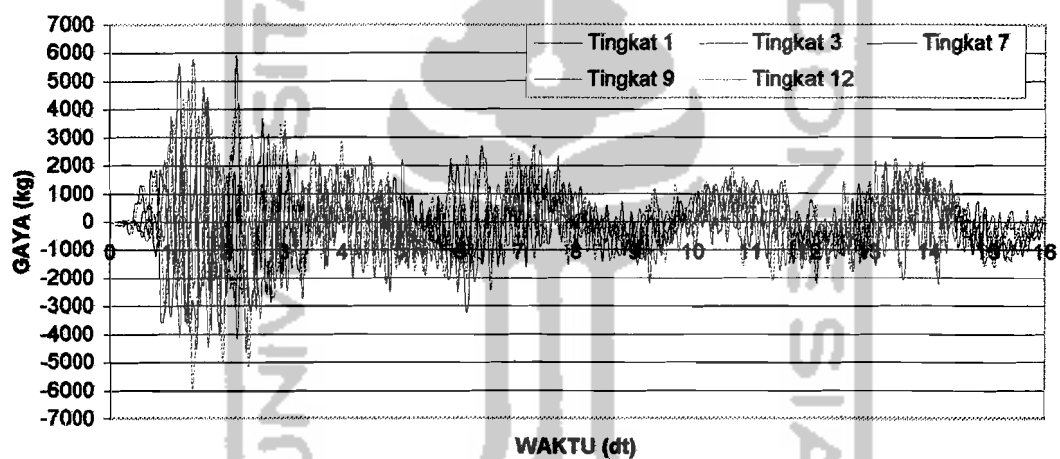
Gambar 5.68 Gaya horisontal tk struktur 12 tk akibat gempa Elcentro
 $kh=2E+07$, $kr=2E+08$



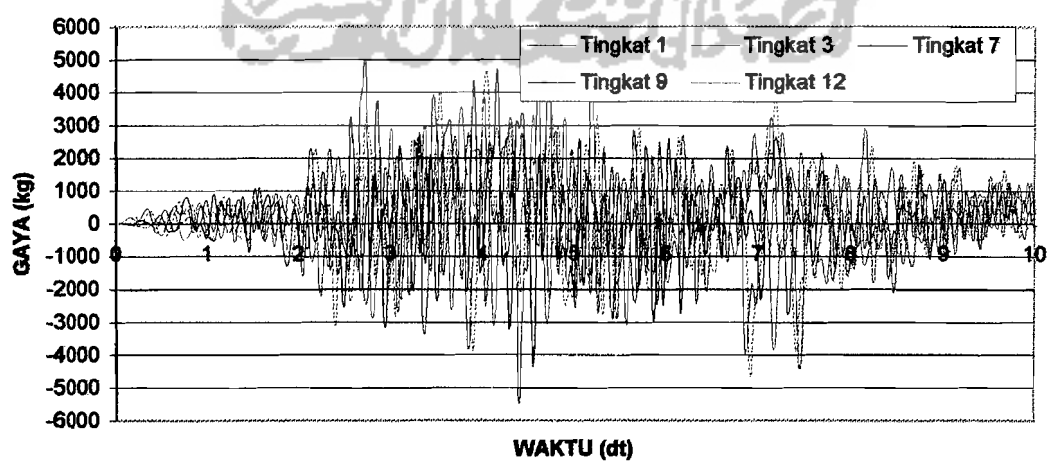
Gambar 5.69 Gaya horisontal tk struktur 12 tk akibat gempa Koyna
 $kh=2E+07$, $kr=2E+08$



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

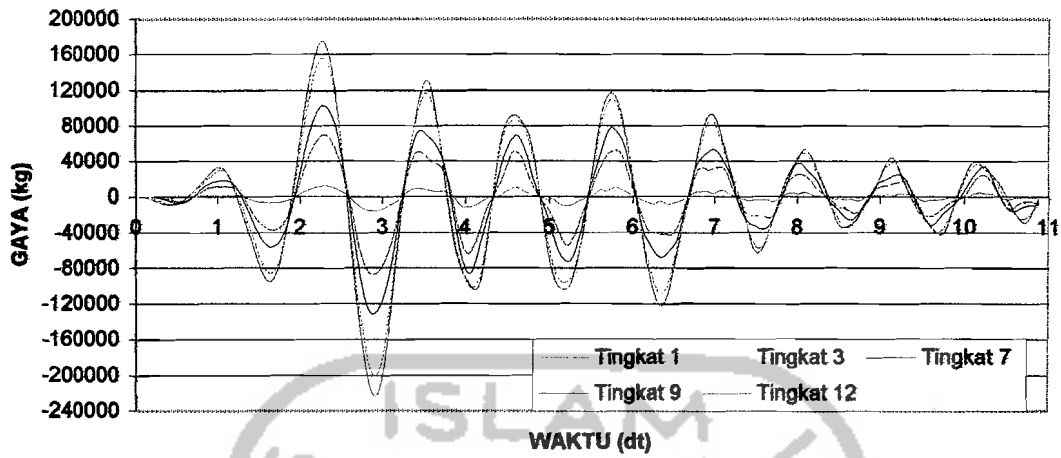
Gaya geser tingkat diperoleh dengan menjumlahkan gaya horisontal tiap tingkat. Besarnya nilai gaya geser tingkat dihitung dengan :

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

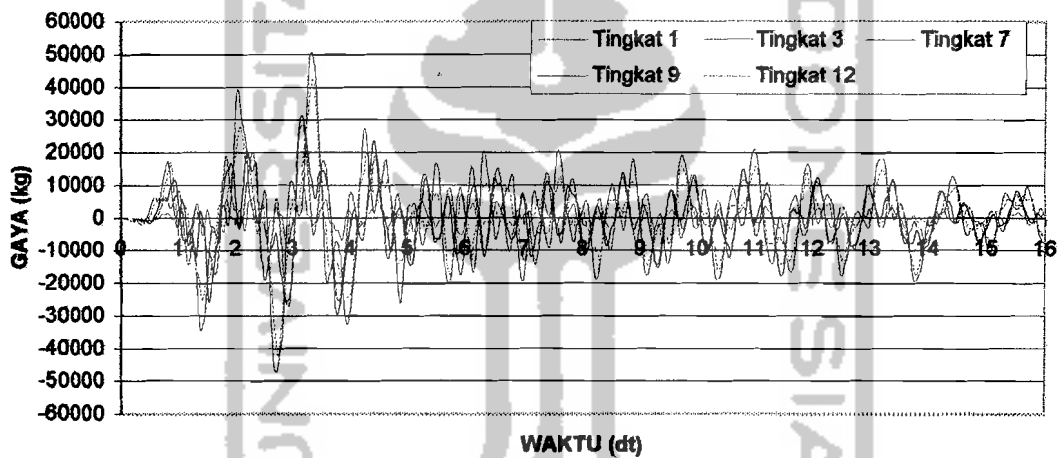
dimana, V dan F adalah gaya geser tingkat dan gaya horisontal tingkat yang merupakan fungsi waktu.

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

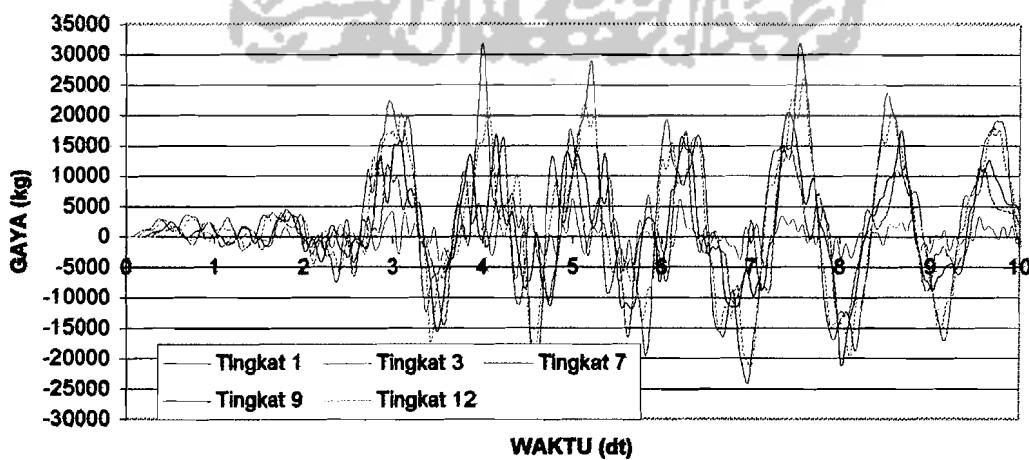




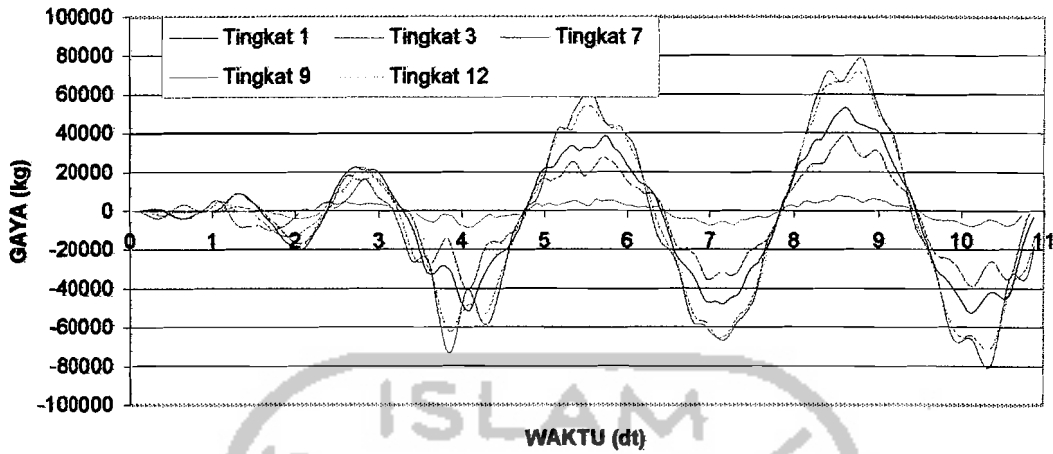
Gambar 5.73 Gaya geser tingkat struktur 12 tk akibat gempa Bucharest
 $kh=2E+15$, $kr=4E+15$



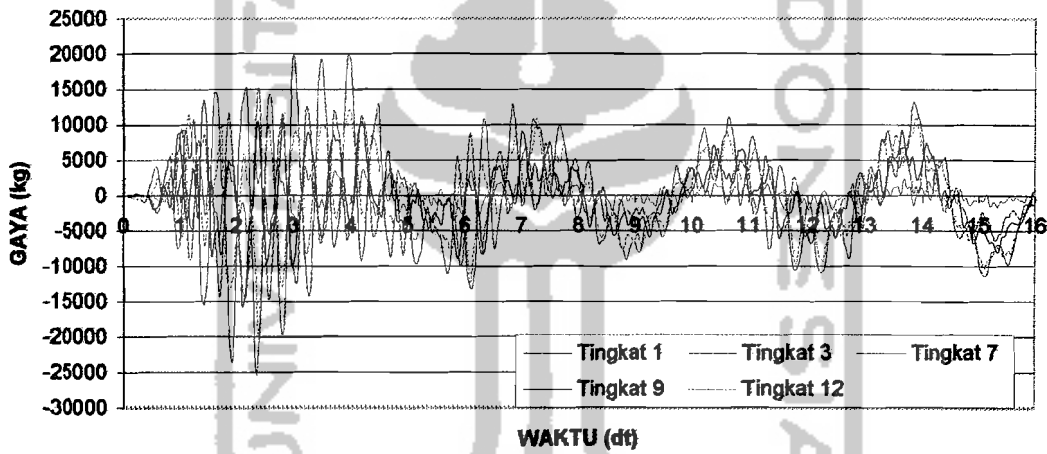
Gambar 5.74 Gaya geser tingkat struktur 12 tk akibat gempa Elcentro
 $kh=2E+15$, $kr=4E+15$



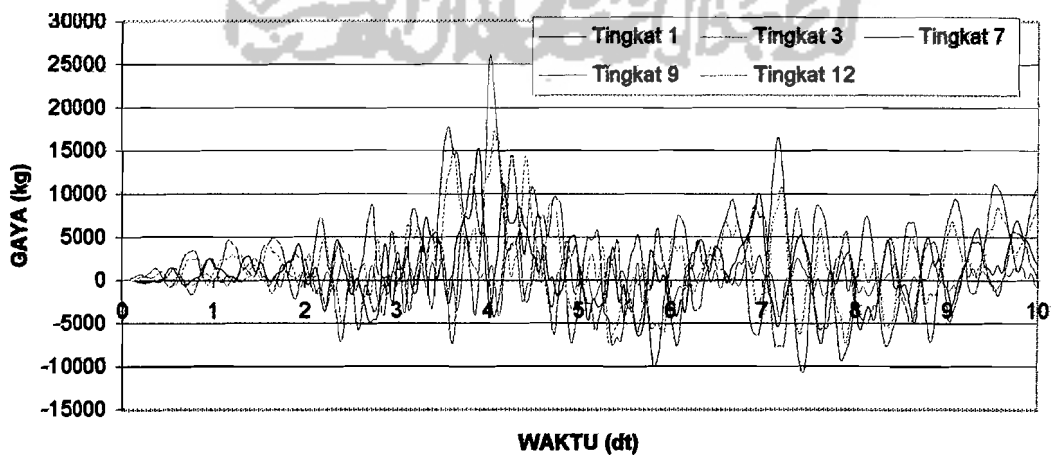
Gambar 5.75 Gaya geser tingkat struktur 12 tk akibat gempa Koyna
 $kh=2E+15$, $kr=4E+15$



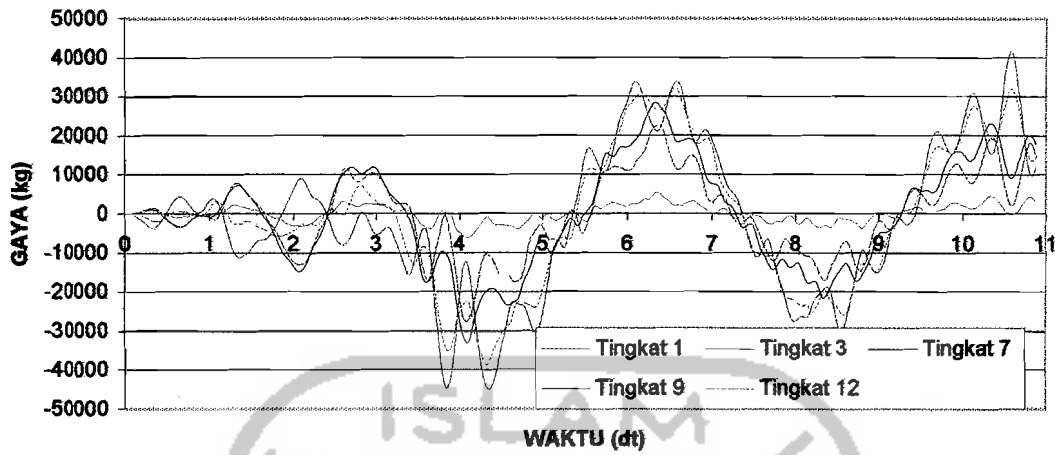
Gambar 5.76 Gaya geser tingkat struktur 12 tk akibat gempa Bucharest
 $kh=2E+07$, $kr=4E+08$



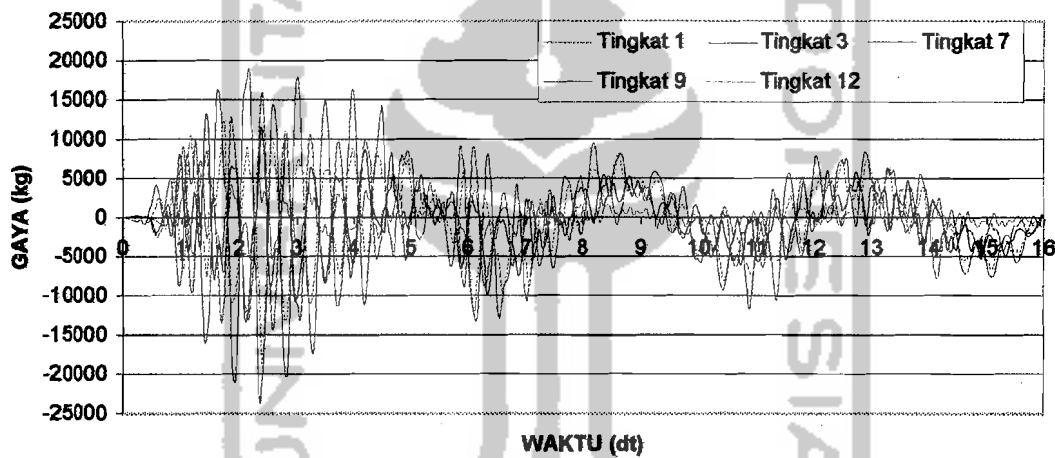
Gambar 5.77 Gaya geser tingkat struktur 12 tk akibat gempa Elcentro
 $kh=2E+07$, $kr=4E+08$



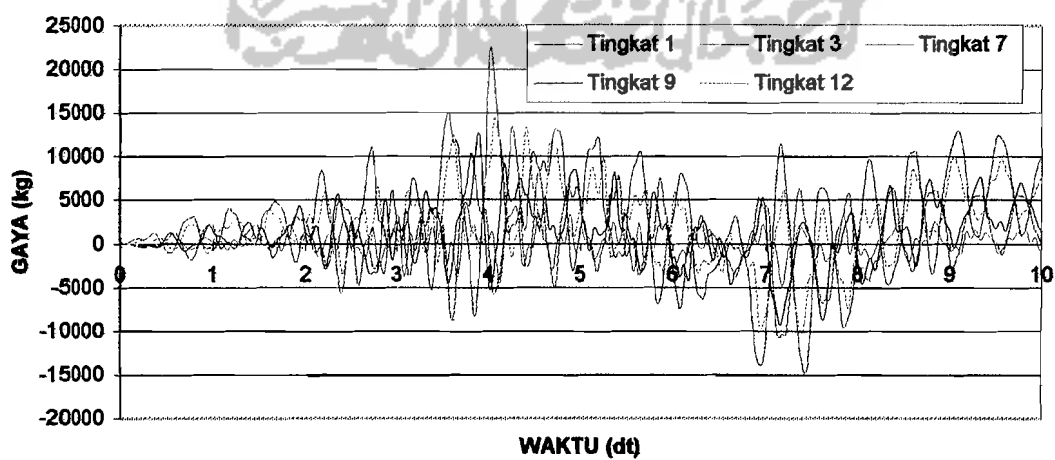
Gambar 5.78 Gaya geser tingkat struktur 12 tk akibat gempa Koyna
 $kh=2E+07$, $kr=4E+08$



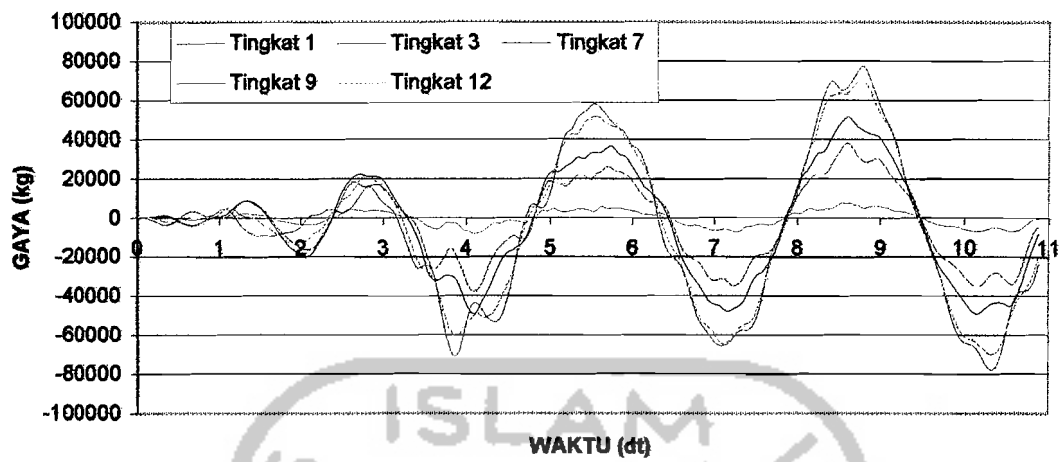
Gambar 5.79 Gaya geser tingkat struktur 12 tk akibat gempa Bucharest
 $kh=2E+07$, $kr=2E+08$



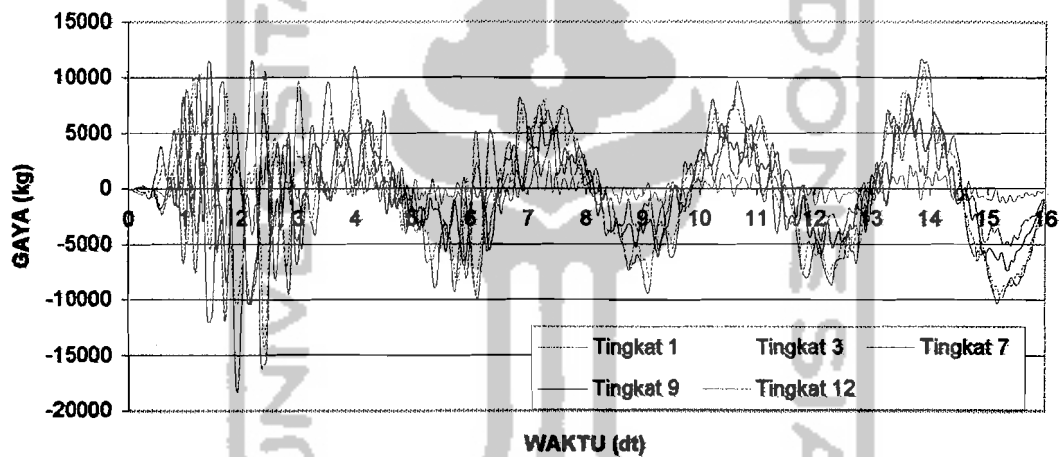
Gambar 5.80 Gaya geser tingkat struktur 12 tk akibat gempa Elcentro
 $kh=2E+07$, $kr=2E+08$



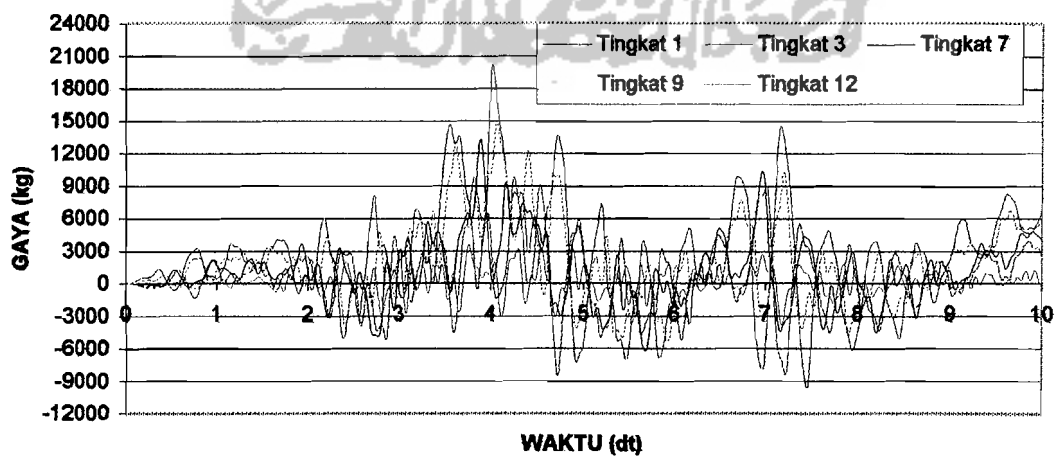
Gambar 5.81 Gaya geser tingkat struktur 12 tk akibat gempa Koyna
 $kh=2E+07$, $kr=2E+08$



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

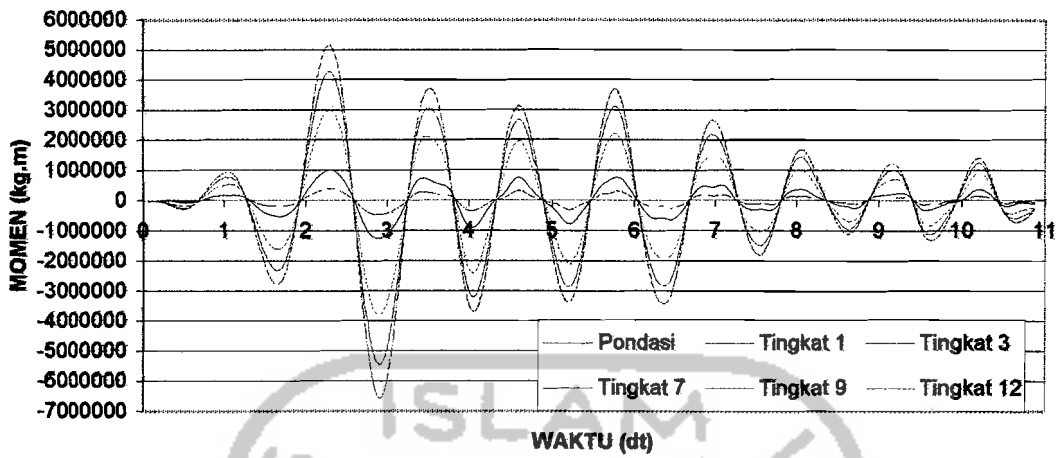
Momen Guling diperoleh dengan mengalikan gaya horisontal tingkat dan tinggi tingkat yang bersangkutan. Besarnya nilai momen guling dihitung dengan :

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

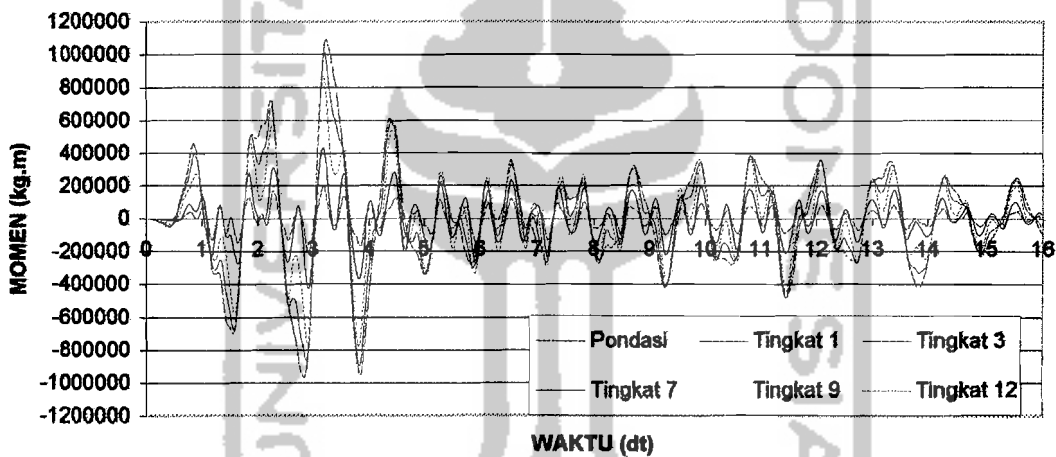
dimana M_g dan F adalah Momen Guling dan Gaya Horisontal tingkat yang merupakan fungsi waktu sedangkan H adalah tinggi tingkat.

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

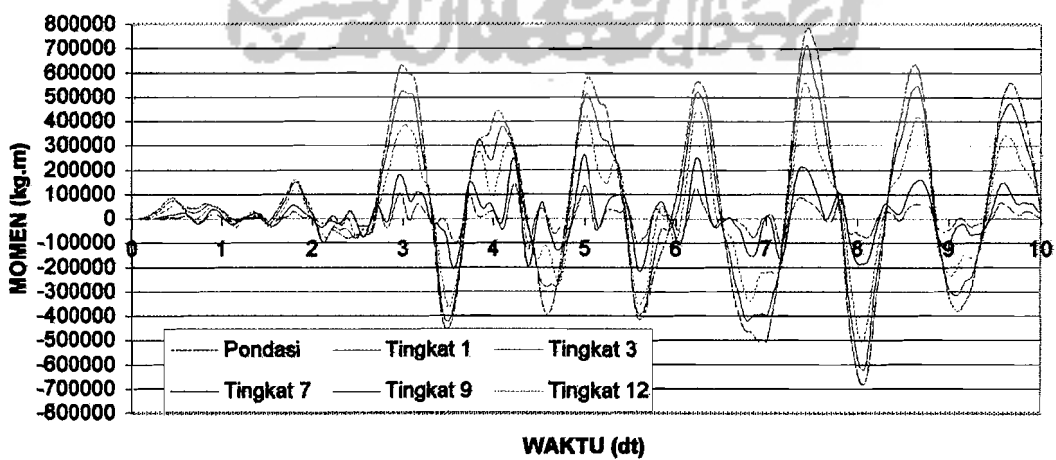




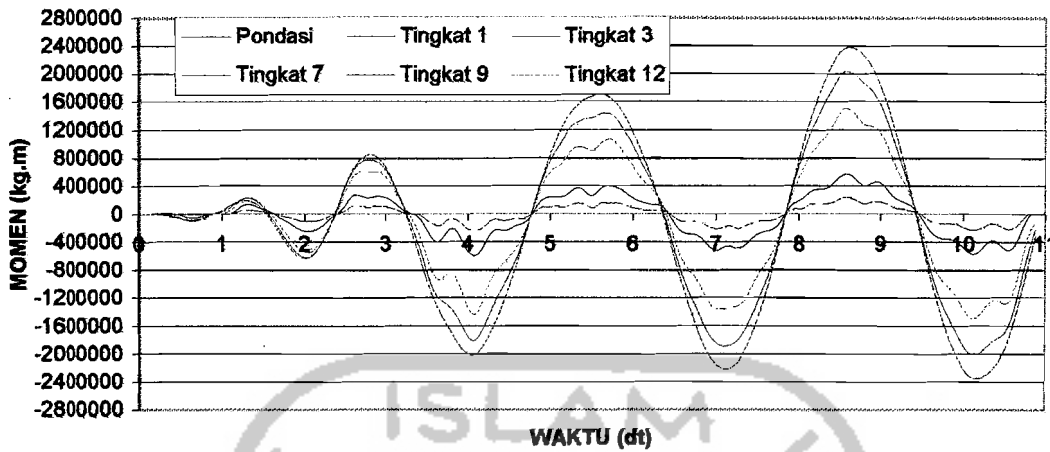
Gambar 5.85 Momen guling struktur 12 tk akibat gempa Bucharest
 $kh=2E+15$, $kr=4E+15$



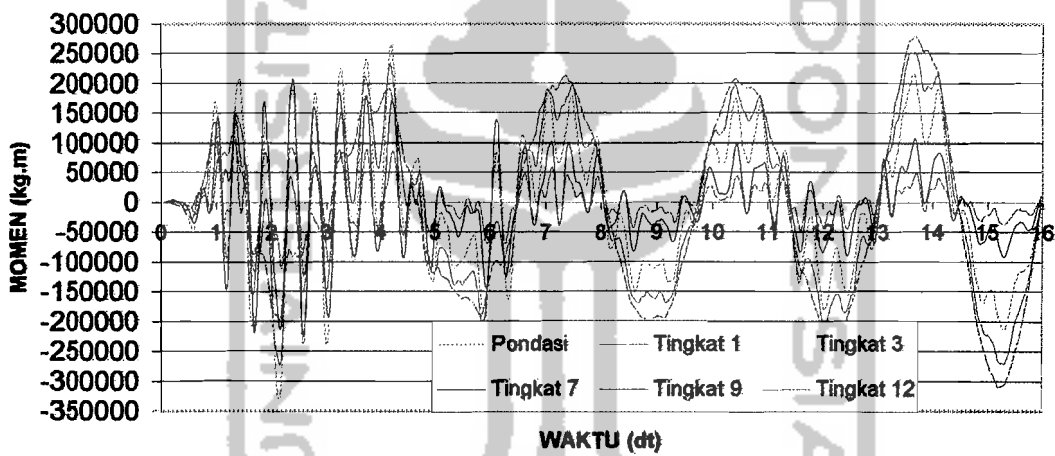
Gambar 5.86 Momen guling struktur 12 tk akibat gempa Elcentro
 $kh=2E+15$, $kr=4E+15$



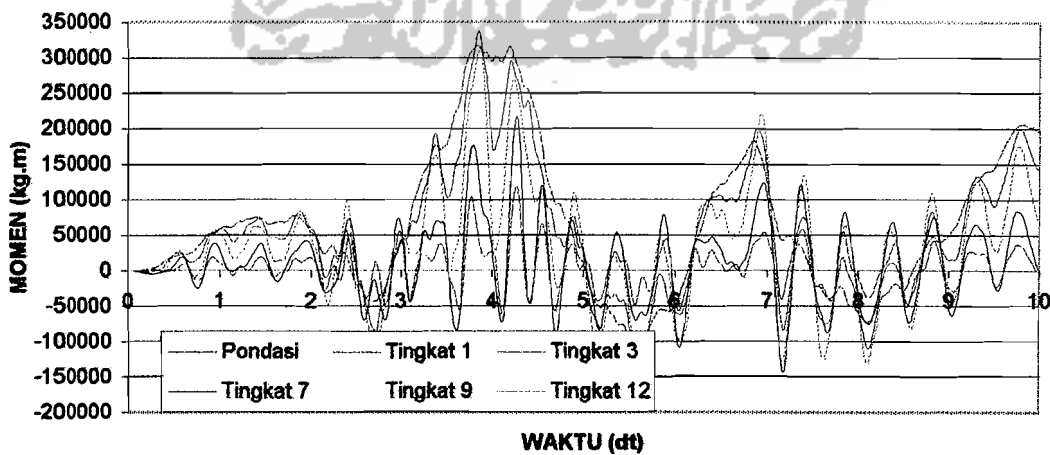
Gambar 5.87 Momen guling struktur 12 tk akibat gempa Koyna
 $kh=2E+15$, $kr=4E+15$



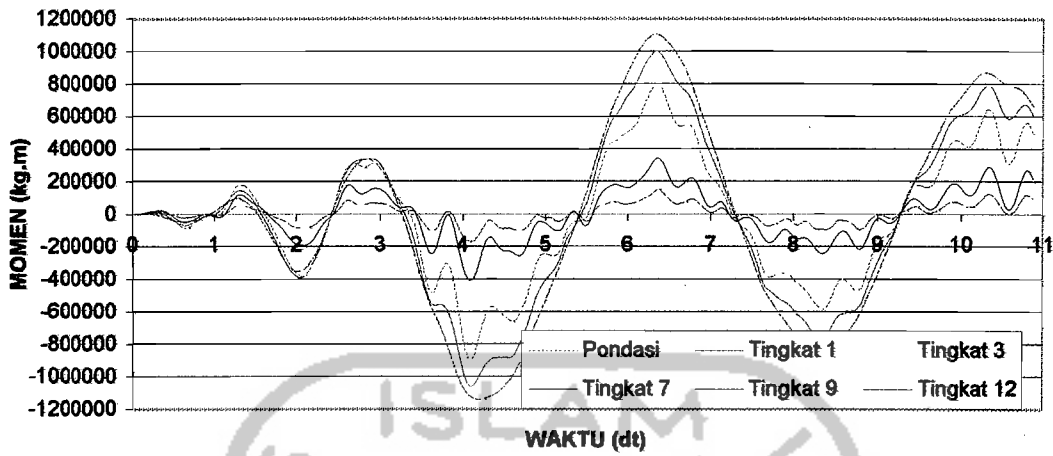
Gambar 5.88 Momen guling struktur 12 tk akibat gempa Bucharest
 $kh=2E+07$, $kr=4E+08$



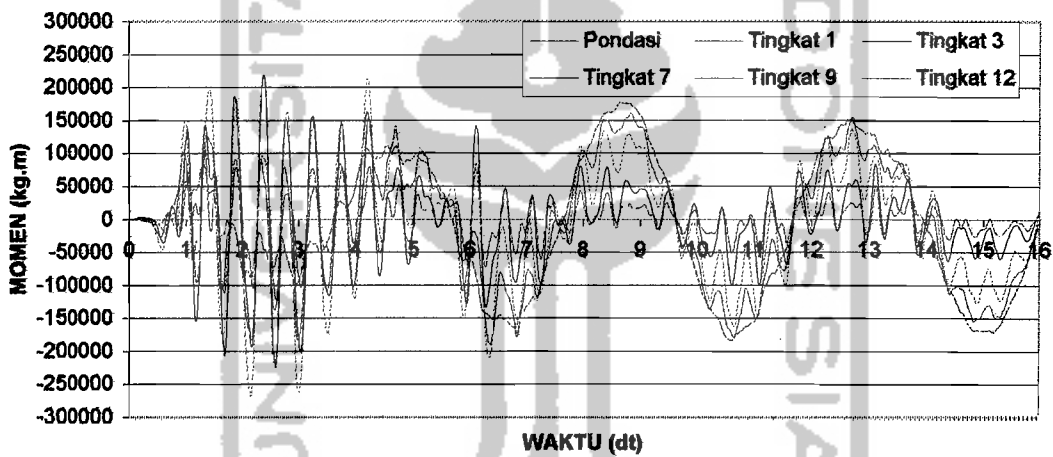
Gambar 5.89 Momen guling struktur 12 tk akibat gempa Elcentro
 $kh=2E+07$, $kr=4E+08$



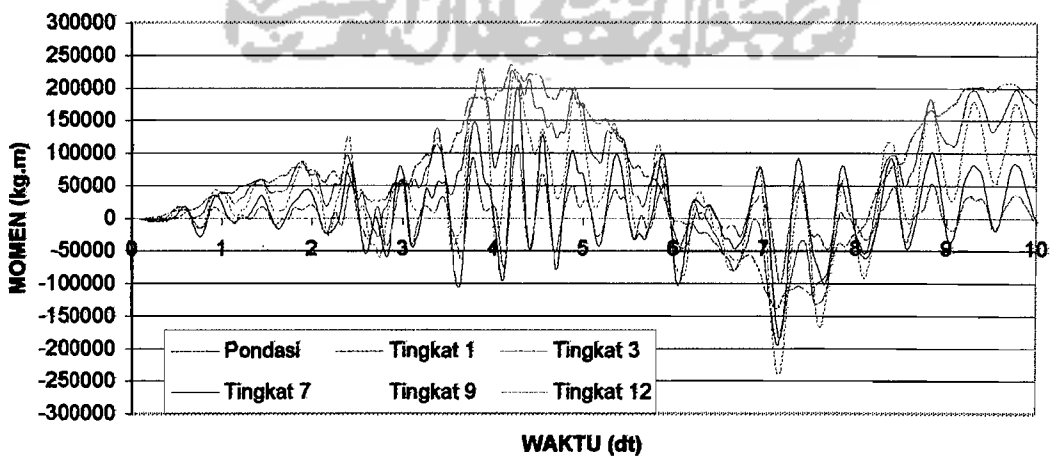
Gambar 5.90 Momen guling struktur 12 tk akibat gempa Koyna
 $kh=2E+07$, $kr=4E+08$



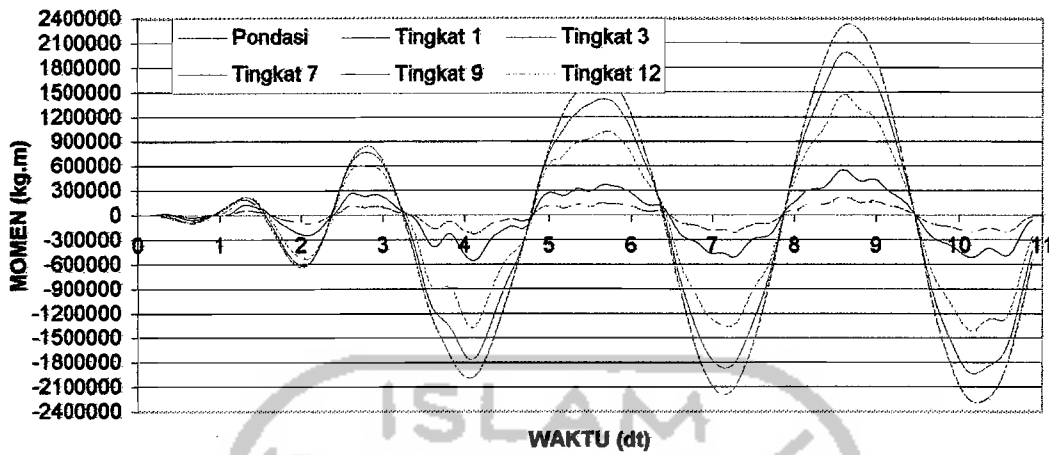
Gambar 5.91 Momen guling struktur 12 tk akibat gempa Bucharest
 $kh=2E+07, kr=2E+08$



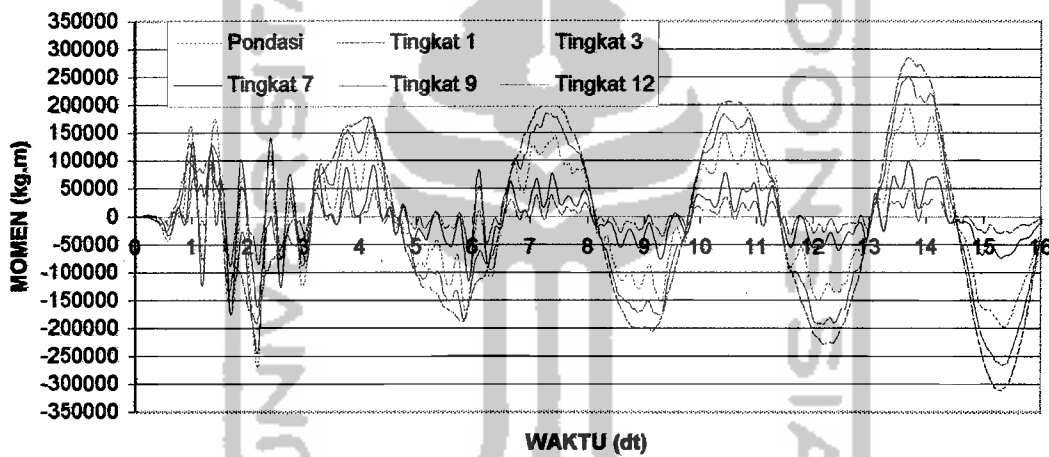
Gambar 5.92 Momen guling struktur 12 tk akibat gempa Elcentro
 $kh=2E+07, kr=2E+08$



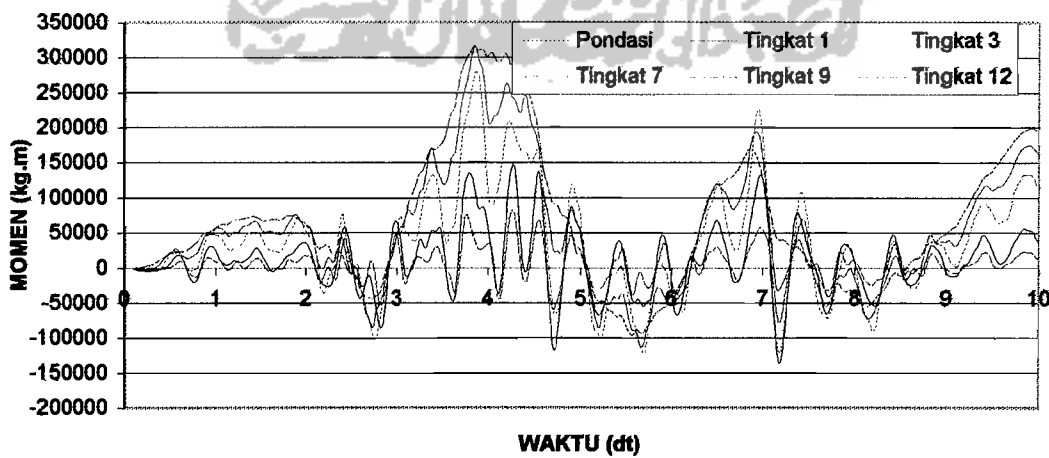
Gambar 5.93 Momen guling struktur 12 tk akibat gempa Koyna
 $kh=2E+07, kr=2E+08$



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

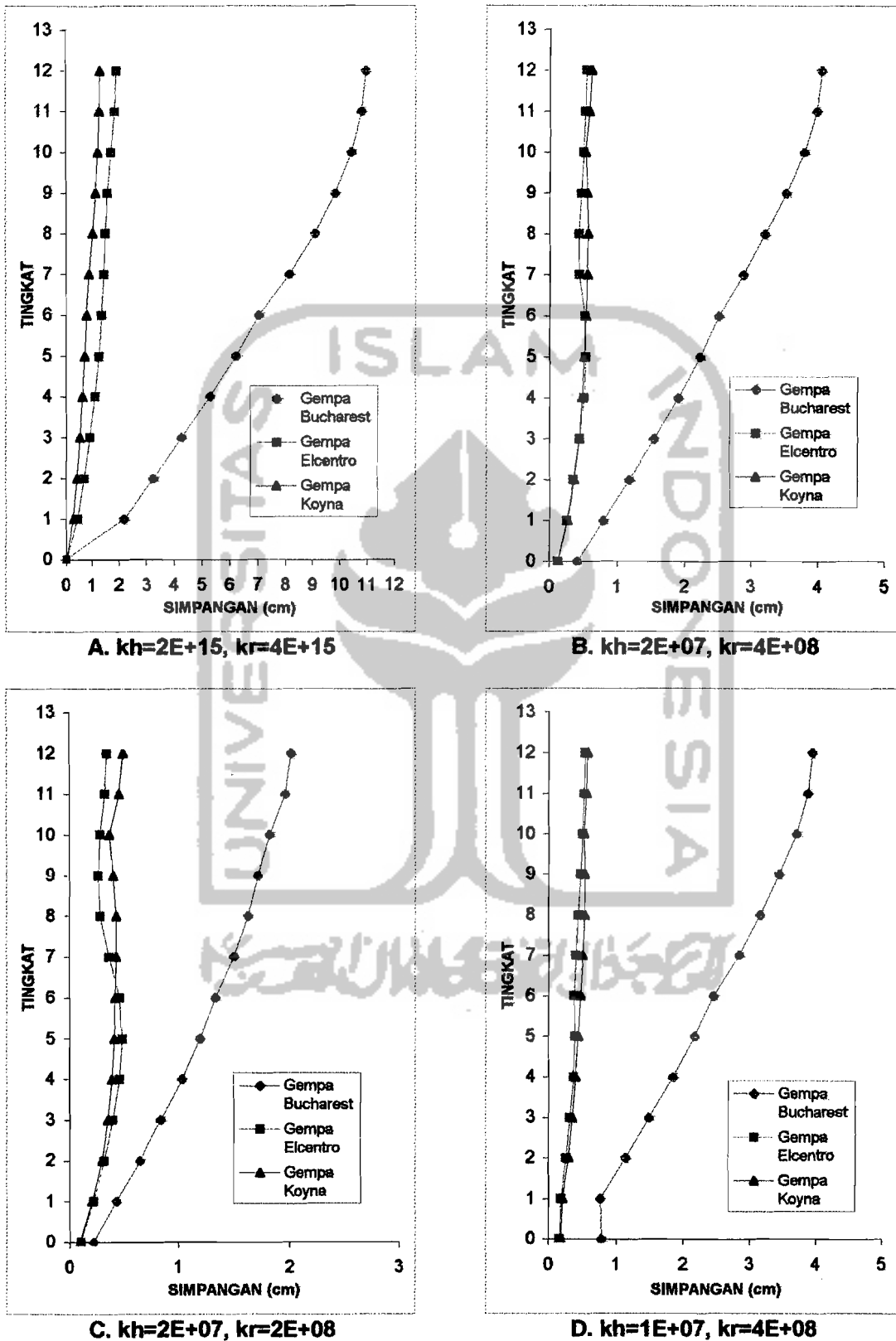
Pembahasan respon struktur yang ditinjau meliputi simpangan netto maksimum, rotasi pondasi, simpangan rotasi maksimum, simpangan total maksimum, simpangan antar tingkat maksimum, gaya horisontal tingkat maksimum, gaya geser tingkat maksimum dan momen guling maksimum akibat beban gempa Bucharest, gempa 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 :

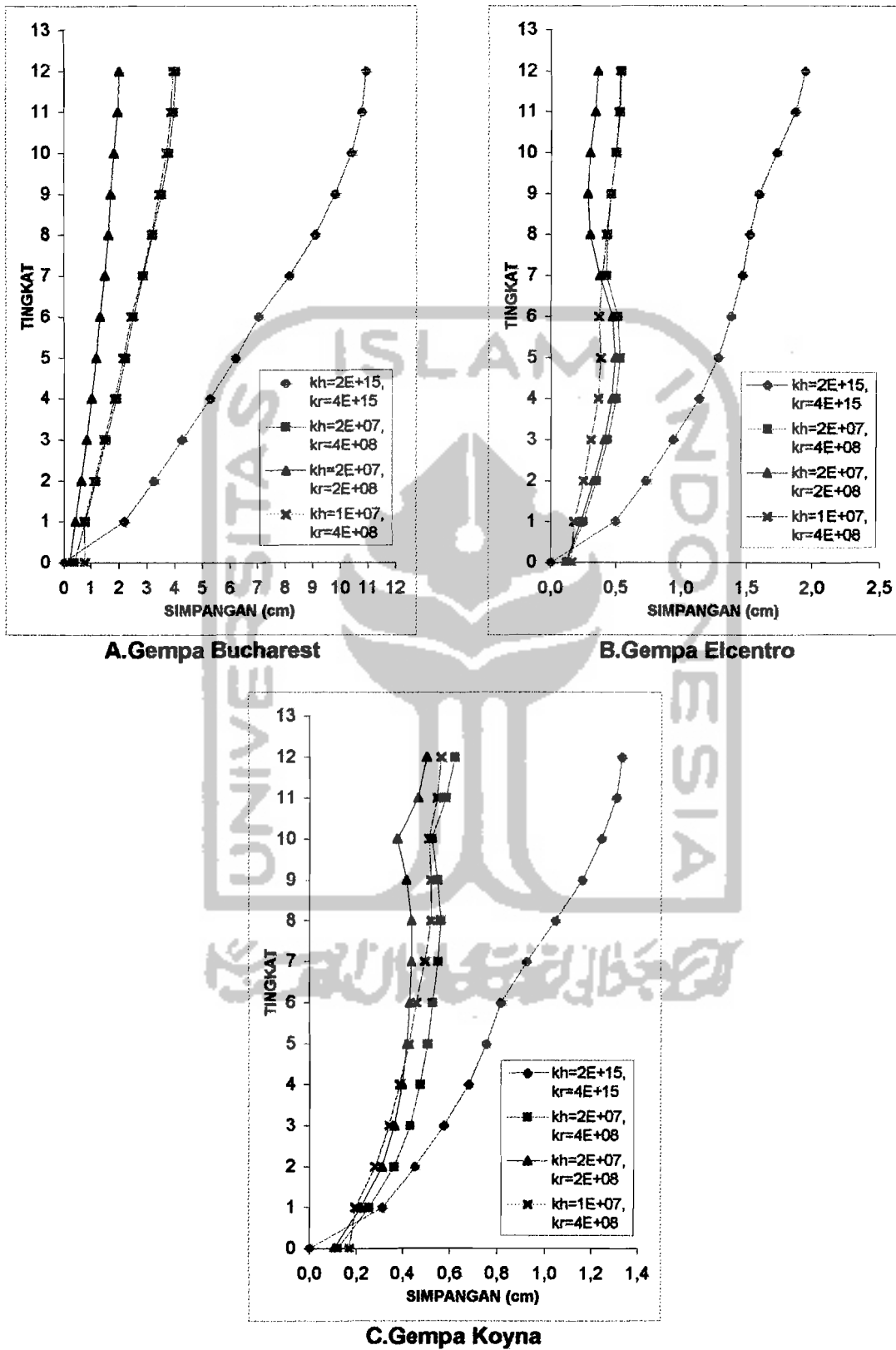
1. $k_h = 2E+15$, $k_r = 4E+15$ (jepit penuh kombinasi I)
2. $k_h = 2E+07$, $k_r = 4E+08$ (tidak jepit penuh kombinasi II)
3. $k_h = 2E+07$, $k_r = 2E+08$ (tidak jepit penuh kombinasi III)
4. $k_h = 1E+07$, $k_r = 4E+08$ (tidak jepit penuh kombinasi IV)

5.5.1 Simpangan Netto

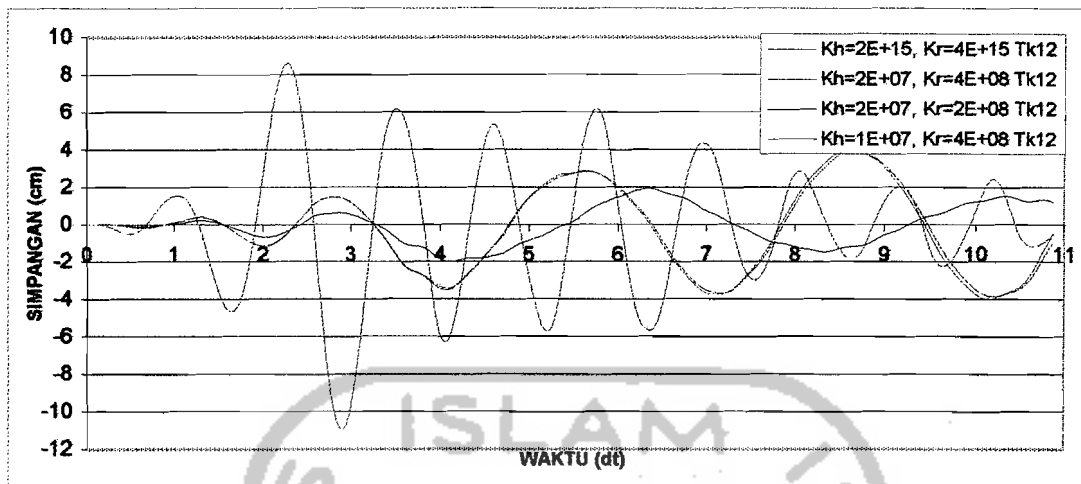
Pembahasan simpangan netto berdasarkan gambar 5.97 sampai dengan gambar 5.99 dan tabel 5.4 sampai dengan tabel 5.7 dengan 3 beban gempa dan 4 kombinasi kekakuan horisontal dan kekakuan putar tanah di bawah ini.



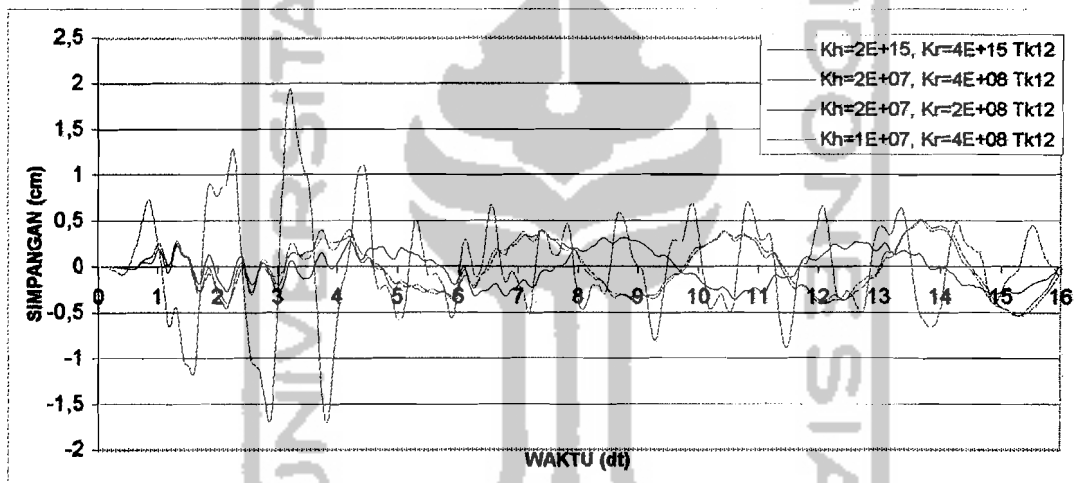
Gambar 5.97 Grafik simpangan netto maksimum akibat 3 gempa



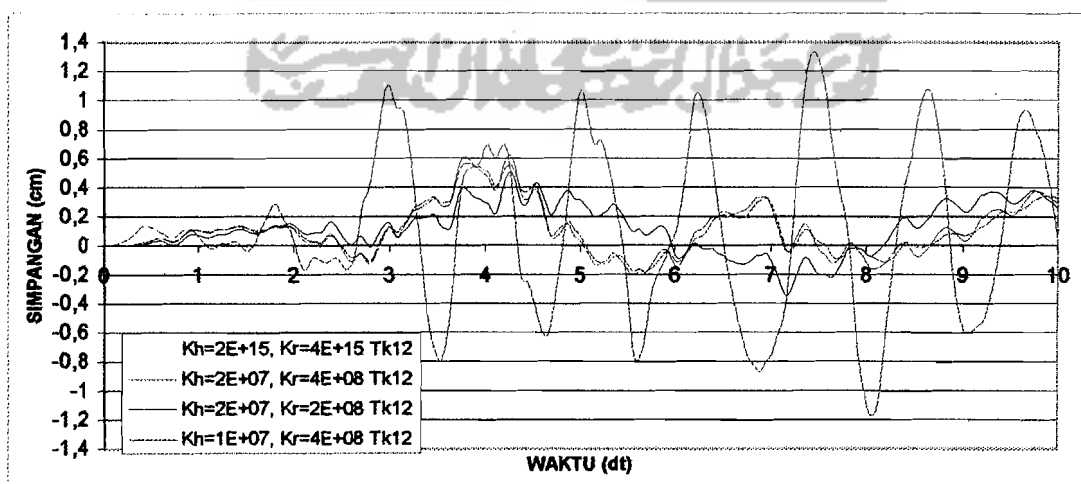
Gambar 5.98 Grafik simpangan netto maksimum dengan 4 kombinasi



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.

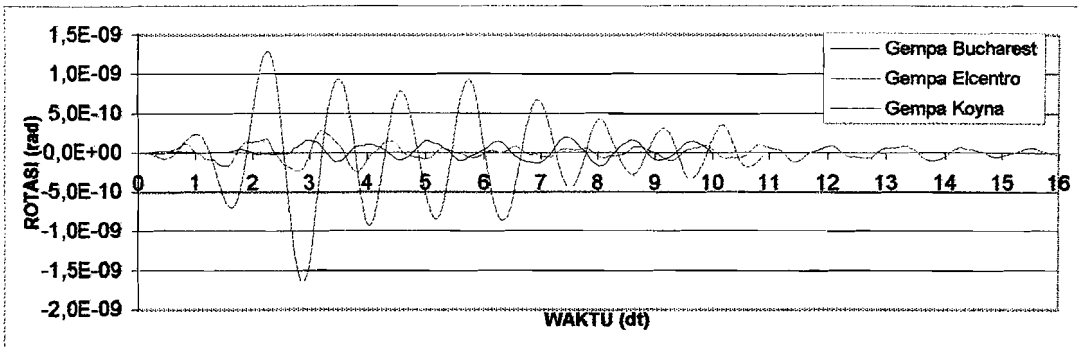
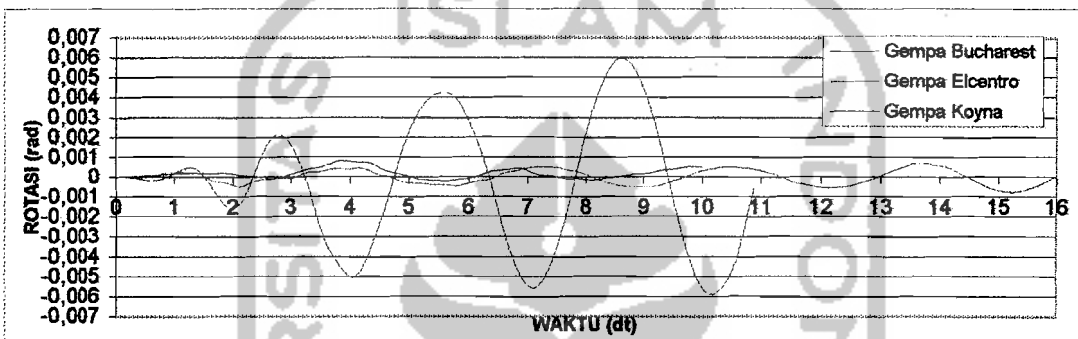
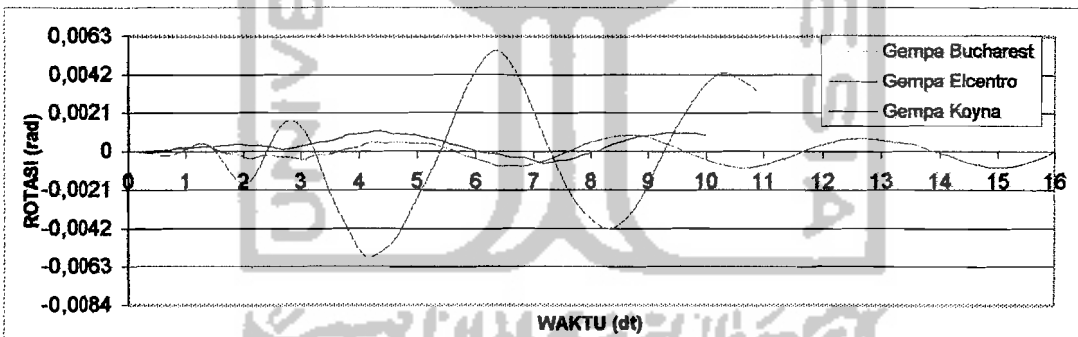
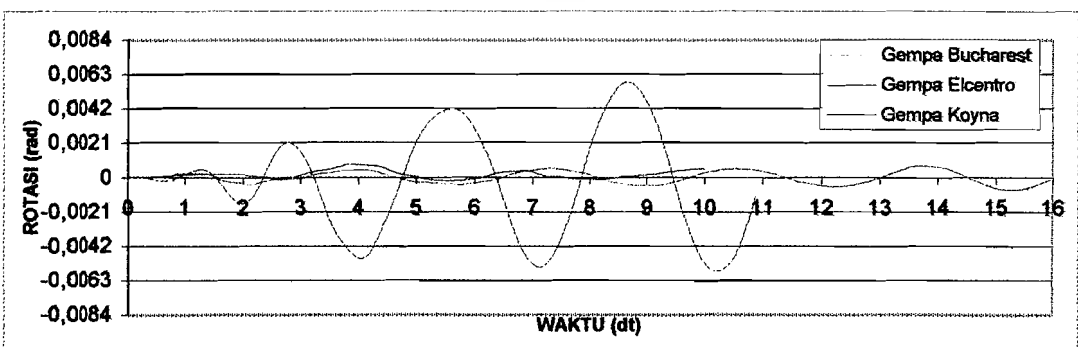
2. Simpangan pada kondisi tanah dianggap jepit penuh (*fixed*, kombinasi I) akan lebih besar dari simpangan pada struktur yang mengalami rotasi (kombinasi II, III dan IV).
3. Pondasi (lantai dasar) pada kombinasi I tidak terjadi simpangan sedangkan simpangan pondasi (lantai dasar) pada kombinasi IV akan 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).

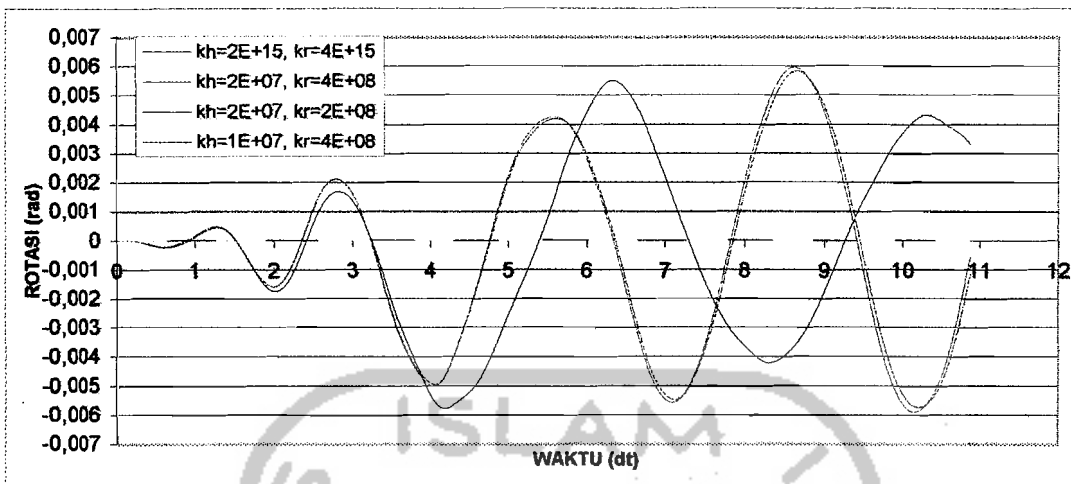
5.5.2 Rotasi Pondasi

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.

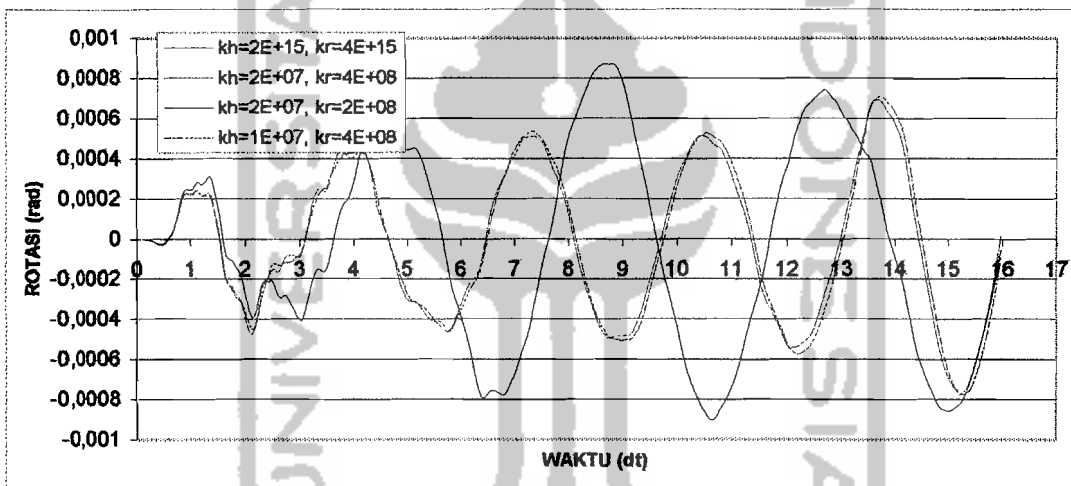


A. $kh=2E+15$, $kr=4E+15$ B. $kh=2E+07$, $kr=4E+08$ C. $kh=2E+07$, $kr=2E+08$ D. $kh=1E+07$, $kr=4E+08$

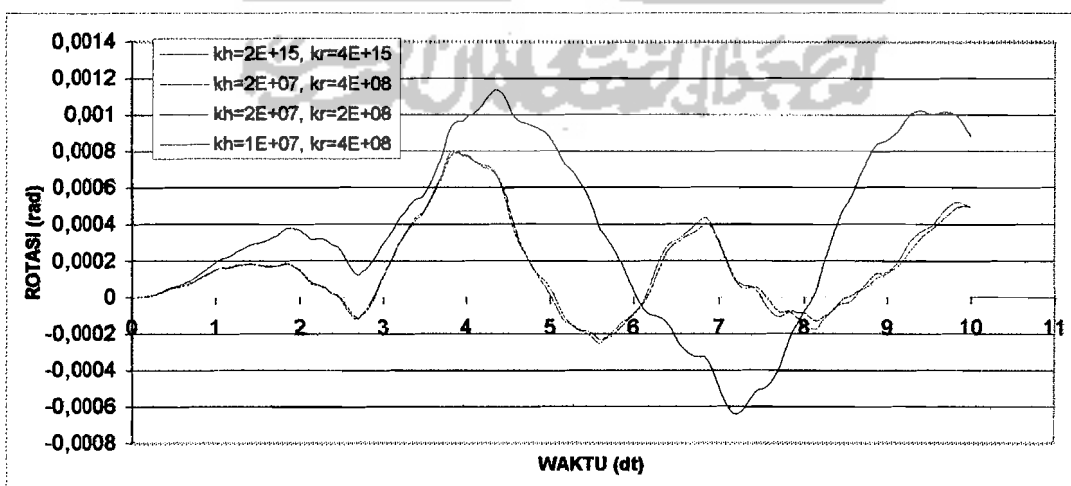
Gambar 5.100 Grafik rotasi pondasi akibat 3 gempa



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

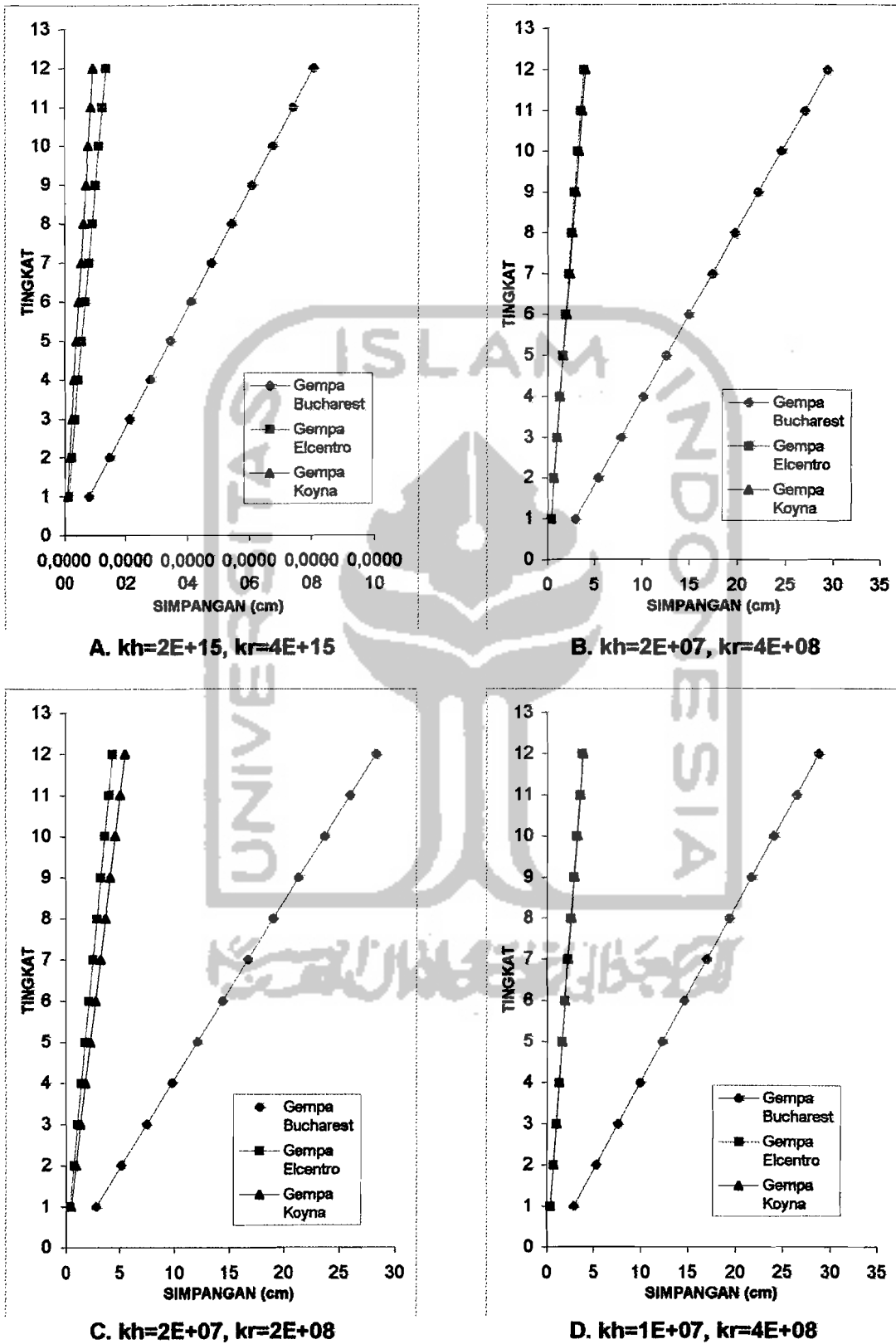
Gempa	Rotasi (Rad)			
	kh=2E+15 kr=4E+15	kh=2E+07 kr=4E+08	kh=2E+07 Kr=2E+08	kh=1E+07 kr=4E+08
Bucharest	0,00000000165	0,00596	0,00578	0,00584
Elcentro	0,00000000028	0,00077	0,00090	0,00078
Koyna	0,00000000020	0,00080	0,00114	0,00079

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

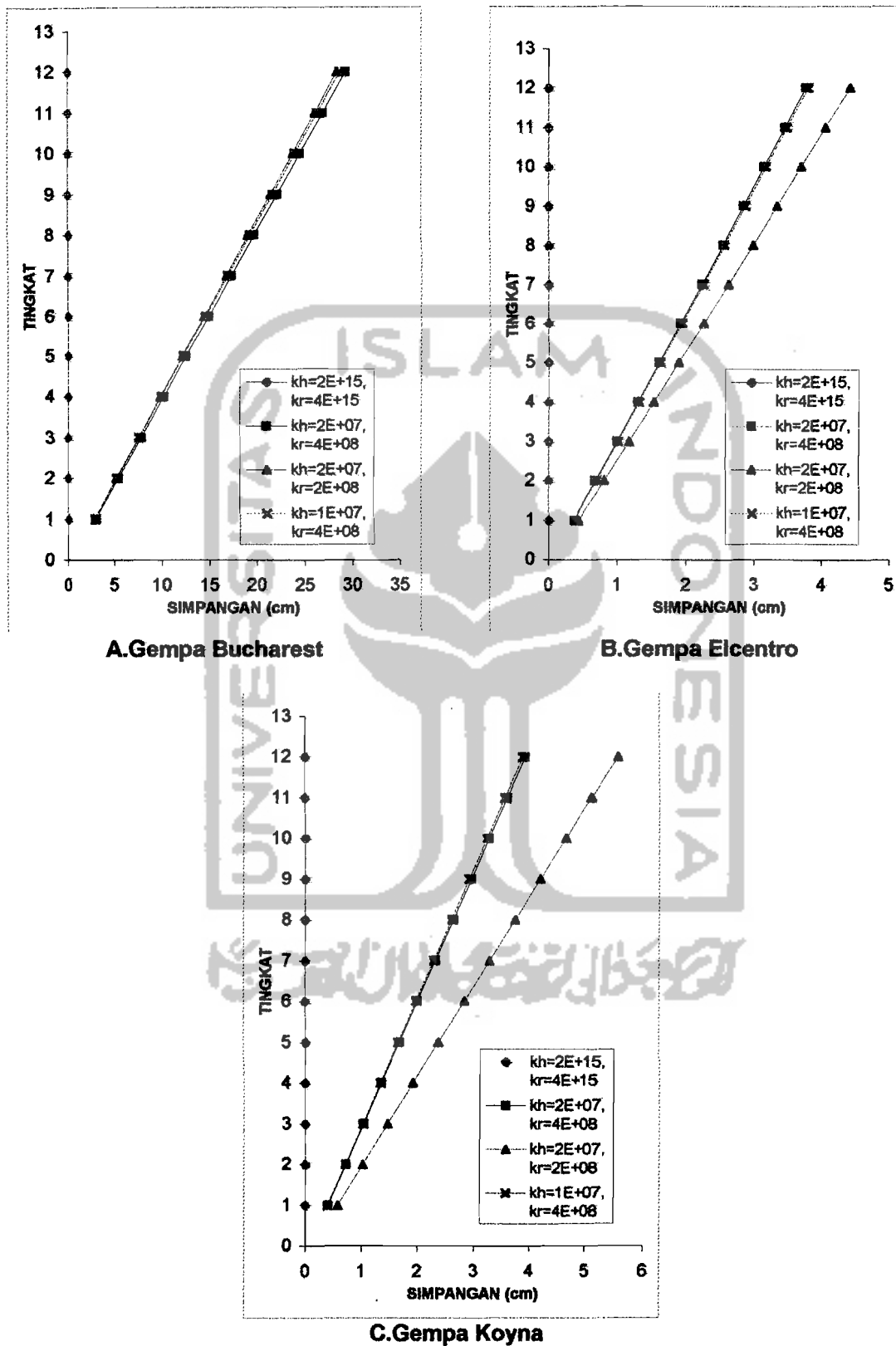
1. Sudut rotasi pada kombinasi I (tanah dianggap jepit penuh) memberikan nilai sudut paling kecil atau mendekati nol.
2. Gempa Bucharest memberikan nilai sudut rotasi paling besar dibandingkan dengan gempa Elcentro dan gempa Koyna.
3. Perubahan nilai kekakuan putar tanah (kr) lebih mempengaruhi perubahan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

5.5.3 Simpangan Rotasi

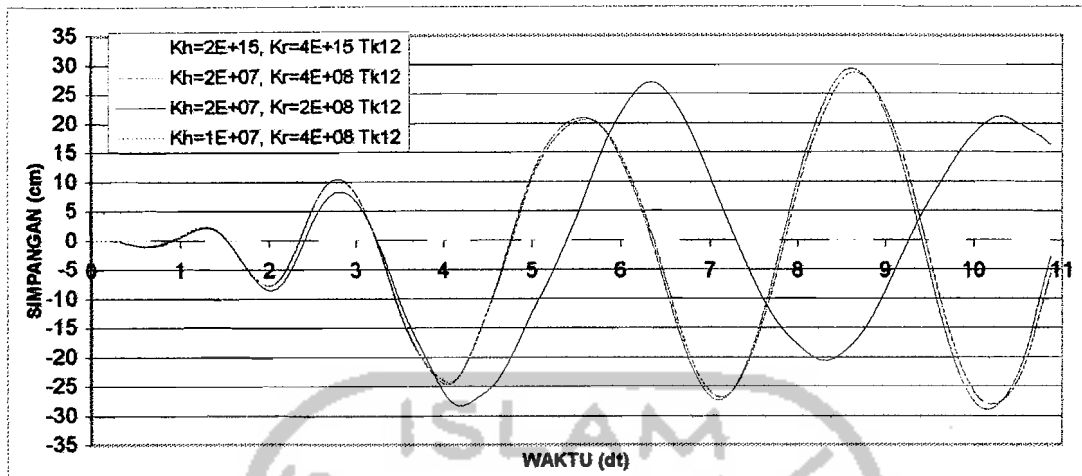
Pembahasan simpangan rotasi berdasarkan gambar 5.102 sampai dengan gambar 5.104 dan tabel 5.9 sampai dengan tabel 5.12 dengan 3 beban gempa dan 4 kombinasi kekakuan horisontal dan kekakuan putar tanah di bawah ini.



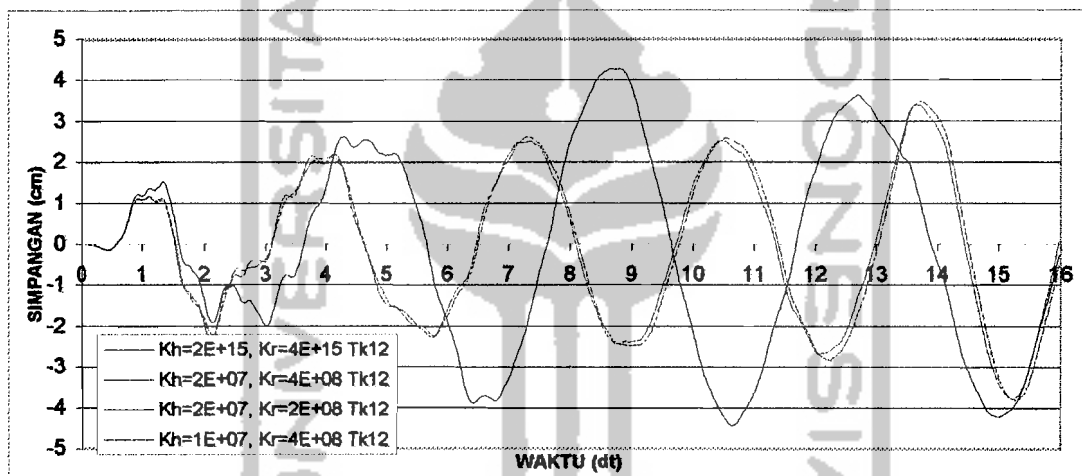
Gambar 3.102 Grafik simpangan rotasi maksimum akibat 3 gempa



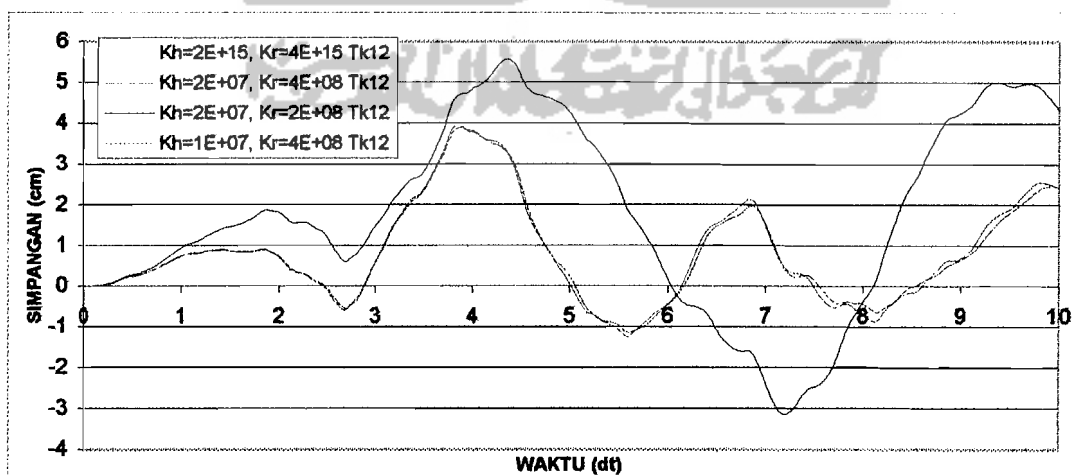
Gambar 5.103 Grafik simpangan rotasi maksimum dengan 4 kombinasi



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

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

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

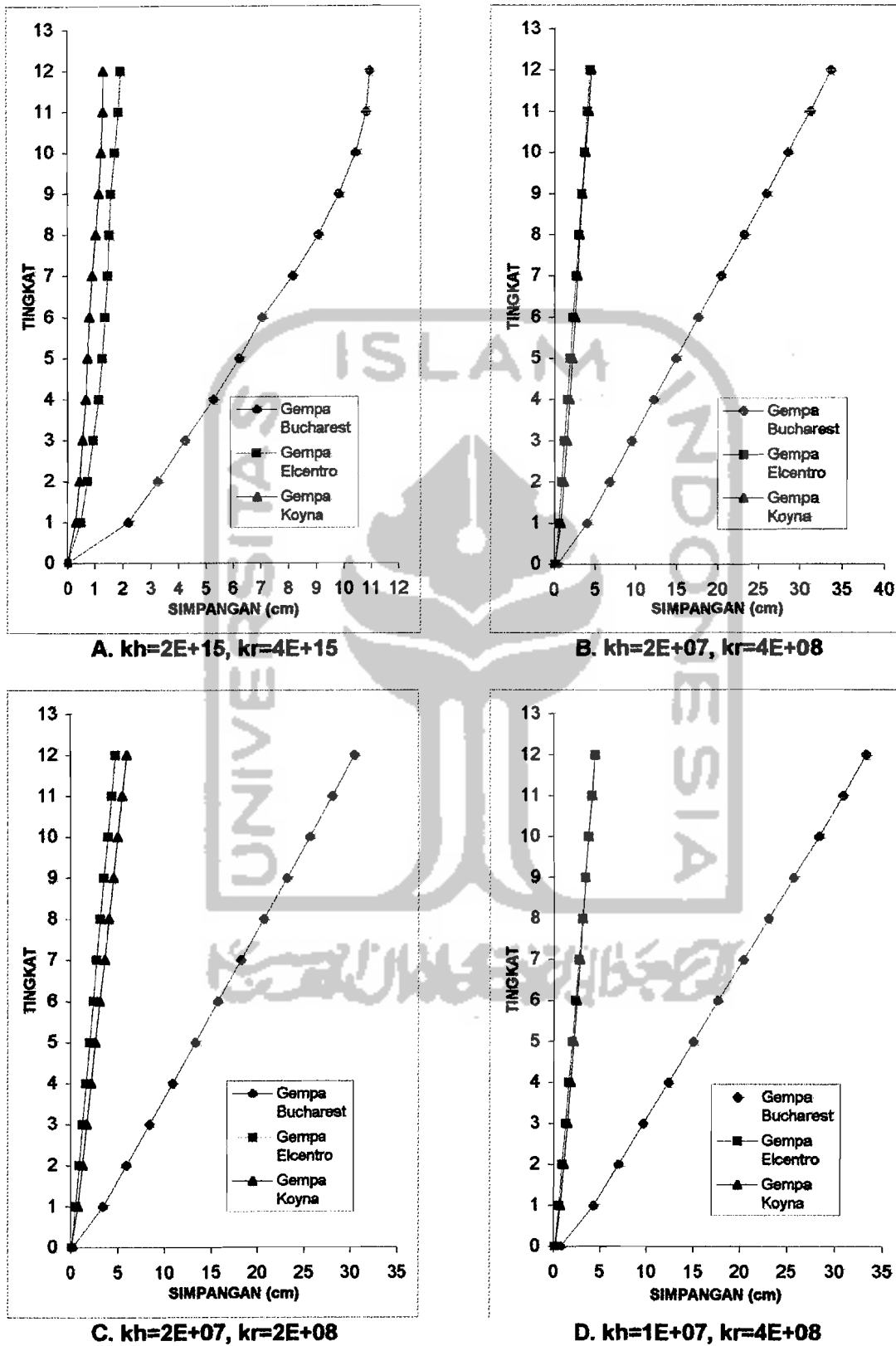
Dari hasil grafik simpangan rotasi maksimum pada gambar 5.102 sampai dengan gambar 5.104 dengan 4 kombinasi kekakuan horisontal tanah dan kekakuan putar tanah maka,

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

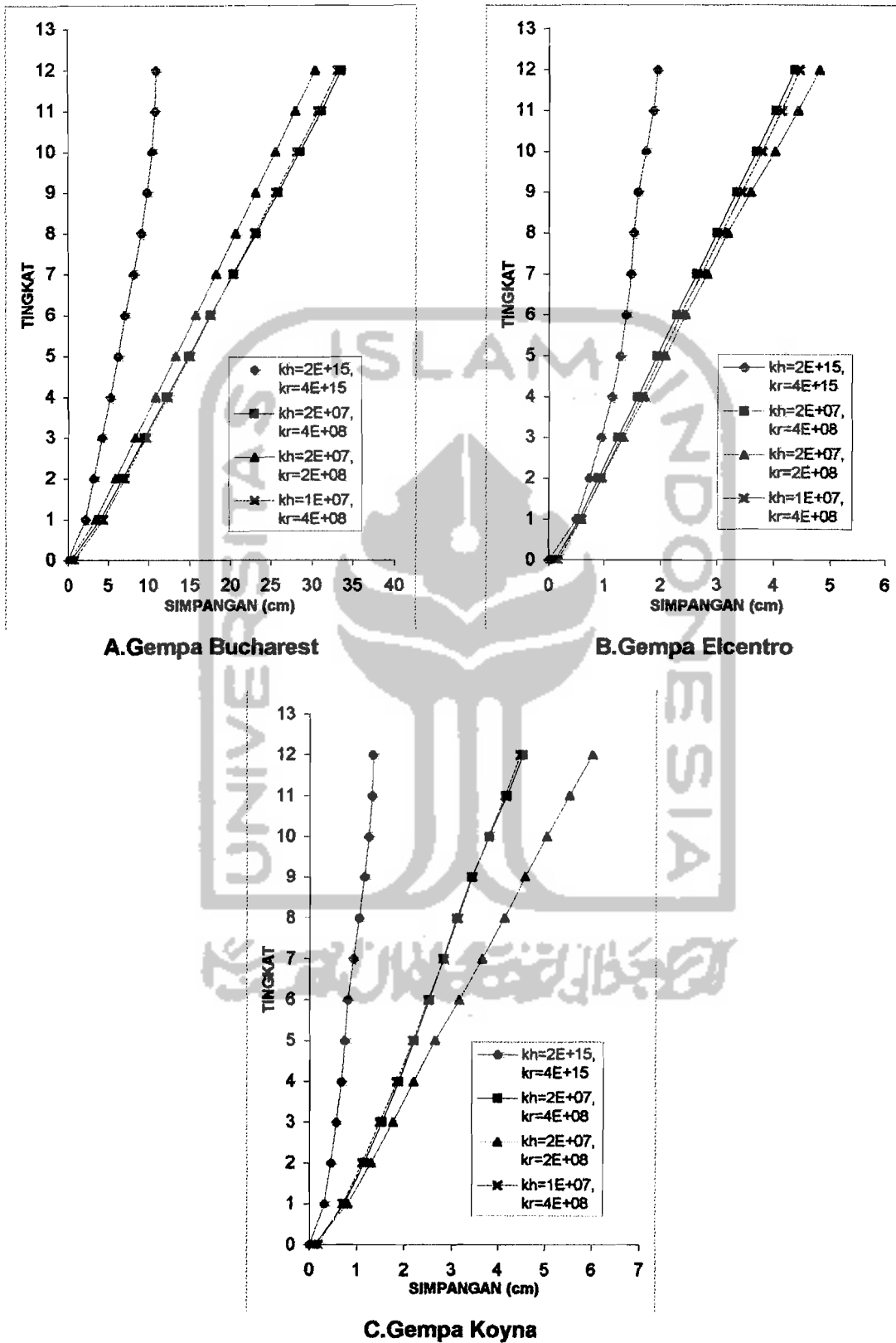
2. Simpangan akibat rotasi berbanding lurus dengan sudut rotasi dan tinggi struktur.
3. Untuk gempa Bucharest (frekuensi rendah) perubahan nilai kekakuan horisontal tanah (k_h) memberikan simpangan yang lebih besar dibanding dengan perubahan nilai kekakuan putar tanah (k_r).
4. Untuk gempa Elcentro dan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

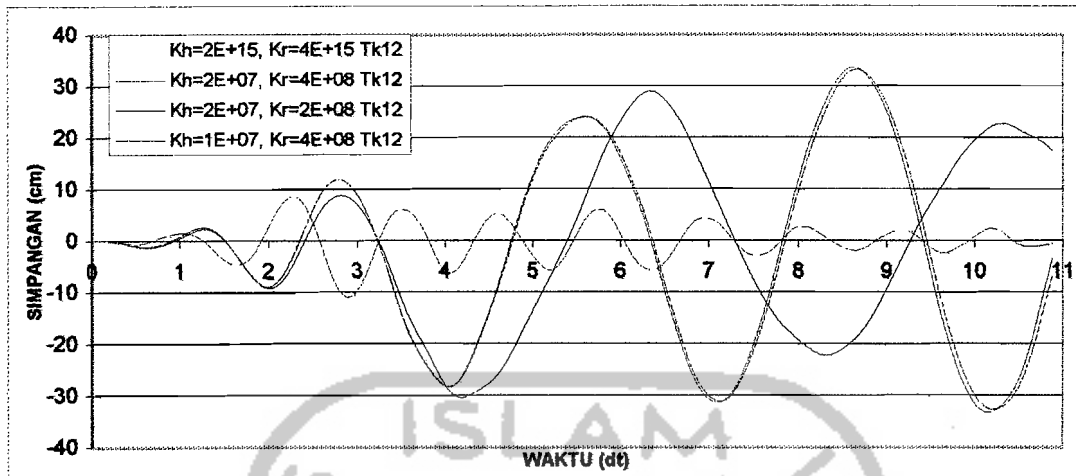
Pembahasan simpangan total berdasarkan gambar 5.105 sampai dengan gambar 5.107 dan tabel 5.13 sampai dengan tabel 5.16 dengan 3 beban gempa dan 4 kombinasi kekakuan horisontal dan kekakuan putar tanah di bawah ini.



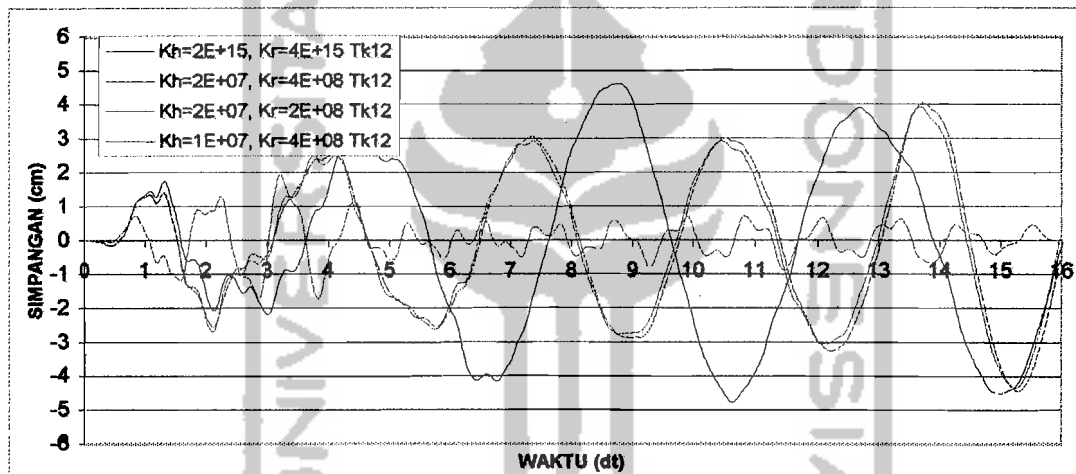
Gambar 5.105 Grafik simpangan total maksimum akibat 3 gempa



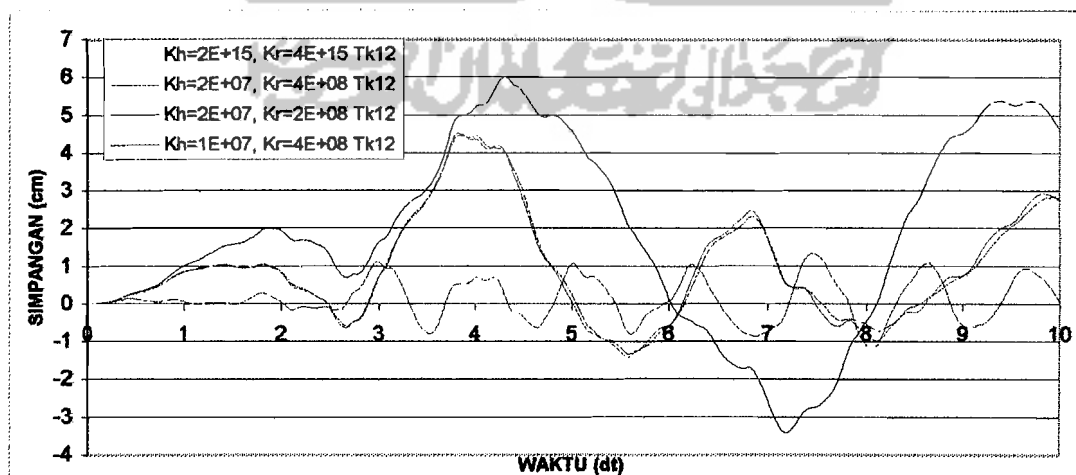
Gambar 5.106 Grafik simpangan total maksimum dengan 4 kombinasi



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

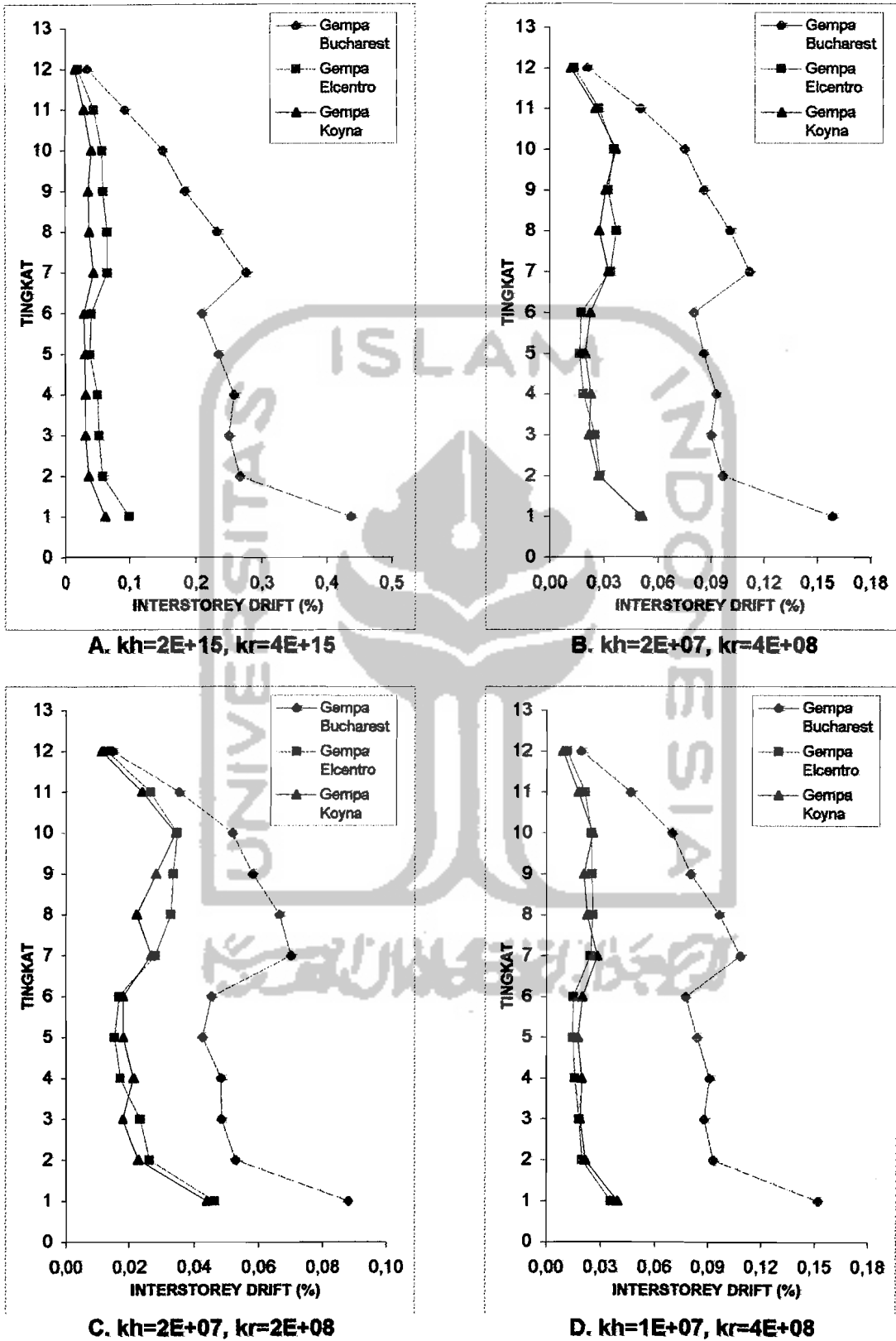
Dari hasil grafik simpangan total maksimum pada gambar 5.105 sampai dengan gambar 5.107 dan tabel 5.13 sampai dengan 5.16 maka,

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

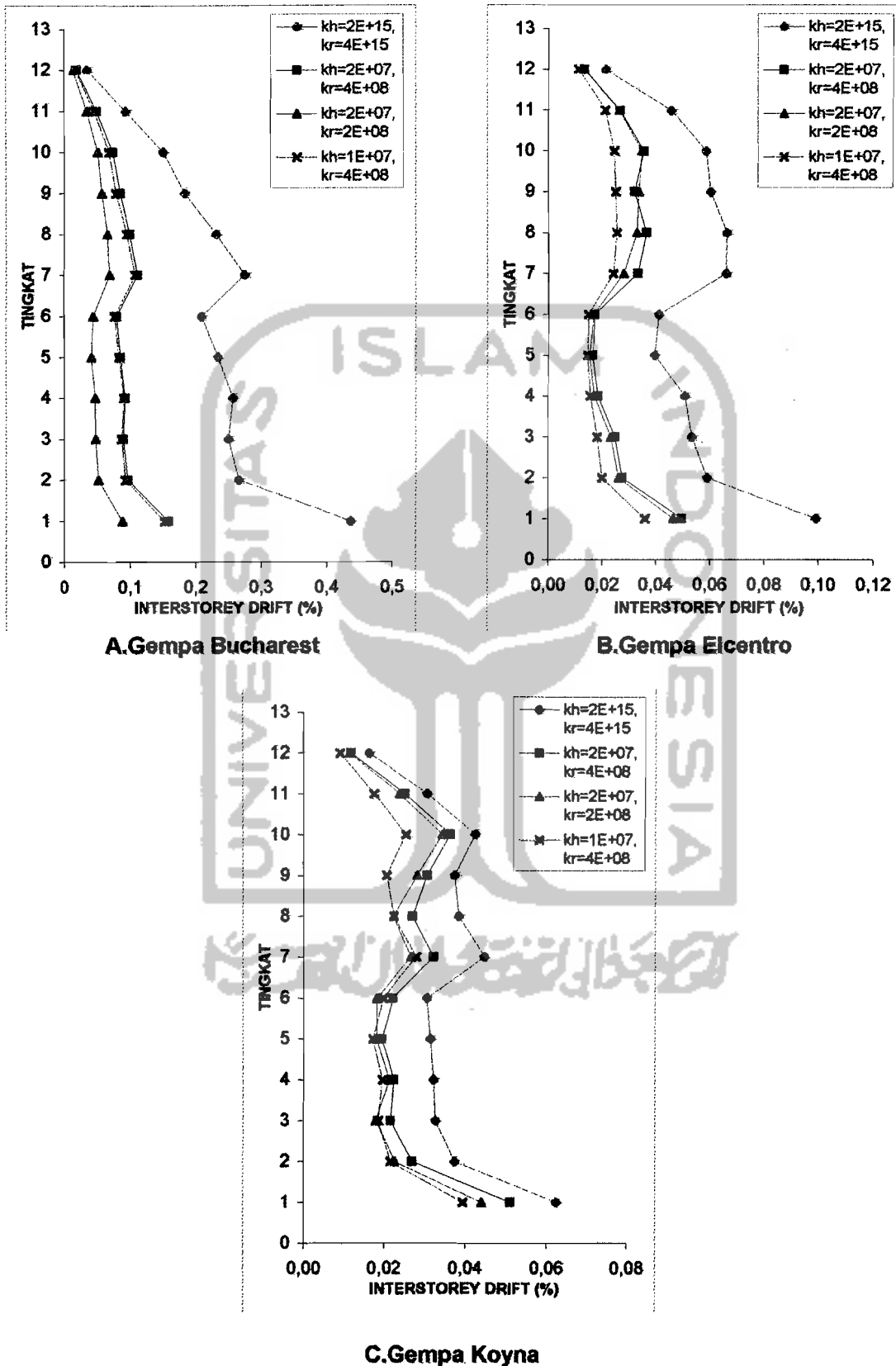
2. Simpangan total pada kombinasi I (tanah jepit penuh) lebih kecil dibanding dengan simpangan total apabila struktur mengalami rotasi (kombinasi II, III dan IV).
3. Untuk gempa frekuensi rendah (gempa Bucharest), perubahan nilai kekakuan horisontal tanah (kh) memberikan simpangan yang lebih besar dibanding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

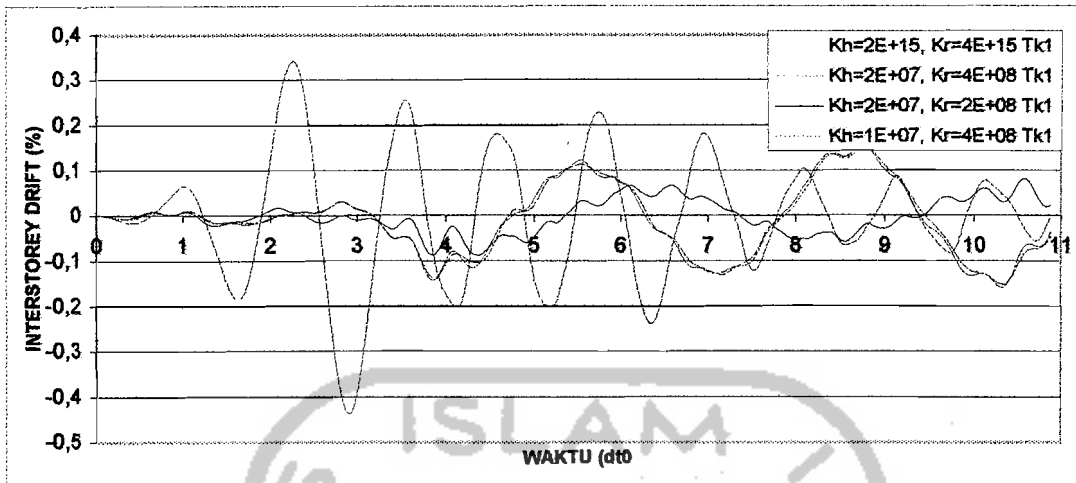
Pembahasan simpangan antar tingkat berdasarkan gambar 5.108 sampai dengan gambar 5.110 tabel 5.17 sampai dengan tabel 5.20 dengan 3 beban gempa dan 4 kombinasi kekakuan horisontal dan kekakuan putar tanah di bawah ini.



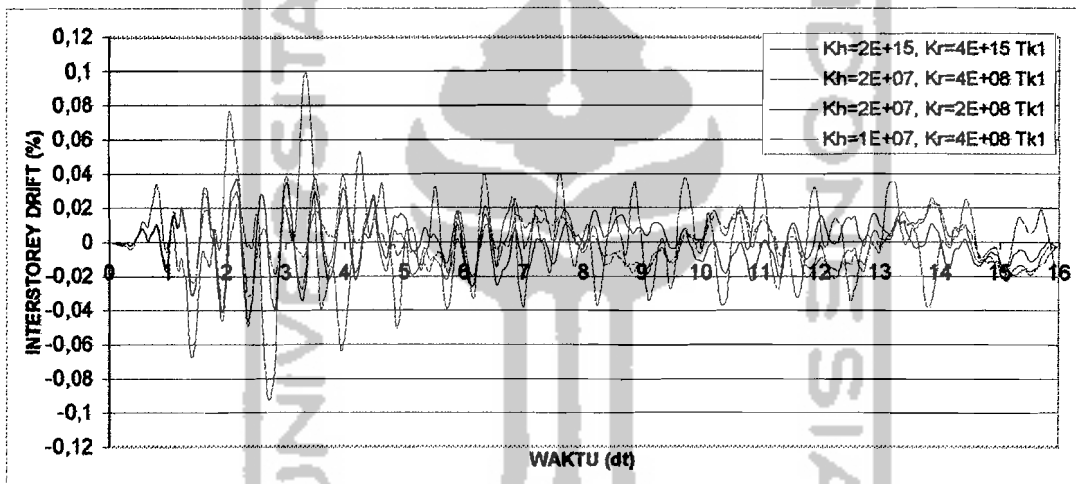
Gambar 5.108 Grafik interstorey drift maksimum akibat 3 gempa



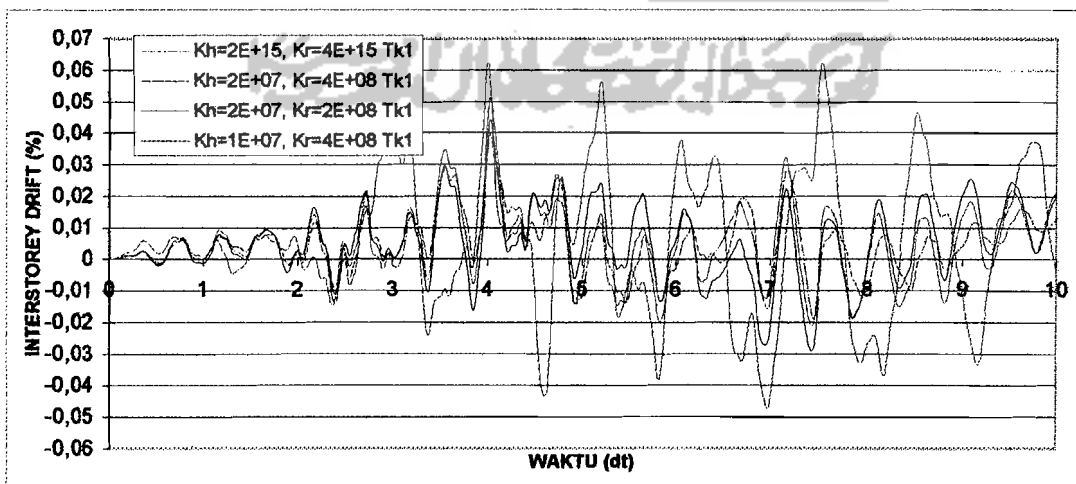
Gambar 5.109 Grafik simpangan antar tingkat maksimum dengan 4 kombinasi



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

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

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

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

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,

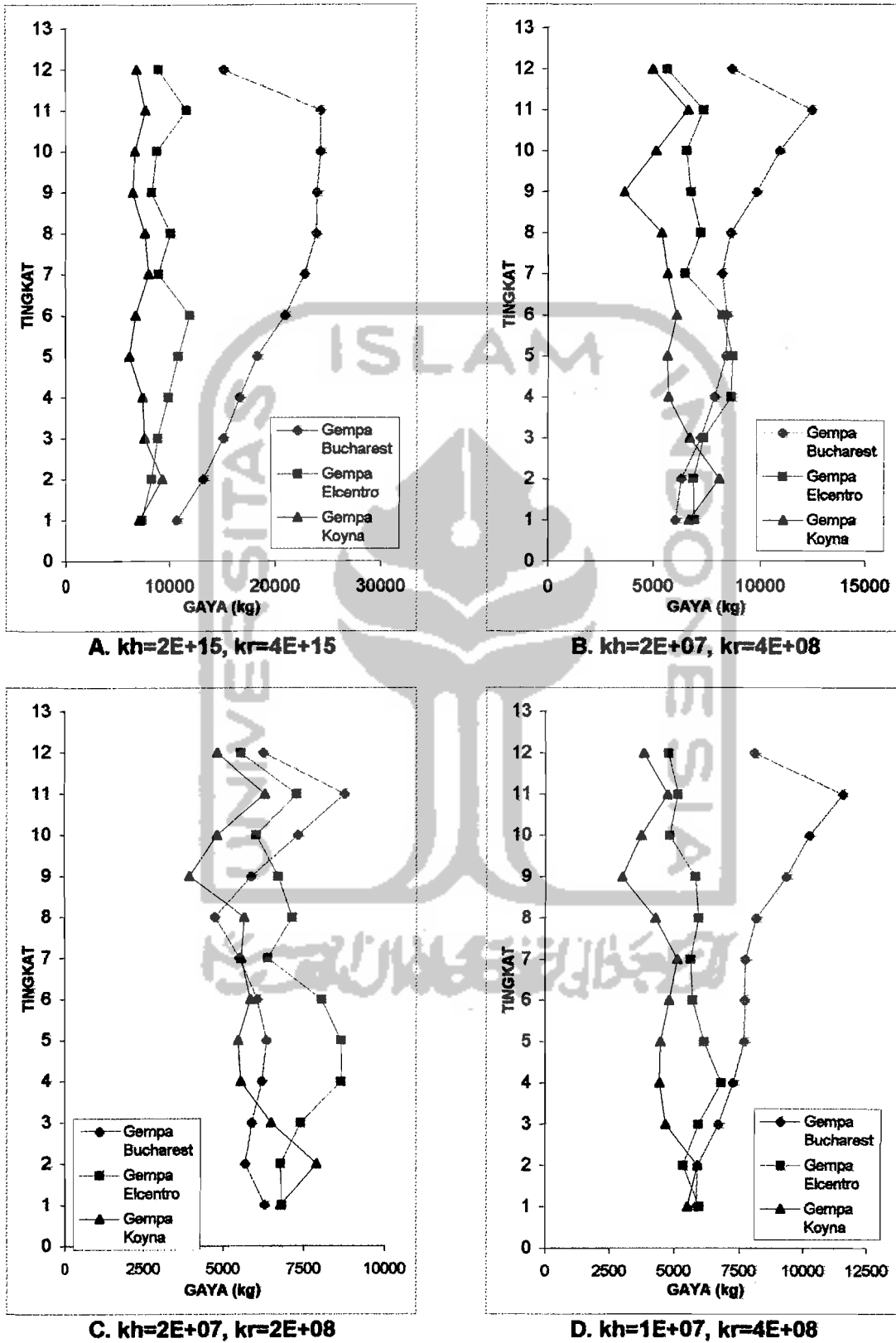
1. Simpangan antar tingkat akan bertambah besar sesuai dengan penurunan kekakuan yang terjadi, serta pada kekakuan yang

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

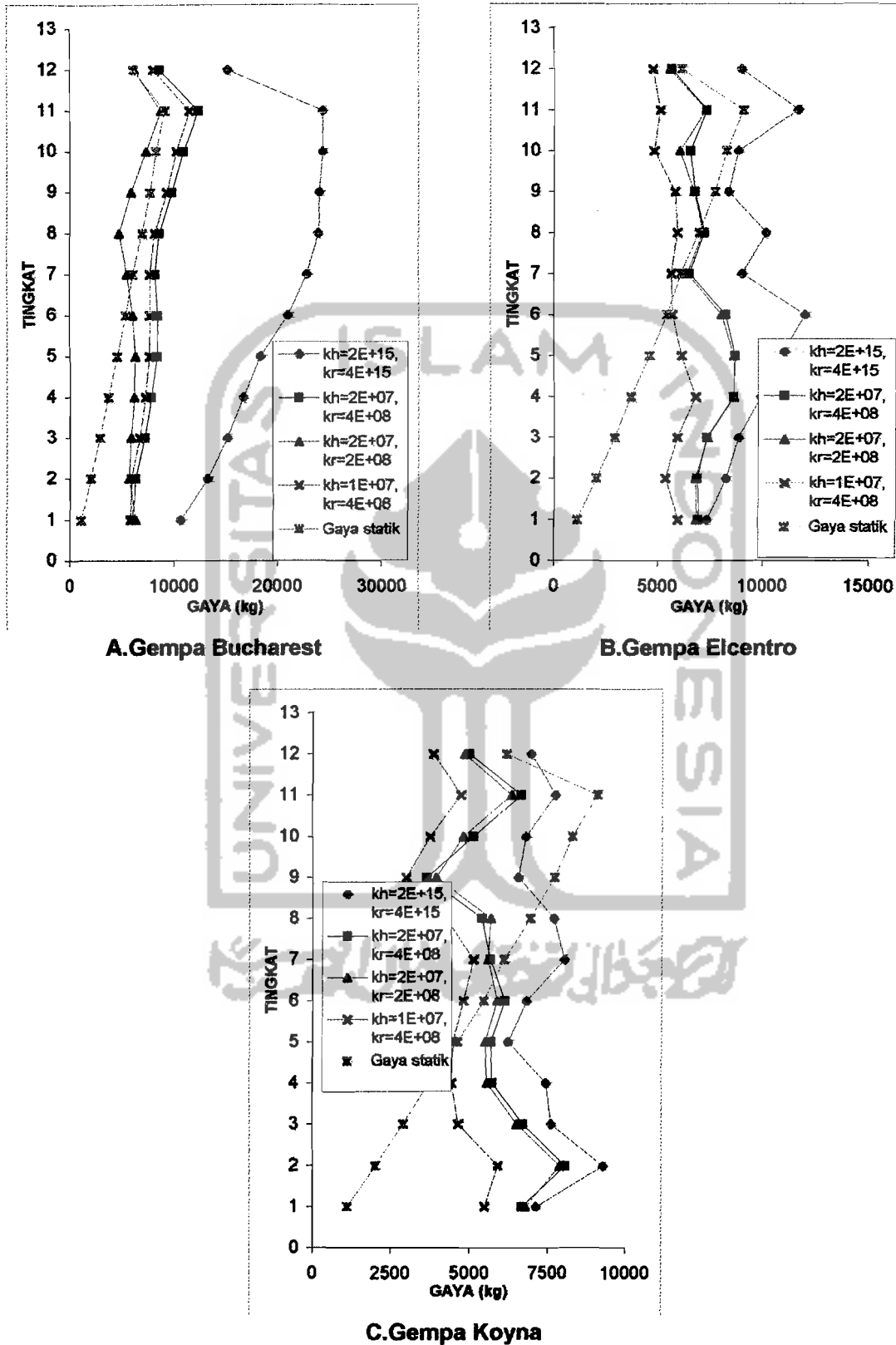
2. Simpangan antar tingkat pada kombinasi I (tanah jepit penuh), simpangan antar tingkat maksimum terjadi pada tingkat 1 berlaku untuk gempa frekuensi rendah, frekuensi sedang dan frekuensi tinggi.
3. Simpangan antar tingkat pada kondisi tanah jepit penuh (kombinasi I) lebih besar dibanding dengan simpangan 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

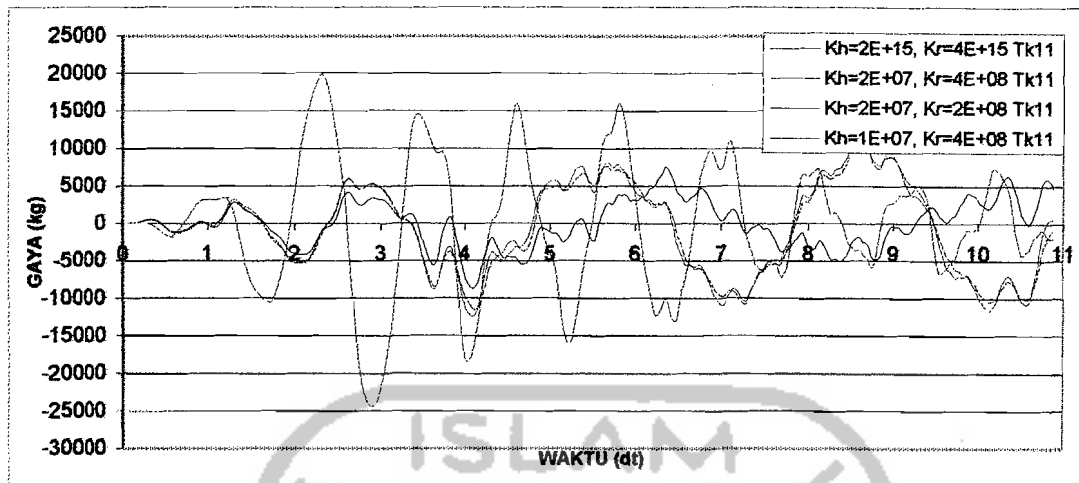
Pembahasan grafik gaya horisontal tingkat berdasarkan gambar 5.111 sampai dengan gambar 5.113 dan tabel 5.21 sampai dengan tabel 5.24 dengan 3 beban gempa dan 4 kombinasi kekakuan horisontal dan kekakuan putar tanah serta gaya horisontal akibat beban gempa statik (diambil dari tugas akhir Utama Sahala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



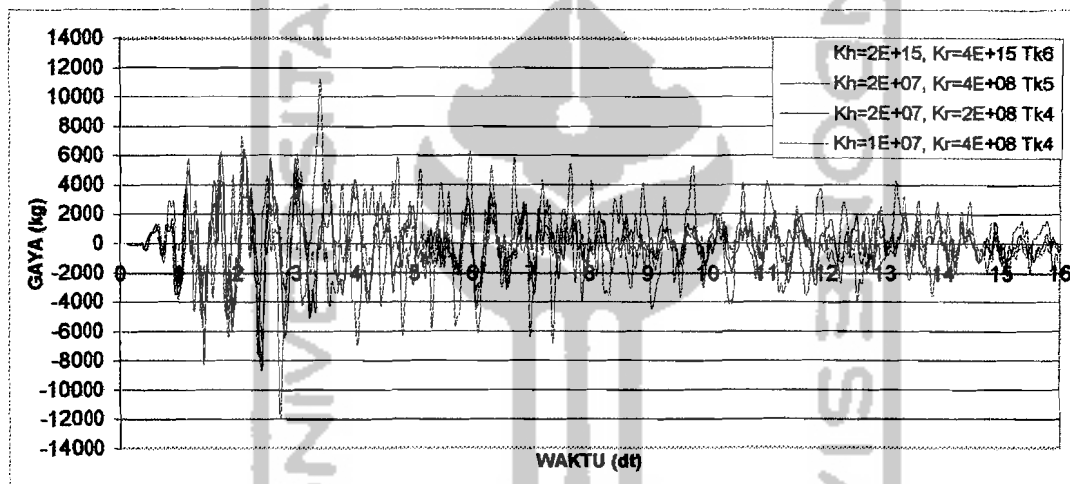
Gambar 5.111 Grafik gaya horisontal tingkat maksimum akibat 3 gempa



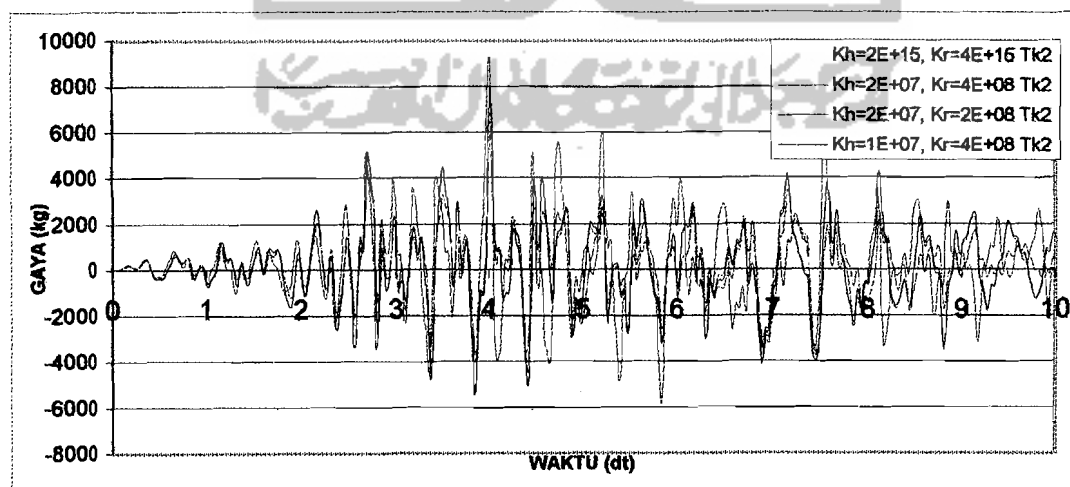
Gambar 5.112 Grafik gaya horisontal tingkat maksimum dengan 4 kombinasi



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

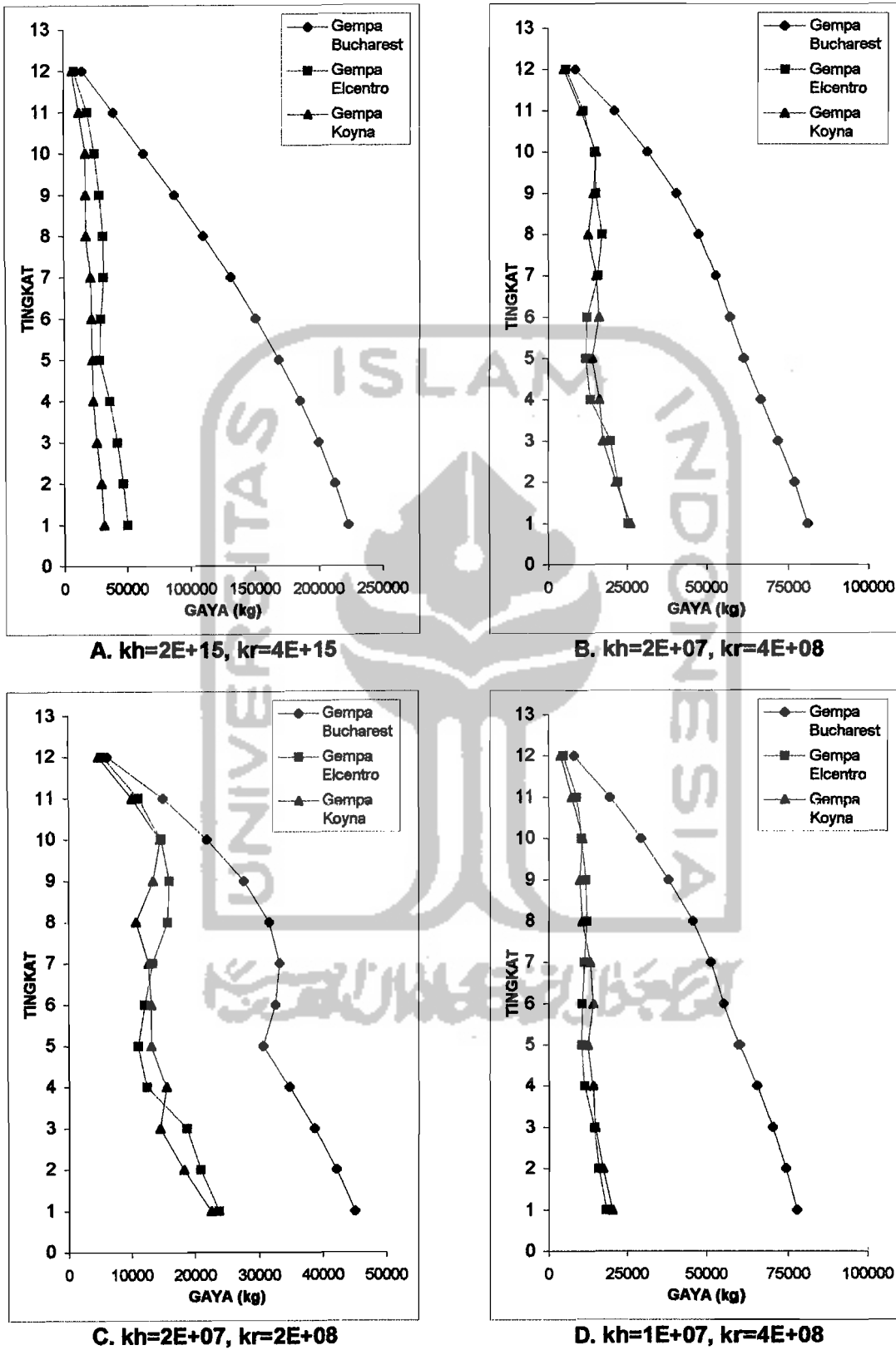
Dari hasil grafik gaya horisontal tingkat maksimum pada gambar 5.111 sampai dengan gambar 5.113 dan tabel 5.21 sampai dengan 5.24 maka,

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

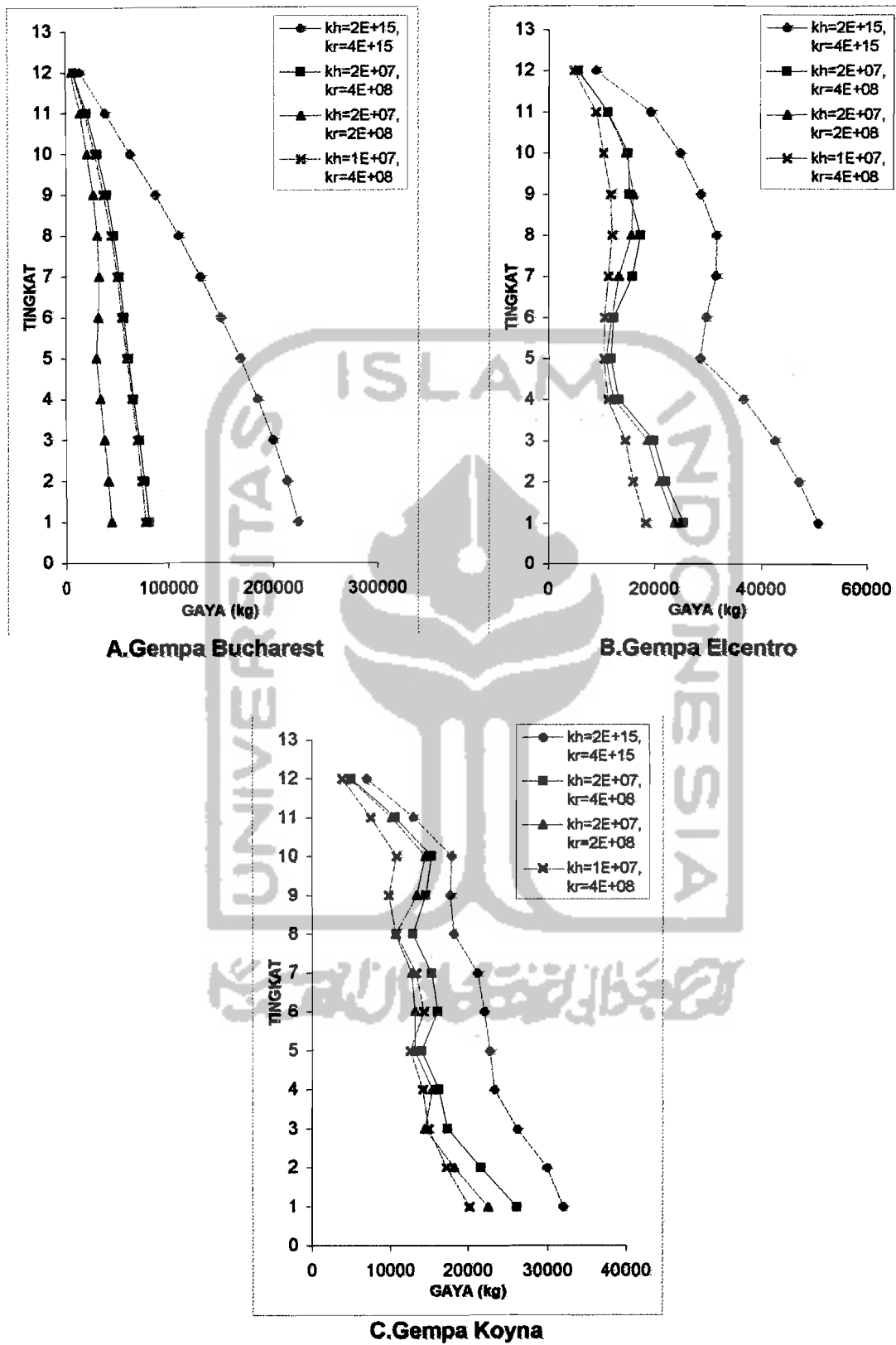
2. Pada kombinasi I (tanah jepit penuh, *fixed*) memberikan gaya horisontal tingkat lebih besar dibandingkan apabila struktur mengalami rotasi (kombinasi II, III dan IV).
3. Frekuensi gempa semakin rendah maka gaya horisontal tingkat semakin besar.
4. Gaya horisontal akibat beban gempa statik pada saat 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

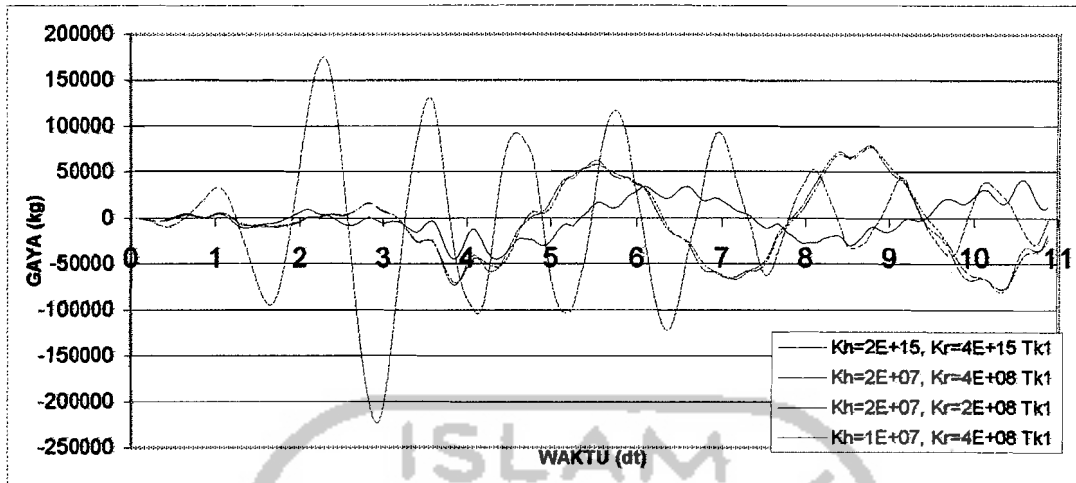
Pembahasan gaya geser tingkat berdasarkan gambar 5.114 sampai dengan gambar 5.116 dan tabel 5.25 sampai dengan tabel 5.28 dengan 3 beban gempa dan 4 kombinasi kekakuan horisontal tanah dan kekakuan putar tanah di bawah ini.



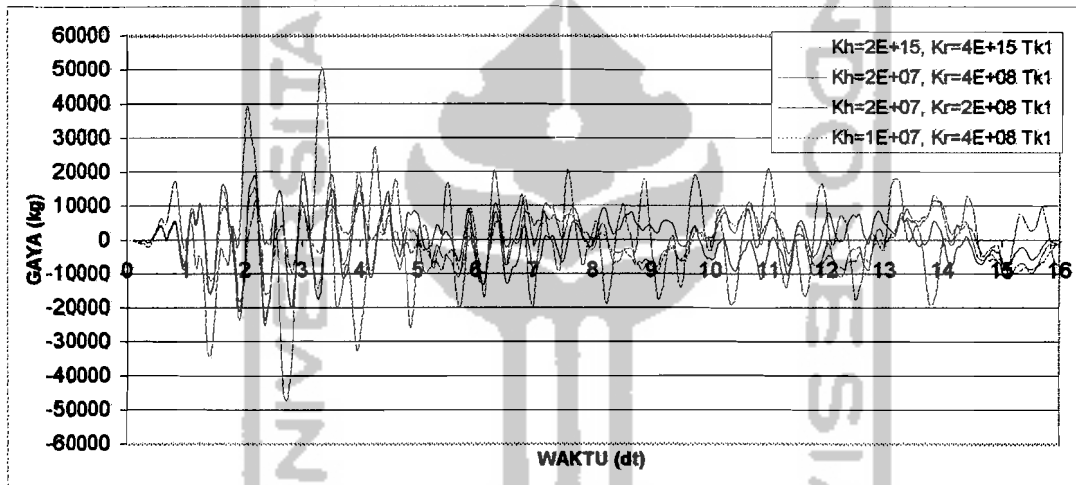
Gambar 5.114 Grafik gaya geser tingkat maksimum akibat 3 gempa



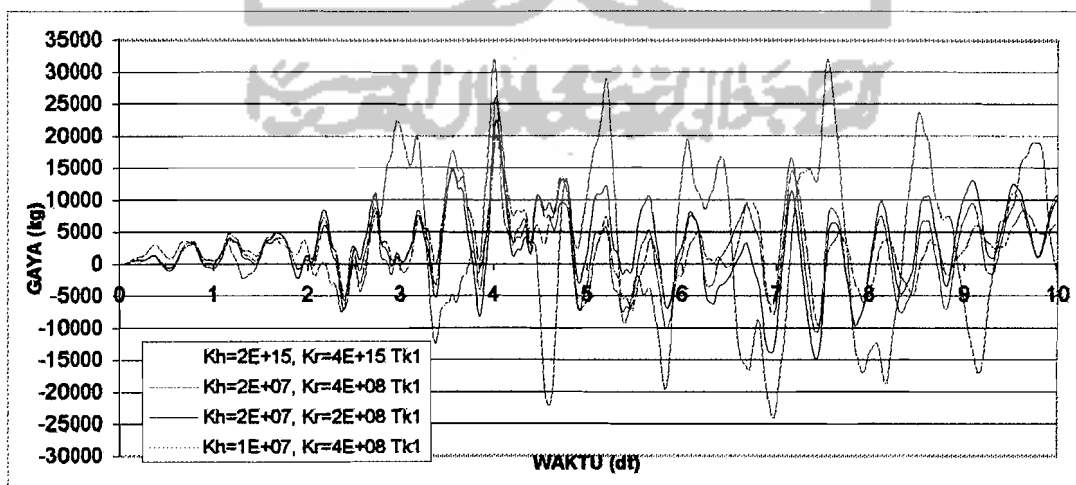
Gambar 5.115 Grafik gaya geser tingkat maksimum dengan 4 kombinasi



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

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

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

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

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

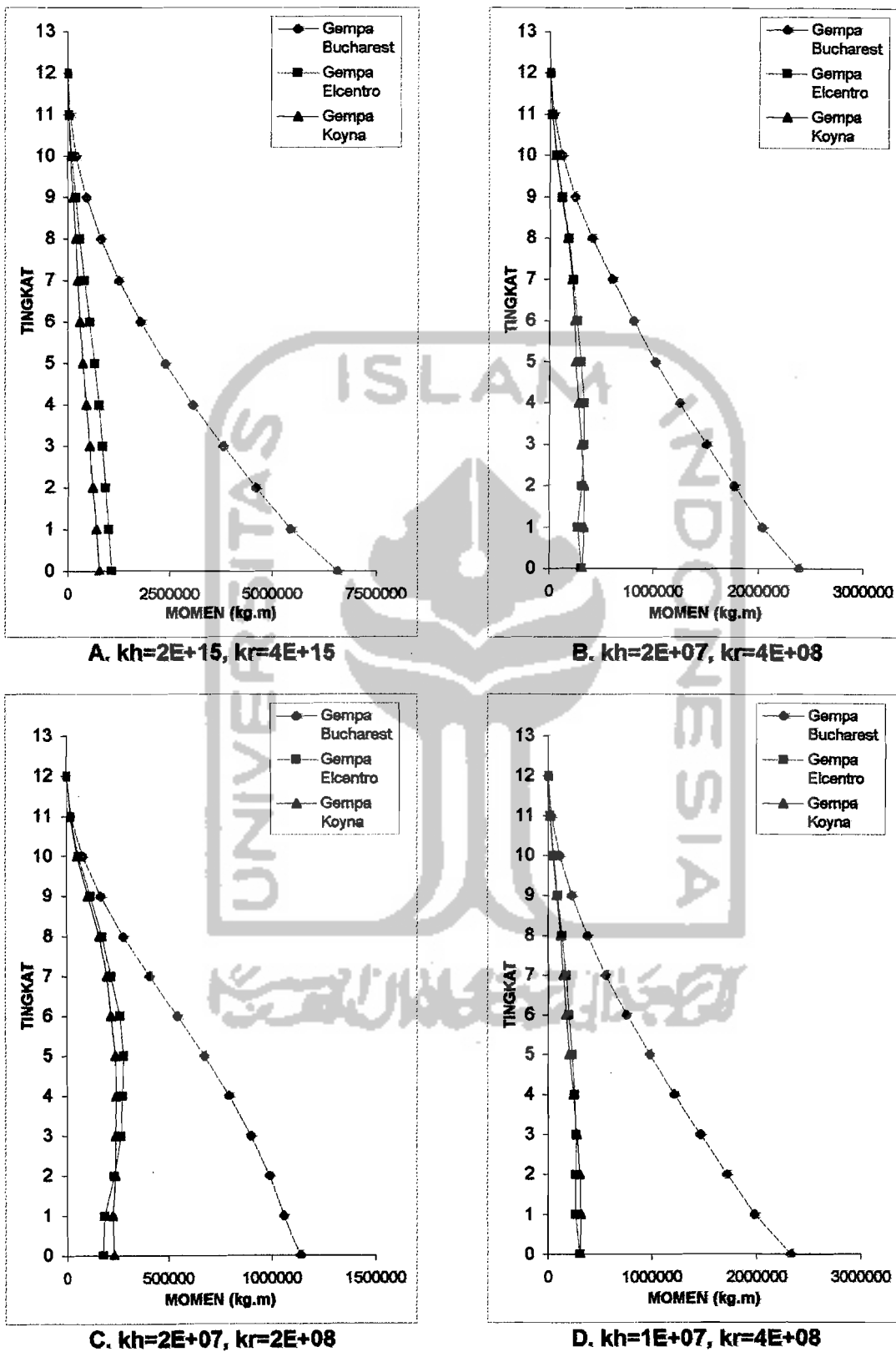
Dari hasil grafik gaya geser tingkat maksimum pada gambar 5.114 sampai dengan gambar 5.116 dan tabel 5.25 sampai dengan 5.28 maka,

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.

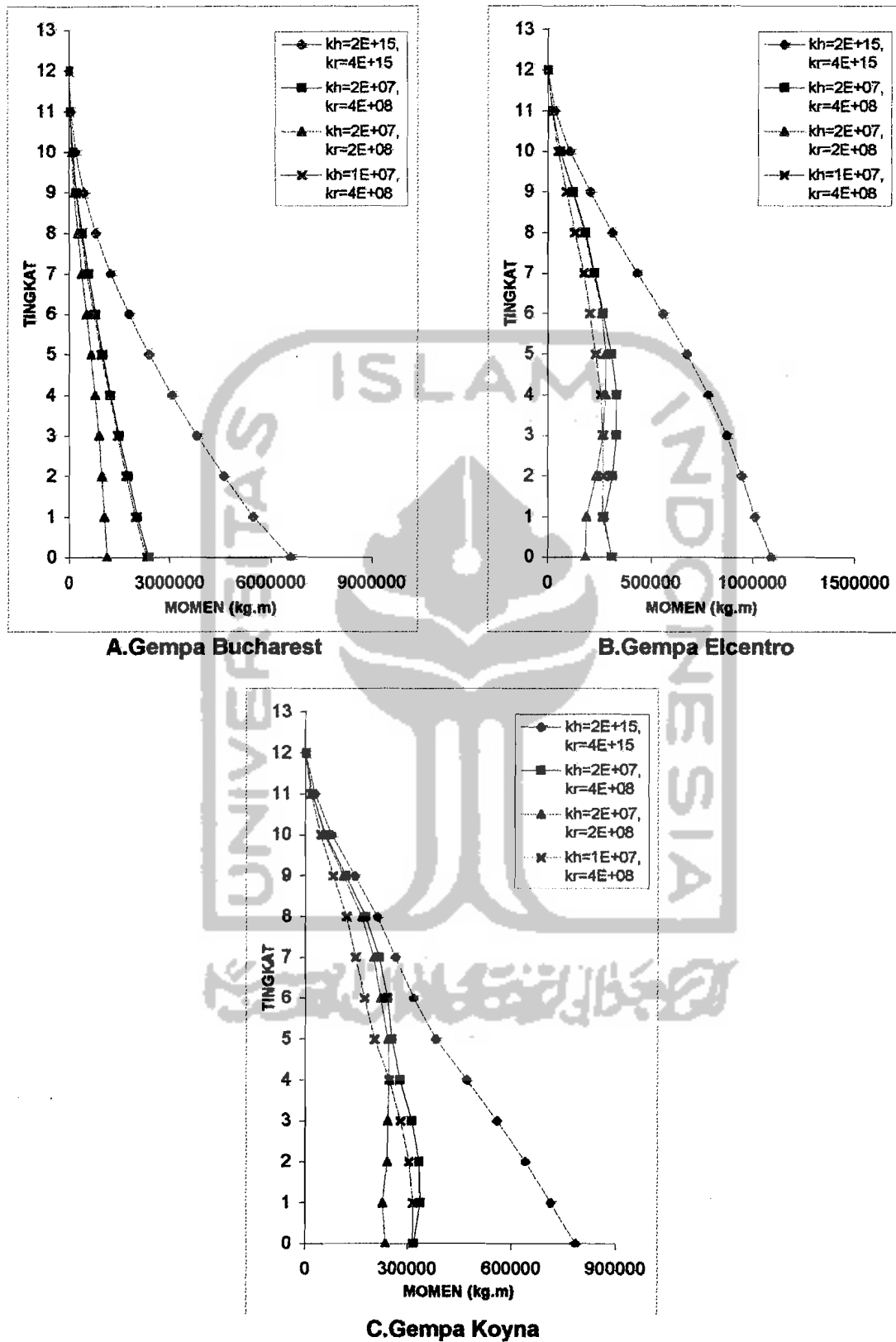
2. Gaya geser tingkat paling besar diakibatkan oleh gempa Bucharest.
3. Gaya geser tingkat pada kombinasi I (tanah jepit penuh, *fixed*) lebih besar dibanding dengan gaya geser tingkat apabila struktur mengalami rotasi.
4. Untuk gempa frekuensi rendah (gempa Bucharest), perubahan nilai kekakuan horisontal 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

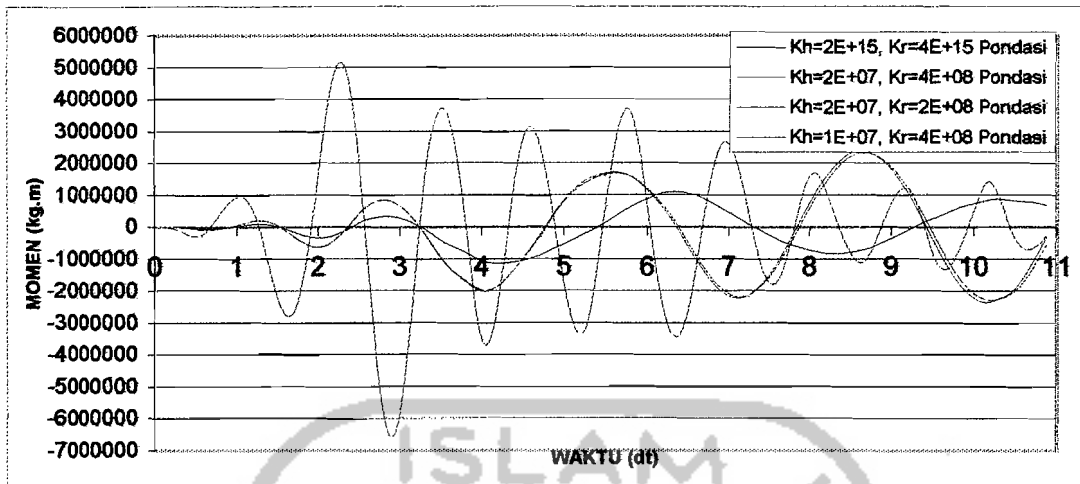
Pembahasan momen guling berdasarkan gambar 5.117 samapai dengan gambar 5.119 dan tabel 5.29 sampai dengan tabel 5.32 dengan 3 beban gempa dan 4 kombinasi kekakuan horisontal tanah dan kekakuan putar tanah di bawah ini.



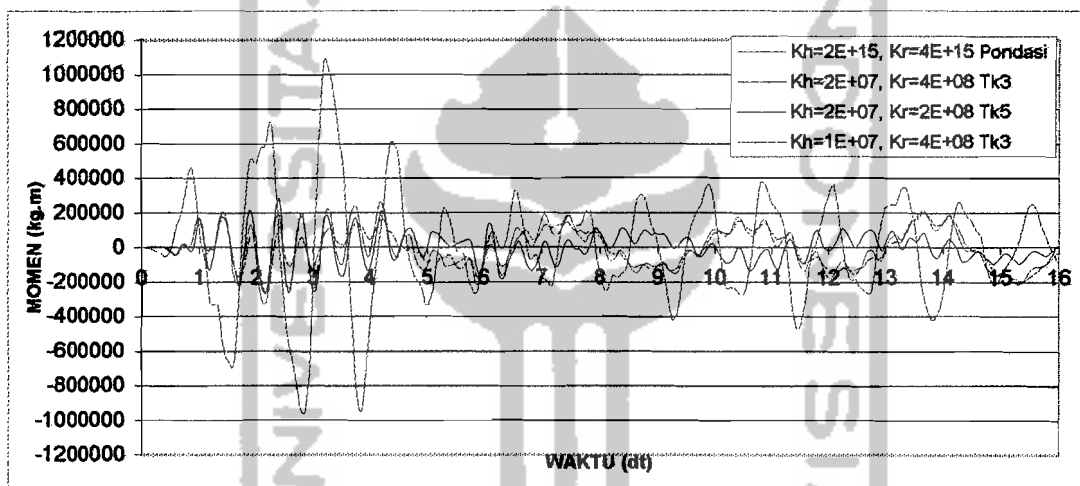
Gambar 5.117 Grafik momen guling maksimum akibat 3 gempa



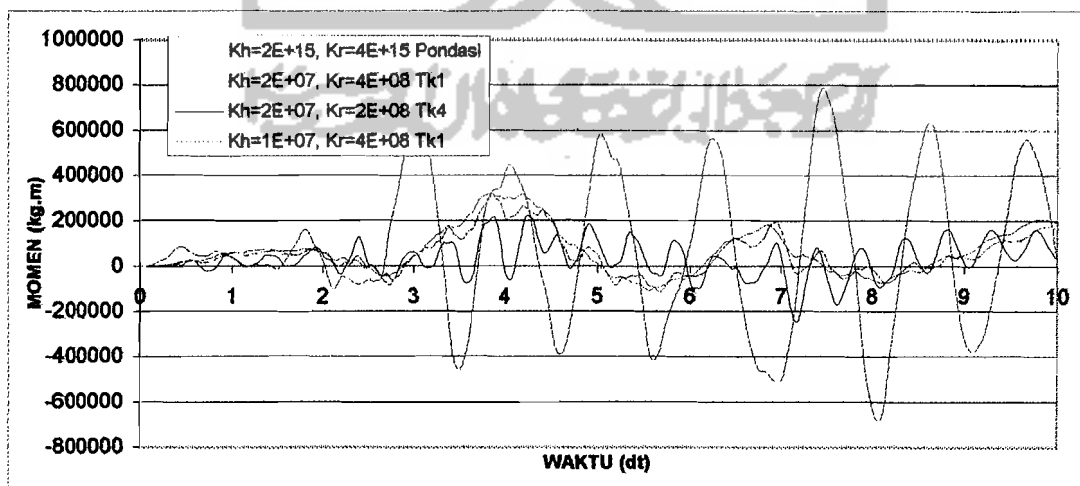
Gambar 5.118 Grafik momen guling maksimum dengan 4 kombinasi



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

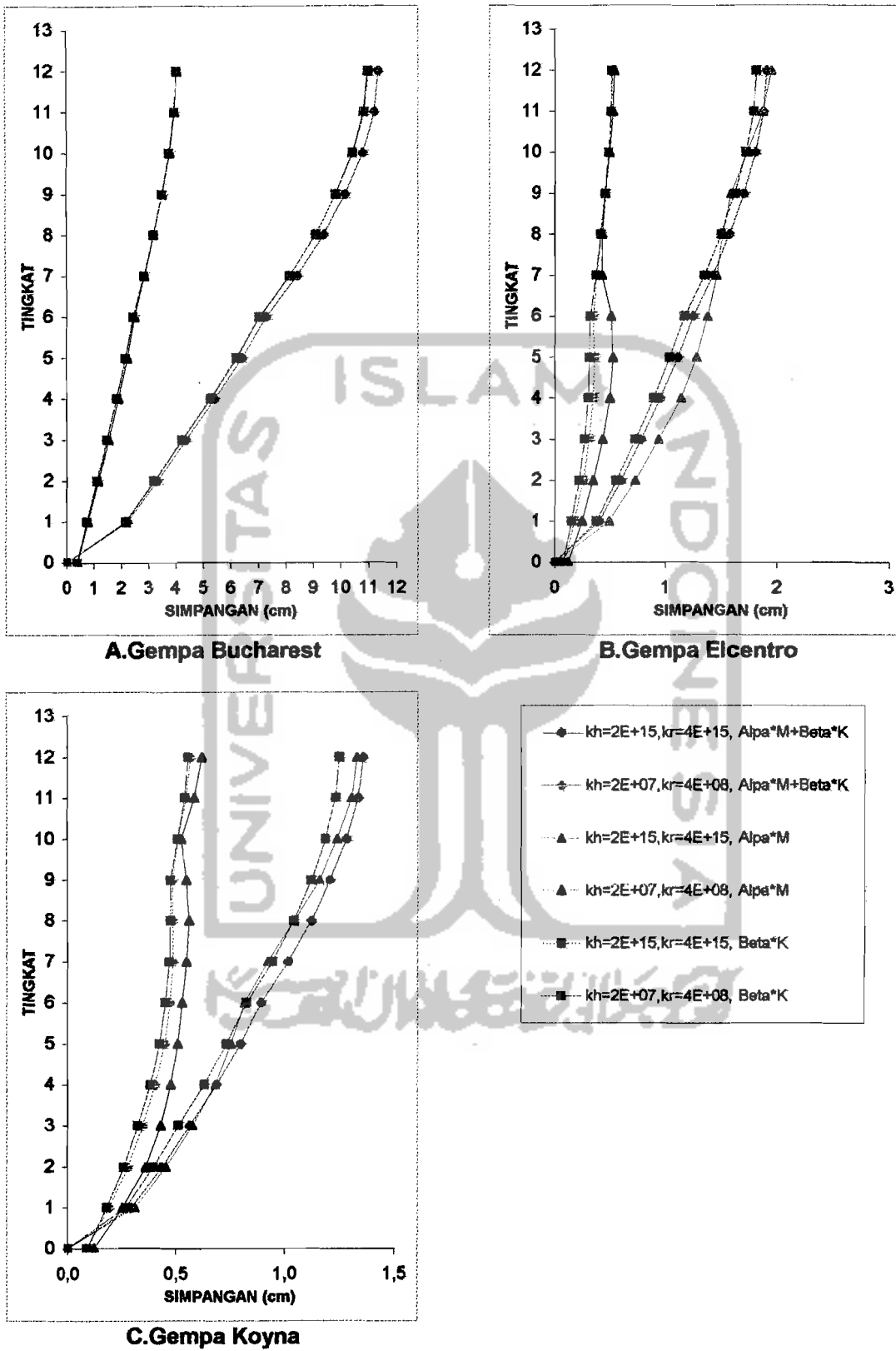
Dari hasil grafik momen guling maksimum pada gambar 5.117 sampai dengan gambar 5.119 dan tabel 5.29 sampai dengan 5.32 maka,

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

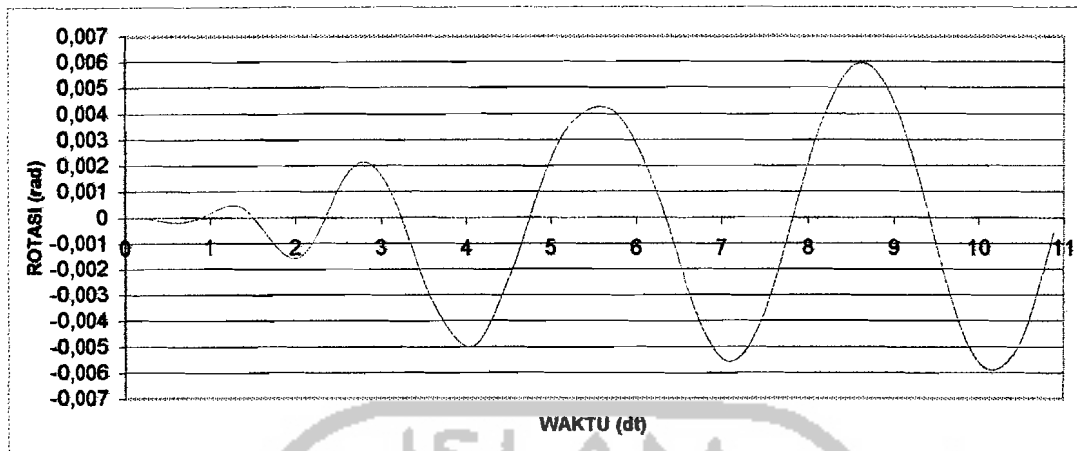
2. Momen guling akan mengalami nilai maksimum pada lantai dasar, sedangkan nilai minimum terjadi pada tingkat paling atas.
3. Pada kombinasi I (tanah jepit penuh, *fixed*), momen guling yang terjadi lebih besar dibandingkan dengan struktur yang mengalami rotasi.
4. Perubahan nilai kekakuan horisontal 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

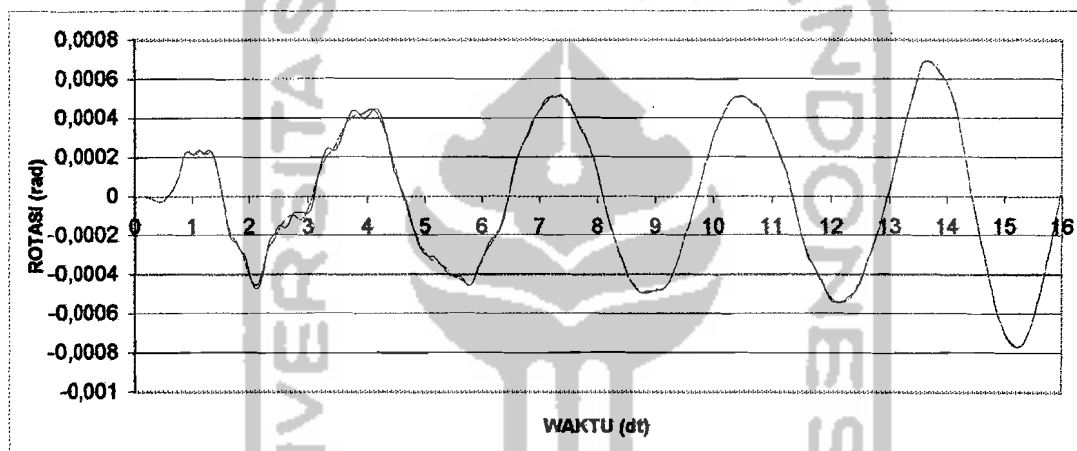
Dalam analisis ini membandingkan hasil respon struktur dengan menggunakan nilai redaman yang berbeda, yaitu redaman proposional dengan massa digunakan mode ke-1, redaman proposional dengan kekakuan digunakan mode ke-1 dan redaman proposional dengan massa (mode ke-1) dan kekakuan (mode ke-7). Hasil analisis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



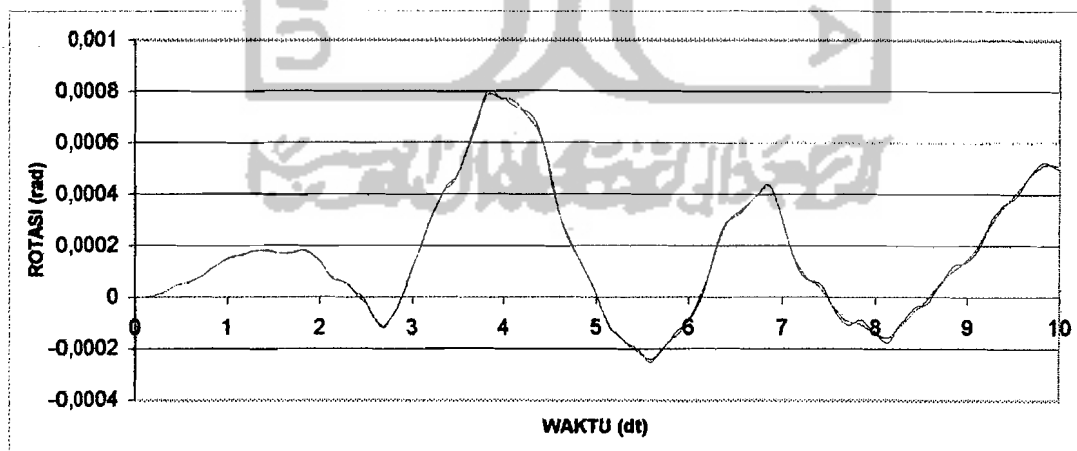
Gambar 5.120 Grafik simpangan netto dengan 3 kombinasi redaman



A. Gempa Bucharest



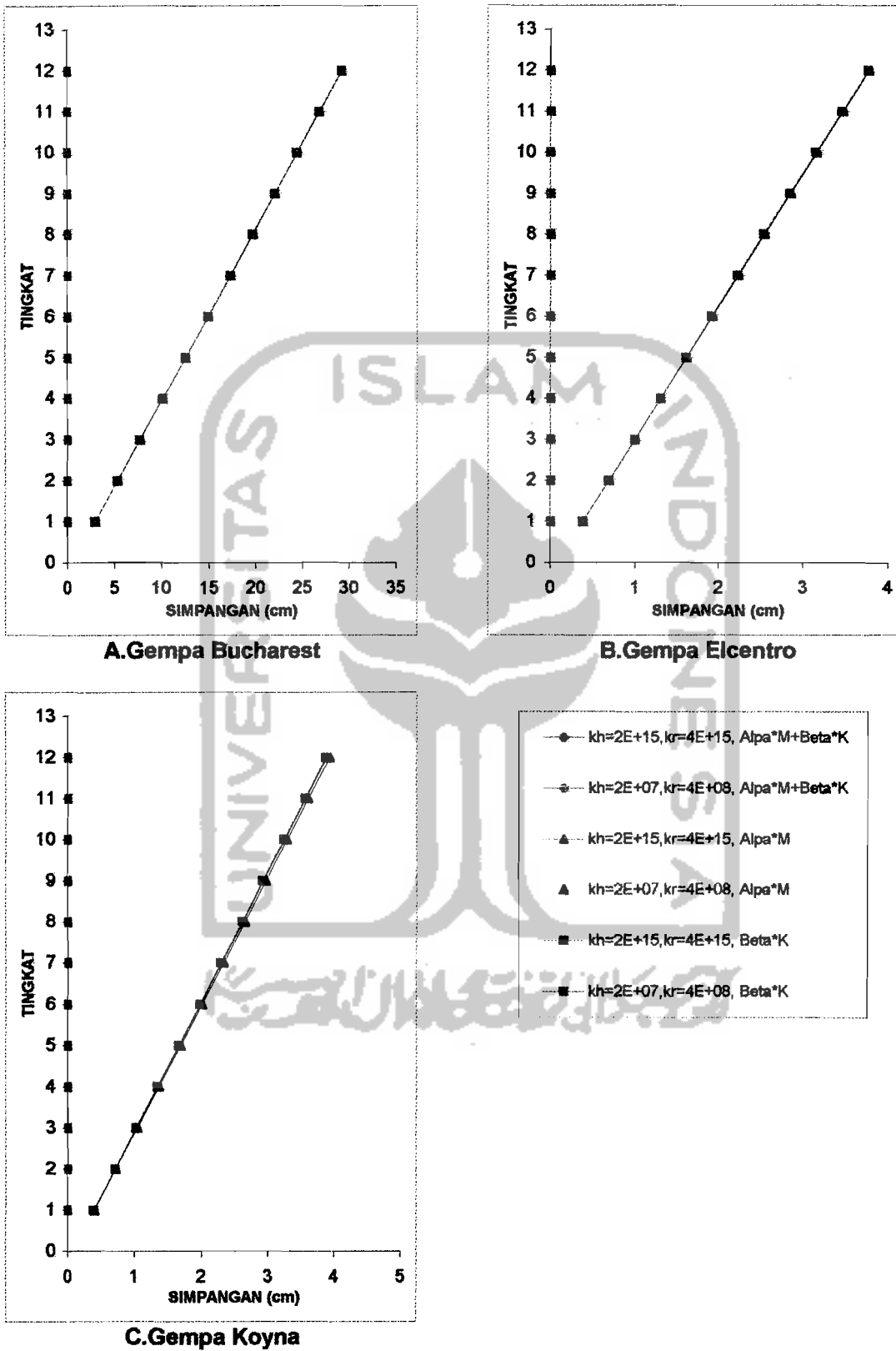
B. Gempa Elcentro



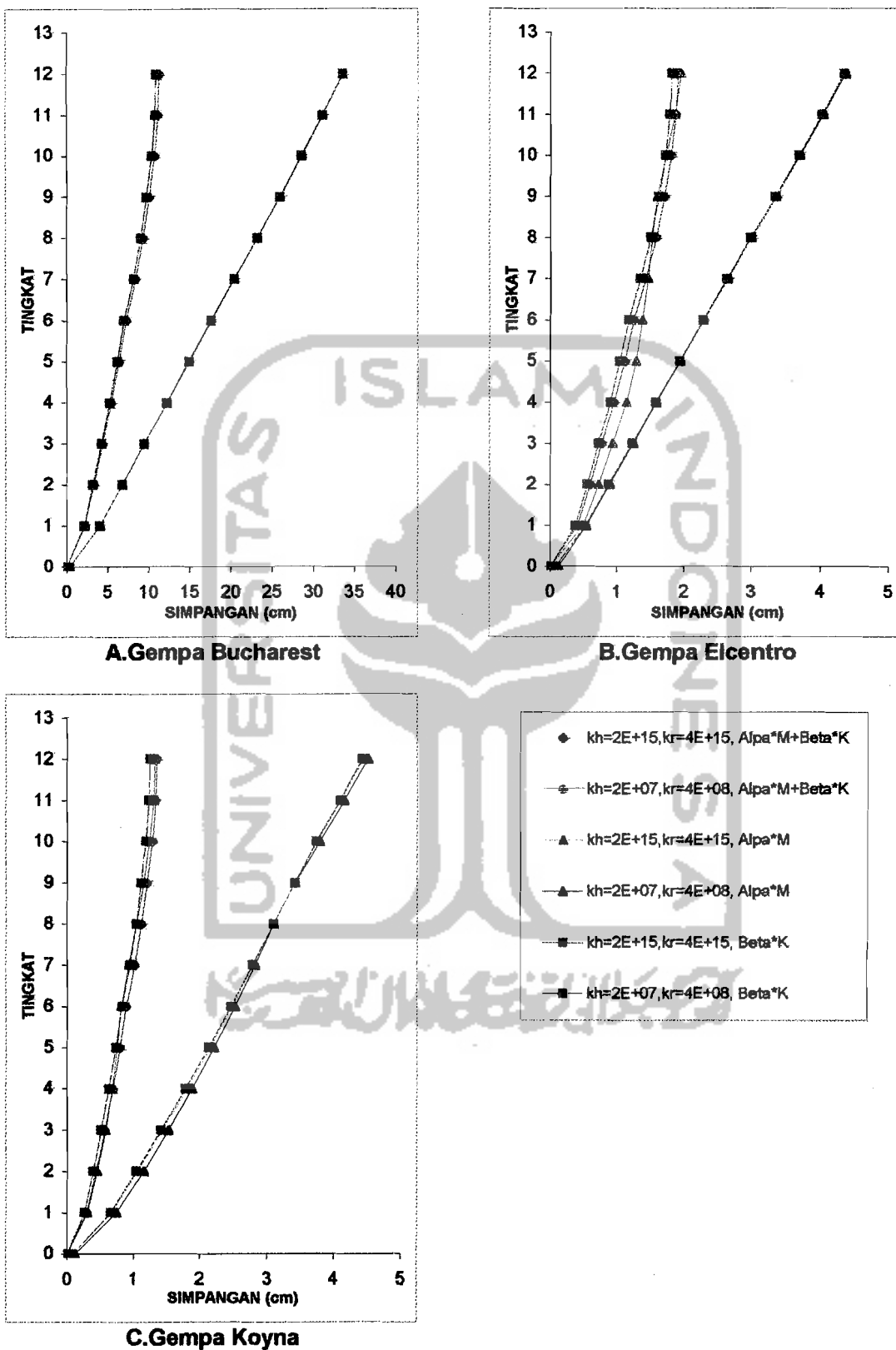
C. Gempa Koyna

kh=2E+15, kr=4E+15, $\text{Alfa} \cdot \text{M} + \text{Beta} \cdot \text{K}$	kh=2E+07, kr=4E+08, $\text{Alfa} \cdot \text{M} + \text{Beta} \cdot \text{K}$
kh=2E+15, kr=4E+15, $\text{Alfa} \cdot \text{M}$	kh=2E+07, kr=4E+08, $\text{Alfa} \cdot \text{M}$
kh=2E+15, kr=4E+15, $\text{Beta} \cdot \text{K}$	kh=2E+07, kr=4E+08, $\text{Beta} \cdot \text{K}$

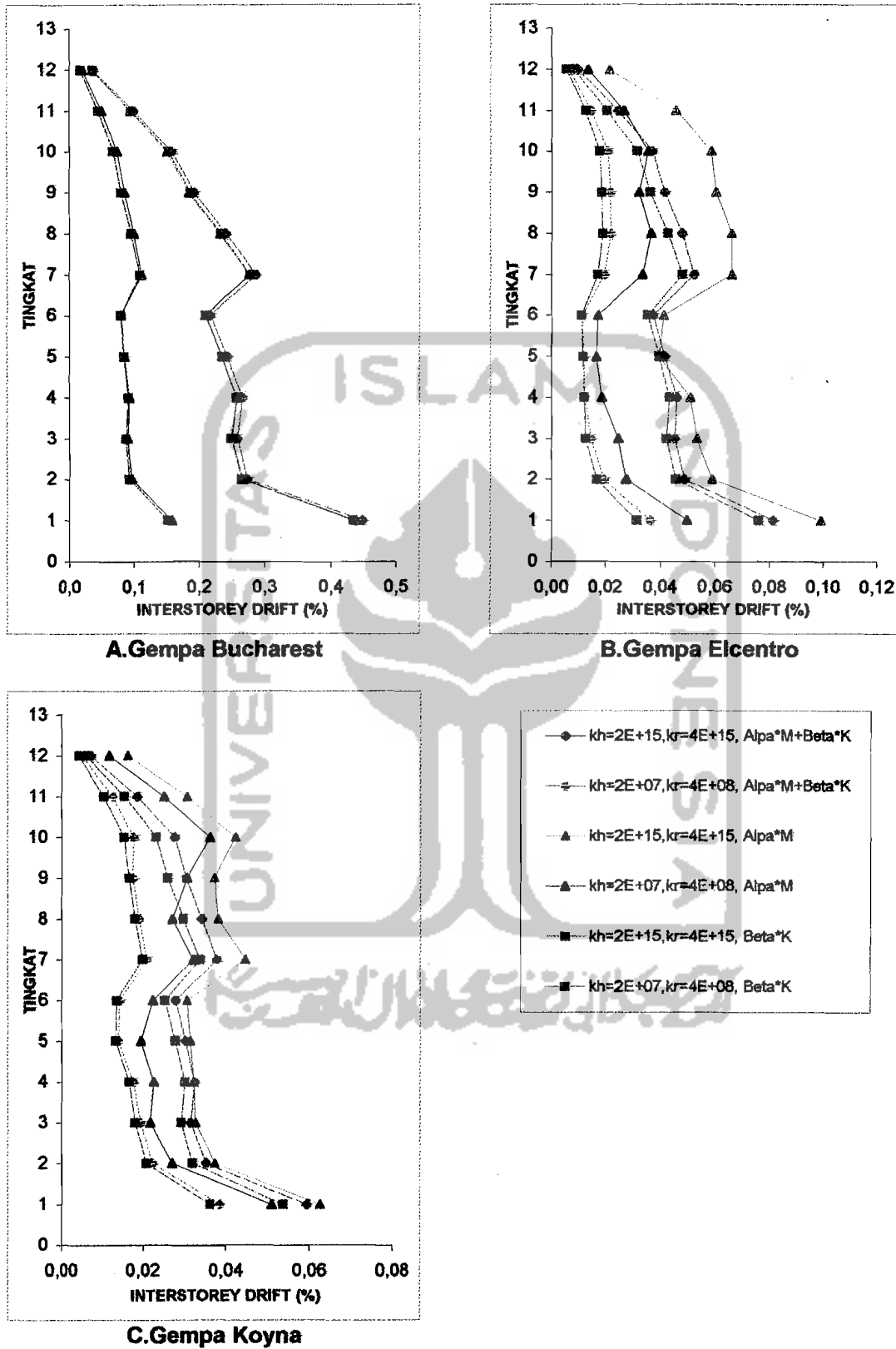
Gambar 5.121 Grafik rotasi dengan 3 kombinasi redaman



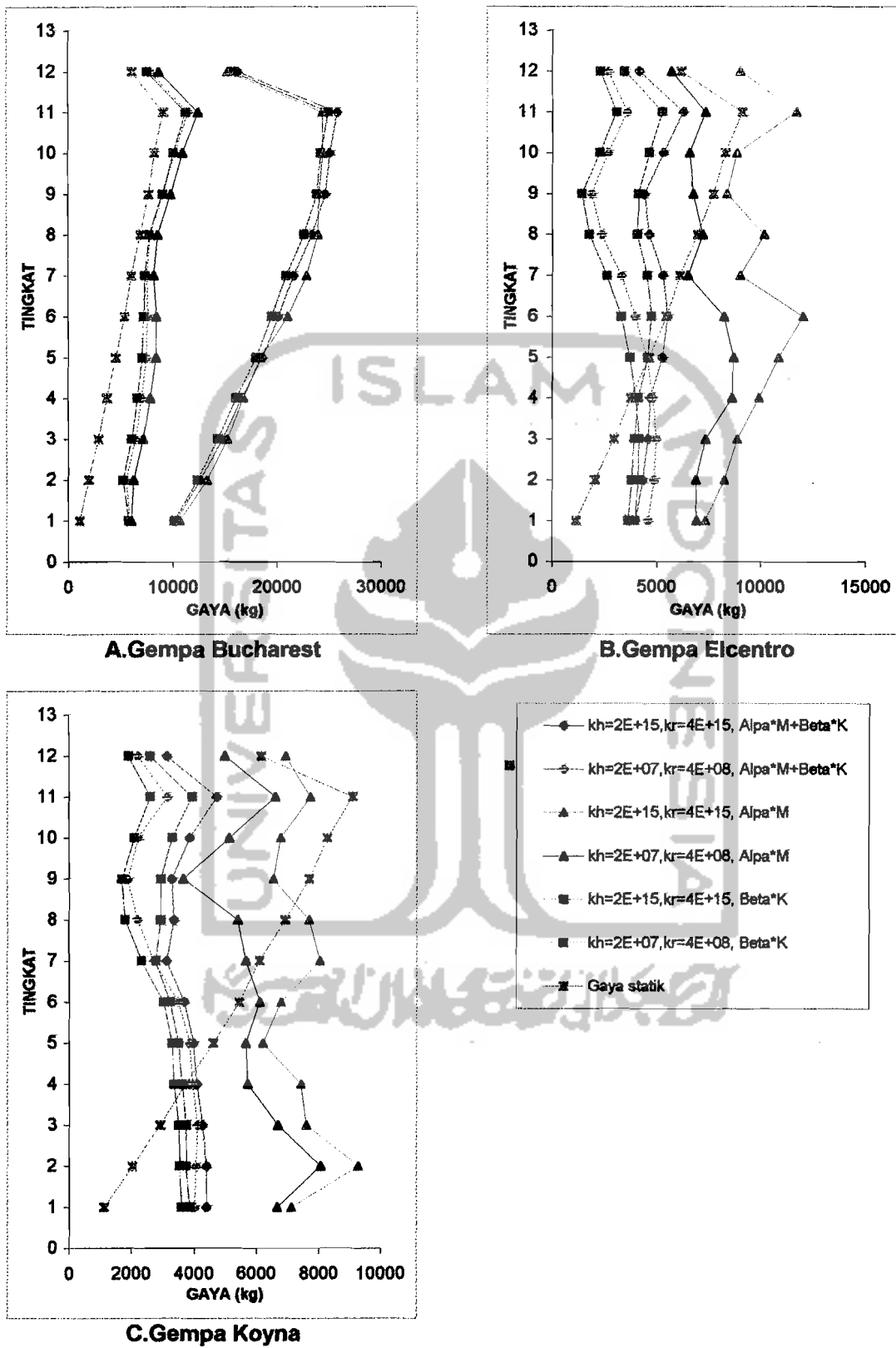
Gambar 5.122 Grafik simpangan rotasi dengan 3 kombinasi redaman



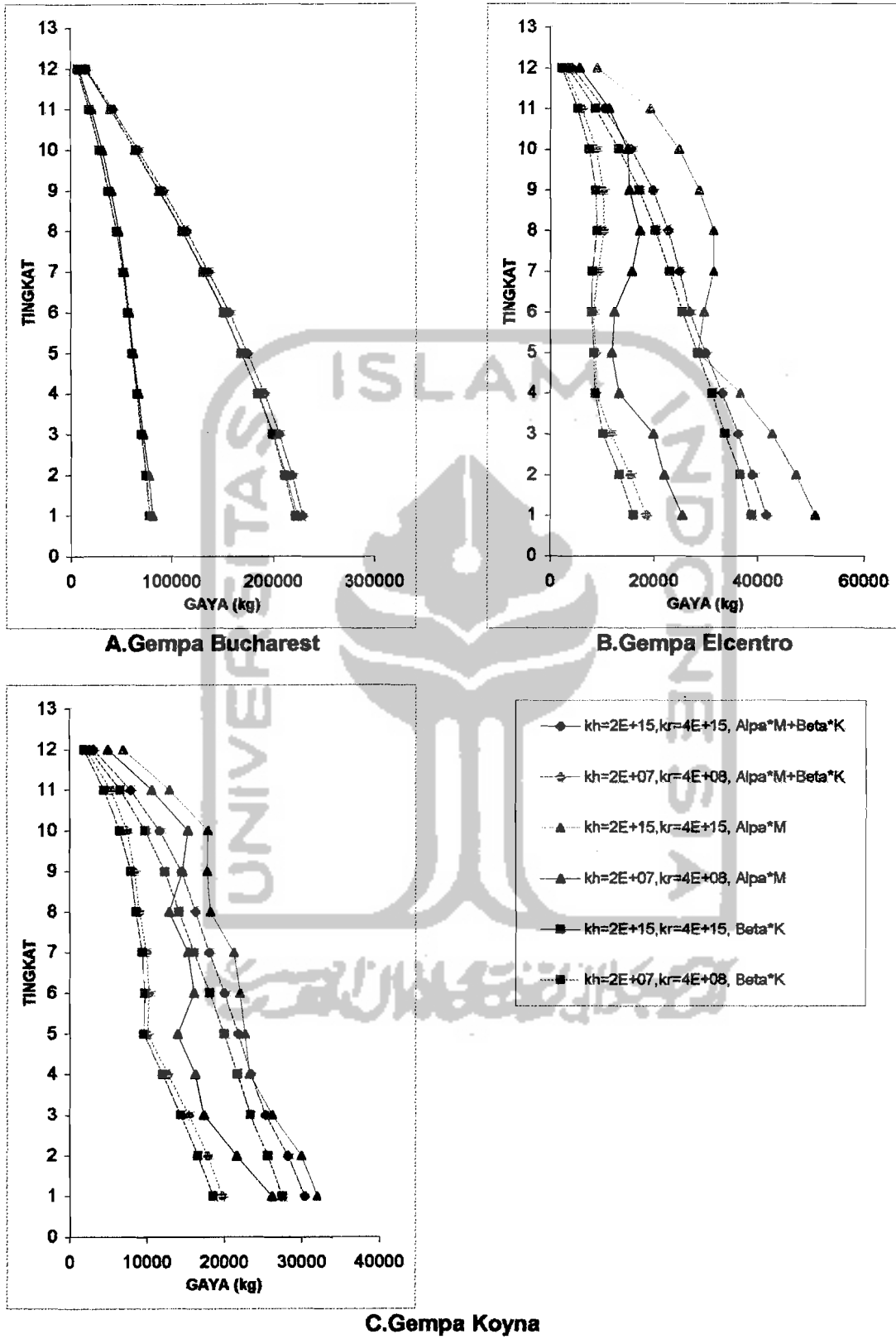
Gambar 5.123 Grafik simpangan total dengan 3 kombinasi redaman



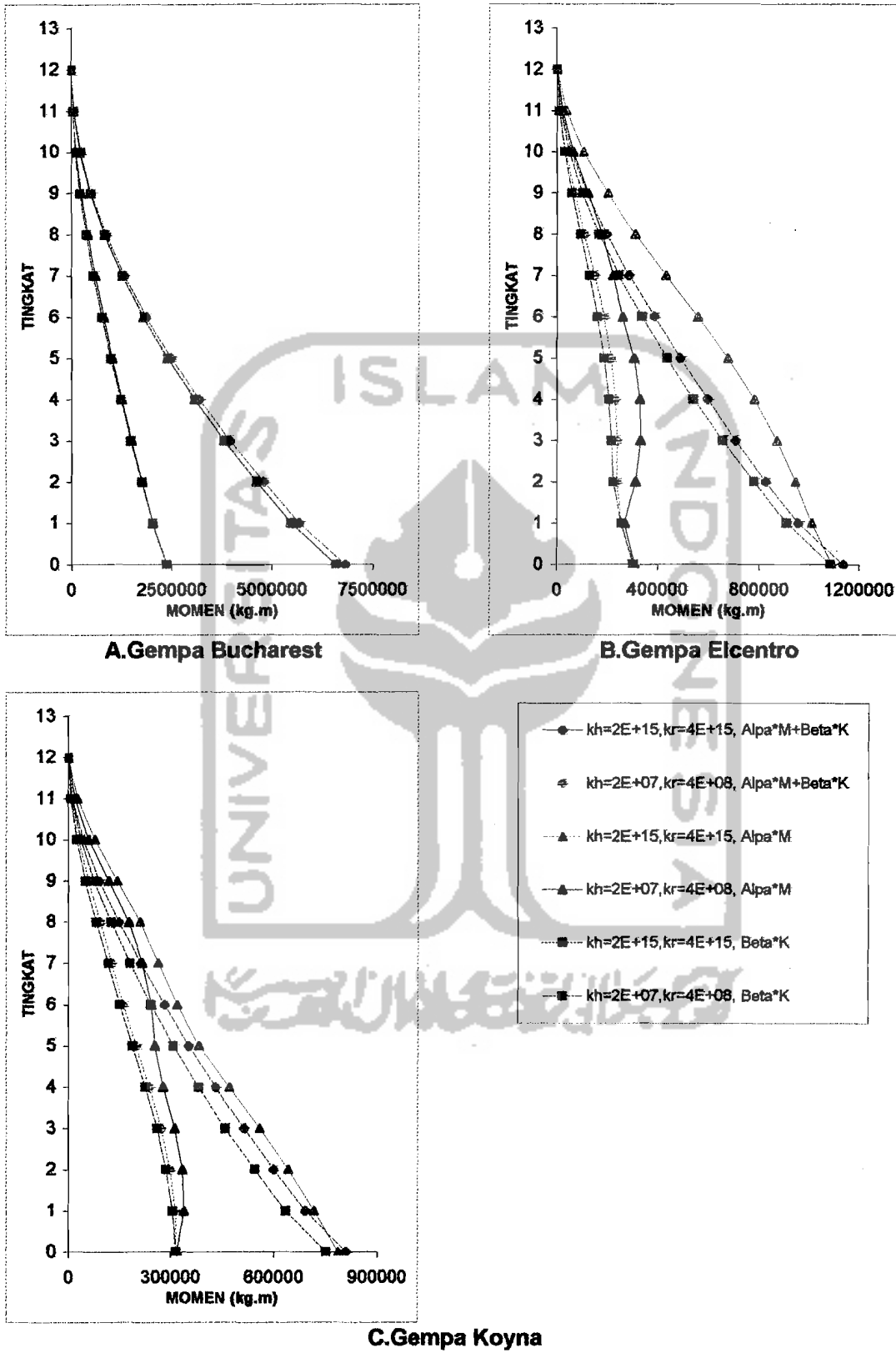
Gambar 5.124 Grafik simpangan antar tingkat dengan 3 kombinasi redaman



Gambar 5.125 Grafik gaya horisontal tingkat dengan 3 kombinasi redaman



Gambar 5.126 Grafik gaya geser tingkat dengan 3 kombinasi redaman



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.

