

BAB V

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Pendahuluan

Perhitungan dinamik menggunakan fasilitas yang tersedia pada program NRMDOFS 2000 yang dibuat dengan bahasa Microsoft Visual Basic, dengan cara mengaplikasikan tahapan perhitungan manual. *Input* dalam analisa adalah berupa massa, kekakuan, selang waktu (Δt), T maksimum, jumlah tingkat, tinggi tingkat, data percepatan tanah. Perhitungan analisa dinamik meliputi perhitungan simpangan, kecepatan, percepatan, *Interstorey Drift*, gaya horisontal tingkat, gaya geser kumulatif tingkat, gaya geser dasar, dan momen guling yang semuanya merupakan respon struktur akibat beban dinamik berupa percepatan tanah

5.2 Perhitungan Pembebanan Struktur

5.2.1. Struktur 6 lantai

Pembebanan struktur merupakan beban tetap yang meliputi beban hidup dan beban mati. Beban diperhitungkan bekerja secara merata, dan hanya ditinjau pada daerah yang didukung oleh portal E (lihat Gambar 4.2). Beban merata termasuk di dalamnya beban akibat berat plat dan balok. Asumsi fungsi struktur adalah untuk perkantoran, selengkapnya perhitungan pembebanan dijelaskan sebagai berikut :

1. Perhitungan berat beban hidup (W_l)

Asumsi fungsi struktur adalah untuk perkantoran, maka menurut PPTGIUG 1983 diperoleh data

- a. Beban hidup (q_l) pada atap gedung : 100 kg/m².
- b. Beban hidup (q_l) pada lantai gedung : 250 kg/m².

Sehingga beban hidup yang bekerja pada portal E (Gambar 4 2) dapat dihitung dengan rumus :

$$W_l = q_l \times b \times l \dots\dots\dots(5.1)$$

dimana W_l , q_l , b dan l adalah berat beban hidup, beban hidup merata, lebar daerah pembebanan dan panjang portal. Dengan rumus di atas diperoleh

- a. Plat atap = 100 x 18,4 x 4,6 = 84645 kg = 8,464 Ton.
- b. Plat lantai = 250 x 18,4 x 4,6 = 21160 kg = 21,16 Ton.

2. Perhitungan berat beban mati (W_d)

Dimensi balok telah ditentukan, seperti telah dijelaskan di muka (lihat Tabel 4.2). Asumsi tebal plat atap dan plat lantai secara berurutan adalah sebesar 10 cm dan 12cm. Perhitungan berat beban mati dapat dicari dengan rumus :

$$W_d = b \times h \times l \times \gamma \dots\dots\dots(5.2)$$

dengan W_d , b , h , l , dan γ adalah berat beban mati, lebar tampang, tinggi tampang (tebal plat), panjang portal dan berat jenis bahan. Dengan rumus di atas dapat dihitung berat beban mati akibat plat dan balok.

a. Beban mati

a.1 Lantai

- a.1.1 Pelat = 0,12 x 2,4 x 18,4 x 4,6 = 24,376 ton

$$\begin{aligned}
 \text{a.1.2 Tegel} &= 0,02 \times 2,4 \times 18,4 \times 4,6 = 4,063 \text{ ton} \\
 \text{a.1.3 Spesi + pasir} &= 0,04 \times 2,4 \times 18,4 \times 4,6 = 7,11 \text{ ton} \\
 \text{a.1.4 Langit-langit + penggantung} &= 0,18 \text{ ton} \\
 \hline
 \text{Wd} &= 35,729 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

a.2 Atap

$$\begin{aligned}
 \text{a.2.1 Plat atap} &= 0,10 \times 2,4 \times 18,4 \times 4,6 = 20,314 \text{ Ton} \\
 \text{a.2.2 Langit-langit + penggantung} &= 0,18 \text{ ton} \\
 \text{a.2.3 Finishing} &= 0,02 \times 18,4 \times 4,6 \times 2,4 = 4,063 \text{ ton} \\
 \hline
 \text{Wd} &= 24,557 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

b. Beban mati akibat balok

$$\text{b.1 Dimensi balok } 30/50 = 0,30 \times 0,5 \times 2,4 \times 18,4 = 6,624 \text{ Ton}$$

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

$$W_{tot} = W_d + W_l \dots \dots \dots (5.3)$$

dengan W_{tot} , W_d dan W_l adalah berat total, berat beban mati dan berat beban hidup. Dengan persamaan di atas diperoleh beban tiap tingkat, seperti disajikan pada Tabel 5.1, berikut :

Tabel. 5.1 Hasil perhitungan beban tiap lantai pada struktur 6 lantai

No.	Lantai	Beban tiap lantai (Ton)
1	1,2,3,4,5	63,513
2	6	39,645

5.2.2. Struktur 12 lantai

Diambil dari data struktur tugas akhir Jayadi dan Dhani :

Tabel. 5.2 Hasil perhitungan beban tiap lantai pada struktur 12 lantai

No.	Lantai	Beban tiap lantai (Ton)
1	1,5,6,7,8,9	95,32672
2	2,3,4	98,37376
3	10,11	91,88224
4	12	73,83808

5.2.3. Struktur 18 lantai

Dengan cara yang sama pada perhitungan struktur 6 lantai didapatkan :

Tabel. 5.3 Hasil perhitungan beban tiap lantai pada struktur 18 lantai

No.	Lantai	Beban tiap lantai (Ton)
1	1,2,3,4	72,7866
2	5,6,7,8,9	70,7994
3	10,11,12,13	70,0266
4	14,15,16	67,4874
5	17	64,617
6	18	40,749

5.3 Perhitungan Massa dan Kekakuan

5.3.1 Struktur 6 Lantai

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

Massa tingkat dihitung dengan rumus 3.1 , dimana massa adalah berat dibagi percepatan gravitasi. Di dalam perhitungan ini percepatan gravitasi diambil sebesar 980 cm/det^2 .

Dari rumus tersebut maka massa untuk lantai satu dapat dihitung sebagai berikut :

$$m_1 = w_1/g, \text{ dimana } w_1 = 84680 \text{ kg, sehingga}$$

$$m_1 = 84680/980 = 71,57 \text{ kg det}^2/\text{cm}$$

dengan cara yang sama, maka harga massa tiap tingkat dapat dicari, dan hasilnya seperti terlihat pada Tabel 5.4.

Tabel. 5.4 Hasil perhitungan massa pada struktur 6 lantai

No.	Lantai	Massa (kg. Det ² /cm)
1	1,2,3,4,5	64,80918
2	6	40,45408

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 3.23. Dengan melihat data struktur maka kekakuan dihitung secara paralel yaitu kekakuan tiap lantai merupakan jumlah dari kekakuan kolom, secara matematis dapat dituliskan dengan rumus 3.24, sehingga kekakuan tingkat satu dapat dihitung dengan rumus 3.25 sebagai berikut :

$$K_{ctp} = 200000 * 30 * 30^3 / 300^3 = 6000 \text{ kg/cm}$$

$$K_{ctg} = 200000 * 35 * 35^3 / 300^3 = 11115.74074 \text{ kg/cm}$$

$$k_{1l} = 2 * 6000 + 11115.74074 = 23115.74074 \text{ kg/cm}$$

selanjutnya hasil perhitungan kekakuan tingkat disajikan dalam Tabel 5.5

Tabel. 5.5 Hasil perhitungan kekakuan pada struktur 6 lantai

No.	Lantai	Kekakuan (kg/cm)
1	1,2,3,4,5,6	23115.74074

5.3.2 Struktur 12 Lantai

Diambil dari data struktur tugas akhir Jayadi dan Dhani :

Tabel. 5.6 Hasil perhitungan massa pada struktur 12 lantai

No.	Lantai	Massa (kg. Det ² /cm)
1	1,5,6,7,8,9	97.27216
2	2,3,4	100.38139
3	10,11	93.75739
4	12	75.34498

Tabel. 5.7 Hasil perhitungan kekakuan pada struktur 12 lantai

No.	Lantai	Kekakuan (kg/cm)
1	1	82946.91624
2	2,3,4	196614.9126
3	5,6,7,8,9,10	130969.841
4	11,12	62846.64272

5.3.3 Struktur 18 Lantai

Dengan rumus yang sama pada perhitungan struktur 6 lantai maka dapat dihitung massa dan kekakuan tiap lantai. Perhitungan massa untuk lantai satu dapat dihitung sebagai berikut :

$$m_1 = w_1/g, \text{ dimana } w_1 = 78786,6 \text{ kg, sehingga}$$

$$m_1 = 78786,6 / 980 = 74,272,04 \text{ kg det}^2/\text{cm}$$

Tabel. 5.8 Hasil perhitungan massa pada struktur 18 lantai

No.	Lantai	Massa (kg. Det ² /cm)
1	1,2,3,4	74,27204
2	5,6,7,8,9	72,24428
3	10,11,12,13	71,45571
4	14,15,16	68,86469
5	17	65,93571
6	18	41,58061

Perhitungan kekakuan, misalnya kekakuan pada lantai 1, ukuran kolom berikut: tepi 80/110 dan kolom tengah 90/120, maka kekakuan yang diperoleh sebagai

$$K_{ctp} = 200000 \cdot 80 \cdot 110^3 / 650^3 = 77545.7442 \text{ kg/cm}$$

$$K_{ctg} = 200000 \cdot 90 \cdot 120^3 / 300^3 = 113259.899 \text{ kg/cm}$$

$$k_{t1} = 2 \cdot 77545.7442 + 113259.899 = 268351.3883 \text{ kg/cm}$$

selanjutnya hitungan untuk lantai yang lain ditampilkan dalam tabel 5.9.

Tabel. 5.9 Hasil perhitungan kekakuan pada struktur 18 lantai

No.	Lantai	Kekakuan (kg/cm)
1	1	268351.3883
2	2,3	1151500
3	4, 5,6,7	540265.625
4	8, 9, 10, 11	410664,0625
5	12,13,14,15,16,	182234,375
6	17, 18	121390.625

5.4 Frekuensi Struktur

Frekuensi struktur dihitung berdasarkan hasil dari persamaan eigenproblem, dengan input massa dan kekakuan struktur serta output modal matrik struktur dan vektor frekuensi sudut (λ). Selanjutnya dihitung frekuensi struktur dengan hanya memperhitungkan vektor frekuensi sudut rantai pertama, karena rantai pertama akan memberikan partisipasi yang paling besar. Rumus yang dipakai adalah sebagai berikut

$$\lambda = \omega^2/(k/m) \text{ sehingga } \omega = \sqrt{\lambda \times k/m} \dots \dots \dots (5.4)$$

dengan ω, k, m secara berurutan adalah frekuensi sudut, unit kekakuan dan unit massa, dalam perhitungan ini unit massa dan unit kekakuan diambil sama dengan satu. Rumus untuk menghitung periode getar dan frekuensi getar struktur adalah :

$$T = 2\pi / \omega \dots \dots \dots (5.5)$$

$$f = 1/T \dots \dots \dots (5.6)$$

dimana T, f adalah periode getar struktur dan frekuensi getar struktur.

5.5 Kandungan Frekuensi Beban Gempa

Data kandungan frekuensi beban gempa (A/V rasio) yang digunakan dalam penelitian ini secara keseluruhan disajikan pada Tabel 5.10. Dari tabel diketahui bahwa A/V rasio merupakan perbandingan antara percepatan maksimum (A_{max}) dan kecepatan maksimum (V_{max}) gerakan tanah akibat gempa, serta kelompok gempa dengan kandungan frekuensi rendah, sedang dan tinggi.

Tabel 5.10 Data kandungan frekuensi beban gempa (A/V rasio)

No.	Beban Gempa	A max (cm/det ²)	V max (cm/det)	A/V Rasio (g/m/det)	Ket
1	Tlahuae Bombas	130.4625	40.2011	0.33081	integrasi
2	Mexico	161.91	39.2741	0.41837	integrasi
3	Bucharest	225.4	35.776766	0.64222	integrasi
4	Ulcinj	258.5	34.071195	0.7734	integrasi
5	Miyagi	202.6549	26.559	0.8605	dari data
6	Bar Montenegro	371.1	42.93	0.86443	dari data
7	Coalinga	440.56	49.96	0.88182	dari data
8	Petrovac	441.7	40.402	1.09876	dari data
9	Parkfield	470.4	42.657299	1.1241	integrasi
10	Corint	281.4	25.107234	1.1425	integrasi
11	Coralitos	436.1	38.447255	1.15625	integrasi
12	Lolleo	666.4	55.951473	1.2141	integrasi
13	Gilroy	401.8	20.564445	1.9917	integrasi
14	St. Cruz	392	15.262681	2.6181	integrasi
15	Koyna India	548.79	16.132091	3.46774	integrasi

* A/V rasio (g/m dt) < 0.8 Frekuensi Rendah 0.8 < A/V < 1.2 Sedang A/V > 1.2 Tinggi

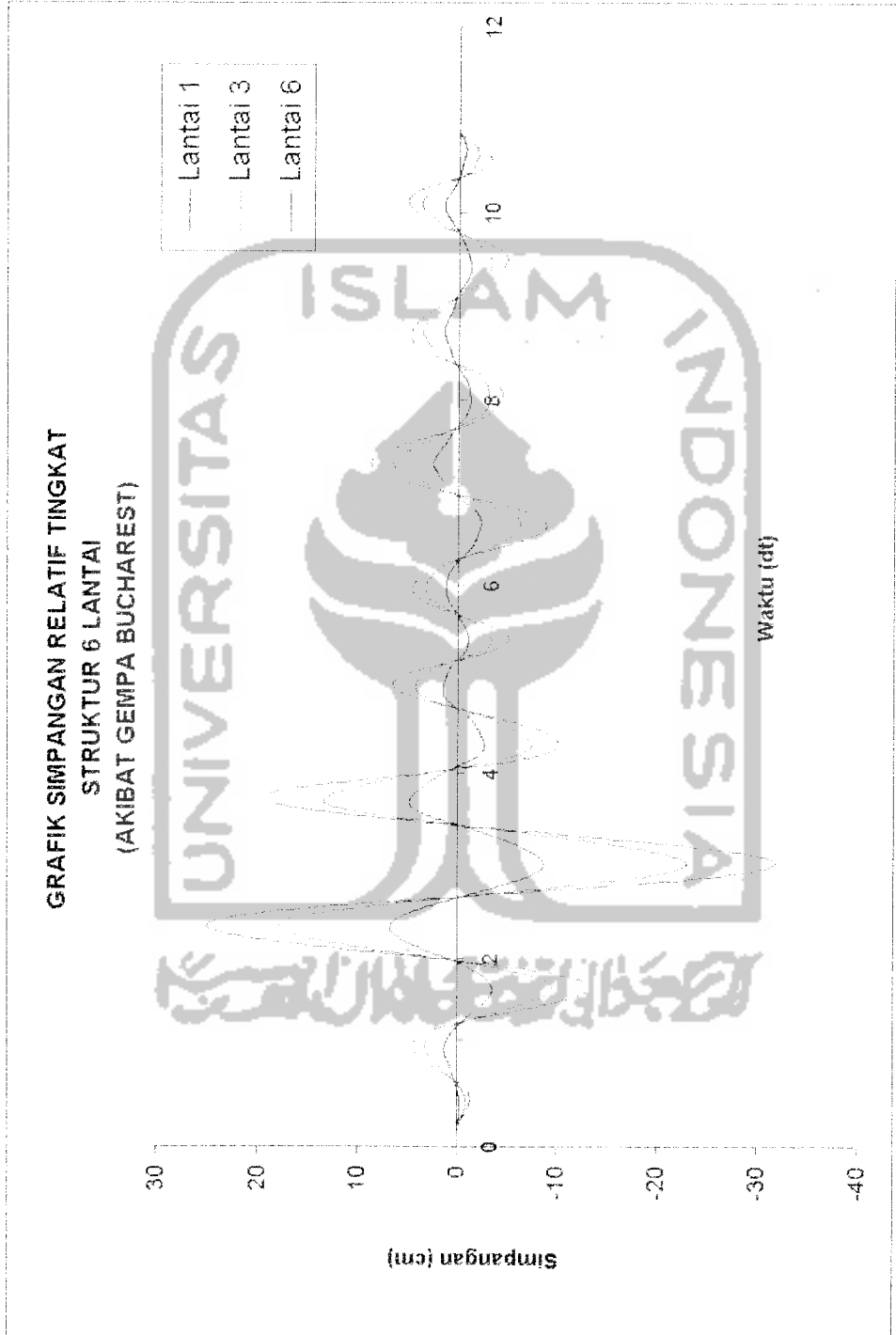
Dari tabel 5.10, penelitian ini menggunakan data gempa yang berdasarkan golongan frekuensi, yaitu gempa Bucharest mewakili *gempa frekuensi rendah* dengan A/V rasio 0.64222 g/m/det, gempa Petrovac mewakili *gempa frekuensi sedang* dengan A/V rasio 1.09876 g/m/det, gempa Koyna mewakili *gempa frekuensi tinggi* dengan A/V rasio 3.46774, yang dianalisis dengan cara

perhitungan respon struktur menggunakan metode Wilson- ϕ selanjutnya disajikan pada gambar plot antara simpangan relatif tingkat, interstorey drift, gaya horisontal tingkat, gaya geser kumulatif tingkat, gaya geser dasar dan momen geser lawan waktu.

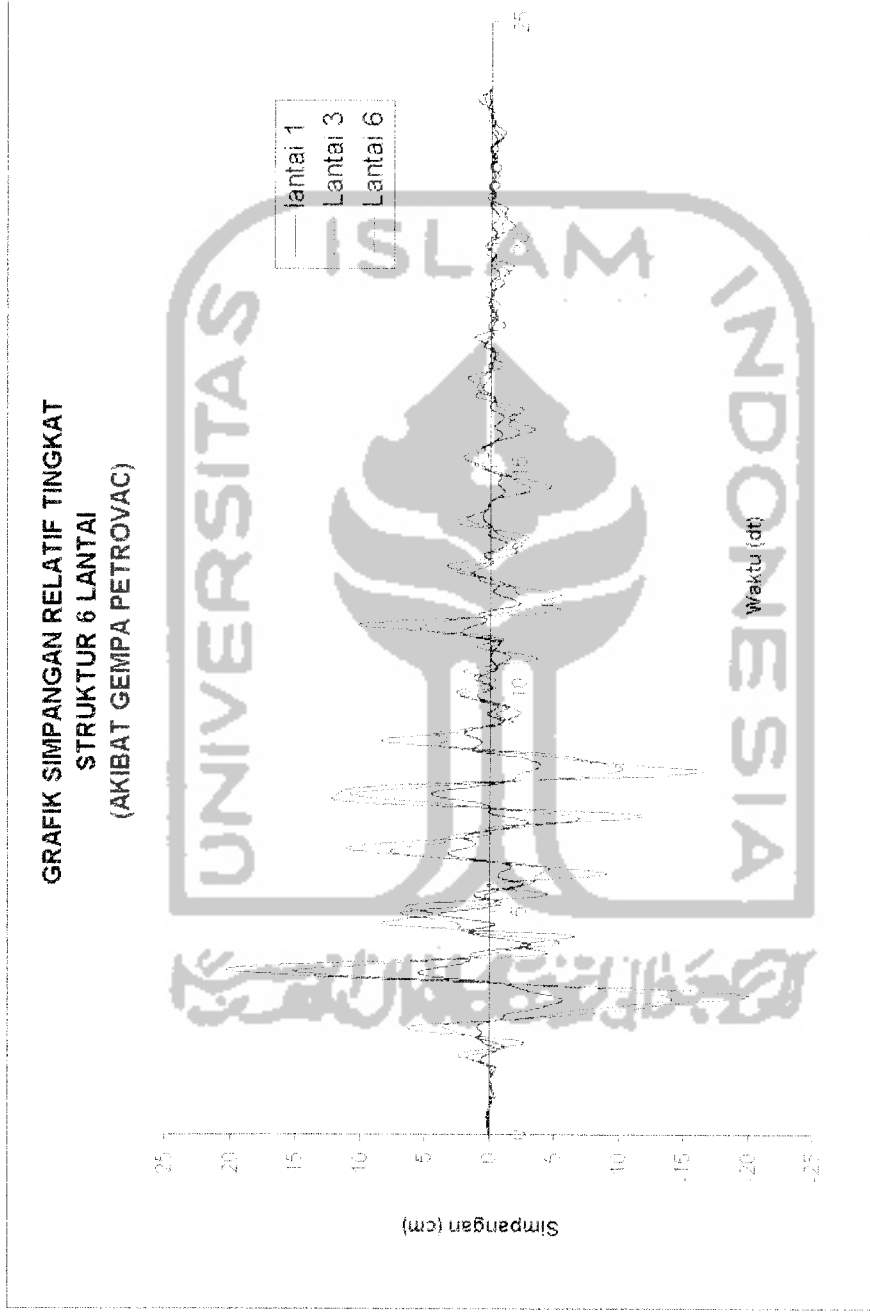
5.6 Perhitungan Simpangan Relatif Tingkat

Contoh plot antara simpangan relatif tingkat lawan waktu dapat dilihat pada gambar berikut :

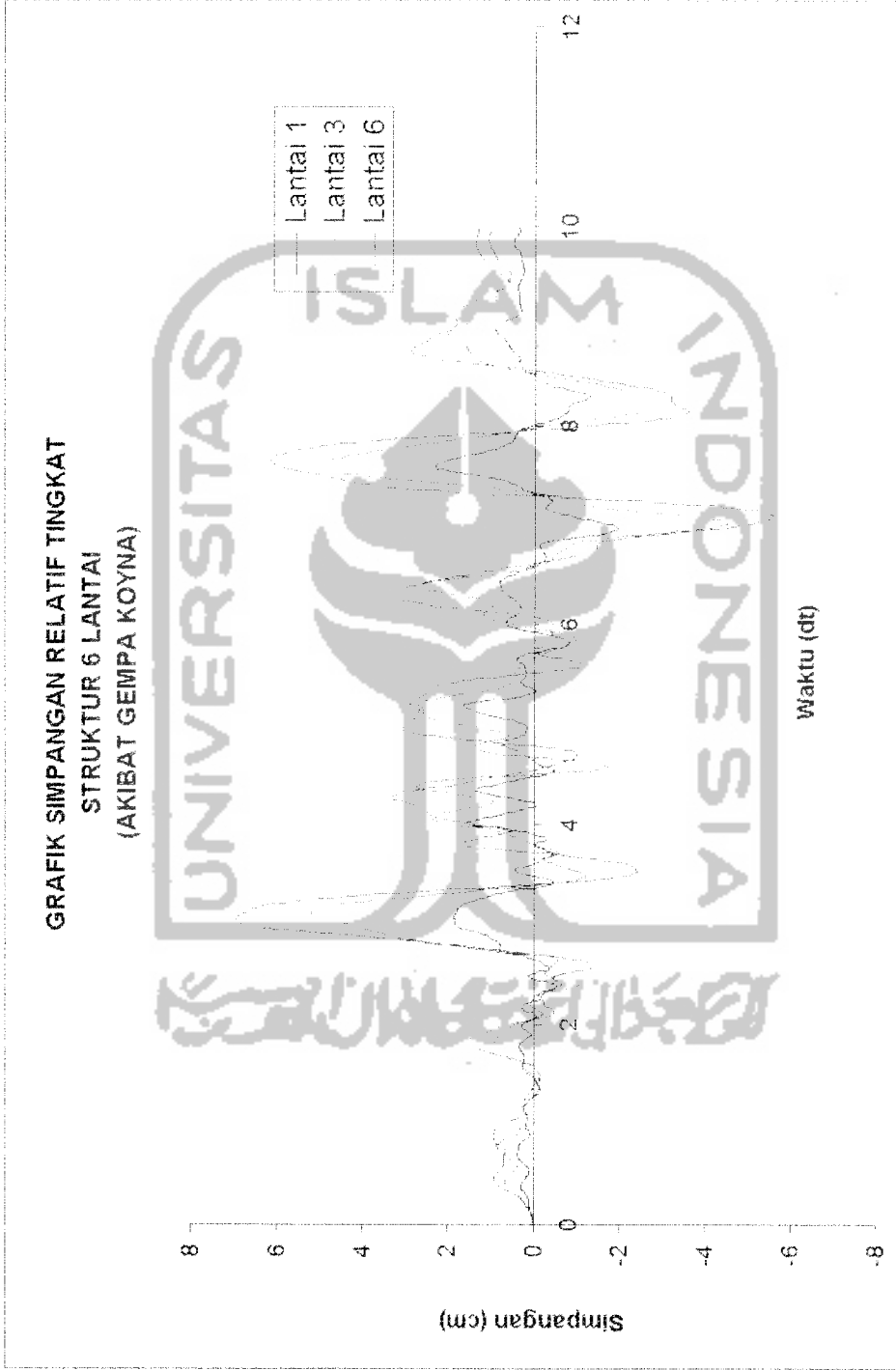




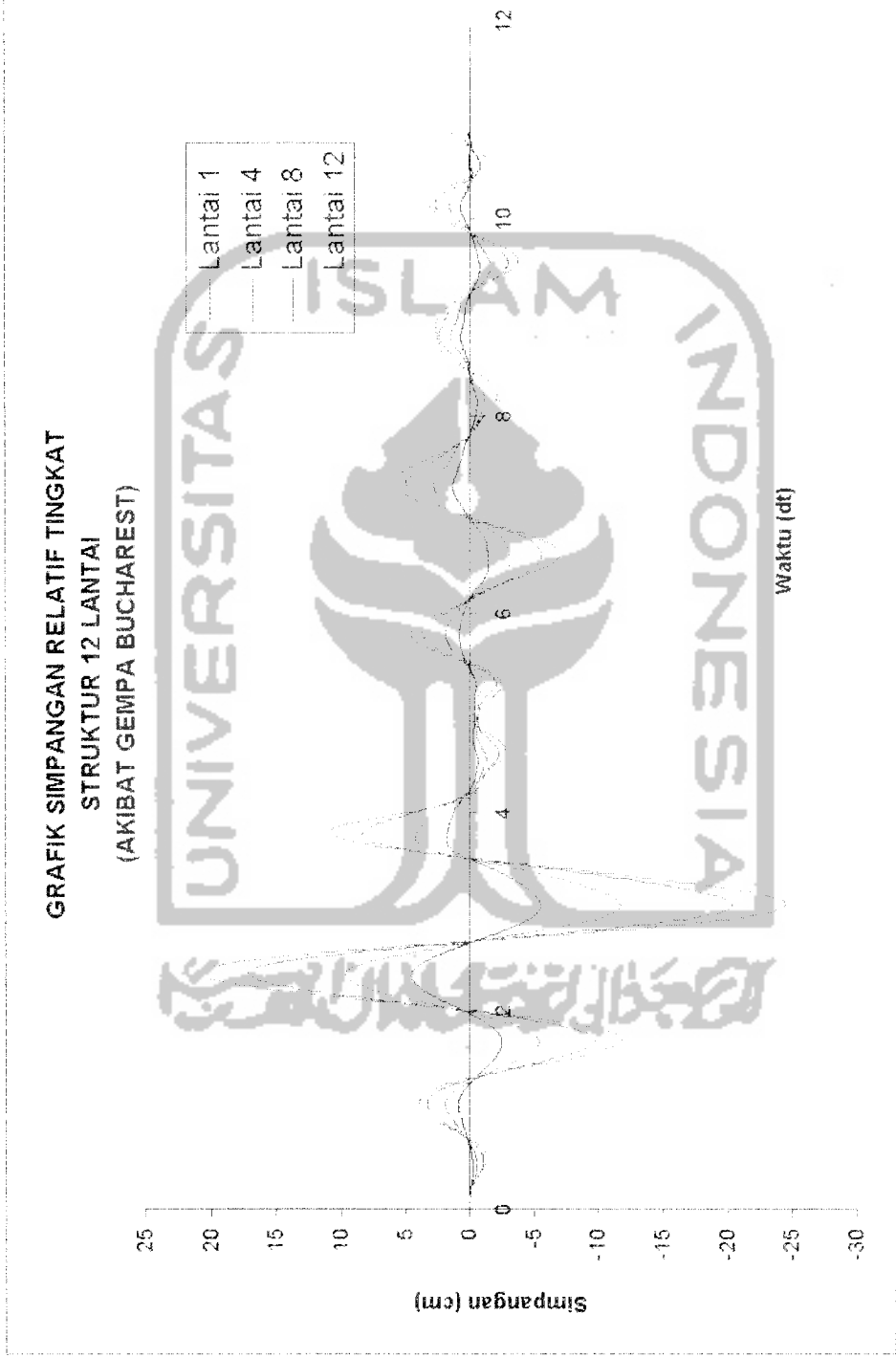
Gambar 5.1 Plot Simpangan Relatif lawan waktu akibat gempa Bucharest struktur 6 lantai



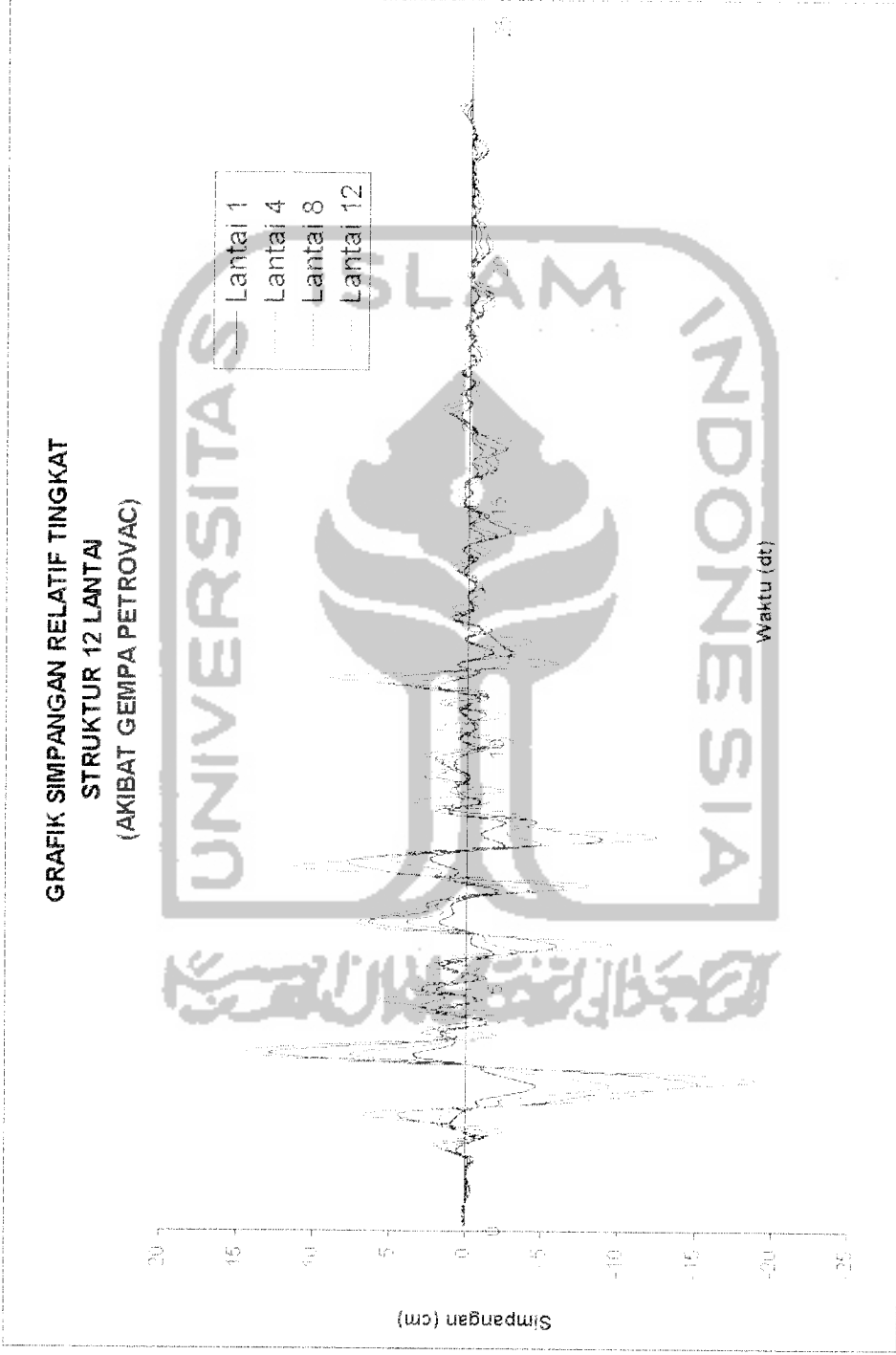
Gambar 5.2 Plot Simpangan Relatif lawan waktu akibat gempa Petrovac struktur 6 lantai



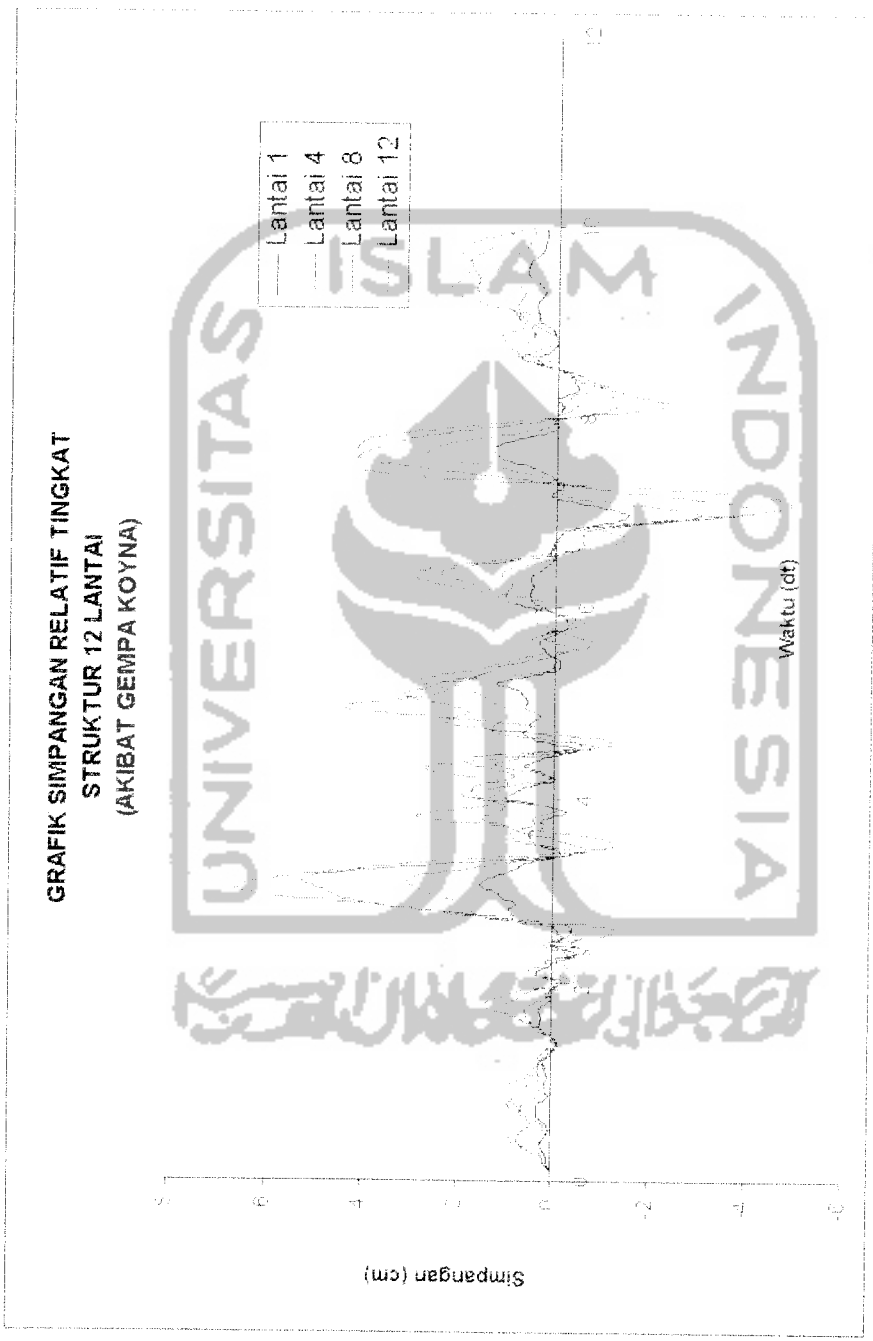
Gambar 5.3 Plot Simpangan Relatif lawan waktu akibat gempa Koyna struktur 6 lantai



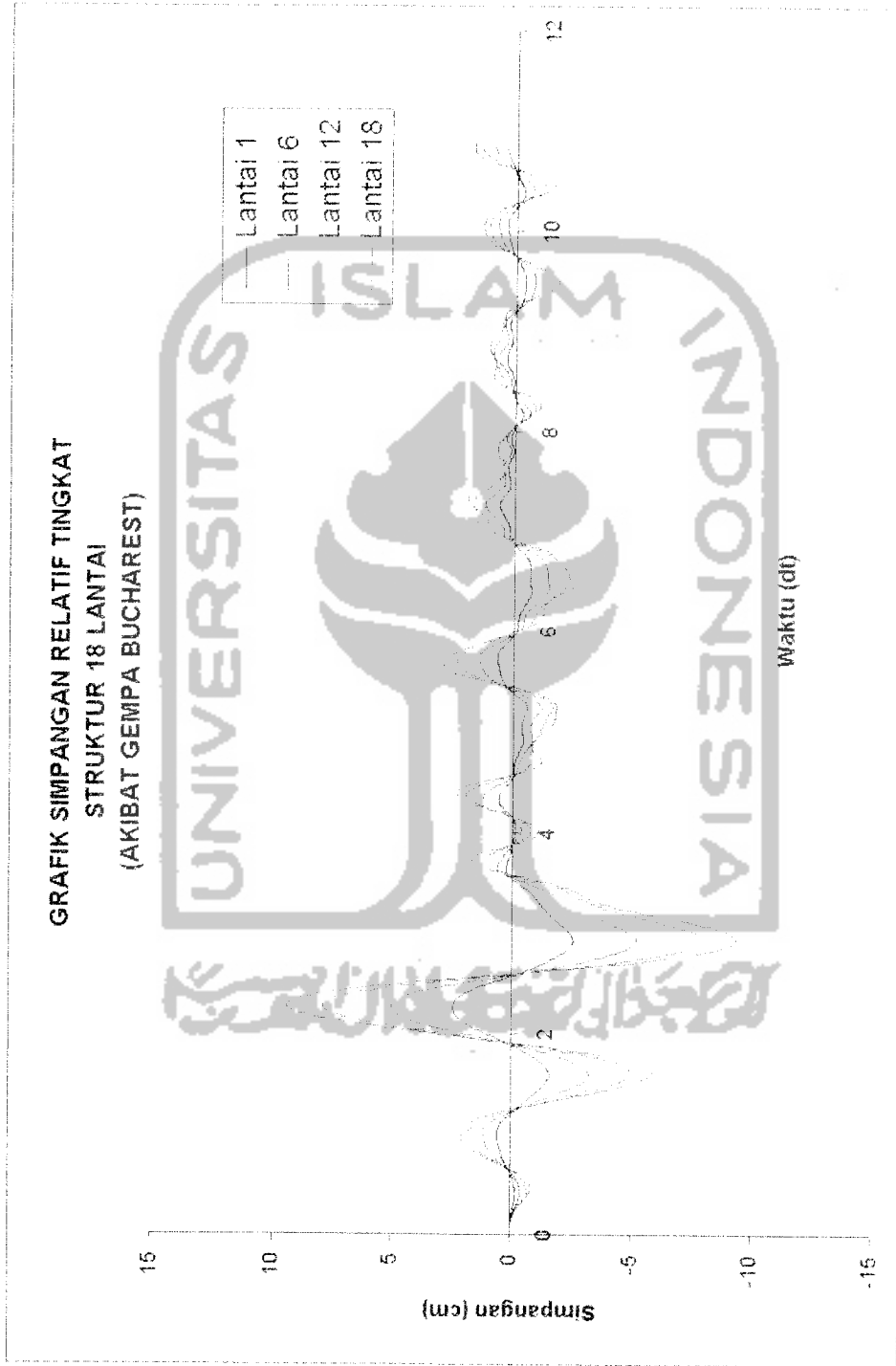
Gambar 5.4 Plot Simpangan Relatif lawan waktu akibat gempa Bucharest struktur 12 lantai



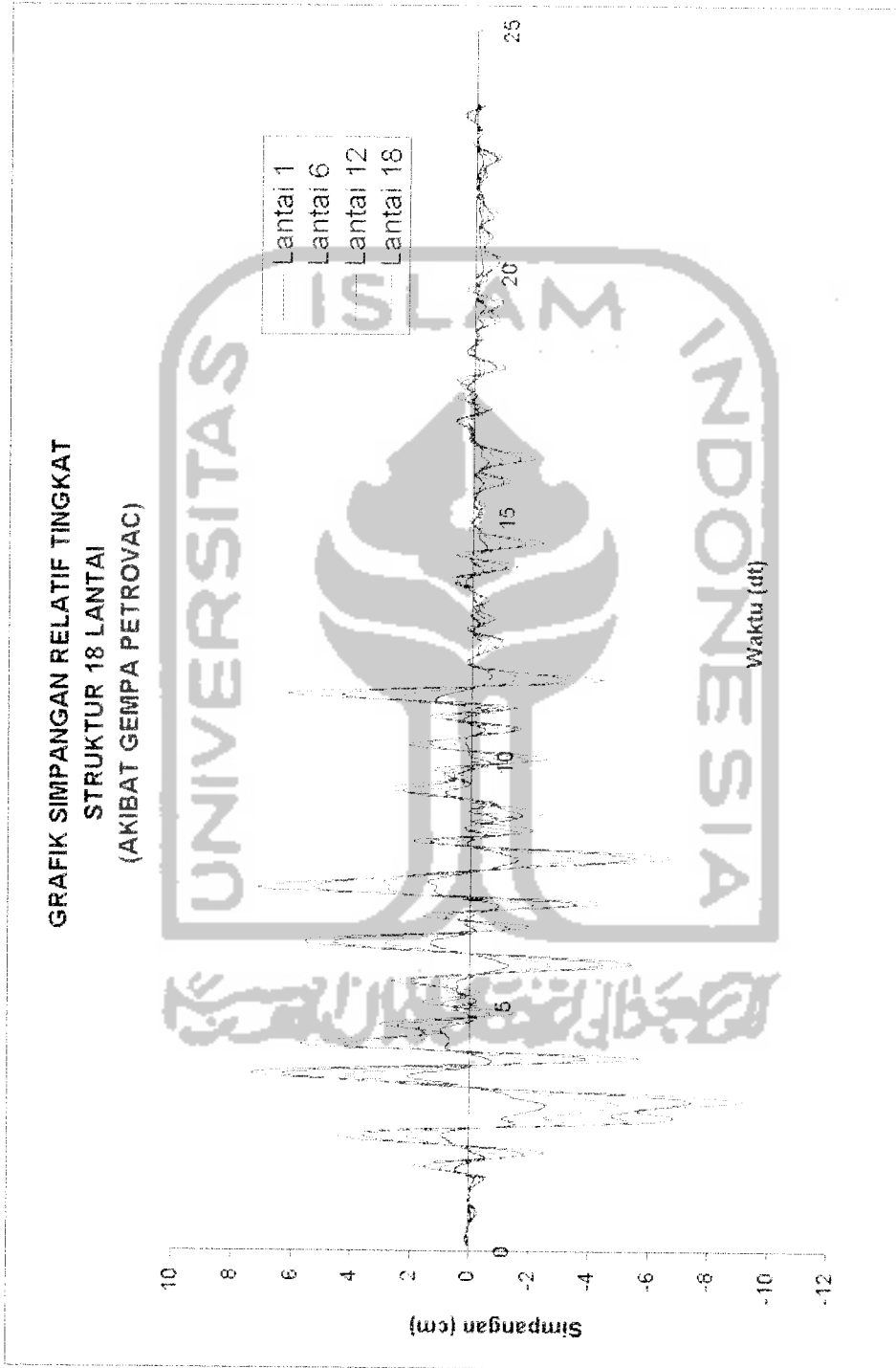
Gambar 5.5 Plot Simpangan Relatif lawan waktu akibat gempa Petrovac struktur 12 lantai



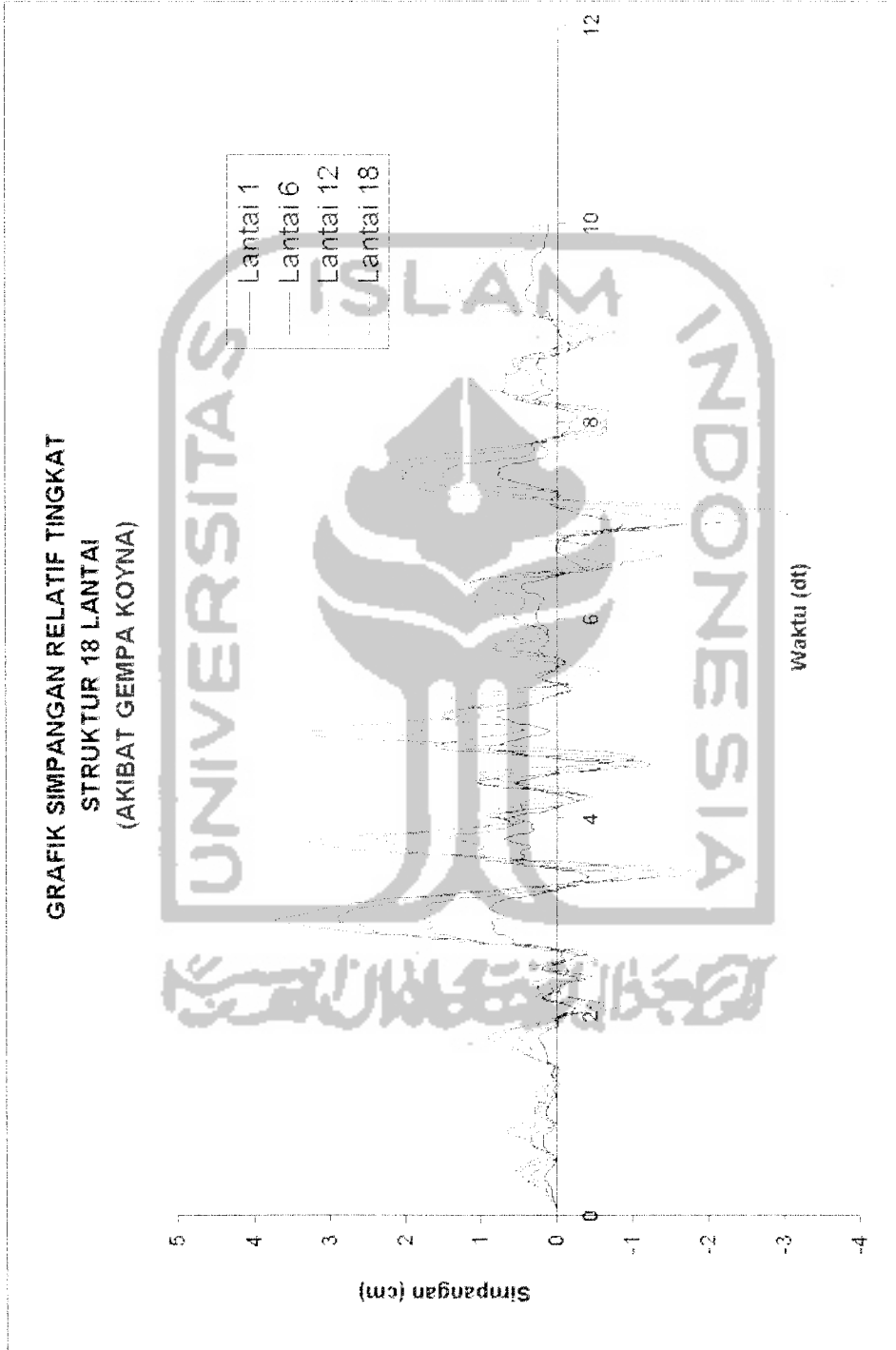
Gambar 5.6 Plot Simpangan Relatif lawan waktu akibat gempa Koyna struktur 12 lantai



Gambar 5.7 Plot Simpangan Relatif lawan waktu akibat gempa Bucharest struktur 18 lantai



Gambar 5.8 Plot Simpangan Relatif lawan waktu akibat gempa Petrovac struktur 18 lantai



Gambar 5. Plot Simpangan Relatif lawan waktu akibat gempa Koyna Struktur 18 lantai

5.7 Perhitungan Simpangan Antar Tingkat (Interstorey Drift)

$$\Delta y_j(t) = \frac{y_j(t) - y_{j-1}(t)}{h} * 100\% \dots \dots \dots (5.7)$$

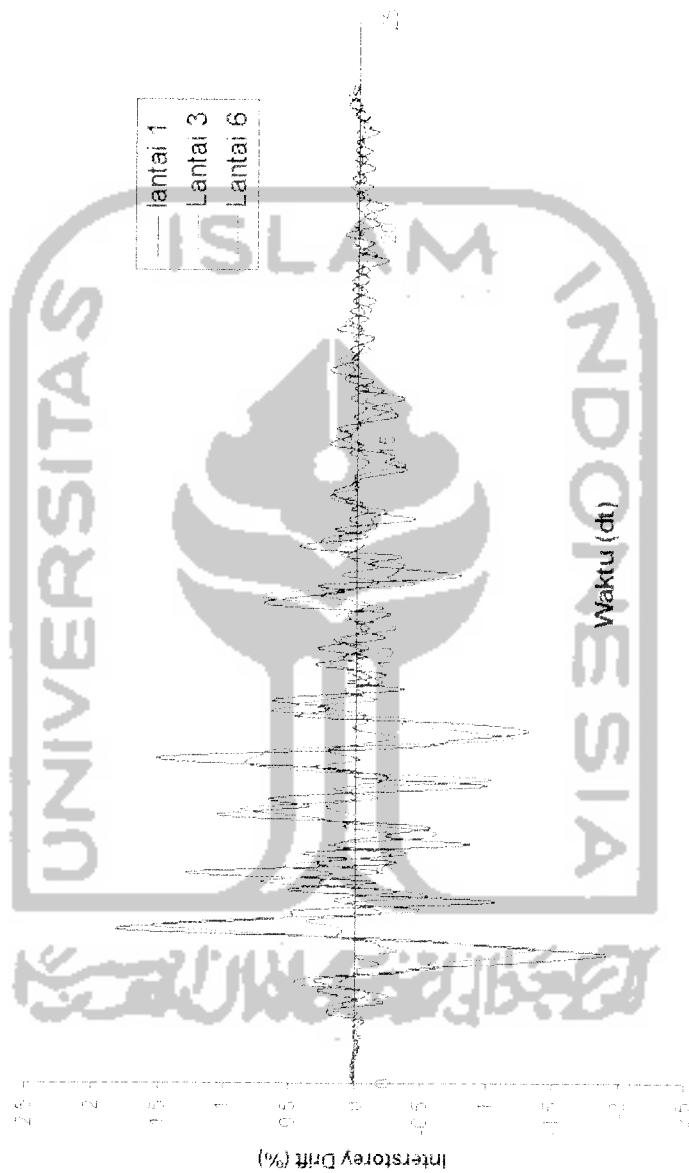
Contoh hasil plot simpangan antar tingkat akibat gempa Bucharest, Petrovac dan Koyna.



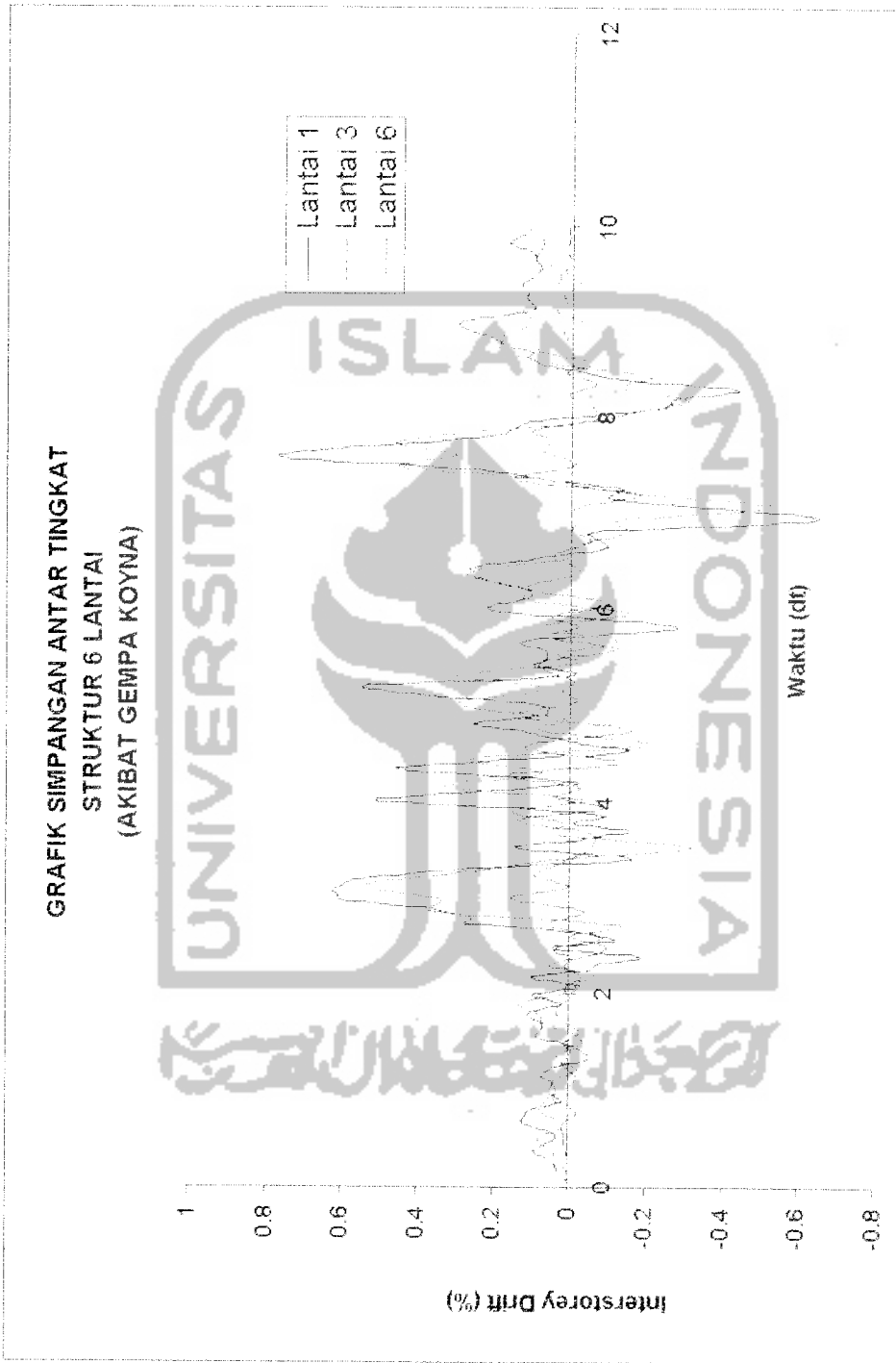
Lantai 6

Handwritten scribbles and lines on the left margin.

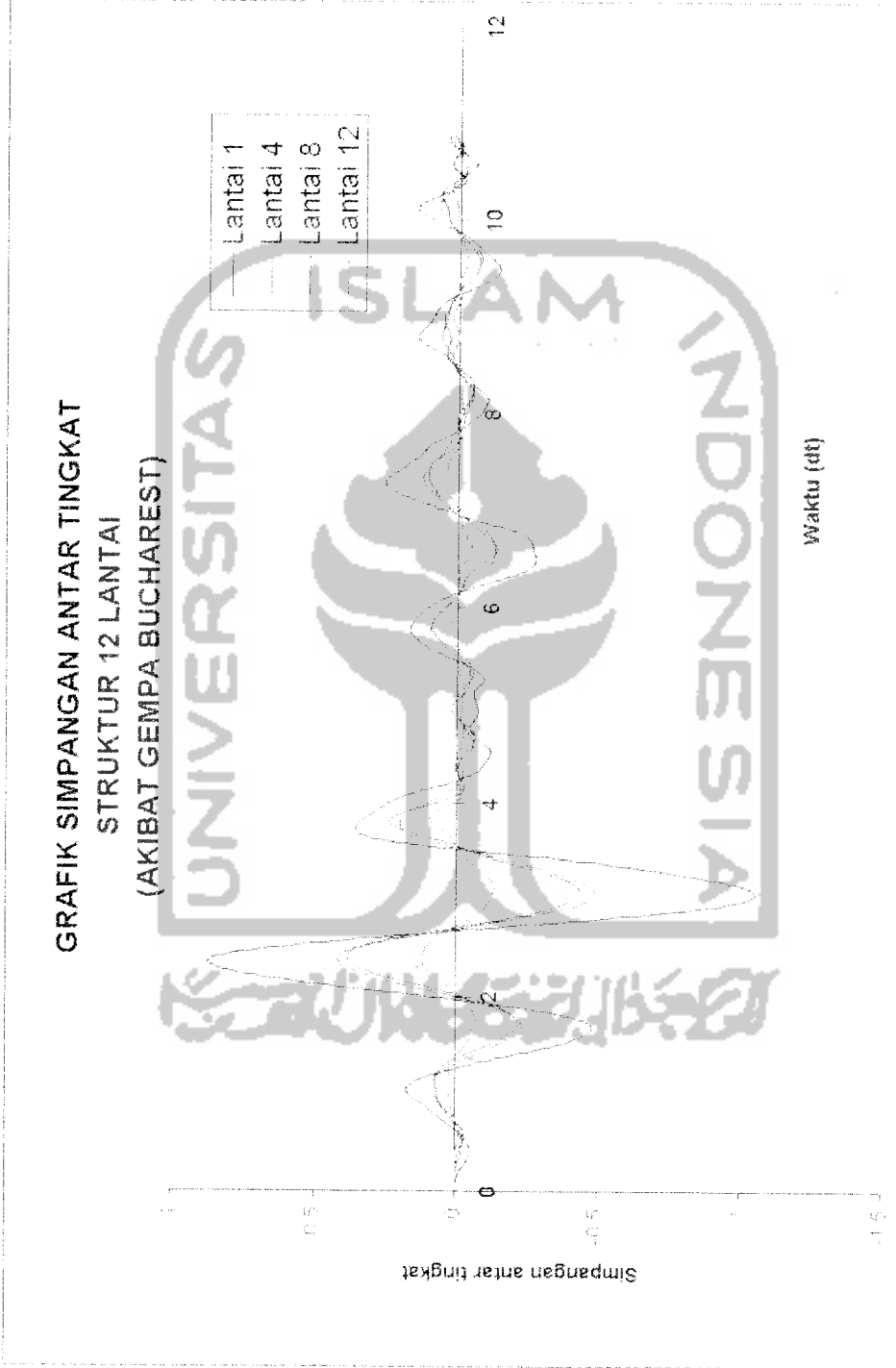
GRAFIK SIMPANGAN ANTAR TINGKAT
STRUKTUR 6 LANTAI
(AKIBAT GEMPA PETROVAC)



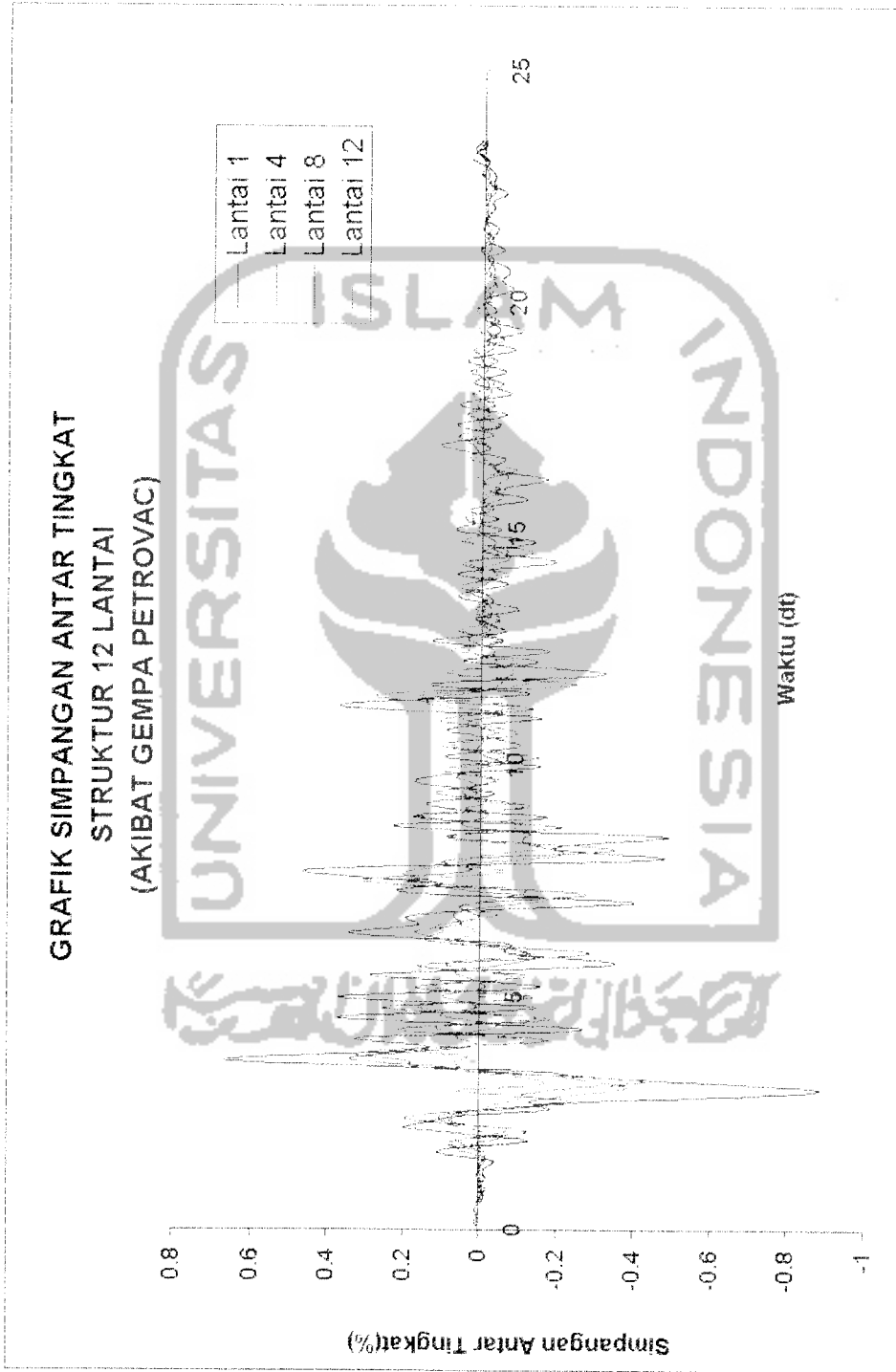
Gambar 5.11 Plot Simpangan Antar Tingkat lawan waktu akibat gempa Petrovac struktur 6 lantai



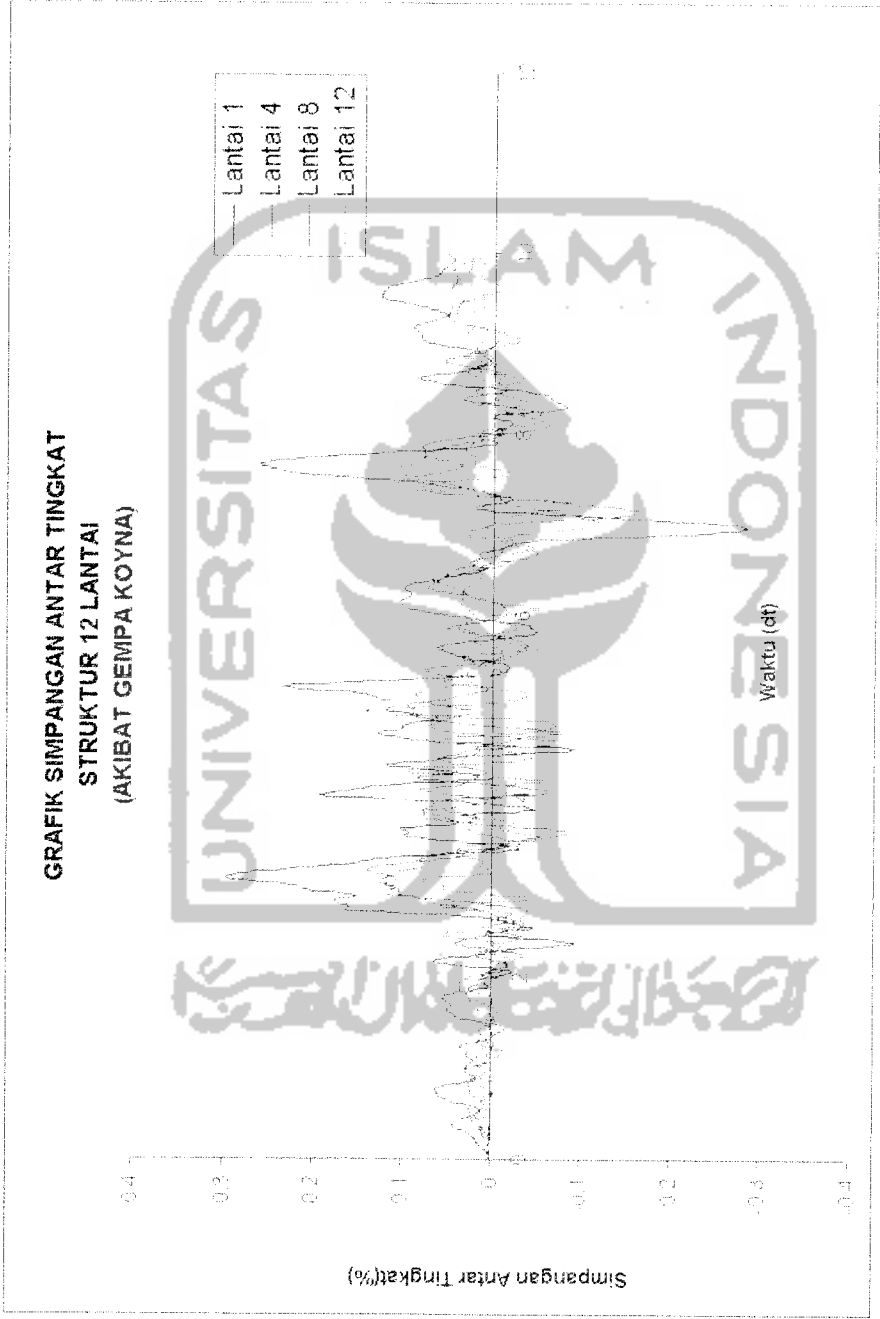
Gambar 5.12 Plot Simpangan Antar Tingkat lawan waktu akibat gempa Koyrna struktur 6 lantai



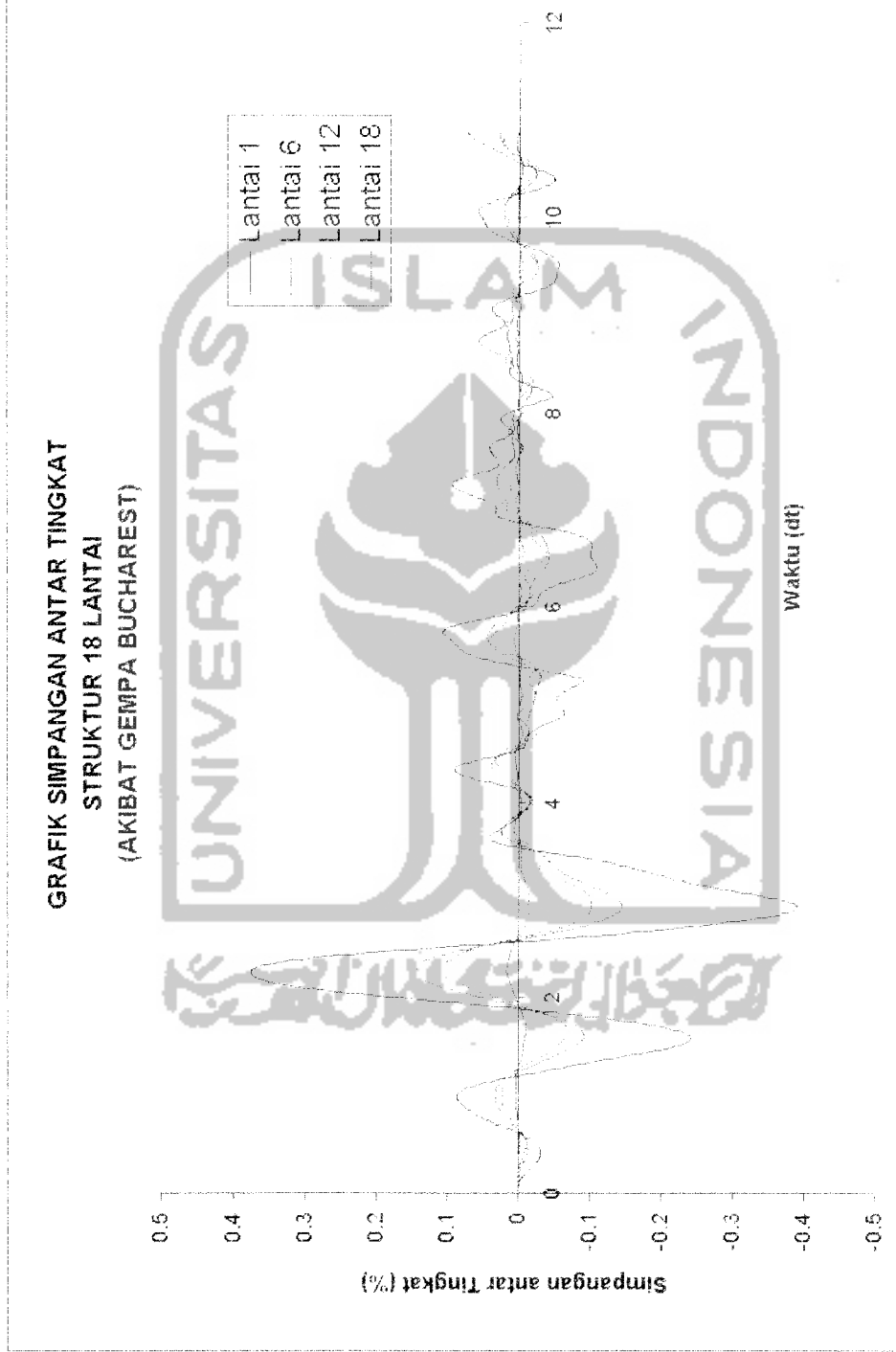
Gambar 5.13 Plot Simpangan Antar Tingkat lawan waktu akibat gempa Bucharest struktur 12 lantai



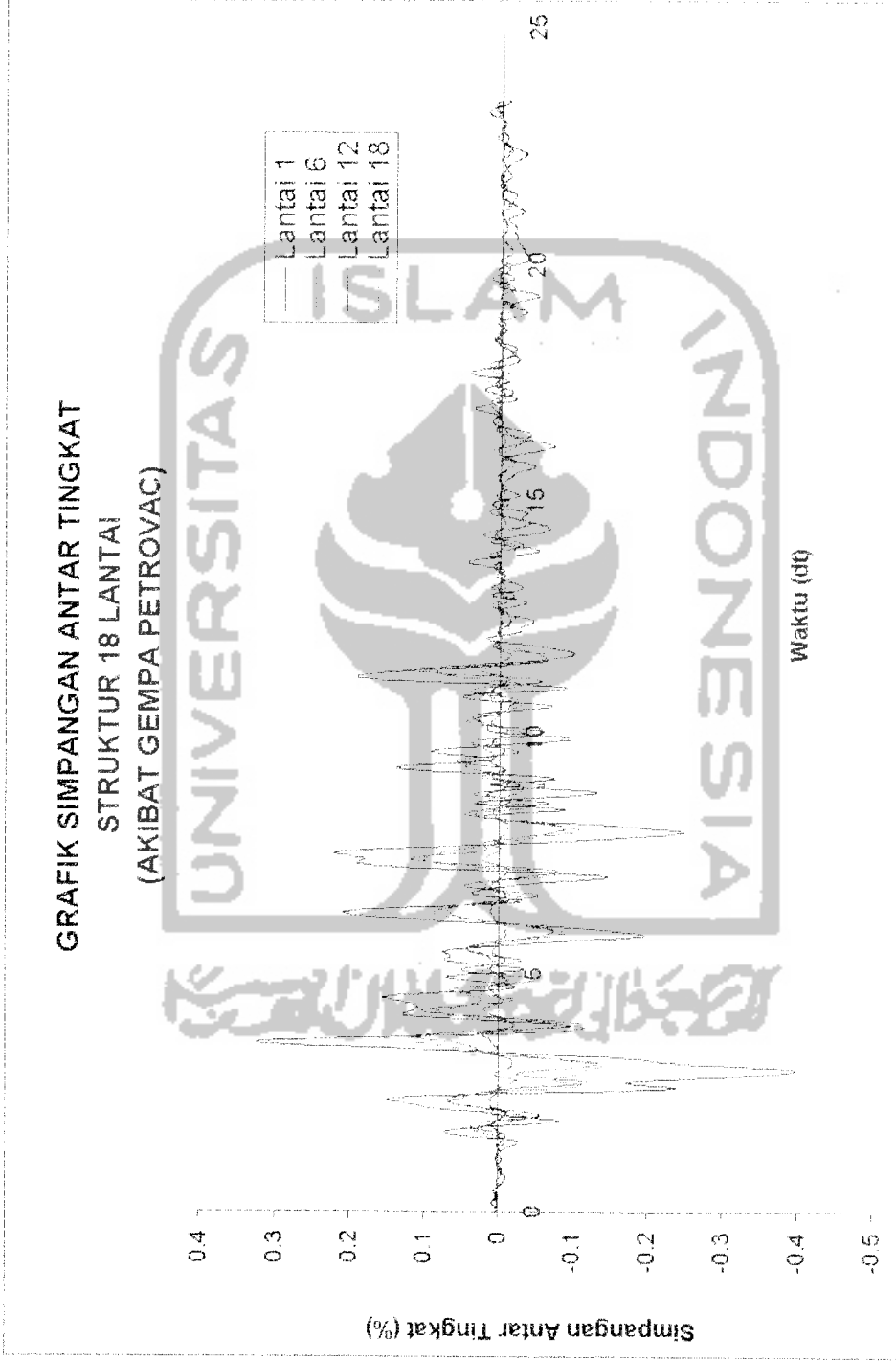
Gambar 5.14 Plot Simpangan Antar Tingkat lawan waktu akibat gempa Petrovac struktur 12 lantai



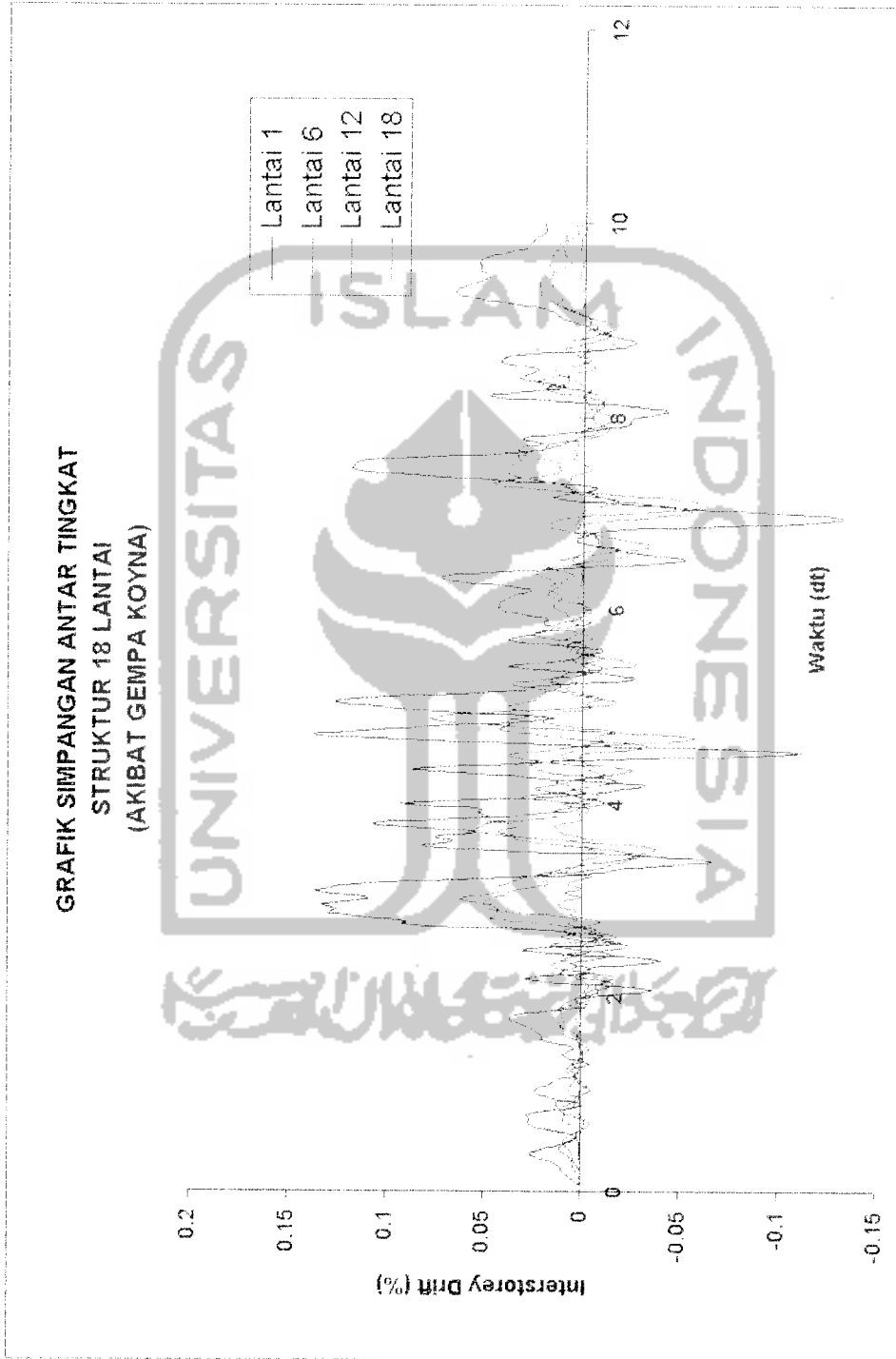
Gambar 5.15 Plot Simpangan Antar Tingkat lawan waktu akibat gempa Koyuna struktur 12 lantai



Gambar 5.16 Plot Simpangan Antar Tingkat lawan waktu akibat gempa Bucharest struktur 18 lantai



Gambar 5.17 Plot Simpangan Antar Tingkat lawan waktu akibat gempa Petrovac struktur 18 lantai



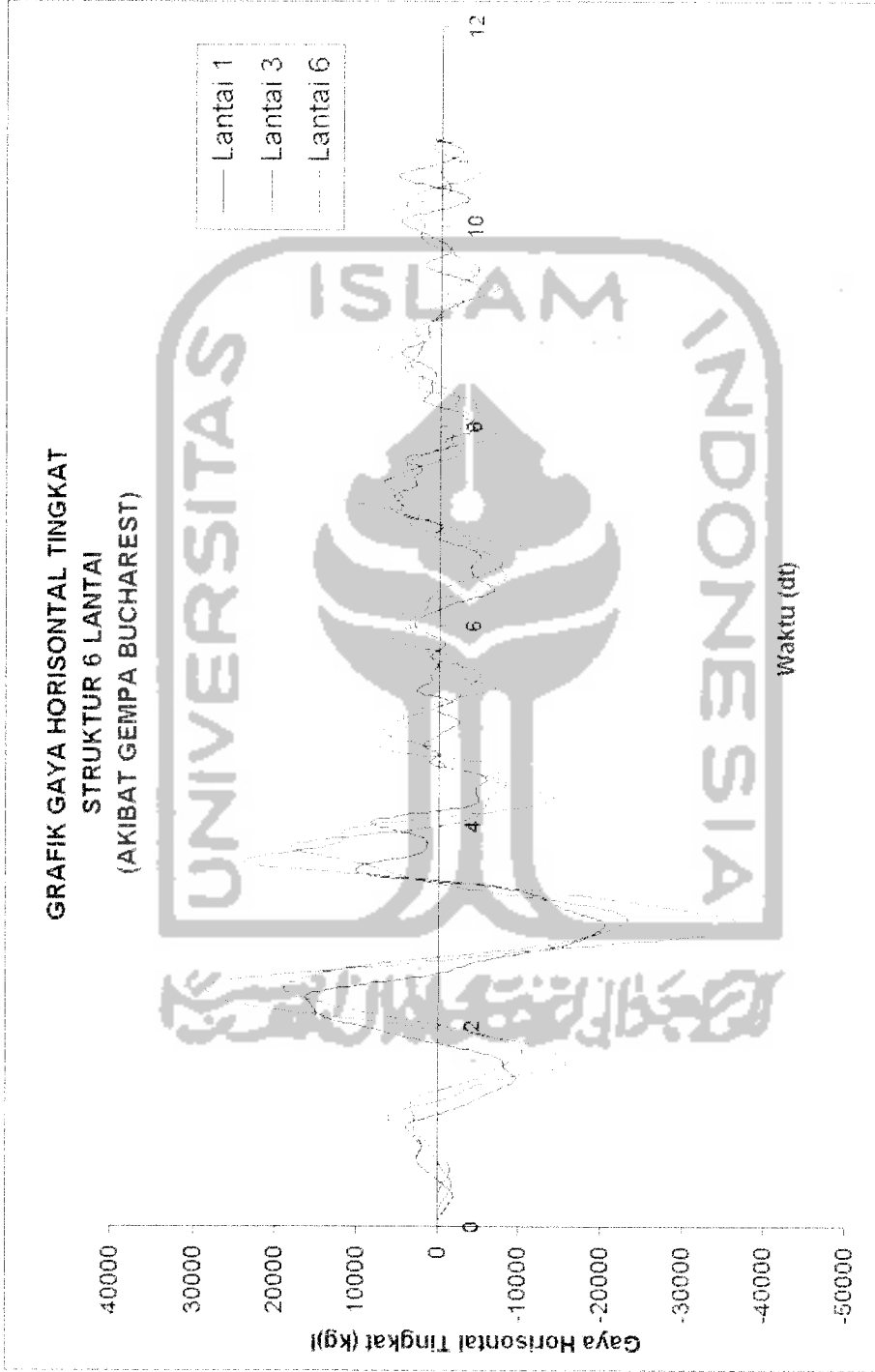
Gambar 5.18 Plot Simpangan Antar Tingkat lawan waktu akibat gempa Koyna Struktur 18 lantai

5.8. Perhitungan Gaya Horizontal tingkat

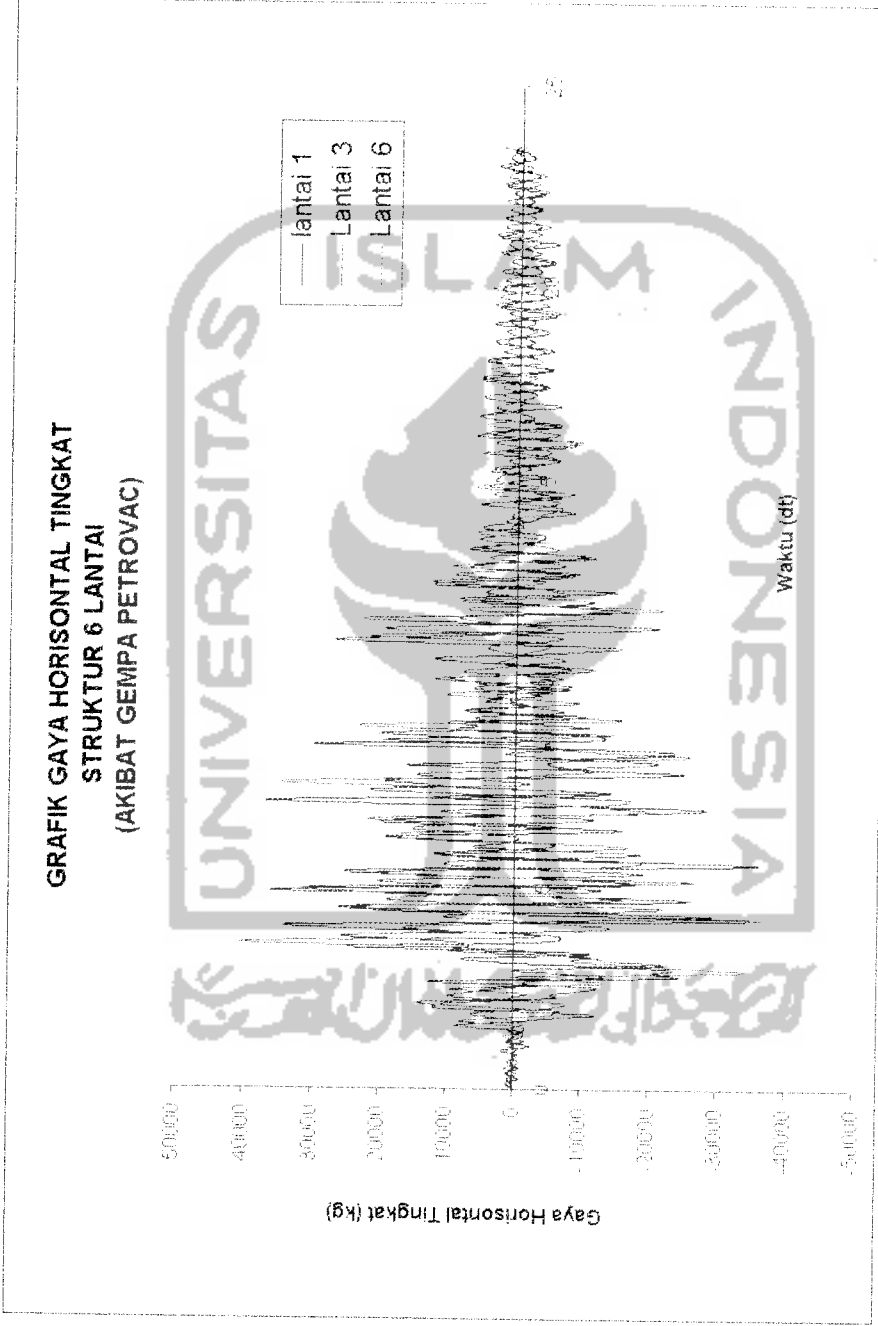
$$F_j(t) = y_j(t) * k_j \dots \dots \dots (5.8)$$

Contoh hasil plot antara gaya horisontal tingkat dengan waktu akibat gempa Bucharest, Petrovac dan Koyna dapat dilihat pada gambar berikut :

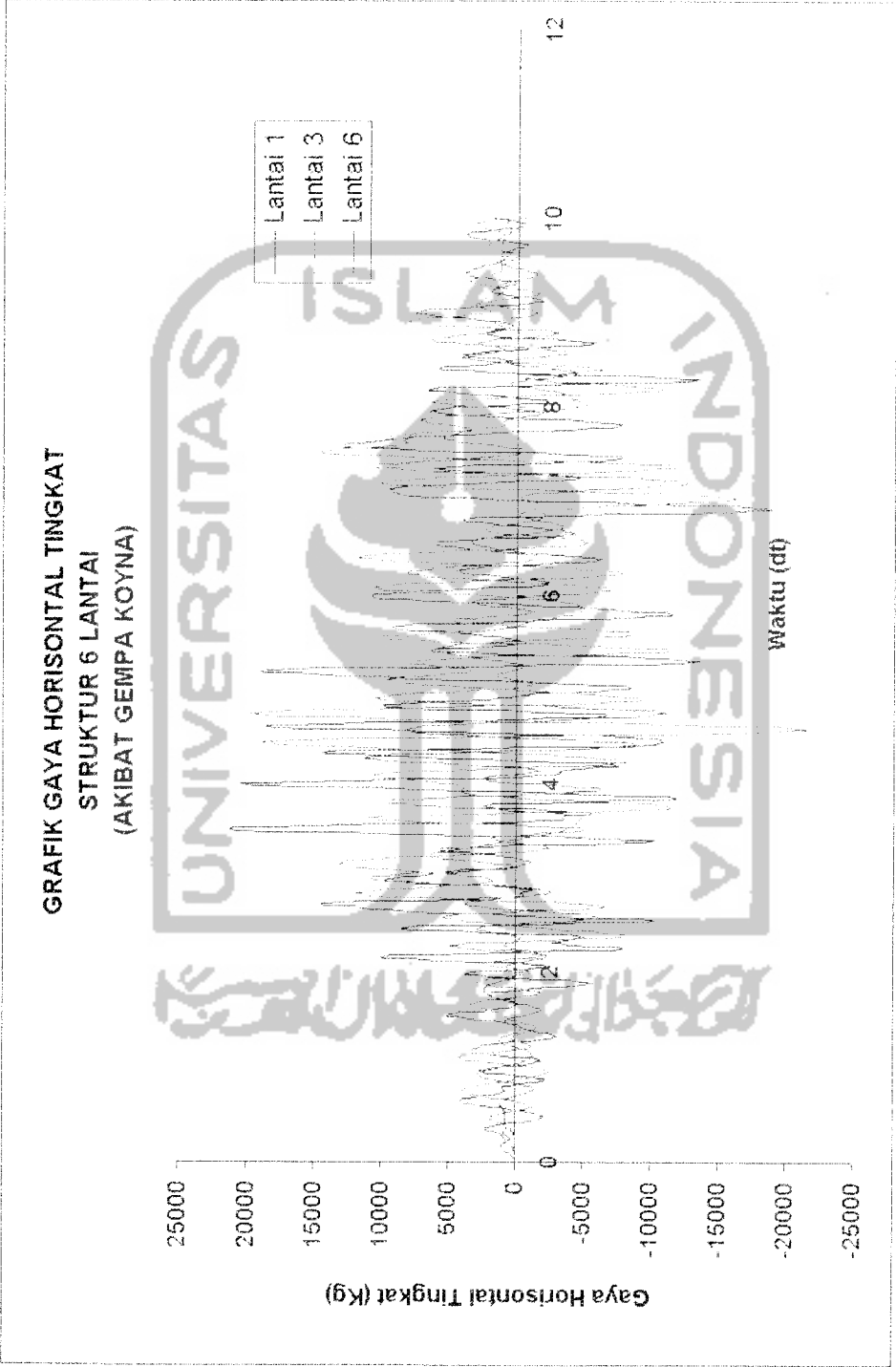




Gambar 5.19 Plot Gaya horizontal tingkat lawan waktu akibat gempa Bucharest struktur 6 lantai



Gambar 5.20 Plot Simpangan Gaya Horizontal Tingkat lawan waktu akibat gempa Petrovac struktur 6 lantai

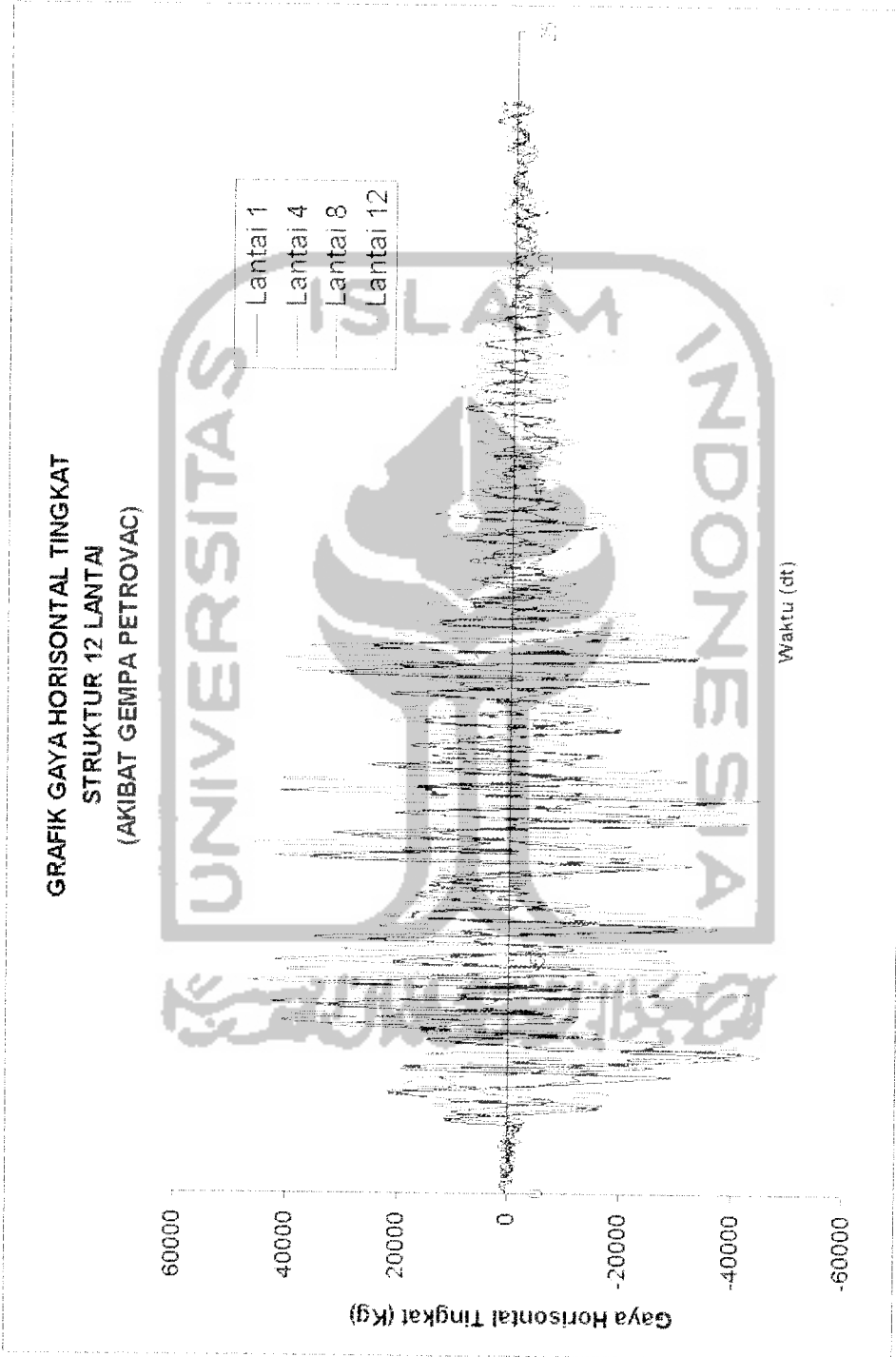


Gambar 5.21 Plot Gaya Horizontal Tingkat lawan waktu akibat gempa Koyna struktur 6 lantai

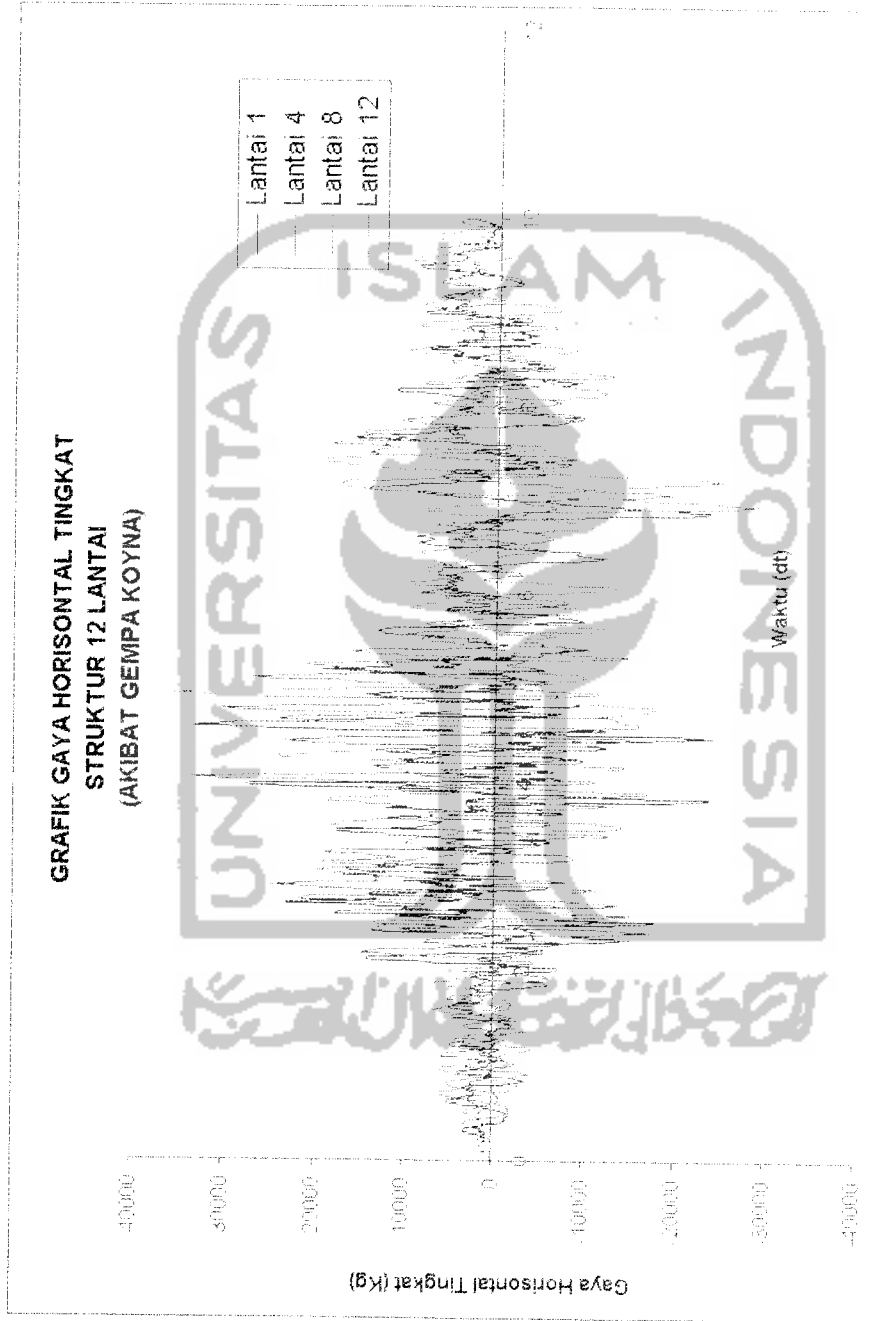
GRAFIK GAYA HORIZONTAL TINGKAT
STRUKTUR 12 LANTAI
(AKIBAT GEMPA BUCHAREST)



Gambar 5.22 Plot Gaya Horizontal tingkat lawan waktu akibat gempa Bucharest struktur 12 lantai

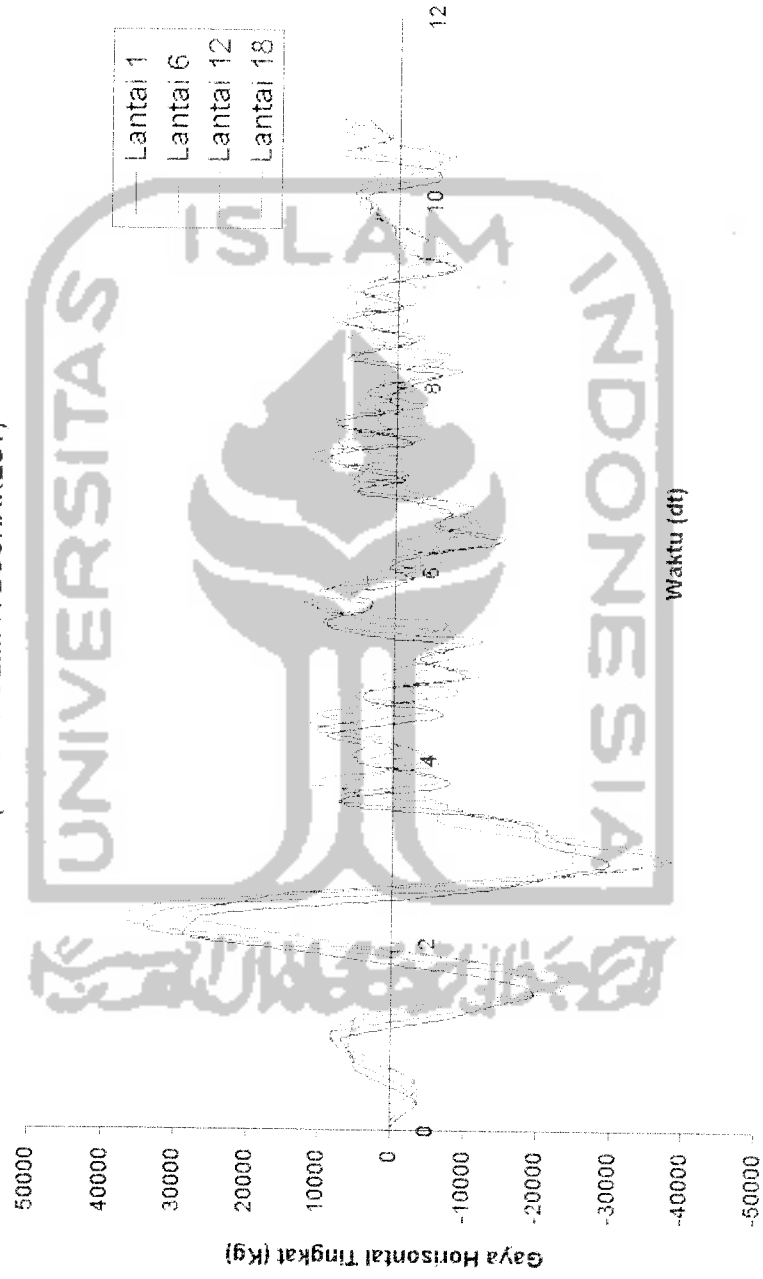


Gambar 5.23 Plot Gaya Horizontal Tingkat lawan waktu akibat gempa Petrovac struktur 12 lantai

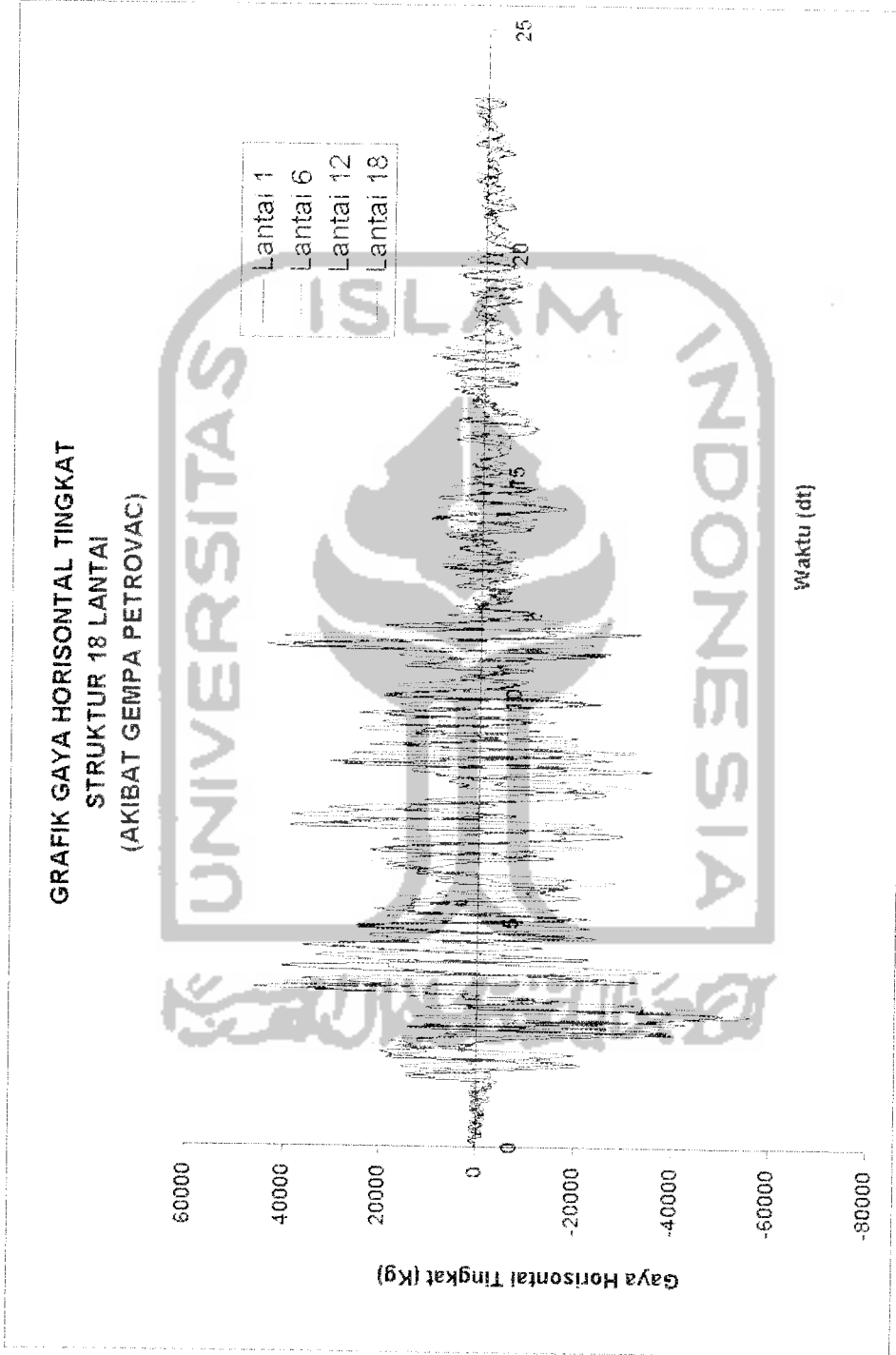


Gambar 5.24 Plot Gaya Horizontal Tingkat lawan waktu akibat gempa Koyna struktur 12 lantai

GRAFIK GAYA HORIZONTAL TINGKAT
STRUKTUR 18 LANTAI
(AKIBAT GEMPA BUCHAREST)

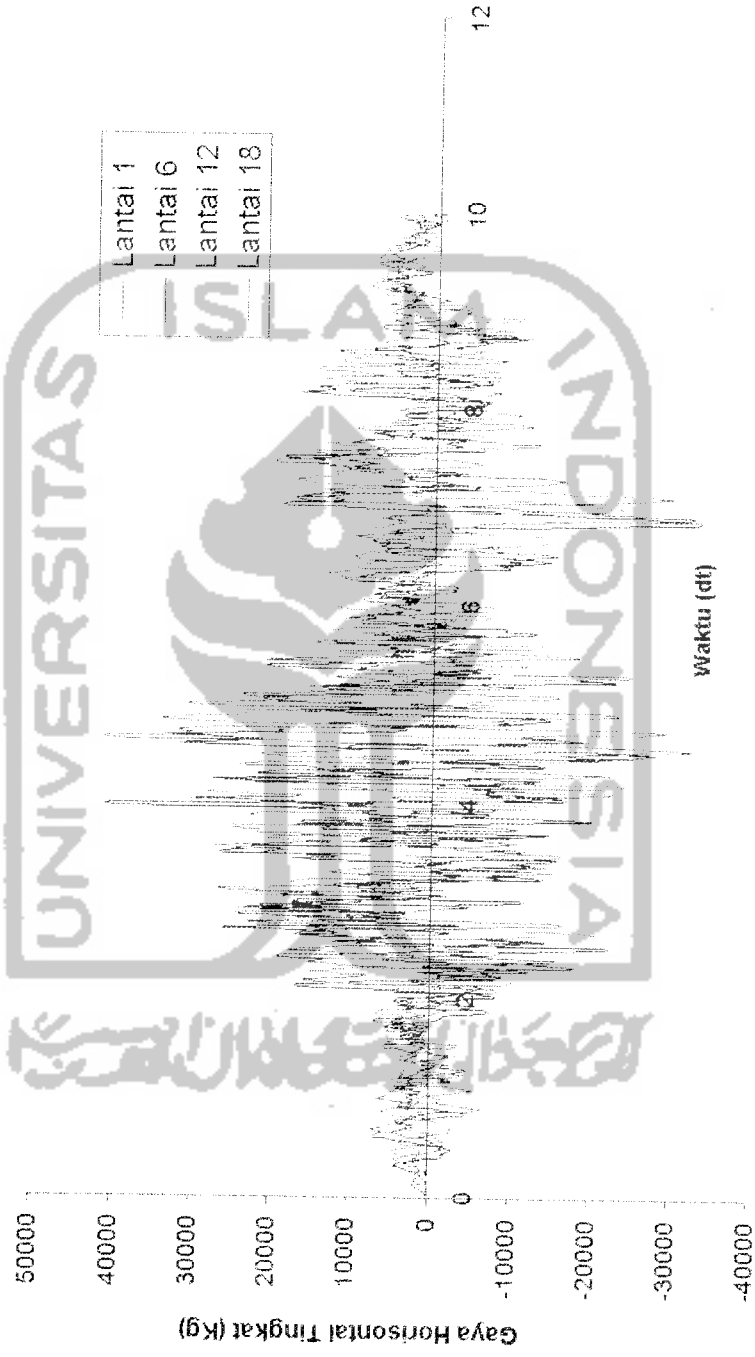


Gambar 5.25 Plot Gaya Horizontal tingkat lawan waktu akibat gempa Bucharest struktur 18 lantai



Gambar 5.26 Plot Gaya Horizontal Tingkat lawan waktu akibat gempa Petrovac struktur 18 lantai

GRAFIK GAYA HORIZONTAL TINGKAT
STRUKTUR 18 LANTAI
(AKIBAT GEMPA KOYNA)



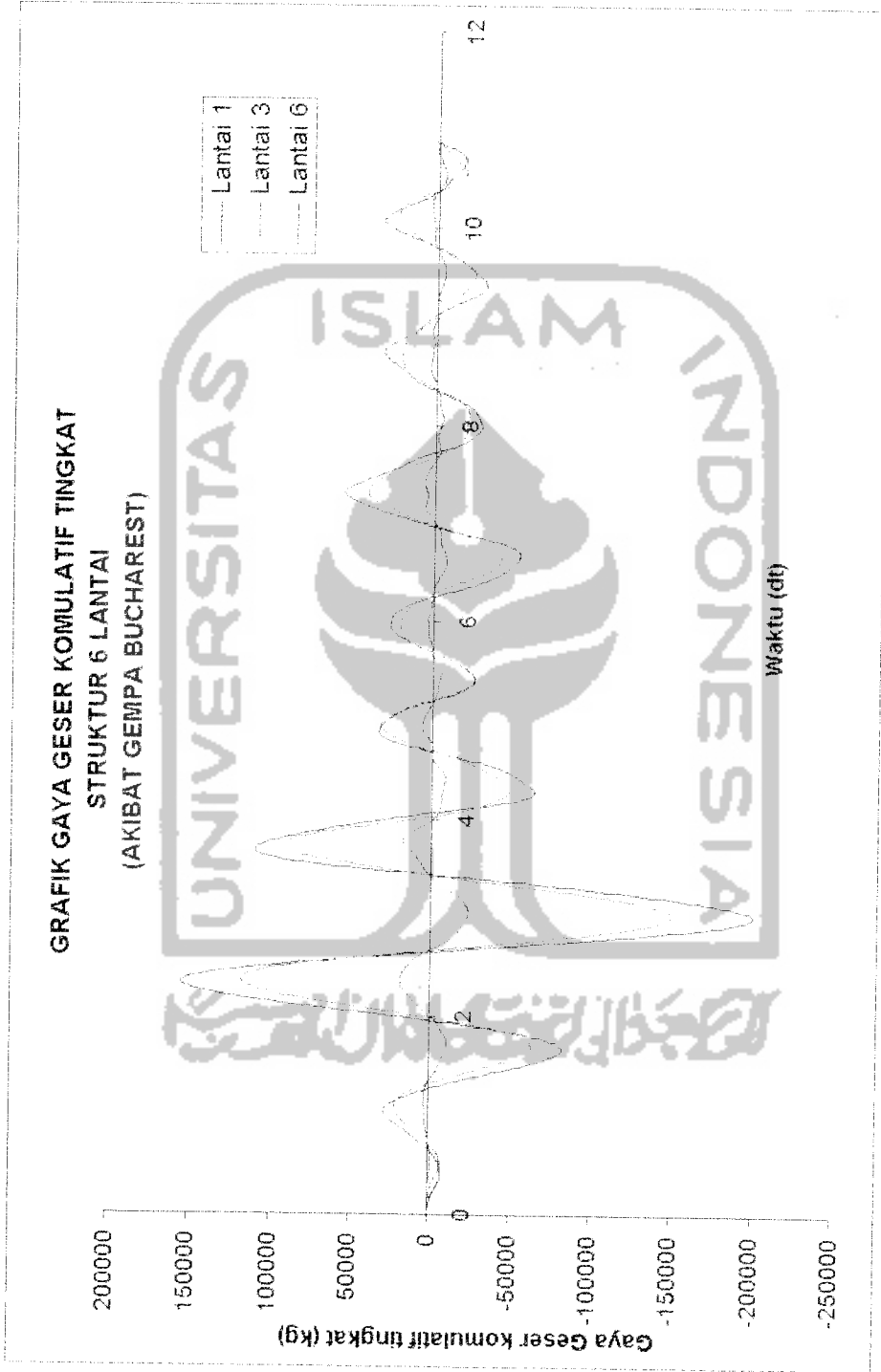
Gambar 5.27 Plot Gaya Horizontal Tingkat lawan waktu akibat gempa Koyana Struktur 18 lantai

5.9 Perhitungan Gaya Geser Kumulatif Tingkat dan Gaya Geser Dasar

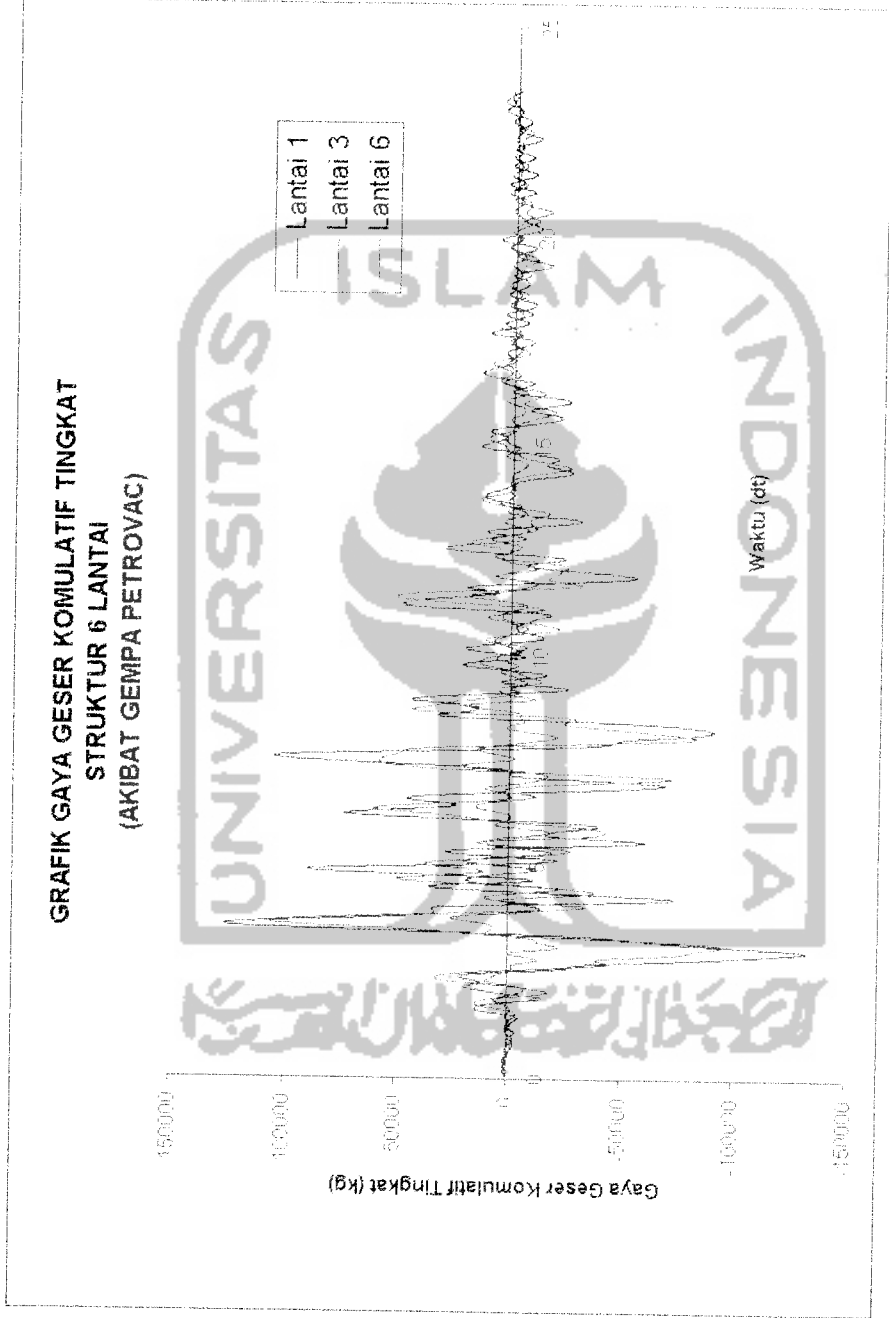
$$V(t) = \sum_{j=1}^n F(t) \dots\dots\dots (5.9)$$

Contoh hasil gaya geser tingkat akibat beban gempa Bucharest, Parkfield dan Koyna dapat dilihat pada gambar berikut :

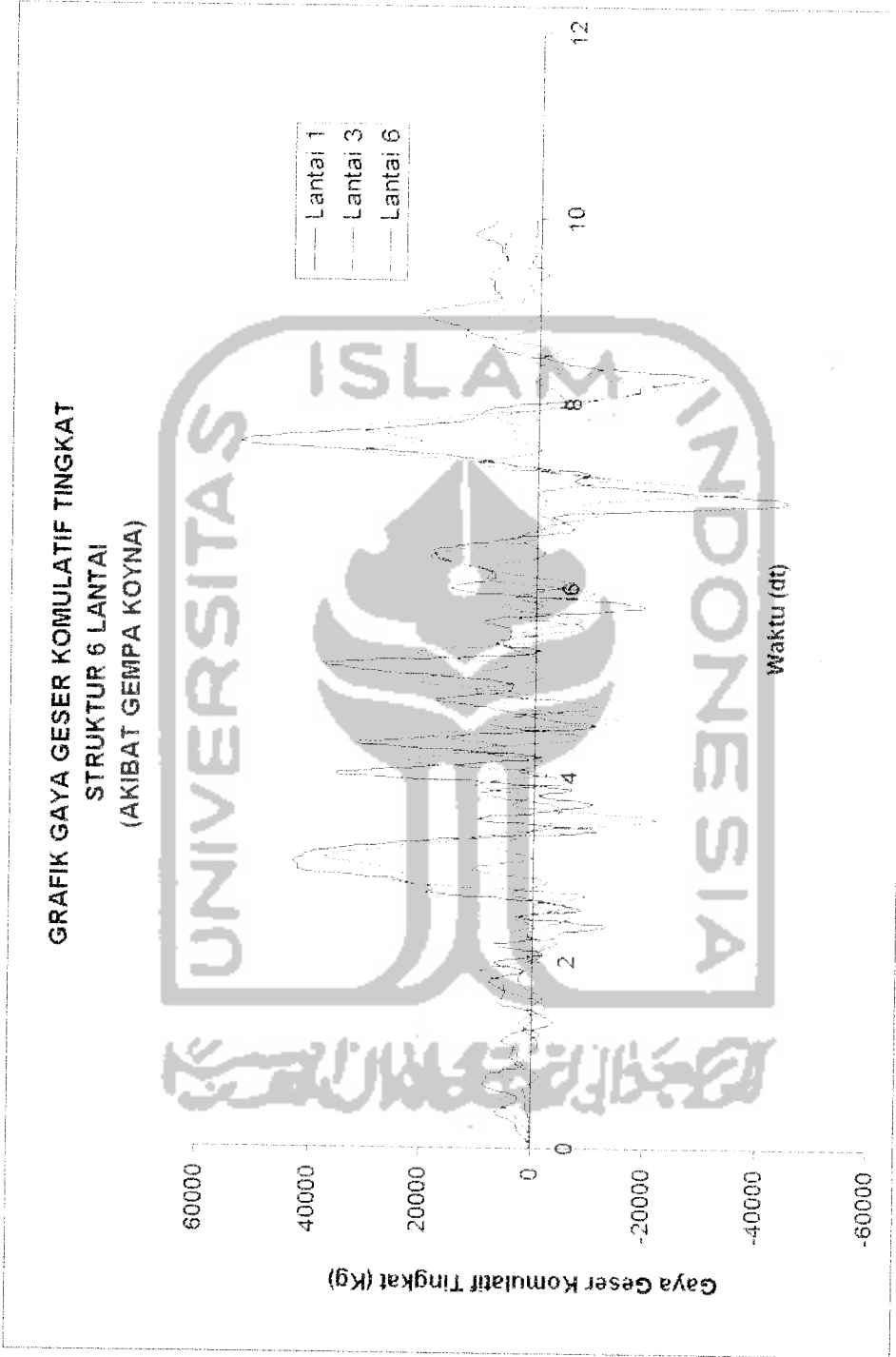




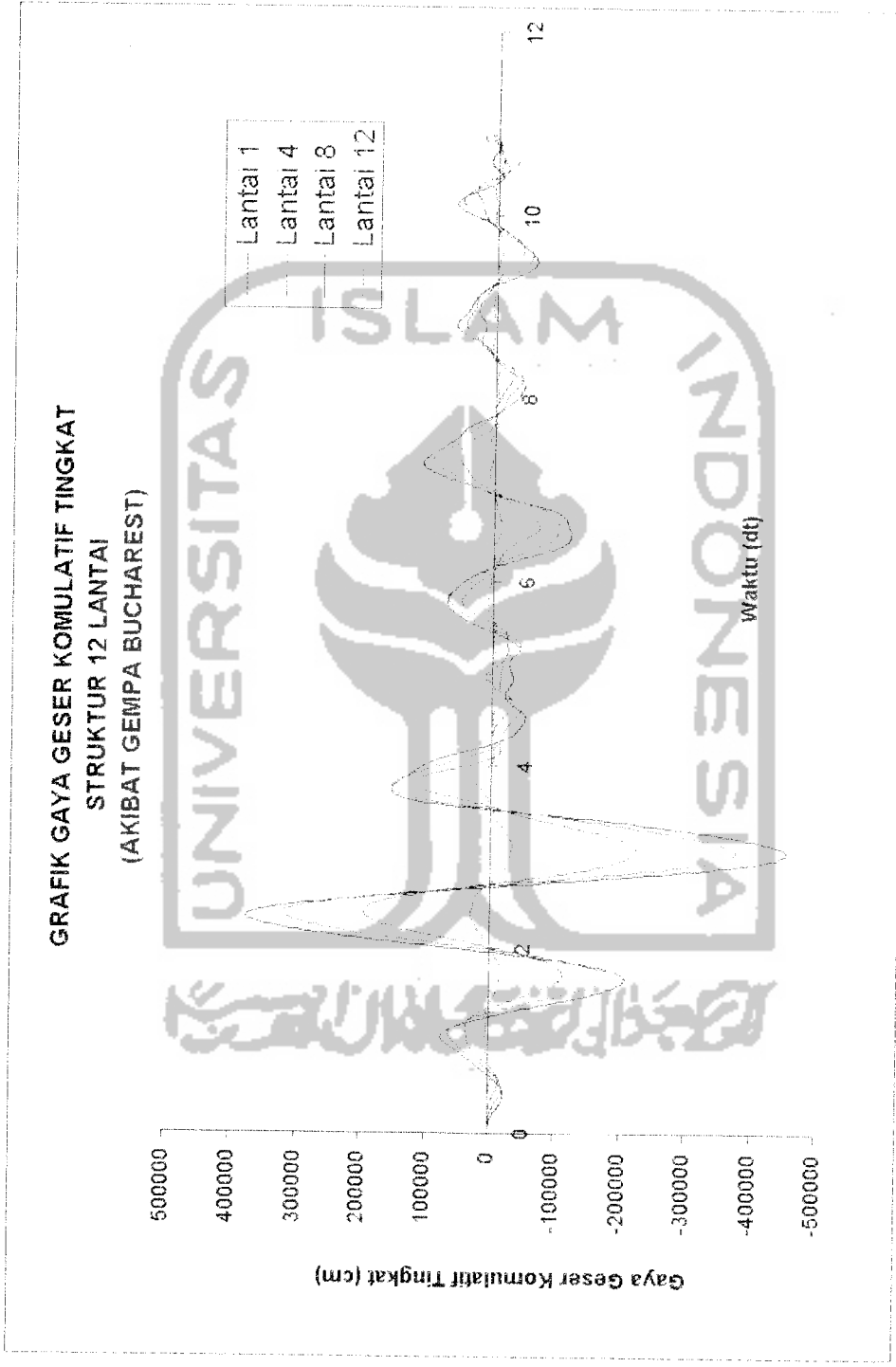
Gambar 5.28 Plot Gaya Geser komulatif tingkat lawan waktu akibat gempa Bucharest struktur 6 lantai



Gambar 5.29 Plot Gaya Geser Komulatif Tingkat lawan waktu akibat gempa Petrovac struktur 6 lantai

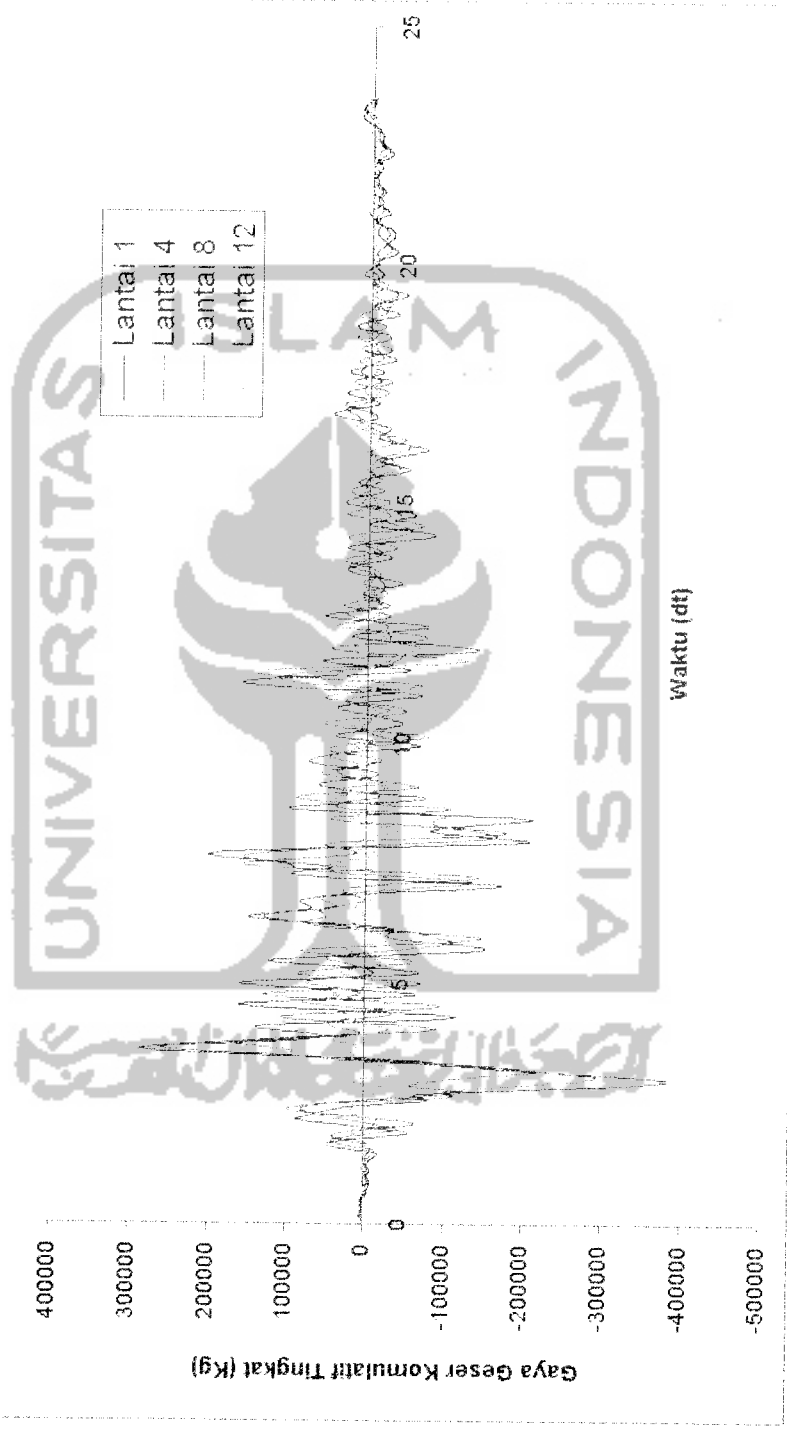


Gambar 5.30 Plot Gaya Geser Komulatif Tingkat lawan waktu akibat gempa Koyana struktur 6 lantai

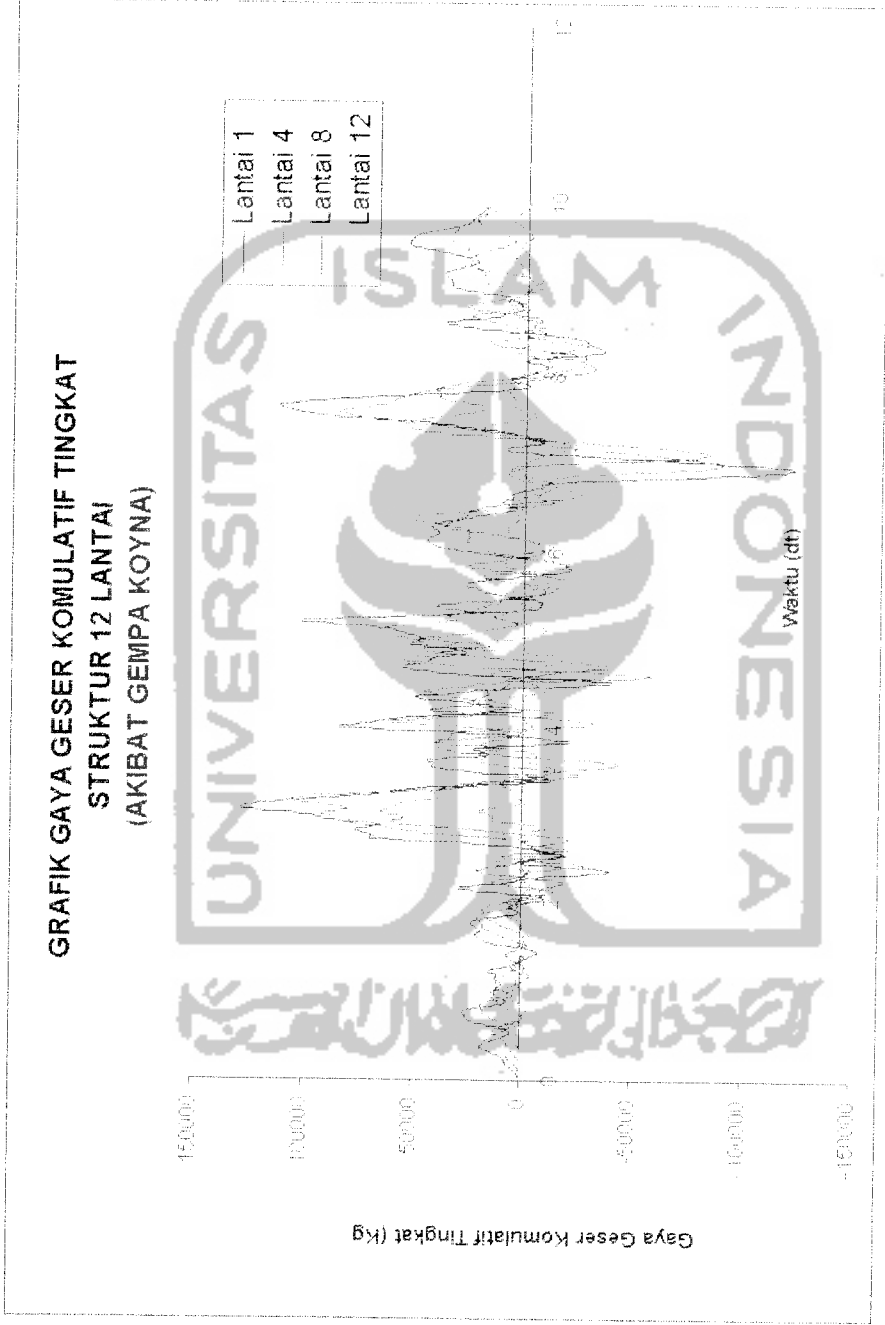


Gambar 5.31 Plot Gaya Geser Komulatif Tingkat lawan waktu akibat gempa Bucharest struktur 12 lantai

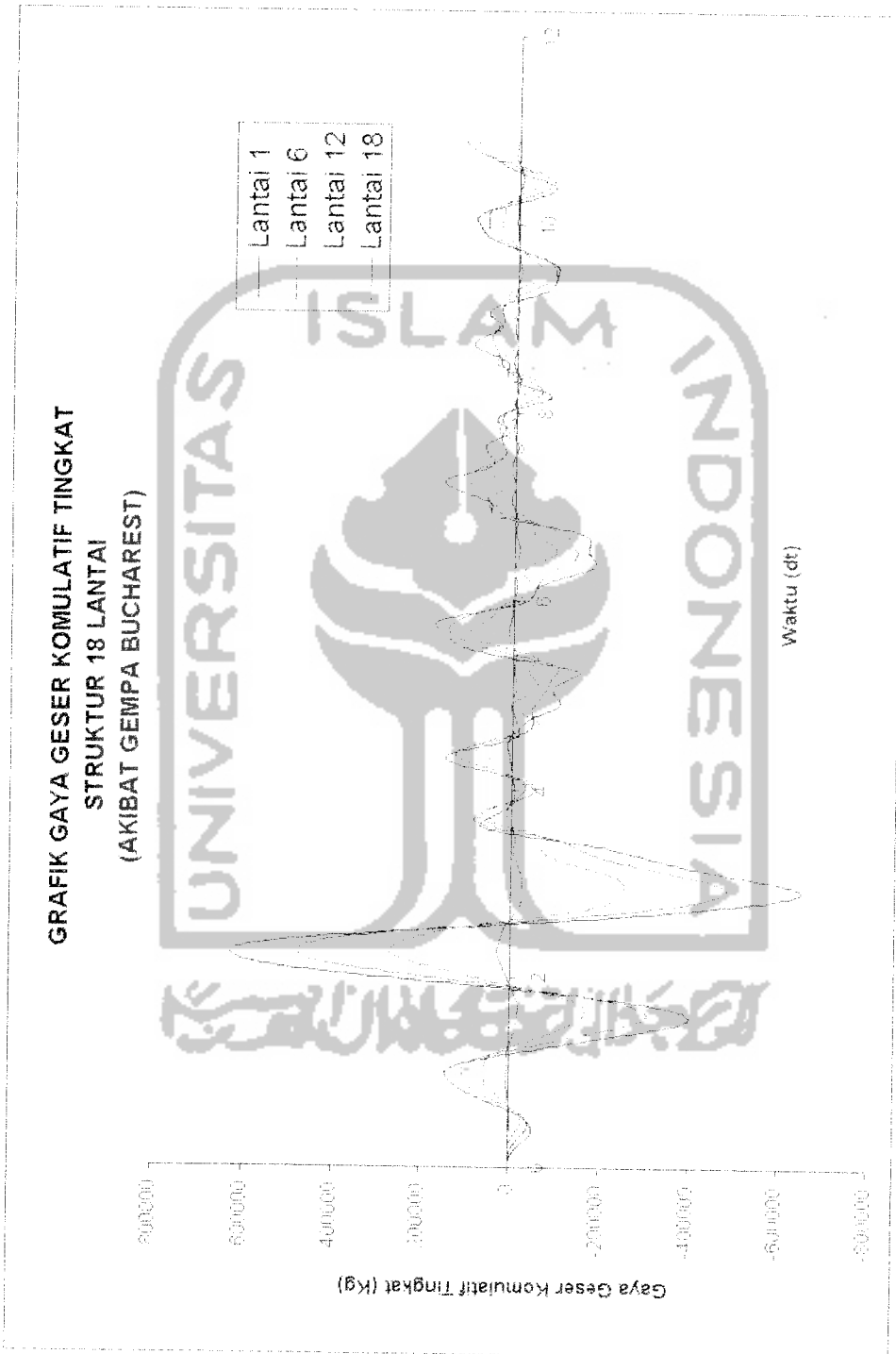
**GRAFIK GAYA GESER KOMULATIF TINGKAT
STRUKTUR 12 LANTAI
(AKIBAT GEMPA PETROVAC)**



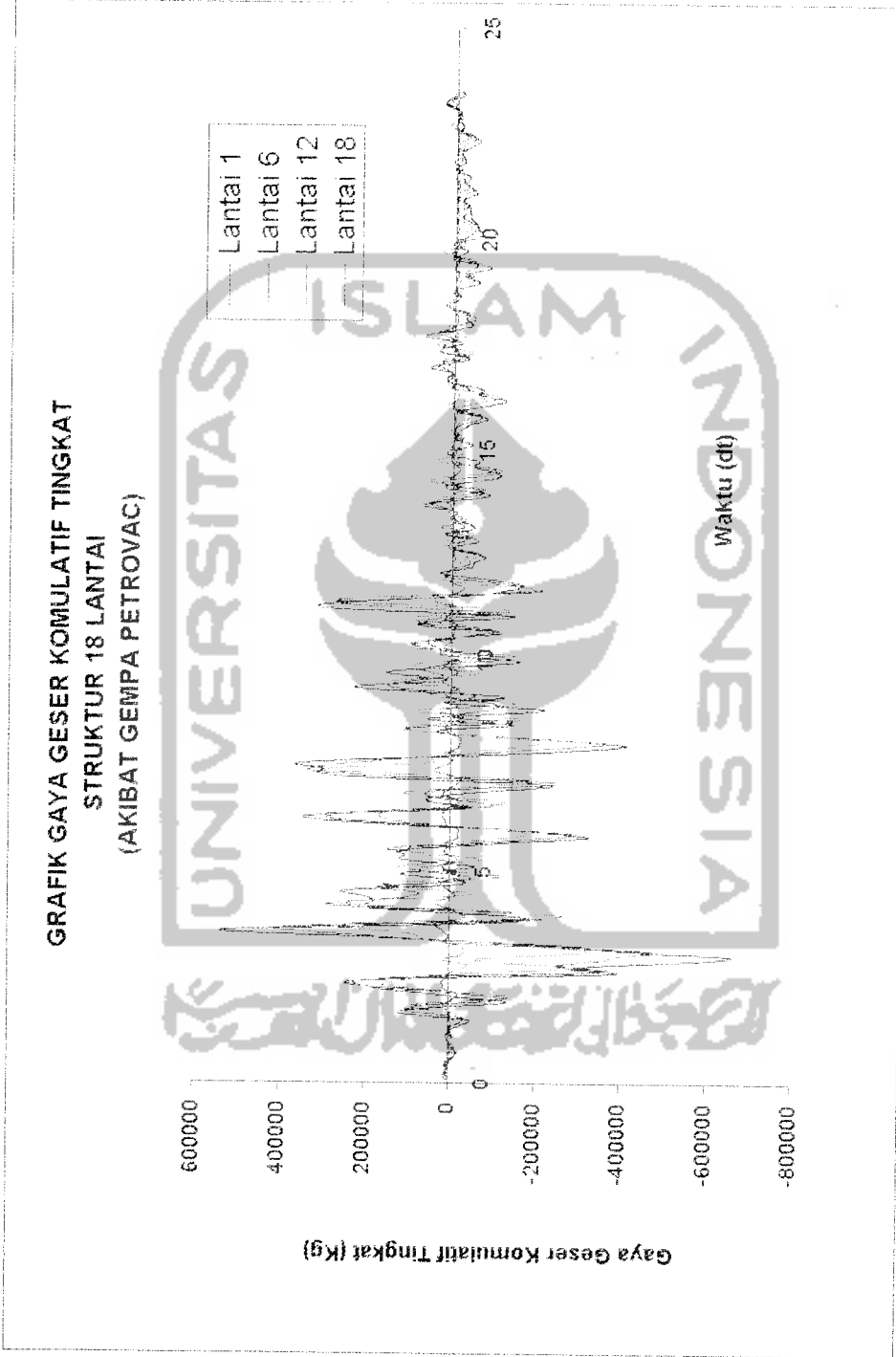
Gambar 5.32 Plot Gaya Geser Komulatif Tingkat lawan waktu akibat gempa Petrovac struktur 12 lantai



Gambar 5.33 Plot Gaya Geser Komulatif Tingkat lawan waktu akibat gempa Koyna struktur 12 lantai

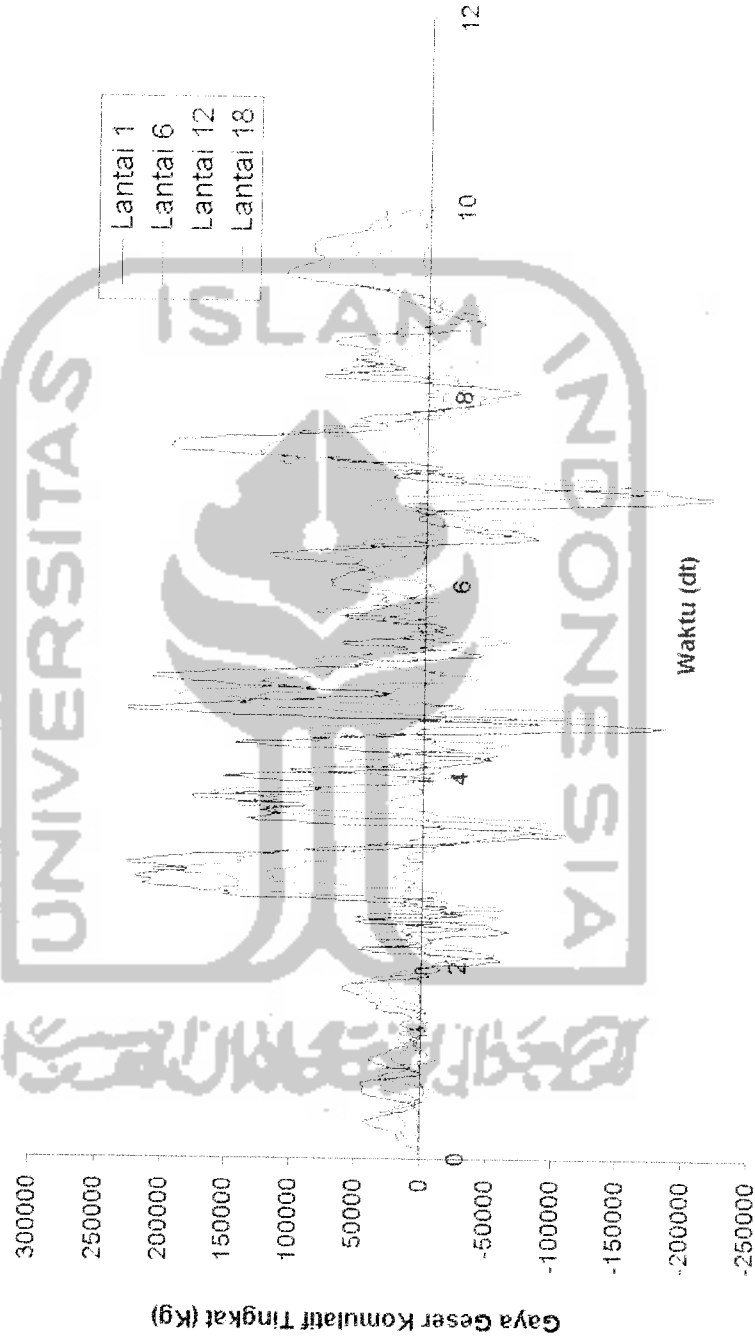


Gambar 5.34 Plot Gaya Geser Komulatif Tingkat lawan waktu akibat gempa Bucharest struktur 18 lantai



Gambar 5.35 Plot Gaya Geser Komulatif Tingkat lawan waktu akibat gempa Petrovac struktur 18 lantai

GRAFIK GAYA GESER KOMULATIF TINGKAT
STRUKTUR 18 LANTAI
(AKIBAT GEMPA KOYNA)

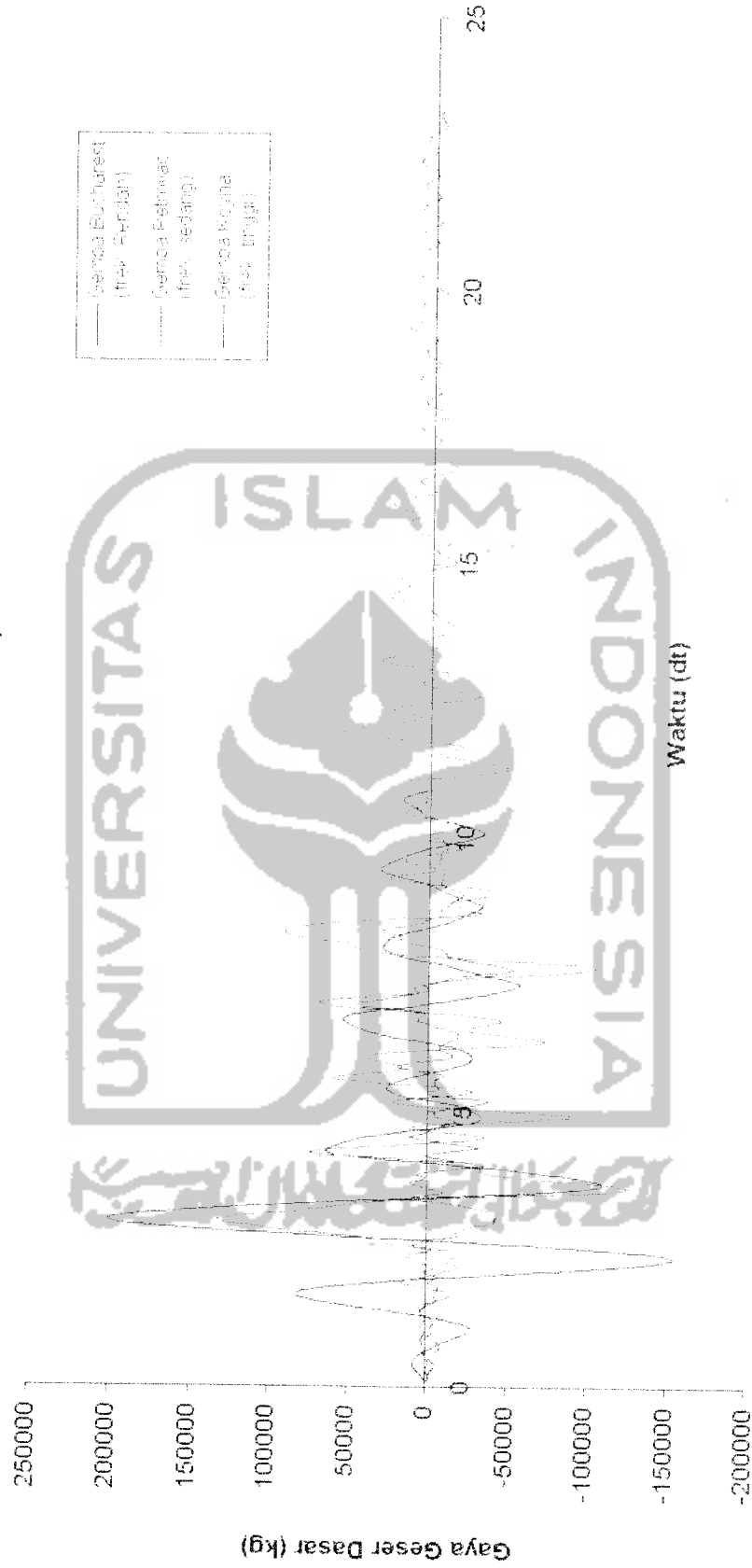


Gambar 5.36 Plot Gaya Geser Komulatif Tingkat lawan waktu akibat gempa Koyna Struktur 18 lantai

Sedangkan hasil Gaya Geser dasar akibat beban gempa Bucharest, Petrovac dan Koyna disajikan pada gambar berikut:

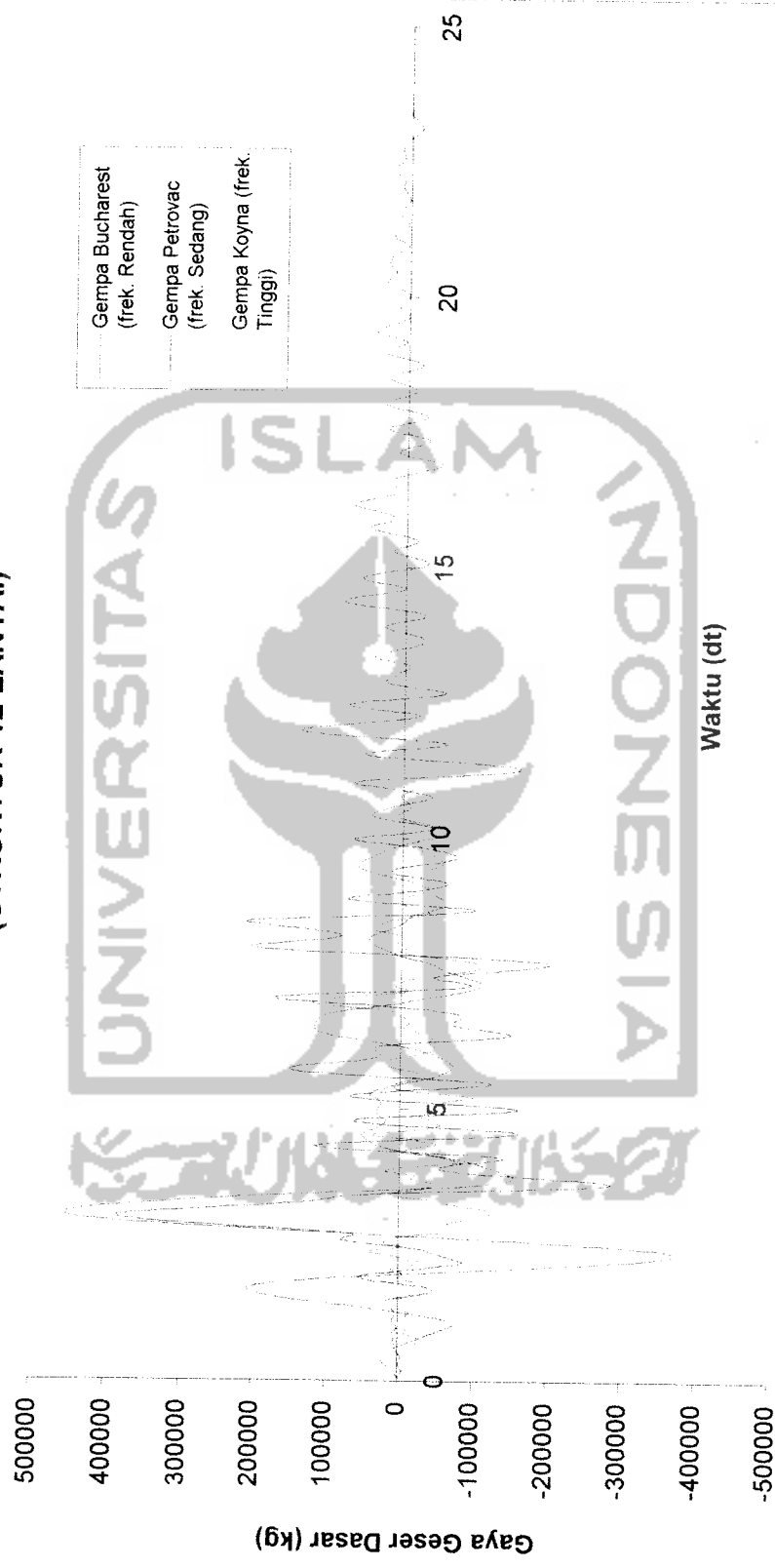


**GRAFIK GAYA GESER DASAR
(STRUKTUR 6 LANTAI)**



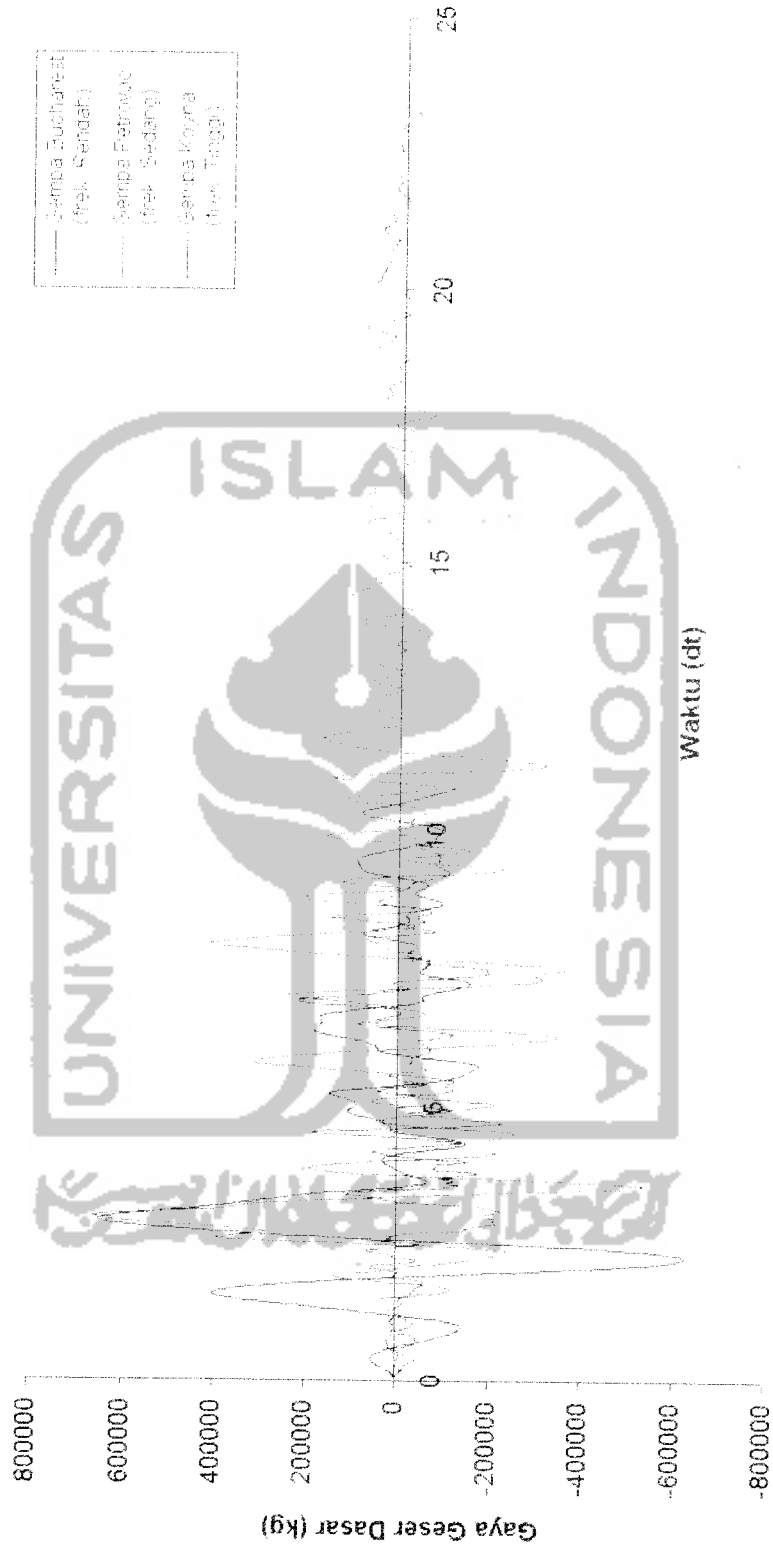
Gambar 5.37 Plot Gaya Geser Dasar lawan waktu akibat 3 gempa (struktur 6 lantai)

GRAFIK GAYA GESER DASAR (STRUKTUR 12 LANTAI)



Gambar 5.38 Plot Gaya Geser Dasar lawan waktu akibat 3 gempa (struktur 12 lantai)

**GRAFIK GAYA GESER DASAR
(STRUKTUR 18 LANTAI)**



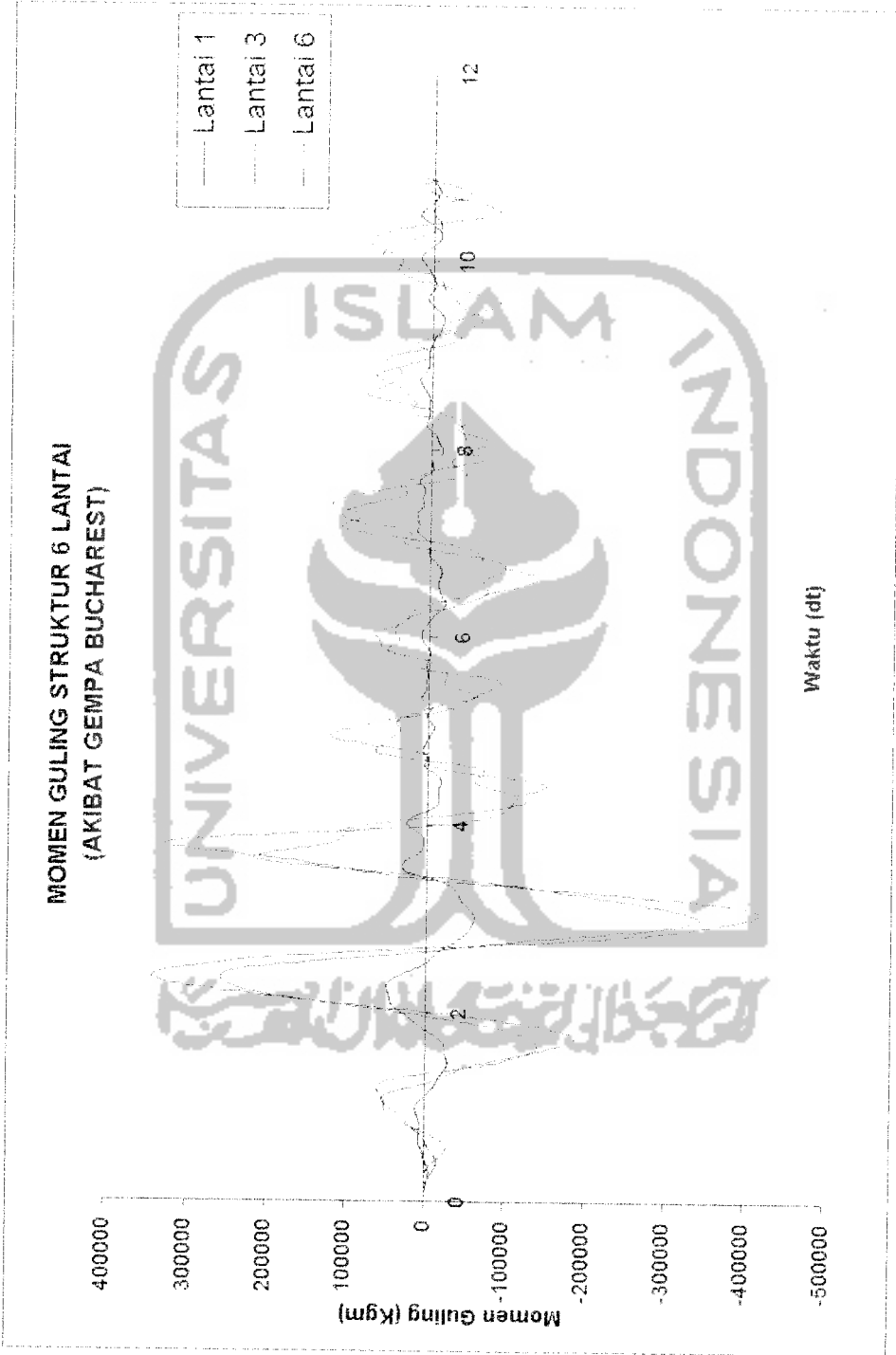
Gambar 5.39 Plot Gaya Geser Dasar lawan waktu akibat 3 gempa (struktur 18 lantai)

5.10 Perhitungan Momen Guling

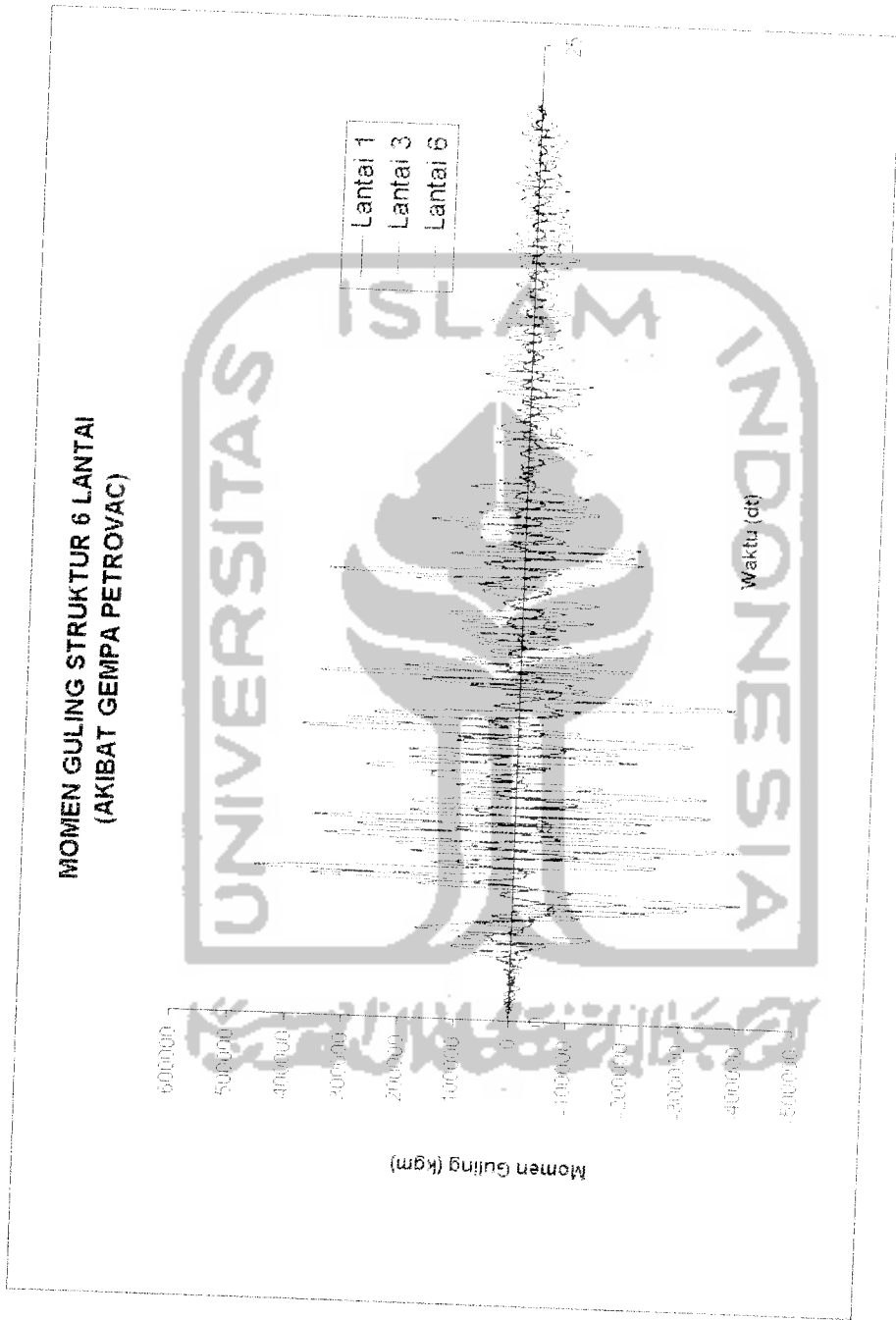
$$M_g = F_j(t) * H \dots\dots\dots(5.10).$$

Contoh hasil plot antara Momen guling lawan waktu akibat gempa Bucharest, Petrovac dan Koyna pada struktur 6,12 dan 18 lantai.



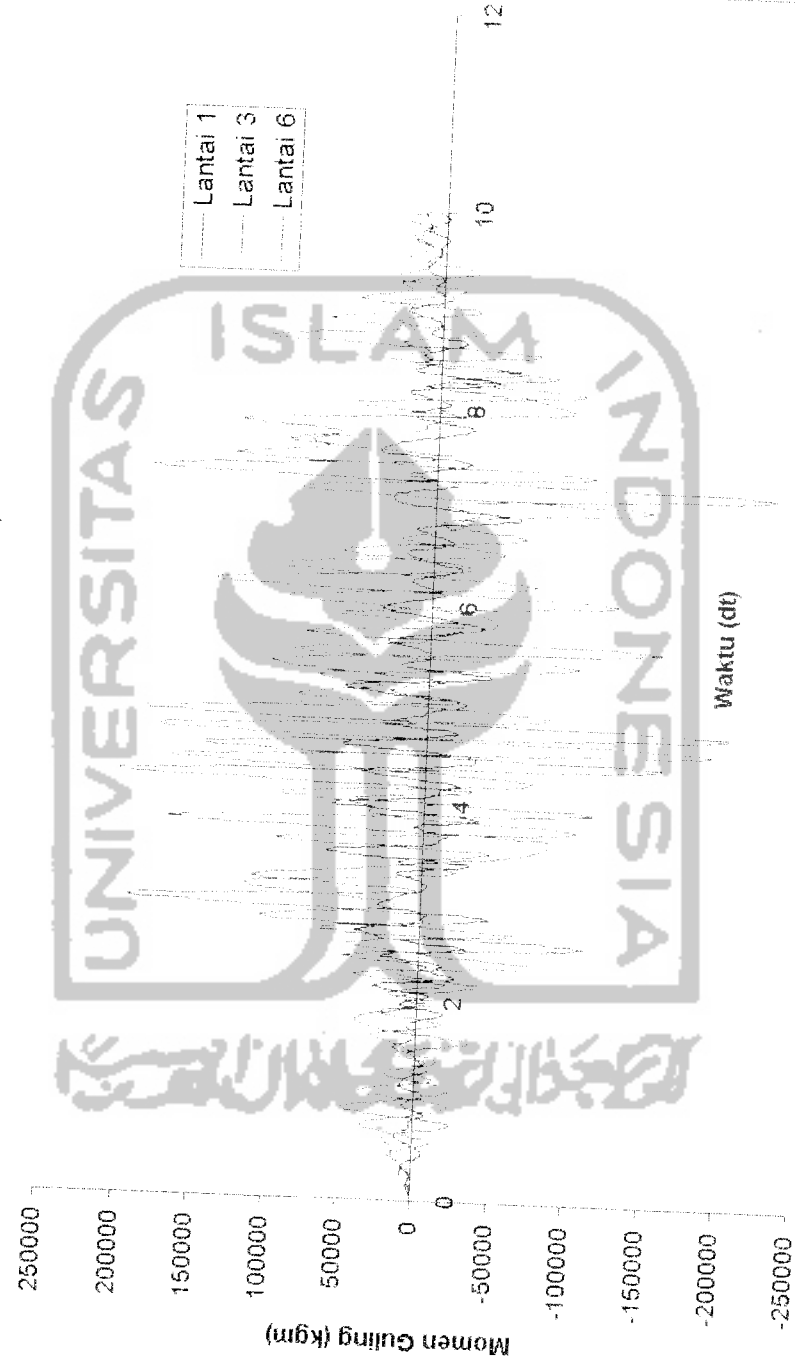


Gambar 5.40 Plot Momen Guling lawan waktu akibat gempa Bucharest struktur 6 lantai

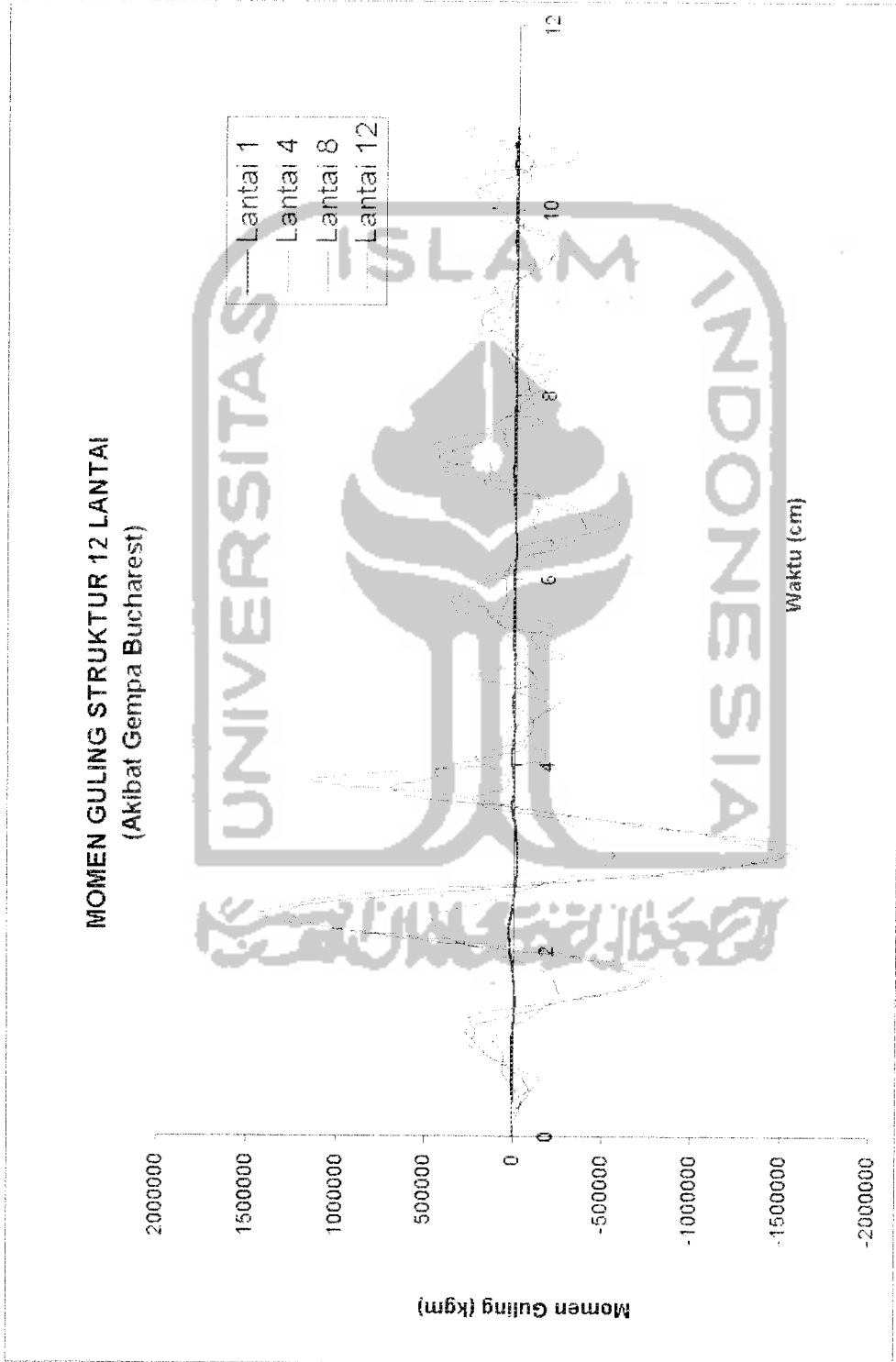


Gambar 5.41 Plot Momen Guling lawan waktu akibat gempa Petrovac struktur 6 lantai

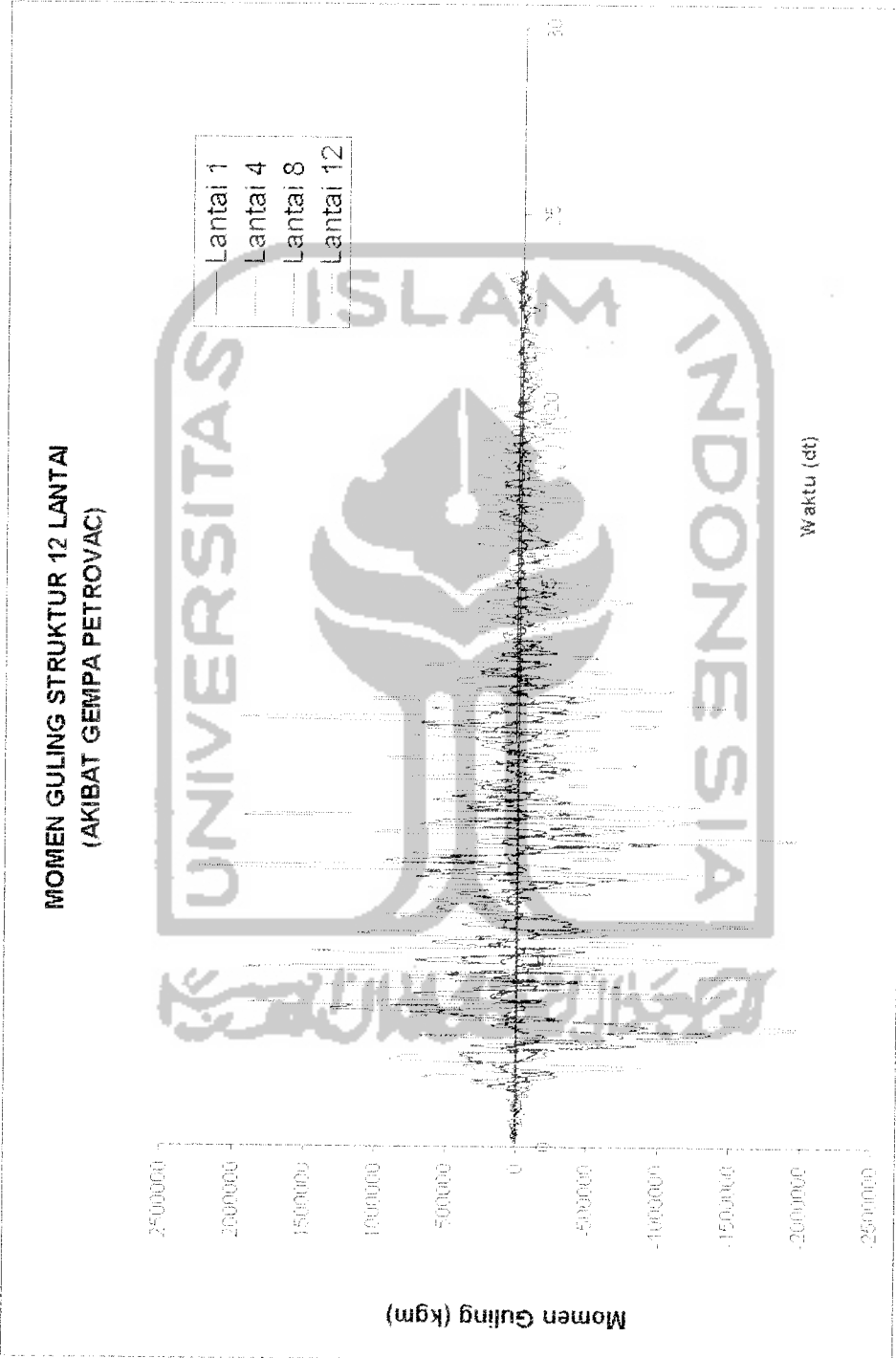
MOMEN GULING STRUKTUR 6 LANTAI
(AKIBAT GEMPA KOYNA)



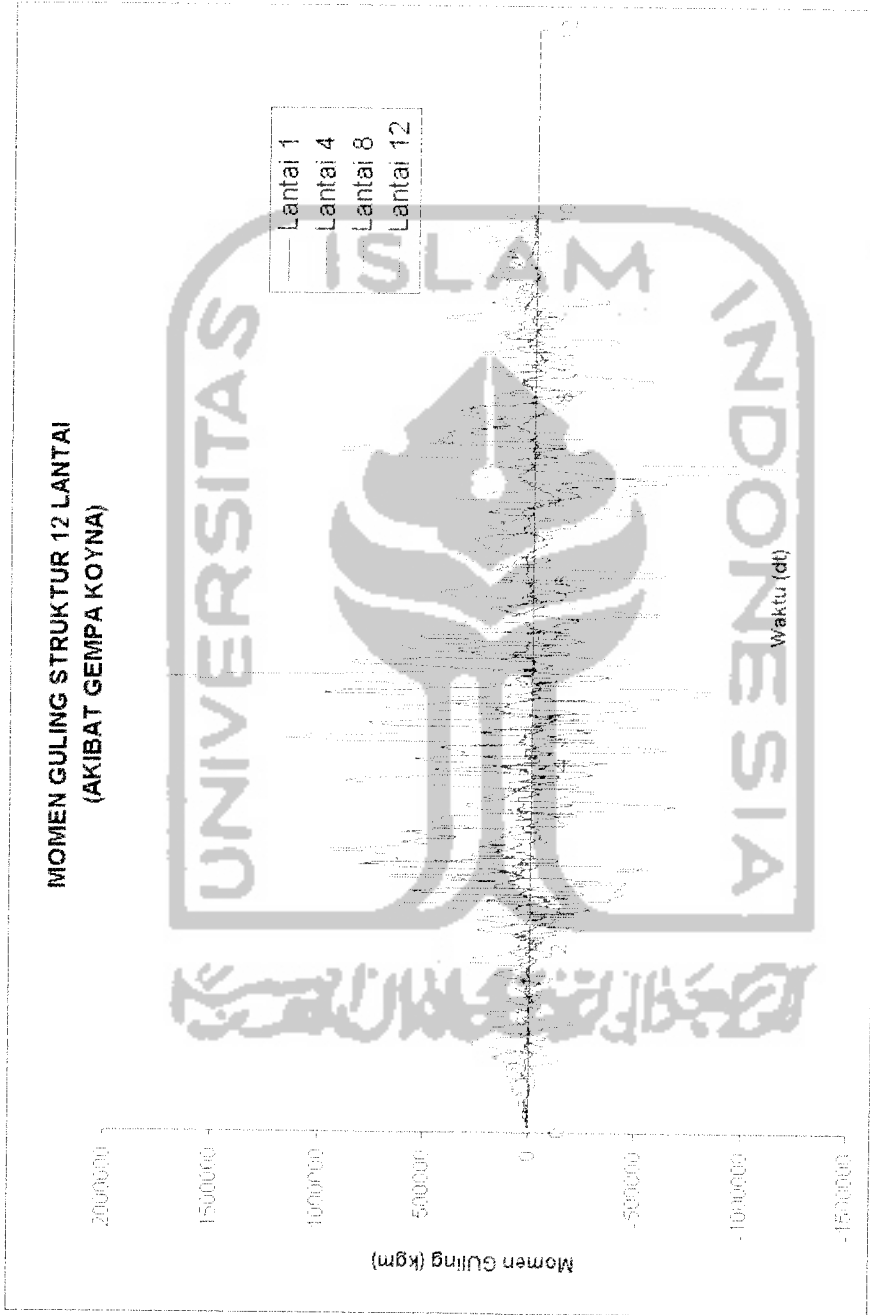
Gambar 5.42 Plot Momen Guling lawan waktu akibat gempa Koyna struktur 6 lantai



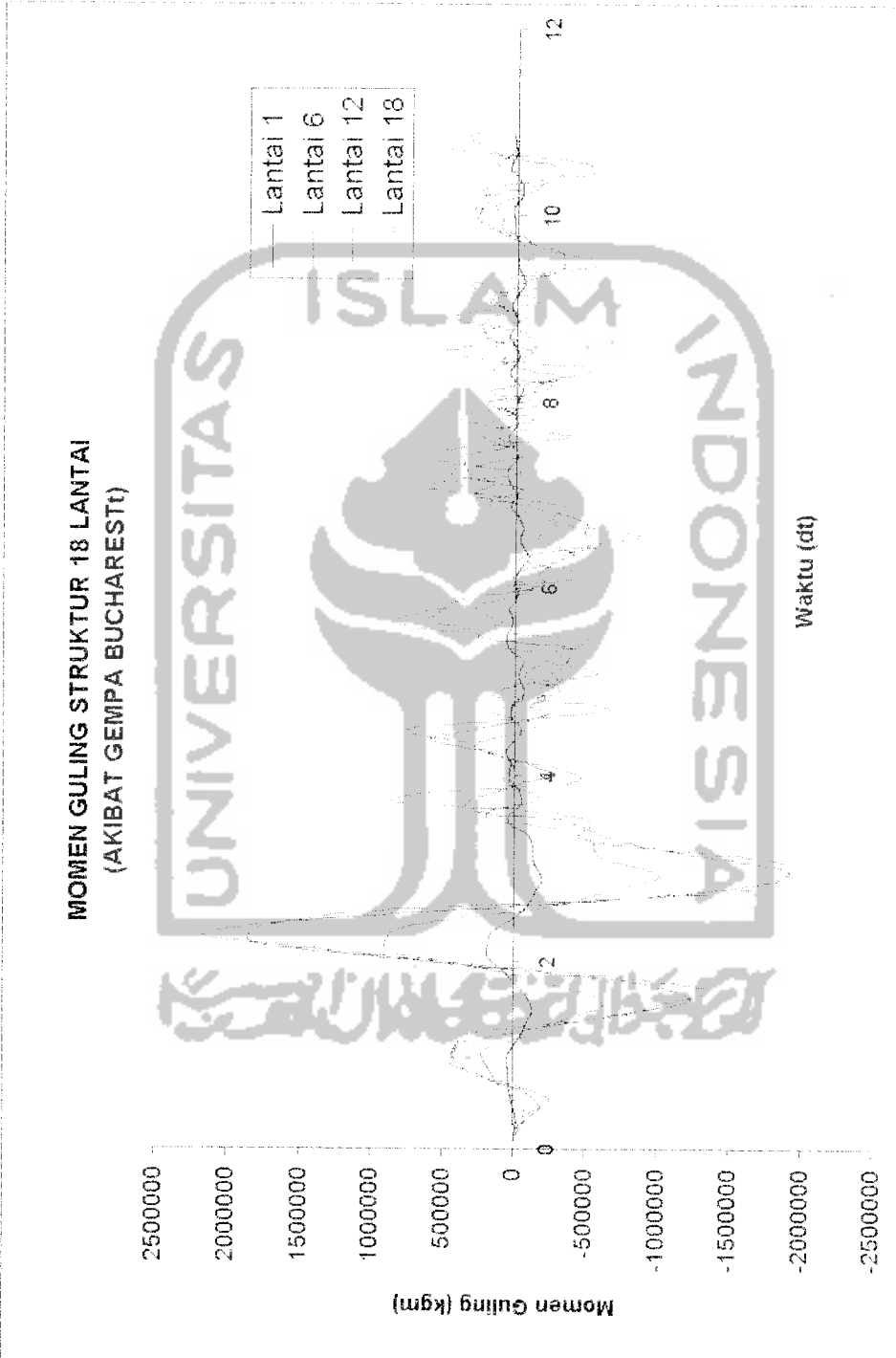
Gambar 5.4.3 Plot Momen Guling lawan waktu akibat gempa Bucharest struktur 12 lantai



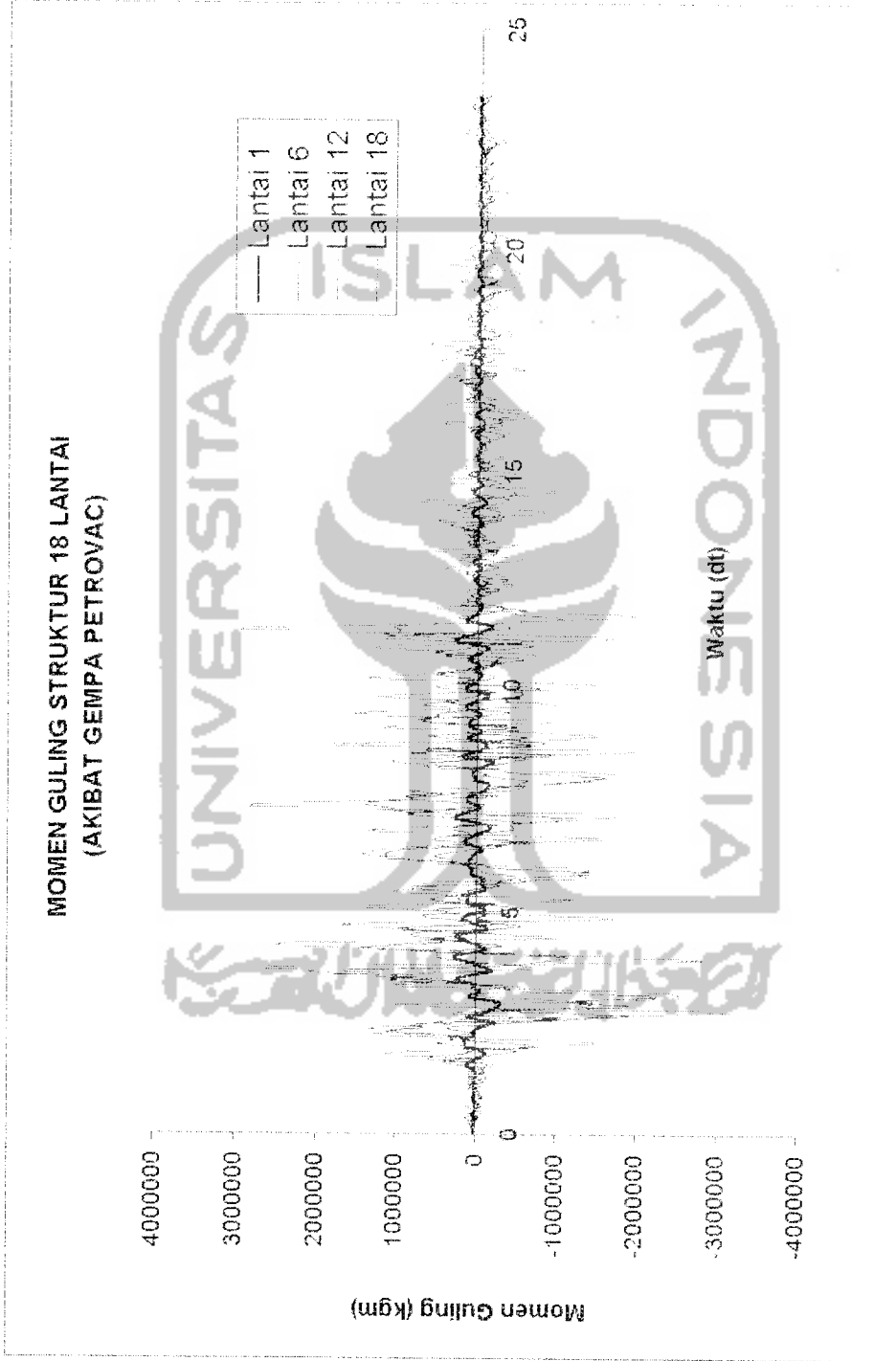
Gambar 5.44 Plot Momen Guling lawan waktu akibat gempa Petrovac struktur 12 lantai



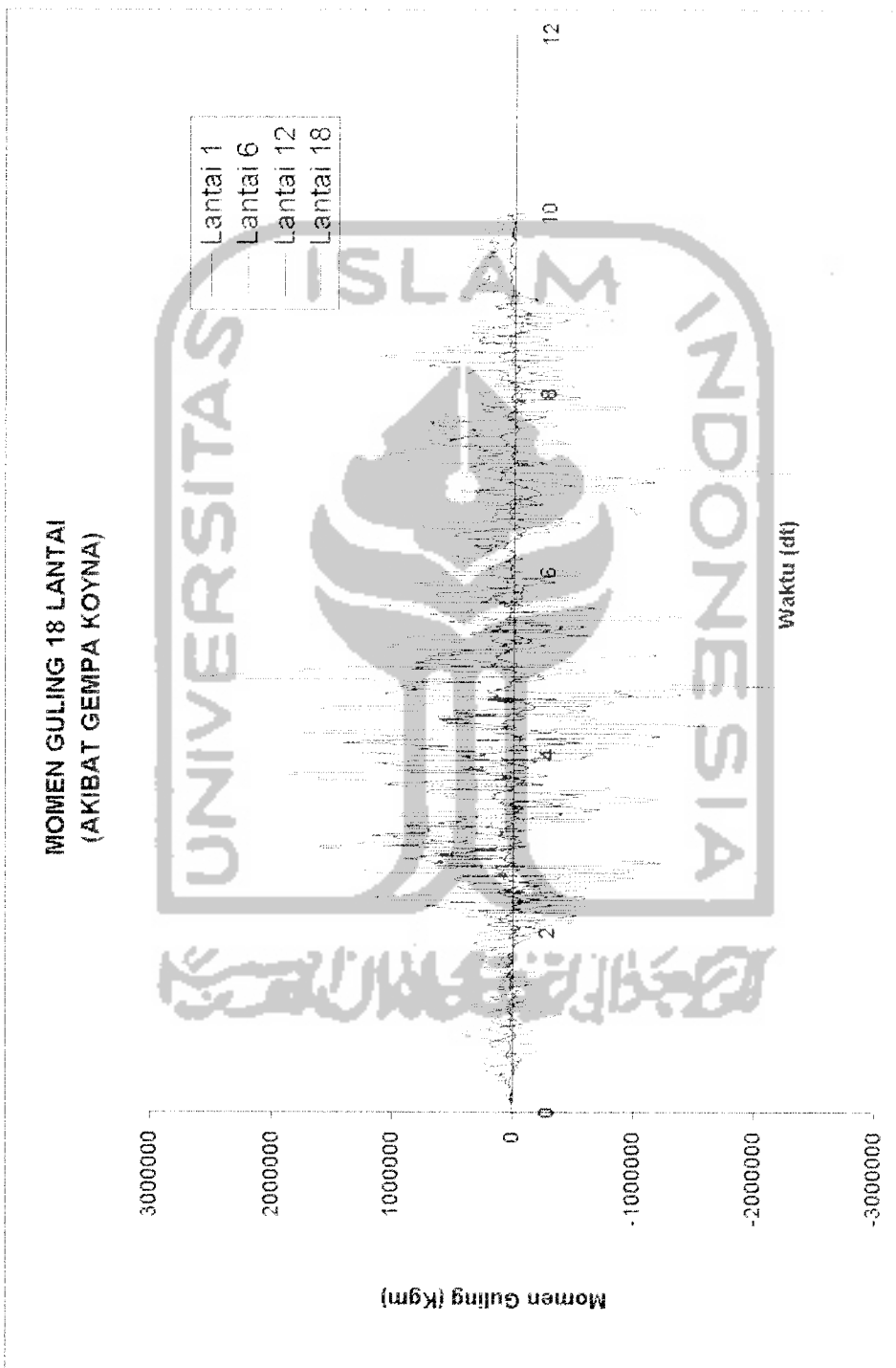
Gambar 5.45 Plot Momen Guling lawan waktu akibat gempa Koyrna struktur 12 lantai



Gambar 5.46 Plot Momen Guling lawan waktu akibat gempa Bucharest struktur 18 lantai



Gambar 5.47 Plot Momen Guling lawan waktu akibat gempa Petrovac struktur 18 lantai



Gambar 5.48 Plot Momen Guling lawan waktu akibat gempa Koyona Struktur 18 lantai

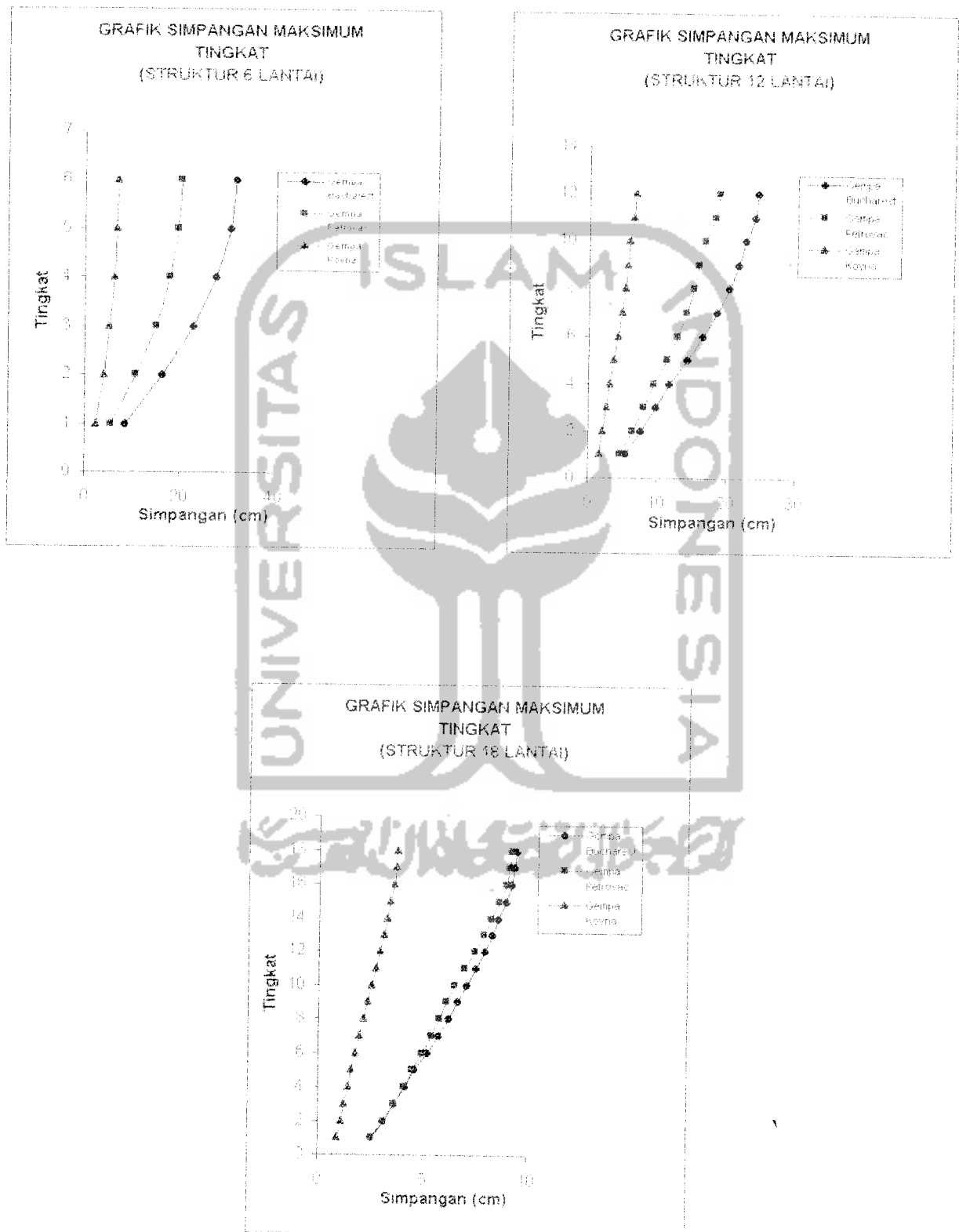
5.11 Pembahasan

Pembahasan meliputi tinjauan simpangan relatif tingkat maksimum, simpangan antar tingkat maksimum, gaya horisontal relatif tingkat maksimum, gaya geser kumulatif tingkat maksimum, gaya geser dasar maksimum, dan momen guling maksimum terhadap tingkat dari gempa Bucharest, Petrovac dan Koyna.

5.11.1 Simpangan Relatif Maksimum

Dari hasil plot antara simpangan relatif maksimum dengan tingkat yang ditunjukkan pada gambar 5.49 dapat ditarik kesimpulan secara umum yaitu bahwa simpangan relatif maksimum tiap tingkat semakin besar untuk tingkat yang lebih tinggi, hal ini sesuai dengan pola goyangan pada mode pertama. Kenaikan nilai simpangan tiap tingkat tidak menunjukkan harga yang sama untuk semua beban gempa, hal ini disebabkan karena kekakuan dan massa tiap tingkat tidak sama.

Untuk tingkat-tingkat yang mempunyai kekakuan dan massa yang sama akan memberikan kenaikan simpangan yang kecil untuk tingkat yang semakin keatas, sedangkan untuk tingkat dengan perubahan kekakuan yang besar akan memberikan perubahan simpangan yang besar pula, sehingga pada tingkat-tingkat tersebut kelihatan patah. Simpangan relatif terbesar untuk semua tingkat adalah simpangan relatif akibat gempa Bucharest, dengan percepatan tanah maksimum 548.79 cm/det^2 dan kandungan frekuensi 0.64222 .



Gambar 5.49 Plot Simpangan Relatif Maksimum untuk 3 gempa

Tabel 5.11. Simpangan Relatif Tingkat Maksimum Struktur 6 Lantai.

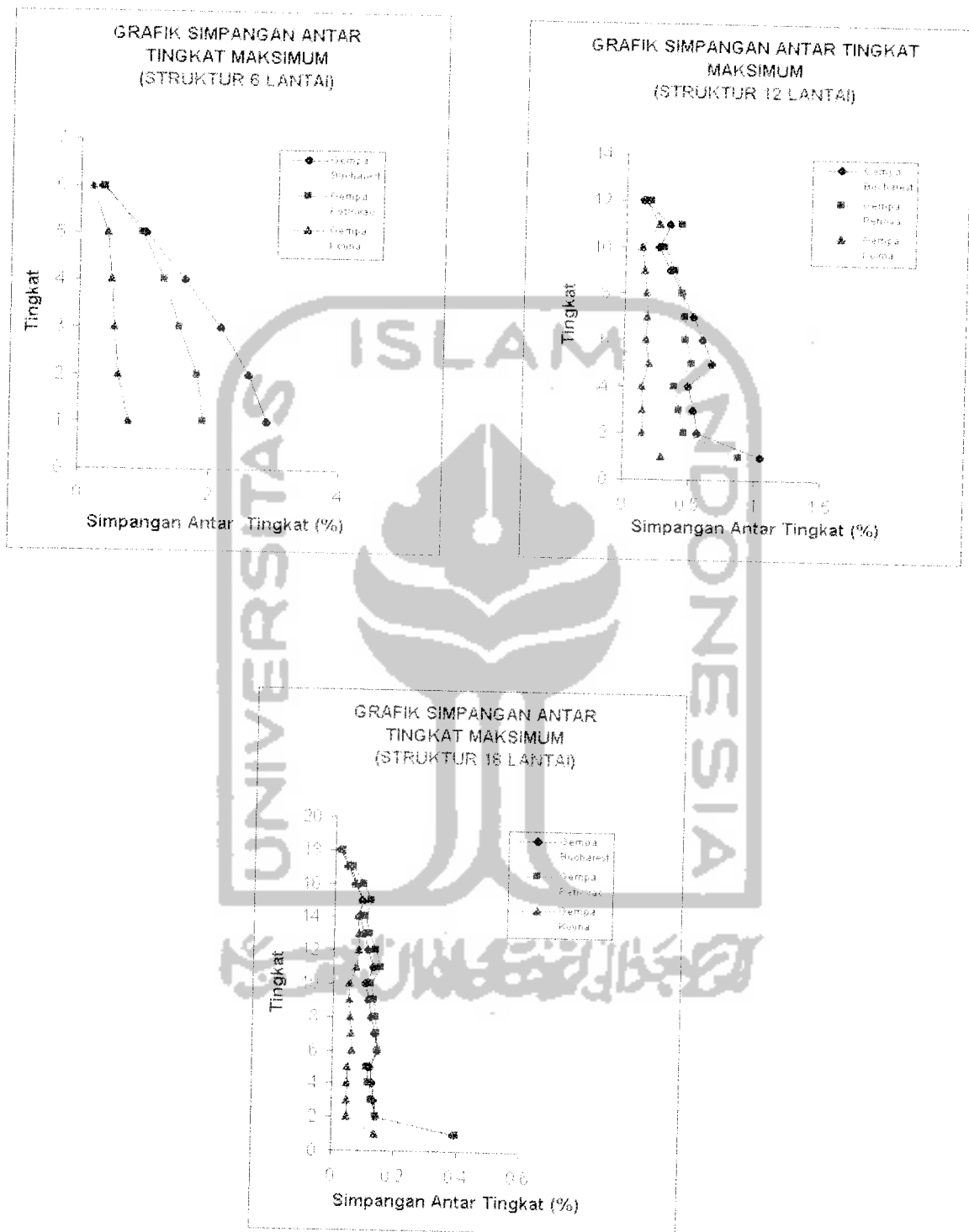
Tk	Simp. Maks gempa buchares.	Simp. Maks gempa petrovac	Simp. Maks gempa koyna.
1	8.67545	5.72848	2.30508
2	16.46788	10.83656	4.06078
3	22.94464	15.16331	5.19553
4	27.78292	18.04325	6.29533
5	30.77792	19.72585	6.76666
6	31.77435	20.27474	6.95291

Tabel 5.12. Simpangan Relatif Tingkat Maksimum Struktur 12 Lantai.

Tk	Simp. Maks. Gempa bucharest	Simp. Maks. Gempa petrovac	Simp. Maks. Gempa koyna
1	5.47289	4.62451	1.54464
2	7.67138	6.42437	2.11517
3	9.73688	8.04318	2.59987
4	11.65039	9.4753	3.05764
5	14.26874	11.34368	3.72347
6	16.60708	12.93229	4.29884
7	18.63655	14.22088	4.81634
8	20.33172	15.21386	5.24309
9	21.67592	16.01944	5.54997
10	22.65535	16.8159	5.86917
11	23.93802	18.25088	6.37345
12	24.44203	18.88735	6.68855

Tabel 5.13. Simpangan Relatif Tingkat Maksimum Struktur 18 Lantai.

Tingkat	Simp. maks. Gempa bucharest	Simp. Maks Gempa Petrovac	Simp. Maks Gempa Koyna
1	2.53802	2.58197	0.89113
2	3.1031	3.13835	1.08234
3	3.63888	3.64515	1.25875
4	4.14386	4.10147	1.41876
5	4.61668	4.5099	1.56387
6	5.1958	4.98375	1.75659
7	5.7295	5.39928	1.96452
8	6.21908	5.77562	2.16079
9	6.66241	6.1346	2.34539



Gambar 5.50 Plot Simpangan Antar Tingkat maksimum untuk 3 gempa

Tabel 5.14. Simpangan Antar Tingkat Maksimum Struktur 6 Lantai.

Tingkat	Inter storey drift Gempa Bucharest	Inter Storey Drift Gempa Petrovac	Inter Storey Drift Gempa Koyna
1	2.89182	1.90949	0.76836
2	2.59747	1.80833	0.60244
3	2.16069	1.53081	0.53896
4	1.6198	1.2944	0.47909
5	1.00461	0.9637	0.41892
6	0.33577	0.36924	0.18119

Tabel 5.15. Simpangan Antar Tingkat Maksimum Struktur 12 Lantai.

Tingkat	Inter storey drift Gempa Bucharest	Inter Storey Drift Gempa Petrovac	Inter Storey Drift Gempa Koyna
1	1.05248	0.88933	0.29705
2	0.56372	0.46314	0.15104
3	0.52962	0.42271	0.14357
4	0.49064	0.38264	0.13813
5	0.67137	0.51412	0.18941
6	0.59968	0.46327	0.16311
7	0.52101	0.45495	0.16805
8	0.43649	0.4307	0.16429
9	0.34736	0.37591	0.14882
10	0.25453	0.29578	0.12628
11	0.33754	0.42905	0.25046
12	0.13458	0.19001	0.14471

Tabel 5.16. Simpangan Antar Tingkat Maksimum Struktur 18 Lantai.

Tingkat	Inter storey drift Gempa Bucharest	Inter Storey Drift Gempa Petrovac	Inter Storey Drift Gempa Koyna
1	0.39046	0.39723	0.1371
2	0.14127	0.13924	0.04884
3	0.13395	0.12721	0.04811
4	0.12632	0.1161	0.049
5	0.11834	0.11041	0.04888
6	0.14505	0.14281	0.06243
7	0.13374	0.14012	0.05822

8	0.12367	0.13586	0.05315
9	0.11359	0.12974	0.05158
10	0.10316	0.12115	0.05155
11	0.1252	0.14961	0.07308
12	0.10998	0.13223	0.07786
13	0.09505	0.11431	0.07961
14	0.07956	0.09821	0.07485
15	0.08911	0.11757	0.08987
16	0.06572	0.0916	0.06852
17	0.04147	0.05999	0.0469
18	0.01657	0.02458	0.01994

5.11.3 Gaya Horizontal Tingkat Maksimum

Dari hasil plot antara gaya horizontal tingkat dengan tingkat menunjukkan bahwa :

5.11.3.1 Struktur 6 lantai

- Gaya horizontal maksimum yang terjadi akibat gempa Bucharest merupakan gaya horizontal terbesar.
- Gaya horizontal yang diakibatkan gempa Bucharest, akan makin besar pada tiap tingkat dan mencapai puncaknya pada lantai 5 kemudian turun untuk lantai 6.
- Gaya horizontal yang diakibatkan gempa Petrovac dan gempa Koyna akan mencapai puncaknya pada lantai 2 dan mengalami gaya horizontal terkecil pada lantai 6.

5.11.3.2 Struktur 12 lantai

- Gaya horizontal maksimum yang terjadi akibat gempa Petrovac merupakan gaya horizontal terbesar pada lantai 11

dan mengalami gaya horisontal terkecil pada lantai 1 akibat gempa Bucharest.

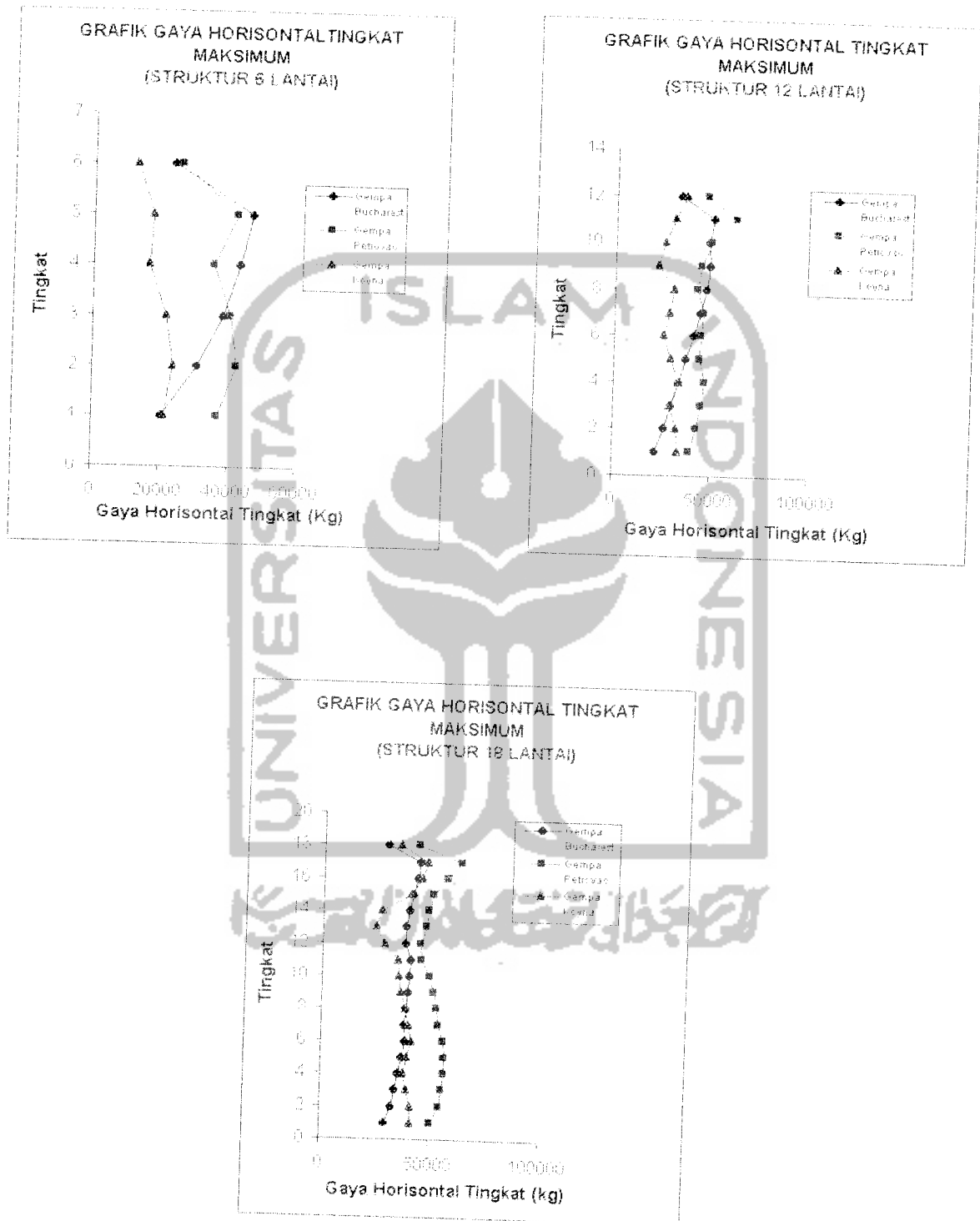
- b. Gaya horisontal yang diakibatkan gempa Bucharest akan mengalami nilai terbesar pada lantai 11 dan terkecil pada lantai 1 begitu juga akibat gempa Petrovac.
- c. Gaya horisontal yang diakibatkan gempa Koyna akan mengalami gaya horisontal terbesar pada lantai 12 dan terkecil pada lantai 9.

5.11.3.3 Struktur 18 Lantai.

- a. Gaya horisontal terbesar terjadi akibat gempa Petrovac merupakan gaya horisontal terbesar pada lantai 17 dan gaya horisontal terkecil akibat gempa Bucharest pada lantai 1.
- b. Gaya horisontal yang diakibatkan oleh ke tiga gempa akan maksimum pada lantai 17 dan akan minimum pada lantai 1 kecuali untuk gempa Koyna yang minimum pada lantai 13.

Maka kesimpulan yang diambil dari ketiga macam hasil pengamatan pada grafik :

1. Untuk struktur rendah maka gaya horisontal yang diakibatkan gempa frekuensi rendah mempunyai nilai yang terbesar tetapi untuk struktur yang lebih tinggi gempa frekuensi sedang mengakibatkan gaya horisontal terbesar.



Gambar 5.51 Plot Gaya Horizontal Maksimum untuk 3 gempa

Tabel 5.17. Gaya Horisontal Tingkat Maksimum Struktur 6 Lantai.

Tingkat	Gaya Hor. Tk. Gempa buchrest	Gaya Hor. Tk. Gempa petrovac	Gaya Hor. Tk. Gempa koyna
1	20475.44	36769.09	21291.65
2	30702.01	42229.6	23883.97
3	38179.9	40391.2	21509.37
4	42939.03	35397.54	16352.34
5	46405.15	41937.06	17193.24
6	23284.77	25605.7	12564.88

Tabel 5.18. Gaya Horisontal Tingkat Maksimum Struktur 12 Lantai.

Tk	Gaya Hor. Tk. Gempa buchrest	Gaya Hor. Tk. Gempa petrovac	Gaya Hor. Tk. Gempa koyna
1	21873.09416	39709.9129	33374.13698
2	26198.65727	42801.13696	32441.35775
3	29923.08434	45292.51452	28858.87233
4	33364.79951	46795.78166	33717.03805
5	36830.08966	44204.44335	28897.77572
6	40887.85706	44598.04781	25488.09104
7	44216.09655	45685.31209	28175.2374
8	46630.83271	42238.088	30431.50801
9	48256.08541	44153.22177	22217.36087
10	47750.3885	48813.21107	25030.83928
11	49866.68735	61729.72814	29978.23096
12	32985.74411	46571.29902	35468.61921

Tabel 5.19. Gaya Horisontal Tingkat Maksimum Struktur 18 Lantai.

Tingkat	Gaya Hor. Tk. Gempa Bucharest	Gaya Hor. Tk. Gempa petrovac	Gaya Hor. Tk. Gempa Koyna
1	29816.31	50347.14	41220.64
2	32701.28	54551.6	41079.43
3	34149.09	55494.59	39200.01
4	35577.68	56074.5	38051.8
5	36865.41	56110.69	39510.87
6	38341.06	56024.19	41314.54
7	37655.4	53275.93	39964.94
8	38515.15	52568.61	38547.59
9	39161.29	51004.69	35851.67
10	39640.31	48885.79	35107
11	40105.42	45325.04	34494.48
12	37992.25	44566.29	28258.31
13	38087.05	46856.3	24497.09
14	39341.19	48059.73	26489.04
15	41009.48	50233.69	39890.34
16	42530.32	56221.08	44837.7
17	43649.72	62384.61	47262.35
18	29043.78	43091.47	34955.09

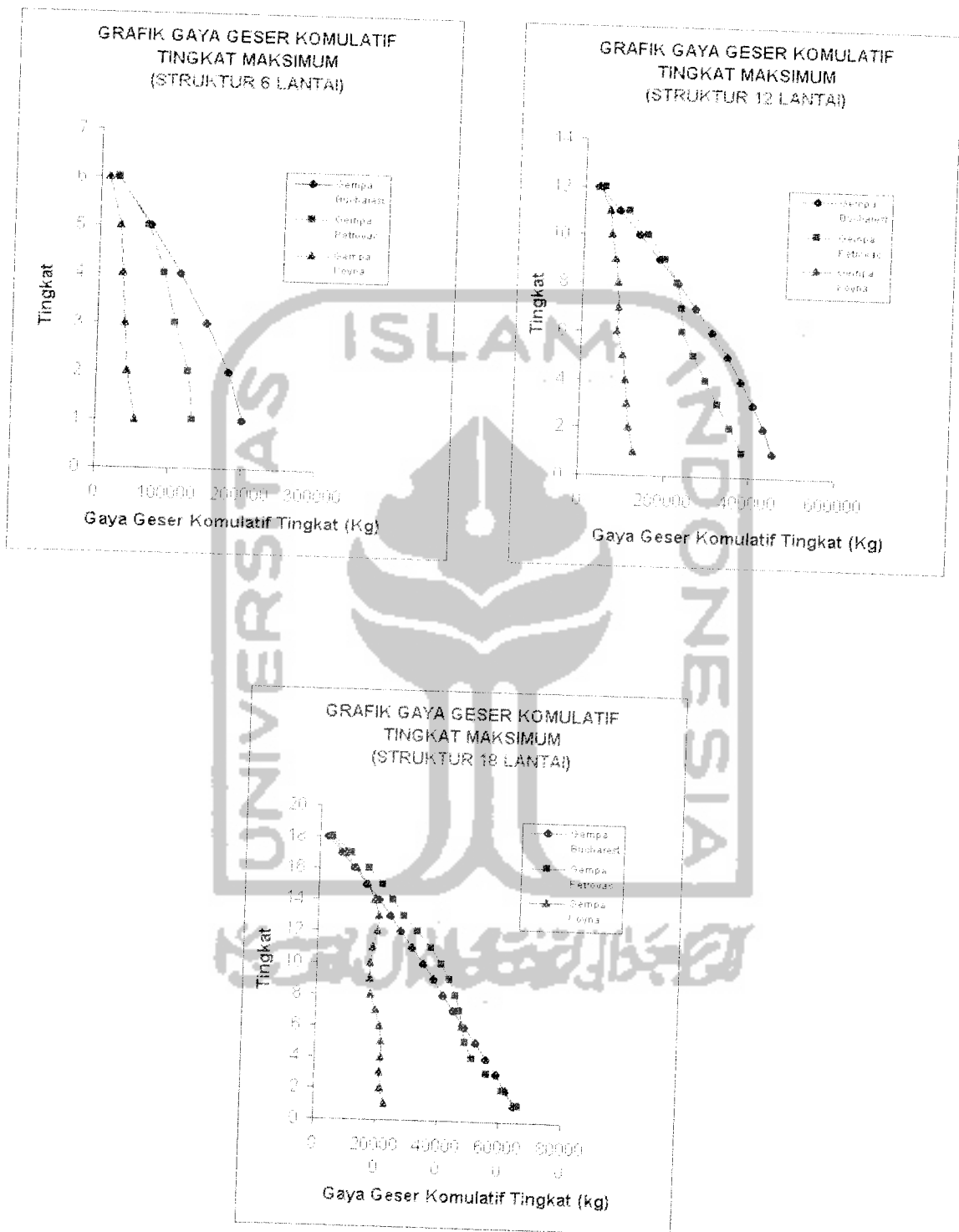
5.11.4 Gaya Geser Kumulatif Tingkat

Dari hasil plot antara gaya geser kumulatif tingkat dengan tingkat menunjukkan bahwa :

1. Nilai gaya geser tingkat maksimum dipengaruhi oleh simpangan relatif dan kekakuan tingkat.
2. Pola gaya geser tingkat untuk semua beban gempa relatif sama dimana gaya geser semakin besar pada lantai yang lebih rendah karena gaya geser tingkat akan ditahan oleh tingkat dibawahnya seperti yang ditunjukkan pada struktur 6, 12 lantai gaya geser yang terjadi akibat gempa Bucharest merupakan gaya geser terbesar sedang gaya geser akibat gempa Koyna merupakan gaya geser terkecil tetapi paada struktur 18 lantai gaya geser yang diakibatkan gempa Petrovac menghasilkan gaya geser terbesar pada lantai 1 dan gaya geser akibat gempa Bucharest menghasilkan gaya geser terkecil pada lantai 18.
3. Penambahan besarnya nilai gaya geser tingkat tidak linier, hal ini karena pengaruh kekakuan dan simpangan relatif pada tiap tingkatnya. Dengan melihat besarnya nilai kekakuan tingkat dan simpangan relatif dapat diketahui bahwa kontribusi kekakuan lebih dominan.
4. Pada lantai yang mempunyai perbedaan kekakuan yang relatif besar dengan tingkat yang lainnya akan mempunyai pola yang cenderung

patah. Sehingga perbedaan kekakuan yang besar juga akan mengakibatkan perubahan gaya geser tingkat yang relatif besar. Besarnya gaya geser tingkat 1 merupakan komulatif dari gaya geser tingkat di atasnya dan akan menimbulkan reaksi yang sama besarnya tetapi arahnya berlawanan, gaya reaksi ini sering disebut sebagai gaya geser dasar.





Gambar 5.52 Plot Gaya Geser Kumulatif Tingkat Maksimum untuk 3 gempa

Tabel 5.20. Gaya Geser Kumulatif Tingkat Maksimum Struktur 6 Lantai.

Tingkat	Gy. Geser kom. Tk. Maks. Gempa bucharest	Gy. Geser Kom. Tk. Maks. Gempa petrovac	Gy. Geser Kom. Tk. Maks. Gempa koyna
1	200539.6	132418	53283.73
2	180127.6	125402.6	41777.66
3	149837.9	106157.6	37375.24
4	112328.4	89762.78	33223.42
5	69667.15	66830.14	29050.9
6	23284.77	25605.7	12564.88

Tabel 5.21. Gaya Geser Kumulatif Tingkat Maksimum Struktur 12 Lantai.

Tingkat	Gy. Geser Kom. Tk Maks. Gempa Bucharest	Gy. Geser Kom. Tk Maks. Gempa Petrovac	Gy. Geser Kom. Tk Maks. Gempa Koyna
1	453958.961	383588.4506	128123.4597
2	432256.5971	355133.3955	115814.7516
3	406108.3582	324132.7683	110087.8269
4	376224.227	293409.8621	105916.0879
5	342924.0052	262600.9216	96747.93103
6	306303.7497	236628.46	83314.90197
7	266123.3978	232381.7753	85838.36933
8	222949.4065	219993.5102	83915.74969
9	177425.8522	192009.4939	76015.29268
10	130009.685	151077.4481	64500.35174
11	82731.39483	105160.4883	61389.19421
12	32985.74411	46571.29902	35468.61921

Tabel 5.22. Gaya Geser Kumulatif Tingkat Maksimum Struktur 18 Lantai.

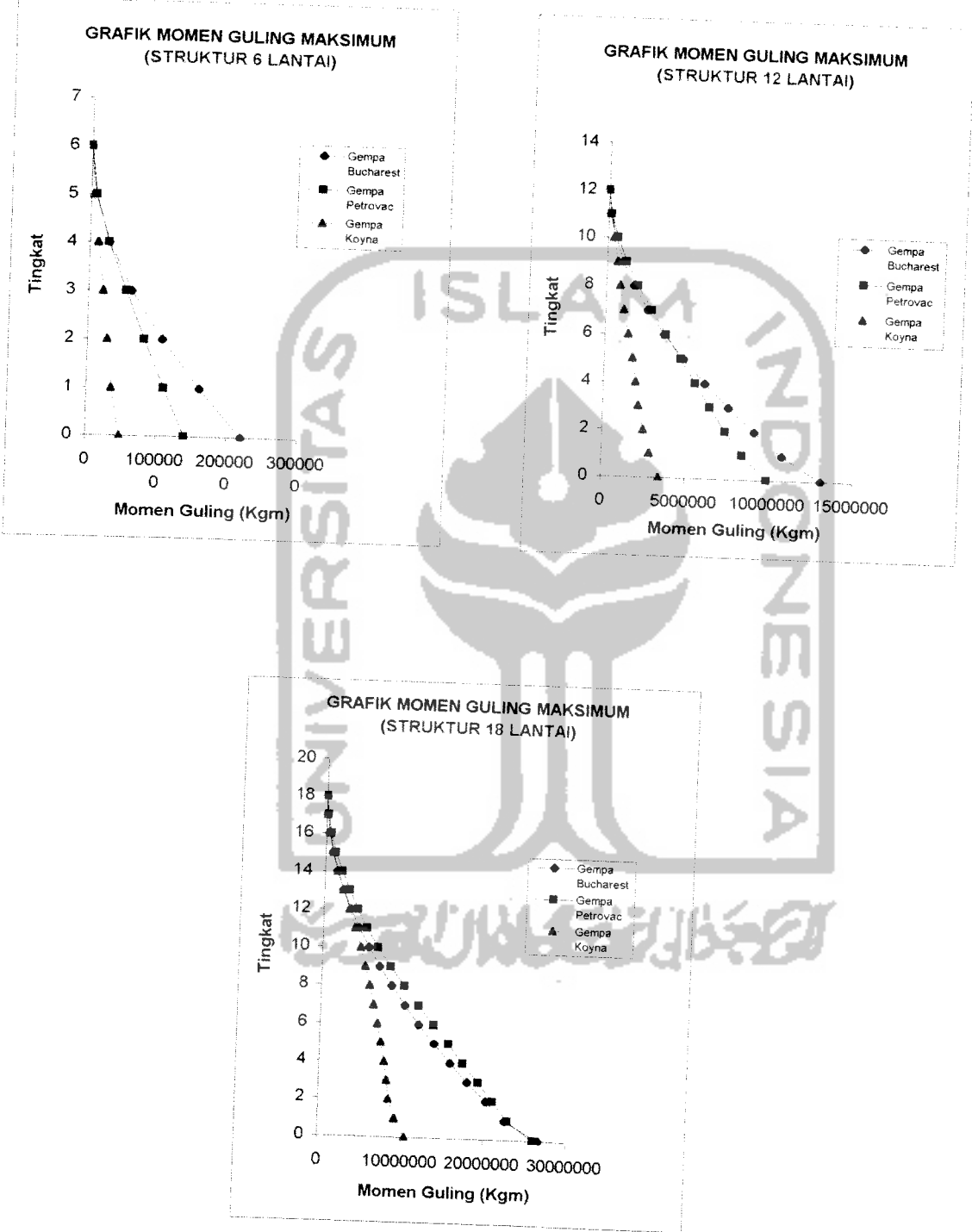
Tingkat	Gy. Geser Kom. Tk Maks. Gempa Bucharest	Gy. Geser Kom. Tk Maks. Gempa Petrovac	Gy. Geser Kom. Tk Maks. Gempa Koyna
1	649141.3	660383.4	227921.8
2	620174.9	611263.5	214416.9
3	588019.6	558443.2	211199
4	554529	509695.5	215101.4
5	519527	484710.9	214586.8
6	483169.9	475696.9	207939.1
7	445496.1	466753.7	193938.5
8	411956	452536.1	177042.6
9	378367.2	432176.8	171813.5
10	343638.1	403545.1	171702.4
11	307743.6	367739.9	179622.8
12	270320.1	325031.4	191382.3
13	233629.3	280970.3	195691.9
14	195555.5	241412.1	183981.7
15	156214.3	206106.5	157549.1

16	115204.8	160576	120117.3
17	72692.32	105154	82217.44
18	29043.78	43091.47	34955.09

5.11.5 Momen Guling

Dari hasil plot antara momen guling dengan tingkat menunjukkan bahwa :

1. Momen guling dipengaruhi oleh gaya horisontal tingkat dan tinggi tingkat.
2. Momen guling akan mengalami nilai maksimum pada lantai dasar.
3. Momen guling untuk tingkat paling atas akan bernilai nol.
4. Momen guling yang diakibatkan oleh gempa Petrovac merupakan momen guling terbesar, yaitu terjadi pada struktur 18 lantai.
5. Momen guling yang diakibatkan oleh gempa Bucharest mengalami nilai maksimum pada struktur 6 dan 12 lantai.
6. Momen guling yang disebabkan oleh gempa Koyna merupakan momen guling terkecil untuk semua struktur.



Gambar 5.53 Plot Momen Guling Maksimum untuk 3 gempa

Tabel 5.23. Momen Guling Maksimum Struktur 6 Lantai.

Tingkat	Momen Guling Maks. Gempa bucharest (kgm)	Momen Guling Maks Gempa petrovac (kgm)	Momen Guling Maks. Gempa koyna (kgm)
0	2203406	1406053	482090.4
1	1602630	1097475	354419.5
2	1064054	810061.9	282730.1
3	615647.5	535163.3	211132.1
4	278849.3	276266	123980.4
5	69852.66	76817.03	37694.44
6	0	0	0

Tabel 5.24. Momen Guling Maksimum Struktur 12 Lantai.

Tingkat	Momen Guling Maks. Gempa Bucharest (kgm)	Momen Guling Maks. Gempa Petrovac (kgm)	Momen Guling Maks. Gempa Koynat (kgm)
0	13155353	9912518	3433814
1	10796727	8400085	2833274
2	9112573	7357163	2441707
3	7532148	6384625	2120617
4	6069633	5467442	1927101
5	4736382	4567898	1680712
6	3547140	3654630	1396952
7	2513987	2750010	1093169
8	1647589	1896932	841390.1
9	957144.8	1149909	626697
10	451000.2	591753.6	377746.9
11	128641.3	181627.9	138328.1
12	0	0	0

Tabel 5.25. Momen Guling Maksimum Struktur 18 Lantai.

Tingkat	Momen Guling Maks. Gempa Bucharest (kgm)	Momen Guling Maks. Gempa Petrovac (kgm)	Momen Guling Maks. Gempa Koyna (kgm)
0	26668760	26072412	10447253
1	22605316	22936396	9166560
2	20213588	21063782	8357971
3	17936722	19215728	8080090
4	15778775	17335390	7720215
5	13743497	15474703	7311271
6	11834686	13600750	6831093
7	10057228	11743002	6303210
8	8409506	9932858	5745431
9	6896034	8210761	5155622
10	5521480	6603526	4518012
11	4290504	5197371	3815586
12	3209221	4066550	3050057

13	2274700	3000019	2271088
14	1492477	2053979	1554217
15	867690.8	1233282	946506.7
16	406943.6	592982.3	468690.6
17	116172.5	172365.3	139820.6
18	0	0	0

Dari tabel-tabel di atas yang menunjukkan harga-harga maksimum dari respon struktur yang berupa simpangan relatif, simpangan antar tingkat, gaya horisontal tingkat, gaya geser tingkat, dan momen guling dapat diketahui besar dan waktu terjadinya respon maksimum pada tiap tingkatnya. Dari tabel-tabel tersebut juga dapat diketahui bahwa respon struktur tiap tingkatnya tidak terjadinya pada waktu percepatan tanah maksimum. Sehingga percepatan maksimum belum tentu akan menyebabkan respon yang maksimum. Percepatan tanah maksimum dari beban – beban gempa yang digunakan dan waktu terjadinya dapat pada tabel berikut. Percepatan tanah maksimum telah dinormalisasikan terhadap percepatan tanah maksimum gempa Koyna seperti pada tabel 5.26.

Tabel 5.26. Normalisasi Percepatan Tanah Maksimum

No	Nama Gempa	Perc. Maks norm thd gem. Koyna Cm/det ²	Waktu (det)
1.	Bucharest	548.79	2.01
2.	Koyna	548.79	3.96
3.	Parkfield	548.79	3.75
4.	Miyagi ken-oki	548.79	3.01
5.	Gilroy	548.79	3.61
6.	Coalinga hor	548.79	7.51
7.	Crinth	548.79	2.26
8.	Bar Montenegro	548.79	4.16
9.	Petrovac	548.79	4.01
10.	Ulcinj	548.79	4.36
11.	Coralitos	548.79	3.91
12.	St. Cruz	548.79	9.41
13.	Thaluac Bombas	548.79	26.01
14.	Mexico	548.79	37.21
15.	Lolleo	548.79	23.81

(Sumber. Tugas akhir Jayadi dan Dhani)