

BAB V

ANALISIS, HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada Bab ini berisi mengenai asumsi dimensi dinding geser, pembebanan struktur, perhitungan massa translasi dan rotasi, dan analisa struktur dinamis yang digunakan untuk mencari nilai simpangan relatif, momen lentur, momen torsi dan gaya geser menggunakan program bantu SAP 2000. Untuk data struktur diolah dengan menggunakan rumus-rumus yang telah dijabarkan pada bab-bab sebelumnya dan disederhanakan lagi urutan setiap langkahnya guna memudahkan perhitungan selanjutnya.

Hasil *output* dari perhitungan SAP 2000 yang akan dianalisis dalam bentuk grafik hubungan antara variasi *setback* dengan nilai simpangan relatif, momen lentur, momen torsi, dan gaya geser yang maksimum. Untuk contoh perhitungan diambil variasi III yang memiliki loncatan bidang muka (*set back*) sebesar 100%B yang cukup mewakili variasi yang lain karena diharapkan memiliki nilai-nilai gaya dalam yang paling tinggi diantara variasi yang lain. Perhitungan variasi nol, 33%B, 67%B, dan 133%B secara keseluruhan adalah sama dengan contoh pada variasi 100%B.

5.1 Asumsi Dinding Geser

Dinding geser yang ada pada struktur terdiri dari dua dinding geser yaitu dinding geser kiri dan dinding geser kanan. Arah dinding geser sejajar dengan sumbu – X. Dinding geser kiri tidak mengalami perubahan dimensi untuk tiap variasi

setback karena tidak mengalami perubahan loncatan bidang muka (*setback*). Sedangkan dinding geser kanan mengalami perubahan dimensi dinding geser karena mengalami perubahan loncatan bidang muka.

5.1.1 Asumsi dimensi dinding geser kiri variasi III

Asumsi dimensi dinding geser merupakan perhitungan sementara untuk mendapatkan pembebanan pada stuktur. Untuk mendapatkan dimensi dinding geser harus dihitung tebal dinding (b_w) dengan menggunakan persamaan (3.27), perhitungan panjang dinding geser (l_w) menggunakan persamaan (3.28), dan menghitung luas *boundary elements* mengacu pada persamaan (3.29), persamaan (3.30) dan persamaan (3.31).

1. Perhitungan Tebal Dinding Geser (b_w)

Untuk menghindari bahaya lentur yang berlebihan, dinding geser dapat diperlakukan sebagai kolom yang ketebalannya perlu dibatasi. Batasan tebal dinding geser dapat dihitung dengan persamaan,

$$b_w = \frac{h_f}{20} \geq 150 \text{ mm},$$

$$= \frac{4}{20} = 0,20 \text{ m} \Leftrightarrow 200 \text{ mm, dipakai tebal dinding geser } (b_w) = 300 \text{ mm.}$$

2. Syarat Keamanan Dinding Geser

Untuk menjamin agar dinding geser tetap berperilaku geser, maka perbandingan antara tinggi total bangunan dan lebar dinding geser harus memenuhi persamaan perencanaan panjang dinding geser (l_w).

$$l_w \leq \frac{h_w}{9} = \frac{48}{9} = 5,33 \text{ m} = 5,5 \text{ m,}$$

maka rasio antara $\frac{h_w}{l_w} = \frac{48}{5,5} = 8,7$, dari gambar 3.9.a dengan anggapan

struktur daktilitas penuh ($\mu_s = 4$), diperoleh rasio daktilitas (μ_0) = 11.

Gaya geser pada dinding geser seringkali mencapai keadaan kritis khususnya apabila hanya dipakai tulangan yang terdistribusi secara seragam, sehingga harus diketahui batasan tebal dinding geser kritis (b_c) yang nilai persamaan,

$$b_c = 0,017 l_w \sqrt{\mu \phi} = 0,017 \cdot 5,5 \cdot \sqrt{11} = 0,310 \text{ m.}$$

3. Perencanaan Dimensi *Boundary Elements*

Untuk menghitung luas *boundary elements* mengacu pada persamaan (3.29), (3.30), dan (3.31) sebagai berikut ini:

a. $b \geq b_w$, dengan $b_w = 0,30 \text{ m}$, maka $b = 0,30 \text{ m}$.

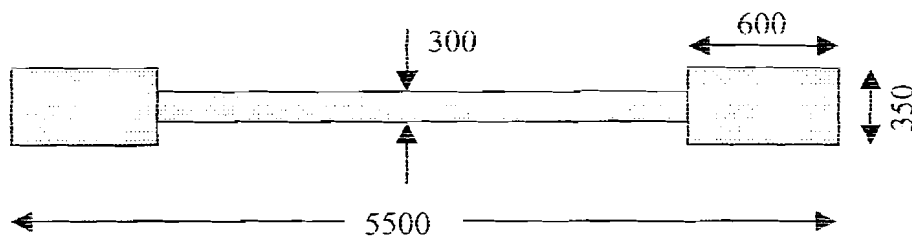
$$b_l \geq \frac{b_c \cdot l_w}{10b} \text{ dengan } b_c = 0,310 \text{ m, } l_w = 5,5 \text{ m, maka } b_l \geq \frac{0,310 \cdot 5,5}{10 \cdot 0,3} = 0,568 \text{ m,}$$

b. $b \geq b_c$, dengan $b_c = 0,310 \text{ m}$, maka $b = 0,310 \text{ m}$.

$$b_l \geq \frac{b_c^2}{b} = \frac{0,310^2}{0,310} = 0,310 \text{ m,}$$

c. $b \geq \frac{h_l}{16}$, dengan $h_l = 4 \text{ m}$, maka $b \geq \frac{4}{16} = 0,25 \text{ m}$.

Dari ketiga nilai persamaan di atas diambil nilai b dan b_l terbesar yaitu $b = 0,310 \text{ m}$ dan nilai $b_l = 0,568 \text{ m}$. Nilai b dan b_l yang dipakai adalah $b = 0,350 \text{ m}$ dan $b_l = 0,60 \text{ m}$ hasil dari perhitungan dimensi dinding geser kiri dapat dilihat pada Gambar 5.1.



Gambar 5.1 Dimensi Dinding Geser kiri

5.1.2 Asumsi dimensi dinding geser kanan variasi III

Komponen struktur dinding geser pada bangunan yang dianalisis terdapat dua dinding yaitu dinding geser kiri dan dinding geser kanan. Pada dinding geser kiri untuk setiap variasi sama, tetapi untuk dinding geser kanan untuk setiap variasi berbeda, akibat adanya loncatan bidang muka. Cara perhitungan dimensi dinding geser kanan sama dengan perhitungan dimensi dinding geser kiri.

1. Perhitungan Tebal Dinding Geser (b_w)

Untuk menghindari bahaya lentur yang berlebihan, dinding geser dapat diperlakukan sebagai kolom yang ketebalannya perlu dibatasi. Batasan tebal dinding geser dapat dihitung dengan persamaan,

$$b_w = \frac{h_f}{20} \geq 150 \text{ mm},$$

$$= \frac{4}{20} = 0,20 \text{ m} \Leftrightarrow 200 \text{ mm}, \text{ dipakai tebal dinding geser } (b_w) = 300 \text{ mm}.$$

2. Syarat Keamanan Dinding Geser

Untuk menjamin agar dinding geser tetap berperilaku geser, maka perbandingan antara tinggi total bangunan dan lebar dinding geser harus memenuhi persamaan perencanaan panjang dinding geser (l_w).



$$l_w \leq \frac{h_w}{9} = \frac{24}{9} = 2,67 \text{ m} = 3 \text{ m},$$

maka rasio antara $\frac{h_w}{l_w} = \frac{24}{3} = 8$, dari gambar 3.9.a dengan anggapan struktur

daktilitas penuh ($\mu_A = 4$), diperoleh rasio daktilitas (μ_0) = 11.

Gaya geser pada dinding geser seringkali mencapai keadaan kritis khususnya apabila hanya dipakai tulangan yang terdistribusi secara seragam, sehingga harus diketahui batasan tebal dinding geser kritis (b_c) yang nilai persamaan,

$$b_c = 0,017 \cdot l_w \cdot \sqrt{\mu \phi} = 0,017 \cdot 3 \cdot \sqrt{11} = 0,169 \text{ m}.$$

3. Perencanaan Dimensi *Boundary Elements*

Untuk menghitung luas *boundary elements* mengacu pada persamaan (3.29), (3.30), dan (3.31) sebagai berikut,

a. $b \geq h_w$, dengan $h_w = 0,30 \text{ m}$, maka $b = 0,30 \text{ m}$.

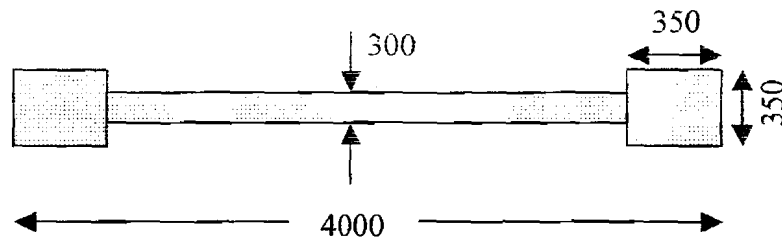
$$b_1 \geq \frac{b_c \cdot l_w}{10b} \text{ dengan } b_c = 0,169 \text{ m}, l_w = 3 \text{ m}, \text{ maka } b_1 \geq \frac{0,169 \cdot 3}{10 \cdot 0,3} = 0,169 \text{ m},$$

b. $b \geq b_c$, dengan $b_c = 0,169 \text{ m}$, maka $b = 0,169 \text{ m}$.

$$b_1 \geq \frac{b_c^2}{b} = \frac{0,169^2}{0,169} = 0,169 \text{ m},$$

c. $b \geq \frac{h_1}{16}$, dengan $h_1 = 4 \text{ m}$, maka $b \geq \frac{4}{16} = 0,25 \text{ m}$.

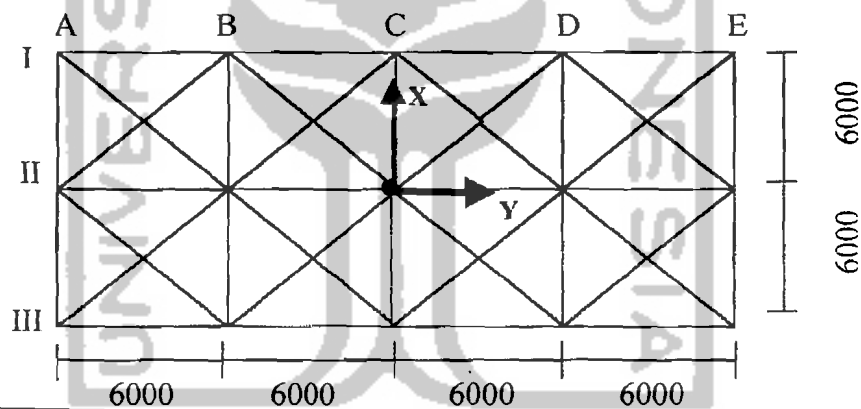
Dari ketiga nilai persamaan di atas diambil nilai b dan b_1 terbesar yaitu $b = 0,300 \text{ m}$ dan nilai $b_1 = 0,250 \text{ m}$. Nilai b dan b_1 yang dipakai adalah $b = 0,350 \text{ m}$ dan $b_1 = 0,350 \text{ m}$. hasil dari perhitungan dimensi dinding geser kiri dapat dilihat pada Gambar 5.2.



Gambar 5.2 Dimensi Dinding Geser kanan

5.2 Mekanisme Pembebanan

Perhitungan pembebanan ditentukan berdasarkan Peraturan Pembebanan Indonesia (Yayasan LPMB, 1983 dan 1991), distribusi pembebanan untuk tiap portal ditunjukkan pada Gambar 5.3.



Gambar 5.3 Pembagian pembebanan pada tiap portal

Pembebanan untuk beban atap dan lantai adalah sebagai berikut ini.

1. Beban atap

- | | | |
|---------------------------------|------------------------|------------------------|
| a. berat plat 12 cm | $= 0,12 \cdot 2400$ | $= 288 \text{ kg/m}^2$ |
| b. berat plafon dan penggantung | $= 11 + 7$ | $= 18 \text{ kg/m}^2$ |
| | | <hr/> |
| | | 306 kg/m^2 |
| c. beban hidup | $= 100 \text{ kg/m}^2$ | |

2. Beban lantai

$$\text{a. berat plat 12 cm} = 0,12 \cdot 2400 = 288 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{b. berat plafon dan penggantung} = 11 + 7 = 18 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{c. berat tegel (2 cm)} = 0,02 \cdot 2400 = 48 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{d. berat pasir (3 cm)} = 0,03 \cdot 1800 = 54 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{e. berat spesi (2 cm)} = 0,02 \cdot 2100 = 42 \text{ kg/m}^2$$

$$450 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{f. beban hidup lantai hotel} = 250 \text{ kg/m}^2$$

$$3. \text{ Berat tembok } \frac{1}{2} \text{ bata} = 250 \text{ kg/m}^2$$

$$4. \text{ Dimensi balok arah } -X \text{ dan arah } -Y = 350/700 \text{ mm}$$

$$5. \text{ Dimensi kolom } 500/700 \text{ mm}$$

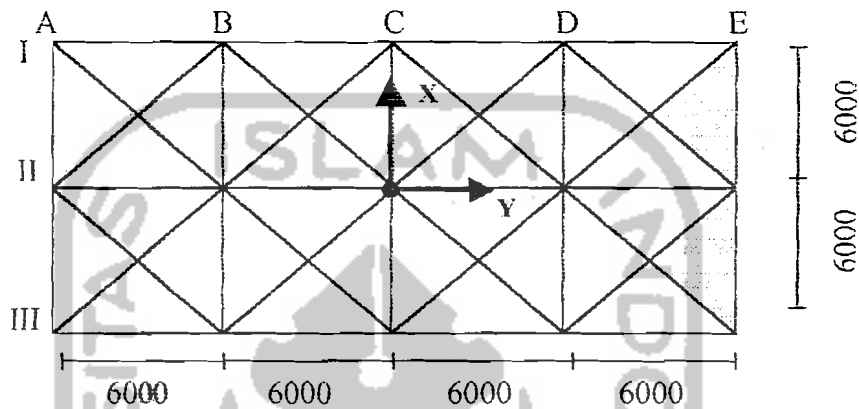
5.3 Mekanisme Distribusi Beban Gravitasi pada Portal

Penentuan pembebanan ditentukan berdasarkan Peraturan Pembebanan Indonesia (Yayasan LPMB, 1983 dan 1991). Pembagian pembebanan pada setiap portal menggunakan sistem amplop sehingga perhitungan untuk portal arah Y dan arah X dapat dilihat pada penyelesaian berikut ini.

5.3.1 Pembebanan untuk portal arah -X

Pembebanan untuk portal arah X meliputi portal as-A, as-B, as-C, as-D dan as-E dengan penyelesaian berikut ini.

a. Portal as-A = Portal as-E



Gambar 5.4 Pembagian beban merata portal as-A dan as-E

Dari Gambar 5.4 dapat dihitung beban portal as-A = portal as-E sebagai berikut ini.

1. Beban gravitasi pada balok atap as-A - as-E

a. Beban mati tiap m

$$1. \text{ plat} = 0,12 \cdot 2400 \cdot 3,0 = 864 \text{ kg/m}$$

$$2. \text{ plafon dan penggantung} = 18 \cdot 3,0 = 54 \text{ kg/m}$$

$$W_{D(ATAP)} = 918 \text{ kg/m}$$

$$3. \text{ berat dinding (uniform)} = 250 \cdot 2,0 = 500 \text{ kg/m}$$

b. beban hidup tiap m

$$1. \text{ beban hidup atap} = 100 \text{ kg/m}^2$$

$$2. \text{ beban hidup, } W_{(TRAP)} = 100 \cdot 3 = 300 \text{ kg/m}$$

2. Beban gravitasi pada balok lantai as-A dan as-E

a. Beban mati tiap m

$$1. \text{ berat plat } 12 \text{ cm} = 0,12 \cdot 3,0 \cdot 2400 = 864 \text{ kg/m}$$

$$2. \text{ berat plafon} = 3,0 \cdot (11 + 7) = 54 \text{ kg/m}$$

$$3. \text{ berat tegel (2 cm)} = 3,0 \cdot 0,02 \cdot 2400 = 144 \text{ kg/m}$$

$$4. \text{ berat pasir (3 cm)} = 3,0 \cdot 0,03 \cdot 1800 = 162 \text{ kg/m}$$

$$5. \text{ berat spesi (2 cm)} = 3,0 \cdot 0,02 \cdot 2100 = 126 \text{ kg/m}$$

$$W_{LD(TRAP)} = 1350 \text{ kg/m}$$

$$6. \text{ dinding (uniform)} = 250 \cdot (4,0 - 0,7) = 825 \text{ kg/m}$$

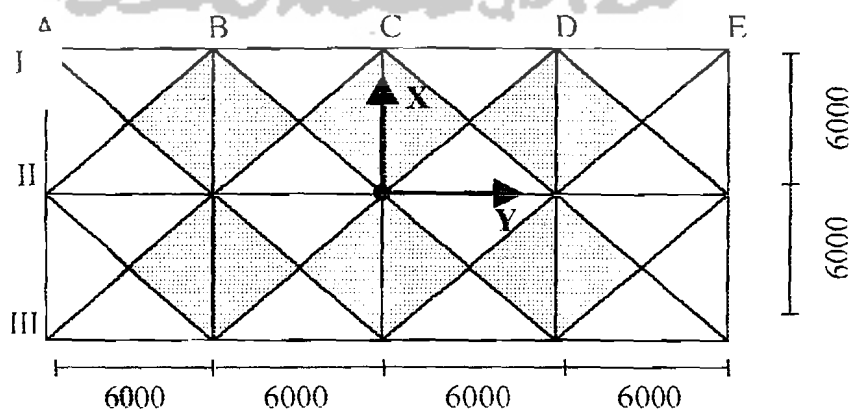
b. beban hidup tiap m

$$1. \text{ beban hidup lantai} = 250 \text{ kg/m}^2$$

$$2. \text{ beban hidup ekuivalen, } W_{(TRAP)} = 250 \cdot 3 = 750 \text{ kg/m}$$

Hasil perhitungan beban mati dan beban hidup tiap lantai untuk tiap portal as-A dapat dilihat pada Lampiran 1 Gambar 1 dan Gambar 2, sedangkan untuk portal as-E dapat dilihat pada Lampiran 1 Gambar 3 dan Gambar 4.

b. Portal as-B = as-C = as-D



Gambar 5.5 Pembagian beban merata portal as - B, as - C dan as - D

1. Beban gravitasi pada balok atap as-B = as-C = as-D (distribusi beban amplop tiap portal ditunjukkan pada Gambar 5.5).

a. Beban mati tiap m

$$1. \text{ plat} = 0,12 \cdot 2400 \cdot 2 \cdot 3,0 = 1728 \text{ kg/m}$$

$$2. \text{ plafon dan penggantung} = 18 \cdot 3,0 \cdot 2 = 108 \text{ kg/m}$$

$$W_{D(TRAP)} = 2336 \text{ kg/m}$$

$$3. \text{ berat dinding (uniform)} = 250 \cdot 2,0 = 500 \text{ kg/m}$$

b. beban hidup tiap m

$$1. \text{ beban hidup atap} = 100 \text{ kg/m}^2$$

$$2. \text{ beban hidup, } W_{L(TRAP)} = 100 \cdot 3 \cdot 2 = 600 \text{ kg/m}$$

2. Beban gravitasi pada balok lantai as-B, as-C dan as-D

a. Beban mati tiap m

$$1. \text{ berat plat 12 cm} = 2 \cdot 3 \cdot 0,12 \cdot 2400 = 1728 \text{ kg/m}$$

$$2. \text{ berat plafon} = 2 \cdot 3 \cdot 18 = 108 \text{ kg/m}$$

$$3. \text{ berat tegel (2 cm)} = 2 \cdot 3 \cdot 0,02 \cdot 2400 = 288 \text{ kg/m}$$

$$4. \text{ berat pasir (3 cm)} = 2 \cdot 3 \cdot 0,03 \cdot 1800 = 324 \text{ kg/m}$$

$$5. \text{ berat spesi (2 cm)} = 2 \cdot 3 \cdot 0,02 \cdot 2100 = 252 \text{ kg/m}$$

$$W_{D(TRAP)} = 2700 \text{ kg/m}$$

$$6. \text{ dinding (uniform)} = 250 \cdot (4,0 - 0,7) = 825 \text{ kg/m}$$

b. Beban hidup tiap m

$$1. \text{ beban hidup lantai} = 250 \text{ kg/m}^2$$

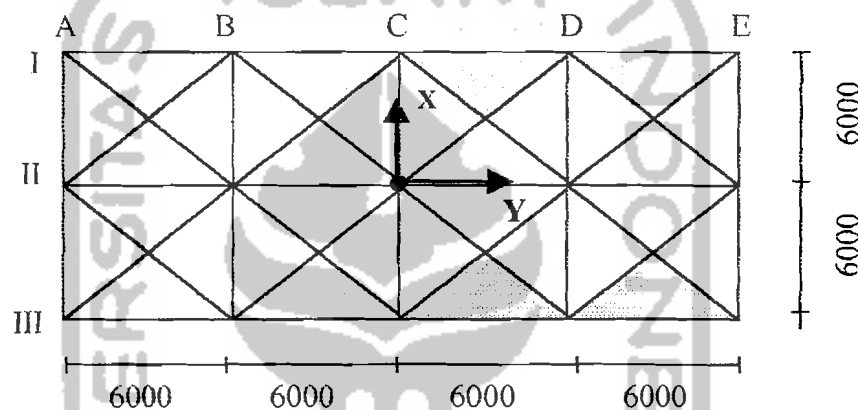
$$2. \text{ beban hidup, } W_L = 2 \cdot 250 \cdot 3 = 1500 \text{ kg/m}$$

Hasil perhitungan beban mati dan beban hidup tiap lantai untuk portal as-B dan as-C dapat dilihat pada Lampiran 1 Gambar 5 dan Gambar 6, sedangkan untuk portal as-D dapat dilihat pada Lampiran 1 Gambar 7 dan Gambar 8.

5.3.2 Pembebanan untuk portal arah – Y

Pembebanan untuk portal arah Y meliputi portal as I, as II dan III

a. Portal as-I = as – III



Gambar 5.6 Pembagian beban merata portal as – I dan as - III

1. Beban gravitasi pada balok atap as-I = as-III (distribusi beban amplop tiap portal ditunjukkan pada Gambar 5.6).

a. Beban mati tiap m

$$1. \text{ plat} = 0,12 \cdot 2400 \cdot 3,0 = 864 \text{ kg/m}$$

$$2. \text{ plafon dan penggantung} = 18 \cdot 3,0 = 54 \text{ kg/m}$$

$$W_{D(TRAP)} = 918 \text{ kg/m}$$

$$3. \text{ berat dinding (uniform)} = 250 \cdot 2,0 = 500 \text{ kg/m}$$

b. beban hidup tiap m

1. beban hidup atap = 100 kg/m^2

2. beban hidup, $W_{L(TRAP)} = 100 \cdot 3 = 300 \text{ kg/m}$

3. Beban gravitasi pada balok lantai as-I dan as-III

a. Beban mati tiap m

1. berat plat 12 cm = $0,12 \cdot 3,0 \cdot 2400 = 864 \text{ kg/m}$

2. berat plafon = $3,0 \cdot (11 + 7) = 54 \text{ kg/m}$

3. berat tegel (2 cm) = $3,0 \cdot 0,02 \cdot 2400 = 144 \text{ kg/m}$

7. berat pasir (3 cm) = $3,0 \cdot 0,03 \cdot 1800 = 162 \text{ kg/m}$

8. berat spesi (2 cm) = $3,0 \cdot 0,02 \cdot 2100 = 126 \text{ kg/m}$

$W_{D(TRAP)} = 1350 \text{ kg/m}$

9. dinding (*uniform*) = $250 \cdot (4,0 - 0,7) = 825 \text{ kg/m}$

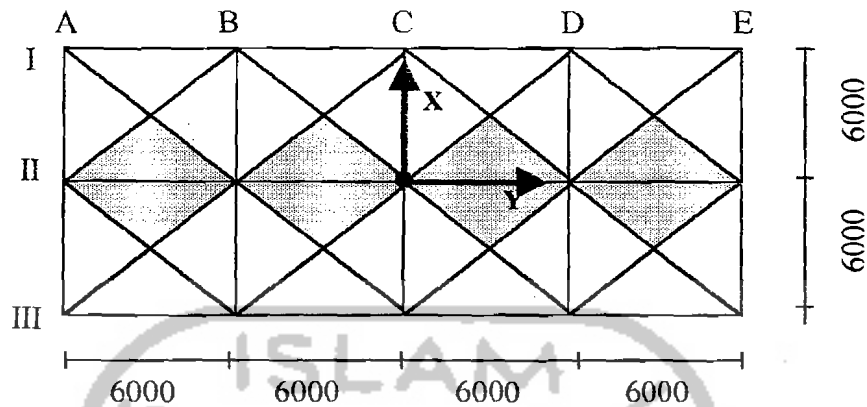
b. beban hidup tiap m

1. beban hidup lantai = 250 kg/m^2

2. beban hidup, $W_{L(TRAP)} = 250 \cdot 3 = 750 \text{ kg/m}$

Hasil perhitungan beban mati dan beban hidup tiap lantai untuk tiap portal as-I dan portal as-III dapat dilihat pada Lampiran 1 Gambar 9 dan Gambar 10.

b. Portal as – II



Gambar 5.7 Pembagian beban merata portal as – II

1. Beban gravitasi pada balok atap as-II (distribusi beban amplop tiap portal ditunjukkan pada Gambar 5.7).

a. Beban mati tiap m

1. plat	$= 0,12 \cdot 2400 \cdot 2 \cdot 3,0$	$= 1728 \text{ kg/m}$
2. plafon dan penggantung	$= 18 \cdot 3,0 \cdot 2$	$= 108 \text{ kg/m}$
		<hr/>
		$W_{D(ATAP)} = 2336 \text{ kg/m}$
3. berat dinding	$= 250 \cdot 2,0$	$= 500 \text{ kg/m}$

b. beban hidup tiap m

1. beban hidup atap $= 100 \text{ kg/m}^2$
2. beban hidup, $W_{L(ATAP)} = 100 \cdot 3 \cdot 2 = 600 \text{ kg/m}$

2. Beban gravitasi pada balok lantai as-III

a. Beban mati tiap m

1. berat plat 12 cm	$= 2 \cdot 3 \cdot 0,12 \cdot 2400$	$= 1728 \text{ kg/m}$
2. berat plafon	$= 2 \cdot 3 \cdot 18$	$= 108 \text{ kg/m}$

$$\begin{aligned}
 3. \text{ berat tegel (2 cm)} &= 2 \cdot 3 \cdot 0,02 \cdot 2400 &= 288 \text{ kg/m} \\
 4. \text{ berat pasir (3 cm)} &= 2 \cdot 3 \cdot 0,03 \cdot 1800 &= 324 \text{ kg/m} \\
 5. \text{ berat spesi (2 cm)} &= 2 \cdot 3 \cdot 0,02 \cdot 2100 &= 252 \text{ kg/m} \\
 && \underline{\hspace{10em}} \\
 & & W_{D(TRAP)} = 2700 \text{ kg/m} \\
 6. \text{ dinding (uniform)} &= 250 \cdot (4,0 - 0,7) &= 825 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

b. Beban hidup tiap m

$$\begin{aligned}
 1. \text{ beban hidup lantai} &= 250 \text{ kg/m}^2 \\
 2. \text{ beban hidup, } W_{L(TRAP)} &= 2 \cdot 250 \cdot 3 = 1500 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan beban mati dan beban hidup tiap lantai untuk portal as-II dapat dilihat pada Lampiran 1 Gambar 11 dan Gambar 12.

5.4 Massa Translasi dan Massa Rotasi tiap Lantai

Anggapan yang dipakai dalam analisa penentuan massa adalah *lumped mass*. Massa dihitung pada tiap lantai dan diletakkan pada pusat massa lantai. Massa yang dihitung di sini merupakan massa elemen non struktur sedangkan massa struktur dihitung langsung oleh SAP 2000

Dengan menggunakan persamaan (3.34) dan (3.35) maka massa translasi dan rotasi untuk tiap lantai dapat dihitung. Sebagai contoh perhitungan massa translasi dan rotasi untuk variasi III (100%B) adalah sebagai berikut ini.

1. Perhitungan Massa Translasi dan Rotasi Atap

$$m_t = \frac{(556 + 0.3 \times 100) \times 12 \times 12}{9.81} = 8601.835 \text{ kg dt}^2 / \text{m}$$

$$m_r = \frac{(12^2 + 12^2) \times (556 + 0.3 \times 100)}{12 \times 9.81} = 1433.639 \text{ kg dt}^2 / \text{m}$$

2. Perhitungan Massa Translasi dan Rotasi Lantai 1-5 dan Lantai 7-11

Untuk massa translasi dan rotasi lantai 1-5 perhitungannya adalah sebagai berikut ini.

$$m_t = \frac{(700 + 0.3 \times 250) \times 24 \times 12}{9.81} = 22752.29 \text{ kg dt}^2/\text{m},$$

$$m_r = \frac{(24^2 + 12^2) \times (700 + 0.3 \times 250)}{12 \times 9.81} = 4740.06 \text{ kg dt}^2/\text{m}.$$

Sedangkan untuk massa translasi dan rotasi lantai 7-11 adalah sebagai berikut ini.

$$m_t = \frac{(700 + 0.3 \times 250) \times 12 \times 12}{9.81} = 11376.147 \text{ kg dt}^2/\text{m},$$

$$m_r = \frac{(12^2 + 12^2) \times (700 + 0.3 \times 250)}{12 \times 9.81} = 1896.024 \text{ kg dt}^2/\text{m}.$$

3. Perhitungan Massa Translasi dan Rotasi Lantai 6

$$\begin{aligned} m_t &= \text{massa lt} + \text{massa atap} = 11376.147 + 8601.835 \text{ kg dt}^2/\text{m} \\ &= 19977.982 \text{ kg dt}^2/\text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m_r &= \text{massa lt} + \text{massa atap} = 1896.024 + 1433.639 \text{ kg dt}^2/\text{m} \\ &= 3329.663 \text{ kg dt}^2/\text{m} \end{aligned}$$

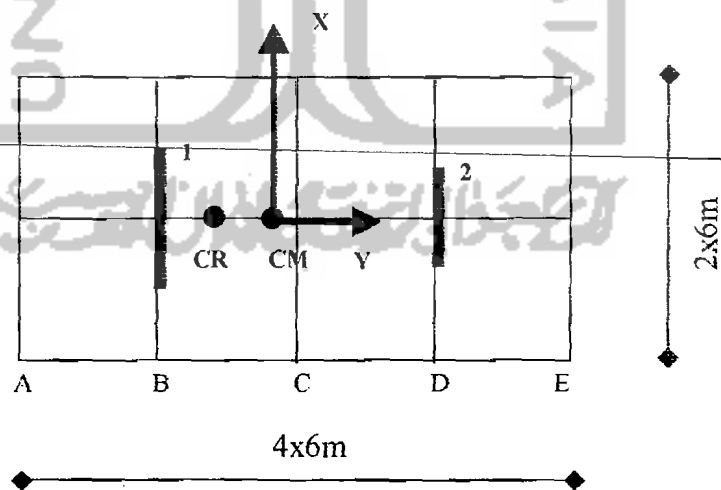
Untuk lebih memudahkan dalam menganalisis, maka perhitungan massa translasi dan rotasi tiap lantai dapat dilihat pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Massa Translasi dan Rotasi tiap lantai variasi 100%B

Tingkat	Massa Translasi kg dt ² /m	Massa Rotasi kg dt ² /m
1	22752.29	4740.06
2	22752.29	4740.06
3	22752.29	4740.06
4	22752.29	4740.06
5	22752.29	4740.06
6	19977.98	3329.66
7	11376.15	1896.02
8	11376.15	1896.02
9	11376.15	1896.02
10	11376.15	1896.02
11	11376.15	1896.02
Atap	8601.84	1433.64

5.5 Pusat Massa dan Pusat Kekakuan

Untuk contoh perhitungan diambil variasi 100%B, sedangkan jarak pusat massa dan pusat kekakuan untuk variasi yang lain ditunjukkan pada Tabel 5.2. CM adalah pusat massa dan CR adalah pusat kekakuan lantai.



Gambar 5.8 Denah lantai satu variasi 100%B

Gambar 5.8 menunjukkan denah lantai satu yang belum mengalami loncatan bidang muka, lebar dari semua dinding geser tersebut sama ($b_w = 0,3$ m). Panjang dinding geser (2) l_{w2} relatif terhadap panjang dinding geser (1) l_{w1} , adalah $l_{w2} = 0,545 l_{w1}$.

5.5.1 Menentukan pusat massa

Dengan menggunakan persamaan (3.36) maka diperoleh massa dinding geser lantai sebagai berikut :

$$m_1 = \frac{0,3 \cdot 4 \cdot 5,5 \cdot 2400}{9,81} = 1614,68 \text{ kg}$$

$$m_2 = \frac{0,3 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 2400}{9,81} = 880,73 \text{ kg}$$

$$\sum m_i = 2495,41 \text{ kg}$$

letak pusat massa terhadap sisi as-A

$$CM = \frac{1614,68 \cdot 6 + 880,73 \cdot 18}{2495,41} = 10,24 \text{ m.}$$

5.5.2 Menentukan pusat kekakuan

Dengan menggunakan persamaan (3.37) maka diperoleh kekakuan dinding geser sebagai berikut :

- a. Distribusi kekuatan elemen untuk menahan gaya geser dasar $V_{Ex} = 1,000$ satuan gaya maka :

$$V_1 = \frac{1^2}{1^2 + 0,545^2} = 0,771$$

$$V_2 = \frac{0,545}{1^2 + 0,545^2} = 0,229$$

b. Perpindahan relatif saat leleh dan kekakuan elemen

$$\Delta_{y1} = \frac{1}{1,000} = 1,0 \text{ dan } k_1 = \frac{0,771}{1,0} = 0,771$$

$$\Delta_{y2} = \frac{1}{0,545} = 0,835 \text{ dan } k_2 = \frac{0,229}{0,835} = 0,125$$

c. Eksentrisitas pusat kekakuan terhadap pusat massa

$$e = \frac{-0,771 \cdot 4,24 + 0,125 \cdot 7,76}{0,771 + 0,125} = -2,56 \text{ m}$$

Sehingga diperoleh eksentrisitas pusat kekakuan sebesar 2,56 dari pusat massa (arah negatif sumbu Y).

Tabel 5.2 Jarak Pusat Massa dan Pusat Kekakuan

Variasi (%)	Jarak Pusat Massa (CM) dari sisi as-A (meter)	Jarak Pusat Kekakuan dari Pusat Massa (meter)
0	12.000	0.000
33	11.400	1.154
67	11.050	1.712
100	10.240	2.560
133	9.200	2.643

5.6 Input dan Output SAP 2000

Setelah menghitung semua beban gravitasi, massa translasi dan rotasi selanjutnya diproses dalam program SAP 2000. Langkah-langkah pengerjaan SAP 2000 dapat dilihat pada Gambar 4.2. Beban percepatan tanah yang digunakan yaitu riwayat waktu gempa El-Centro arah Utara-Selatan. Idealnya, diperlukan tiga arah rekaman percepatan tanah untuk analisis ini, yaitu rekaman percepatan tanah arah Utara-Selatan, Barat-timur, dan arah vertikal. Dalam penelitian ini hanya digunakan satu arah gempa karena keterbatasan data rekaman gempa yang diperoleh. Arah

beban percepatan yang digoyangkan pada struktur yaitu percepatan arah sumbu 1 atau sumbu-X, kemudian arah pembebanan diputar berlawanan dengan arah jarum jam yaitu pada 0° , 30° , 45° , 60° , 75° , dan 90° . Maksud perputaran arah ini adalah untuk memperoleh nilai gaya-gaya dalam yang maksimum. Pada setiap pemutaran sudut ini, dilakukan dalam sekali eksekusi. Penentuan nilai gaya-gaya dalam maksimum dilakukan dengan meninjau semua elemen dan *joint* tiap lantai. Kemudian diambil salah satu elemen dan *joint* yang memiliki nilai gaya-gaya dalam maksimum tiap lantai dan dicatat nilainya secara manual. Nilai gaya-gaya dalam maksimum ini dapat dilihat dalam bentuk grafik pada menu *time history traces*. Peninjauan gaya-gaya dalam maksimum pada elemen dan *joint* ini dilakukan untuk setiap arah pembebanan percepatan tanah, sehingga diperoleh arah pembebanan yang menimbulkan gaya-gaya dalam maksimum yang ditinjau. *Input* data SAP 2000 untuk variasi 100%B dapat dilihat pada Lampiran 3, sedangkan *output* variasi 100%B yang mewakili variasi yang lain dapat dilihat pada Lampiran 4.

Nilai simpangan relatif diambil pada *joint* perpotongan antara as-A dan as-I (Gambar 5.3) yang merupakan sudut bangunan karena relatif memiliki simpangan yang besar. Nilai momen lentur diambil pada balok as – B (Gambar 5.3) karena memiliki momen yang relatif lebih besar dibanding dengan balok pada as yang lain. Sedangkan nilai momen torsi dan gaya geser diambil pada kolom perpotongan as – A dan as – I (sudut bangunan) karena struktur relatif memutar atau menyebabkan torsi dan geser pada kolom yang cukup besar akibat adanya loncatan bidang muka dan daerah sudut bangunan merupakan daerah struktur yang rawan akibat kerusakan puntir. Nilai simpangan, momen lentur, momen torsi dan gaya geser yang diambil

pada joint dan elemen struktur diatas dapat digunakan atau digeneralisasi untuk joint dan elemen struktur lainnya karena nilainya lebih besar dari yang lainnya.

5.6.1 Simpangan relatif lantai

Simpangan massa ke- i atau Y_i diperoleh dengan menjumlahkan pengaruh atau kontribusi tiap-tiap mode. Kontribusi mode ke- j terhadap simpangan horisontal massa ke- i dinyatakan dalam produk antara ϕ_{ij} dengan suatu modal amplitudo Z_j . Seperti pada persamaan (3.24).

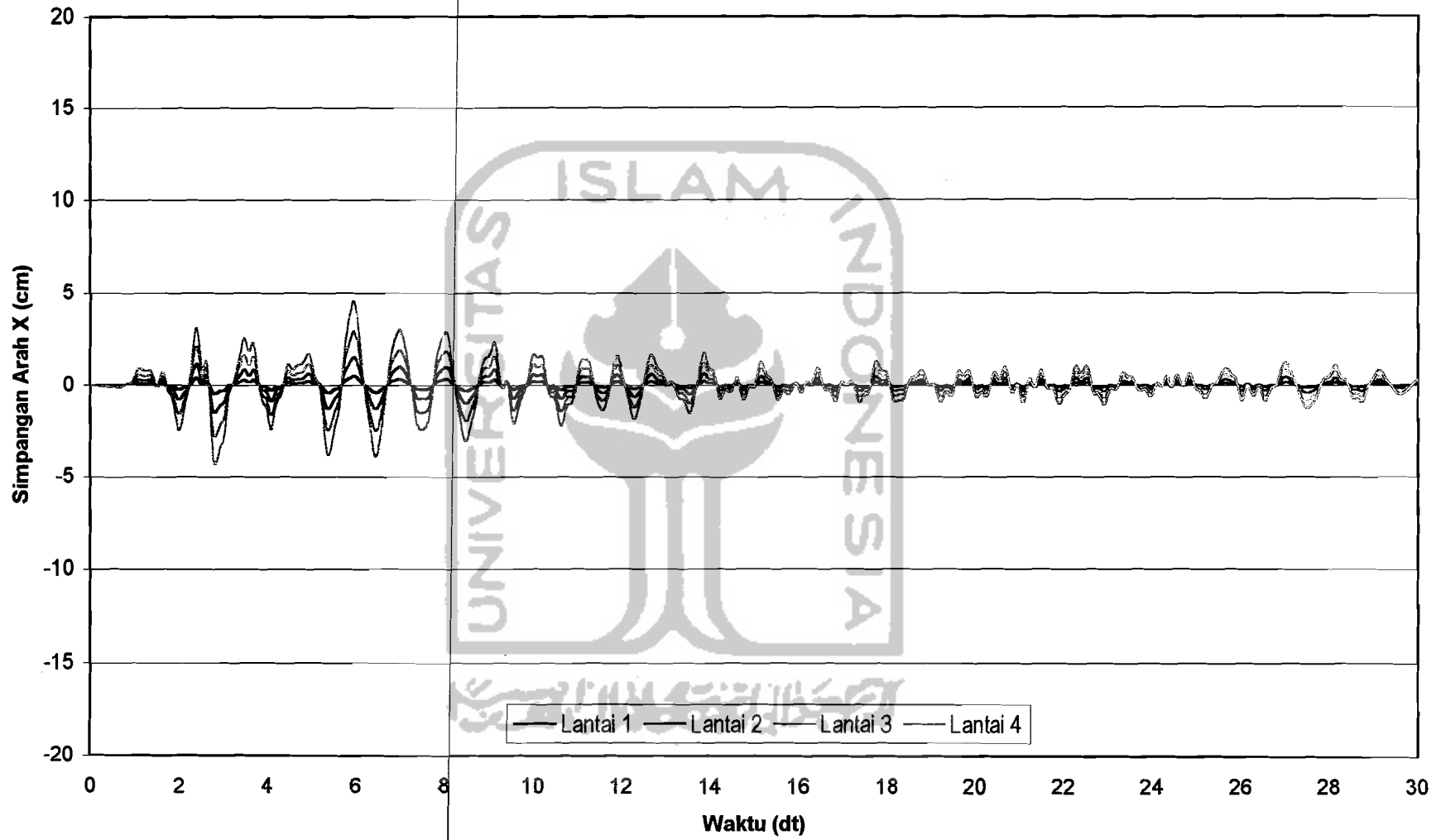
Hasil proses SAP 2000 berupa grafik fungsi simpangan relatif arah - X dan arah - Y terhadap waktu untuk variasi 100%B dapat dilihat pada Gambar 5.9 dan Gambar 5.10.

5.6.2 Momen lentur

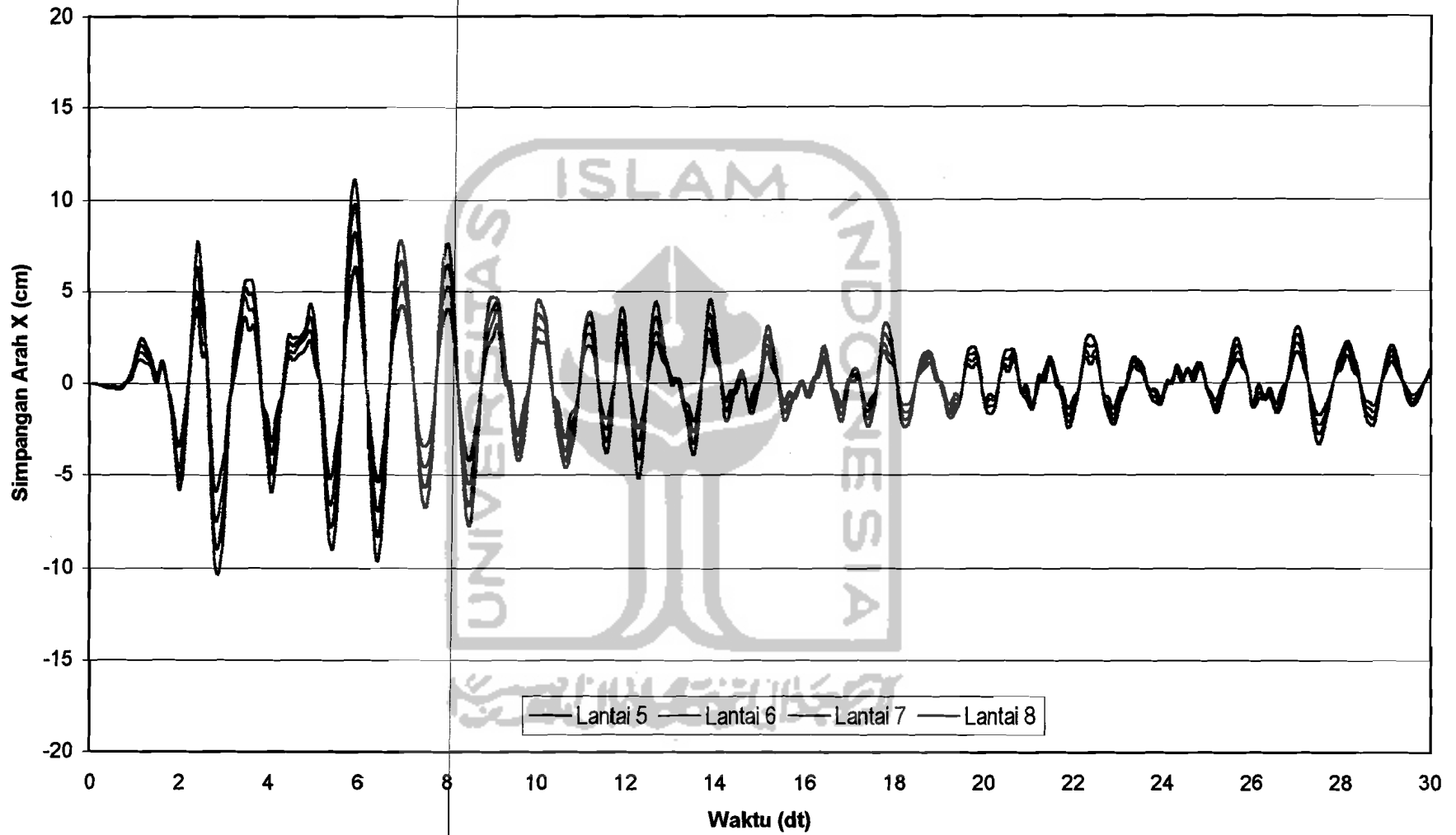
Momen lentur merupakan produk antara gaya dengan jarak tegak lurus dari garis kerja ke pusat rotasi. Hasil proses SAP 2000 berupa grafik fungsi momen torsi terhadap waktu untuk variasi 100%B dapat dilihat pada Gambar 5.11.

5.6.3 Momen torsi

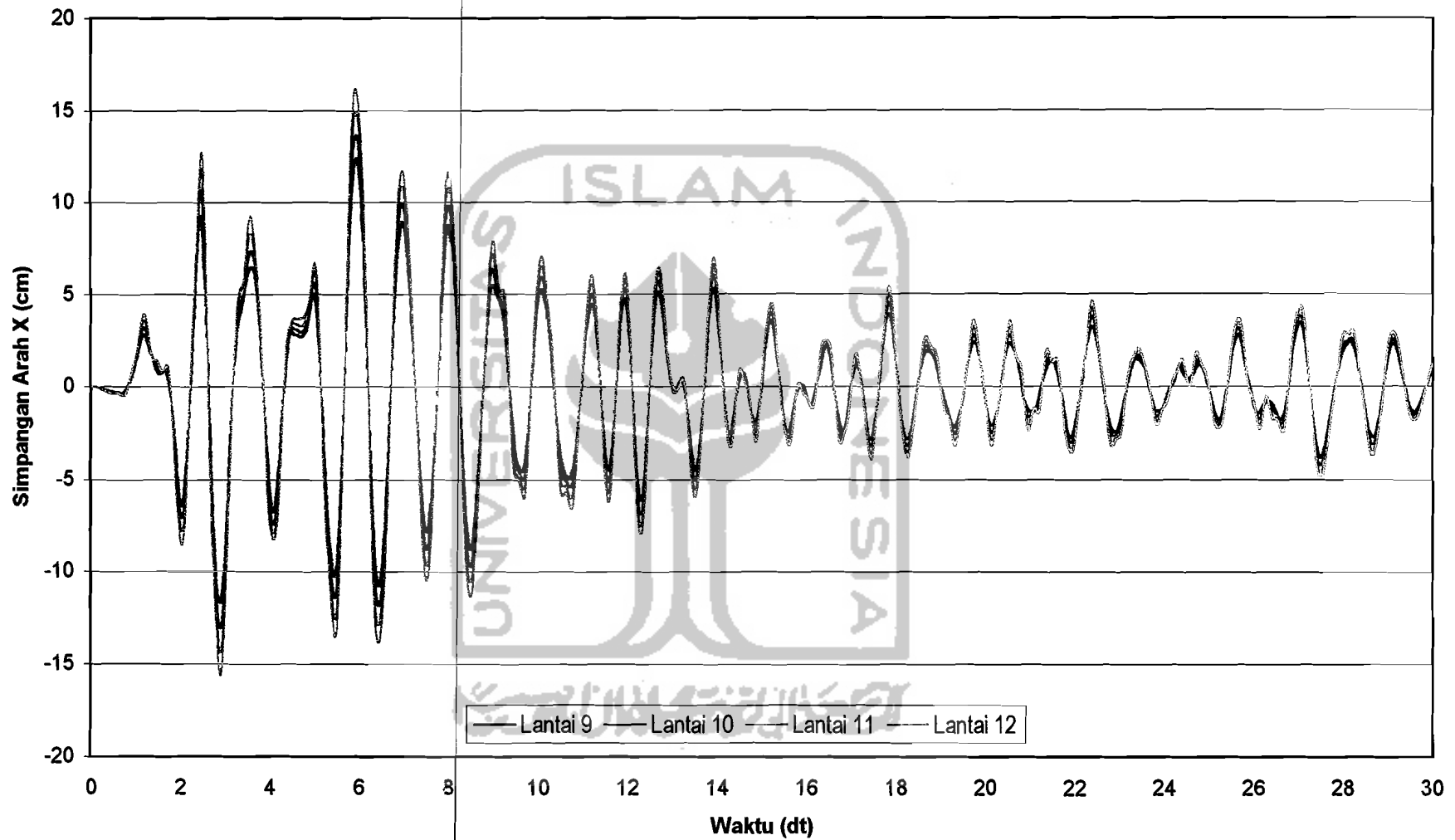
Momen torsi akan terjadi jika pusat massa struktur tidak berimpit dengan pusat kekakuan, hal ini akan menyebabkan gedung mengalami puntiran, pada bagian atas berputar tapi bagian bawah (bagian pondasi) tetap. Hasil proses SAP 2000 berupa grafik fungsi momen torsi terhadap waktu untuk variasi 100%B dapat dilihat pada Gambar 5.12.



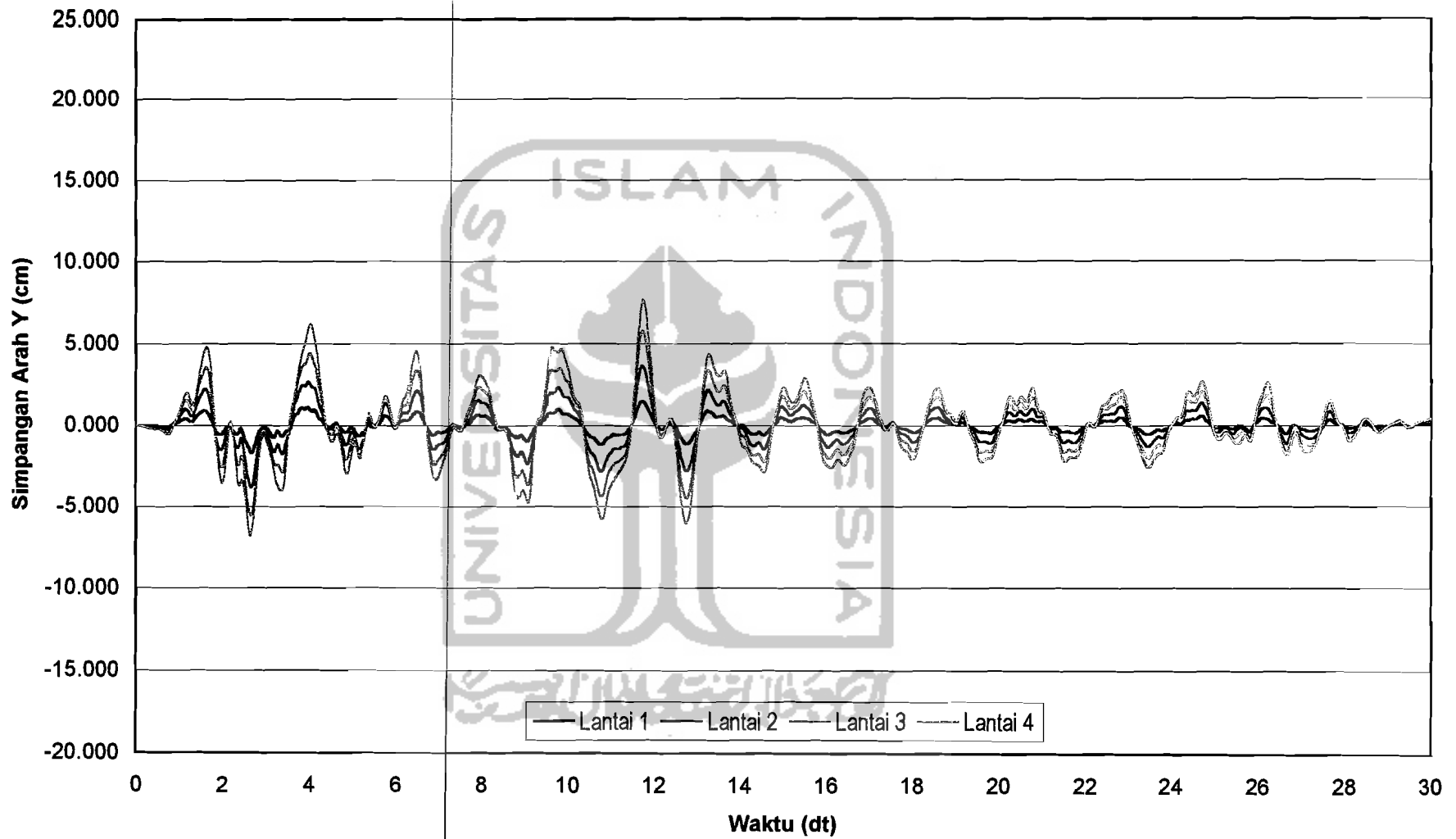
Gambar 5.9 Grafik Fungsi Simpangan Arah X Variasi 100%B terhadap Waktu (Lantai 1-Lantai 4)



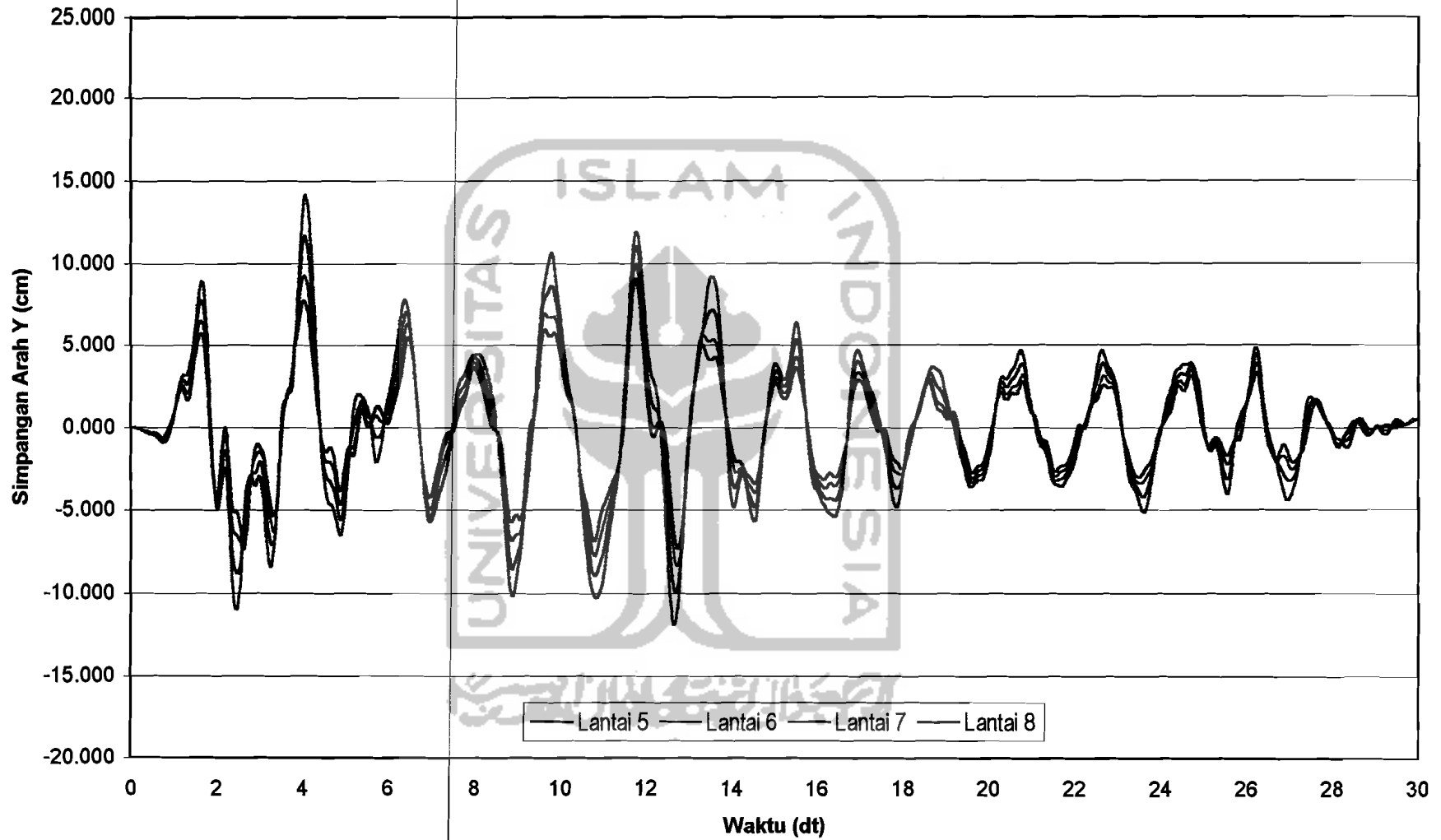
Gambar 5.9 Grafik Fungsi Simpangan Arah X Variasi 100%B terhadap Waktu (Lantai 5-Lantai 8)



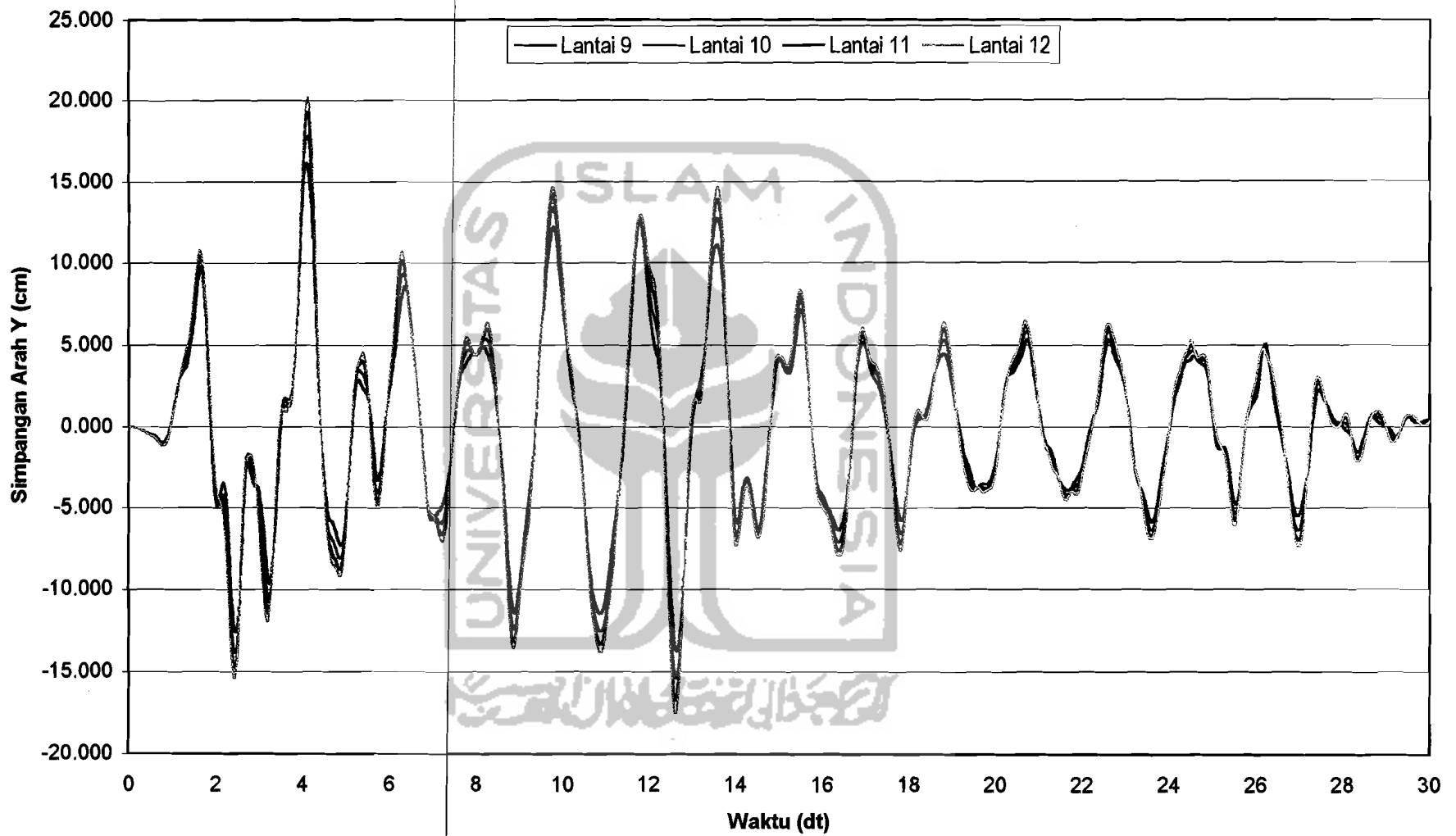
Gambar 5.9 Grafik Fungsi Simpangan Arah X Variasi 100%B terhadap Waktu (Lantai 9-Lantai 12)



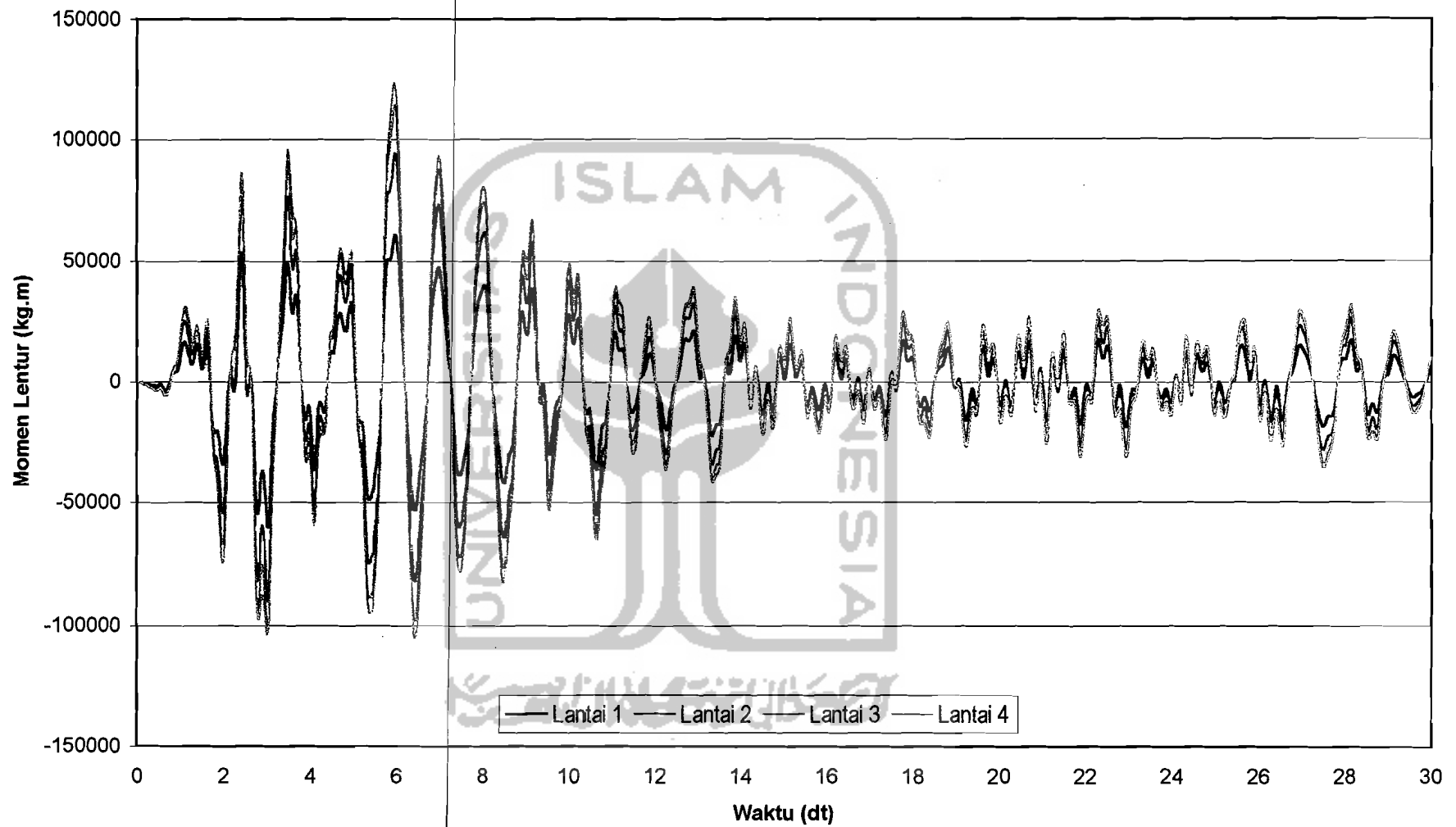
Gambar 5.10 Grafik Fungsi Simpangan Arah Y Variasi 100% terhadap Waktu (Lantai 1-Lantai 4)



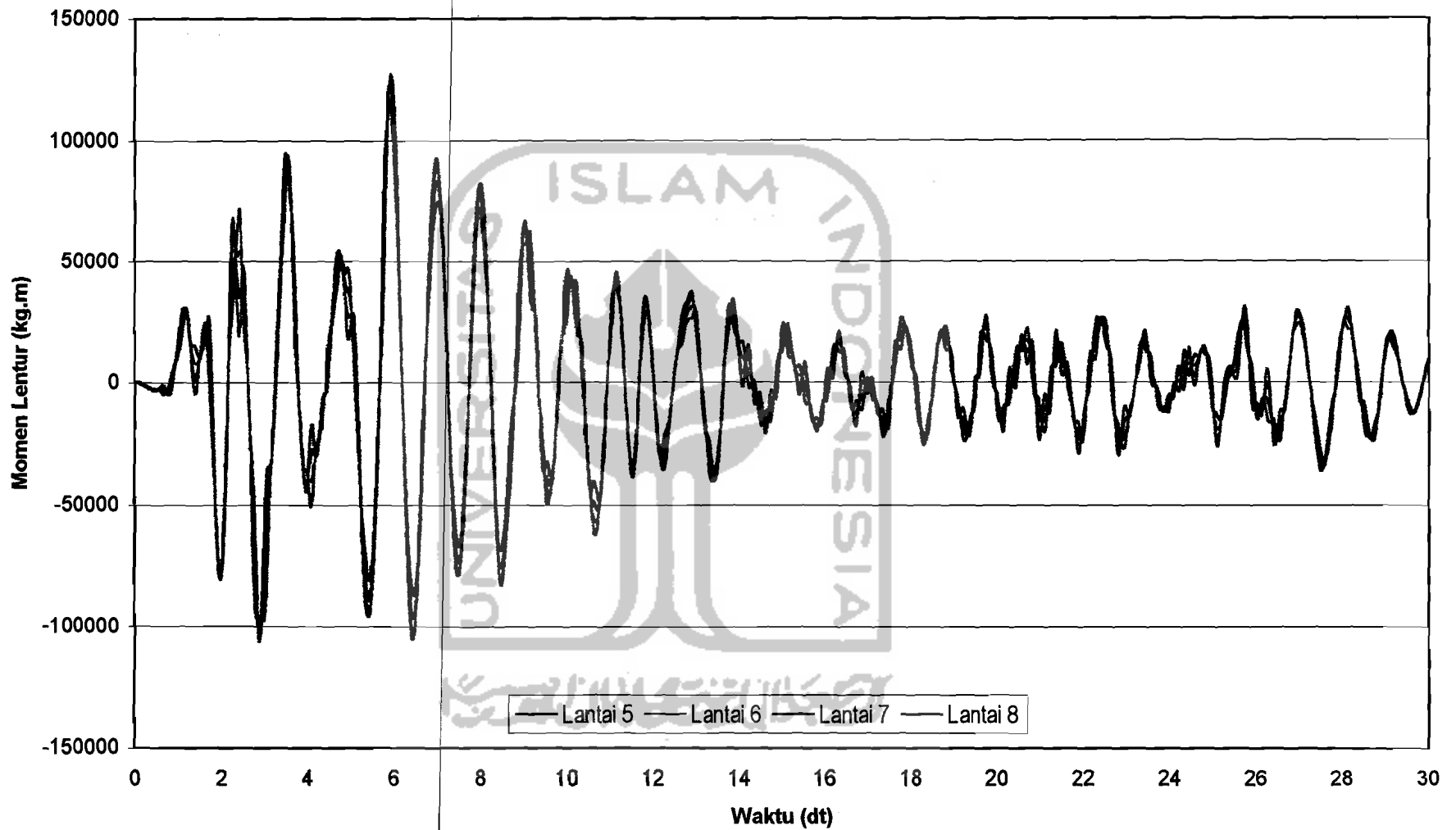
Gambar 5.10 Grafik Fungsi Simpangan Arah Y Variasi 100% terhadap Waktu (Lantai 5-Lantai 8)



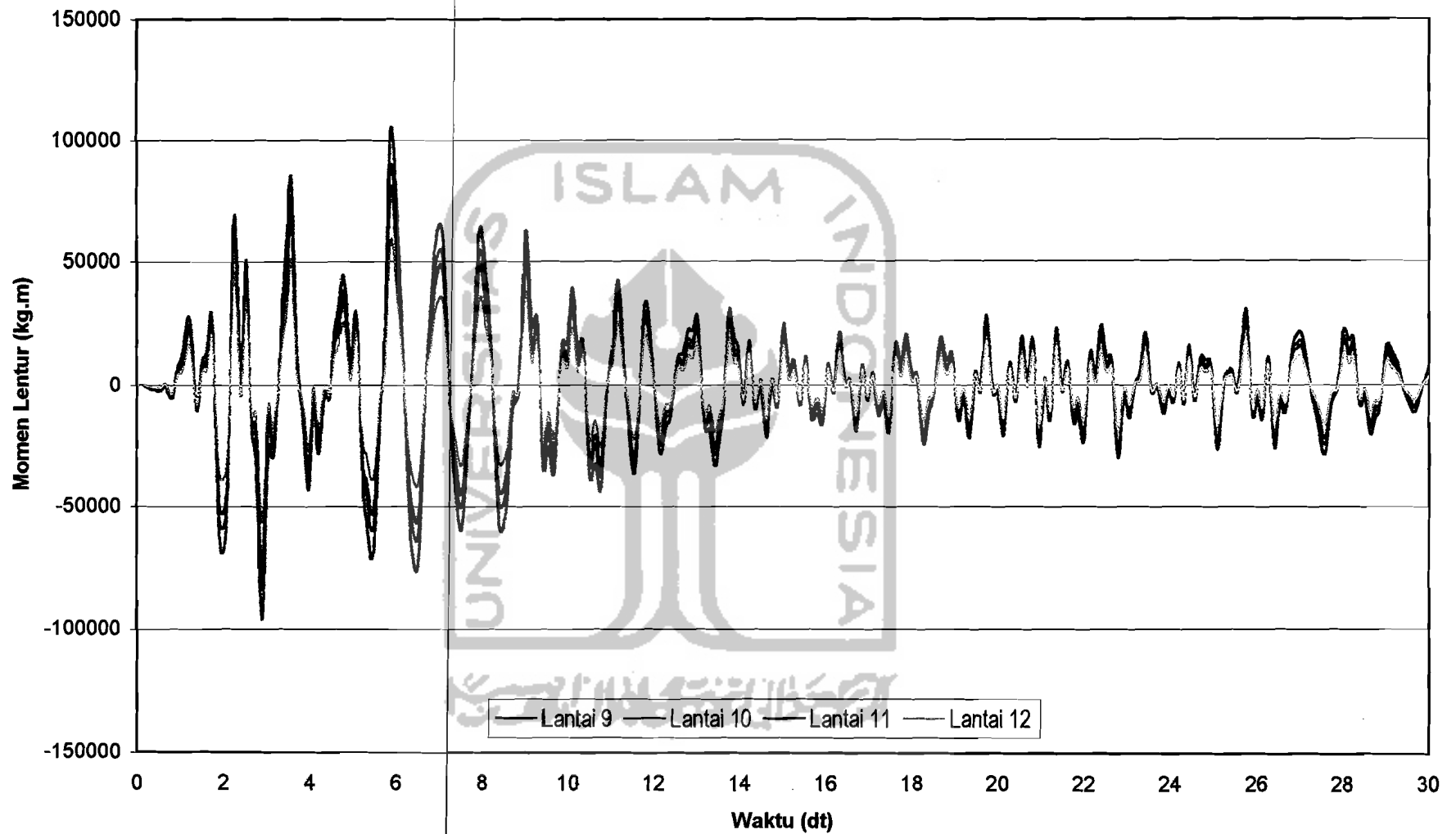
Gambar 5.10 Grafik Fungsi Simpangan Arah Y Variasi 100% terhadap Waktu (Lantai 9-Lantai 12)



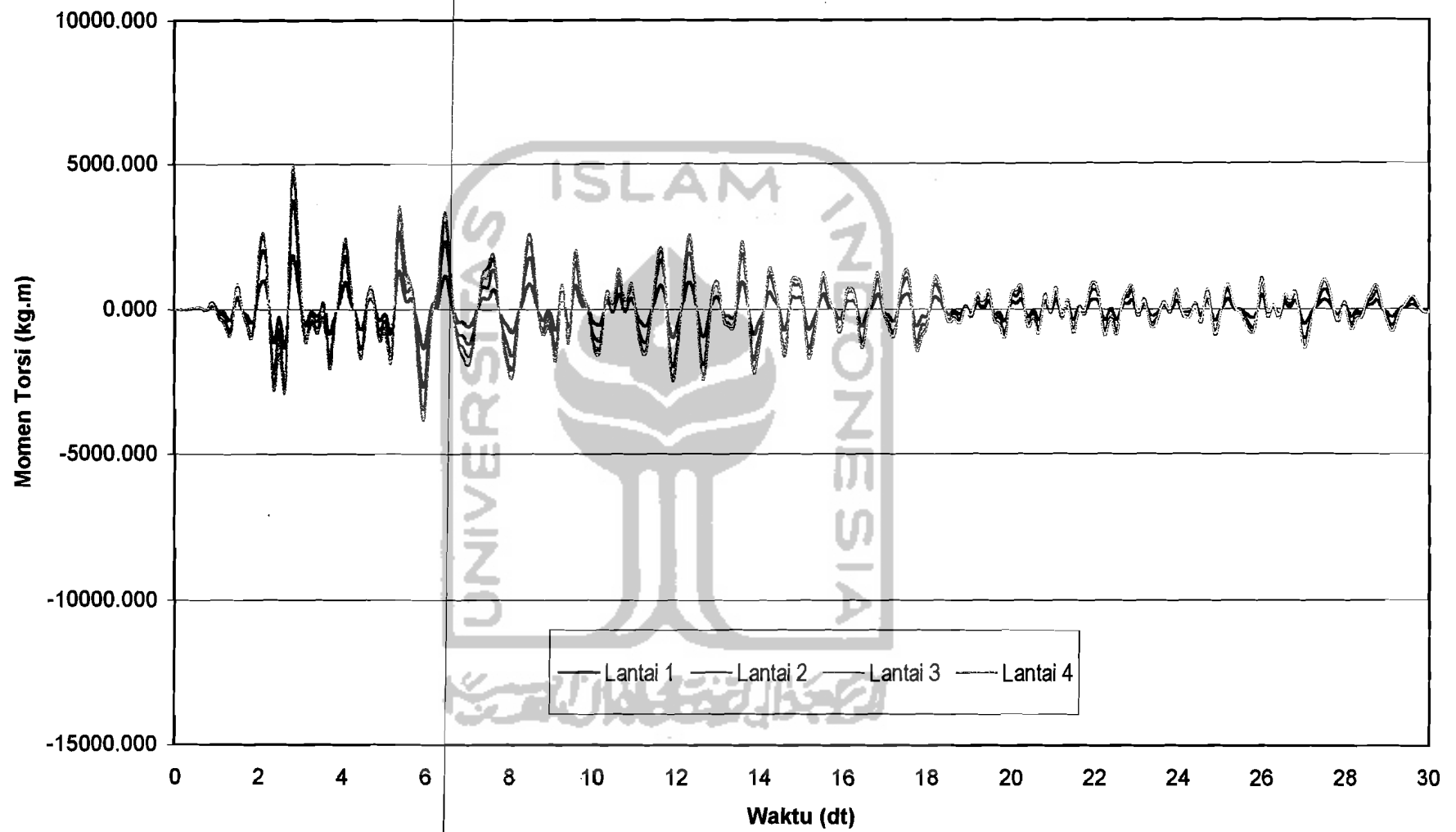
Gambar 5.11 Grafik Fungsi Momen Lentur Variasi 100%B terhadap Waktu
(Lantai 1-Lantai 4)



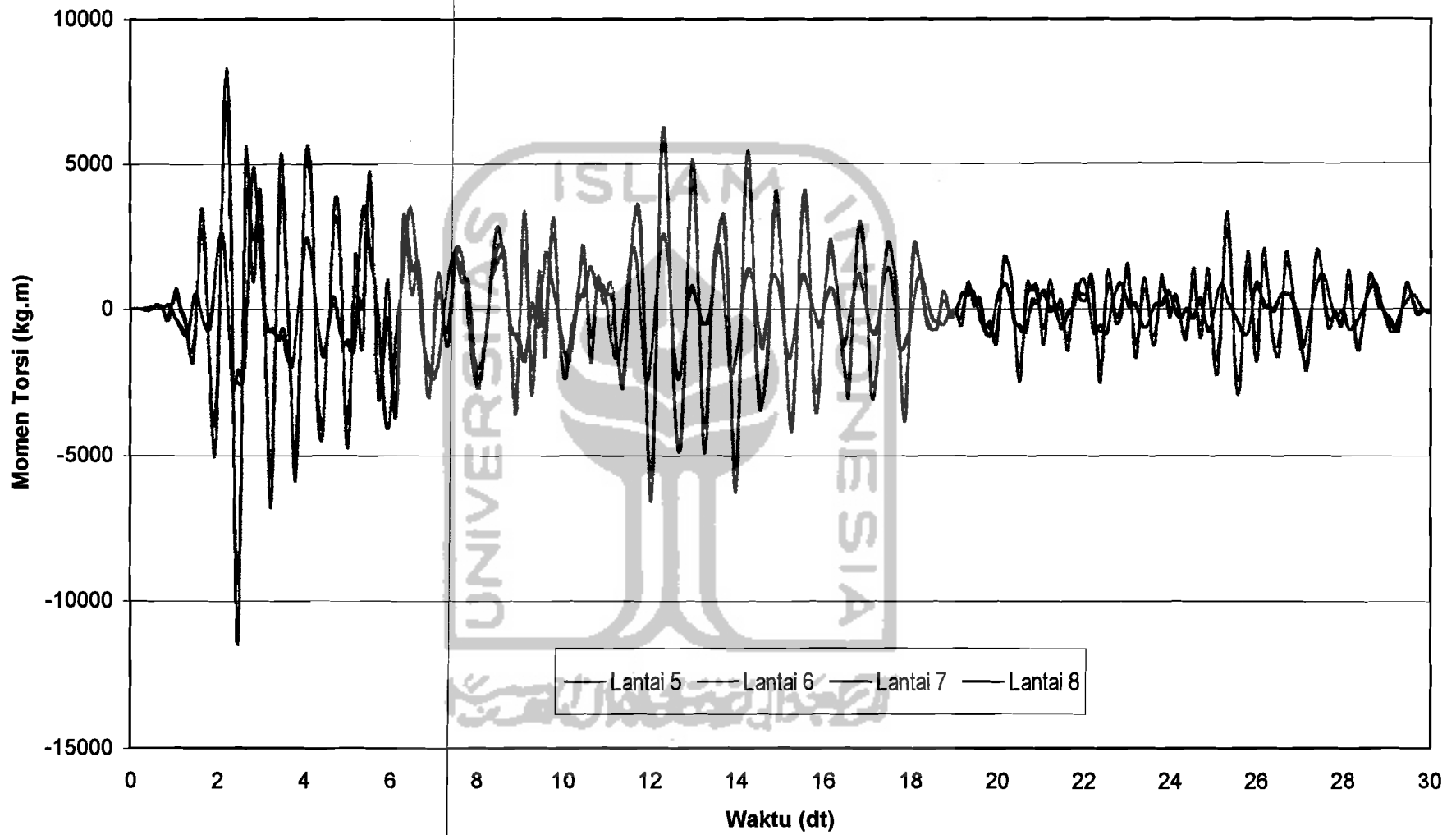
Gambar 5.11 Grafik Fungsi Momen Lentur Variasi 100%B terhadap Waktu (Lantai 5-Lantai 8)



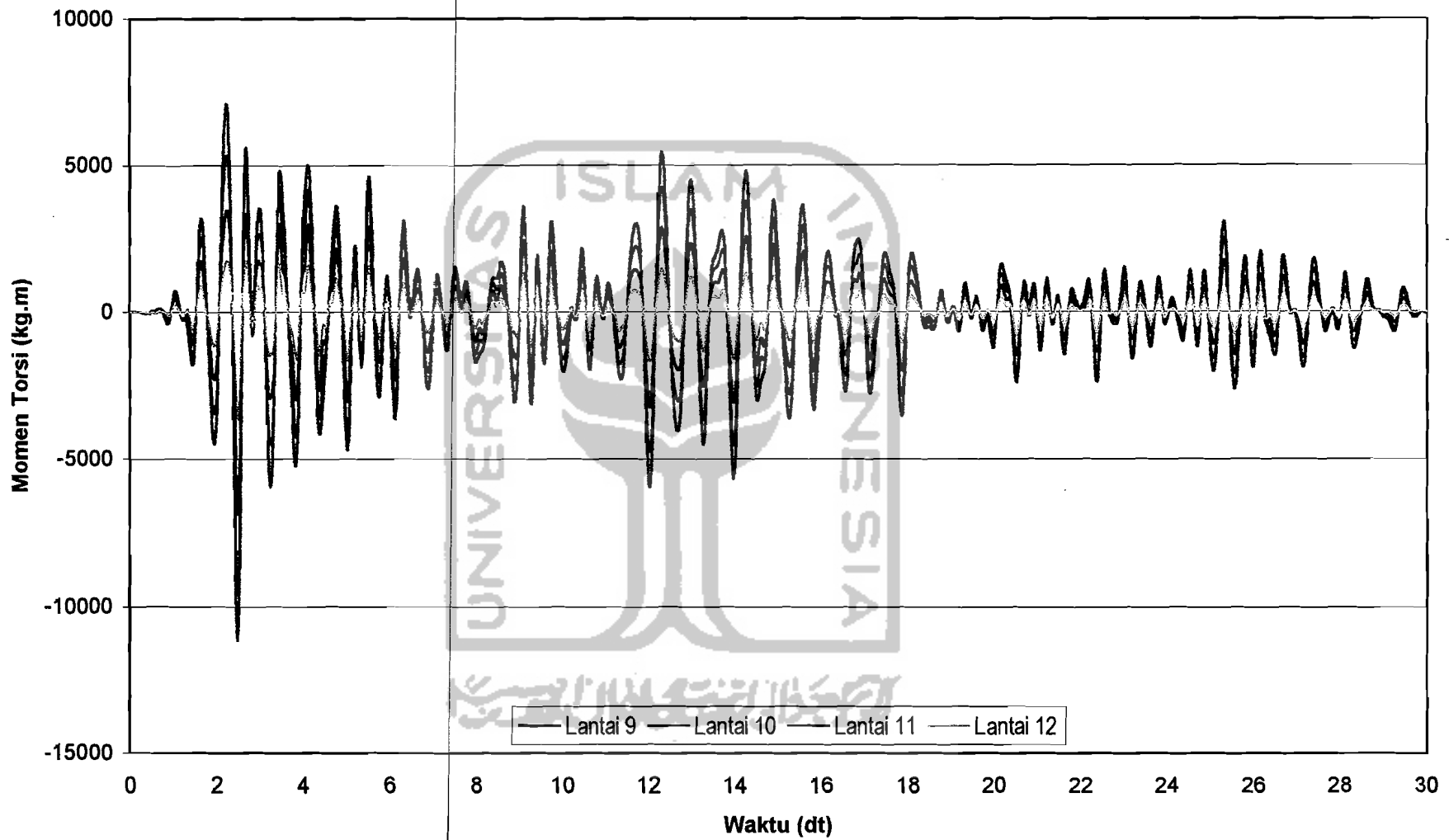
Gambar 5.11 Grafik Fungsi Momen Lentur Variasi 100%B terhadap Waktu (Lantai 9-Lantai 12)



Gambar 5.12 Grafik Fungsi Momen Torsi Variasi 100% terhadap Waktu (Lantai 1-Lantai 4)



Gambar 5.12 Grafik Fungsi Momen Torsi Variasi 100% terhadap Waktu (Lantai 5-Lantai 8)

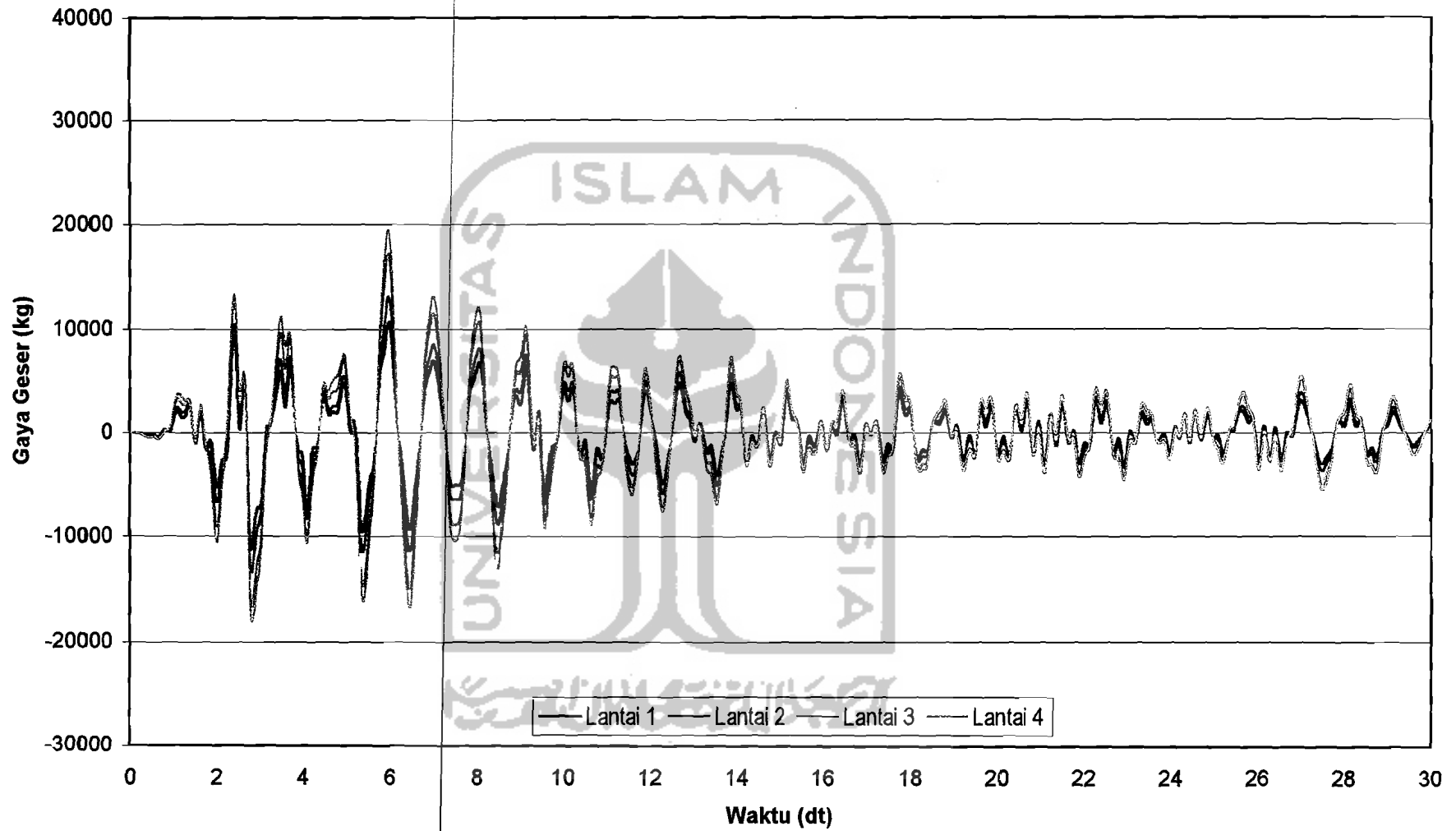


Gambar 5.12 Grafik Fungsi Momen Torsi Variasi 100% terhadap Waktu (Lantai 9-Lantai 12)

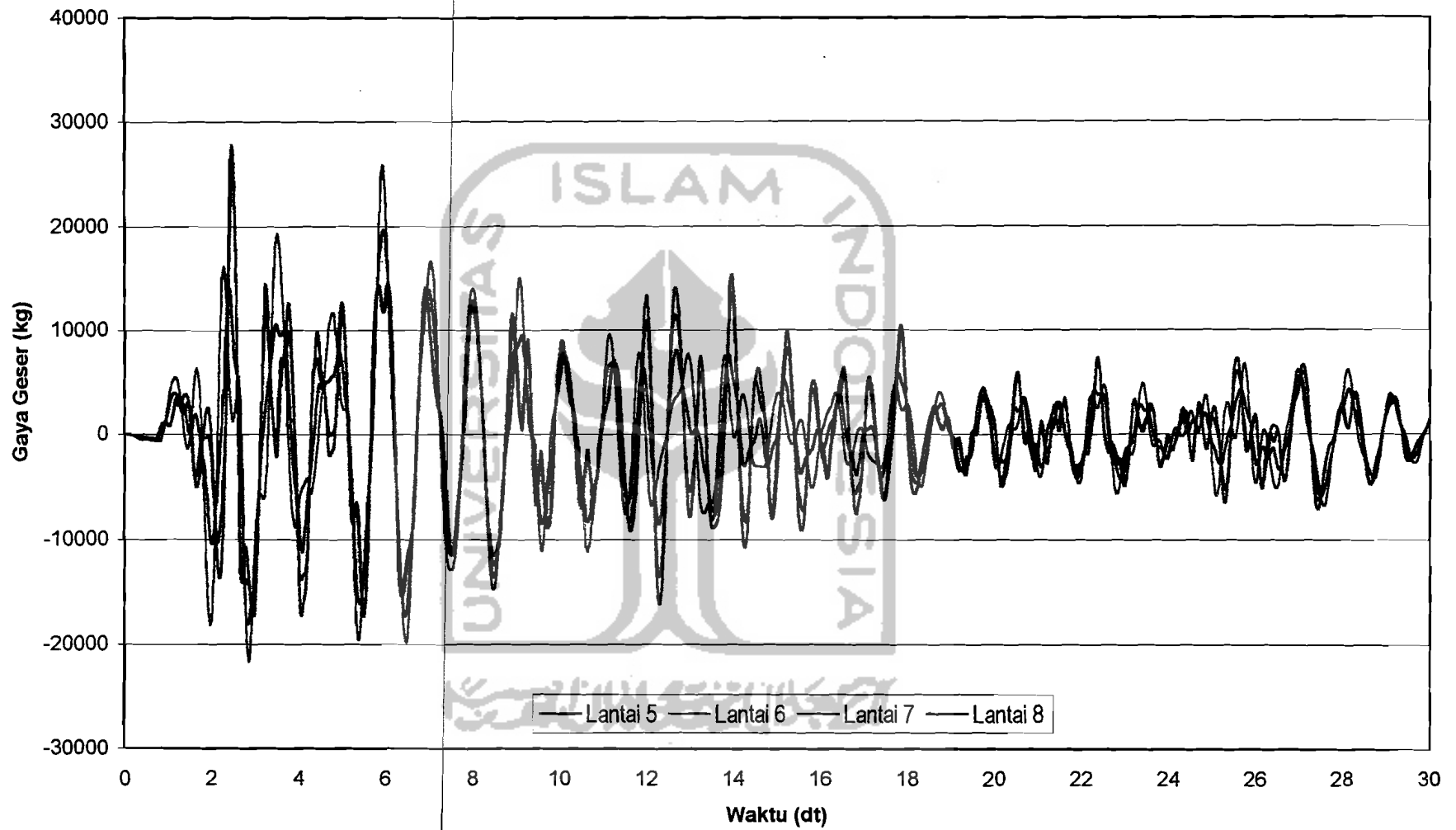
5.6.4 Gaya geser

Selain menerima lentur, portal juga menahan gaya geser akibat lenturan. Kondisi kritis geser akibat lentur ditunjukkan dengan timbulnya tegangan-tegangan tarik tambahan ditempat-tempat tertentu pada komponen struktur terlentur. Gaya geser adalah salah satu gaya dalam yang bekerja tegak lurus terhadap sumbu batang. Hasil proses SAP 2000 berupa grafik fungsi gaya geser terhadap waktu untuk variasi 100%B dapat dilihat pada Gambar 5.13.

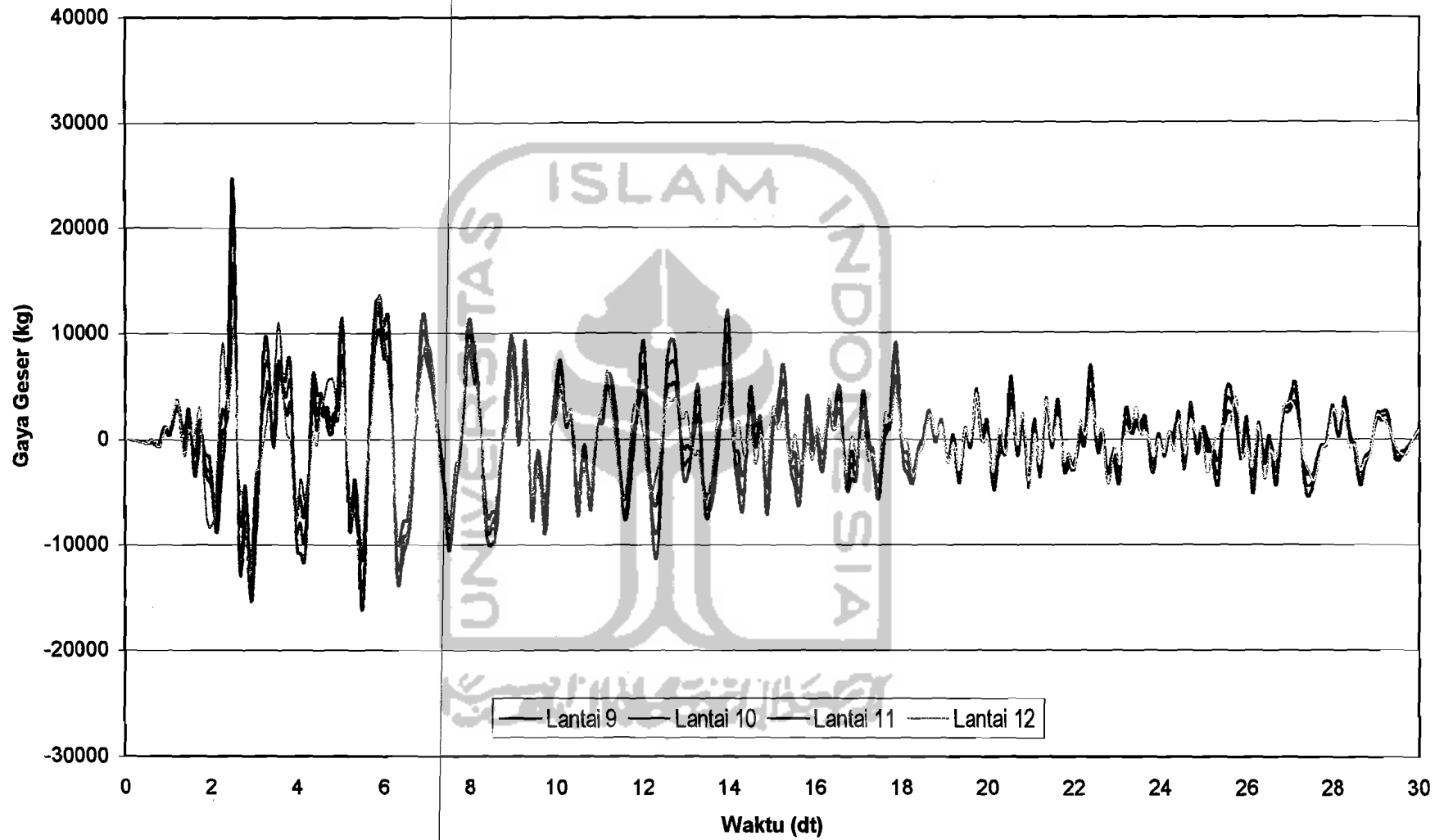




Gambar 5.13 Grafik Fungsi Gaya Geser Variasi 100% terhadap Waktu (Lantai 1-Lantai 4)



Gambar 5.13 Grafik Fungsi Gaya Geser Variasi 100% terhadap Waktu (Lantai 5-Lantai 8)



Gambar 5.13 Grafik Fungsi Gaya Geser Variasi 100%B terhadap Waktu (Lantai 9-Lantai 12)

5.7 Pembahasan

Setelah dilakukan pembebanan percepatan pada struktur dengan arah pembebanan 0° , 30° , 45° , 60° , 75° , dan 90° diperoleh nilai gaya-gaya dalam maksimum untuk setiap arah pembebanan. Dalam hal ini, pada arah 30° relatif memiliki nilai gaya-gaya dalam yang lebih besar daripada arah pembebanan percepatan yang lain. Sehingga dalam pembahasan, hanya diambil nilai maksimum simpangan relatif, momen lentur, momen torsi dan gaya geser dari variasi *setback* 33%B, 67%B, 100%B dan 133%B dengan arah pembebanan percepatan tanah 30° . Selanjutnya dari hasil nilai maksimum tersebut dihitung persentase perubahan simpangan relatif, momen lentur, momen torsi dan gaya geser bangunan terhadap tanpa *setback* (variasi nol). Untuk memudahkan analisis, *output* dari program SAP 2000 berupa simpangan relatif, momen torsi, momen lentur, dan gaya geser dikomparasikan terhadap variasi nol dalam bentuk grafik hubungan antara perubahan loncatan bidang muka (*setback*) dengan nilai maksimum parameter respon struktur tersebut.

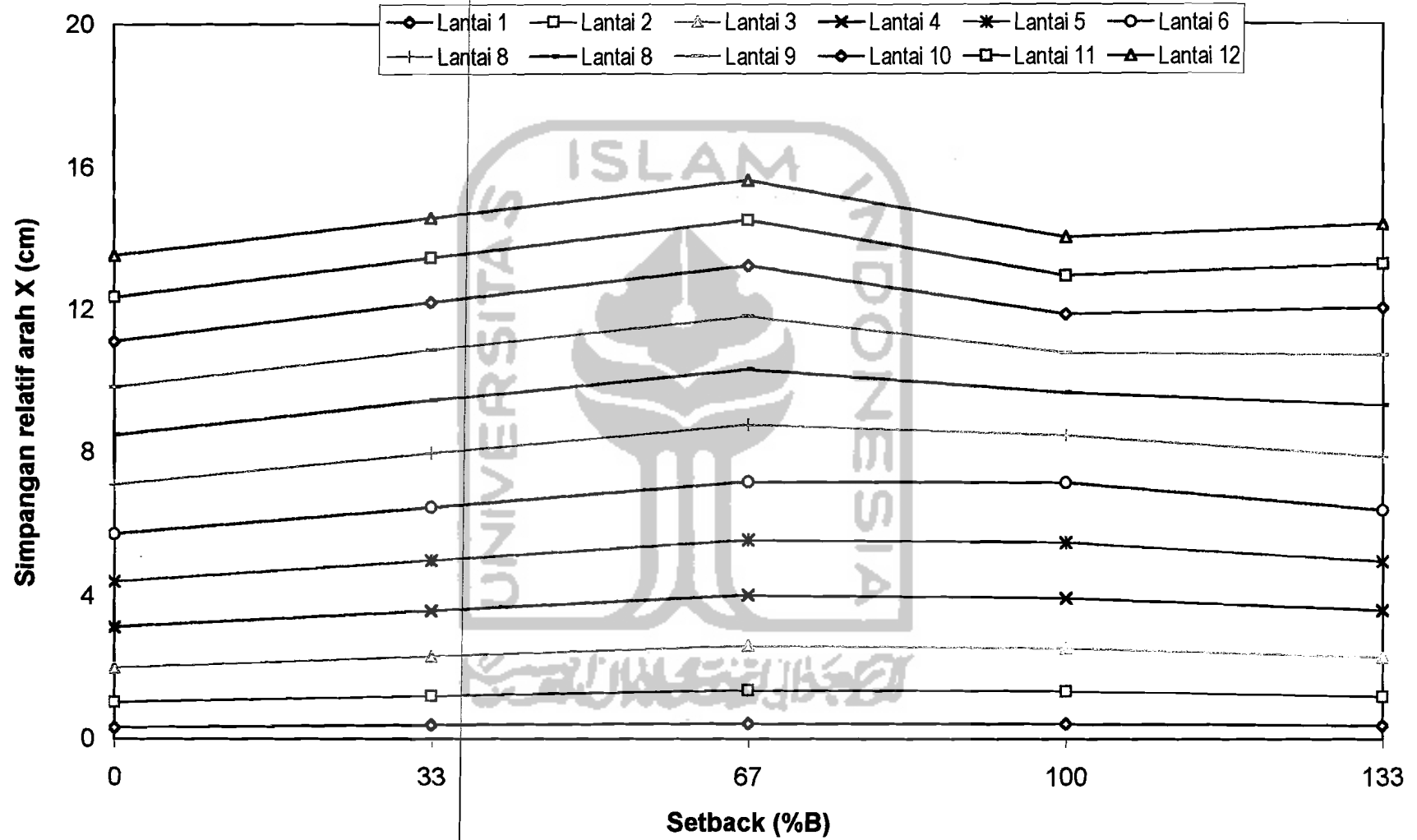
5.7.1 Simpangan Relatif Lantai

Nilai simpangan relatif lantai akan semakin besar untuk lantai yang lebih tinggi, hal ini sesuai dengan pola goyangan pada mode pertama. Simpangan relatif arah – X dan arah – Y yang terjadi ditunjukkan dalam bentuk grafik hubungan antara *setback* dan simpangan relatif pada Gambar 5.14 dan Gambar 5.15. Sedangkan nilai maksimum simpangan tiap tingkat dijelaskan pada Lampiran 2, Tabel 5.3 dan Tabel 5.4.

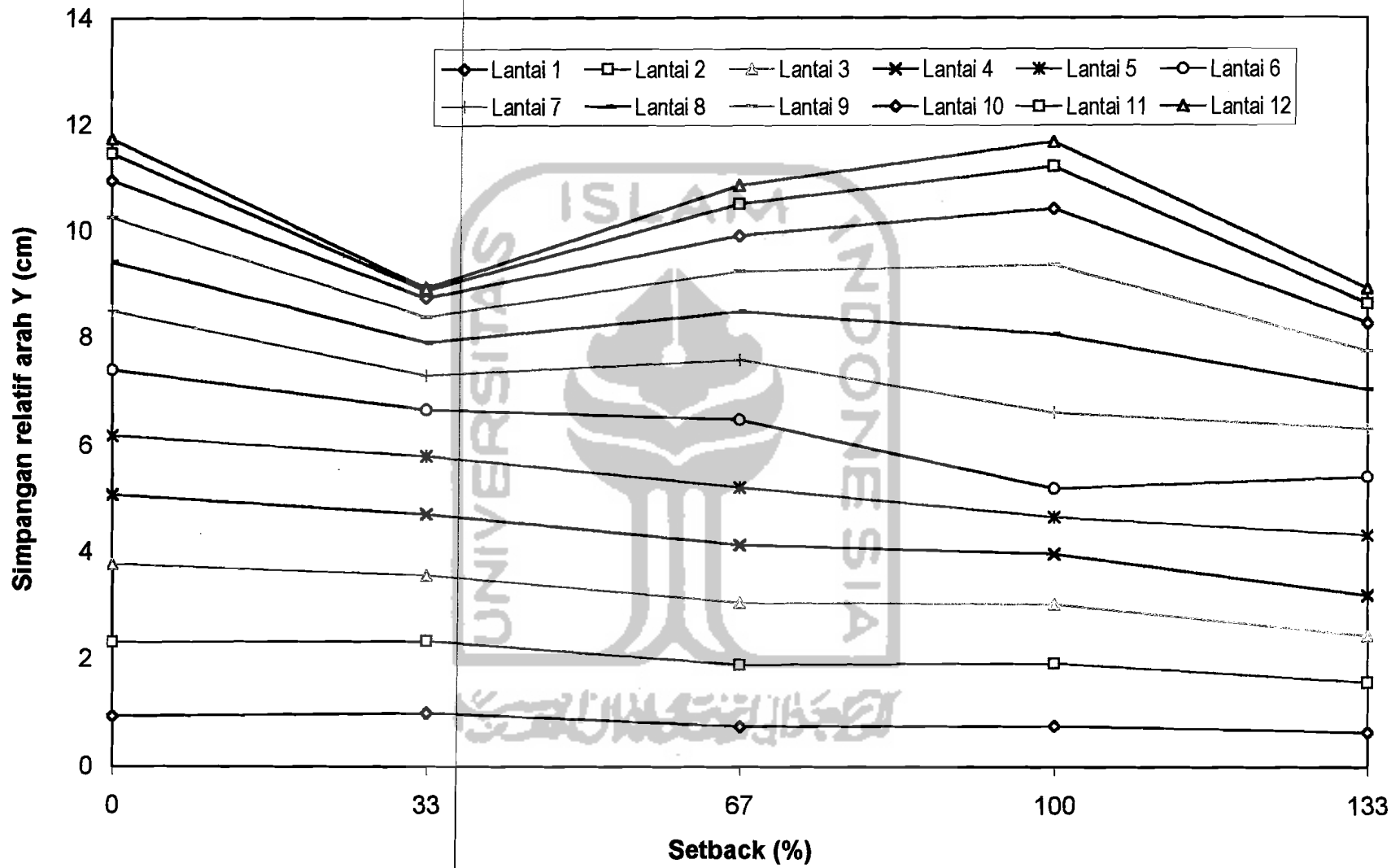
Pada Gambar 5.14 terlihat bahwa simpangan arah – X (lantai 1 sampai 12) terjadi kenaikan untuk tiap variasi terhadap variasi nol. Nilai simpangan terbesar terjadi pada variasi 67%B sebesar 15,62 cm atau terjadi kenaikan sebesar 15,53% dari variasi nol, sedangkan simpangan terkecil terjadi pada variasi 100%B sebesar 14,00 cm atau terjadi perubahan sebesar 3,59% dari variasi nol. Hal ini terjadi karena semakin besar loncatan bidang muka, semakin berkurang massa lantai sehingga gaya gempa yang terjadi semakin kecil. Hal ini sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa massa berbanding lurus dengan gaya gempa, meskipun nilai kekakuannya semakin berkurang.

Pada Gambar 5.15, simpangan arah – Y (lantai 1 sampai lantai 12) terjadi penurunan untuk tiap variasi loncatan bidang muka terhadap variasi nol. Nilai penurunan simpangan terbesar terjadi pada variasi 33%B sebesar 8,92 cm atau terjadi penurunan sebesar 23,98% dari variasi nol, sedangkan nilai penurunan simpangan terkecil terjadi pada variasi 100%B dengan nilai penurunan sebesar 11,66 cm atau 0,57% dari variasi nol. Penurunan nilai simpangan untuk tiap variasi terhadap variasi nol disebabkan massa struktur semakin berkurang sehingga gaya gempa yang diterima untuk menggoyangkan struktur semakin kecil.

Di dalam buku Peraturan Perencanaan Tahan Gempa Indonesia untuk Gedung (PPTGIUG 1981) disyaratkan bahwa perbandingan antara simpangan antar tingkat dan tinggi tingkat yang bersangkutan tidak boleh melampaui 0,005 dengan catatan bahwa dalam segala hal simpangan antar tingkat yang terjadi tidak boleh lebih dari 2 cm. Dari Tabel 5.3 dan Tabel 5.4 pada lampiran 2 terlihat bahwa arah – X dan arah - Y masih memenuhi persyaratan sebesar $1,64 \text{ cm} < 2 \text{ cm}$ dan $1,45 \text{ cm} <$



Gambar 5.14 Grafik Simpangan Relatif Maksimum arah X terhadap Setback



Gambar 5.15 Grafik Simpangan Relatif Maksimum arah Y terhadap Setback

2 cm pada variasi 100%B yang merupakan simpangan antar tingkat terbesar dari semua variasi.

5.7.2 Momen Torsi

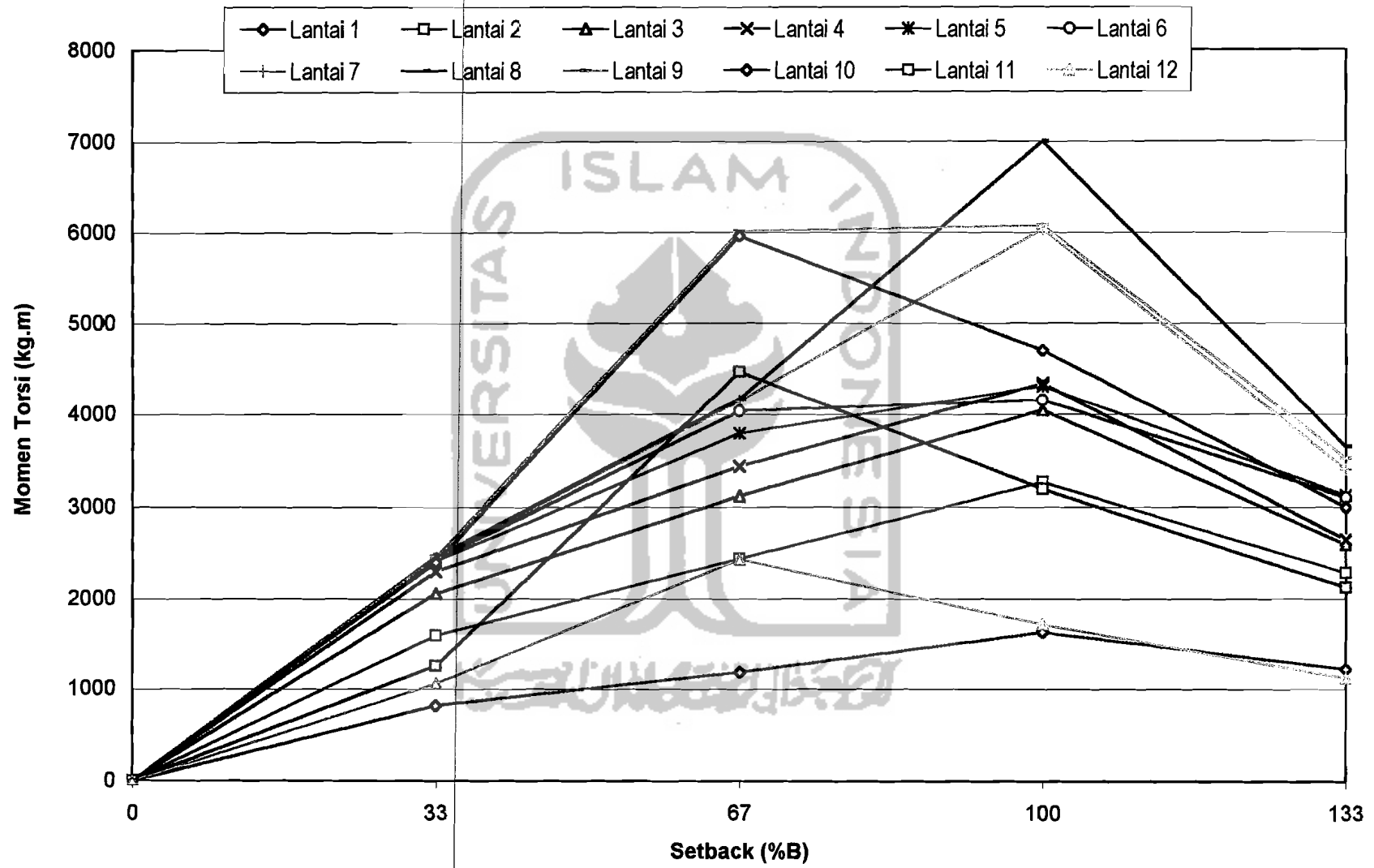
Hasil *output* momen torsi SAP 2000 terhadap variasi *setback* ditunjukkan dalam bentuk grafik hubungan antara variasi *setback* dengan momen torsi maksimum pada Gambar 5.16, sedangkan nilai maksimum momen torsi untuk tiap tingkat dijelaskan pada Lampiran 2 Tabel 5.5.

Dari Gambar 5.16 dapat dilihat bahwa perubahan momen torsi yang terjadi semakin membesar seiring bertambahnya tinggi *setback* karena eksentrisitas pusat kekakuan dari pusat massa semakin jauh (Tabel 5.2). Momen torsi terbesar terjadi pada variasi 100%B sebesar 6996,952 kgm atau terjadi kenaikan sebesar 20316252,47% dari momen torsi variasi nol. Untuk momen torsi terkecil terjadi pada variasi 33%B sebesar 824,014 kgm atau terjadi kenaikan sebesar 2853132,89% dari variasi nol.

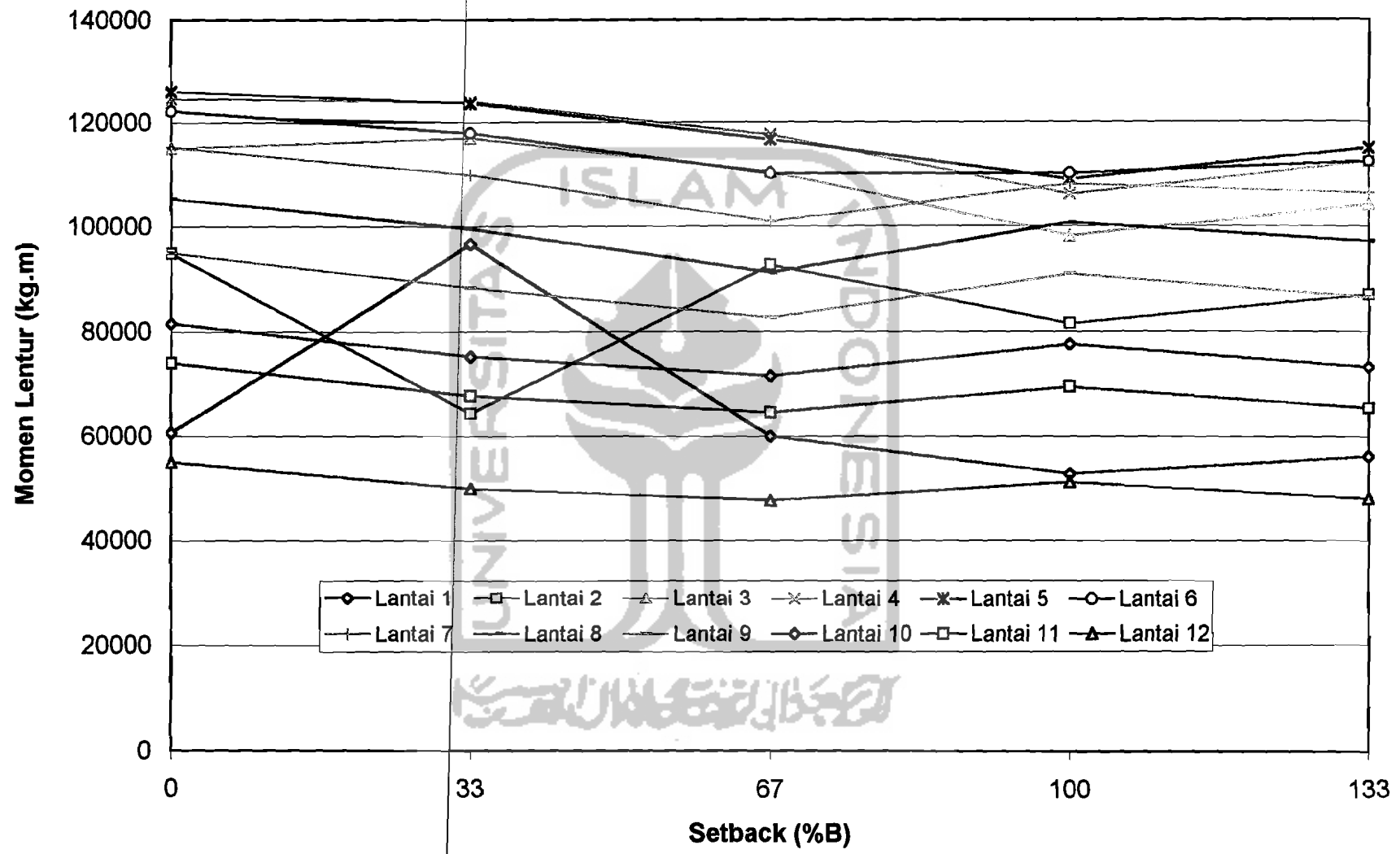
5.7.3 Momen Lentur

Hasil dari *output* SAP 2000 sudah merupakan momen ultimit. Hasil keseluruhan momen lentur maksimum untuk tiap variasi *setback* yang terjadi ditunjukkan dalam grafik hubungan *setback* dengan momen lentur maksimum pada Gambar 5.17, sedangkan nilai maksimum momen lentur untuk tiap tingkat dijelaskan pada Lampiran 2 Tabel 5.6.

Dari gambar 5.17 dapat dilihat bahwa dengan terjadinya perubahan loncatan bidang muka (*setback*) dari variasi 33%B sampai variasi 100%B momen lentur mengalami penurunan yang cukup besar dari variasi nol. Hal ini disebabkan



Gambar 5.16 Grafik Momen Torsi Maksimum terhadap Setback



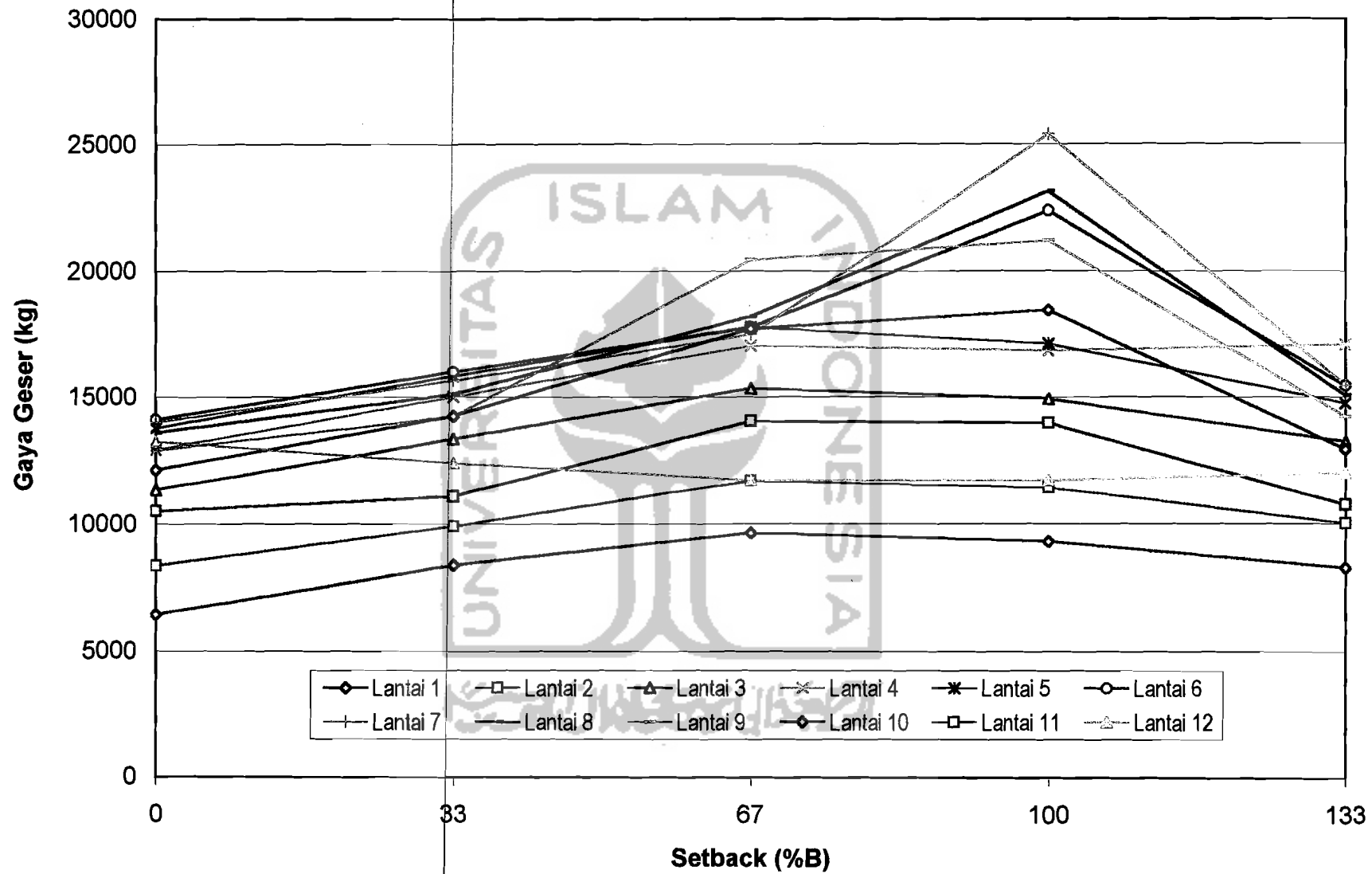
Gambar 5.17 Grafik Momen Lentur Maksimum terhadap Setback

perubahan massa dan kekakuan struktur akibat loncatan bidang muka. Momen lentur terbesar terjadi pada variasi 33%B sebesar 117914,146 kgm atau terjadi penurunan sebesar 3,50%. Untuk momen lentur terkecil terjadi pada variasi 100%B sebesar 51136,056 kgm atau terjadi perubahan sebesar 6,77%.

5.7.4 Gaya Geser

Hasil keseluruhan gaya geser maksimum terhadap variasi *setback* yang terjadi ditunjukkan dalam grafik Gambar 5.18, sedangkan nilai maksimum gaya geser untuk tiap tingkat dijelaskan pada Lampiran 2 Tabel 5.7. Nilai gaya geser mengalami kenaikan seiring bertambahnya tinggi *setback*, tetapi pada variasi 133%B mengalami penurunan nilai gaya geser. Hal ini disebabkan nilai gaya lantai dipengaruhi oleh massa dan kekakuan tingkat.

Dari Gambar 5.18 dapat dilihat gaya geser yang terbesar terjadi pada variasi 100%B yaitu sebesar 25372,688 kg atau terjadi kenaikan sebesar 81,29% dari variasi nol.. Untuk gaya geser terkecil terjadi pada variasi 133% sebesar 10715,081 kg atau terjadi perubahan sebesar 2,26% dari variasi nol.



Gambar 5.18 Grafik Gaya Geser Maksimum terhadap setback