

BAB V

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

5.1 Pendahuluan

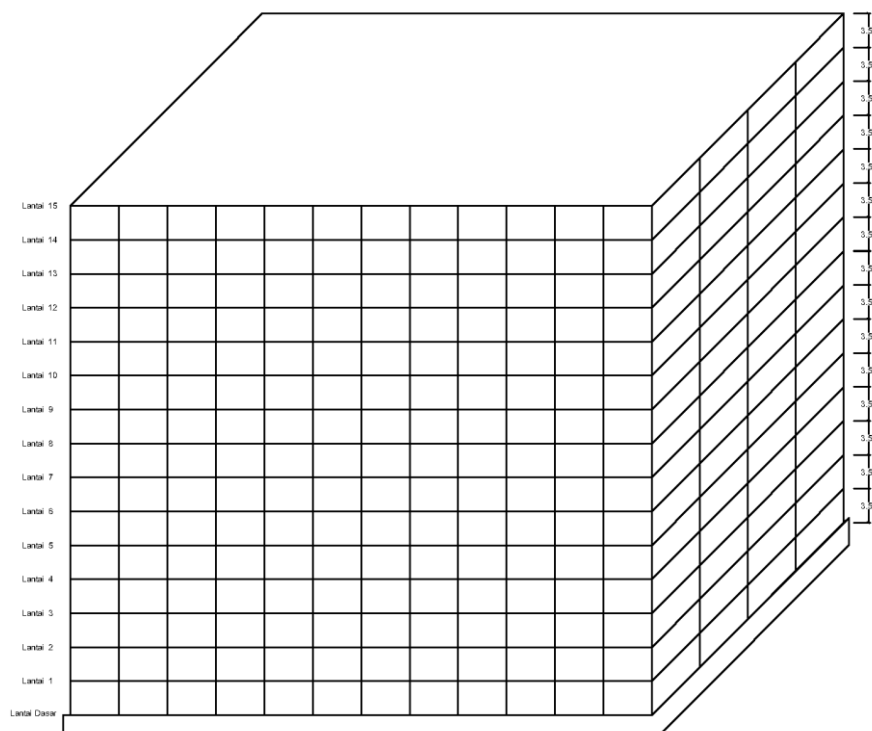
Pada penelitian ini, analisis dinamik struktur dihitung dengan program DDAP (*Dependent Dynamic Analysis Program*) yaitu sebuah program yang dikembangkan melalui program MATLAB R2013a. Program ini akan mempermudah analisis perhitungan terutama pada bagian iterasi respon struktur bangunan yang memiliki jumlah yang sangat banyak dan juga mempermudah perhitungan-perhitungan dinamik yang rumit seperti menghitung akar persamaan polinomial dan karakteristik vibrasi. Program ini memuat perhitungan frekuensi sudut (ω), frekuensi natural (f), periode getar struktur (T), dan respon dinamik struktur yang berupa simpangan netto, sudut rotasi, simpangan rotasi, simpangan total, *interstorey drift ratio*, gaya horizontal tingkat, gaya geser tingkat, dan momen guling. Input yang dibutuhkan program ini adalah nilai massa dan kekakuan struktur atas bangunan, massa lantai dasar, momen inersia polar, kekakuan dan redaman interaksi tanah dengan fondasi, serta nilai percepatan tanah akibat gempa yang menjadi beban gempa pada struktur. Nilai-nilai tersebut dapat diperhitungkan terlebih dahulu menggunakan Ms Excel. Output dari program ini akan tercatat pada Ms Excel yang telah disediakan. Verifikasi perhitungan dapat dilihat pada Lampiran 3 dan *coding* program DDAP dapat dilihat pada Lampiran 5.

Penentuan dimensi untuk pemodelan pelat, balok, dan kolom pada struktur atas bangunan menggunakan *trial and error* pada *software* SAP2000 v14 dan dicek keamanannya seperti yang tertera pada Lampiran 1. Fondasi yang digunakan dicek terlebih dahulu keamanannya terhadap daya dukung dan penurunan yang terjadi seperti yang tertera pada Lampiran 1. Hubungan antara respon struktur yang terjadi pada 2 bidang juga telah dicek menggunakan *software* SAP2000 v14.

5.2 Berat Struktur Atas Bangunan

Berat struktur atas bangunan diperlukan dalam perhitungan massa bangunan yang nantinya akan berpengaruh pada respon dinamik struktur. Berat bangunan

dihitung berdasarkan pembebanan akibat beban mati dan beban hidup serta kombinasi beban yang sesuai dengan PPPURG 1987 dan SNI 1726-2012 seperti yang telah dicantumkan pada batasan penelitian. Berat struktur atas ditinjau secara 3 dimensi (3D) sehingga merupakan berat total seluruh portal baik arah x maupun arah y. Struktur bangunan yang digunakan merupakan struktur bangunan 15 lantai dengan bentang balok pendek 5 m, bentang balok panjang 7 m, dan tinggi kolom 3,5 m. Model struktur dapat dilihat pada Gambar 5.1 berikut ini.



Gambar 5.1 Model 3D Bangunan Reguler

Untuk menghitung berat bangunan diperlukan data-data awal sebagai berikut.

1. Mutu Bahan

- a. $f'c$ balok = 30 MPa
- b. $f'c$ kolom = 30 MPa
- c. $f'c$ pelat = 30 MPa
- d. $f'c$ fondasi = 30 MPa
- e. f_y dengan $D \leq 12$ mm = 340 MPa
- f. f_y dengan $D > 12$ mm = 390 MPa

2. Tebal Pelat

- a. Pelat lantai = 12 cm
- b. Pelat atap = 10 cm

3. Dimensi Balok Lantai 1-15

a. Arah X (B_x)

- Panjang (L) = 5 m
- Lebar (B) = 35 cm
- Tinggi (H) = 70 cm

b. Arah Y (B_y)

- Panjang (L) = 7 m
- Lebar (B) = 40 cm
- Tinggi (H) = 80 cm

4. Dimensi Kolom Lantai 1-15

a. K_1

- Tinggi (T) = 3,5 m
- Lebar (B) = 70 cm
- Panjang (H) = 90 cm

5. Berat Material

- a. Keramik = 0,0175 T/m²
- b. γ spesi = 1,9 T/m³
- c. γ pasir urug = 1,6 T/m³
- d. γ beton = 2,4 T/m³
- e. Plafon = 0,011 T/m²
- f. γ lapisan kedap air = 1,9 T/m³
- g. γ dinding = 0,2 T/m²

5.2.1 Perhitungan Berat Pelat

Berat pelat dihitung berdasarkan beban mati dan beban hidup pelat per satuan luas. Beban mati terbagi 2, yaitu berat sendiri struktur (*self weight*) dan beban mati tambahan berupa beban keramik, spesi, pasir urug, plafon, dan lapisan kedap air. Pelat yang akan dihitung berupa pelat lantai dan pelat atap seperti berikut ini.

1. Pembebanan Pelat Lantai

a. Beban Mati

$$1) \text{ Pelat Lantai} = 0,12 \text{ m} \times 2,4 \text{ T/m}^3 = 0,288 \text{ T/m}^2$$

$$2) \text{ Spesi} = 0,03 \text{ m} \times 1,9 \text{ T/m}^3 = 0,057 \text{ T/m}^2$$

$$3) \text{ Pasir Urug} = 0,05 \text{ m} \times 1,6 \text{ T/m}^3 = 0,08 \text{ T/m}^2$$

$$4) \text{ Keramik} = 0,0175 \text{ T/m}^2$$

$$5) \text{ Plafon} = 0,011 \text{ T/m}^2$$

$$\begin{aligned} Q_D \text{ PL} &= 0,288 + 0,057 + 0,08 + 0,0175 + 0,011 \\ &= 0,4535 \text{ T/m}^2 \end{aligned}$$

b. Beban Hidup

Bangunan reguler berfungsi sebagai gedung perkantoran sehingga menurut PPPURG 1987 beban hidup pada pelat lantai bangunan (Q_L) sebesar 250 kg/m² atau 0,25 T/m².

2. Pembebanan Pelat Atap

a. Beban Mati

$$1) \text{ Pelat Atap} = 0,10 \text{ m} \times 2,4 \text{ T/m}^3 = 0,240 \text{ T/m}^2$$

$$2) \text{ Lapisan Kedap Air} = 0,03 \text{ m} \times 1,9 \text{ T/m}^3 = 0,057 \text{ T/m}^2$$

$$3) \text{ Plafon} = 0,011 \text{ T/m}^2$$

$$\begin{aligned} Q_D \text{ PA} &= 0,240 + 0,057 + 0,011 \\ &= 0,308 \text{ T/m}^2 \end{aligned}$$

b. Beban Hidup

Bangunan reguler berfungsi sebagai gedung perkantoran sehingga menurut PPPURG 1987 beban hidup pada pelat atap bangunan (Q_L) sebesar 100 kg/m² atau 0,1 T/m².

3. Berat Pelat

$$\begin{aligned} \text{Luasan pelat (A)} &= L \text{ balok y} \times L \text{ balok x} \\ &= 7 \times 5 \\ &= 35 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$n \text{ pelat} = 48$$

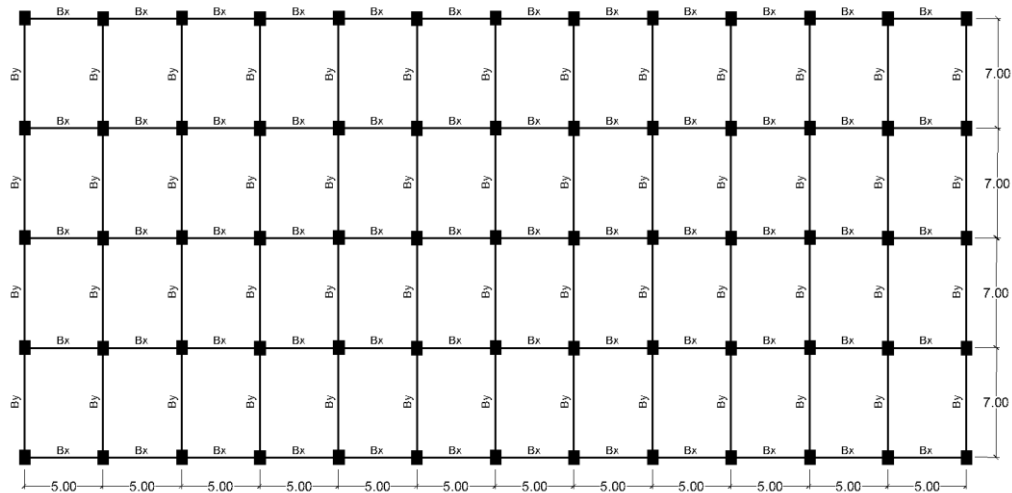
$$\begin{aligned} \text{Berat pelat lantai (W)} &= A \text{ pelat} \times (Q_D + 0,3 Q_L) \times n \\ &= 35 \times [0,4535 + 0,3 (0,25)] \times 48 \end{aligned}$$

$$= 887,88 \text{ Ton}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat pelat atap (W)} &= A \text{ pelat} \times (Q_D + 0,3 Q_L) \times n \\ &= 35 \times [0,308 + 0,3 (0,1)] \times 48 \\ &= 567,84 \text{ Ton} \end{aligned}$$

5.2.2 Perhitungan Berat Balok

Berat balok dihitung berdasarkan berat sendiri struktur balok. Balok yang akan dihitung berupa balok arah x dan balok arah y dengan denah balok dapat dilihat pada Gambar 5.2 berikut ini.



Gambar 5.2 Denah Balok

1. Balok Arah X (B_x)

$$n B_x = 60$$

$$\begin{aligned} H_n B_x &= H \text{ balok } x - \text{Tebal Pelat} \\ &= 0,7 - 0,12 = 0,58 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_n B_x &= L \text{ balok } x - B \text{ kolom} \\ &= 5 - 0,7 = 4,3 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luasan balok } x (A) &= B \times H_n \\ &= 0,35 \times 0,58 = 0,203 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume balok } x (V) &= A \times L_n \\ &= 0,203 \times 4,3 = 0,8729 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Berat balok } x \text{ lantai 1-14 (W)} = V \times \gamma \times n$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,8729 \times 2,4 \times 60 \\
 &= 125,698 \text{ Ton} \\
 \text{Berat balok x lantai 15 (W)} &= V \times \gamma \times n \\
 &= 0,903 \times 2,4 \times 60 \\
 &= 130,032 \text{ Ton}
 \end{aligned}$$

2. Balok Arah Y (B_y)

$$\begin{aligned}
 n_{B_y} &= 52 \\
 H_n_{B_y} &= H \text{ balok} \times \text{Tebal Pelat} \\
 &= 0,8 - 0,12 = 0,68 \text{ m} \\
 L_n_{B_y} &= L \text{ balok} \times \text{H kolom} \\
 &= 7 - 0,9 = 6,1 \text{ m} \\
 \text{Luasan balok y (A)} &= B \times H_n \\
 &= 0,4 \times 0,68 = 0,272 \text{ m}^2 \\
 \text{Volume balok y (V)} &= A \times L_n \\
 &= 0,272 \times 6,1 = 1,6592 \text{ m}^3 \\
 \text{Berat balok y lantai 1-14 (W)} &= V \times \gamma \times n \\
 &= 1,6592 \times 2,4 \times 52 \\
 &= 207,068 \text{ Ton} \\
 \text{Berat balok y lantai 15 (W)} &= V \times \gamma \times n \\
 &= 1,708 \times 2,4 \times 52 \\
 &= 213,158 \text{ Ton}
 \end{aligned}$$

3. Berat Balok

$$\begin{aligned}
 \text{Berat balok lantai 1-14 (W)} &= \text{Berat balok x lt 1-14} + \text{Berat balok y lt 1-14} \\
 &= 125,698 + 207,068 \\
 &= 332,766 \text{ Ton} \\
 \text{Berat balok lantai 15 (W)} &= \text{Berat balok x lt 15} + \text{Berat balok y lt 15} \\
 &= 130,032 + 213,158 \\
 &= 343,190 \text{ Ton}
 \end{aligned}$$

5.2.3 Perhitungan Berat Kolom

Berat kolom dihitung berdasarkan berat sendiri struktur kolom (K_1) yang akan dihitung seperti berikut ini.

$$\begin{aligned}
 n \text{ kolom} &= 65 \\
 T_n \text{ kolom} &= T - \text{Tebal Pelat} \\
 &= 3,5 - 0,12 = 3,38 \text{ m} \\
 \text{Luasan kolom (A)} &= B \times H \\
 &= 0,7 \times 0,9 = 0,63 \text{ m}^2 \\
 \text{Volume kolom (V)} &= A \times T_n \\
 &= 0,63 \times 3,38 = 2,1294 \text{ m}^3 \\
 \text{Berat kolom lantai 1-14 (W)} &= V \times \gamma \times n \\
 &= 2,1294 \times 2,4 \times 65 \\
 &= 332,186 \text{ Ton} \\
 \text{Berat kolom lantai 15 (W)} &= V \times \gamma \times n \\
 &= 1,0395 \times 2,4 \times 65 \\
 &= 162,162 \text{ Ton}
 \end{aligned}$$

5.2.4 Perhitungan Berat Dinding

Berat dinding dihitung berdasarkan berat sendiri dinding yang akan dihitung seperti berikut ini.

1. Pembebanan Dinding

$$\begin{aligned}
 \text{Tinggi dinding (H)} &= \text{Tinggi Kolom} - H \text{ balok} \\
 &= 3,5 - 0,7 \\
 &= 2,8 \text{ m} \\
 \text{Berat per luas} &= 0,2 \text{ T/m}^2 \text{ untuk dinding batako dengan tebal 20 cm} \\
 Q_D &= \text{Berat per luas} \times H \\
 &= 0,2 \times 2,8 \\
 &= 0,56 \text{ T/m}
 \end{aligned}$$

2. Berat Dinding

a. Dinding Arah X

$$\begin{aligned}
 n &= 60 \\
 L_n &= L \text{ balok} \times - B \text{ kolom} \\
 &= 5 - 0,7 = 4,3 \text{ m} \\
 \text{Berat dinding x (W)} &= Q_D \times L_n \times n \\
 &= 0,56 \times 4,3 \times 60
 \end{aligned}$$

$$= 144,48 \text{ Ton}$$

b. Dinding Arah Y

$$n = 52$$

$$L_n = L \text{ balok } y - H \text{ kolom}$$

$$= 7 - 0,9 = 6,1 \text{ m}$$

$$\text{Berat dinding } y \text{ (W)} = Q_D \times L_n \times n$$

$$= 0,56 \times 6,1 \times 52$$

$$= 177,632 \text{ Ton}$$

$$\text{Berat dinding (W)} = \text{Berat dinding } x + \text{Berat dinding } y$$

$$= 144,48 + 177,632$$

$$= 322,112 \text{ Ton}$$

5.2.5 Perhitungan Berat Total Setiap Lantai

Berat total setiap lantai merupakan penjumlahan dari berat struktur atas bangunan pada setiap lantai akibat berat pelat, berat balok, berat kolom, dan berat dinding. Berat bangunan pada lantai 15/atap tidak dipengaruhi oleh berat dinding. Berikut ini adalah contoh perhitungan berat total setiap lantai.

$$\text{Tipikal Lantai 1-14} = \text{Berat pelat} + \text{Berat balok} + \text{Berat kolom} + \text{Berat dinding}$$

$$= 887,88 + 332,766 + 332,186 + 322,112$$

$$= 1874,944 \text{ Ton}$$

$$\text{Lantai 15/Atap} = \text{Berat pelat} + \text{Berat balok} + \text{Berat kolom}$$

$$= 567,84 + 343,190 + 162,162$$

$$= 1073,192 \text{ Ton}$$

5.3 Perhitungan Karakteristik Dinamik Struktur Atas Bangunan

Karakteristik dinamik struktur atas bangunan gedung terdiri dari massa, kekakuan, dan redaman. Ketiga hal ini yang akan sangat mempengaruhi getaran yang terjadi pada bangunan serta respon dinamik yang terjadi pada struktur. Perhitungan karakteristik dinamik struktur atas bangunan akan dijelaskan sebagai berikut ini.

5.3.1 Perhitungan Massa Struktur Atas

Pada perhitungan massa struktur, massa dianggap menggumpal di tengah bentang (titik berat) dan dihitung pada setiap lantai. Sistem ini disebut dengan *lumped mass*. Perhitungan massa struktur menggunakan persamaan 3.1 dimana massa adalah berat dibagi percepatan gravitasi. Nilai percepatan gravitasi diambil sebesar 981 cm/dt². Berikut ini adalah contoh perhitungan massa struktur atas.

$$\begin{aligned}
 m_1 &= \frac{W_1}{g} \\
 &= \frac{1874,944 \times 1000}{981} \\
 &= 1911,2581 \text{ kg dt}^2/\text{cm}
 \end{aligned}$$

Massa pada lantai 2 dan seterusnya menggunakan cara perhitungan yang sama. Berikut ini adalah nilai berat dan massa setiap lantai pada struktur atas bangunan reguler yang dapat dilihat pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Berat dan Massa Struktur Atas Bangunan

Lantai	Berat (Ton)	Massa (kg dt ² /cm)
15/Atap	1073,192	1093,9780
14	1874,944	1911,2581
13	1874,944	1911,2581
12	1874,944	1911,2581
11	1874,944	1911,2581
10	1874,944	1911,2581
9	1874,944	1911,2581
8	1874,944	1911,2581
7	1874,944	1911,2581
6	1874,944	1911,2581
5	1874,944	1911,2581
4	1874,944	1911,2581
3	1874,944	1911,2581
2	1874,944	1911,2581
1	1874,944	1911,2581

5.3.2 Perhitungan Kekakuan Struktur Atas

Kekakuan dianggap sebagai pegas dengan rangkaian paralel sehingga besarnya nilai kekakuan setiap lantai adalah penjumlahan dari kekakuan setiap kolom yang ada pada lantai tersebut. Kekakuan struktur atas ditinjau secara 3 dimensi (3D) sehingga akan memiliki nilai pada arah x dan arah y. Metode perhitungan kekakuan yang digunakan adalah metode Muto, tetapi sebelumnya diperhitungkan terlebih dahulu kekakuan dengan prinsip *shear building*. Beberapa parameter lain juga diperhitungkan seperti inersia balok dan inersia kolom. Perhitungan kekakuan struktur atas dengan metode muto akan dijelaskan sebagai berikut ini.

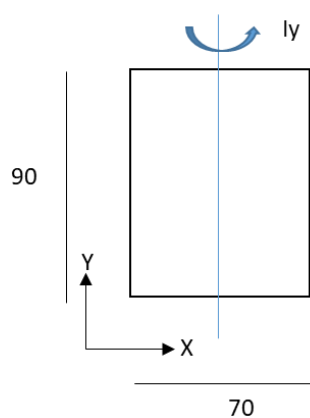
1. Modulus Elastisitas Kolom

$$\begin{aligned} E_c &= 4700 \sqrt{f'c} \\ &= 4700 \sqrt{30} \times 100/9,81 \\ &= 262415,4965 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

2. Inersia Kolom

Semua kolom memiliki ukuran yang sama pada penelitian ini sehingga nilai inersia pada setiap kolom akan sama nilainya baik itu arah x maupun arah y. Namun, inersia kolom pada arah x dan arah y akan berbeda nilainya karena memiliki nilai lebar dengan tinggi yang tidak sama.

a. Terhadap Arah Y (Searah X)



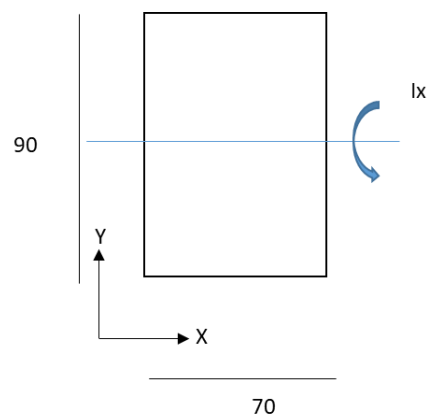
Gambar 5.3 Inersia Kolom Terhadap Sumbu Y

$$B = 70 \text{ cm}$$

$$H = 90 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} I_c &= \frac{1}{12} \times B^3 \times H \\ &= \frac{1}{12} \times 70^3 \times 90 \\ &= 2572500 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

b. Terhadap Arah X (Searah Y)



Gambar 5.4 Inersia Kolom Terhadap Sumbu X

$$B = 70 \text{ cm}$$

$$H = 90 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} I_c &= \frac{1}{12} \times B \times H^3 \\ &= \frac{1}{12} \times 70 \times 90^3 \\ &= 4252500 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

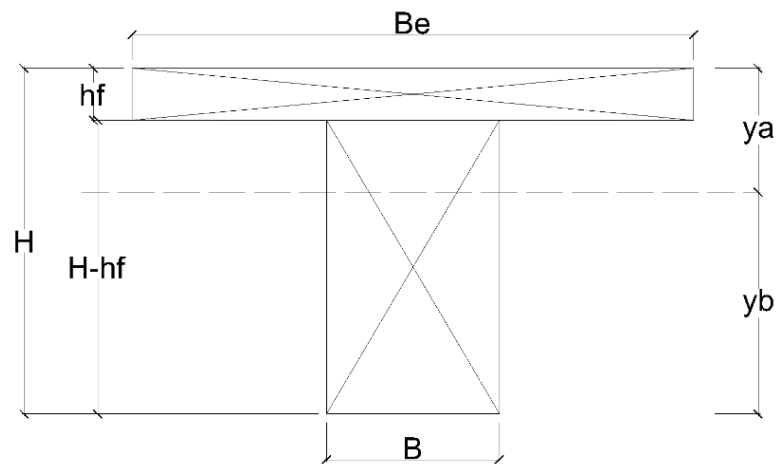
3. Inersia Balok

Perhitungan inersia balok menggunakan analisis inersia balok tampang T karena memperhitungkan kekakuan pelat dan bangunan masih dalam kondisi elastis dengan *interstorey drift ratio* $< 0,5\%$ (sesuai Peraturan Perencanaan Tahan Gempa Indonesia Untuk Gedung 1981). Balok tampang T akan berbeda bentuknya pada portal tengah dan portal tepi dan juga akan berbeda nilainya

pada lantai 1-14 dan lantai 15 akibat tebal pelat yang berbeda. Perhitungan inersia balok tampang T akan dijelaskan sebagai berikut ini.

a. Portal Tengah

Perhitungan kekakuan struktur atas pada portal tengah akan terbagi dalam arah x dan arah y dan tipikal lantai 1-14 dan lantai 15/atap. Tampang balok T pada portal tengah dapat dilihat pada Gambar 5.5 berikut ini.



Gambar 5.5 Potongan Balok Tampang T Portal Tengah

1) Arah X

a) B_x tipikal lantai 1-14

$$B = 35 \text{ cm}$$

$$H = 70 \text{ cm}$$

$$h_f = 12 \text{ cm}$$

$$L = 500 \text{ cm}$$

(1) Lebar efektif

$$B_e = \frac{L}{4}$$

$$= \frac{500}{4}$$

$$= 125 \text{ cm}$$

$$B_e = B + 16 h_f$$

$$= 35 + (16 \times 12)$$

$$= 227 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} \text{Be} &= B + L \\ &= 35 + 500 \\ &= 535 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Be pakai} &= \text{yang terkecil} \\ &= 125 \text{ cm} \end{aligned}$$

(2) y_a dan y_b

$$\begin{aligned} y_a &= \frac{\left[h_f \times B_e \times \frac{1}{2} h_f \right] + \left[(H - h_f) \times B \times \left(\frac{H - h_f}{2} + h_f \right) \right]}{\left[h_f \times B_e \right] + \left[(H - h_f) \times B \right]} \\ &= \frac{\left[12 \times 125 \times \frac{1}{2} \cdot 12 \right] + \left[(70 - 12) \times 35 \times \left(\frac{70 - 12}{2} + 12 \right) \right]}{\left[12 \times 125 \right] + \left[(70 - 12) \times 35 \right]} \\ &= 26,1275 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y_b &= H - y_a \\ &= 70 - 26,1275 \\ &= 43,8725 \text{ cm} \end{aligned}$$

(3) Inersia balok

$$\begin{aligned} I &= I_{x_0} + A \cdot y^2 \\ &= \left[\frac{1}{12} \times B_e \times h_f^3 + B_e \times h_f \times \left(y_a - \frac{1}{2} h_f \right)^2 \right] + \left[\frac{1}{12} \times B \times (H - h_f)^3 + B \times (H - h_f) \times \left(y_b - \frac{1}{2} (H - h_f) \right)^2 \right] \\ &= \left[\frac{1}{12} \times 125 \times 12^3 + 125 \times 12 \times \left(26,1275 - \frac{1}{2} \cdot 12 \right)^2 \right] + \left[\frac{1}{12} \times 35 \times (70 - 12)^3 + 35 \times (70 - 12) \times \left(43,8725 - \frac{1}{2} (70 - 12) \right)^2 \right] \\ &= 1643769,301 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

b) B_x lantai 15/atap

$$B = 35 \text{ cm}$$

$$H = 70 \text{ cm}$$

$$h_f = 10 \text{ cm}$$

$$L = 500 \text{ cm}$$

(1) Lebar efektif

$$\begin{aligned} B_e &= \frac{L}{4} \\ &= \frac{500}{4} \end{aligned}$$

$$= 125 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} B_e &= B + 16 h_f \\ &= 35 + (16 \times 10) \\ &= 195 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B_e &= B + L \\ &= 35 + 500 \\ &= 535 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B_e \text{ pakai} &= \text{yang terkecil} \\ &= 125 \text{ cm} \end{aligned}$$

(2) y_a dan y_b

$$\begin{aligned} y_a &= \frac{\left[h_f \times B_e \times \frac{1}{2} h_f \right] + \left[(H - h_f) \times B \times \left(\frac{H - h_f}{2} + h_f \right) \right]}{\left[h_f \times B_e \right] + \left[(H - h_f) \times B \right]} \\ &= \frac{\left[10 \times 125 \times \frac{1}{2} \cdot 10 \right] + \left[(70 - 10) \times 35 \times \left(\frac{70 - 10}{2} + 10 \right) \right]}{\left[10 \times 125 \right] + \left[(70 - 10) \times 35 \right]} \\ &= 26,9403 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y_b &= H - y_a \\ &= 70 - 26,9403 \\ &= 43,0597 \text{ cm} \end{aligned}$$

(3) Inersia balok

$$\begin{aligned} I &= I_{x_0} + A \cdot y^2 \\ &= \left[\frac{1}{12} \times B_e \times h_f^3 + B_e \times h_f \times \left(y_a - \frac{1}{2} h_f \right)^2 \right] + \left[\frac{1}{12} \times B \times (H - h_f)^3 + B \times (H - h_f) \times \left(y_b - \frac{1}{2} (H - h_f) \right)^2 \right] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \left[\frac{1}{12} \times 125 \times 10^3 + 125 \times 10 \times \left(26,9403 - \frac{1}{2} \times 10 \right)^2 \right] + \\
&\quad \left[\frac{1}{12} \times 35 \times (70 - 10)^3 + 35 \times (70 - 10) \times \left(43,0597 - \right. \right. \\
&\quad \left. \left. \frac{1}{2} (70 - 10) \right)^2 \right] \\
&= 1600304,726 \text{ cm}^4
\end{aligned}$$

2) Arah Y

a) B_y tipikal lantai 1-14

$$B = 40 \text{ cm}$$

$$H = 80 \text{ cm}$$

$$h_f = 12 \text{ cm}$$

$$L = 700 \text{ cm}$$

(1) Lebar efektif

$$\begin{aligned}
B_e &= \frac{L}{4} \\
&= \frac{700}{4}
\end{aligned}$$

$$= 175 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned}
B_e &= B + 16 h_f \\
&= 40 + (16 \times 12) \\
&= 232 \text{ cm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
B_e &= B + L \\
&= 40 + 700 \\
&= 740 \text{ cm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
B_e \text{ pakai} &= \text{yang terkecil} \\
&= 175 \text{ cm}
\end{aligned}$$

(2) y_a dan y_b

$$y_a = \frac{\left[h_f \times B_e \times \frac{1}{2} h_f \right] + \left[(H - h_f) \times B \times \left(\frac{H - h_f}{2} + h_f \right) \right]}{\left[h_f \times B_e \right] + \left[(H - h_f) \times B \right]}$$

$$= \frac{\left[12 \times 175 \times \frac{1}{2} \cdot 12\right] + \left[(80-12) \times 40 \times \left(\frac{80-12}{2} + 12\right)\right]}{[12 \times 175] + [(80-12) \times 40]}$$

$$= 28,5726 \text{ cm}$$

$$y_b = H - y_a$$

$$= 80 - 28,5726$$

$$= 51,4274 \text{ cm}$$

(3) Inersia balok

$$I = I_{x_0} + A \cdot y^2$$

$$= \left[\frac{1}{12} \times B_e \times h_f^3 + B_e \times h_f \times \left(y_a - \frac{1}{2} h_f\right)^2 \right] + \left[\frac{1}{12} \times B \times (H - h_f)^3 + B \times (H - h_f) \times \left(y_b - \frac{1}{2} (H - h_f)\right)^2 \right]$$

$$= \left[\frac{1}{12} \times 175 \times 12^3 + 175 \times 12 \times \left(28,5726 - \frac{1}{2} \cdot 12\right)^2 \right] +$$

$$\left[\frac{1}{12} \times 40 \times (80 - 12)^3 + 40 \times (80 - 12) \times \left(51,4274 - \frac{1}{2} (80 - 12)\right)^2 \right]$$

$$= 2969406,252 \text{ cm}^4$$

b) B_y lantai 15/atap

$$B = 40 \text{ cm}$$

$$H = 80 \text{ cm}$$

$$h_f = 10 \text{ cm}$$

$$L = 700 \text{ cm}$$

(1) Lebar efektif

$$B_e = \frac{L}{4}$$

$$= \frac{700}{4}$$

$$= 175 \text{ cm}$$

$$B_e = B + 16 h_f$$

$$= 40 + (16 \times 10)$$

$$= 200 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} \text{Be} &= B + L \\ &= 40 + 700 \\ &= 740 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Be pakai} &= \text{yang terkecil} \\ &= 175 \text{ cm} \end{aligned}$$

(2) y_a dan y_b

$$\begin{aligned} y_a &= \frac{\left[h_f \times B_e \times \frac{1}{2} h_f \right] + \left[(H - h_f) \times B \times \left(\frac{H - h_f}{2} + h_f \right) \right]}{\left[h_f \times B_e \right] + \left[(H - h_f) \times B \right]} \\ &= \frac{\left[10 \times 175 \times \frac{1}{2} \cdot 10 \right] + \left[(80 - 10) \times 40 \times \left(\frac{80 - 10}{2} + 10 \right) \right]}{\left[10 \times 175 \right] + \left[(80 - 10) \times 40 \right]} \\ &= 29,6154 \text{ cm} \end{aligned}$$

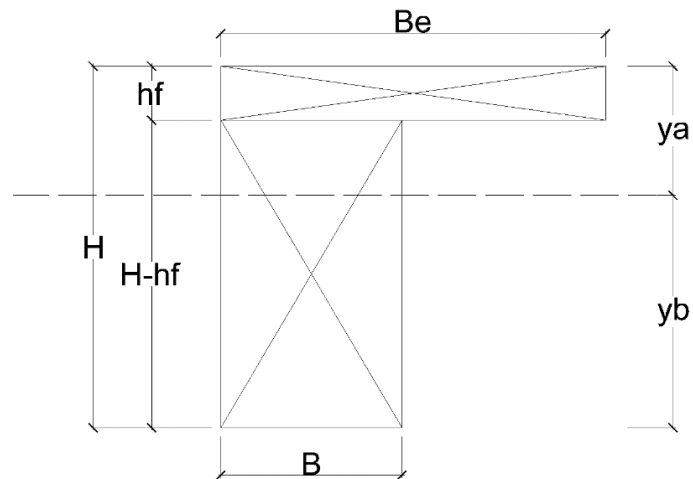
$$\begin{aligned} y_b &= H - y_a \\ &= 80 - 28,5726 \\ &= 50,3846 \text{ cm} \end{aligned}$$

(3) Inersia balok

$$\begin{aligned} I &= I_{x_0} + A \cdot y^2 \\ &= \left[\frac{1}{12} \times B_e \times h_f^3 + B_e \times h_f \times \left(y_a - \frac{1}{2} h_f \right)^2 \right] + \left[\frac{1}{12} \times B \times (H - h_f)^3 + B \times (H - h_f) \times \left(y_b - \frac{1}{2} (H - h_f) \right)^2 \right] \\ &= \left[\frac{1}{12} \times 175 \times 10^3 + 175 \times 10 \times \left(29,6154 - \frac{1}{2} \cdot 10 \right)^2 \right] + \left[\frac{1}{12} \times 40 \times (80 - 10)^3 + 40 \times (80 - 10) \times \left(50,3846 - \frac{1}{2} (80 - 10) \right)^2 \right] \\ &= 2880993,59 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

b. Portal Tepi

Perhitungan kekakuan struktur atas pada portal tepi akan terbagi dalam arah x dan arah y dan tipikal lantai 1-14 dan lantai 15/atap. Tampang balok T pada portal tepi dapat dilihat pada Gambar 5.6 berikut ini.



Gambar 5.6 Potongan Balok Tampang T Portal Tepi

1) Arah X

a) B_x tipikal lantai 1-14

$$B = 35 \text{ cm}$$

$$H = 70 \text{ cm}$$

$$h_f = 12 \text{ cm}$$

$$L = 500 \text{ cm}$$

(1) Lebar efektif

$$\begin{aligned} B_e &= \frac{L}{12} \\ &= \frac{500}{12} \\ &= 41,667 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B_e &= B + 6 h_f \\ &= 35 + (6 \times 12) \\ &= 107 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$B_e = B + [0,5 \times (L-2B)]$$

$$= 35 + [0,5 \times (500-70)]$$

$$= 250 \text{ cm}$$

Be pakai = yang terkecil

= diambil 50 cm

(2) y_a dan y_b

$$y_a = \frac{[h_f \times B_e \times \frac{1}{2}h_f] + [(H-h_f) \times B \times (\frac{H-h_f}{2} + h_f)]}{[h_f \times B_e] + [(H-h_f) \times B]}$$

$$= \frac{[12 \times 50 \times \frac{1}{2} \cdot 12] + [(70-12) \times 35 \times (\frac{70-12}{2} + 12)]}{[12 \times 50] + [(70-12) \times 35]}$$

$$= 33,0152 \text{ cm}$$

$$y_b = H - y_a$$

$$= 70 - 33,0152$$

$$= 36,7308 \text{ cm}$$

(3) Inersia balok

$$I = I_{x_0} + A \cdot y^2$$

$$= \left[\frac{1}{12} \times B_e \times h_f^3 + B_e \times h_f \times \left(y_a - \frac{1}{2}h_f \right)^2 \right] + \left[\frac{1}{12} \times B \times (H - h_f)^3 + B \times (H - h_f) \times \left(y_b - \frac{1}{2}(H - h_f) \right)^2 \right]$$

$$= \left[\frac{1}{12} \times 50 \times 12^3 + 50 \times 12 \times \left(33,0152 - \frac{1}{2}12 \right)^2 \right] +$$

$$\left[\frac{1}{12} \times 35 \times (70 - 12)^3 + 35 \times (70 - 12) \times \left(36,7308 - \frac{1}{2}(70 - 12) \right)^2 \right]$$

$$= 1143596,058 \text{ cm}^4$$

b) B_x lantai 15/atap

$$B = 35 \text{ cm}$$

$$H = 70 \text{ cm}$$

$$h_f = 10 \text{ cm}$$

$$L = 500 \text{ cm}$$

(1) Lebar efektif

$$\begin{aligned} \text{Be} &= \frac{L}{12} \\ &= \frac{500}{12} \\ &= 41,667 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Be} &= B + 6 h_f \\ &= 35 + (6 \times 10) \\ &= 95 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Be} &= B + [0,5 \times (L-2B)] \\ &= 35 + [0,5 \times (500-70)] \\ &= 250 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Be pakai} &= \text{yang terkecil} \\ &= \text{diambil } 50 \text{ cm} \end{aligned}$$

(2) y_a dan y_b

$$\begin{aligned} y_a &= \frac{\left[h_f \times B_e \times \frac{1}{2} h_f \right] + \left[(H-h_f) \times B \times \left(\frac{H-h_f}{2} + h_f \right) \right]}{\left[h_f \times B_e \right] + \left[(H-h_f) \times B \right]} \\ &= \frac{\left[10 \times 50 \times \frac{1}{2} \cdot 10 \right] + \left[(70-10) \times 35 \times \left(\frac{70-10}{2} + 10 \right) \right]}{\left[10 \times 50 \right] + \left[(70-10) \times 35 \right]} \\ &= 33,2692 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y_b &= H - y_a \\ &= 70 - 33,2692 \\ &= 36,7308 \text{ cm} \end{aligned}$$

(3) Inersia balok

$$\begin{aligned} I &= I_{x_0} + A \cdot y^2 \\ &= \left[\frac{1}{12} \times B_e \times h_f^3 + B_e \times h_f \times \left(y_a - \frac{1}{2} h_f \right)^2 \right] + \left[\frac{1}{12} \times B \times (H - h_f)^3 + B \times (H - h_f) \times \left(y_b - \frac{1}{2} (H - h_f) \right)^2 \right] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \left[\frac{1}{12} \times 50 \times 10^3 + 50 \times 10 \times \left(33,2692 - \frac{1}{2} \times 10 \right)^2 \right] + \\
&\quad \left[\frac{1}{12} \times 35 \times (70 - 10)^3 + 35 \times (70 - 10) \times \left(36,7308 - \right. \right. \\
&\quad \left. \left. \frac{1}{2} (70 - 10) \right)^2 \right] \\
&= 1128878,205 \text{ cm}^4
\end{aligned}$$

2) Arah Y

a) By tipikal lantai 1-14

$$B = 40 \text{ cm}$$

$$H = 80 \text{ cm}$$

$$h_f = 12 \text{ cm}$$

$$L = 700 \text{ cm}$$

(1) Lebar efektif

$$\begin{aligned}
Be &= \frac{L}{12} \\
&= \frac{700}{12} \\
&= 58,333 \text{ cm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Be &= B + 6 h_f \\
&= 40 + (6 \times 12) \\
&= 112 \text{ cm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
Be &= B + [0,5 \times (L - 2B)] \\
&= 40 + [0,5 \times (700 - 80)] \\
&= 350 \text{ cm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Be pakai} &= \text{yang terkecil} \\
&= \text{diambil } 60 \text{ cm}
\end{aligned}$$

(2) y_a dan y_b

$$y_a = \frac{\left[h_f \times B_e \times \frac{1}{2} h_f \right] + \left[(H - h_f) \times B \times \left(\frac{H - h_f}{2} + h_f \right) \right]}{\left[h_f \times B_e \right] + \left[(H - h_f) \times B \right]}$$

$$= \frac{\left[12 \times 60 \times \frac{1}{2} \times 12\right] + \left[(80-12) \times 40 \times \left(\frac{80-12}{2} + 12\right)\right]}{[12 \times 60] + [(80-12) \times 40]}$$

$$= 37,6279 \text{ cm}$$

$$y_b = H - y_a$$

$$= 80 - 37,6279$$

$$= 42,3721 \text{ cm}$$

(3) Inersia balok

$$I = I_{x_0} + A \cdot y^2$$

$$= \left[\frac{1}{12} \times B_e \times h_f^3 + B_e \times h_f \times \left(y_a - \frac{1}{2} h_f \right)^2 \right] + \left[\frac{1}{12} \times B \times (H - h_f)^3 + B \times (H - h_f) \times \left(y_b - \frac{1}{2} (H - h_f) \right)^2 \right]$$

$$= \left[\frac{1}{12} \times 60 \times 12^3 + 60 \times 12 \times \left(37,6279 - \frac{1}{2} \times 12 \right)^2 \right] +$$

$$\left[\frac{1}{12} \times 40 \times (80 - 12)^3 + 40 \times (80 - 12) \times \left(42,3721 - \frac{1}{2} (80 - 12) \right)^2 \right]$$

$$= 1967630,388 \text{ cm}^4$$

b) B_y lantai 15/atap

$$B = 40 \text{ cm}$$

$$H = 80 \text{ cm}$$

$$h_f = 10 \text{ cm}$$

$$L = 700 \text{ cm}$$

(1) Lebar efektif

$$B_e = \frac{L}{12}$$

$$= \frac{700}{12}$$

$$= 58,333 \text{ cm}$$

$$B_e = B + 6 h_f$$

$$= 40 + (6 \times 10)$$

$$= 100 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} \text{Be} &= B + [0,5 \times (L-2B)] \\ &= 40 + [0,5 \times (700-80)] \\ &= 350 \text{ cm} \end{aligned}$$

Be pakai = yang terkecil
= diambil 60 cm

(2) y_a dan y_b

$$\begin{aligned} y_a &= \frac{[h_f \times B_e \times \frac{1}{2}h_f] + [(H-h_f) \times B \times (\frac{H-h_f}{2} + h_f)]}{[h_f \times B_e] + [(H-h_f) \times B]} \\ &= \frac{[10 \times 60 \times \frac{1}{2} \cdot 10] + [(80-10) \times 40 \times (\frac{80-10}{2} + 10)]}{[10 \times 60] + [(80-10) \times 40]} \\ &= 37,9412 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y_b &= H - y_a \\ &= 80 - 37,9412 \\ &= 42,0588 \text{ cm} \end{aligned}$$

(3) Inersia balok

$$\begin{aligned} I &= I_{x_0} + A \cdot y^2 \\ &= \left[\frac{1}{12} \times B_e \times h_f^3 + B_e \times h_f \times \left(y_a - \frac{1}{2}h_f \right)^2 \right] + \left[\frac{1}{12} \times B \times (H - h_f)^3 + B \times (H - h_f) \times \left(y_b - \frac{1}{2}(H - h_f) \right)^2 \right] \\ &= \left[\frac{1}{12} \times 60 \times 10^3 + 60 \times 10 \times \left(37,9412 - \frac{1}{2} \cdot 10 \right)^2 \right] + \left[\frac{1}{12} \times 40 \times (80 - 10)^3 + 40 \times (80 - 10) \times \left(42,0588 - \frac{1}{2}(80 - 10) \right)^2 \right] \\ &= 1938921,569 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

4. Kekakuan Prinsip *Shear Building*

Kekakuan prinsip *shear building* ditinjau 3 dimensi (3D) akibat pembebanan 2 arah. Kekakuan ini akan berbeda nilainya pada arah x dan arah y karena

perbedaan nilai inersia kolom arah x dan arah y. Kekakuan ini bersifat *upperbound* karena anggapan bahwa kolom dijepit dengan sempurna oleh pelat dan balok sehingga tidak akan terjadi rotasi pada ujung kolom. Perhitungan kekakuan metode *shear building* akan dijelaskan sebagai berikut ini.

a. Arah X

$$\begin{aligned} K_f &= \frac{12 \times E_c \times I_{cy}}{H^3} \\ &= \frac{12 \times 262415,4965 \times 2572500}{350^3} \\ &= 188939,1575 \text{ kg/cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_{shear\ building} &= n \text{ kolom} \times K_f \\ &= 65 \times 188939,1575 \\ &= 12281045,23 \text{ kg/cm} \end{aligned}$$

b. Arah Y

$$\begin{aligned} K_f &= \frac{12 \times E_c \times I_{cx}}{H^3} \\ &= \frac{12 \times 262415,4965 \times 4252500}{350^3} \\ &= 312327,995 \text{ kg/cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_{shear\ building} &= n \text{ kolom} \times K_f \\ &= 65 \times 312327,995 \\ &= 20301319,67 \text{ kg/cm} \end{aligned}$$

5. Kekakuan Metode Muto

Kekakuan metode muto ditinjau 3 dimensi (3D) akibat pembebanan 2 arah. Kekakuan ini akan berbeda nilainya pada arah x dan arah y karena inersia kolom, pengaruh kekakuan balok, model portal, dan bentang yang berbeda. Kekakuan ini juga akan berbeda antara portal tepi dengan portal tengah karena kekakuan balok T yang berbeda. Kekakuan ini memiliki nilai yang lebih nyata/riil karena adanya pengaruh pelat dan balok dalam menjepit ujung kolom. Semakin kaku pelat dan balok maka nilai kekakuan ini akan semakin mendekati nilai kekakuan dengan prinsip *shear building*. Perhitungan kekakuan dengan metode muto dijelaskan sebagai berikut.

a. Kekakuan Arah X

1) Portal Tengah

a) Nilai I_c/L dan I_b/L (1) K_1 lantai 1-15

$$\begin{aligned}\frac{I_c}{L} &= \frac{2572500}{350} \\ &= 7350 \text{ cm}^3\end{aligned}$$

(2) B_x tengah lantai 1-14

$$\begin{aligned}\frac{I_{b1-14}}{L} &= \frac{1643769,301}{500} \\ &= 3287,5386 \text{ cm}^3\end{aligned}$$

(3) B_x tengah lantai 15/atap

$$\begin{aligned}\frac{I_{b15}}{L} &= \frac{1600304,726}{500} \\ &= 3200,6095 \text{ cm}^3\end{aligned}$$

b) Konstanta (K)

Nilai K diambil = 3200,6095 cm³

$$\begin{aligned}(1) \quad K_1 \text{ lantai 1-15} &= \frac{I_c/L}{K} \\ &= \frac{7350}{3200,6095} \\ &= 2,2964\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}(2) \quad B_x \text{ tengah lantai 1-14} &= \frac{I_{b1-14}/L}{K} \\ &= \frac{3287,5386}{3200,6095} \\ &= 1,0272\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}(3) \quad B_x \text{ tengah lantai 15/atap} &= \frac{I_{b15}/L}{K} \\ &= \frac{3200,6095}{3200,6095} \\ &= 1\end{aligned}$$

c) Nilai k'

(1) Lantai 1

$$\begin{aligned} \text{(a) } k' \text{ tepi} &= \frac{\sum k_b}{2 k_c} \\ &= \frac{1,0272}{2 \times 2,2964} \\ &= 0,2236 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(b) } k' \text{ tengah} &= \frac{\sum k_b}{2 k_c} \\ &= \frac{2 \times 1,0272}{2 \times 2,2964} \\ &= 0,4473 \end{aligned}$$

(2) Lantai 2-14

$$\begin{aligned} \text{(a) } k' \text{ tepi} &= \frac{\sum k_b}{2 k_c} \\ &= \frac{2 \times 1,0272}{2 \times 2,2964} \\ &= 0,4473 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(b) } k' \text{ tengah} &= \frac{\sum k_b}{2 k_c} \\ &= \frac{4 \times 1,0272}{2 \times 2,2964} \\ &= 0,8946 \end{aligned}$$

(3) Lantai 15

$$\begin{aligned} \text{(a) } k' \text{ tepi} &= \frac{\sum k_b}{2 k_c} \\ &= \frac{1,0272+1}{2 \times 2,2964} \\ &= 0,4414 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(b) } k' \text{ tengah} &= \frac{\sum k_b}{2 k_c} \\ &= \frac{(2 \times 1,0272)+(2 \times 1)}{2 \times 2,2964} \end{aligned}$$

$$= 0,8828$$

d) Nilai C_m

(1) Lantai 1

$$\begin{aligned} \text{(a) } C_m \text{ tepi} &= \frac{k' + 0,5}{k' + 2} \\ &= \frac{0,2236 + 0,5}{0,2236 + 2} \\ &= 0,3254 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(b) } C_m \text{ tengah} &= \frac{k' + 0,5}{k' + 2} \\ &= \frac{0,4473 + 0,5}{0,4473 + 2} \\ &= 0,3871 \end{aligned}$$

(2) Lantai 2-14

$$\begin{aligned} \text{(a) } C_m \text{ tepi} &= \frac{k'}{k' + 2} \\ &= \frac{0,4473}{0,4473 + 2} \\ &= 0,1828 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(b) } C_m \text{ tengah} &= \frac{k'}{k' + 2} \\ &= \frac{0,8946}{0,8946 + 2} \\ &= 0,3091 \end{aligned}$$

(3) Lantai 15

$$\begin{aligned} \text{(a) } C_m \text{ tepi} &= \frac{k'}{k' + 2} \\ &= \frac{0,4414}{0,4414 + 2} \\ &= 0,1808 \end{aligned}$$

$$\text{(b) } C_m \text{ tengah} = \frac{k'}{k' + 2}$$

$$= \frac{0,8828}{0,8828+2}$$

$$= 0,3062$$

e) Nilai Kekakuan Muto

$$(1) K_m \text{ lantai 1} = [(n \text{ kolom tepi} \times C_m \text{ tepi}) + (n \text{ kolom tengah} \times C_m \text{ tengah})] \times K_f \times \text{jumlah portal tengah} \times 3$$

$$= [(2 \times 0,3254) + (11 \times 0,3871)] \times 188939,1575 \times 3$$

$$= 2782333,759 \text{ kg/cm}$$

$$(2) K_m \text{ lantai 2-14} = [(n \text{ kolom tepi} \times C_m \text{ tepi}) + (n \text{ kolom tengah} \times C_m \text{ tengah})] \times K_f \times \text{jumlah portal tengah} \times 3$$

$$= [(2 \times 0,1828) + (11 \times 0,3091)] \times 188939,1575 \times 3$$

$$= 2134120,312 \text{ kg/cm}$$

$$(3) K_m \text{ lantai 15/atap} = [(n \text{ kolom tepi} \times C_m \text{ tepi}) + (n \text{ kolom tengah} \times C_m \text{ tengah})] \times K_f \times \text{jumlah portal tengah} \times 3$$

$$= [(2 \times 0,1808) + (11 \times 0,3062)] \times 188939,1575 \times 3$$

$$= 2114201,457 \text{ kg/cm}$$

2) Portal Tepi

a) Nilai I_c/L dan I_b/L

$$(1) K_1 \text{ lantai 1-15}$$

$$\frac{I_c}{L} = \frac{2572500}{350}$$

$$= 7350 \text{ cm}^3$$

$$(2) B_x \text{ tepi lantai 1-14}$$

$$\frac{I_{b1-14}}{L} = \frac{1143596,058}{500}$$

$$= 2287,1921 \text{ cm}^3$$

$$(3) B_x \text{ tepi lantai 15/atap}$$

$$\frac{I_{b15}}{L} = \frac{1128878,205}{500}$$

$$= 2257,7564 \text{ cm}^3$$

b) Konstanta (K)

$$\text{Nilai K diambil} = 2257,7564 \text{ cm}^3$$

$$\begin{aligned} (1) \text{ K}_1 \text{ lantai 1-15} &= \frac{I_c/L}{K} \\ &= \frac{7350}{2257,7564} \\ &= 3,2554 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (2) \text{ B}_x \text{ tepi lantai 1-14} &= \frac{I_{b1-14}/L}{K} \\ &= \frac{2287,1921}{2257,7564} \\ &= 1,013 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (3) \text{ B}_x \text{ tepi lantai 15/atap} &= \frac{I_{b15}/L}{K} \\ &= \frac{2257,7564}{2257,7564} \\ &= 1 \end{aligned}$$

c) Nilai k'

(1) Lantai 1

$$\begin{aligned} (a) \text{ k' tepi} &= \frac{\sum k_b}{2 k_c} \\ &= \frac{1,013}{2 \times 3,2554} \\ &= 0,1556 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (b) \text{ k' tengah} &= \frac{\sum k_b}{2 k_c} \\ &= \frac{2 \times 1,013}{2 \times 3,2554} \\ &= 0,3112 \end{aligned}$$

(2) Lantai 2-14

$$(a) \text{ k' tepi} = \frac{\sum k_b}{2 k_c}$$

$$= \frac{2 \times 1,013}{2 \times 3,2554}$$

$$= 0,3112$$

$$(b) \text{ k' tengah} = \frac{\sum k_b}{2 k_c}$$

$$= \frac{4 \times 1,013}{2 \times 3,2554}$$

$$= 0,6224$$

(3) Lantai 15

$$(a) \text{ k' tepi} = \frac{\sum k_b}{2 k_c}$$

$$= \frac{1,013+1}{2 \times 3,2554}$$

$$= 0,3092$$

$$(b) \text{ k' tengah} = \frac{\sum k_b}{2 k_c}$$

$$= \frac{(2 \times 1,013)+(2 \times 1)}{2 \times 3,2554}$$

$$= 0,6184$$

d) Nilai C_m

(1) Lantai 1

$$(a) C_m \text{ tepi} = \frac{k'+0,5}{k'+2}$$

$$= \frac{0,1556+0,5}{0,1556+2}$$

$$= 0,3041$$

$$(b) C_m \text{ tengah} = \frac{k'+0,5}{k'+2}$$

$$= \frac{0,3112+0,5}{0,3112+2}$$

$$= 0,351$$

(2) Lantai 2-14

$$\begin{aligned} \text{(a) } C_m \text{ tepi} &= \frac{k_f}{k_f + 2} \\ &= \frac{0,3112}{0,3112 + 2} \\ &= 0,1346 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(b) } C_m \text{ tengah} &= \frac{k_f}{k_f + 2} \\ &= \frac{0,6224}{0,6224 + 2} \\ &= 0,2373 \end{aligned}$$

(3) Lantai 15

$$\begin{aligned} \text{(a) } C_m \text{ tepi} &= \frac{k_f}{k_f + 2} \\ &= \frac{0,3092}{0,3092 + 2} \\ &= 0,1339 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(b) } C_m \text{ tengah} &= \frac{k_f}{k_f + 2} \\ &= \frac{0,6184}{0,6184 + 2} \\ &= 0,2362 \end{aligned}$$

e) Nilai kekakuan muto

$$\begin{aligned} \text{(1) } K_m \text{ lantai 1} &= [(n \text{ kolom tepi} \times C_m \text{ tepi}) + (n \text{ kolom tengah} \times \\ &\quad C_m \text{ tengah})] \times K_f \times \text{jumlah portal tepi} \times \\ &= [(2 \times 0,3041) + (11 \times 0,351)] \times 188939,1575 \times \\ &\quad 2 \\ &= 1688763,984 \text{ kg/cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(2) } K_m \text{ lantai 2-14} &= [(n \text{ kolom tepi} \times C_m \text{ tepi}) + (n \text{ kolom tengah} \times \\ &\quad C_m \text{ tengah})] \times K_f \times \text{jumlah portal tepi} \times \\ &= [(2 \times 0,1346) + (11 \times 0,2373)] \times 188939,1575 \\ &\quad \times 2 \end{aligned}$$

$$= 1088256,005 \text{ kg/cm}$$

$$\begin{aligned} (3) \ K_m \text{ lantai 15/atap} &= [(n \text{ kolom tepi} \times C_m \text{ tepi}) + (n \text{ kolom tengah} \times \\ &\quad C_m \text{ tengah})] \times K_f \times \text{jumlah portal tepi} \times \\ &= [(2 \times 0,1339) + (11 \times 0,2362)] \times 188939,1575 \\ &\quad \times 2 \\ &= 1082840,028 \text{ kg/cm} \end{aligned}$$

3) Kekakuan Muto Total Arah X

$$\begin{aligned} K_m \text{ total arah x} &= K_m \text{ portal tengah arah x} + K_m \text{ portal tepi arah x} \\ \text{a) Lantai 1} &= 2782333,759 + 1688763,984 \\ &= 4471097,743 \text{ kg/cm (36,41\% dari } K_{\text{shear building}}) \\ \text{b) Lantai 2-14} &= 2134120,312 + 1088256,005 \\ &= 3222376,317 \text{ kg/cm (26,24\% dari } K_{\text{shear building}}) \\ \text{c) Lantai 15/atap} &= 2114201,457 + 1082840,028 \\ &= 3197041,485 \text{ kg/cm (26,03\% dari } K_{\text{shear building}}) \end{aligned}$$

b. Kekakuan Arah Y

1) Portal Tengah

a) Nilai I_c/L dan I_b/L

(1) K_1 lantai 1-15

$$\begin{aligned} \frac{I_c}{L} &= \frac{4252500}{350} \\ &= 12150 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

(2) B_y tengah lantai 1-14

$$\begin{aligned} \frac{I_{b1-14}}{L} &= \frac{2969406,252}{700} \\ &= 4242,0089 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

(3) B_y tengah lantai 15/atap

$$\begin{aligned} \frac{I_{b15}}{L} &= \frac{2880993,590}{700} \\ &= 4115,7051 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

b) Konstanta (K)

$$\text{Nilai K diambil} = 4115,7051 \text{ cm}^3$$

$$\begin{aligned}
 (1) \text{ K}_1 \text{ lantai 1-15} &= \frac{I_c/L}{K} \\
 &= \frac{12150}{4115,7051} \\
 &= 2,9521 \\
 (2) \text{ B}_y \text{ tengah lantai 1-14} &= \frac{I_{b1-14}/L}{K} \\
 &= \frac{4242,0089}{4115,7051} \\
 &= 1,0307 \\
 (3) \text{ B}_y \text{ tengah lantai 15/atap} &= \frac{I_{b15}/L}{K} \\
 &= \frac{4115,7051}{4115,7051} \\
 &= 1
 \end{aligned}$$

c) Nilai k'

(1) Lantai 1

$$\begin{aligned}
 (a) \text{ k' tepi} &= \frac{\sum k_b}{2 k_c} \\
 &= \frac{1,0307}{2 \times 2,9521} \\
 &= 0,1746
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (b) \text{ k' tengah} &= \frac{\sum k_b}{2 k_c} \\
 &= \frac{2 \times 1,0307}{2 \times 2,9521} \\
 &= 0,3491
 \end{aligned}$$

(2) Lantai 2-14

$$\begin{aligned}
 (a) \text{ k' tepi} &= \frac{\sum k_b}{2 k_c} \\
 &= \frac{2 \times 1,0307}{2 \times 2,9521} \\
 &= 0,3491
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{(b) } k' \text{ tengah} &= \frac{\sum k_b}{2 k_c} \\
 &= \frac{4 \times 1,0307}{2 \times 2,9521} \\
 &= 0,6983
 \end{aligned}$$

(3) Lantai 15

$$\begin{aligned}
 \text{(a) } k' \text{ tepi} &= \frac{\sum k_b}{2 k_c} \\
 &= \frac{1,0307+1}{2 \times 2,9521} \\
 &= 0,3439
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{(b) } k' \text{ tengah} &= \frac{\sum k_b}{2 k_c} \\
 &= \frac{(2 \times 1,0307)+(2 \times 1)}{2 \times 2,9521} \\
 &= 0,6879
 \end{aligned}$$

d) Nilai C_m

(1) Lantai 1

$$\begin{aligned}
 \text{(a) } C_m \text{ tepi} &= \frac{k'+0,5}{k'+2} \\
 &= \frac{0,1746+0,5}{0,1746+2} \\
 &= 0,3102
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{(b) } C_m \text{ tengah} &= \frac{k'+0,5}{k'+2} \\
 &= \frac{0,3491+0,5}{0,3491+2} \\
 &= 0,3615
 \end{aligned}$$

(2) Lantai 2-14

$$\begin{aligned}
 \text{(a) } C_m \text{ tepi} &= \frac{k'}{k'+2} \\
 &= \frac{0,3491}{0,3491+2}
 \end{aligned}$$

$$= 0,1486$$

$$\begin{aligned} \text{(b) } C_m \text{ tengah} &= \frac{k'}{k'+2} \\ &= \frac{0,6983}{0,6983+2} \\ &= 0,2588 \end{aligned}$$

(3) Lantai 15

$$\begin{aligned} \text{(a) } C_m \text{ tepi} &= \frac{k'}{k'+2} \\ &= \frac{0,3439}{0,3439+2} \\ &= 0,1467 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(b) } C_m \text{ tengah} &= \frac{k'}{k'+2} \\ &= \frac{0,6879}{0,6879+2} \\ &= 0,2559 \end{aligned}$$

e) Nilai Kekakuan Muto

$$\begin{aligned} \text{(1) } K_m \text{ lantai 1} &= [(n \text{ kolom tepi} \times C_m \text{ tepi}) + (n \text{ kolom tengah} \times \\ & \quad C_m \text{ tengah})] \times K_f \times \text{jumlah portal tengah } y \\ &= [(2 \times 0,3102) + (3 \times 0,3615)] \times 312327,995 \times \\ & \quad 11 \\ &= 5857087,451 \text{ kg/cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(2) } K_m \text{ lantai 2-14} &= [(n \text{ kolom tepi} \times C_m \text{ tepi}) + (n \text{ kolom tengah} \times \\ & \quad C_m \text{ tengah})] \times K_f \times \text{jumlah portal tengah } y \\ &= [(2 \times 0,1828) + (3 \times 0,3091)] \times 312327,995 \times \\ & \quad 11 \\ &= 3688476,341 \text{ kg/cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(3) } K_m \text{ lantai 15/atap} &= [(n \text{ kolom tepi} \times C_m \text{ tepi}) + (n \text{ kolom tengah} \times \\ & \quad C_m \text{ tengah})] \times K_f \times \text{jumlah portal tengah } y \\ &= [(2 \times 0,1467) + (3 \times 0,2559)] \times 312327,995 \times \\ & \quad 11 \end{aligned}$$

$$= 3645957,913 \text{ kg/cm}$$

2) Portal Tepi

a) Nilai I_c/L dan I_b/L

(1) K_1 lantai 1-15

$$\begin{aligned} \frac{I_c}{L} &= \frac{4252500}{350} \\ &= 12150 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

(2) B_y tepi lantai 1-14

$$\begin{aligned} \frac{I_{b1-14}}{L} &= \frac{1967630,388}{700} \\ &= 2810,9006 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

(3) B_y tepi lantai 15/atap

$$\begin{aligned} \frac{I_{b15}}{L} &= \frac{1938921,569}{700} \\ &= 2769,888 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

b) Konstanta (K)

Nilai K diambil = 2769,888 cm³

$$\begin{aligned} (1) \quad K_1 \text{ lantai 1-15} &= \frac{I_c/L}{K} \\ &= \frac{12150}{2769,888} \\ &= 4,3865 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (2) \quad B_y \text{ tepi lantai 1-14} &= \frac{I_{b1-14}/L}{K} \\ &= \frac{2810,9006}{2769,888} \\ &= 1,0148 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (3) \quad B_y \text{ tepi lantai 15/atap} &= \frac{I_{b15}/L}{K} \\ &= \frac{2769,888}{2769,888} \\ &= 1 \end{aligned}$$

c) Nilai k'

(1) Lantai 1

$$\begin{aligned} \text{(a) } k' \text{ tepi} &= \frac{\sum k_b}{2 k_c} \\ &= \frac{1,0148}{2 \times 4,3865} \\ &= 0,1157 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(b) } k' \text{ tengah} &= \frac{\sum k_b}{2 k_c} \\ &= \frac{2 \times 1,0148}{2 \times 4,3865} \\ &= 0,2313 \end{aligned}$$

(2) Lantai 2-14

$$\begin{aligned} \text{(a) } k' \text{ tepi} &= \frac{\sum k_b}{2 k_c} \\ &= \frac{2 \times 1,0148}{2 \times 4,3865} \\ &= 0,2313 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(b) } k' \text{ tengah} &= \frac{\sum k_b}{2 k_c} \\ &= \frac{4 \times 1,0148}{2 \times 4,3865} \\ &= 0,4627 \end{aligned}$$

(3) Lantai 15

$$\begin{aligned} \text{(a) } k' \text{ tepi} &= \frac{\sum k_b}{2 k_c} \\ &= \frac{1,0148+1}{2 \times 4,3865} \\ &= 0,2297 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(b) } k' \text{ tengah} &= \frac{\sum k_b}{2 k_c} \\ &= \frac{(2 \times 1,0148)+(2 \times 1)}{2 \times 4,3865} \end{aligned}$$

$$= 0,4593$$

d) Nilai C_m

(1) Lantai 1

$$\begin{aligned} \text{(a) } C_m \text{ tepi} &= \frac{k' + 0,5}{k' + 2} \\ &= \frac{0,1157 + 0,5}{0,1157 + 2} \\ &= 0,291 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(b) } C_m \text{ tengah} &= \frac{k' + 0,5}{k' + 2} \\ &= \frac{0,2313 + 0,5}{0,2313 + 2} \\ &= 0,3278 \end{aligned}$$

(2) Lantai 2-14

$$\begin{aligned} \text{(a) } C_m \text{ tepi} &= \frac{k'}{k' + 2} \\ &= \frac{0,2313}{0,2313 + 2} \\ &= 0,1037 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{(b) } C_m \text{ tengah} &= \frac{k'}{k' + 2} \\ &= \frac{0,4627}{0,4627 + 2} \\ &= 0,1879 \end{aligned}$$

(3) Lantai 15

$$\begin{aligned} \text{(a) } C_m \text{ tepi} &= \frac{k'}{k' + 2} \\ &= \frac{0,2297}{0,2297 + 2} \\ &= 0,103 \end{aligned}$$

$$\text{(b) } C_m \text{ tengah} = \frac{k'}{k' + 2}$$

$$= \frac{0,4593}{0,4593 + 2}$$

$$= 0,1868$$

e) Nilai kekakuan muto

$$(1) K_m \text{ lantai 1} = [(n \text{ kolom tepi} \times C_m \text{ tepi}) + (n \text{ kolom tengah} \times C_m \text{ tengah})] \times K_f \times \text{jumlah portal tepi y}$$

$$= [(2 \times 0,291) + (3 \times 0,3278)] \times 312327,995 \times 2$$

$$= 977771,7078 \text{ kg/cm}$$

$$(2) K_m \text{ lantai 2-14} = [(n \text{ kolom tepi} \times C_m \text{ tepi}) + (n \text{ kolom tengah} \times C_m \text{ tengah})] \times K_f \times \text{jumlah portal tepi y}$$

$$= [(2 \times 0,1037) + (3 \times 0,1879)] \times 312327,995 \times 2$$

$$= 481617,5531 \text{ kg/cm}$$

$$(3) K_m \text{ lantai 15/atap} = [(n \text{ kolom tepi} \times C_m \text{ tepi}) + (n \text{ kolom tengah} \times C_m \text{ tengah})] \times K_f \times \text{jumlah portal tepi y}$$

$$= [(2 \times 0,103) + (3 \times 0,1868)] \times 312327,995 \times 2$$

$$= 478681,0816 \text{ kg/cm}$$

3) Kekakuan Muto Total Arah Y

$$K_m \text{ total arah y} = K_m \text{ portal tengah arah y} + K_m \text{ portal tepi arah y}$$

$$\text{a) Lantai 1} = 5857087,451 + 977771,7078$$

$$= 6834859,158 \text{ kg/cm (33,67\% dari } K_{\text{shear building}})$$

$$\text{b) Lantai 2-14} = 3688476,341 + 481617,5531$$

$$= 4170093,894 \text{ kg/cm (20,54\% dari } K_{\text{shear building}})$$

$$\text{c) Lantai 15/atap} = 3645957,913 + 478681,0816$$

$$= 4124638,995 \text{ kg/cm (20,32\% dari } K_{\text{shear building}})$$

Nilai kekakuan struktur atas (bangunan reguler) menurut metode muto baik kekakuan pada arah x maupun kekakuan pada arah y didapatkan dari perhitungan di atas yang hasil selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 5.2 berikut ini.

Tabel 5.2 Kekakuan Muto Bangunan Reguler Arah X dan Arah Y

Lantai	Kekakuan Arah X (kg/cm)	Kekakuan Arah Y (kg/cm)
15/Atap	3197041,485	4124638,995
14	3222376,317	4170093,894
13	3222376,317	4170093,894
12	3222376,317	4170093,894
11	3222376,317	4170093,894
10	3222376,317	4170093,894
9	3222376,317	4170093,894
8	3222376,317	4170093,894
7	3222376,317	4170093,894
6	3222376,317	4170093,894
5	3222376,317	4170093,894
4	3222376,317	4170093,894
3	3222376,317	4170093,894
2	3222376,317	4170093,894
1	4471097,743	6834859,158

5.3.3 Perhitungan Redaman Struktur Atas

Struktur atas menggunakan redaman klasik dengan jenis *mass and stiffness proportional damping*. Redaman ini digunakan karena penyelesaian integrasi numerik yang dilakukan secara langsung (*dependent*) sehingga tidak dapat digunakan prinsip ekivalen *damping ratio* seperti pada persamaan *independent*. *Mass and stiffness proportional damping* digunakan karena nilai matrik redaman yang berada diantara nilai matrik *mass proportional damping* dan *stiffness proportional damping*. Menurut hasil penelitian Wibowo dan Auzzami (2003), *mass proportional damping* akan menghasilkan nilai redaman yang relatif kecil, *stiffness proportional damping* akan menghasilkan nilai redaman yang relatif besar jika kekakuan struktur relatif besar, dan *mass and stiffness proportional damping* berada diantara 2 nilai tersebut. Pada penelitian ini, matrik redaman akan dihitung secara langsung di dalam program DDAP sehingga tidak perlu dihitung secara manual. Input yang diperlukan adalah rasio redaman (ζ) yang nilainya dapat dilihat pada Tabel 3.1. Pada penelitian ini, nilai rasio redaman (ζ) diambil sebesar 5 % karena

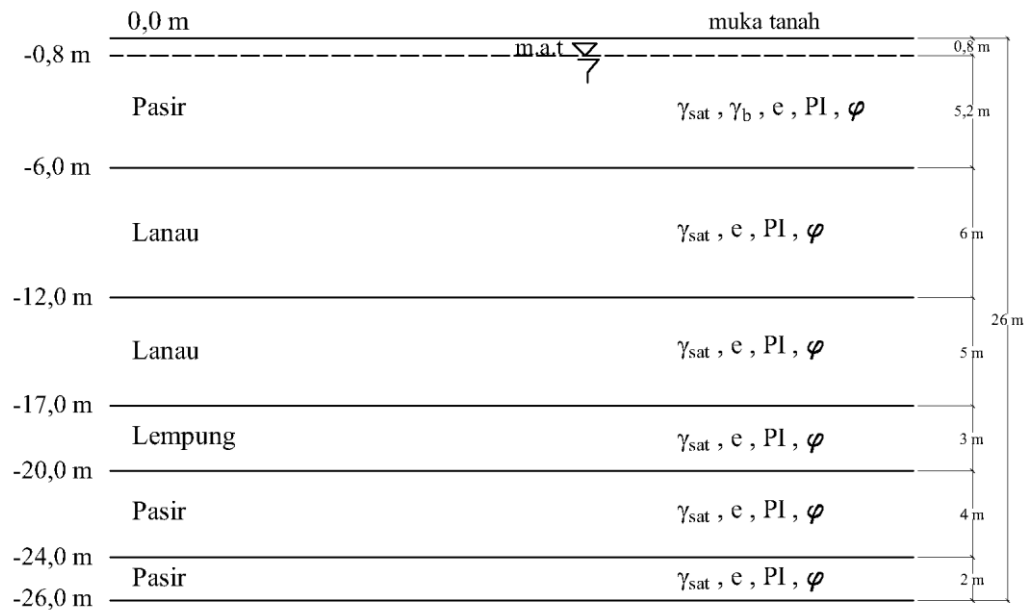
merupakan struktur beton yang masih dalam kondisi elastik. Redaman juga ditinjau secara 3 dimensi (3D) sehingga matrik redaman akan memiliki nilai pada arah x dan arah y seperti pada kekakuan bangunan. Perhitungan matrik redaman dilakukan dengan menggunakan persamaan 3.24 dan persamaan 3.28.

5.4 Perhitungan Properti Dinamik Tanah

Nilai properti dinamik tanah berupa modulus geser tanah (G) dan kecepatan gelombang geser tanah (V_s) harus diperhitungkan terlebih dahulu agar dapat menghitung nilai kekakuan dan redaman interaksi tanah dengan fondasi. Properti tanah yang berbeda-beda setiap lapisnya harus diekivalenkan atau disetarakan untuk sampai pada asumsi *elastic layer half space*. Nilai yang diekivalenkan yakni berupa berat volume tanah (γ) dan modulus geser tanah (G). Hal ini perlu dilakukan agar asumsi-asumsi dalam menghitung kekakuan dan redaman interaksi tanah dengan fondasi dapat terpenuhi. Pada penelitian ini, data tanah yang digunakan berupa data tanah pada proyek Rumah Sakit Universitas Islam Indonesia (RS UII) yang diperoleh dari tugas akhir milik Perdana (2018) tentang Pengaruh Pengaku Terhadap Respon Elastik Struktur Baja Bertingkat dengan Memperhitungkan Fleksibilitas Fondasi. Berikut adalah data dan ilustrasinya yang dapat dilihat pada Tabel 5.3 dan Gambar 5.7 serta perhitungan properti tanah yang akan dijelaskan sebagai berikut.

Tabel 5.3 Data Awal Properti Tanah

Lapisan Tanah	Kedalaman (m)	γ_{sat} (kg/cm ³)	γ_{wet} (kg/cm ³)	e	PI (%)	OCR	ϕ (°)	v
Pasir	6	0,001828	0,0018	0,4	0	0	33	0,5
Lanau	12	0,001957	0,0018	0,6	20	1	26	0,5
Lanau	17	0,00182	0,0018	0,6	21	1	26	0,5
Lempung	20	0,00196	0,0018	0,6	25	1	20	0,5
Pasir	24	0,001895	0,0018	0,4	0	0	40	0,5
Pasir	26	0,001895	0,0018	0,4	0	0	34	0,5



Gambar 5.7 Ilustrasi Lapisan Tanah dan Parameternya

5.4.1 Perhitungan Rapat Massa Tanah (ρ)

Rapat massa tanah (ρ) merupakan salah satu parameter dalam menghitung kecepatan gelombang geser (V_s). Rapat massa tanah (ρ) merupakan produk dari berat volume tanah (γ) dibagi dengan percepatan gravitasi (g) sehingga akan memiliki nilai yang berbeda-beda pada setiap lapisnya karena nilai berat volume tanah (γ) yang berbeda-beda setiap lapis. Berat volume tanah (γ) akan diekivalenkan untuk membuat tanah menjadi satu lapis yang homogen dan sampai pada anggapan *elastic layer half space* agar dapat mempermudah perhitungan. Perhitungan berat volume tanah (γ) dan rapat massa tanah (ρ) dengan data tanah pada Tabel 5.3 akan dijelaskan sebagai berikut ini.

1. Berat Volume Tanah Efektif (γ')

Tanah yang berada di atas muka air tanah memiliki nilai $\gamma' = \gamma_{wet}$ dan tanah yang berada di bawah muka air tanah memiliki nilai $\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$ dengan $\gamma_w = 0,001$ kg/cm³.

a. Elevasi 0,0 m

$$\gamma' = \gamma_{wet} = 0,0018 \text{ kg/cm}^3$$

b. Elevasi -0,8 m (elevasi muka air tanah)

$$\gamma' = \gamma_{wet} = 0,0018 \text{ kg/cm}^3$$

c. Elevasi -6,0 m

$$\begin{aligned}\gamma' &= \gamma_{\text{sat}} - \gamma_w \\ &= 0,001828 - 0,001 \\ &= 0,000828 \text{ kg/cm}^3\end{aligned}$$

d. Elevasi -12,0 m

$$\begin{aligned}\gamma' &= \gamma_{\text{sat}} - \gamma_w \\ &= 0,001957 - 0,001 \\ &= 0,000957 \text{ kg/cm}^3\end{aligned}$$

e. Elevasi -17,0 m

$$\begin{aligned}\gamma' &= \gamma_{\text{sat}} - \gamma_w \\ &= 0,00182 - 0,001 \\ &= 0,00082 \text{ kg/cm}^3\end{aligned}$$

f. Elevasi -20,0 m

$$\begin{aligned}\gamma' &= \gamma_{\text{sat}} - \gamma_w \\ &= 0,00196 - 0,001 \\ &= 0,00096 \text{ kg/cm}^3\end{aligned}$$

g. Elevasi -24,0 m

$$\begin{aligned}\gamma' &= \gamma_{\text{sat}} - \gamma_w \\ &= 0,001895 - 0,001 \\ &= 0,000895 \text{ kg/cm}^3\end{aligned}$$

h. Elevasi -26,0 m

$$\begin{aligned}\gamma' &= \gamma_{\text{sat}} - \gamma_w \\ &= 0,001895 - 0,001 \\ &= 0,000895 \text{ kg/cm}^3\end{aligned}$$

2. Berat Volume Tanah Ekuivalen (γ_{ek})

Berat volume tanah (γ) yang berbeda-beda pada setiap lapisnya akan diekivalenkan menjadi satu lapis dengan satu nilai berat volume tanah (γ). Data tebal setiap lapisan tanah dapat dilihat pada Gambar 5.7 di atas.

$$\overline{\gamma_{ek}} = \frac{1}{H} \sum_{i=1}^{i=n} \gamma_i \cdot h_i$$

$$\begin{aligned}\overline{\gamma_{ek}} &= [(0,0018 \times 0) + (0,0018 \times 0,8) + (0,000828 \times 5,2) + (0,000957 \times 6) + \\ &\quad (0,00082 \times 5) + (0,00096 \times 3) + (0,000895 \times 4) + (0,000895 \times 2)] / (0 + \\ &\quad 0,8 + 5,2 + 6 + 5 + 3 + 4 + 2) \\ &= \frac{2,2412}{26} = 0,000862 \text{ kg/cm}^3\end{aligned}$$

3. Rapat Massa Tanah (ρ)

Rapat massa tanah (ρ) merupakan nilai dari berat volume tanah (γ) dibagi dengan percepatan gravitasi (g) dengan nilai $g = 981 \text{ cm/dt}^2$.

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{\gamma}{g} \\ &= \frac{0,000862}{981} \\ &= 0,0000008787 \text{ kg dt}^2/\text{cm}^4\end{aligned}$$

Hasil perhitungan rapat massa tanah (ρ) selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 5.4 berikut ini.

Tabel 5.4 Hasil Perhitungan Rapat Massa Tanah (ρ)

Elevasi (m)	γ_{sat} (kg/cm ³)	γ_{wet} (kg/cm ³)	γ' (kg/cm ³)	$\gamma' \times h$	γ_{ek} (kg/cm ³)	ρ (kg dt ² /cm ⁴)
0	0,001828	0,0018	0,0018	0	0,000862	0,0000008787
-0,8	0,001828	0,0018	0,0018	0,00144		
-6	0,001828	0,0018	0,000828	0,43056		
-12	0,001957	0,0018	0,000957	0,5742		
-17	0,00182	0,0018	0,00082	0,41		
-20	0,00196	0,0018	0,00096	0,288		
-24	0,001895	0,0018	0,000895	0,358		
-26	0,001895	0,0018	0,000895	0,179		
Total				2,2412		

5.4.2 Perhitungan Modulus Geser Tanah (G)

Saat terjadi gempa, partikel tanah akan terkena tegangan geser sehingga akan mengalami regangan geser. Hal ini menyebabkan modulus geser tanah sangat penting nilainya karena akan mempengaruhi besarnya nilai respon struktur bangunan yang berdiri di atasnya dan mempengaruhi besarnya nilai kecepatan

gelombang geser pada tanah akibat gempa. Perhitungan modulus geser tanah menggunakan persamaan 3.43 sampai 3.49 pada setiap elevasi kedalaman tanah yang akan dijelaskan sebagai berikut ini.

1. Tegangan Tanah Vertikal (σ_1)

Tegangan tanah vertikal (σ_1) adalah tegangan arah vertikal yang terjadi pada tanah. Tegangan ini dihitung pada setiap elevasi muka tanah menggunakan persamaan 3.46.

a. Elevasi 0,0 m

Saat elevasi +0,0 m atau dengan kata lain di permukaan tanah tidak terjadi tegangan pada tanah sehingga $\sigma_1 = 0 \text{ kg/cm}^2$.

b. Elevasi -0,8 m (elevasi muka air tanah)

$$\begin{aligned}\sigma_1 &= \sigma_1 \text{ elevasi sebelumnya} + (\gamma' \times h) \\ &= 0 + [0,0018 \times (0,8-0) \times 100] \\ &= 0,144 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

c. Elevasi -6,0 m

$$\begin{aligned}\sigma_1 &= \sigma_1 \text{ elevasi sebelumnya} + (\gamma' \times h) \\ &= 0,144 + [0,000828 \times (6-0,8) \times 100] \\ &= 0,5746 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

d. Elevasi -12,0 m

$$\begin{aligned}\sigma_1 &= \sigma_1 \text{ elevasi sebelumnya} + (\gamma' \times h) \\ &= 0,5746 + [0,000957 \times (12-6) \times 100] \\ &= 1,1488 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

e. Elevasi -17,0 m

$$\begin{aligned}\sigma_1 &= \sigma_1 \text{ elevasi sebelumnya} + (\gamma' \times h) \\ &= 1,1488 + [0,00082 \times (17-12) \times 100] \\ &= 1,5588 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

f. Elevasi -20,0 m

$$\begin{aligned}\sigma_1 &= \sigma_1 \text{ elevasi sebelumnya} + (\gamma' \times h) \\ &= 1,5588 + [0,00096 \times (20-17) \times 100] \\ &= 1,8468 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

g. Elevasi -24,0 m

$$\begin{aligned}\sigma_1 &= \sigma_1 \text{ elevasi sebelumnya} + (\gamma' \times h) \\ &= 1,8468 + [0,000895 \times (24-20) \times 100] \\ &= 2,2048 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

h. Elevasi -26,0 m

$$\begin{aligned}\sigma_1 &= \sigma_1 \text{ elevasi sebelumnya} + (\gamma' \times h) \\ &= 2,2048 + [0,000895 \times (26-24) \times 100] \\ &= 2,3838 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

2. Tegangan Tanah Horizontal ($\sigma_2 = \sigma_3$)

Tegangan tanah horizontal ($\sigma_2 = \sigma_3$) adalah tegangan arah horizontal yang terjadi pada tanah. Tegangan ini dihitung pada setiap elevasi muka tanah menggunakan persamaan 3.47 yang akan dijelaskan sebagai berikut ini.

a. Elevasi 0,0 m

$$\begin{aligned}\varphi &= 33^\circ \\ K_o &= 1 - \sin \varphi \\ &= 1 - \sin (33) = 0,4554 \\ \sigma_2 = \sigma_3 &= K_o \times \sigma_1 \\ &= 0,4554 \times 0 \\ &= 0 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

b. Elevasi -0,8 m (elevasi muka air tanah)

$$\begin{aligned}\varphi &= 33^\circ \\ K_o &= 1 - \sin \varphi \\ &= 1 - \sin (33) = 0,4554 \\ \sigma_2 = \sigma_3 &= K_o \times \sigma_1 \\ &= 0,4554 \times 0,144 \\ &= 0,0656 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

c. Elevasi -6,0 m

$$\begin{aligned}\varphi &= 33^\circ \\ K_o &= 1 - \sin \varphi \\ &= 1 - \sin (33) = 0,4554 \\ \sigma_2 = \sigma_3 &= K_o \times \sigma_1\end{aligned}$$

$$= 0,4554 \times 0,5746$$

$$= 0,2616 \text{ kg/cm}^2$$

d. Elevasi -12,0 m

$$\varphi = 26^\circ$$

$$K_o = 1 - \sin \varphi$$

$$= 1 - \sin (26) = 0,5616$$

$$\sigma_2 = \sigma_3 = K_o \times \sigma_1$$

$$= 0,5616 \times 1,1488$$

$$= 0,6452 \text{ kg/cm}^2$$

e. Elevasi -17,0 m

$$\varphi = 26^\circ$$

$$K_o = 1 - \sin \varphi$$

$$= 1 - \sin (26) = 0,5616$$

$$\sigma_2 = \sigma_3 = K_o \times \sigma_1$$

$$= 0,5616 \times 1,5588$$

$$= 0,8754 \text{ kg/cm}^2$$

f. Elevasi -20,0 m

$$\varphi = 20^\circ$$

$$K_o = 1 - \sin \varphi$$

$$= 1 - \sin (20) = 0,658$$

$$\sigma_2 = \sigma_3 = K_o \times \sigma_1$$

$$= 0,658 \times 1,8468$$

$$= 1,2151 \text{ kg/cm}^2$$

g. Elevasi -24,0 m

$$\varphi = 40^\circ$$

$$K_o = 1 - \sin \varphi$$

$$= 1 - \sin (40) = 0,3572$$

$$\sigma_2 = \sigma_3 = K_o \times \sigma_1$$

$$= 0,3572 \times 2,2048$$

$$= 0,7876 \text{ kg/cm}^2$$

h. Elevasi -26,0 m

$$\begin{aligned}\varphi &= 34^\circ \\ K_o &= 1 - \sin \varphi \\ &= 1 - \sin (34) = 0,4408 \\ \sigma_2 = \sigma_3 &= K_o \times \sigma_1 \\ &= 0,4408 \times 2,3838 \\ &= 1,0508 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

3. Tegangan Batas Efektif ($\bar{\sigma}_0$)

Tegangan batas efektif ($\bar{\sigma}_0$) dipengaruhi oleh tegangan tanah vertikal dan horizontal. Tegangan ini akan dihitung pada setiap elevasi tanah menggunakan persamaan 3.45 yang akan dijelaskan sebagai berikut ini.

a. Elevasi 0,0 m

$$\begin{aligned}\bar{\sigma}_0 &= (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)/3 \\ &= (0 + 0 + 0)/3 \\ &= 0 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

b. Elevasi -0,8 m (elevasi muka air tanah)

$$\begin{aligned}\bar{\sigma}_0 &= (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)/3 \\ &= (0,144 + 0,0656 + 0,0656)/3 \\ &= 0,0917 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

c. Elevasi -6,0 m

$$\begin{aligned}\bar{\sigma}_0 &= (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)/3 \\ &= (0,5746 + 0,2616 + 0,2616)/3 \\ &= 0,3659 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

d. Elevasi -12,0 m

$$\begin{aligned}\bar{\sigma}_0 &= (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)/3 \\ &= (1,1488 + 0,6452 + 0,6452)/3 \\ &= 0,813 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

e. Elevasi -17,0 m

$$\begin{aligned}\bar{\sigma}_0 &= (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)/3 \\ &= (1,5588 + 0,8754 + 0,8754)/3 \\ &= 1,1032 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

f. Elevasi -20,0 m

$$\begin{aligned}\bar{\sigma}_0 &= (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)/3 \\ &= (1,8468 + 1,2151 + 1,2151)/3 \\ &= 1,4257 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

g. Elevasi -24,0 m

$$\begin{aligned}\bar{\sigma}_0 &= (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)/3 \\ &= (2,2048 + 0,7876 + 0,7876)/3 \\ &= 1,26 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

h. Elevasi -26,0 m

$$\begin{aligned}\bar{\sigma}_0 &= (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)/3 \\ &= (2,3838 + 1,0508 + 1,0508)/3 \\ &= 1,4951 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

4. Koefisien (k)

Nilai k diperoleh dari Tabel 3.2 dan nilainya dapat diinterpolasi. Nilai k dipengaruhi oleh nilai *plasticity index* tanah. Nilai k akan dihitung pada setiap elevasi muka tanah yang akan dijelaskan sebagai berikut ini.

a. Elevasi 0,0 m

$$PI = 0$$

dari tabel didapat

$$PI_a = 20 \quad k_a = 0,18$$

$$PI_b = 0 \quad k_b = 0$$

$$\begin{aligned}k &= k_b + \frac{(PI - PI_b) \times (k_a - k_b)}{(PI_a - PI_b)} \\ &= 0 + \frac{(0 - 0) \times (0,18 - 0)}{(20 - 0)} \\ &= 0\end{aligned}$$

b. Elevasi -0,8 m (elevasi muka air tanah)

$$PI = 0$$

dari tabel didapat

$$PI_a = 20 \quad k_a = 0,18$$

$$PI_b = 0 \quad k_b = 0$$

$$\begin{aligned}
 k &= k_b + \frac{(PI - PI_b) \times (k_a - k_b)}{(PI_a - PI_b)} \\
 &= 0 + \frac{(0 - 0) \times (0,18 - 0)}{(20 - 0)} \\
 &= 0
 \end{aligned}$$

c. Elevasi -6,0 m

$$PI = 0$$

dari tabel didapat

$$PI_a = 20 \qquad k_a = 0,18$$

$$PI_b = 0 \qquad k_b = 0$$

$$\begin{aligned}
 k &= k_b + \frac{(PI - PI_b) \times (k_a - k_b)}{(PI_a - PI_b)} \\
 &= 0 + \frac{(0 - 0) \times (0,18 - 0)}{(20 - 0)} \\
 &= 0
 \end{aligned}$$

d. Elevasi -12,0 m

$$PI = 20$$

dari tabel didapat

$$PI_a = 40 \qquad k_a = 0,3$$

$$PI_b = 20 \qquad k_b = 0,18$$

$$\begin{aligned}
 k &= k_b + \frac{(PI - PI_b) \times (k_a - k_b)}{(PI_a - PI_b)} \\
 &= 0,18 + \frac{(20 - 20) \times (0,3 - 0,18)}{(40 - 20)} \\
 &= 0,18
 \end{aligned}$$

e. Elevasi -17,0 m

$$PI = 21$$

dari tabel didapat

$$PI_a = 40 \qquad k_a = 0,3$$

$$PI_b = 20 \qquad k_b = 0,18$$

$$\begin{aligned}
 k &= k_b + \frac{(PI - PI_b) \times (k_a - k_b)}{(PI_a - PI_b)} \\
 &= 0,18 + \frac{(21 - 20) \times (0,3 - 0,18)}{(40 - 20)} \\
 &= 0,186
 \end{aligned}$$

f. Elevasi -20,0 m

$$PI = 25$$

dari tabel didapat

$$PI_a = 40 \qquad k_a = 0,3$$

$$PI_b = 20 \qquad k_b = 0,18$$

$$\begin{aligned}
 k &= k_b + \frac{(PI - PI_b) \times (k_a - k_b)}{(PI_a - PI_b)} \\
 &= 0,18 + \frac{(25 - 20) \times (0,3 - 0,18)}{(40 - 20)} \\
 &= 0,21
 \end{aligned}$$

g. Elevasi -24,0 m

$$PI = 0$$

Kemudian dari tabel didapat

$$PI_a = 20 \qquad k_a = 0,18$$

$$PI_b = 0 \qquad k_b = 0$$

$$\begin{aligned}
 k &= k_b + \frac{(PI - PI_b) \times (k_a - k_b)}{(PI_a - PI_b)} \\
 &= 0 + \frac{(0 - 0) \times (0,18 - 0)}{(20 - 0)} \\
 &= 0
 \end{aligned}$$

h. Elevasi -26,0 m

$$PI = 0$$

Kemudian dari tabel didapat

$$PI_a = 20 \qquad k_a = 0,18$$

$$PI_b = 0 \qquad k_b = 0$$

$$\begin{aligned}
 k &= k_b + \frac{(PI - PI_b) \times (k_a - k_b)}{(PI_a - PI_b)} \\
 &= 0 + \frac{(0 - 0) \times (0,18 - 0)}{(20 - 0)} \\
 &= 0
 \end{aligned}$$

5. Modulus Geser Maksimum (G_o)

Modulus geser maksimum adalah nilai modulus geser tanah untuk regangan geser tanah yang sangat kecil dengan nilai 10^{-6} dan tanah masih dalam kondisi linier-elastik. Rumus modulus geser maksimum untuk tanah lempung dan lanau dipengaruhi oleh nilai OCR sesuai persamaan 3.43, sedangkan pada tanah pasir tidak dipengaruhi nilai OCR sesuai persamaan 3.44. Nilai ini akan dihitung pada setiap elevasi muka tanah yang akan dijelaskan sebagai berikut.

a. Elevasi 0,0 m

Elevasi 0,0 m berada di permukaan tanah sehingga tidak memiliki tegangan tanah, maka nilai $G_o = 0 \text{ kg/cm}^2$

b. Elevasi -0,8 m (elevasi muka air tanah)

Jenis tanah = Pasir

$$e = 0,4$$

$$\begin{aligned}
 G_o &= 326 \times \frac{(2,973 - 0,4)^2}{(1 + 0,4)} \times 0,0917^{0,5} \\
 &= 465,7739 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

c. Elevasi -6,0 m

Jenis tanah = Pasir

$$e = 0,4$$

$$\begin{aligned}
 G_o &= 326 \times \frac{(2,973 - 0,4)^2}{(1 + 0,4)} \times 0,3659^{0,5} \\
 &= 930,3827 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

d. Elevasi -12,0 m

Jenis tanah = Lanau

$$e = 0,6$$

$$\text{OCR} = 1$$

$$G_o = 326 \times 1^{0,18} \times \frac{(2,973-0,6)^2}{(1+0,6)} \times 0,813^{0,5}$$

$$= 1031,9287 \text{ kg/cm}^2$$

e. Elevasi -17,0 m

Jenis tanah = Lanau

e = 0,6

OCR = 1

$$G_o = 326 \times 1^{0,186} \times \frac{(2,973-0,6)^2}{(1+0,6)} \times 1,1032^{0,5}$$

$$= 1202,0559 \text{ kg/cm}^2$$

f. Elevasi -20,0 m

Jenis tanah = Lempung

e = 0,6

OCR = 1

$$G_o = 326 \times 1^{0,21} \times \frac{(2,973-0,6)^2}{(1+0,6)} \times 1,4257^{0,5}$$

$$= 1366,4836 \text{ kg/cm}^2$$

g. Elevasi -24,0 m

Jenis tanah = Pasir

e = 0,4

$$G_o = 326 \times \frac{(2,973-0,4)^2}{(1+0,4)} \times 1,26^{0,5}$$

$$= 1726,3747 \text{ kg/cm}^2$$

h. Elevasi -26,0 m

Jenis tanah = Pasir

e = 0,4

$$G_o = 326 \times \frac{(2,973-0,4)^2}{(1+0,4)} \times 1,4951^{0,5}$$

$$= 1880,5797 \text{ kg/cm}^2$$

6. Modulus Geser Tanah (G)

Nilai modulus geser tanah sama dengan nilai modulus geser maksimumnya karena pada penelitian ini tanah dianggap dalam kondisi linier-elastik dengan nilai regangan geser yang sangat kecil yaitu 10^{-6} . Nilai modulus geser tanah (G) pada setiap elevasi kedalaman tanah dapat dilihat pada penjelasan berikut ini.

a. Elevasi 0,0 m

$$G = G_o = 0 \text{ kg/cm}^2$$

b. Elevasi -0,8 m (elevasi muka air tanah)

$$G = G_o = 465,7739 \text{ kg/cm}^2$$

c. Elevasi -6,0 m

$$G = G_o = 930,3827 \text{ kg/cm}^2$$

d. Elevasi -12,0 m

$$G = G_o = 1031,9287 \text{ kg/cm}^2$$

e. Elevasi -17,0 m

$$G = G_o = 1202,0559 \text{ kg/cm}^2$$

f. Elevasi -20,0 m

$$G = G_o = 1366,4836 \text{ kg/cm}^2$$

g. Elevasi -24,0 m

$$G = G_o = 1726,3747 \text{ kg/cm}^2$$

h. Elevasi -26,0 m

$$G = G_o = 1880,5797 \text{ kg/cm}^2$$

7. Modulus Geser Tanah Ekuivalen (G_{ek})

Modulus geser tanah (G) yang berbeda-beda pada setiap lapisnya akan diekuivalenkan menjadi satu lapis dengan satu nilai modulus geser tanah (G). Hal ini untuk memudahkan perhitungan kekakuan dan redaman interaksi tanah dengan fondasi agar syarat-syarat perhitungan menurut metode gazetas dapat terpenuhi. Berikut ini perhitungan nilai modulus geser tanah ekuivalen (G_{ek}) dengan data tebal tanah setiap lapis dapat dilihat pada Gambar 5.7 di atas.

$$\overline{G_{ek}} = \frac{1}{H} \sum_{i=1}^{i=n} G_i \cdot h_i$$

$$\begin{aligned}\overline{G_{ek}} &= [(0 \times 0) + (465,7739 \times 0,8) + (930,3827 \times 5,2) + (1031,9287 \times 6) + \\ &\quad (1202,0559 \times 5) + (1366,4836 \times 3) + (1726,3747 \times 4) + (1880,5797 \times 2)] \\ &\quad / (0 + 0,8 + 5,2 + 6 + 5 + 3 + 4 + 2) \\ &= \frac{32178,5696}{26} = 1237,6373 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

Hasil perhitungan modulus geser tanah (G) selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 5.5 berikut ini.

Tabel 5.5 Hasil Modulus Geser Tanah (G)

Elevasi (m)	K_o	$\overline{\sigma}_o$ (kg/cm ²)	k	G (kg/cm ²)	$G \times h$	G_{ek} (kg/cm ²)
0	0,4554	0	0	0	0,0000	1237,6373
-0,8	0,4554	0,0917	0	465,7739	372,6191	
-6	0,4554	0,3659	0	930,3827	4837,9900	
-12	0,5616	0,8130	0,18	1031,9287	6191,5722	
-17	0,5616	1,1032	0,186	1202,0559	6010,2795	
-20	0,6580	1,4257	0,21	1366,4836	4099,4507	
-24	0,3572	1,2600	0	1726,3747	6905,4988	
-26	0,4408	1,4951	0	1880,5797	3761,1593	
Total					32178,5696	

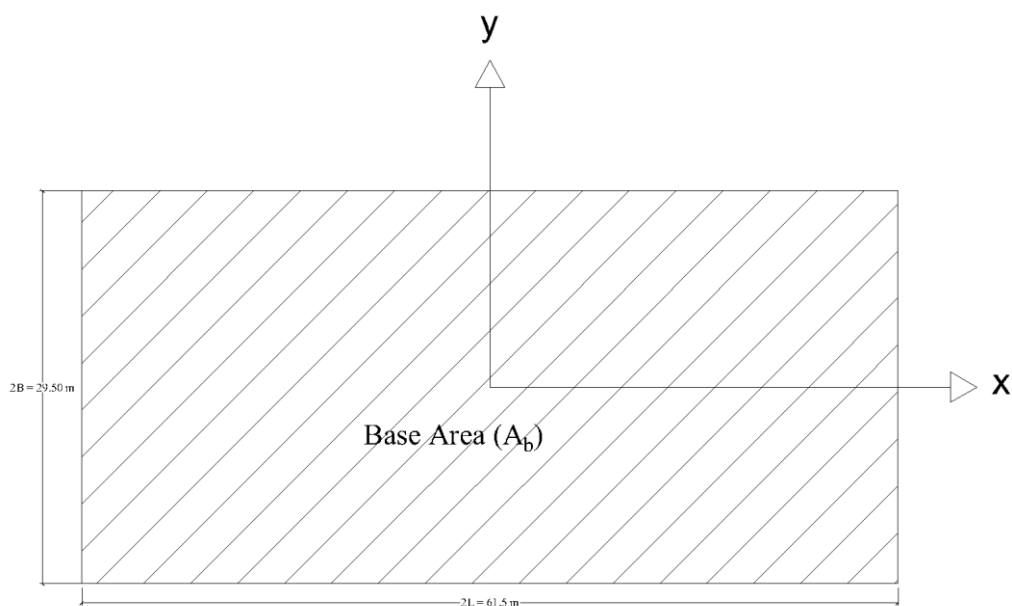
5.4.3 Perhitungan Kecepatan Gelombang Geser (V_s)

Kecepatan gelombang geser (V_s) merupakan parameter dinamik yang sangat penting karena nilai ini yang menyebabkan tanah mendapatkan tegangan geser akibat getaran gempa. Kecepatan gelombang geser (V_s) juga berperan dalam menentukan besarnya nilai kekakuan dan redaman interaksi tanah dengan fondasi. Kecepatan gelombang geser (V_s) merupakan produk dari modulus geser tanah (G) dengan rapat massa tanah (ρ_s) yang akan dihitung seperti berikut ini.

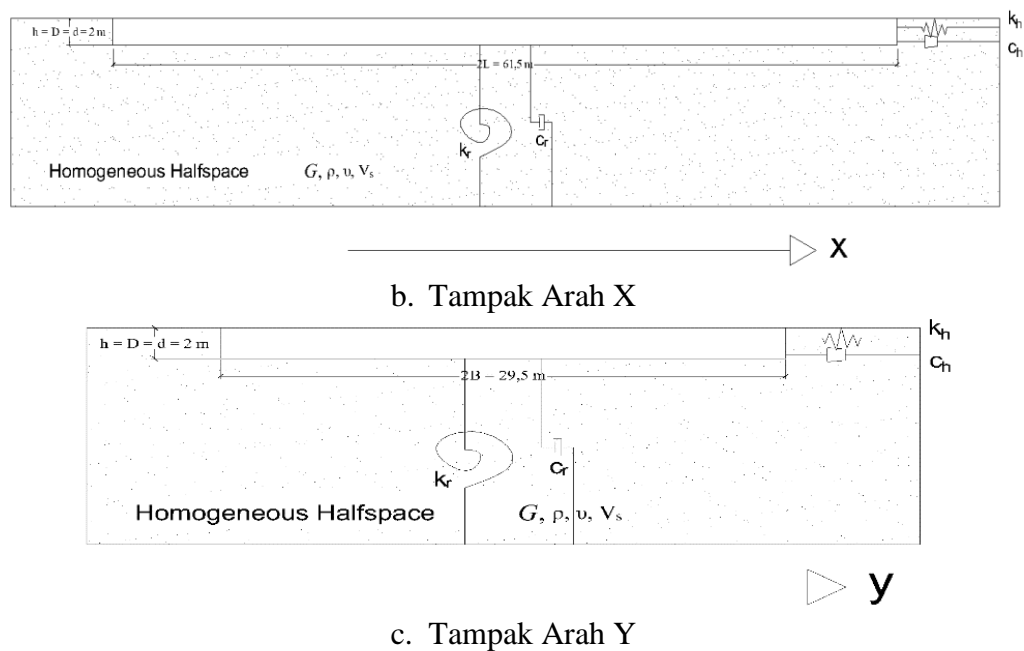
$$\begin{aligned}V_s &= \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad \text{atau dalam penelitian ini dapat ditulis} \quad \sqrt{\frac{G_{ek}}{\rho_{ek}}} \\ &= \sqrt{\frac{1237,6373 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}{0,0000008787 \frac{\text{kg} \cdot \text{dt}^2}{\text{cm}^4}}} = 37529,9136 \text{ cm/dt}\end{aligned}$$

5.5 Kekakuan dan Redaman Struktur Bawah (Fondasi)

Tanah tidak sepenuhnya bersifat kaku karena tanah akan bergetar ketika terkena beban gempa dan hal ini akan menyebabkan terjadinya interaksi antara tanah dan fondasi. Interaksi antara tanah dengan fondasi memiliki kekakuan yang diwakili oleh model pegas dan redaman yang diwakili oleh model *dashpot* yang kemudian disebut sebagai *spring-mass-dashpot system*. Kekakuan dan redaman interaksi tanah dengan fondasi akan berpengaruh pada respon struktur bangunan. Semakin kaku sistem tanah dengan fondasi maka akan semakin mendekati asumsi fondasi dianggap jepit. Pada penelitian ini, kekakuan dan redaman interaksi tanah dengan fondasi diperhitungkan pada arah horizontal dan rotasi saja karena pengaruh getaran arah vertikal yang sangat kecil dan pengaruh getaran arah torsi belum diperhitungkan sehingga kedua nilai tersebut dapat diabaikan. Kekakuan dan redaman interaksi tanah dengan fondasi juga ditinjau 3 dimensi (3D) sehingga akan memiliki nilai pada arah x dan arah y. Perhitungan kekakuan dan redaman interaksi tanah dengan fondasi menggunakan metode Gazetas (1991) dengan model fondasi berupa *mat foundation* yang berukuran 61,5 m x 29,5 m x 2 m dan dapat dilihat pada Gambar 5.8 berikut ini.



a. Denah Fondasi



Gambar 5.8 Model Fondasi Sesuai Gazetas (1991)

Selanjutnya, perhitungan kekakuan dan redaman interaksi tanah dengan fondasi arah horizontal dan rotasi akan dijelaskan sebagai berikut ini.

5.5.1 Perhitungan Kekakuan Interaksi Tanah dengan Fondasi

Kekakuan interaksi tanah dengan fondasi dihitung pada arah horizontal dan rotasi dan pada sumbu x dan y sesuai dengan Gambar 5.8 di atas. Perhitungannya akan dijelaskan sebagai berikut ini.

1. Kekakuan Horizontal

Kekakuan horizontal (k_h) dimodelkan sebagai pegas yang menahan deformasi struktur ke arah horizontal baik pada arah x maupun arah y.

a. Searah Sumbu Y

Perhitungan kekakuan horizontal searah sumbu y digunakan persamaan 3.55 dan 3.57 yang akan dijelaskan sebagai berikut.

1) Kekakuan Dasar Fondasi

$$G = 1237,6373 \text{ kg/cm}^2$$

$$2B = 2950 \text{ cm}$$

$$2L = 6150 \text{ cm}$$

$$L = \frac{2L}{2}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{6150}{2} = 3075 \text{ cm} \\
\nu &= 0,5 \\
A_b &= 2L \times 2B \\
&= 6150 \times 2950 = 18142500 \text{ cm}^2 \\
x &= \frac{A_b}{4L^2} \\
&= \frac{18142500}{4 \times 3075^2} = 0,4797 \\
K_y &= \frac{2GL}{(2-\nu)} (2 + 2,5x^{0,85}) \\
&= \frac{2 \times 1237,6373 \times 3075}{(2-0,5)} (2 + 2,5 \times 0,4797^{0,85}) \\
&= 16942572,2183 \text{ kg/cm}
\end{aligned}$$

2) Kekakuan Total

Kekakuan total merupakan jumlah kekakuan pada dasar fondasi dengan dinding fondasi.

$$\begin{aligned}
D &= 200 \text{ cm} \\
B &= \frac{2B}{2} \\
&= \frac{2950}{2} = 1475 \text{ cm} \\
h &= 200 \text{ cm} \\
A_w &= [(2 \times 2L) + (2 \times 2B)] \times d \\
&= [(2 \times 6150) + (2 \times 2950)] \times 200 \\
&= 3640000 \text{ cm}^2 \\
K_{y,emb} &= K_y \left[1 + 0,15 \left(\frac{D}{B} \right)^{0,5} \right] \left[1 + 0,52 \left(\frac{h A_w}{B L^2} \right)^{0,4} \right] \\
&= 16942572,2183 \left[1 + 0,15 \left(\frac{200}{1475} \right)^{0,5} \right] \left[1 + 0,52 \left(\frac{200 \times 3640000}{1475 \times 3075^2} \right)^{0,4} \right] \\
&= 20731974,5904 \text{ kg/cm}
\end{aligned}$$

b. Searah Sumbu X

Perhitungan kekakuan horizontal searah sumbu x digunakan persamaan 3.56 dan 3.58 yang akan dijelaskan sebagai berikut.

1) Kekakuan Dasar Fondasi

$$\begin{aligned} K_x &= K_y - \frac{0,2GL}{(0,75-\nu)} \left(1 - \frac{B}{L}\right) \\ &= 16942572,2183 - \frac{0,2 \times 1237,6373 \times 3075}{(0,75-0,5)} \left(1 - \frac{1475}{3075}\right) \\ &= 15358396,4841 \text{ kg/cm} \end{aligned}$$

2) Kekakuan Total

Kekakuan total merupakan jumlah kekakuan pada dasar fondasi dengan dinding fondasi.

$$\begin{aligned} K_{x,emb} &= K_x \left(\frac{K_{y,emb}}{K_y} \right) \\ &= 15358396,4841 \left(\frac{20731974,5904}{16942572,2183} \right) \\ &= 18793479,6177 \text{ kg/cm} \end{aligned}$$

2. Kekakuan Rotasi

Kekakuan rotasi (k_r) dimodelkan sebagai pegas yang menahan deformasi struktur ke arah rotasi baik pada arah x maupun arah y.

a. Searah Sumbu Y (Terhadap Sumbu X)

Perhitungan kekakuan rotasi searah sumbu y digunakan persamaan 3.59 dan 3.61 yang akan dijelaskan sebagai berikut.

1) Momen Inersia Dasar Fondasi (Terhadap Sumbu X)

$$\begin{aligned} I_{bx} &= \frac{1}{12} (2L) (2B)^3 \\ &= \frac{1}{12} (6150) (2950)^3 = 1,3157 \times 10^{13} \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

2) Kekakuan Dasar Fondasi

$$K_{ry} = \frac{G}{(1-\nu)} I_{bx}^{0,75} \left(\frac{L}{B}\right)^{0,25} \left[2,4 + 0,5 \left(\frac{B}{L}\right)\right]$$

$$= \frac{1237,6373}{(1-0,5)} (1,3157 \times 10^{13})^{0,75} \left(\frac{3075}{1475}\right)^{0,25} \left[2,4 + 0,5 \left(\frac{1475}{3075}\right)\right]$$

$$= 5,4242 \times 10^{13} \text{ kg/rad}$$

3) Kekakuan Total

Kekakuan total merupakan jumlah kekakuan pada dasar fondasi dengan dinding fondasi.

$$K_{ry,emb} = K_{ry} \left\{ 1 + 1,26 \left(\frac{d}{B}\right) \left[1 + \left(\frac{d}{B}\right) \left(\frac{d}{D}\right)^{-0,2} \left(\frac{B}{L}\right)^{0,5} \right] \right\}$$

$$= 5,4242 \times 10^{13} \left\{ 1 + 1,26 \left(\frac{200}{1475}\right) \left[1 + \left(\frac{200}{1475}\right) \left(\frac{200}{200}\right)^{-0,2} \left(\frac{1475}{3075}\right)^{0,5} \right] \right\}$$

$$= 6,4379 \times 10^{13} \text{ kg/rad}$$

b. Searah Sumbu X (Terhadap Sumbu Y)

Perhitungan kekakuan rotasi searah sumbu x digunakan persamaan 3.60 dan 3.62 yang akan dijelaskan sebagai berikut.

1) Momen Inersia Dasar Fondasi (Terhadap Sumbu Y)

$$I_{by} = \frac{1}{12} (2L)^3 (2B)$$

$$= \frac{1}{12} (6150)^3 (2950) = 5,7183 \times 10^{13} \text{ cm}^4$$

2) Kekakuan Dasar Fondasi

$$K_{rx} = \frac{3G}{(1-\nu)} I_{by}^{0,75} \left(\frac{L}{B}\right)^{0,15}$$

$$= \frac{3 \times 1237,6373}{(1-0,5)} (5,7183 \times 10^{13})^{0,75} \left(\frac{3075}{1475}\right)^{0,15}$$

$$= 1,7241 \times 10^{14} \text{ kg/rad}$$

3) Kekakuan Total

Kekakuan total merupakan jumlah kekakuan pada dasar fondasi dengan dinding fondasi.

$$K_{rx,emb} = K_{rx} \left\{ 1 + 0,92 \left(\frac{d}{L}\right)^{0,6} \left[1,5 + \left(\frac{d}{L}\right)^{1,9} \left(\frac{d}{L}\right)^{-0,6} \right] \right\}$$

$$= 1,7241 \times 10^{14} \left\{ 1 + 0,92 \left(\frac{200}{3075}\right)^{0,6} \left[1,5 + \left(\frac{200}{3075}\right)^{1,9} \left(\frac{200}{3075}\right)^{-0,6} \right] \right\}$$

$$= 2,1946 \times 10^{14} \text{ kg/rad}$$

5.5.2 Perhitungan Redaman Interaksi Tanah dengan Fondasi

Redaman interaksi tanah dengan fondasi dihitung pada arah horizontal dan rotasi dan pada sumbu x dan y sesuai dengan Gambar 5.8 di atas. Perhitungannya akan dijelaskan sebagai berikut ini.

1. Redaman Horizontal

Redaman horizontal (c_h) dimodelkan sebagai dashpot yang mengurangi deformasi struktur ke arah horizontal baik pada arah x maupun arah y.

a. Searah Sumbu Y

Perhitungan redaman horizontal searah sumbu y digunakan persamaan 3.63 dan 3.64 yang akan dijelaskan sebagai berikut

1) Kecepatan Semu Gelombang Longitudinal (*Lymner Analog*)

$$V_s = 37529,9136 \text{ cm/dt}$$

$$\nu = 0,5$$

$$\begin{aligned} V_{LA} &= \frac{3,4}{\pi(1-\nu)} V_s \\ &= \frac{3,4}{\pi(1-0,5)} 37529,9136 \\ &= 81233,7691 \text{ cm/dt} \end{aligned}$$

2) Redaman Dasar Fondasi

$$\rho = 0,0000008787 \text{ kg dt}^2/\text{cm}^4$$

$$A_b = 18142500 \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} C_y &= \rho V_s A_b \\ &= 0,0000008787 \times 37529,9136 \times 18142500 \\ &= 598291,6676 \text{ kg dt/cm} \end{aligned}$$

3) Redaman Total

Redaman total merupakan jumlah redaman pada dasar fondasi dengan dinding fondasi.

$$\begin{aligned} C_{y,emb} &= C_y + 4\rho V_s B d + 4\rho V_{LA} L d \\ &= 598291,6676 + (4 \times 0,0000008787 \times 37529,9136 \times 1475 \times 200) \\ &\quad + (4 \times 0,0000008787 \times 81233,7691 \times 3075 \times 200) \\ &= 812799,0672 \text{ kg dt/cm} \end{aligned}$$

b. Searah Sumbu X

Perhitungan redaman horizontal searah sumbu x digunakan persamaan 3.63 dan 3.65 yang akan dijelaskan sebagai berikut.

1) Kecepatan Semu Gelombang Longitudinal (*Lymner Analog*)

$$V_s = 37529,9136 \text{ cm/dt}$$

$$\nu = 0,5$$

$$\begin{aligned} V_{LA} &= \frac{3,4}{\pi(1-\nu)} V_s \\ &= \frac{3,4}{\pi(1-0,5)} 37529,9136 \\ &= 81233,7691 \text{ cm/dt} \end{aligned}$$

2) Redaman Dasar Fondasi

$$\rho = 0,0000008787 \text{ kg dt}^2/\text{cm}^4$$

$$A_b = 18142500 \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} C_x &= \rho V_s A_b \\ &= 0,0000008787 \times 37529,9136 \times 18142500 \\ &= 598291,6676 \text{ kg dt/cm} \end{aligned}$$

3) Redaman Total

Redaman total merupakan jumlah redaman pada dasar fondasi dengan dinding fondasi.

$$\begin{aligned} C_{x,emb} &= C_x + 4\rho V_{LA} B d + 4\rho V_{LA} L d \\ &= 598291,6676 + (4 \times 0,0000008787 \times 81233,7691 \times 1475 \times 200) \\ &\quad + (4 \times 0,0000008787 \times 81233,7691 \times 3075 \times 200) \\ &= 858113,862 \text{ kg dt/cm} \end{aligned}$$

2. Redaman Rotasi

Redaman rotasi (c_r) dimodelkan sebagai dashpot yang mengurangi deformasi struktur ke arah rotasi baik pada arah x maupun arah y.

a. Searah Sumbu Y (Terhadap Sumbu X)

Perhitungan redaman rotasi searah sumbu y digunakan persamaan 3.66 dan 3.68 yang akan dijelaskan sebagai berikut.

1) Momen Inersia Dasar Fondasi (Terhadap Sumbu X)

$$\begin{aligned}
 I_{bx} &= \frac{1}{12} (2L) (2B)^3 \\
 &= \frac{1}{12} (6150) (2950)^3 \\
 &= 1,3157 \times 10^{13} \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

2) Redaman Pada Dasar Fondasi

$$\begin{aligned}
 C_{ry} &= \rho V_{LA} I_{bx} \\
 &= 0,0000008787 \times 81233,7691 \times 1,3157 \times 10^{13} \\
 &= 9,3915 \times 10^{11} \text{ kg dt/rad}
 \end{aligned}$$

3) Redaman Total

Redaman total merupakan jumlah redaman pada dasar fondasi dengan dinding fondasi.

$$\begin{aligned}
 C_{ry,emb} &= C_{ry} + \rho I_{bx} \left(\frac{d}{B} \right) \left[V_{LA} \left(\frac{d^2}{B^2} \right) + 3V_s + V_s \left(\frac{B}{L} \right) \left(1 + \left(\frac{d^2}{B^2} \right) \right) \right] \\
 &= 1,1467 \times 10^{12} \text{ kg dt/rad}
 \end{aligned}$$

b. Searah Sumbu X (Terhadap Sumbu Y)

Perhitungan redaman rotasi searah sumbu x digunakan persamaan 3.67 dan 3.69 yang akan dijelaskan sebagai berikut.

1) Momen Inersia Dasar Fondasi (Terhadap Sumbu Y)

$$\begin{aligned}
 I_{by} &= \frac{1}{12} (2L)^3 (2B) \\
 &= \frac{1}{12} (6150)^3 (2950) \\
 &= 5,7183 \times 10^{13} \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

2) Redaman Pada Dasar Fondasi

$$\begin{aligned}
 C_{rx} &= \rho V_{LA} I_{by} \\
 &= 0,0000008787 \times 81233,7691 \times 5,7183 \times 10^{13} \\
 &= 4,0817 \times 10^{12} \text{ kg dt/rad}
 \end{aligned}$$

3) Redaman Total

Redaman total merupakan jumlah redaman pada dasar fondasi dengan dinding fondasi.

$$C_{rx,emb} = C_{rx} + \rho I_{by} \left(\frac{d}{L} \right) \left[V_{LA} \left(\frac{d^2}{L^2} \right) + 3V_s + V_s \left(\frac{B}{L} \right) \left(1 + \left(\frac{d^2}{L^2} \right) \right) \right]$$

$$= 4,453 \times 10^{12} \text{ kg dt/rad}$$

Struktur dengan fondasi dianggap jepit sempurna dapat menggunakan nilai kekakuan dan redaman interaksi tanah dengan fondasi yang sangat besar agar dapat menggambarkan keadaan fondasi dengan tanah yang sangat kaku. Nilai kekakuan dan redaman interaksi tanah dengan fondasi dapat dilihat selengkapnya pada Tabel 5.6 dan Tabel 5.7 berikut ini.

Tabel 5.6 Nilai Kekakuan Interaksi Tanah dengan Fondasi

Pemodelan	Kekakuan Horizontal (kg/cm)		Kekakuan Rotasi (kg/rad)	
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
Fondasi	18793479,6177	20731974,5904	2,1946E+14	6,4379E+13
Jepit	1,8793E+18	2,0732E+18	2,1946E+25	6,4379E+24

Tabel 5.7 Nilai Redaman Interaksi Tanah dengan Fondasi

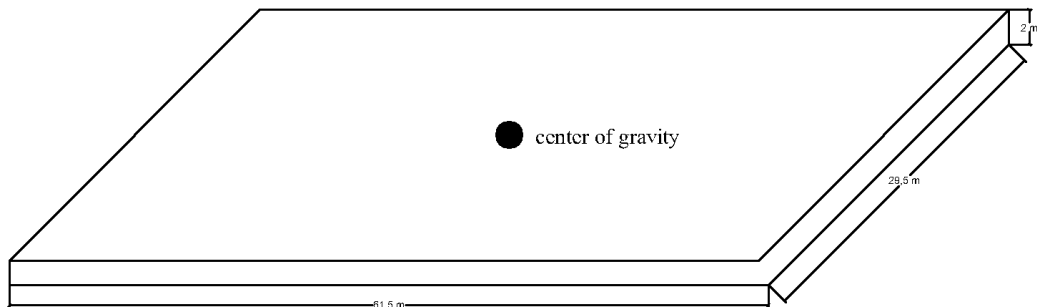
Pemodelan	Redaman Horizontal (kg dt/cm)		Redaman Rotasi (kg dt/rad)	
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
Fondasi	858113,8620	812799,0672	4,4530E+12	1,1467E+12
Jepit	8,5811E+16	8,1280E+16	4,4530E+23	1,1467E+23

5.6 Massa Lantai Dasar (m_0) dan Momen Inersia Polar (I_G)

Selain dipengaruhi oleh getaran akibat gempa bumi, respon dinamik fondasi juga dipengaruhi oleh massa fondasi itu sendiri ditambah massa lantai dasar di atasnya. Hal ini sesuai dengan Hukum II Newton yang menyatakan bahwa gaya yang terjadi adalah produk dari massa dan percepatan ($F = m.a$). Selain massa lantai dasar (m_0), respon dinamik fondasi juga dipengaruhi oleh momen inersia polar (I_G) sebagai bentuk reaksi untuk melawan rotasi yang terjadi. Momen inersia polar (I_G) dipengaruhi oleh massa total bangunan dan fondasi serta letak titik beratnya. Perhitungan massa lantai dasar (m_0) dan momen inersia polar (I_G) akan dijelaskan sebagai berikut ini.

5.6.1 Perhitungan Massa Lantai Dasar (m_0)

Metode untuk menghitung massa lantai dasar (m_0) sama dengan metode perhitungan massa struktur atas bangunan. Pertama harus diperhitungkan berat fondasi terlebih dahulu kemudian berat dinding dan kolom yang berada di atasnya. Berat fondasi dihitung berdasarkan beban mati akibat berat sendiri fondasi. Berat dinding dan kolom dihitung dengan cara yang sama pada perhitungan berat struktur atas bangunan. Fondasi yang digunakan memiliki ukuran 61,5 m x 29,5 m x 2 m dengan pemodelan seperti pada Gambar 5.9 berikut ini.



Gambar 5.9 Model 3D Struktur *Mat Foundations*

1. Perhitungan Berat Fondasi

Berat fondasi dihitung berdasarkan berat sendiri struktur fondasi yang akan dijelaskan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Lebar fondasi (B)} &= 29,5 \text{ m} \\
 \text{Panjang fondasi (L)} &= 61,5 \text{ m} \\
 \text{Tebal fondasi (H)} &= 2 \text{ m} \\
 \text{Volume fondasi (V)} &= B \times L \times H \\
 &= 29,5 \times 61,5 \times 2 \\
 &= 3628,5 \text{ m}^3 \\
 \text{Berat fondasi (W)} &= V \times \gamma \\
 &= 3628,5 \times 2,4 \\
 &= 8708,4 \text{ Ton}
 \end{aligned}$$

2. Perhitungan Berat Kolom

Berat kolom yang dihitung adalah $\frac{1}{2}$ berat kolom lantai 1 yang ditahan oleh lantai dasar. Berat $\frac{1}{2}$ kolom lantai dasar dihitung berdasarkan berat sendiri struktur kolom (K_1) sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 n \text{ kolom} &= 65 \\
 T_n \text{ kolom} &= \frac{T}{2} \\
 &= \frac{3,5}{2} = 1,75 \text{ m} \\
 \text{Luasan kolom (A)} &= B \times H \\
 &= 0,7 \times 0,9 = 0,63 \text{ m}^2 \\
 \text{Volume kolom (V)} &= A \times T_n \\
 &= 0,63 \times 1,75 = 1,1025 \text{ m}^3 \\
 \text{Berat kolom (W)} &= V \times \gamma \times n \\
 &= 1,1025 \times 2,4 \times 65 \\
 &= 171,99 \text{ Ton}
 \end{aligned}$$

3. Perhitungan Berat Dinding

Berat dinding dihitung berdasarkan berat sendiri dinding pada arah x dan arah y. Perhitungan berat dinding akan dijelaskan sebagai berikut ini.

a. Dinding Arah X

$$\begin{aligned}
 Q_D &= 0,56 \text{ T/m (dari perhitungan berat bangunan)} \\
 n &= 60 \\
 L_n &= L \text{ balok x} - B \text{ kolom} \\
 &= 5 - 0,7 = 4,3 \text{ m} \\
 \text{Berat dinding x (W)} &= Q_D \times L_n \times n \\
 &= 0,56 \times 4,3 \times 60 \\
 &= 144,48 \text{ Ton}
 \end{aligned}$$

b. Dinding Arah Y

$$\begin{aligned}
 Q_D &= 0,56 \text{ T/m (dari perhitungan berat bangunan)} \\
 n &= 52 \\
 L_n &= L \text{ balok y} - H \text{ kolom}
 \end{aligned}$$

$$= 7 - 0,9 = 6,1 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat dinding y (W)} &= Q_D \times L_n \times n \\ &= 0,56 \times 6,1 \times 52 \\ &= 177,632 \text{ Ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat dinding (W)} &= \text{Berat dinding x} + \text{Berat dinding y} \\ &= 144,48 + 177,632 \\ &= 322,112 \text{ Ton} \end{aligned}$$

4. Perhitungan Berat Total Lantai Dasar (W_0)

Berat total lantai dasar merupakan penjumlahan dari berat sendiri fondasi, berat $\frac{1}{2}$ kolom lantai 1, dan berat dinding lantai dasar dengan perhitungan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Berat Lantai Dasar (W}_0\text{)} &= \text{Berat fondasi} + \text{Berat kolom} + \text{Berat dinding} \\ &= 8708,4 + 171,99 + 322,112 \\ &= 9202,502 \text{ Ton} \end{aligned}$$

5. Perhitungan Massa Lantai Dasar (m_0)

Perhitungan massa lantai dasar menggunakan persamaan 3.1 dimana massa adalah berat dibagi percepatan gravitasi dengan nilai percepatan gravitasi diambil sebesar 981 cm/dt^2 . Berikut perhitungan nilai massa lantai dasar (m_0).

$$\begin{aligned} m_0 &= \frac{W_0}{g} \\ &= \frac{9202,502 \times 1000}{981} \\ &= 9380,736 \text{ kg dt}^2/\text{cm} \end{aligned}$$

5.6.2 Perhitungan Momen Inersia Polar (I_G)

Perhitungan momen inersia polar (I_G) menggunakan persamaan 3.70 sampai dengan persamaan 3.72. Momen inersia polar (I_G) akan melawan rotasi yang terjadi terhadap fondasi dan bangunan. Perhitungan momen inersia polar (I_G) akan dijelaskan sebagai berikut ini.

1. Massa Total Bangunan + Fondasi

$$\begin{aligned} m_{\text{total}} &= \sum_{i=1}^{i=n} m_i \\ &= 9380,736 + (14 \times 1911,2581) + 1093,978 \end{aligned}$$

$$= 37232,3269 \text{ kg dt}^2/\text{cm}$$

2. Momen Inersia Massa (I_{θ})

a. Terhadap Sumbu X (I_{θ_x})

$$\text{Tebal fondasi (a)} = 200 \text{ cm}$$

$$\text{Lebar fondasi (B)} = 2950 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} I_{\theta_x} &= \frac{1}{12} m (a^2 + B^2) \\ &= \frac{1}{12} 37232,3269 (200^2 + 2950^2) \\ &= 2,7125 \times 10^{10} \text{ kg dt}^2 \text{ cm} \end{aligned}$$

b. Terhadap Sumbu Y (I_{θ_y})

$$\text{Tebal fondasi (a)} = 200 \text{ cm}$$

$$\text{Panjang fondasi (L)} = 6150 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} I_{\theta_y} &= \frac{1}{12} m (a^2 + L^2) \\ &= \frac{1}{12} 37232,3269 (200^2 + 6150^2) \\ &= 1,1748 \times 10^{11} \text{ kg dt}^2 \text{ cm} \end{aligned}$$

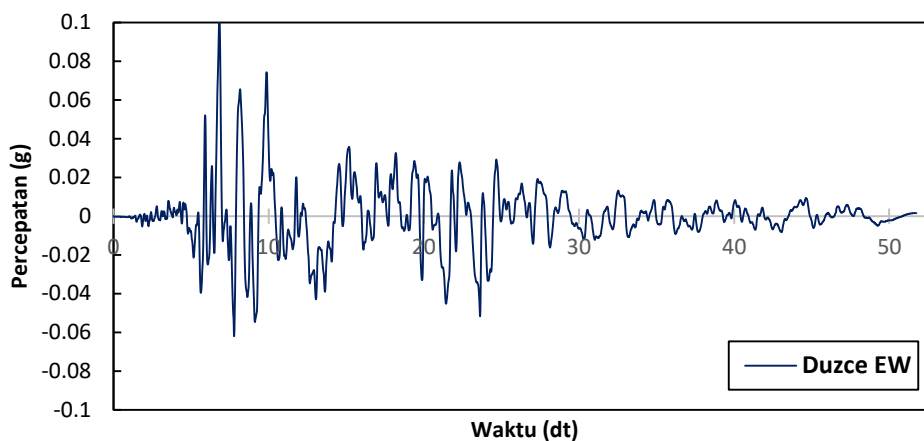
3. Momen Inersia Polar (I_G)

$$\begin{aligned} I_G &= I_{\theta_x} + I_{\theta_y} \\ &= 2,7125 \times 10^{10} + 1,1748 \times 10^{11} \\ &= 1,446 \times 10^{11} \text{ kg dt}^2 \text{ cm} \end{aligned}$$

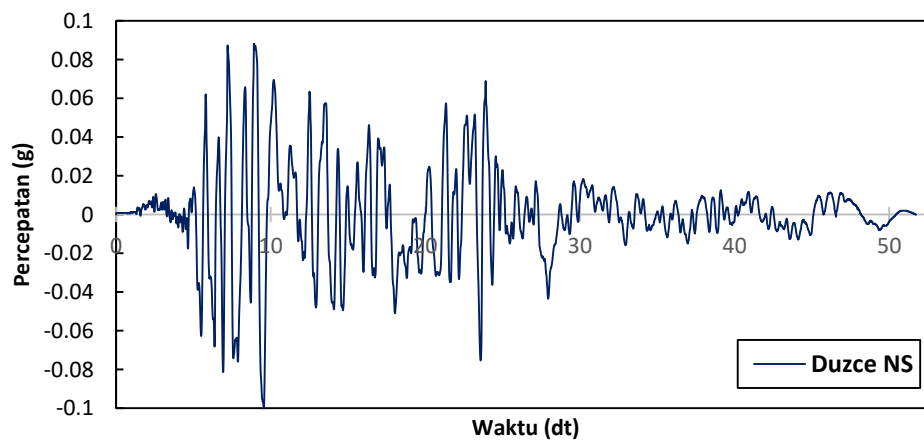
5.7 Respon Dinamik Struktur

Pada penelitian ini, respon dinamik yang dihasilkan berupa simpangan netto, sudut rotasi, simpangan rotasi, simpangan total, *interstorey drift ratio*, gaya horizontal tingkat, gaya geser tingkat, dan momen guling. Data gempa yang digunakan pada analisis adalah Gempa Duzce (frekuensi rendah), Gempa EL-Centro 1940 (frekuensi sedang), dan Gempa Manjil (frekuensi tinggi) yang rekaman percepatan tanahnya sebelum dinormalisasi dapat dilihat pada Lampiran 2. Gempa-gempa tersebut dinormalisasi sehingga memiliki percepatan maksimum yang sama yaitu sebesar 0,1g (98,1 cm/dt²). Hal ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh frekuensi gempa terhadap respon struktur, kemudian diambil nilai

percepatan maksimum sebesar 0,1g karena pada percepatan maksimum tersebut struktur bangunan masih dalam kondisi elastik dengan *interstory drift ratio* < 0,5 % (sesuai Peraturan Perencanaan Tahan Gempa Indonesia Untuk Gedung 1981). Gempa-gempa yang sudah dinormalisasi dan digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 5.10 sampai 5.12 berikut.

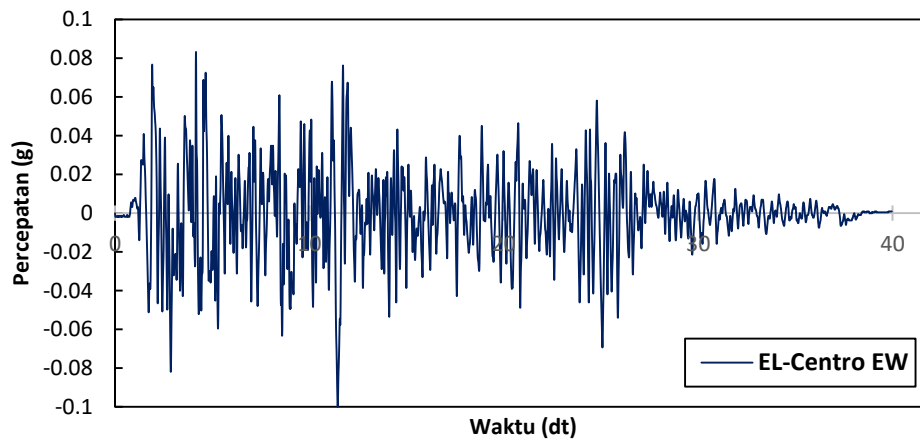


a. East-West (Arah X)

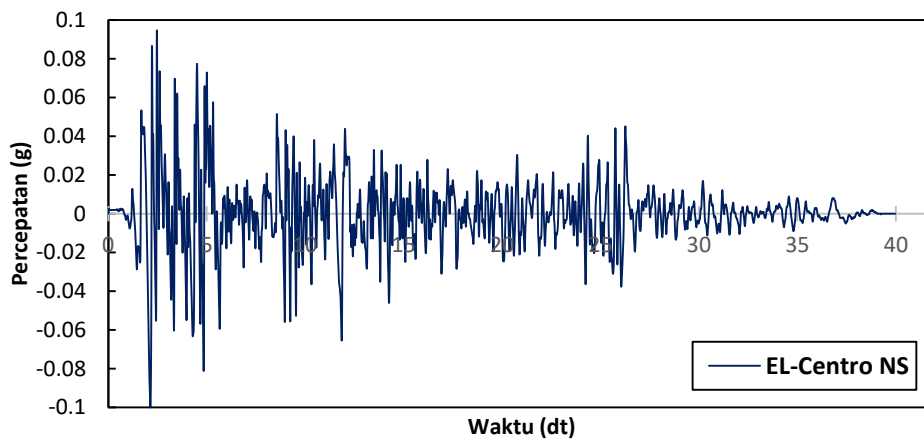


b. North-South (Arah Y)

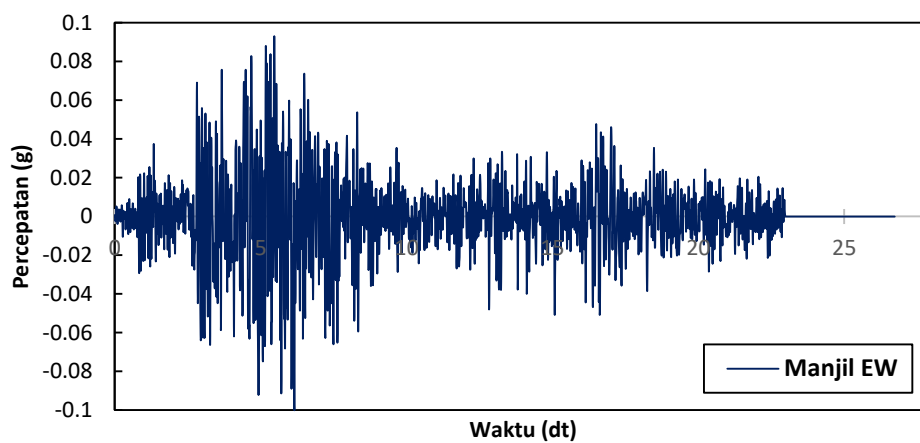
Gambar 5.10 Plot Percepatan Gempa Duzce (Frekuensi Rendah)



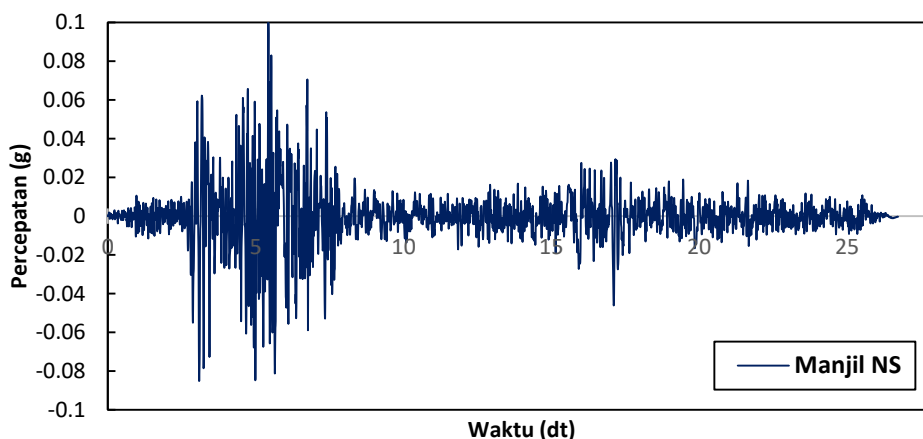
a. East-West (Arah X)



b. North-South (Arah Y)

Gambar 5.11 Plot Percepatan Gempa EL-Centro 1940 (Frekuensi Sedang)

a. East-West (Arah X)



b. North-South (Arah Y)

Gambar 5.12 Plot Percepatan Gempa Manjil (Frekuensi Tinggi)

Masing-masing skala normalisasi gempa dan A/V ratio-nya yakni:

1. Percepatan Gempa Duzce (Frekuensi Rendah)

Arah X (East-West) = 0,1869 A/V Ratio = 0,32 g/m/dt

Arah Y (North-South) = 0,2874 A/V Ratio = 0,29 g/m/dt

2. Percepatan Gempa EL-Centro 1940 (Frekuensi Sedang)

Arah X (East-West) = 0,4651 A/V Ratio = 0,74 g/m/dt

Arah Y (North-South) = 0,3195 A/V Ratio = 1,06 g/m/dt

3. Percepatan Gempa Manjil (Frekuensi Tinggi)

Arah X (East-West) = 0,2016 A/V Ratio = 1,89 g/m/dt

Arah Y (North-South) = 0,1942 A/V Ratio = 2,41 g/m/dt

5.7.1 Karakteristik Vibrasi

Karakteristik vibrasi merupakan karakteristik yang ada pada sebuah benda yang bergetar termasuk pada struktur bangunan. Karakteristik vibrasi terdiri dari frekuensi sudut (ω), frekuensi natural (f), dan periode getar (T). Pada struktur bangunan, karakteristik vibrasi dihitung berdasarkan getaran bebas bangunan tanpa adanya gaya dari luar. Getaran bebas struktur bangunan dipengaruhi oleh massa, kekakuan, dan redaman seperti yang ditunjukkan persamaan 3.32. Nilai redaman dapat diabaikan sebagai bentuk penyederhanaan perhitungan karena tidak ada perbedaan yang signifikan antara nilai karakteristik vibrasi struktur dengan

redaman dan struktur tanpa redaman apabila rasio redaman (*damping ratio*) struktur relatif kecil sehingga persamaan 3.32 akan menjadi persamaan 3.33.

Jumlah nilai karakteristik vibrasi mengikuti jumlah tingkat bangunan atau lebih tepatnya mengikuti jumlah ragam goyangan (*mode shape*) yang terjadi. Pada penelitian ini, interaksi tanah dengan fondasi diperhitungkan sehingga struktur bangunan tidak memiliki pola goyangan yang tetap, tetapi karakteristik vibrasi struktur bangunan tetap diperhitungkan karena akan digunakan dalam menyusun matrik redaman dan mengetahui pengaruh karakteristik vibrasi terhadap respon struktur bangunan.

1. Frekuensi Sudut (ω)

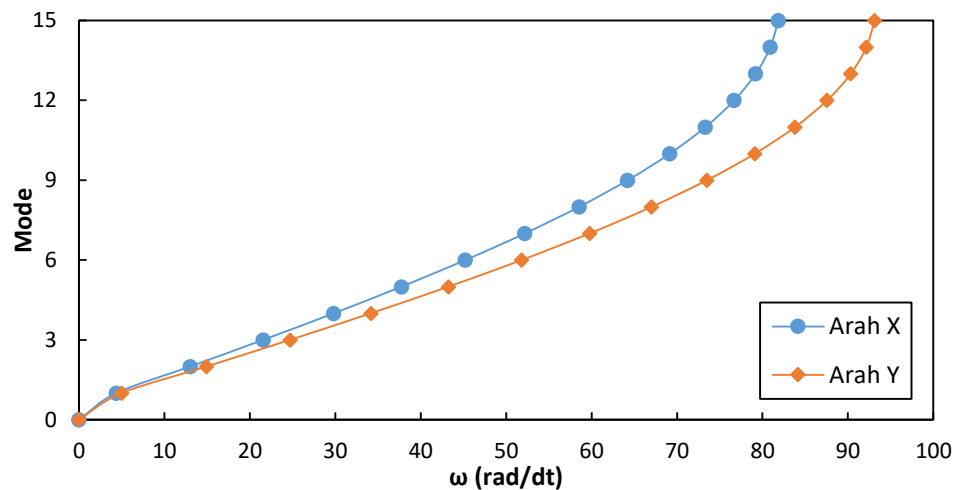
Frekuensi sudut suatu struktur MDOF didapatkan dari penyelesaian persamaan 3.42, tetapi secara umum rumus frekuensi sudut (ω) adalah sebagai berikut ini.

$$\omega = \sqrt{\frac{\text{Kekakuan } (k)}{\text{Massa } (m)}}$$

Frekuensi sudut (ω) merupakan nilai yang sangat penting karena jika frekuensi sudut struktur bangunan dan frekuensi sudut gaya getar nilainya sama maka akan terjadi resonansi yang menyebabkan respon struktur menjadi tak terhingga nilainya sehingga bangunan akan roboh. Pada penelitian ini, frekuensi sudut (ω) ditinjau secara 3 dimensi (3D) sehingga akan memiliki nilai pada arah x dan arah y. Hasil perhitungan frekuensi sudut (ω) untuk bangunan reguler pada arah x dan arah y dapat dilihat pada Tabel 5.8 berikut, kemudian grafik perbandingan frekuensi sudut (ω) bangunan reguler antara arah x dengan arah y dapat dilihat pada Gambar 5.13 berikut.

Tabel 5.8 Frekuensi Sudut Bangunan Reguler

Mode	Frekuensi Sudut (rad/dt)	
	Arah X	Arah Y
15	81,83860	93,12822
14	80,90353	92,15429
13	79,20064	90,33284
12	76,67866	87,56345
11	73,32791	83,81891
10	69,16313	79,11646
9	64,21722	73,49887
8	58,53780	67,02579
7	52,18468	59,76967
6	45,22787	51,81361
5	37,74597	43,24973
4	29,82472	34,17785
3	21,55568	24,70413
2	13,03499	14,93976
1	4,36199	4,99954

**Gambar 5.13 Perbandingan Nilai Frekuensi Sudut Bangunan Reguler**

Tabel 5.8 dan Gambar 5.13 di atas menunjukkan bahwa nilai frekuensi sudut (ω) pada arah y lebih besar daripada arah x karena nilai kekakuan struktur pada arah y lebih besar daripada nilai kekakuan struktur pada arah x. Selanjutnya, semakin tinggi *mode*, maka akan semakin besar nilai frekuensi sudut (ω).

2. Frekuensi Natural (f)

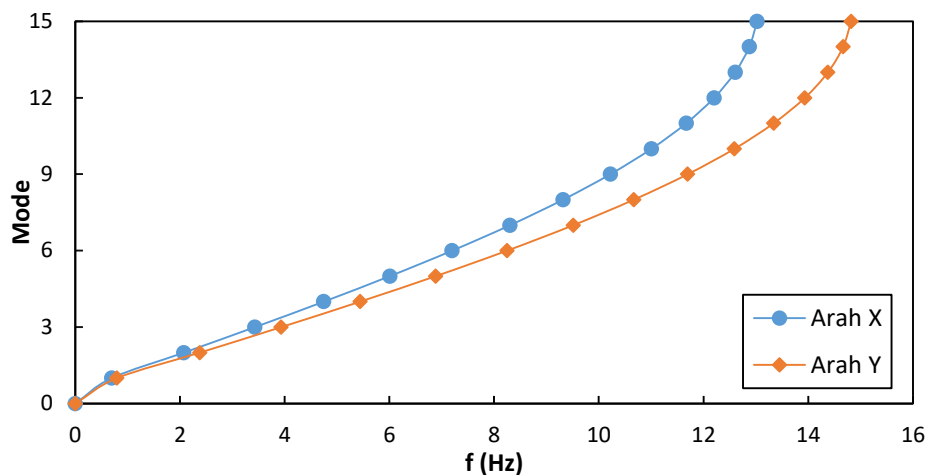
Frekuensi natural dapat dicari setelah nilai frekuensi sudut (ω) diketahui dengan persamaan sebagai berikut.

$$f = \frac{\omega}{2\pi}$$

Frekuensi natural (f) adalah banyaknya getaran yang terjadi pada bangunan selama 1 detik. Frekuensi natural (f) memiliki satuan Hertz (Hz) atau *cycles per second (cps)*. Pada penelitian ini, frekuensi natural (f) ditinjau secara 3 dimensi (3D) sehingga akan memiliki nilai pada arah x dan arah y. Hasil perhitungan frekuensi natural (f) untuk bangunan reguler pada arah x dan arah y dapat dilihat pada Tabel 5.9 berikut, kemudian grafik perbandingan frekuensi natural (f) bangunan reguler antara arah x dengan arah y dapat dilihat pada Gambar 5.14 berikut.

Tabel 5.9 Frekuensi Natural Bangunan Reguler

Mode	Frekuensi Natural (Hz)	
	Arah X	Arah Y
15	13,02502	14,82182
14	12,87620	14,66681
13	12,60517	14,37692
12	12,20379	13,93616
11	11,67050	13,34019
10	11,00765	12,59178
9	10,22049	11,69771
8	9,31658	10,66749
7	8,30545	9,51264
6	7,19824	8,24639
5	6,00746	6,88341
4	4,74675	5,43957
3	3,43069	3,93178
2	2,07458	2,37774
1	0,69423	0,79570



Gambar 5.14 Perbandingan Nilai Frekuensi Natural Bangunan Reguler

Tabel 5.9 dan Gambar 5.14 di atas menunjukkan bahwa nilai frekuensi natural (f) pada arah y lebih besar daripada arah x karena nilai frekuensi natural (f) berbanding lurus dengan nilai frekuensi sudut (ω). Semakin kaku suatu struktur maka nilai frekuensi natural (f) akan semakin besar yang memiliki arti bahwa struktur akan bergetar atau bergoyang pada frekuensi tinggi. Selanjutnya, semakin tinggi *mode*, maka semakin besar nilai frekuensi natural (f).

3. Periode Getar Struktur (T)

Periode getar struktur (T) merupakan properti yang sangat penting dalam proses perancangan struktur, khususnya dalam struktur bangunan tahan gempa. Periode getar (T) adalah waktu yang diperlukan untuk mengalami 1 kali siklus getaran. Pada struktur bangunan, 1 kali siklus getaran sama dengan menempuh satu putaran lengkap dari suatu getaran ketika mulai terganggu dari posisi keseimbangan statis dan kembali ke posisi aslinya. Nilai periode getar struktur (T) dapat dicari setelah nilai frekuensi sudut (ω) atau frekuensi natural (f) diketahui dengan rumus seperti berikut ini.

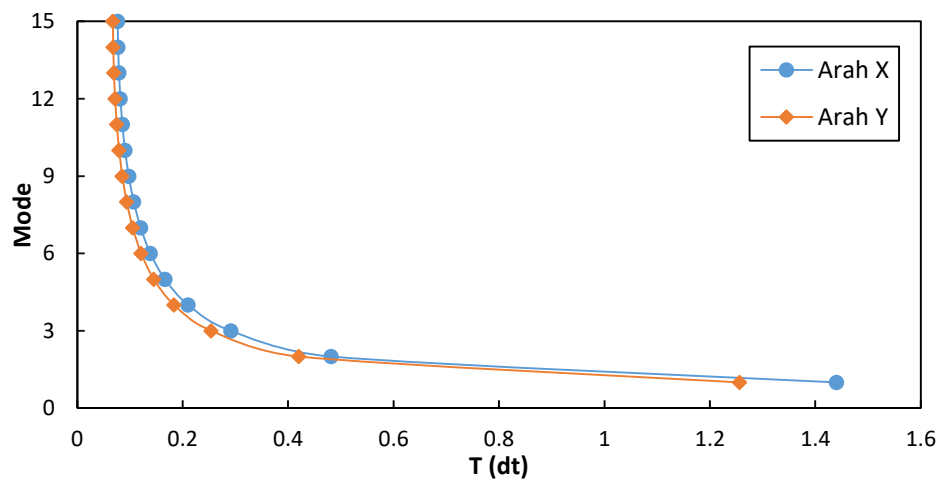
$$T = \frac{2\pi}{\omega} \text{ atau } \frac{1}{f}$$

Pada penelitian ini, periode getar struktur (T) ditinjau secara 3 dimensi (3D) sehingga akan memiliki nilai pada arah x dan arah y . Hasil perhitungan periode

getar struktur (T) untuk bangunan reguler pada arah x dan arah y dapat dilihat pada Tabel 5.10, kemudian grafik perbandingan periode getar struktur (T) bangunan reguler antara arah x dengan arah y dapat dilihat pada Gambar 5.15 berikut.

Tabel 5.10 Periode Getar Struktur Bangunan Reguler

Mode	Periode Getar (dt)	
	Arah X	Arah Y
15	0,07678	0,06747
14	0,07766	0,06818
13	0,07933	0,06956
12	0,08194	0,07176
11	0,08569	0,07496
10	0,09085	0,07942
9	0,09784	0,08549
8	0,10734	0,09374
7	0,12040	0,10512
6	0,13892	0,12127
5	0,16646	0,14528
4	0,21067	0,18384
3	0,29149	0,25434
2	0,48202	0,42057
1	1,44044	1,25675



Gambar 5.15 Perbandingan Nilai Periode Getar Struktur Bangunan Reguler

Tabel 5.10 dan Gambar 5.15 di atas menunjukkan bahwa nilai periode getar struktur (T) pada arah y lebih kecil daripada arah x karena nilai periode getar struktur (T) berbanding terbalik dengan nilai frekuensi sudut (ω) dan frekuensi natural (f). Semakin kaku suatu struktur maka nilai periode getar struktur (T) akan semakin kecil. Selanjutnya, semakin tinggi *mode*, maka semakin kecil nilai periode getar struktur (T).

5.7.2 Simpangan Netto

Simpangan netto adalah simpangan bersih atau simpangan arah horizontal setiap lantai relatif terhadap lantai dasar/fondasi yang terjadi akibat adanya beban gempa yang dapat dilihat pada Gambar 3.16. Pada penelitian ini, simpangan netto diperoleh melalui iterasi *dependent* dengan metode β -Newmark. Hasil perhitungan simpangan netto ditampilkan dalam bentuk grafik antara simpangan netto lawan waktu (dengan interval waktu 0,01 dt). Simpangan netto yang dicari meliputi simpangan netto pada bangunan reguler dengan rotasi dan tanpa rotasi dengan pembebanan dominan arah x dan dominan arah y yang akan dijelaskan sebagai berikut.

1. Simpangan Netto Struktur Bangunan Dengan Rotasi

Simpangan netto struktur bangunan reguler dengan rotasi dengan beban gempa frekuensi rendah, frekuensi sedang, dan frekuensi tinggi dan pada pembebanan dominan x dan dominan y dengan beban 100%, beban 30%, resultan simpangan netto, dan tampak atas simpangan netto (simpangan netto lantai 15) dapat dilihat pada Gambar 5.16 s/d Gambar 5.25. Nilai-nilai maksimum simpangan netto setiap lantai pada setiap frekuensi beban gempa dan arah pembebanan dapat dilihat pada Tabel 5.11 s/d Tabel 5.14 dan Gambar 5.26 s/d Gambar 5.28.

Hasil tabel dan gambar grafik tersebut menunjukkan bahwa simpangan netto maksimum semakin besar pada lantai yang lebih tinggi pada setiap frekuensi beban gempa karena pada lantai yang lebih tinggi, nilai kekakuan akan semakin kecil dan tinggi lantai akan semakin besar sehingga simpangan netto akan semakin besar.

Gempa dengan frekuensi rendah (Gempa Duzce) menghasilkan simpangan netto yang paling besar pada struktur baik pada pembebanan dominan x maupun pembebanan dominan y, sedangkan gempa dengan frekuensi tinggi (Gempa Manjil) menghasilkan simpangan netto yang paling kecil dan gempa dengan frekuensi sedang (Gempa EL-Centro 1940) berada diantaranya. Hal ini dikarenakan struktur bangunan tinggi bersifat fleksibel sehingga akan mempunyai frekuensi sudut (ω) dan frekuensi natural (f) yang rendah dan

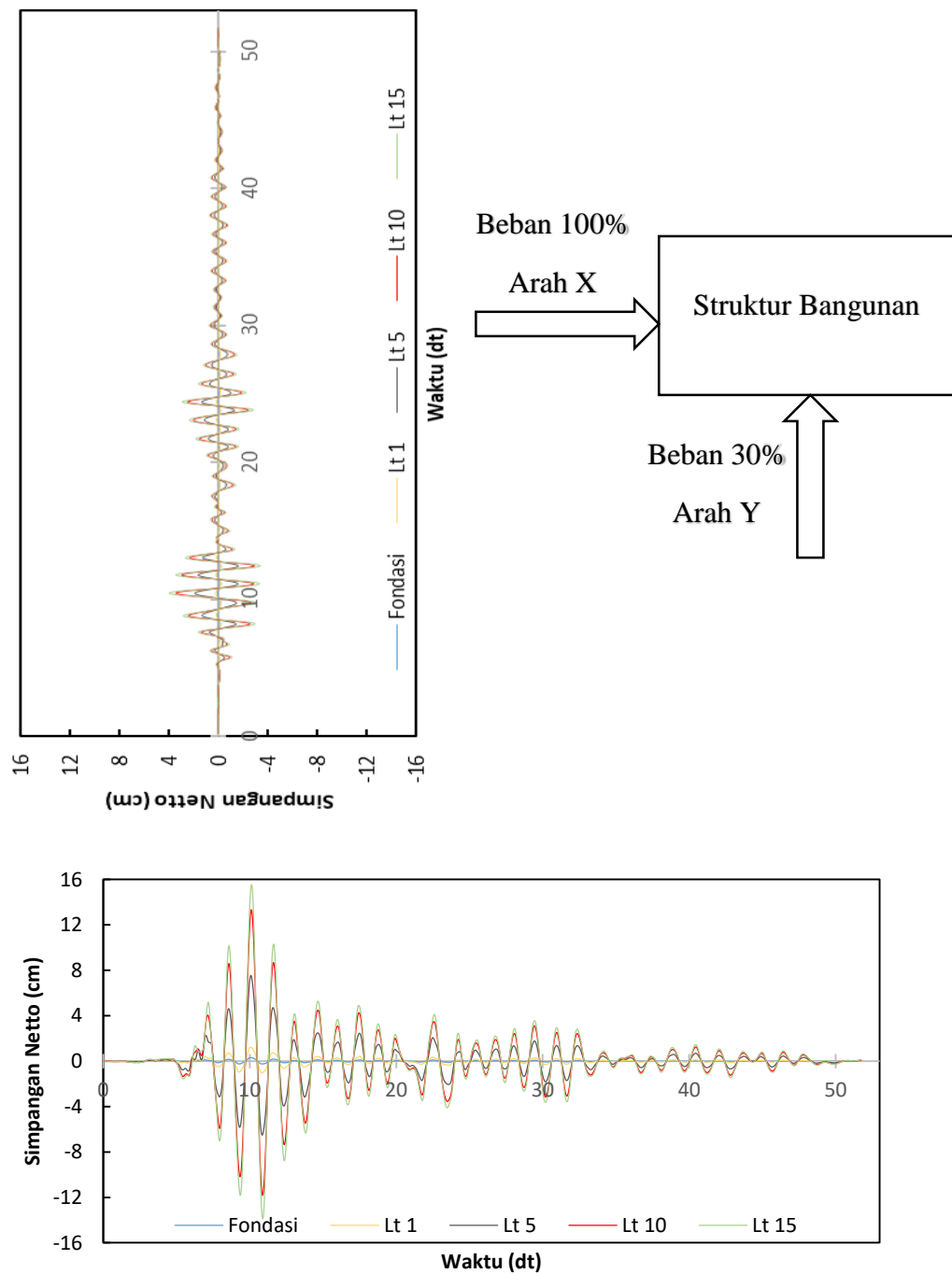
menyebabkan bangunan akan bergetar pada frekuensi rendah atau berasosiasi dengan baik dengan gempa frekuensi rendah.

Resultan simpangan netto akibat pembebanan dominan x lebih besar daripada resultan simpangan netto akibat pembebanan dominan y pada setiap frekuensi beban gempa. Hal ini dikarenakan walaupun bangunan berbentuk pipih pada arah y, tetapi kekakuan struktur arah x lebih kecil dari kekakuan struktur arah y akibat inersia kolom arah x lebih kecil dibandingkan dengan inersia kolom arah y serta kekakuan balok arah x yang mengekang kolom lebih kecil dari kekakuan balok arah y yang mengekang kolom.

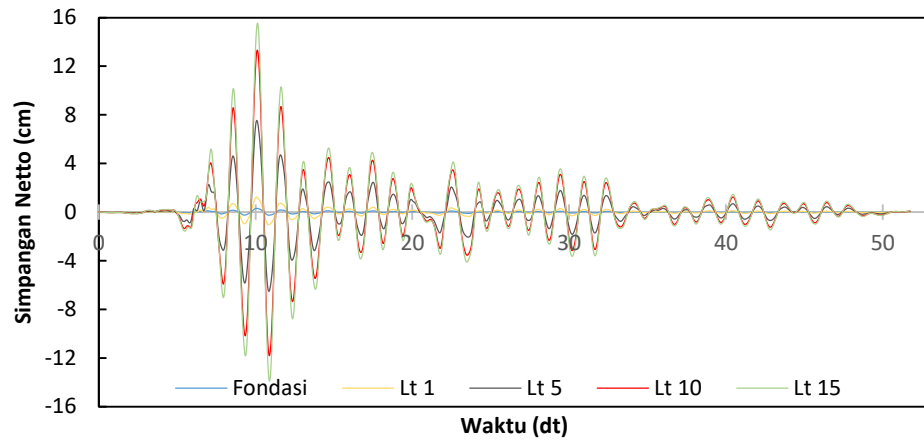
Gempa dengan frekuensi rendah (Gempa Duzce) pada pembebanan dominan y menghasilkan resultan simpangan lantai dasar/fondasi lebih besar daripada pembebanan dominan x, sedangkan gempa dengan frekuensi sedang (Gempa EL-Centro 1940) dan gempa dengan frekuensi tinggi (Gempa Manjil) pada pembebanan dominan x menghasilkan resultan simpangan lantai dasar/fondasi lebih besar daripada pembebanan dominan y. Secara umum, resultan simpangan lantai dasar/fondasi pada pembebanan dominan x lebih besar daripada pembebanan dominan y karena kekakuan horizontal interaksi tanah dengan fondasi lebih kecil nilainya pada arah x. Namun, hasil yang berbeda ditunjukkan oleh gempa dengan frekuensi rendah (Gempa Duzce) karena karakteristik gempa (*strong part*) pada arah x lebih kuat daripada arah y.

a. Pembebanan Dominan X

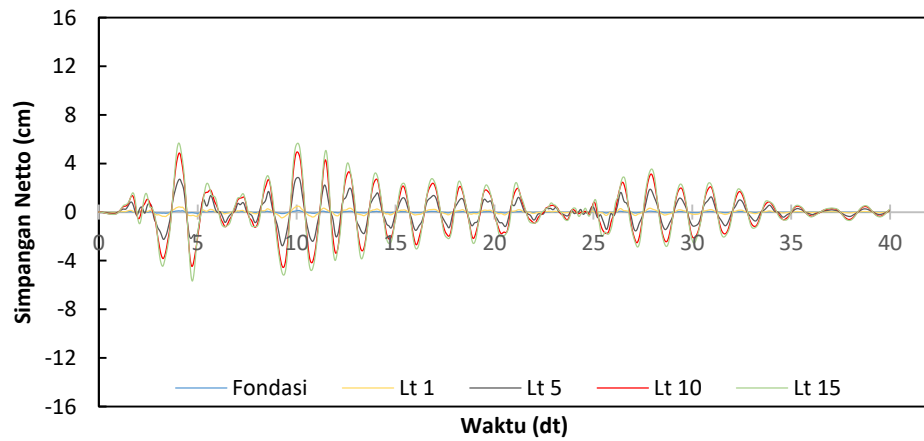
Adapun ilustrasi hasil analisis simpangan netto pada pembebanan dominan x dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



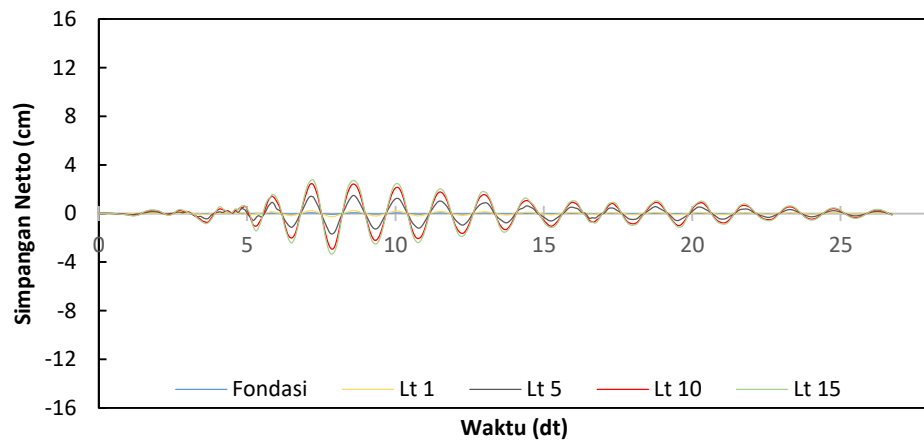
Gambar 5.16 Ilustrasi Simpangan Netto Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan X



a. Frekuensi Rendah

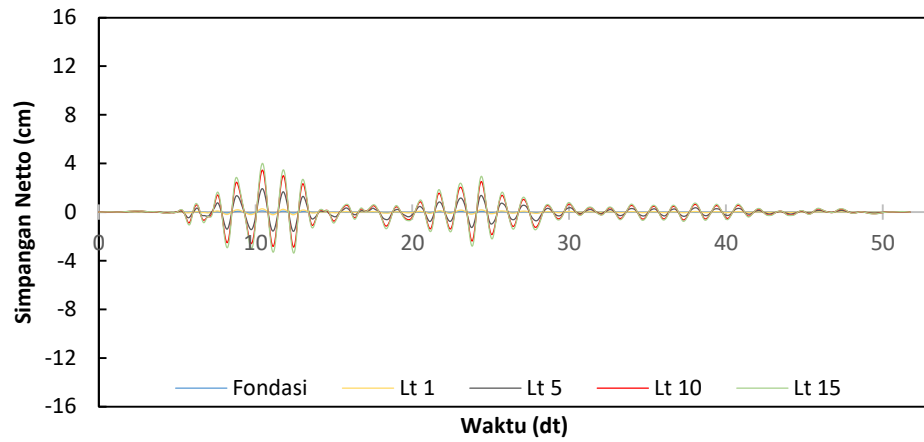


b. Frekuensi Sedang

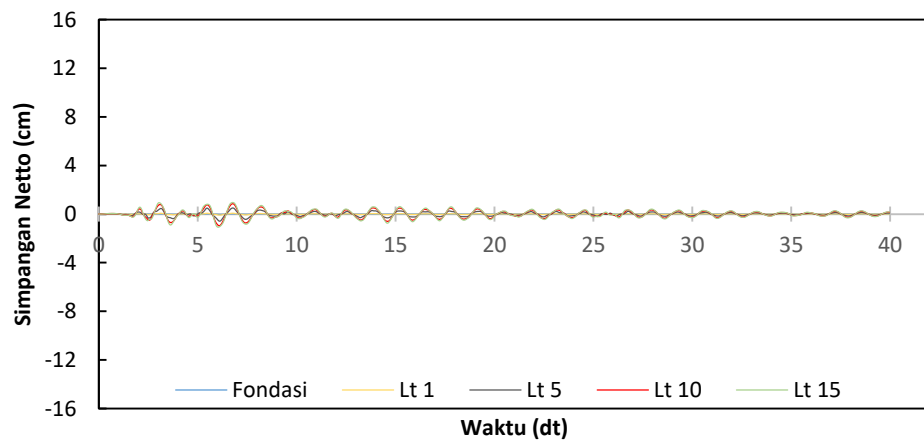


c. Frekuensi Tinggi

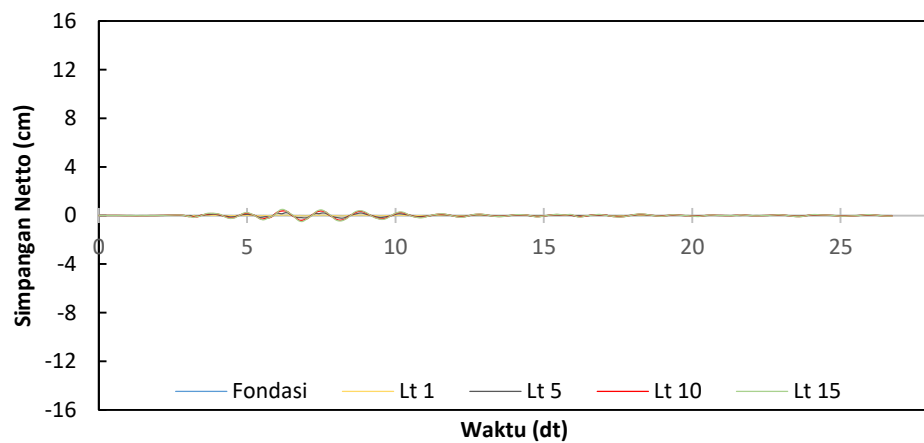
Gambar 5.17 Simpangan Netto Arah X Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan X



a. Frekuensi Rendah

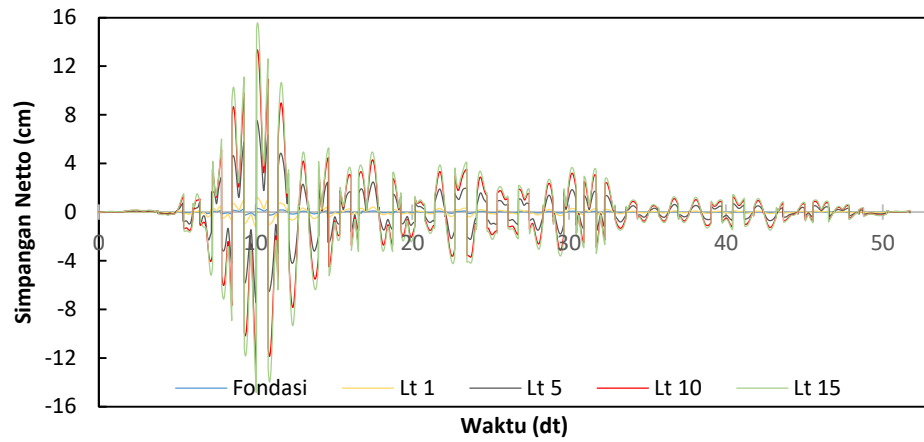


b. Frekuensi Sedang

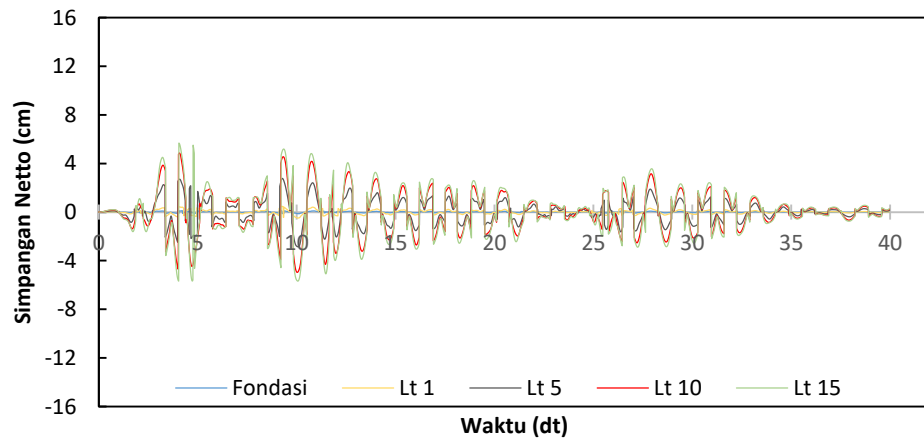


c. Frekuensi Tinggi

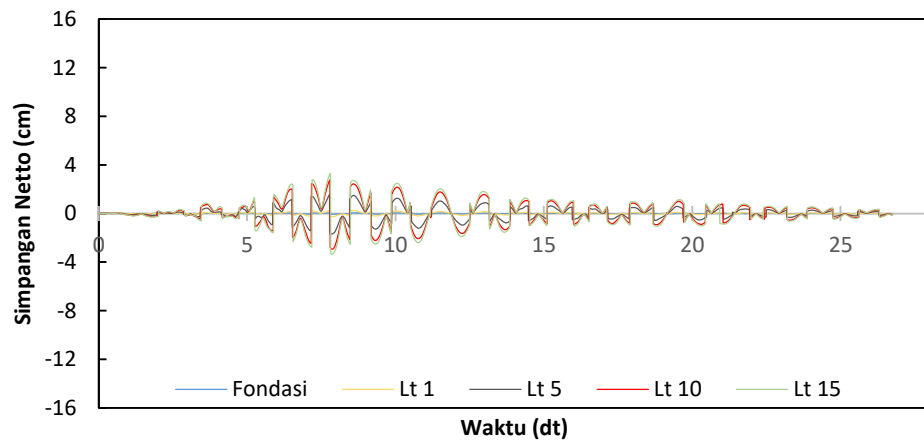
Gambar 5.18 Simpangan Netto Arah Y Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan X



a. Frekuensi Rendah

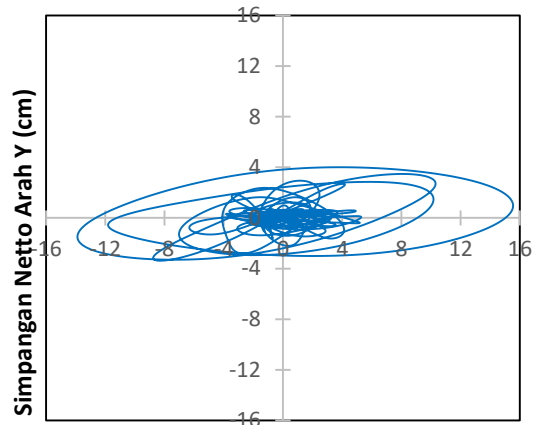


b. Frekuensi Sedang



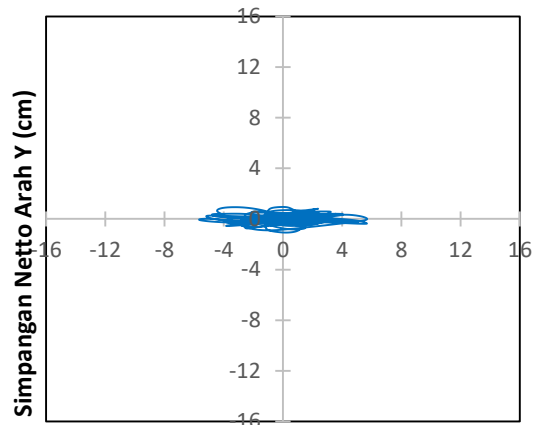
c. Frekuensi Tinggi

Gambar 5.19 Resultan Simpangan Netto Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan X



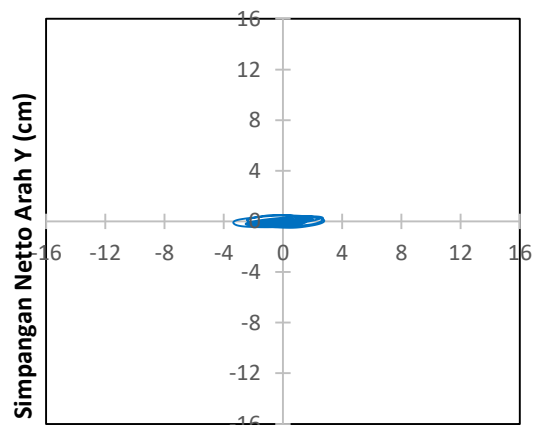
Simpangan Netto Arah X (cm)

a. Frekuensi Rendah



Simpangan Netto Arah X (cm)

b. Frekuensi Sedang



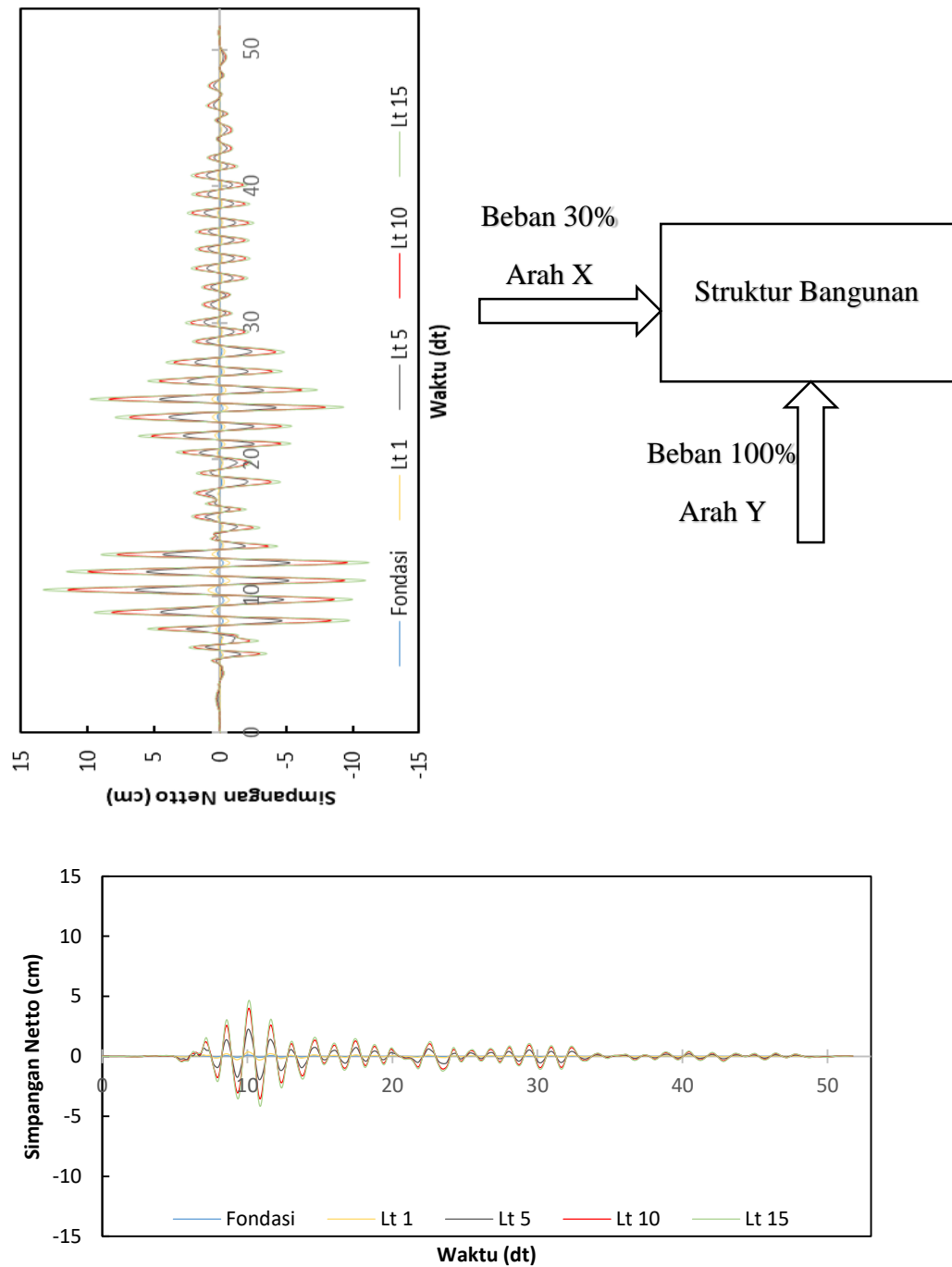
Simpangan Netto Arah X (cm)

c. Frekuensi Tinggi

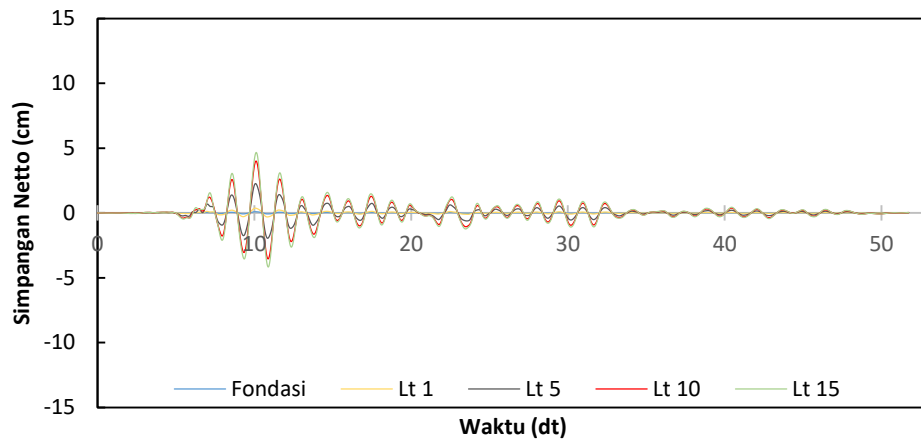
Gambar 5.20 Tampak Atas Simpangan Netto Setiap Frek Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan X

b. Pembebanan Dominan Y

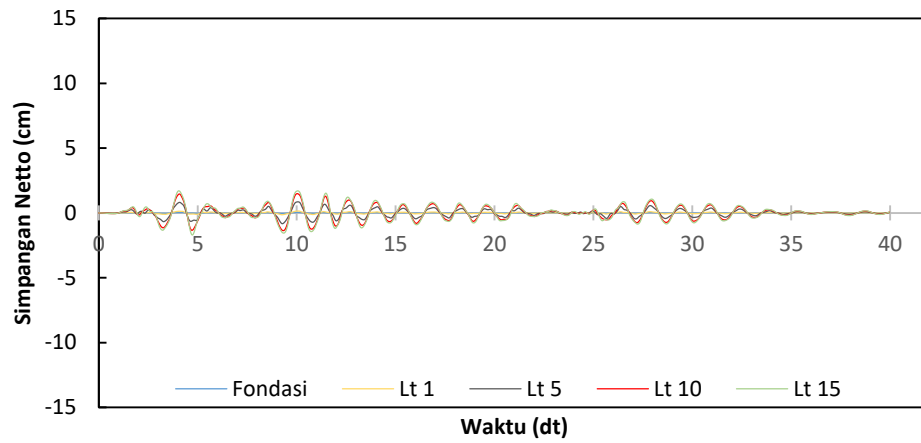
Adapun ilustrasi hasil analisis simpangan netto pada pembebanan dominan y dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



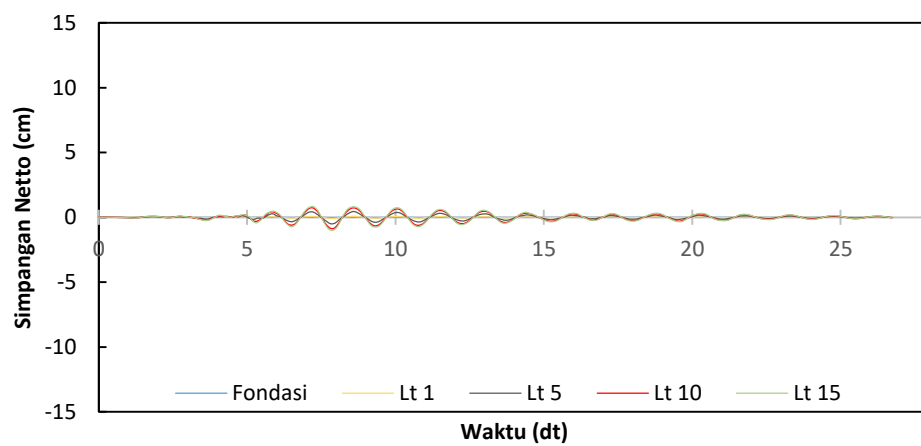
Gambar 5.21 Ilustrasi Simpangan Netto Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan Y



a. Frekuensi Rendah

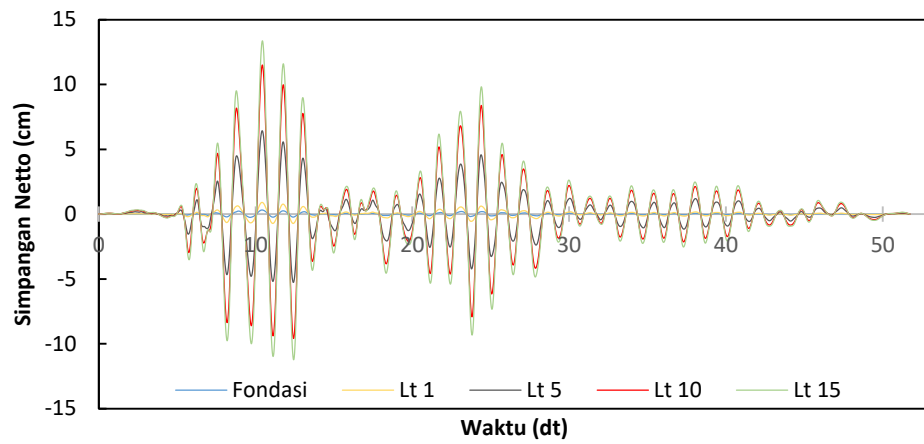


b. Frekuensi Sedang

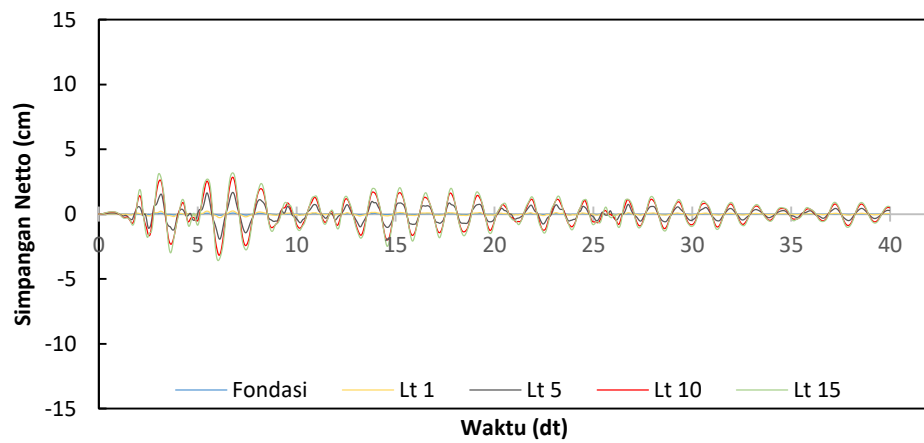


c. Frekuensi Tinggi

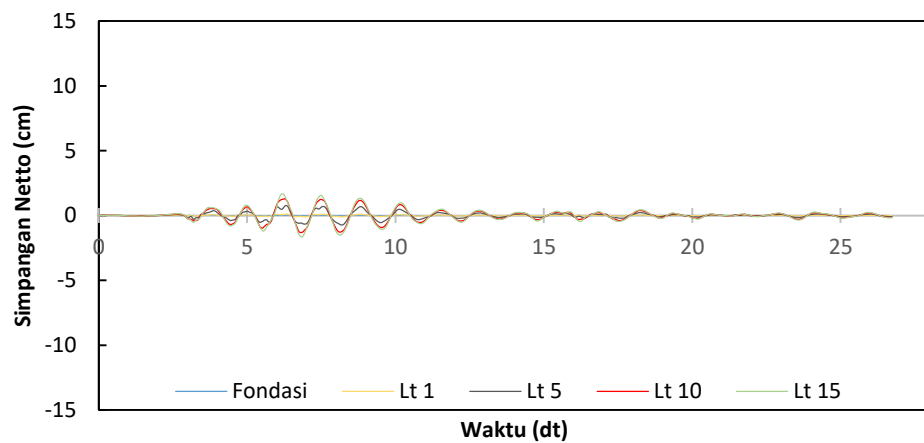
Gambar 5.22 Simpangan Netto Arah X Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan Y



a. Frekuensi Rendah

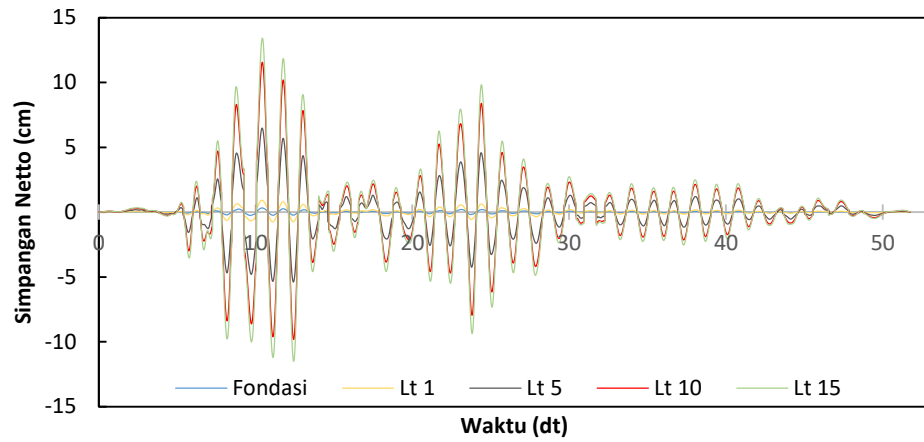


b. Frekuensi Sedang

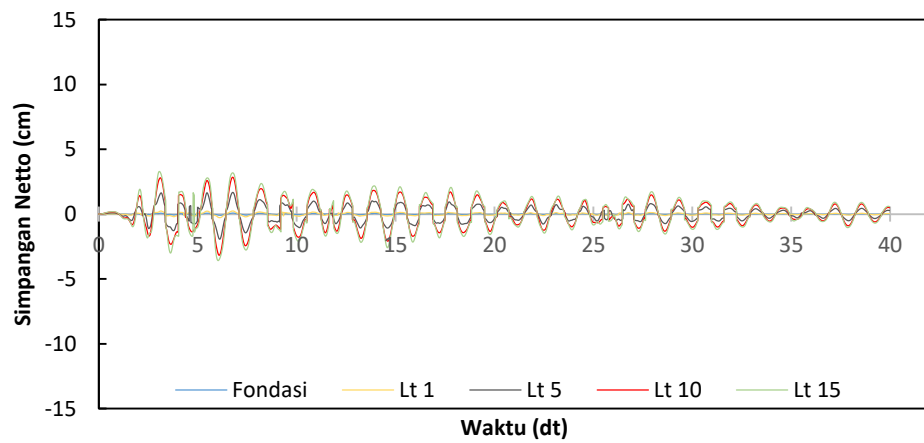


c. Frekuensi Tinggi

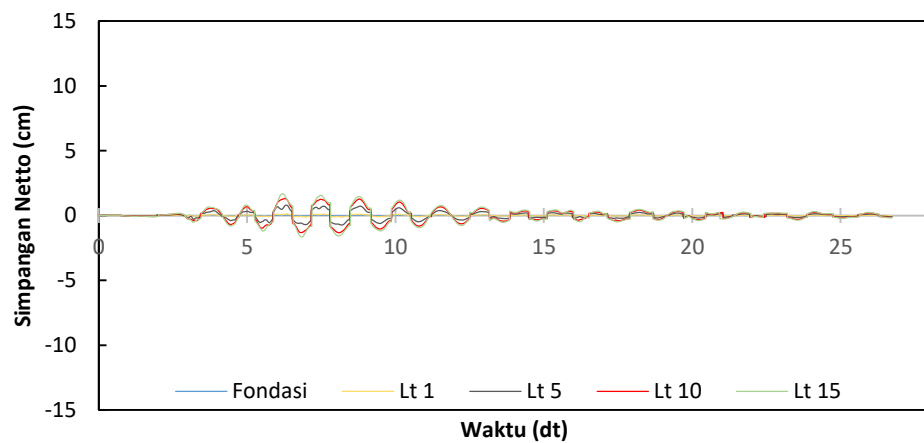
Gambar 5.23 Simpangan Netto Arah Y Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan Y



a. Frekuensi Rendah

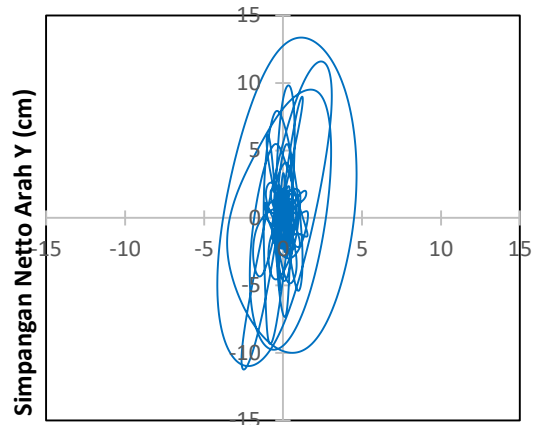


b. Frekuensi Sedang



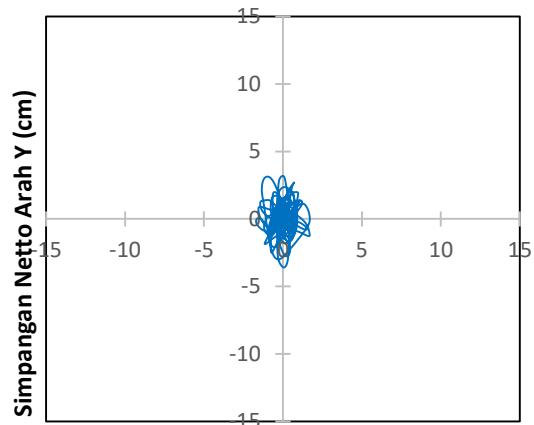
c. Frekuensi Tinggi

Gambar 5.24 Resultan Simpangan Netto Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan Y



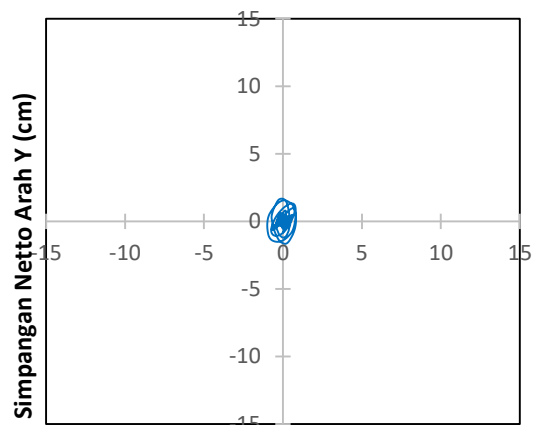
Simpangan Netto Arah X (cm)

a. Frekuensi Rendah



Simpangan Netto Arah X (cm)

b. Frekuensi Sedang



Simpangan Netto Arah X (cm)

c. Frekuensi Tinggi

Gambar 5.25 Tampak Atas Simpangan Netto Setiap Frek Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan Y

Tabel 5.11 Simp Netto Maks Bang Dengan Rotasi Gempa Frek Rendah

Lantai	Dominan X (cm)		Dominan Y (cm)	
	Beban 100% X	Beban 30% Y	Beban 30% X	Beban 100% Y
15	15,5359	4,0085	4,6608	13,3618
14	15,4355	3,9832	4,6307	13,2774
13	15,1591	3,9138	4,5477	13,0459
12	14,7096	3,8006	4,4129	12,6687
11	14,0938	3,6447	4,2281	12,1491
10	13,3270	3,4476	3,9981	11,4920
9	12,4118	3,2119	3,7235	10,7064
8	11,3667	2,9391	3,4100	9,7968
7	10,1998	2,6318	3,0599	8,7728
6	8,9200	2,2936	2,6760	7,6453
5	7,5393	1,9279	2,2618	6,4265
4	6,0664	1,5389	1,8199	5,1298
3	4,5125	1,1307	1,3537	3,7690
2	2,8927	0,7066	0,8678	2,3555
1	1,2244	0,2708	0,3673	0,9025
0	0,3062	0,0950	0,0919	0,3167

Tabel 5.12 Simp Netto Maks Bang Dengan Rotasi Gempa Frek Sedang

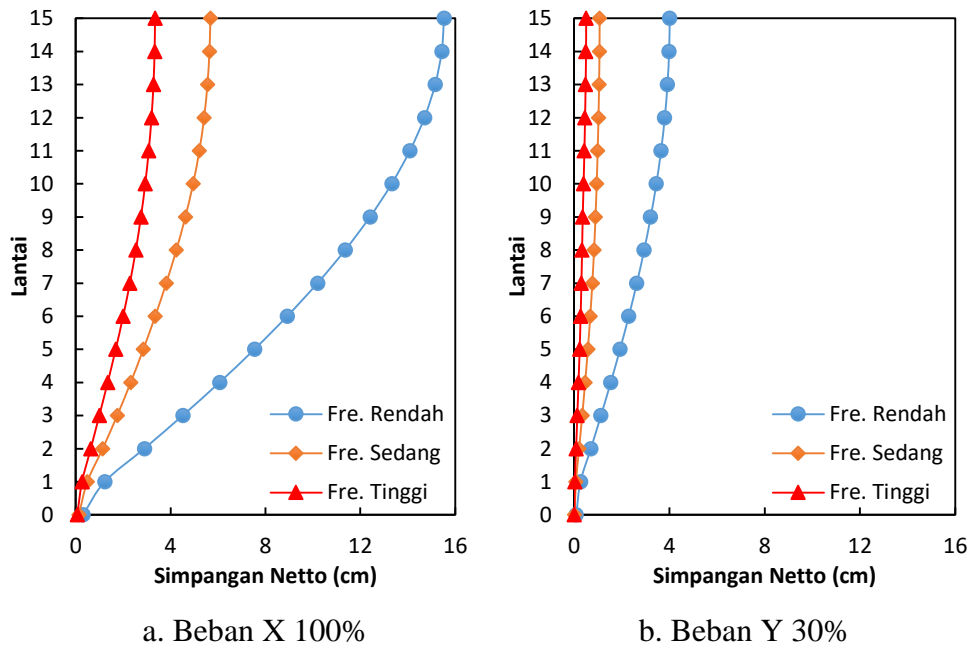
Lantai	Dominan X (cm)		Dominan Y (cm)	
	Beban 100% X	Beban 30% Y	Beban 30% X	Beban 100% Y
15	5,6777	1,0747	1,7033	3,5825
14	5,6381	1,0682	1,6914	3,5607
13	5,5519	1,0514	1,6656	3,5048
12	5,4126	1,0260	1,6238	3,4200
11	5,2128	0,9924	1,5638	3,3080
10	4,9481	0,9511	1,4844	3,1703
9	4,6228	0,9012	1,3868	3,0040
8	4,2421	0,8406	1,2726	2,8019
7	3,8161	0,7679	1,1448	2,5597
6	3,3502	0,6810	1,0051	2,2699
5	2,8497	0,5801	0,8549	1,9338
4	2,3180	0,4668	0,6954	1,5559
3	1,7488	0,3435	0,5246	1,1449
2	1,1378	0,2139	0,3413	0,7131
1	0,4893	0,0820	0,1468	0,2732
0	0,1301	0,0269	0,0390	0,0896

Tabel 5.13 Simp Netto Maks Bang Dengan Rotasi Gempa Frek Tinggi

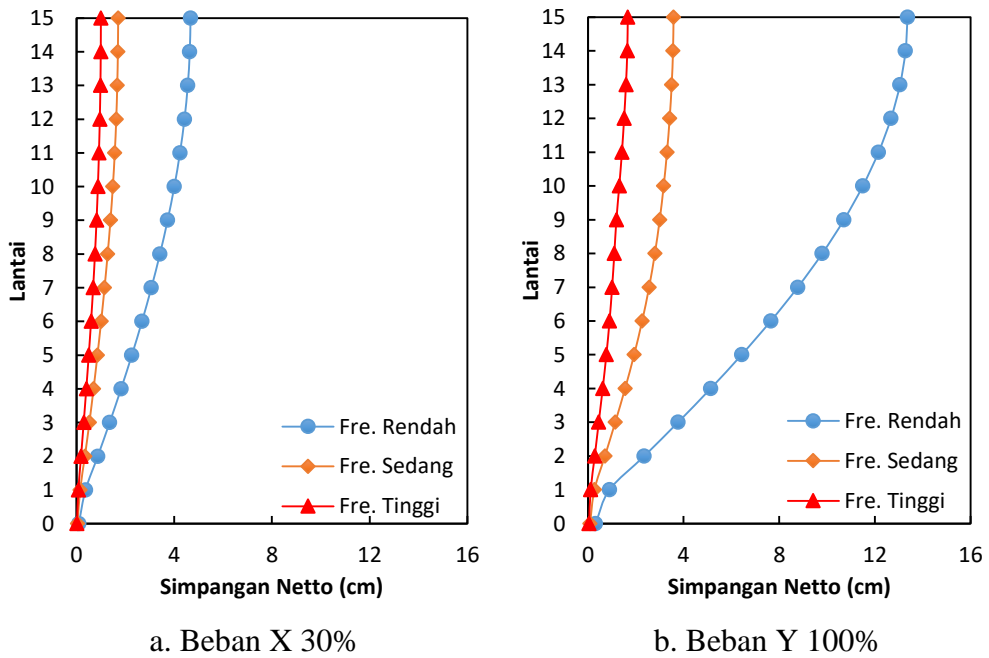
Lantai	Dominan X (cm)		Dominan Y (cm)	
	Beban 100% X	Beban 30% Y	Beban 30% X	Beban 100% Y
15	3,3457	0,5018	1,0037	1,6727
14	3,3281	0,4956	0,9984	1,6520
13	3,2789	0,4788	0,9837	1,5960
12	3,1965	0,4552	0,9590	1,5173
11	3,0801	0,4278	0,9240	1,4260
10	2,9323	0,3942	0,8797	1,3141
9	2,7512	0,3579	0,8254	1,1931
8	2,5347	0,3319	0,7604	1,1064
7	2,2847	0,3038	0,6854	1,0127
6	2,0000	0,2713	0,6000	0,9042
5	1,6862	0,2313	0,5058	0,7710
4	1,3483	0,1846	0,4045	0,6154
3	0,9949	0,1344	0,2985	0,4480
2	0,6334	0,0847	0,1900	0,2822
1	0,2662	0,0329	0,0799	0,1095
0	0,0624	0,0121	0,0187	0,0402

Tabel 5.14 Resultan Simpangan Netto Maks Bangunan Dengan Rotasi

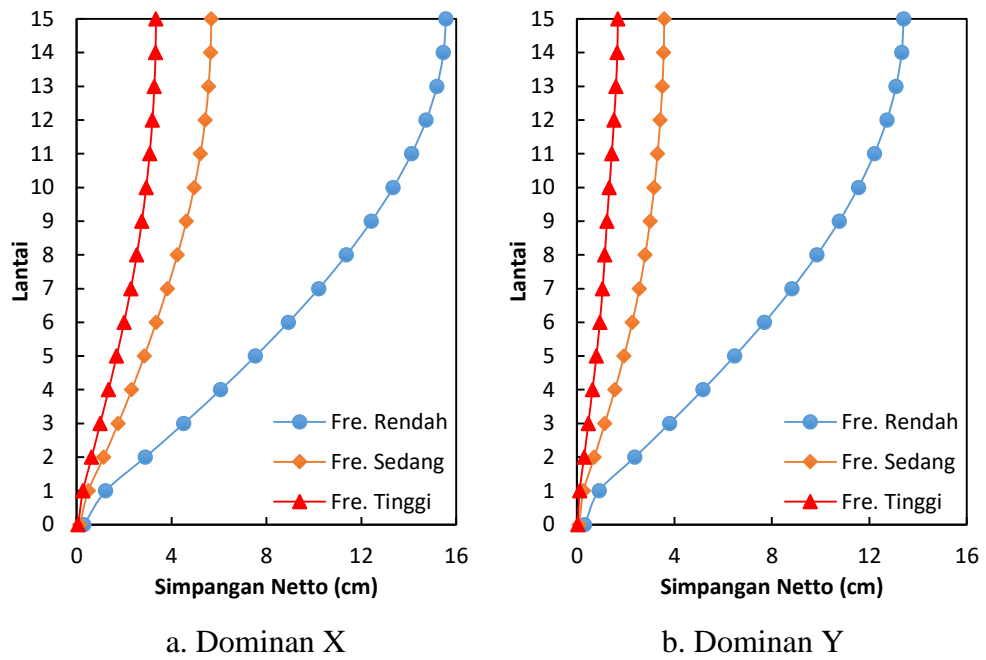
Lantai	Frekuensi Rendah		Frekuensi Sedang		Frekuensi Tinggi	
	Dom-X (cm)	Dom-Y (cm)	Dom-X (cm)	Dom-Y (cm)	Dom-X (cm)	Dom-Y (cm)
15	15,5663	13,4142	5,6777	3,5829	3,3467	1,6750
14	15,4645	13,3305	5,6459	3,5611	3,3293	1,6544
13	15,1867	13,1009	5,5620	3,5049	3,2806	1,5989
12	14,7366	12,7263	5,4221	3,4201	3,1983	1,5197
11	14,1187	12,2095	5,2211	3,3080	3,0820	1,4275
10	13,3446	11,5547	4,9553	3,1704	2,9349	1,3296
9	12,4265	10,7674	4,6291	3,0042	2,7538	1,2289
8	11,3769	9,8554	4,2479	2,8020	2,5372	1,1470
7	10,2054	8,8306	3,8212	2,5597	2,2867	1,0534
6	8,9227	7,7007	3,3546	2,2699	2,0019	0,9394
5	7,5416	6,4776	2,8534	1,9338	1,6875	0,7997
4	6,0672	5,1739	2,3211	1,5560	1,3494	0,6384
3	4,5132	3,8043	1,7510	1,1451	0,9957	0,4679
2	2,8929	2,3803	1,1391	0,7133	0,6340	0,2962
1	1,2244	0,9151	0,4898	0,2732	0,2664	0,1158
0	0,3063	0,3196	0,1303	0,0897	0,0627	0,0404



Gambar 5.26 Simpangan Netto Maksimum Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan X



Gambar 5.27 Simpangan Netto Maksimum Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan Y



Gambar 5.28 Resultan Simpangan Netto Maksimum Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi

2. Simpangan Netto Struktur Bangunan Tanpa Rotasi

Simpangan netto struktur bangunan reguler dengan rotasi dengan beban gempa frekuensi rendah, frekuensi sedang, dan frekuensi tinggi dan pada pembebanan dominan x dan dominan y dengan beban 100%, beban 30%, resultan simpangan netto, dan tampak atas simpangan netto (simpangan netto lantai 15) dapat dilihat pada Gambar 5.29 s/d Gambar 5.38. Nilai-nilai maksimum simpangan netto setiap lantai dapat dilihat pada Tabel 5.15 s/d Tabel 5.18 dan Gambar 5.39 s/d Gambar 5.41.

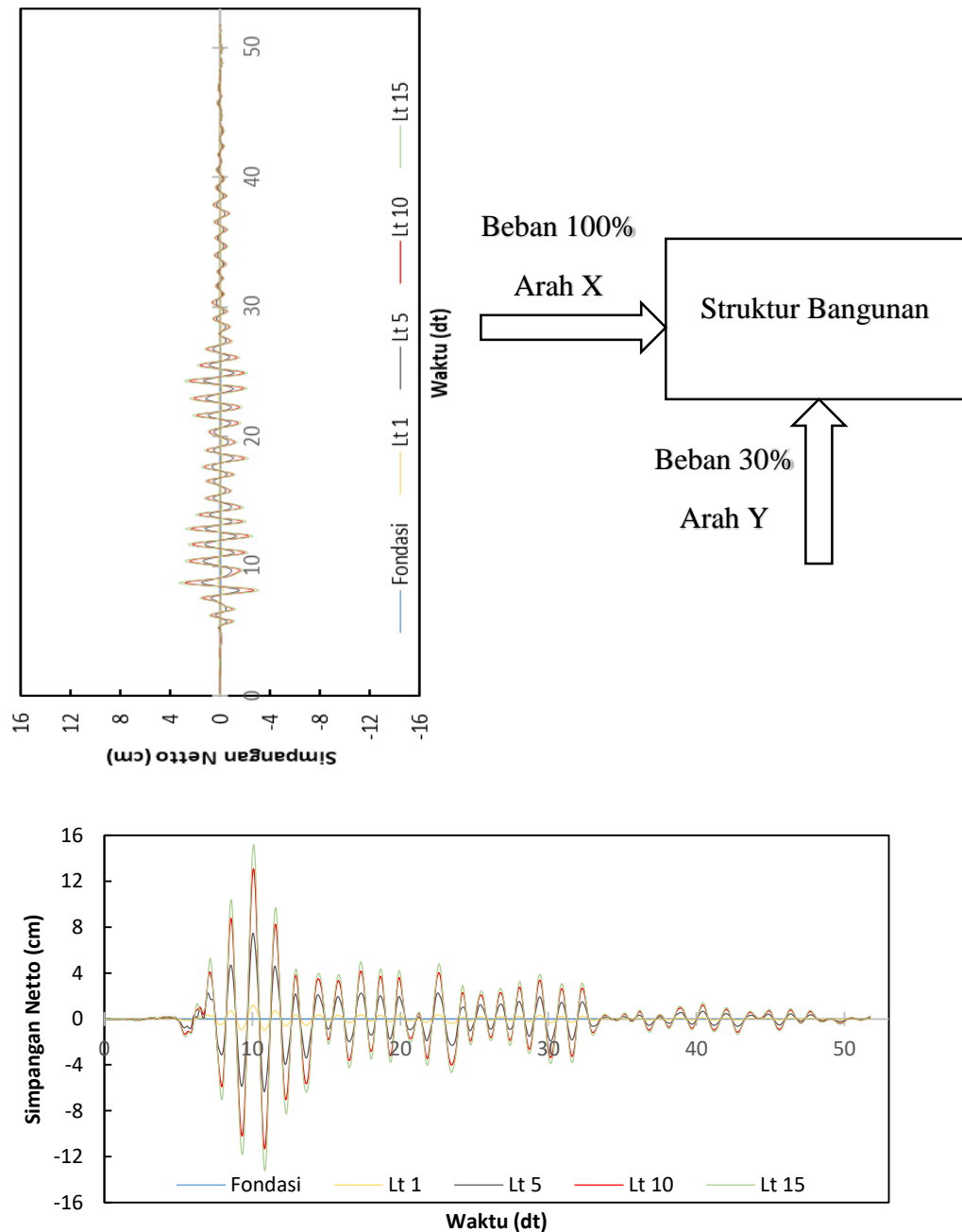
Hasil tabel dan gambar grafik tersebut menunjukkan bahwa simpangan netto maksimum semakin besar pada lantai yang lebih tinggi pada setiap frekuensi beban gempa karena pada lantai yang lebih tinggi, nilai kekakuan akan semakin kecil dan tinggi lantai akan semakin besar sehingga simpangan netto akan semakin besar dan tidak terjadi simpangan lantai dasar/fondasi karena tanah dapat menjepit fondasi dengan sempurna.

Gempa dengan frekuensi rendah (Gempa Duzce) menghasilkan simpangan netto yang paling besar pada struktur baik pada pembebanan dominan x maupun pembebanan dominan y, sedangkan gempa dengan frekuensi tinggi (Gempa Manjil) menghasilkan simpangan netto yang paling kecil dan gempa dengan frekuensi sedang (Gempa EL-Centro 1940) berada diantaranya. Hal ini dikarenakan struktur bangunan tinggi bersifat fleksibel sehingga akan mempunyai frekuensi sudut (ω) dan frekuensi natural (f) yang rendah dan menyebabkan bangunan akan bergetar pada frekuensi rendah atau berasosiasi dengan baik dengan gempa frekuensi rendah.

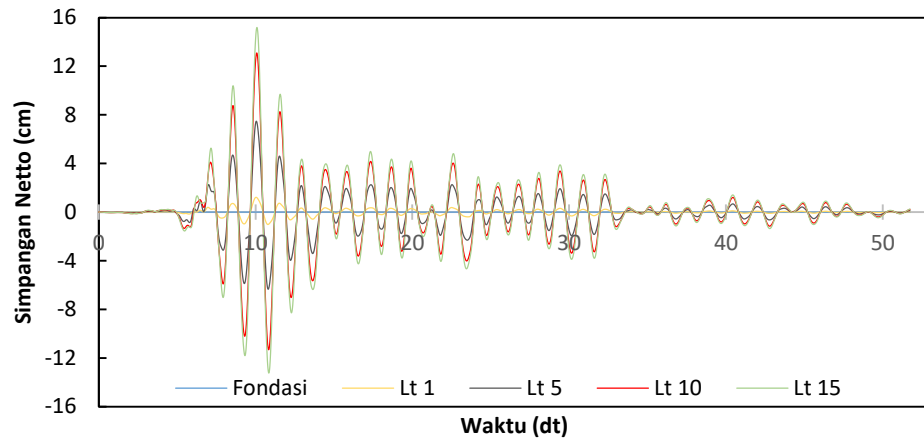
Resultan simpangan netto akibat pembebanan dominan x lebih besar dari resultan simpangan netto akibat pembebanan dominan y pada setiap frekuensi beban gempa. Hal ini dikarenakan walaupun bangunan berbentuk pipih pada arah y, tetapi kekakuan struktur arah x lebih kecil dari kekakuan struktur arah y akibat inersia kolom arah x lebih kecil dibandingkan dengan inersia kolom arah y serta kekakuan balok arah x yang mengekang kolom lebih kecil dari kekakuan balok arah y yang mengekang kolom.

a. Pembebanan Dominan X

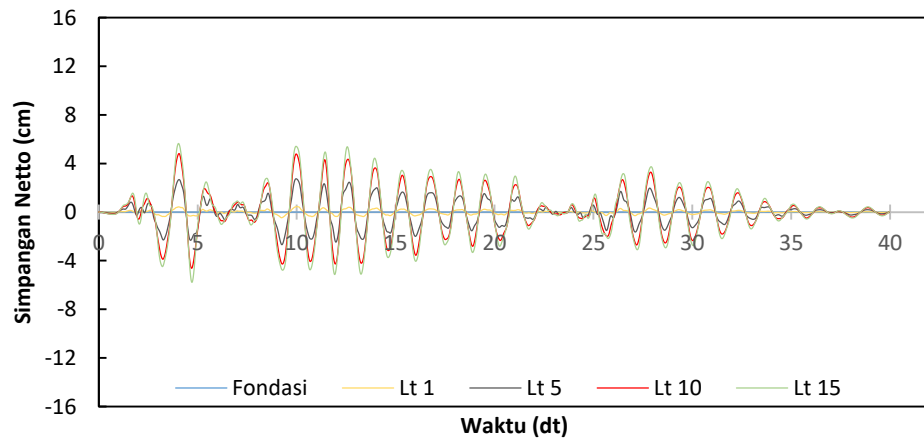
Adapun ilustrasi hasil analisis simpangan netto pada pembebanan dominan x dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



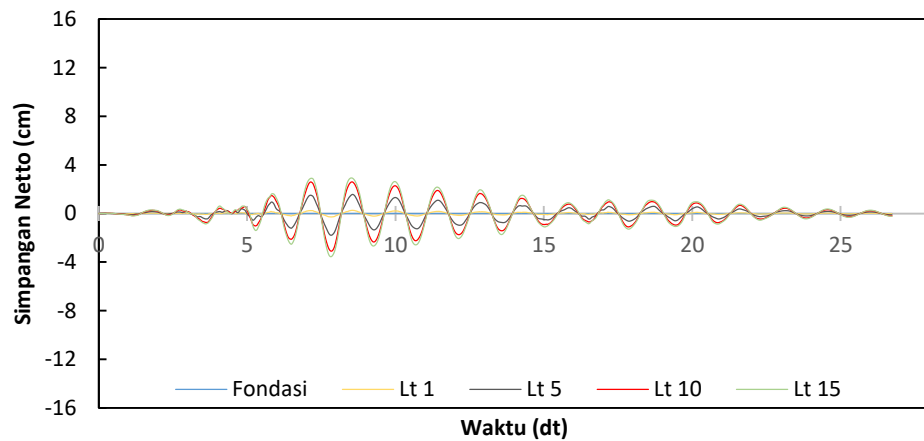
Gambar 5.29 Ilustrasi Simpangan Netto Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan X



a. Frekuensi Rendah

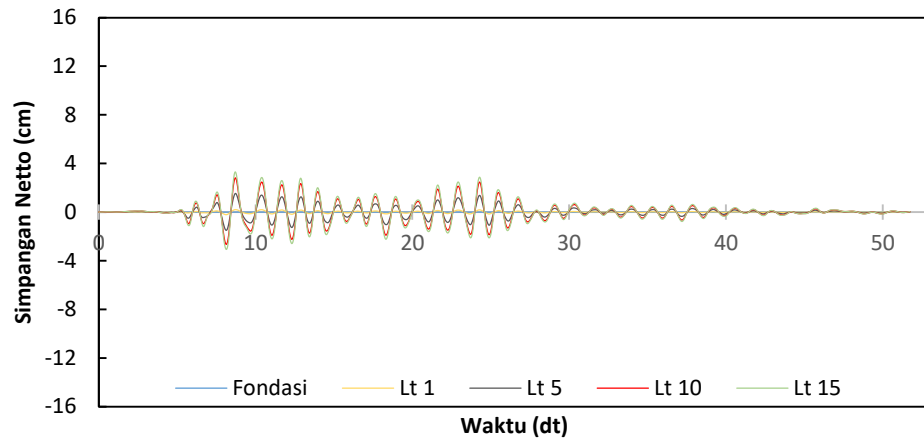


b. Frekuensi Sedang

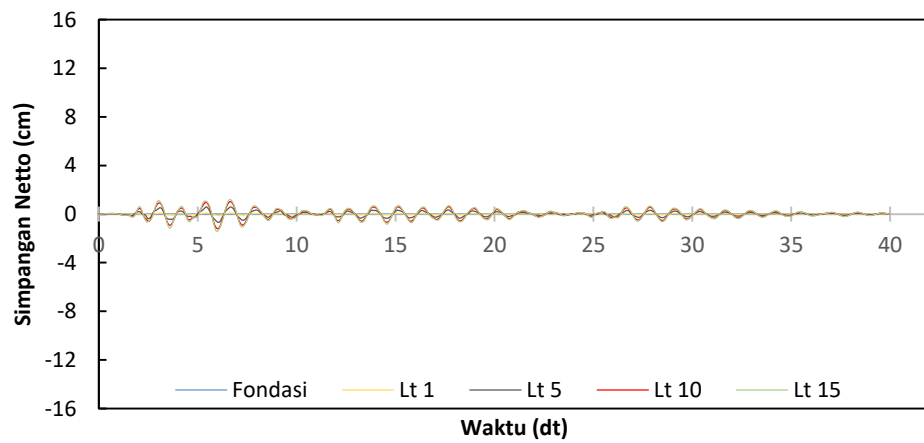


c. Frekuensi Tinggi

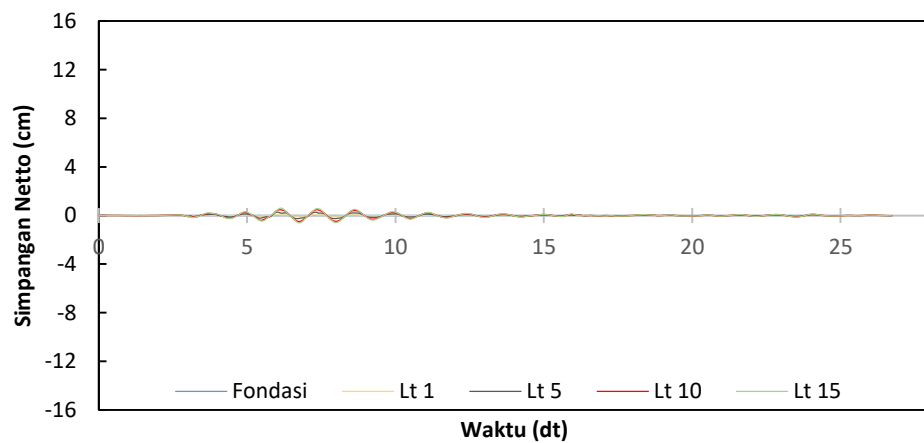
Gambar 5.30 Simpangan Netto Arah X Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan X



a. Frekuensi Rendah

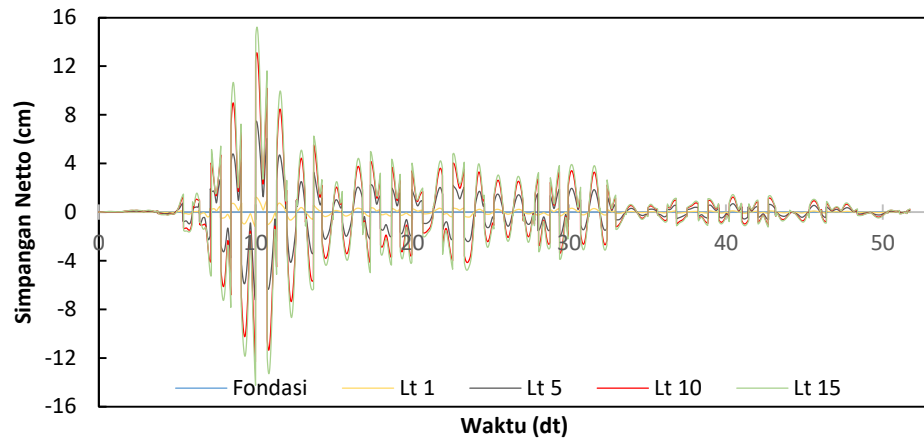


b. Frekuensi Sedang

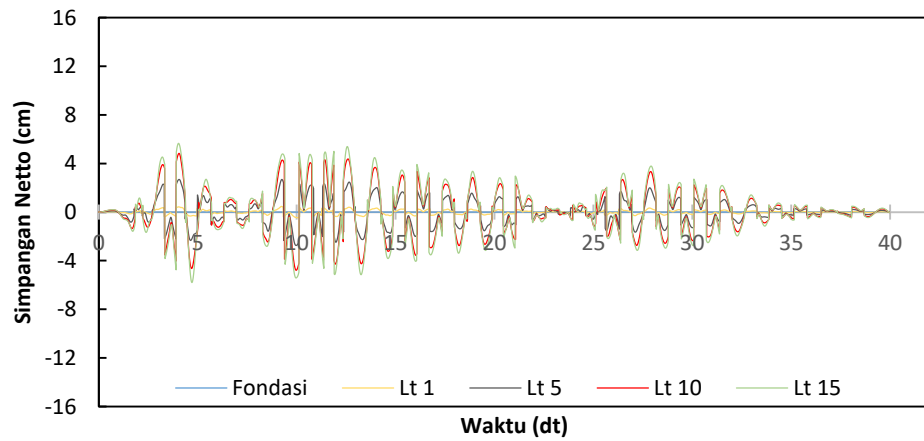


c. Frekuensi Tinggi

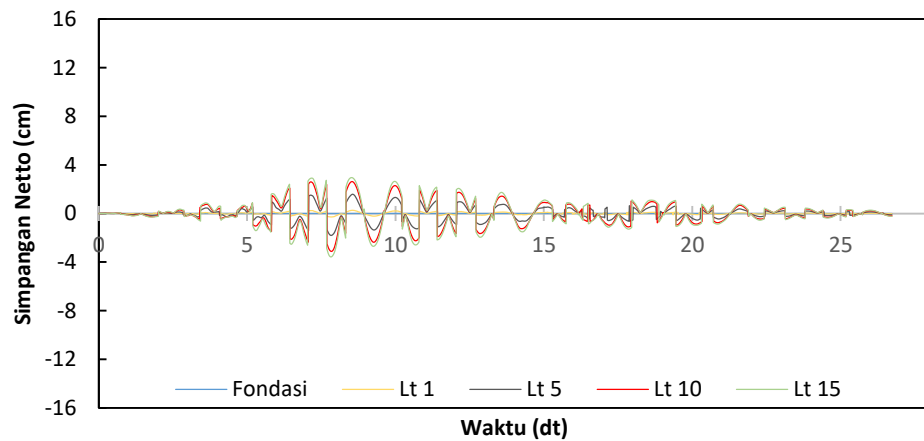
Gambar 5.31 Simpangan Netto Arah Y Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan X



a. Frekuensi Rendah

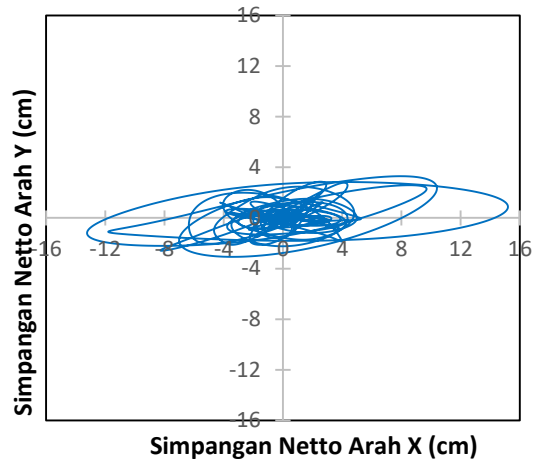


b. Frekuensi Sedang



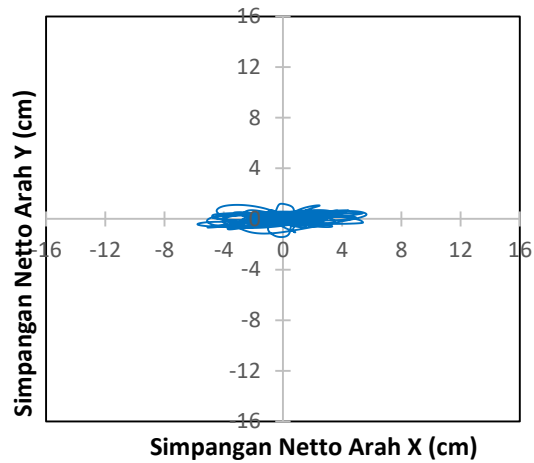
c. Frekuensi Tinggi

Gambar 5.32 Resultan Simpangan Netto Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan X



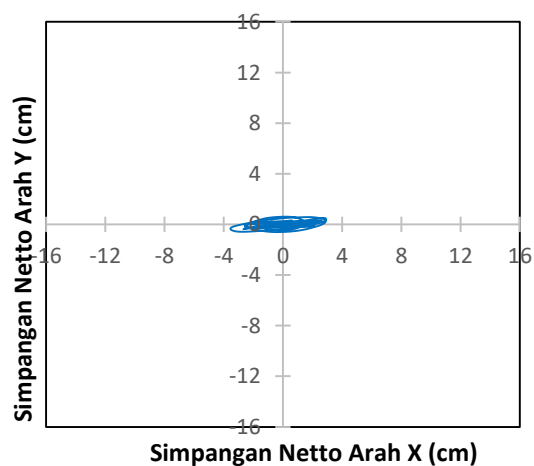
Simpangan Netto Arah X (cm)

a. Frekuensi Rendah



Simpangan Netto Arah X (cm)

b. Frekuensi Sedang



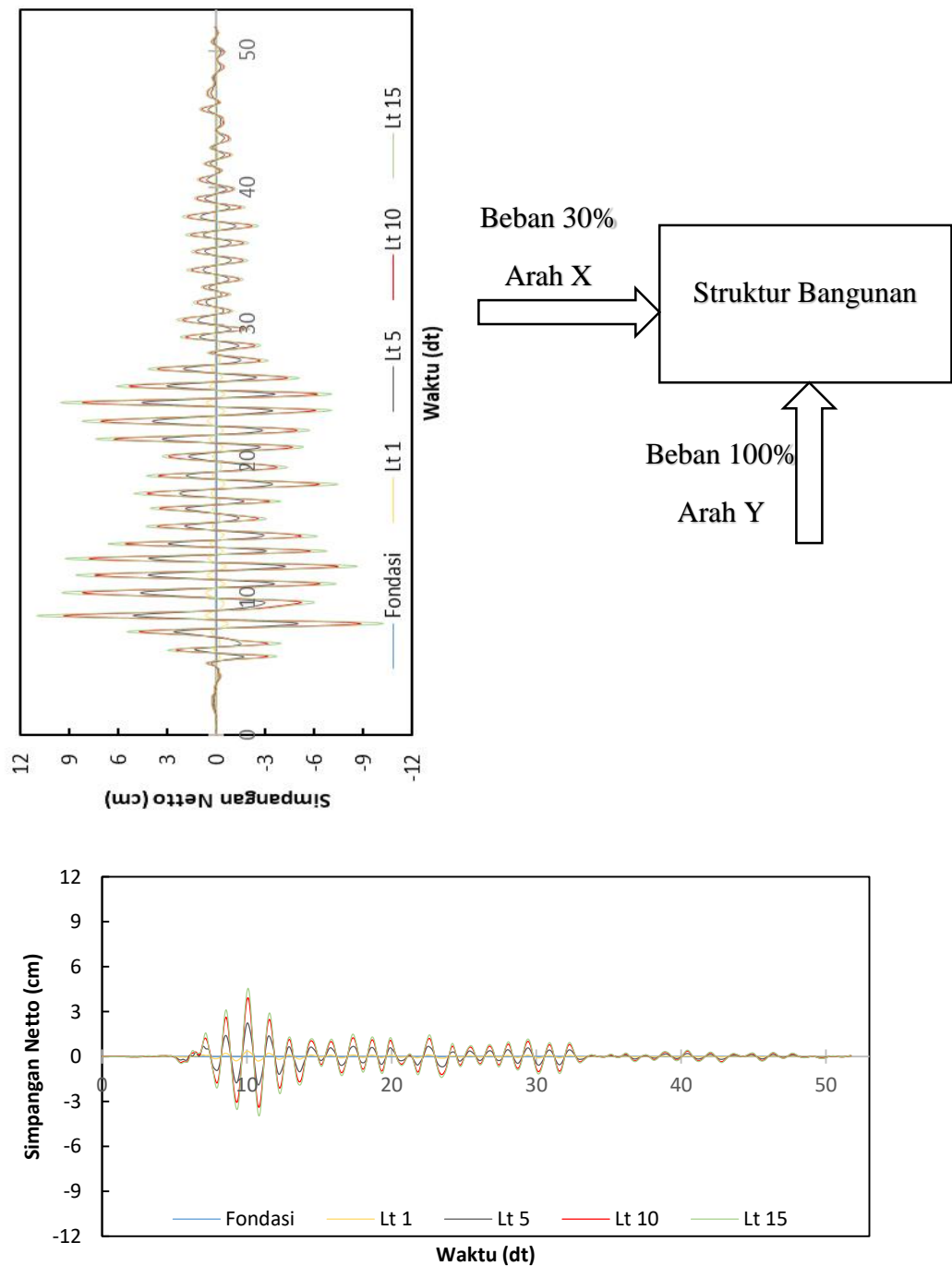
Simpangan Netto Arah X (cm)

c. Frekuensi Tinggi

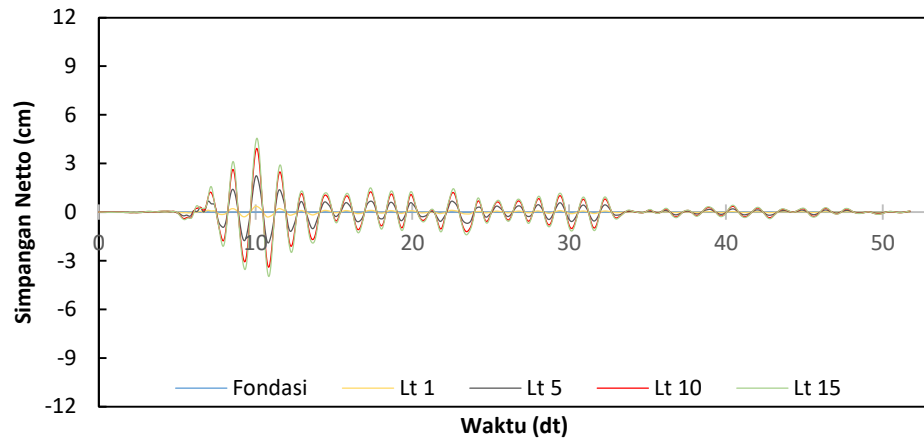
Gambar 5.33 Tampak Atas Simpangan Netto Setiap Frek Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan X

b. Pembebanan Dominan Y

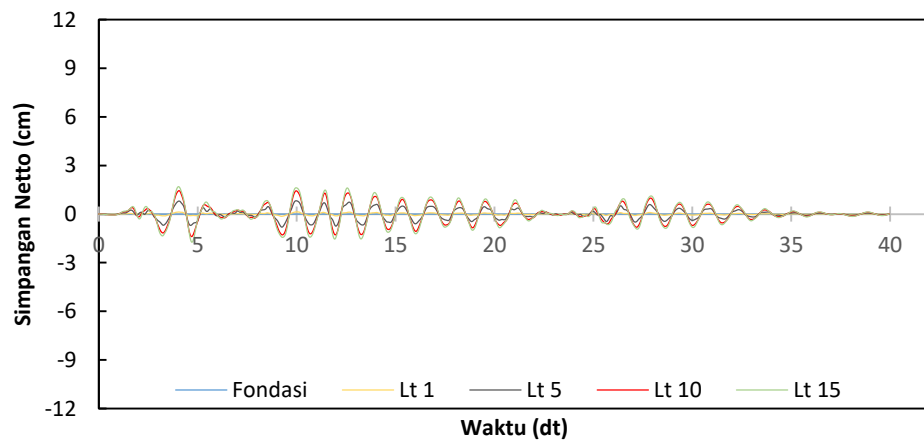
Adapun ilustrasi hasil analisis simpangan netto pada pembebanan dominan y dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



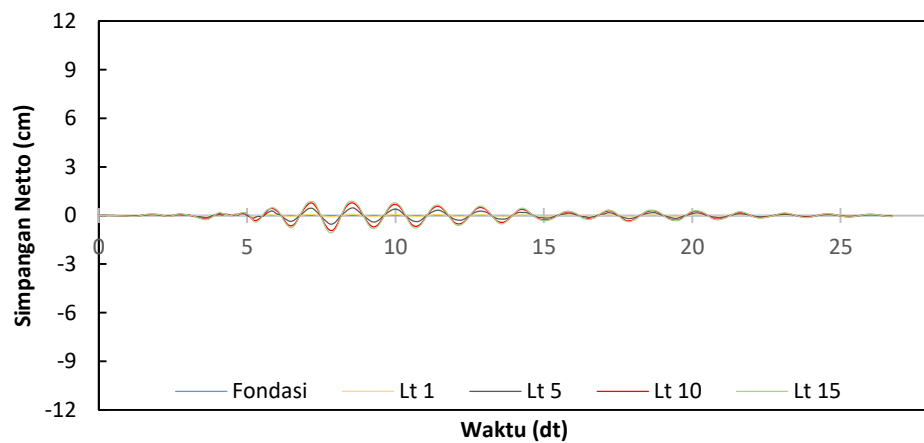
Gambar 5.34 Ilustrasi Simpangan Netto Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan Y



a. Frekuensi Rendah

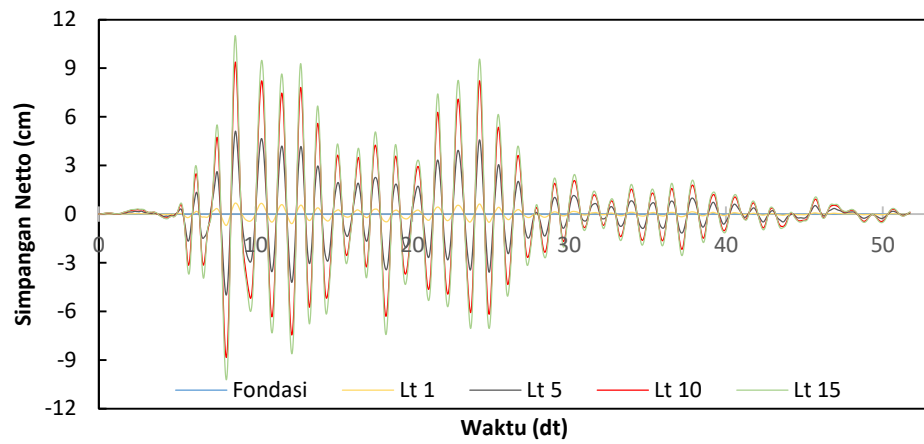


b. Frekuensi Sedang

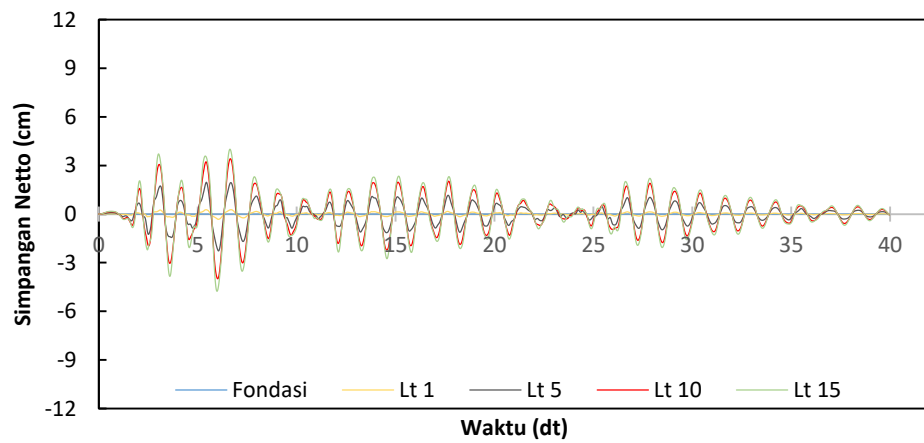


c. Frekuensi Tinggi

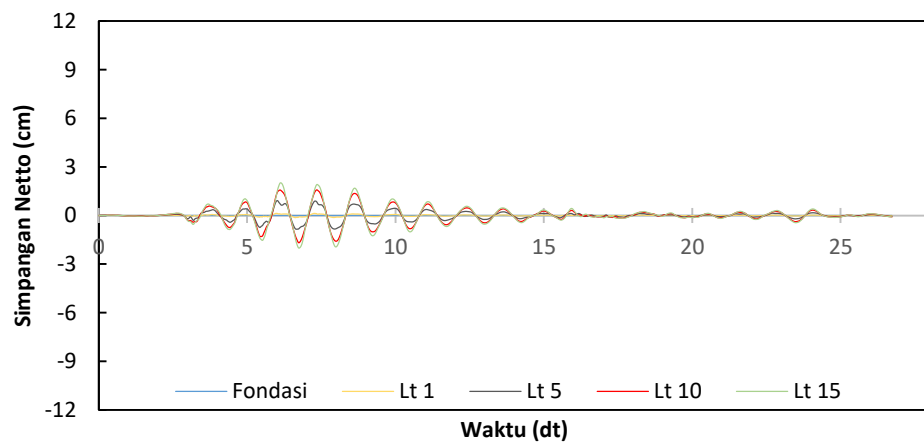
Gambar 5.35 Simpangan Netto Arah X Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan Y



a. Frekuensi Rendah

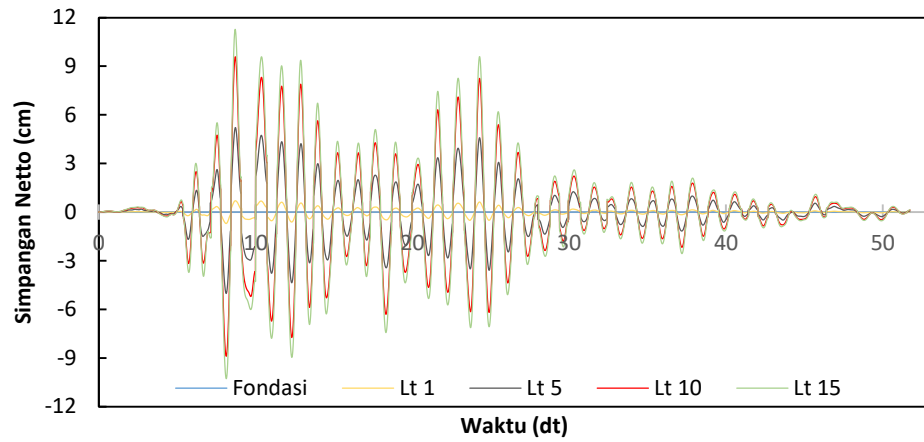


b. Frekuensi Sedang

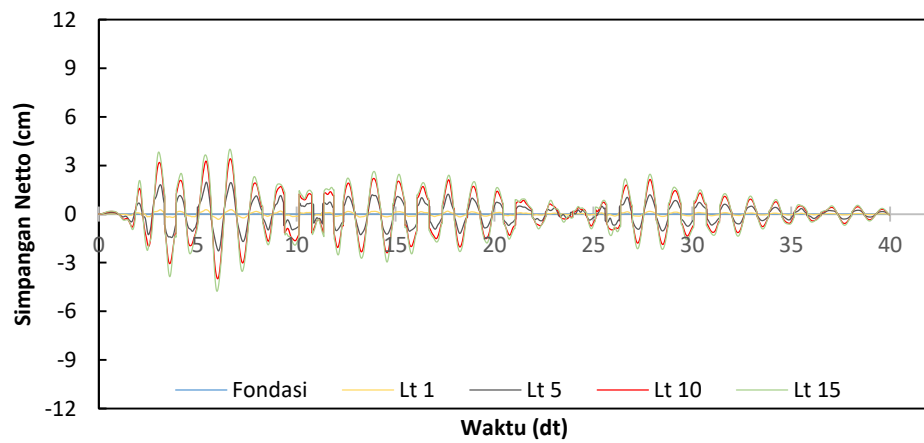


c. Frekuensi Tinggi

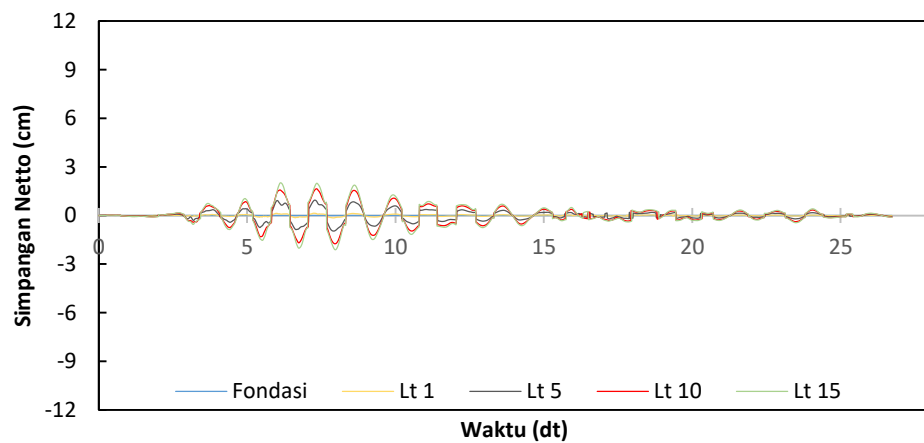
Gambar 5.36 Simpangan Netto Arah Y Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan Y



a. Frekuensi Rendah

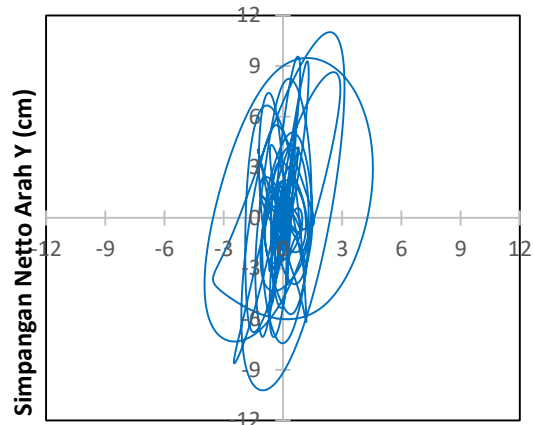


b. Frekuensi Sedang



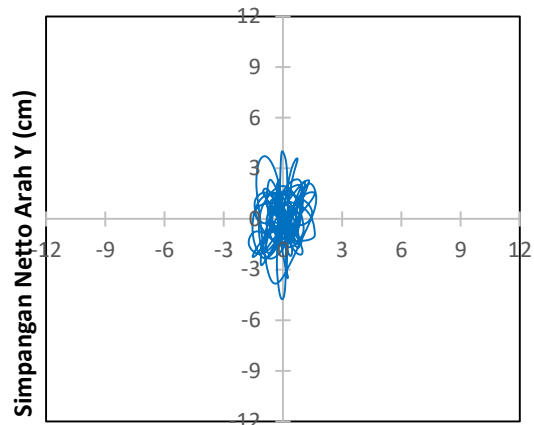
c. Frekuensi Tinggi

Gambar 5.37 Resultan Simpangan Netto Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan Y



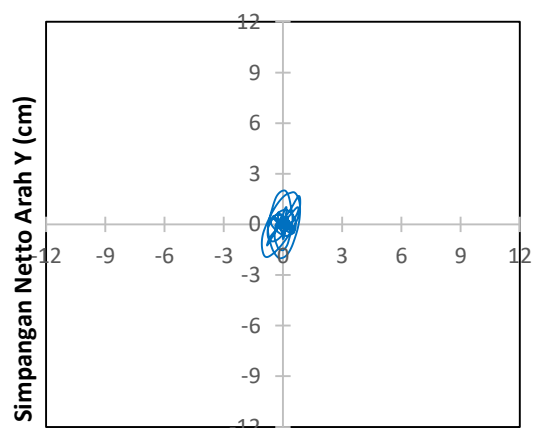
Simpangan Netto Arah X (cm)

a. Frekuensi Rendah



Simpangan Netto Arah X (cm)

b. Frekuensi Sedang



Simpangan Netto Arah X (cm)

c. Frekuensi Tinggi

Gambar 5.38 Tampak Atas Simpangan Netto Setiap Frek Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan Y

Tabel 5.15 Simp Netto Maks Bang Tanpa Rotasi Gempa Frek Rendah

Lantai	Dominan X (cm)		Dominan Y (cm)	
	Beban 100% X	Beban 30% Y	Beban 30% X	Beban 100% Y
15	15,1872	3,3041	4,5561	11,0135
14	15,0911	3,2812	4,5273	10,9373
13	14,8281	3,2192	4,4484	10,7308
12	14,4037	3,1196	4,3211	10,3987
11	13,8207	2,9837	4,1462	9,9458
10	13,0857	2,8137	3,9257	9,3790
9	12,2146	2,6116	3,6644	8,7054
8	11,2072	2,3804	3,3622	7,9345
7	10,0777	2,1221	3,0233	7,0737
6	8,8305	1,8391	2,6492	6,1303
5	7,4743	1,5351	2,2423	5,1169
4	6,0210	1,2146	1,8063	4,0485
3	4,4825	0,8825	1,3447	2,9418
2	2,8745	0,5491	0,8624	1,8302
1	1,2172	0,2097	0,3651	0,6989
0	0	0	0	0

Tabel 5.16 Simp Netto Maks Bang Tanpa Rotasi Gempa Frek Sedang

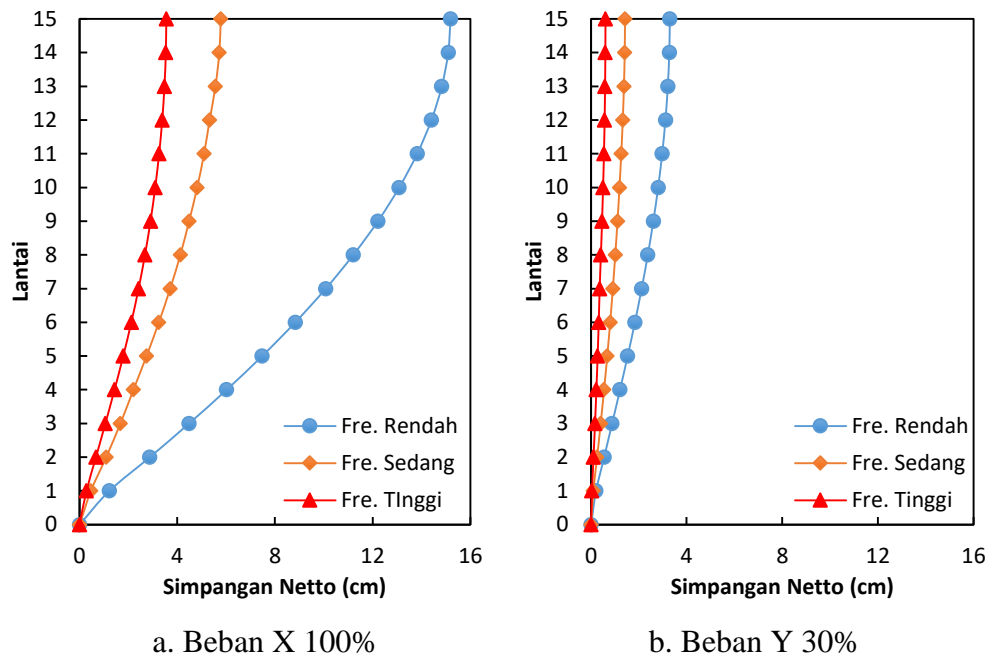
Lantai	Dominan X (cm)		Dominan Y (cm)	
	Beban 100% X	Beban 30% Y	Beban 30% X	Beban 100% Y
15	5,7761	1,4281	1,7328	4,7603
14	5,7179	1,4159	1,7154	4,7195
13	5,5604	1,3829	1,6681	4,6096
12	5,3220	1,3333	1,5966	4,4443
11	5,0946	1,2701	1,5284	4,2338
10	4,8126	1,1958	1,4438	3,9861
9	4,4817	1,1117	1,3445	3,7058
8	4,1234	1,0184	1,2370	3,3947
7	3,7082	0,9156	1,1125	3,0519
6	3,2441	0,8034	0,9732	2,6779
5	2,7404	0,6804	0,8221	2,2679
4	2,2034	0,5472	0,6610	1,8241
3	1,6724	0,4045	0,5017	1,3485
2	1,0872	0,2535	0,3262	0,8452
1	0,4637	0,0968	0,1391	0,3225
0	0	0	0	0

Tabel 5.17 Simp Netto Maks Bang Tanpa Rotasi Gempa Frek Tinggi

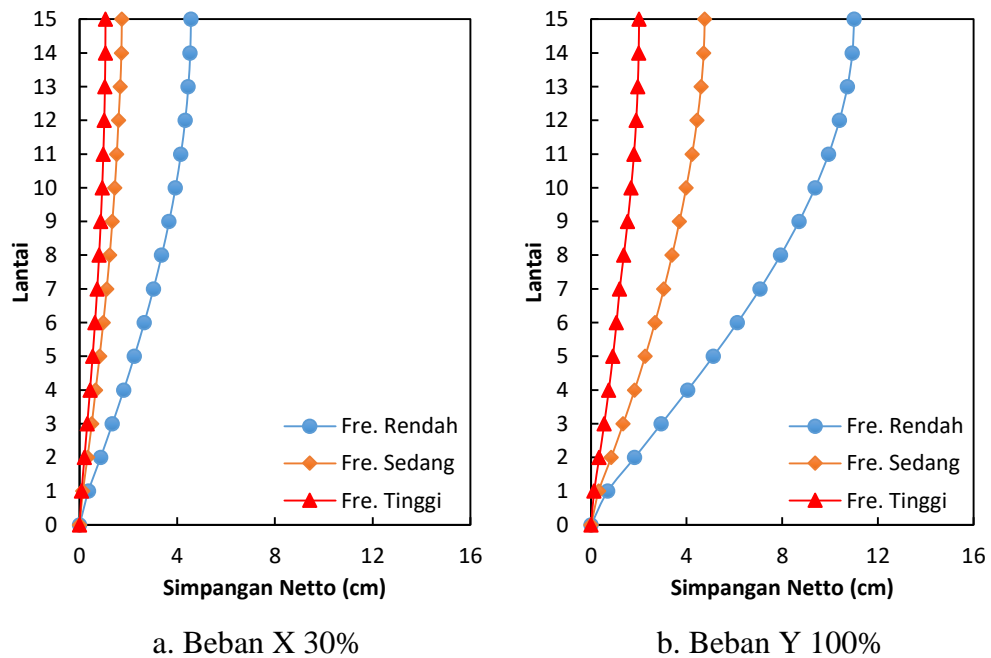
Lantai	Dominan X (cm)		Dominan Y (cm)	
	Beban 100% X	Beban 30% Y	Beban 30% X	Beban 100% Y
15	3,5526	0,6048	1,0658	2,0161
14	3,5325	0,5995	1,0598	1,9984
13	3,4766	0,5881	1,0430	1,9603
12	3,3856	0,5687	1,0157	1,8956
11	3,2578	0,5406	0,9773	1,8022
10	3,0977	0,5042	0,9293	1,6806
9	2,9052	0,4613	0,8716	1,5377
8	2,6791	0,4126	0,8037	1,3753
7	2,4171	0,3610	0,7251	1,2034
6	2,1192	0,3211	0,6358	1,0704
5	1,7892	0,2753	0,5368	0,9177
4	1,4318	0,2235	0,4295	0,7451
3	1,0563	0,1658	0,3169	0,5526
2	0,6715	0,1036	0,2015	0,3452
1	0,2824	0,0391	0,0847	0,1304
0	0	0	0	0

Tabel 5.18 Resultan Simpangan Netto Maks Bangunan Tanpa Rotasi

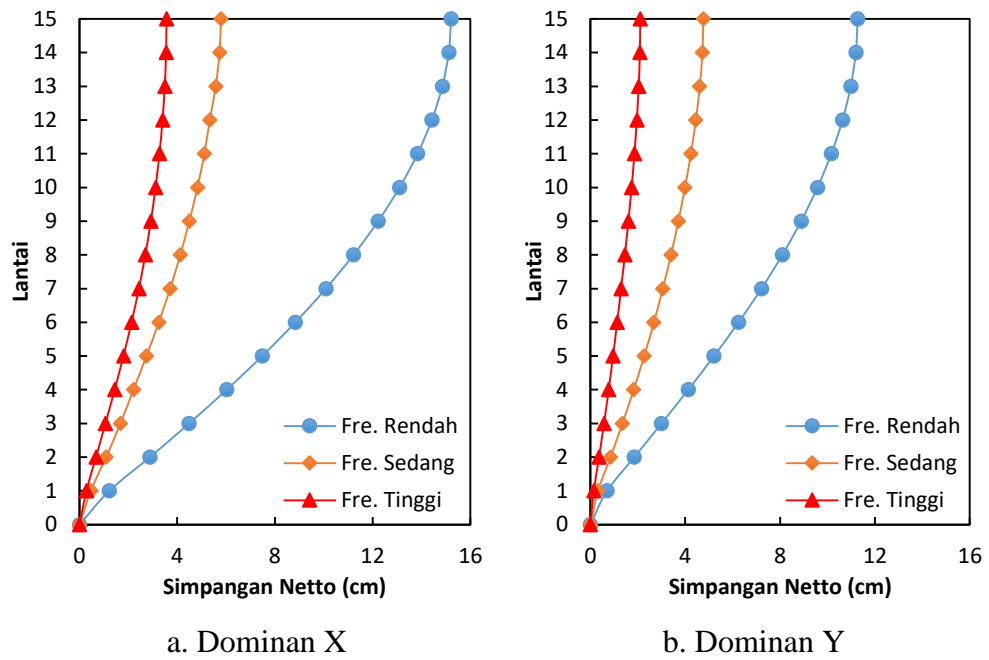
Lantai	Frekuensi Rendah		Frekuensi Sedang		Frekuensi Tinggi	
	Dom-X (cm)	Dom-Y (cm)	Dom-X (cm)	Dom-Y (cm)	Dom-X (cm)	Dom-Y (cm)
15	15,2151	11,2769	5,7914	4,7605	3,5690	2,1121
14	15,1189	11,1986	5,7332	4,7197	3,5493	2,0937
13	14,8541	10,9844	5,5758	4,6098	3,4951	2,0441
12	14,4248	10,6382	5,3358	4,4447	3,4042	1,9661
11	13,8412	10,1672	5,1097	4,2345	3,2778	1,8644
10	13,1045	9,5807	4,8290	3,9871	3,1180	1,7442
9	12,2288	8,8910	4,4953	3,7071	2,9250	1,6083
8	11,2181	8,1001	4,1270	3,3960	2,6979	1,4596
7	10,0868	7,2167	3,7111	3,0533	2,4345	1,3004
6	8,8365	6,2514	3,2462	2,6790	2,1342	1,1341
5	7,4796	5,2166	2,7418	2,2689	1,8015	0,9603
4	6,0241	4,1271	2,2089	1,8248	1,4417	0,7752
3	4,4849	2,9995	1,6760	1,3490	1,0635	0,5772
2	2,8761	1,8514	1,0898	0,8455	0,6763	0,3673
1	1,2176	0,7027	0,4644	0,3227	0,2840	0,1462
0	0	0	0	0	0	0



Gambar 5.39 Simpangan Netto Maksimum Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan X



Gambar 5.40 Simpangan Netto Maksimum Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan Y



Gambar 5.41 Resultan Simpangan Netto Maksimum Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi

3. Perbandingan Simpangan Netto Bangunan Dengan Rotasi dan Bangunan Tanpa Rotasi

Perbandingan simpangan netto struktur bangunan reguler dengan rotasi dan tanpa rotasi dengan beban gempa frekuensi rendah, frekuensi sedang, dan frekuensi tinggi dan pada pembebanan dominan x dan dominan y disajikan dalam bentuk nilai-nilai maksimum setiap lantai yang dapat dilihat pada Tabel 5.19 s/d Tabel 5.27 dan Gambar 5.42 s/d Gambar 5.50.

Hasil tabel dan gambar grafik tersebut menunjukkan bahwa simpangan netto pada lantai dasar/fondasi pada bangunan tanpa rotasi (*fixed*) sangat kecil atau bahkan tidak terjadi simpangan, sedangkan pada bangunan dengan rotasi akan terjadi simpangan pada lantai dasar/fondasi. Hal ini dikarenakan pada struktur bangunan tanpa rotasi (*fixed*), tanah akan menjepit fondasi dengan sempurna sehingga fondasi tidak akan mengalami perpindahan, sedangkan pada struktur bangunan dengan rotasi, tanah tidak menjepit fondasi dengan sempurna sehingga fondasi dapat mengalami perpindahan.

Gempa dengan frekuensi rendah (Gempa Duzce) menghasilkan simpangan netto pada bangunan reguler dengan rotasi lebih besar daripada bangunan reguler tanpa rotasi (*fixed*) baik pada pembebanan dominan x maupun pembebanan dominan y.

Gempa dengan frekuensi sedang (Gempa EL-Centro 1940) menghasilkan respon yang beragam. Beban gempa arah x (EW) pada pembebanan dominan x dan resultan dominan x menghasilkan simpangan netto pada bangunan reguler dengan rotasi lebih besar daripada bangunan reguler tanpa rotasi (*fixed*), tetapi hanya pada lantai 1-12, sedangkan lantai 13-15 terjadi kebalikannya. Selanjutnya, beban gempa arah x (EW) pada pembebanan dominan y, beban gempa arah y (NS) pada pembebanan dominan x, dominan y, dan resultan dominan y menghasilkan simpangan netto pada bangunan reguler tanpa rotasi (*fixed*) lebih besar daripada bangunan reguler dengan rotasi.

Gempa dengan frekuensi tinggi (Gempa Manjil) menghasilkan simpangan netto pada bangunan reguler tanpa rotasi (*fixed*) lebih besar daripada bangunan

reguler dengan rotasi baik pada pembebanan dominan x maupun pembebanan dominan y.

Hal ini dikarenakan dengan diperhitungkannya sistem *soil-foundation*, maka frekuensi sudut (ω) dan frekuensi natural (f) struktur bangunan akan semakin rendah nilainya karena kekakuan sistem struktur yang semakin rendah akibat tanah tidak lagi menjepit fondasi dengan sempurna sehingga pada gempa dengan frekuensi rendah (Gempa Duzce), bangunan reguler dengan rotasi akan berasosiasi lebih baik dengan beban gempa daripada bangunan reguler tanpa rotasi (*fixed*) dan terjadi sebaliknya pada gempa dengan frekuensi tinggi (Gempa Manjil), bangunan tanpa rotasi (*fixed*) akan berasosiasi lebih baik dengan beban gempa daripada bangunan dengan rotasi. Gempa dengan frekuensi sedang (Gempa EL-Centro 1940) menghasilkan respon yang beragam akibat *A/V ratio* yang terlampau jauh antara beban gempa arah x dan arah y sehingga respon struktur arah x cenderung mengikuti respon struktur akibat gempa dengan frekuensi rendah (Gempa Duzce) dan respon struktur arah y cenderung mengikuti respon struktur akibat gempa dengan frekuensi tinggi (Gempa Manjil).

Tabel 5.19 Perbandingan Simp Netto Maks Gempa Frek Rendah Dom-X

Lantai	Beban 100% X (cm)		Beban 30% Y (cm)	
	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi
15	15,5359	15,1872	4,0085	3,3041
14	15,4355	15,0911	3,9832	3,2812
13	15,1591	14,8281	3,9138	3,2192
12	14,7096	14,4037	3,8006	3,1196
11	14,0938	13,8207	3,6447	2,9837
10	13,3270	13,0857	3,4476	2,8137
9	12,4118	12,2146	3,2119	2,6116
8	11,3667	11,2072	2,9391	2,3804
7	10,1998	10,0777	2,6318	2,1221
6	8,9200	8,8305	2,2936	1,8391
5	7,5393	7,4743	1,9279	1,5351
4	6,0664	6,0210	1,5389	1,2146
3	4,5125	4,4825	1,1307	0,8825
2	2,8927	2,8745	0,7066	0,5491
1	1,2244	1,2172	0,2708	0,2097
0	0,3062	0	0,0950	0

Tabel 5.20 Perbandingan Simp Netto Maks Gempa Frek Rendah Dom-Y

Lantai	Beban 30% X (cm)		Beban 100% Y (cm)	
	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi
15	4,6608	4,5561	13,3618	11,0135
14	4,6307	4,5273	13,2774	10,9373
13	4,5477	4,4484	13,0459	10,7308
12	4,4129	4,3211	12,6687	10,3987
11	4,2281	4,1462	12,1491	9,9458
10	3,9981	3,9257	11,4920	9,3790
9	3,7235	3,6644	10,7064	8,7054
8	3,4100	3,3622	9,7968	7,9345
7	3,0599	3,0233	8,7728	7,0737
6	2,6760	2,6492	7,6453	6,1303
5	2,2618	2,2423	6,4265	5,1169
4	1,8199	1,8063	5,1298	4,0485
3	1,3537	1,3447	3,7690	2,9418
2	0,8678	0,8624	2,3555	1,8302
1	0,3673	0,3651	0,9025	0,6989
0	0,0919	0	0,3167	0

Tabel 5.21 Perbandingan Simp Netto Maks Gempa Frek Sedang Dom-X

Lantai	Beban 100% X (cm)		Beban 30% Y (cm)	
	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi
15	5,6777	5,7761	1,0747	1,4281
14	5,6381	5,7179	1,0682	1,4159
13	5,5519	5,5604	1,0514	1,3829
12	5,4126	5,3220	1,0260	1,3333
11	5,2128	5,0946	0,9924	1,2701
10	4,9481	4,8126	0,9511	1,1958
9	4,6228	4,4817	0,9012	1,1117
8	4,2421	4,1234	0,8406	1,0184
7	3,8161	3,7082	0,7679	0,9156
6	3,3502	3,2441	0,6810	0,8034
5	2,8497	2,7404	0,5801	0,6804
4	2,3180	2,2034	0,4668	0,5472
3	1,7488	1,6724	0,3435	0,4045
2	1,1378	1,0872	0,2139	0,2535
1	0,4893	0,4637	0,0820	0,0968
0	0,1301	0	0,0269	0

Tabel 5.22 Perbandingan Simp Netto Maks Gempa Frek Sedang Dom-Y

Lantai	Beban 30% X (cm)		Beban 100% Y (cm)	
	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi
15	1,0037	1,0658	1,6727	2,0161
14	0,9984	1,0598	1,6520	1,9984
13	0,9837	1,0430	1,5960	1,9603
12	0,9590	1,0157	1,5173	1,8956
11	0,9240	0,9773	1,4260	1,8022
10	0,8797	0,9293	1,3141	1,6806
9	0,8254	0,8716	1,1931	1,5377
8	0,7604	0,8037	1,1064	1,3753
7	0,6854	0,7251	1,0127	1,2034
6	0,6000	0,6358	0,9042	1,0704
5	0,5058	0,5368	0,7710	0,9177
4	0,4045	0,4295	0,6154	0,7451
3	0,2985	0,3169	0,4480	0,5526
2	0,1900	0,2015	0,2822	0,3452
1	0,0799	0,0847	0,1095	0,1304
0	0,0187	0	0,0402	0

Tabel 5.23 Perbandingan Simp Netto Maks Gempa Frek Tinggi Dom-X

Lantai	Beban 100% X (cm)		Beban 30% Y (cm)	
	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi
15	3,3457	3,5526	0,5018	0,6048
14	3,3281	3,5325	0,4956	0,5995
13	3,2789	3,4766	0,4788	0,5881
12	3,1965	3,3856	0,4552	0,5687
11	3,0801	3,2578	0,4278	0,5406
10	2,9323	3,0977	0,3942	0,5042
9	2,7512	2,9052	0,3579	0,4613
8	2,5347	2,6791	0,3319	0,4126
7	2,2847	2,4171	0,3038	0,3610
6	2,0000	2,1192	0,2713	0,3211
5	1,6862	1,7892	0,2313	0,2753
4	1,3483	1,4318	0,1846	0,2235
3	0,9949	1,0563	0,1344	0,1658
2	0,6334	0,6715	0,0847	0,1036
1	0,2662	0,2824	0,0329	0,0391
0	0,0624	0	0,0121	0

Tabel 5.24 Perbandingan Simp Netto Maks Gempa Frek Tinggi Dom-Y

Lantai	Beban 30% X (cm)		Beban 100% Y (cm)	
	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi
15	1,0037	1,0658	1,6727	2,0161
14	0,9984	1,0598	1,6520	1,9984
13	0,9837	1,0430	1,5960	1,9603
12	0,9590	1,0157	1,5173	1,8956
11	0,9240	0,9773	1,4260	1,8022
10	0,8797	0,9293	1,3141	1,6806
9	0,8254	0,8716	1,1931	1,5377
8	0,7604	0,8037	1,1064	1,3753
7	0,6854	0,7251	1,0127	1,2034
6	0,6000	0,6358	0,9042	1,0704
5	0,5058	0,5368	0,7710	0,9177
4	0,4045	0,4295	0,6154	0,7451
3	0,2985	0,3169	0,4480	0,5526
2	0,1900	0,2015	0,2822	0,3452
1	0,0799	0,0847	0,1095	0,1304
0	0,0187	0	0,0402	0

Tabel 5.25 Perbandingan Resultan Simp Netto Maks Gempa Frek Rendah

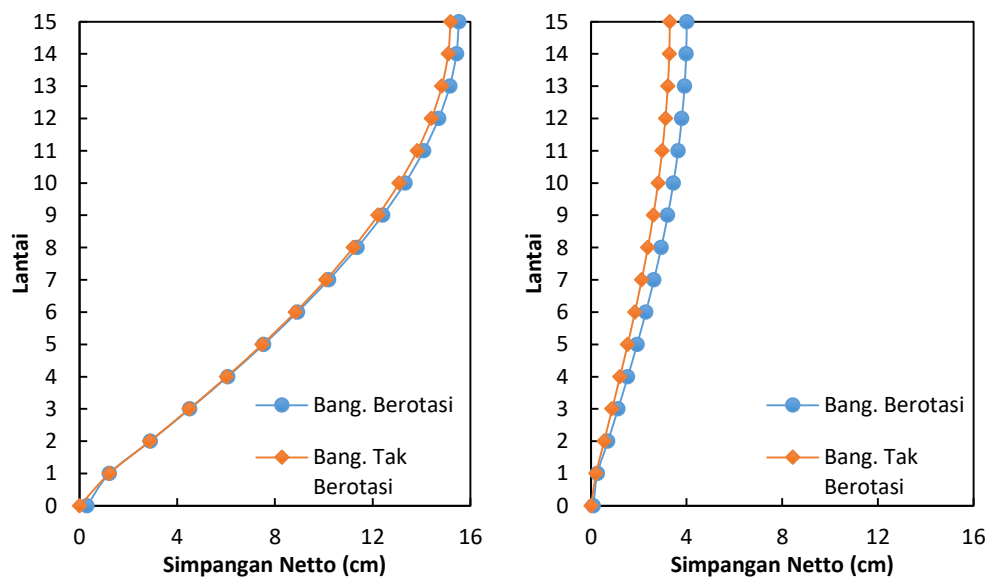
Lantai	Dominan X (cm)		Dominan Y (cm)	
	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi
15	15,5663	15,2151	13,4142	11,2769
14	15,4645	15,1189	13,3305	11,1986
13	15,1867	14,8541	13,1009	10,9844
12	14,7366	14,4248	12,7263	10,6382
11	14,1187	13,8412	12,2095	10,1672
10	13,3446	13,1045	11,5547	9,5807
9	12,4265	12,2288	10,7674	8,8910
8	11,3769	11,2181	9,8554	8,1001
7	10,2054	10,0868	8,8306	7,2167
6	8,9227	8,8365	7,7007	6,2514
5	7,5416	7,4796	6,4776	5,2166
4	6,0672	6,0241	5,1739	4,1271
3	4,5132	4,4849	3,8043	2,9995
2	2,8929	2,8761	2,3803	1,8514
1	1,2244	1,2176	0,9151	0,7027
0	0,3063	0	0,3196	0

Tabel 5.26 Perbandingan Resultan Simp Netto Maks Gempa Frek Sedang

Lantai	Dominan X (cm)		Dominan Y (cm)	
	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi
15	5,6777	5,7914	3,5829	4,7605
14	5,6459	5,7332	3,5611	4,7197
13	5,5620	5,5758	3,5049	4,6098
12	5,4221	5,3358	3,4201	4,4447
11	5,2211	5,1097	3,3080	4,2345
10	4,9553	4,8290	3,1704	3,9871
9	4,6291	4,4953	3,0042	3,7071
8	4,2479	4,1270	2,8020	3,3960
7	3,8212	3,7111	2,5597	3,0533
6	3,3546	3,2462	2,2699	2,6790
5	2,8534	2,7418	1,9338	2,2689
4	2,3211	2,2089	1,5560	1,8248
3	1,7510	1,6760	1,1451	1,3490
2	1,1391	1,0898	0,7133	0,8455
1	0,4898	0,4644	0,2732	0,3227
0	0,1303	0	0,0897	0

Tabel 5.27 Perbandingan Resultan Simp Netto Maks Gempa Frek Tinggi

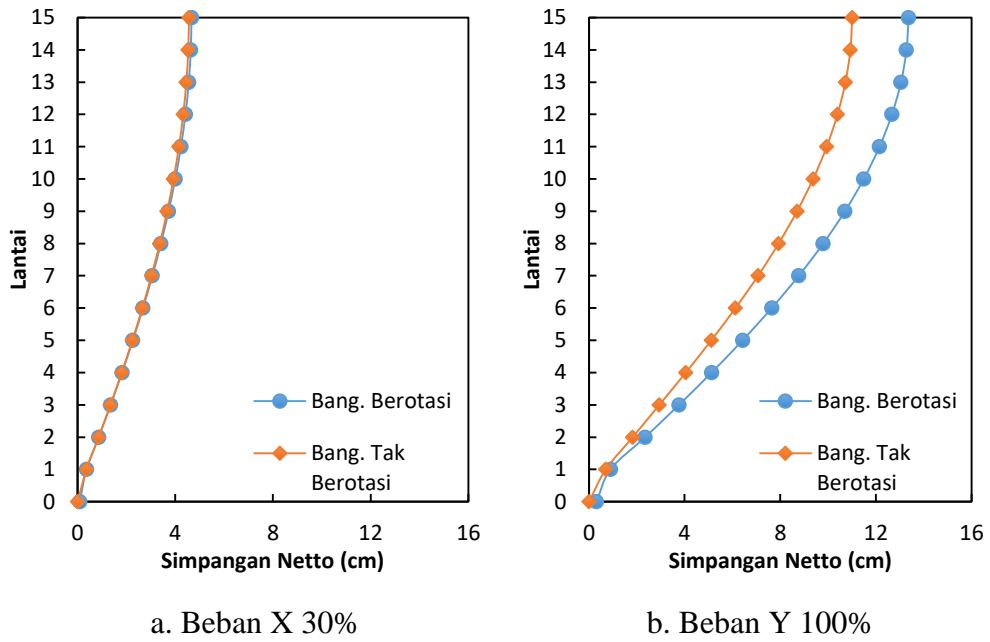
Lantai	Dominan X (cm)		Dominan Y (cm)	
	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi
15	3,3467	3,5690	1,6750	2,1121
14	3,3293	3,5493	1,6544	2,0937
13	3,2806	3,4951	1,5989	2,0441
12	3,1983	3,4042	1,5197	1,9661
11	3,0820	3,2778	1,4275	1,8644
10	2,9349	3,1180	1,3296	1,7442
9	2,7538	2,9250	1,2289	1,6083
8	2,5372	2,6979	1,1470	1,4596
7	2,2867	2,4345	1,0534	1,3004
6	2,0019	2,1342	0,9394	1,1341
5	1,6875	1,8015	0,7997	0,9603
4	1,3494	1,4417	0,6384	0,7752
3	0,9957	1,0635	0,4679	0,5772
2	0,6340	0,6763	0,2962	0,3673
1	0,2664	0,2840	0,1158	0,1462
0	0,0627	0	0,0404	0



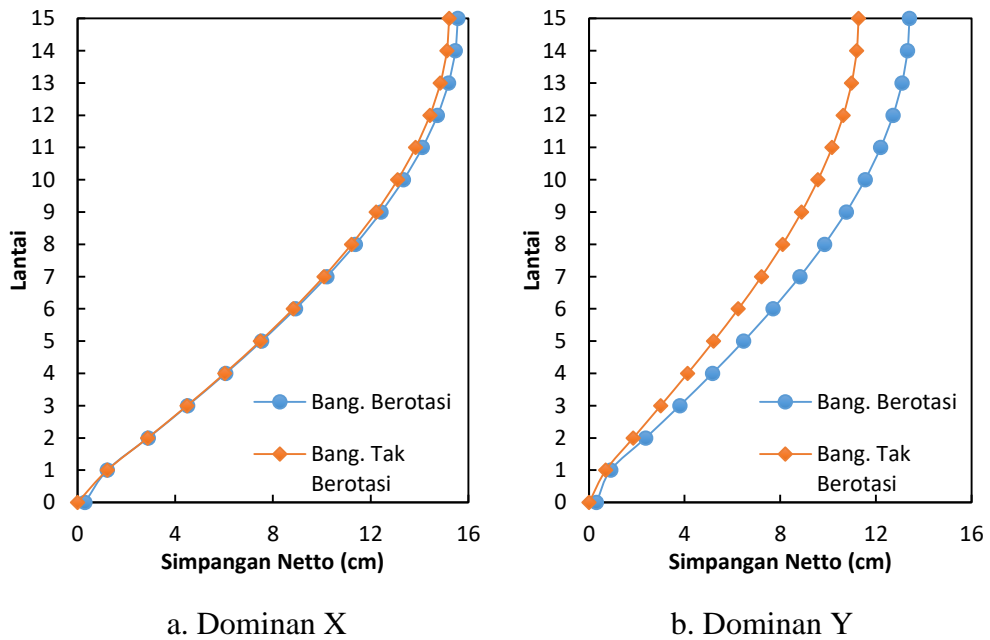
a. Beban X 100%

b. Beban Y 30%

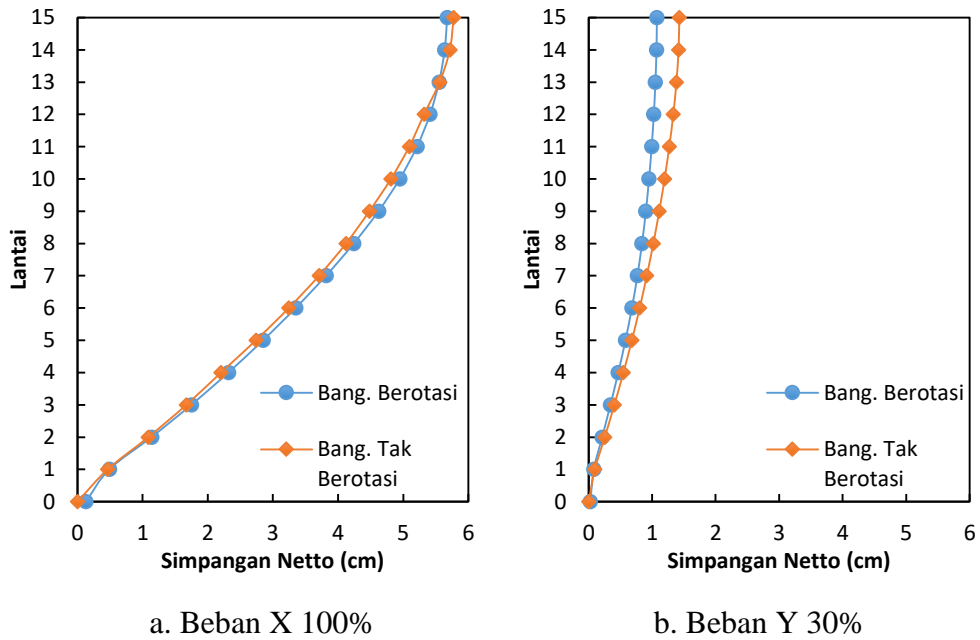
Gambar 5.42 Perbandingan Simpangan Netto Maks Bangunan Dengan Rotasi dan Tanpa Rotasi Gempa Frek Rendah Pembebanan Dom-X



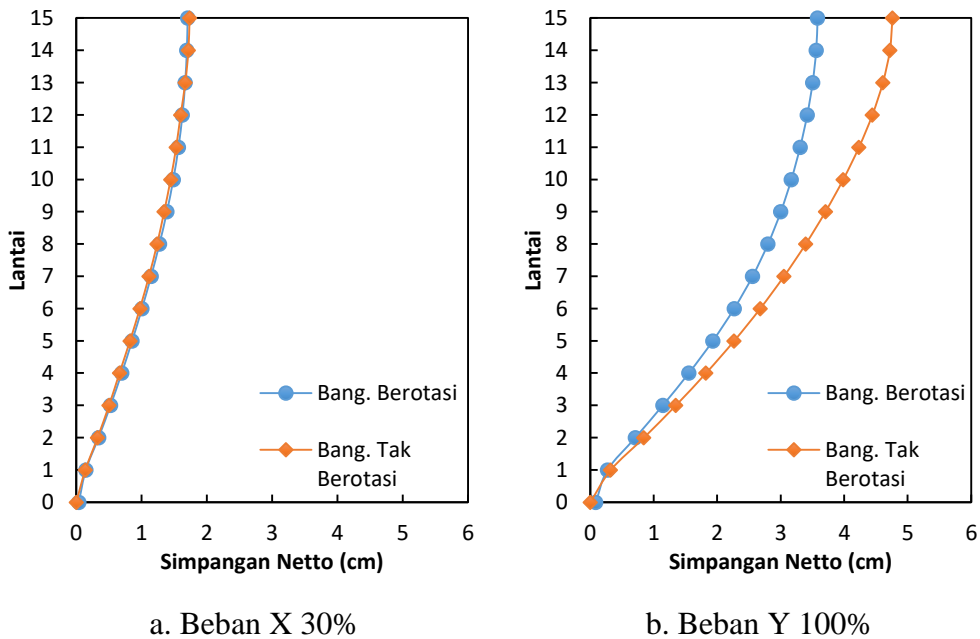
Gambar 5.43 Perbandingan Simpangan Netto Maks Bangunan Dengan Rotasi dan Tanpa Rotasi Gempa Frek Rendah Pembebanan Dom-Y



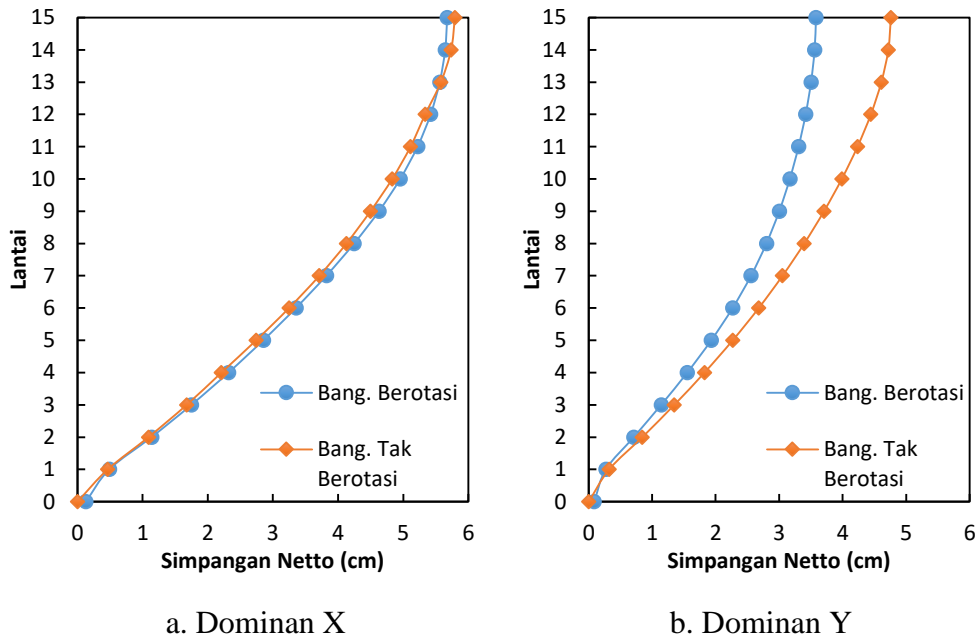
Gambar 5.44 Perbandingan Resultan Simpangan Netto Maks Bangunan Dengan Rotasi dan Tanpa Rotasi Gempa Frek Rendah



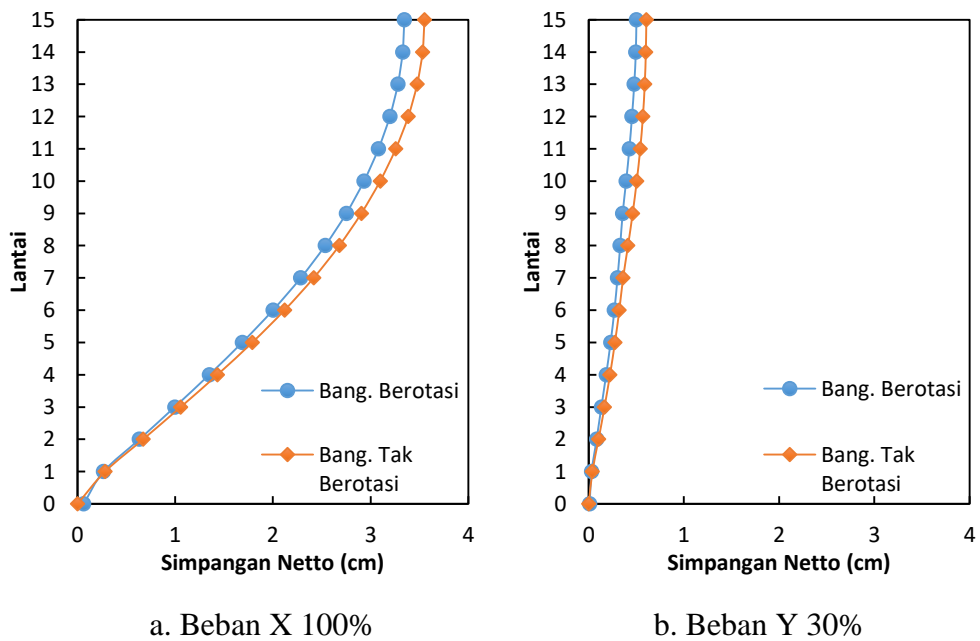
Gambar 5.45 Perbandingan Simpangan Netto Maks Bangunan Dengan Rotasi dan Tanpa Rotasi Gempa Frek Sedang Pembebanan Dom-X



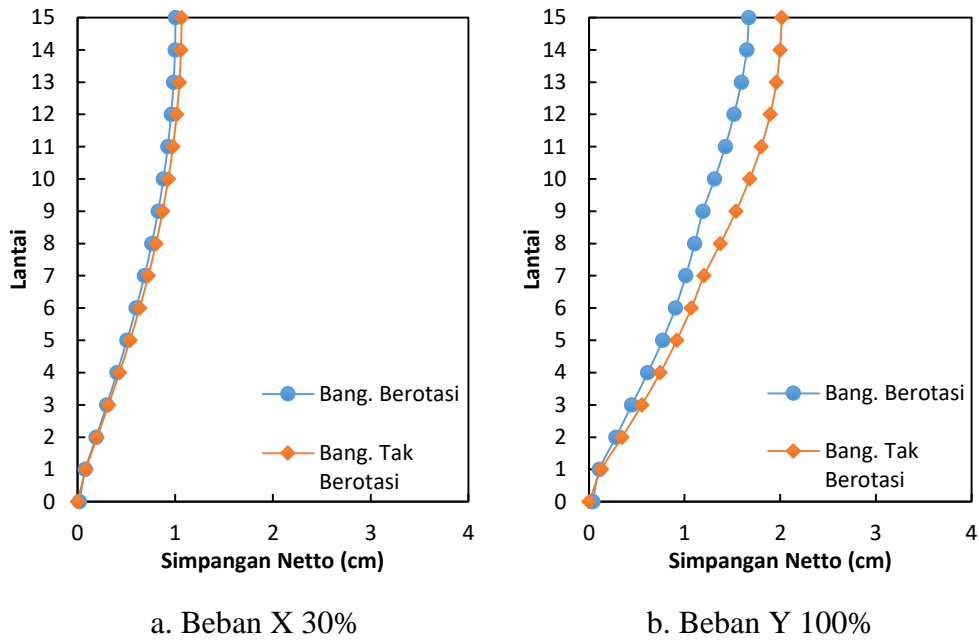
Gambar 5.46 Perbandingan Simpangan Netto Maks Bangunan Dengan Rotasi dan Tanpa Rotasi Gempa Frek Sedang Pembebanan Dom-Y



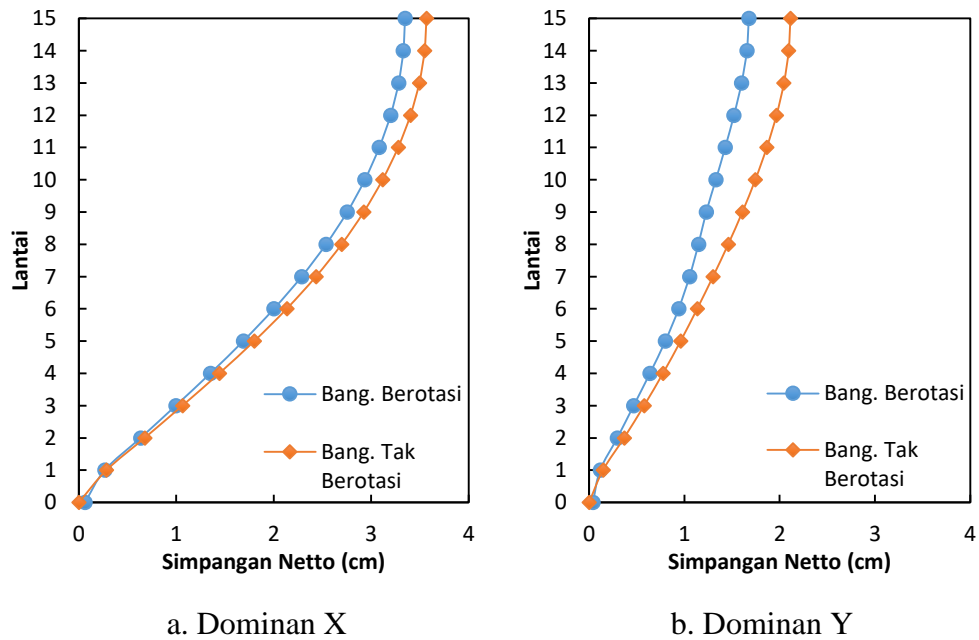
Gambar 5.47 Perbandingan Resultan Simpangan Netto Maks Bangunan Dengan Rotasi dan Tanpa Rotasi Gempa Frek Sedang



Gambar 5.48 Perbandingan Simpangan Netto Maks Bangunan Dengan Rotasi dan Tanpa Rotasi Gempa Frek Tinggi Pembebanan Dom-X



Gambar 5.49 Perbandingan Simpangan Netto Maks Bangunan Dengan Rotasi dan Tanpa Rotasi Gempa Frek Tinggi Pembebanan Dom-Y



Gambar 5.50 Perbandingan Resultan Simpangan Netto Maks Bangunan Dengan Rotasi dan Tanpa Rotasi Gempa Frek Tinggi

5.7.3 Sudut Rotasi

Sudut rotasi adalah sudut perputaran yang terjadi pada fondasi beserta bangunan akibat adanya beban gempa yang dapat dilihat pada Gambar 3.16. Pada penelitian ini, sudut rotasi diperoleh melalui iterasi *dependent* dengan metode β -*Newmark*. Hasil perhitungan sudut rotasi ditampilkan dalam bentuk grafik antara sudut rotasi lawan waktu (dengan interval waktu 0,01 dt). Sudut rotasi yang dicari meliputi sudut rotasi pada bangunan reguler dengan rotasi dan tanpa rotasi dengan pembebanan dominan arah x dan dominan arah y yang akan dijelaskan sebagai berikut.

1. Sudut Rotasi Struktur Bangunan Dengan Rotasi

Sudut rotasi struktur bangunan reguler dengan rotasi dengan beban gempa frekuensi rendah, frekuensi sedang, dan frekuensi tinggi dan pada pembebanan dominan x dan dominan y dengan beban 100%, beban 30%, resultan sudut rotasi, dan tampak atas sudut rotasi dapat dilihat pada Gambar 5.51 s/d Gambar 5.60. Nilai-nilai maksimum sudut rotasi pada setiap frekuensi beban gempa dengan pembebanan dominan x dan dominan y dapat dilihat pada Tabel 5.28.

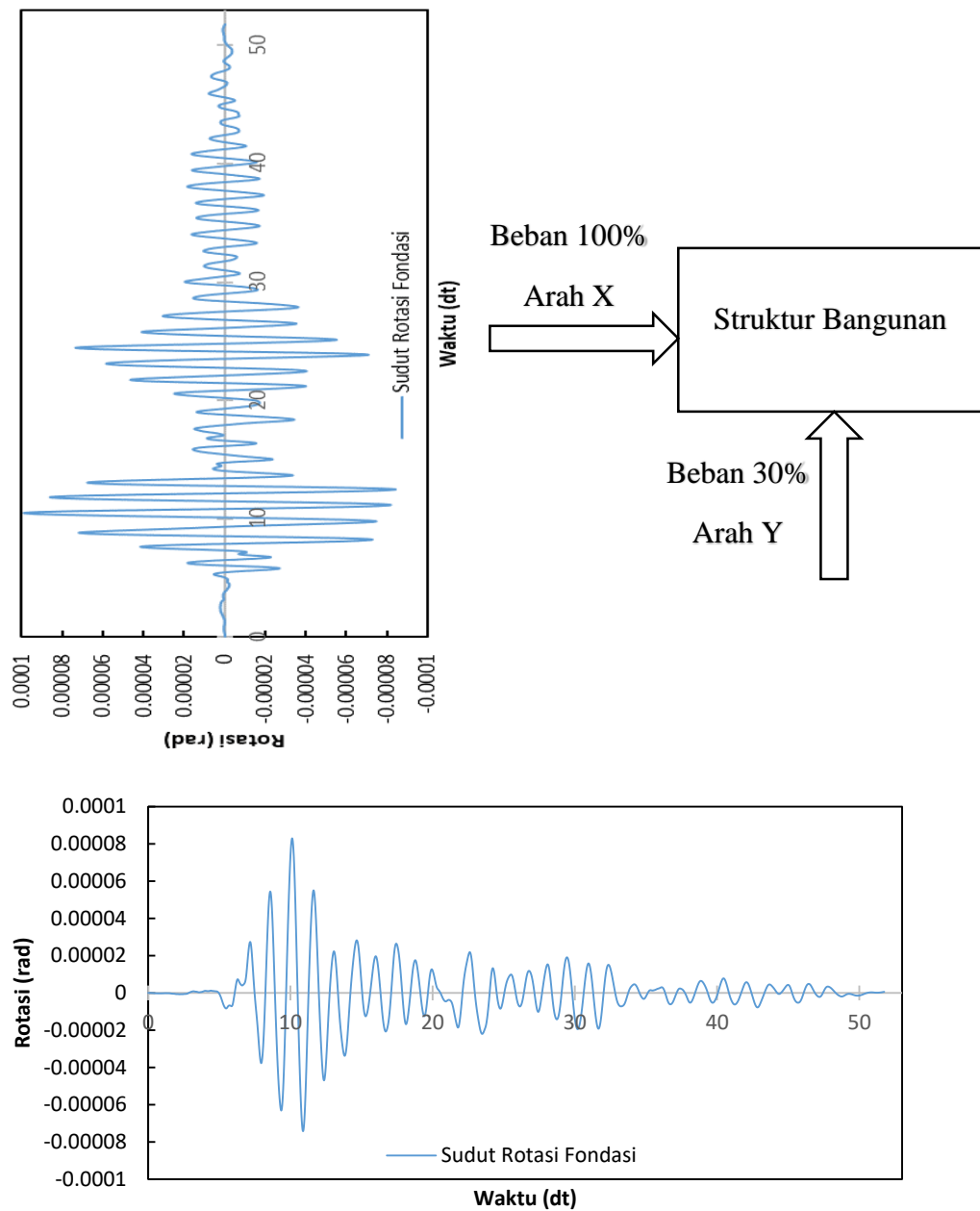
Hasil tabel dan gambar grafik tersebut menunjukkan bahwa gempa dengan frekuensi rendah (Gempa Duzce) menghasilkan sudut rotasi yang paling besar pada struktur baik pada pembebanan dominan x maupun pembebanan dominan y, sedangkan gempa dengan frekuensi tinggi (Gempa Manjil) menghasilkan sudut rotasi yang paling kecil dan gempa dengan frekuensi sedang (Gempa EL-Centro 1940) berada diantaranya. Hal ini dikarenakan struktur bangunan tinggi bersifat fleksibel sehingga akan mempunyai frekuensi sudut (ω) dan frekuensi natural (f) yang rendah dan menyebabkan bangunan akan bergetar pada frekuensi rendah atau berasosiasi dengan baik dengan gempa frekuensi rendah.

Resultan sudut rotasi akibat pembebanan dominan y lebih besar dari resultan sudut rotasi akibat pembebanan dominan x pada setiap frekuensi beban gempa. Hal ini dikarenakan fondasi dan bangunan berbentuk pipih pada arah y sehingga kekakuan rotasi pada arah y (terhadap sumbu x) lebih kecil nilainya daripada kekakuan rotasi pada arah x (terhadap sumbu y) dan menyebabkan bangunan lebih mudah berotasi pada arah y (terhadap sumbu x). Kekakuan rotasi pada arah

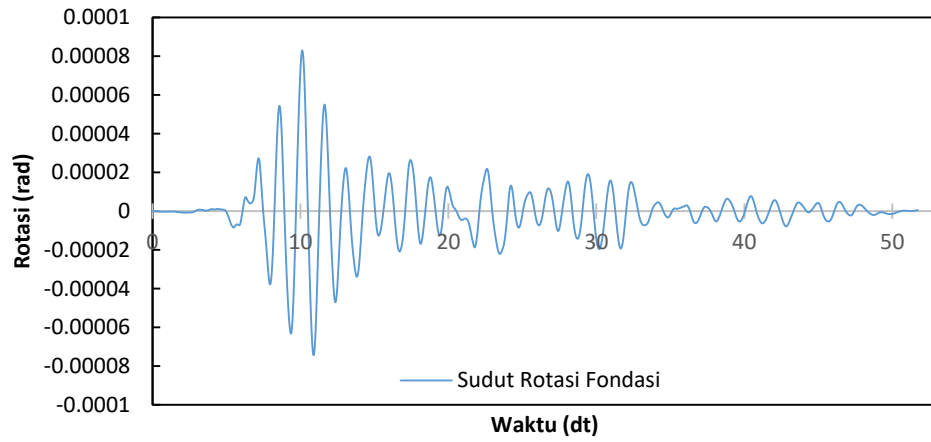
y (terhadap sumbu x) lebih kecil nilainya daripada kekakuan rotasi pada arah x (terhadap sumbu y) karena inersia terhadap sumbu x lebih kecil nilainya daripada inersia terhadap sumbu y. Hasil yang lebih jelas dapat dilihat pada pembebanan dominan x, rotasi ke arah sumbu x (akibat 100% beban x) memiliki nilai yang hampir sama dengan rotasi ke arah sumbu y (akibat 30% beban y), sedangkan pada pembebanan dominan y, rotasi ke arah sumbu x (akibat 30% beban x) memiliki nilai yang jauh lebih kecil daripada rotasi ke arah sumbu y (akibat 100% beban y).

a. Pembebanan Dominan X

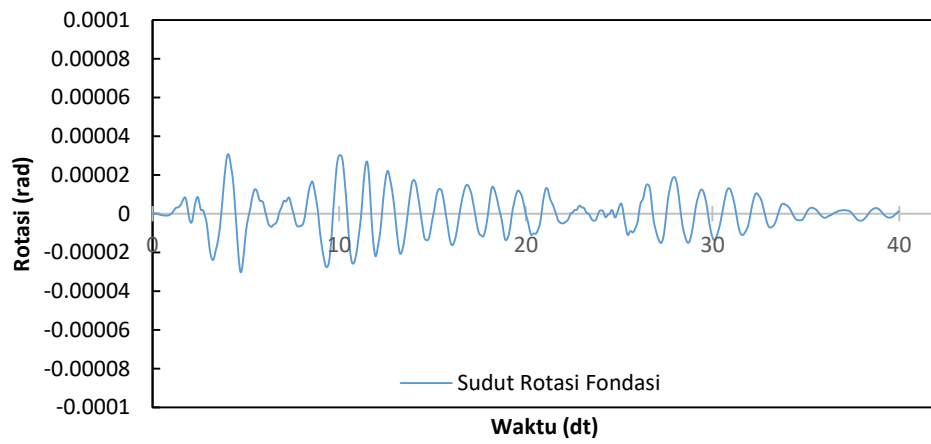
Adapun ilustrasi hasil analisis sudut rotasi pada pembebanan dominan x dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



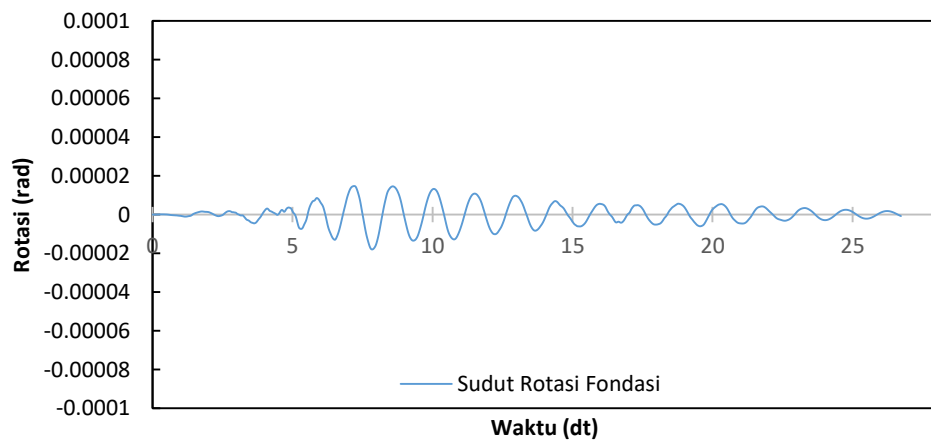
Gambar 5.51 Ilustrasi Sudut Rotasi Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan X



a. Frekuensi Rendah

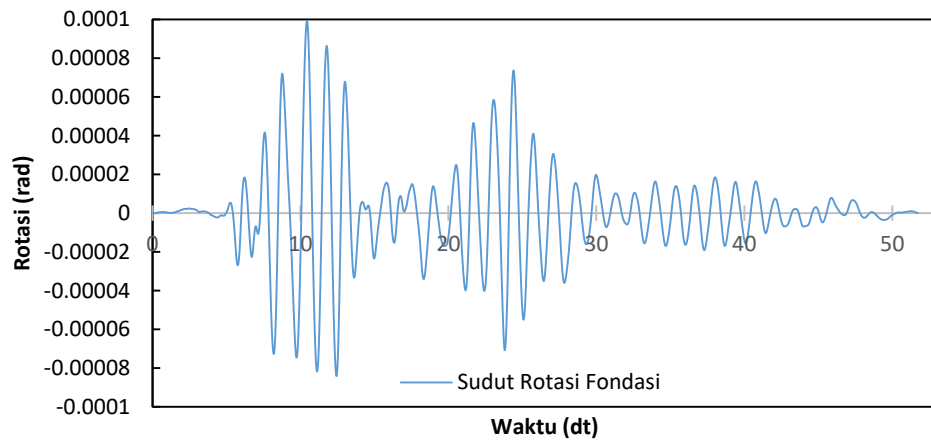


b. Frekuensi Sedang

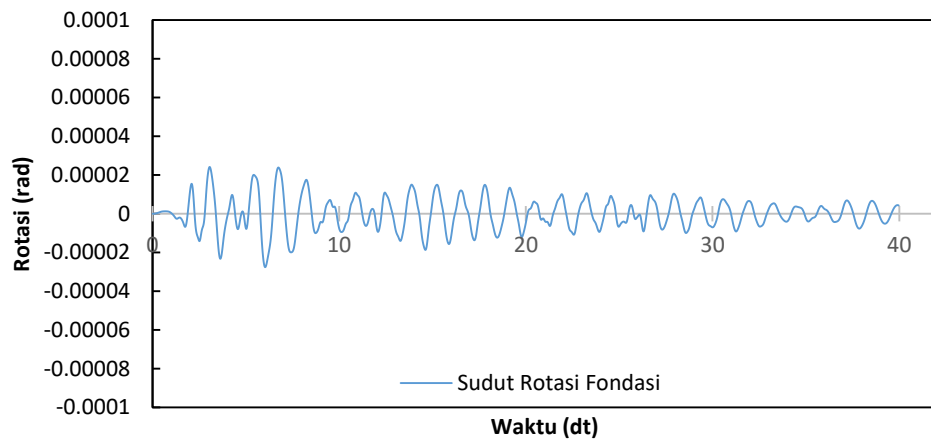


c. Frekuensi Tinggi

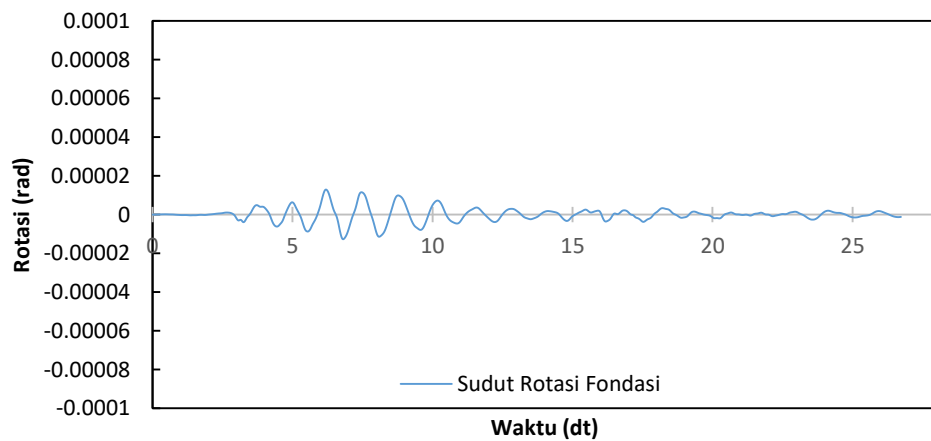
Gambar 5.52 Sudut Rotasi Arah X Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan X



a. Frekuensi Rendah

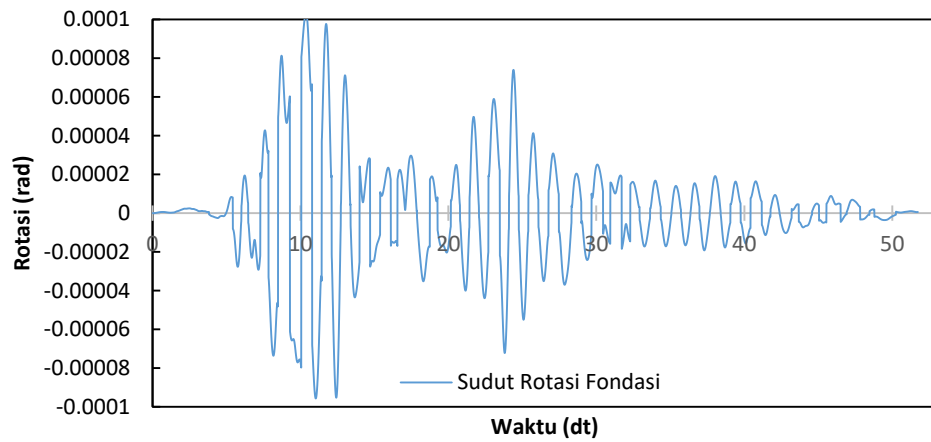


b. Frekuensi Sedang

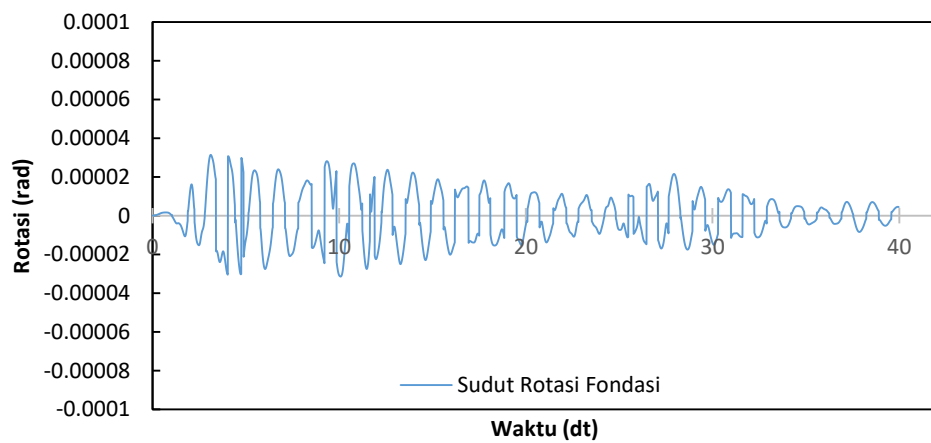


c. Frekuensi Tinggi

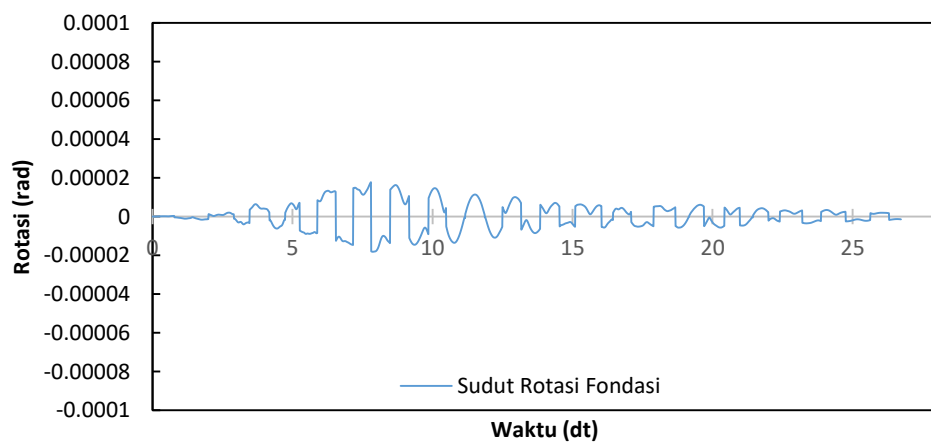
Gambar 5.53 Sudut Rotasi Arah Y Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan X



a. Frekuensi Rendah

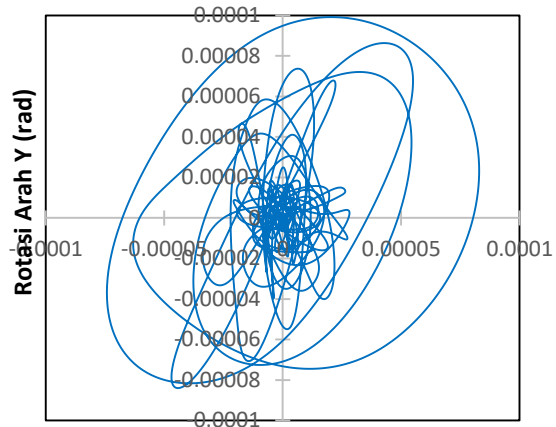


b. Frekuensi Sedang



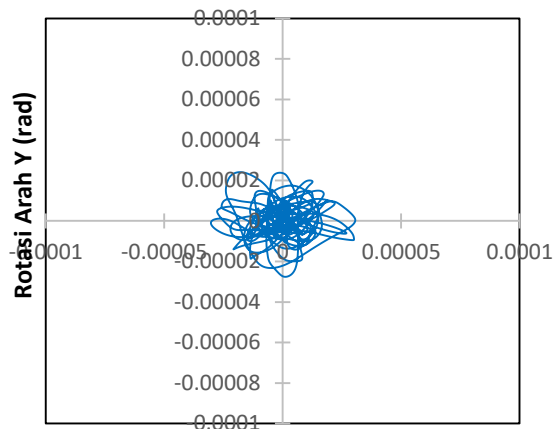
c. Frekuensi Tinggi

Gambar 5.54 Resultan Sudut Rotasi Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan X



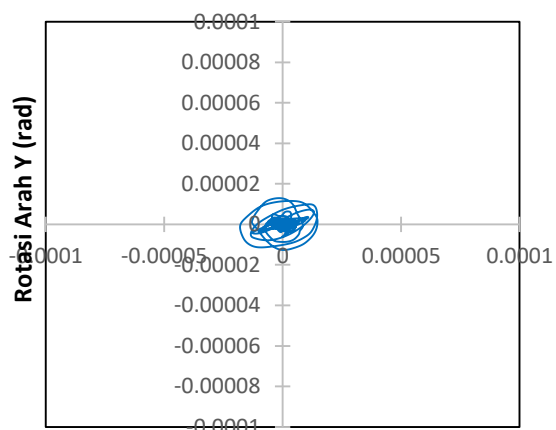
Rotasi Arah X (rad)

a. Frekuensi Rendah



Rotasi Arah X (rad)

b. Frekuensi Sedang



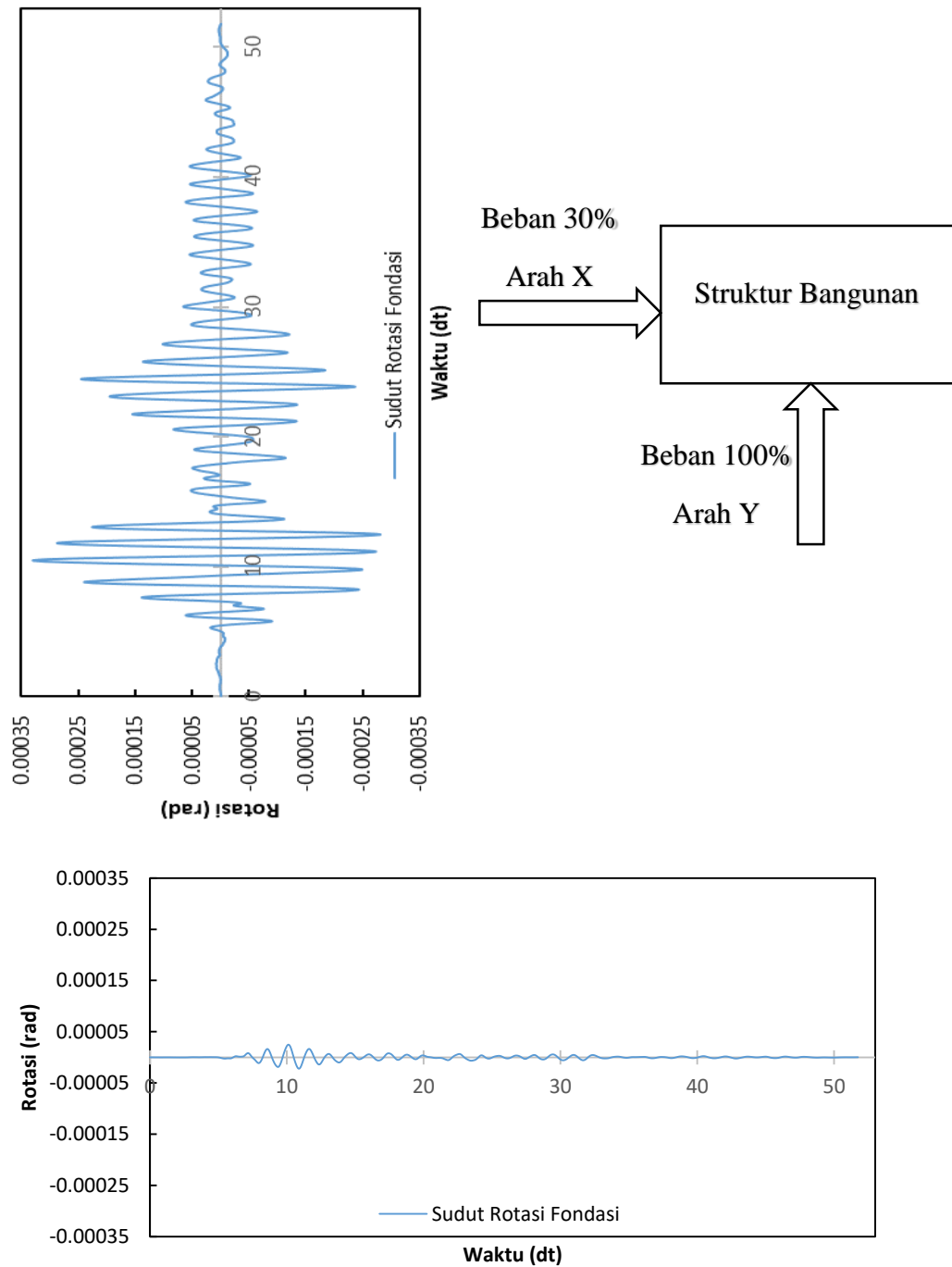
Rotasi Arah X (rad)

c. Frekuensi Tinggi

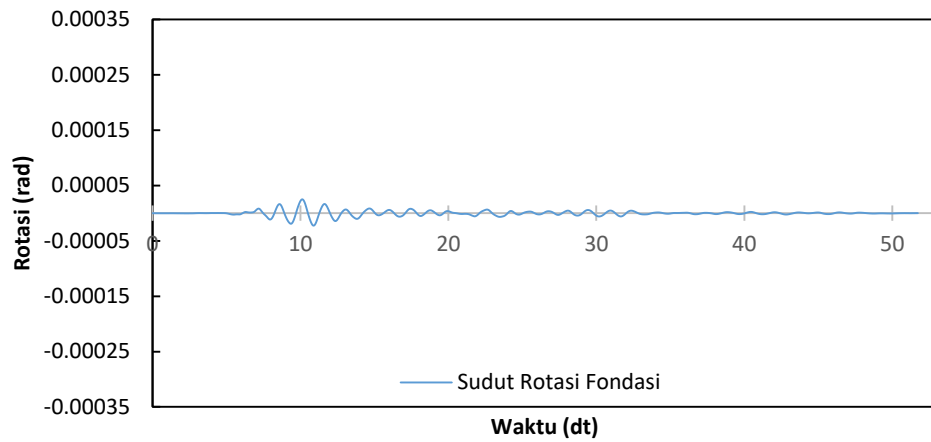
Gambar 5.55 Tampak Atas Sudut Rotasi Setiap Frek Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan X

b. Pembebanan Dominan Y

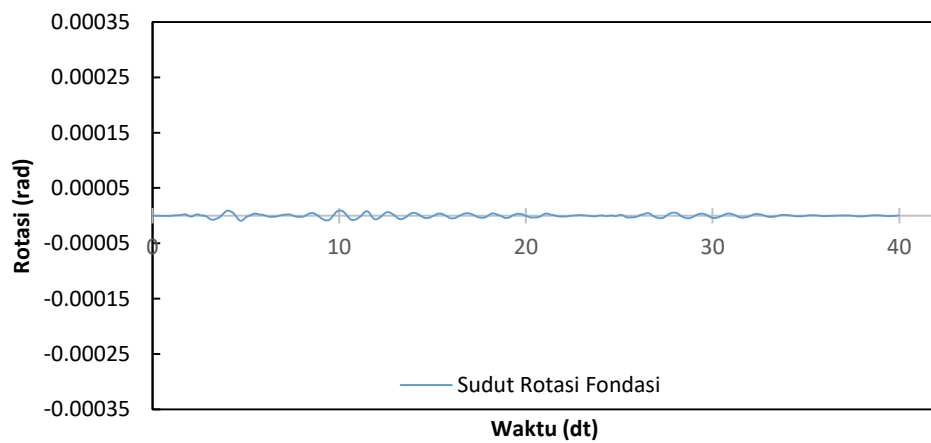
Adapun ilustrasi hasil analisis sudut rotasi pada pembebanan dominan y dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



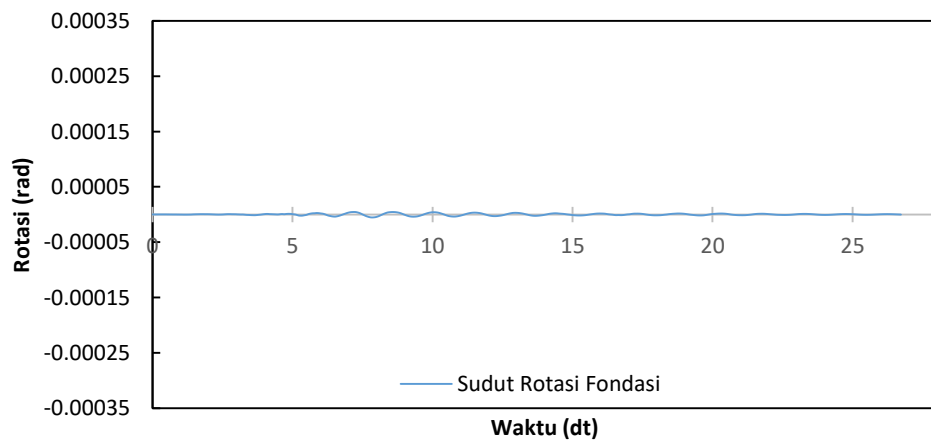
Gambar 5.56 Ilustrasi Sudut Rotasi Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan Y



a. Frekuensi Rendah

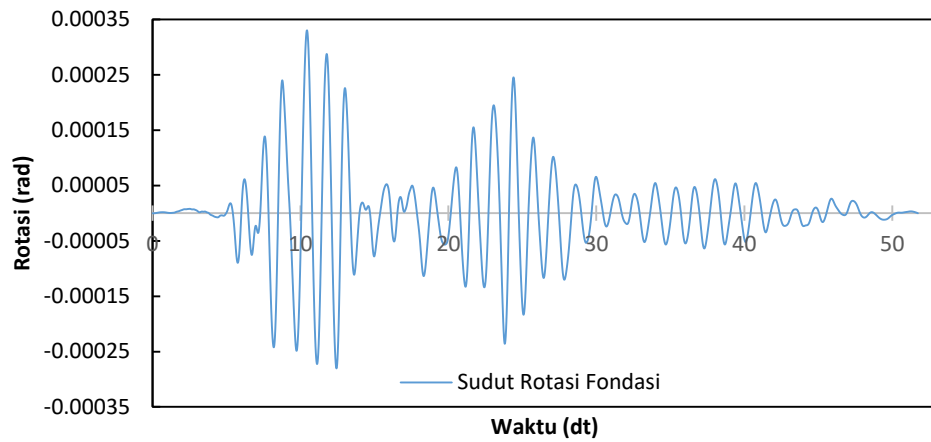


b. Frekuensi Sedang

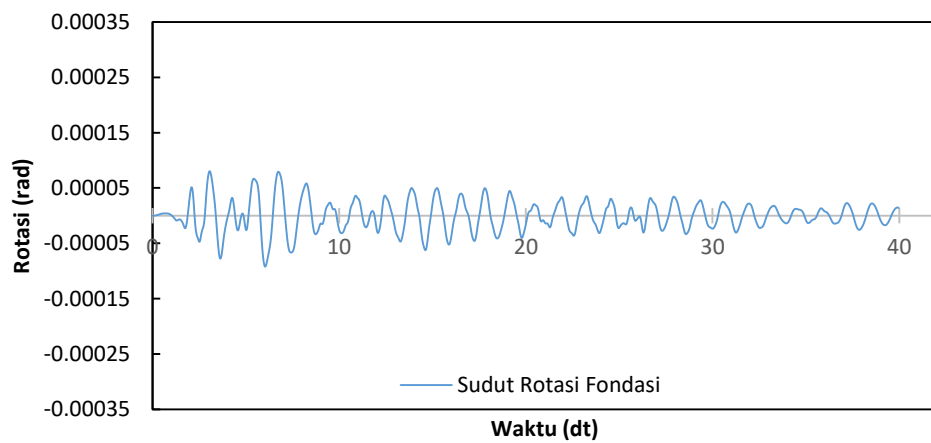


c. Frekuensi Tinggi

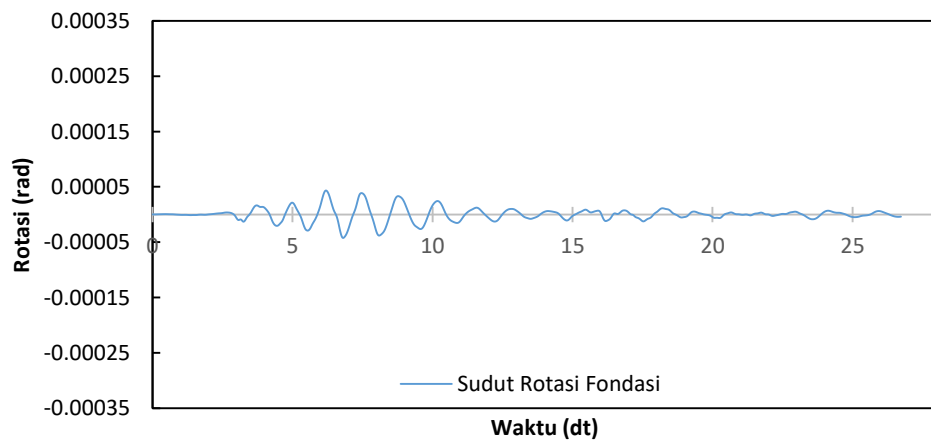
Gambar 5.57 Sudut Rotasi Arah X Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan Y



a. Frekuensi Rendah

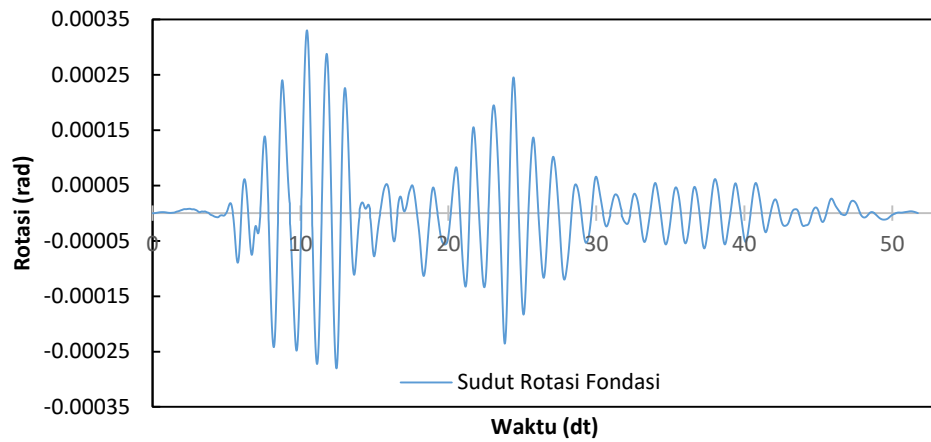


b. Frekuensi Sedang

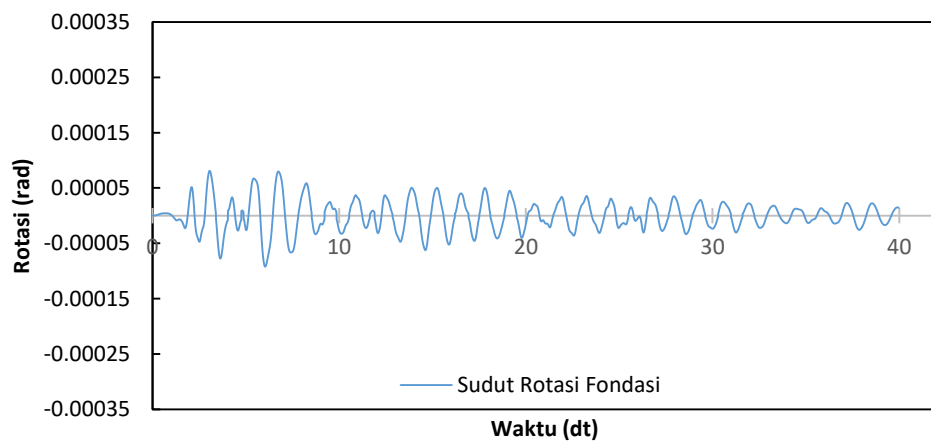


c. Frekuensi Tinggi

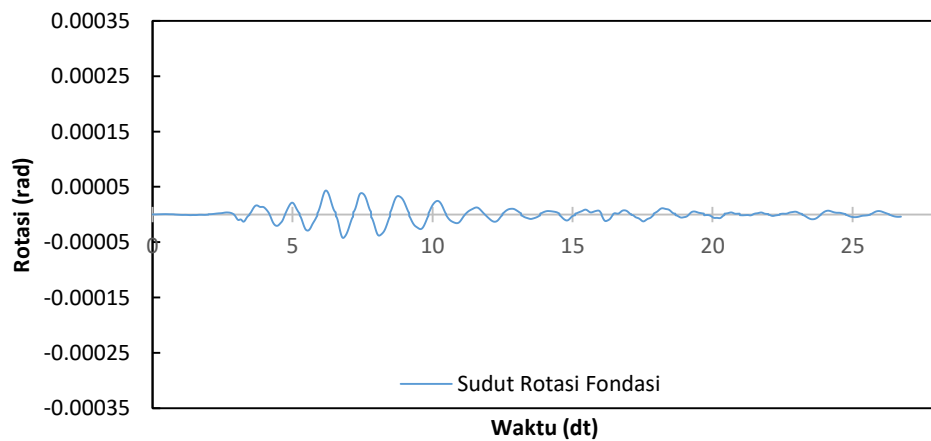
Gambar 5.58 Sudut Rotasi Arah Y Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan Y



a. Frekuensi Rendah

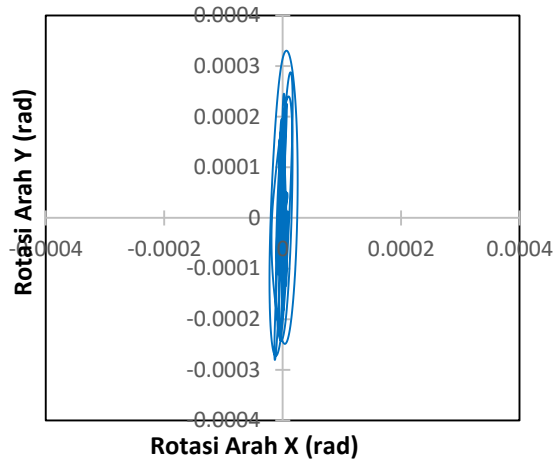


b. Frekuensi Sedang

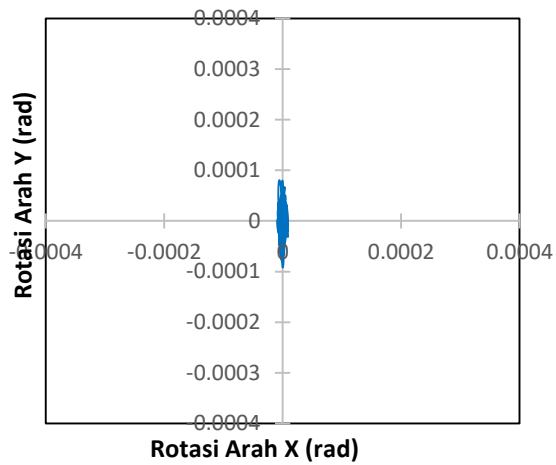


c. Frekuensi Tinggi

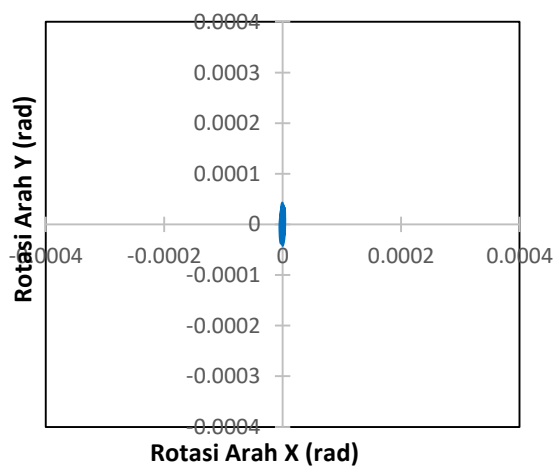
Gambar 5.59 Resultan Sudut Rotasi Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan Y



a. Frekuensi Rendah



b. Frekuensi Sedang



c. Frekuensi Tinggi

Gambar 5.60 Tampak Atas Sudut Rotasi Setiap Frek Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan Y

Tabel 5.28 Sudut Rotasi Maksimum Bangunan Dengan Rotasi

Dominan		Rotasi (rad)		
		Fre. Rendah	Fre. Sedang	Fre. Tinggi
X	100% X	8,29647E-05	3,06419E-05	1,80481E-05
	30% Y	9,91173E-05	2,75551E-05	1,29157E-05
	Resultan	0,000103257	3,14663E-05	1,81464E-05
Y	30% X	2,48894E-05	9,19258E-06	5,41443E-06
	100% Y	0,000330391	9,18503E-05	4,30525E-05
	Resultan	0,000330444	9,18511E-05	4,30542E-05

2. Sudut Rotasi Struktur Bangunan Tanpa Rotasi

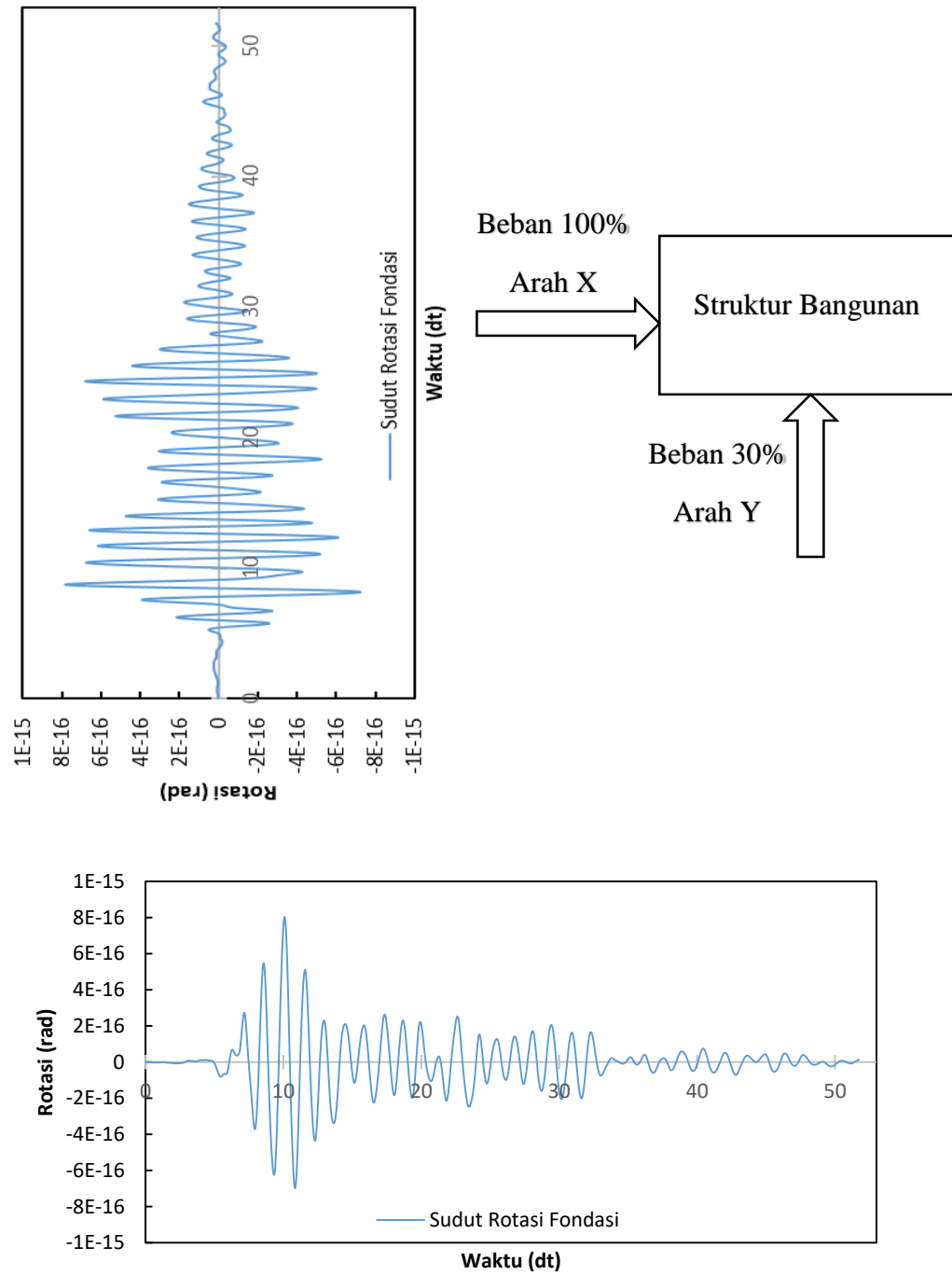
Sudut rotasi struktur bangunan reguler tanpa rotasi dengan beban gempa frekuensi rendah, frekuensi sedang, dan frekuensi tinggi dan pada pembebanan dominan x dan dominan y dengan beban 100%, beban 30%, resultan sudut rotasi, dan tampak atas sudut rotasi dapat dilihat pada Gambar 5.61 s/d Gambar 5.70. Nilai-nilai maksimum sudut rotasi pada setiap frekuensi beban gempa dengan pembebanan dominan x dan dominan y dapat dilihat pada Tabel 5.29.

Hasil tabel dan gambar grafik tersebut menunjukkan bahwa gempa dengan frekuensi rendah (Gempa Duzce) menghasilkan sudut rotasi yang paling besar pada struktur baik pada pembebanan dominan x maupun pembebanan dominan y, sedangkan gempa dengan frekuensi tinggi (Gempa Manjil) menghasilkan sudut rotasi yang paling kecil dan gempa dengan frekuensi sedang (Gempa EL-Centro 1940) berada diantaranya. Hal ini dikarenakan struktur bangunan tinggi bersifat fleksibel sehingga akan mempunyai frekuensi sudut (ω) dan frekuensi natural (f) yang rendah dan menyebabkan bangunan akan bergetar pada frekuensi rendah atau berasosiasi dengan baik dengan gempa frekuensi rendah.

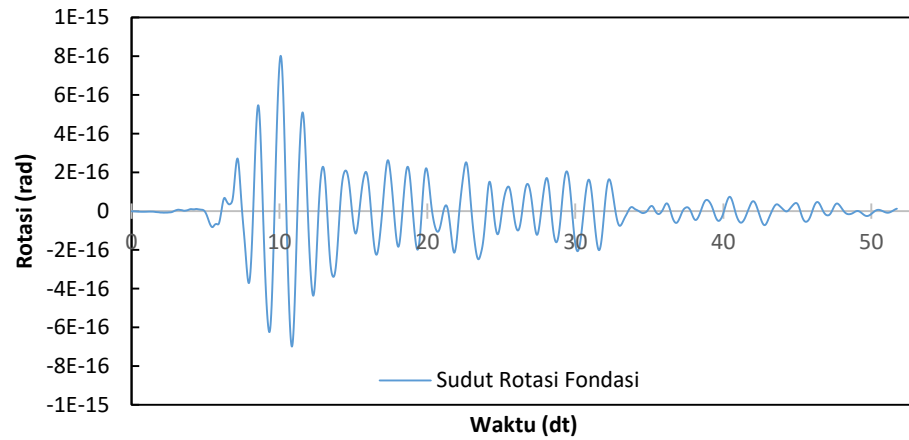
Sudut rotasi pada bangunan tanpa rotasi (*fixed*) menghasilkan nilai sudut rotasi yang sangat kecil bahkan mendekati 0. Hal ini dikarenakan tanah menyatu dengan fondasi atau mampu menjepit fondasi dengan sempurna sehingga tidak akan terjadi deformasi berupa rotasi.

a. Pembebanan Dominan X

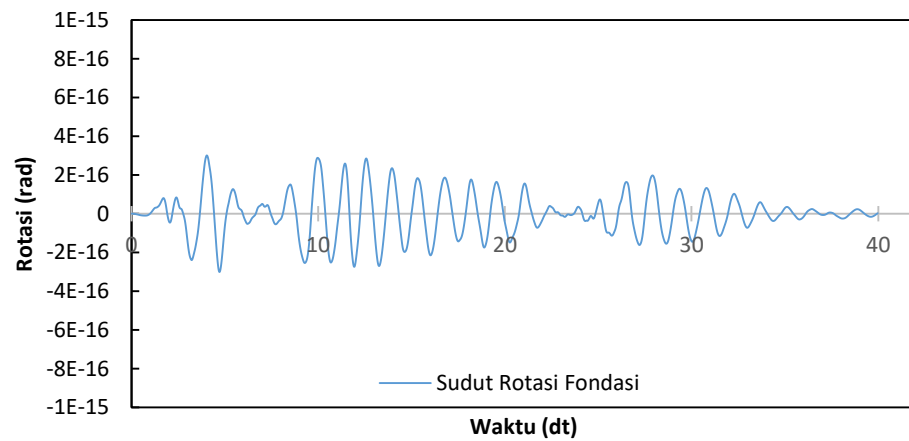
Adapun ilustrasi hasil analisis sudut rotasi pada pembebanan dominan x dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



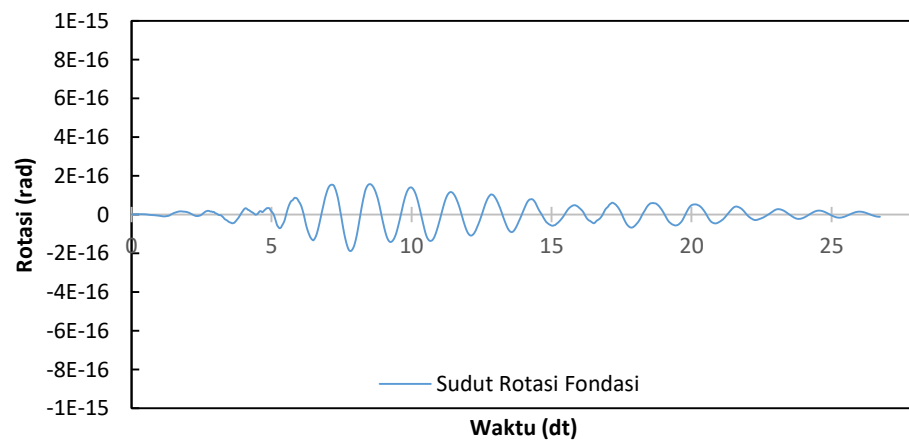
Gambar 5.61 Ilustrasi Sudut Rotasi Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan X



a. Frekuensi Rendah

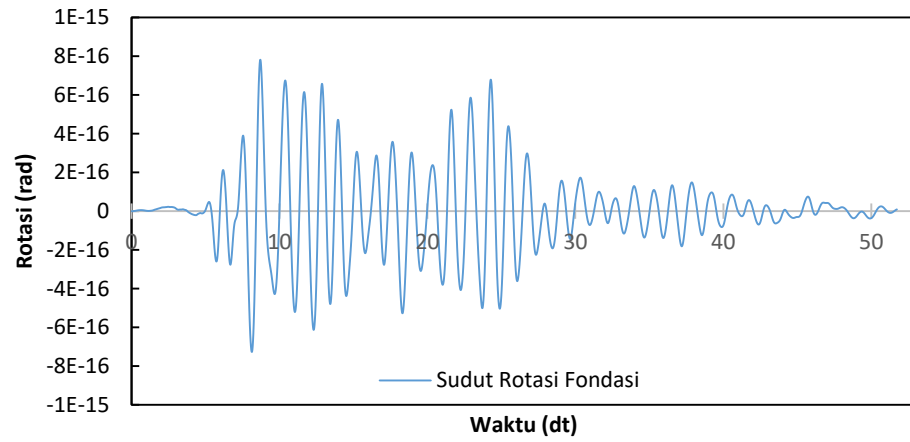


b. Frekuensi Sedang

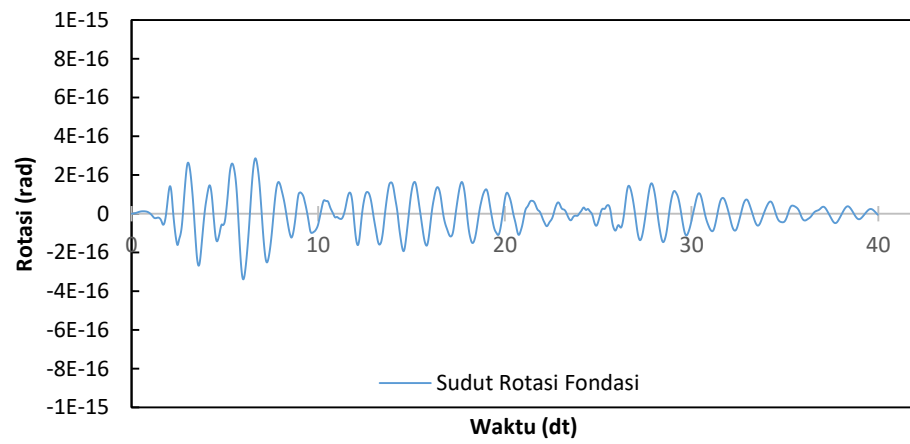


c. Frekuensi Tinggi

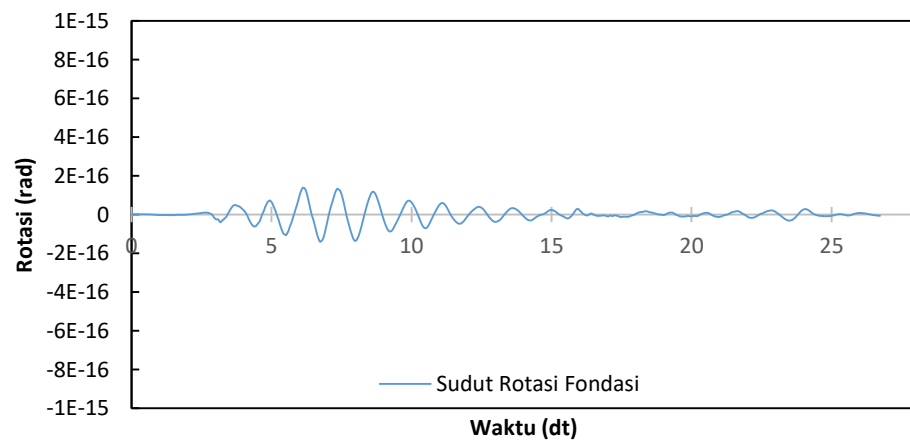
Gambar 5.62 Sudut Rotasi Arah X Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan X



a. Frekuensi Rendah

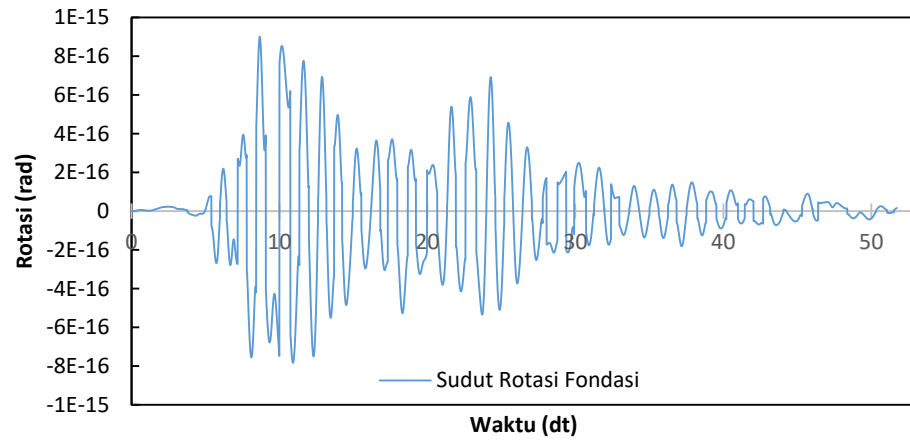


b. Frekuensi Sedang

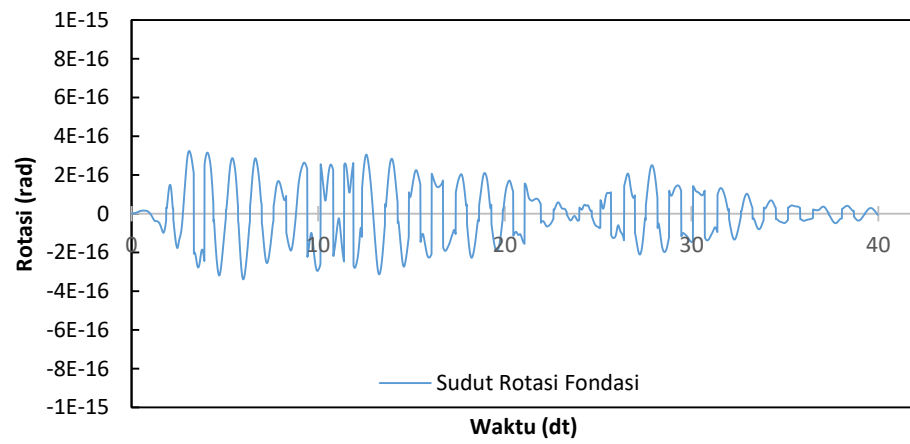


c. Frekuensi Tinggi

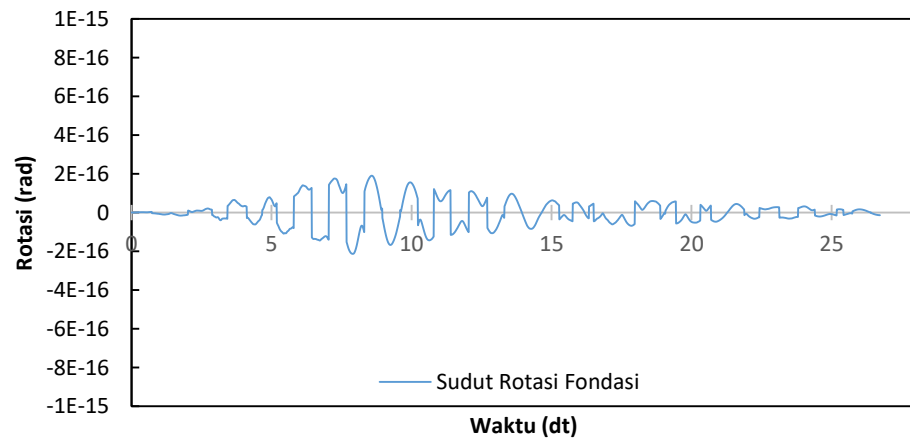
Gambar 5.63 Sudut Rotasi Arah Y Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan X



a. Frekuensi Rendah

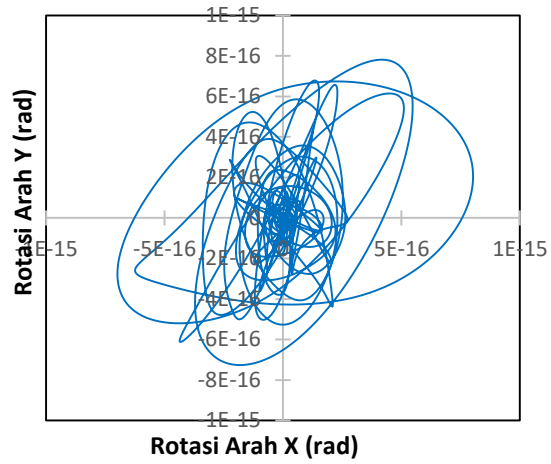


b. Frekuensi Sedang

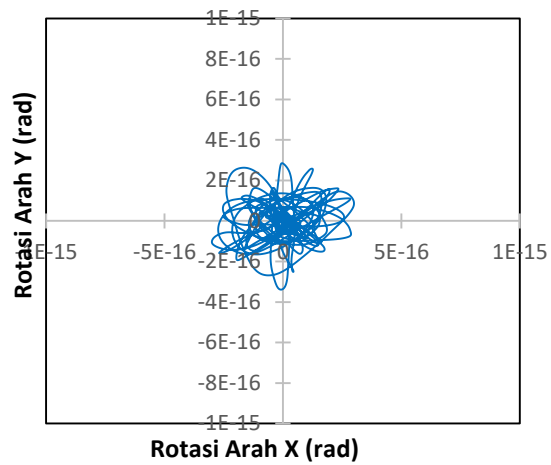


c. Frekuensi Tinggi

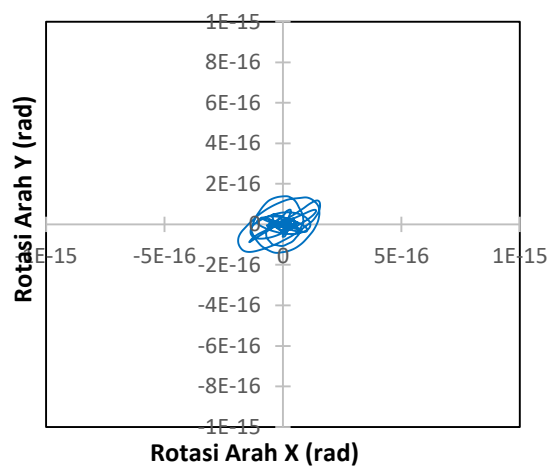
Gambar 5.64 Resultan Sudut Rotasi Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan X



a. Frekuensi Rendah



b. Frekuensi Sedang

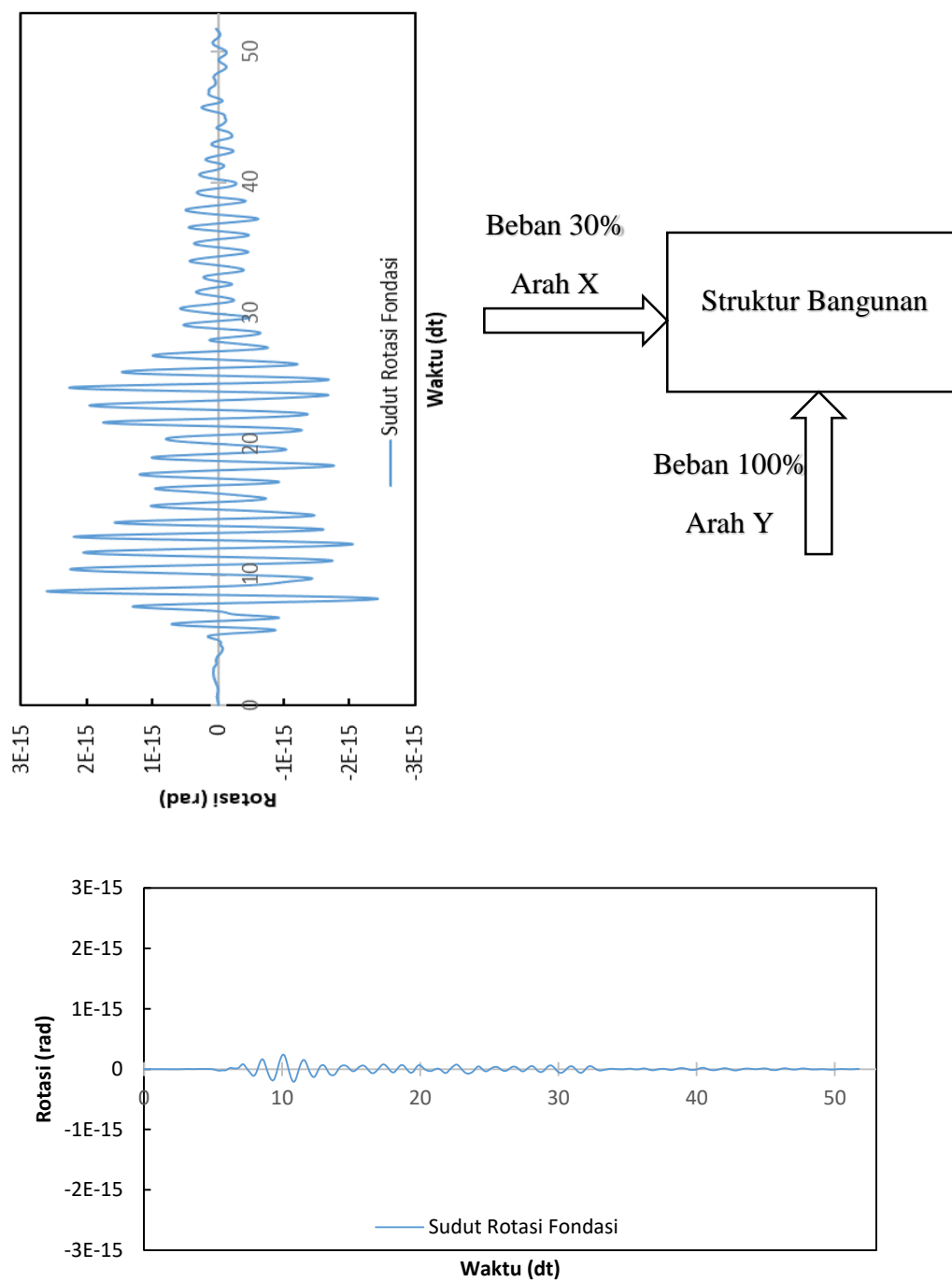


c. Frekuensi Tinggi

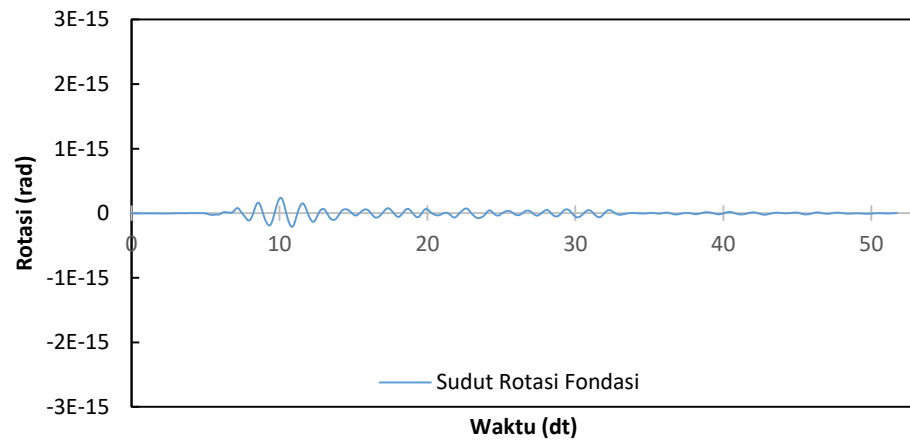
Gambar 5.65 Tampak Atas Sudut Rotasi Setiap Frek Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan X

b. Pembebanan Dominan Y

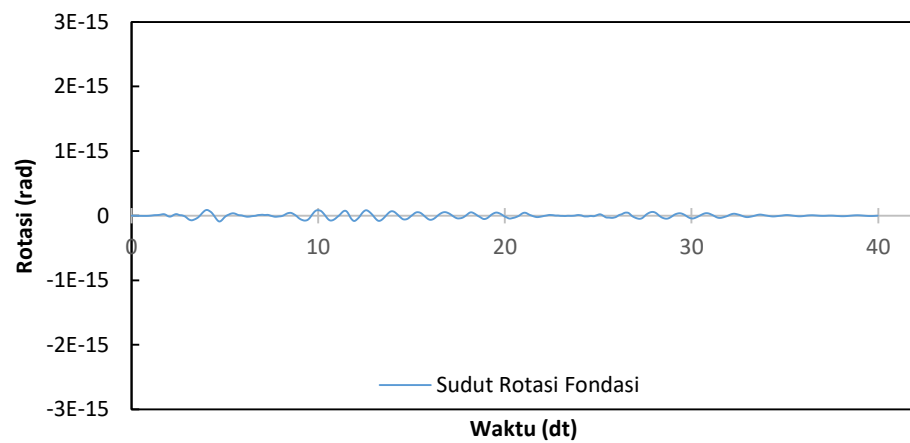
Adapun ilustrasi hasil analisis sudut rotasi pada pembebanan dominan y dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



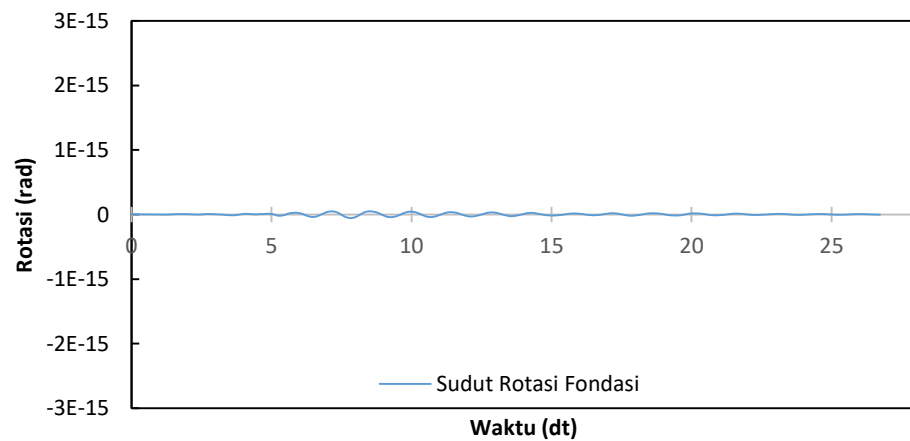
Gambar 5.66 Ilustrasi Sudut Rotasi Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan Y



a. Frekuensi Rendah

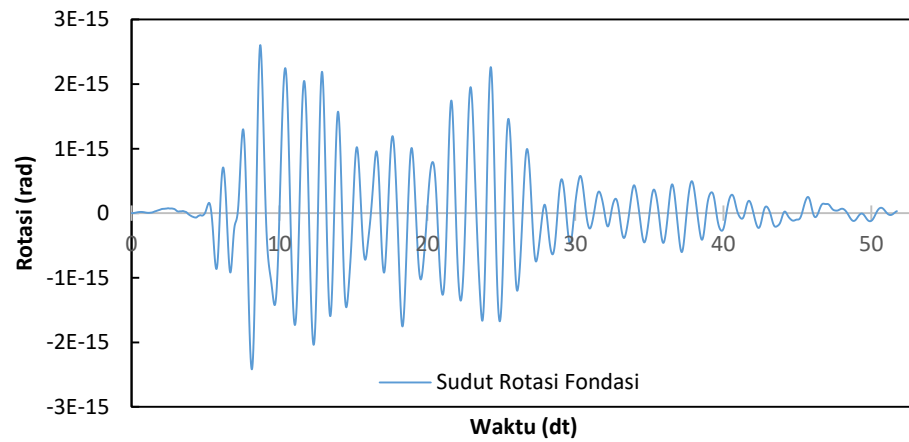


b. Frekuensi Sedang

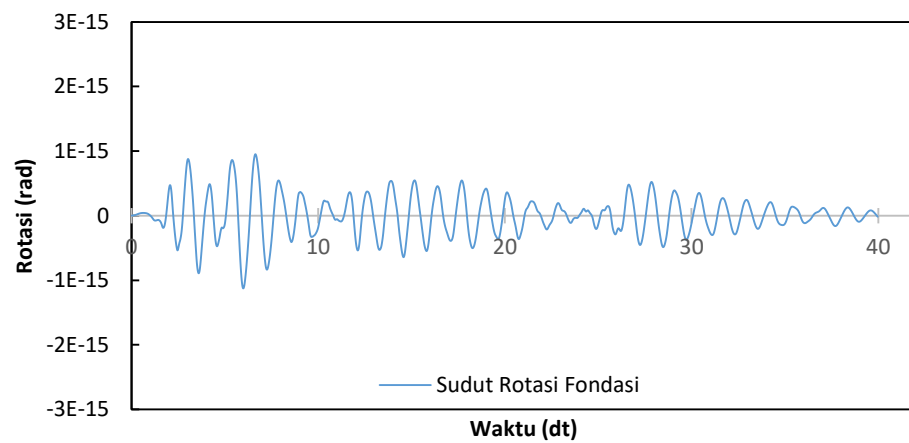


c. Frekuensi Tinggi

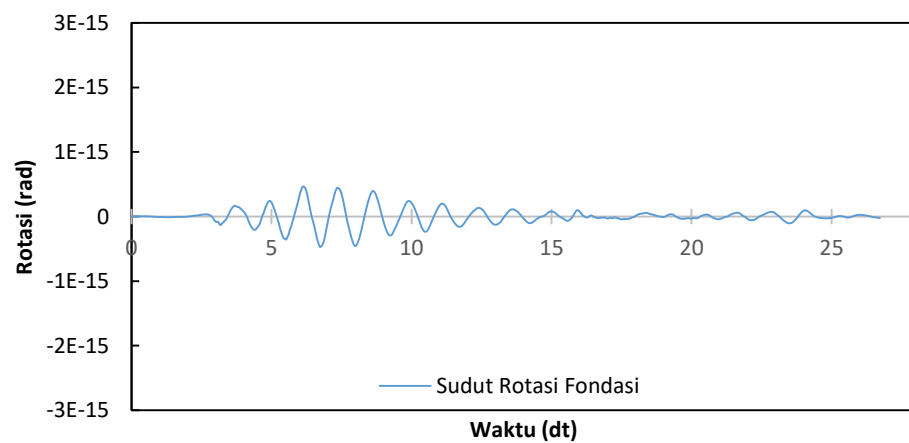
Gambar 5.67 Sudut Rotasi Arah X Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan Y



a. Frekuensi Rendah

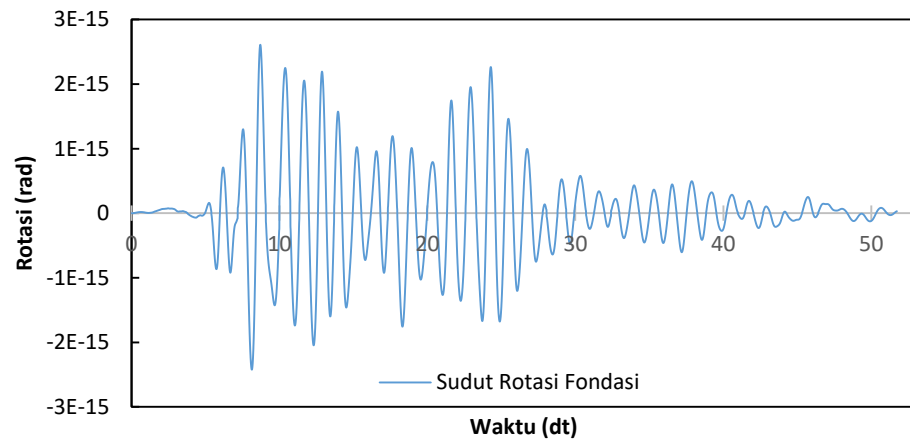


b. Frekuensi Sedang

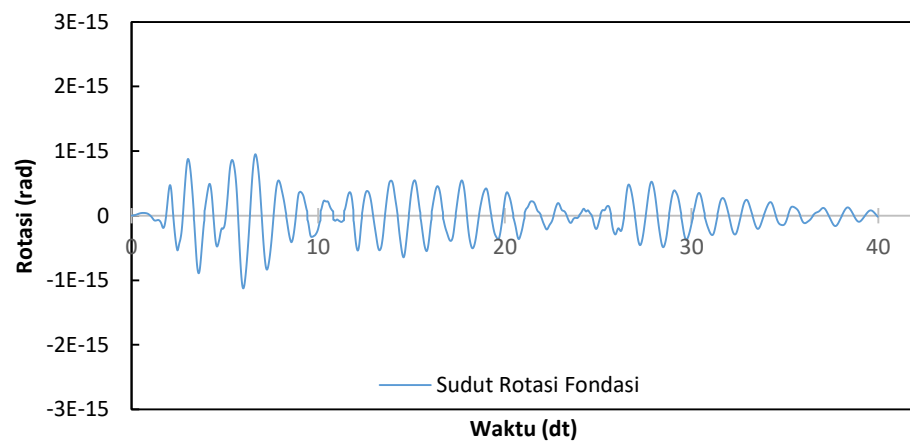


c. Frekuensi Tinggi

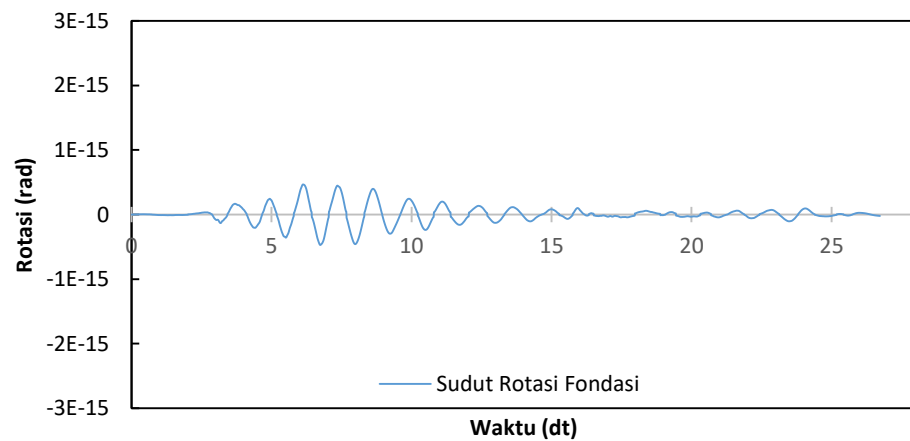
Gambar 5.68 Sudut Rotasi Arah Y Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan Y



a. Frekuensi Rendah

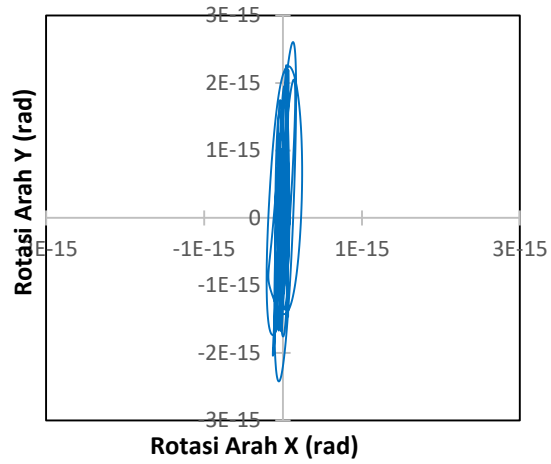


b. Frekuensi Sedang

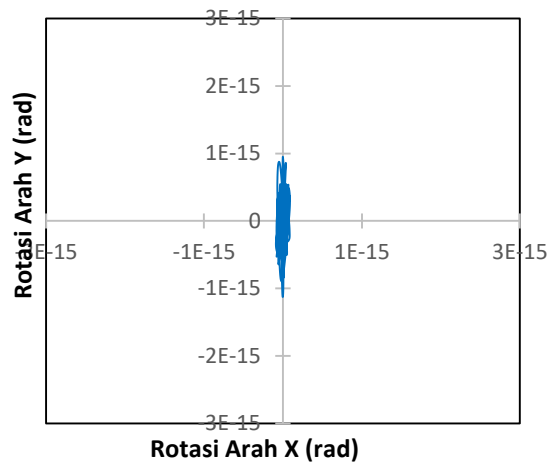


c. Frekuensi Tinggi

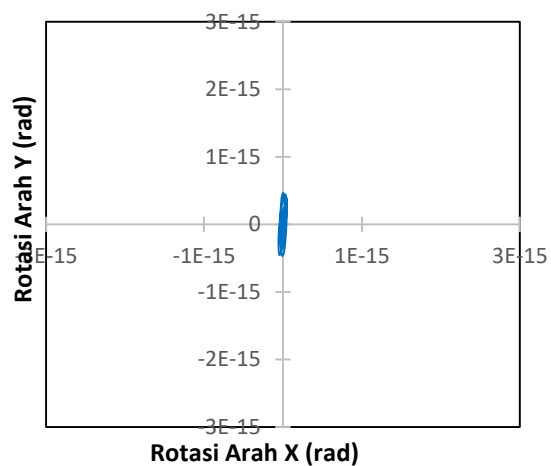
Gambar 5.69 Resultan Sudut Rotasi Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan Y



a. Frekuensi Rendah



b. Frekuensi Sedang



c. Frekuensi Tinggi

Gambar 5.70 Tampak Atas Sudut Rotasi Setiap Frek Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan Y

Tabel 5.29 Sudut Rotasi Maksimum Bangunan Tanpa Rotasi

Dominan		Rotasi (rad)		
		Fre. Rendah	Fre. Sedang	Fre. Tinggi
X	100% X	8,02734E-16	3,00595E-16	1,89104E-16
	30% Y	7,81204E-16	3,38212E-16	1,40952E-16
	Resultan	9,00611E-16	3,38314E-16	2,13228E-16
Y	30% X	2,4082E-16	9,01786E-17	5,67311E-17
	100% Y	2,60401E-15	1,12737E-15	4,69839E-16
	Resultan	2,6071E-15	1,12738E-15	4,69905E-16

3. Perbandingan Sudut Rotasi Bangunan Dengan Rotasi dan Bangunan Tanpa Rotasi

Perbandingan sudut rotasi struktur bangunan reguler dengan rotasi dan tanpa rotasi dengan beban gempa frekuensi rendah, frekuensi sedang, dan frekuensi tinggi dan pada pembebanan dominan x dan dominan y disajikan dalam bentuk nilai-nilai maksimum yang dapat dilihat pada Tabel 5.30 s/d Tabel 5.32.

Hasil tabel tersebut menunjukkan bahwa sudut rotasi pada bangunan tanpa rotasi (*fixed*) sangat kecil atau bahkan tidak terjadi rotasi, sedangkan pada bangunan dengan rotasi akan terjadi rotasi atau perputaran. Hal ini dikarenakan pada struktur bangunan tanpa rotasi (*fixed*), tanah akan menjepit fondasi dengan sempurna sehingga fondasi tidak akan mengalami perputaran atau rotasi, sedangkan pada struktur bangunan dengan rotasi, tanah tidak menjepit fondasi dengan sempurna sehingga fondasi dapat mengalami perputaran.

Tabel 5.30 Perbandingan Sudut Rotasi Maksimum Gempa Frek Rendah

Dominan		Rotasi (rad)	
		Bangunan Dengan Rotasi	Bangunan Tanpa Rotasi
X	100% X	8,29647E-05	8,02734E-16
	30% Y	9,91173E-05	7,81204E-16
	Resultan	0,000103257	9,00611E-16
Y	30% X	2,48894E-05	2,4082E-16
	100% Y	0,000330391	2,60401E-15
	Resultan	0,000330444	2,6071E-15

Tabel 5.31 Perbandingan Sudut Rotasi Maksimum Gempa Frek Sedang

Dominan		Rotasi (rad)	
		Bangunan Dengan Rotasi	Bangunan Tanpa Rotasi
X	100% X	3,06419E-05	3,00595E-16
	30% Y	2,75551E-05	3,38212E-16
	Resultan	3,14663E-05	3,38314E-16
Y	30% X	9,19258E-06	9,01786E-17
	100% Y	9,18503E-05	1,12737E-15
	Resultan	9,18511E-05	1,12738E-15

Tabel 5.32 Perbandingan Sudut Rotasi Maksimum Gempa Frek Tinggi

Dominan		Rotasi (rad)	
		Bangunan Dengan Rotasi	Bangunan Tanpa Rotasi
X	100% X	1,80481E-05	1,89104E-16
	30% Y	1,29157E-05	1,40952E-16
	Resultan	1,81464E-05	2,13228E-16
Y	30% X	5,41443E-06	5,67311E-17
	100% Y	4,30525E-05	4,69839E-16
	Resultan	4,30542E-05	4,69905E-16

5.7.4 Simpangan Rotasi

Simpangan rotasi adalah simpangan arah horizontal setiap lantai yang terjadi akibat adanya rotasi atau perputaran pada struktur fondasi akibat adanya beban gempa yang dapat dilihat pada Gambar 3.16. Pada penelitian ini, simpangan rotasi diperoleh melalui persamaan 3.99. Hasil perhitungan simpangan rotasi ditampilkan dalam bentuk grafik antara simpangan rotasi lawan waktu (dengan interval waktu 0,01 dt). Simpangan rotasi yang dicari meliputi simpangan rotasi pada bangunan reguler dengan rotasi dan tanpa rotasi dengan pembebanan dominan arah x dan dominan arah y yang akan dijelaskan sebagai berikut.

1. Simpangan Rotasi Struktur Bangunan Dengan Rotasi

Simpangan rotasi struktur bangunan reguler dengan rotasi dengan beban gempa frekuensi rendah, frekuensi sedang, dan frekuensi tinggi dan pada pembebanan dominan x dan dominan y dengan beban 100%, beban 30%, resultan simpangan rotasi, dan tampak atas simpangan rotasi (simpangan rotasi lantai 15) dapat dilihat pada Gambar 5.71 s/d Gambar 5.80. Nilai-nilai maksimum simpangan rotasi setiap lantai pada setiap frekuensi beban gempa dan arah pembebanan dapat dilihat pada Tabel 5.33 s/d Tabel 5.36 dan Gambar 5.81 s/d Gambar 5.83.

Hasil tabel dan gambar grafik tersebut menunjukkan bahwa simpangan rotasi maksimum semakin besar pada lantai yang lebih tinggi pada setiap frekuensi beban gempa karena simpangan rotasi berbanding lurus dengan tinggi setiap lantai seperti yang digambarkan persamaan 3.99. Persamaan tersebut menunjukkan bahwa simpangan rotasi merupakan produk dari sudut rotasi dengan tinggi setiap lantai sampai ke dasar bangunan.

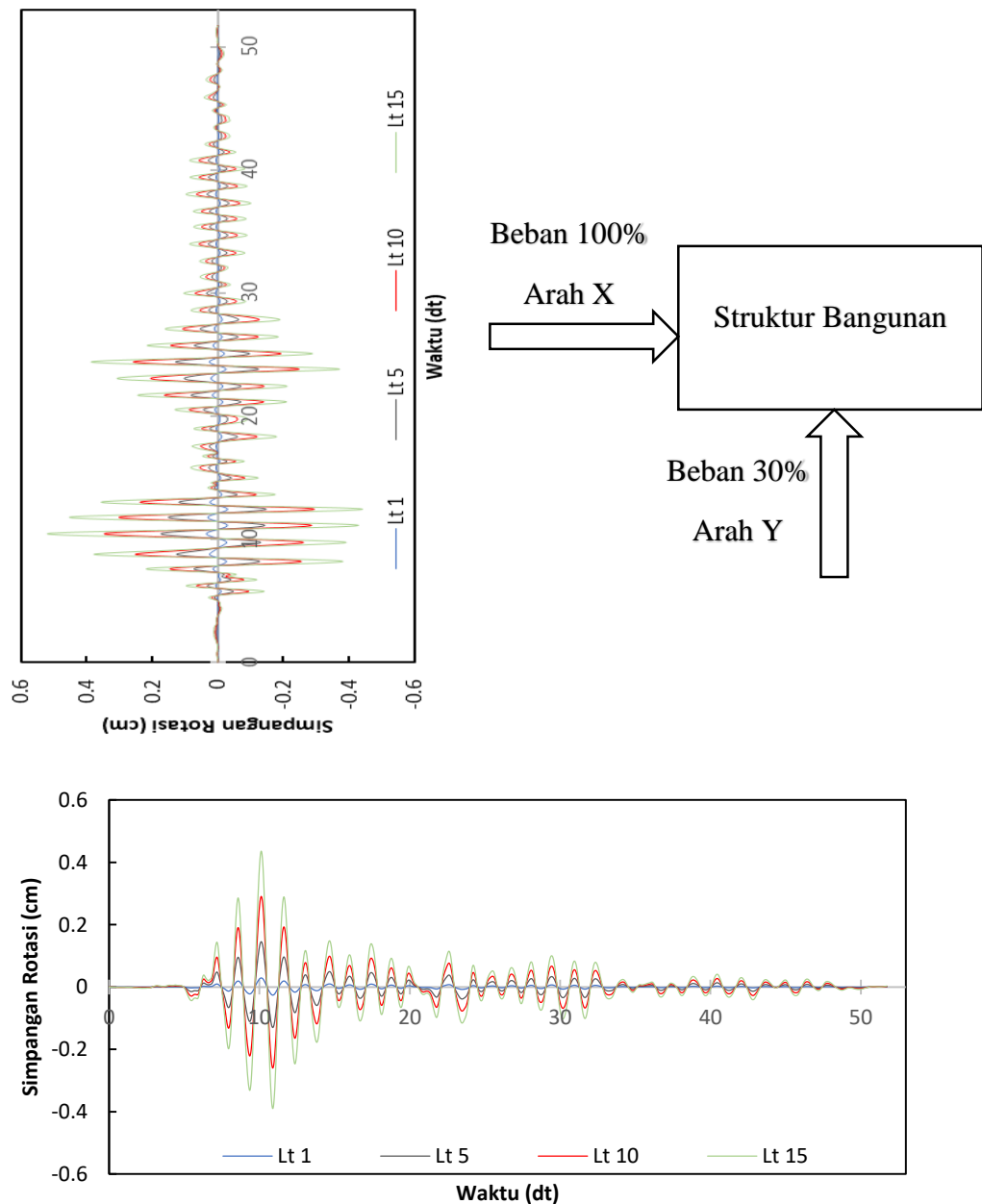
Gempa dengan frekuensi rendah (Gempa Duzce) menghasilkan simpangan rotasi yang paling besar pada struktur baik pada pembebanan dominan x maupun pembebanan dominan y, sedangkan gempa dengan frekuensi tinggi (Gempa Manjil) menghasilkan simpangan rotasi yang paling kecil dan gempa dengan frekuensi sedang (Gempa EL-Centro 1940) berada diantaranya. Hal ini dikarenakan struktur bangunan tinggi bersifat fleksibel sehingga akan mempunyai frekuensi sudut (ω) dan frekuensi natural (f) yang rendah dan

menyebabkan bangunan akan bergetar pada frekuensi rendah atau berasosiasi dengan baik dengan beban gempa frekuensi rendah.

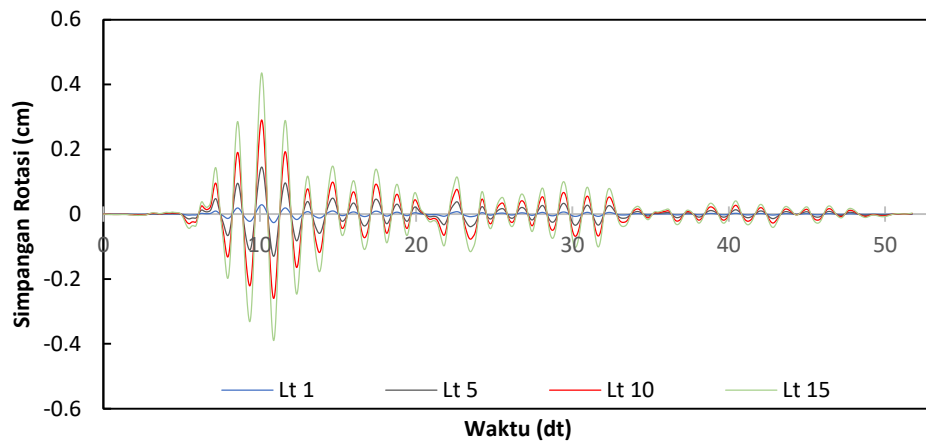
Resultan simpangan rotasi akibat pembebanan dominan y lebih besar dari resultan simpangan rotasi akibat pembebanan dominan x pada setiap frekuensi beban gempa. Hal ini dikarenakan, fondasi dan bangunan berbentuk pipih pada arah y sehingga sudut rotasi pada arah y (terhadap sumbu x) akan lebih besar nilainya daripada sudut rotasi pada arah x (terhadap sumbu y) seperti yang sudah dijelaskan pada subsubbab 5.7.3 di atas dan menyebabkan simpangan rotasi pada arah y (terhadap sumbu x) lebih besar dari simpangan rotasi pada arah x (terhadap sumbu y). Hasil yang lebih jelas dapat dilihat pada pembebanan dominan x, simpangan rotasi ke arah sumbu x (akibat 100% beban x) memiliki nilai yang hampir sama dengan simpangan rotasi ke arah sumbu y (akibat 30% beban y), sedangkan pada pembebanan dominan y, simpangan rotasi ke arah sumbu x (akibat 30% beban x) memiliki nilai yang jauh lebih kecil daripada simpangan rotasi ke arah sumbu y (akibat 100% beban y).

a. Pembebanan Dominan X

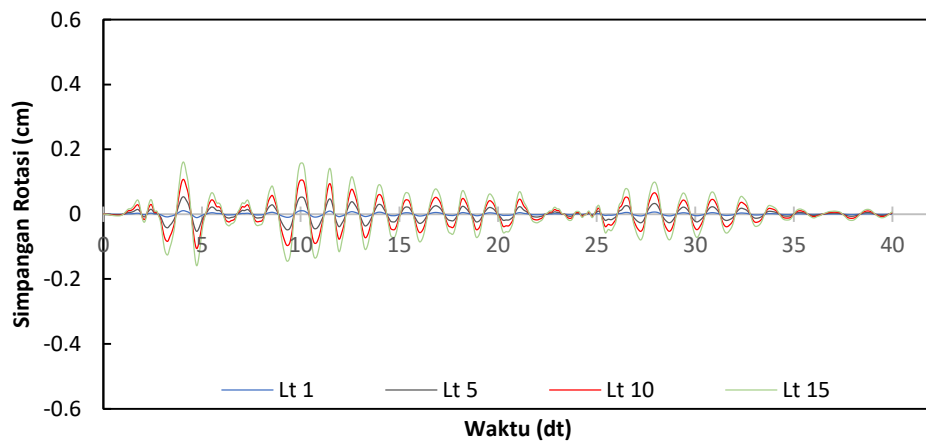
Adapun ilustrasi hasil analisis simpangan rotasi pada pembebanan dominan x dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



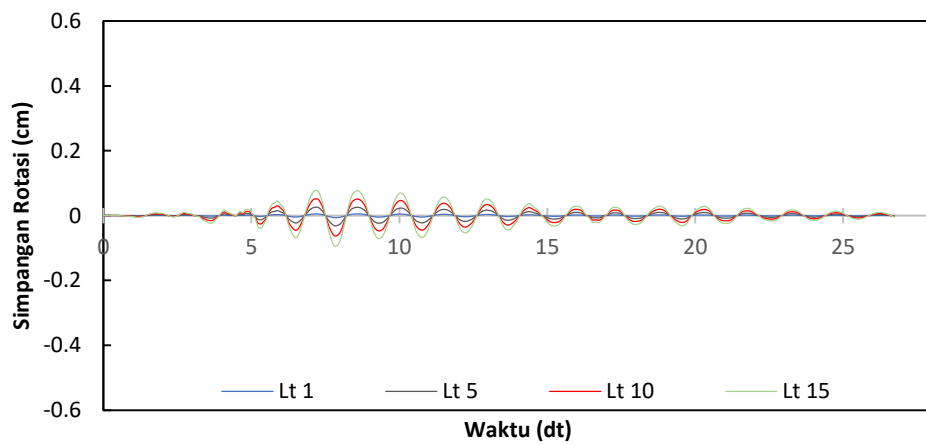
Gambar 5.71 Ilustrasi Simpangan Rotasi Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan X



a. Frekuensi Rendah

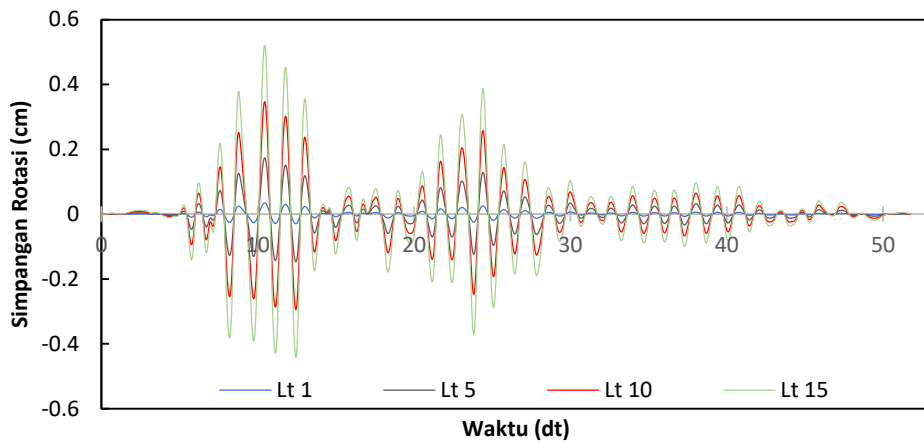


b. Frekuensi Sedang

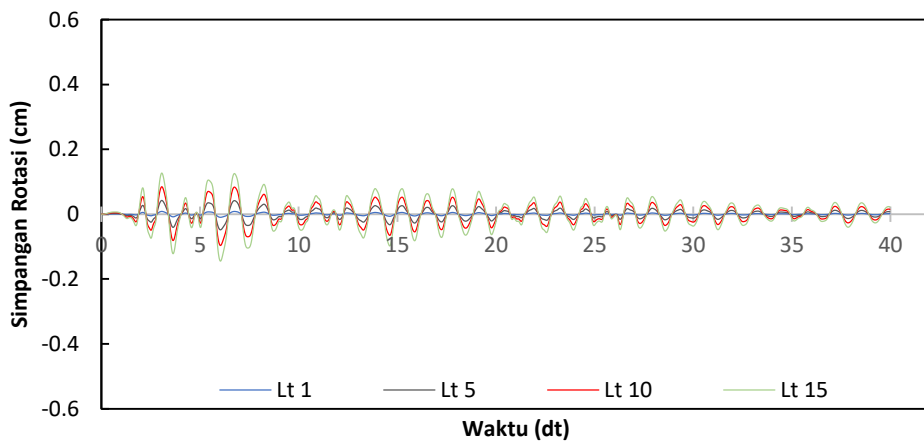


c. Frekuensi Tinggi

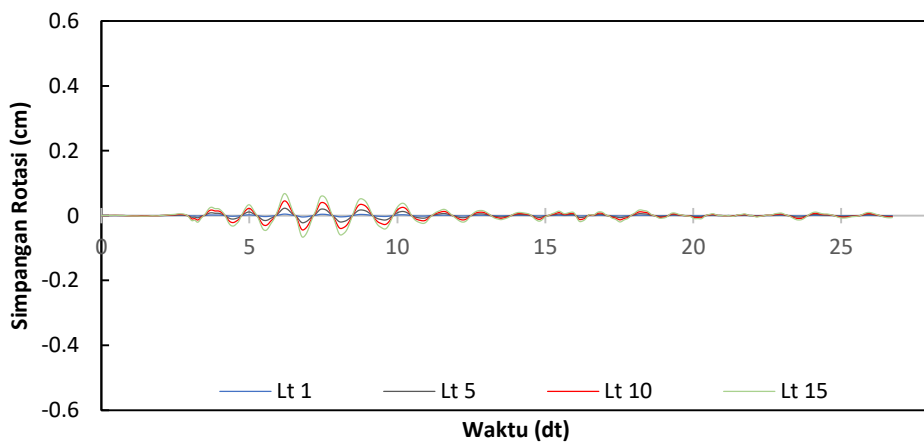
Gambar 5.72 Simpangan Rotasi Arah X Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan X



a. Frekuensi Rendah

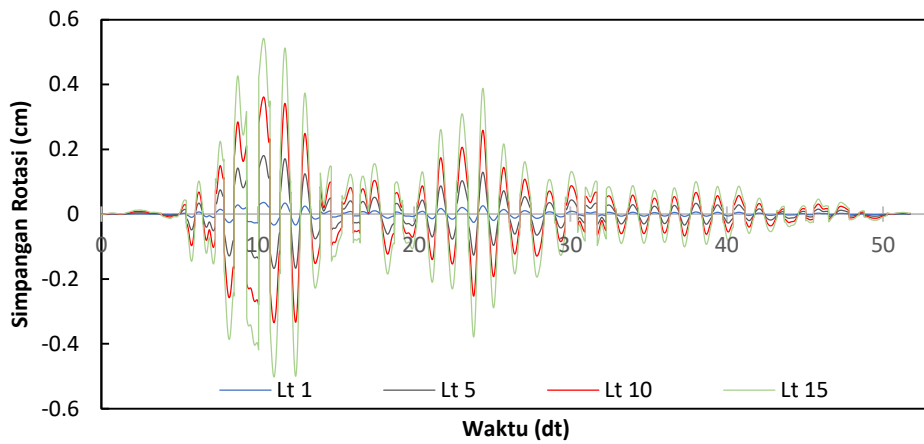


b. Frekuensi Sedang

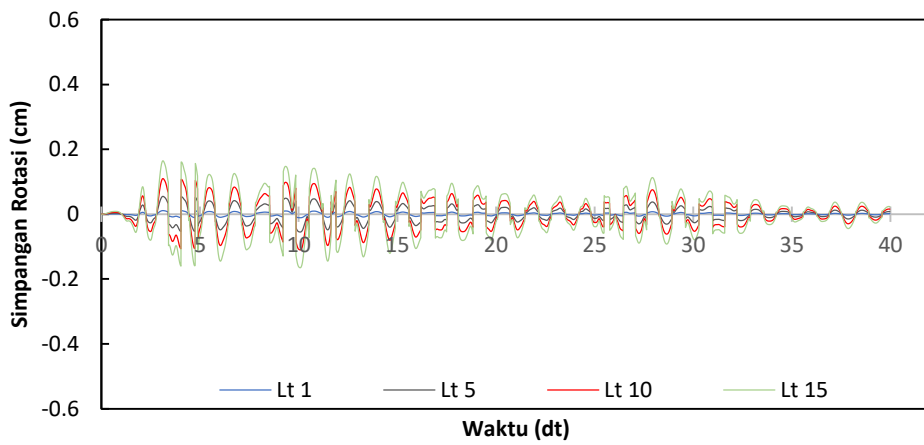


c. Frekuensi Tinggi

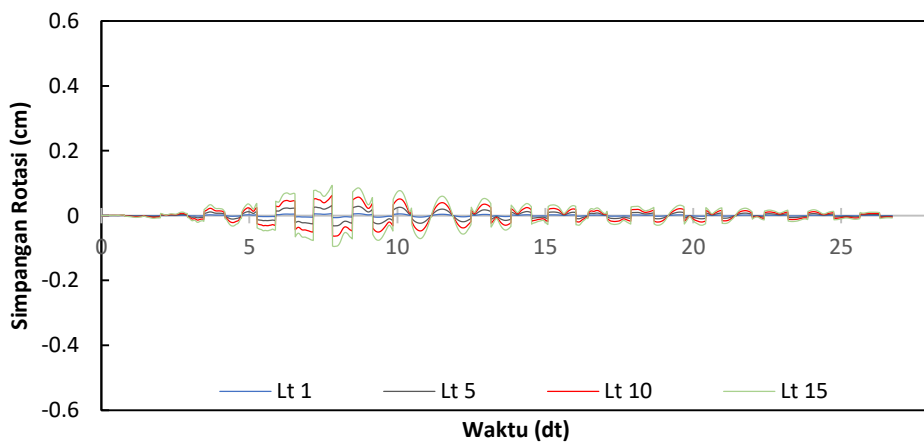
Gambar 5.73 Simpangan Rotasi Arah Y Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan X



a. Frekuensi Rendah

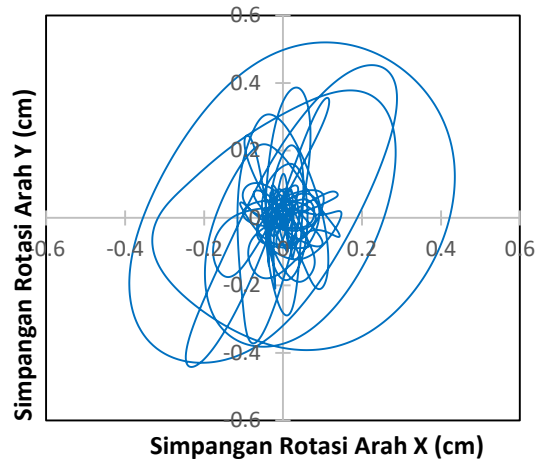


b. Frekuensi Sedang

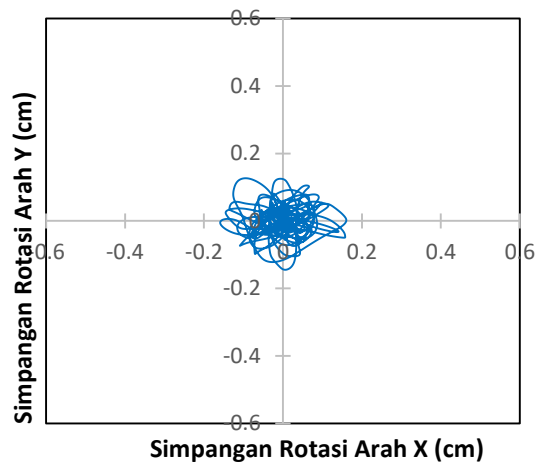


c. Frekuensi Tinggi

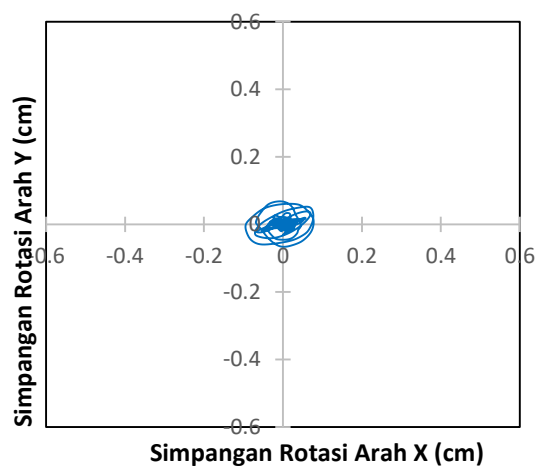
Gambar 5.74 Resultan Simpangan Rotasi Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan X



a. Frekuensi Rendah



b. Frekuensi Sedang

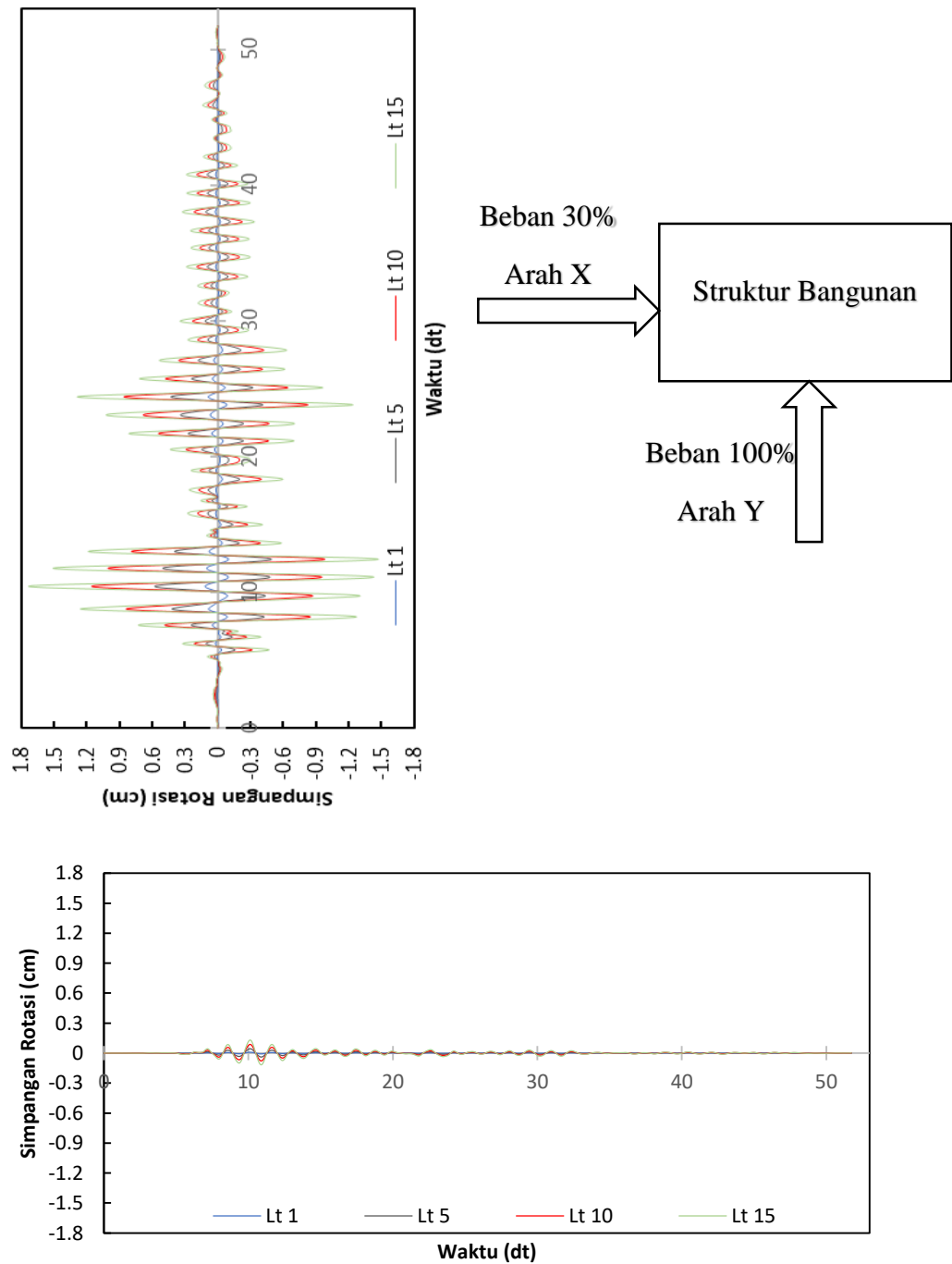


c. Frekuensi Tinggi

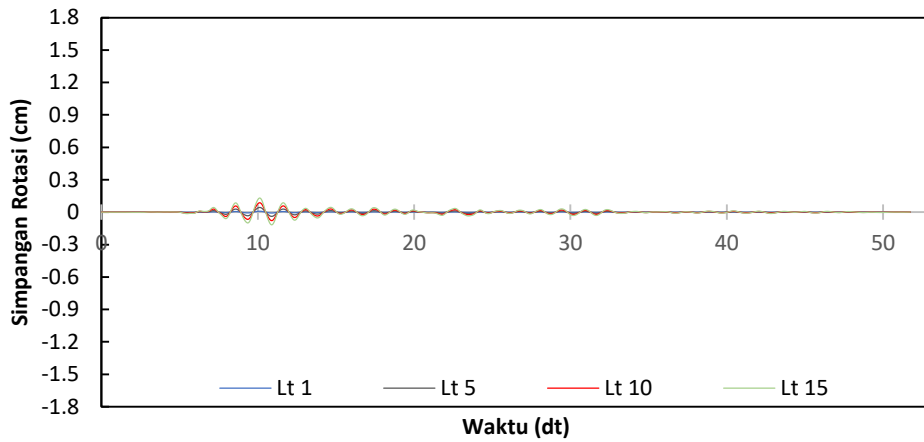
Gambar 5.75 Tampak Atas Simpangan Rotasi Setiap Frek Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan X

b. Pembebanan Dominan Y

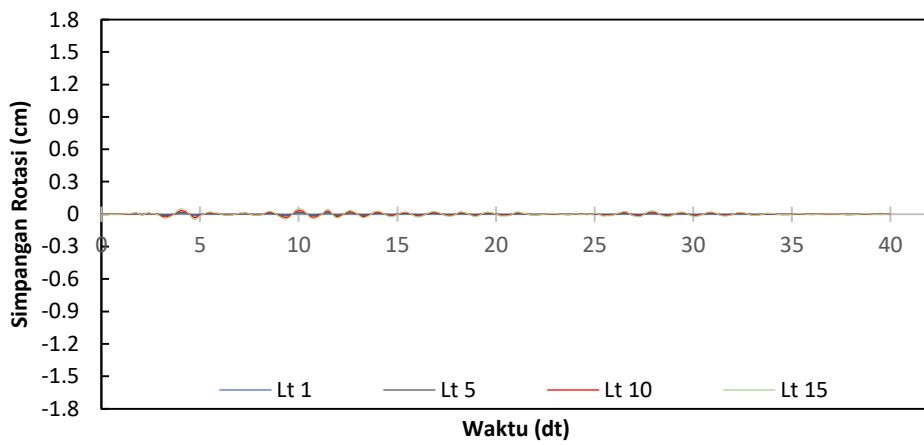
Adapun ilustrasi hasil analisis simpangan rotasi pada pembebanan dominan y dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



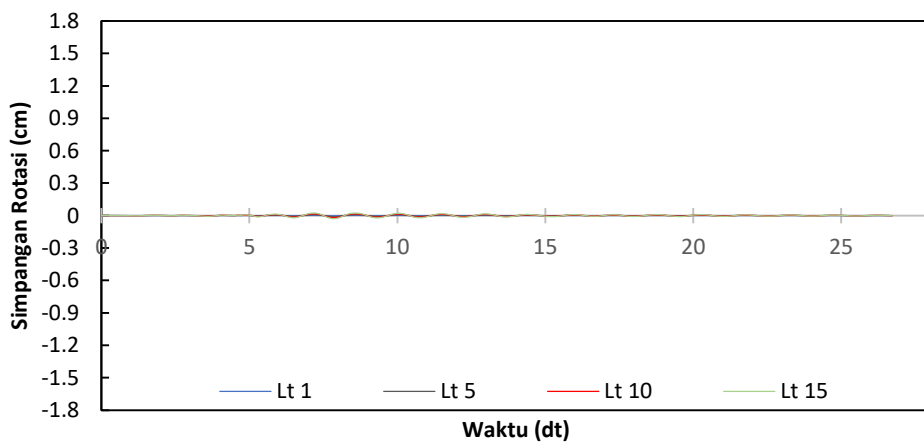
Gambar 5.76 Ilustrasi Simpangan Rotasi Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan Y



a. Frekuensi Rendah

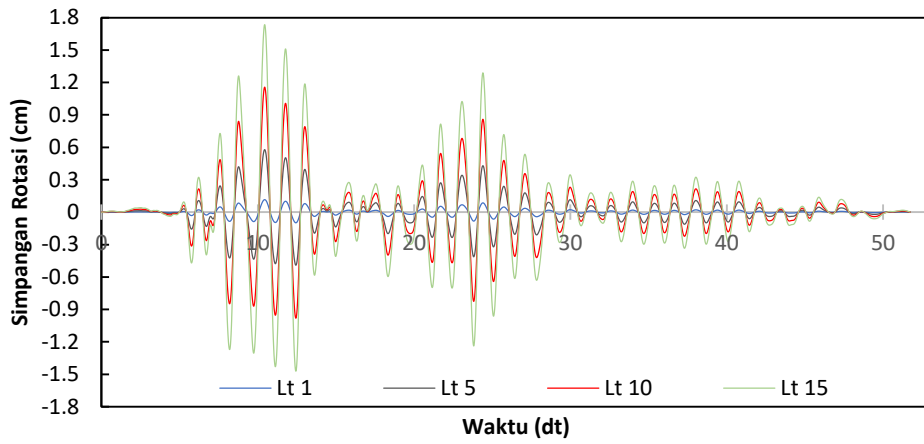


b. Frekuensi Sedang

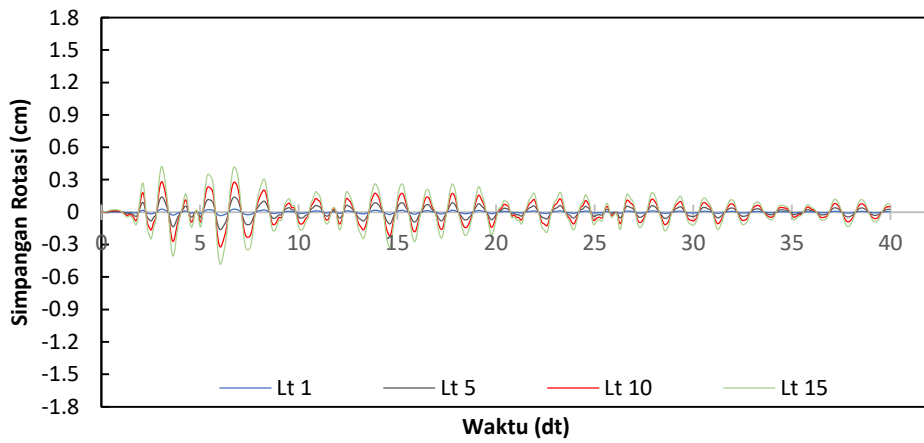


c. Frekuensi Tinggi

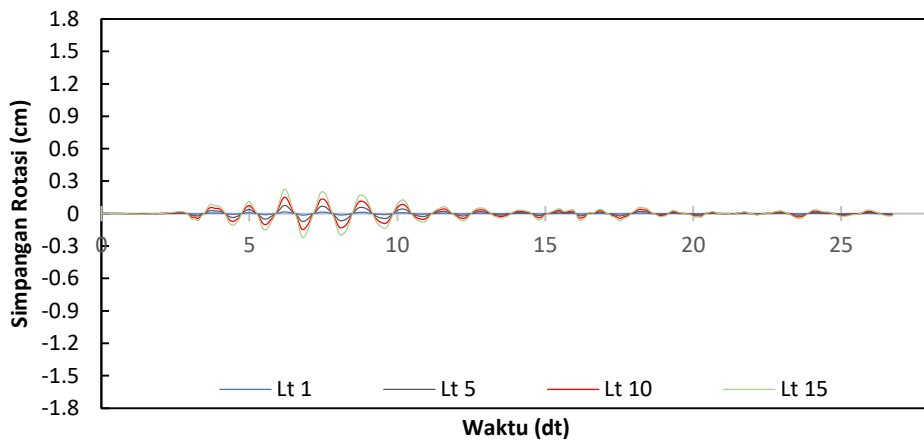
Gambar 5.77 Simpangan Rotasi Arah X Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan Y



a. Frekuensi Rendah

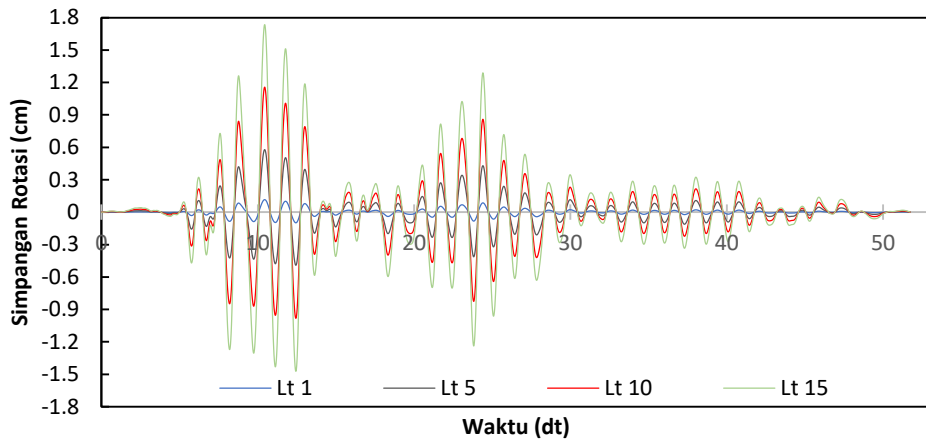


b. Frekuensi Sedang

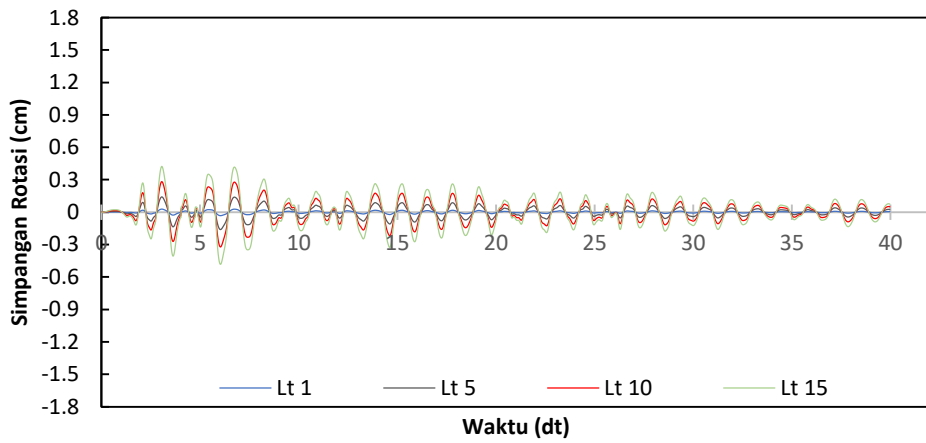


c. Frekuensi Tinggi

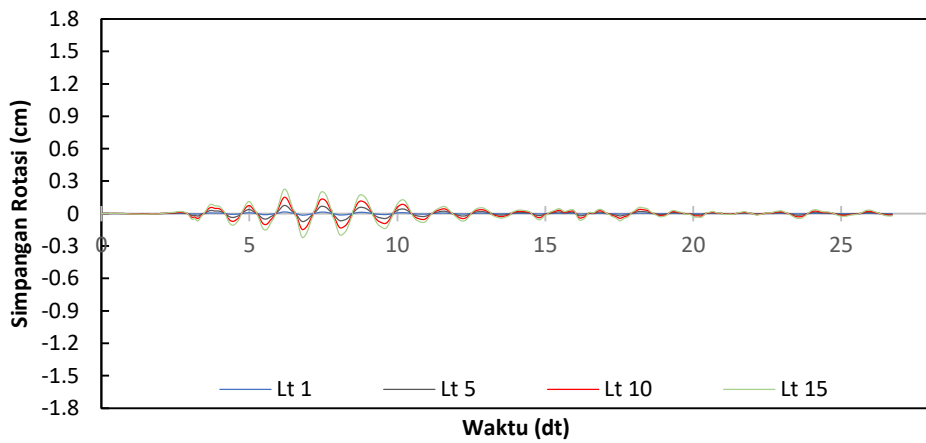
Gambar 5.78 Simpangan Rotasi Arah Y Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan Y



a. Frekuensi Rendah

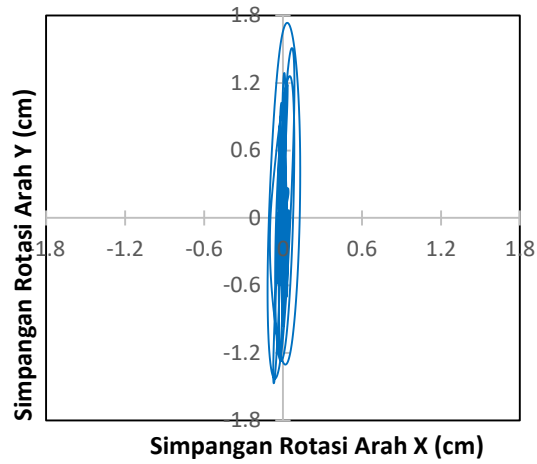


b. Frekuensi Sedang

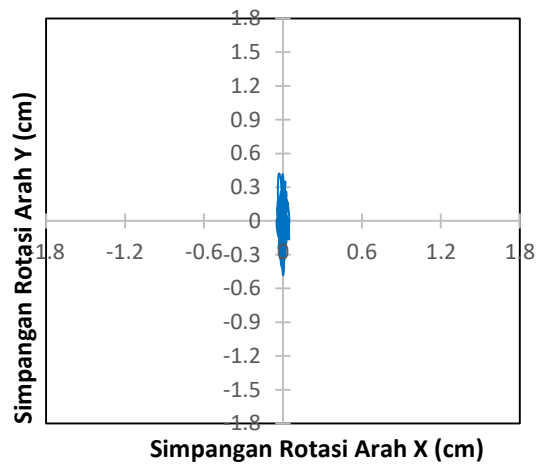


c. Frekuensi Tinggi

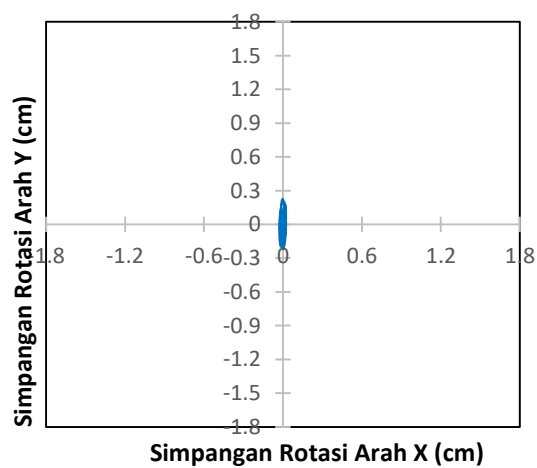
Gambar 5.79 Resultan Simpangan Rotasi Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan Y



a. Frekuensi Rendah



b. Frekuensi Sedang



c. Frekuensi Tinggi

Gambar 5.80 Tampak Atas Simpangan Rotasi Setiap Frek Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan Y

Tabel 5.33 Simp Rotasi Maks Bang Dengan Rotasi Gempa Frek Rendah

Lantai	Dominan X (cm)		Dominan Y (cm)	
	Beban 100% X	Beban 30% Y	Beban 30% X	Beban 100% Y
15	0,4356	0,5204	0,1307	1,7346
14	0,4065	0,4857	0,1220	1,6189
13	0,3775	0,4510	0,1132	1,5033
12	0,3485	0,4163	0,1045	1,3876
11	0,3194	0,3816	0,0958	1,2720
10	0,2904	0,3469	0,0871	1,1564
9	0,2613	0,3122	0,0784	1,0407
8	0,2323	0,2775	0,0697	0,9251
7	0,2033	0,2428	0,0610	0,8095
6	0,1742	0,2081	0,0523	0,6938
5	0,1452	0,1735	0,0436	0,5782
4	0,1162	0,1388	0,0348	0,4625
3	0,0871	0,1041	0,0261	0,3469
2	0,0581	0,0694	0,0174	0,2313
1	0,0290	0,0347	0,0087	0,1156
0	0	0	0	0

Tabel 5.34 Simp Rotasi Maks Bang Dengan Rotasi Gempa Frek Sedang

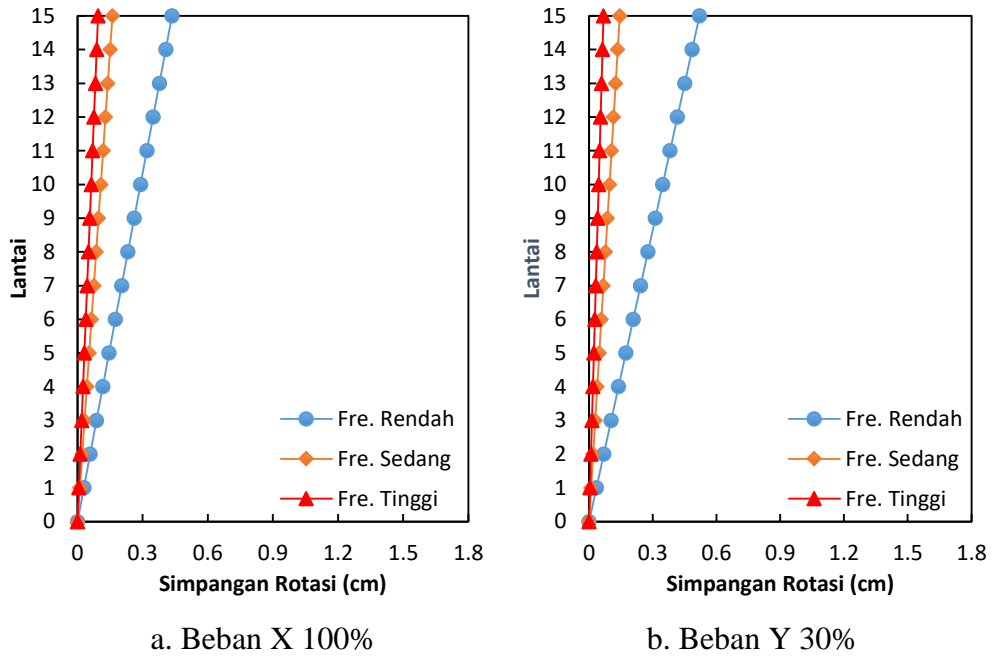
Lantai	Dominan X (cm)		Dominan Y (cm)	
	Beban 100% X	Beban 30% Y	Beban 30% X	Beban 100% Y
15	0,1609	0,1447	0,0483	0,4822
14	0,1501	0,1350	0,0450	0,4501
13	0,1394	0,1254	0,0418	0,4179
12	0,1287	0,1157	0,0386	0,3858
11	0,1180	0,1061	0,0354	0,3536
10	0,1072	0,0964	0,0322	0,3215
9	0,0965	0,0868	0,0290	0,2893
8	0,0858	0,0772	0,0257	0,2572
7	0,0751	0,0675	0,0225	0,2250
6	0,0643	0,0579	0,0193	0,1929
5	0,0536	0,0482	0,0161	0,1607
4	0,0429	0,0386	0,0129	0,1286
3	0,0322	0,0289	0,0097	0,0964
2	0,0214	0,0193	0,0064	0,0643
1	0,0107	0,0096	0,0032	0,0321
0	0	0	0	0

Tabel 5.35 Simp Rotasi Maks Bang Dengan Rotasi Gempa Frek Tinggi

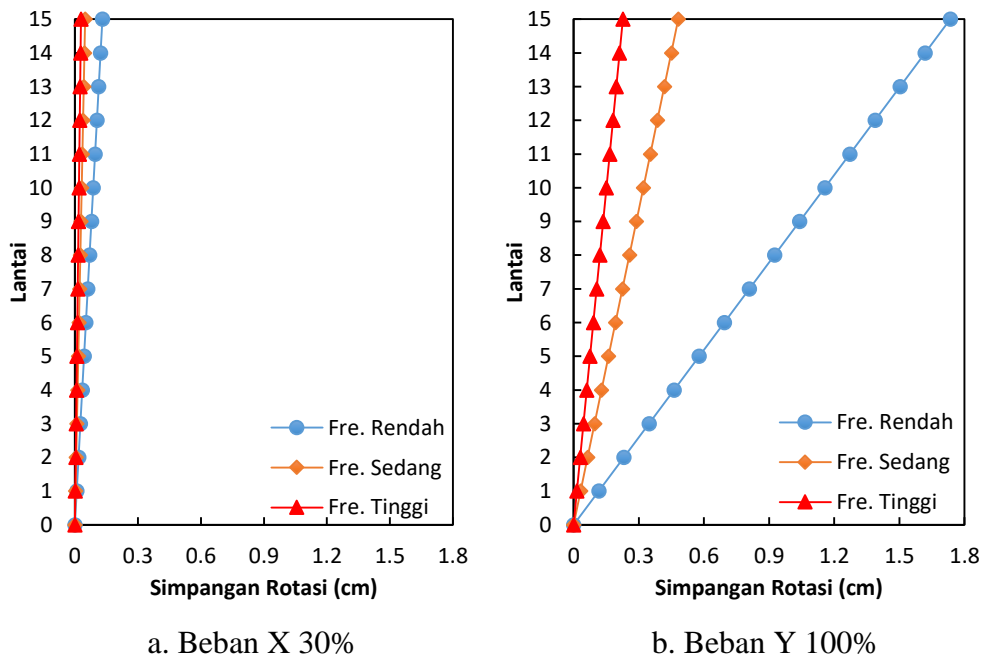
Lantai	Dominan X (cm)		Dominan Y (cm)	
	Beban 100% X	Beban 30% Y	Beban 30% X	Beban 100% Y
15	0,0948	0,0678	0,0284	0,2260
14	0,0884	0,0633	0,0265	0,2110
13	0,0821	0,0588	0,0246	0,1959
12	0,0758	0,0542	0,0227	0,1808
11	0,0695	0,0497	0,0208	0,1658
10	0,0632	0,0452	0,0190	0,1507
9	0,0569	0,0407	0,0171	0,1356
8	0,0505	0,0362	0,0152	0,1205
7	0,0442	0,0316	0,0133	0,1055
6	0,0379	0,0271	0,0114	0,0904
5	0,0316	0,0226	0,0095	0,0753
4	0,0253	0,0181	0,0076	0,0603
3	0,0190	0,0136	0,0057	0,0452
2	0,0126	0,0090	0,0038	0,0301
1	0,0063	0,0045	0,0019	0,0151
0	0	0	0	0

Tabel 5.36 Resultan Simpangan Rotasi Maks Bangunan Dengan Rotasi

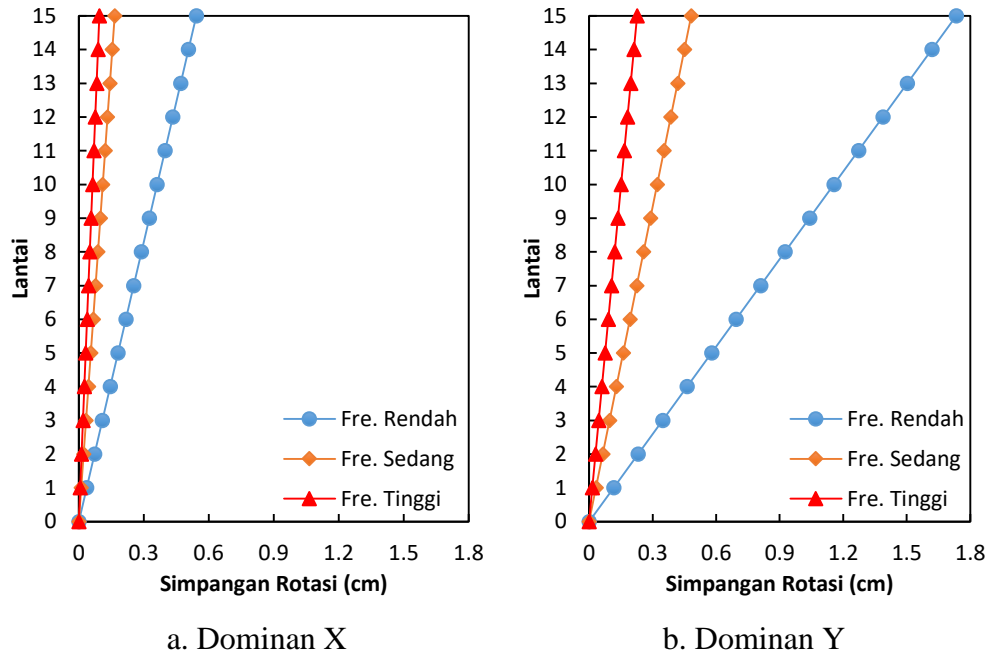
Lantai	Frekuensi Rendah		Frekuensi Sedang		Frekuensi Tinggi	
	Dom-X (cm)	Dom-Y (cm)	Dom-X (cm)	Dom-Y (cm)	Dom-X (cm)	Dom-Y (cm)
15	0,5421	1,7348	0,1652	0,4822	0,0953	0,2260
14	0,5060	1,6192	0,1542	0,4501	0,0889	0,2110
13	0,4698	1,5035	0,1432	0,4179	0,0826	0,1959
12	0,4337	1,3879	0,1322	0,3858	0,0762	0,1808
11	0,3975	1,2722	0,1211	0,3536	0,0699	0,1658
10	0,3614	1,1566	0,1101	0,3215	0,0635	0,1507
9	0,3253	1,0409	0,0991	0,2893	0,0572	0,1356
8	0,2891	0,9252	0,0881	0,2572	0,0508	0,1206
7	0,2530	0,8096	0,0771	0,2250	0,0445	0,1055
6	0,2168	0,6939	0,0661	0,1929	0,0381	0,0904
5	0,1807	0,5783	0,0551	0,1607	0,0318	0,0753
4	0,1446	0,4626	0,0441	0,1286	0,0254	0,0603
3	0,1084	0,3470	0,0330	0,0964	0,0191	0,0452
2	0,0723	0,2313	0,0220	0,0643	0,0127	0,0301
1	0,0361	0,1157	0,0110	0,0321	0,0064	0,0151
0	0	0	0	0	0	0



Gambar 5.81 Simpangan Rotasi Maksimum Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan X



Gambar 5.82 Simpangan Rotasi Maksimum Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan Y



Gambar 5.83 Resultan Simpangan Rotasi Maksimum Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi

2. Simpangan Rotasi Struktur Bangunan Tanpa Rotasi

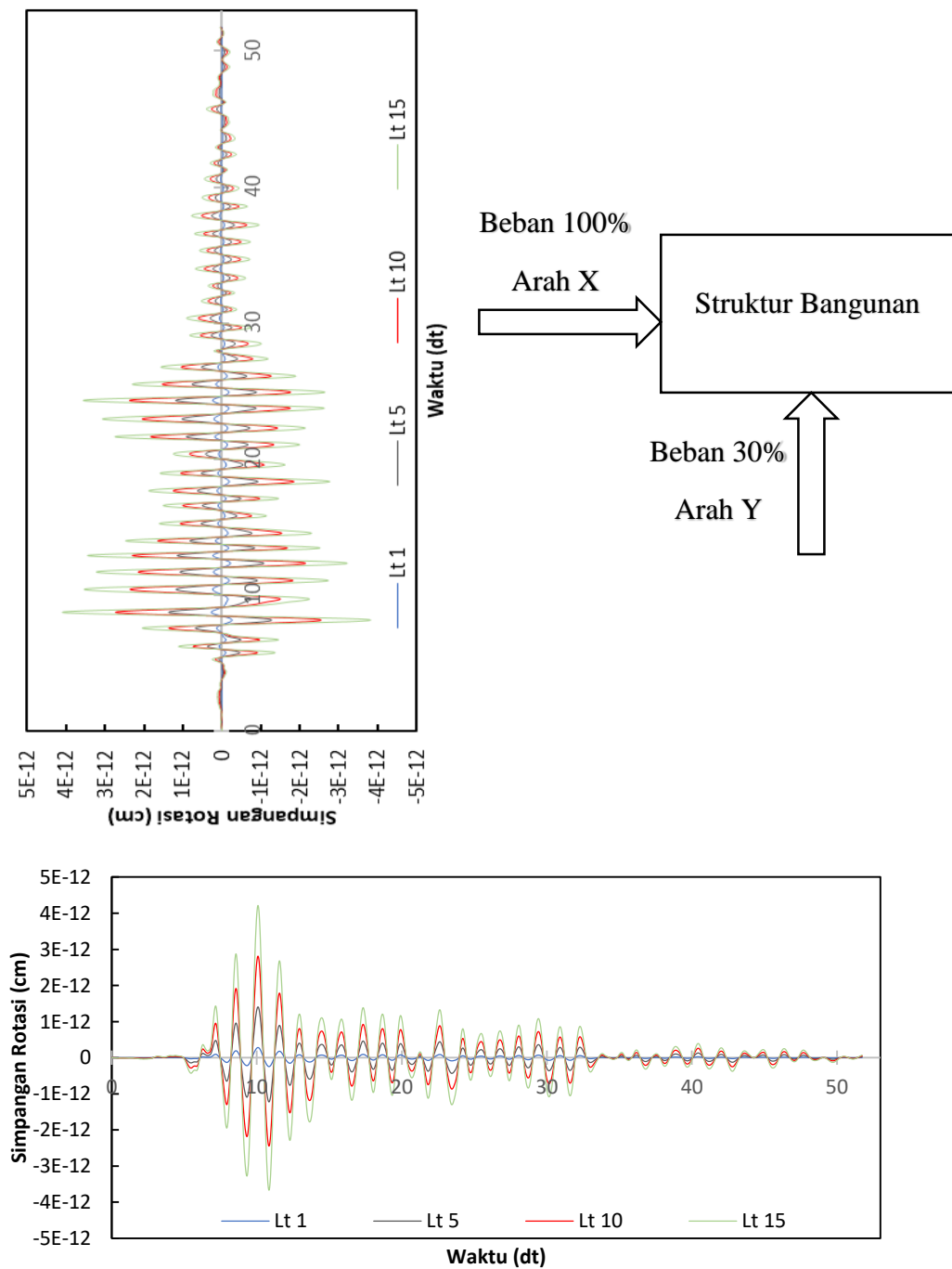
Simpangan rotasi struktur bangunan reguler tanpa rotasi dengan beban gempa frekuensi rendah, frekuensi sedang, dan frekuensi tinggi dan pada pembebanan dominan x dan dominan y dengan beban 100%, beban 30%, resultan simpangan rotasi, dan tampak atas simpangan rotasi (simpangan rotasi lantai 15) dapat dilihat pada Gambar 5.84 s/d Gambar 5.93. Nilai-nilai maksimum simpangan rotasi setiap lantai pada setiap frekuensi beban gempa dan arah pembebanan dapat dilihat pada Tabel 5.37 s/d Tabel 5.40 dan Gambar 5.94 s/d Gambar 5.96.

Hasil tabel dan gambar grafik tersebut menunjukkan bahwa gempa dengan frekuensi rendah (Gempa Duzce) menghasilkan simpangan rotasi yang paling besar pada struktur baik pada pembebanan dominan x maupun pembebanan dominan y, sedangkan gempa dengan frekuensi tinggi (Gempa Manjil) menghasilkan simpangan rotasi yang paling kecil dan gempa dengan frekuensi sedang (Gempa EL-Centro 1940) berada diantaranya. Hal ini dikarenakan struktur bangunan tinggi bersifat fleksibel sehingga akan mempunyai frekuensi sudut (ω) dan frekuensi natural (f) yang rendah dan menyebabkan bangunan akan bergetar pada frekuensi rendah atau berasosiasi dengan baik dengan beban gempa frekuensi rendah.

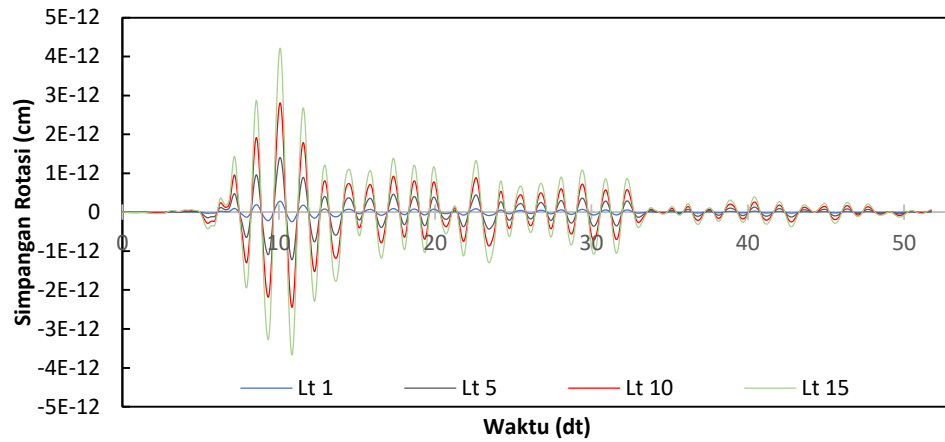
Simpangan rotasi pada bangunan tanpa rotasi (*fixed*) menghasilkan nilai simpangan rotasi yang sangat kecil bahkan mendekati 0. Hal ini dikarenakan tanah menyatu dengan fondasi atau mampu menjepit fondasi dengan sempurna sehingga tidak akan terjadi perputaran atau rotasi seperti yang sudah dijelaskan pada subsubbab 5.7.3.

a. Pembebanan Dominan X

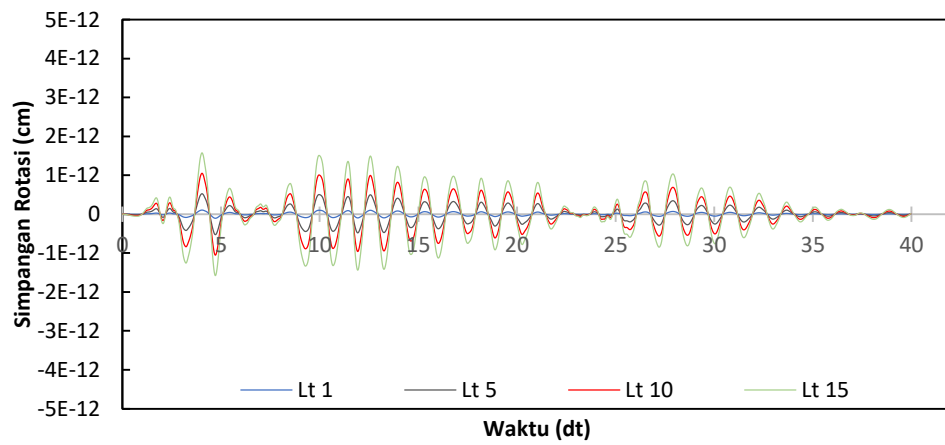
Adapun ilustrasi hasil analisis simpangan rotasi pada pembebanan dominan x dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



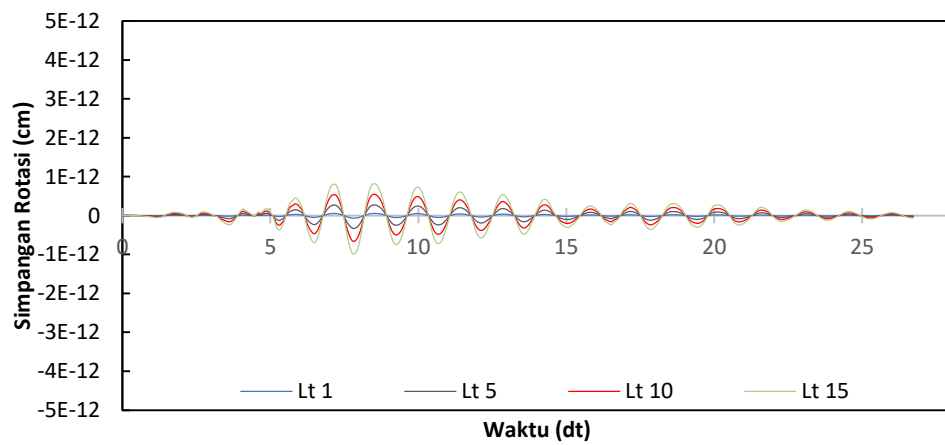
Gambar 5.84 Ilustrasi Simpangan Rotasi Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan X



a. Frekuensi Rendah

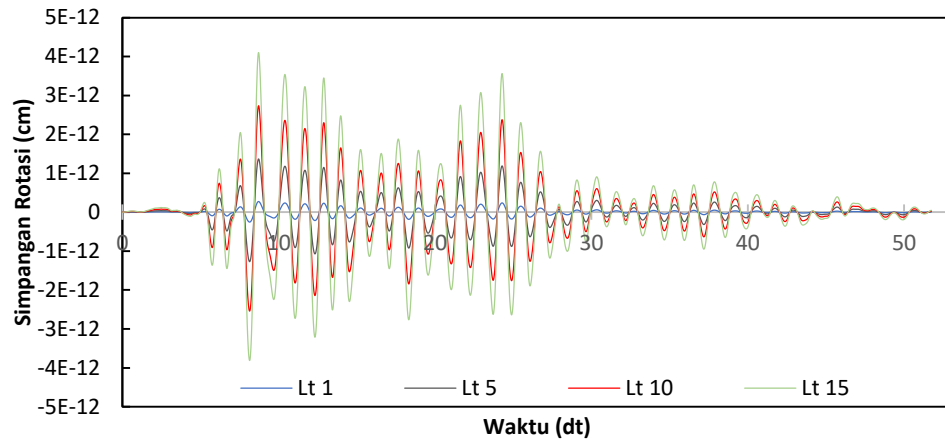


b. Frekuensi Sedang

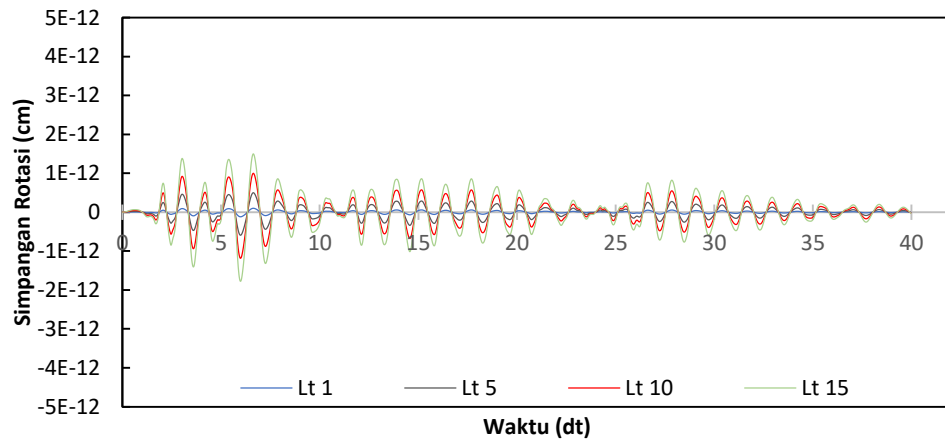


c. Frekuensi Tinggi

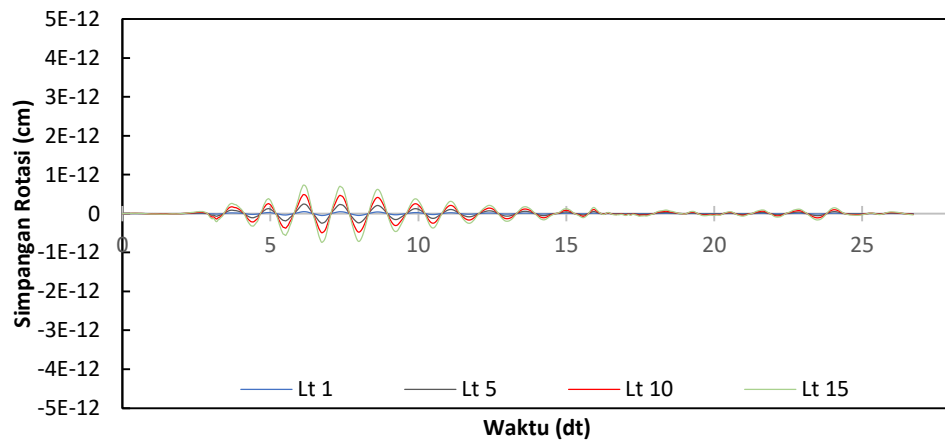
Gambar 5.85 Simpangan Rotasi Arah X Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan X



a. Frekuensi Rendah

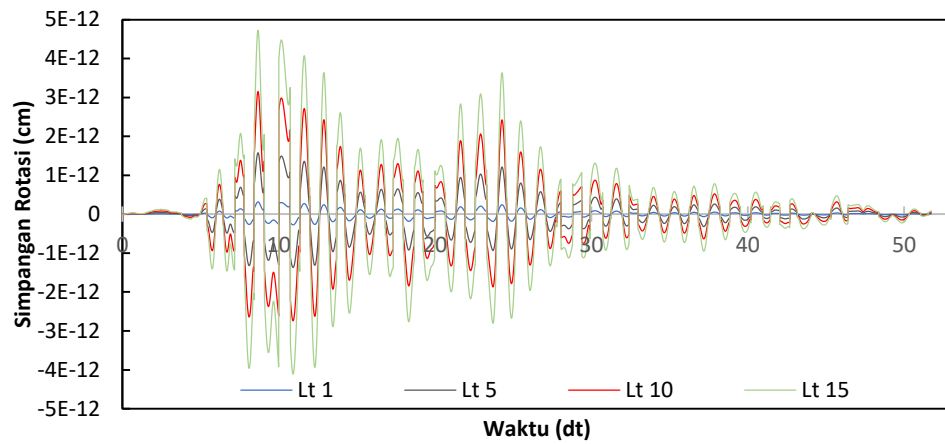


b. Frekuensi Sedang

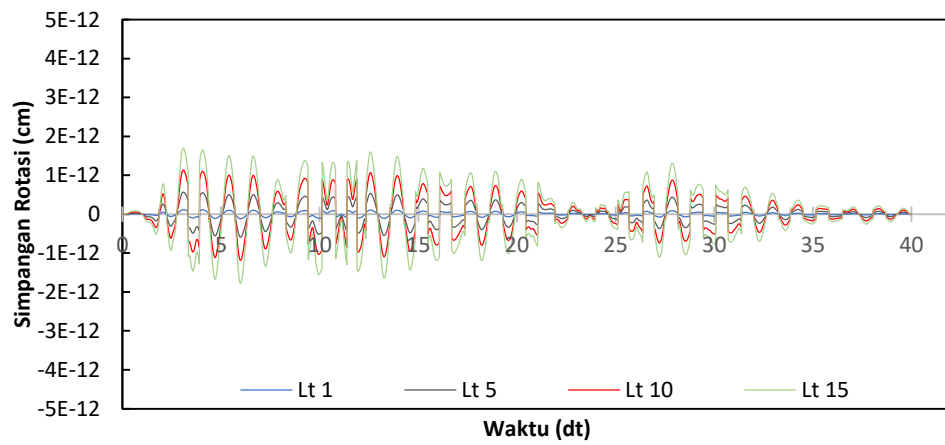


c. Frekuensi Tinggi

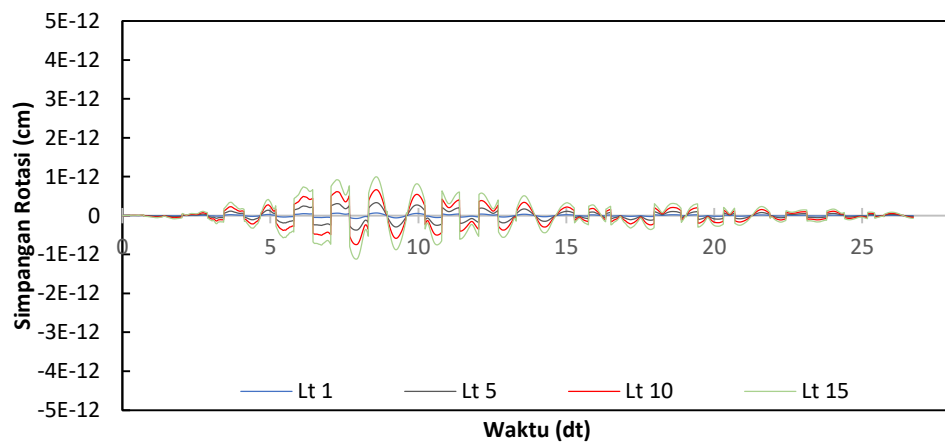
Gambar 5.86 Simpangan Rotasi Arah Y Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan X



a. Frekuensi Rendah

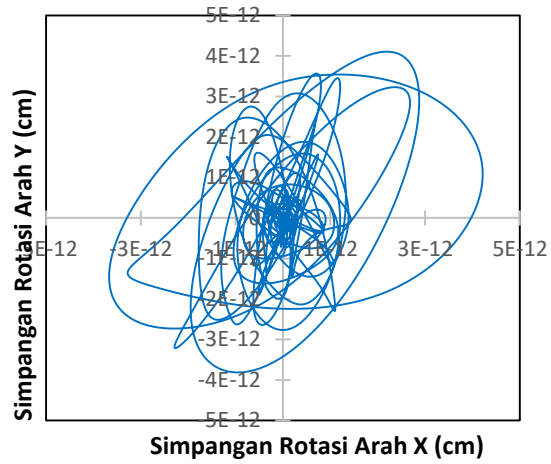


b. Frekuensi Sedang



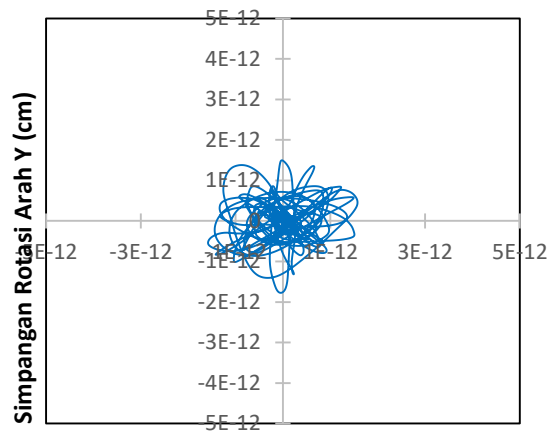
c. Frekuensi Tinggi

Gambar 5.87 Resultan Simpangan Rotasi Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan X



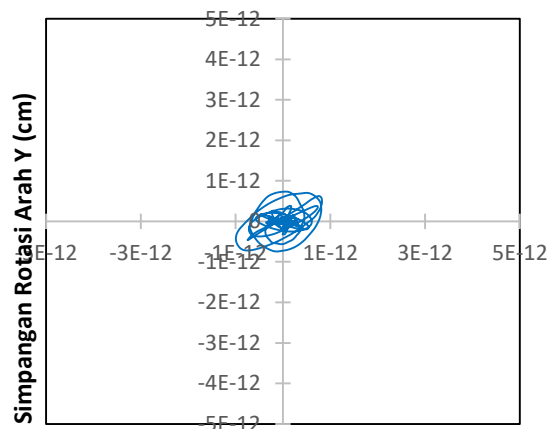
Simpangan Rotasi Arah X (cm)

a. Frekuensi Rendah



Simpangan Rotasi Arah X (cm)

b. Frekuensi Sedang



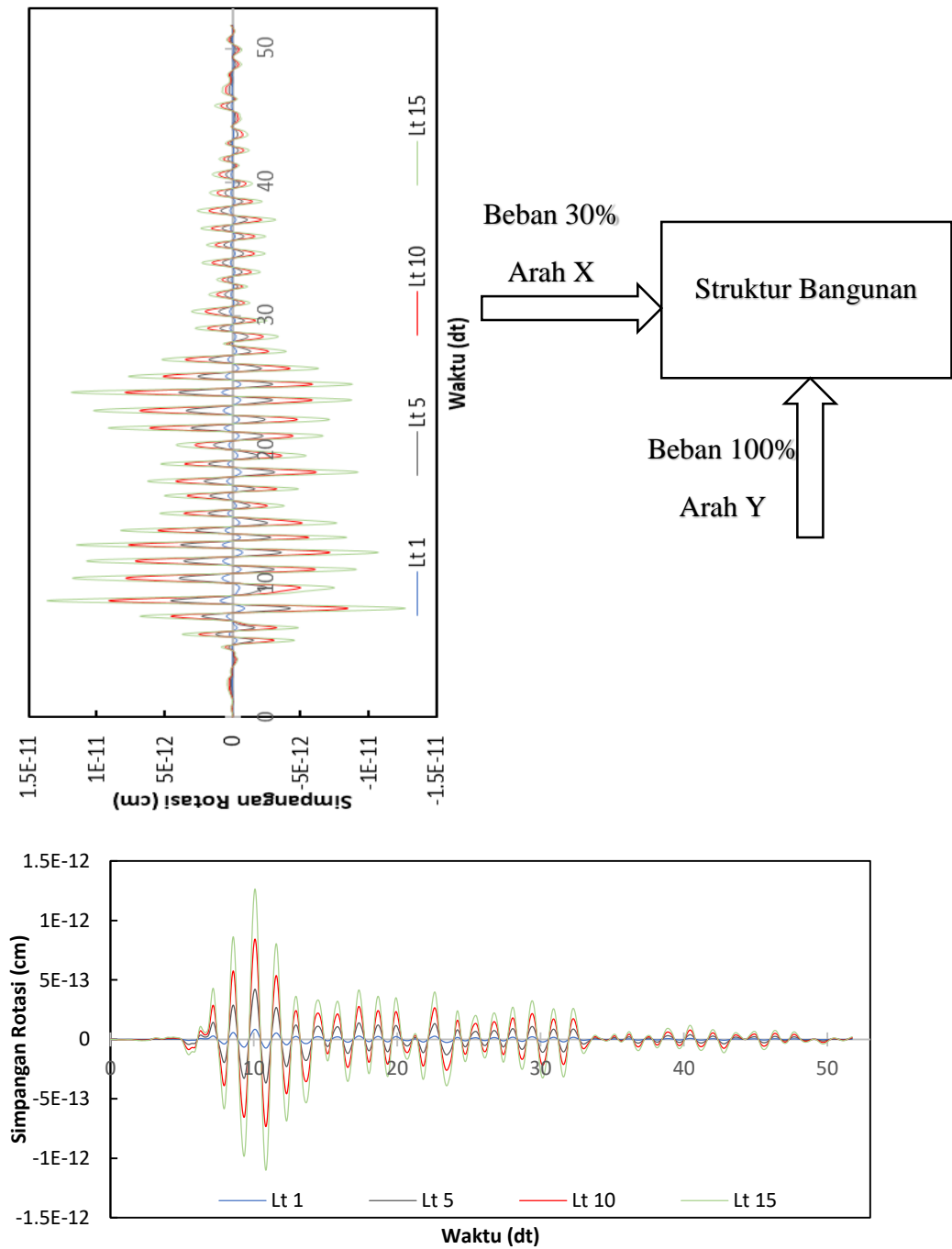
Simpangan Rotasi Arah X (cm)

c. Frekuensi Tinggi

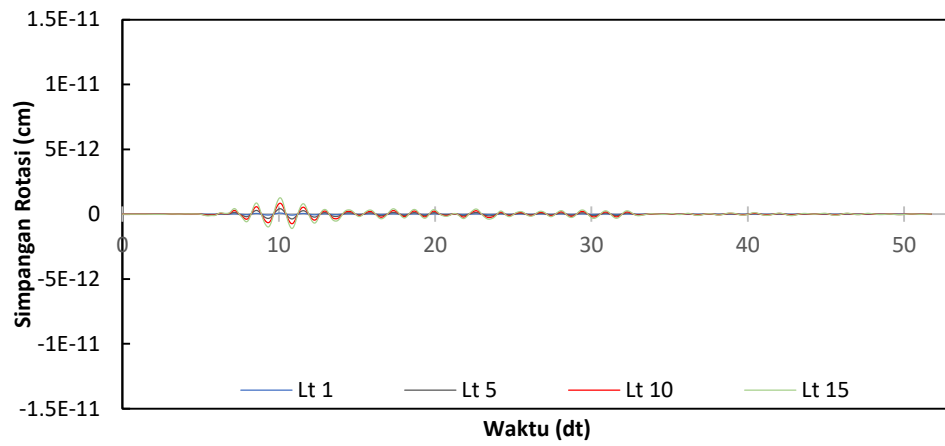
Gambar 5.88 Tampak Atas Simpangan Rotasi Setiap Frek Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan X

b. Pembebanan Dominan Y

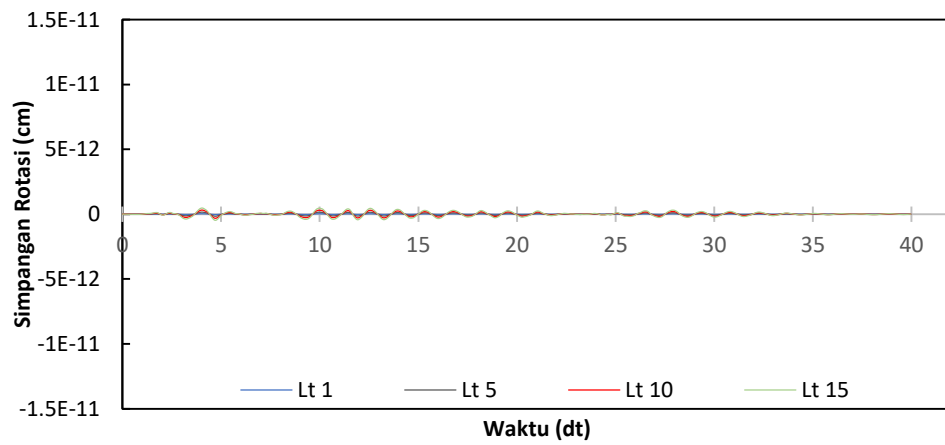
Adapun ilustrasi hasil analisis simpangan rotasi pada pembebanan dominan y dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



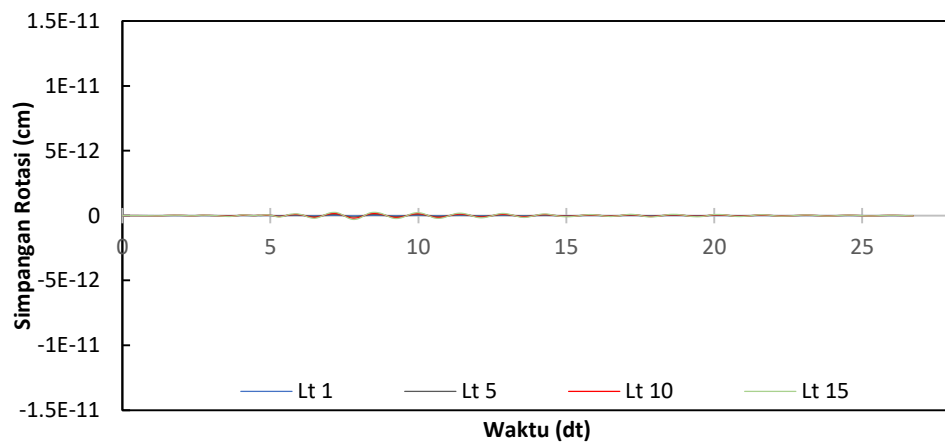
Gambar 5.89 Ilustrasi Simpangan Rotasi Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan Y



a. Frekuensi Rendah

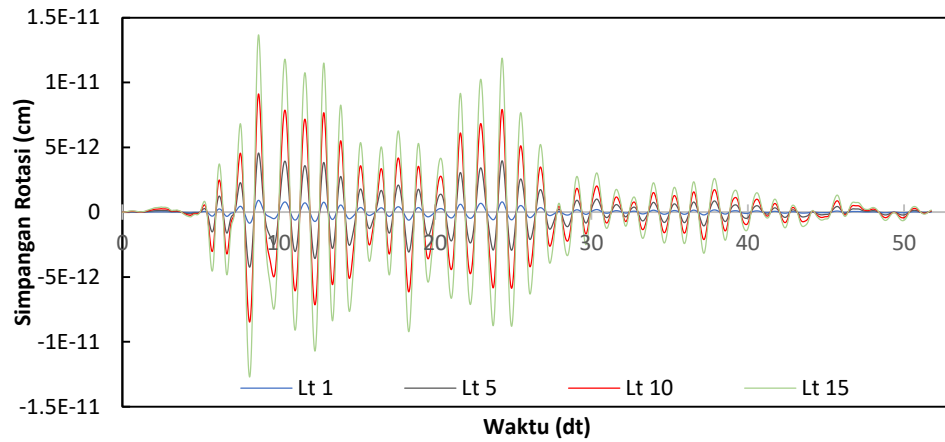


b. Frekuensi Sedang

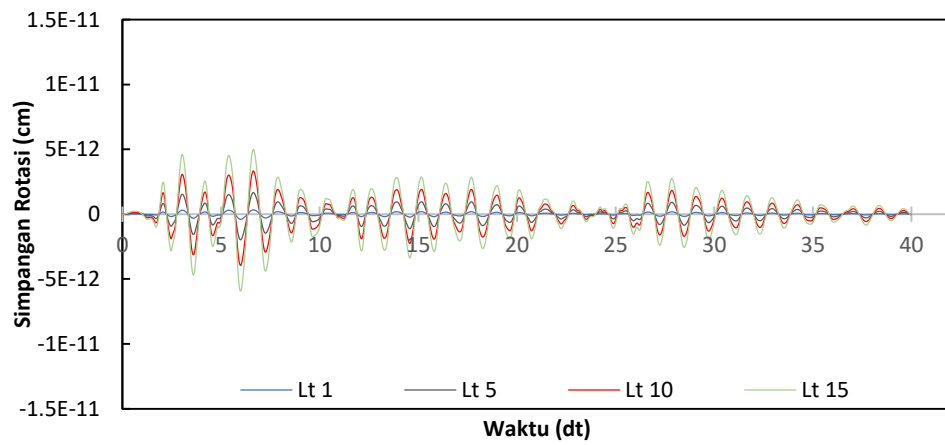


c. Frekuensi Tinggi

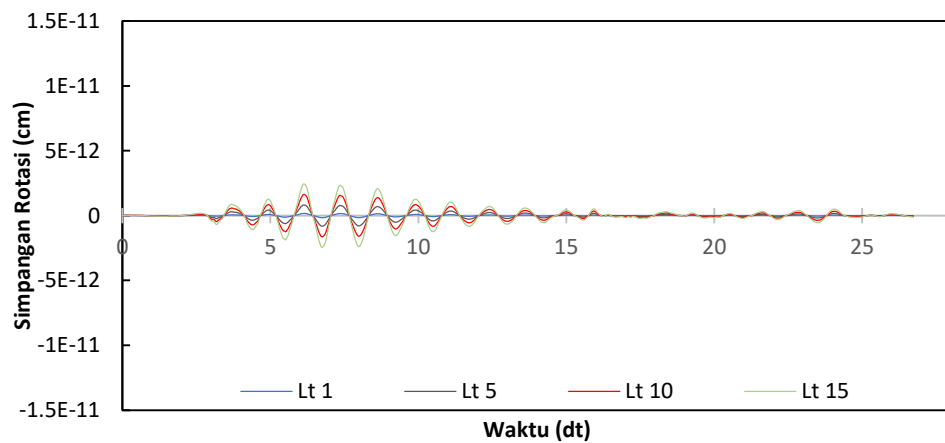
Gambar 5.90 Simpangan Rotasi Arah X Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan Y



a. Frekuensi Rendah

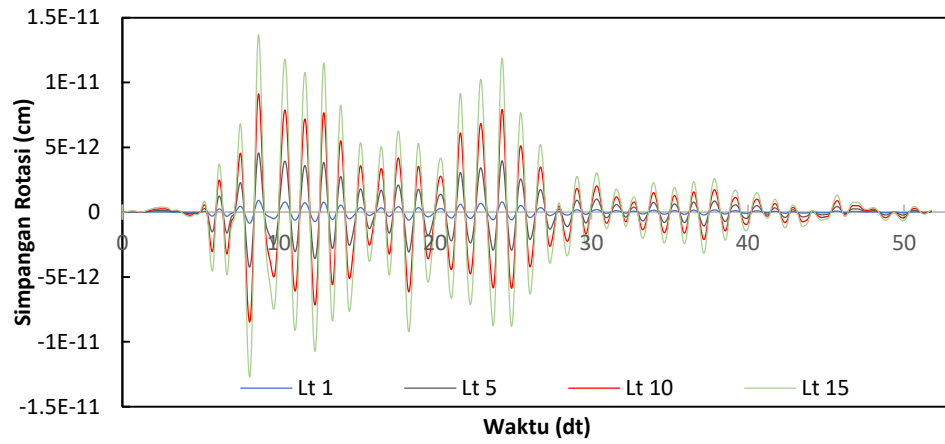


b. Frekuensi Sedang

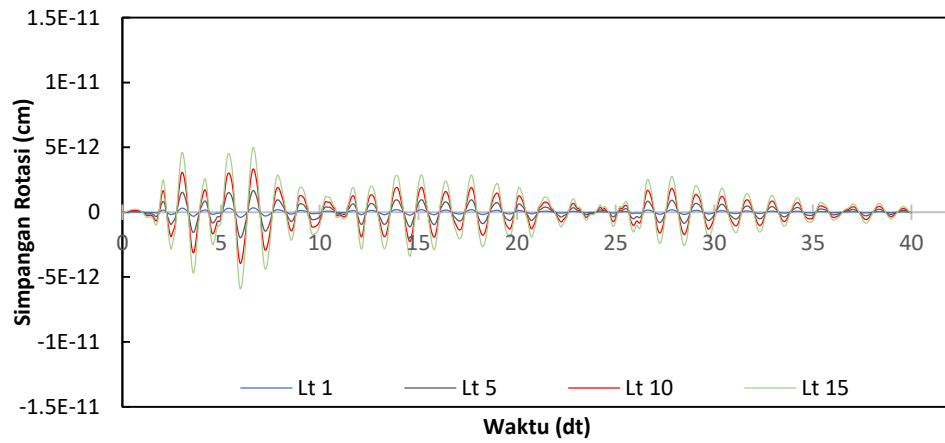


c. Frekuensi Tinggi

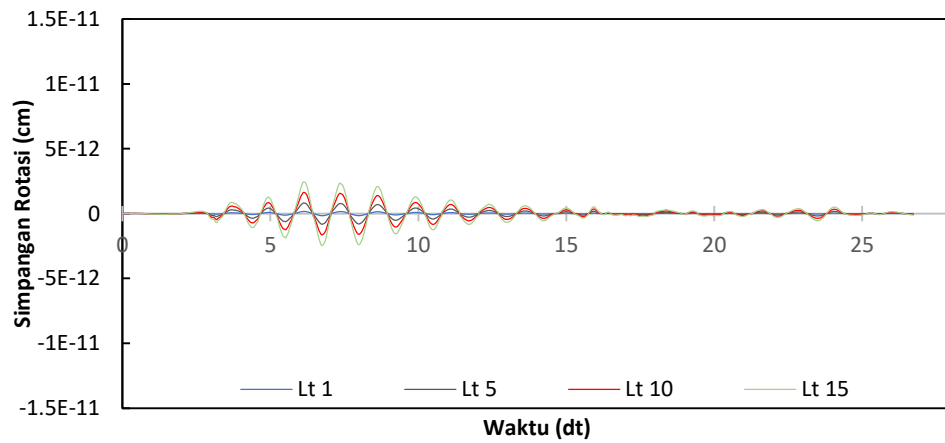
Gambar 5.91 Simpangan Rotasi Arah Y Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan Y



a. Frekuensi Rendah

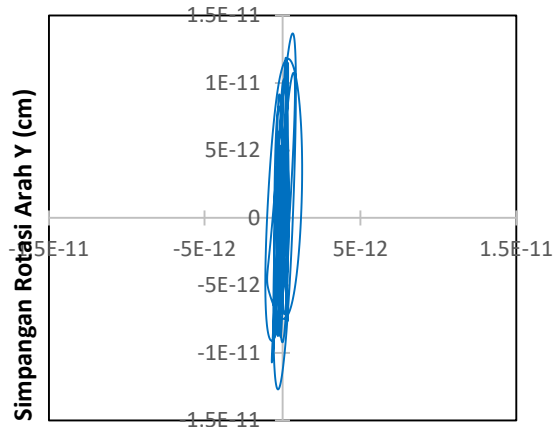


b. Frekuensi Sedang



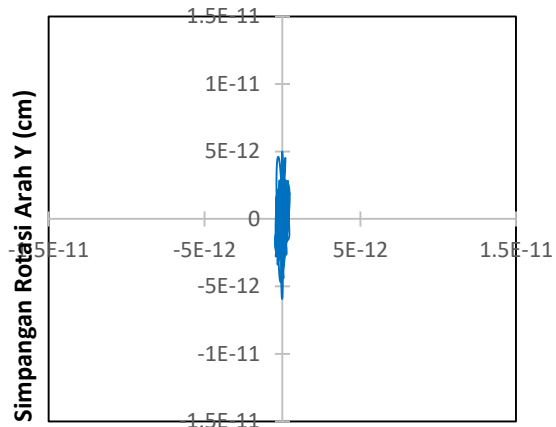
c. Frekuensi Tinggi

Gambar 5.92 Resultan Simpangan Rotasi Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan Y



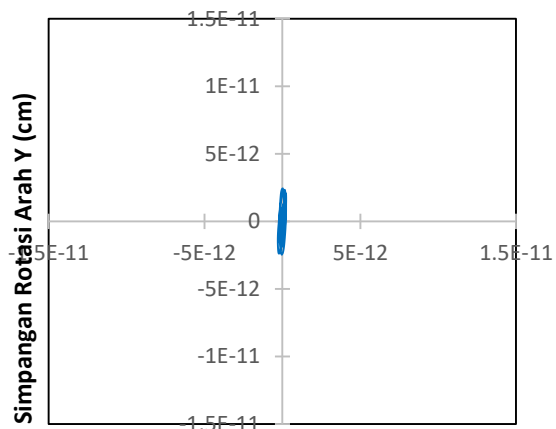
Simpangan Rotasi Arah X (cm)

a. Frekuensi Rendah



Simpangan Rotasi Arah X (cm)

b. Frekuensi Sedang



Simpangan Rotasi Arah X (cm)

c. Frekuensi Tinggi

Gambar 5.93 Tampak Atas Simpangan Rotasi Setiap Frek Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan Y

Tabel 5.37 Simp Rotasi Maks Bang Tanpa Rotasi Gempa Frek Rendah

Lantai	Dominan X (cm)		Dominan Y (cm)	
	Beban 100% X	Beban 30% Y	Beban 30% X	Beban 100% Y
15	4,2144E-12	4,1013E-12	1,2643E-12	1,3671E-11
14	3,9334E-12	3,8279E-12	1,1800E-12	1,2760E-11
13	3,6524E-12	3,5545E-12	1,0957E-12	1,1848E-11
12	3,3715E-12	3,2811E-12	1,0114E-12	1,0937E-11
11	3,0905E-12	3,0076E-12	9,2716E-13	1,0025E-11
10	2,8096E-12	2,7342E-12	8,4287E-13	9,1140E-12
9	2,5286E-12	2,4608E-12	7,5858E-13	8,2026E-12
8	2,2477E-12	2,1874E-12	6,7430E-13	7,2912E-12
7	1,9667E-12	1,9139E-12	5,9001E-13	6,3798E-12
6	1,6857E-12	1,6405E-12	5,0572E-13	5,4684E-12
5	1,4048E-12	1,3671E-12	4,2144E-13	4,5570E-12
4	1,1238E-12	1,0937E-12	3,3715E-13	3,6456E-12
3	8,4287E-13	8,2026E-13	2,5286E-13	2,7342E-12
2	5,6191E-13	5,4684E-13	1,6857E-13	1,8228E-12
1	2,8096E-13	2,7342E-13	8,4287E-14	9,1140E-13
0	0	0	0	0

Tabel 5.38 Simp Rotasi Maks Bang Tanpa Rotasi Gempa Frek Sedang

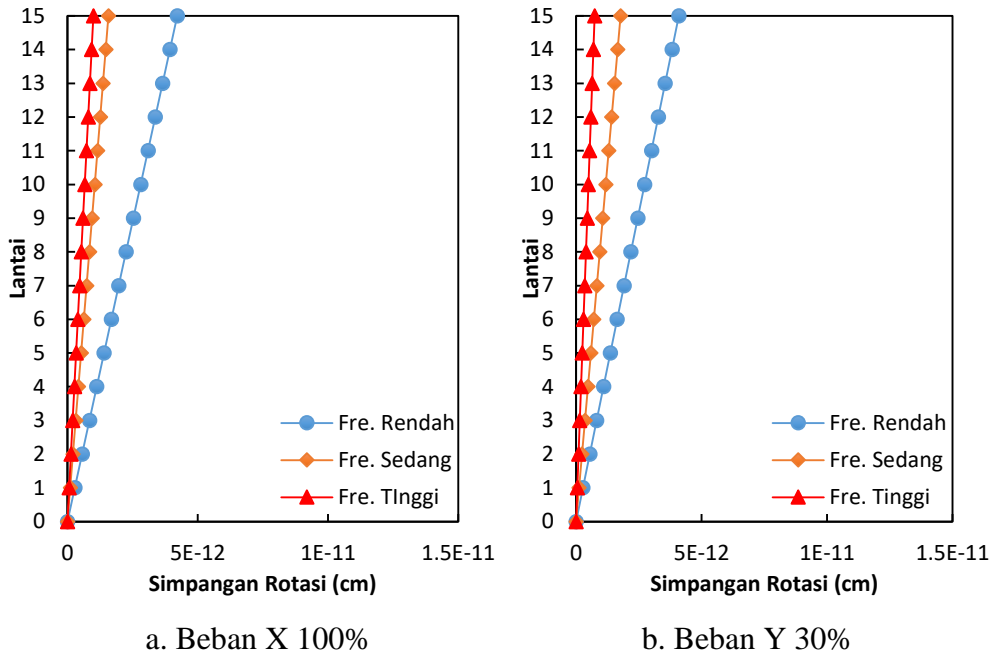
Lantai	Dominan X (cm)		Dominan Y (cm)	
	Beban 100% X	Beban 30% Y	Beban 30% X	Beban 100% Y
15	1,5781E-12	1,7756E-12	4,7344E-13	5,9187E-12
14	1,4729E-12	1,6572E-12	4,4188E-13	5,5241E-12
13	1,3677E-12	1,5389E-12	4,1031E-13	5,1296E-12
12	1,2625E-12	1,4205E-12	3,7875E-13	4,7350E-12
11	1,1573E-12	1,3021E-12	3,4719E-13	4,3404E-12
10	1,0521E-12	1,1837E-12	3,1563E-13	3,9458E-12
9	9,4688E-13	1,0654E-12	2,8406E-13	3,5512E-12
8	8,4167E-13	9,4699E-13	2,5250E-13	3,1566E-12
7	7,3646E-13	8,2862E-13	2,2094E-13	2,7621E-12
6	6,3125E-13	7,1025E-13	1,8938E-13	2,3675E-12
5	5,2604E-13	5,9187E-13	1,5781E-13	1,9729E-12
4	4,2083E-13	4,7350E-13	1,2625E-13	1,5783E-12
3	3,1563E-13	3,5512E-13	9,4688E-14	1,1837E-12
2	2,1042E-13	2,3675E-13	6,3125E-14	7,8916E-13
1	1,0521E-13	1,1837E-13	3,1563E-14	3,9458E-13
0	0	0	0	0

Tabel 5.39 Simp Rotasi Maks Bang Tanpa Rotasi Gempa Frek Tinggi

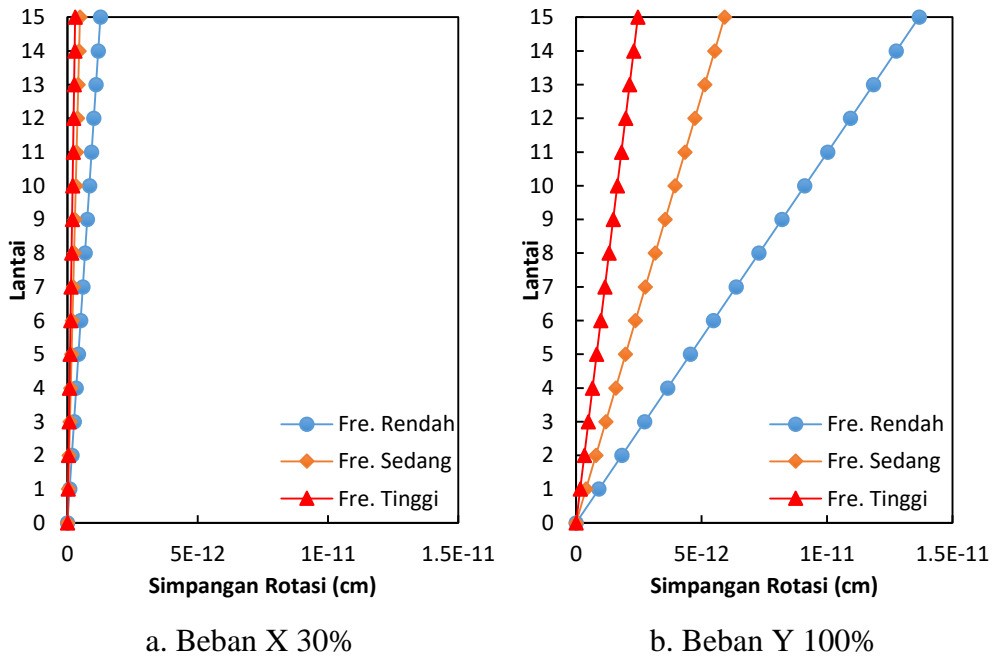
Lantai	Dominan X (cm)		Dominan Y (cm)	
	Beban 100% X	Beban 30% Y	Beban 30% X	Beban 100% Y
15	9,9279E-13	7,4000E-13	2,9784E-13	2,4667E-12
14	9,2661E-13	6,9066E-13	2,7798E-13	2,3022E-12
13	8,6042E-13	6,4133E-13	2,5813E-13	2,1378E-12
12	7,9424E-13	5,9200E-13	2,3827E-13	1,9733E-12
11	7,2805E-13	5,4266E-13	2,1841E-13	1,8089E-12
10	6,6186E-13	4,9333E-13	1,9856E-13	1,6444E-12
9	5,9568E-13	4,4400E-13	1,7870E-13	1,4800E-12
8	5,2949E-13	3,9466E-13	1,5885E-13	1,3155E-12
7	4,6330E-13	3,4533E-13	1,3899E-13	1,1511E-12
6	3,9712E-13	2,9600E-13	1,1914E-13	9,8666E-13
5	3,3093E-13	2,4667E-13	9,9279E-14	8,2222E-13
4	2,6475E-13	1,9733E-13	7,9424E-14	6,5777E-13
3	1,9856E-13	1,4800E-13	5,9568E-14	4,9333E-13
2	1,3237E-13	9,8666E-14	3,9712E-14	3,2889E-13
1	6,6186E-14	4,9333E-14	1,9856E-14	1,6444E-13
0	0	0	0	0

Tabel 5.40 Resultan Simpangan Rotasi Maks Bangunan Tanpa Rotasi

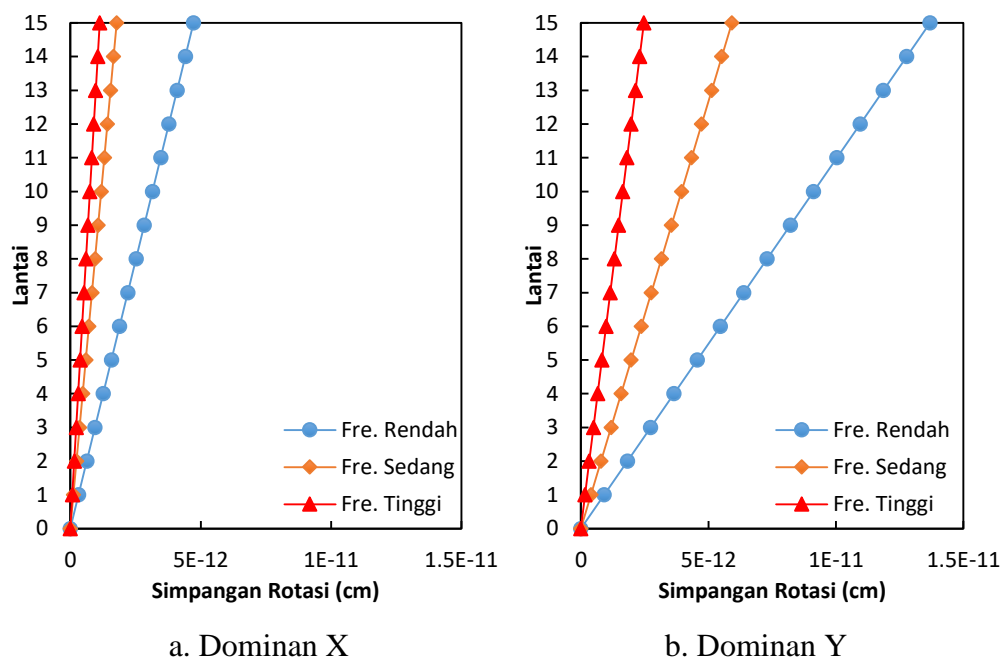
Lantai	Frekuensi Rendah		Frekuensi Sedang		Frekuensi Tinggi	
	Dom-X (cm)	Dom-Y (cm)	Dom-X (cm)	Dom-Y (cm)	Dom-X (cm)	Dom-Y (cm)
15	4,73E-12	1,37E-11	1,78E-12	5,92E-12	1,12E-12	2,47E-12
14	4,41E-12	1,28E-11	1,66E-12	5,52E-12	1,04E-12	2,30E-12
13	4,10E-12	1,19E-11	1,54E-12	5,13E-12	9,70E-13	2,14E-12
12	3,78E-12	1,09E-11	1,42E-12	4,73E-12	8,96E-13	1,97E-12
11	3,47E-12	1,00E-11	1,30E-12	4,34E-12	8,21E-13	1,81E-12
10	3,15E-12	9,12E-12	1,18E-12	3,95E-12	7,46E-13	1,64E-12
9	2,84E-12	8,21E-12	1,07E-12	3,55E-12	6,72E-13	1,48E-12
8	2,52E-12	7,30E-12	9,47E-13	3,16E-12	5,97E-13	1,32E-12
7	2,21E-12	6,39E-12	8,29E-13	2,76E-12	5,22E-13	1,15E-12
6	1,89E-12	5,47E-12	7,10E-13	2,37E-12	4,48E-13	9,87E-13
5	1,58E-12	4,56E-12	5,92E-13	1,97E-12	3,73E-13	8,22E-13
4	1,26E-12	3,65E-12	4,74E-13	1,58E-12	2,99E-13	6,58E-13
3	9,46E-13	2,74E-12	3,55E-13	1,18E-12	2,24E-13	4,93E-13
2	6,30E-13	1,82E-12	2,37E-13	7,89E-13	1,49E-13	3,29E-13
1	3,15E-13	9,12E-13	1,18E-13	3,95E-13	7,46E-14	1,64E-13
0	0	0	0	0	0	0



Gambar 5.94 Simpangan Rotasi Maksimum Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan X



Gambar 5.95 Simpangan Rotasi Maksimum Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan Y



Gambar 5.96 Resultan Simpangan Rotasi Maksimum Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi

3. Perbandingan Simpangan Rotasi Bangunan Dengan Rotasi dan Bangunan Tanpa Rotasi

Perbandingan simpangan rotasi struktur bangunan reguler dengan rotasi dan tanpa rotasi dengan beban gempa frekuensi rendah, frekuensi sedang, dan frekuensi tinggi dan pada pembebanan dominan x dan dominan y disajikan dalam bentuk nilai-nilai maksimum setiap lantai yang dapat dilihat pada Tabel 5.41 s/d Tabel 5.49 dan Gambar 5.97 s/d Gambar 5.105.

Hasil tabel dan gambar grafik tersebut menunjukkan bahwa simpangan rotasi pada bangunan tanpa rotasi (*fixed*) sangat kecil atau bahkan tidak terjadi simpangan rotasi, sedangkan pada bangunan dengan rotasi akan terjadi simpangan rotasi. Hal ini dikarenakan pada struktur bangunan tanpa rotasi (*fixed*), tanah akan menjepit fondasi dengan sempurna sehingga fondasi tidak akan mengalami perputaran dan menyebabkan struktur bangunan tidak mengalami simpangan akibat rotasi (simpangan rotasi).

Tabel 5.41 Perbandingan Simp Rotasi Maks Gempa Frek Rendah Dom-X

Lantai	Beban 100% X (cm)		Beban 30% Y (cm)	
	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi
15	0,4356	4,2144E-12	0,5204	4,1013E-12
14	0,4065	3,9334E-12	0,4857	3,8279E-12
13	0,3775	3,6524E-12	0,4510	3,5545E-12
12	0,3485	3,3715E-12	0,4163	3,2811E-12
11	0,3194	3,0905E-12	0,3816	3,0076E-12
10	0,2904	2,8096E-12	0,3469	2,7342E-12
9	0,2613	2,5286E-12	0,3122	2,4608E-12
8	0,2323	2,2477E-12	0,2775	2,1874E-12
7	0,2033	1,9667E-12	0,2428	1,9139E-12
6	0,1742	1,6857E-12	0,2081	1,6405E-12
5	0,1452	1,4048E-12	0,1735	1,3671E-12
4	0,1162	1,1238E-12	0,1388	1,0937E-12
3	0,0871	8,4287E-13	0,1041	8,2026E-13
2	0,0581	5,6191E-13	0,0694	5,4684E-13
1	0,0290	2,8096E-13	0,0347	2,7342E-13
0	0	0	0	0

Tabel 5.42 Perbandingan Simp Rotasi Maks Gempa Frek Rendah Dom-Y

Lantai	Beban 30% X (cm)		Beban 100% Y (cm)	
	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi
15	0,1307	1,2643E-12	1,7346	1,3671E-11
14	0,1220	1,1800E-12	1,6189	1,2760E-11
13	0,1132	1,0957E-12	1,5033	1,1848E-11
12	0,1045	1,0114E-12	1,3876	1,0937E-11
11	0,0958	9,2716E-13	1,2720	1,0025E-11
10	0,0871	8,4287E-13	1,1564	9,1140E-12
9	0,0784	7,5858E-13	1,0407	8,2026E-12
8	0,0697	6,7430E-13	0,9251	7,2912E-12
7	0,0610	5,9001E-13	0,8095	6,3798E-12
6	0,0523	5,0572E-13	0,6938	5,4684E-12
5	0,0436	4,2144E-13	0,5782	4,5570E-12
4	0,0348	3,3715E-13	0,4625	3,6456E-12
3	0,0261	2,5286E-13	0,3469	2,7342E-12
2	0,0174	1,6857E-13	0,2313	1,8228E-12
1	0,0087	8,4287E-14	0,1156	9,1140E-13
0	0	0	0	0

Tabel 5.43 Perbandingan Simp Rotasi Maks Gempa Frek Sedang Dom-X

Lantai	Beban 100% X (cm)		Beban 30% Y (cm)	
	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi
15	0,1609	1,5781E-12	0,1447	1,7756E-12
14	0,1501	1,4729E-12	0,1350	1,6572E-12
13	0,1394	1,3677E-12	0,1254	1,5389E-12
12	0,1287	1,2625E-12	0,1157	1,4205E-12
11	0,1180	1,1573E-12	0,1061	1,3021E-12
10	0,1072	1,0521E-12	0,0964	1,1837E-12
9	0,0965	9,4688E-13	0,0868	1,0654E-12
8	0,0858	8,4167E-13	0,0772	9,4699E-13
7	0,0751	7,3646E-13	0,0675	8,2862E-13
6	0,0643	6,3125E-13	0,0579	7,1025E-13
5	0,0536	5,2604E-13	0,0482	5,9187E-13
4	0,0429	4,2083E-13	0,0386	4,7350E-13
3	0,0322	3,1563E-13	0,0289	3,5512E-13
2	0,0214	2,1042E-13	0,0193	2,3675E-13
1	0,0107	1,0521E-13	0,0096	1,1837E-13
0	0	0	0	0

Tabel 5.44 Perbandingan Simp Rotasi Maks Gempa Frek Sedang Dom-Y

Lantai	Beban 30% X (cm)		Beban 100% Y (cm)	
	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi
15	0,0284	2,9784E-13	0,2260	2,4667E-12
14	0,0265	2,7798E-13	0,2110	2,3022E-12
13	0,0246	2,5813E-13	0,1959	2,1378E-12
12	0,0227	2,3827E-13	0,1808	1,9733E-12
11	0,0208	2,1841E-13	0,1658	1,8089E-12
10	0,0190	1,9856E-13	0,1507	1,6444E-12
9	0,0171	1,7870E-13	0,1356	1,4800E-12
8	0,0152	1,5885E-13	0,1205	1,3155E-12
7	0,0133	1,3899E-13	0,1055	1,1511E-12
6	0,0114	1,1914E-13	0,0904	9,8666E-13
5	0,0095	9,9279E-14	0,0753	8,2222E-13
4	0,0076	7,9424E-14	0,0603	6,5777E-13
3	0,0057	5,9568E-14	0,0452	4,9333E-13
2	0,0038	3,9712E-14	0,0301	3,2889E-13
1	0,0019	1,9856E-14	0,0151	1,6444E-13
0	0	0	0	0

Tabel 5.45 Perbandingan Simp Rotasi Maks Gempa Frek Tinggi Dom-X

Lantai	Beban 100% X (cm)		Beban 30% Y (cm)	
	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi
15	0,0948	9,9279E-13	0,0678	7,4000E-13
14	0,0884	9,2661E-13	0,0633	6,9066E-13
13	0,0821	8,6042E-13	0,0588	6,4133E-13
12	0,0758	7,9424E-13	0,0542	5,9200E-13
11	0,0695	7,2805E-13	0,0497	5,4266E-13
10	0,0632	6,6186E-13	0,0452	4,9333E-13
9	0,0569	5,9568E-13	0,0407	4,4400E-13
8	0,0505	5,2949E-13	0,0362	3,9466E-13
7	0,0442	4,6330E-13	0,0316	3,4533E-13
6	0,0379	3,9712E-13	0,0271	2,9600E-13
5	0,0316	3,3093E-13	0,0226	2,4667E-13
4	0,0253	2,6475E-13	0,0181	1,9733E-13
3	0,0190	1,9856E-13	0,0136	1,4800E-13
2	0,0126	1,3237E-13	0,0090	9,8666E-14
1	0,0063	6,6186E-14	0,0045	4,9333E-14
0	0	0	0	0

Tabel 5.46 Perbandingan Simp Rotasi Maks Gempa Frek Tinggi Dom-Y

Lantai	Beban 30% X (cm)		Beban 100% Y (cm)	
	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi
15	0,0284	2,9784E-13	0,2260	2,4667E-12
14	0,0265	2,7798E-13	0,2110	2,3022E-12
13	0,0246	2,5813E-13	0,1959	2,1378E-12
12	0,0227	2,3827E-13	0,1808	1,9733E-12
11	0,0208	2,1841E-13	0,1658	1,8089E-12
10	0,0190	1,9856E-13	0,1507	1,6444E-12
9	0,0171	1,7870E-13	0,1356	1,4800E-12
8	0,0152	1,5885E-13	0,1205	1,3155E-12
7	0,0133	1,3899E-13	0,1055	1,1511E-12
6	0,0114	1,1914E-13	0,0904	9,8666E-13
5	0,0095	9,9279E-14	0,0753	8,2222E-13
4	0,0076	7,9424E-14	0,0603	6,5777E-13
3	0,0057	5,9568E-14	0,0452	4,9333E-13
2	0,0038	3,9712E-14	0,0301	3,2889E-13
1	0,0019	1,9856E-14	0,0151	1,6444E-13
0	0	0	0	0

Tabel 5.47 Perbandingan Resultan Simp Rotasi Maks Gempa Fre Rendah

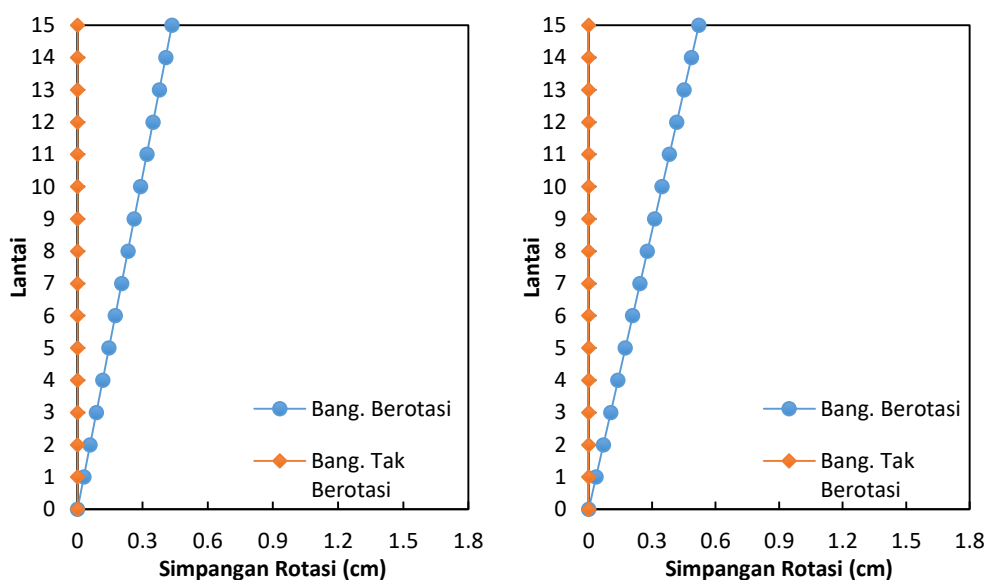
Lantai	Dominan X (cm)		Dominan Y (cm)	
	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi
15	0,5421	4,7282E-12	1,7348	1,3687E-11
14	0,5060	4,4130E-12	1,6192	1,2775E-11
13	0,4698	4,0978E-12	1,5035	1,1862E-11
12	0,4337	3,7826E-12	1,3879	1,0950E-11
11	0,3975	3,4674E-12	1,2722	1,0037E-11
10	0,3614	3,1521E-12	1,1566	9,1249E-12
9	0,3253	2,8369E-12	1,0409	8,2124E-12
8	0,2891	2,5217E-12	0,9252	7,2999E-12
7	0,2530	2,2065E-12	0,8096	6,3874E-12
6	0,2168	1,8913E-12	0,6939	5,4749E-12
5	0,1807	1,5761E-12	0,5783	4,5624E-12
4	0,1446	1,2609E-12	0,4626	3,6499E-12
3	0,1084	9,4564E-13	0,3470	2,7375E-12
2	0,0723	6,3043E-13	0,2313	1,8250E-12
1	0,0361	3,1521E-13	0,1157	9,1249E-13
0	0	0	0	0

Tabel 5.48 Perbandingan Resultan Simp Rotasi Maks Gempa Fre Sedang

Lantai	Dominan X (cm)		Dominan Y (cm)	
	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi
15	0,1652	1,7762E-12	0,4822	5,9187E-12
14	0,1542	1,6577E-12	0,4501	5,5241E-12
13	0,1432	1,5393E-12	0,4179	5,1296E-12
12	0,1322	1,4209E-12	0,3858	4,7350E-12
11	0,1211	1,3025E-12	0,3536	4,3404E-12
10	0,1101	1,1841E-12	0,3215	3,9458E-12
9	0,0991	1,0657E-12	0,2893	3,5512E-12
8	0,0881	9,4728E-13	0,2572	3,1567E-12
7	0,0771	8,2887E-13	0,2250	2,7621E-12
6	0,0661	7,1046E-13	0,1929	2,3675E-12
5	0,0551	5,9205E-13	0,1607	1,9729E-12
4	0,0441	4,7364E-13	0,1286	1,5783E-12
3	0,0330	3,5523E-13	0,0964	1,1837E-12
2	0,0220	2,3682E-13	0,0643	7,8916E-13
1	0,0110	1,1841E-13	0,0321	3,9458E-13
0	0	0	0	0

Tabel 5.49 Perbandingan Resultan Simp Rotasi Maks Gempa Frek Tinggi

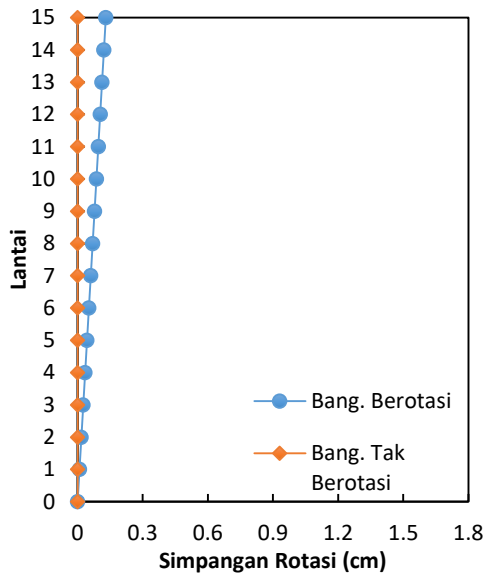
Lantai	Dominan X (cm)		Dominan Y (cm)	
	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi
15	0,0953	1,1194E-12	0,2260	2,4670E-12
14	0,0889	1,0448E-12	0,2110	2,3025E-12
13	0,0826	9,7019E-13	0,1959	2,1381E-12
12	0,0762	8,9556E-13	0,1808	1,9736E-12
11	0,0699	8,2093E-13	0,1658	1,8091E-12
10	0,0635	7,4630E-13	0,1507	1,6447E-12
9	0,0572	6,7167E-13	0,1356	1,4802E-12
8	0,0508	5,9704E-13	0,1206	1,3157E-12
7	0,0445	5,2241E-13	0,1055	1,1513E-12
6	0,0381	4,4778E-13	0,0904	9,8680E-13
5	0,0318	3,7315E-13	0,0753	8,2233E-13
4	0,0254	2,9852E-13	0,0603	6,5787E-13
3	0,0191	2,2389E-13	0,0452	4,9340E-13
2	0,0127	1,4926E-13	0,0301	3,2893E-13
1	0,0064	7,4630E-14	0,0151	1,6447E-13
0	0	0	0	0



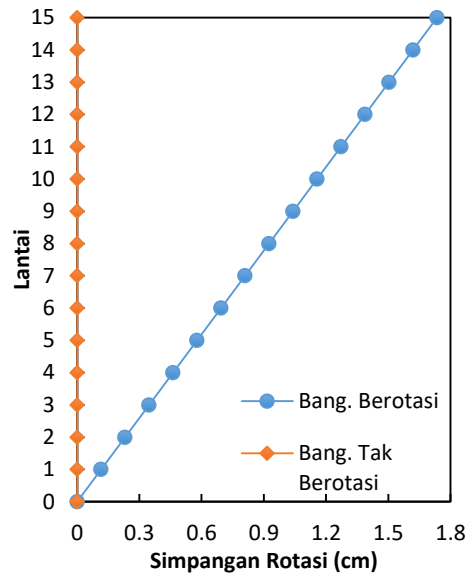
a. Beban X 100%

b. Beban Y 30%

Gambar 5.97 Perbandingan Simpangan Rotasi Maks Bangunan Dengan Rotasi dan Tanpa Rotasi Gempa Frek Rendah Pembebanan Dom-X

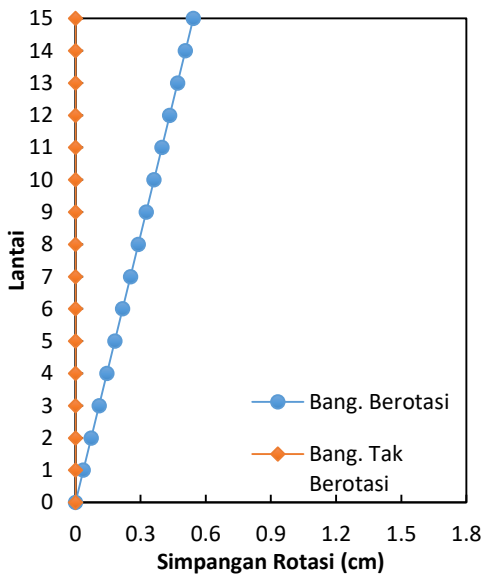


a. Beban X 30%

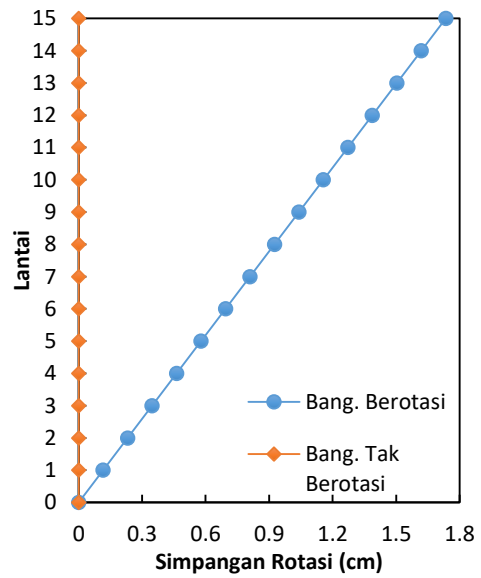


b. Beban Y 100%

Gambar 5.98 Perbandingan Simpangan Rotasi Maks Bangunan Dengan Rotasi dan Tanpa Rotasi Gempa Frek Rendah Pembebanan Dom-Y

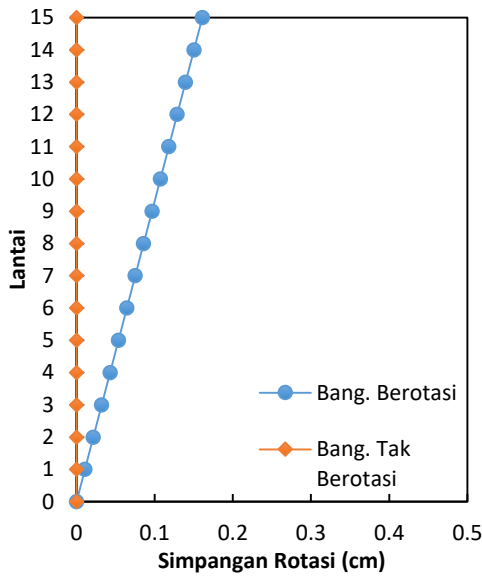


a. Dominan X

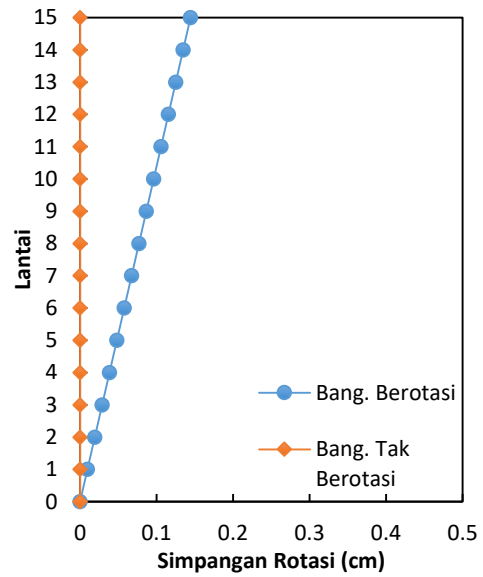


b. Dominan Y

Gambar 5.99 Perbandingan Resultan Simpangan Rotasi Maks Bangunan Dengan Rotasi dan Tanpa Rotasi Gempa Frek Rendah

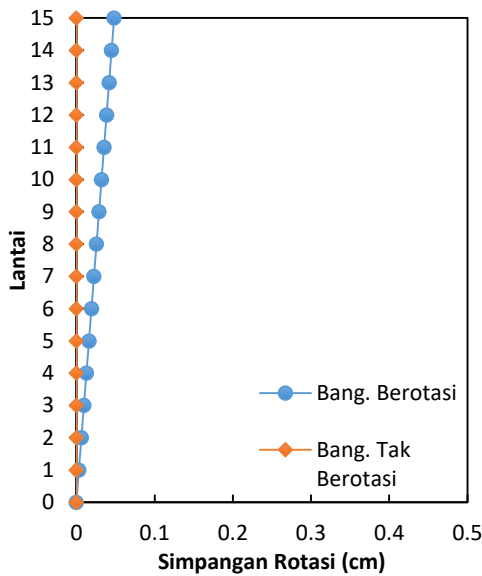


a. Beban X 100%

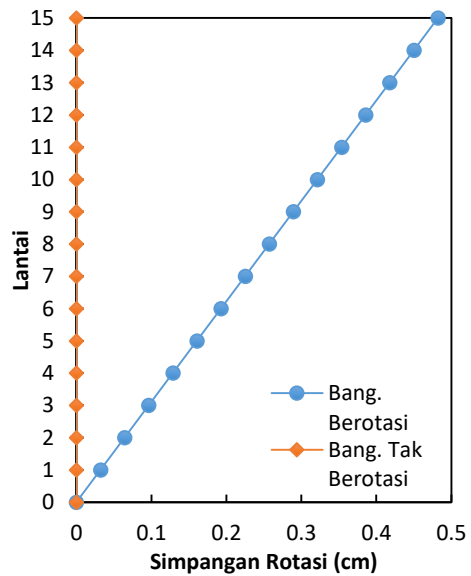


b. Beban Y 30%

Gambar 5.100 Perbandingan Simpangan Rotasi Maks Bangunan Dengan Rotasi dan Tanpa Rotasi Gempa Frek Sedang Pembebanan Dom-X

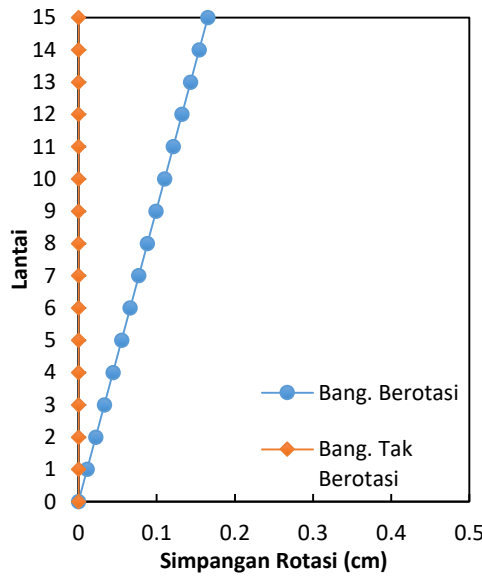


a. Beban X 30%

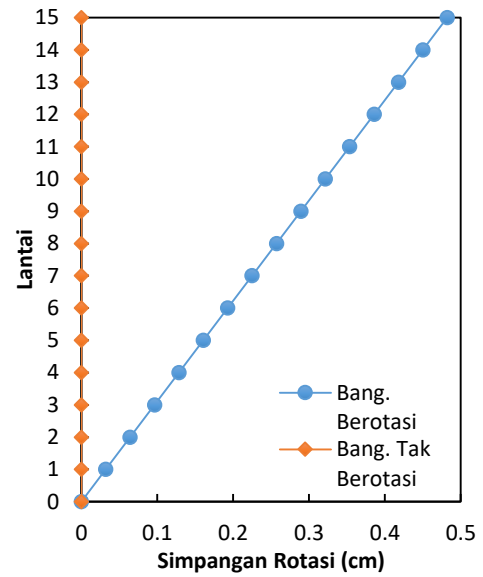


b. Beban Y 100%

Gambar 5.101 Perbandingan Simpangan Rotasi Maks Bangunan Dengan Rotasi dan Tanpa Rotasi Gempa Frek Sedang Pembebanan Dom-Y

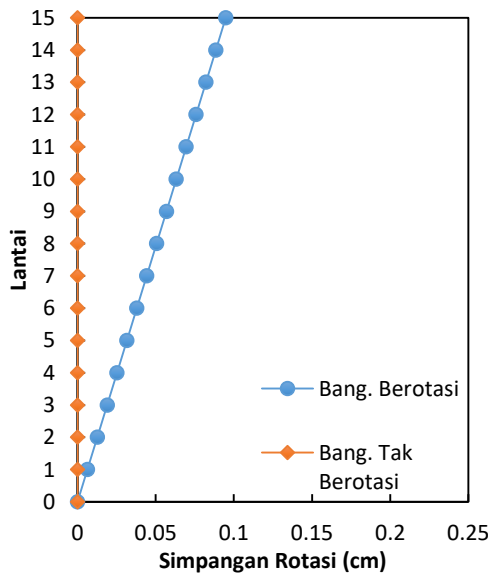


a. Dominan X

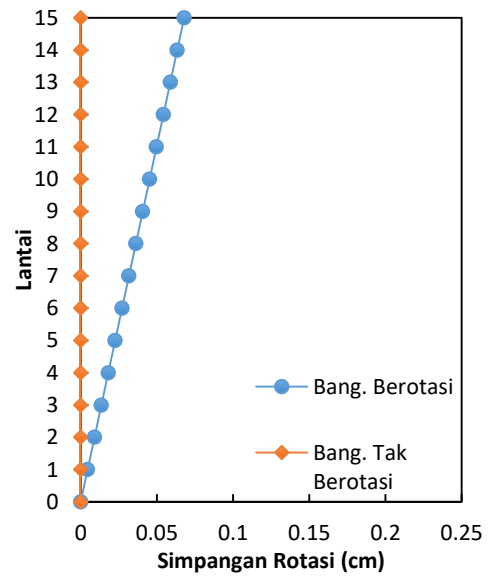


b. Dominan Y

Gambar 5.102 Perbandingan Resultan Simpangan Rotasi Maks Bangunan Dengan Rotasi dan Tanpa Rotasi Gempa Frek Sedang

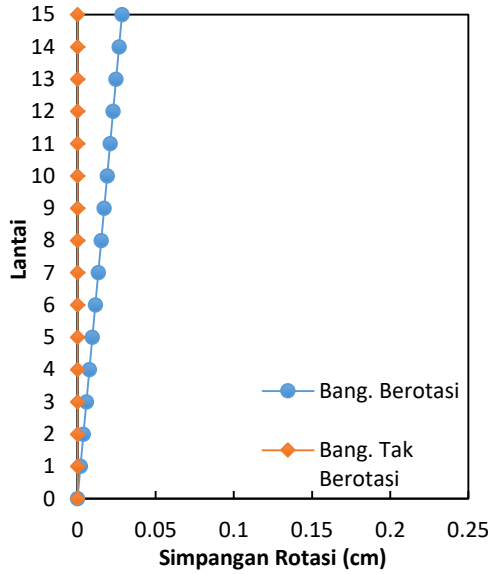


a. Beban X 100%

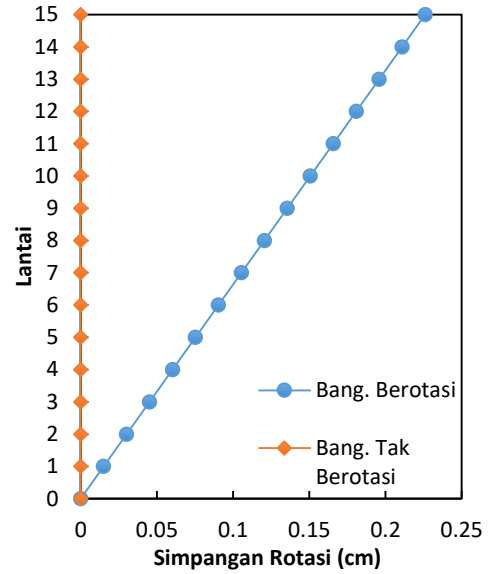


b. Beban Y 30%

Gambar 5.103 Perbandingan Simpangan Rotasi Maks Bangunan Dengan Rotasi dan Tanpa Rotasi Gempa Frek Tinggi Pembebanan Dom-X

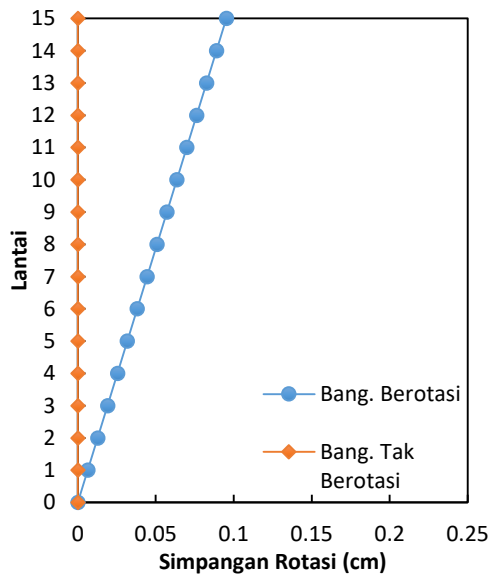


a. Beban X 30%

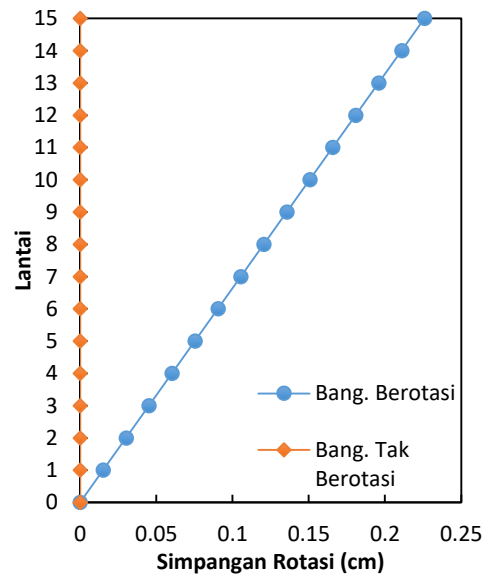


b. Beban Y 100%

Gambar 5.104 Perbandingan Simpangan Rotasi Maks Bangunan Dengan Rotasi dan Tanpa Rotasi Gempa Frek Tinggi Pembebanan Dom-Y



a. Dominan X



b. Dominan Y

Gambar 5.105 Perbandingan Resultan Simpangan Rotasi Maks Bangunan Dengan Rotasi dan Tanpa Rotasi Gempa Frek Tinggi

5.7.5 Simpangan Total

Simpangan total adalah simpangan arah horizontal setiap lantai yang berasal dari penjumlahan simpangan bersih struktur (simpangan netto), simpangan akibat adanya rotasi atau perputaran pada struktur fondasi (simpangan rotasi), dan simpangan lantai dasar/fondasi yang terjadi akibat adanya beban gempa. Pada penelitian ini, simpangan total diperoleh melalui persamaan 3.100. Hasil perhitungan simpangan total ditampilkan dalam bentuk grafik antara simpangan total lawan waktu (dengan interval waktu 0,01 dt). Simpangan total yang dicari meliputi simpangan total pada bangunan reguler dengan rotasi dan tanpa rotasi dengan pembebanan dominan arah x dan dominan arah y yang akan dijelaskan sebagai berikut.

1. Simpangan Total Struktur Bangunan Dengan Rotasi

Simpangan total struktur bangunan reguler dengan rotasi dengan beban gempa frekuensi rendah, frekuensi sedang, dan frekuensi tinggi dan pada pembebanan dominan x dan dominan y dengan beban 100%, beban 30%, resultan simpangan total, dan tampak atas simpangan total (simpangan total lantai 15) dapat dilihat pada Gambar 5.106 s/d Gambar 5.115. Nilai-nilai maksimum simpangan total setiap lantai pada setiap frekuensi beban gempa dan arah pembebanan dapat dilihat pada Tabel 5.50 s/d Tabel 5.53 dan Gambar 5.116 s/d Gambar 5.118.

Hasil tabel dan gambar grafik tersebut menunjukkan bahwa simpangan total maksimum akan semakin besar pada lantai yang lebih tinggi pada setiap frekuensi beban gempa karena pada lantai yang lebih tinggi, nilai kekakuan akan semakin kecil dan tinggi lantai akan semakin besar sehingga simpangan netto dan simpangan rotasi akan semakin besar.

Gempa dengan frekuensi rendah (Gempa Duzce) menghasilkan simpangan total yang paling besar pada struktur baik pada pembebanan dominan x maupun pembebanan dominan y, sedangkan gempa dengan frekuensi tinggi (Gempa Manjil) menghasilkan simpangan total yang paling kecil dan gempa dengan frekuensi sedang (Gempa EL-Centro 1940) berada diantaranya. Hal ini dikarenakan struktur bangunan tinggi bersifat fleksibel sehingga akan

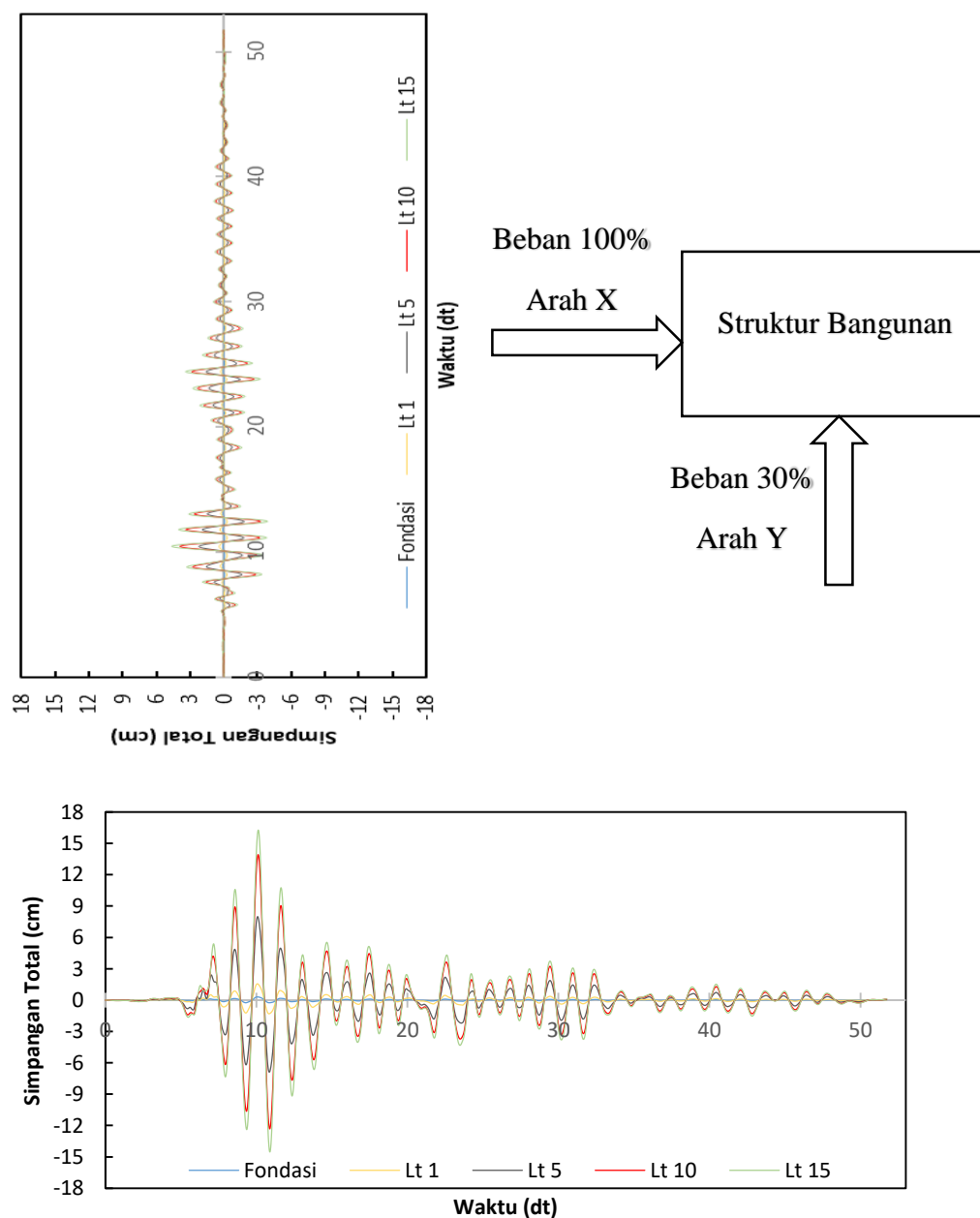
mempunyai frekuensi sudut (ω) dan frekuensi natural (f) yang rendah dan menyebabkan bangunan akan bergetar pada frekuensi rendah atau berasosiasi dengan baik dengan gempa frekuensi rendah.

Resultan simpangan total akibat pembebanan dominan x lebih besar dari resultan simpangan total akibat pembebanan dominan y pada setiap frekuensi beban gempa. Hal ini dikarenakan, simpangan total merupakan penjumlahan dari simpangan netto dan simpangan rotasi. Simpangan netto lebih besar pada pembebanan dominan x seperti yang dijelaskan pada subsubbab 5.7.2 dan simpangan rotasi lebih besar pada pembebanan dominan y seperti yang dijelaskan pada subsubbab 5.7.4. Pengaruh simpangan rotasi sangat kecil pada struktur portal sehingga simpangan netto akan memberikan pengaruh yang lebih besar pada hasil simpangan total dan simpangan total akan lebih cenderung mengikuti pola hasil simpangan netto.

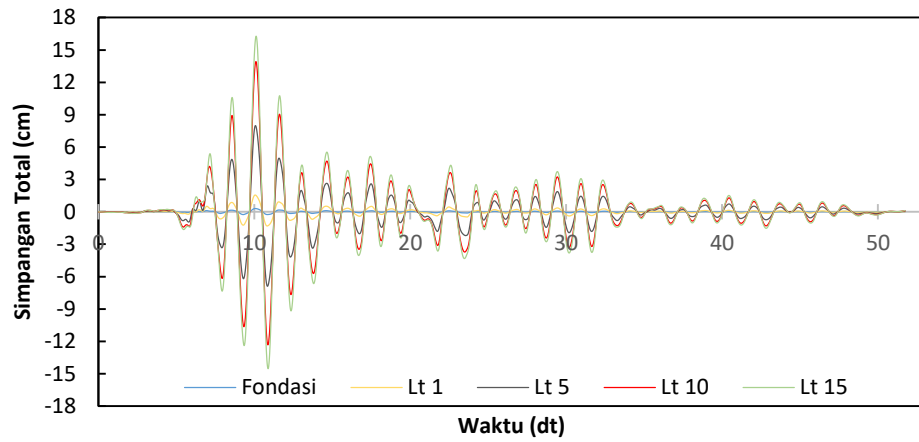
Gempa dengan frekuensi rendah (Gempa Duzce) pada pembebanan dominan y menghasilkan resultan simpangan lantai dasar/fondasi lebih besar daripada pembebanan dominan x, sedangkan gempa dengan frekuensi sedang (Gempa EL-Centro 1940) dan gempa dengan frekuensi tinggi (Gempa Manjil) pada pembebanan dominan x menghasilkan resultan simpangan lantai dasar/fondasi lebih besar daripada pembebanan dominan y. Hal ini dikarenakan simpangan total lantai dasar/fondasi sama dengan simpangan netto lantai dasar/fondasi sehingga memiliki pembahasan yang sama seperti pada subsubbab 5.7.2. Secara umum, resultan simpangan lantai dasar/fondasi pada pembebanan dominan x lebih besar daripada pembebanan dominan y karena kekakuan horizontal interaksi tanah dengan fondasi lebih kecil nilainya pada arah x. Namun, hasil yang berbeda ditunjukkan oleh gempa dengan frekuensi rendah (Gempa Duzce) karena karakteristik gempa (*strong part*) pada arah x lebih kuat daripada arah y.

a. Pembebanan Dominan X

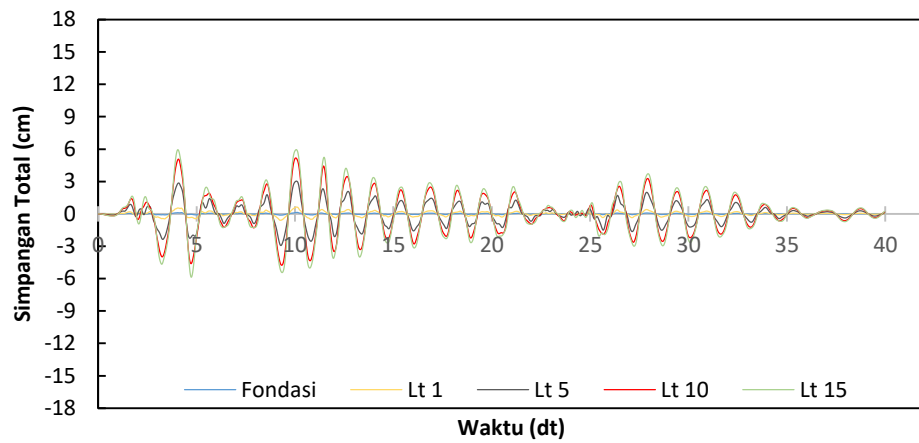
Adapun ilustrasi hasil analisis simpangan total pada pembebanan dominan x dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



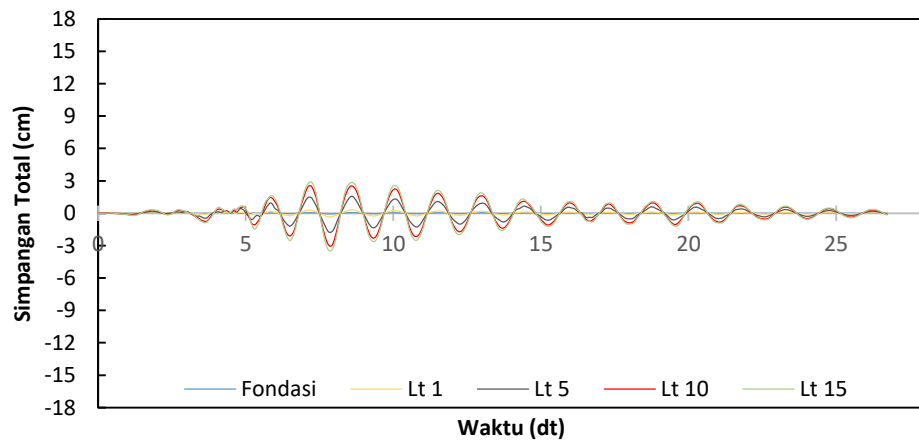
Gambar 5.106 Ilustrasi Simpangan Total Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan X



a. Frekuensi Rendah

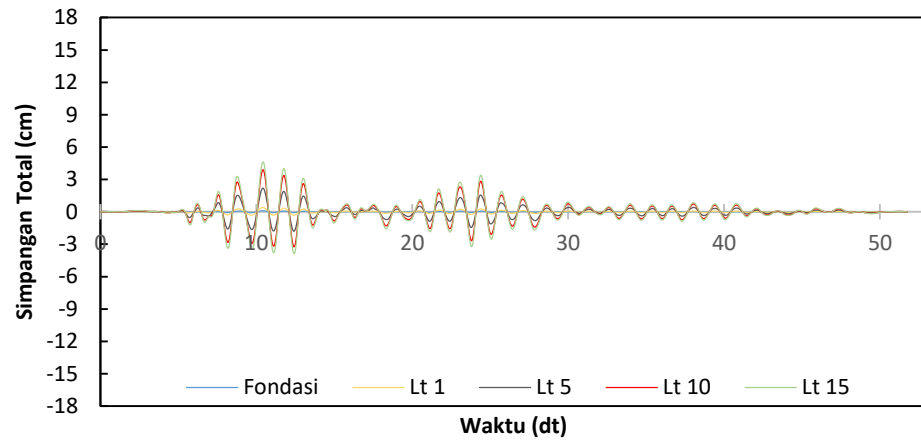


b. Frekuensi Sedang

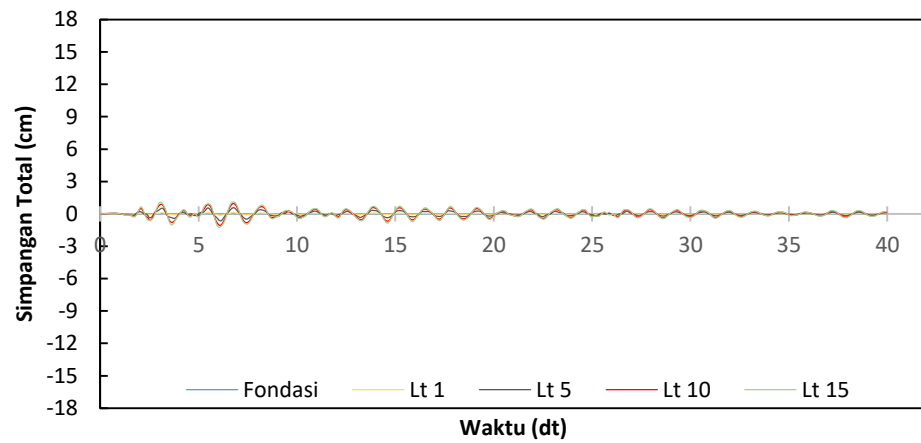


c. Frekuensi Tinggi

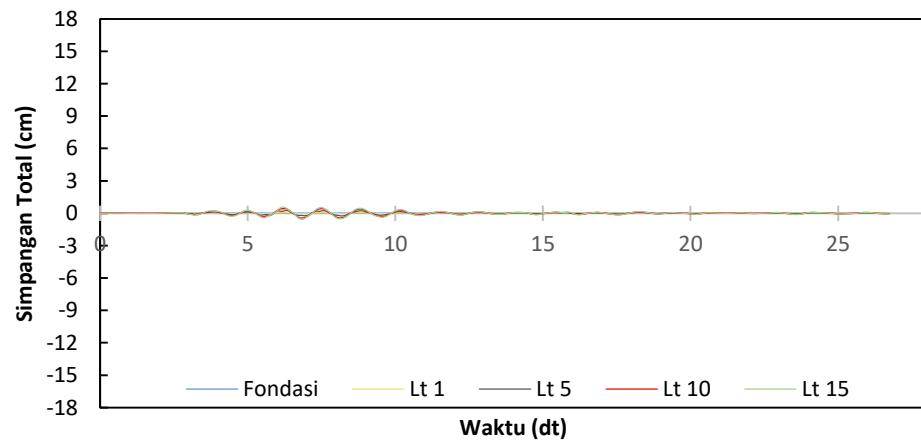
Gambar 5.107 Simpangan Total Arah X Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan X



a. Frekuensi Rendah

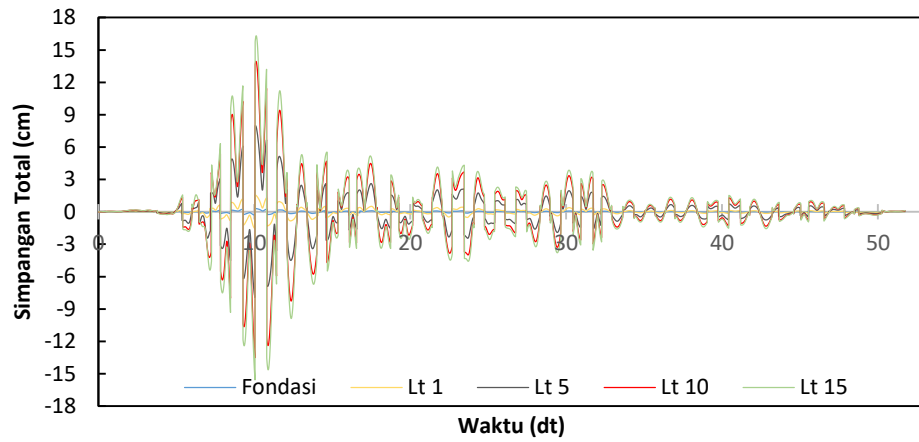


b. Frekuensi Sedang

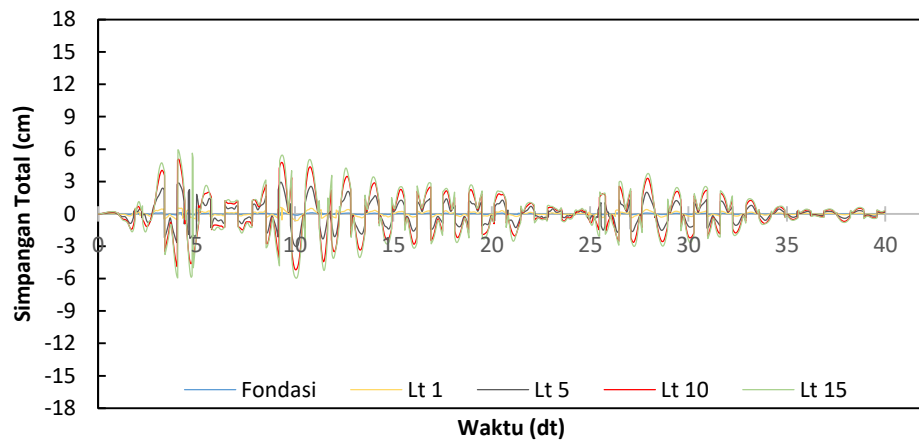


c. Frekuensi Tinggi

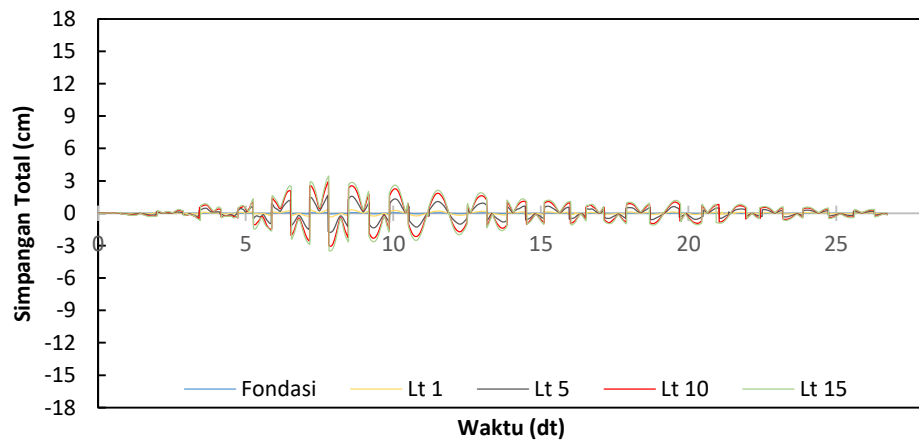
Gambar 5.108 Simpangan Total Arah Y Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan X



a. Frekuensi Rendah

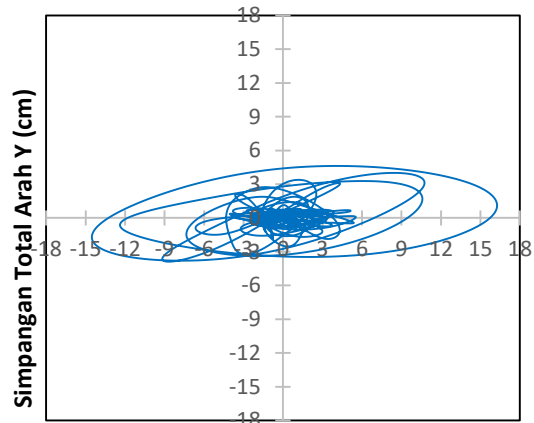


b. Frekuensi Sedang



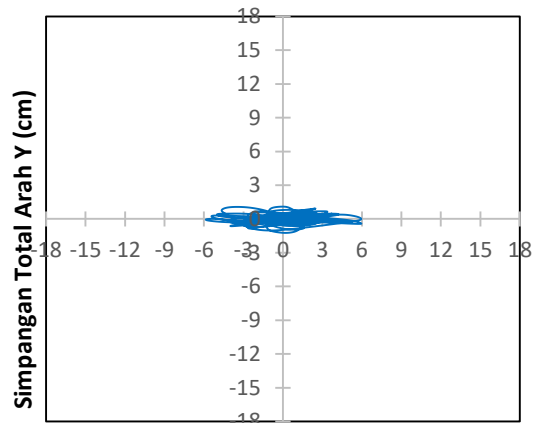
c. Frekuensi Tinggi

Gambar 5.109 Resultan Simpangan Total Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan X



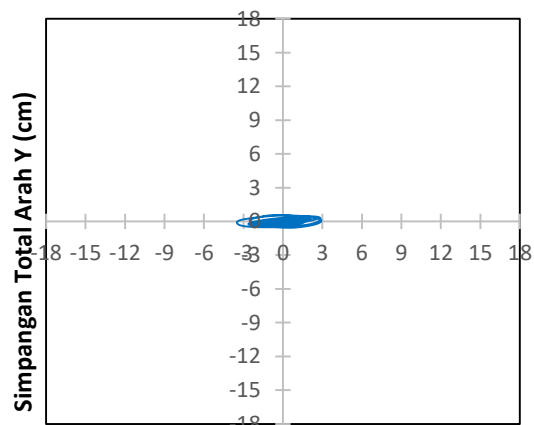
Simpangan Total Arah X (cm)

a. Frekuensi Rendah



Simpangan Total Arah X (cm)

b. Frekuensi Sedang



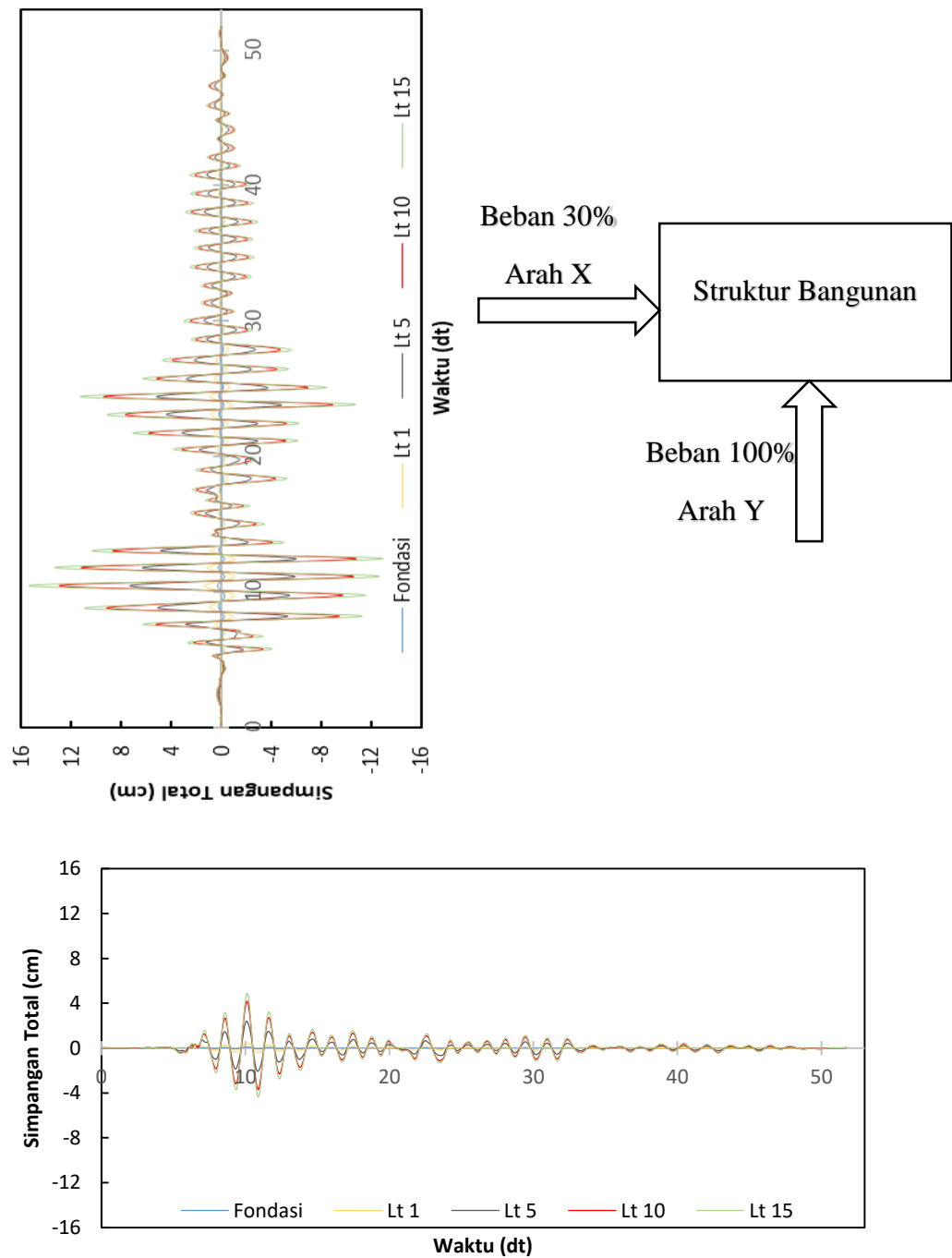
Simpangan Total Arah X (cm)

c. Frekuensi Tinggi

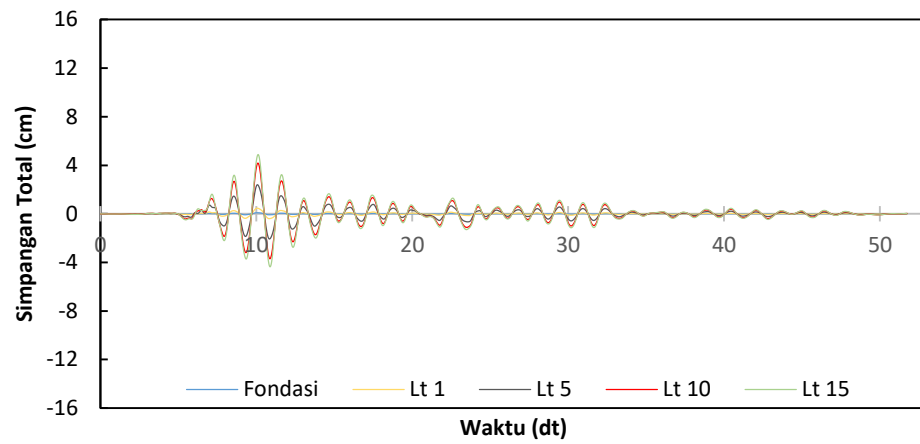
Gambar 5.110 Tampak Atas Simpangan Total Setiap Frek Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan X

b. Pembebanan Dominan Y

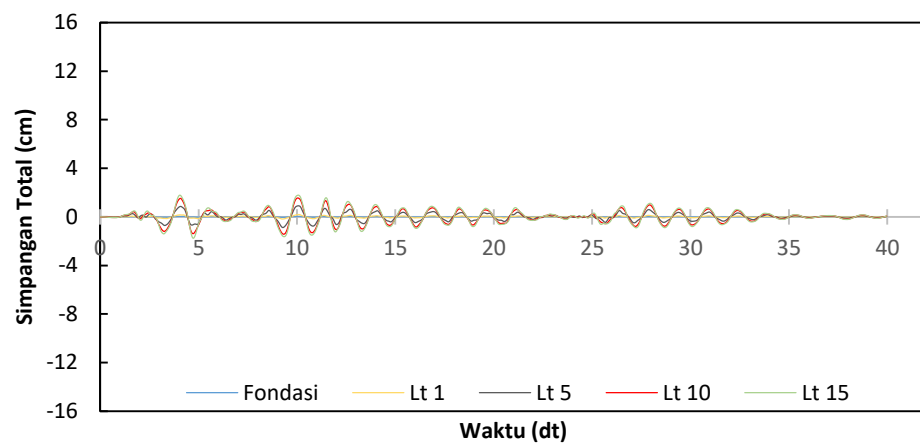
Adapun ilustrasi hasil analisis simpangan total pada pembebanan dominan y dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



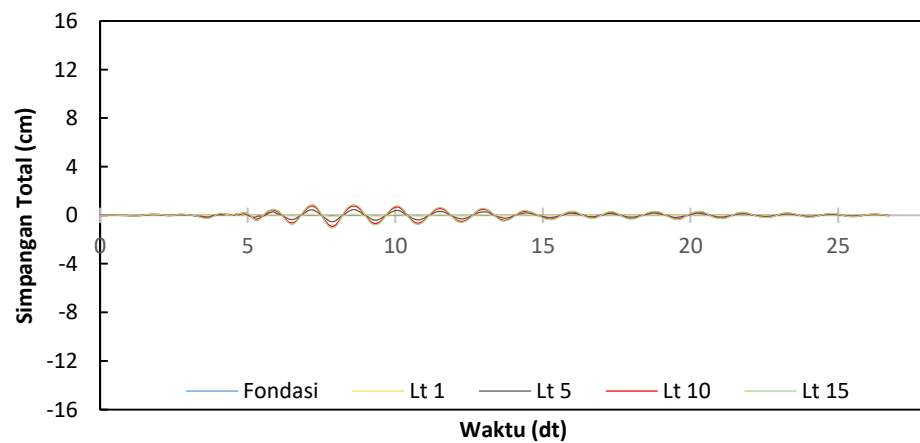
Gambar 5.111 Ilustrasi Simpangan Total Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan Y



a. Frekuensi Rendah

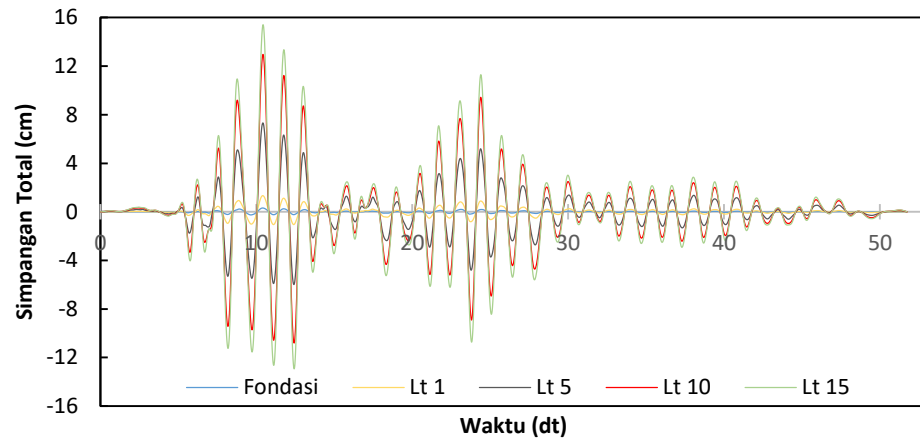


b. Frekuensi Sedang

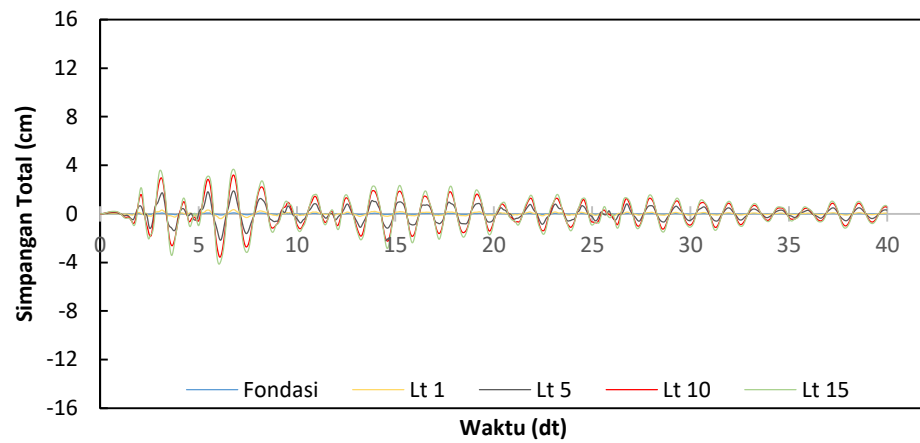


c. Frekuensi Tinggi

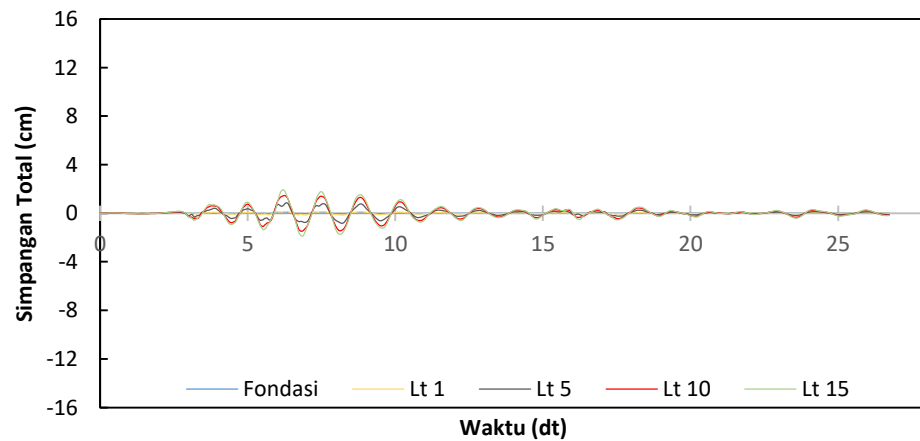
Gambar 5.112 Simpangan Total Arah X Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan Y



a. Frekuensi Rendah

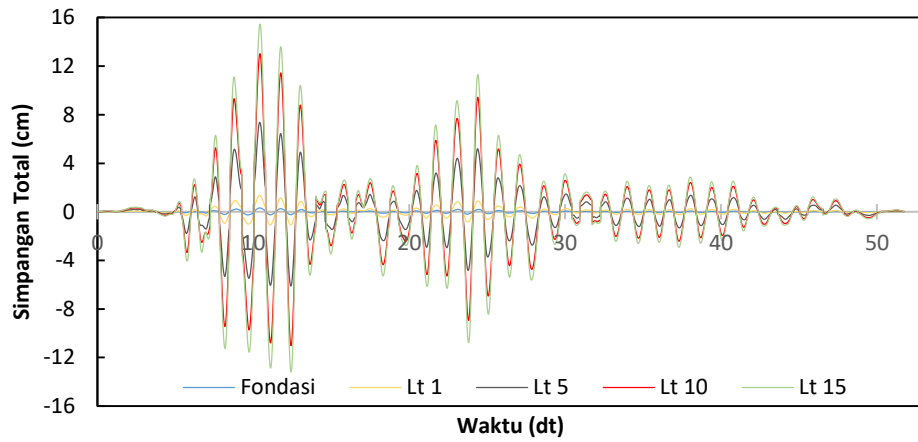


b. Frekuensi Sedang

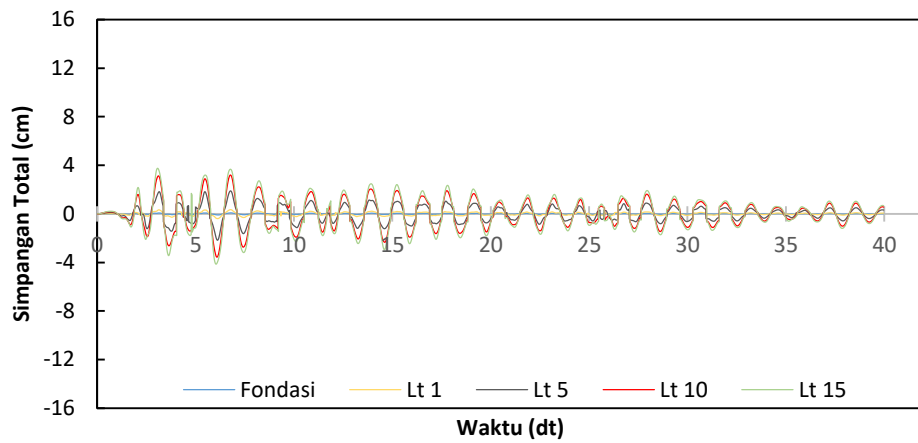


c. Frekuensi Tinggi

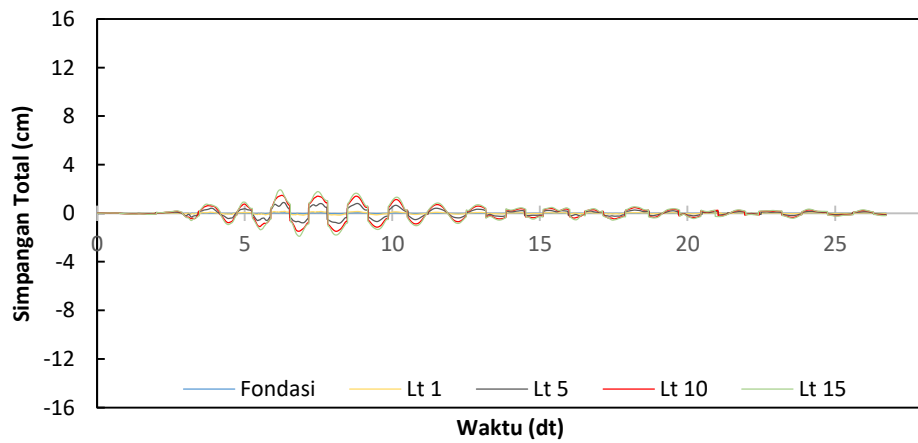
Gambar 5.113 Simpangan Total Arah Y Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan Y



a. Frekuensi Rendah

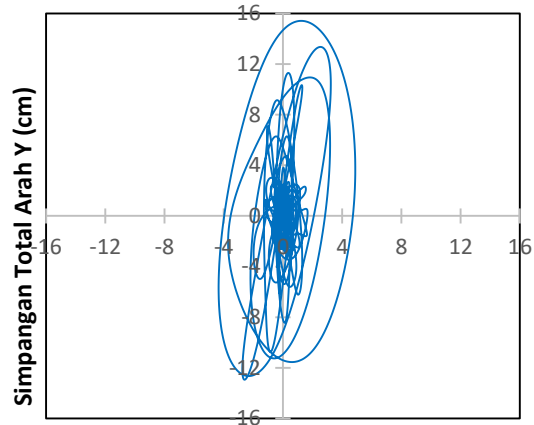


b. Frekuensi Sedang



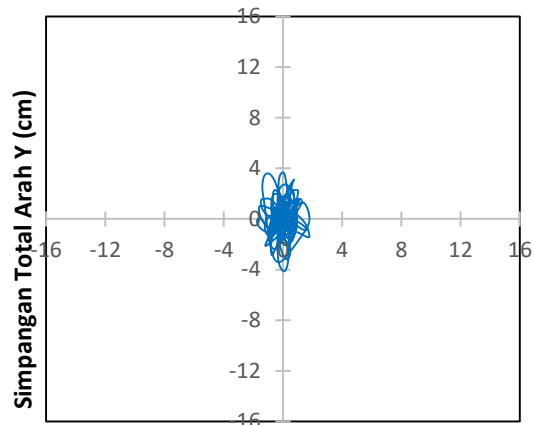
c. Frekuensi Tinggi

Gambar 5.114 Resultan Simpangan Total Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan Y



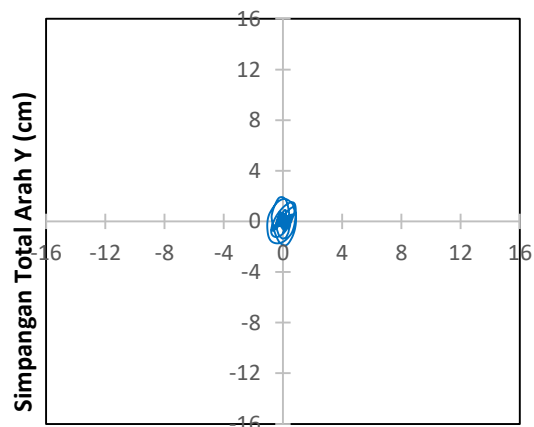
Simpangan Total Arah X (cm)

a. Frekuensi Rendah



Simpangan Total Arah X (cm)

b. Frekuensi Sedang



Simpangan Total Arah X (cm)

c. Frekuensi Tinggi

Gambar 5.115 Tampak Atas Simpangan Total Setiap Frek Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan Y

Tabel 5.50 Simp Total Maks Bang Dengan Rotasi Gempa Frek Rendah

Lantai	Dominan X (cm)		Dominan Y (cm)	
	Beban 100% X	Beban 30% Y	Beban 30% X	Beban 100% Y
15	16,2717	4,6233	4,8815	15,4111
14	16,1423	4,5633	4,8427	15,2111
13	15,8369	4,4592	4,7511	14,8640
12	15,3583	4,3113	4,6075	14,3711
11	14,7152	4,1208	4,4146	13,7359
10	13,9194	3,8892	4,1758	12,9638
9	12,9761	3,6188	3,8928	12,0627
8	11,9021	3,3113	3,5706	11,0375
7	10,7066	2,9694	3,2120	9,8980
6	9,3977	2,5965	2,8193	8,6549
5	7,9884	2,1961	2,3965	7,3204
4	6,4864	1,7723	1,9459	5,9076
3	4,9040	1,3295	1,4712	4,4316
2	3,2552	0,8708	0,9766	2,9028
1	1,5586	0,4003	0,4676	1,3345
0	0,3062	0,0950	0,0919	0,3167

Tabel 5.51 Simp Total Maks Bang Dengan Rotasi Gempa Frek Sedang

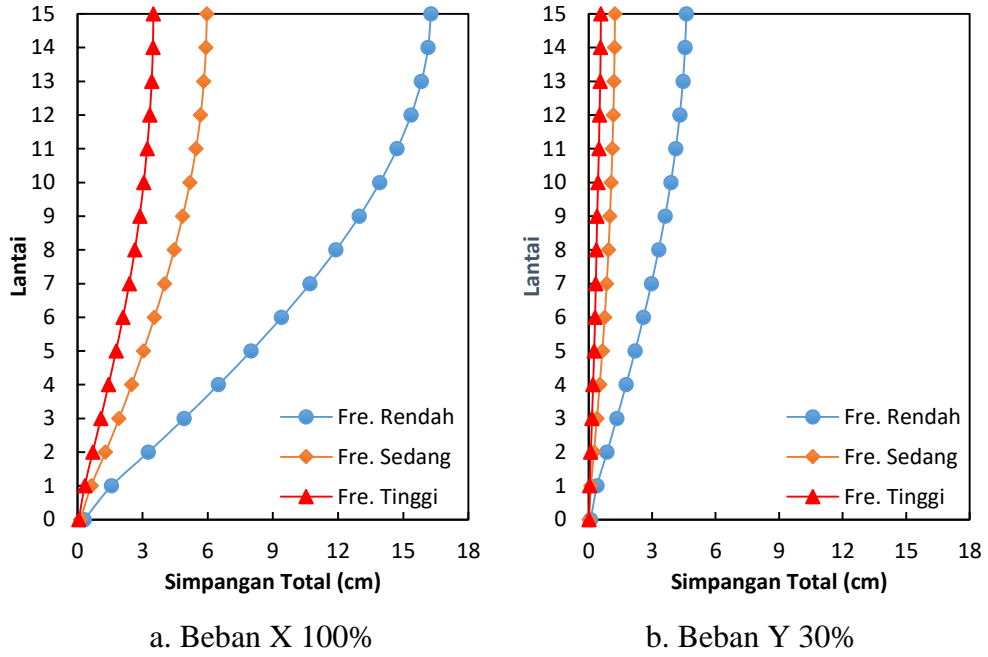
Lantai	Dominan X (cm)		Dominan Y (cm)	
	Beban 100% X	Beban 30% Y	Beban 30% X	Beban 100% Y
15	5,9499	1,2422	1,7850	4,1407
14	5,9099	1,2260	1,7730	4,0867
13	5,8151	1,1998	1,7445	3,9993
12	5,6648	1,1645	1,6994	3,8816
11	5,4516	1,1208	1,6355	3,7359
10	5,1757	1,0690	1,5527	3,5633
9	4,8390	1,0089	1,4517	3,3631
8	4,4493	0,9389	1,3348	3,1298
7	4,0156	0,8567	1,2047	2,8556
6	3,5409	0,7608	1,0623	2,5359
5	3,0303	0,6509	0,9091	2,1698
4	2,4879	0,5286	0,7464	1,7619
3	1,9082	0,3963	0,5724	1,3210
2	1,2866	0,2580	0,3860	0,8599
1	0,6278	0,1174	0,1884	0,3913
0	0,1301	0,0269	0,0390	0,0896

Tabel 5.52 Simp Total Maks Bang Dengan Rotasi Gempa Frek Tinggi

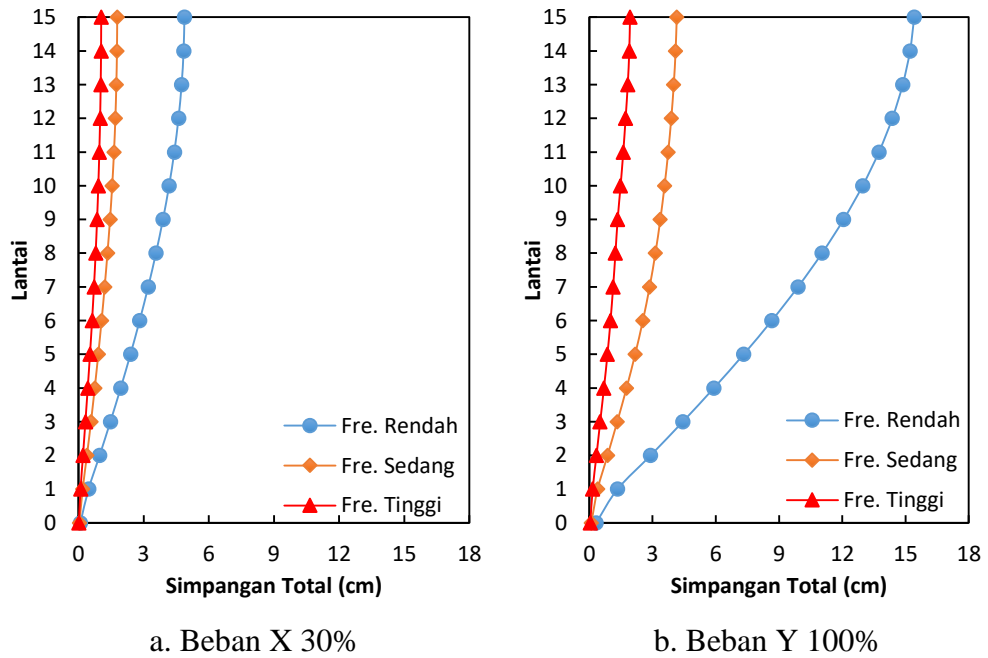
Lantai	Dominan X (cm)		Dominan Y (cm)	
	Beban 100% X	Beban 30% Y	Beban 30% X	Beban 100% Y
15	3,5008	0,5787	1,0503	1,9289
14	3,4769	0,5679	1,0431	1,8931
13	3,4209	0,5466	1,0263	1,8220
12	3,3322	0,5157	0,9997	1,7191
11	3,2095	0,4826	0,9628	1,6086
10	3,0554	0,4443	0,9166	1,4811
9	2,8680	0,4024	0,8604	1,3414
8	2,6452	0,3707	0,7936	1,2357
7	2,3889	0,3376	0,7167	1,1255
6	2,0979	0,3005	0,6294	1,0017
5	1,7782	0,2570	0,5335	0,8566
4	1,4340	0,2067	0,4302	0,6891
3	1,0743	0,1531	0,3223	0,5104
2	0,7062	0,1000	0,2119	0,3334
1	0,3330	0,0458	0,0999	0,1526
0	0,0624	0,0121	0,0187	0,0402

Tabel 5.53 Resultan Simpangan Total Maks Bangunan Dengan Rotasi

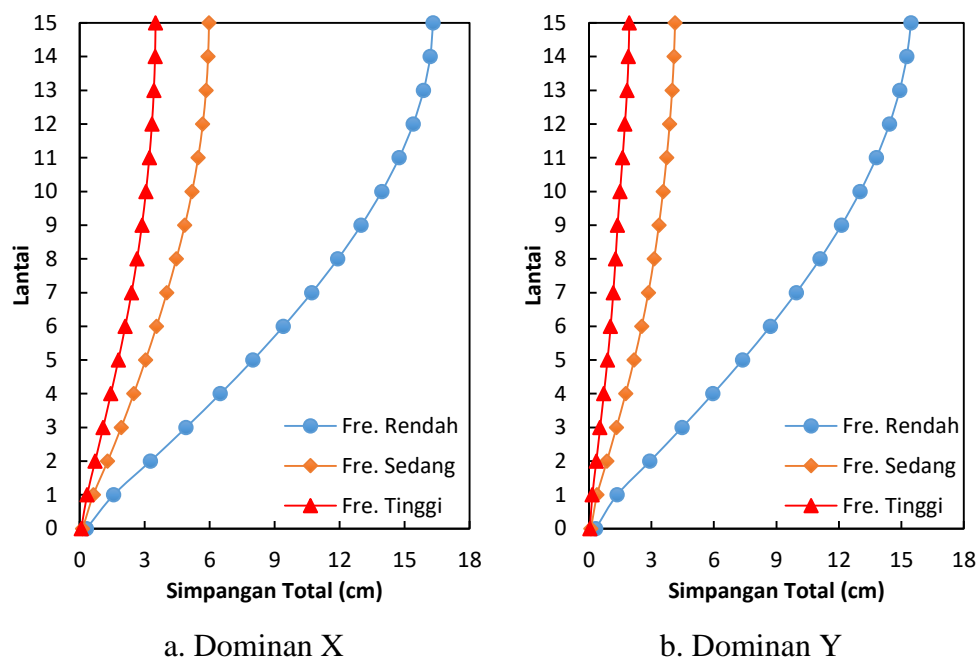
Lantai	Frekuensi Rendah		Frekuensi Sedang		Frekuensi Tinggi	
	Dom-X (cm)	Dom-Y (cm)	Dom-X (cm)	Dom-Y (cm)	Dom-X (cm)	Dom-Y (cm)
15	16,3101	15,4618	5,9638	4,1410	3,5021	1,9318
14	16,1786	15,2628	5,9235	4,0871	3,4781	1,8961
13	15,8714	14,9177	5,8281	3,9994	3,4229	1,8256
12	15,3919	14,4277	5,6764	3,8816	3,3343	1,7225
11	14,7445	13,7955	5,4617	3,7359	3,2118	1,6099
10	13,9410	13,0253	5,1848	3,5634	3,0584	1,4884
9	12,9935	12,1225	4,8471	3,3632	2,8710	1,3711
8	11,9146	11,0950	4,4563	3,1299	2,6481	1,2716
7	10,7134	9,9535	4,0218	2,8557	2,3911	1,1624
6	9,4018	8,7086	3,5463	2,5359	2,1000	1,0360
5	7,9912	7,3706	3,0350	2,1698	1,7796	0,8848
4	6,4873	5,9520	2,4918	1,7620	1,4352	0,7113
3	4,9048	4,4662	1,9110	1,3212	1,0752	0,5309
2	3,2557	2,9280	1,2884	0,8599	0,7068	0,3483
1	1,5587	1,3482	0,6285	0,3913	0,3332	0,1583
0	0,3063	0,3196	0,1303	0,0897	0,0627	0,0404



Gambar 5.116 Simpangan Total Maksimum Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan X



Gambar 5.117 Simpangan Total Maksimum Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan Y



Gambar 5.118 Resultan Simpangan Total Maksimum Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi

2. Simpangan Total Struktur Bangunan Tanpa Rotasi

Simpangan total struktur bangunan reguler tanpa rotasi dengan beban gempa frekuensi rendah, frekuensi sedang, dan frekuensi tinggi dan pada pembebanan dominan x dan dominan y dengan beban 100%, beban 30%, resultan simpangan total, dan tampak atas simpangan total (simpangan total lantai 15) dapat dilihat pada Gambar 5.119 s/d Gambar 5.128. Nilai-nilai maksimum simpangan total setiap lantai pada setiap frekuensi beban gempa dan arah pembebanan dapat dilihat pada Tabel 5.54 s/d Tabel 5.57 dan Gambar 5.129 s/d Gambar 5.131.

Hasil tabel dan gambar grafik tersebut menunjukkan bahwa simpangan total pada bangunan reguler tanpa rotasi (*fixed*) memiliki nilai yang mendekati bahkan sama dengan nilai simpangan nettonya. Hal ini dikarenakan pengaruh rotasi yang sangat kecil bahkan tidak ada pada bangunan reguler tanpa rotasi (*fixed*) sehingga pembahasan hasil simpangan total bangunan reguler tanpa rotasi (*fixed*) akan sama dengan pembahasan hasil simpangan netto-nya.

Simpangan total maksimum akan semakin besar pada lantai yang lebih tinggi pada setiap frekuensi beban gempa karena pada lantai yang lebih tinggi, nilai

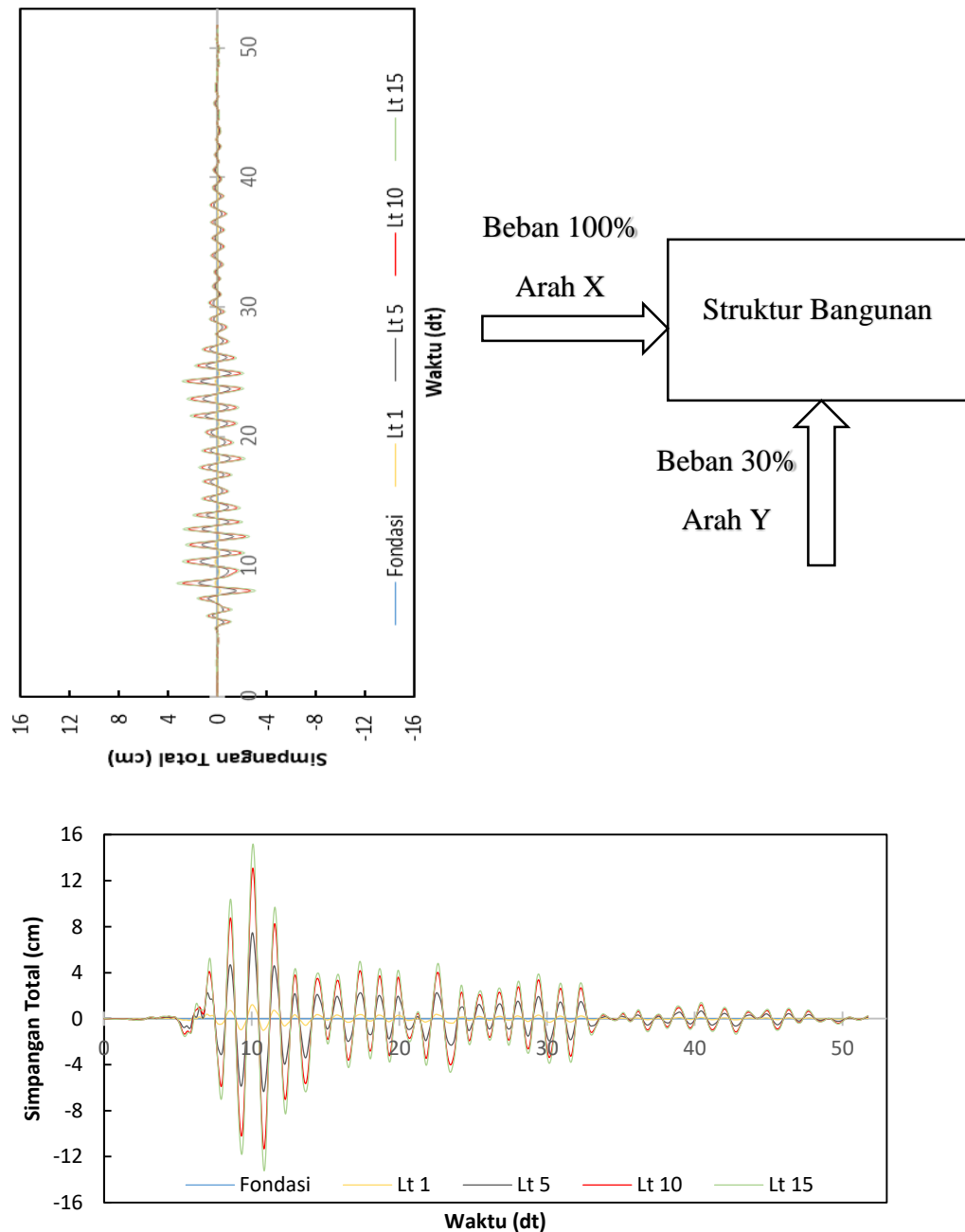
kekakuan semakin kecil dan tinggi lantai semakin besar sehingga simpangan netto dan simpangan total akan semakin besar dan tidak terjadi simpangan lantai dasar/fondasi karena tanah dapat menjepit fondasi dengan sempurna.

Gempa dengan frekuensi rendah (Gempa Duzce) menghasilkan simpangan total yang paling besar pada struktur baik pada pembebanan dominan x maupun pembebanan dominan y, sedangkan gempa dengan frekuensi tinggi (Gempa Manjil) menghasilkan simpangan total yang paling kecil dan gempa dengan frekuensi sedang (Gempa EL-Centro 1940) berada diantaranya. Hal ini dikarenakan struktur bangunan tinggi bersifat fleksibel sehingga akan mempunyai frekuensi sudut (ω) dan frekuensi natural (f) yang rendah dan menyebabkan bangunan akan bergetar pada frekuensi rendah atau berasosiasi dengan baik dengan gempa frekuensi rendah.

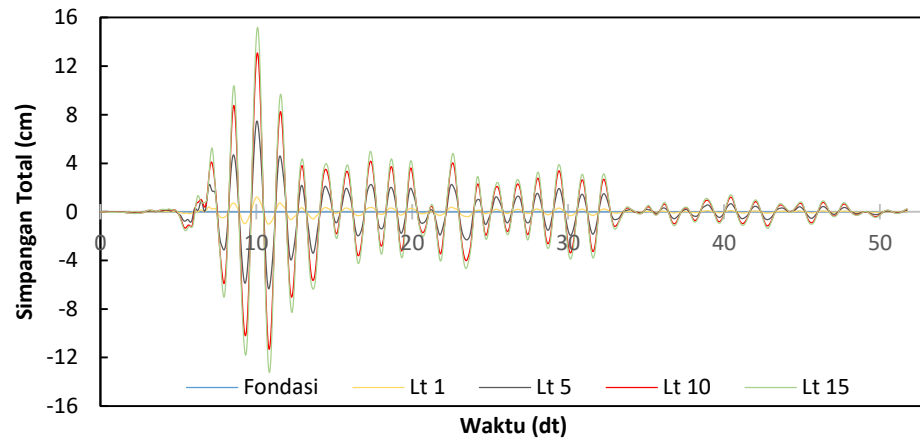
Resultan simpangan total akibat pembebanan dominan x lebih besar dari resultan simpangan total akibat pembebanan dominan y pada setiap frekuensi beban gempa. Hal ini dikarenakan simpangan total pada bangunan reguler tanpa rotasi (*fixed*) memiliki nilai yang sama dengan simpangan netto-nya sehingga memiliki pembahasan yang sama dengan simpangan netto. Penyebab yang lain adalah walaupun bangunan berbentuk pipih pada arah y, tetapi kekakuan struktur arah x lebih kecil dari kekakuan struktur arah y akibat inersia kolom arah x lebih kecil dibandingkan dengan inersia kolom arah y serta kekakuan balok arah x yang mengekang kolom lebih kecil dari kekakuan balok arah y yang mengekang kolom.

a. Pembebanan Dominan X

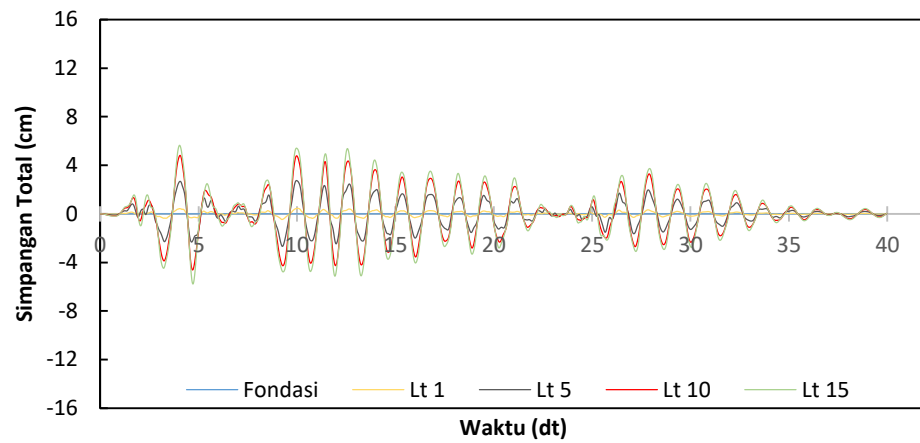
Adapun ilustrasi hasil analisis simpangan total pada pembebanan dominan x dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



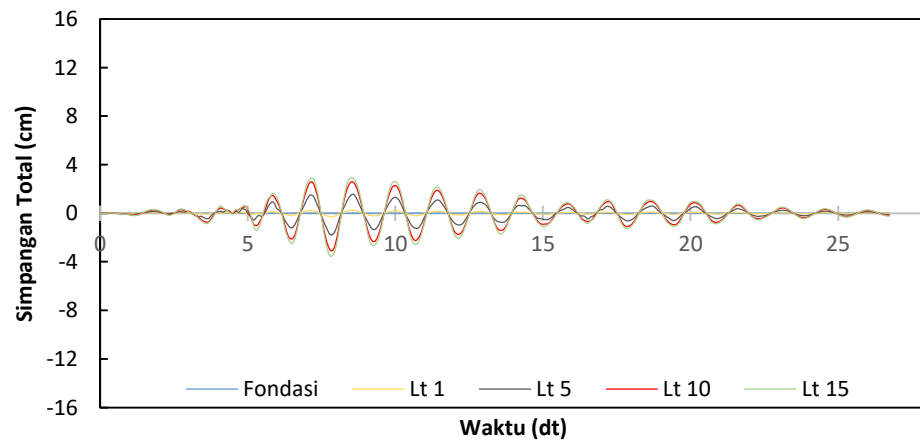
Gambar 5.119 Ilustrasi Simpangan Total Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan X



a. Frekuensi Rendah

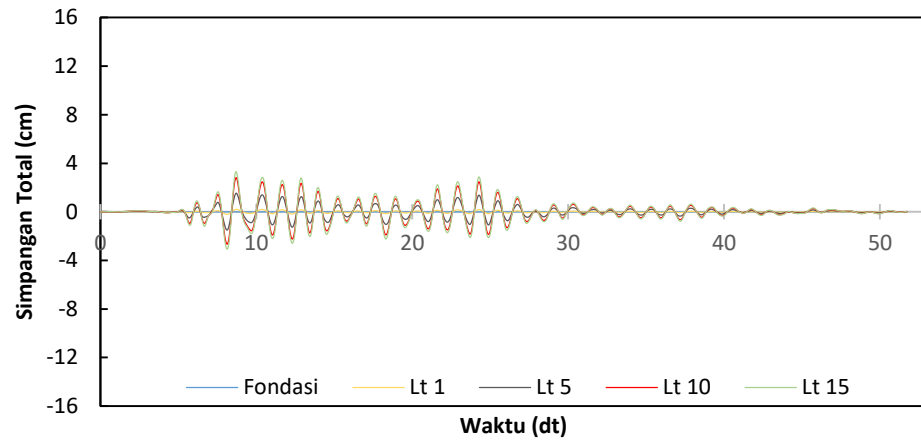


b. Frekuensi Sedang

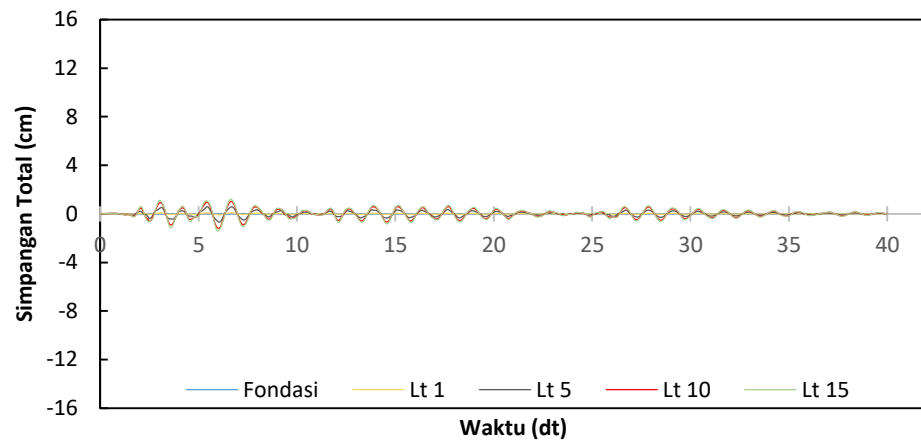


c. Frekuensi Tinggi

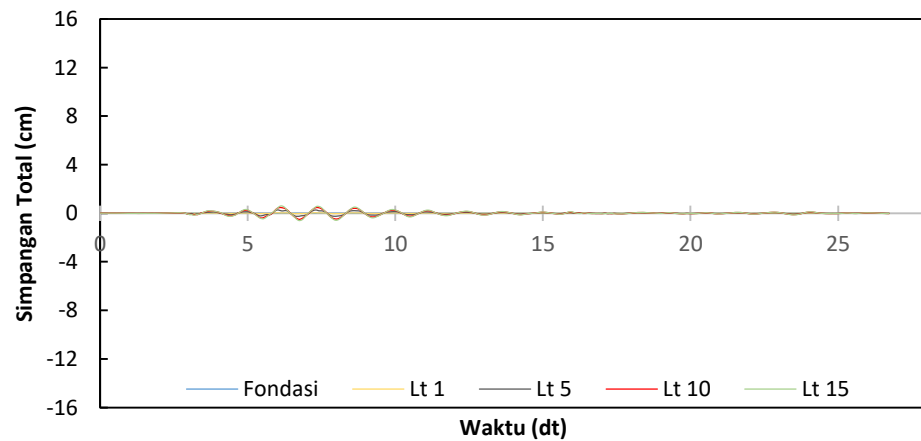
Gambar 5.120 Simpangan Total Arah X Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan X



a. Frekuensi Rendah

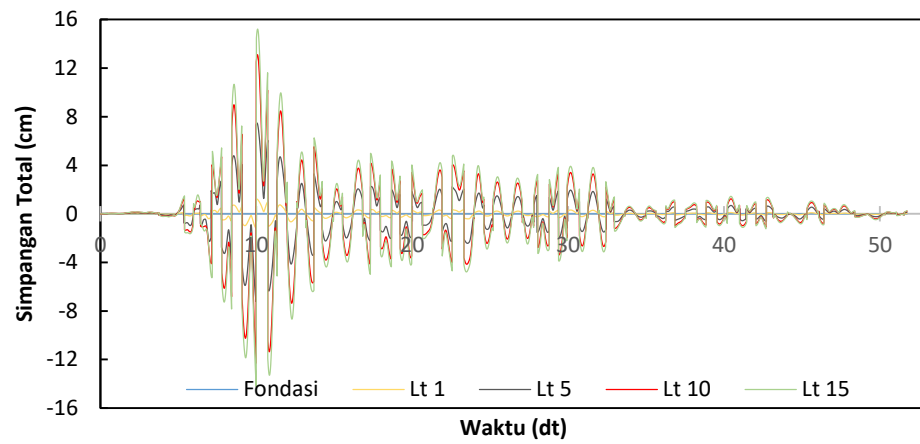


b. Frekuensi Sedang

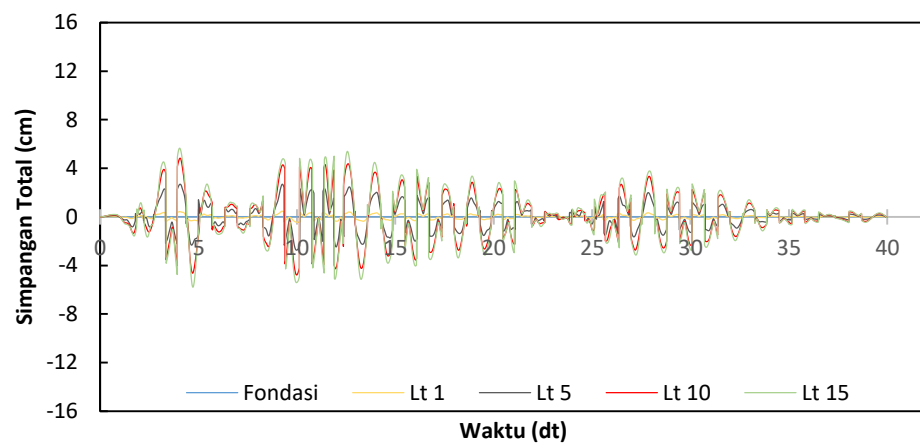


c. Frekuensi Tinggi

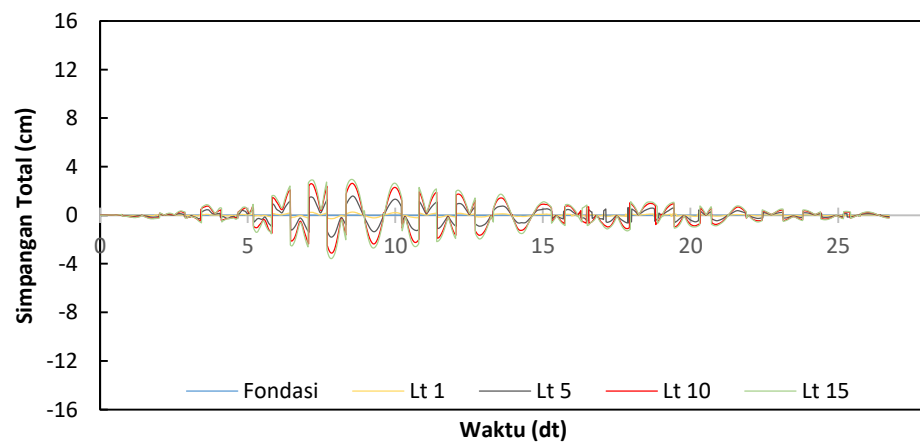
Gambar 5.121 Simpangan Total Arah Y Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan X



a. Frekuensi Rendah

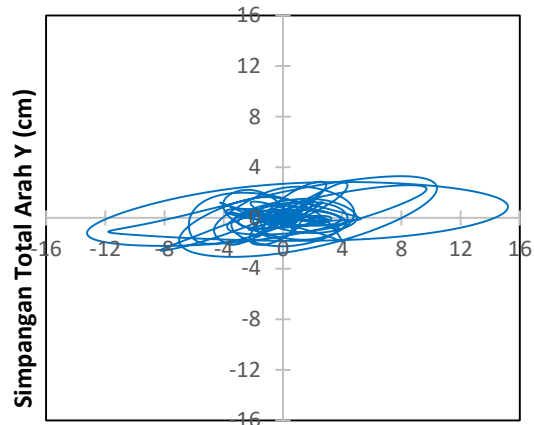


b. Frekuensi Sedang



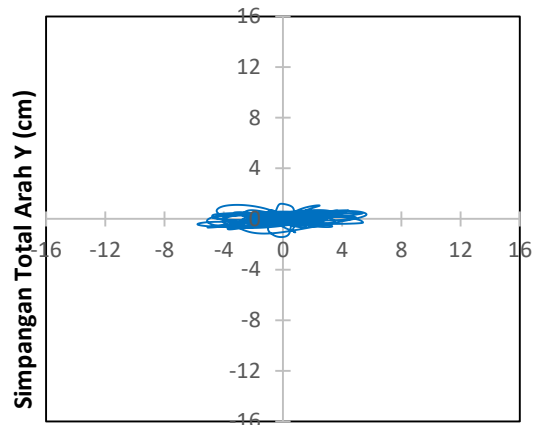
c. Frekuensi Tinggi

Gambar 5.122 Resultan Simpangan Total Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan X



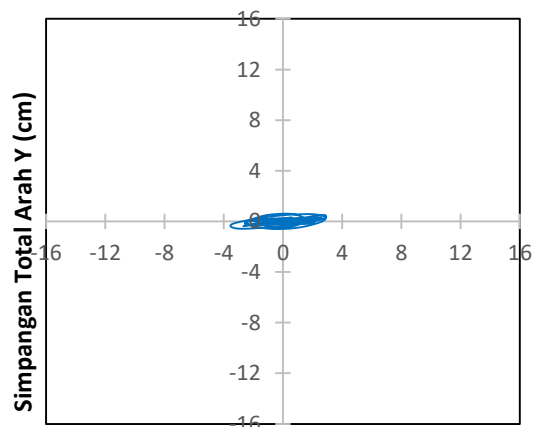
Simpangan Total Arah X (cm)

a. Frekuensi Rendah



Simpangan Total Arah X (cm)

b. Frekuensi Sedang



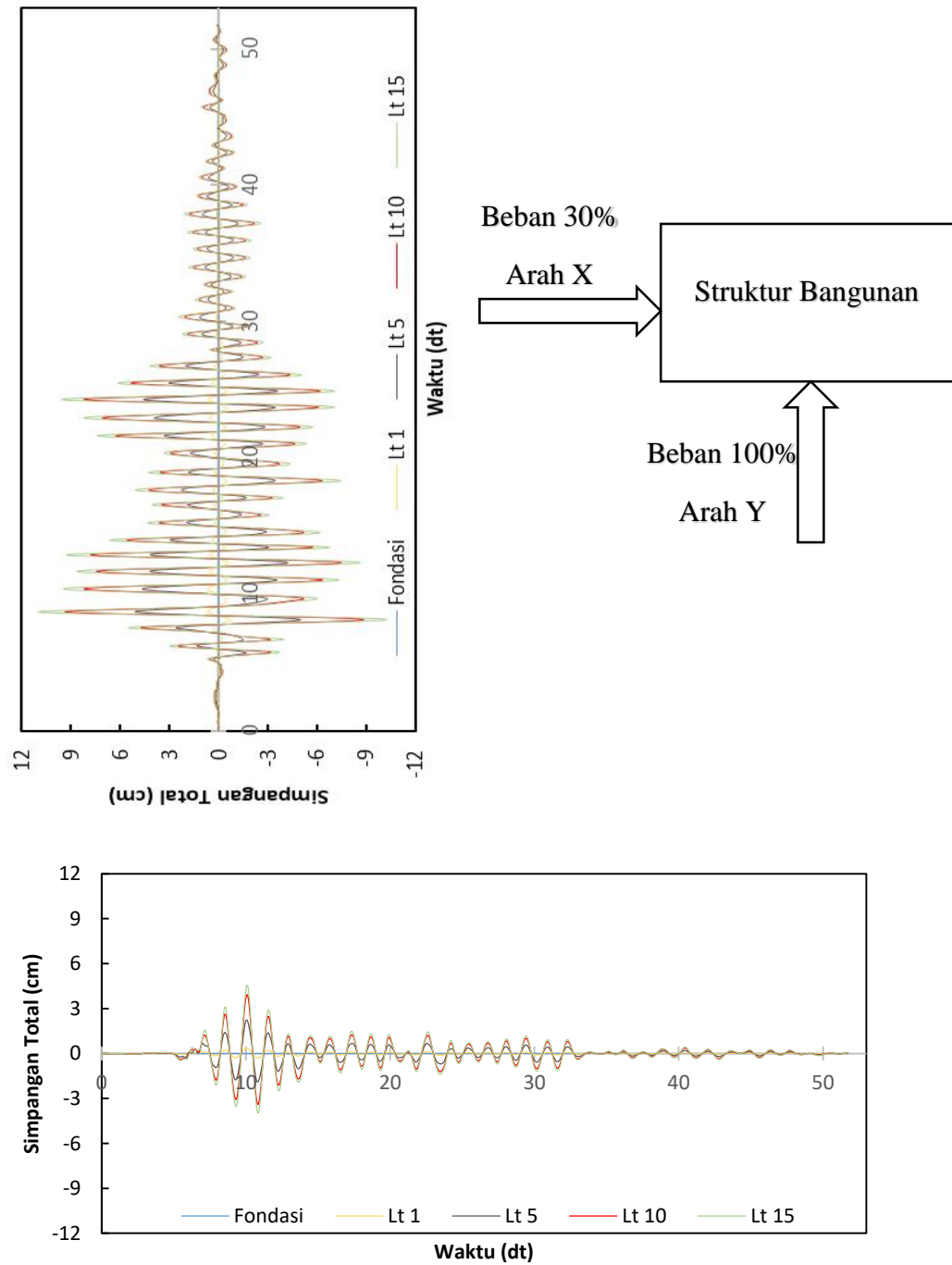
Simpangan Total Arah X (cm)

c. Frekuensi Tinggi

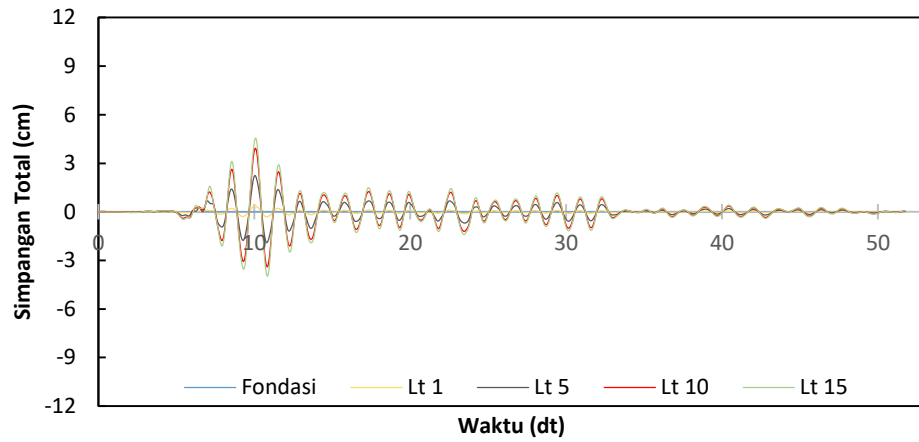
Gambar 5.123 Tampak Atas Simpangan Total Setiap Frek Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan X

b. Pembebanan Dominan Y

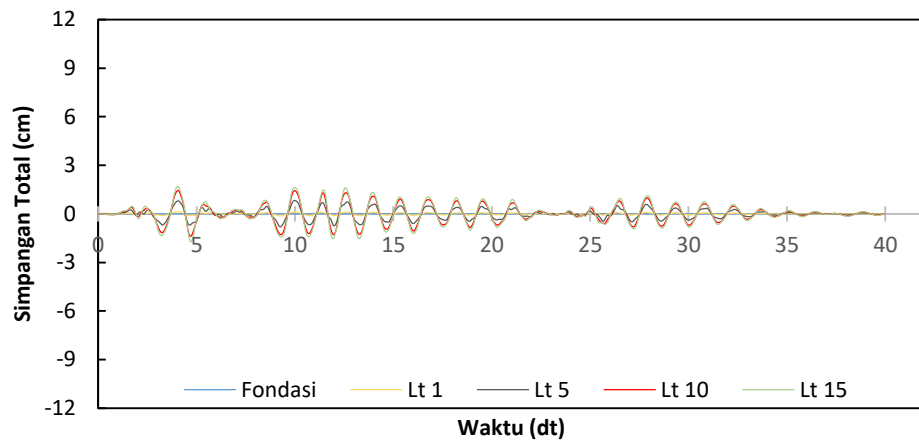
Adapun ilustrasi hasil analisis simpangan total pada pembebanan dominan y dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



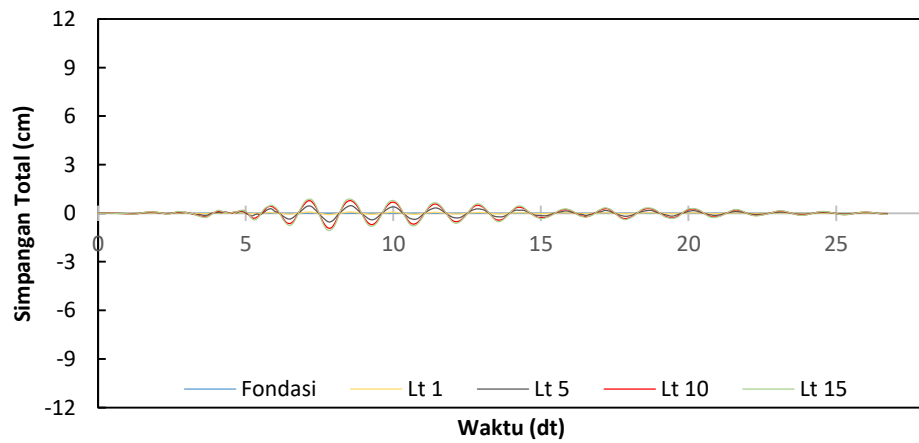
Gambar 5.124 Ilustrasi Simpangan Total Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan Y



a. Frekuensi Rendah

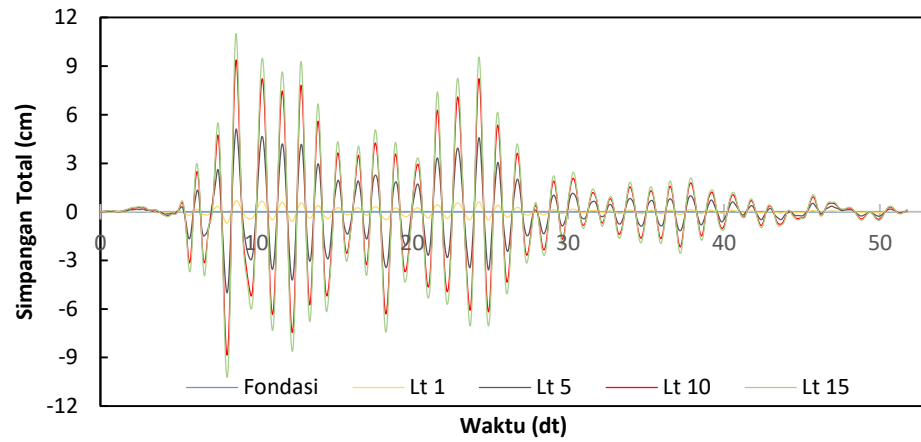


b. Frekuensi Sedang

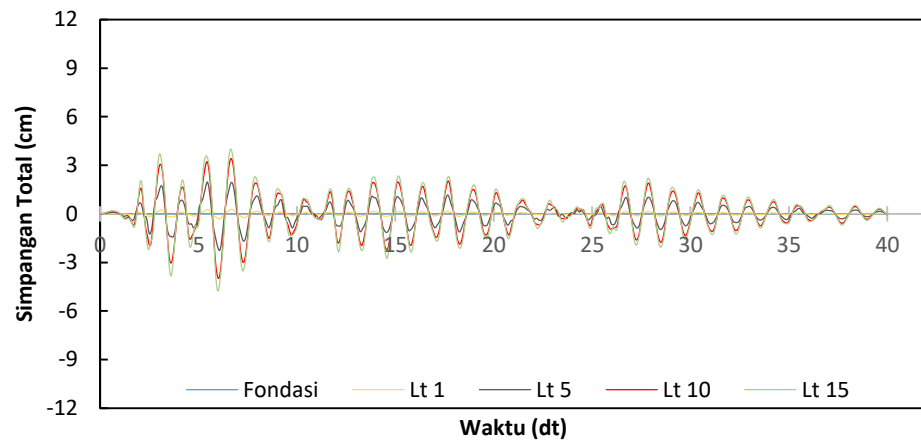


c. Frekuensi Tinggi

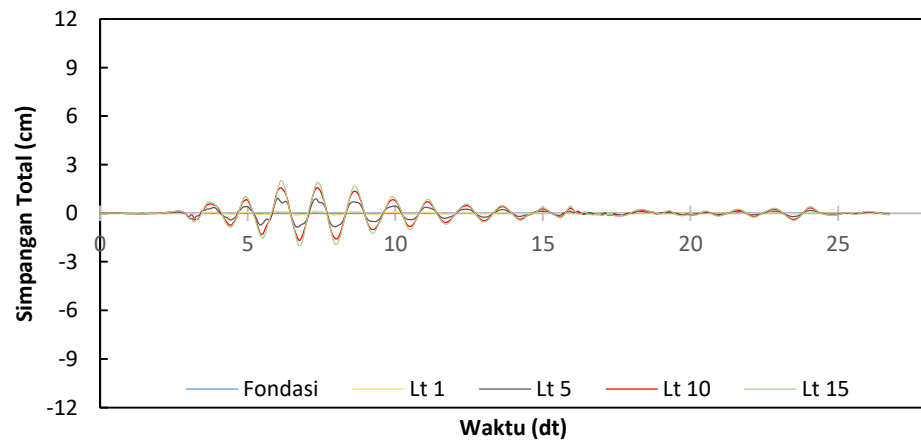
Gambar 5.125 Simpangan Total Arah X Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan Y



a. Frekuensi Rendah

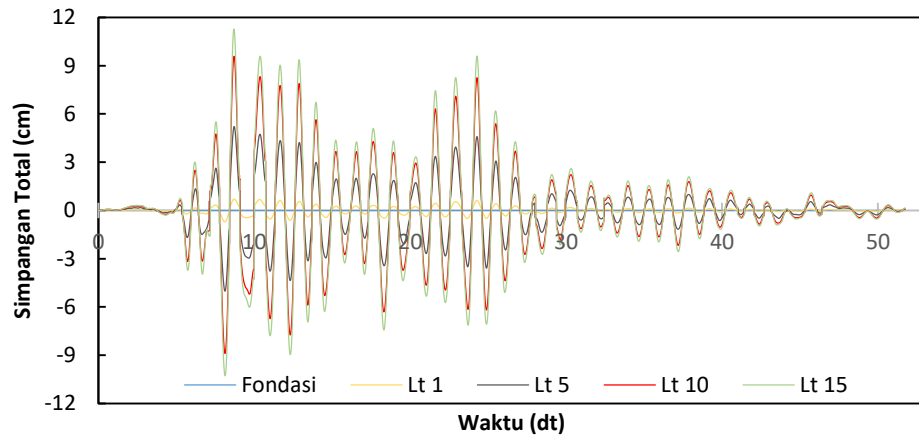


b. Frekuensi Sedang

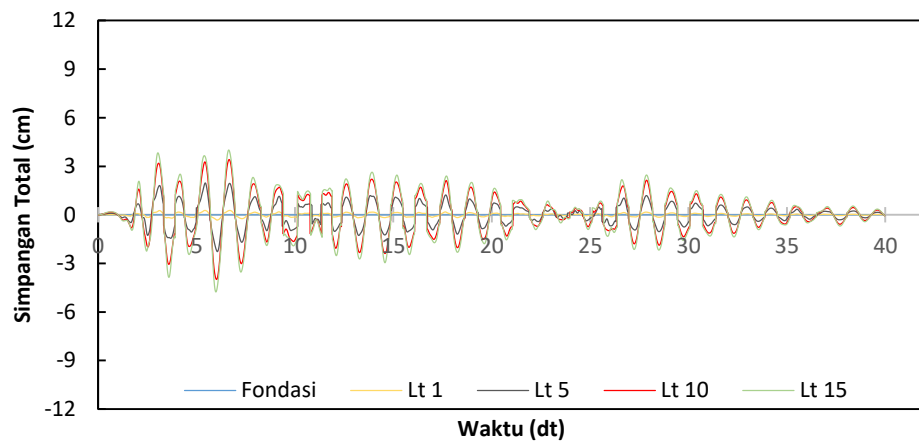


c. Frekuensi Tinggi

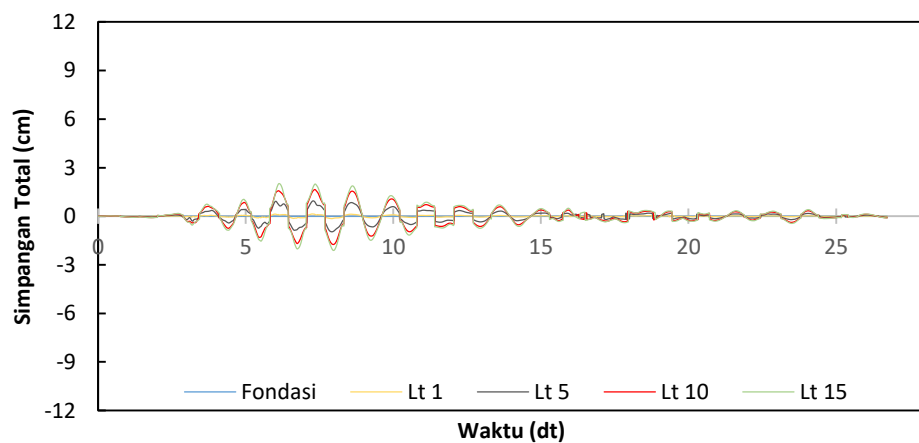
Gambar 5.126 Simpangan Total Arah Y Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan Y



a. Frekuensi Rendah

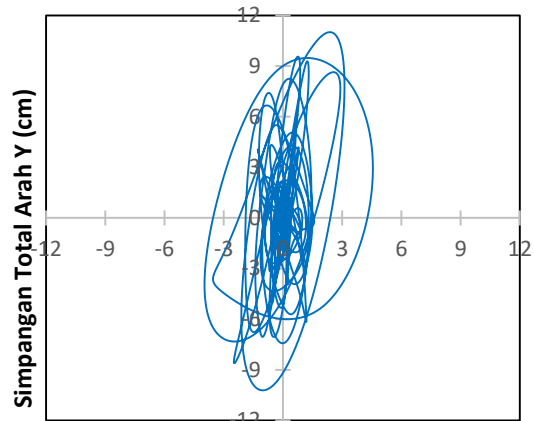


b. Frekuensi Sedang



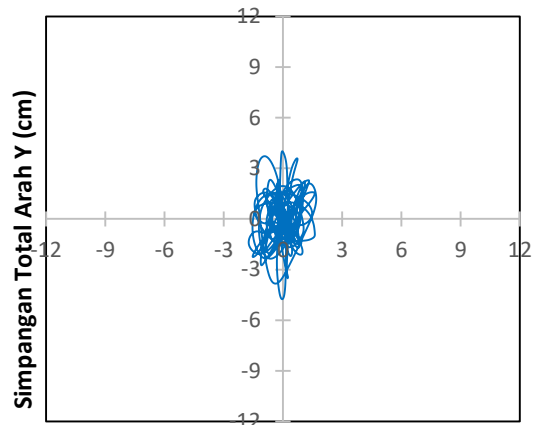
c. Frekuensi Tinggi

Gambar 5.127 Resultan Simpangan Total Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan Y



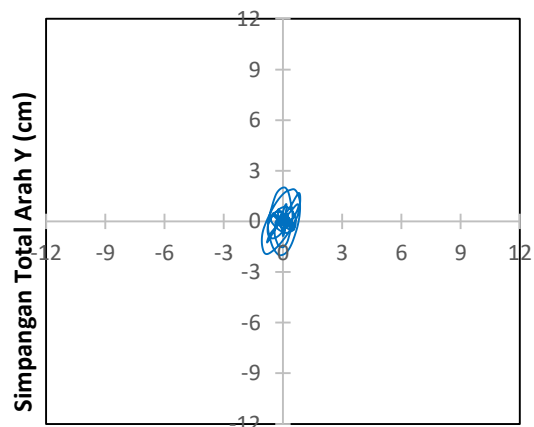
Simpangan Total Arah X (cm)

a. Frekuensi Rendah



Simpangan Total Arah X (cm)

b. Frekuensi Sedang



Simpangan Total Arah X (cm)

c. Frekuensi Tinggi

Gambar 5.128 Tampak Atas Simpangan Total Setiap Frek Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan Y

Tabel 5.54 Simp Total Maks Bang Tanpa Rotasi Gempa Frek Rendah

Lantai	Dominan X (cm)		Dominan Y (cm)	
	Beban 100% X	Beban 30% Y	Beban 30% X	Beban 100% Y
15	15,1872	3,3041	4,5561	11,0135
14	15,0911	3,2812	4,5273	10,9373
13	14,8281	3,2192	4,4484	10,7308
12	14,4037	3,1196	4,3211	10,3987
11	13,8207	2,9837	4,1462	9,9458
10	13,0857	2,8137	3,9257	9,3790
9	12,2146	2,6116	3,6644	8,7054
8	11,2072	2,3804	3,3622	7,9345
7	10,0777	2,1221	3,0233	7,0737
6	8,8305	1,8391	2,6492	6,1303
5	7,4743	1,5351	2,2423	5,1169
4	6,0210	1,2146	1,8063	4,0485
3	4,4825	0,8825	1,3447	2,9418
2	2,8745	0,5491	0,8624	1,8302
1	1,2172	0,2097	0,3651	0,6989
0	0	0	0	0

Tabel 5.55 Simp Total Maks Bang Tanpa Rotasi Gempa Frek Sedang

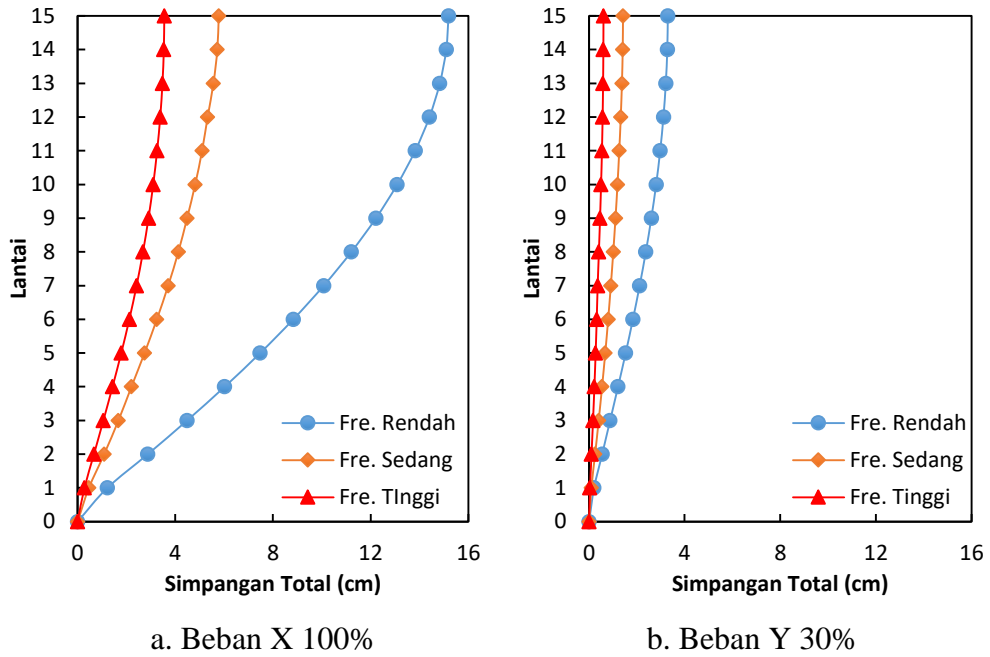
Lantai	Dominan X (cm)		Dominan Y (cm)	
	Beban 100% X	Beban 30% Y	Beban 30% X	Beban 100% Y
15	5,7761	1,4281	1,7328	4,7603
14	5,7179	1,4159	1,7154	4,7195
13	5,5604	1,3829	1,6681	4,6096
12	5,3220	1,3333	1,5966	4,4443
11	5,0946	1,2701	1,5284	4,2338
10	4,8126	1,1958	1,4438	3,9861
9	4,4817	1,1117	1,3445	3,7058
8	4,1234	1,0184	1,2370	3,3947
7	3,7082	0,9156	1,1125	3,0519
6	3,2441	0,8034	0,9732	2,6779
5	2,7404	0,6804	0,8221	2,2679
4	2,2034	0,5472	0,6610	1,8241
3	1,6724	0,4045	0,5017	1,3485
2	1,0872	0,2535	0,3262	0,8452
1	0,4637	0,0968	0,1391	0,3225
0	0	0	0	0

Tabel 5.56 Simp Total Maks Bang Tanpa Rotasi Gempa Frek Tinggi

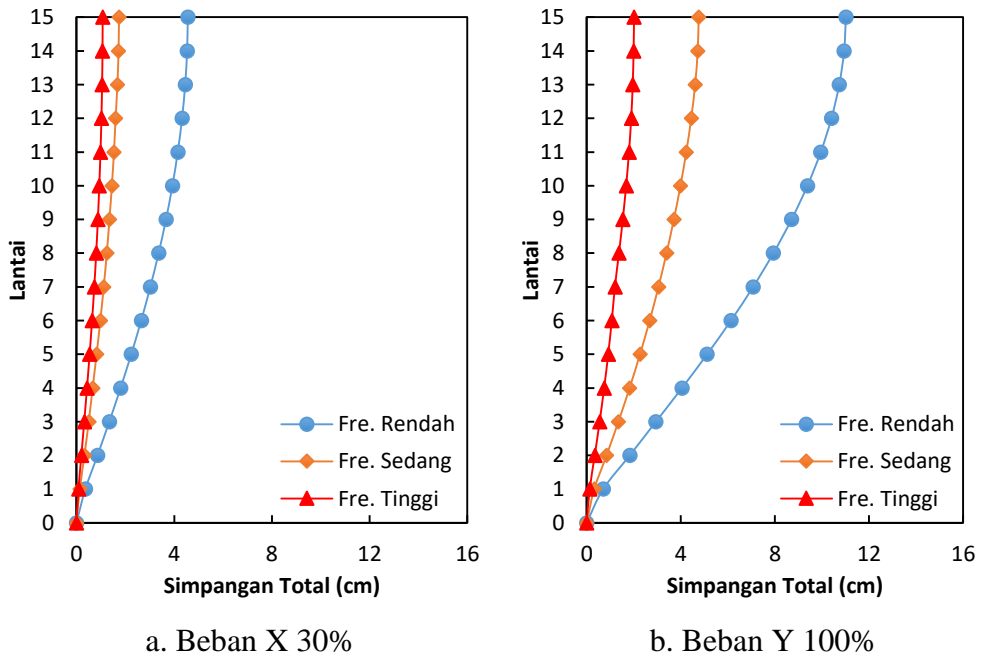
Lantai	Dominan X (cm)		Dominan Y (cm)	
	Beban 100% X	Beban 30% Y	Beban 30% X	Beban 100% Y
15	3,5526	0,6048	1,0658	2,0161
14	3,5325	0,5995	1,0598	1,9984
13	3,4766	0,5881	1,0430	1,9603
12	3,3856	0,5687	1,0157	1,8956
11	3,2578	0,5406	0,9773	1,8022
10	3,0977	0,5042	0,9293	1,6806
9	2,9052	0,4613	0,8716	1,5377
8	2,6791	0,4126	0,8037	1,3753
7	2,4171	0,3610	0,7251	1,2034
6	2,1192	0,3211	0,6358	1,0704
5	1,7892	0,2753	0,5368	0,9177
4	1,4318	0,2235	0,4295	0,7451
3	1,0563	0,1658	0,3169	0,5526
2	0,6715	0,1036	0,2015	0,3452
1	0,2824	0,0391	0,0847	0,1304
0	0	0	0	0

Tabel 5.57 Resultan Simpangan Total Maks Bangunan Tanpa Rotasi

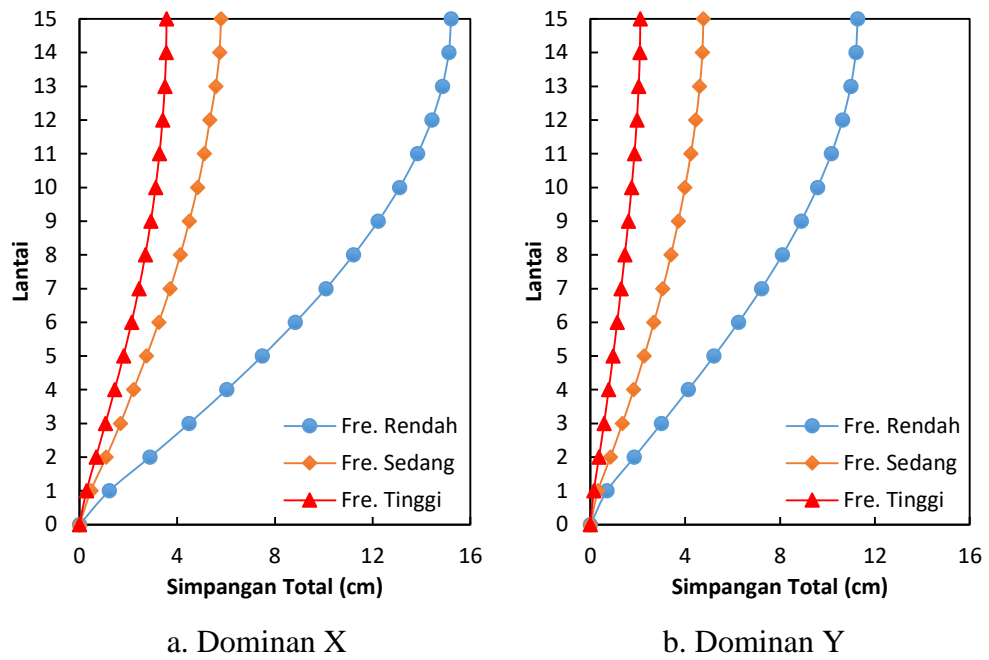
Lantai	Frekuensi Rendah		Frekuensi Sedang		Frekuensi Tinggi	
	Dom-X (cm)	Dom-Y (cm)	Dom-X (cm)	Dom-Y (cm)	Dom-X (cm)	Dom-Y (cm)
15	15,2151	11,2769	5,7914	4,7605	3,5690	2,1121
14	15,1189	11,1986	5,7332	4,7197	3,5493	2,0937
13	14,8541	10,9844	5,5758	4,6098	3,4951	2,0441
12	14,4248	10,6382	5,3358	4,4447	3,4042	1,9661
11	13,8412	10,1672	5,1097	4,2345	3,2778	1,8644
10	13,1045	9,5807	4,8290	3,9871	3,1180	1,7442
9	12,2288	8,8910	4,4953	3,7071	2,9250	1,6083
8	11,2181	8,1001	4,1270	3,3960	2,6979	1,4596
7	10,0868	7,2167	3,7111	3,0533	2,4345	1,3004
6	8,8365	6,2514	3,2462	2,6790	2,1342	1,1341
5	7,4796	5,2166	2,7418	2,2689	1,8015	0,9603
4	6,0241	4,1271	2,2089	1,8248	1,4417	0,7752
3	4,4849	2,9995	1,6760	1,3490	1,0635	0,5772
2	2,8761	1,8514	1,0898	0,8455	0,6763	0,3673
1	1,2176	0,7027	0,4644	0,3227	0,2840	0,1462
0	0	0	0	0	0	0



Gambar 5.129 Simpangan Total Maksimum Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan X



Gambar 5.130 Simpangan Total Maksimum Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan Y



Gambar 5.131 Resultan Simpangan Total Maksimum Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi

3. Perbandingan Simpangan Total Bangunan Dengan Rotasi dan Bangunan Tanpa Rotasi

Perbandingan simpangan total struktur bangunan reguler dengan rotasi dan tanpa rotasi dengan beban gempa frekuensi rendah, frekuensi sedang, dan frekuensi tinggi dan pada pembebanan dominan x dan dominan y disajikan dalam bentuk nilai-nilai maksimum setiap lantai yang dapat dilihat pada Tabel 5.58 s/d Tabel 5.66 dan Gambar 5.132 s/d Gambar 5.140.

Hasil tabel dan gambar grafik tersebut menunjukkan bahwa simpangan total pada lantai dasar/fondasi pada bangunan tanpa rotasi (*fixed*) sangat kecil atau bahkan tidak terjadi simpangan, sedangkan pada bangunan dengan rotasi akan terjadi simpangan pada lantai dasar/fondasi. Hal ini dikarenakan pada struktur bangunan tanpa rotasi (*fixed*), tanah akan menjepit fondasi dengan sempurna sehingga fondasi tidak akan mengalami perpindahan, sedangkan pada struktur bangunan dengan rotasi, tanah tidak menjepit fondasi dengan sempurna sehingga fondasi dapat mengalami perpindahan.

Gempa dengan frekuensi rendah (Gempa Duzce) menghasilkan simpangan total pada bangunan reguler dengan rotasi lebih besar daripada bangunan reguler tanpa rotasi (*fixed*) baik pada pembebanan dominan x maupun pembebanan dominan y.

Gempa dengan frekuensi sedang (Gempa EL-Centro 1940) menghasilkan respon yang beragam. Beban gempa arah x (EW) pada pembebanan dominan x dan resultan dominan x menghasilkan simpangan total pada bangunan reguler dengan rotasi lebih besar daripada bangunan reguler tanpa rotasi (*fixed*). Beban gempa arah x (EW) pada pembebanan dominan y menghasilkan simpangan total pada bangunan reguler dengan rotasi lebih besar daripada bangunan reguler tanpa rotasi (*fixed*), tetapi hanya terjadi pada lantai 1-4 dan terjadi sebaliknya pada lantai 5-15. Selanjutnya, beban gempa arah y (NS) pada pembebanan dominan x, dominan y, dan resultan dominan y menghasilkan simpangan total pada bangunan reguler tanpa rotasi (*fixed*) lebih besar daripada bangunan reguler dengan rotasi.

Gempa dengan frekuensi tinggi (Gempa Manjil) menghasilkan simpangan total pada bangunan reguler tanpa rotasi (*fixed*) lebih besar daripada bangunan reguler dengan rotasi baik pada pembebanan dominan x maupun pembebanan dominan y.

Hasil di atas menunjukkan bahwa pengaruh simpangan netto terhadap simpangan total sangat besar dibandingkan pengaruh simpangan rotasi. Hal ini terjadi karena pada struktur portal, pengaruh rotasi sangat kecil sehingga perilaku simpangan total akan mengikuti simpangan netto nya. Selanjutnya, penyebab yang lain adalah dengan diperhitungkannya sistem *soil-foundation*, maka frekuensi sudut (ω) dan frekuensi natural (f) struktur bangunan akan semakin rendah nilainya karena kekakuan sistem struktur yang semakin rendah akibat tanah tidak lagi menjepit fondasi dengan sempurna sehingga pada gempa dengan frekuensi rendah (Gempa Duzce), bangunan reguler dengan rotasi akan berasosiasi lebih baik dengan beban gempa daripada bangunan reguler tanpa rotasi (*fixed*) dan berlaku sebaliknya pada gempa dengan frekuensi tinggi (Gempa Manjil), bangunan tanpa rotasi (*fixed*) akan berasosiasi lebih baik dengan beban gempa daripada bangunan dengan rotasi. Gempa dengan frekuensi sedang (Gempa EL-Centro 1940) menghasilkan respon yang beragam akibat *A/V ratio* yang terlampaui jauh antara beban gempa arah x dan arah y sehingga respon struktur arah x cenderung mengikuti respon struktur akibat gempa dengan frekuensi rendah (Gempa Duzce) dan respon struktur arah y cenderung mengikuti respon struktur akibat gempa dengan frekuensi tinggi (Gempa Manjil).

Tabel 5.58 Perbandingan Simp Total Maks Gempa Frek Rendah Dom-X

Lantai	Beban 100% X (cm)		Beban 30% Y (cm)	
	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi
15	16,2717	15,1872	4,6233	3,3041
14	16,1423	15,0911	4,5633	3,2812
13	15,8369	14,8281	4,4592	3,2192
12	15,3583	14,4037	4,3113	3,1196
11	14,7152	13,8207	4,1208	2,9837
10	13,9194	13,0857	3,8892	2,8137
9	12,9761	12,2146	3,6188	2,6116
8	11,9021	11,2072	3,3113	2,3804
7	10,7066	10,0777	2,9694	2,1221
6	9,3977	8,8305	2,5965	1,8391
5	7,9884	7,4743	2,1961	1,5351
4	6,4864	6,0210	1,7723	1,2146
3	4,9040	4,4825	1,3295	0,8825
2	3,2552	2,8745	0,8708	0,5491
1	1,5586	1,2172	0,4003	0,2097
0	0,3062	0	0,0950	0

Tabel 5.59 Perbandingan Simp Total Maks Gempa Frek Rendah Dom-Y

Lantai	Beban 30% X (cm)		Beban 100% Y (cm)	
	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi
15	4,8815	4,5561	15,4111	11,0135
14	4,8427	4,5273	15,2111	10,9373
13	4,7511	4,4484	14,8640	10,7308
12	4,6075	4,3211	14,3711	10,3987
11	4,4146	4,1462	13,7359	9,9458
10	4,1758	3,9257	12,9638	9,3790
9	3,8928	3,6644	12,0627	8,7054
8	3,5706	3,3622	11,0375	7,9345
7	3,2120	3,0233	9,8980	7,0737
6	2,8193	2,6492	8,6549	6,1303
5	2,3965	2,2423	7,3204	5,1169
4	1,9459	1,8063	5,9076	4,0485
3	1,4712	1,3447	4,4316	2,9418
2	0,9766	0,8624	2,9028	1,8302
1	0,4676	0,3651	1,3345	0,6989
0	0,0919	0	0,3167	0

Tabel 5.60 Perbandingan Simp Total Maks Gempa Frek Sedang Dom-X

Lantai	Beban 100% X (cm)		Beban 30% Y (cm)	
	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi
15	5,9499	5,7761	1,2422	1,4281
14	5,9099	5,7179	1,2260	1,4159
13	5,8151	5,5604	1,1998	1,3829
12	5,6648	5,3220	1,1645	1,3333
11	5,4516	5,0946	1,1208	1,2701
10	5,1757	4,8126	1,0690	1,1958
9	4,8390	4,4817	1,0089	1,1117
8	4,4493	4,1234	0,9389	1,0184
7	4,0156	3,7082	0,8567	0,9156
6	3,5409	3,2441	0,7608	0,8034
5	3,0303	2,7404	0,6509	0,6804
4	2,4879	2,2034	0,5286	0,5472
3	1,9082	1,6724	0,3963	0,4045
2	1,2866	1,0872	0,2580	0,2535
1	0,6278	0,4637	0,1174	0,0968
0	0,1301	0	0,0269	0

Tabel 5.61 Perbandingan Simp Total Maks Gempa Frek Sedang Dom-Y

Lantai	Beban 30% X (cm)		Beban 100% Y (cm)	
	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi
15	1,0503	1,0658	1,9289	2,0161
14	1,0431	1,0598	1,8931	1,9984
13	1,0263	1,0430	1,8220	1,9603
12	0,9997	1,0157	1,7191	1,8956
11	0,9628	0,9773	1,6086	1,8022
10	0,9166	0,9293	1,4811	1,6806
9	0,8604	0,8716	1,3414	1,5377
8	0,7936	0,8037	1,2357	1,3753
7	0,7167	0,7251	1,1255	1,2034
6	0,6294	0,6358	1,0017	1,0704
5	0,5335	0,5368	0,8566	0,9177
4	0,4302	0,4295	0,6891	0,7451
3	0,3223	0,3169	0,5104	0,5526
2	0,2119	0,2015	0,3334	0,3452
1	0,0999	0,0847	0,1526	0,1304
0	0,0187	0	0,0402	0

Tabel 5.62 Perbandingan Simp Total Maks Gempa Frek Tinggi Dom-X

Lantai	Beban 100% X (cm)		Beban 30% Y (cm)	
	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi
15	3,5008	3,5526	0,5787	0,6048
14	3,4769	3,5325	0,5679	0,5995
13	3,4209	3,4766	0,5466	0,5881
12	3,3322	3,3856	0,5157	0,5687
11	3,2095	3,2578	0,4826	0,5406
10	3,0554	3,0977	0,4443	0,5042
9	2,8680	2,9052	0,4024	0,4613
8	2,6452	2,6791	0,3707	0,4126
7	2,3889	2,4171	0,3376	0,3610
6	2,0979	2,1192	0,3005	0,3211
5	1,7782	1,7892	0,2570	0,2753
4	1,4340	1,4318	0,2067	0,2235
3	1,0743	1,0563	0,1531	0,1658
2	0,7062	0,6715	0,1000	0,1036
1	0,3330	0,2824	0,0458	0,0391
0	0,0624	0	0,0121	0

Tabel 5.63 Perbandingan Simp Total Maks Gempa Frek Tinggi Dom-Y

Lantai	Beban 30% X (cm)		Beban 100% Y (cm)	
	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi
15	1,0503	1,0658	1,9289	2,0161
14	1,0431	1,0598	1,8931	1,9984
13	1,0263	1,0430	1,8220	1,9603
12	0,9997	1,0157	1,7191	1,8956
11	0,9628	0,9773	1,6086	1,8022
10	0,9166	0,9293	1,4811	1,6806
9	0,8604	0,8716	1,3414	1,5377
8	0,7936	0,8037	1,2357	1,3753
7	0,7167	0,7251	1,1255	1,2034
6	0,6294	0,6358	1,0017	1,0704
5	0,5335	0,5368	0,8566	0,9177
4	0,4302	0,4295	0,6891	0,7451
3	0,3223	0,3169	0,5104	0,5526
2	0,2119	0,2015	0,3334	0,3452
1	0,0999	0,0847	0,1526	0,1304
0	0,0187	0	0,0402	0

Tabel 5.64 Perbandingan Resultan Simp Total Maks Gempa Frek Rendah

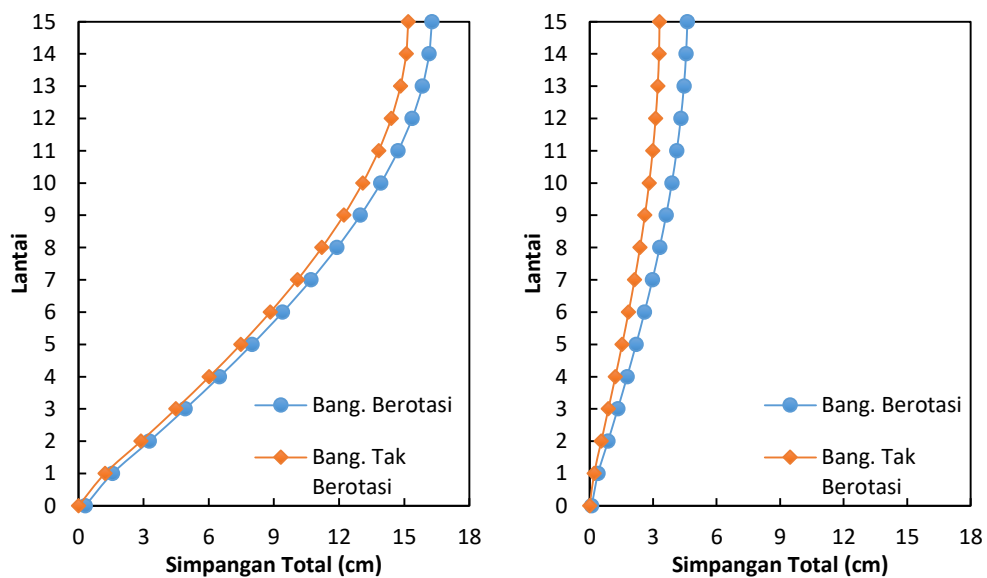
Lantai	Dominan X (cm)		Dominan Y (cm)	
	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi
15	16,3101	15,2151	15,4618	11,2769
14	16,1786	15,1189	15,2628	11,1986
13	15,8714	14,8541	14,9177	10,9844
12	15,3919	14,4248	14,4277	10,6382
11	14,7445	13,8412	13,7955	10,1672
10	13,9410	13,1045	13,0253	9,5807
9	12,9935	12,2288	12,1225	8,8910
8	11,9146	11,2181	11,0950	8,1001
7	10,7134	10,0868	9,9535	7,2167
6	9,4018	8,8365	8,7086	6,2514
5	7,9912	7,4796	7,3706	5,2166
4	6,4873	6,0241	5,9520	4,1271
3	4,9048	4,4849	4,4662	2,9995
2	3,2557	2,8761	2,9280	1,8514
1	1,5587	1,2176	1,3482	0,7027
0	0,3063	0	0,3196	0

Tabel 5.65 Perbandingan Resultan Simp Total Maks Gempa Frek Sedang

Lantai	Dominan X (cm)		Dominan Y (cm)	
	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi
15	5,9638	5,7914	4,1410	4,7605
14	5,9235	5,7332	4,0871	4,7197
13	5,8281	5,5758	3,9994	4,6098
12	5,6764	5,3358	3,8816	4,4447
11	5,4617	5,1097	3,7359	4,2345
10	5,1848	4,8290	3,5634	3,9871
9	4,8471	4,4953	3,3632	3,7071
8	4,4563	4,1270	3,1299	3,3960
7	4,0218	3,7111	2,8557	3,0533
6	3,5463	3,2462	2,5359	2,6790
5	3,0350	2,7418	2,1698	2,2689
4	2,4918	2,2089	1,7620	1,8248
3	1,9110	1,6760	1,3212	1,3490
2	1,2884	1,0898	0,8599	0,8455
1	0,6285	0,4644	0,3913	0,3227
0	0,1303	0	0,0897	0

Tabel 5.66 Perbandingan Resultan Simp Total Maks Gempa Frek Tinggi

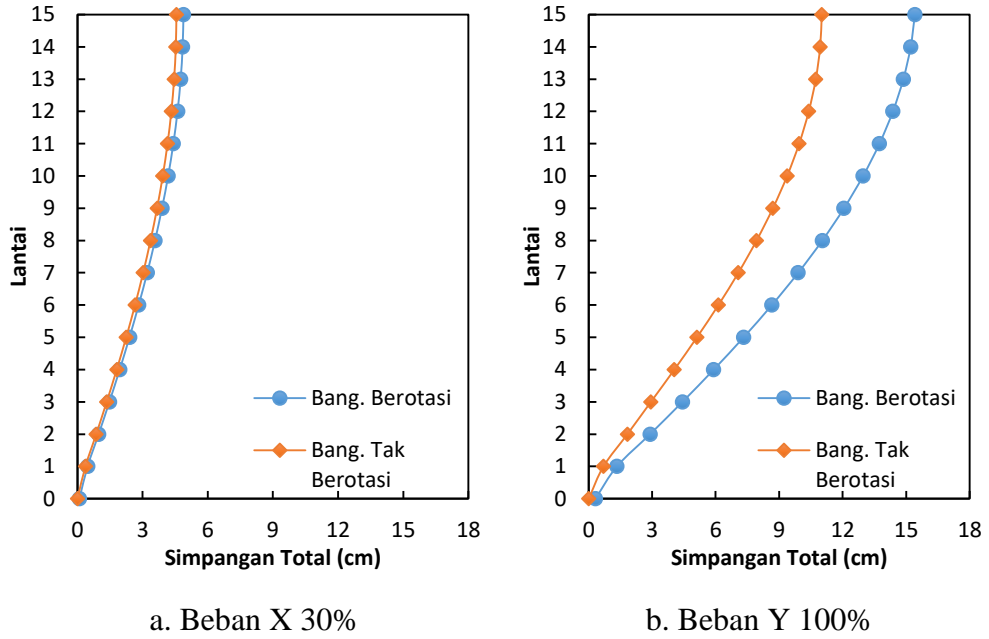
Lantai	Dominan X (cm)		Dominan Y (cm)	
	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi
15	3,5021	3,5690	1,9318	2,1121
14	3,4781	3,5493	1,8961	2,0937
13	3,4229	3,4951	1,8256	2,0441
12	3,3343	3,4042	1,7225	1,9661
11	3,2118	3,2778	1,6099	1,8644
10	3,0584	3,1180	1,4884	1,7442
9	2,8710	2,9250	1,3711	1,6083
8	2,6481	2,6979	1,2716	1,4596
7	2,3911	2,4345	1,1624	1,3004
6	2,1000	2,1342	1,0360	1,1341
5	1,7796	1,8015	0,8848	0,9603
4	1,4352	1,4417	0,7113	0,7752
3	1,0752	1,0635	0,5309	0,5772
2	0,7068	0,6763	0,3483	0,3673
1	0,3332	0,2840	0,1583	0,1462
0	0,0627	0	0,0404	0



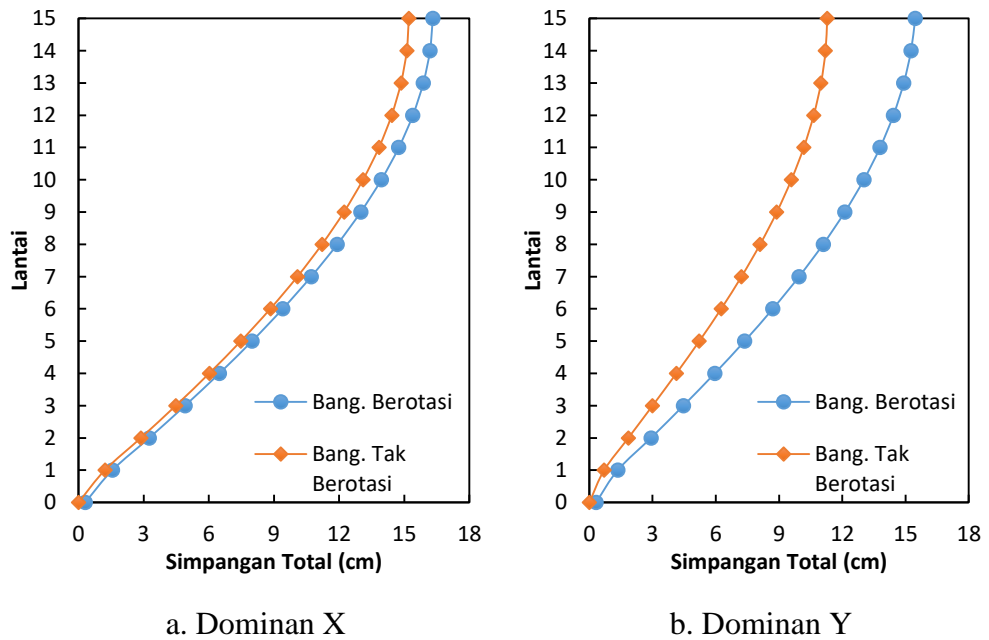
a. Beban X 100%

b. Beban Y 30%

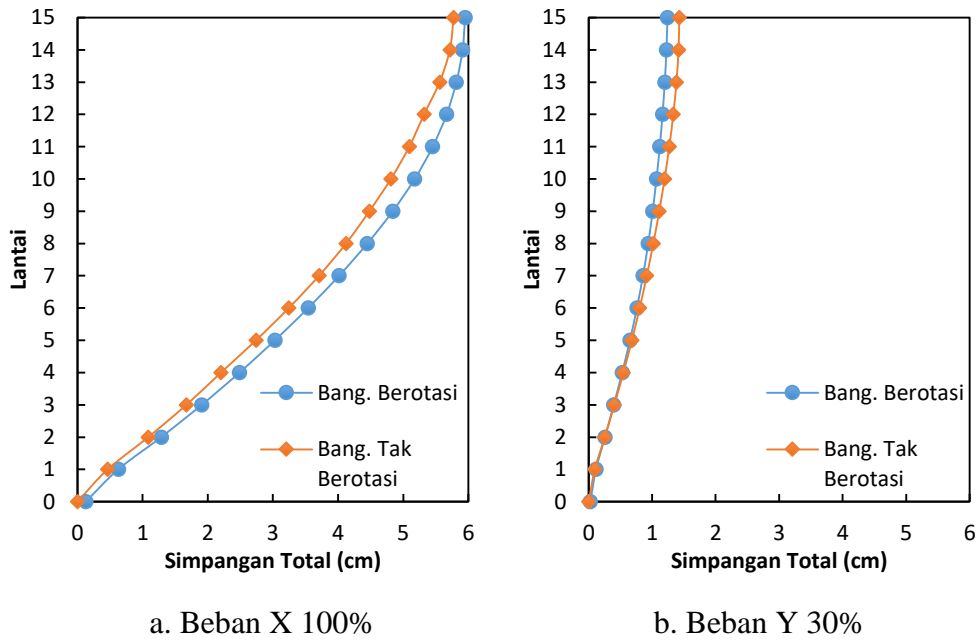
Gambar 5.132 Perbandingan Simpangan Total Maks Bangunan Dengan Rotasi dan Tanpa Rotasi Gempa Frek Rendah Pembebanan Dom-X



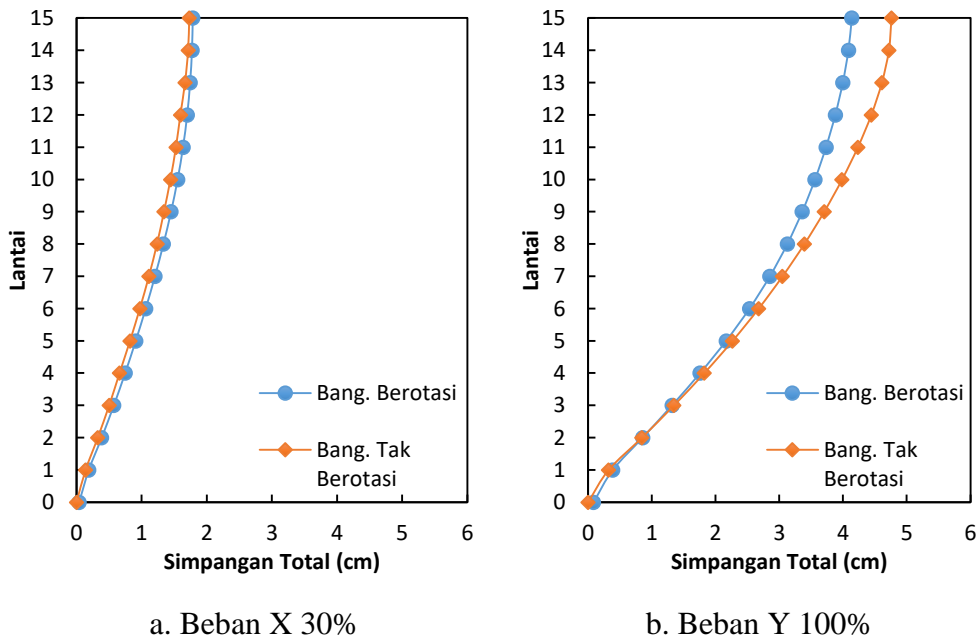
Gambar 5.133 Perbandingan Simpangan Total Maks Bangunan Dengan Rotasi dan Tanpa Rotasi Gempa Frek Rendah Pembebanan Dom-Y



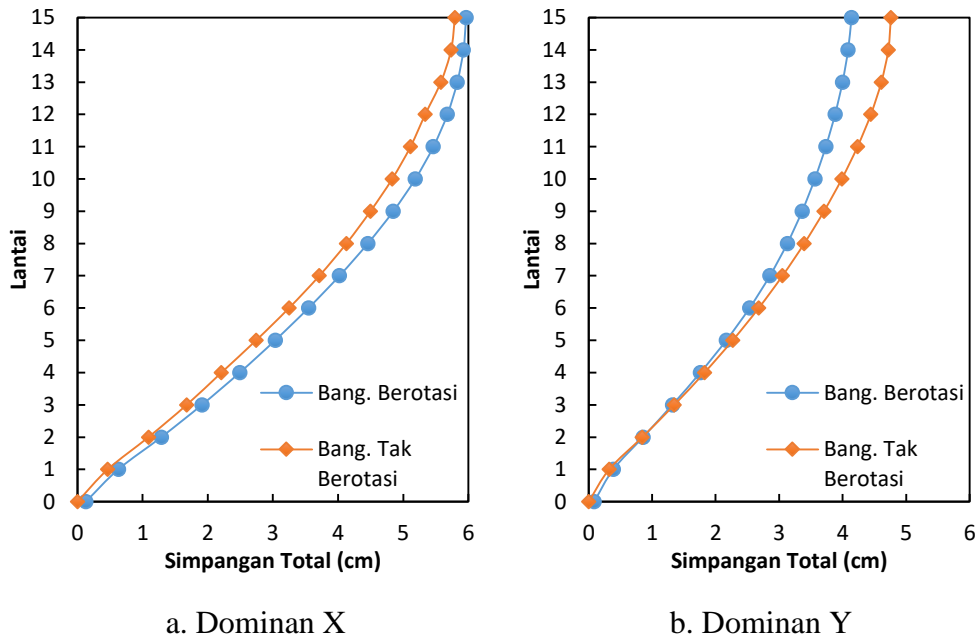
Gambar 5.134 Perbandingan Resultan Simpangan Total Maks Bangunan Dengan Rotasi dan Tanpa Rotasi Gempa Frek Rendah



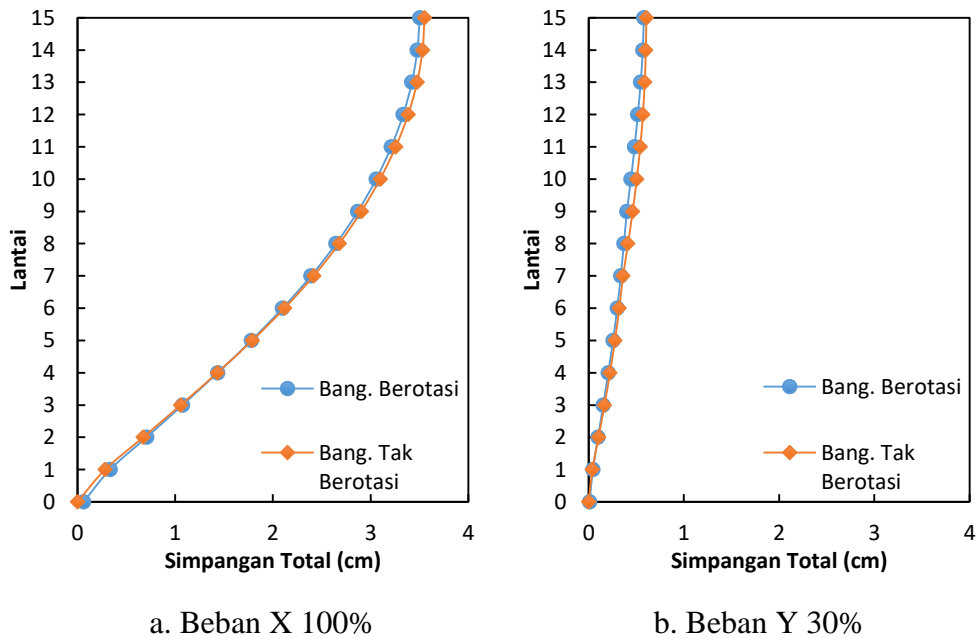
Gambar 5.135 Perbandingan Simpangan Total Maks Bangunan Dengan Rotasi dan Tanpa Rotasi Gempa Frek Sedang Pembebanan Dom-X



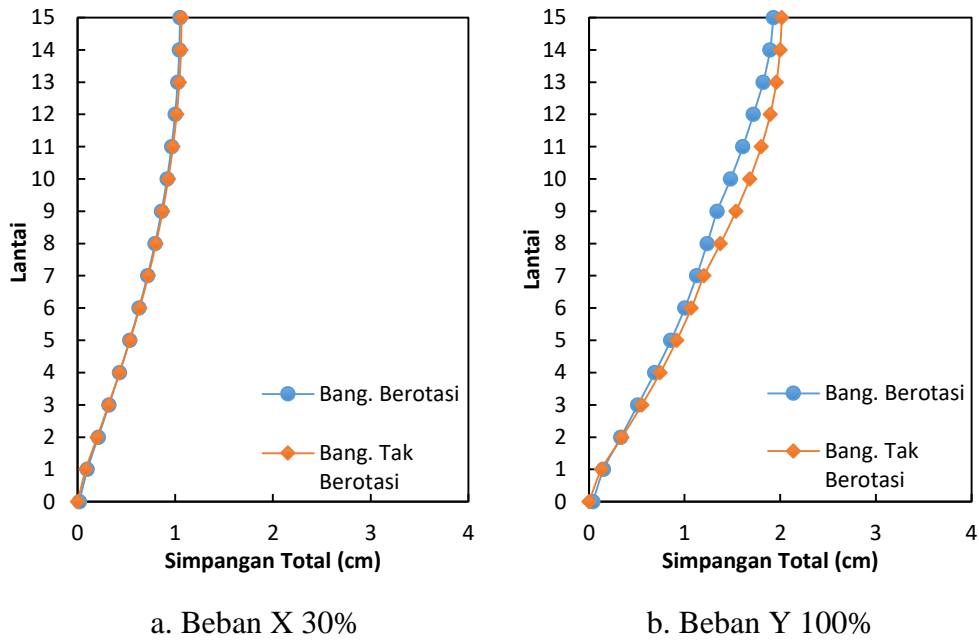
Gambar 5.136 Perbandingan Simpangan Total Maks Bangunan Dengan Rotasi dan Tanpa Rotasi Gempa Frek Sedang Pembebanan Dom-Y



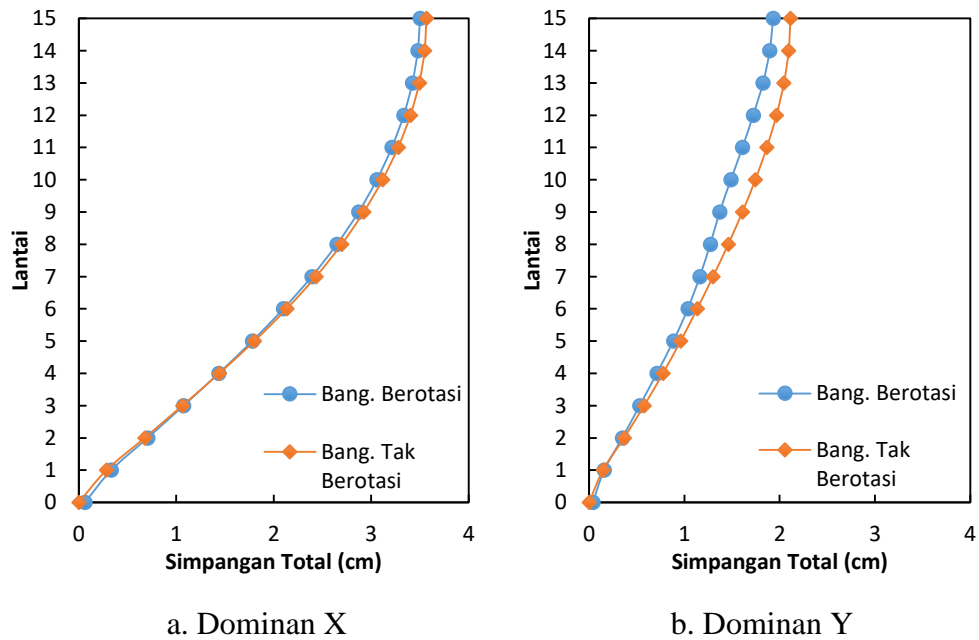
Gambar 5.137 Perbandingan Resultan Simpangan Total Maks Bangunan Dengan Rotasi dan Tanpa Rotasi Gempa Frek Sedang



Gambar 5.138 Perbandingan Simpangan Total Maks Bangunan Dengan Rotasi dan Tanpa Rotasi Gempa Frek Tinggi Pembebanan Dom-X



Gambar 5.139 Perbandingan Simpangan Total Maks Bangunan Dengan Rotasi dan Tanpa Rotasi Gempa Frek Tinggi Pembebanan Dom-Y



Gambar 5.140 Perbandingan Resultan Simpangan Total Maks Bangunan Dengan Rotasi dan Tanpa Rotasi Gempa Frek Tinggi

5.7.6 Nilai Maksimum Simpangan Netto, Rotasi, dan Total

Gabungan nilai maksimum simpangan netto, simpangan rotasi, dan simpangan total pada struktur bangunan reguler dengan rotasi dan tanpa rotasi dengan pembebanan dominan arah x dan dominan arah y akan dijelaskan sebagai berikut ini.

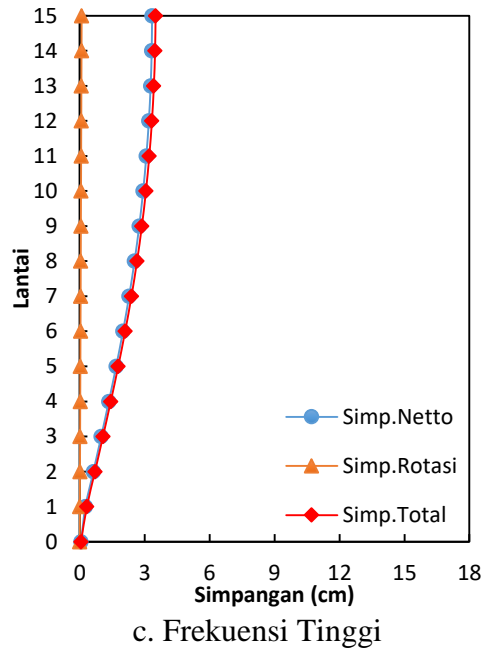
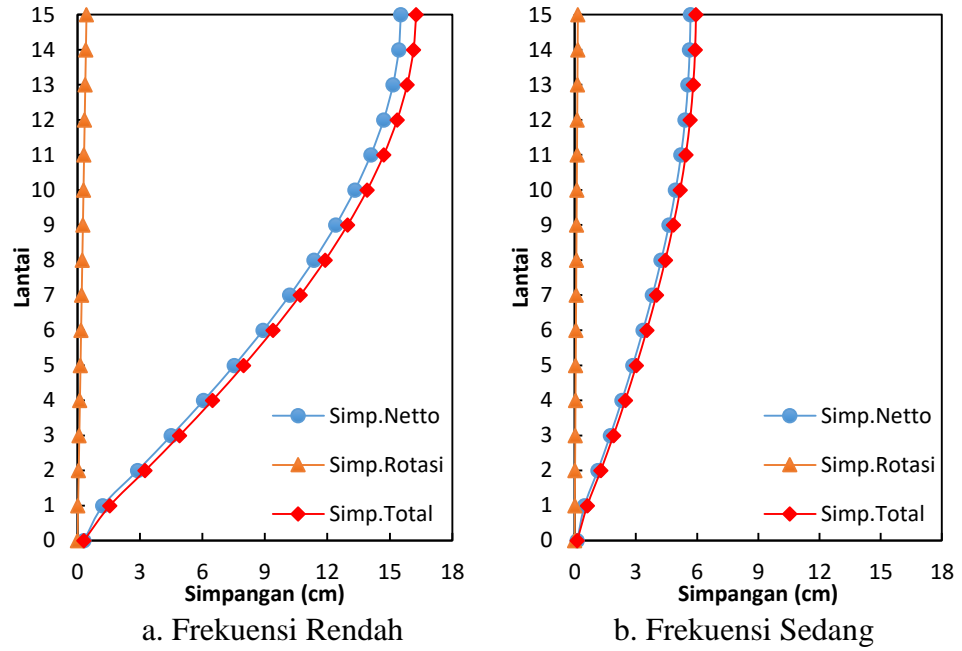
1. Nilai Maksimum Simpangan Netto, Rotasi, dan Total Struktur Bangunan Dengan Rotasi

Gabungan nilai maksimum simpangan netto, simpangan rotasi, dan simpangan total struktur bangunan reguler dengan rotasi dengan beban gempa frekuensi rendah, frekuensi sedang, dan frekuensi tinggi dan pada pembebanan dominan arah x dan dominan arah y dengan beban 100%, beban 30%, dan resultan dapat dilihat pada Gambar 5.141 s/d Gambar 5.146.

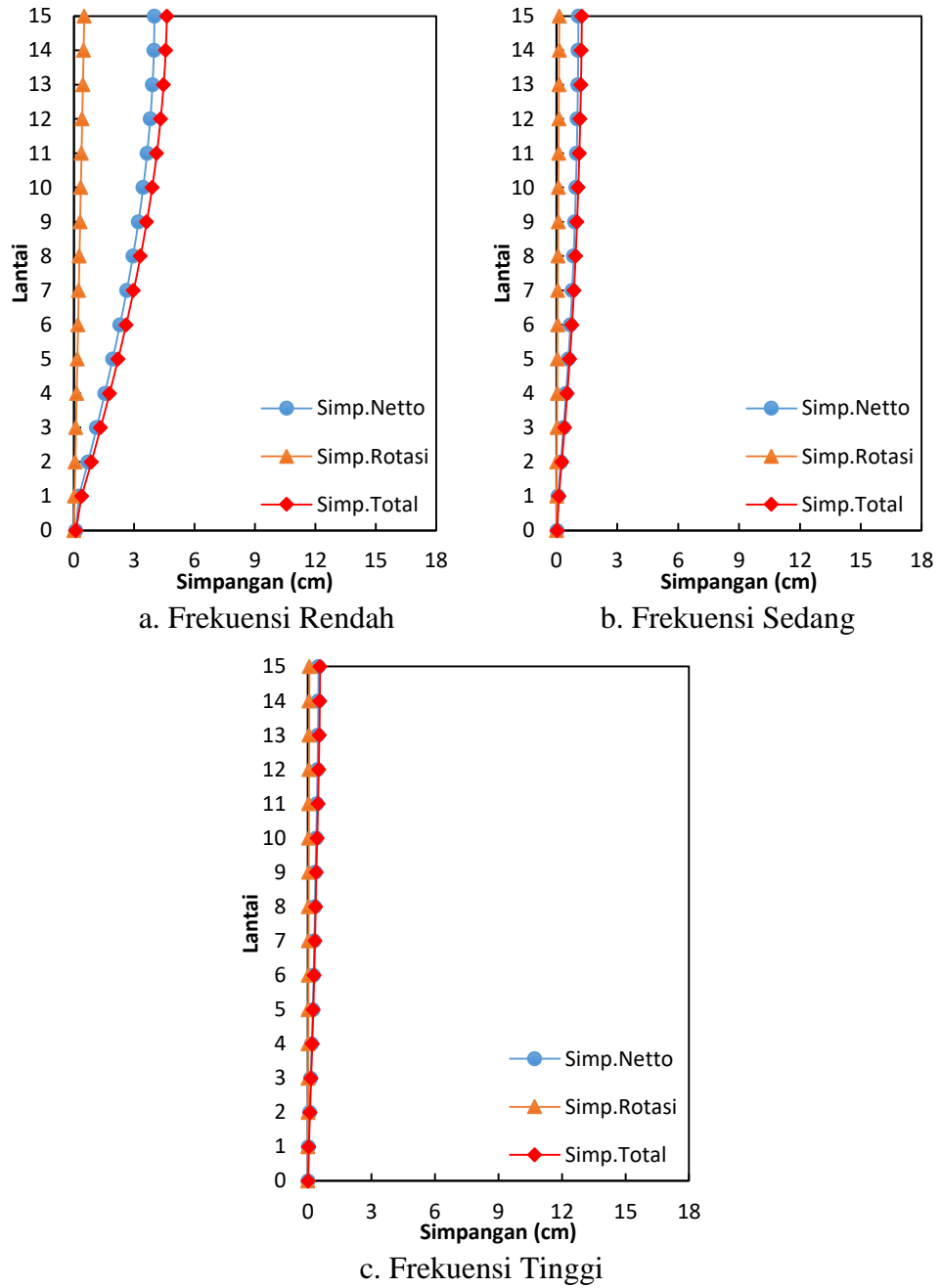
Hasil gambar grafik tersebut menunjukkan bahwa simpangan total merupakan penjumlahan dari simpangan netto dan simpangan rotasi dengan pengaruh simpangan akibat rotasi yang relatif kecil pada struktur portal. Gempa dengan frekuensi rendah (Gempa Duzce) menghasilkan simpangan maksimum yang paling besar pada struktur baik pada pembebanan dominan x maupun pembebanan dominan y, sedangkan gempa dengan frekuensi tinggi (Gempa Manjil) menghasilkan simpangan maksimum yang paling kecil dan gempa dengan frekuensi sedang (Gempa EL-Centro 1940) berada diantaranya. Hal ini dikarenakan struktur bangunan tinggi bersifat fleksibel sehingga akan mempunyai frekuensi sudut (ω) dan frekuensi natural (f) yang rendah dan menyebabkan bangunan akan bergetar pada frekuensi rendah atau berasosiasi dengan baik dengan gempa frekuensi rendah.

Bangunan reguler dengan rotasi memiliki nilai simpangan lantai dasar/fondasi dan simpangan akibat rotasi karena fondasi dan bangunan tidak sepenuhnya dijepit secara kaku oleh tanah sehingga fondasi akan mengalami deformasi ke arah horizontal dan rotasi.

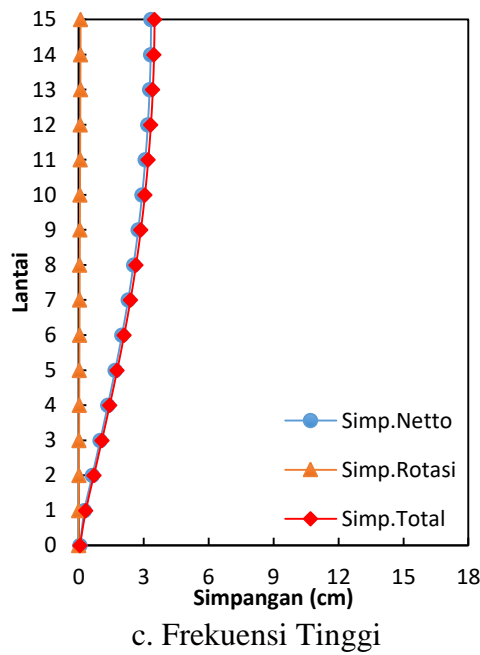
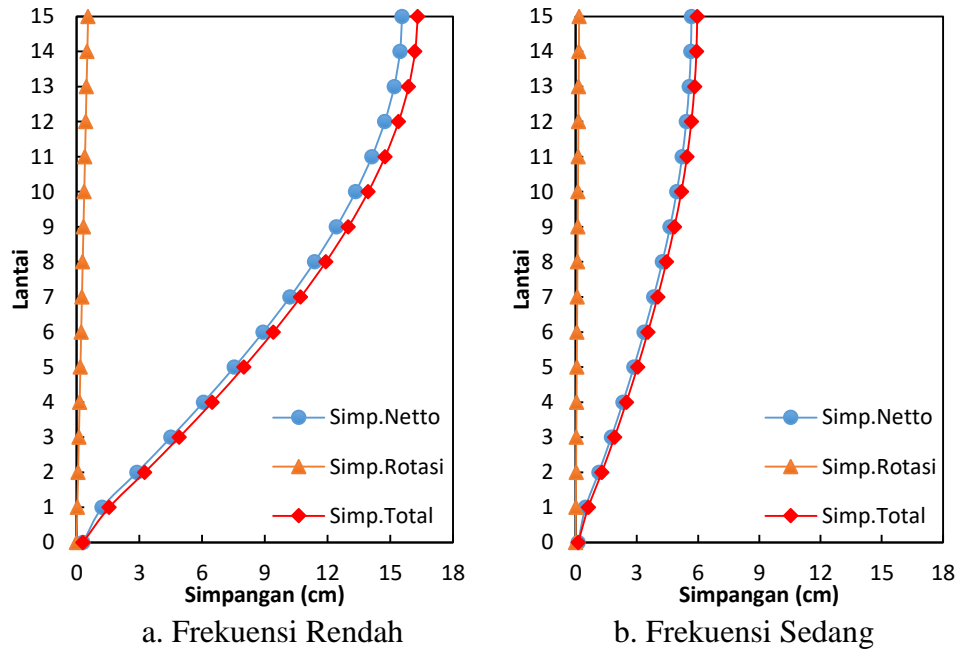
a. Pembebanan Dominan X



Gambar 5.141 Simpangan Maksimum Arah X Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan X

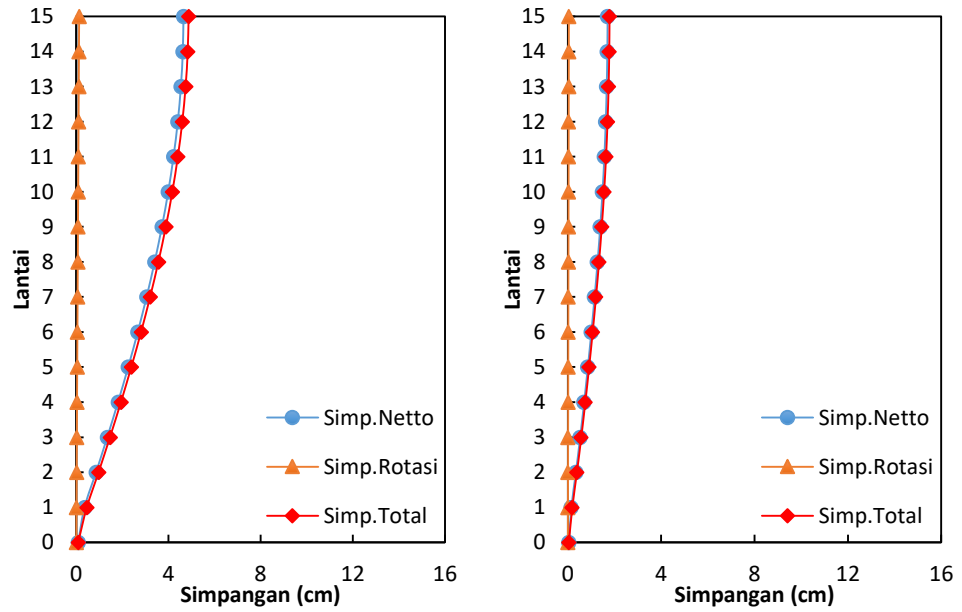


Gambar 5.142 Simpangan Maksimum Arah Y Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan X



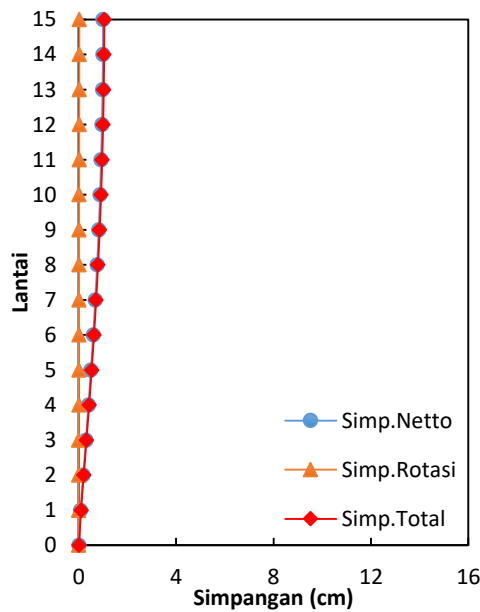
Gambar 5.143 Resultan Simpangan Maksimum Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan X

b. Pembebanan Dominan Y



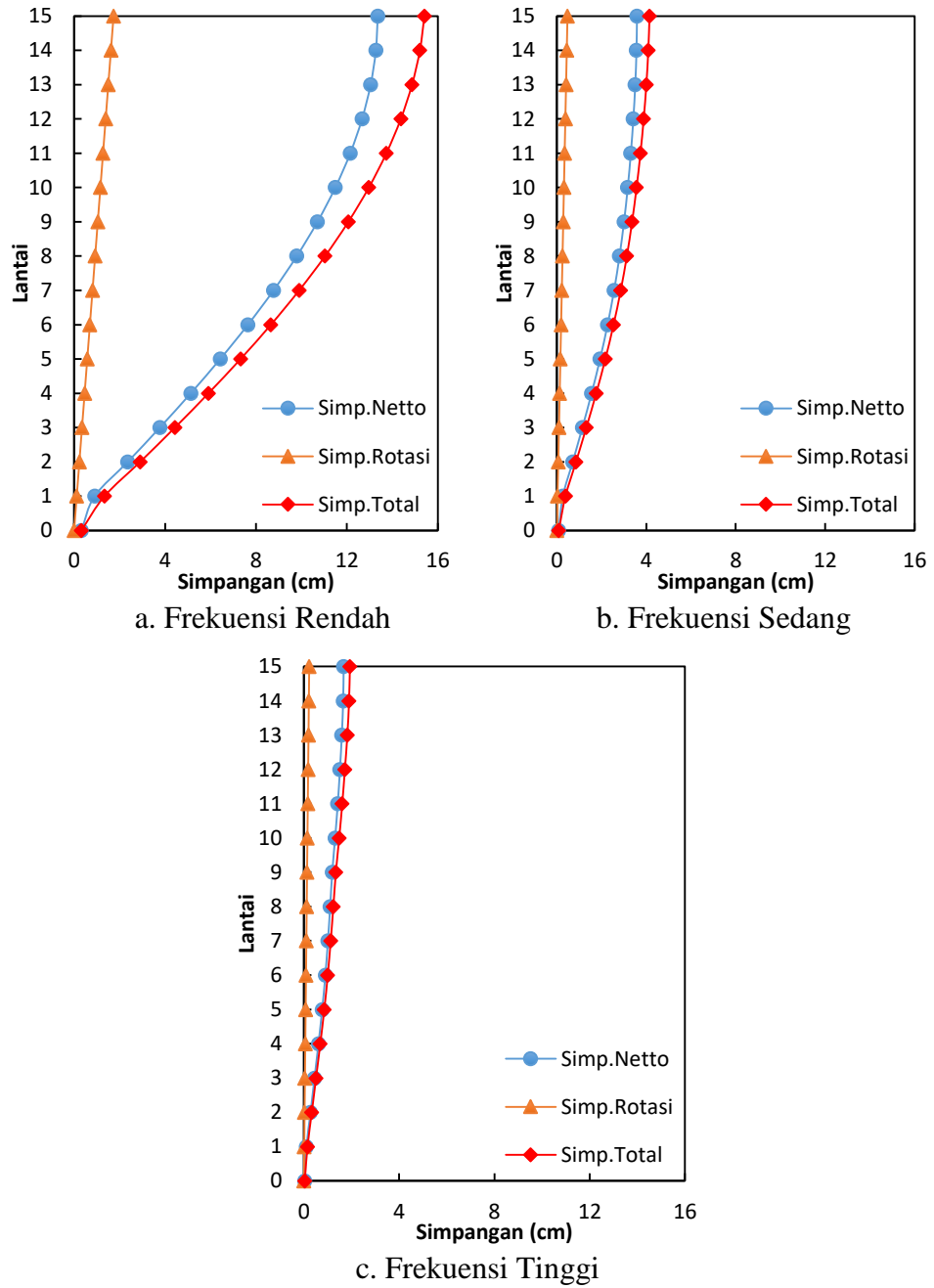
a. Frekuensi Rendah

b. Frekuensi Sedang

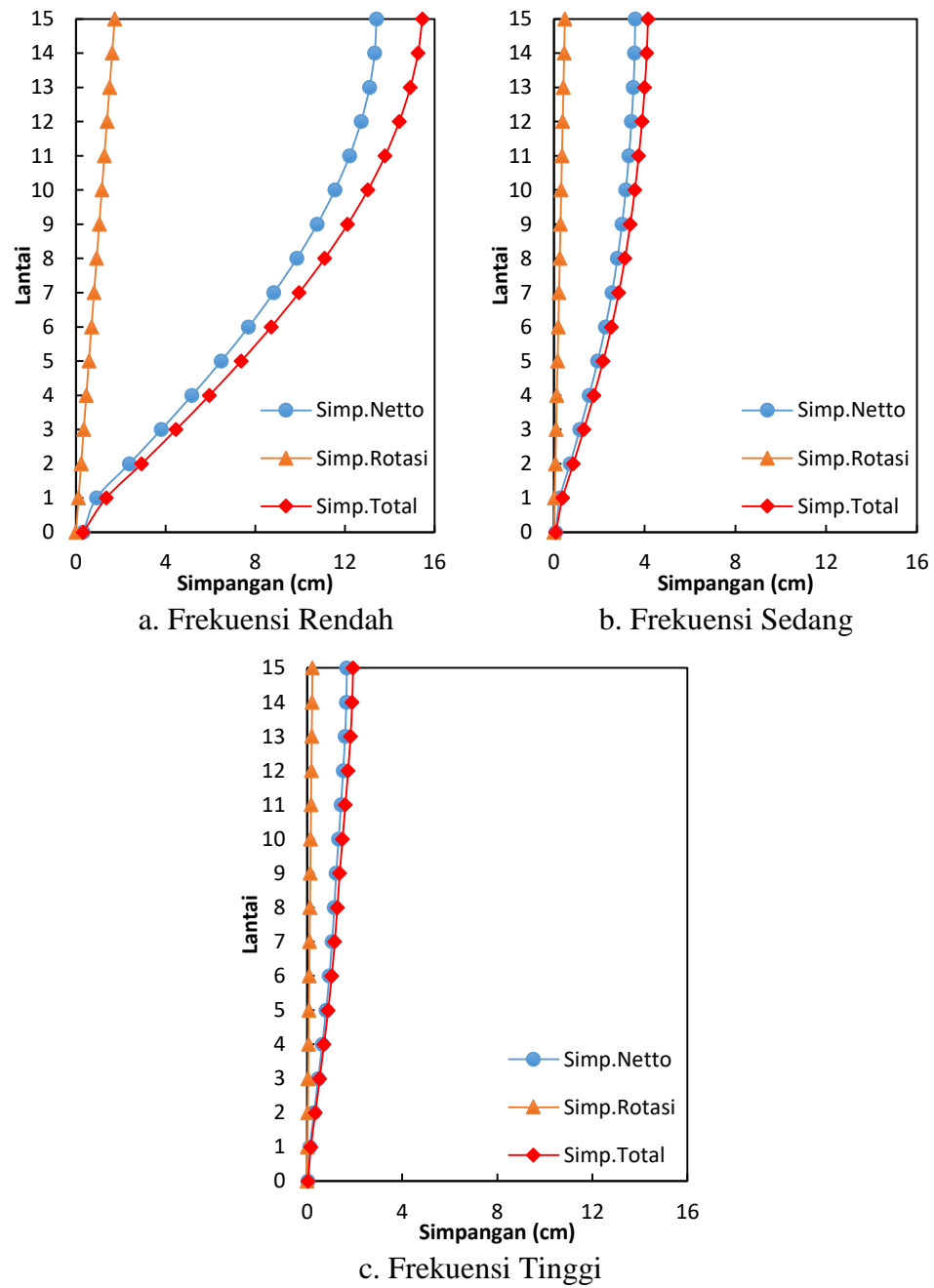


c. Frekuensi Tinggi

Gambar 5.144 Simpangan Maksimum Arah X Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan Y



Gambar 5.145 Simpangan Maksimum Arah Y Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan Y



Gambar 5.146 Resultan Simpangan Maksimum Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan Y

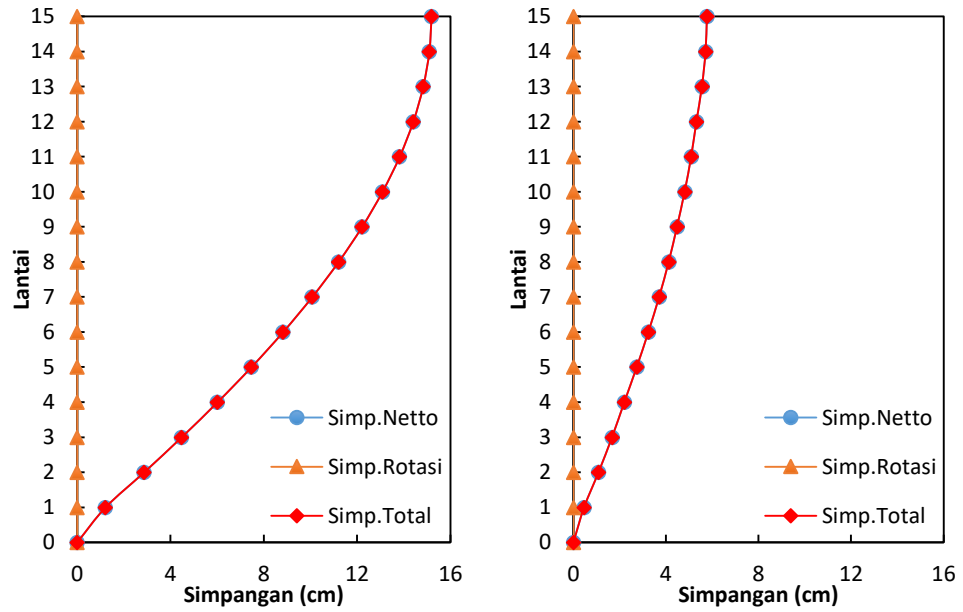
2. Nilai Maksimum Simpangan Netto, Rotasi, dan Total Struktur Bangunan Tanpa Rotasi

Gabungan nilai maksimum simpangan netto, simpangan rotasi, dan simpangan total struktur bangunan reguler tanpa rotasi dengan gempa frekuensi rendah, frekuensi sedang, dan frekuensi tinggi dan pada pembebanan dominan arah x dan dominan arah y dengan beban 100%, beban 30%, dan resultan dapat dilihat pada Gambar 5.147 s/d Gambar 5.152.

Hasil gambar grafik tersebut menunjukkan bahwa pada struktur bangunan tanpa rotasi (*fixed*), simpangan total lebih dipengaruhi oleh simpangan netto karena nilai simpangan rotasi sangat kecil sekali bahkan mencapai 0. Simpangan lantai dasar/fondasi juga memiliki nilai sangat kecil sekali bahkan mencapai 0. Hal ini terjadi karena tanah dapat menjepit fondasi dan bangunan secara kaku sehingga fondasi dan bangunan tidak mengalami deformasi ke arah horizontal dan rotasi.

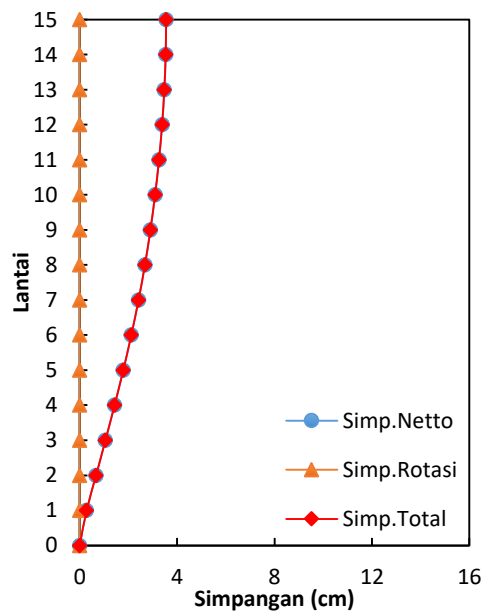
Gempa dengan frekuensi rendah (Gempa Duzce) menghasilkan simpangan maksimum yang paling besar pada struktur baik pada pembebanan dominan x maupun pembebanan dominan y, sedangkan gempa dengan frekuensi tinggi (Gempa Manjil) menghasilkan simpangan maksimum yang paling kecil dan gempa dengan frekuensi sedang (Gempa EL-Centro 1940) berada diantaranya. Hal ini dikarenakan struktur bangunan tinggi bersifat fleksibel sehingga akan mempunyai frekuensi sudut (ω) dan frekuensi natural (f) yang rendah dan menyebabkan bangunan akan bergetar pada frekuensi rendah atau berasosiasi dengan baik dengan gempa frekuensi rendah.

a. Pembebanan Dominan X



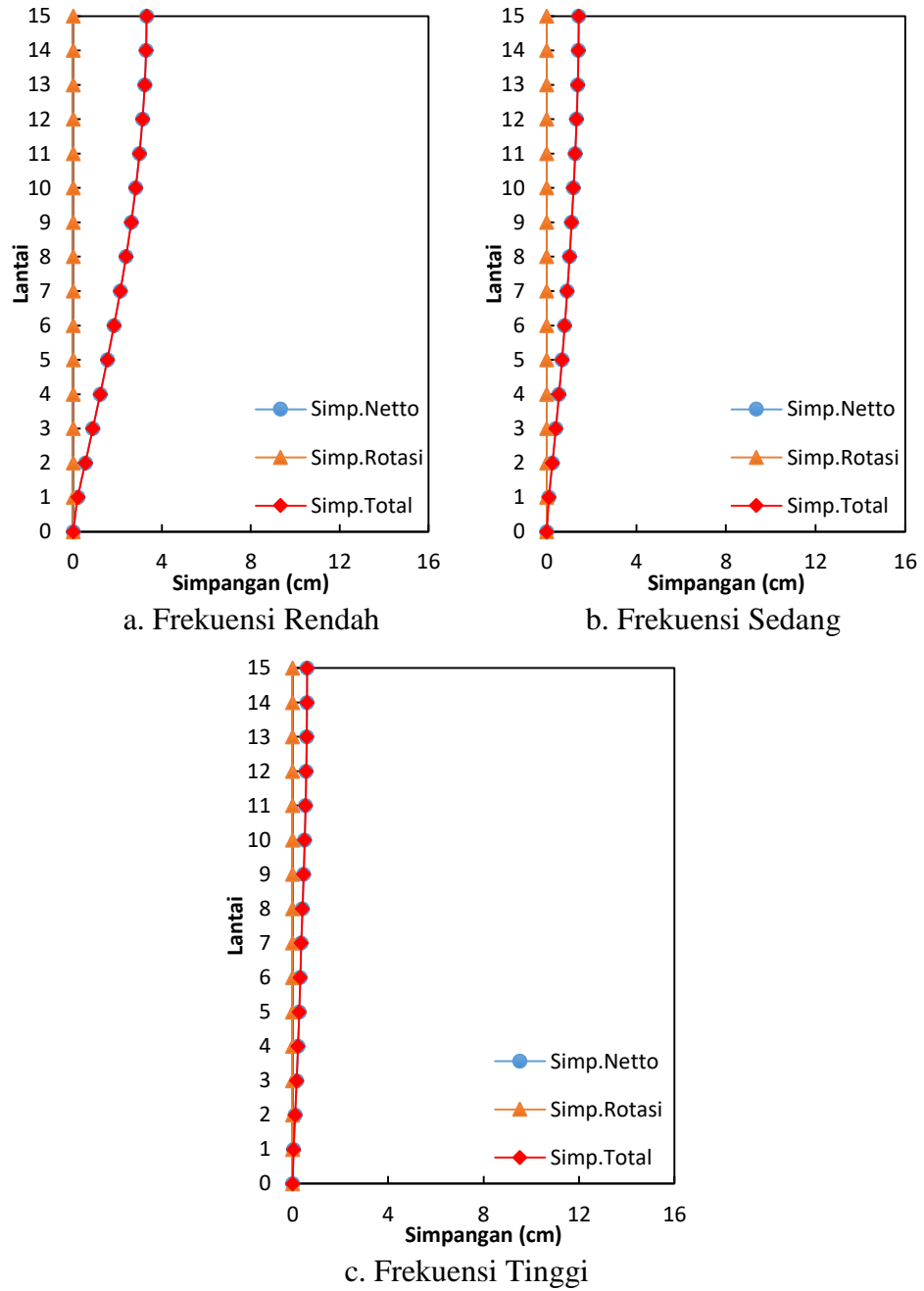
a. Frekuensi Rendah

b. Frekuensi Sedang

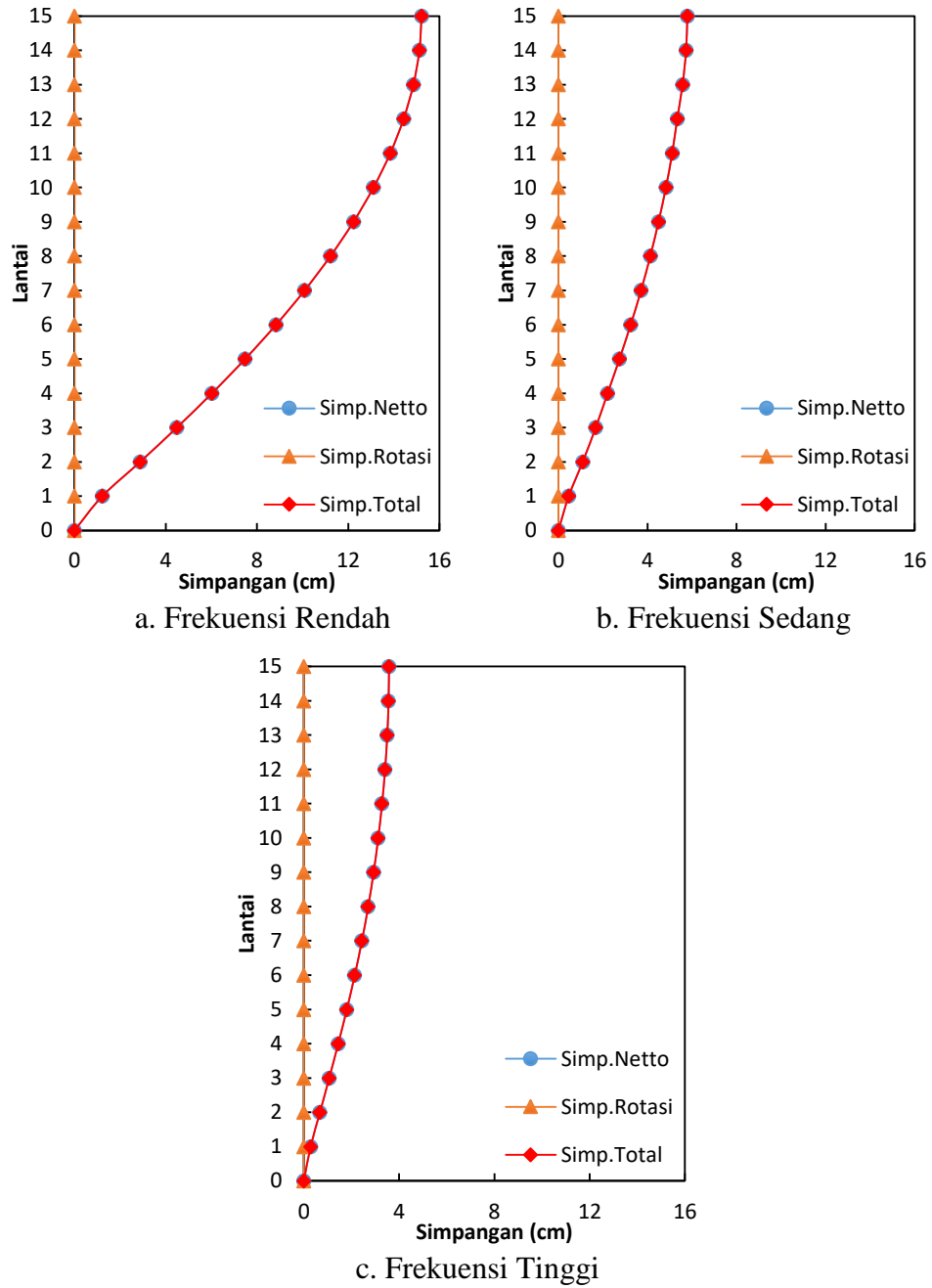


c. Frekuensi Tinggi

Gambar 5.147 Simpangan Maksimum Arah X Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan X

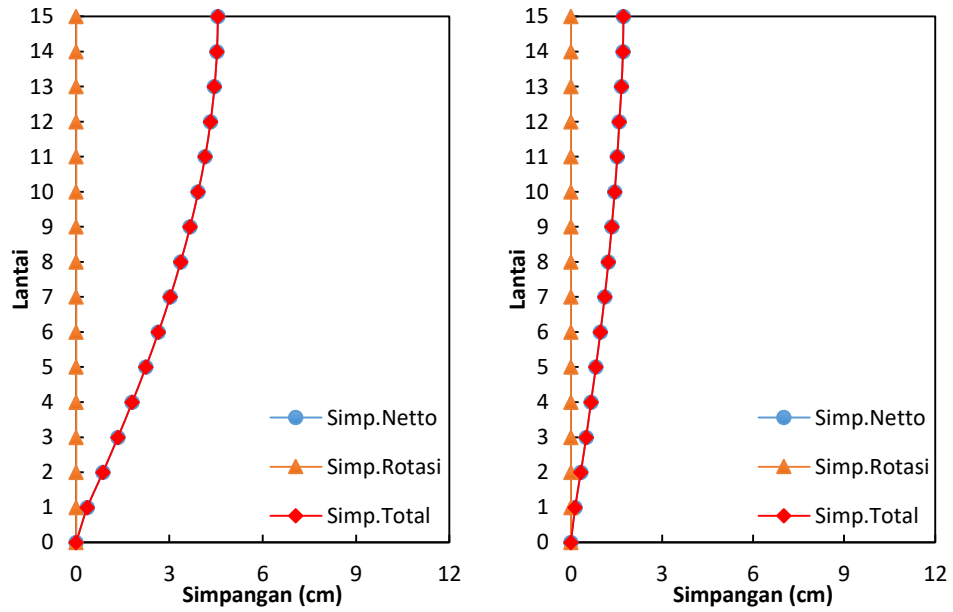


Gambar 5.148 Simpangan Maksimum Arah Y Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan X



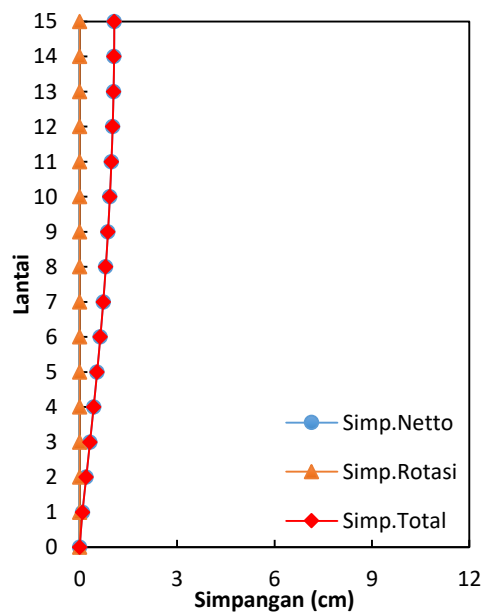
Gambar 5.149 Resultan Simpangan Maksimum Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan X

b. Pembebanan Dominan Y



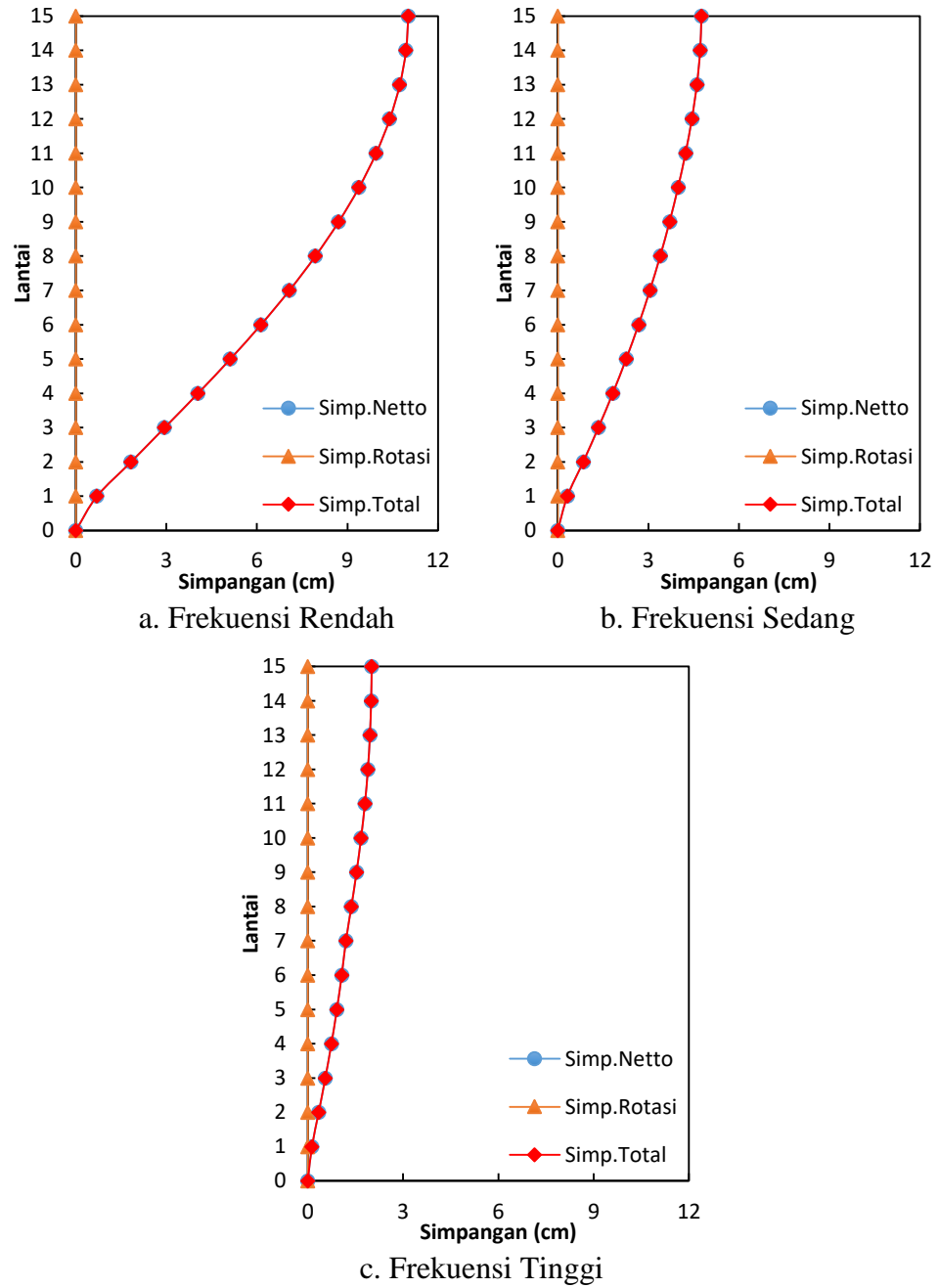
a. Frekuensi Rendah

b. Frekuensi Sedang

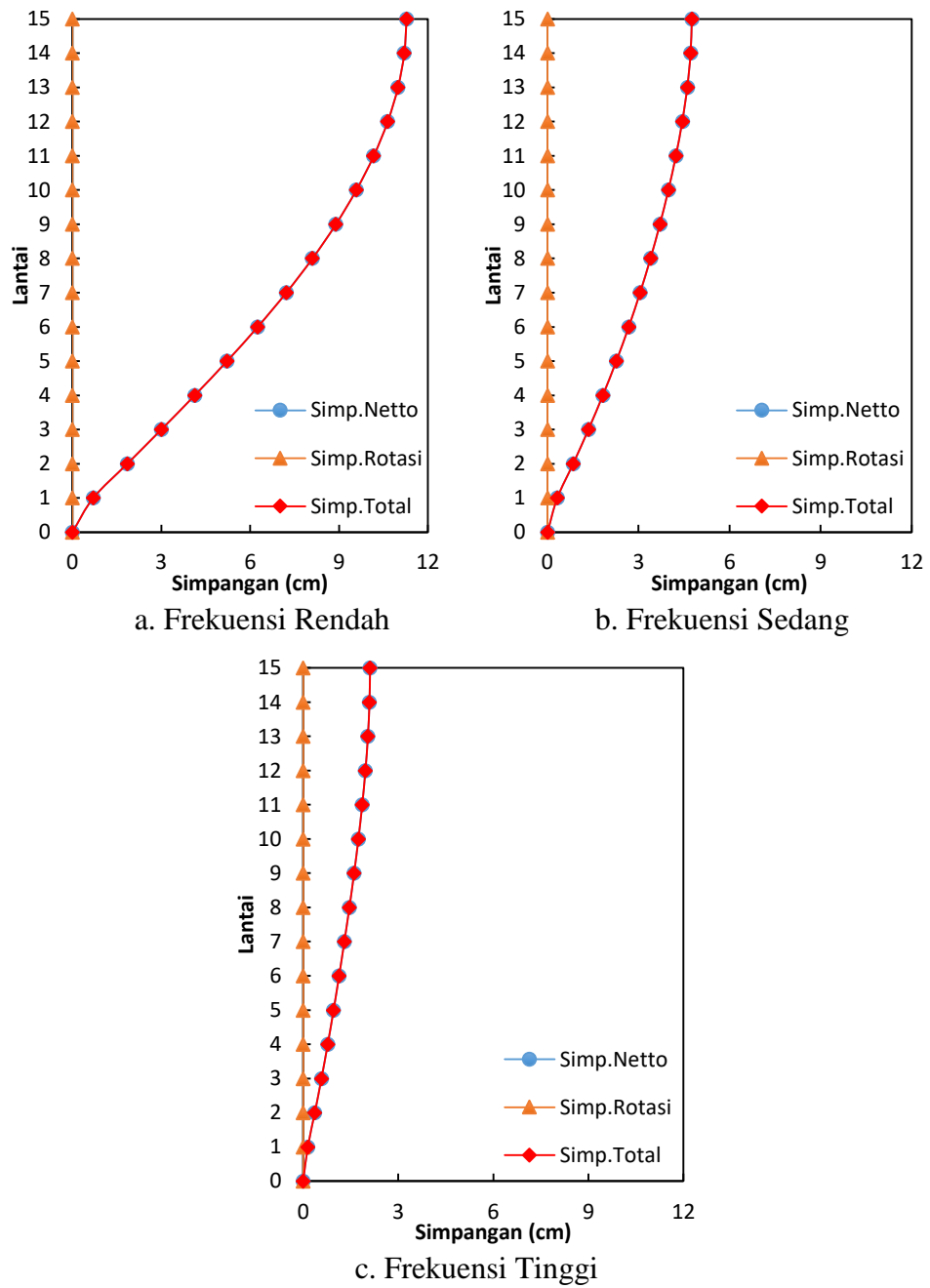


c. Frekuensi Tinggi

Gambar 5.150 Simpangan Maksimum Arah X Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan Y



Gambar 5.151 Simpangan Maksimum Arah Y Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan Y



Gambar 5.152 Resultan Simpangan Maksimum Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan Y

5.7.7 *Interstorey Drift Ratio*

Interstorey drift ratio atau rasio simpangan antar tingkat adalah simpangan relatif antar tingkat dibagi dengan tinggi tingkat. Simpangan relatif antar tingkat merupakan selisih simpangan netto suatu tingkat dengan simpangan netto tingkat di bawahnya. Perhitungan *interstorey drift ratio* menggunakan persamaan 3.101. *Interstorey drift ratio* merupakan salah satu indikator kerusakan. Respon struktur bangunan dikatakan telah memasuki respon inelastik ketika *interstorey drift ratio* $> 0,5$ % (sesuai PPTGIUG 1981). Hasil perhitungan *interstorey drift ratio* ditampilkan dalam bentuk grafik antara *interstorey drift ratio* lawan waktu (dengan interval waktu 0,01 dt). *Interstorey drift ratio* yang dicari meliputi *interstorey drift ratio* pada bangunan reguler dengan rotasi dan tanpa rotasi dengan pembebanan dominan arah x dan dominan arah y yang akan dijelaskan sebagai berikut.

1. *Interstorey Drift Ratio* Struktur Bangunan Dengan Rotasi

Interstorey drift ratio struktur bangunan reguler dengan rotasi dengan beban gempa frekuensi rendah, frekuensi sedang, dan frekuensi tinggi dan pada pembebanan dominan x dan dominan y dengan beban 100%, beban 30%, resultan *interstorey drift ratio*, dan tampak atas *interstorey drift ratio* (*interstorey drift ratio* lantai 2) dapat dilihat pada Gambar 5.153 s/d Gambar 5.162. Nilai-nilai maksimum *interstorey drift ratio* setiap lantai pada setiap frekuensi beban gempa dan arah pembebanan dapat dilihat pada Tabel 5.67 s/d Tabel 5.70 dan Gambar 5.163 s/d Gambar 5.165.

Hasil tabel dan gambar grafik tersebut menunjukkan bahwa *interstorey drift ratio* maksimum terbesar pada setiap frekuensi beban gempa terjadi pada lantai 2. Hal ini dikarenakan pada lantai 1, struktur memiliki kekakuan yang besar kemudian kekakuan tersebut turun pada lantai 2. Semakin besar penurunan kekakuan yang terjadi maka semakin besar nilai *interstorey drift ratio* sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai *interstorey drift ratio* berbanding terbalik dengan nilai kekakuan tingkat, kemudian pada lantai 3 dan seterusnya nilai *interstorey drift ratio* semakin kecil.

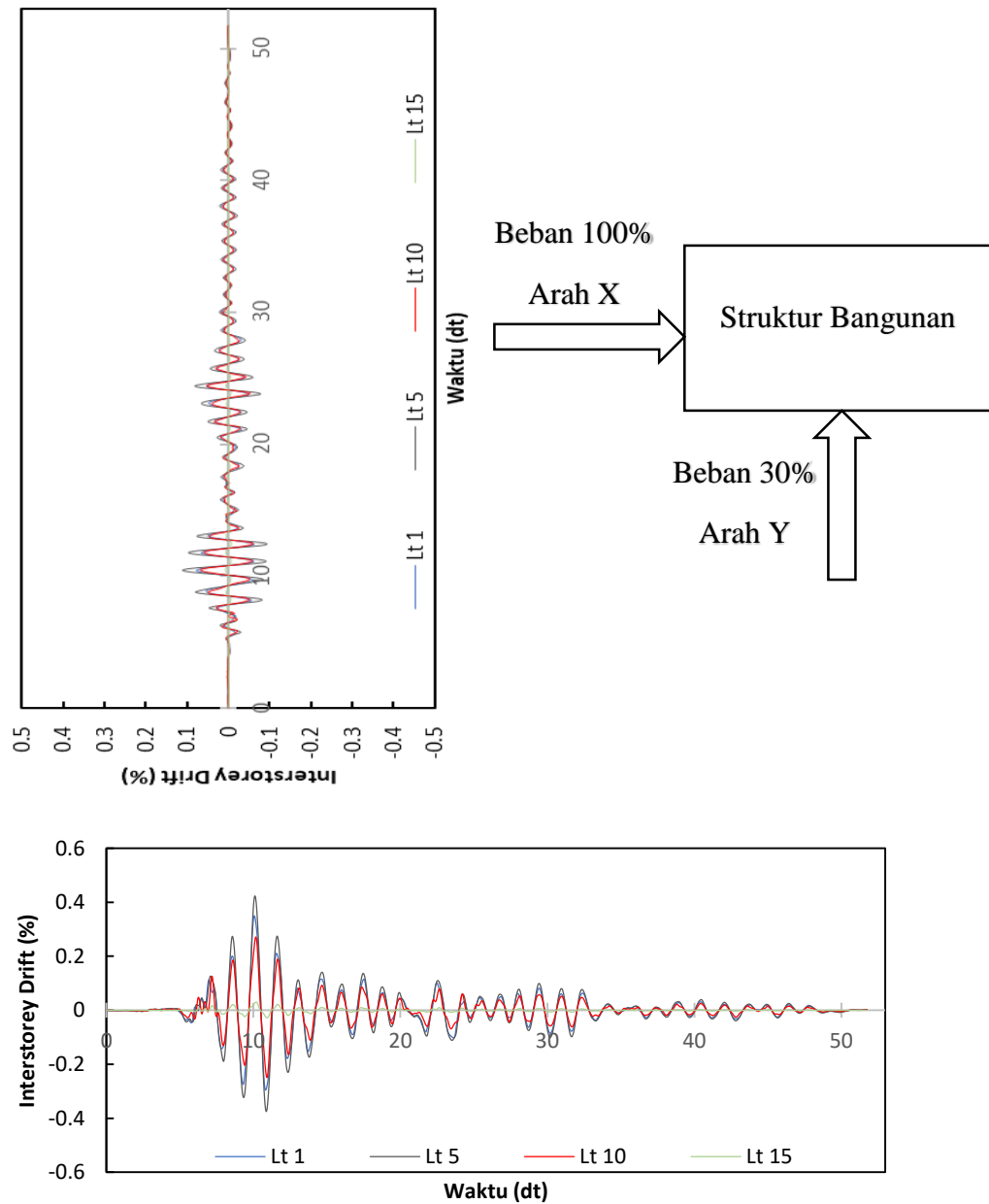
Gempa dengan frekuensi rendah (Gempa Duzce) menghasilkan *interstorey drift ratio* yang paling besar pada struktur baik pada pembebanan dominan x

maupun pembebanan dominan y, sedangkan gempa dengan frekuensi tinggi (Gempa Manjil) menghasilkan *interstorey drift ratio* yang paling kecil dan gempa dengan frekuensi sedang (Gempa EL-Centro 1940) berada diantaranya. Hal ini dikarenakan struktur bangunan tinggi bersifat fleksibel sehingga akan mempunyai frekuensi sudut (ω) dan frekuensi natural (f) yang rendah dan menyebabkan bangunan akan bergetar pada frekuensi rendah atau berasosiasi dengan baik dengan gempa frekuensi rendah.

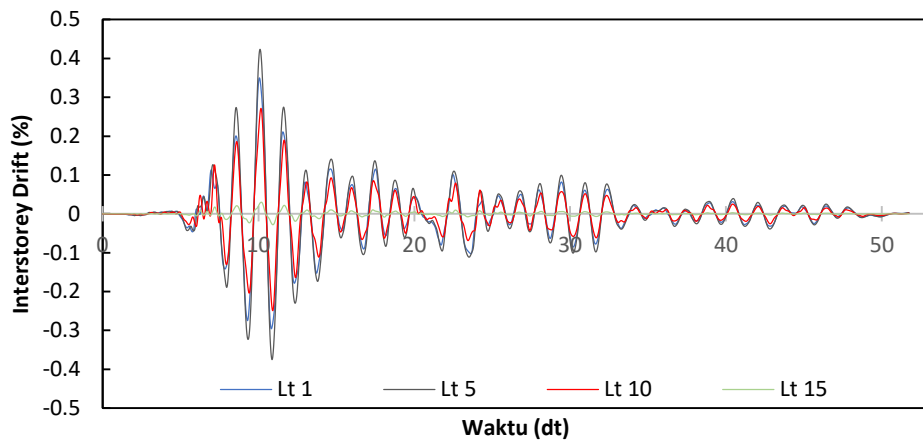
Resultan *interstorey drift ratio* akibat pembebanan dominan x lebih besar dari resultan *interstorey drift ratio* akibat pembebanan dominan y pada setiap frekuensi beban gempa. Hal ini dikarenakan resultan simpangan netto akibat pembebanan dominan x lebih besar dari resultan simpangan netto akibat pembebanan dominan y seperti yang dijelaskan pada subsubbab 5.7.2. Penyebab yang lain adalah walaupun bangunan berbentuk pipih pada arah y, tetapi kekakuan struktur arah x lebih kecil dari kekakuan struktur arah y akibat inersia kolom arah x lebih kecil dibandingkan dengan inersia kolom arah y serta kekakuan balok arah x yang mengekang kolom lebih kecil dari kekakuan balok arah y yang mengekang kolom.

a. Pembebanan Dominan X

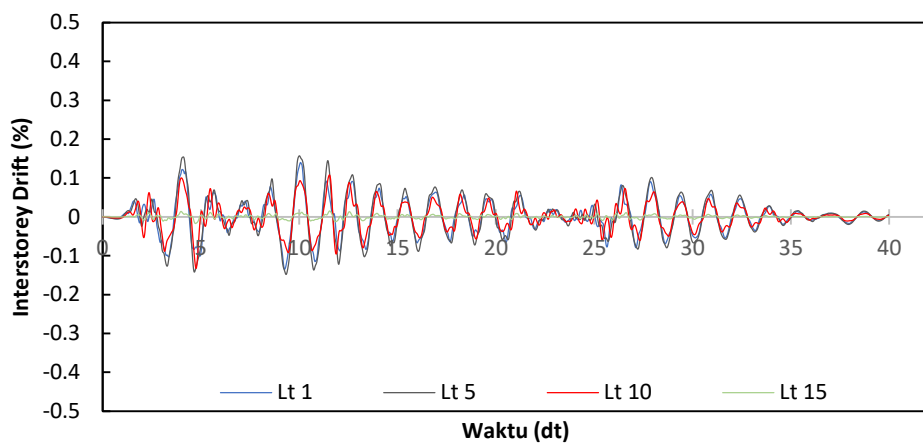
Adapun ilustrasi hasil analisis *interstorey drift ratio* pada pembebanan dominan x dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



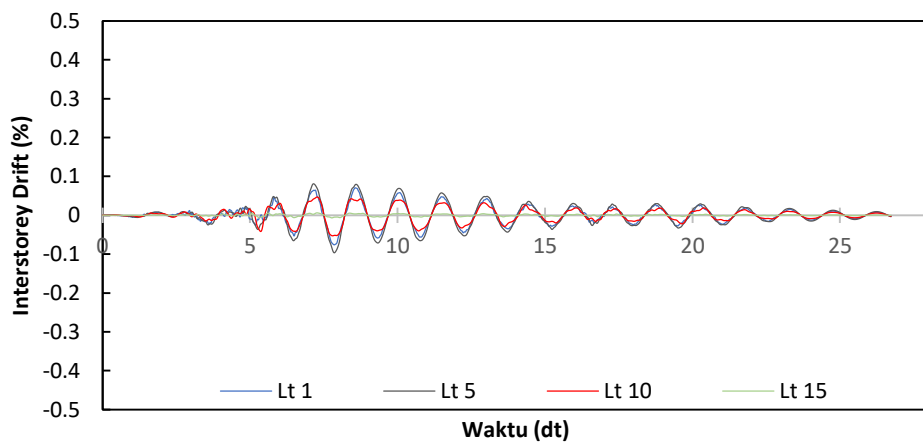
Gambar 5.153 Ilustrasi *Interstorey Drift Ratio* Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan X



a. Frekuensi Rendah

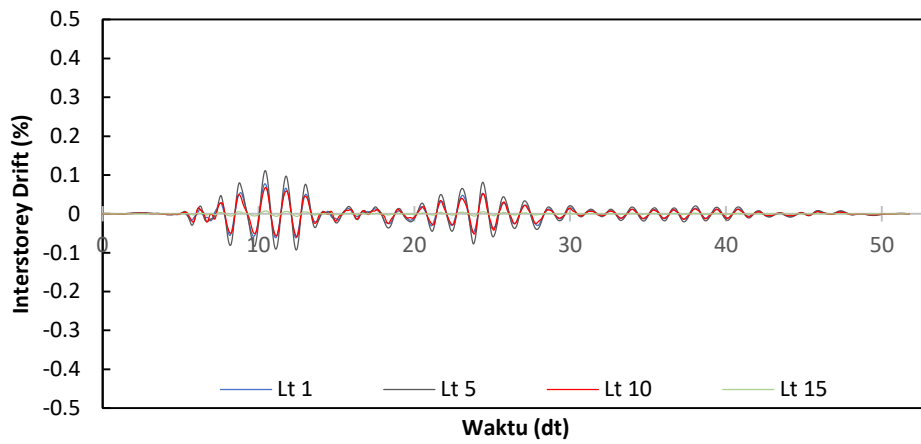


b. Frekuensi Sedang

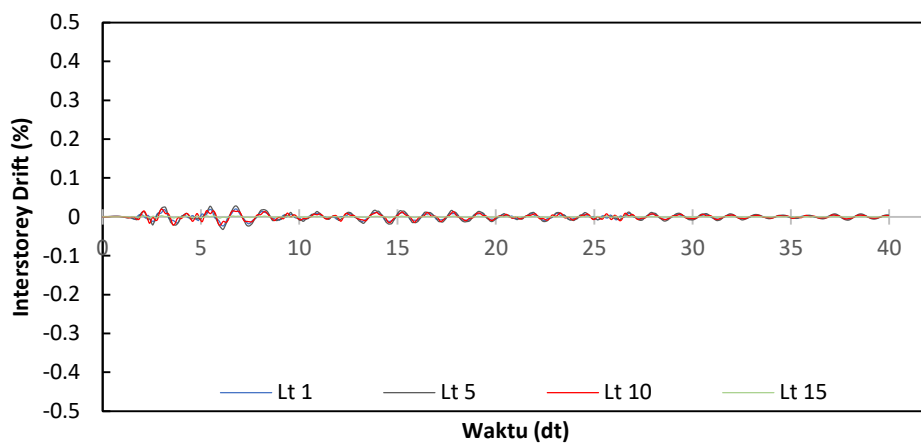


c. Frekuensi Tinggi

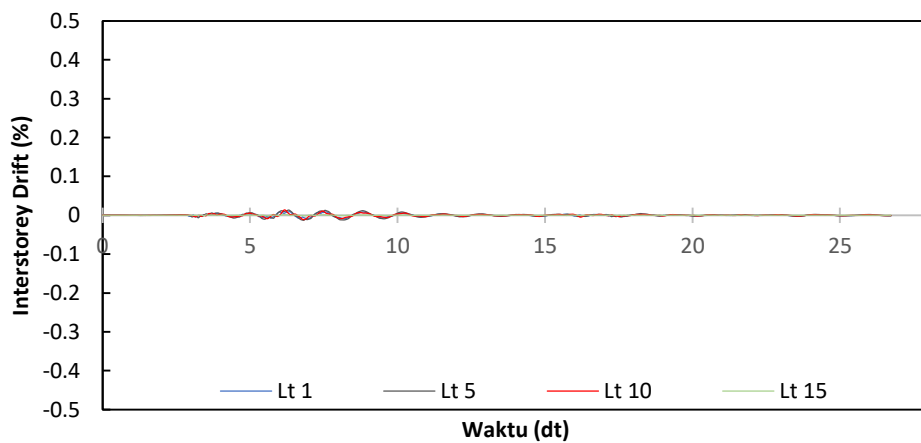
Gambar 5.154 Interstorey Drift Ratio Arah X Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan X



a. Frekuensi Rendah

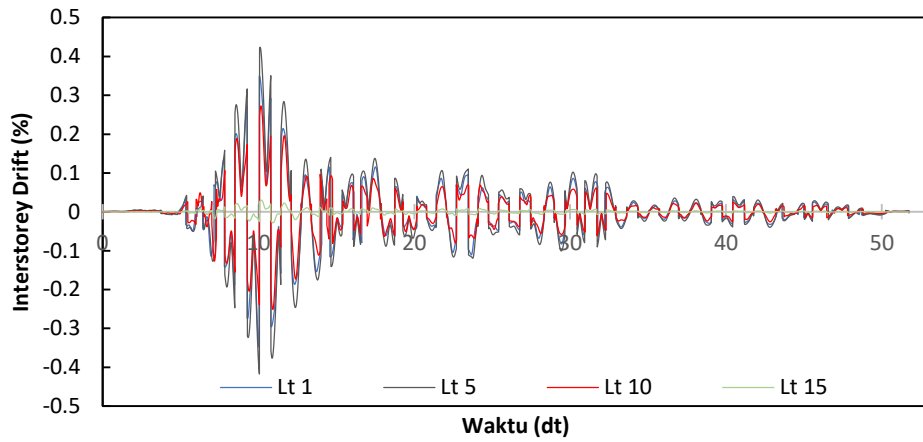


b. Frekuensi Sedang

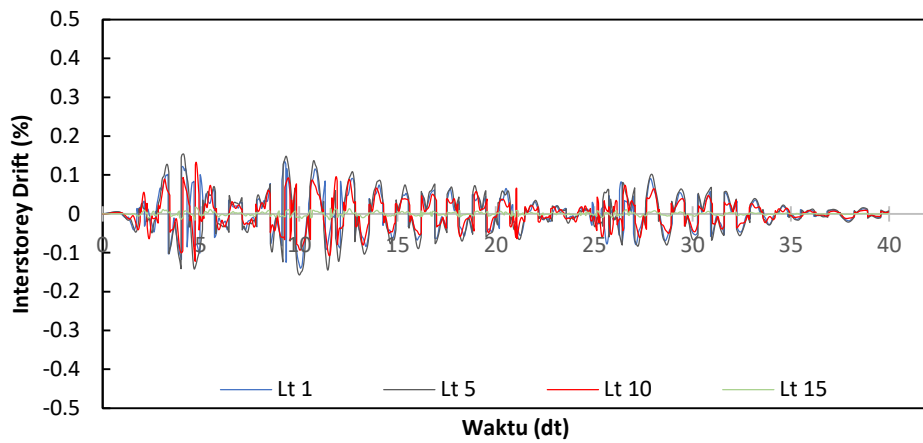


c. Frekuensi Tinggi

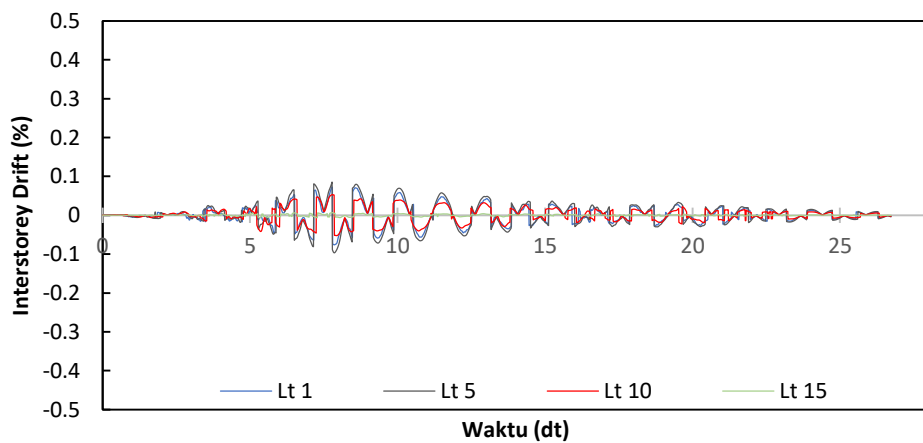
Gambar 5.155 Interstorey Drift Ratio Arah Y Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan X



a. Frekuensi Rendah

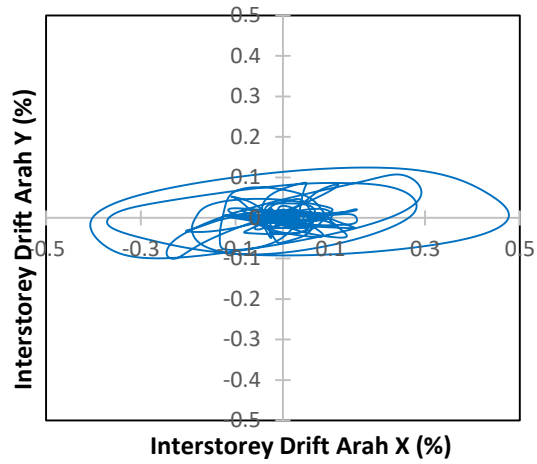


b. Frekuensi Sedang

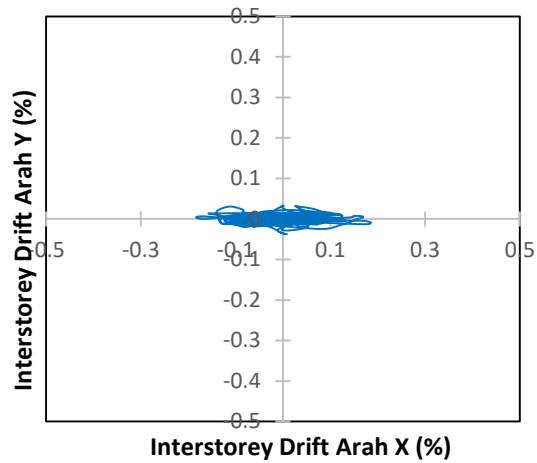


c. Frekuensi Tinggi

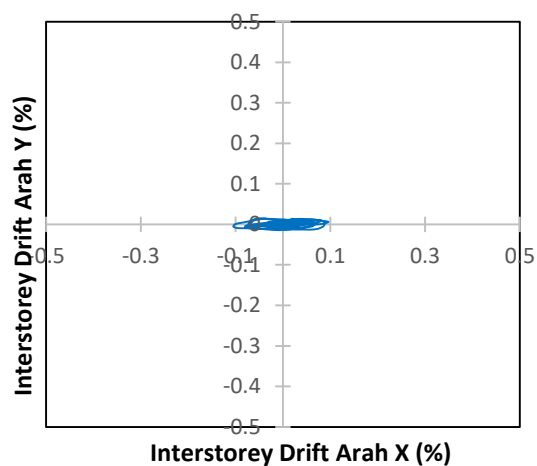
Gambar 5.156 Resultan *Interstorey Drift Ratio* Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan X



a. Frekuensi Rendah



b. Frekuensi Sedang

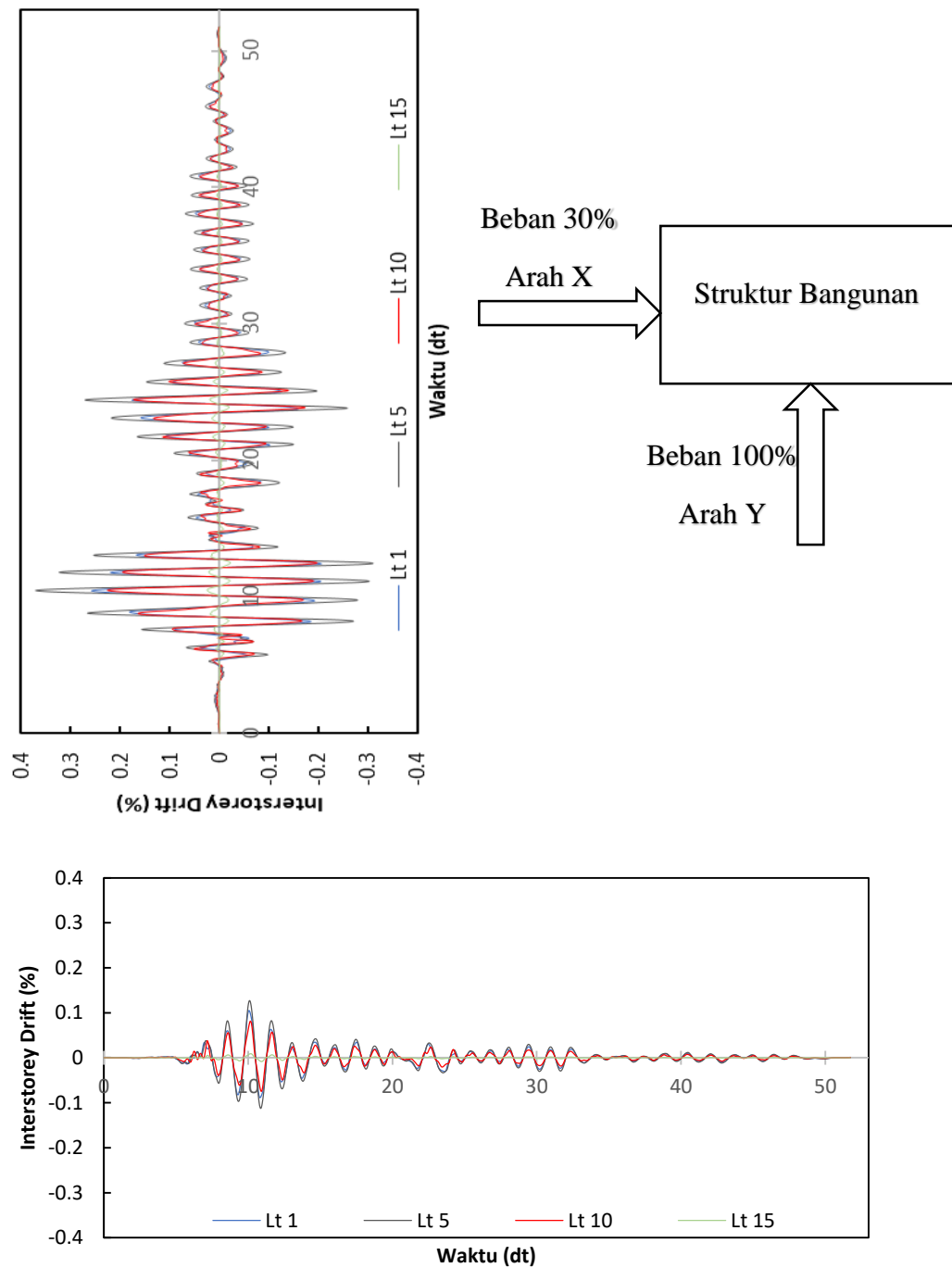


c. Frekuensi Tinggi

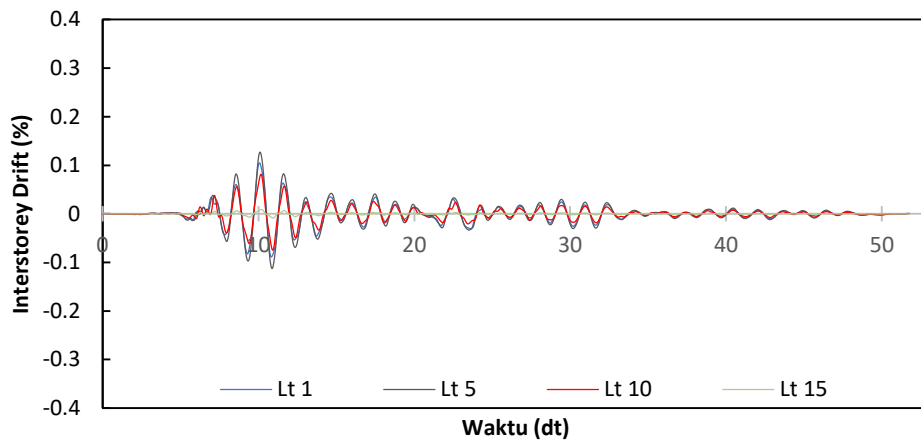
Gambar 5.157 Tampak Atas *Interstorey Drift Ratio* Setiap Frek Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan X

b. Pembebanan Dominan Y

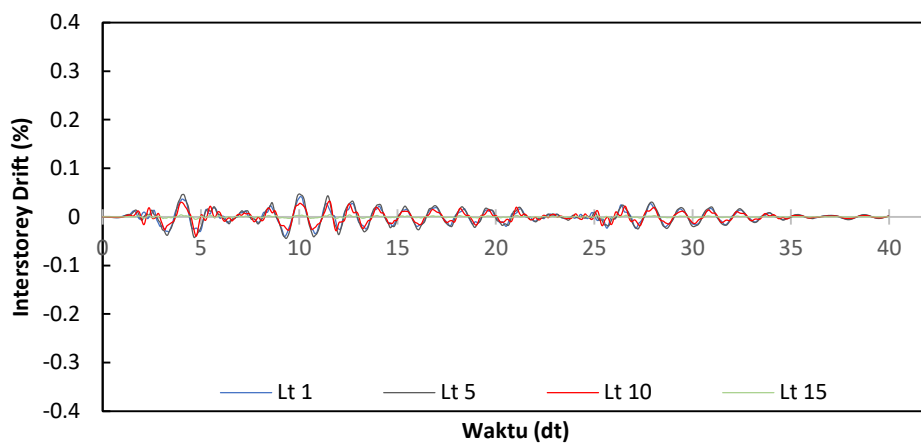
Adapun ilustrasi hasil analisis *interstorey drift ratio* pada pembebanan dominan y dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



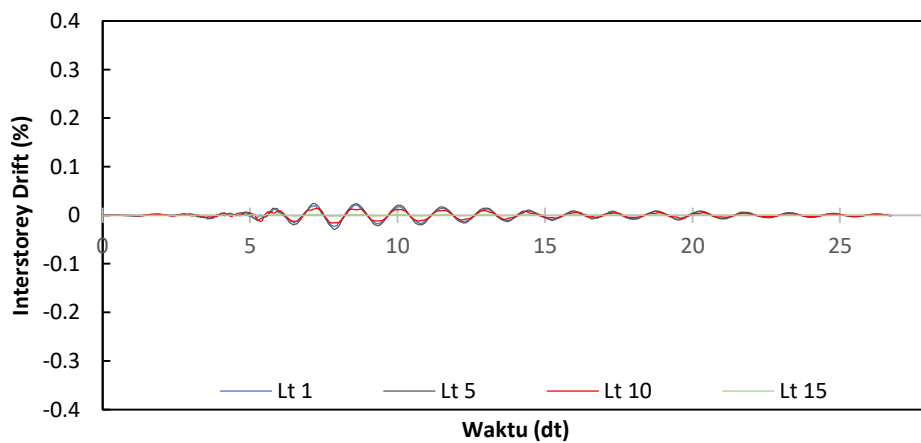
Gambar 5.158 Ilustrasi *Interstorey Drift Ratio* Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan Y



a. Frekuensi Rendah

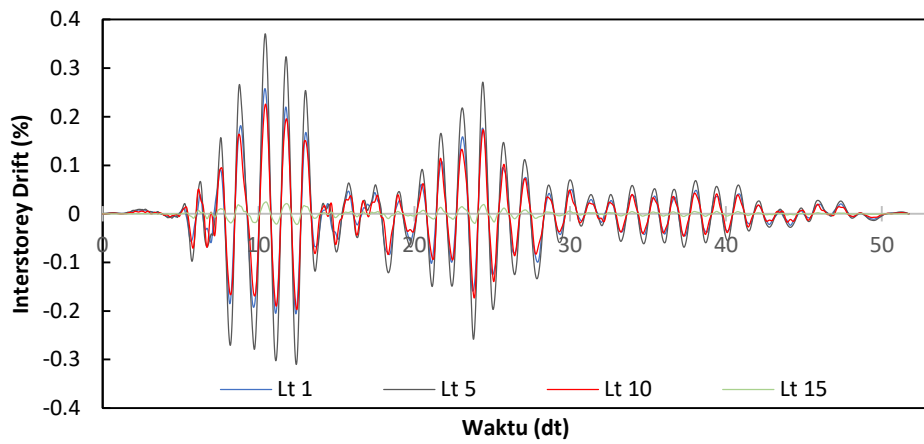


b. Frekuensi Sedang

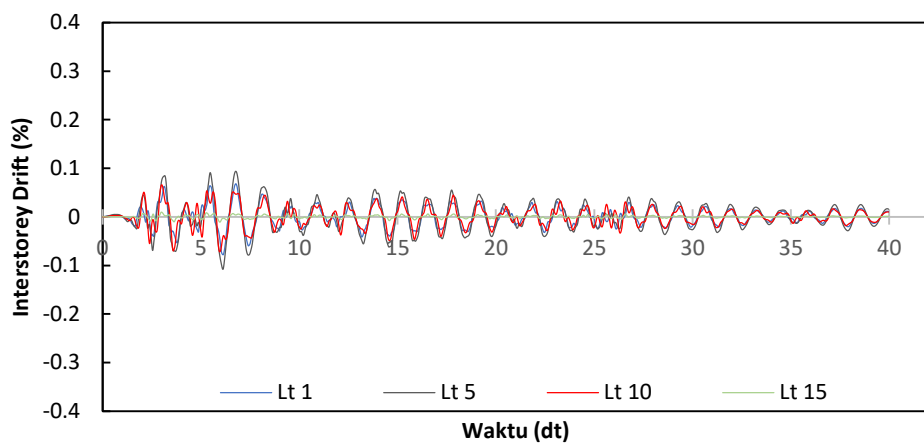


c. Frekuensi Tinggi

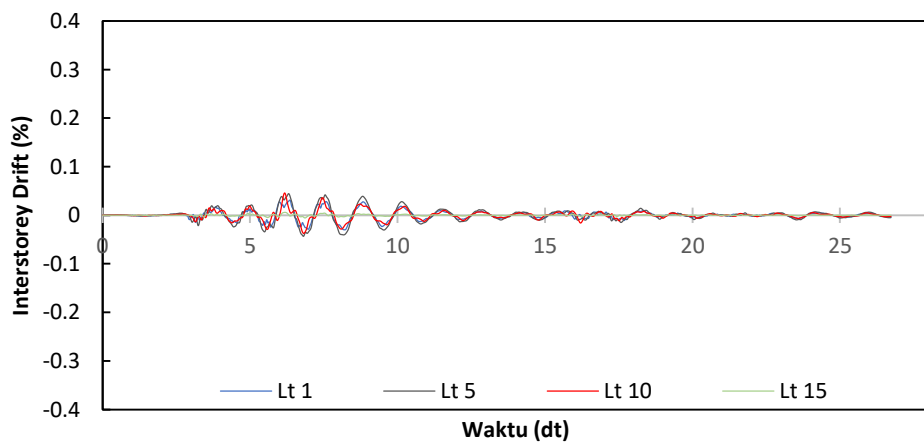
Gambar 5.159 Interstorey Drift Ratio Arah X Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan Y



a. Frekuensi Rendah

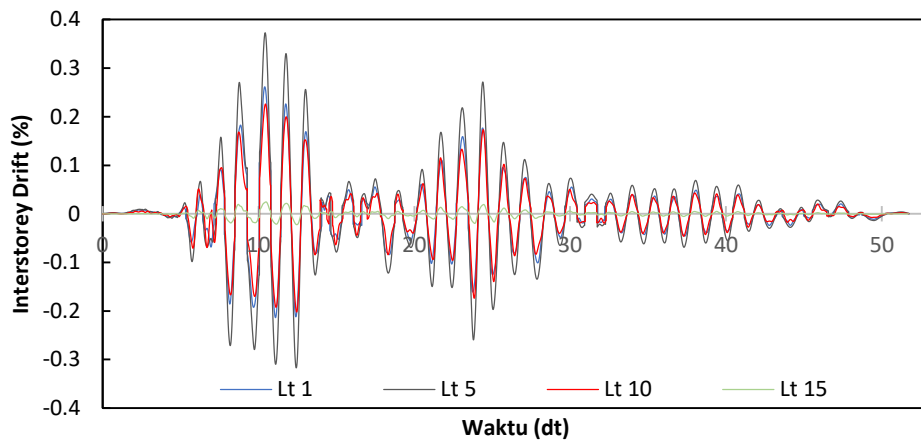


b. Frekuensi Sedang

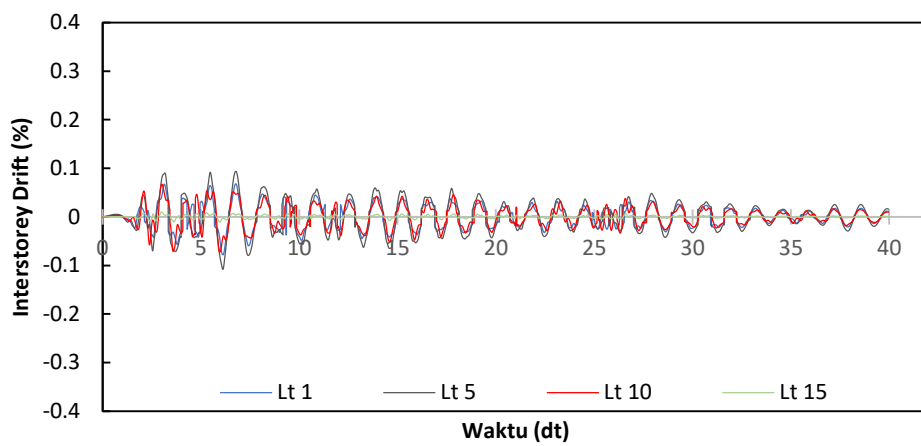


c. Frekuensi Tinggi

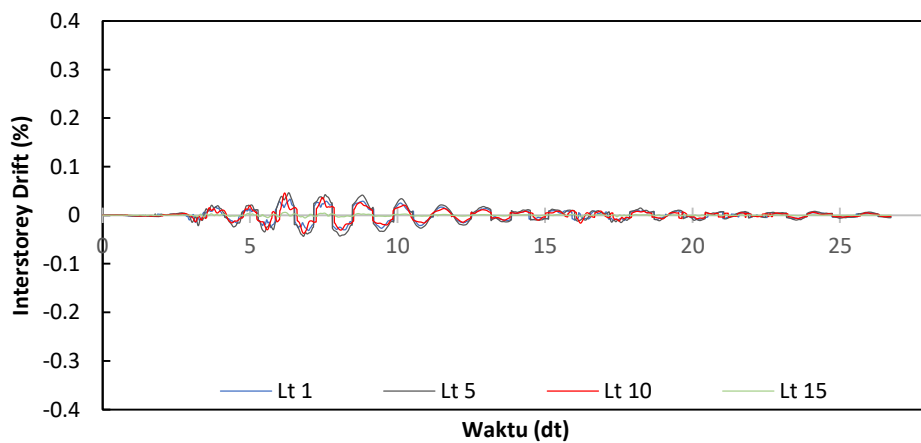
Gambar 5.160 *Interstorey Drift Ratio* Arah Y Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan Y



a. Frekuensi Rendah

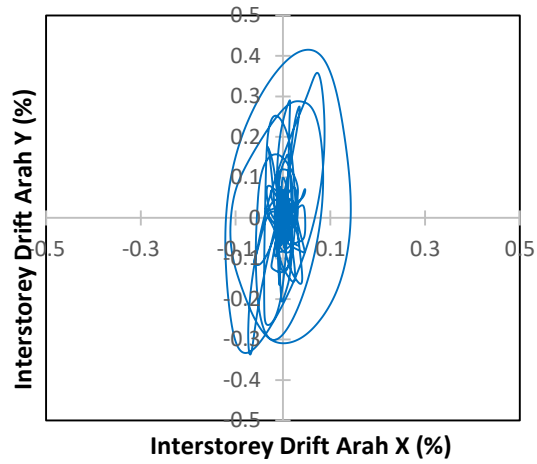


b. Frekuensi Sedang

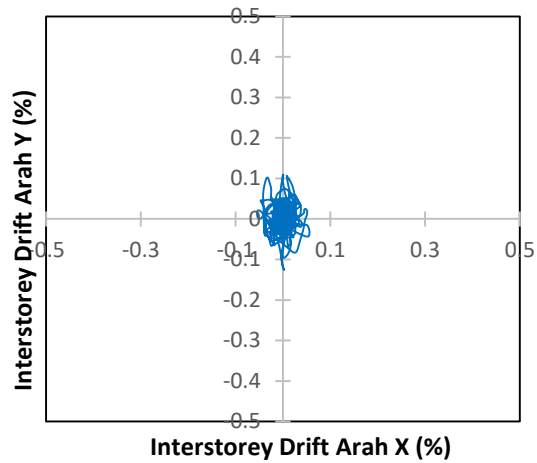


c. Frekuensi Tinggi

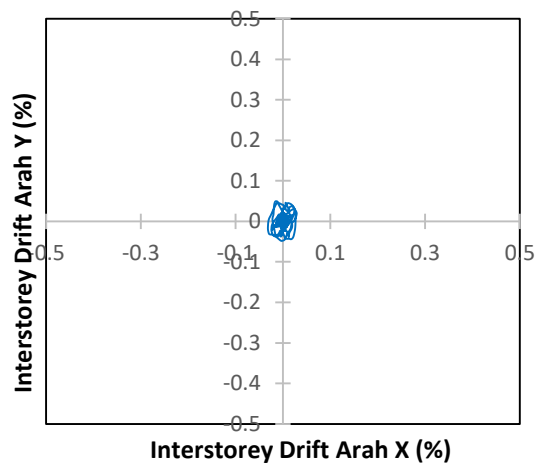
Gambar 5.161 Resultan *Interstorey Drift Ratio* Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan Y



a. Frekuensi Rendah



b. Frekuensi Sedang



c. Frekuensi Tinggi

Gambar 5.162 Tampak Atas *Interstorey Drift Ratio* Setiap Frek Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan Y

Tabel 5.67 Interstorey Drift Maks Bang Dengan Rotasi Frek Rendah

Lantai	Dominan X (%)		Dominan Y (%)	
	Beban 100% X	Beban 30% Y	Beban 30% X	Beban 100% Y
15	0,0299	0,0074	0,0090	0,0246
14	0,0823	0,0202	0,0247	0,0672
13	0,1337	0,0327	0,0401	0,1091
12	0,1829	0,0449	0,0549	0,1497
11	0,2291	0,0566	0,0687	0,1887
10	0,2714	0,0677	0,0814	0,2258
9	0,3094	0,0783	0,0928	0,2608
8	0,3430	0,0880	0,1029	0,2932
7	0,3729	0,0968	0,1119	0,3226
6	0,3994	0,1045	0,1198	0,3485
5	0,4234	0,1112	0,1270	0,3707
4	0,4448	0,1168	0,1334	0,3892
3	0,4630	0,1212	0,1389	0,4040
2	0,4768	0,1245	0,1430	0,4151
1	0,3498	0,0774	0,1049	0,2579
0	0	0	0	0

Tabel 5.68 Interstorey Drift Maks Bang Dengan Rotasi Frek Sedang

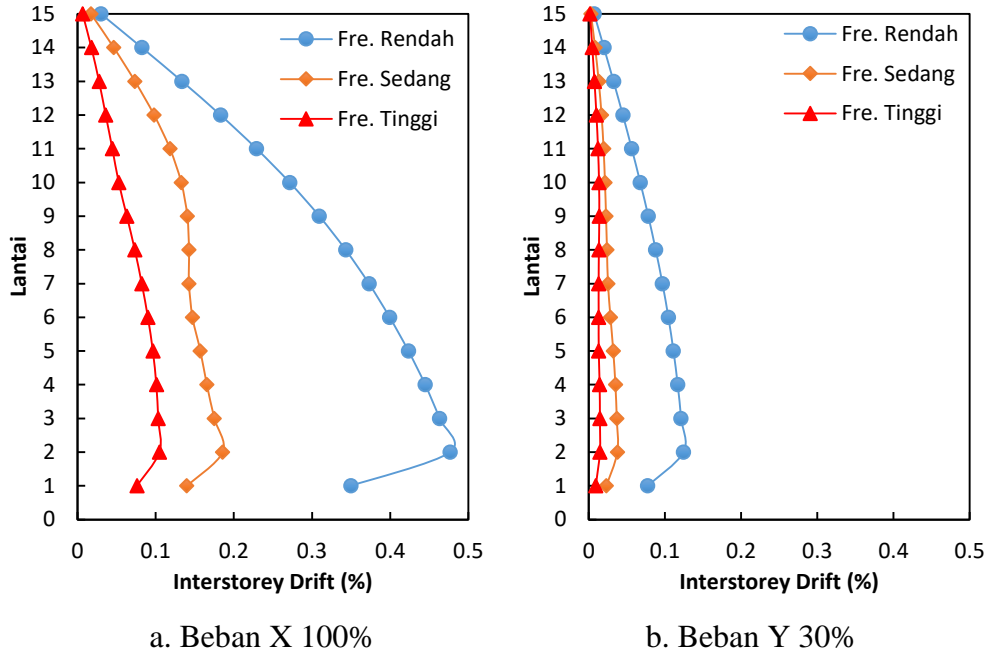
Lantai	Dominan X (%)		Dominan Y (%)	
	Beban 100% X	Beban 30% Y	Beban 30% X	Beban 100% Y
15	0,0171	0,0033	0,0051	0,0109
14	0,0463	0,0087	0,0139	0,0290
13	0,0734	0,0134	0,0220	0,0447
12	0,0979	0,0171	0,0294	0,0571
11	0,1182	0,0198	0,0354	0,0659
10	0,1325	0,0216	0,0398	0,0720
9	0,1403	0,0230	0,0421	0,0767
8	0,1425	0,0242	0,0427	0,0807
7	0,1425	0,0255	0,0428	0,0851
6	0,1470	0,0288	0,0441	0,0960
5	0,1570	0,0324	0,0471	0,1081
4	0,1653	0,0352	0,0496	0,1174
3	0,1749	0,0370	0,0525	0,1234
2	0,1857	0,0378	0,0557	0,1262
1	0,1398	0,0234	0,0419	0,0781
0	0	0	0	0

Tabel 5.69 Interstorey Drift Maks Bang Dengan Rotasi Frek Tinggi

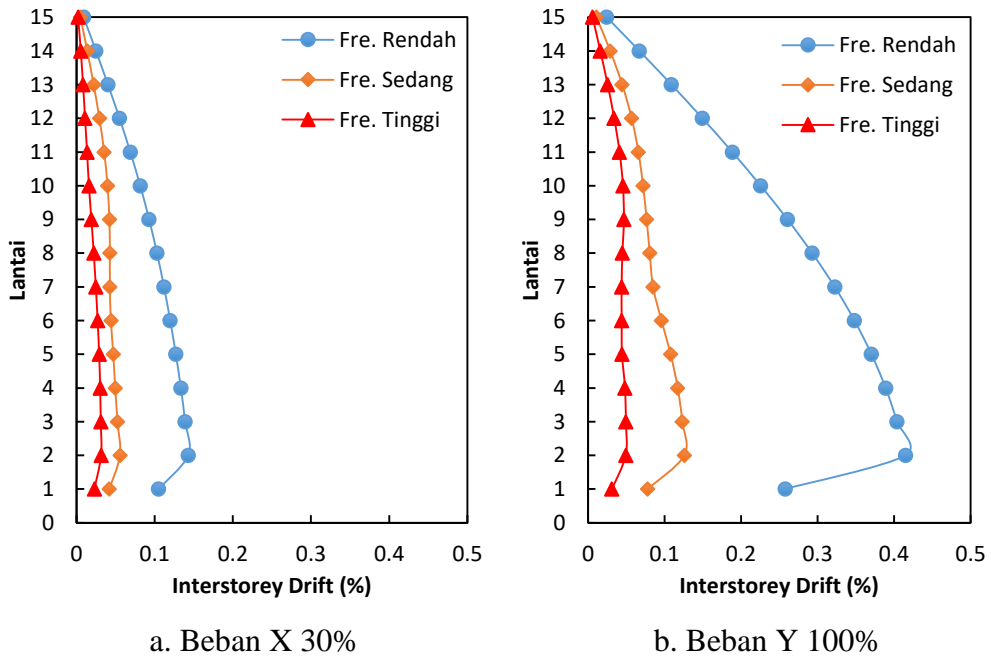
Lantai	Dominan X (%)		Dominan Y (%)	
	Beban 100% X	Beban 30% Y	Beban 30% X	Beban 100% Y
15	0,0067	0,0018	0,0020	0,0059
14	0,0179	0,0048	0,0054	0,0160
13	0,0277	0,0077	0,0083	0,0256
12	0,0362	0,0103	0,0109	0,0343
11	0,0447	0,0124	0,0134	0,0412
10	0,0529	0,0137	0,0159	0,0457
9	0,0633	0,0141	0,0190	0,0469
8	0,0734	0,0135	0,0220	0,0450
7	0,0823	0,0132	0,0247	0,0439
6	0,0902	0,0132	0,0271	0,0440
5	0,0965	0,0133	0,0290	0,0445
4	0,1010	0,0145	0,0303	0,0484
3	0,1034	0,0149	0,0310	0,0495
2	0,1050	0,0148	0,0315	0,0494
1	0,0761	0,0094	0,0228	0,0313
0	0	0	0	0

Tabel 5.70 Resultan Interstorey Drift Maks Bangunan Dengan Rotasi

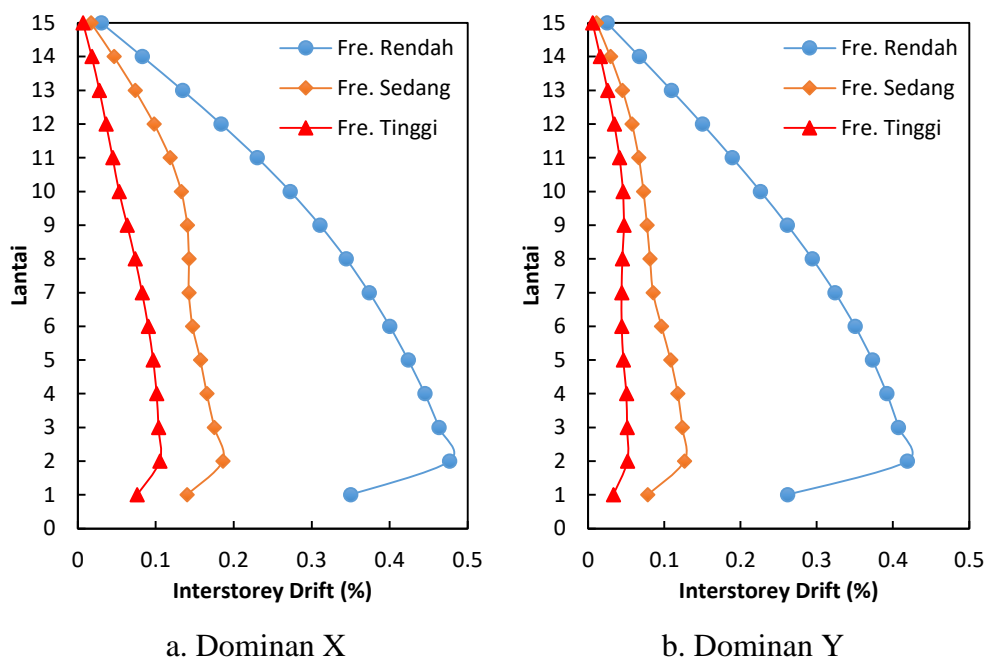
Lantai	Frekuensi Rendah		Frekuensi Sedang		Frekuensi Tinggi	
	Dom-X (%)	Dom-Y (%)	Dom-X (%)	Dom-Y (%)	Dom-X (%)	Dom-Y (%)
15	0,0301	0,0246	0,0171	0,0109	0,0068	0,0059
14	0,0827	0,0672	0,0463	0,0292	0,0180	0,0160
13	0,1343	0,1091	0,0734	0,0450	0,0278	0,0256
12	0,1837	0,1497	0,0980	0,0575	0,0363	0,0343
11	0,2301	0,1887	0,1183	0,0665	0,0448	0,0412
10	0,2725	0,2260	0,1327	0,0726	0,0529	0,0457
9	0,3105	0,2612	0,1404	0,0771	0,0634	0,0470
8	0,3442	0,2940	0,1425	0,0811	0,0735	0,0450
7	0,3738	0,3237	0,1425	0,0851	0,0824	0,0439
6	0,4001	0,3500	0,1472	0,0961	0,0902	0,0441
5	0,4237	0,3728	0,1573	0,1081	0,0966	0,0463
4	0,4450	0,3918	0,1655	0,1174	0,1011	0,0501
3	0,4631	0,4071	0,1752	0,1234	0,1034	0,0512
2	0,4768	0,4188	0,1859	0,1262	0,1051	0,0516
1	0,3498	0,2614	0,1399	0,0781	0,0761	0,0331
0	0	0	0	0	0	0



Gambar 5.163 *Interstorey Drift Ratio* Maksimum Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan X



Gambar 5.164 *Interstorey Drift Ratio* Maksimum Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan Y



Gambar 5.165 Resultan *Interstorey Drift Ratio* Maksimum Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi

2. *Interstorey Drift Ratio* Struktur Bangunan Tanpa Rotasi

Interstorey drift ratio struktur bangunan reguler tanpa rotasi dengan beban gempa frekuensi rendah, frekuensi sedang, dan frekuensi tinggi dan pada pembebanan dominan arah x dan dominan arah y dengan beban 100%, beban 30%, resultan *interstorey drift ratio*, dan tampak atas *interstorey drift ratio* (*interstorey drift ratio* lantai 2) dapat dilihat pada Gambar 5.166 s/d Gambar 5.175. Nilai-nilai maksimum *interstorey drift ratio* setiap lantai pada setiap frekuensi beban gempa dan arah pembebanan dapat dilihat pada Tabel 5.71 s/d Tabel 5.74 dan Gambar 5.176 s/d Gambar 5.178.

Hasil tabel dan gambar grafik tersebut menunjukkan bahwa *interstorey drift ratio* maksimum terbesar pada setiap frekuensi beban gempa terjadi pada lantai 2. Hal ini dikarenakan pada lantai 1, struktur memiliki kekakuan yang besar kemudian kekakuan tersebut turun pada lantai 2. Semakin besar penurunan kekakuan yang terjadi maka semakin besar nilai *interstorey drift ratio* sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai *interstorey drift ratio* berbanding terbalik dengan

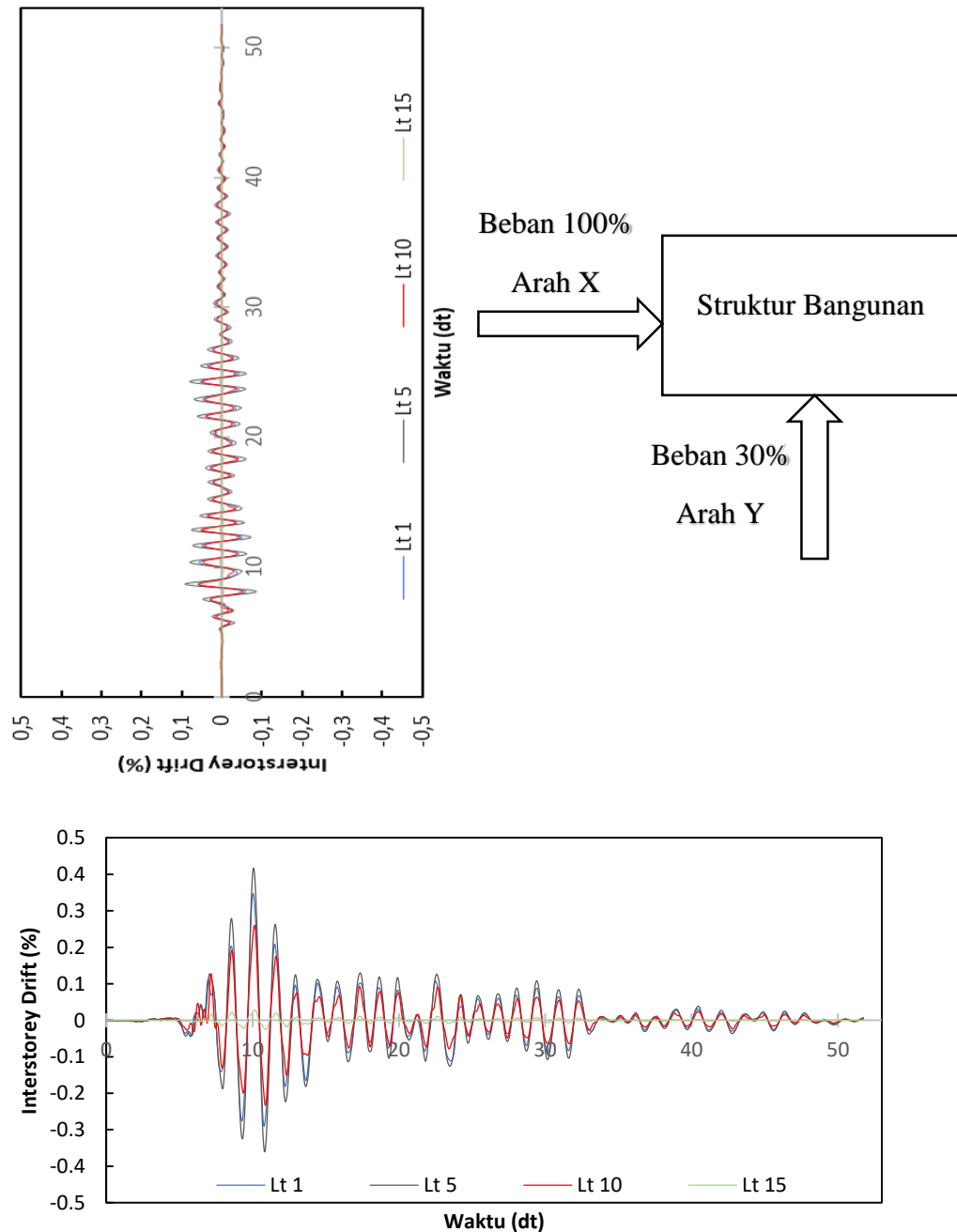
nilai kekakuan tingkat, kemudian pada lantai 3 dan seterusnya nilai *interstorey drift ratio* semakin kecil.

Gempa dengan frekuensi rendah (Gempa Duzce) menghasilkan *interstorey drift ratio* yang paling besar pada struktur baik pada pembebanan dominan x maupun pembebanan dominan y, sedangkan gempa dengan frekuensi tinggi (Gempa Manjil) menghasilkan *interstorey drift ratio* yang paling kecil dan gempa dengan frekuensi sedang (Gempa EL-Centro 1940) berada diantaranya. Hal ini dikarenakan struktur bangunan tinggi bersifat fleksibel sehingga akan mempunyai frekuensi sudut (ω) dan frekuensi natural (f) yang rendah dan menyebabkan bangunan akan bergetar pada frekuensi rendah atau berasosiasi dengan baik dengan gempa frekuensi rendah.

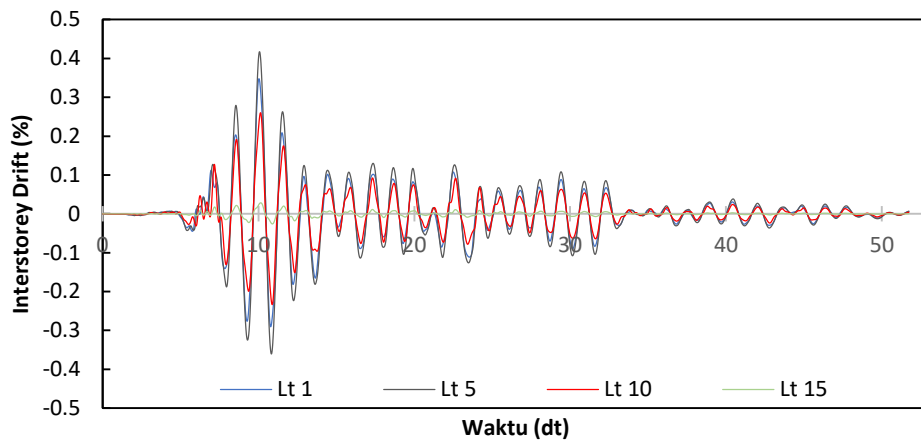
Resultan *interstorey drift ratio* akibat pembebanan dominan x lebih besar dari resultan *interstorey drift ratio* akibat pembebanan dominan y pada setiap frekuensi beban gempa. Hal ini dikarenakan resultan simpangan netto akibat pembebanan dominan x lebih besar dari resultan simpangan netto akibat pembebanan dominan y seperti yang dijelaskan pada subsubbab 5.7.2. Penyebab yang lain adalah walaupun bangunan berbentuk pipih pada arah y, tetapi kekakuan struktur arah x lebih kecil dari kekakuan struktur arah y akibat inersia kolom arah x lebih kecil dibandingkan dengan inersia kolom arah y serta kekakuan balok arah x yang mengekang kolom lebih kecil dari kekakuan balok arah y yang mengekang kolom.

a. Pembebanan Dominan X

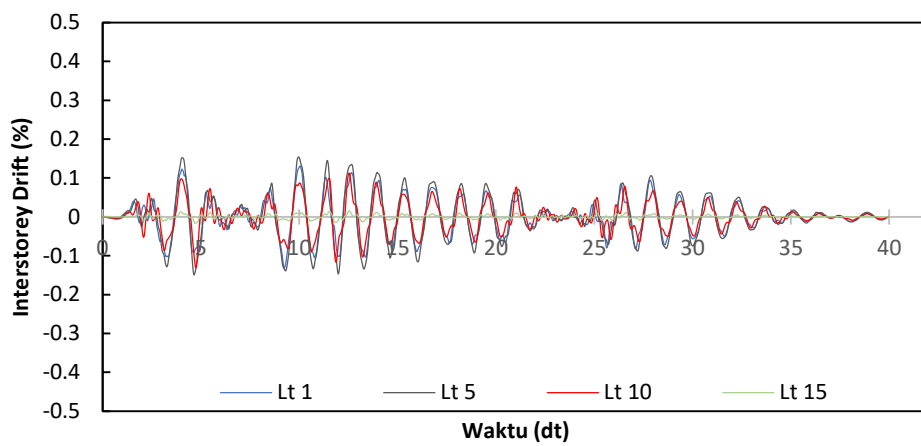
Adapun ilustrasi hasil analisis *interstorey drift ratio* pada pembebanan dominan x dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



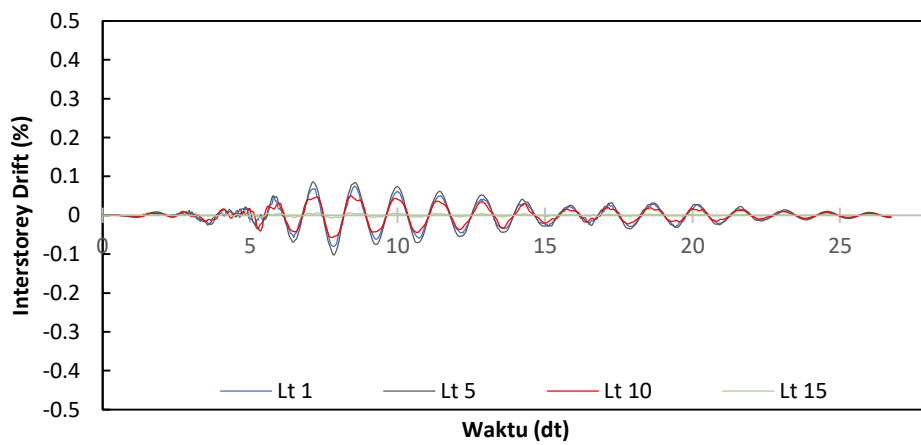
Gambar 5.166 Ilustrasi *Interstorey Drift Ratio* Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan X



a. Frekuensi Rendah

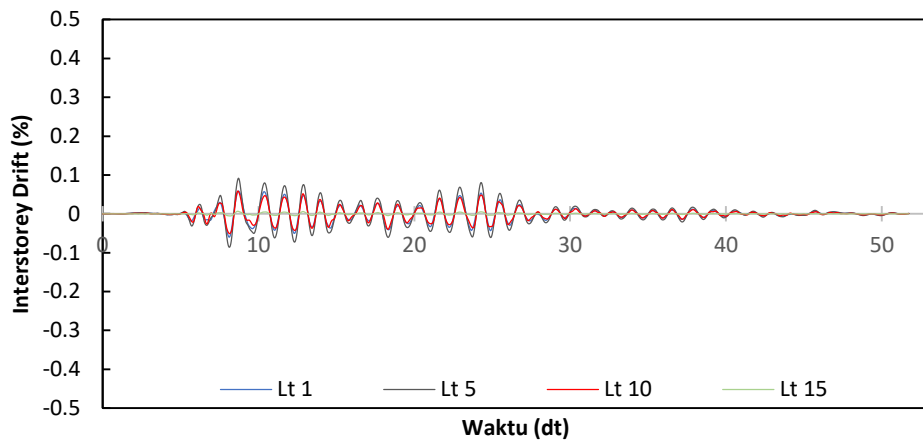


b. Frekuensi Sedang

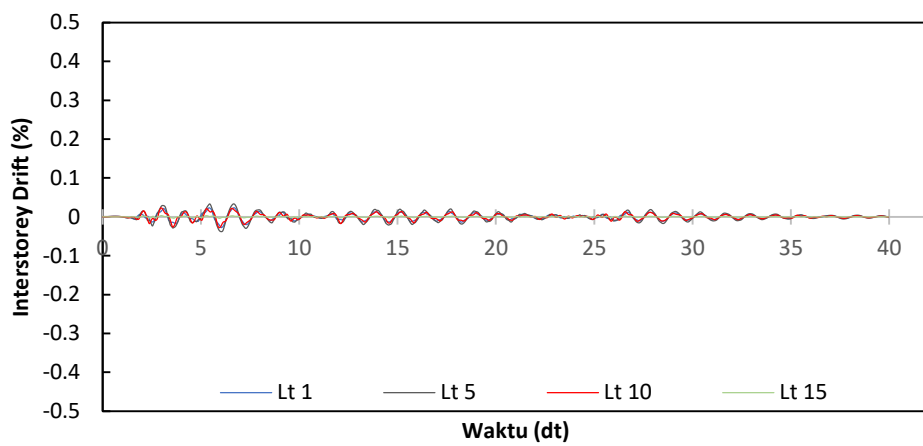


c. Frekuensi Tinggi

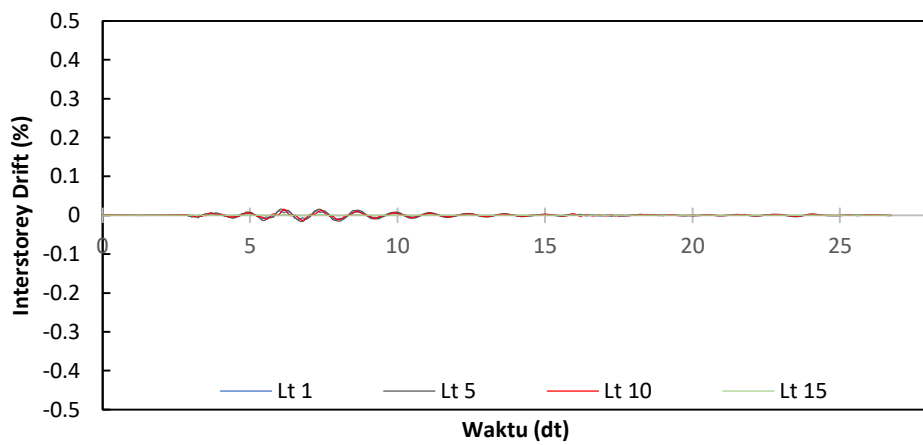
Gambar 5.167 Interstorey Drift Ratio Arah X Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan X



a. Frekuensi Rendah

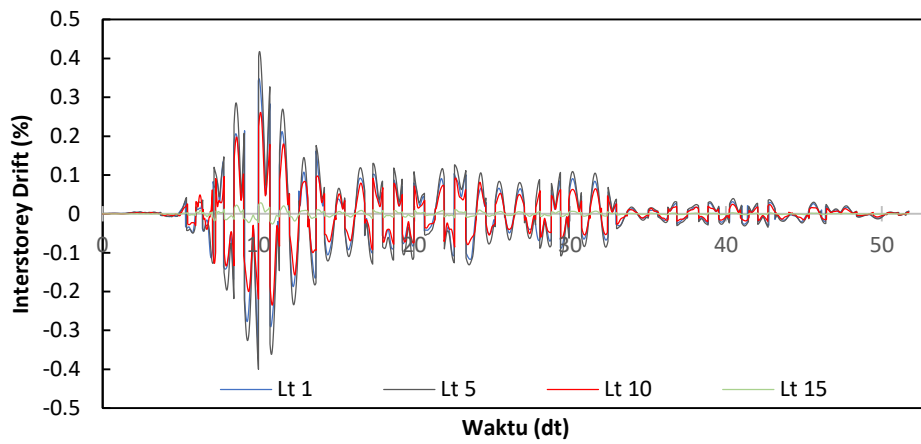


b. Frekuensi Sedang

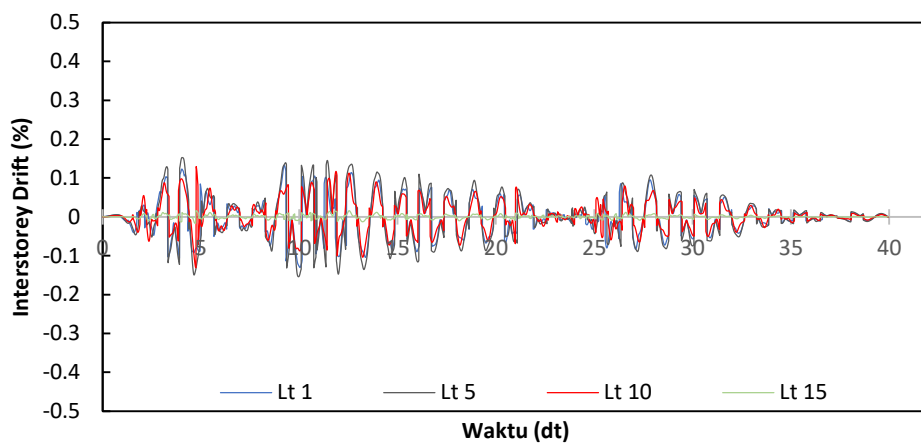


c. Frekuensi Tinggi

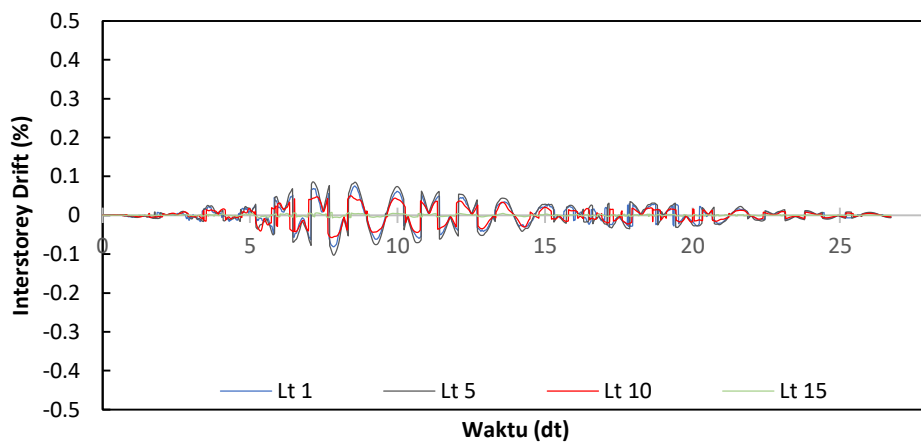
Gambar 5.168 Interstorey Drift Ratio Arah Y Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan X



a. Frekuensi Rendah

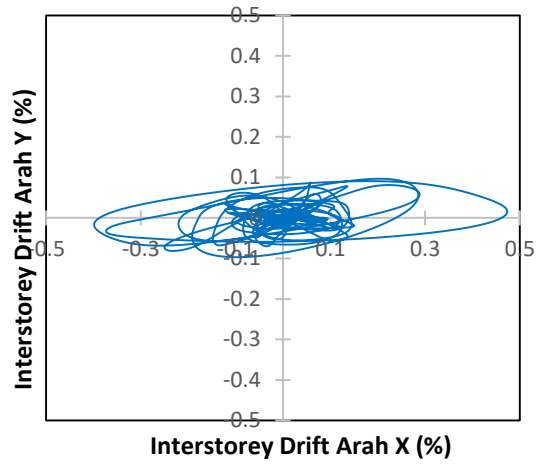


b. Frekuensi Sedang

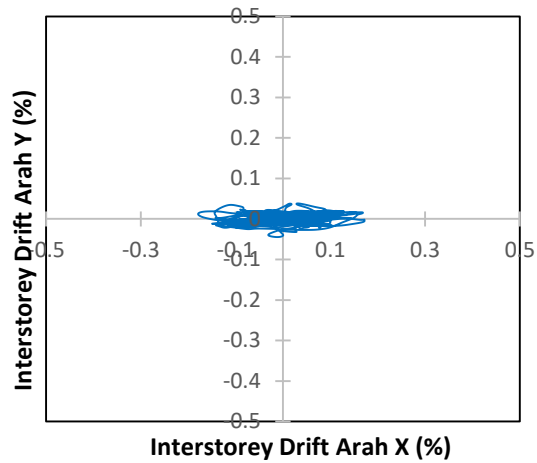


c. Frekuensi Tinggi

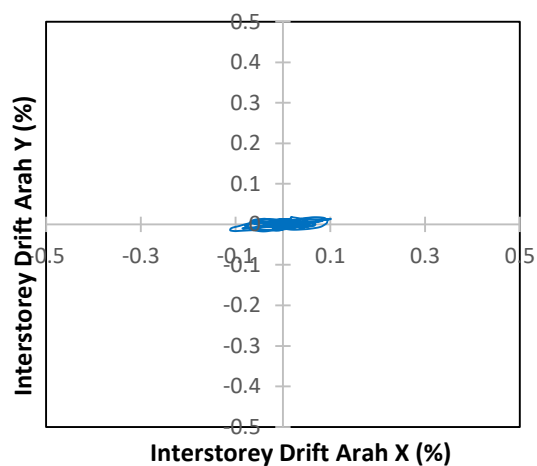
Gambar 5.169 Resultan *Interstorey Drift Ratio* Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan X



a. Frekuensi Rendah



b. Frekuensi Sedang

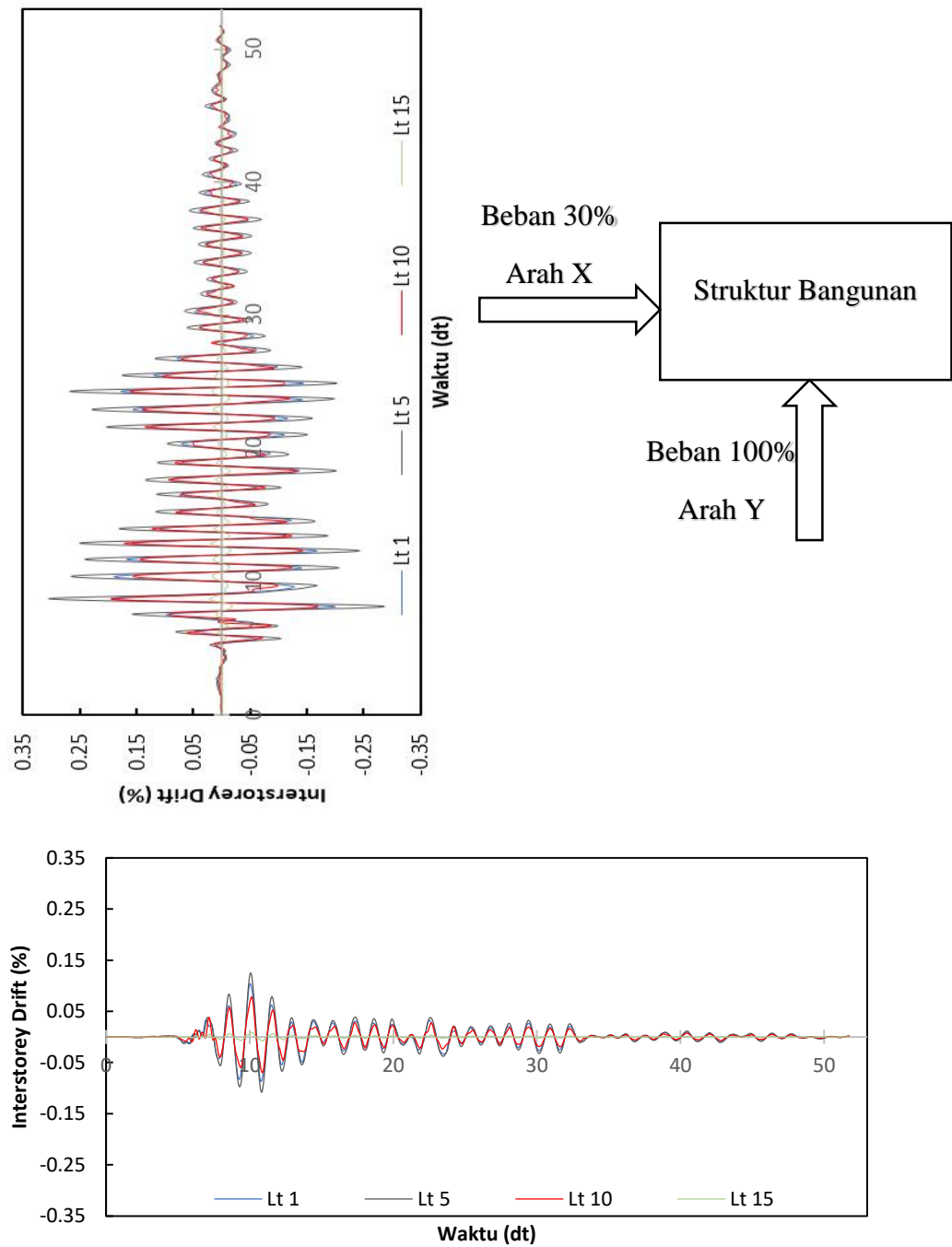


c. Frekuensi Tinggi

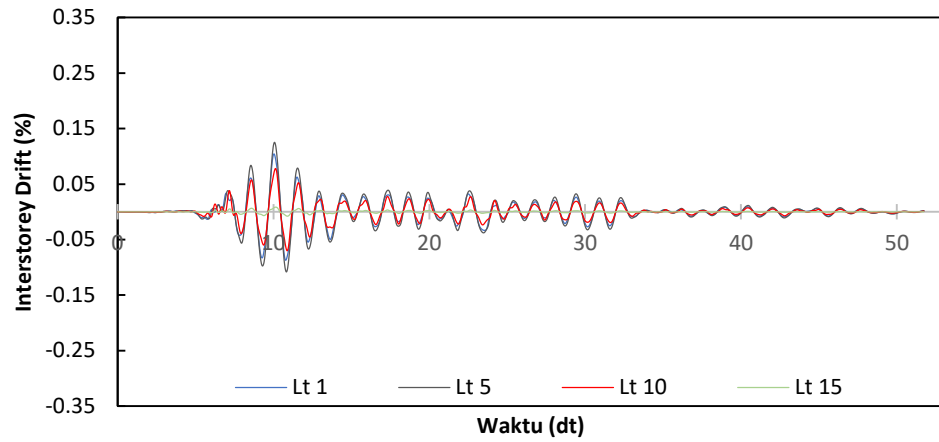
Gambar 5.170 Tampak Atas *Interstorey Drift Ratio* Setiap Frek Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan X

b. Pembebanan Dominan Y

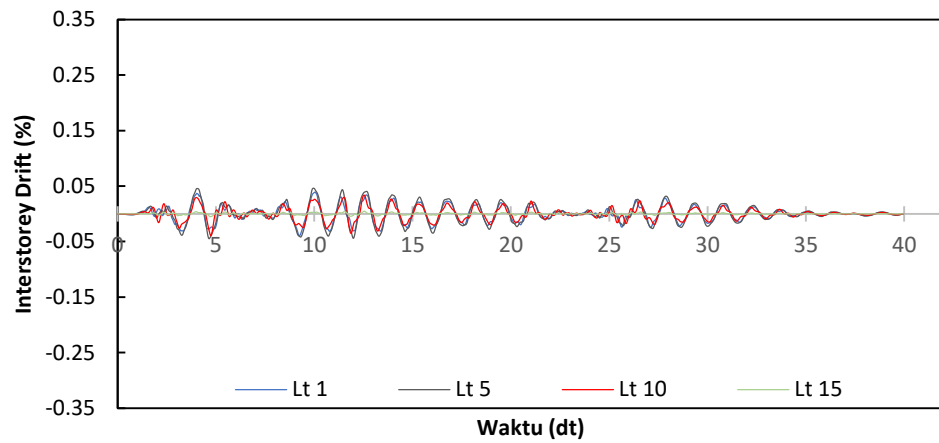
Adapun ilustrasi hasil analisis *interstorey drift ratio* pada pembebanan dominan y dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



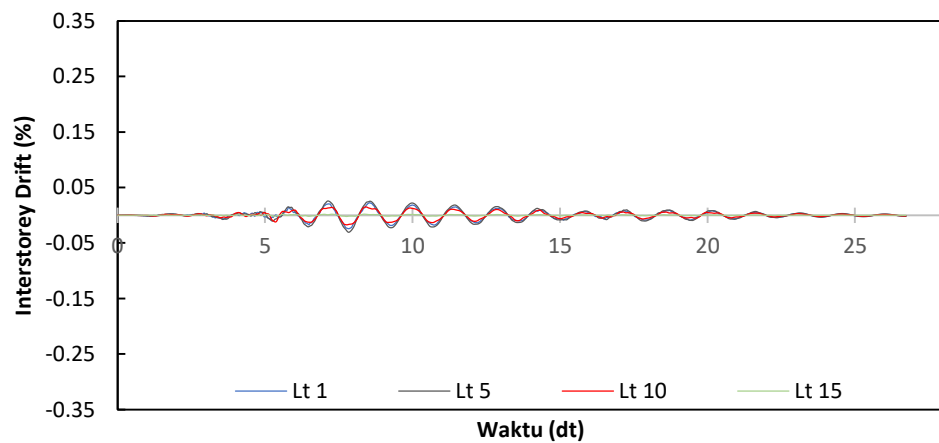
Gambar 5.171 Ilustrasi *Interstorey Drift Ratio* Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan Y



a. Frekuensi Rendah

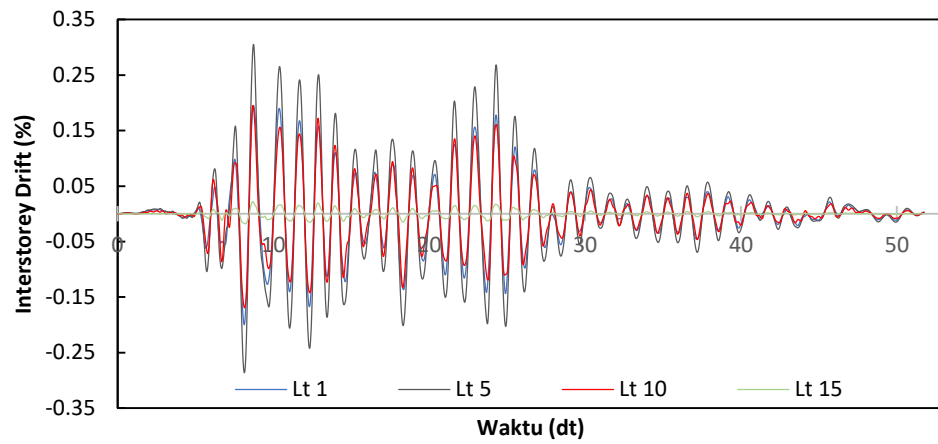


b. Frekuensi Sedang

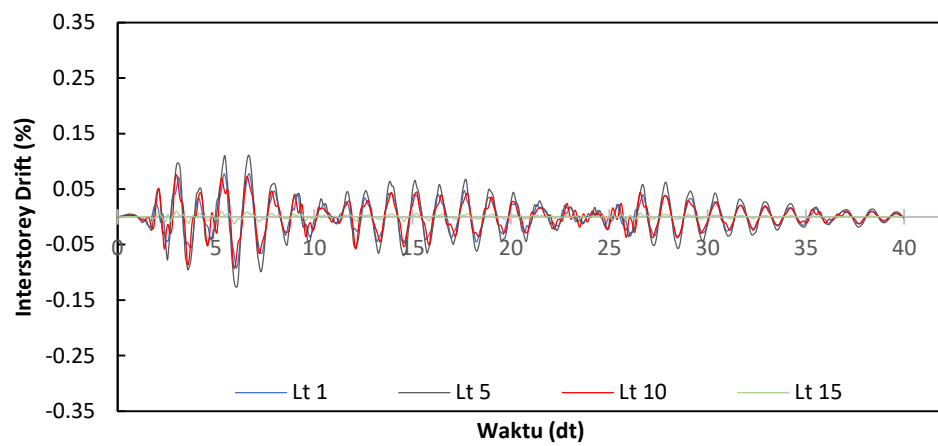


c. Frekuensi Tinggi

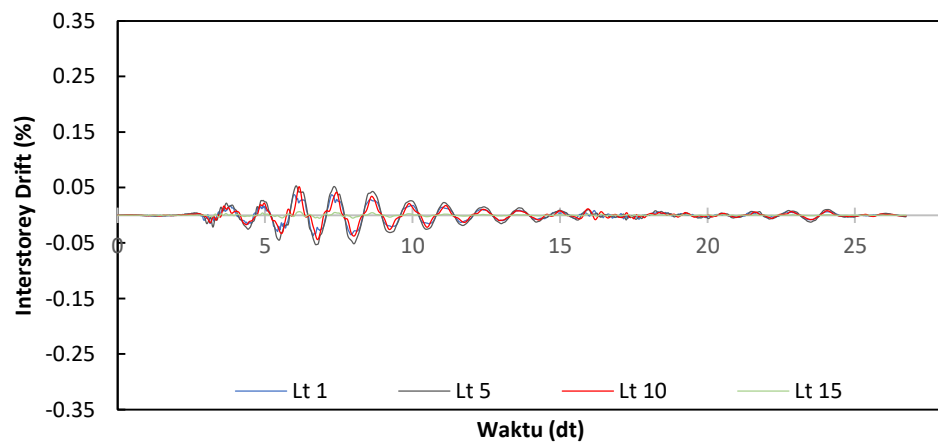
Gambar 5.172 Interstorey Drift Ratio Arah X Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan Y



a. Frekuensi Rendah

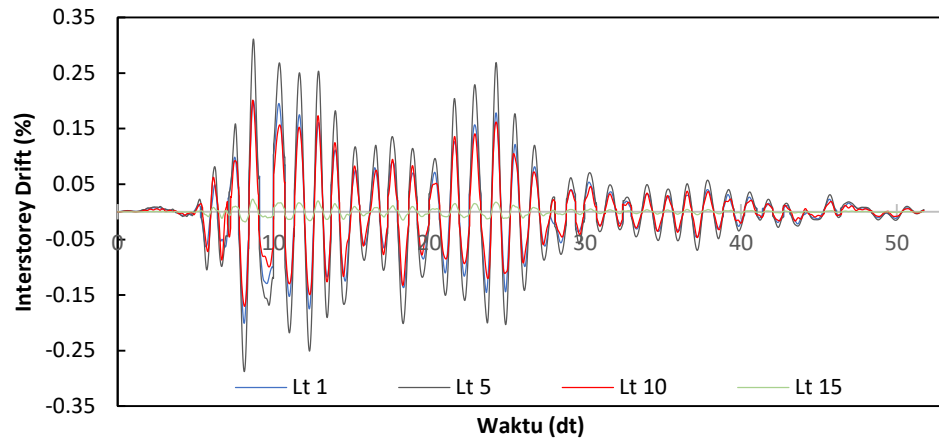


b. Frekuensi Sedang

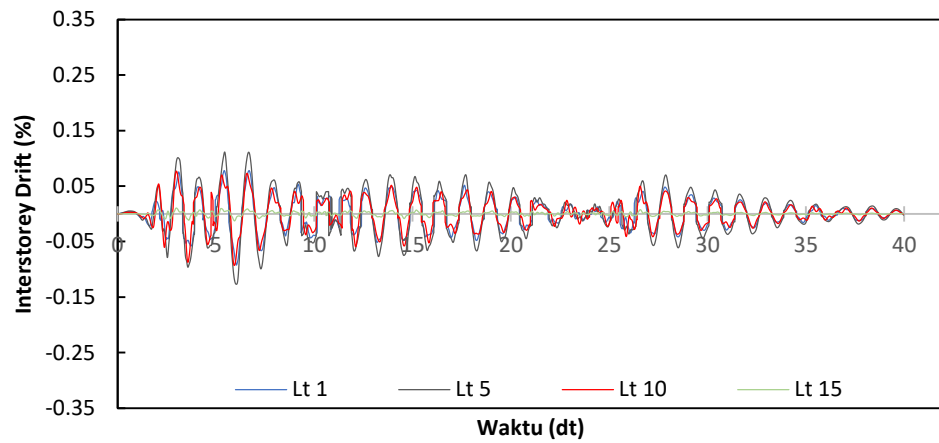


c. Frekuensi Tinggi

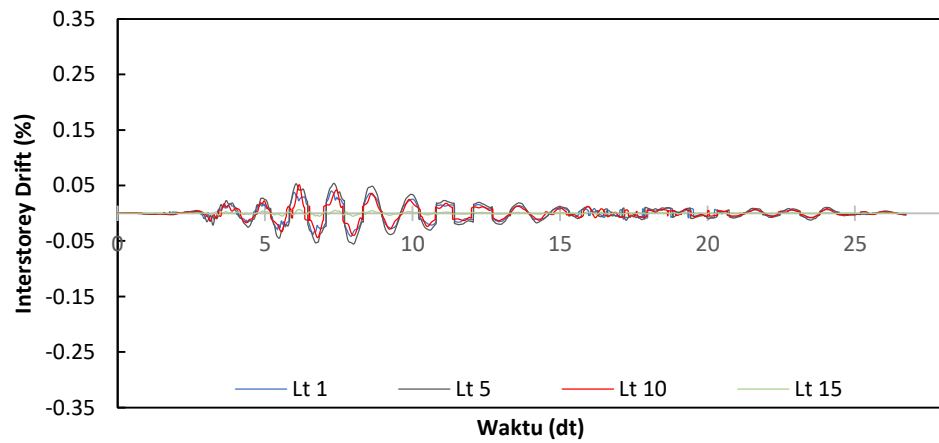
Gambar 5.173 Interstorey Drift Ratio Arah Y Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan Y



a. Frekuensi Rendah

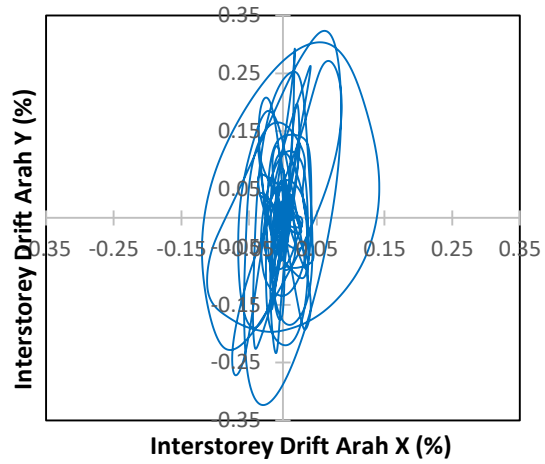


b. Frekuensi Sedang

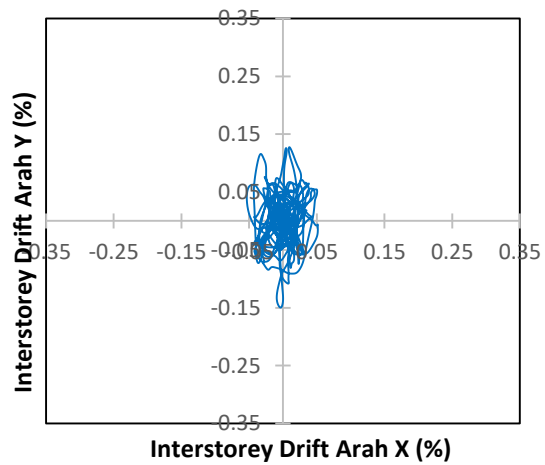


c. Frekuensi Tinggi

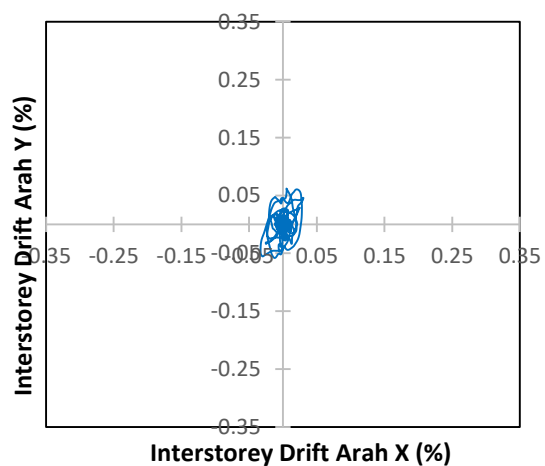
Gambar 5.174 Resultan *Interstorey Drift Ratio* Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan Y



a. Frekuensi Rendah



b. Frekuensi Sedang



c. Frekuensi Tinggi

Gambar 5.175 Tampak Atas *Interstorey Drift Ratio* Setiap Frek Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan Y

Tabel 5.71 Interstorey Drift Maks Bang Tanpa Rotasi Frek Rendah

Lantai	Dominan X (%)		Dominan Y (%)	
	Beban 100% X	Beban 30% Y	Beban 30% X	Beban 100% Y
15	0,0283	0,0066	0,0085	0,0222
14	0,0780	0,0182	0,0234	0,0607
13	0,1269	0,0294	0,0381	0,0980
12	0,1742	0,0400	0,0522	0,1332
11	0,2188	0,0497	0,0656	0,1656
10	0,2602	0,0585	0,0781	0,1951
9	0,2979	0,0666	0,0894	0,2220
8	0,3320	0,0741	0,0996	0,2470
7	0,3630	0,0810	0,1089	0,2699
6	0,3913	0,0869	0,1174	0,2895
5	0,4172	0,0916	0,1252	0,3053
4	0,4403	0,0949	0,1321	0,3162
3	0,4594	0,0966	0,1378	0,3221
2	0,4737	0,0970	0,1421	0,3234
1	0,3478	0,0599	0,1043	0,1997
0	0	0	0	0

Tabel 5.72 Interstorey Drift Maks Bang Tanpa Rotasi Frek Sedang

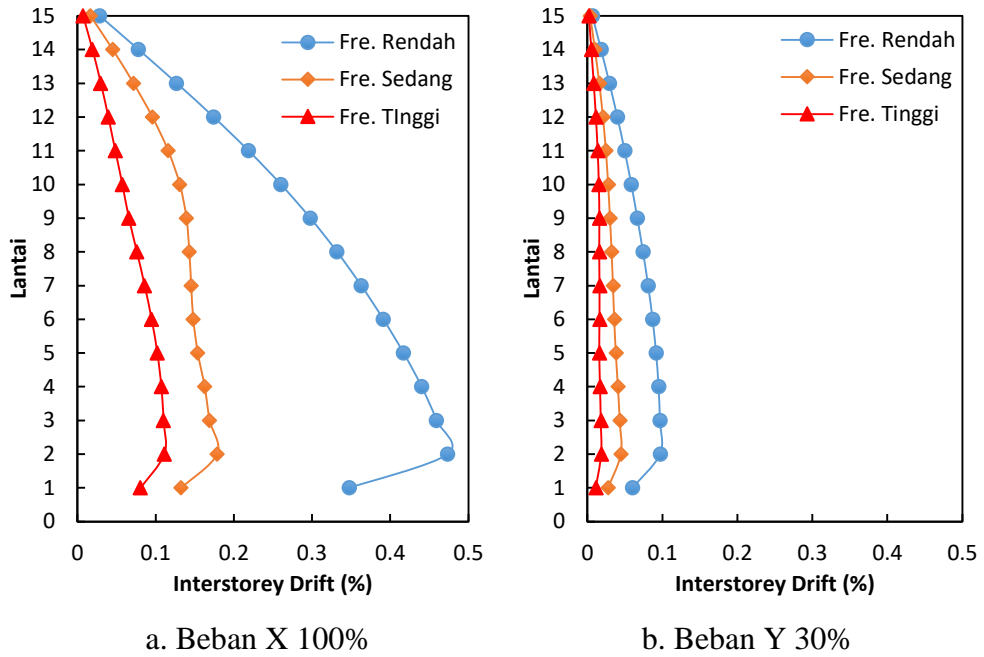
Lantai	Dominan X (%)		Dominan Y (%)	
	Beban 100% X	Beban 30% Y	Beban 30% X	Beban 100% Y
15	0,0166	0,0038	0,0050	0,0126
14	0,0452	0,0102	0,0135	0,0340
13	0,0717	0,0160	0,0215	0,0532
12	0,0958	0,0209	0,0288	0,0695
11	0,1161	0,0248	0,0348	0,0826
10	0,1309	0,0278	0,0393	0,0927
9	0,1395	0,0303	0,0418	0,1009
8	0,1431	0,0324	0,0429	0,1081
7	0,1455	0,0343	0,0436	0,1142
6	0,1481	0,0359	0,0444	0,1197
5	0,1539	0,0381	0,0462	0,1269
4	0,1627	0,0409	0,0488	0,1362
3	0,1691	0,0433	0,0507	0,1443
2	0,1788	0,0448	0,0536	0,1494
1	0,1325	0,0276	0,0397	0,0921
0	0	0	0	0

Tabel 5.73 Interstorey Drift Maks Bang Tanpa Rotasi Frek Tinggi

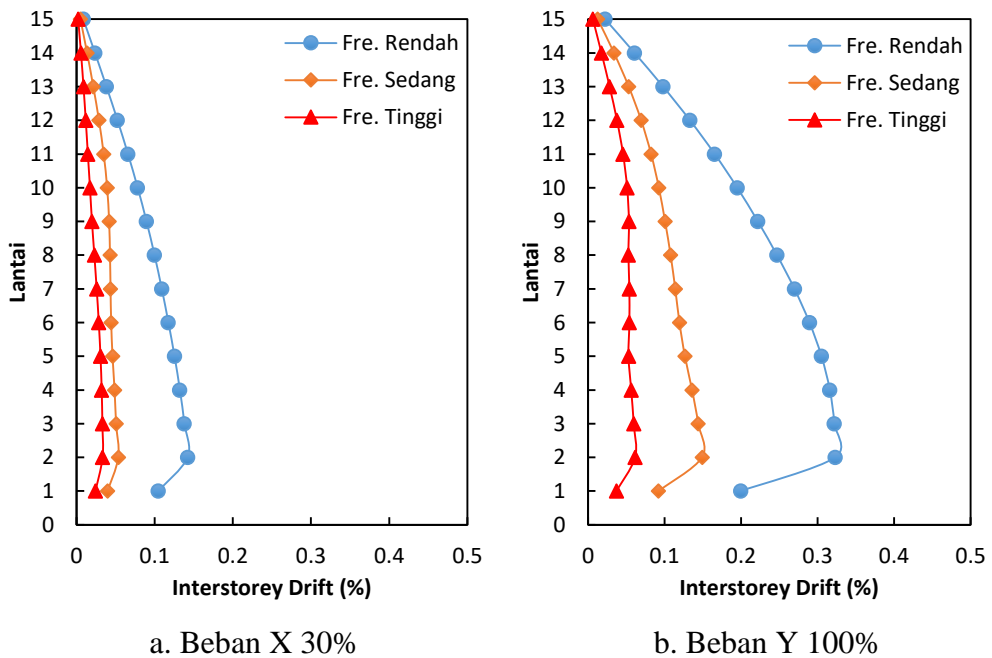
Lantai	Dominan X (%)		Dominan Y (%)	
	Beban 100% X	Beban 30% Y	Beban 30% X	Beban 100% Y
15	0,0072	0,0019	0,0022	0,0065
14	0,0192	0,0053	0,0058	0,0176
13	0,0299	0,0085	0,0090	0,0283
12	0,0395	0,0114	0,0118	0,0380
11	0,0484	0,0138	0,0145	0,0459
10	0,0574	0,0154	0,0172	0,0513
9	0,0658	0,0161	0,0197	0,0537
8	0,0760	0,0159	0,0228	0,0530
7	0,0860	0,0163	0,0258	0,0542
6	0,0949	0,0163	0,0285	0,0542
5	0,1022	0,0159	0,0306	0,0531
4	0,1073	0,0170	0,0322	0,0566
3	0,1101	0,0180	0,0330	0,0599
2	0,1112	0,0185	0,0334	0,0618
1	0,0807	0,0112	0,0242	0,0373
0	0	0	0	0

Tabel 5.74 Resultan Interstorey Drift Maks Bangunan Tanpa Rotasi

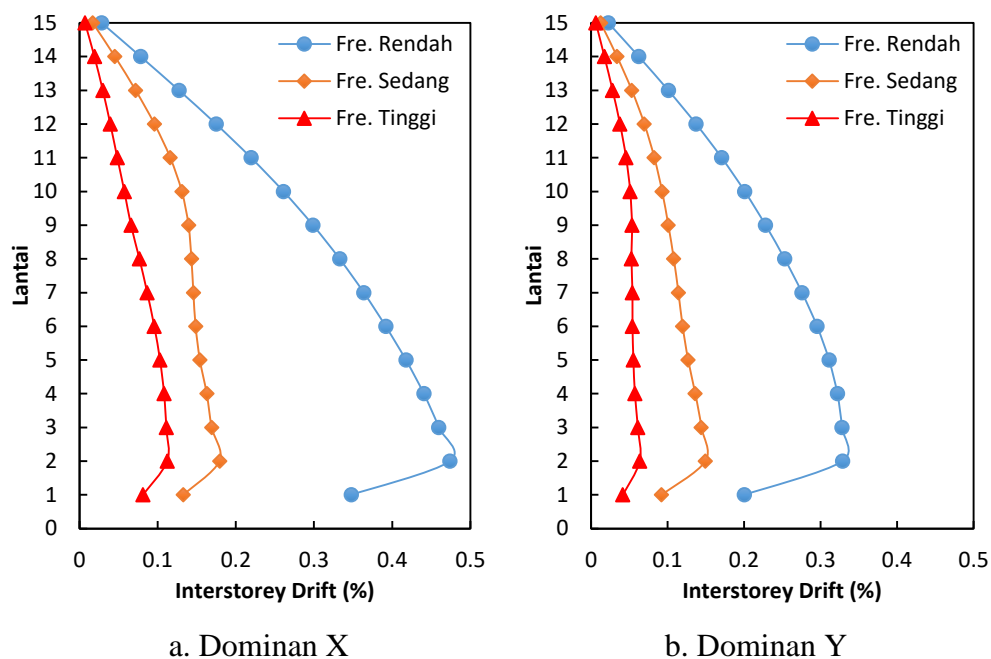
Lantai	Frekuensi Rendah		Frekuensi Sedang		Frekuensi Tinggi	
	Dom-X (%)	Dom-Y (%)	Dom-X (%)	Dom-Y (%)	Dom-X (%)	Dom-Y (%)
15	0,0284	0,0229	0,0166	0,0126	0,0072	0,0065
14	0,0782	0,0627	0,0452	0,0340	0,0192	0,0176
13	0,1274	0,1012	0,0717	0,0534	0,0299	0,0283
12	0,1747	0,1376	0,0958	0,0697	0,0395	0,0380
11	0,2195	0,1710	0,1161	0,0828	0,0484	0,0459
10	0,2610	0,2012	0,1309	0,0929	0,0575	0,0513
9	0,2988	0,2284	0,1395	0,1010	0,0659	0,0537
8	0,3329	0,2533	0,1432	0,1082	0,0766	0,0530
7	0,3638	0,2759	0,1458	0,1142	0,0866	0,0543
6	0,3918	0,2957	0,1486	0,1197	0,0955	0,0543
5	0,4177	0,3113	0,1541	0,1269	0,1029	0,0555
4	0,4406	0,3222	0,1628	0,1363	0,1081	0,0575
3	0,4597	0,3280	0,1692	0,1443	0,1109	0,0613
2	0,4740	0,3290	0,1792	0,1495	0,1121	0,0639
1	0,3479	0,2008	0,1327	0,0922	0,0811	0,0418
0	0	0	0	0	0	0



Gambar 5.176 Interstorey Drift Ratio Maksimum Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan X



Gambar 5.177 Interstorey Drift Ratio Maksimum Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan Y



Gambar 5.178 Resultan *Interstorey Drift Ratio* Maksimum Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi

3. Perbandingan *Interstorey Drift Ratio* Bangunan Dengan Rotasi dan Bangunan Tanpa Rotasi

Perbandingan *interstorey drift ratio* struktur bangunan reguler dengan rotasi dan tanpa rotasi dengan beban gempa frekuensi rendah, frekuensi sedang, dan frekuensi tinggi dan pada pembebanan dominan arah x dan dominan arah y disajikan dalam bentuk nilai-nilai maksimum setiap lantai yang dapat dilihat pada Tabel 5.75 s/d Tabel 5.83 dan Gambar 5.179 s/d Gambar 5.187.

Gempa dengan frekuensi rendah (Gempa Duzce) menghasilkan *interstorey drift ratio* pada bangunan reguler dengan rotasi lebih besar daripada bangunan reguler tanpa rotasi (*fixed*) baik pada pembebanan dominan x maupun pembebanan dominan y.

Gempa dengan frekuensi sedang (Gempa EL-Centro 1940) menghasilkan respon yang beragam. Beban gempa arah x (EW) pada pembebanan dominan x dan resultan dominan x menghasilkan *interstorey drift ratio* pada bangunan reguler dengan rotasi lebih besar daripada bangunan reguler tanpa rotasi (*fixed*) pada lantai 1-5 dan 9-15, sedangkan pada lantai 6-8 terjadi sebaliknya.

Selanjutnya, beban gempa arah x (EW) pada pembebanan dominan y, beban gempa arah y (NS) pada pembebanan dominan x, dominan y, dan resultan dominan y menghasilkan *interstorey drift ratio* pada bangunan reguler tanpa rotasi (*fixed*) lebih besar daripada bangunan reguler dengan rotasi.

Gempa dengan frekuensi tinggi (Gempa Manjil) menghasilkan *interstorey drift ratio* pada bangunan reguler tanpa rotasi (*fixed*) lebih besar daripada bangunan reguler dengan rotasi baik pada pembebanan dominan x maupun pembebanan dominan y.

Hal ini terjadi karena simpangan netto pada setiap frekuensi beban gempa memiliki hasil yang beragam sehingga *interstorey drift ratio* juga memiliki hasil yang beragam. Perbandingan yang beragam tersebut dikarenakan dengan diperhitungkannya sistem *soil-foundation*, maka frekuensi sudut (ω) dan frekuensi natural (f) struktur bangunan akan semakin rendah nilainya karena kekakuan sistem struktur yang semakin rendah akibat tanah tidak lagi menjepit fondasi dengan sempurna sehingga pada gempa dengan frekuensi rendah (Gempa Duzce), bangunan reguler dengan rotasi akan berasosiasi lebih baik dengan beban gempa daripada bangunan reguler tanpa rotasi (*fixed*) dan berlaku sebaliknya pada gempa dengan frekuensi tinggi (Gempa Manjil), bangunan tanpa rotasi (*fixed*) akan berasosiasi lebih baik dengan beban gempa daripada bangunan dengan rotasi. Gempa dengan frekuensi sedang (Gempa EL-Centro 1940) memiliki hasil yang beragam akibat *A/V ratio* yang terlampau jauh antara beban gempa arah x dan arah y sehingga respon struktur arah x cenderung mengikuti respon struktur akibat gempa dengan frekuensi rendah (Gempa Duzce) dan respon struktur arah y cenderung mengikuti respon struktur akibat gempa dengan frekuensi tinggi (Gempa Manjil).

Tabel 5.75 Perbandingan *Interstorey Drift* Maks Frek Rendah Dom-X

Lantai	Beban 100% X (%)		Beban 30% Y (%)	
	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi
15	0,0299	0,0283	0,0074	0,0066
14	0,0823	0,0780	0,0202	0,0182
13	0,1337	0,1269	0,0327	0,0294
12	0,1829	0,1742	0,0449	0,0400
11	0,2291	0,2188	0,0566	0,0497
10	0,2714	0,2602	0,0677	0,0585
9	0,3094	0,2979	0,0783	0,0666
8	0,3430	0,3320	0,0880	0,0741
7	0,3729	0,3630	0,0968	0,0810
6	0,3994	0,3913	0,1045	0,0869
5	0,4234	0,4172	0,1112	0,0916
4	0,4448	0,4403	0,1168	0,0949
3	0,4630	0,4594	0,1212	0,0966
2	0,4768	0,4737	0,1245	0,0970
1	0,3498	0,3478	0,0774	0,0599
0	0	0	0	0

Tabel 5.76 Perbandingan *Interstorey Drift* Maks Frek Rendah Dom-Y

Lantai	Beban 30% X (%)		Beban 100% Y (%)	
	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi
15	0,0090	0,0085	0,0246	0,0222
14	0,0247	0,0234	0,0672	0,0607
13	0,0401	0,0381	0,1091	0,0980
12	0,0549	0,0522	0,1497	0,1332
11	0,0687	0,0656	0,1887	0,1656
10	0,0814	0,0781	0,2258	0,1951
9	0,0928	0,0894	0,2608	0,2220
8	0,1029	0,0996	0,2932	0,2470
7	0,1119	0,1089	0,3226	0,2699
6	0,1198	0,1174	0,3485	0,2895
5	0,1270	0,1252	0,3707	0,3053
4	0,1334	0,1321	0,3892	0,3162
3	0,1389	0,1378	0,4040	0,3221
2	0,1430	0,1421	0,4151	0,3234
1	0,1049	0,1043	0,2579	0,1997
0	0	0	0	0

Tabel 5.77 Perbandingan *Interstorey Drift* Maks Frek Sedang Dom-X

Lantai	Beban 100% X (%)		Beban 30% Y (%)	
	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi
15	0,0171	0,0166	0,0033	0,0038
14	0,0463	0,0452	0,0087	0,0102
13	0,0734	0,0717	0,0134	0,0160
12	0,0979	0,0958	0,0171	0,0209
11	0,1182	0,1161	0,0198	0,0248
10	0,1325	0,1309	0,0216	0,0278
9	0,1403	0,1395	0,0230	0,0303
8	0,1425	0,1431	0,0242	0,0324
7	0,1425	0,1455	0,0255	0,0343
6	0,1470	0,1481	0,0288	0,0359
5	0,1570	0,1539	0,0324	0,0381
4	0,1653	0,1627	0,0352	0,0409
3	0,1749	0,1691	0,0370	0,0433
2	0,1857	0,1788	0,0378	0,0448
1	0,1398	0,1325	0,0234	0,0276
0	0	0	0	0

Tabel 5.78 Perbandingan *Interstorey Drift* Maks Frek Sedang Dom-Y

Lantai	Beban 30% X (%)		Beban 100% Y (%)	
	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi
15	0,0020	0,0022	0,0059	0,0065
14	0,0054	0,0058	0,0160	0,0176
13	0,0083	0,0090	0,0256	0,0283
12	0,0109	0,0118	0,0343	0,0380
11	0,0134	0,0145	0,0412	0,0459
10	0,0159	0,0172	0,0457	0,0513
9	0,0190	0,0197	0,0469	0,0537
8	0,0220	0,0228	0,0450	0,0530
7	0,0247	0,0258	0,0439	0,0542
6	0,0271	0,0285	0,0440	0,0542
5	0,0290	0,0306	0,0445	0,0531
4	0,0303	0,0322	0,0484	0,0566
3	0,0310	0,0330	0,0495	0,0599
2	0,0315	0,0334	0,0494	0,0618
1	0,0228	0,0242	0,0313	0,0373
0	0	0	0	0

Tabel 5.79 Perbandingan *Interstorey Drift* Maks Frek Tinggi Dom-X

Lantai	Beban 100% X (%)		Beban 30% Y (%)	
	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi
15	0,0067	0,0072	0,0018	0,0019
14	0,0179	0,0192	0,0048	0,0053
13	0,0277	0,0299	0,0077	0,0085
12	0,0362	0,0395	0,0103	0,0114
11	0,0447	0,0484	0,0124	0,0138
10	0,0529	0,0574	0,0137	0,0154
9	0,0633	0,0658	0,0141	0,0161
8	0,0734	0,0760	0,0135	0,0159
7	0,0823	0,0860	0,0132	0,0163
6	0,0902	0,0949	0,0132	0,0163
5	0,0965	0,1022	0,0133	0,0159
4	0,1010	0,1073	0,0145	0,0170
3	0,1034	0,1101	0,0149	0,0180
2	0,1050	0,1112	0,0148	0,0185
1	0,0761	0,0807	0,0094	0,0112
0	0	0	0	0

Tabel 5.80 Perbandingan *Interstorey Drift* Maks Frek Tinggi Dom-Y

Lantai	Beban 30% X (%)		Beban 100% Y (%)	
	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi
15	0,0020	0,0022	0,0059	0,0065
14	0,0054	0,0058	0,0160	0,0176
13	0,0083	0,0090	0,0256	0,0283
12	0,0109	0,0118	0,0343	0,0380
11	0,0134	0,0145	0,0412	0,0459
10	0,0159	0,0172	0,0457	0,0513
9	0,0190	0,0197	0,0469	0,0537
8	0,0220	0,0228	0,0450	0,0530
7	0,0247	0,0258	0,0439	0,0542
6	0,0271	0,0285	0,0440	0,0542
5	0,0290	0,0306	0,0445	0,0531
4	0,0303	0,0322	0,0484	0,0566
3	0,0310	0,0330	0,0495	0,0599
2	0,0315	0,0334	0,0494	0,0618
1	0,0228	0,0242	0,0313	0,0373
0	0	0	0	0

Tabel 5.81 Perbandingan Resultan *Interstorey Drift* Maks Frek Rendah

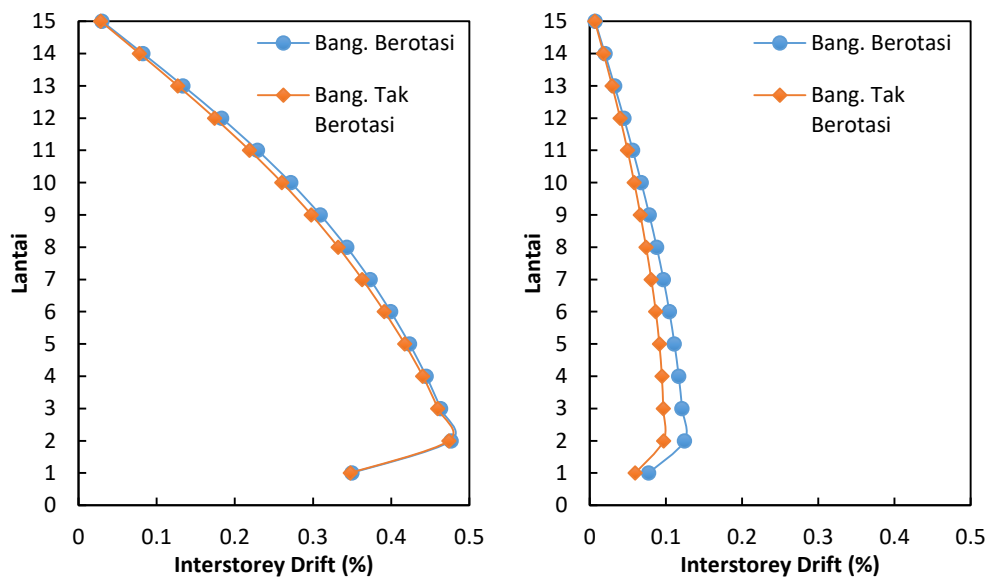
Lantai	Dominan X (%)		Dominan Y (%)	
	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi
15	0,0301	0,0284	0,0246	0,0229
14	0,0827	0,0782	0,0672	0,0627
13	0,1343	0,1274	0,1091	0,1012
12	0,1837	0,1747	0,1497	0,1376
11	0,2301	0,2195	0,1887	0,1710
10	0,2725	0,2610	0,2260	0,2012
9	0,3105	0,2988	0,2612	0,2284
8	0,3442	0,3329	0,2940	0,2533
7	0,3738	0,3638	0,3237	0,2759
6	0,4001	0,3918	0,3500	0,2957
5	0,4237	0,4177	0,3728	0,3113
4	0,4450	0,4406	0,3918	0,3222
3	0,4631	0,4597	0,4071	0,3280
2	0,4768	0,4740	0,4188	0,3290
1	0,3498	0,3479	0,2614	0,2008
0	0	0	0	0

Tabel 5.82 Perbandingan Resultan *Interstorey Drift* Maks Frek Sedang

Lantai	Dominan X (%)		Dominan Y (%)	
	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi
15	0,0171	0,0166	0,0109	0,0126
14	0,0463	0,0452	0,0292	0,0340
13	0,0734	0,0717	0,0450	0,0534
12	0,0980	0,0958	0,0575	0,0697
11	0,1183	0,1161	0,0665	0,0828
10	0,1327	0,1309	0,0726	0,0929
9	0,1404	0,1395	0,0771	0,1010
8	0,1425	0,1432	0,0811	0,1082
7	0,1425	0,1458	0,0851	0,1142
6	0,1472	0,1486	0,0961	0,1197
5	0,1573	0,1541	0,1081	0,1269
4	0,1655	0,1628	0,1174	0,1363
3	0,1752	0,1692	0,1234	0,1443
2	0,1859	0,1792	0,1262	0,1495
1	0,1399	0,1327	0,0781	0,0922
0	0	0	0	0

Tabel 5.83 Perbandingan Resultan *Interstorey Drift* Maks Frek Tinggi

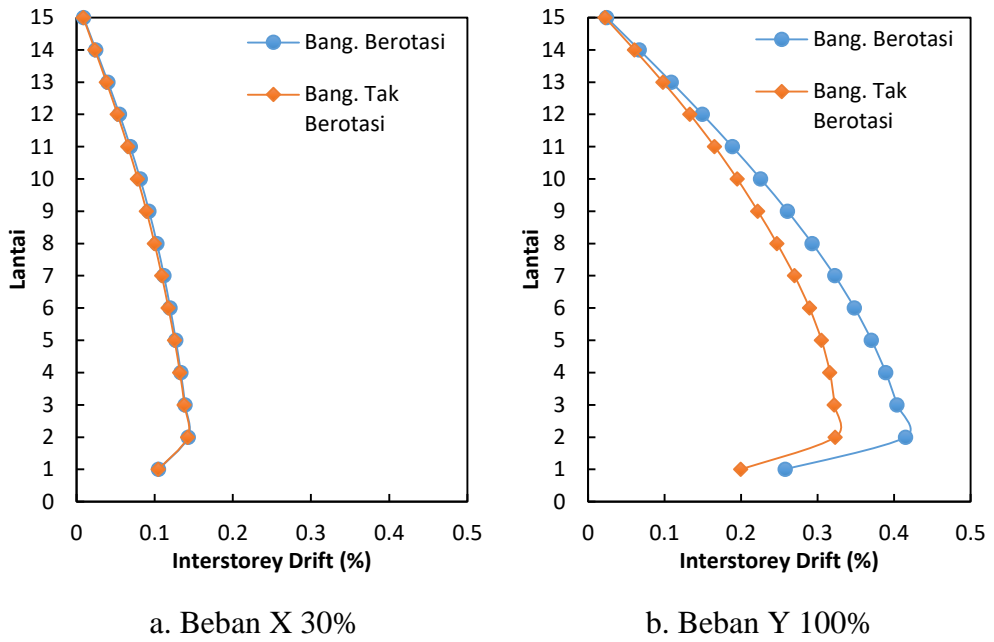
Lantai	Dominan X (%)		Dominan Y (%)	
	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi
15	0,0068	0,0072	0,0059	0,0065
14	0,0180	0,0192	0,0160	0,0176
13	0,0278	0,0299	0,0256	0,0283
12	0,0363	0,0395	0,0343	0,0380
11	0,0448	0,0484	0,0412	0,0459
10	0,0529	0,0575	0,0457	0,0513
9	0,0634	0,0659	0,0470	0,0537
8	0,0735	0,0766	0,0450	0,0530
7	0,0824	0,0866	0,0439	0,0543
6	0,0902	0,0955	0,0441	0,0543
5	0,0966	0,1029	0,0463	0,0555
4	0,1011	0,1081	0,0501	0,0575
3	0,1034	0,1109	0,0512	0,0613
2	0,1051	0,1121	0,0516	0,0639
1	0,0761	0,0811	0,0331	0,0418
0	0	0	0	0



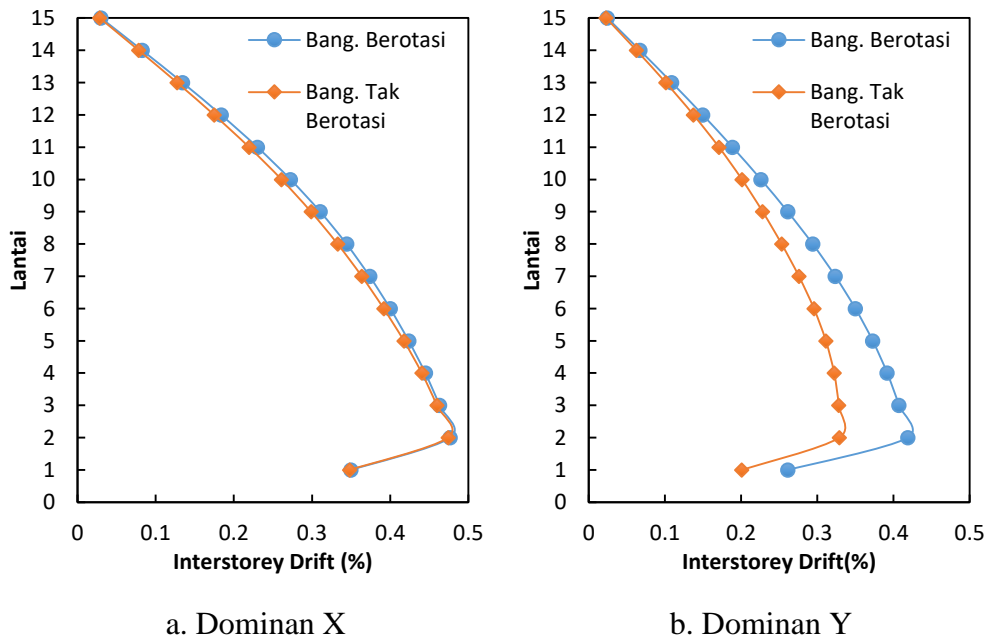
a. Beban X 100%

b. Beban Y 30%

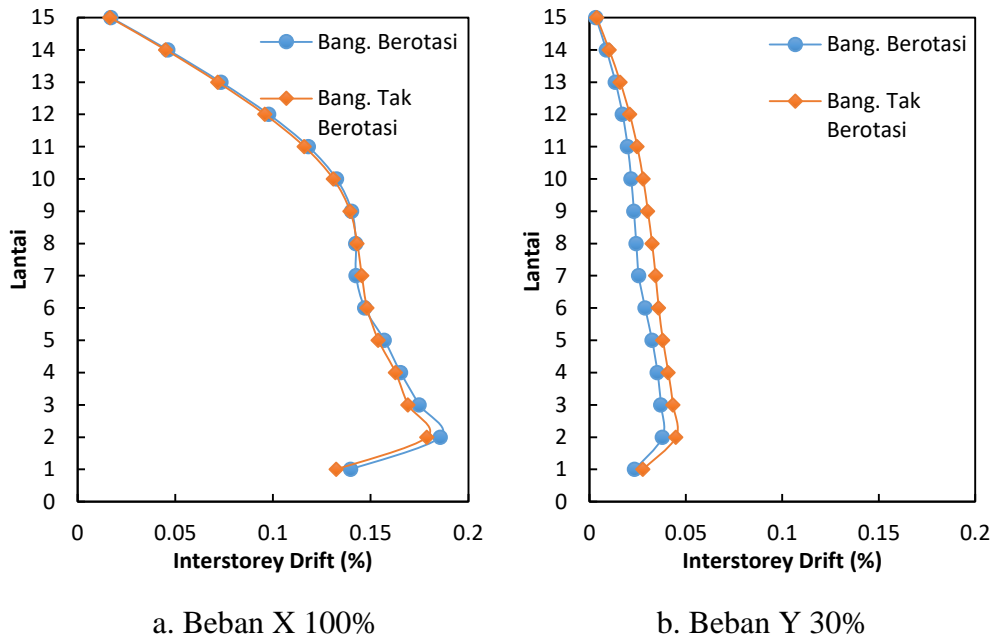
Gambar 5.179 Perbandingan *Interstorey Drift* Maks Bangunan Dengan Rotasi dan Tanpa Rotasi Gempa Frek Rendah Pembebanan Dom-X



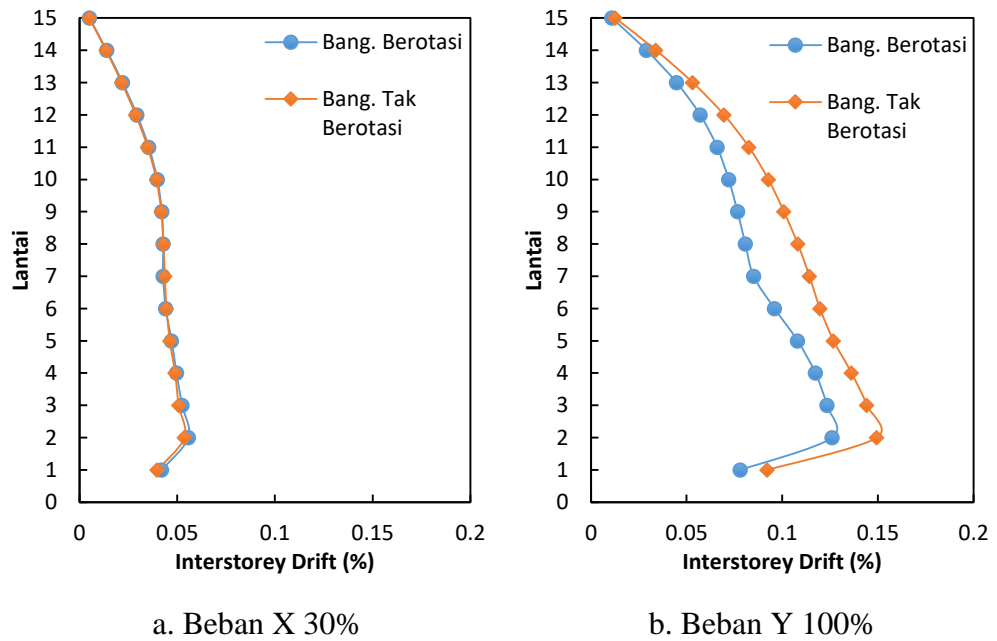
Gambar 5.180 Perbandingan *Interstorey Drift* Maks Bangunan Dengan Rotasi dan Tanpa Rotasi Gempa Frek Rendah Pembebanan Dom-Y



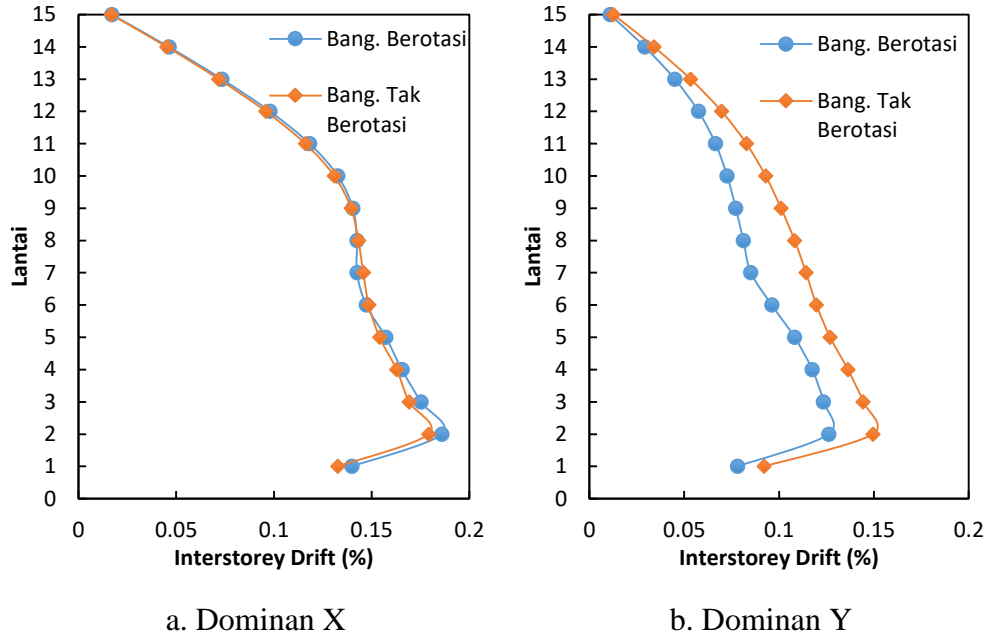
Gambar 5.181 Perbandingan Resultan *Interstorey Drift* Maks Bangunan Dengan Rotasi dan Tanpa Rotasi Gempa Frek Rendah



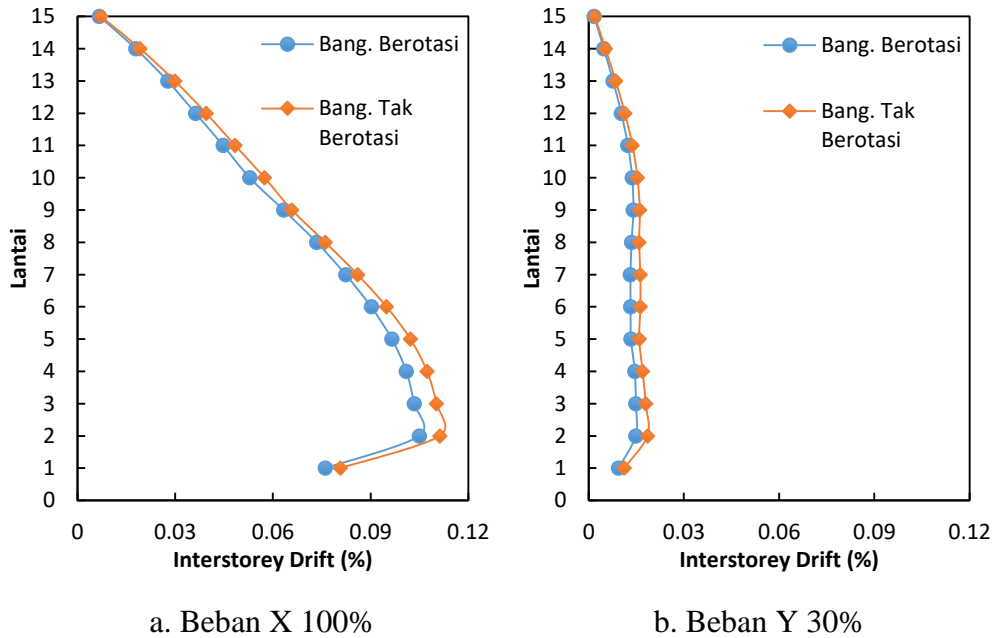
Gambar 5.182 Perbandingan *Interstorey Drift* Maks Bangunan Dengan Rotasi dan Tanpa Rotasi Gempa Frek Sedang Pembebanan Dom-X



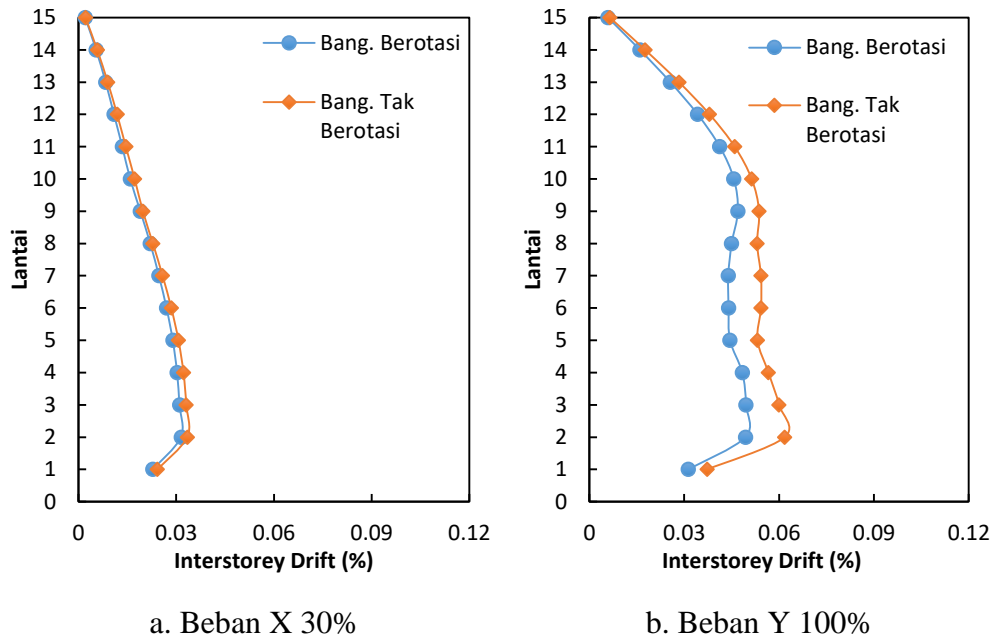
Gambar 5.183 Perbandingan *Interstorey Drift* Maks Bangunan Dengan Rotasi dan Tanpa Rotasi Gempa Frek Sedang Pembebanan Dom-Y



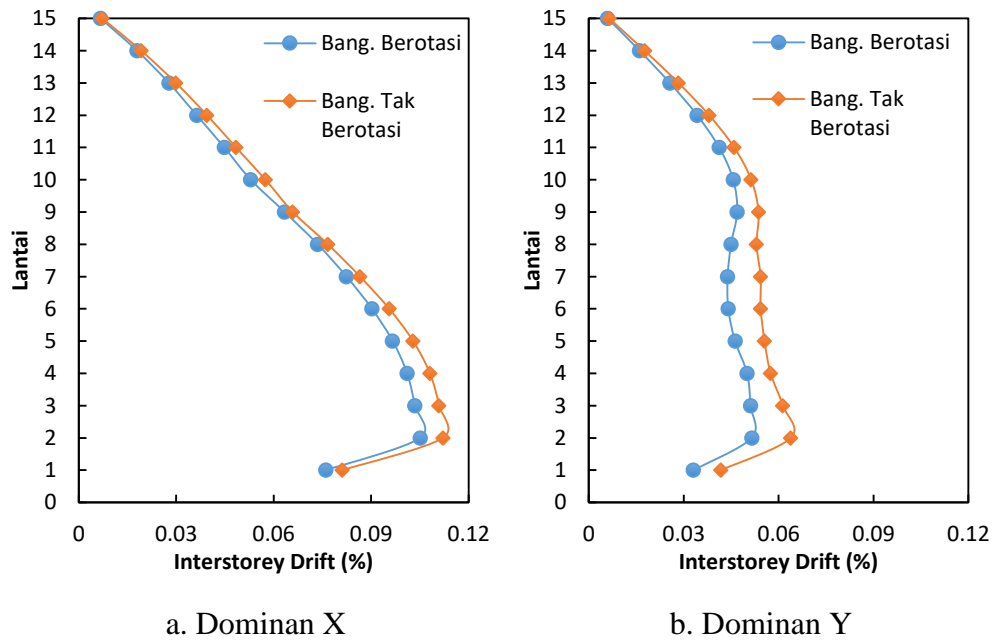
Gambar 5.184 Perbandingan Resultan *Interstorey Drift* Maks Bangunan Dengan Rotasi dan Tanpa Rotasi Gempa Frek Sedang



Gambar 5.185 Perbandingan *Interstorey Drift* Maks Bangunan Dengan Rotasi dan Tanpa Rotasi Gempa Frek Tinggi Pembebanan Dom-X



Gambar 5.186 Perbandingan *Interstorey Drift* Maks Bangunan Dengan Rotasi dan Tanpa Rotasi Gempa Frek Tinggi Pembebanan Dom-Y



Gambar 5.187 Perbandingan Resultan *Interstorey Drift* Maks Bangunan Dengan Rotasi dan Tanpa Rotasi Gempa Frek Tinggi

5.7.8 Gaya Horizontal Tingkat

Gaya horizontal tingkat adalah gaya horizontal yang terjadi pada tiap lantai yang merupakan produk dari simpangan netto dikali dengan kekakuan struktur. Perhitungan gaya horizontal tingkat menggunakan persamaan 3.102. Hasil perhitungan gaya horizontal tingkat ditampilkan dalam bentuk grafik antara gaya horizontal tingkat lawan waktu (dengan interval waktu 0,01 dt). Gaya horizontal tingkat yang dicari meliputi gaya horizontal tingkat pada bangunan reguler dengan rotasi dan tanpa rotasi dengan pembebanan dominan arah x dan dominan arah y yang akan dijelaskan sebagai berikut.

1. Gaya Horizontal Tingkat Struktur Bangunan Dengan Rotasi

Gaya horizontal tingkat struktur bangunan reguler dengan rotasi dengan beban gempa frekuensi rendah, frekuensi sedang, dan frekuensi tinggi dan pada pembebanan dominan arah x dan dominan arah y dengan beban 100%, beban 30%, resultan gaya horizontal tingkat, dan tampak atas gaya horizontal tingkat (gaya horizontal tingkat lantai 14) dapat dilihat pada Gambar 5.188 s/d Gambar 5.197. Nilai-nilai maksimum gaya horizontal tingkat setiap lantai pada setiap frekuensi beban gempa dan arah pembebanan dapat dilihat pada Tabel 5.84 s/d Tabel 5.87 dan Gambar 5.198 s/d Gambar 5.200.

Hasil tabel dan gambar grafik tersebut menunjukkan bahwa gaya horizontal tingkat maksimum akibat gempa dengan frekuensi rendah (Gempa Duzce) akan semakin besar pada lantai yang lebih tinggi dan akan turun nilainya pada lantai 15/atap mengikuti pola gaya horizontal tingkat statik. Hal ini terjadi karena pada lantai 15 terjadi penurunan massa dan kekakuan. Selanjutnya, gempa dengan frekuensi sedang (Gempa EL-Centro 1940) dan frekuensi tinggi (Gempa Manjil) menghasilkan nilai gaya horizontal tingkat yang fluktuatif (naik turun) dikarenakan beberapa faktor, yaitu akibat pola goyangan yang berbeda pada setiap kombinasi pembebanan, karakteristik beban dan frekuensi gempa yang beragam, dan gaya horizontal tingkat setiap lantai yang tidak terjadi dalam 1 fase terutama pada beban gempa dengan frekuensi tinggi (Gempa Manjil).

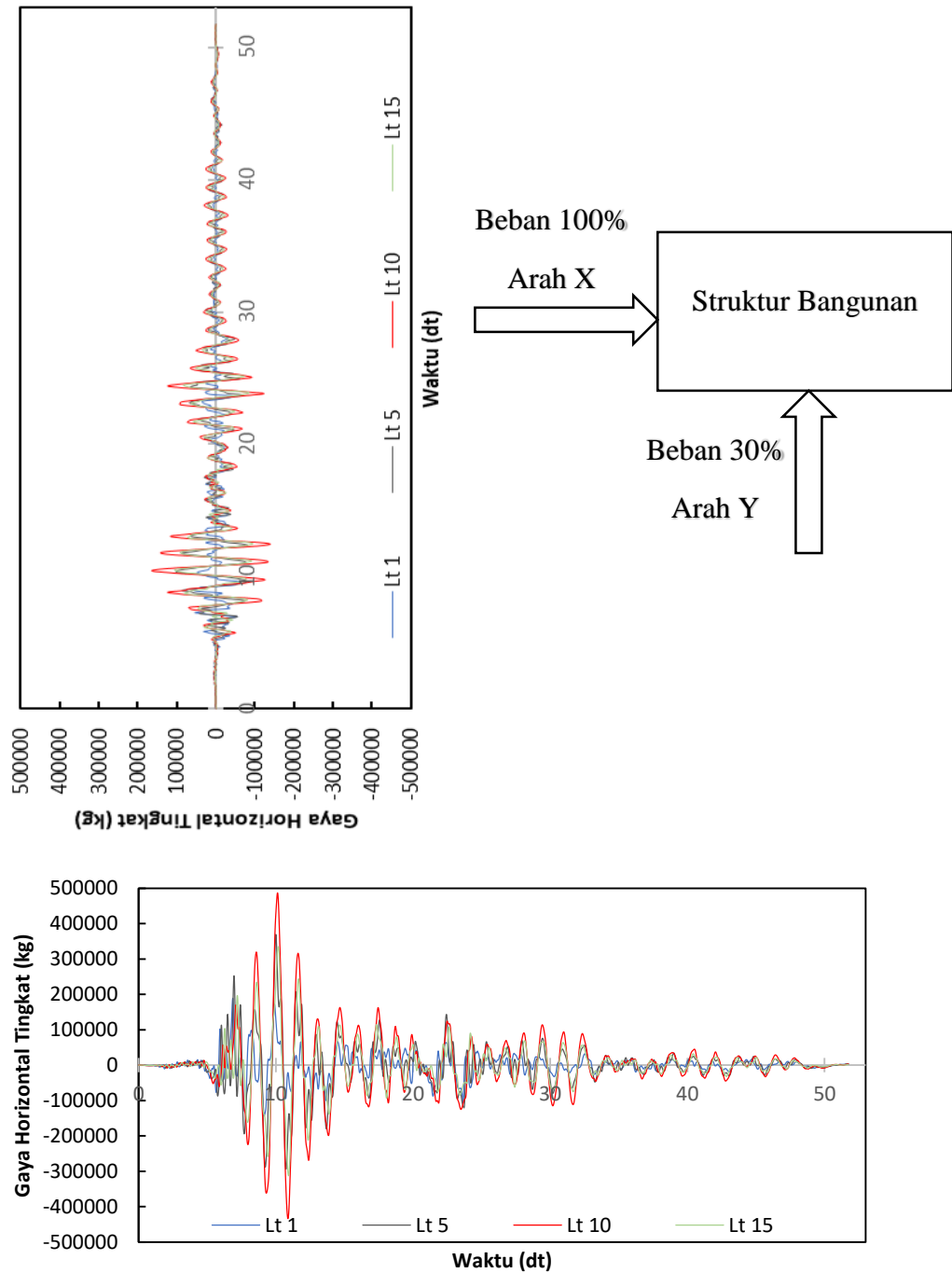
Gempa dengan frekuensi rendah (Gempa Duzce) menghasilkan gaya horizontal tingkat yang paling besar pada struktur baik pada pembebanan

dominan x maupun pembebanan dominan y, sedangkan gempa dengan frekuensi tinggi (Gempa Manjil) menghasilkan gaya horizontal tingkat yang paling kecil dan gempa dengan frekuensi sedang (Gempa EL-Centro 1940) berada diantaranya. Hal ini dikarenakan struktur bangunan tinggi bersifat fleksibel sehingga akan mempunyai frekuensi sudut (ω) dan frekuensi natural (f) yang rendah dan menyebabkan bangunan akan bergetar pada frekuensi rendah atau berasosiasi dengan baik dengan gempa frekuensi rendah.

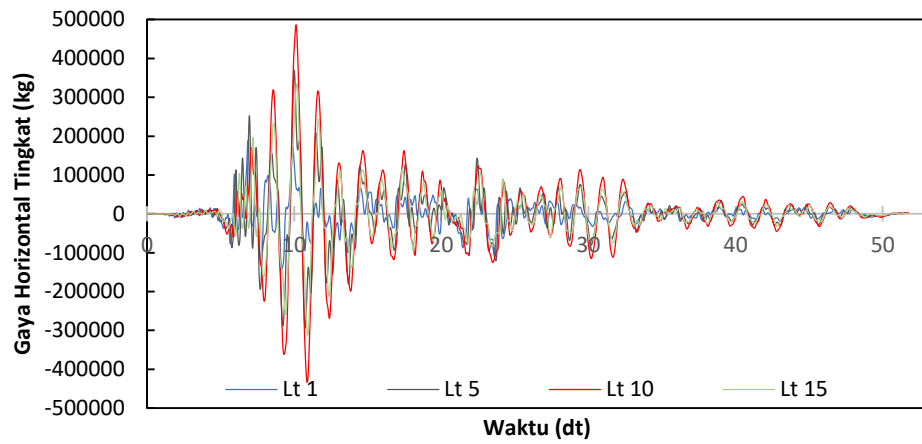
Resultan gaya horizontal tingkat akibat pembebanan dominan x dan pembebanan dominan y pada setiap frekuensi beban gempa terjadi secara fluktuatif (naik turun). Secara umum, gaya horizontal tingkat akan lebih besar nilainya pada resultan pembebanan dominan y karena bangunan berbentuk pipih pada arah y, tetapi hasil yang beragam dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu, kekakuan portal arah x yang lebih besar, hasil simpangan pada struktur, pola goyangan yang berbeda pada setiap kombinasi pembebanan, karakteristik beban dan frekuensi gempa yang beragam, dan gaya horizontal tingkat setiap lantai yang tidak terjadi dalam 1 fase terutama pada beban gempa dengan frekuensi tinggi (Gempa Manjil).

a. Pembebanan Dominan X

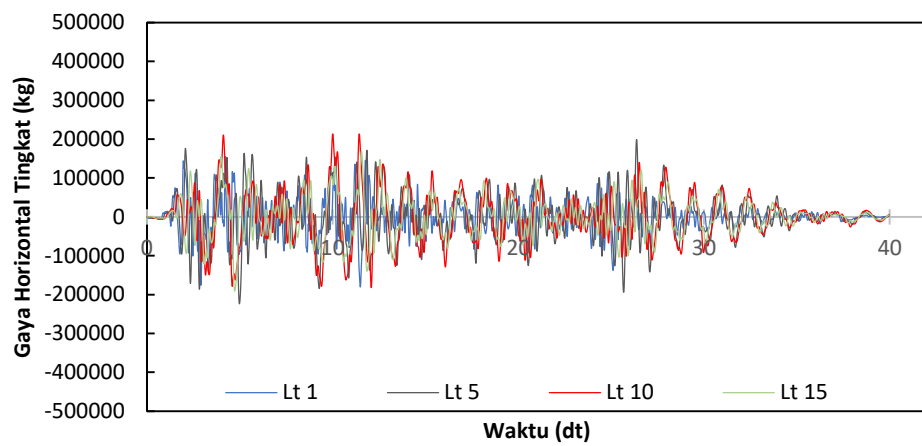
Adapun ilustrasi hasil analisis gaya horizontal tingkat pada pembebanan dominan x dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



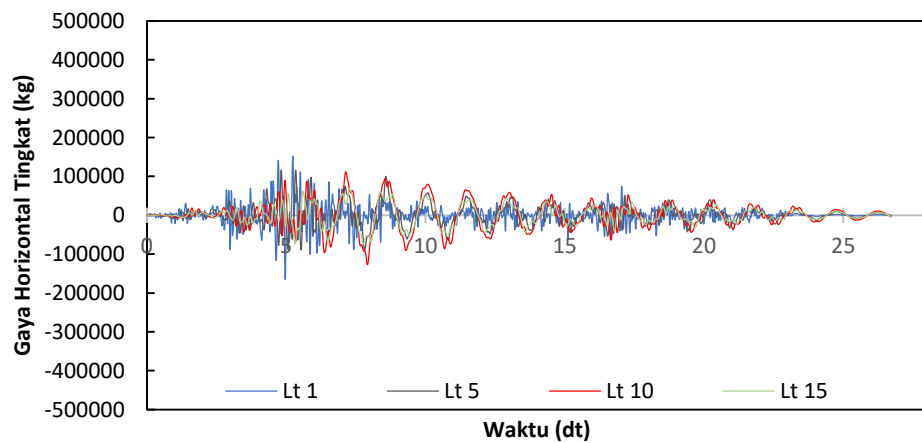
Gambar 5.188 Ilustrasi Gaya Horizontal Tingkat Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan X



a. Frekuensi Rendah

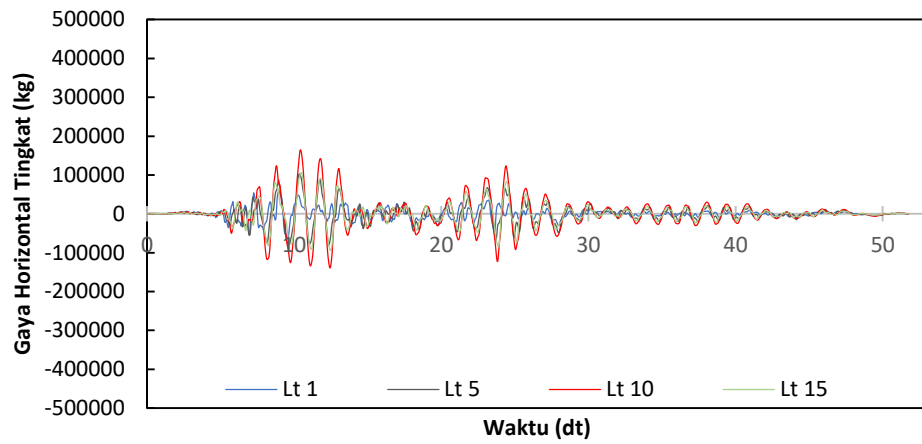


b. Frekuensi Sedang

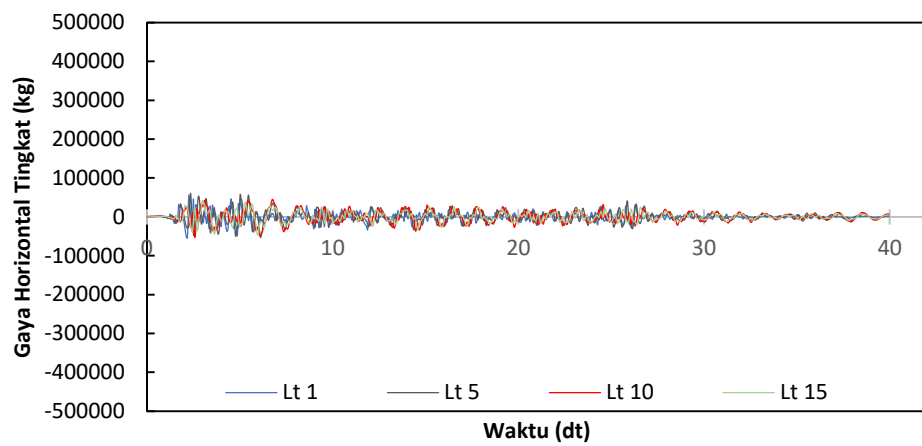


c. Frekuensi Tinggi

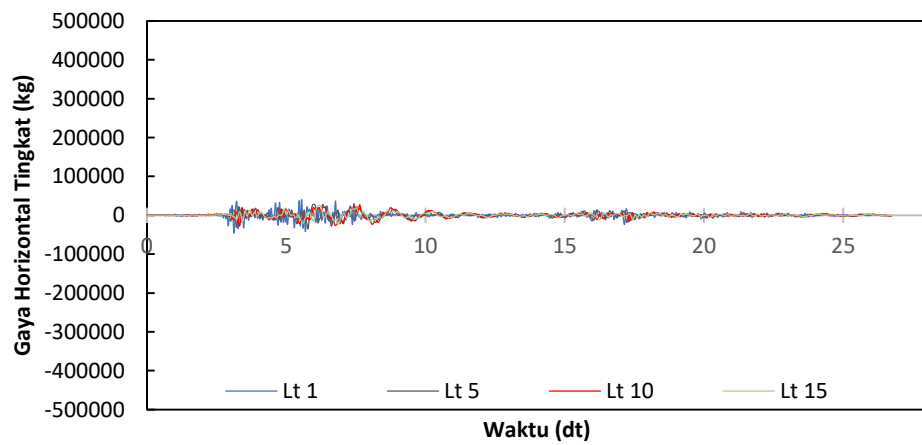
Gambar 5.189 Gaya Horizontal Tingkat Arah X Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan X



a. Frekuensi Rendah

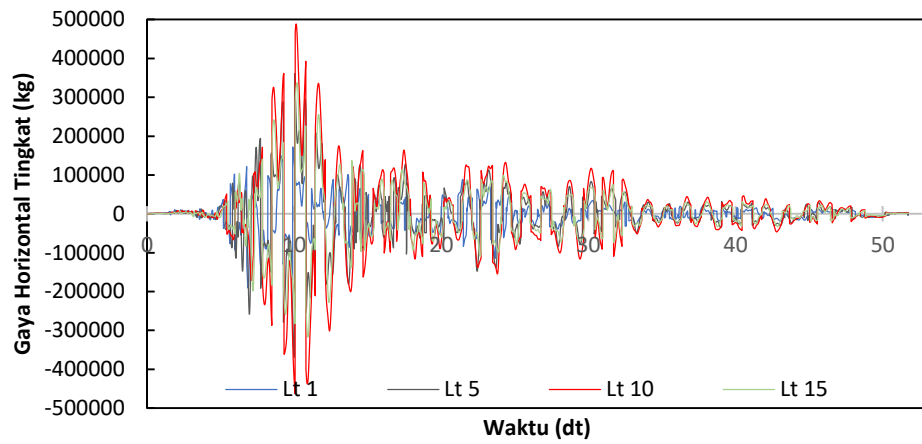


b. Frekuensi Sedang

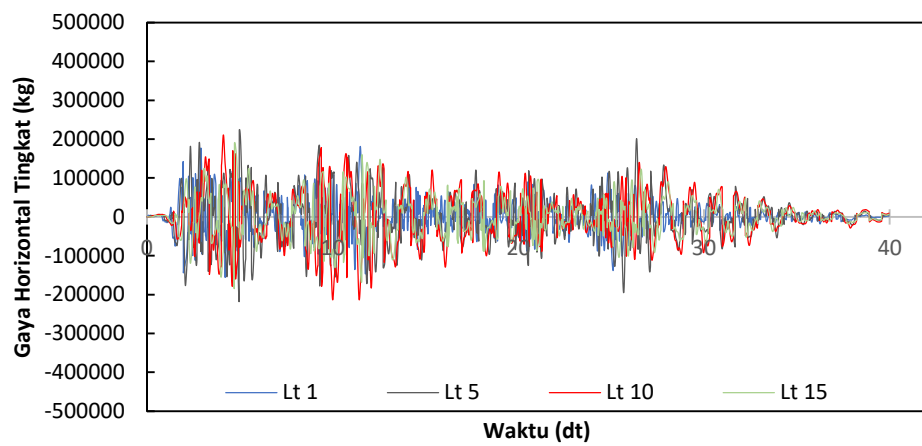


c. Frekuensi Tinggi

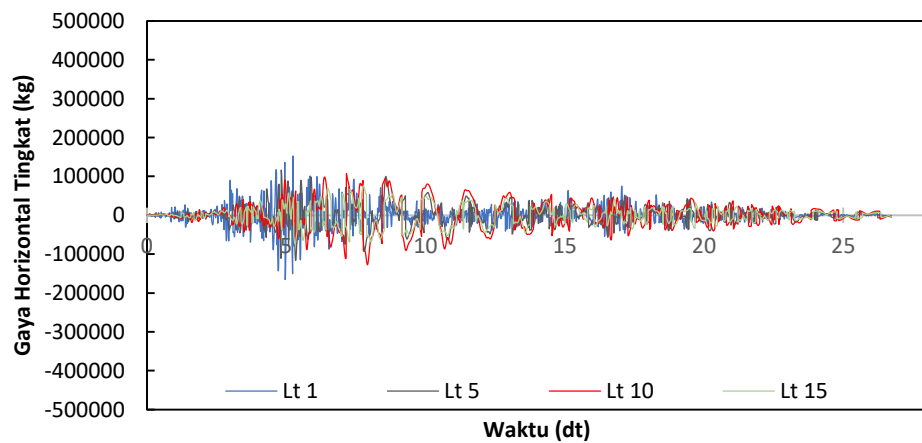
Gambar 5.190 Gaya Horizontal Tingkat Arah Y Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan X



a. Frekuensi Rendah

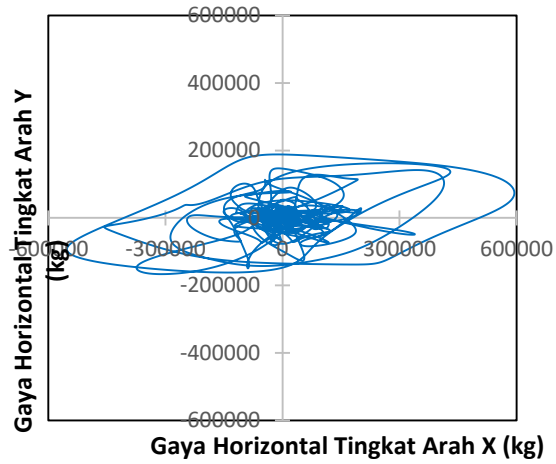


b. Frekuensi Sedang

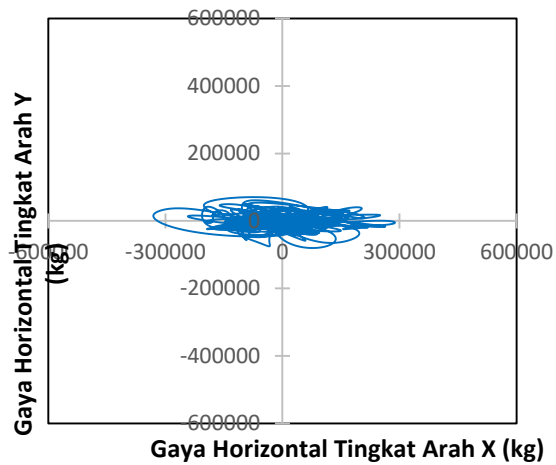


c. Frekuensi Tinggi

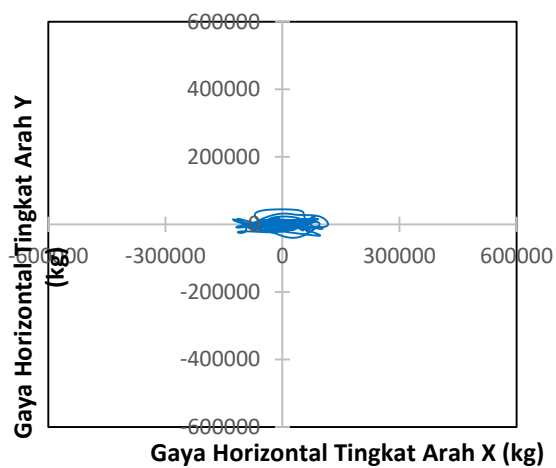
Gambar 5.191 Resultan Gaya Horizontal Tingkat Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan



a. Frekuensi Rendah



b. Frekuensi Sedang

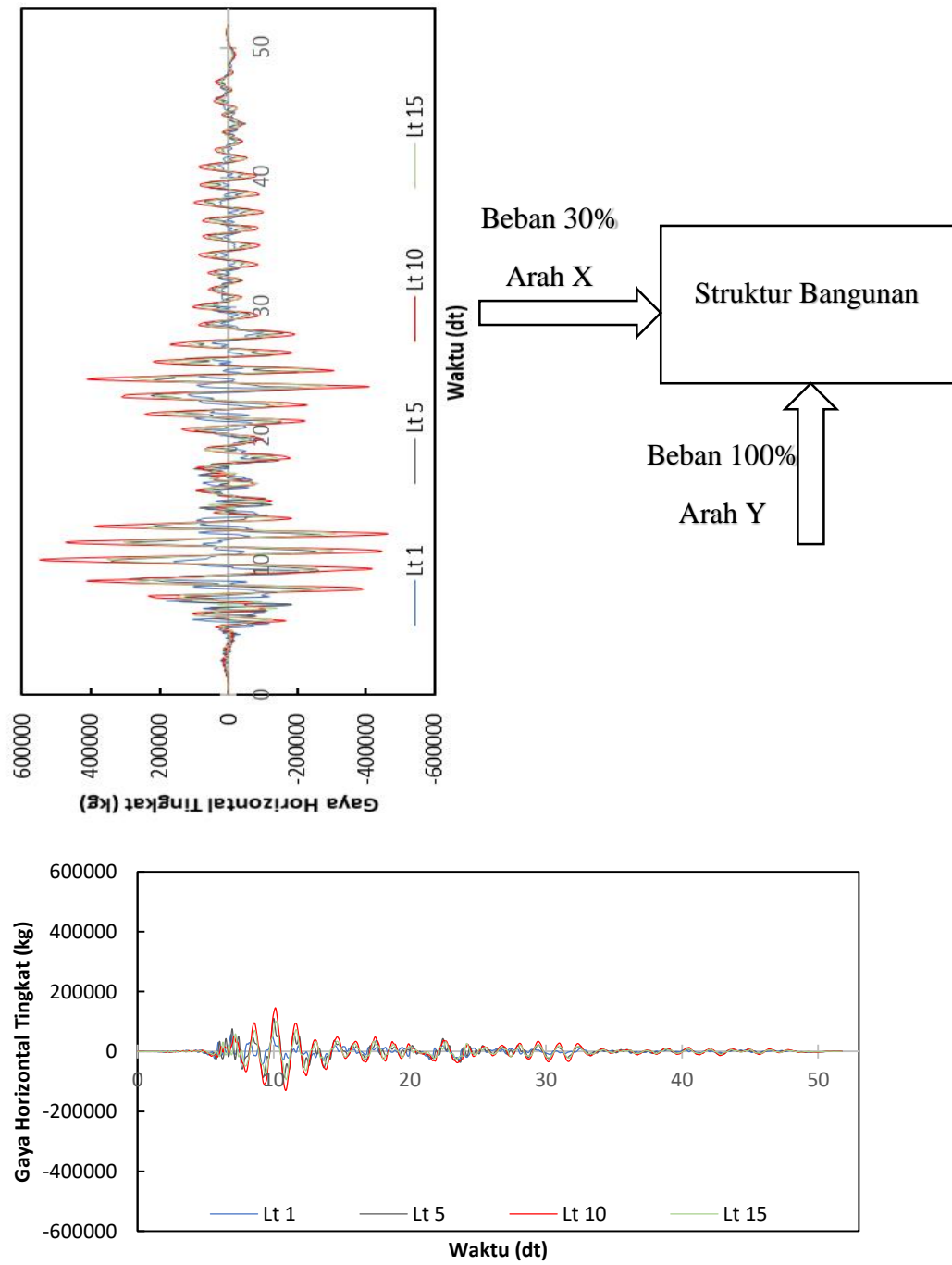


c. Frekuensi Tinggi

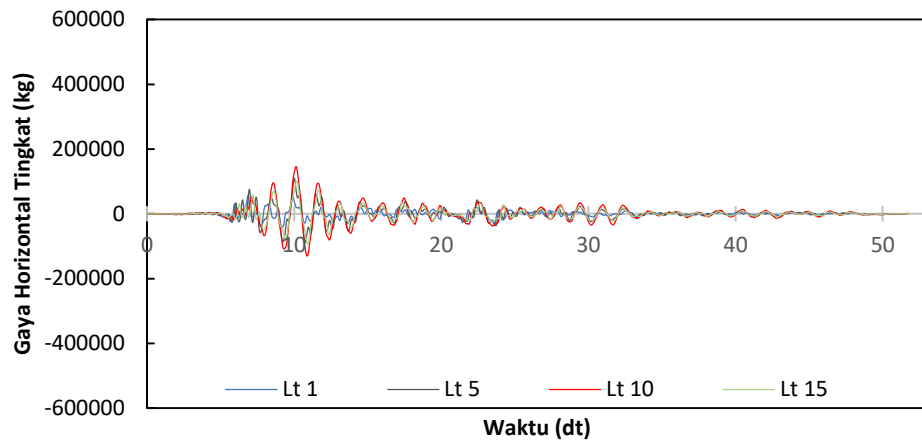
Gambar 5.192 Tampak Atas Gaya Horizontal Tkt Setiap Frek Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan X

b. Pembebanan Dominan Y

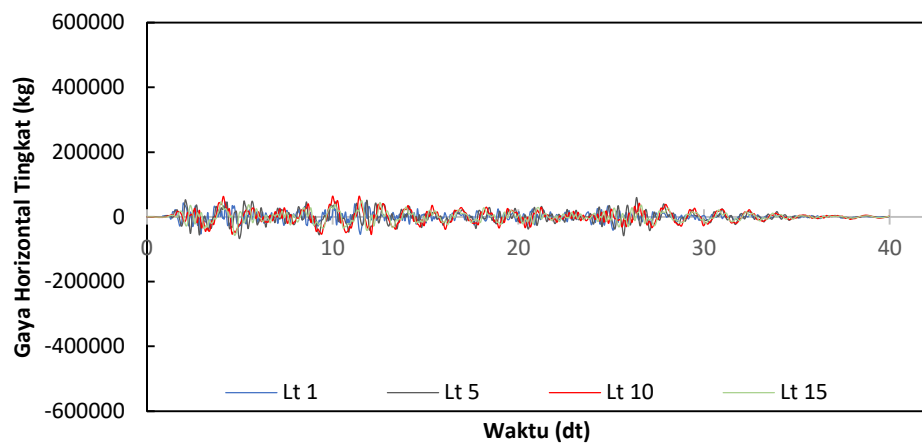
Adapun ilustrasi hasil analisis gaya horizontal tingkat pada pembebanan dominan y dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



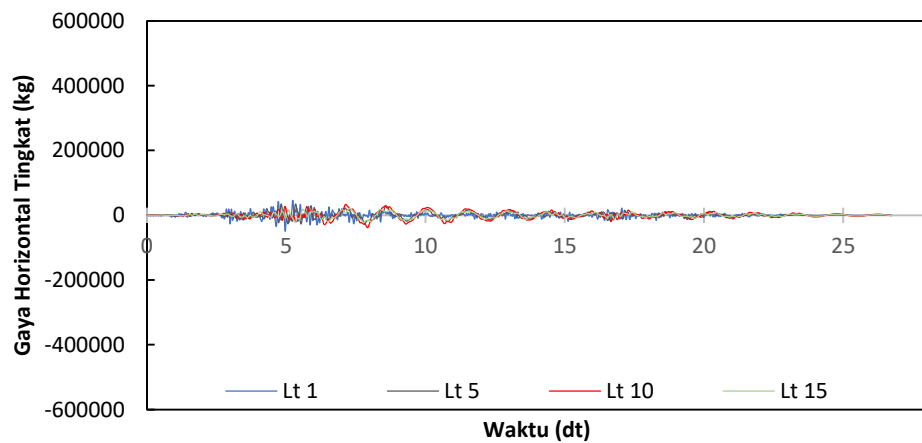
Gambar 5.193 Ilustrasi Gaya Horizontal Tingkat Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan Y



a. Frekuensi Rendah

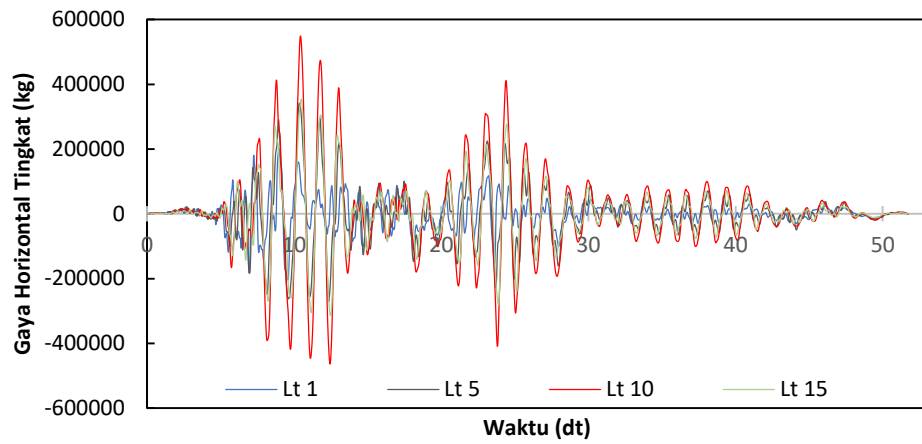


b. Frekuensi Sedang

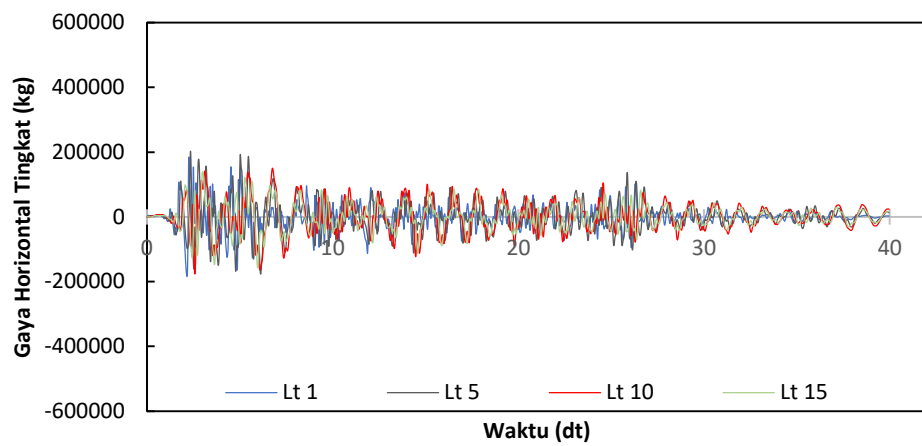


c. Frekuensi Tinggi

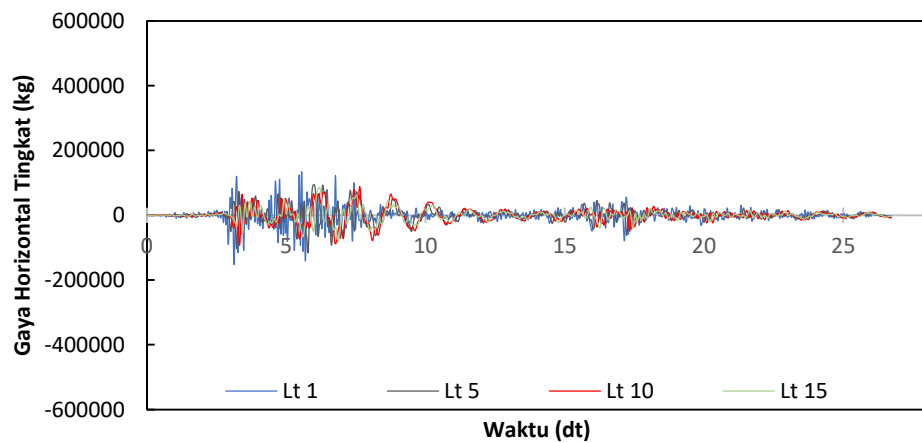
Gambar 5.194 Gaya Horizontal Tingkat Arah X Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan Y



a. Frekuensi Rendah

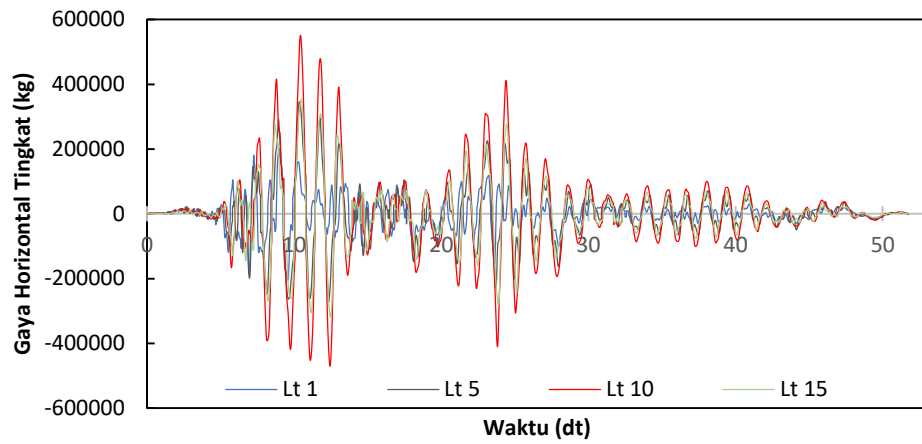


b. Frekuensi Sedang

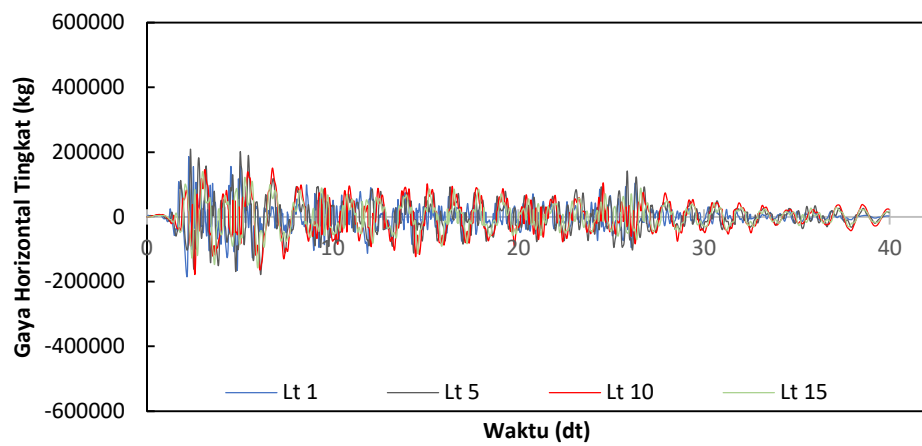


c. Frekuensi Tinggi

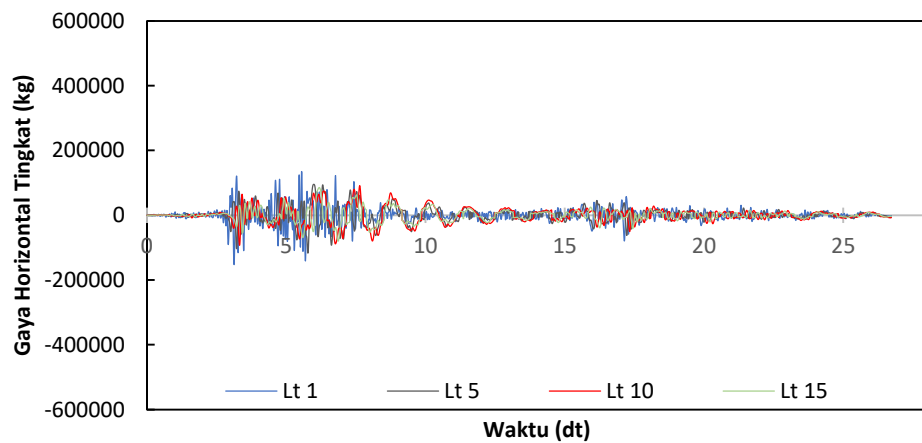
Gambar 5.195 Gaya Horizontal Tingkat Arah Y Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan Y



a. Frekuensi Rendah

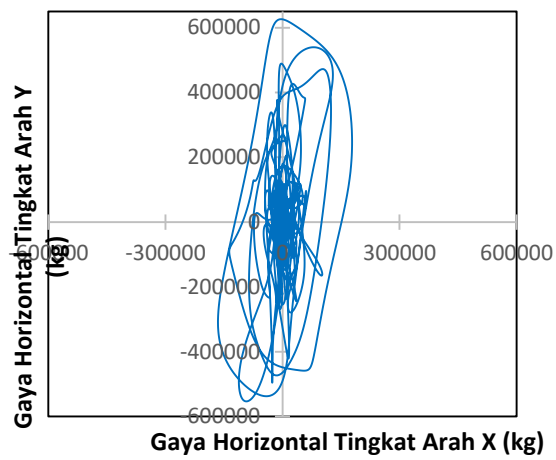


b. Frekuensi Sedang

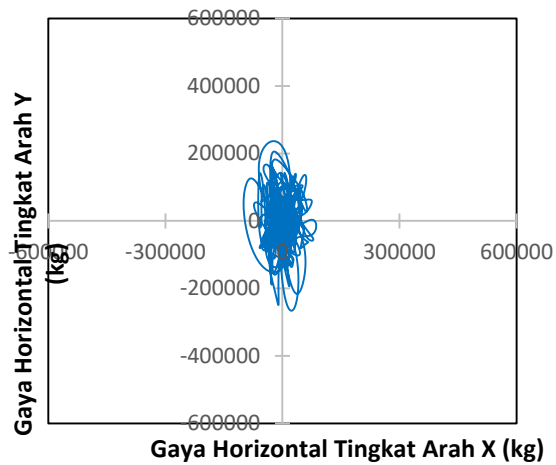


c. Frekuensi Tinggi

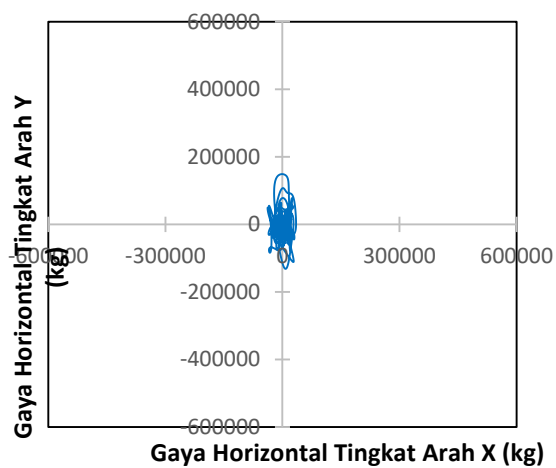
Gambar 5.196 Resultan Gaya Horizontal Tingkat Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan Y



a. Frekuensi Rendah



b. Frekuensi Sedang



c. Frekuensi Tinggi

Gambar 5.197 Tampak Atas Gaya Horizontal Tkt Setiap Frek Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan Y

Tabel 5.84 Gaya Horizontal Tkt Maks Bang Dengan Rotasi Frek Rendah

Lantai	Dominan X (kg)		Dominan Y (kg)	
	Beban 100% X	Beban 30% Y	Beban 30% X	Beban 100% Y
15	334758	106337	100427	354457
14	593876	187920	178163	626399
13	579815	183715	173945	612382
12	556308	178382	166892	594606
11	523954	172250	157186	574165
10	486640	164770	145992	549234
9	454218	155208	136265	517359
8	434882	143455	130465	478182
7	420851	129940	126255	433133
6	400872	115669	120262	385564
5	369323	102452	110797	341507
4	325345	89818	97604	299393
3	272168	77579	81650	258598
2	218244	68646	65473	228820
1	188773	61464	56632	204881
0	0	0	0	0

Tabel 5.85 Gaya Horizontal Tkt Maks Bang Dengan Rotasi Frek Sedang

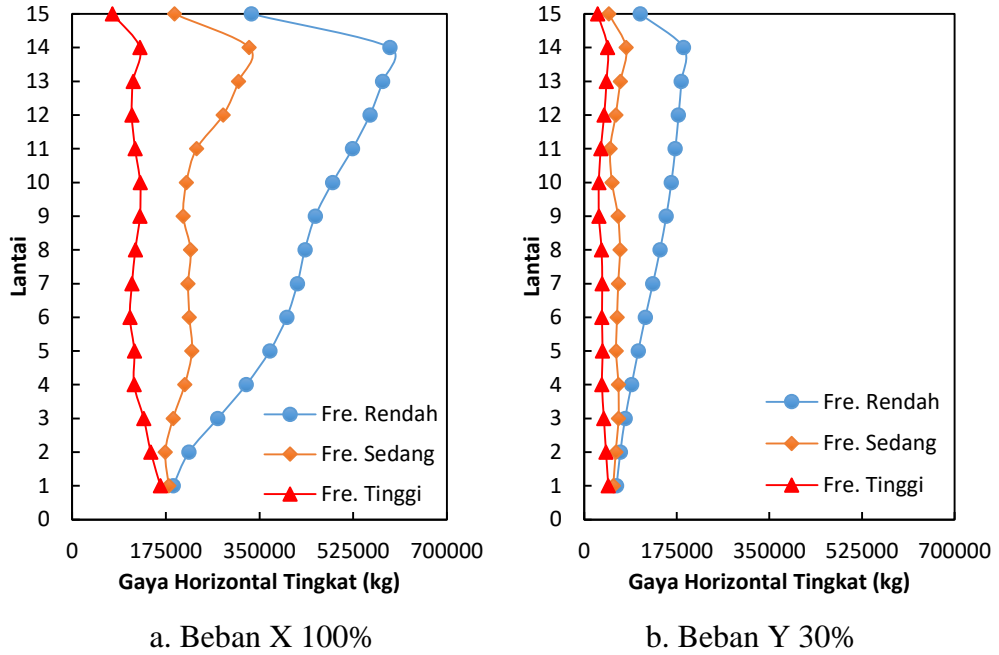
Lantai	Dominan X (kg)		Dominan Y (kg)	
	Beban 100% X	Beban 30% Y	Beban 30% X	Beban 100% Y
15	191030	47091	57309	156970
14	330626	79727	99188	265756
13	310741	68920	93222	229732
12	282015	60091	84605	200303
11	232228	49511	69669	165037
10	213371	52961	64011	176538
9	207396	64363	62219	214544
8	221162	67966	66349	226555
7	216524	64776	64957	215920
6	218916	62510	65675	208367
5	223724	60827	67117	202758
4	210084	65014	63025	216713
3	188477	65291	56543	217636
2	173806	60042	52142	200141
1	180524	55334	54157	184447
0	0	0	0	0

Tabel 5.86 Gaya Horizontal Tkt Maks Bang Dengan Rotasi Frek Tinggi

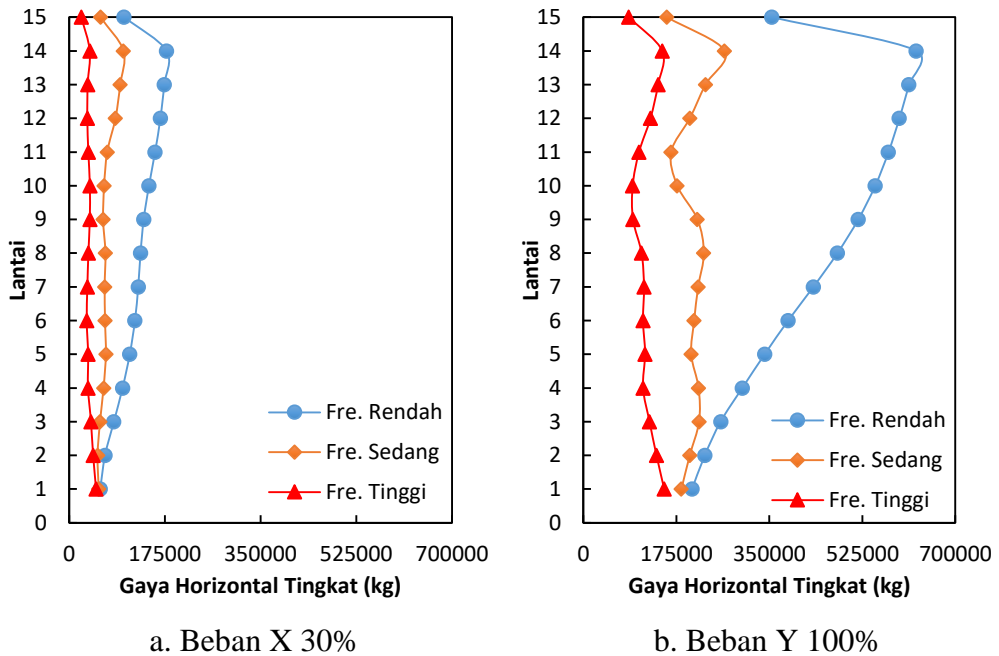
Lantai	Dominan X (kg)		Dominan Y (kg)	
	Beban 100% X	Beban 30% Y	Beban 30% X	Beban 100% Y
15	75193	25624	22558	85414
14	126561	44605	37968	148683
13	113828	42236	34149	140788
12	111538	37947	33462	126489
11	117715	31479	35315	104929
10	127118	27858	38135	92860
9	126644	28043	37993	93478
8	118118	32920	35435	109734
7	111863	34245	33559	114150
6	107889	33726	32367	112421
5	116337	34860	34901	116201
4	115726	33727	34718	112423
3	133785	37391	40136	124638
2	147112	41328	44134	137759
1	165130	45720	49539	152399
0	0	0	0	0

Tabel 5.87 Resultan Gaya Horizontal Tkt Maks Bangunan Dengan Rotasi

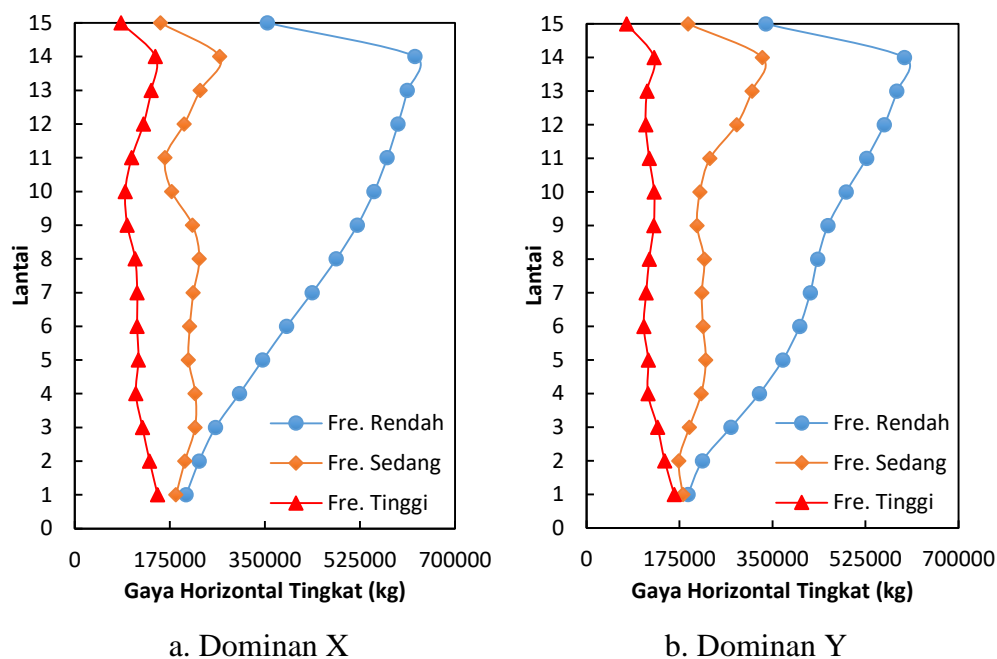
Lantai	Frekuensi Rendah		Frekuensi Sedang		Frekuensi Tinggi	
	Dom-X (kg)	Dom-Y (kg)	Dom-X (kg)	Dom-Y (kg)	Dom-X (kg)	Dom-Y (kg)
15	337576	354478	191226	157563	75805	85439
14	598559	626421	330914	266805	127379	148685
13	584225	612396	311494	230742	114079	140807
12	560408	594994	282707	201371	111636	126600
11	527185	575258	232451	166258	118261	104931
10	488674	551202	213665	178314	127373	92868
9	454478	520313	207966	216683	126715	96711
8	434969	481627	221723	229153	118329	111328
7	421087	437250	216979	218182	112554	115020
6	401179	390218	219264	211620	107892	114929
5	369481	346119	224600	209165	116355	117221
4	325379	303125	216025	221785	115728	112496
3	272174	259174	193742	221221	133821	124641
2	218249	228935	173871	202481	147222	137784
1	191219	204949	181315	186227	165271	152542
0	0	0	0	0	0	0



Gambar 5.198 Gaya Horizontal Tingkat Maksimum Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan X



Gambar 5.199 Gaya Horizontal Tingkat Maksimum Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan Y



Gambar 5.200 Resultan Gaya Horizontal Tingkat Maksimum Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi

2. Gaya Horizontal Tingkat Struktur Bangunan Tanpa Rotasi

Gaya horizontal tingkat struktur bangunan reguler tanpa rotasi dengan beban gempa frekuensi rendah, frekuensi sedang, dan frekuensi tinggi dan pada pembebanan dominan arah x dan dominan arah y dengan beban 100%, beban 30%, resultan gaya horizontal tingkat, dan tampak atas gaya horizontal tingkat (gaya horizontal tingkat lantai 14) dapat dilihat pada Gambar 5.201 s/d Gambar 5.210. Nilai-nilai maksimum gaya horizontal tingkat setiap lantai dapat dilihat pada Tabel 5.88 s/d Tabel 5.91 dan Gambar 5.211 s/d Gambar 5.213.

Hasil tabel dan gambar grafik tersebut menunjukkan bahwa gaya horizontal tingkat maksimum akibat gempa dengan frekuensi rendah (Gempa Duzce) akan semakin besar pada lantai yang lebih tinggi dan akan turun nilainya pada lantai 15/atap mengikuti pola gaya horizontal tingkat statik. Hal ini terjadi karena pada lantai 15 terjadi penurunan massa dan kekakuan. Selanjutnya, gempa dengan frekuensi sedang (Gempa EL-Centro 1940) dan frekuensi tinggi (Gempa Manjil) menghasilkan nilai gaya horizontal tingkat yang fluktuatif (naik turun) dikarenakan beberapa faktor, yaitu akibat pola goyangan yang berbeda pada

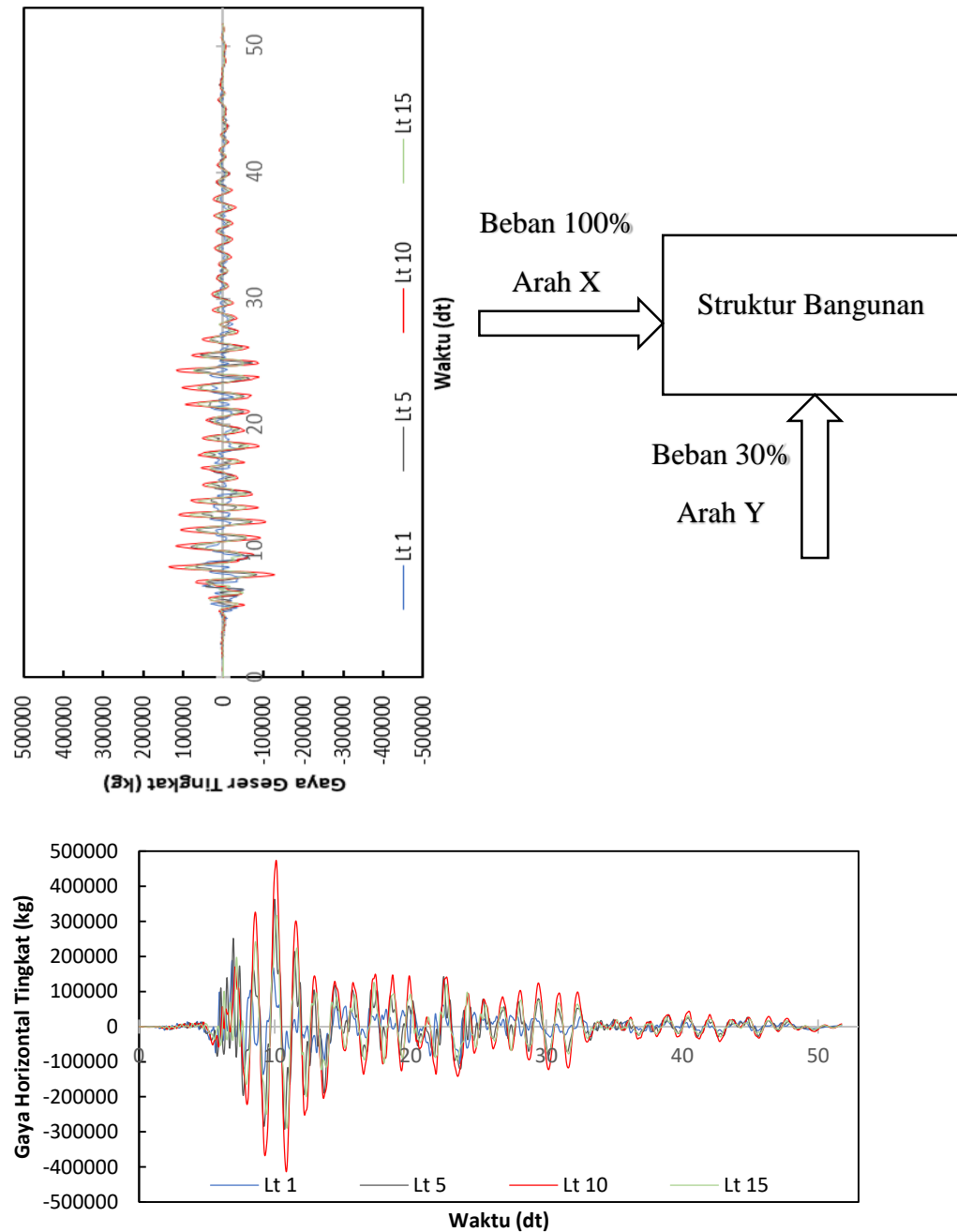
setiap kombinasi pembebanan, karakteristik beban dan frekuensi gempa yang beragam, dan gaya horizontal tingkat setiap lantai yang tidak terjadi dalam 1 fase terutama pada beban gempa dengan frekuensi tinggi (Gempa Manjil).

Gempa dengan frekuensi rendah (Gempa Duzce) menghasilkan gaya horizontal tingkat yang paling besar pada struktur baik pada pembebanan dominan x maupun pembebanan dominan y, sedangkan gempa dengan frekuensi tinggi (Gempa Manjil) menghasilkan gaya horizontal tingkat yang paling kecil dan gempa dengan frekuensi sedang (Gempa EL-Centro 1940) berada diantaranya. Hal ini dikarenakan struktur bangunan tinggi bersifat fleksibel sehingga akan mempunyai frekuensi sudut (ω) dan frekuensi natural (f) yang rendah dan menyebabkan bangunan akan bergetar pada frekuensi rendah atau berasosiasi dengan baik dengan gempa frekuensi rendah.

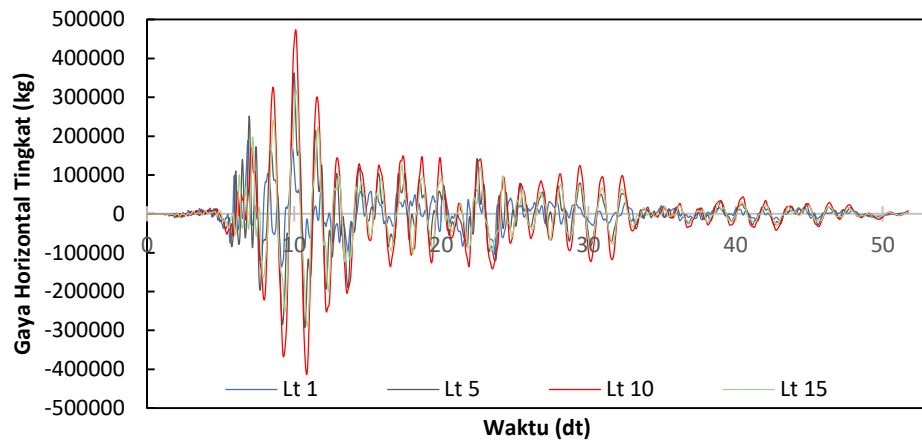
Resultan gaya horizontal tingkat akibat pembebanan dominan x dan pembebanan dominan y pada setiap frekuensi beban gempa terjadi secara fluktuatif (naik turun) juga. Secara umum, gaya horizontal tingkat lebih besar pada resultan pembebanan dominan y karena bangunan berbentuk pipih pada arah y, tetapi hasil yang beragam dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu, kekakuan portal arah x yang lebih besar, hasil simpangan pada struktur, pola goyangan yang berbeda pada setiap kombinasi pembebanan, karakteristik beban dan frekuensi gempa yang beragam, dan gaya horizontal tingkat setiap lantai yang tidak terjadi dalam 1 fase terutama pada beban gempa dengan frekuensi tinggi (Gempa Manjil).

a. Pembebanan Dominan X

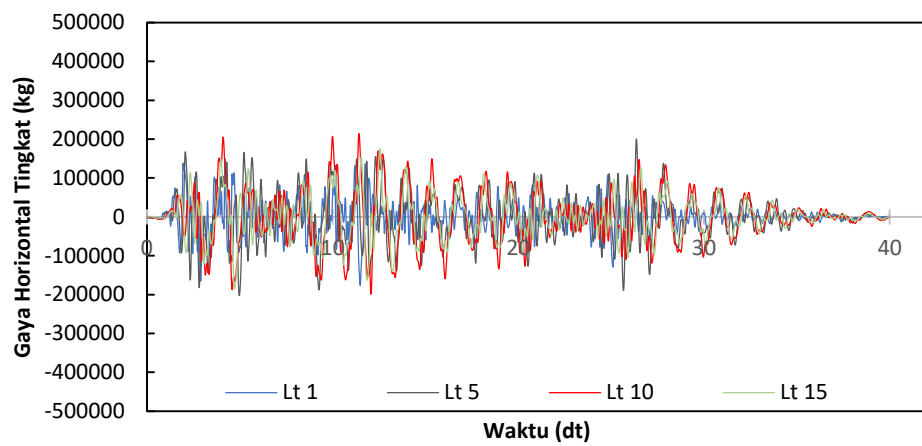
Adapun ilustrasi hasil analisis gaya horizontal tingkat pada pembebanan dominan x dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



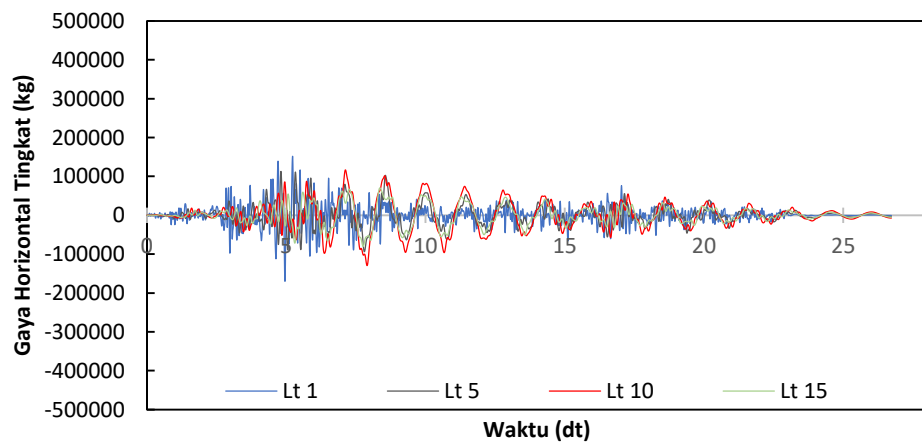
Gambar 5.201 Ilustrasi Gaya Horizontal Tingkat Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan X



a. Frekuensi Rendah

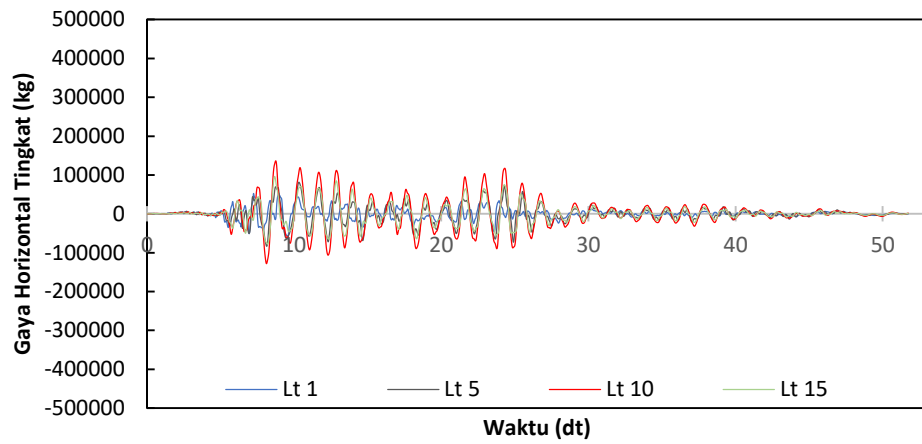


b. Frekuensi Sedang

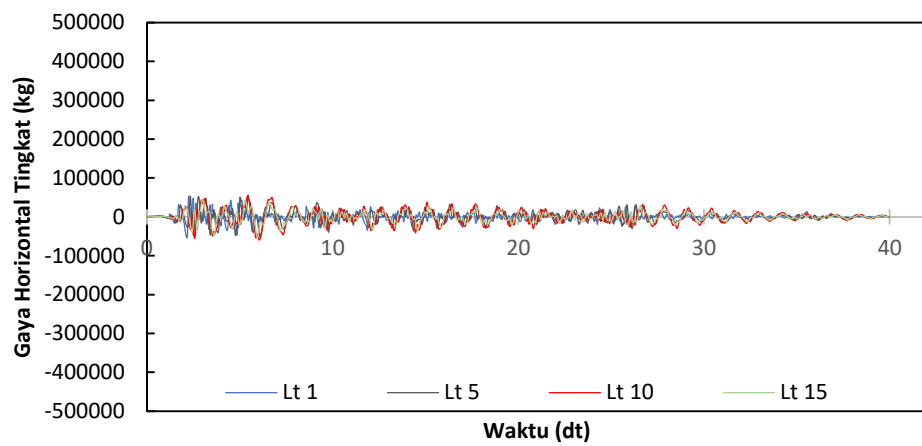


c. Frekuensi Tinggi

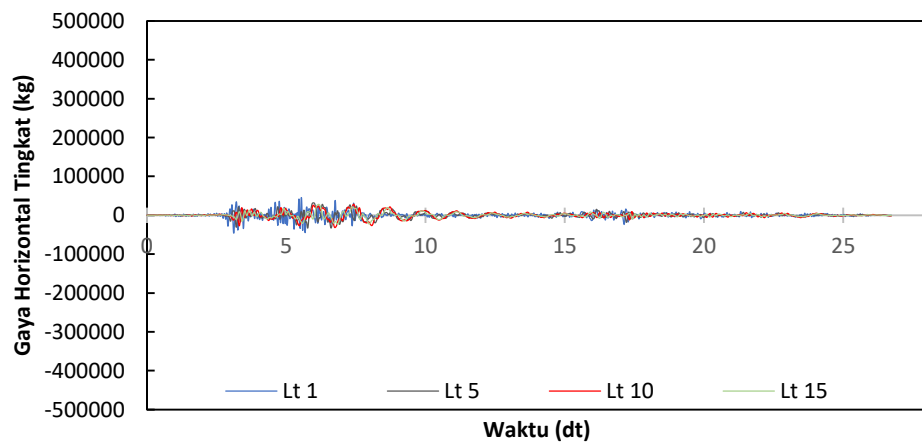
Gambar 5.202 Gaya Horizontal Tingkat Arah X Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan X



a. Frekuensi Rendah

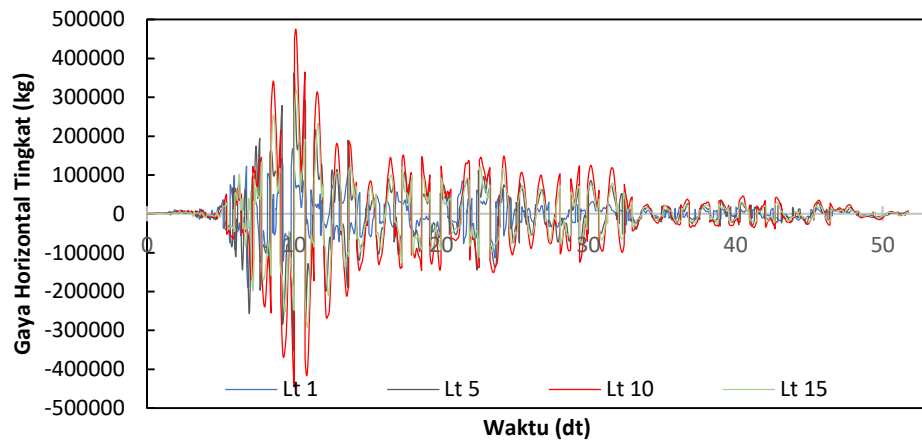


b. Frekuensi Sedang

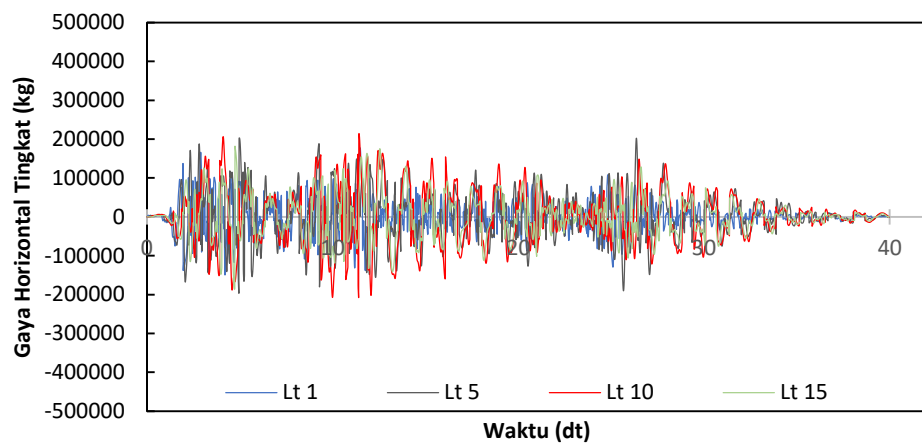


c. Frekuensi Tinggi

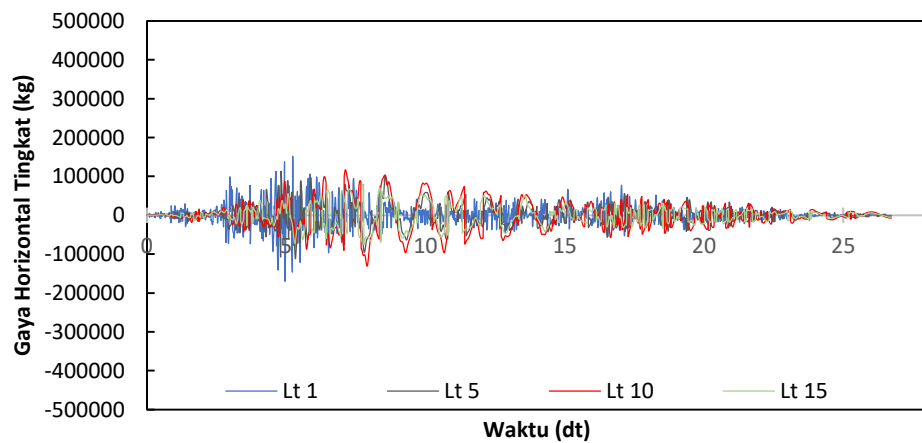
Gambar 5.203 Gaya Horizontal Tingkat Arah Y Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan X



a. Frekuensi Rendah

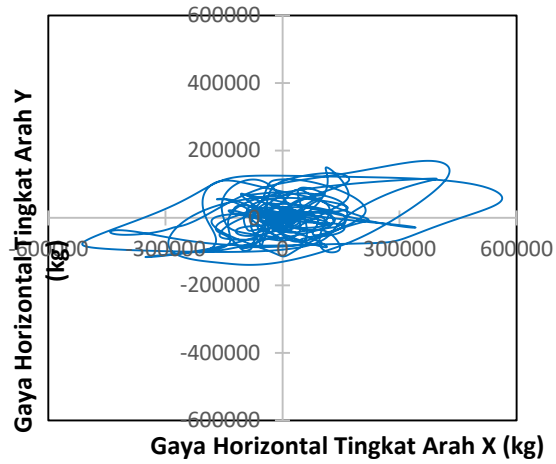


b. Frekuensi Sedang

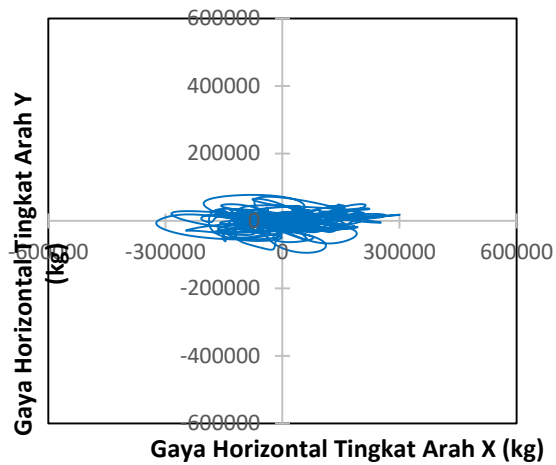


c. Frekuensi Tinggi

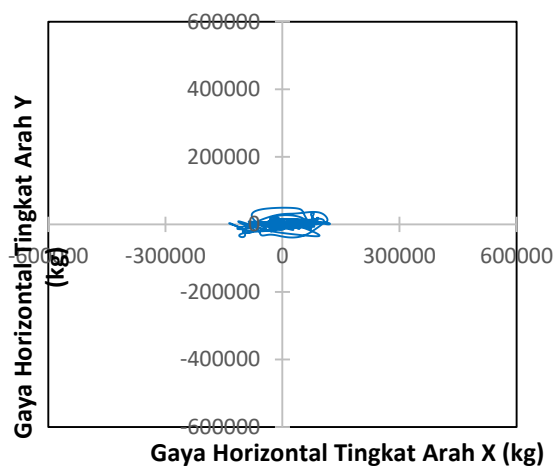
Gambar 5.204 Resultan Gaya Horizontal Tingkat Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan X



a. Frekuensi Rendah



b. Frekuensi Sedang

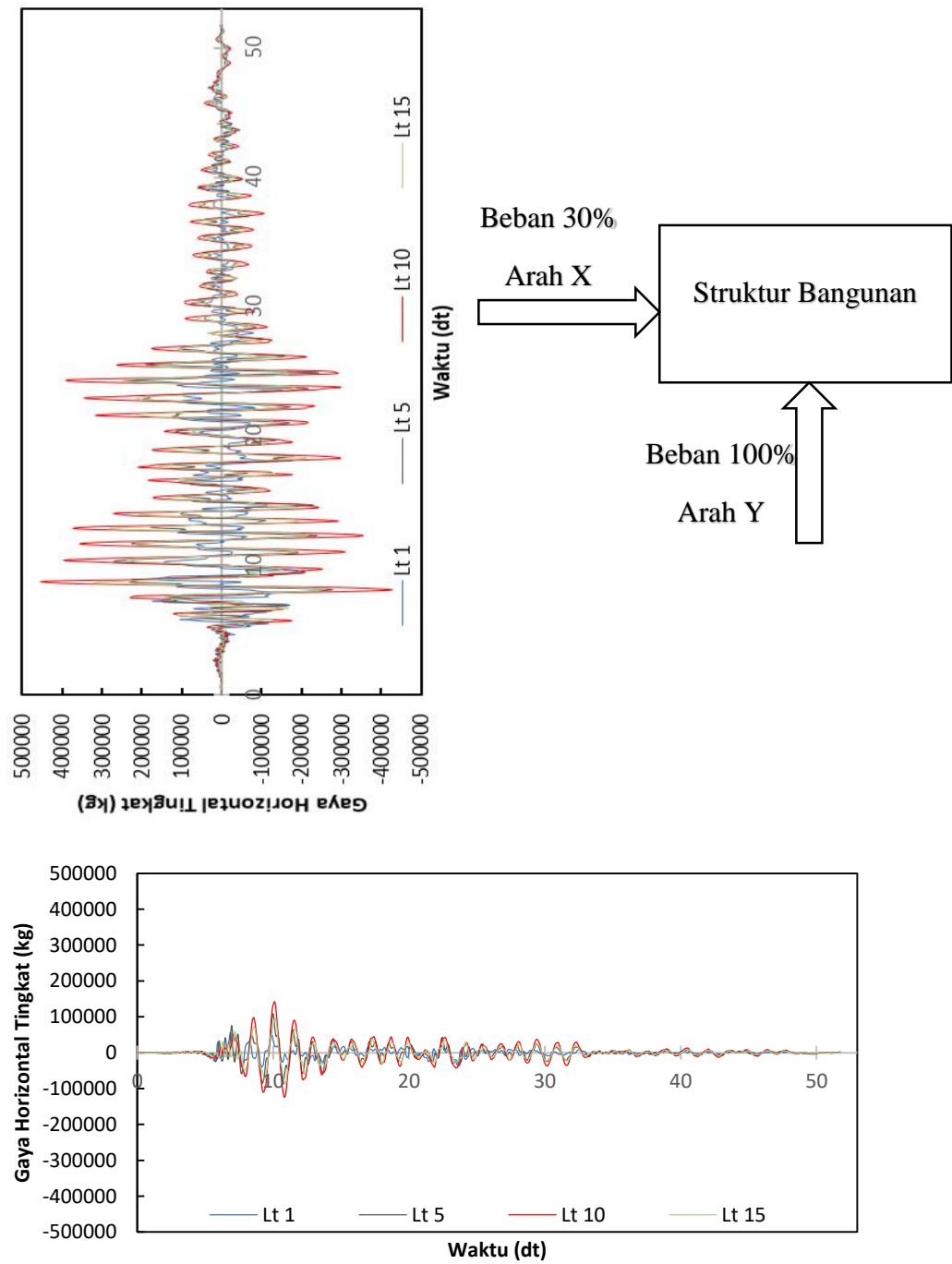


c. Frekuensi Tinggi

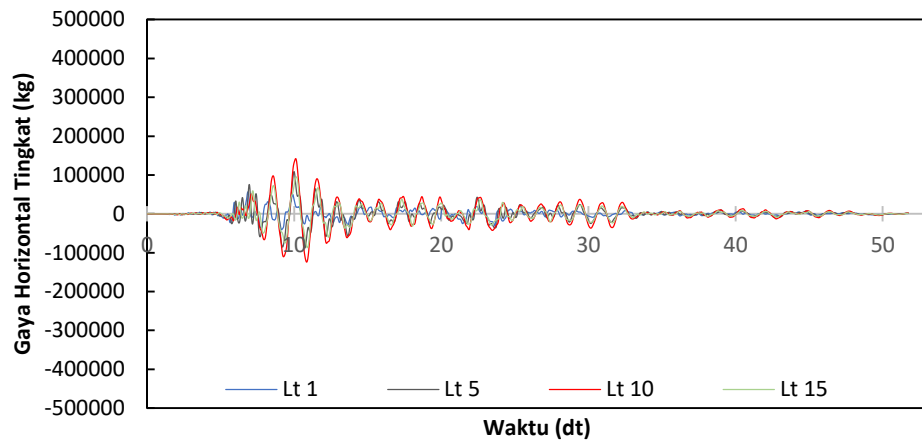
Gambar 5.205 Tampak Atas Gaya Horizontal Tkt Setiap Frek Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan X

b. Pembebanan Dominan Y

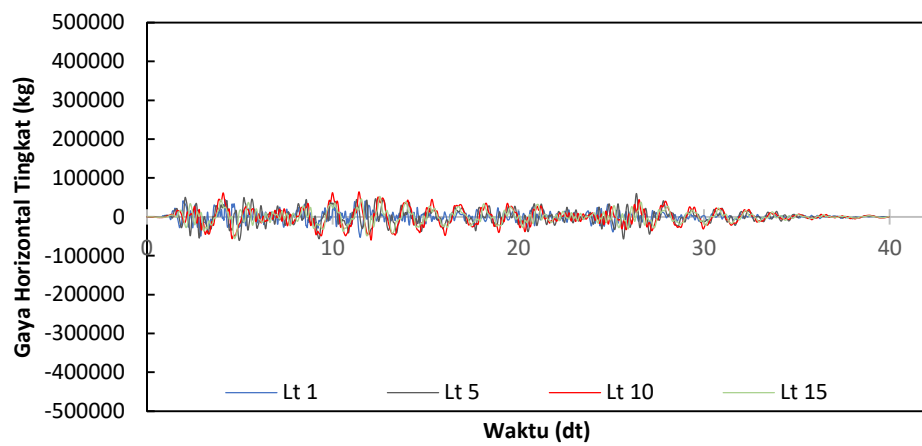
Adapun ilustrasi hasil analisis gaya horizontal tingkat pada pembebanan dominan y dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



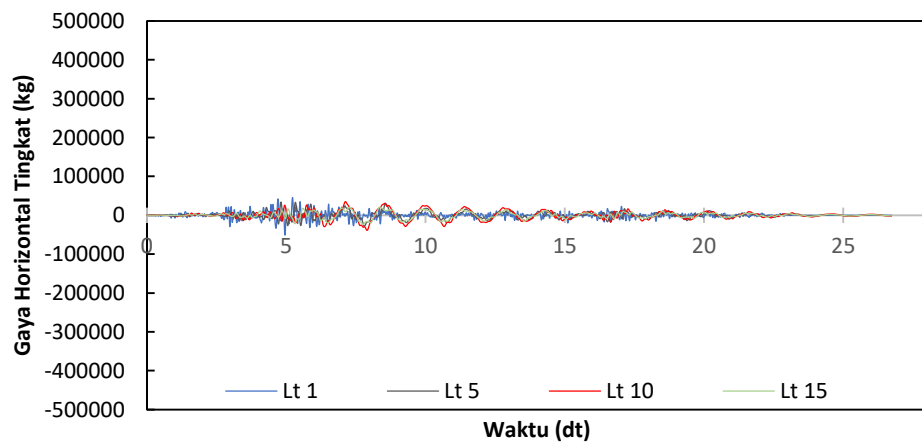
Gambar 5.206 Ilustrasi Gaya Horizontal Tingkat Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan Y



a. Frekuensi Rendah

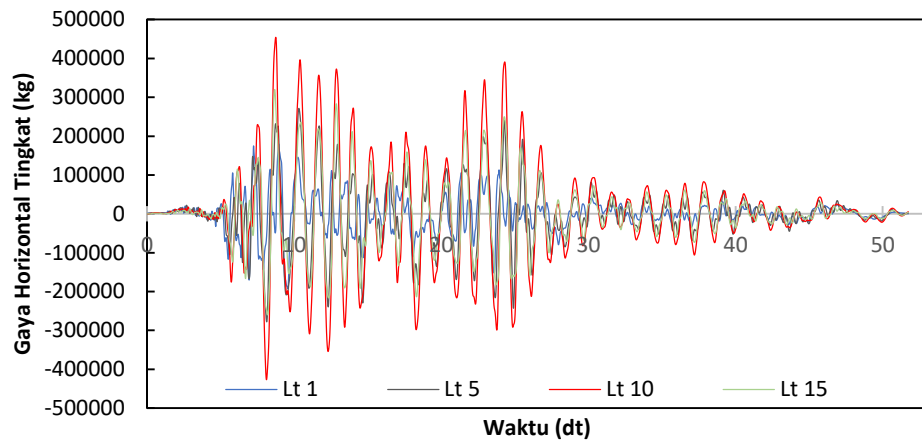


b. Frekuensi Sedang

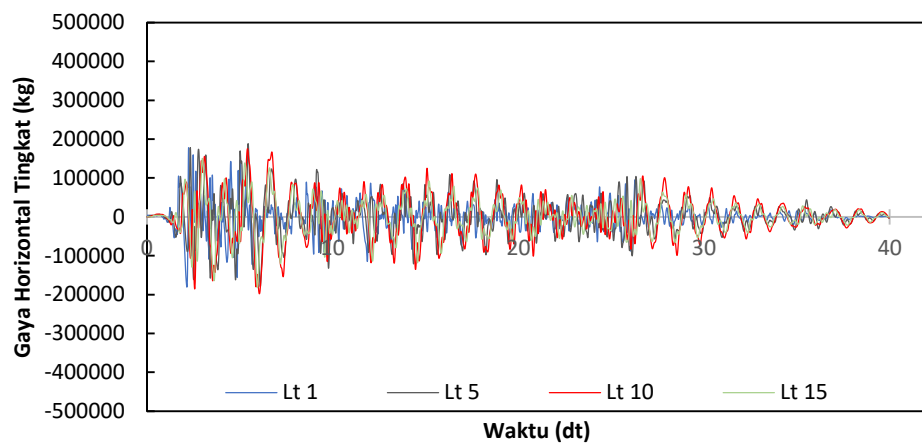


c. Frekuensi Tinggi

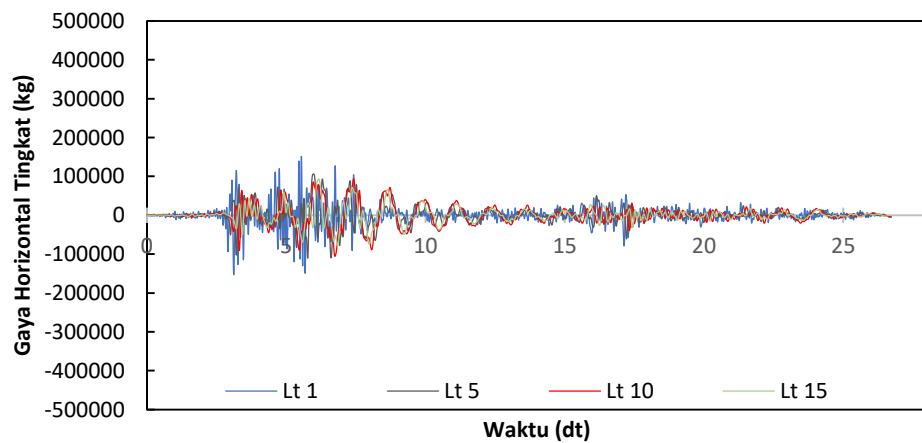
Gambar 5.207 Gaya Horizontal Tingkat Arah X Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan Y



a. Frekuensi Rendah

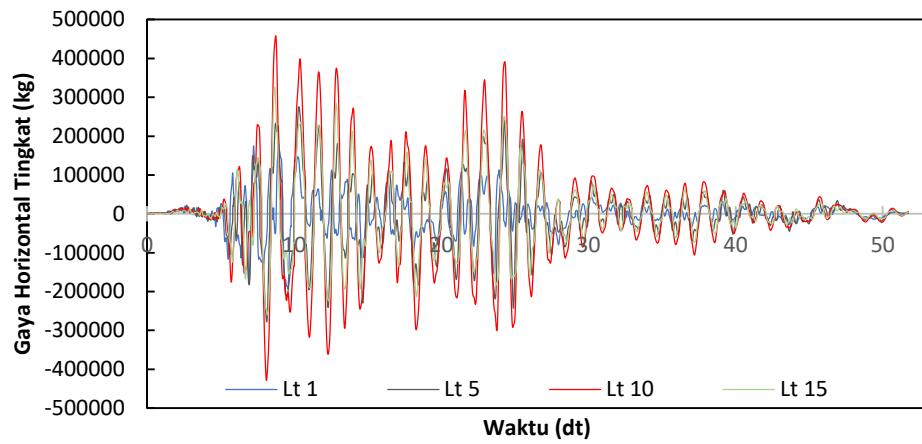


b. Frekuensi Sedang

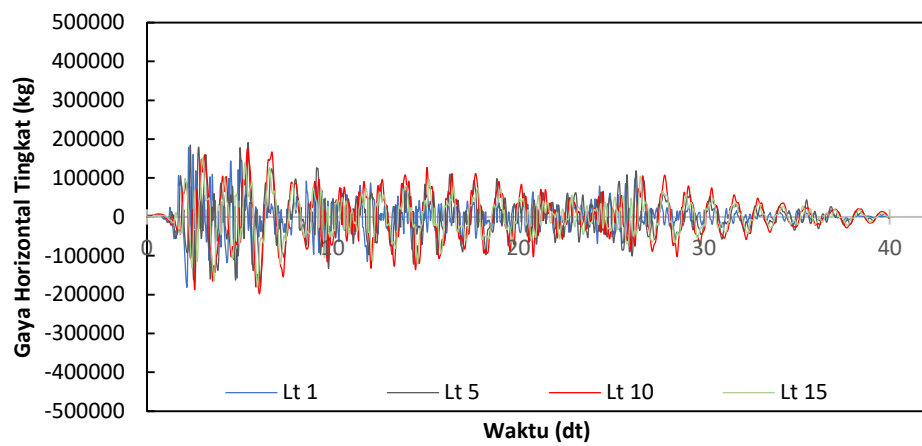


c. Frekuensi Tinggi

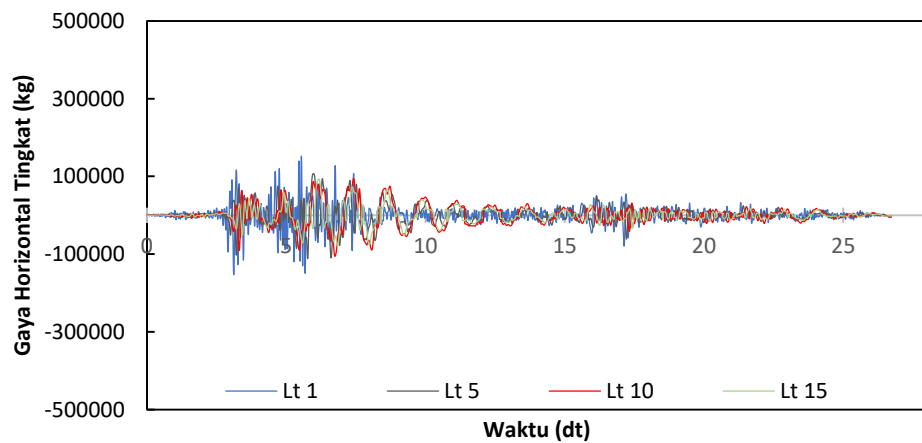
Gambar 5.208 Gaya Horizontal Tingkat Arah Y Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan Y



a. Frekuensi Rendah

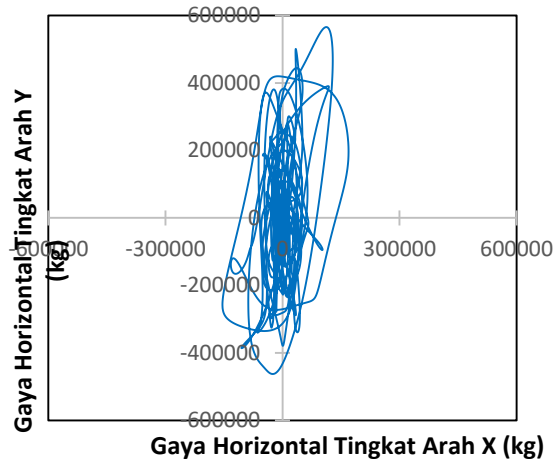


b. Frekuensi Sedang

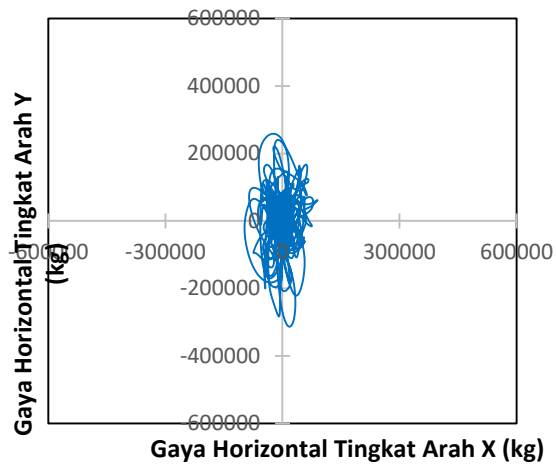


c. Frekuensi Tinggi

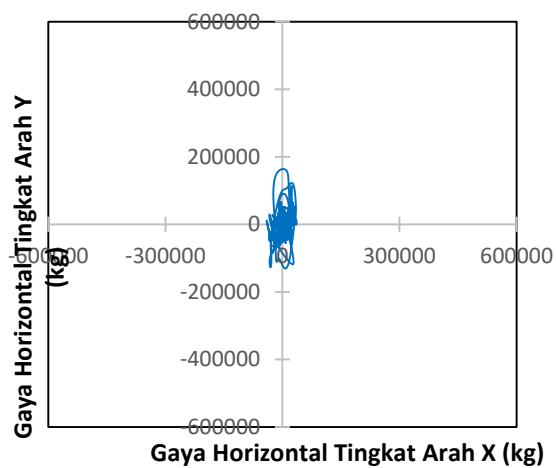
Gambar 5.209 Resultan Gaya Horizontal Tingkat Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan Y



a. Frekuensi Rendah



b. Frekuensi Sedang



c. Frekuensi Tinggi

Gambar 5.210 Tampak Atas Gaya Horizontal Tkt Setiap Frek Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan Y

Tabel 5.88 Gaya Horizontal Tkt Maks Bang Tanpa Rotasi Frek Rendah

Lantai	Dominan X (kg)		Dominan Y (kg)	
	Beban 100% X	Beban 30% Y	Beban 30% X	Beban 100% Y
15	316573	95998	94972	319993
14	563036	169623	168911	565410
13	552050	163523	165615	545076
12	532566	153973	159770	513244
11	504907	142487	151472	474957
10	473755	136305	142127	454351
9	447427	129080	134228	430265
8	431455	118989	129436	396631
7	417093	105605	125128	352017
6	395506	94048	118652	313494
5	362715	83375	108815	277916
4	318233	73154	95470	243846
3	266067	63997	79820	213324
2	213822	59235	64147	197451
1	188625	57699	56587	192329
0	0	0	0	0

Tabel 5.89 Gaya Horizontal Tkt Maks Bang Tanpa Rotasi Frek Sedang

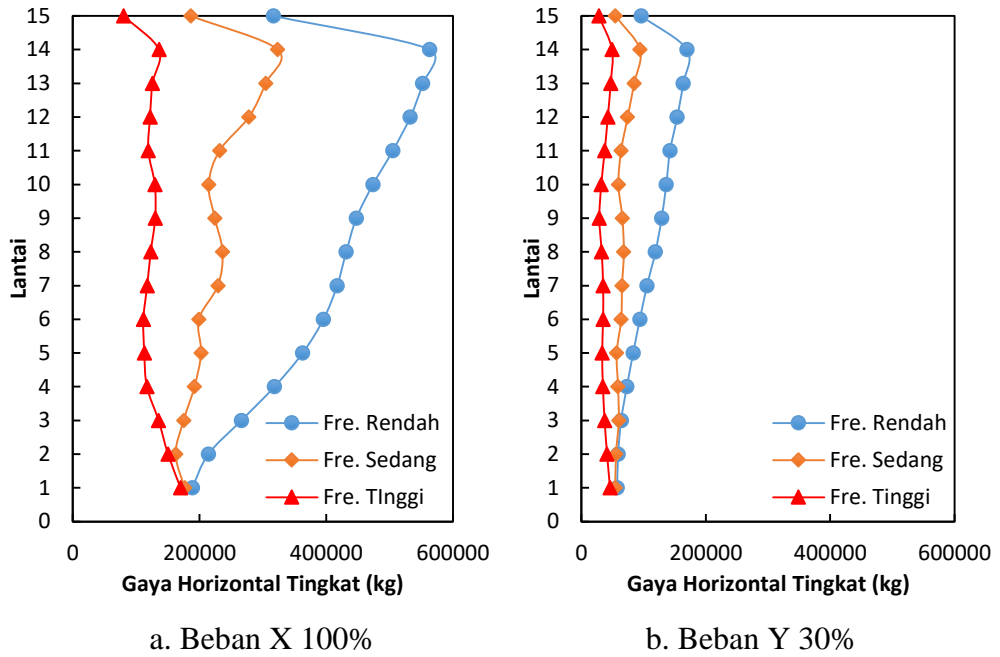
Lantai	Dominan X (kg)		Dominan Y (kg)	
	Beban 100% X	Beban 30% Y	Beban 30% X	Beban 100% Y
15	186228	54646	55868	182152
14	323163	94034	96949	313446
13	304356	84661	91307	282204
12	277931	74201	83379	247336
11	231551	63660	69465	212199
10	214460	59371	64338	197904
9	224268	65715	67281	219050
8	236373	67996	70912	226654
7	229198	65238	68759	217458
6	198969	63767	59691	212557
5	202573	56549	60772	188497
4	192043	58710	57613	195700
3	175024	59907	52507	199689
2	162380	55456	48714	184852
1	176596	54276	52979	180920
0	0	0	0	0

Tabel 5.90 Gaya Horizontal Tkt Maks Bang Tanpa Rotasi Frek Tinggi

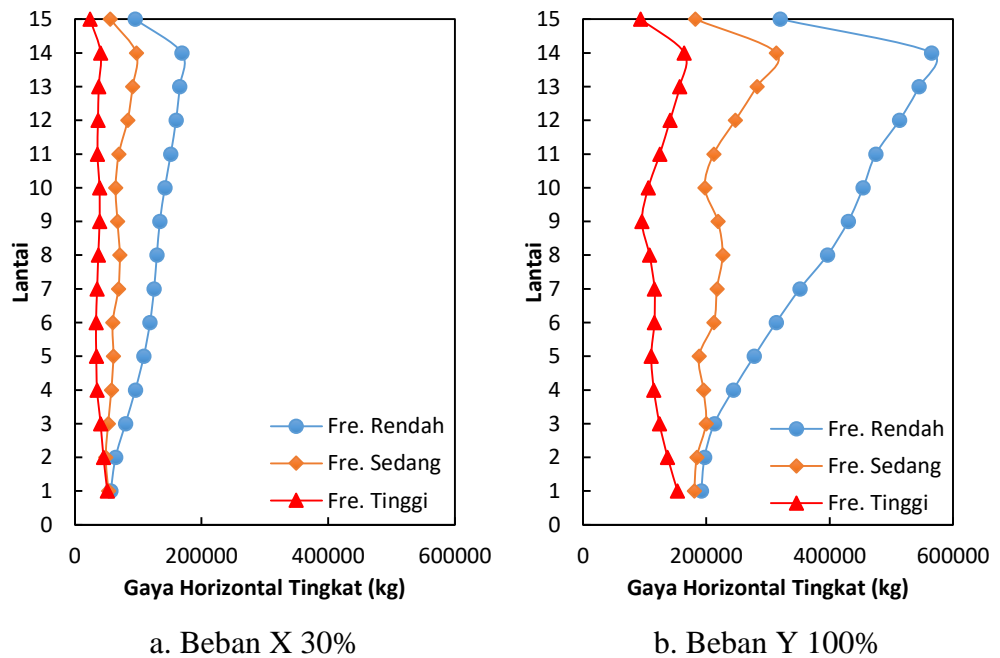
Lantai	Dominan X (kg)		Dominan Y (kg)	
	Beban 100% X	Beban 30% Y	Beban 30% X	Beban 100% Y
15	80271	27974	24081	93246
14	136008	49244	40802	164146
13	125817	47000	37745	156668
12	121965	42331	36589	141103
11	119235	37371	35771	124571
10	129549	31752	38865	105841
9	130077	28609	39023	95363
8	123103	32334	36931	107779
7	117505	34720	35252	115735
6	111439	34679	33432	115595
5	112899	33163	33870	110544
4	116989	34463	35097	114877
3	135390	37165	40617	123883
2	150348	41132	45104	137107
1	170202	45929	51061	153098
0	0	0	0	0

Tabel 5.91 Resultan Gaya Horizontal Tkt Maks Bangunan Tanpa Rotasi

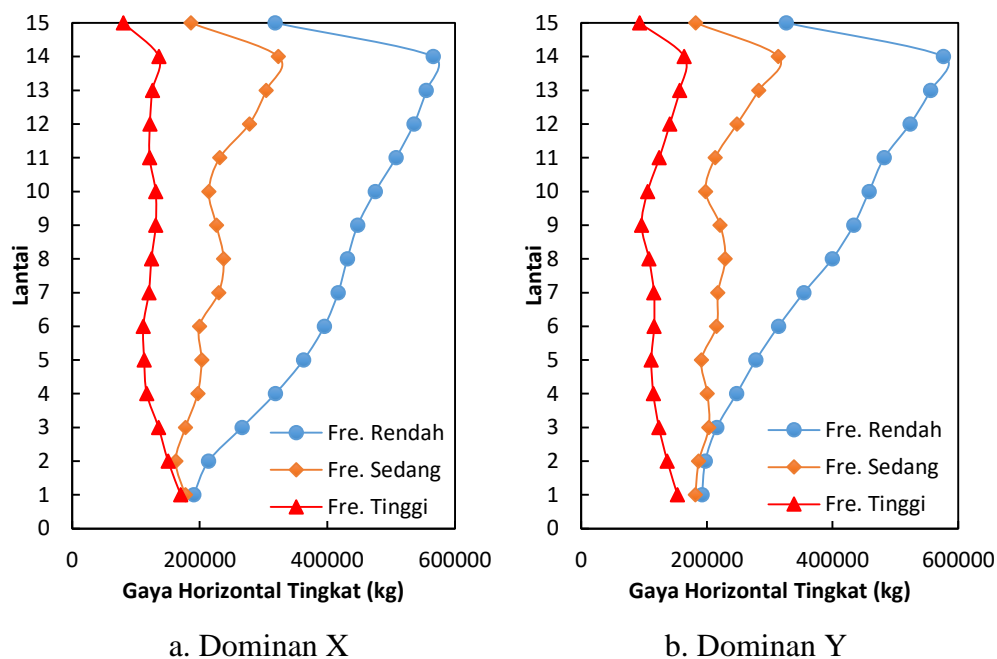
Lantai	Frekuensi Rendah		Frekuensi Sedang		Frekuensi Tinggi	
	Dom-X (kg)	Dom-Y (kg)	Dom-X (kg)	Dom-Y (kg)	Dom-X (kg)	Dom-Y (kg)
15	318316	326315	186312	182427	80340	93247
14	566255	576607	323253	313910	136041	164150
13	555222	555914	304357	282714	125882	156675
12	535818	523436	277934	248081	121987	141257
11	507901	482377	231607	213217	121505	124571
10	475488	458229	214463	197905	131016	105842
9	447866	433671	226225	221250	131065	96141
8	431534	399632	237653	229356	124462	107973
7	417120	354533	230121	217586	120266	115797
6	395557	314028	199592	215460	111532	116176
5	362824	278185	203048	191366	112974	111707
4	318456	247306	197023	200730	116989	114952
3	266315	215817	177915	203170	135431	123886
2	213973	197451	162432	187092	150524	137136
1	190738	192417	177556	181704	170401	153233
0	0	0	0	0	0	0



Gambar 5.211 Gaya Horizontal Tingkat Maksimum Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan X



Gambar 5.212 Gaya Horizontal Tingkat Maksimum Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan Y



Gambar 5.213 Resultan Gaya Horizontal Tingkat Maksimum Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi

3. Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat Bangunan Dengan Rotasi dan Bangunan Tanpa Rotasi

Perbandingan gaya horizontal tingkat struktur bangunan reguler dengan rotasi dan tanpa rotasi dengan beban gempa frekuensi rendah, frekuensi sedang, dan frekuensi tinggi dan pada pembebanan dominan x dan dominan y disajikan dalam bentuk nilai-nilai maksimum setiap lantai yang dapat dilihat pada Tabel 5.92 s/d Tabel 5.100 dan Gambar 5.214 s/d Gambar 5.222.

Gempa dengan frekuensi rendah (Gempa Duzce) menghasilkan gaya horizontal tingkat pada bangunan reguler dengan rotasi lebih besar daripada bangunan reguler tanpa rotasi (*fixed*) baik pada pembebanan dominan x maupun pembebanan dominan y.

Gempa dengan frekuensi sedang (Gempa EL-Centro 1940) dan frekuensi tinggi (Gempa Manjil) menghasilkan respon yang beragam dan fluktuatif baik pada pembebanan dominan x maupun dominan y. Terjadi perubahan nilai gaya horizontal tingkat yang lebih besar antara struktur bangunan dengan rotasi dan struktur bangunan tanpa rotasi (*fixed*) terutama pada beban gempa dengan

frekuensi sedang (Gempa EL-Centro 1940). Nilai gaya horizontal tingkat maksimum yang lebih besar pada beban gempa dengan frekuensi tinggi (Gempa Manjil) didominasi oleh struktur bangunan tanpa rotasi.

Gaya horizontal tingkat dipengaruhi langsung oleh kekakuan dan simpangan netto. Tidak ada perbedaan kekakuan struktur atas pada struktur bangunan dengan rotasi dengan struktur bangunan tanpa rotasi (*fixed*) sehingga yang lebih mempengaruhi hasil yang beragam pada gaya horizontal tingkat adalah simpangan netto. Hasil gaya horizontal tingkat dan simpangan netto yang beragam tersebut dipengaruhi oleh sistem *soil-foundation*. Hal ini dikarenakan dengan diperhitungkannya sistem *soil-foundation*, maka frekuensi sudut (ω) dan frekuensi natural (f) struktur bangunan akan semakin rendah nilainya karena kekakuan sistem struktur yang semakin rendah akibat tanah tidak lagi menjepit fondasi dengan sempurna sehingga pada gempa dengan frekuensi rendah (Gempa Duzce), bangunan reguler dengan rotasi akan berasosiasi lebih baik dengan beban gempa daripada bangunan reguler tanpa rotasi (*fixed*) dan terjadi sebaliknya pada gempa dengan frekuensi tinggi (Gempa Manjil), bangunan tanpa rotasi (*fixed*) akan berasosiasi lebih baik dengan beban gempa daripada bangunan dengan rotasi. Gempa dengan frekuensi sedang (Gempa EL-Centro 1940) memiliki hasil yang beragam akibat *A/V ratio* yang terlampau jauh antara beban gempa arah x dan arah y sehingga respon struktur arah x cenderung mengikuti respon struktur akibat gempa dengan frekuensi rendah (Gempa Duzce) dan respon struktur arah y cenderung mengikuti respon struktur akibat gempa dengan frekuensi tinggi (Gempa Manjil). Selanjutnya, gaya horizontal tingkat setiap lantai tidak terjadi dalam 1 fase.

Tabel 5.92 Perbandingan Gaya Horizontal Tkt Maks Frek Rendah Dom-X

Lantai	Beban 100% X (kg)		Beban 30% Y (kg)	
	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi
15	334758	316573	106337	95998
14	593876	563036	187920	169623
13	579815	552050	183715	163523
12	556308	532566	178382	153973
11	523954	504907	172250	142487
10	486640	473755	164770	136305
9	454218	447427	155208	129080
8	434882	431455	143455	118989
7	420851	417093	129940	105605
6	400872	395506	115669	94048
5	369323	362715	102452	83375
4	325345	318233	89818	73154
3	272168	266067	77579	63997
2	218244	213822	68646	59235
1	188773	188625	61464	57699
0	0	0	0	0

Tabel 5.93 Perbandingan Gaya Horizontal Tkt Maks Frek Rendah Dom-Y

Lantai	Beban 30% X (kg)		Beban 100% Y (kg)	
	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi
15	100427	94972	354457	319993
14	178163	168911	626399	565410
13	173945	165615	612382	545076
12	166892	159770	594606	513244
11	157186	151472	574165	474957
10	145992	142127	549234	454351
9	136265	134228	517359	430265
8	130465	129436	478182	396631
7	126255	125128	433133	352017
6	120262	118652	385564	313494
5	110797	108815	341507	277916
4	97604	95470	299393	243846
3	81650	79820	258598	213324
2	65473	64147	228820	197451
1	56632	56587	204881	192329
0	0	0	0	0

Tabel 5.94 Perbandingan Gaya Horizontal Tkt Maks Frek Sedang Dom-X

Lantai	Beban 100% X (kg)		Beban 30% Y (kg)	
	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi
15	191030	186228	47091	54646
14	330626	323163	79727	94034
13	310741	304356	68920	84661
12	282015	277931	60091	74201
11	232228	231551	49511	63660
10	213371	214460	52961	59371
9	207396	224268	64363	65715
8	221162	236373	67966	67996
7	216524	229198	64776	65238
6	218916	198969	62510	63767
5	223724	202573	60827	56549
4	210084	192043	65014	58710
3	188477	175024	65291	59907
2	173806	162380	60042	55456
1	180524	176596	55334	54276
0	0	0	0	0

Tabel 5.95 Perbandingan Gaya Horizontal Tkt Maks Frek Sedang Dom-Y

Lantai	Beban 30% X (kg)		Beban 100% Y (kg)	
	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi
15	22558	24081	85414	93246
14	37968	40802	148683	164146
13	34149	37745	140788	156668
12	33462	36589	126489	141103
11	35315	35771	104929	124571
10	38135	38865	92860	105841
9	37993	39023	93478	95363
8	35435	36931	109734	107779
7	33559	35252	114150	115735
6	32367	33432	112421	115595
5	34901	33870	116201	110544
4	34718	35097	112423	114877
3	40136	40617	124638	123883
2	44134	45104	137759	137107
1	49539	51061	152399	153098
0	0	0	0	0

Tabel 5.96 Perbandingan Gaya Horizontal Tkt Maks Frek Tinggi Dom-X

Lantai	Beban 100% X (kg)		Beban 30% Y (kg)	
	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi
15	75193	80271	25624	27974
14	126561	136008	44605	49244
13	113828	125817	42236	47000
12	111538	121965	37947	42331
11	117715	119235	31479	37371
10	127118	129549	27858	31752
9	126644	130077	28043	28609
8	118118	123103	32920	32334
7	111863	117505	34245	34720
6	107889	111439	33726	34679
5	116337	112899	34860	33163
4	115726	116989	33727	34463
3	133785	135390	37391	37165
2	147112	150348	41328	41132
1	165130	170202	45720	45929
0	0	0	0	0

Tabel 5.97 Perbandingan Gaya Horizontal Tkt Maks Frek Tinggi Dom-Y

Lantai	Beban 30% X (kg)		Beban 100% Y (kg)	
	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi
15	22558	24081	85414	93246
14	37968	40802	148683	164146
13	34149	37745	140788	156668
12	33462	36589	126489	141103
11	35315	35771	104929	124571
10	38135	38865	92860	105841
9	37993	39023	93478	95363
8	35435	36931	109734	107779
7	33559	35252	114150	115735
6	32367	33432	112421	115595
5	34901	33870	116201	110544
4	34718	35097	112423	114877
3	40136	40617	124638	123883
2	44134	45104	137759	137107
1	49539	51061	152399	153098
0	0	0	0	0

Tabel 5.98 Perbandingan Resultan Gaya Hor Tingkat Maks Frek Rendah

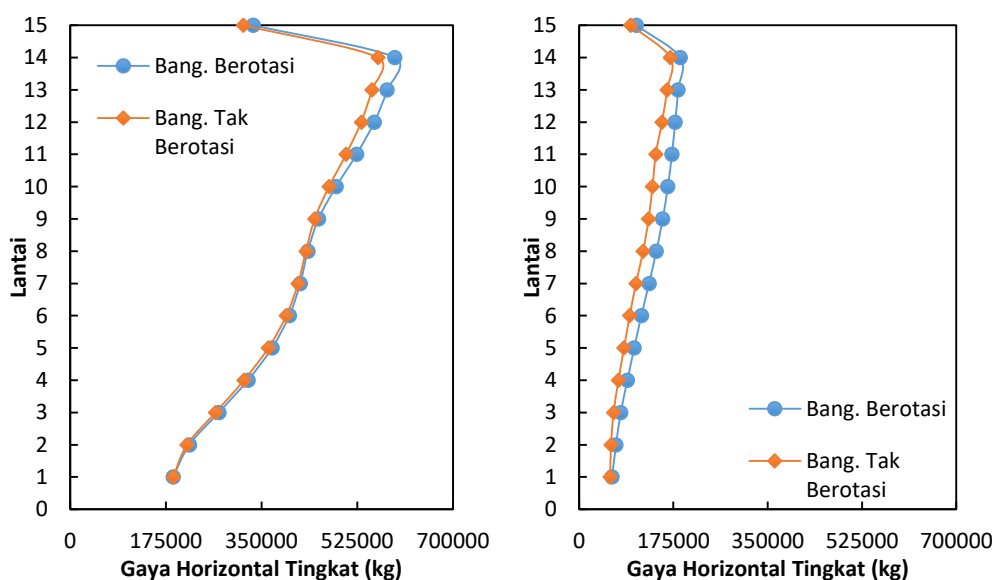
Lantai	Dominan X (kg)		Dominan Y (kg)	
	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi
15	337576	318316	354478	326315
14	598559	566255	626421	576607
13	584225	555222	612396	555914
12	560408	535818	594994	523436
11	527185	507901	575258	482377
10	488674	475488	551202	458229
9	454478	447866	520313	433671
8	434969	431534	481627	399632
7	421087	417120	437250	354533
6	401179	395557	390218	314028
5	369481	362824	346119	278185
4	325379	318456	303125	247306
3	272174	266315	259174	215817
2	218249	213973	228935	197451
1	191219	190738	204949	192417
0	0	0	0	0

Tabel 5.99 Perbandingan Resultan Gaya Hor Tingkat Maks Frek Sedang

Lantai	Dominan X (kg)		Dominan Y (kg)	
	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi
15	191226	186312	157563	182427
14	330914	323253	266805	313910
13	311494	304357	230742	282714
12	282707	277934	201371	248081
11	232451	231607	166258	213217
10	213665	214463	178314	197905
9	207966	226225	216683	221250
8	221723	237653	229153	229356
7	216979	230121	218182	217586
6	219264	199592	211620	215460
5	224600	203048	209165	191366
4	216025	197023	221785	200730
3	193742	177915	221221	203170
2	173871	162432	202481	187092
1	181315	177556	186227	181704
0	0	0	0	0

Tabel 5.100 Perbandingan Resultan Gaya Hor Tingkat Maks Frek Tinggi

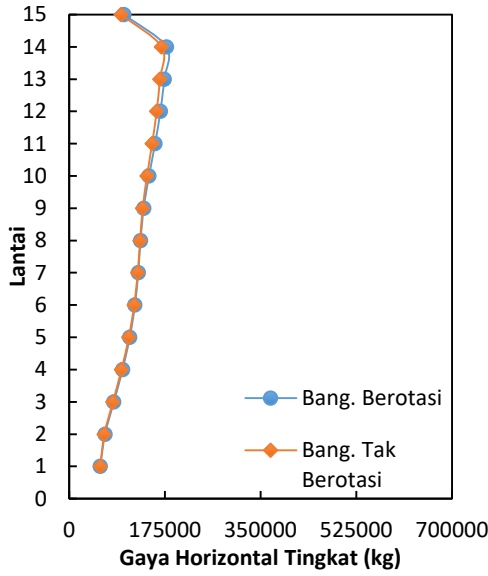
Lantai	Dominan X (kg)		Dominan Y (kg)	
	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi
15	75805	80340	85439	93247
14	127379	136041	148685	164150
13	114079	125882	140807	156675
12	111636	121987	126600	141257
11	118261	121505	104931	124571
10	127373	131016	92868	105842
9	126715	131065	96711	96141
8	118329	124462	111328	107973
7	112554	120266	115020	115797
6	107892	111532	114929	116176
5	116355	112974	117221	111707
4	115728	116989	112496	114952
3	133821	135431	124641	123886
2	147222	150524	137784	137136
1	165271	170401	152542	153233
0	0	0	0	0



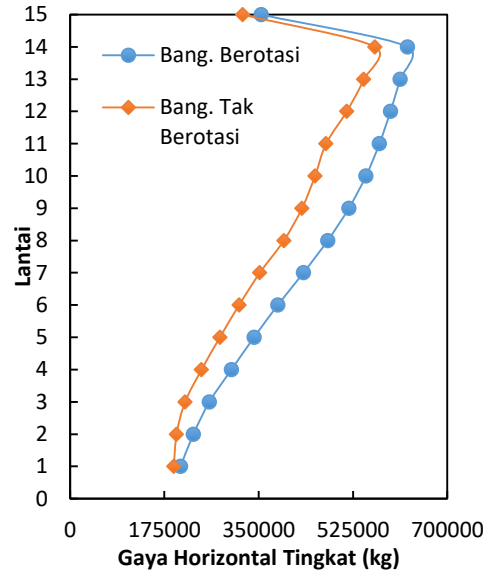
a. Beban X 100%

b. Beban Y 30%

Gambar 5.214 Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat Maks Bangunan Dengan Rotasi dan Tanpa Rotasi Frek Rendah Pembebanan Dom-X

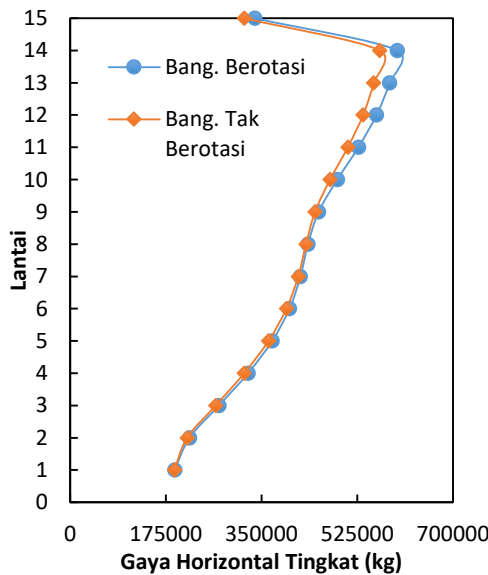


a. Beban X 30%

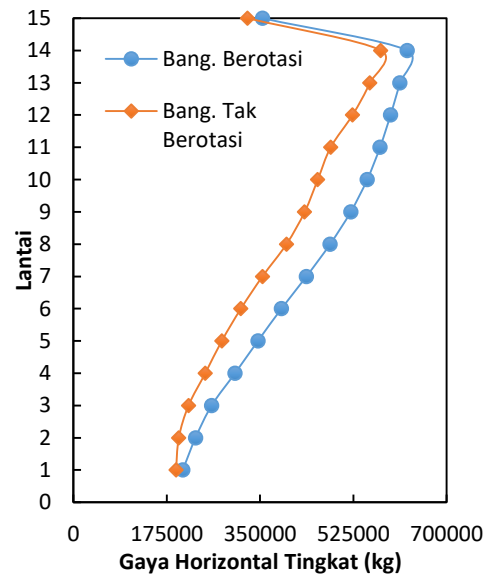


b. Beban Y 100%

Gambar 5.215 Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat Maks Bangunan Dengan Rotasi dan Tanpa Rotasi Frek Rendah Pembebanan Dom-Y

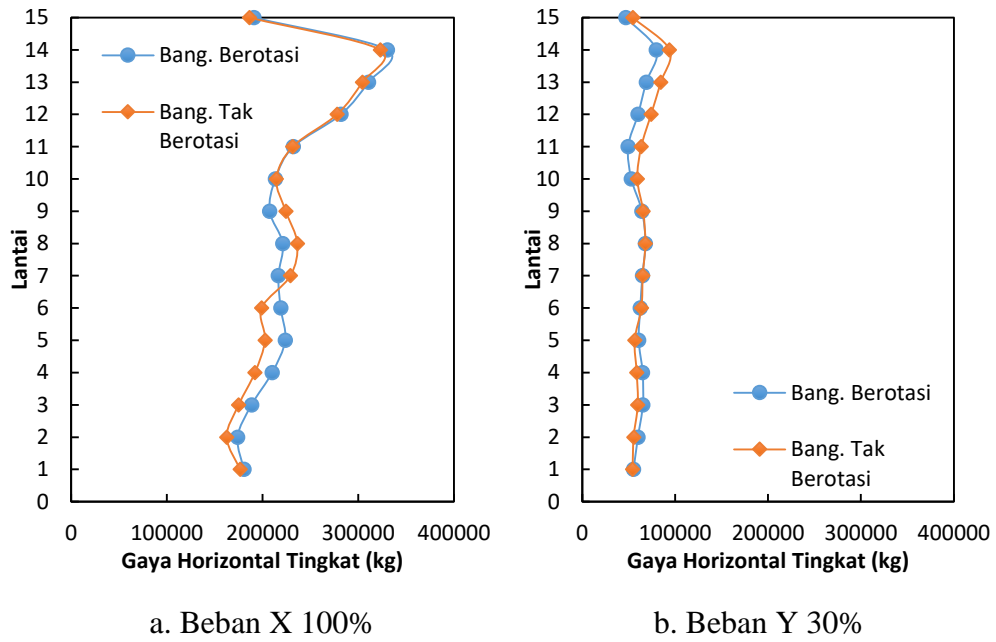


a. Dominan X

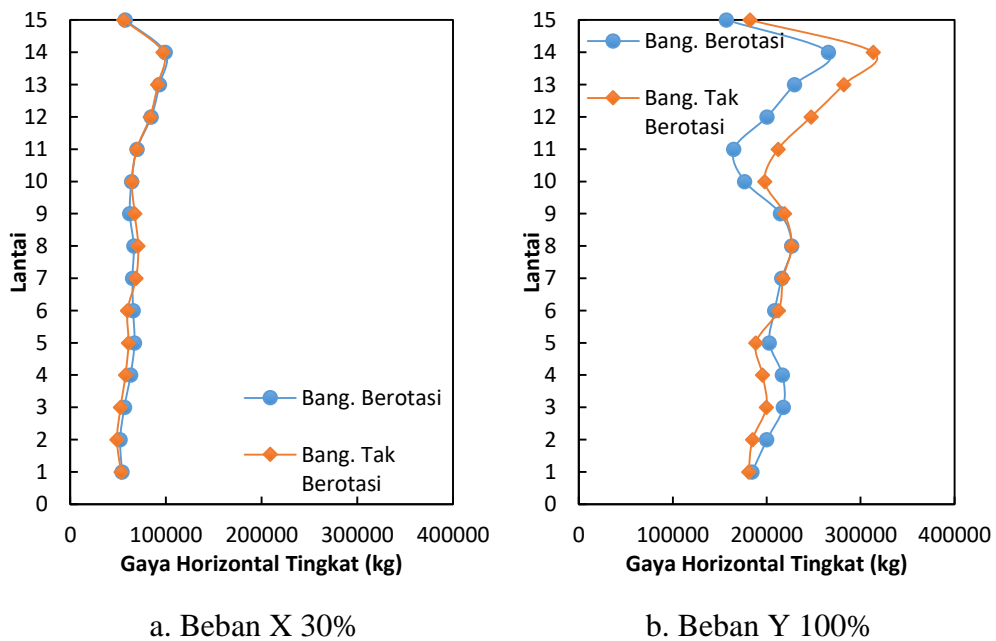


b. Dominan Y

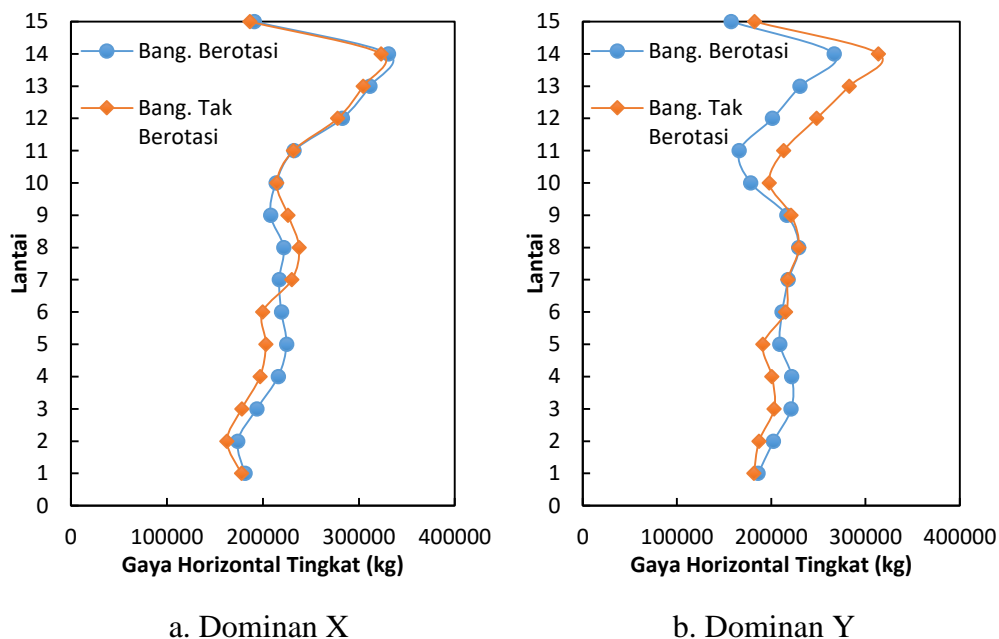
Gambar 5.216 Perbandingan Resultan Gaya Horizontal Tingkat Maks Bangunan Dengan Rotasi dan Tanpa Rotasi Gempa Frek Rendah



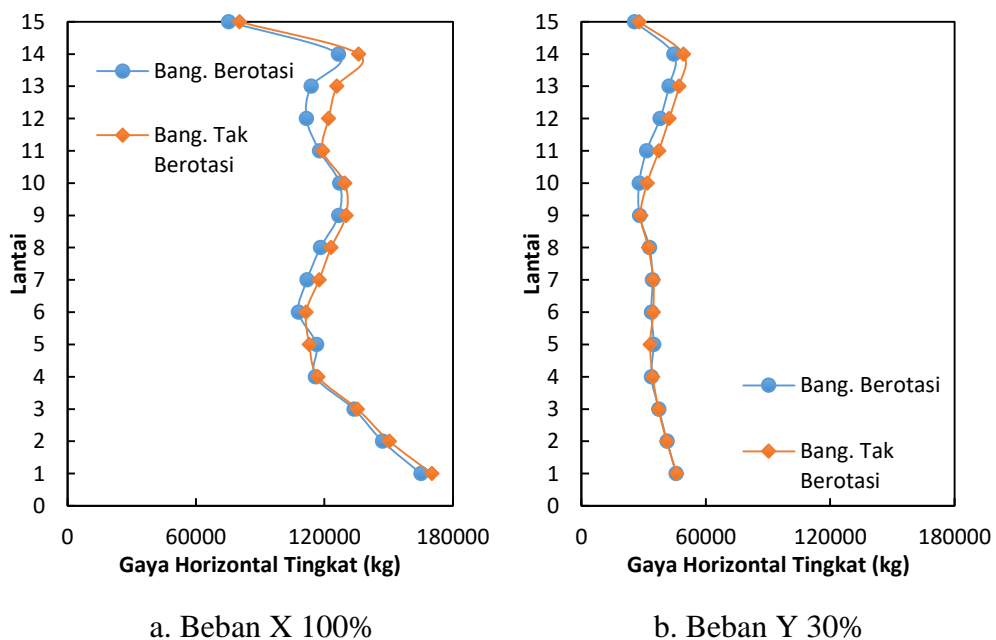
Gambar 5.217 Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat Maks Bangunan Dengan Rotasi dan Tanpa Rotasi Frek Sedang Pembebanan Dom-X



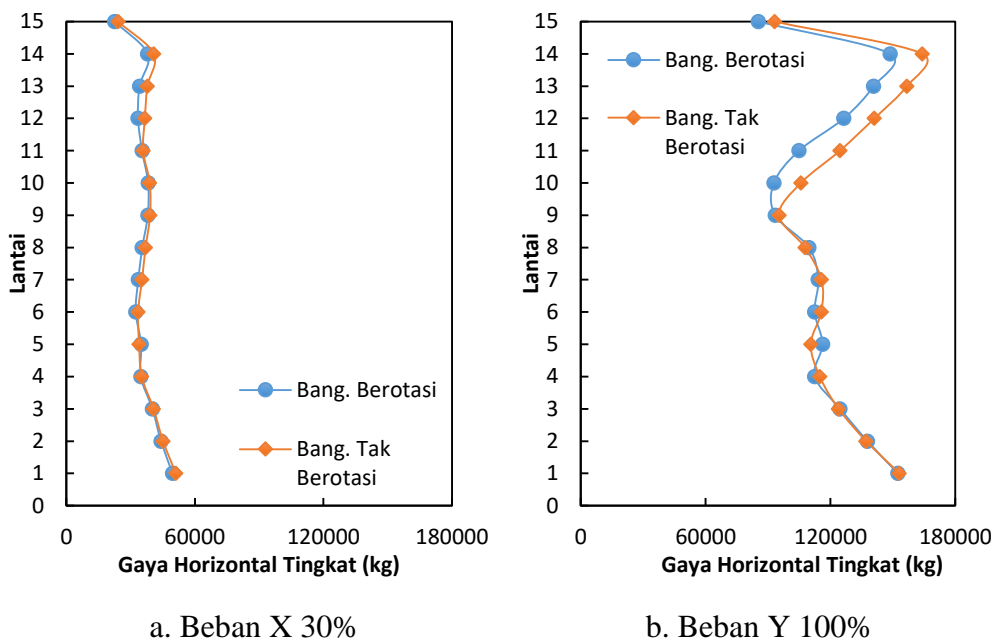
Gambar 5.218 Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat Maks Bangunan Dengan Rotasi dan Tanpa Rotasi Frek Sedang Pembebanan Dom-Y



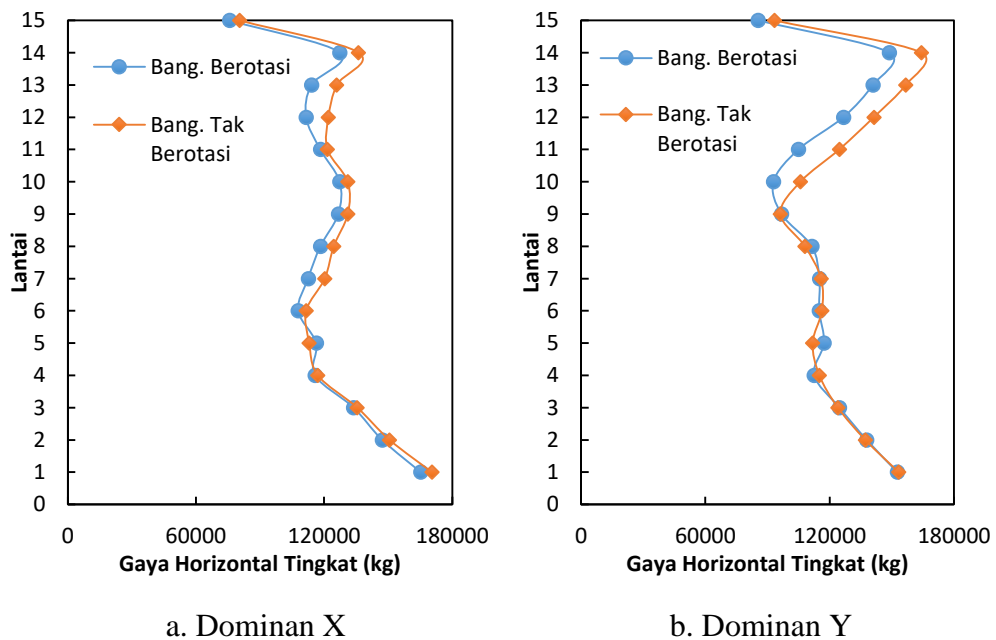
Gambar 5.219 Perbandingan Resultan Gaya Horizontal Tingkat Maks Bangunan Dengan Rotasi dan Tanpa Rotasi Gempa Frek Sedang



Gambar 5.220 Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat Maks Bangunan Dengan Rotasi dan Tanpa Rotasi Frek Tinggi Pembebanan Dom-X



Gambar 5.221 Perbandingan Gaya Horizontal Tingkat Maks Bangunan Dengan Rotasi dan Tanpa Rotasi Frek Tinggi Pembebanan Dom-Y



Gambar 5.222 Perbandingan Resultan Gaya Horizontal Tingkat Maks Bangunan Dengan Rotasi dan Tanpa Rotasi Gempa Frek Tinggi

5.7.9 Gaya Geser Tingkat

Gaya geser tingkat adalah penjumlahan dari gaya horizontal tingkat suatu lantai dengan lantai di atasnya atau gaya horizontal tingkat kumulatif. Gaya geser tingkat pada tingkat/lantai dasar disebut gaya geser dasar. Gaya geser dasar adalah nilai total dari gaya horizontal tingkat struktur yang bekerja di dasar struktur. Perhitungan gaya geser tingkat menggunakan persamaan 3.103. Hasil perhitungan gaya geser tingkat ditampilkan dalam bentuk grafik antara gaya geser tingkat lawan waktu (dengan interval waktu 0,01 dt). Gaya geser tingkat yang dicari meliputi gaya geser tingkat pada bangunan reguler dengan rotasi dan tanpa rotasi dengan pembebanan dominan arah x dan dominan arah y yang akan dijelaskan sebagai berikut.

1. Gaya Geser Tingkat Struktur Bangunan Dengan Rotasi

Gaya geser tingkat struktur bangunan reguler dengan rotasi dengan beban gempa frekuensi rendah, frekuensi sedang, dan frekuensi tinggi dan pada pembebanan dominan arah x dan dominan arah y dengan beban 100%, beban 30%, resultan gaya geser tingkat, dan tampak atas gaya geser tingkat (gaya geser tingkat lantai 1/gaya geser dasar) dapat dilihat pada Gambar 5.223 s/d Gambar 5.232. Nilai-nilai maksimum gaya geser tingkat setiap lantai dapat dilihat pada Tabel 5.101 s/d Tabel 5.104 dan Gambar 5.233 s/d Gambar 5.235.

Hasil tabel dan gambar grafik tersebut menunjukkan bahwa gaya geser tingkat maksimum akan semakin besar pada lantai bawah pada setiap frekuensi beban gempa karena gaya geser tingkat adalah penjumlahan dari gaya horizontal tingkat yang ada di atasnya. Gaya geser tingkat maksimum terbesar ada pada lantai paling bawah karena merupakan penjumlahan dari gaya horizontal tingkat pada semua lantai atau disebut sebagai gaya geser dasar. Namun, gempa dengan frekuensi tinggi (Gempa Manjil) dengan beban arah y pada setiap kombinasi pembebanan dan resultan dominan y menghasilkan nilai gaya geser tingkat maksimum pada lantai 8-10. Hal tersebut terjadi karena gaya geser tingkat maksimum merupakan nilai maksimum dari penjumlahan gaya horizontal tingkat setiap waktunya bukan penjumlahan dari gaya horizontal tingkat maksimum sehingga hasilnya dapat berbeda-beda karena gaya horizontal tingkat

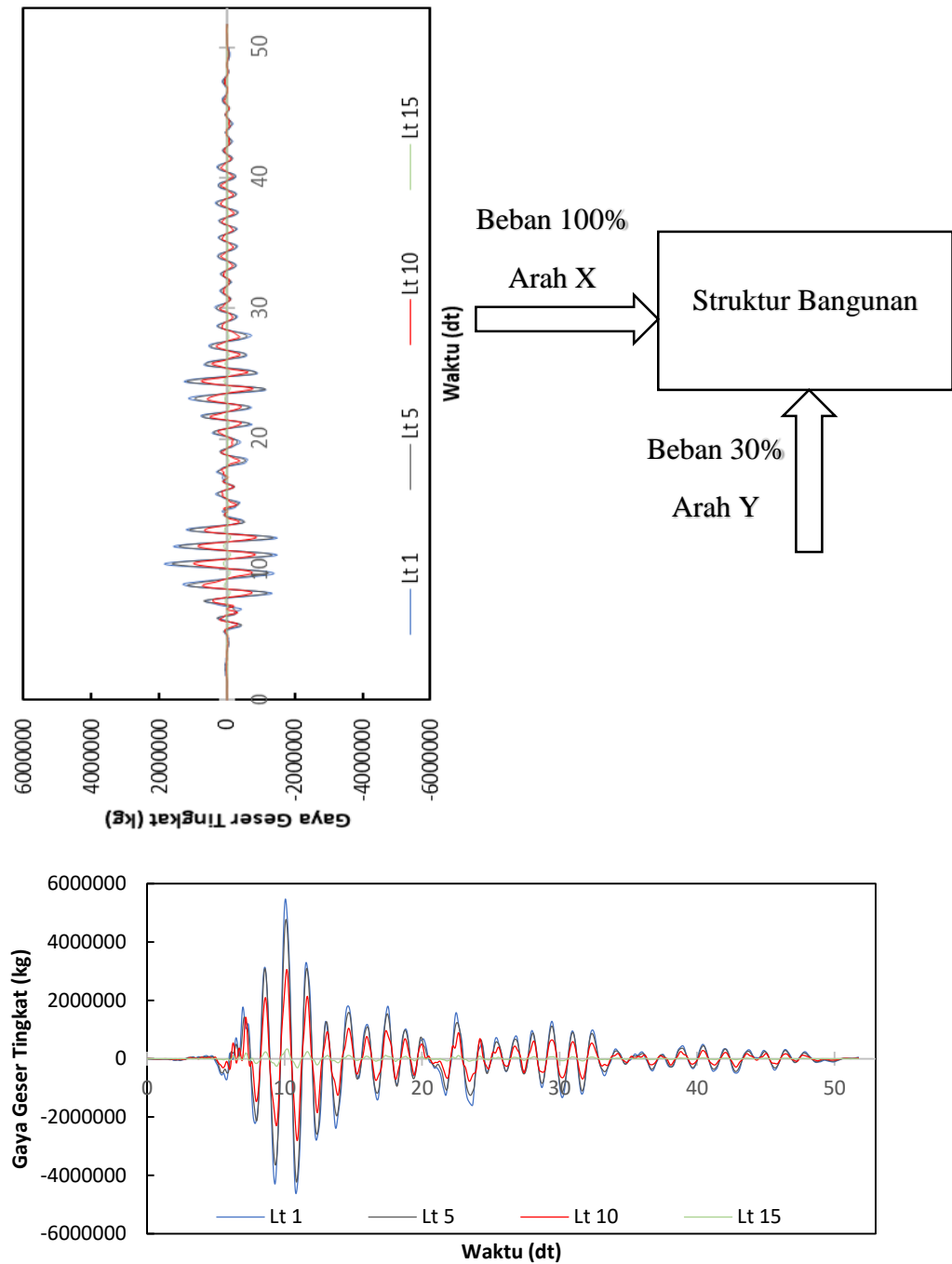
pada setiap lantai tidak terjadi dalam satu fase terutama pada gempa dengan frekuensi tinggi (Gempa Manjil).

Gempa dengan frekuensi rendah (Gempa Duzce) menghasilkan gaya geser tingkat yang paling besar pada struktur baik pada pembebanan dominan x maupun pembebanan dominan y, sedangkan gempa dengan frekuensi tinggi (Gempa Manjil) menghasilkan gaya geser tingkat yang paling kecil dan gempa dengan frekuensi sedang (Gempa EL-Centro 1940) berada diantaranya. Hal ini dikarenakan struktur bangunan tinggi bersifat fleksibel sehingga akan mempunyai frekuensi sudut (ω) dan frekuensi natural (f) yang rendah dan menyebabkan bangunan akan bergetar pada frekuensi rendah atau berasosiasi dengan baik dengan gempa frekuensi rendah.

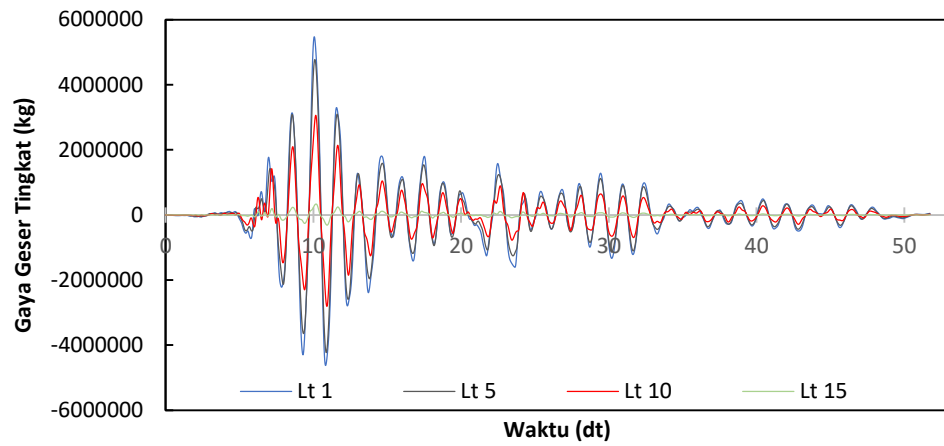
Gempa dengan frekuensi rendah (Gempa Duzce) menghasilkan resultan gaya geser tingkat pada pembebanan dominan y lebih besar daripada pembebanan dominan x. Gempa dengan frekuensi sedang (Gempa EL-Centro 1940) menghasilkan resultan gaya geser tingkat pada pembebanan dominan x lebih besar daripada pembebanan dominan y dan gempa dengan frekuensi tinggi (Gempa Manjil) menghasilkan resultan gaya geser tingkat pada pembebanan dominan x lebih besar daripada pembebanan dominan y pada lantai 1-9 dan terjadi sebaliknya pada lantai 10-15. Secara umum, gaya geser tingkat akan lebih besar pada resultan pembebanan dominan y karena bangunan berbentuk pipih pada arah y, tetapi hasil yang beragam tersebut dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu, kekakuan portal arah x yang lebih besar, hasil simpangan pada struktur, pola goyangan yang berbeda pada setiap kombinasi pembebanan, karakteristik beban dan frekuensi gempa yang beragam, dan gaya horizontal tingkat setiap lantai yang tidak terjadi dalam 1 fase sehingga mempengaruhi gaya geser tingkatnya terutama pada beban gempa dengan frekuensi tinggi (Gempa Manjil).

a. Pembebanan Dominan X

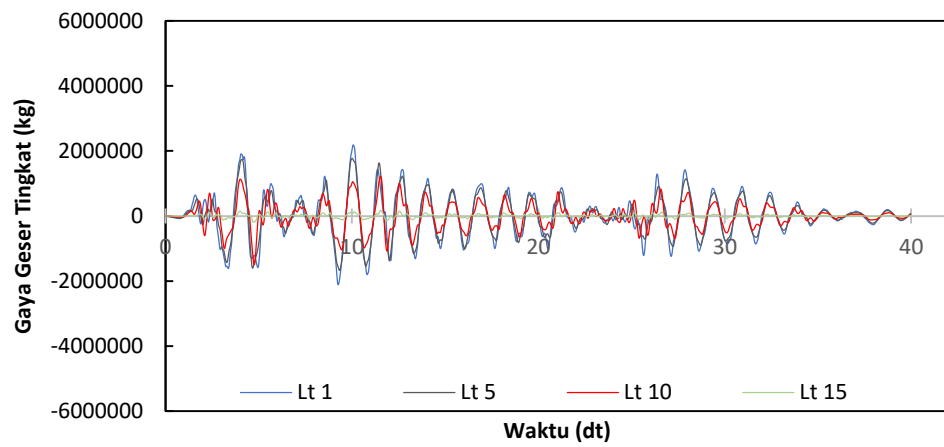
Adapun ilustrasi hasil analisis gaya geser tingkat pada pembebanan dominan x dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



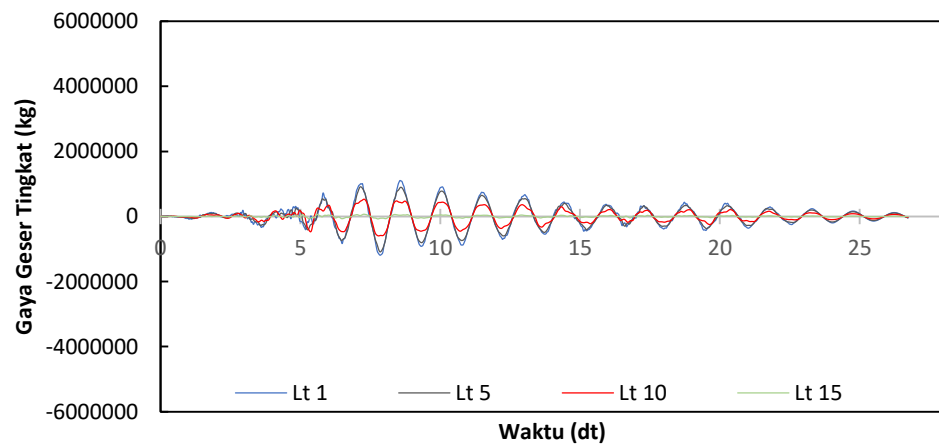
Gambar 5.223 Ilustrasi Gaya Geser Tingkat Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan X



a. Frekuensi Rendah

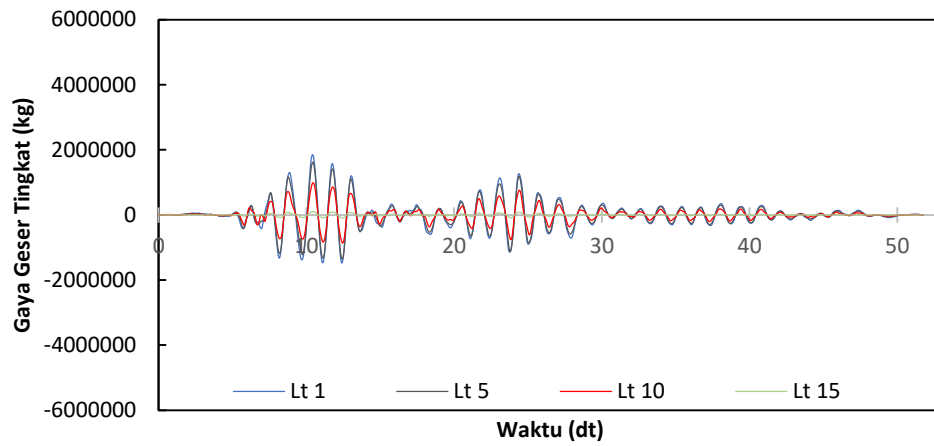


b. Frekuensi Sedang

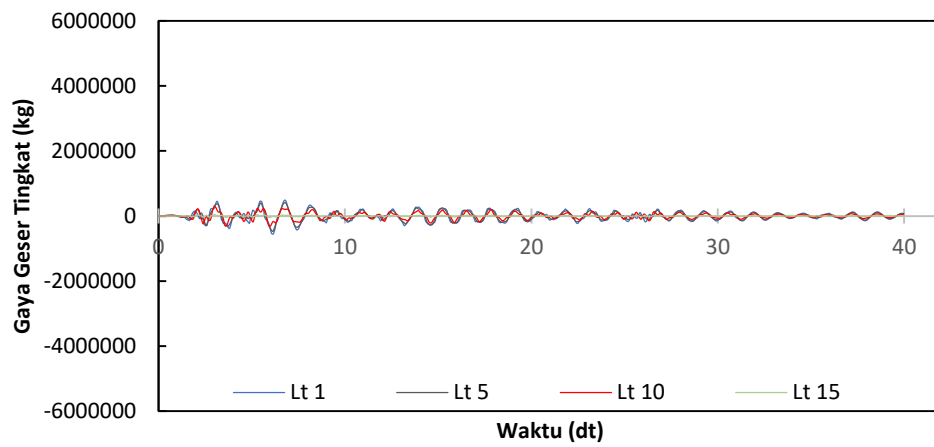


c. Frekuensi Tinggi

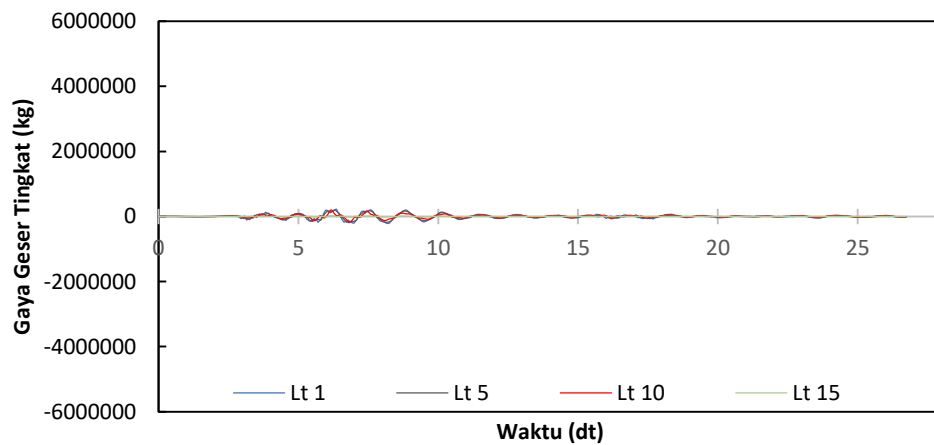
Gambar 5.224 Gaya Geser Tingkat Arah X Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan X



a. Frekuensi Rendah

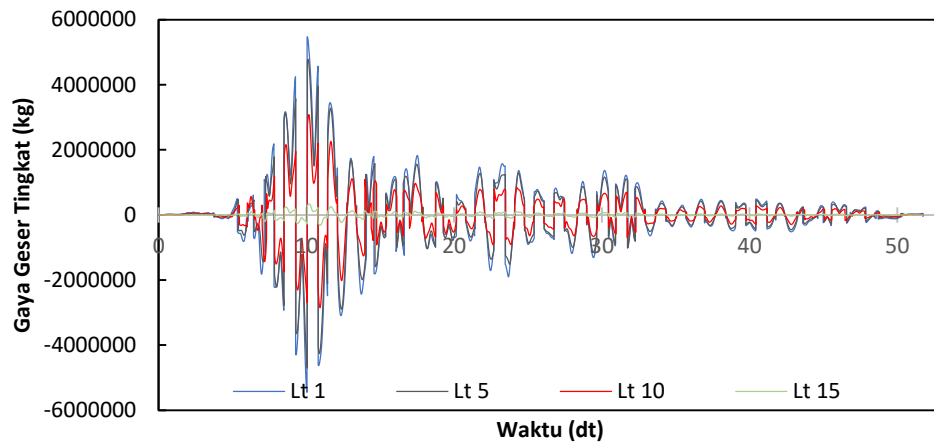


b. Frekuensi Sedang

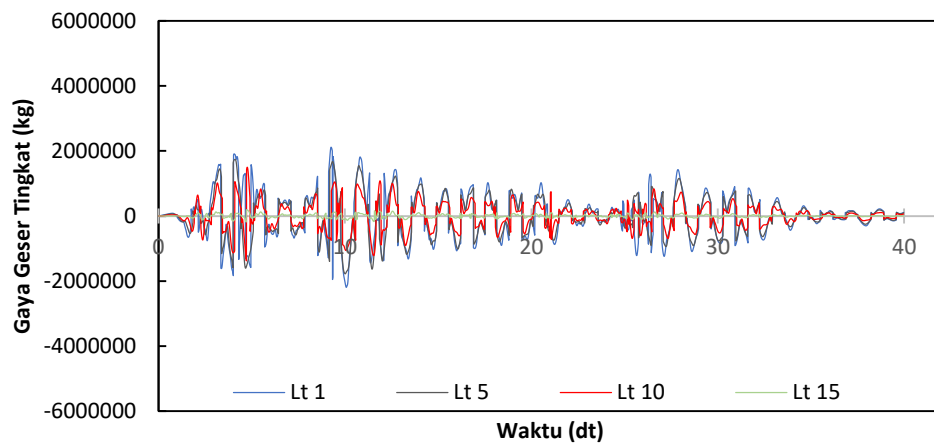


c. Frekuensi Tinggi

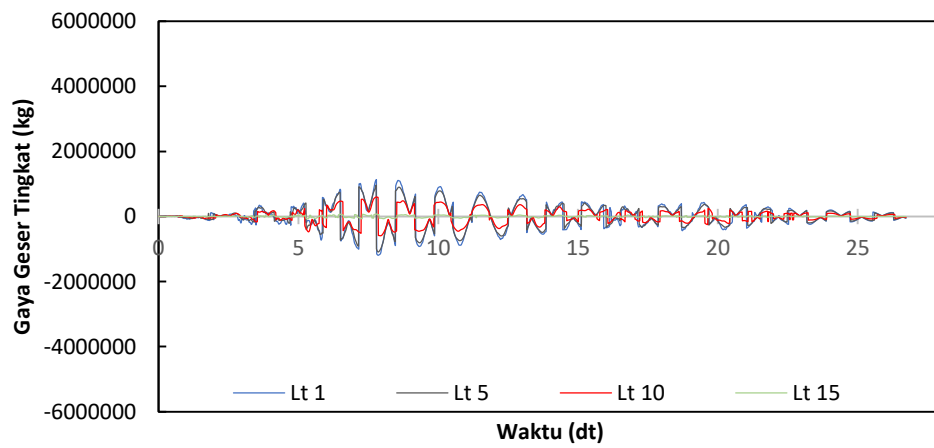
Gambar 5.225 Gaya Geser Tingkat Arah Y Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan X



a. Frekuensi Rendah

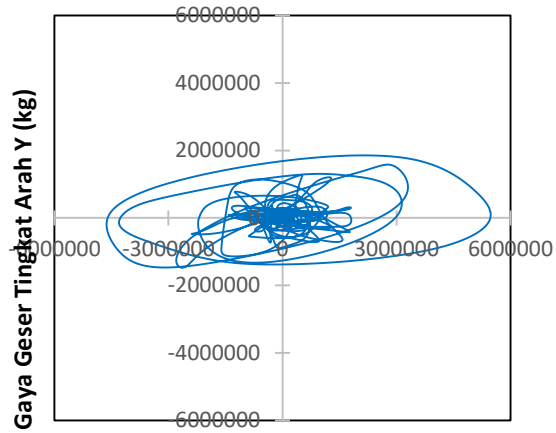


b. Frekuensi Sedang



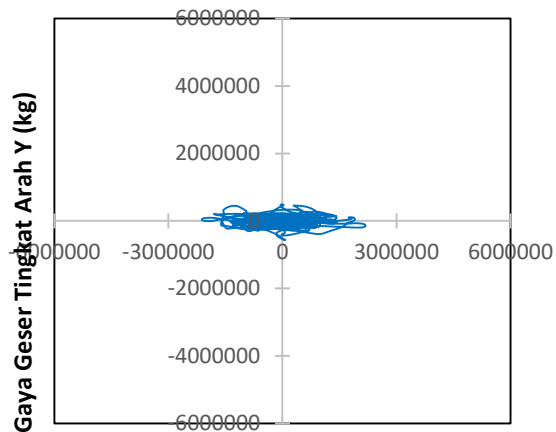
c. Frekuensi Tinggi

Gambar 5.226 Resultan Gaya Geser Tingkat Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan X



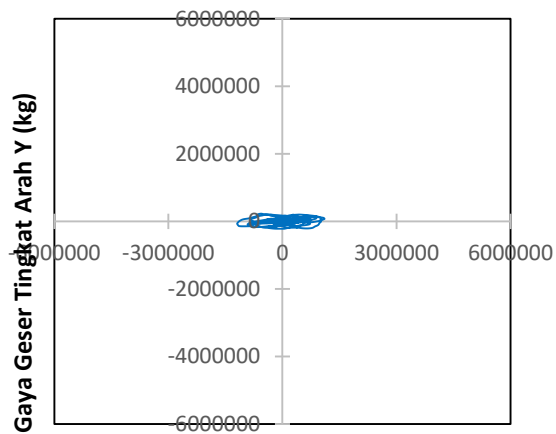
Gaya Geser Tingkat Arah X (kg)

a. Frekuensi Rendah



Gaya Geser Tingkat Arah X (kg)

b. Frekuensi Sedang



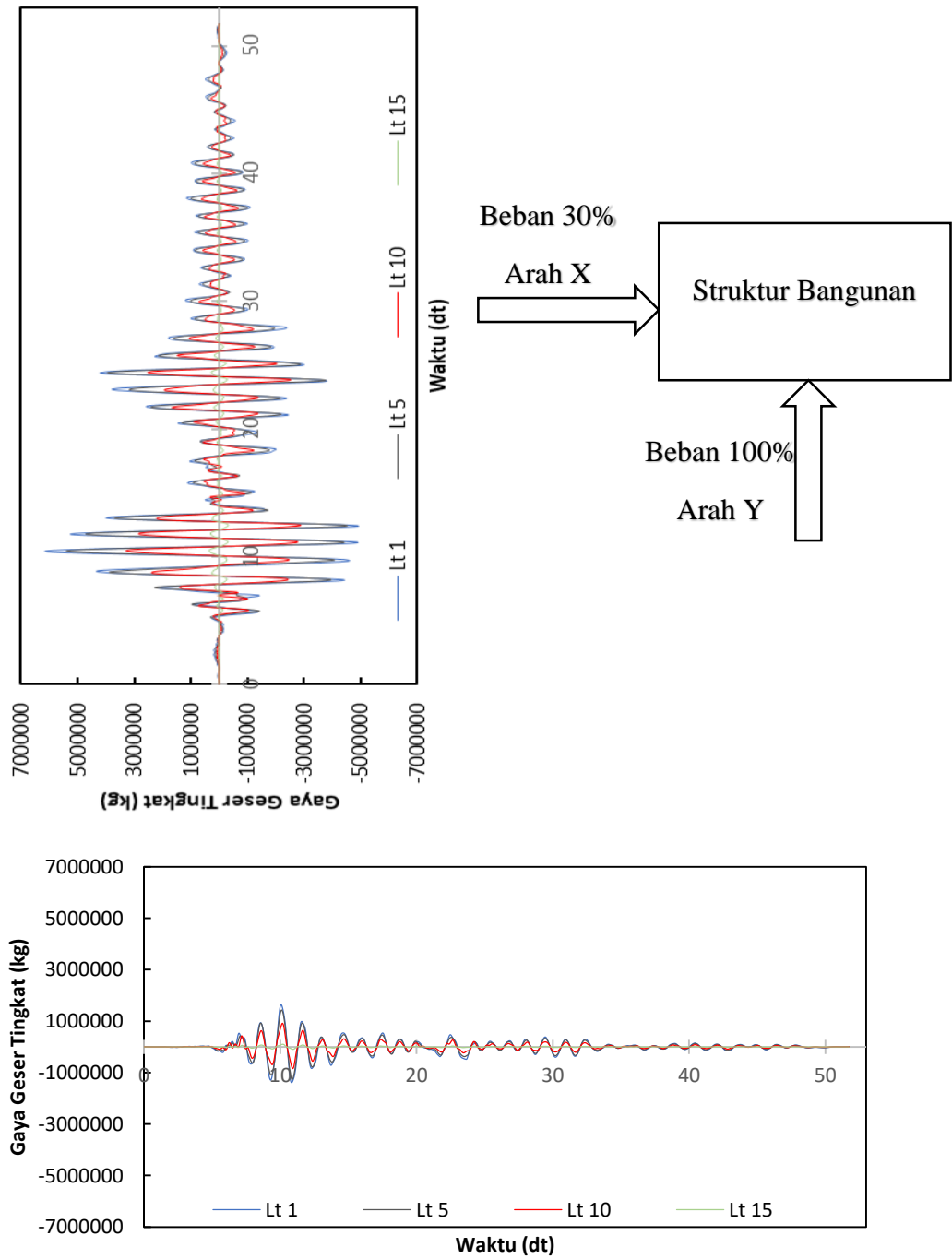
Gaya Geser Tingkat Arah X (kg)

c. Frekuensi Tinggi

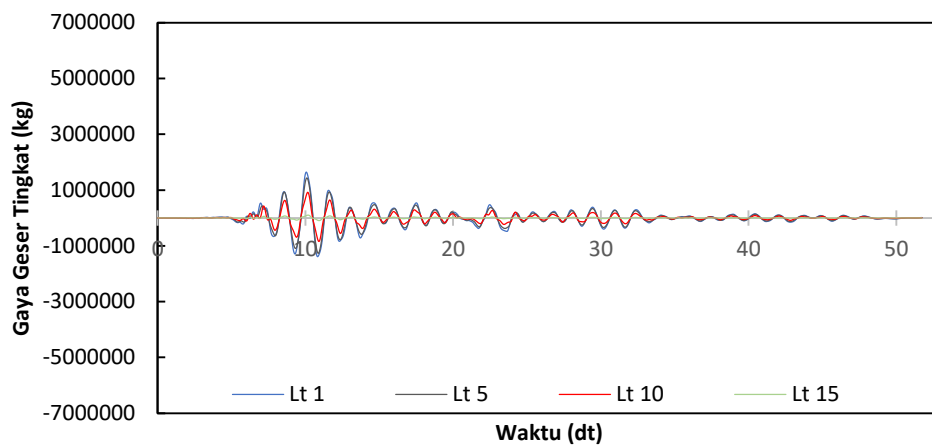
Gambar 5.227 Tampak Atas Gaya Geser Tingkat Setiap Frek Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan X

b. Pembebanan Dominan Y

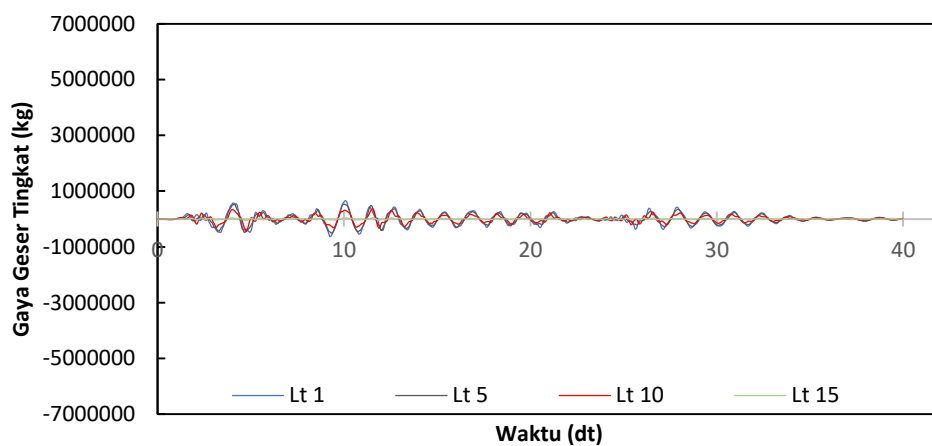
Adapun ilustrasi hasil analisis gaya geser tingkat pada pembebanan dominan y dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



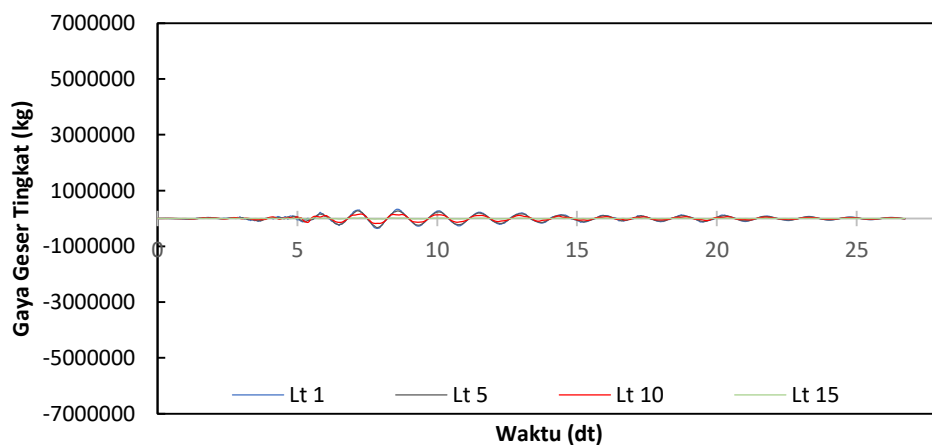
Gambar 5.228 Ilustrasi Gaya Geser Tingkat Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan Y



a. Frekuensi Rendah

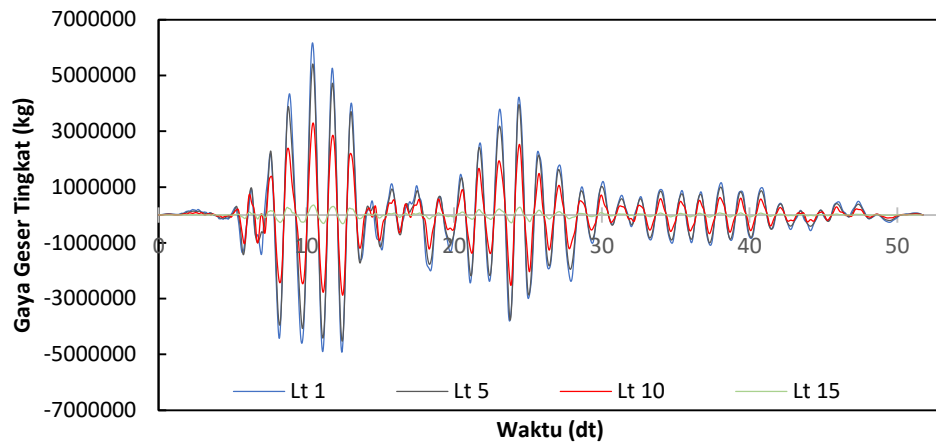


b. Frekuensi Sedang

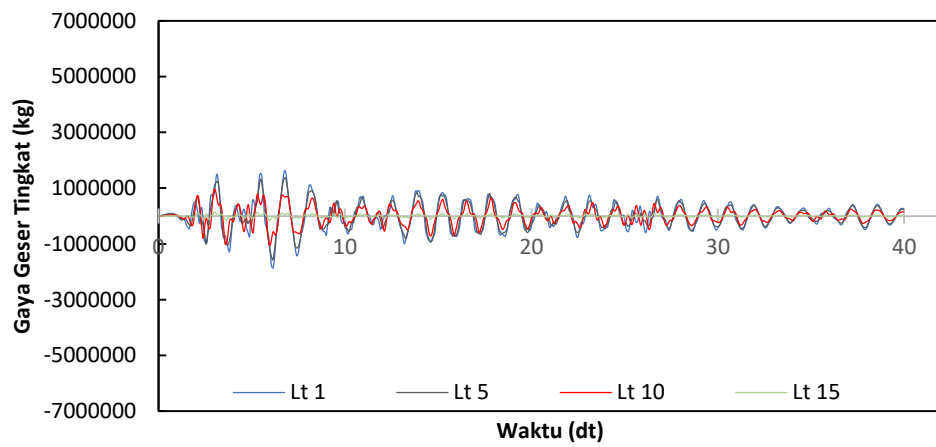


c. Frekuensi Tinggi

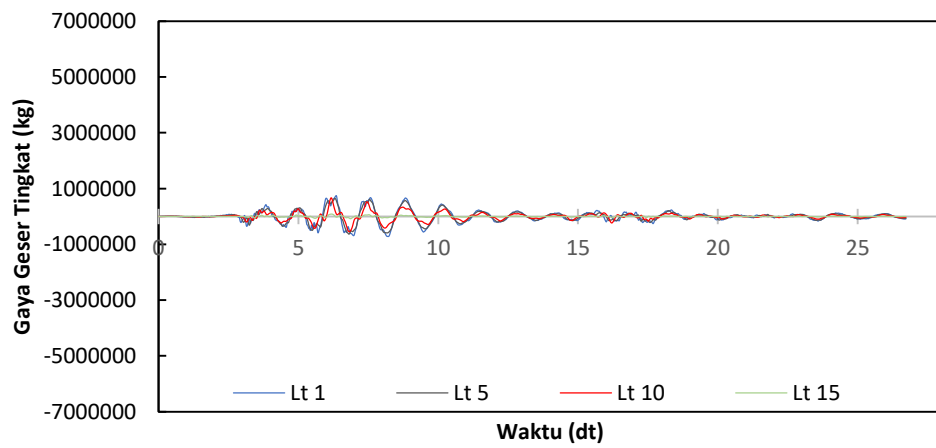
Gambar 5.229 Gaya Geser Tingkat Arah X Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan Y



a. Frekuensi Rendah

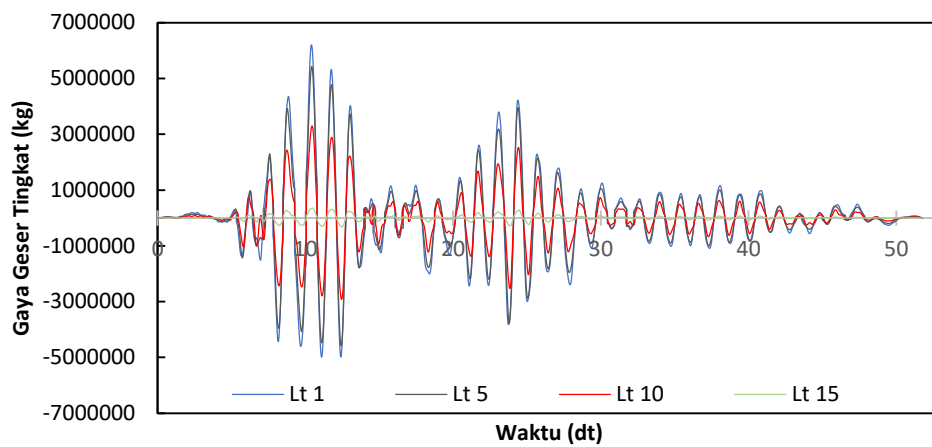


b. Frekuensi Sedang

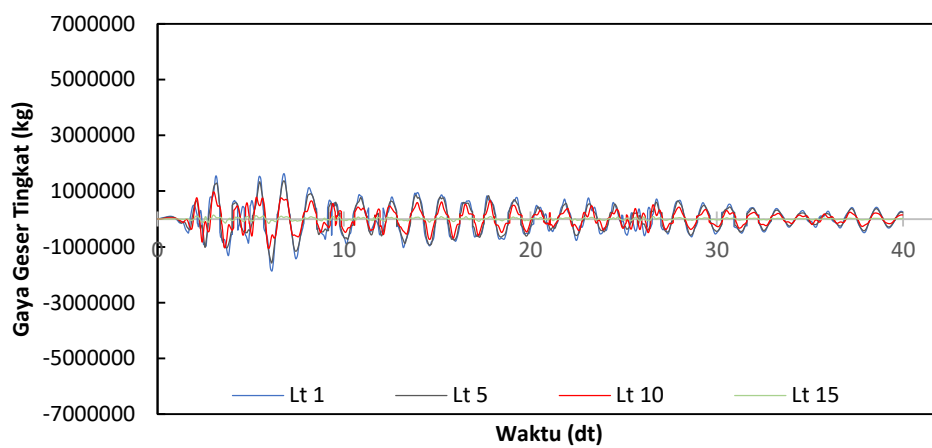


c. Frekuensi Tinggi

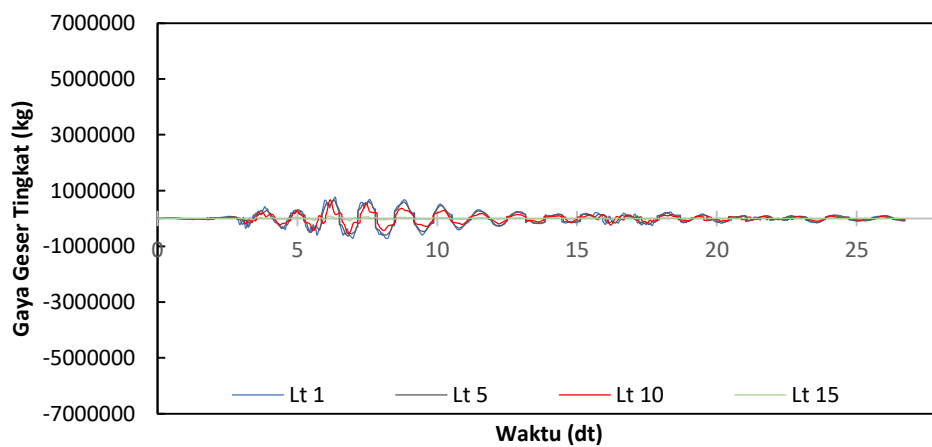
Gambar 5.230 Gaya Geser Tingkat Arah Y Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan Y



a. Frekuensi Rendah

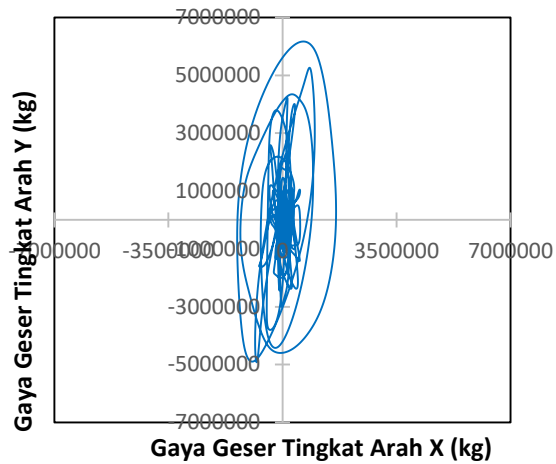


b. Frekuensi Sedang

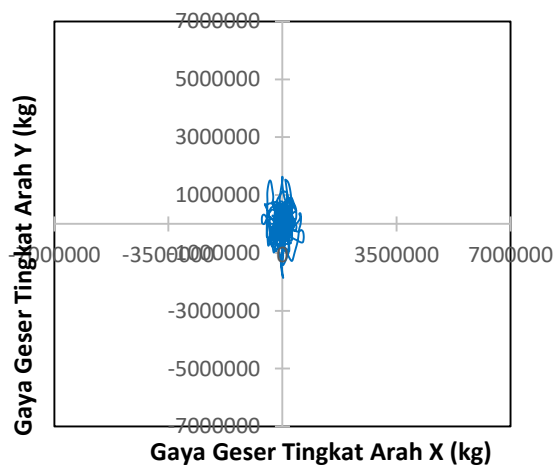


c. Frekuensi Tinggi

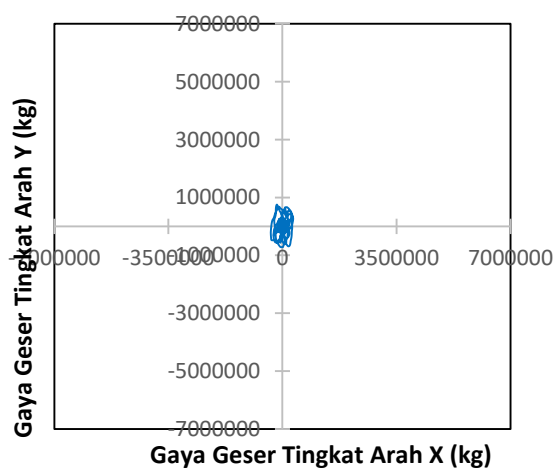
Gambar 5.231 Resultan Gaya Geser Tingkat Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan Y



a. Frekuensi Rendah



b. Frekuensi Sedang



c. Frekuensi Tinggi

Gambar 5.232 Tampak Atas Gaya Geser Tingkat Setiap Frek Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan Y

Tabel 5.101 Gaya Geser Tingkat Maks Bang Dengan Rotasi Frek Rendah

Lantai	Dominan X (kg)		Dominan Y (kg)	
	Beban 100% X	Beban 30% Y	Beban 30% X	Beban 100% Y
15	334758	106337	100427	354457
14	928634	294257	278590	980856
13	1507903	477703	452371	1592343
12	2063177	655501	618953	2185003
11	2583420	826165	775026	2753885
10	3060808	988632	918243	3295441
9	3489074	1142108	1046722	3807028
8	3868975	1283695	1160692	4278982
7	4205209	1412452	1261563	4708174
6	4504225	1525898	1351267	5086326
5	4775059	1622964	1432518	5409879
4	5016534	1704321	1504960	5681071
3	5221919	1768740	1566576	5895800
2	5377045	1817714	1613113	6059047
1	5474242	1850568	1642273	6168558
0	0	0	0	0

Tabel 5.102 Gaya Geser Tingkat Maks Bang Dengan Rotasi Frek Sedang

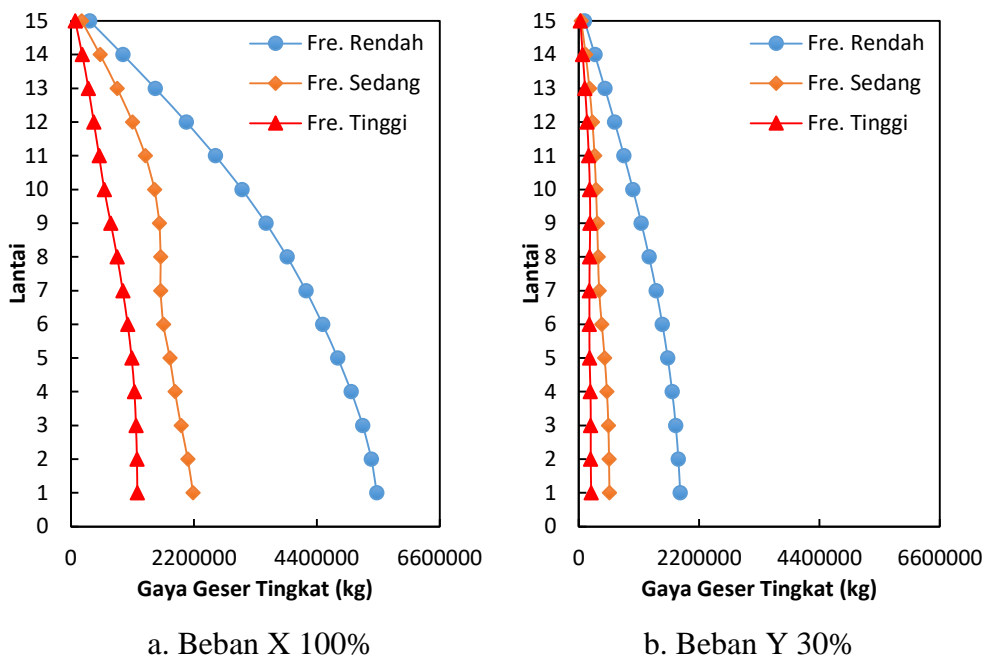
Lantai	Dominan X (kg)		Dominan Y (kg)	
	Beban 100% X	Beban 30% Y	Beban 30% X	Beban 100% Y
15	191030	47091	57309	156970
14	521631	126818	156489	422726
13	827527	195737	248258	652458
12	1103675	249879	331102	832930
11	1332548	288732	399764	962439
10	1494893	315276	448468	1050919
9	1582724	335636	474817	1118785
8	1606853	353565	482056	1178550
7	1607392	372448	482218	1241493
6	1657605	420522	497281	1401741
5	1770982	473289	531294	1577630
4	1864595	514088	559379	1713625
3	1972493	540188	591748	1800628
2	2094177	552427	628253	1841423
1	2187886	560147	656366	1867155
0	0	0	0	0

Tabel 5.103 Gaya Geser Tingkat Maks Bang Dengan Rotasi Frek Tinggi

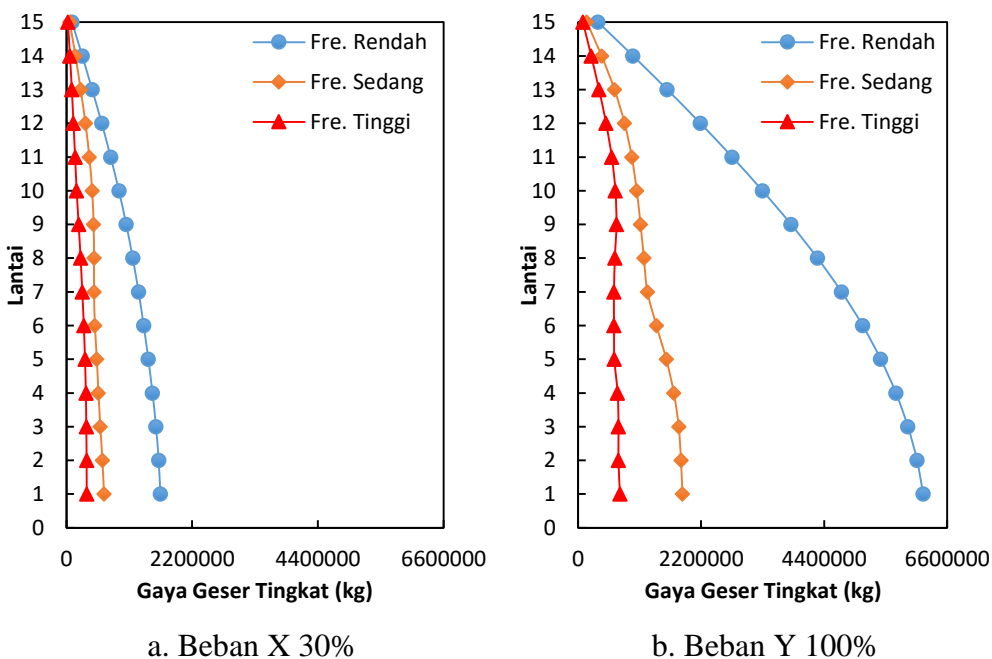
Lantai	Dominan X (kg)		Dominan Y (kg)	
	Beban 100% X	Beban 30% Y	Beban 30% X	Beban 100% Y
15	75193	25624	22558	85414
14	201754	70208	60526	234026
13	312074	112241	93622	374138
12	408650	150008	122595	500027
11	504608	180571	151382	601902
10	596445	200058	178933	666859
9	713524	205572	214057	685241
8	828328	197043	248498	656811
7	928505	192304	278551	641015
6	1016980	192757	305094	642524
5	1088792	194644	326638	648812
4	1138850	211743	341655	705811
3	1165994	216918	349798	723060
2	1183893	216196	355168	720652
1	1190413	224623	357124	748744
0	0	0	0	0

Tabel 5.104 Resultan Gaya Geser Tingkat Maks Bangunan Dengan Rotasi

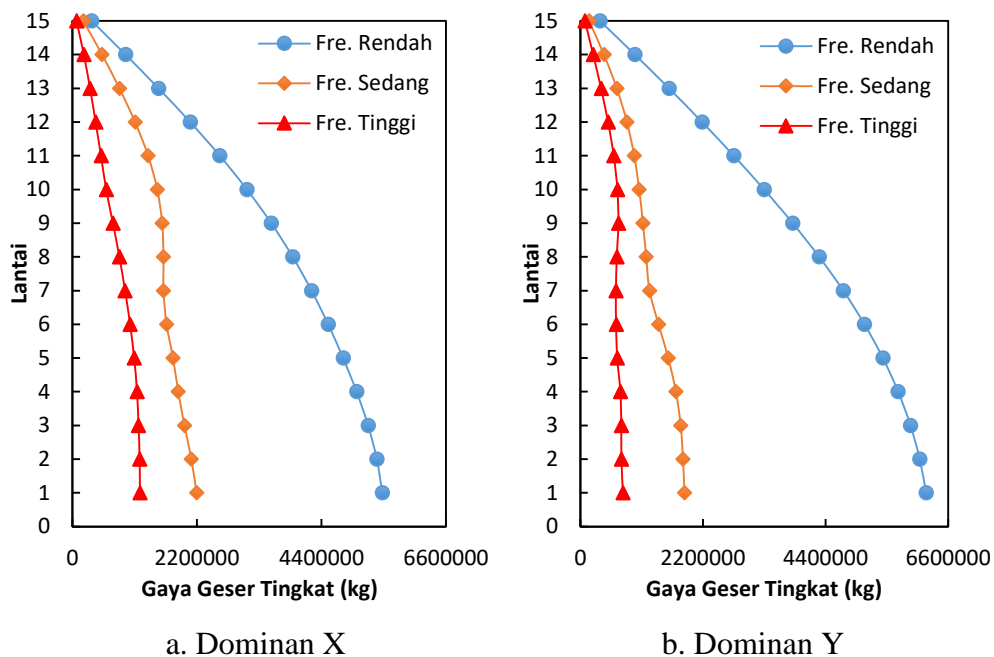
Lantai	Frekuensi Rendah		Frekuensi Sedang		Frekuensi Tinggi	
	Dom-X (kg)	Dom-Y (kg)	Dom-X (kg)	Dom-Y (kg)	Dom-X (kg)	Dom-Y (kg)
15	337576	354478	191226	157563	75805	85439
14	936013	980899	522125	424368	203180	234026
13	1520110	1592345	828603	655107	313801	374162
12	2078975	2185042	1105593	836520	410358	500029
11	2602908	2754449	1335528	966881	506131	601930
10	3081717	3297548	1497318	1056031	597516	666901
9	3512226	3810381	1584090	1123087	715867	685266
8	3891583	4286159	1607314	1181899	830018	656830
7	4224016	4717681	1607393	1242106	929929	641047
6	4517804	5098365	1662134	1402307	1018288	643497
5	4782048	5428384	1775388	1577821	1090277	664823
4	5021086	5702268	1868129	1713626	1140339	720704
3	5223554	5922950	1977579	1800733	1167362	737143
2	5378565	6089158	2098923	1841605	1186253	739614
1	5474926	6203967	2192178	1867276	1192099	767337
0	0	0	0	0	0	0



Gambar 5.233 Gaya Geser Tingkat Maksimum Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan X



Gambar 5.234 Gaya Geser Tingkat Maksimum Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan Y



Gambar 5.235 Resultan Gaya Geser Tingkat Maksimum Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi

2. Gaya Geser Tingkat Struktur Bangunan Tanpa Rotasi

Gaya geser tingkat struktur bangunan reguler tanpa rotasi dengan beban gempa frekuensi rendah, frekuensi sedang, dan frekuensi tinggi dan pada pembebanan dominan arah x dan dominan arah y dengan beban 100%, beban 30%, resultan gaya geser tingkat, dan tampak atas gaya geser tingkat (gaya geser tingkat lantai 1) dapat dilihat pada Gambar 5.236 s/d Gambar 5.245. Nilai-nilai maksimum gaya geser tingkat setiap lantai dapat dilihat pada Tabel 5.105 s/d Tabel 5.108 dan Gambar 5.246 s/d Gambar 5.248.

Hasil tabel dan gambar grafik tersebut menunjukkan bahwa gaya geser tingkat maksimum akan semakin besar pada lantai bawah pada setiap frekuensi beban gempa karena gaya geser tingkat adalah penjumlahan dari gaya horizontal tingkat yang ada di atasnya. Gaya geser tingkat maksimum terbesar ada pada lantai paling bawah karena merupakan penjumlahan dari gaya horizontal tingkat pada semua lantai atau disebut sebagai gaya geser dasar. Namun, gempa dengan frekuensi tinggi (Gempa Manjil) dengan beban arah y pada setiap kombinasi pembebanan dan resultan dominan y menghasilkan gaya geser tingkat

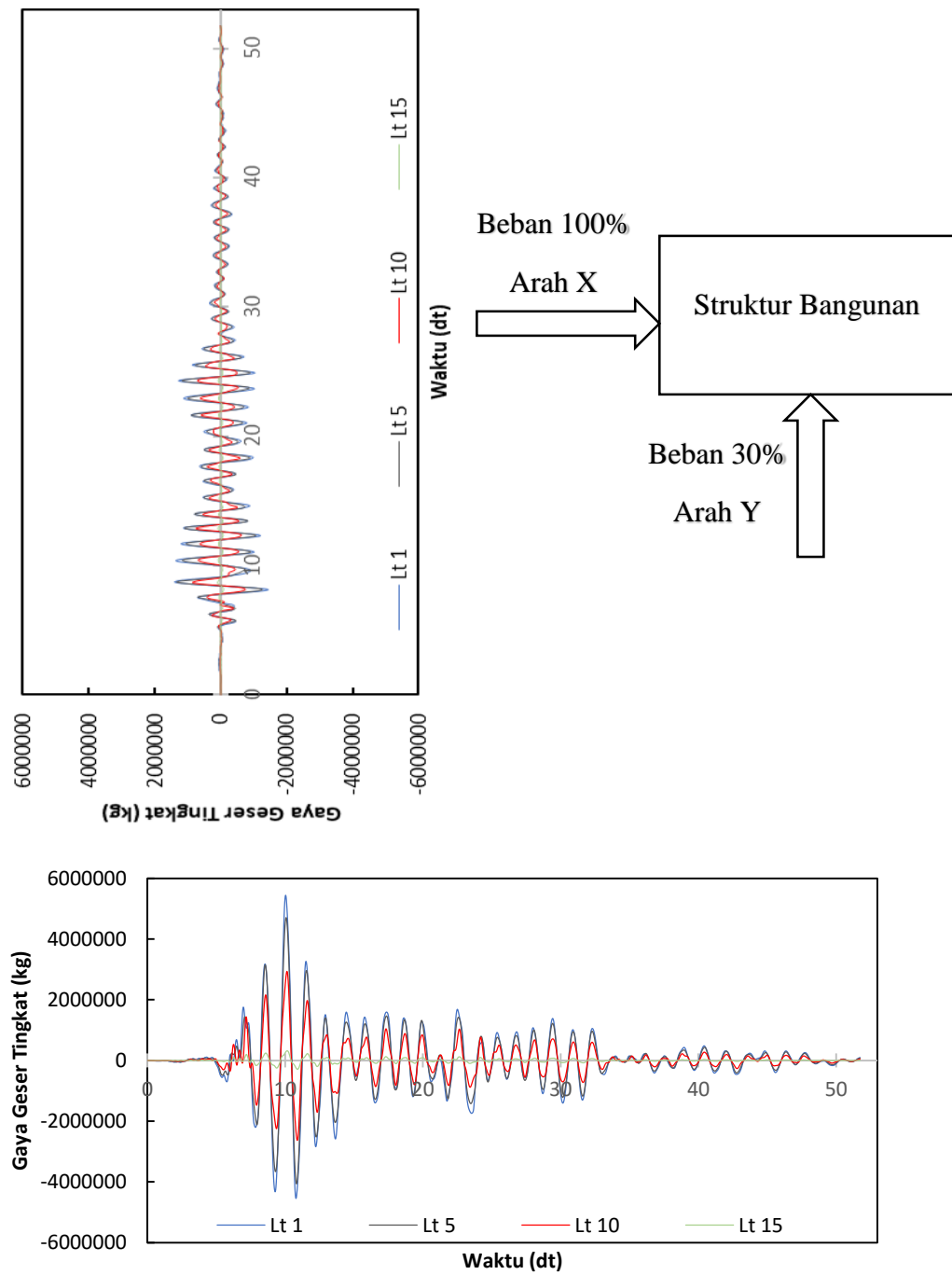
maksimum pada lantai 6-9. Hal tersebut terjadi karena gaya geser tingkat maksimum merupakan nilai maksimum dari penjumlahan gaya horizontal tingkat setiap waktunya bukan penjumlahan gaya horizontal tingkat maksimum sehingga hasilnya dapat berbeda karena gaya horizontal tingkat pada setiap lantai tidak terjadi dalam satu fase terutama pada gempa dengan frekuensi tinggi (Gempa Manjil).

Gempa dengan frekuensi rendah (Gempa Duzce) menghasilkan gaya geser tingkat yang paling besar pada struktur baik pada pembebanan dominan x maupun pembebanan dominan y, sedangkan gempa dengan frekuensi tinggi (Gempa Manjil) menghasilkan gaya geser tingkat yang paling kecil dan gempa dengan frekuensi sedang (Gempa EL-Centro 1940) berada diantaranya. Hal ini dikarenakan struktur bangunan tinggi bersifat fleksibel sehingga akan mempunyai frekuensi sudut (ω) dan frekuensi natural (f) yang rendah dan menyebabkan bangunan akan bergetar pada frekuensi rendah atau berasosiasi dengan baik dengan gempa frekuensi rendah.

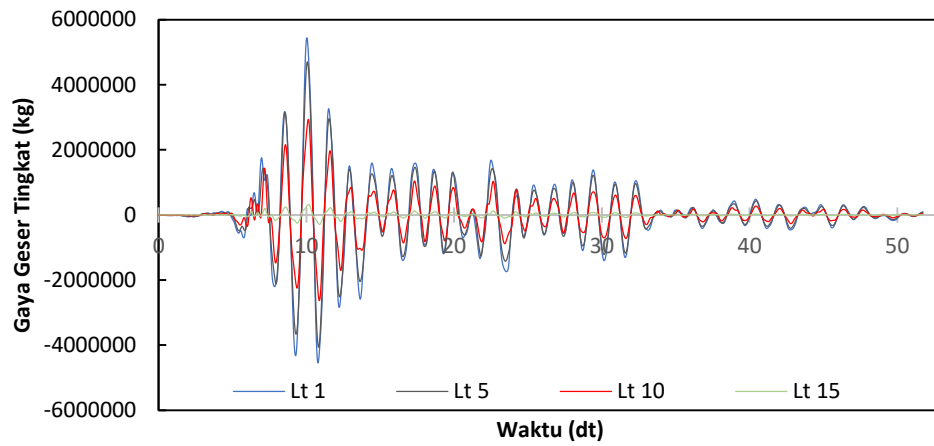
Gempa dengan frekuensi rendah (Gempa Duzce) menghasilkan resultan gaya geser tingkat pada pembebanan dominan x lebih besar daripada pembebanan dominan y. Gempa dengan frekuensi sedang (Gempa EL-Centro 1940) menghasilkan resultan gaya geser tingkat pada pembebanan dominan y lebih besar daripada pembebanan dominan x pada lantai 1-7 dan terjadi sebaliknya pada lantai 8-15 dan gempa dengan frekuensi tinggi (Gempa Manjil) menghasilkan resultan gaya geser tingkat pada pembebanan dominan x lebih besar daripada pembebanan dominan y pada lantai 1-8 dan terjadi sebaliknya pada lantai 9-15. Secara umum, gaya geser tingkat akan lebih besar pada resultan pembebanan dominan y karena bangunan berbentuk pipih pada arah y, tetapi hasil yang beragam tersebut dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu, kekakuan portal arah x yang lebih besar, hasil simpangan pada struktur, pola goyangan yang berbeda pada setiap kombinasi pembebanan, karakteristik beban dan frekuensi gempa yang beragam, dan gaya horizontal tingkat setiap lantai yang tidak terjadi dalam 1 fase sehingga mempengaruhi gaya geser tingkatnya terutama pada beban gempa dengan frekuensi tinggi (Gempa Manjil).

a. Pembebanan Dominan X

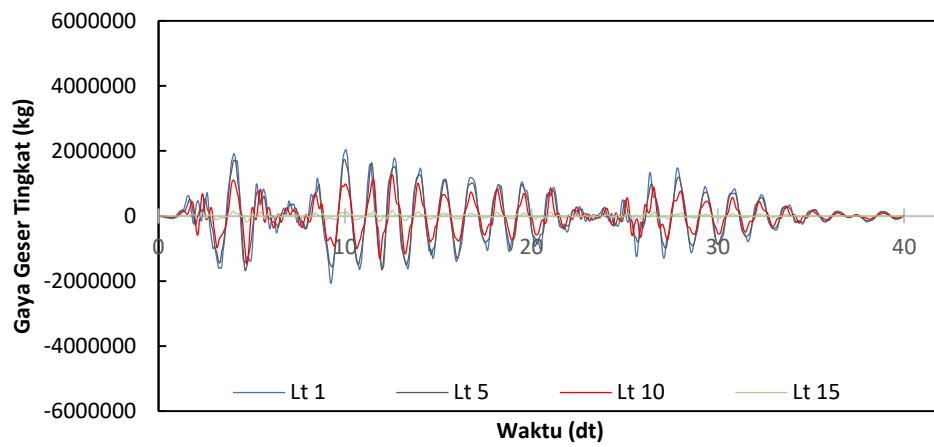
Adapun ilustrasi hasil analisis gaya geser tingkat pada pembebanan dominan x dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



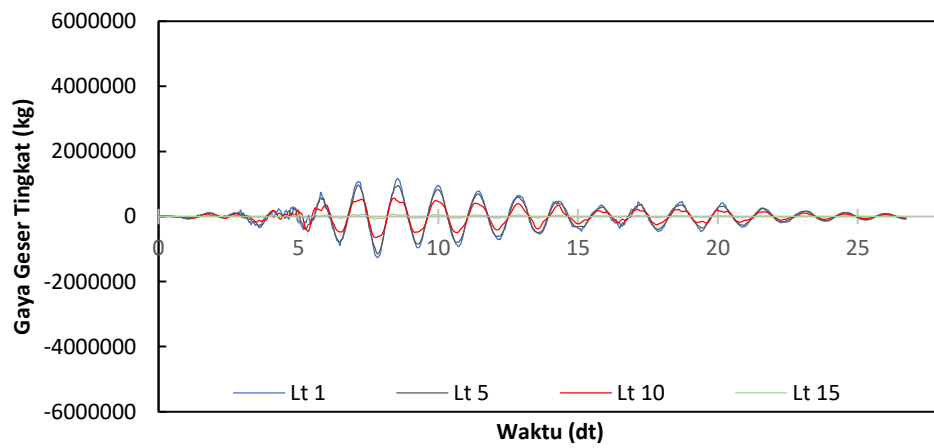
Gambar 5.236 Ilustrasi Gaya Geser Tingkat Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan X



a. Frekuensi Rendah

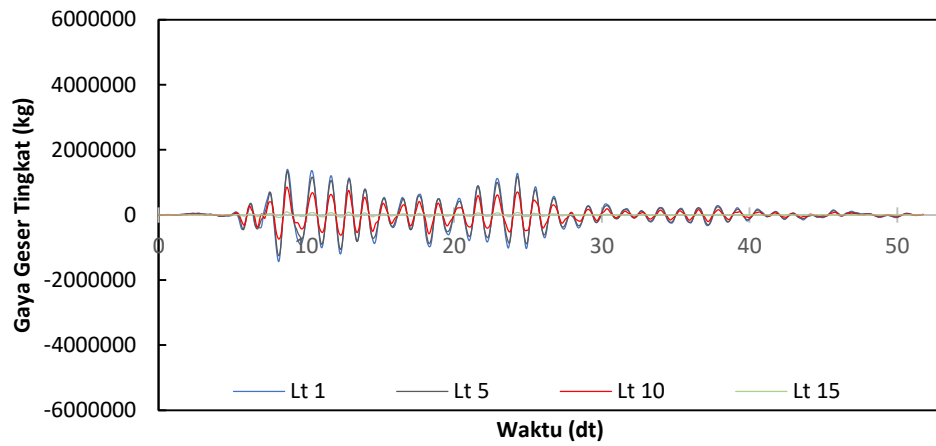


b. Frekuensi Sedang

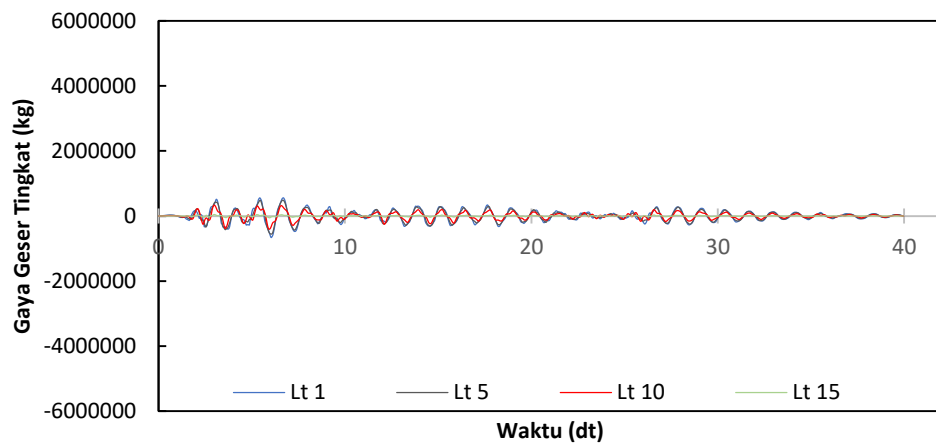


c. Frekuensi Tinggi

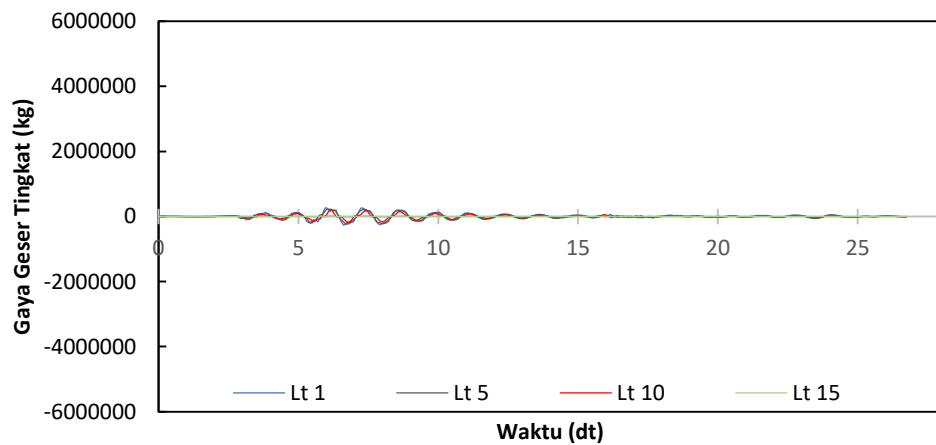
Gambar 5.237 Gaya Geser Tingkat Arah X Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan X



a. Frekuensi Rendah

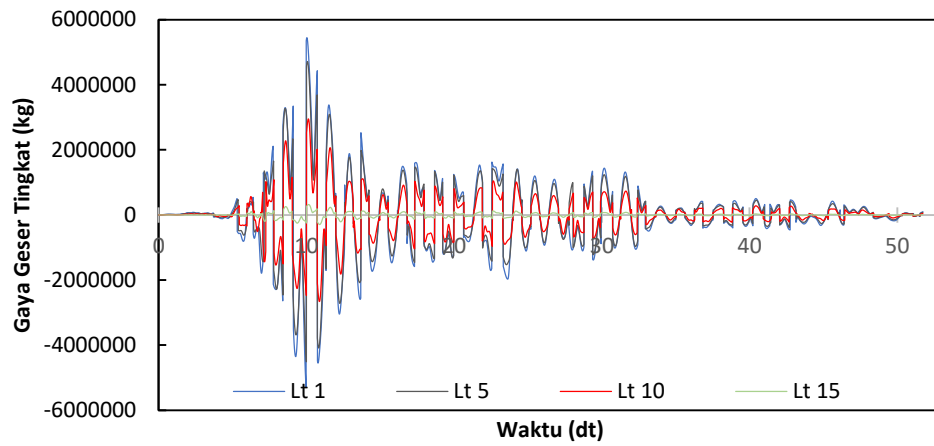


b. Frekuensi Sedang

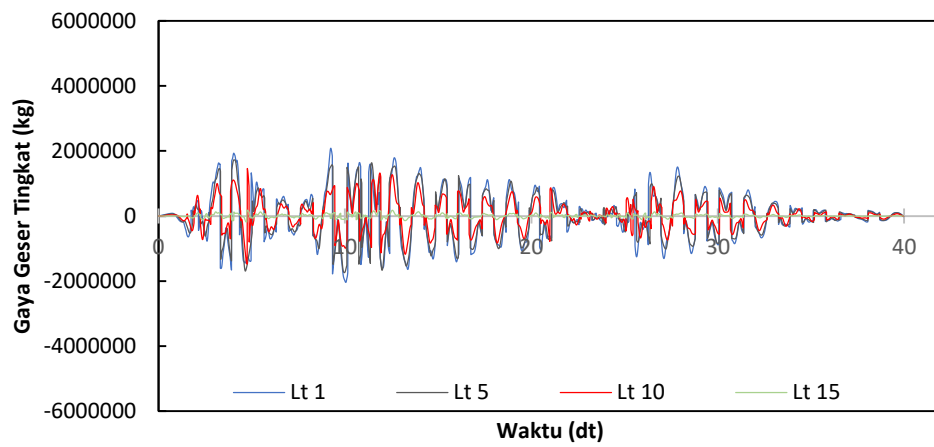


c. Frekuensi Tinggi

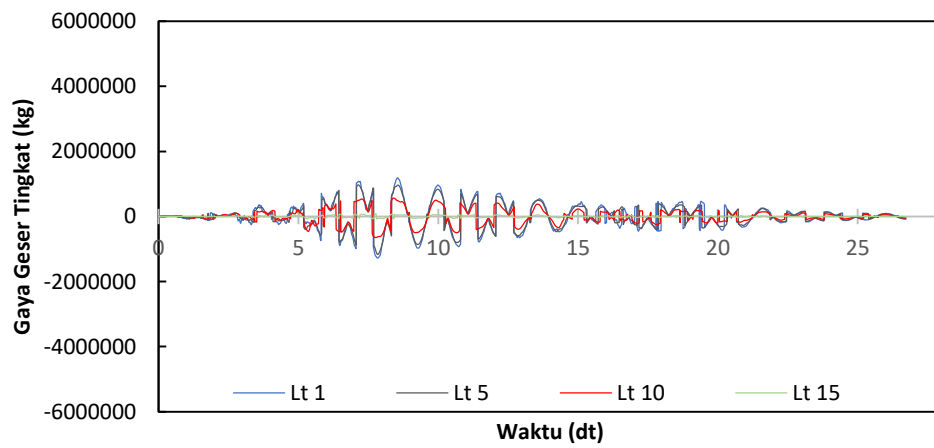
Gambar 5.238 Gaya Geser Tingkat Arah Y Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan X



a. Frekuensi Rendah

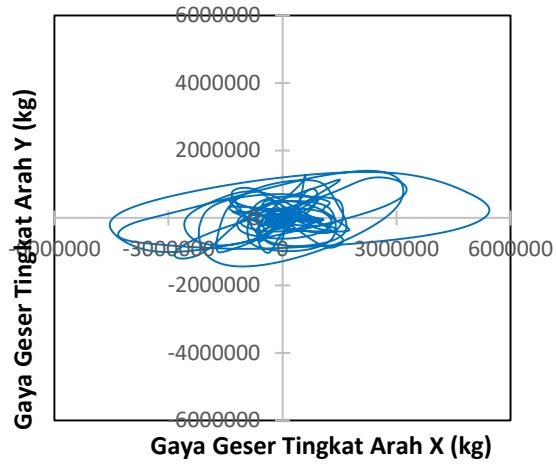


b. Frekuensi Sedang

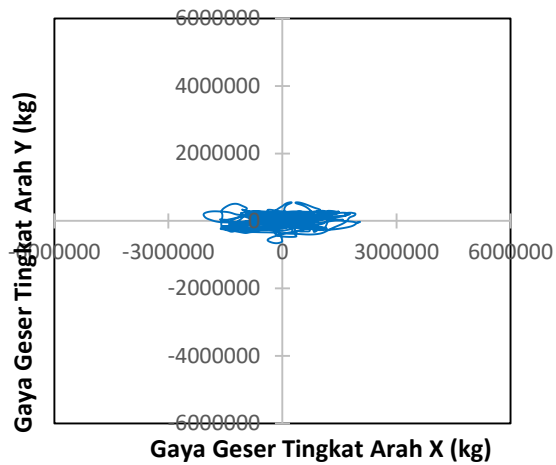


c. Frekuensi Tinggi

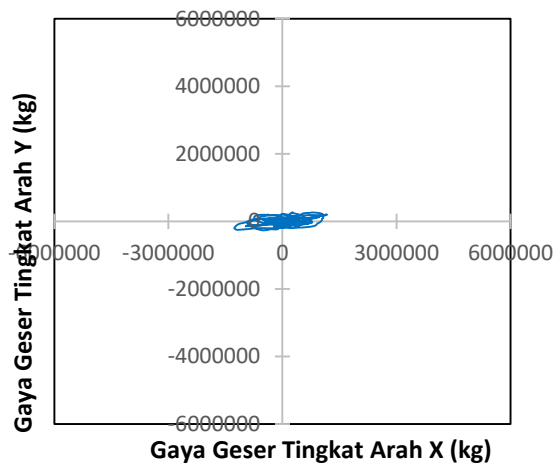
Gambar 5.239 Resultan Gaya Geser Tingkat Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan X



a. Frekuensi Rendah



b. Frekuensi Sedang

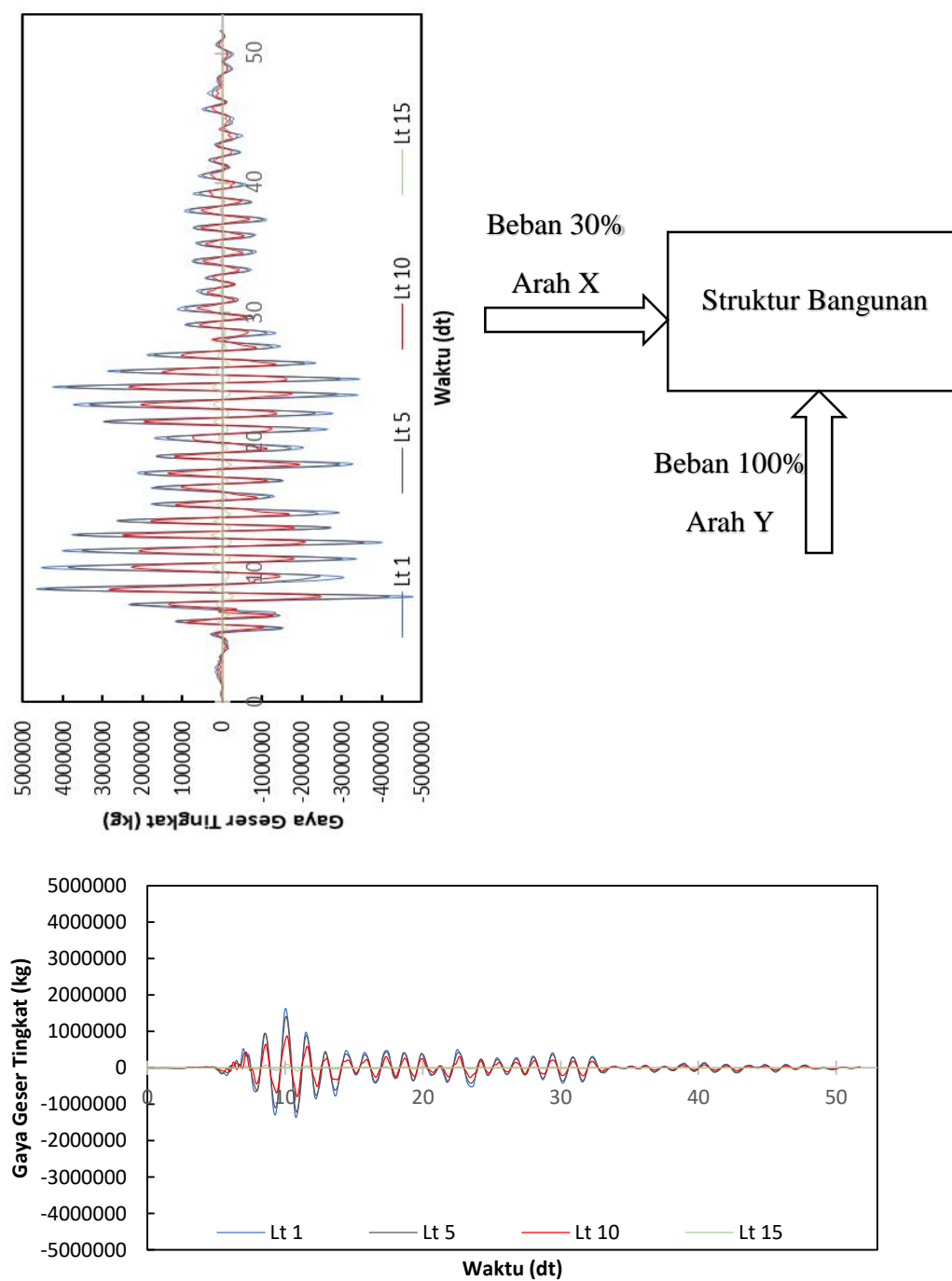


c. Frekuensi Tinggi

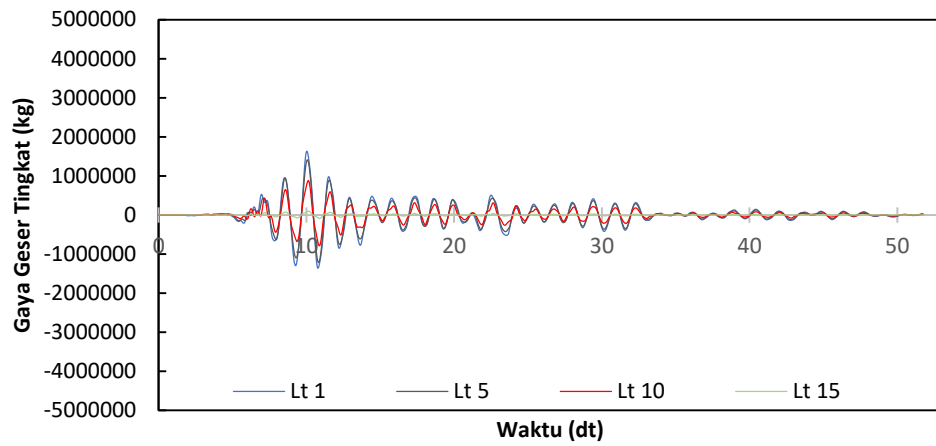
Gambar 5.240 Tampak Atas Gaya Geser Tingkat Setiap Frek Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan X

b. Pembebanan Dominan Y

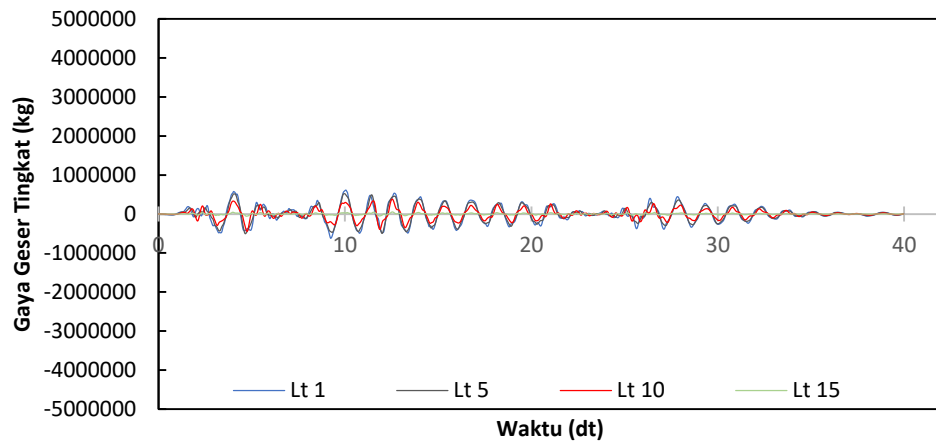
Adapun ilustrasi hasil analisis gaya geser tingkat pada pembebanan dominan y dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



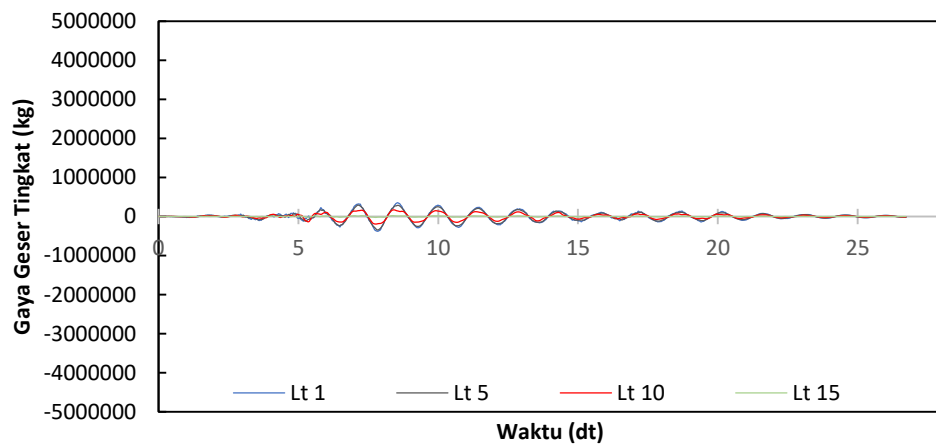
Gambar 5.241 Ilustrasi Gaya Geser Tingkat Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan Y



a. Frekuensi Rendah

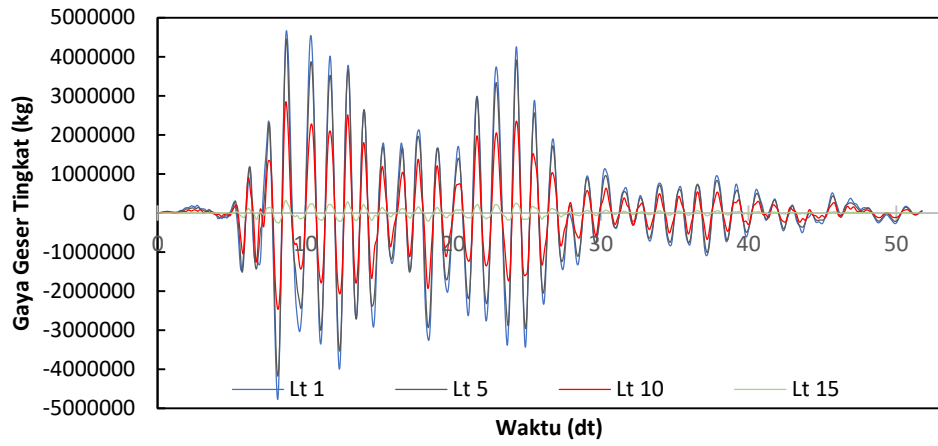


b. Frekuensi Sedang

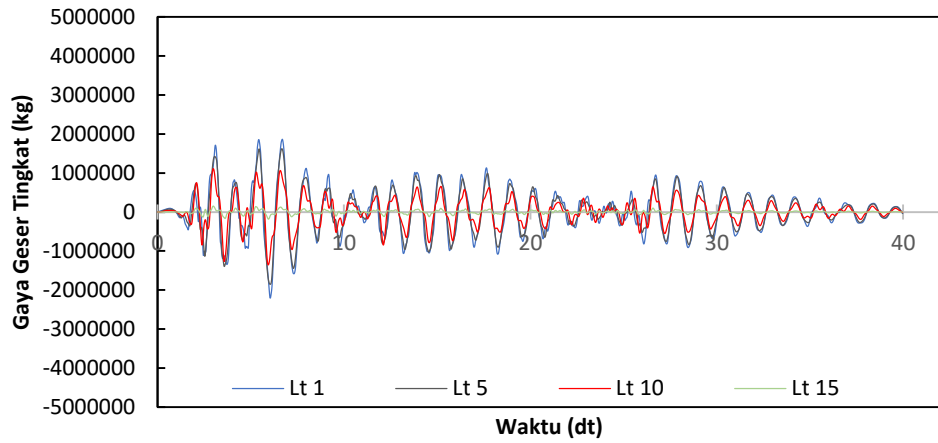


c. Frekuensi Tinggi

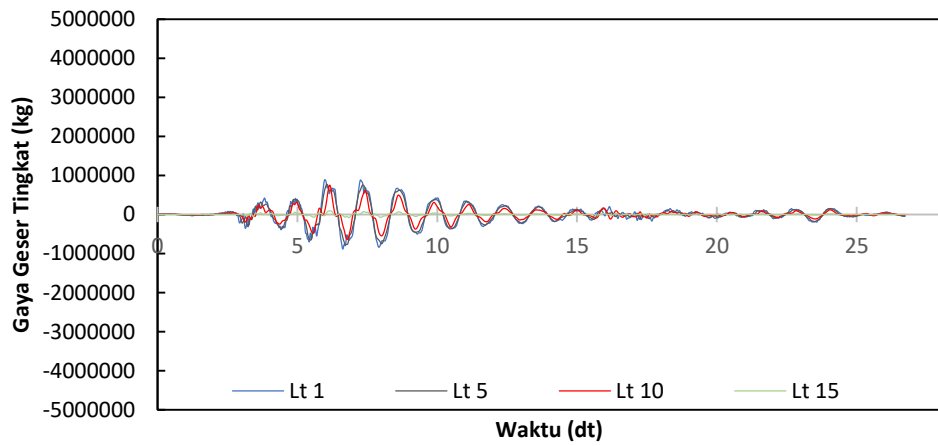
Gambar 5.242 Gaya Geser Tingkat Arah X Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan Y



a. Frekuensi Rendah

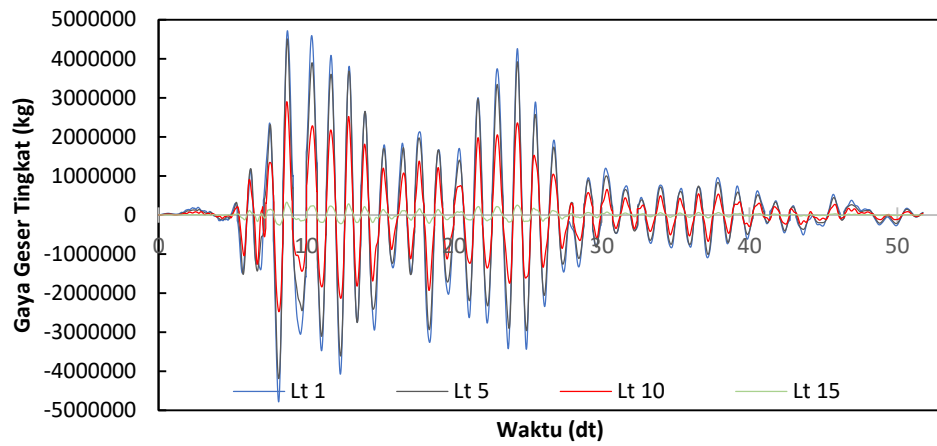


b. Frekuensi Sedang

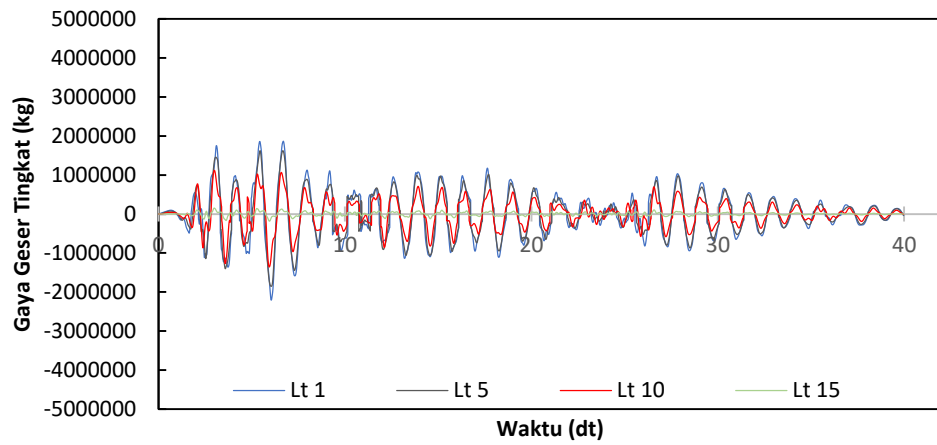


c. Frekuensi Tinggi

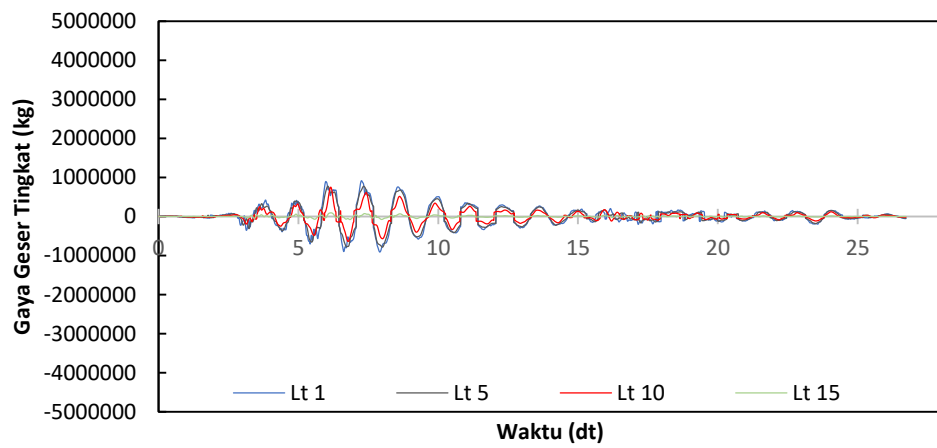
Gambar 5.243 Gaya Geser Tingkat Arah Y Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan Y



a. Frekuensi Rendah

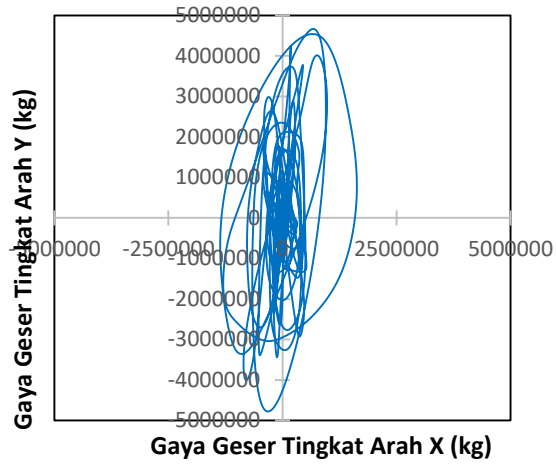


b. Frekuensi Sedang

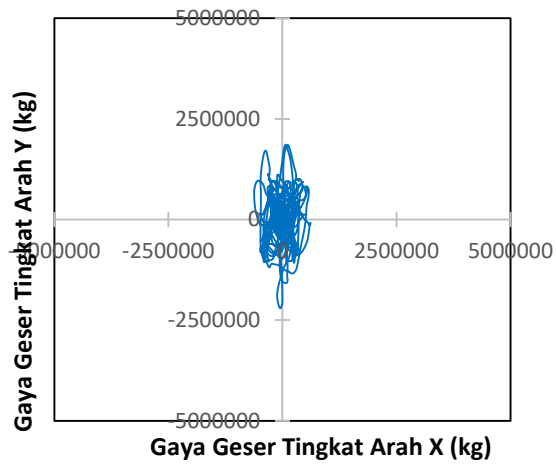


c. Frekuensi Tinggi

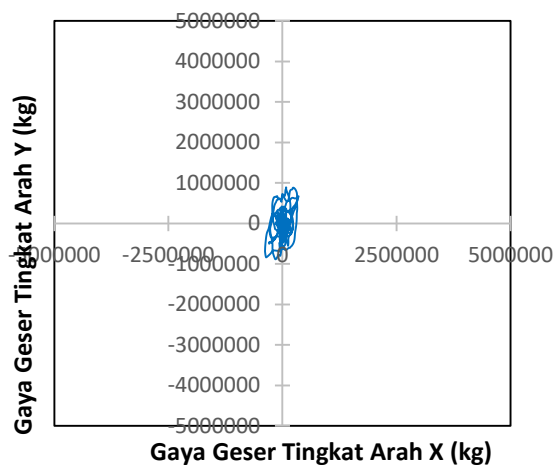
Gambar 5.244 Resultan Gaya Geser Tingkat Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan Y



a. Frekuensi Rendah



b. Frekuensi Sedang



c. Frekuensi Tinggi

Gambar 5.245 Tampak Atas Gaya Geser Tingkat Setiap Frek Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan Y

Tabel 5.105 Gaya Geser Tingkat Maks Bang Tanpa Rotasi Frek Rendah

Lantai	Dominan X (kg)		Dominan Y (kg)	
	Beban 100% X	Beban 30% Y	Beban 30% X	Beban 100% Y
15	316573	95998	94972	319993
14	879609	265621	263883	885403
13	1431659	429144	429498	1430478
12	1964225	583117	589267	1943722
11	2467522	724906	740257	2416354
10	2934373	854151	880312	2847170
9	3359739	972189	1007922	3240630
8	3744864	1081731	1123459	3605769
7	4093753	1181758	1228126	3939193
6	4412698	1267754	1323809	4225847
5	4705431	1336647	1411629	4455491
4	4965801	1384517	1489740	4615056
3	5181435	1410475	1554431	4701582
2	5342793	1415883	1602838	4719609
1	5442005	1433005	1632601	4776683
0	0	0	0	0

Tabel 5.106 Gaya Geser Tingkat Maks Bang Tanpa Rotasi Frek Sedang

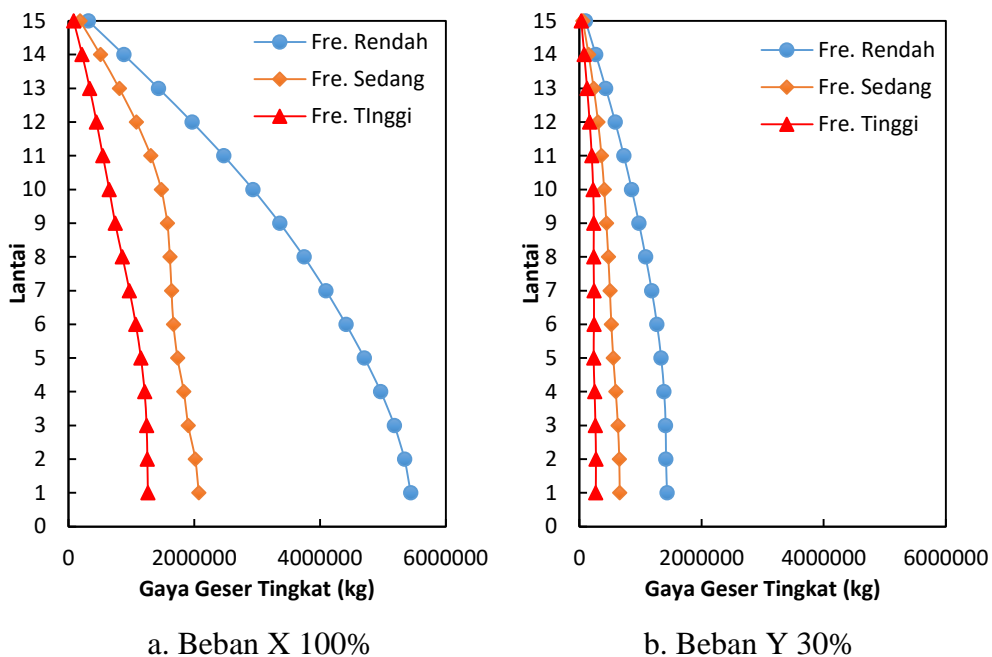
Lantai	Dominan X (kg)		Dominan Y (kg)	
	Beban 100% X	Beban 30% Y	Beban 30% X	Beban 100% Y
15	186228	54646	55868	182152
14	509271	148679	152781	495598
13	809039	232951	242712	776503
12	1081004	304435	324301	1014784
11	1309411	361560	392823	1205199
10	1476172	406019	442852	1353398
9	1572882	441665	471865	1472218
8	1613895	473437	484169	1578122
7	1640632	500073	492190	1666909
6	1670858	524147	501257	1747157
5	1735974	555435	520792	1851451
4	1835064	596457	550519	1988191
3	1907062	631630	572119	2105432
2	2016718	654246	605015	2180821
1	2073201	661284	621960	2204279
0	0	0	0	0

Tabel 5.107 Gaya Geser Tingkat Maks Bang Tanpa Rotasi Frek Tinggi

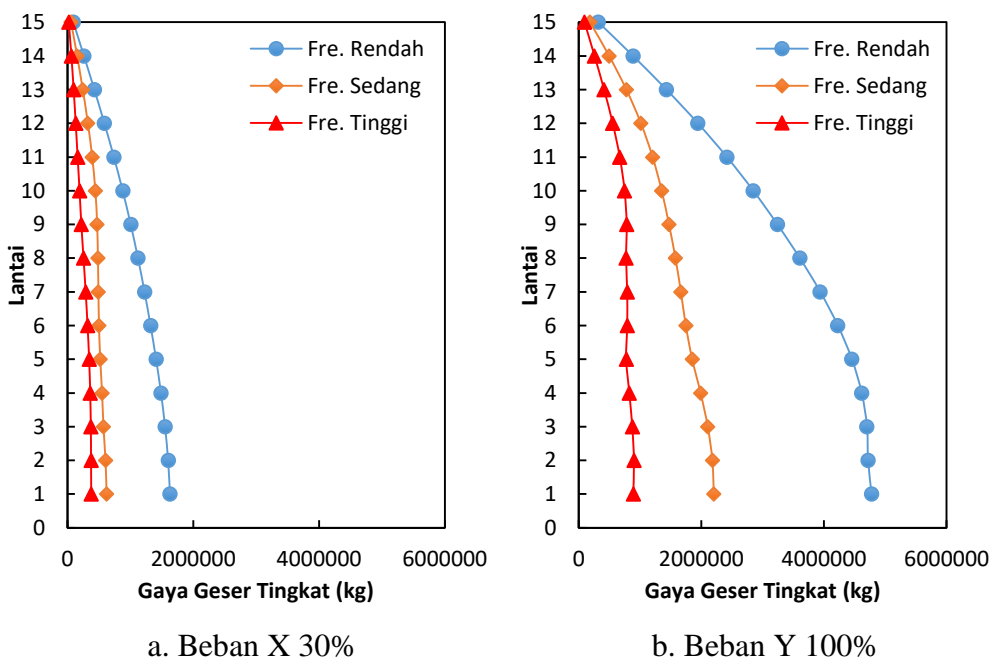
Lantai	Dominan X (kg)		Dominan Y (kg)	
	Beban 100% X	Beban 30% Y	Beban 30% X	Beban 100% Y
15	80271	27974	24081	93246
14	216279	77190	64884	257301
13	336942	124053	101083	413511
12	445092	166384	133527	554614
11	545551	201137	163665	670456
10	647603	224636	194281	748786
9	742074	234931	222622	783104
8	857592	232177	257278	773922
7	969394	237525	290818	791751
6	1069975	237533	320992	791775
5	1152242	232652	345673	775505
4	1210157	247852	363047	826172
3	1242193	262495	372658	874984
2	1254376	270527	376313	901758
1	1262497	267427	378749	891422
0	0	0	0	0

Tabel 5.108 Resultan Gaya Geser Tingkat Maks Bangunan Tanpa Rotasi

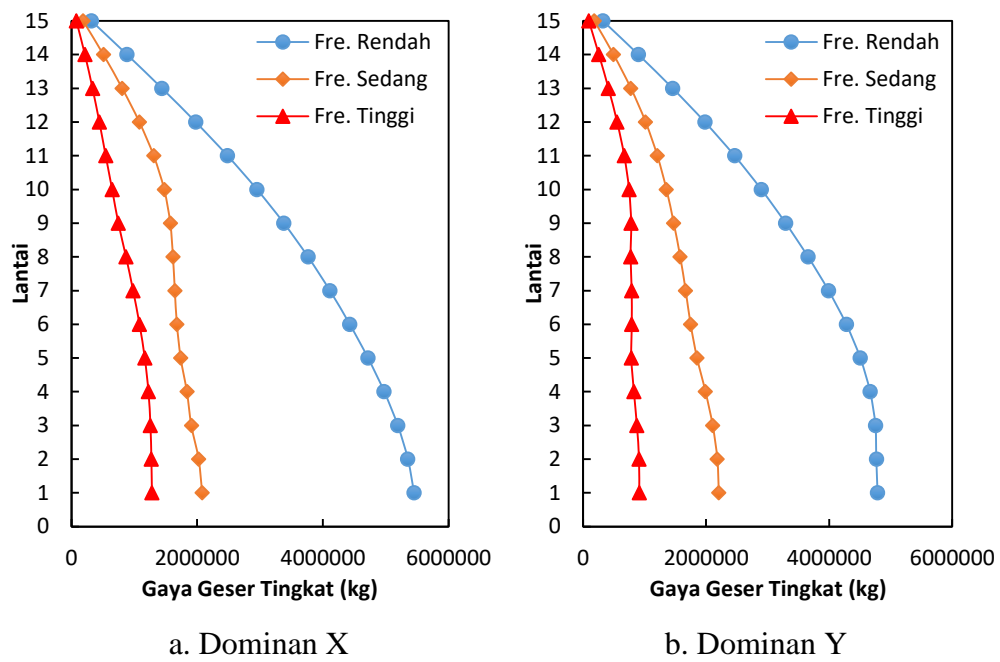
Lantai	Frekuensi Rendah		Frekuensi Sedang		Frekuensi Tinggi	
	Dom-X (kg)	Dom-Y (kg)	Dom-X (kg)	Dom-Y (kg)	Dom-X (kg)	Dom-Y (kg)
15	318316	326315	186312	182427	80340	93247
14	884570	902922	509381	496337	216372	257323
13	1439789	1458836	809135	777892	336965	413511
12	1975003	1982272	1081040	1016678	445142	554660
11	2481804	2464128	1309516	1207103	545850	670575
10	2949848	2899287	1476436	1355127	648178	748944
9	3377091	3294875	1573535	1473597	746875	783138
8	3761490	3659095	1616585	1578796	869029	773925
7	4108397	3990979	1645993	1667068	980719	792087
6	4424186	4279158	1679123	1747159	1082628	792468
5	4714354	4506533	1739208	1851860	1166085	785682
4	4972071	4666135	1837465	1988744	1224485	827724
3	5187038	4752457	1908813	2105823	1256055	876463
2	5348232	4767532	2024450	2181272	1271237	911185
1	5446560	4787869	2080954	2204909	1279324	914606
0	0	0	0	0	0	0



Gambar 5.246 Gaya Geser Tingkat Maksimum Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan X



Gambar 5.247 Gaya Geser Tingkat Maksimum Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan Y



Gambar 5.248 Resultan Gaya Geser Tingkat Maksimum Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi

3. Perbandingan Gaya Geser Tingkat Bangunan Dengan Rotasi dan Bangunan Tanpa Rotasi

Perbandingan gaya geser tingkat struktur bangunan reguler dengan rotasi dan tanpa rotasi dengan beban gempa frekuensi rendah, frekuensi sedang, dan frekuensi tinggi dan pada pembebanan dominan arah x dan dominan arah y disajikan dalam bentuk nilai-nilai maksimum setiap lantai yang dapat dilihat pada Tabel 5.109 s/d Tabel 5.117 dan Gambar 5.249 s/d Gambar 5.257.

Gempa dengan frekuensi rendah (Gempa Duzce) menghasilkan gaya geser tingkat pada bangunan reguler dengan rotasi lebih besar daripada bangunan reguler tanpa rotasi (*fixed*) baik pada pembebanan dominan x maupun pembebanan dominan y.

Gempa dengan frekuensi sedang (Gempa EL-Centro 1940) menghasilkan respon yang beragam. Beban gempa arah x (EW) pada pembebanan dominan x dan resultan dominan x menghasilkan gaya geser tingkat pada bangunan reguler dengan rotasi lebih besar daripada bangunan reguler tanpa rotasi (*fixed*), tetapi terjadi sebaliknya pada lantai 6-8. Selanjutnya, beban gempa arah x (EW) pada pembebanan dominan y, beban gempa arah y (NS) pada pembebanan dominan x, dominan y, dan resultan dominan y menghasilkan gaya geser tingkat pada bangunan reguler tanpa rotasi (*fixed*) lebih besar daripada bangunan reguler dengan rotasi.

Gempa dengan frekuensi tinggi (Gempa Manjil) menghasilkan gaya geser tingkat pada bangunan reguler tanpa rotasi (*fixed*) lebih besar daripada bangunan reguler dengan rotasi baik pada pembebanan dominan x maupun pembebanan dominan y.

Gaya geser tingkat dipengaruhi oleh gaya horizontal tingkat dan gaya horizontal tingkat dipengaruhi langsung oleh kekakuan dan simpangan netto. Tidak ada perbedaan kekakuan struktur atas pada struktur bangunan dengan rotasi dengan struktur bangunan tanpa rotasi (*fixed*) sehingga yang lebih mempengaruhi hasil yang beragam pada gaya geser tingkat adalah gaya horizontal tingkat dan simpangan netto. Hasil gaya geser tingkat, gaya horizontal tingkat, dan simpangan netto yang beragam tersebut dipengaruhi oleh sistem

soil-foundation. Hal ini dikarenakan dengan diperhitungkannya sistem *soil-foundation*, maka frekuensi sudut (ω) dan frekuensi natural (f) struktur bangunan akan semakin rendah nilainya karena kekakuan sistem struktur yang semakin rendah akibat tanah tidak lagi menjepit fondasi dengan sempurna sehingga pada gempa dengan frekuensi rendah (Gempa Duzce), bangunan reguler dengan rotasi akan berasosiasi lebih baik dengan beban gempa daripada bangunan reguler tanpa rotasi (*fixed*) dan terjadi sebaliknya pada gempa dengan frekuensi tinggi (Gempa Manjil), bangunan tanpa rotasi (*fixed*) akan berasosiasi lebih baik dengan beban gempa daripada bangunan dengan rotasi. Gempa dengan frekuensi sedang (Gempa EL-Centro 1940) memiliki hasil yang beragam akibat *A/V ratio* yang terlampaui jauh antara beban gempa arah x dan arah y sehingga respon struktur arah x cenderung mengikuti respon struktur akibat gempa dengan frekuensi rendah (Gempa Duzce) dan respon struktur arah y cenderung mengikuti respon struktur akibat gempa dengan frekuensi tinggi (Gempa Manjil). Selanjutnya, gaya horizontal tingkat setiap lantai yang tidak terjadi dalam 1 fase sehingga gaya geser tingkat setiap lantai juga tidak terjadi dalam 1 fase.

Tabel 5.109 Perbandingan Gaya Geser Tingkat Maks Fre Rendah Dom-X

Lantai	Beban 100% X (kg)		Beban 30% Y (kg)	
	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi
15	334758	316573	106337	95998
14	928634	879609	294257	265621
13	1507903	1431659	477703	429144
12	2063177	1964225	655501	583117
11	2583420	2467522	826165	724906
10	3060808	2934373	988632	854151
9	3489074	3359739	1142108	972189
8	3868975	3744864	1283695	1081731
7	4205209	4093753	1412452	1181758
6	4504225	4412698	1525898	1267754
5	4775059	4705431	1622964	1336647
4	5016534	4965801	1704321	1384517
3	5221919	5181435	1768740	1410475
2	5377045	5342793	1817714	1415883
1	5474242	5442005	1850568	1433005
0	0	0	0	0

Tabel 5.110 Perbandingan Gaya Geser Tingkat Maks Fre Rendah Dom-Y

Lantai	Beban 30% X (kg)		Beban 100% Y (kg)	
	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi
15	100427	94972	354457	319993
14	278590	263883	980856	885403
13	452371	429498	1592343	1430478
12	618953	589267	2185003	1943722
11	775026	740257	2753885	2416354
10	918243	880312	3295441	2847170
9	1046722	1007922	3807028	3240630
8	1160692	1123459	4278982	3605769
7	1261563	1228126	4708174	3939193
6	1351267	1323809	5086326	4225847
5	1432518	1411629	5409879	4455491
4	1504960	1489740	5681071	4615056
3	1566576	1554431	5895800	4701582
2	1613113	1602838	6059047	4719609
1	1642273	1632601	6168558	4776683
0	0	0	0	0

Tabel 5.111 Perbandingan Gaya Geser Tingkat Maks Frek Sedang Dom-X

Lantai	Beban 100% X (kg)		Beban 30% Y (kg)	
	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi
15	191030	186228	47091	54646
14	521631	509271	126818	148679
13	827527	809039	195737	232951
12	1103675	1081004	249879	304435
11	1332548	1309411	288732	361560
10	1494893	1476172	315276	406019
9	1582724	1572882	335636	441665
8	1606853	1613895	353565	473437
7	1607392	1640632	372448	500073
6	1657605	1670858	420522	524147
5	1770982	1735974	473289	555435
4	1864595	1835064	514088	596457
3	1972493	1907062	540188	631630
2	2094177	2016718	552427	654246
1	2187886	2073201	560147	661284
0	0	0	0	0

Tabel 5.112 Perbandingan Gaya Geser Tingkat Maks Frek Sedang Dom-Y

Lantai	Beban 30% X (kg)		Beban 100% Y (kg)	
	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi
15	22558	24081	85414	93246
14	60526	64884	234026	257301
13	93622	101083	374138	413511
12	122595	133527	500027	554614
11	151382	163665	601902	670456
10	178933	194281	666859	748786
9	214057	222622	685241	783104
8	248498	257278	656811	773922
7	278551	290818	641015	791751
6	305094	320992	642524	791775
5	326638	345673	648812	775505
4	341655	363047	705811	826172
3	349798	372658	723060	874984
2	355168	376313	720652	901758
1	357124	378749	748744	891422
0	0	0	0	0

Tabel 5.113 Perbandingan Gaya Geser Tingkat Maks Frek Tinggi Dom-X

Lantai	Beban 100% X (kg)		Beban 30% Y (kg)	
	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi
15	75193	80271	25624	27974
14	201754	216279	70208	77190
13	312074	336942	112241	124053
12	408650	445092	150008	166384
11	504608	545551	180571	201137
10	596445	647603	200058	224636
9	713524	742074	205572	234931
8	828328	857592	197043	232177
7	928505	969394	192304	237525
6	1016980	1069975	192757	237533
5	1088792	1152242	194644	232652
4	1138850	1210157	211743	247852
3	1165994	1242193	216918	262495
2	1183893	1254376	216196	270527
1	1190413	1262497	224623	267427
0	0	0	0	0

Tabel 5.114 Perbandingan Gaya Geser Tingkat Maks Frek Tinggi Dom-Y

Lantai	Beban 30% X (kg)		Beban 100% Y (kg)	
	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi
15	22558	24081	85414	93246
14	60526	64884	234026	257301
13	93622	101083	374138	413511
12	122595	133527	500027	554614
11	151382	163665	601902	670456
10	178933	194281	666859	748786
9	214057	222622	685241	783104
8	248498	257278	656811	773922
7	278551	290818	641015	791751
6	305094	320992	642524	791775
5	326638	345673	648812	775505
4	341655	363047	705811	826172
3	349798	372658	723060	874984
2	355168	376313	720652	901758
1	357124	378749	748744	891422
0	0	0	0	0

Tabel 5.115 Perbandingan Resultan Gaya Geser Tkt Maks Fre Rendah

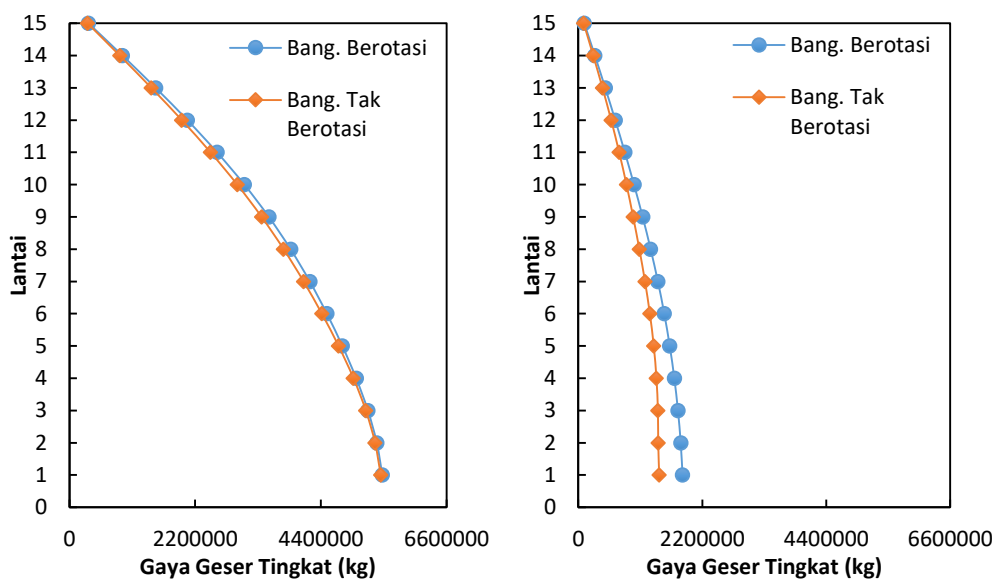
Lantai	Dominan X (kg)		Dominan Y (kg)	
	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi
15	337576	318316	354478	326315
14	936013	884570	980899	902922
13	1520110	1439789	1592345	1458836
12	2078975	1975003	2185042	1982272
11	2602908	2481804	2754449	2464128
10	3081717	2949848	3297548	2899287
9	3512226	3377091	3810381	3294875
8	3891583	3761490	4286159	3659095
7	4224016	4108397	4717681	3990979
6	4517804	4424186	5098365	4279158
5	4782048	4714354	5428384	4506533
4	5021086	4972071	5702268	4666135
3	5223554	5187038	5922950	4752457
2	5378565	5348232	6089158	4767532
1	5474926	5446560	6203967	4787869
0	0	0	0	0

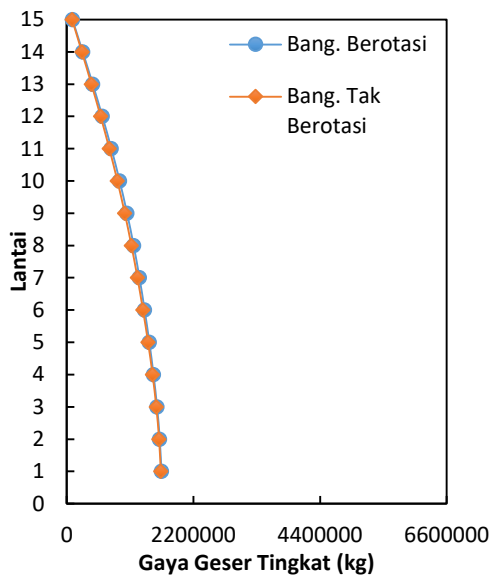
Tabel 5.116 Perbandingan Resultan Gaya Geser Tkt Maks Frek Sedang

Lantai	Dominan X (kg)		Dominan Y (kg)	
	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi
15	191226	186312	157563	182427
14	522125	509381	424368	496337
13	828603	809135	655107	777892
12	1105593	1081040	836520	1016678
11	1335528	1309516	966881	1207103
10	1497318	1476436	1056031	1355127
9	1584090	1573535	1123087	1473597
8	1607314	1616585	1181899	1578796
7	1607393	1645993	1242106	1667068
6	1662134	1679123	1402307	1747159
5	1775388	1739208	1577821	1851860
4	1868129	1837465	1713626	1988744
3	1977579	1908813	1800733	2105823
2	2098923	2024450	1841605	2181272
1	2192178	2080954	1867276	2204909
0	0	0	0	0

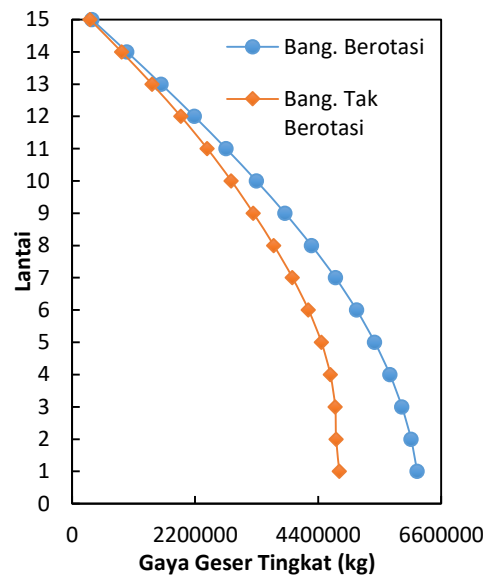
Tabel 5.117 Perbandingan Resultan Gaya Geser Tkt Maks Frek Tinggi

Lantai	Dominan X (kg)		Dominan Y (kg)	
	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi
15	75805	80340	85439	93247
14	203180	216372	234026	257323
13	313801	336965	374162	413511
12	410358	445142	500029	554660
11	506131	545850	601930	670575
10	597516	648178	666901	748944
9	715867	746875	685266	783138
8	830018	869029	656830	773925
7	929929	980719	641047	792087
6	1018288	1082628	643497	792468
5	1090277	1166085	664823	785682
4	1140339	1224485	720704	827724
3	1167362	1256055	737143	876463
2	1186253	1271237	739614	911185
1	1192099	1279324	767337	914606
0	0	0	0	0

**Gambar 5.249 Perbandingan Gaya Geser Tingkat Maks Bangunan Dengan Rotasi dan Tanpa Rotasi Frek Rendah Pembebanan Dom-X**

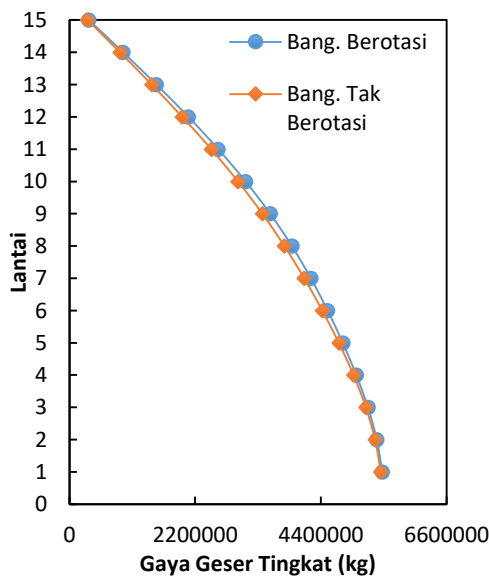


a. Beban X 30%

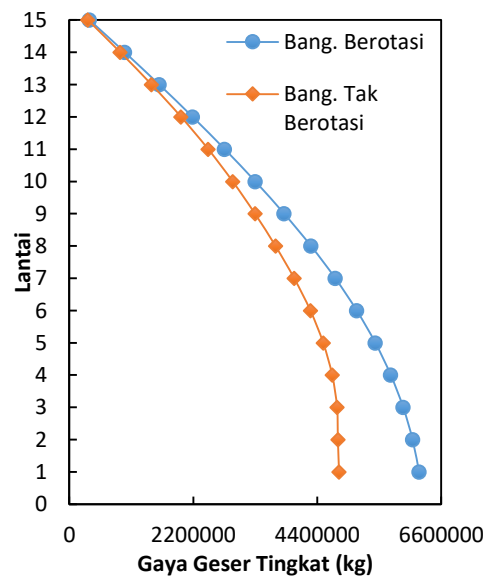


b. Beban Y 100%

Gambar 5.250 Perbandingan Gaya Geser Tingkat Maks Bangunan Dengan Rotasi dan Tanpa Rotasi Frek Rendah Pembebanan Dom-Y

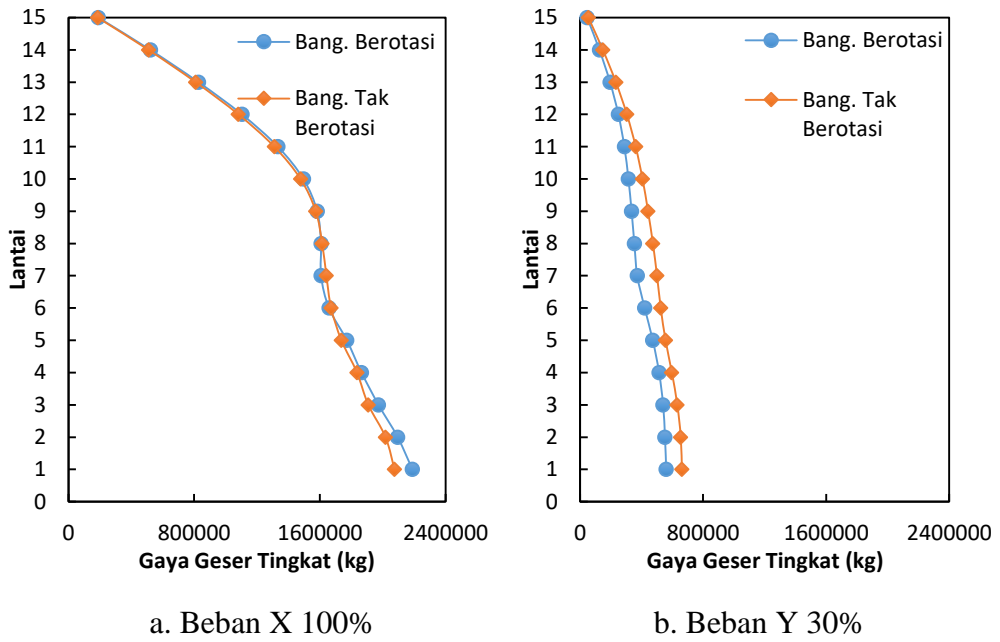


a. Dominan X

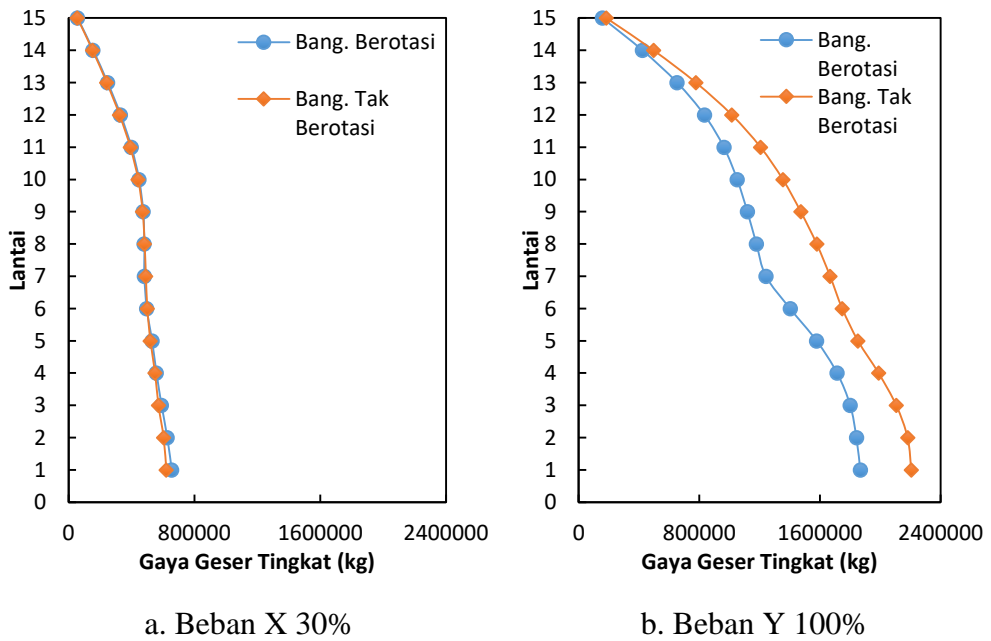


b. Dominan Y

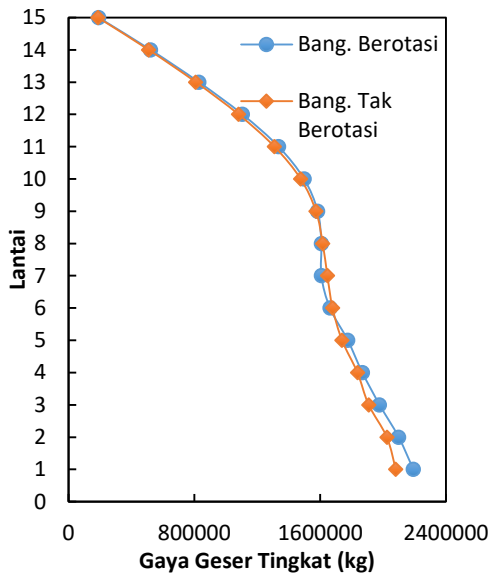
Gambar 5.251 Perbandingan Resultan Gaya Geser Tingkat Maks Bangunan Dengan Rotasi dan Tanpa Rotasi Gempa Frek Rendah



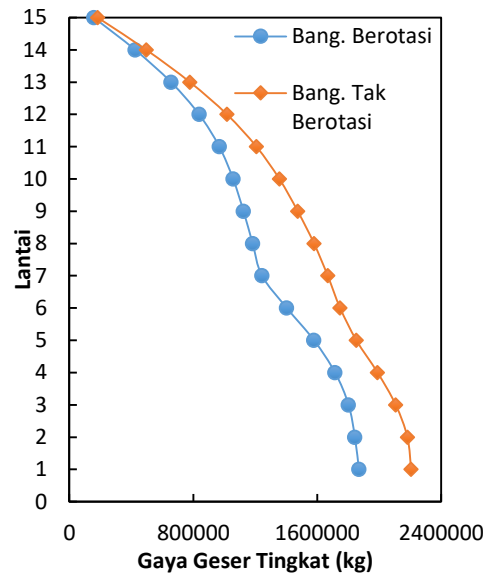
Gambar 5.252 Perbandingan Gaya Geser Tingkat Maks Bangunan Dengan Rotasi dan Tanpa Rotasi Frek Sedang Pembebanan Dom-X



Gambar 5.253 Perbandingan Gaya Geser Tingkat Maks Bangunan Dengan Rotasi dan Tanpa Rotasi Frek Sedang Pembebanan Dom-Y

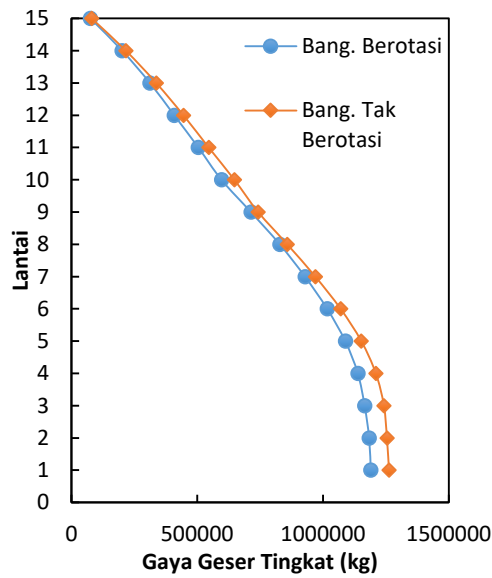


a. Dominan X

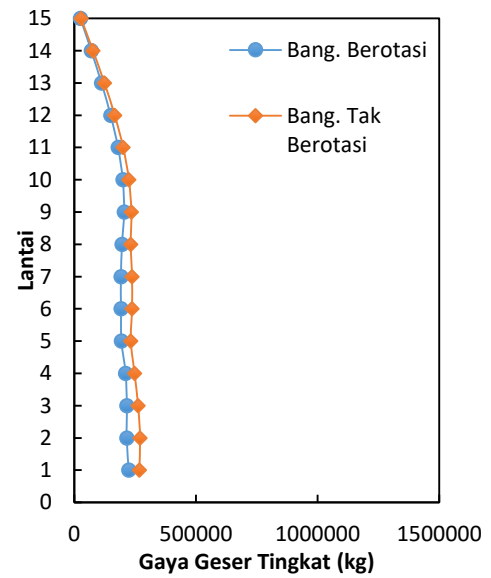


b. Dominan Y

Gambar 5.254 Perbandingan Resultan Gaya Geser Tingkat Maks Bangunan Dengan Rotasi dan Tanpa Rotasi Gempa Frek Sedang

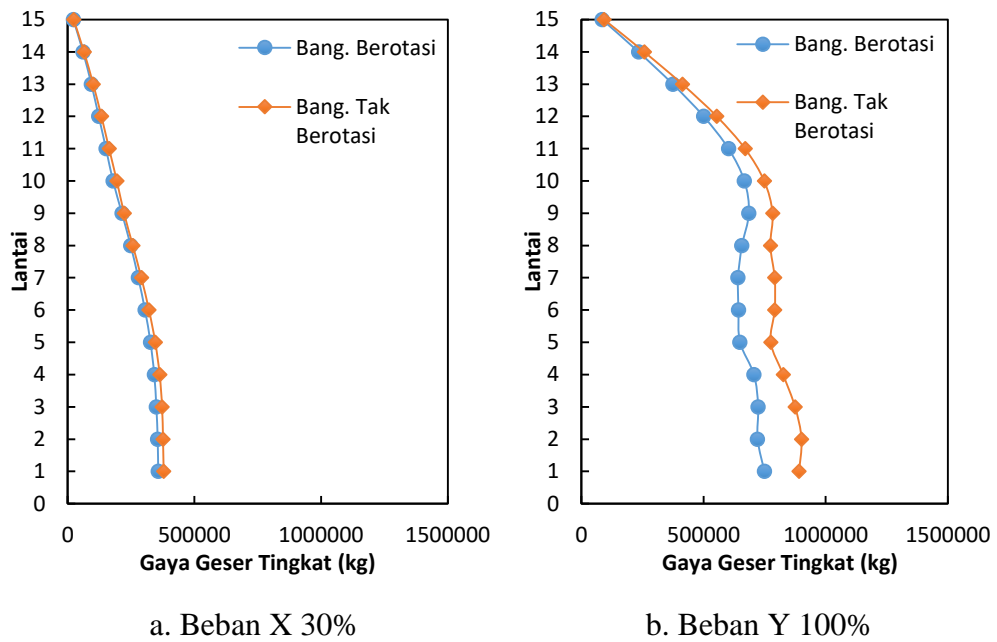


a. Beban X 100%

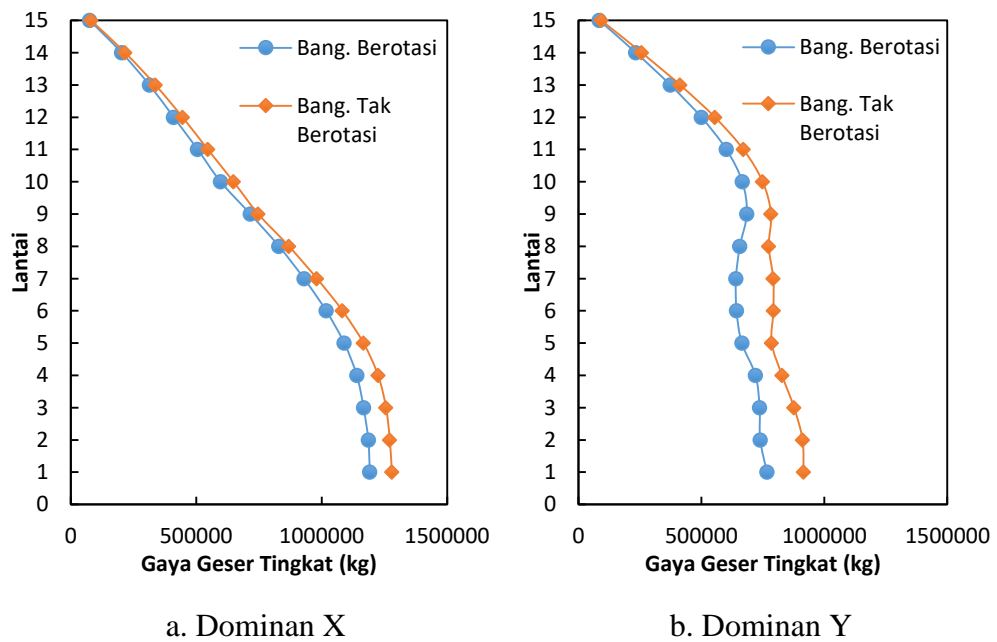


b. Beban Y 30%

Gambar 5.255 Perbandingan Gaya Geser Tingkat Maks Bangunan Dengan Rotasi dan Tanpa Rotasi Frek Tinggi Pembebanan Dom-X



Gambar 5.256 Perbandingan Gaya Geser Tingkat Maks Bangunan Dengan Rotasi dan Tanpa Rotasi Frek Tinggi Pembebanan Dom-Y



Gambar 5.257 Perbandingan Resultan Gaya Geser Tingkat Maks Bangunan Dengan Rotasi dan Tanpa Rotasi Gempa Frek Tinggi

5.7.10 Momen Guling

Momen guling adalah perkalian antara gaya horizontal tingkat dengan tinggi tingkat yang dapat menyebabkan bangunan berguling. Perhitungan momen guling menggunakan persamaan 3.104. Hasil perhitungan momen guling ditampilkan dalam bentuk grafik antara momen guling lawan waktu (dengan interval waktu 0,01 dt). Momen guling yang dicari meliputi momen guling pada bangunan reguler dengan rotasi dan tanpa rotasi dengan pembebanan dominan arah x dan dominan arah y yang akan dijelaskan sebagai berikut.

1. Momen Guling Struktur Bangunan Dengan Rotasi

Momen guling struktur bangunan reguler dengan rotasi dengan beban gempa frekuensi rendah, frekuensi sedang, dan frekuensi tinggi dan pada pembebanan dominan arah x dan dominan arah y dengan beban 100%, beban 30%, resultan momen guling, dan tampak atas momen guling (momen guling lantai dasar) dapat dilihat pada Gambar 5.258 s/d Gambar 5.267. Nilai-nilai maksimum momen guling setiap lantai dapat dilihat pada Tabel 5.118 s/d Tabel 5.121 dan Gambar 5.268 s/d Gambar 5.270.

Hasil tabel dan gambar grafik tersebut menunjukkan bahwa momen guling maksimum akan semakin besar pada lantai bawah pada setiap frekuensi beban gempa karena momen guling adalah perkalian dari gaya horizontal tingkat dengan tinggi tingkat yang ada di atasnya. Momen guling maksimum terbesar ada pada lantai paling bawah karena merupakan perkalian dari gaya horizontal tingkat dengan tinggi tingkat pada semua lantai. Namun, gempa dengan frekuensi sedang (Gempa EL-Centro 1940) pada beban arah x baik pembebanan dominan x maupun dominan y dan resultan dominan x menghasilkan momen guling maksimum di lantai 7. Gempa dengan frekuensi tinggi (Gempa Manjil) pada beban arah y baik pada pembebanan dominan x maupun dominan y dan resultan dominan y menghasilkan momen guling maksimum di lantai 8. Hal ini dikarenakan momen guling maksimum merupakan nilai maksimum dari perkalian gaya horizontal tingkat setiap waktunya bukan perkalian gaya horizontal tingkat maksimum sehingga hasilnya dapat berbeda karena gaya horizontal tingkat pada setiap lantai tidak terjadi dalam satu fase serta pola

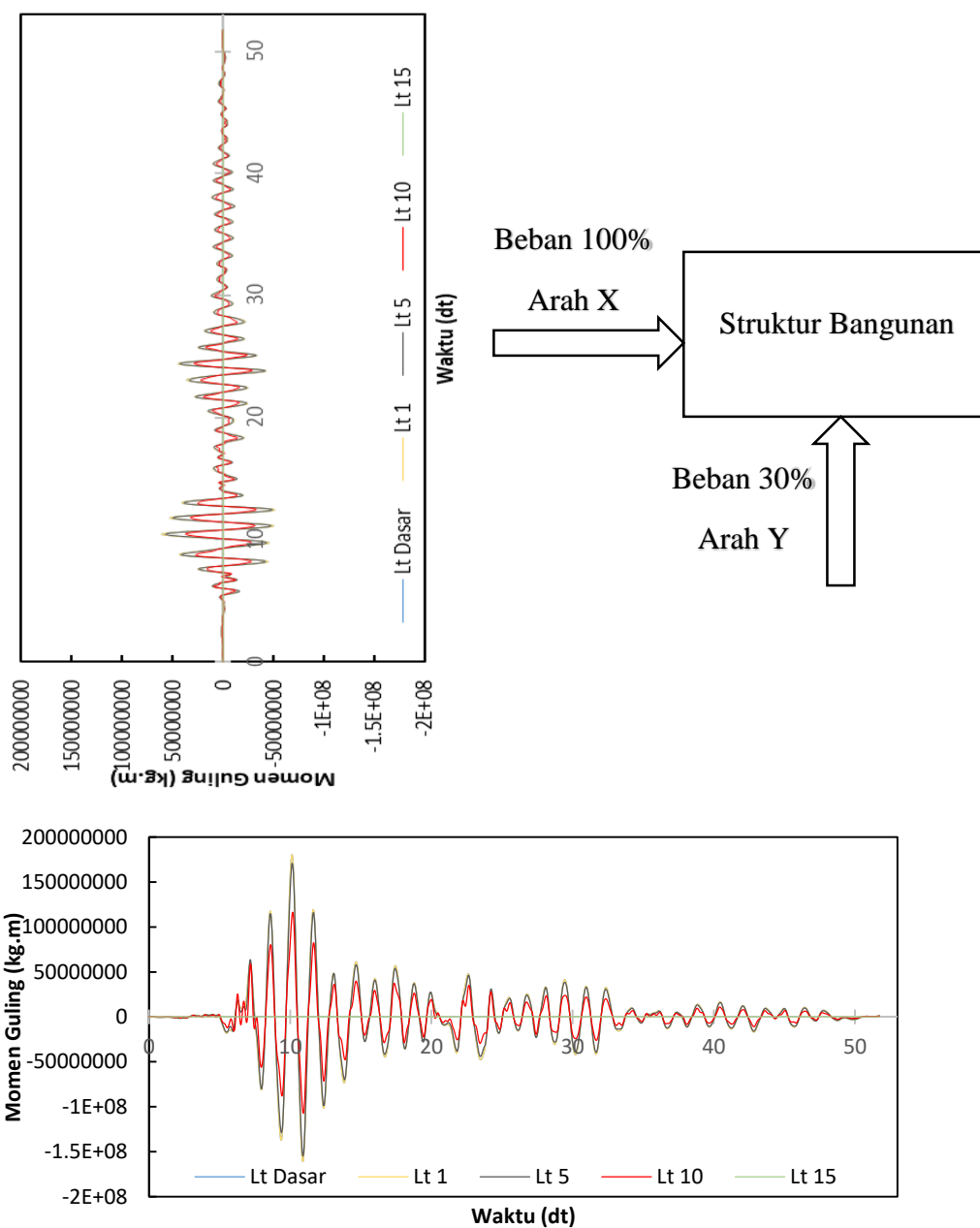
goyangan yang berbeda pada setiap kombinasi pembebanan dan karakteristik beban dan frekuensi gempa yang beragam.

Gempa dengan frekuensi rendah (Gempa Duzce) menghasilkan momen guling yang paling besar pada struktur baik pada pembebanan dominan x maupun pembebanan dominan y, sedangkan gempa dengan frekuensi tinggi (Gempa Manjil) menghasilkan momen guling yang paling kecil dan gempa dengan frekuensi sedang (Gempa EL-Centro 1940) berada diantaranya. Hal ini dikarenakan struktur bangunan tinggi bersifat fleksibel sehingga akan mempunyai frekuensi sudut (ω) dan frekuensi natural (f) yang rendah dan menyebabkan bangunan akan bergetar pada frekuensi rendah atau berasosiasi dengan baik dengan gempa frekuensi rendah.

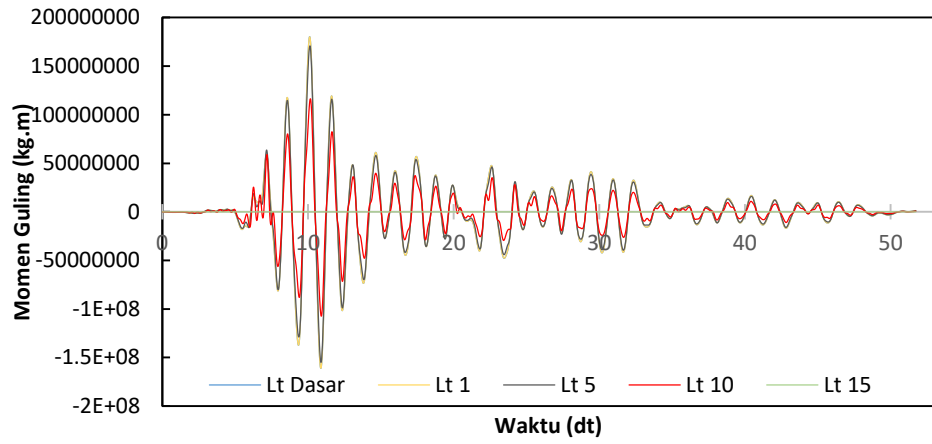
Gempa dengan frekuensi rendah (Gempa Duzce) menghasilkan resultan momen guling pada pembebanan dominan y lebih besar daripada pembebanan dominan x. Gempa dengan frekuensi sedang (Gempa EL-Centro 1940) menghasilkan resultan momen guling pada pembebanan dominan x lebih besar daripada pembebanan dominan y dan gempa dengan frekuensi tinggi (Gempa Manjil) menghasilkan resultan momen guling pada pembebanan dominan x lebih besar daripada pembebanan dominan y pada lantai 1-7 dan terjadi sebaliknya pada lantai 8-15. Secara umum, momen guling akan lebih besar pada resultan pembebanan dominan y karena bangunan berbentuk pipih pada arah y, tetapi hasil yang beragam tersebut dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu, kekakuan portal arah x yang lebih besar, hasil simpangan pada struktur, pola goyangan yang berbeda pada setiap kombinasi pembebanan, karakteristik beban dan frekuensi gempa yang beragam, dan gaya horizontal tingkat setiap lantai yang tidak terjadi dalam 1 fase sehingga mempengaruhi momen gulingnya terutama pada beban gempa dengan frekuensi tinggi (Gempa Manjil).

a. Pembebanan Dominan X

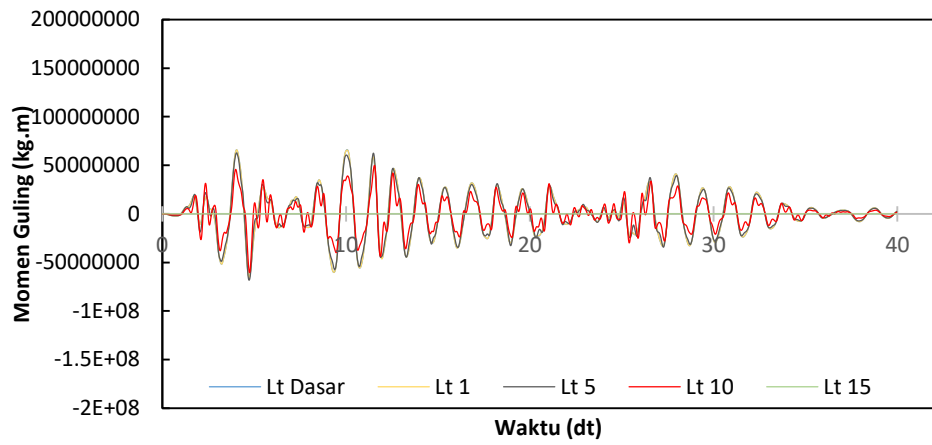
Adapun ilustrasi hasil analisis momen guling pada pembebanan dominan x dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



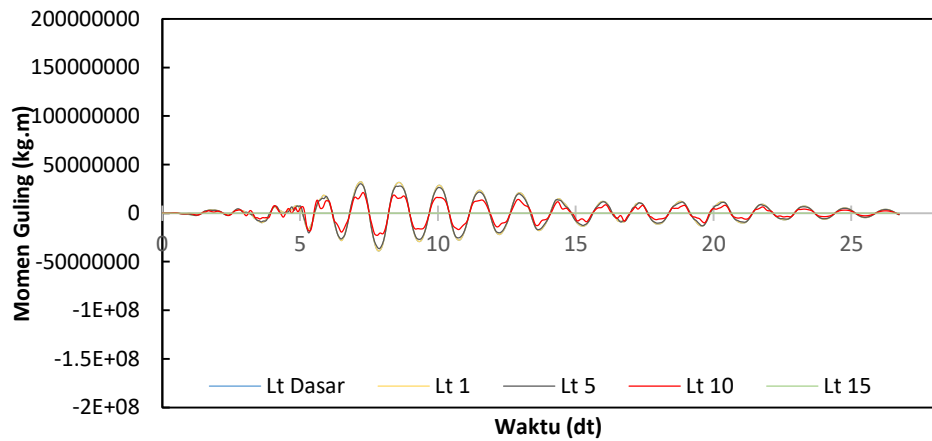
Gambar 5.258 Ilustrasi Momen Guling Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan X



a. Frekuensi Rendah

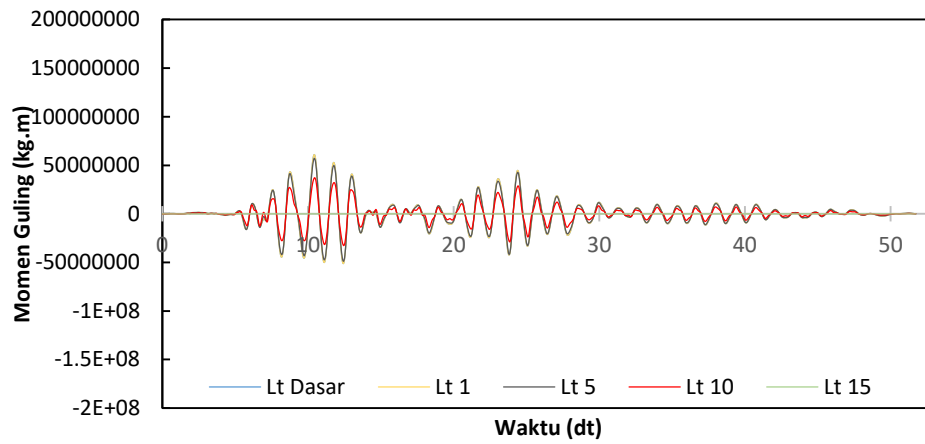


b. Frekuensi Sedang

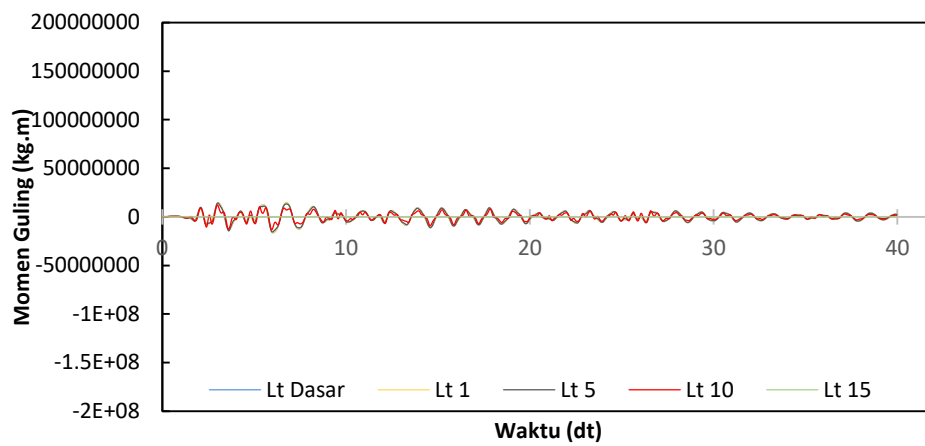


c. Frekuensi Tinggi

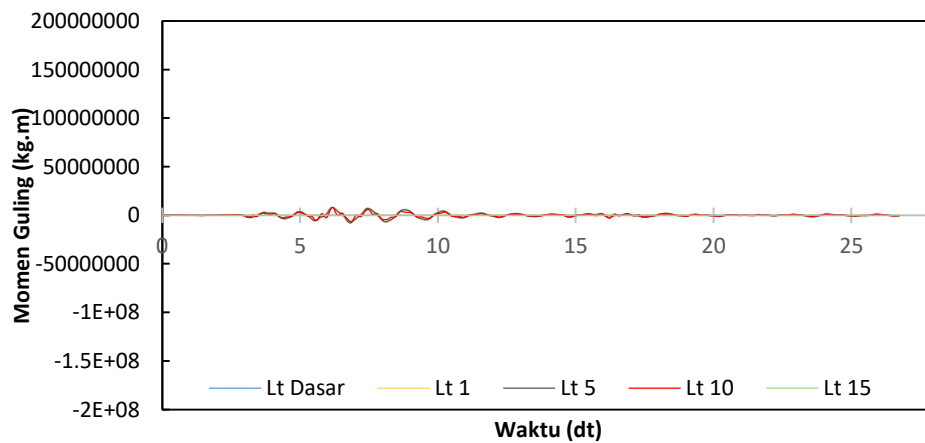
Gambar 5.259 Momen Guling Arah X Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan X



a. Frekuensi Rendah

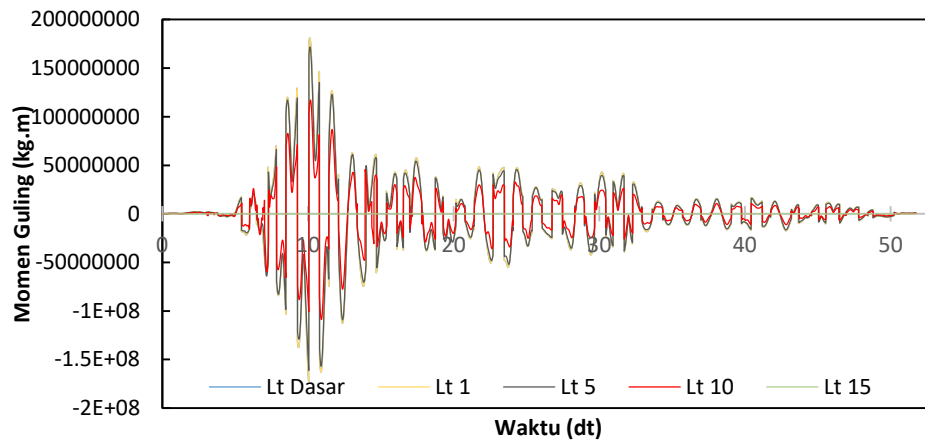


b. Frekuensi Sedang

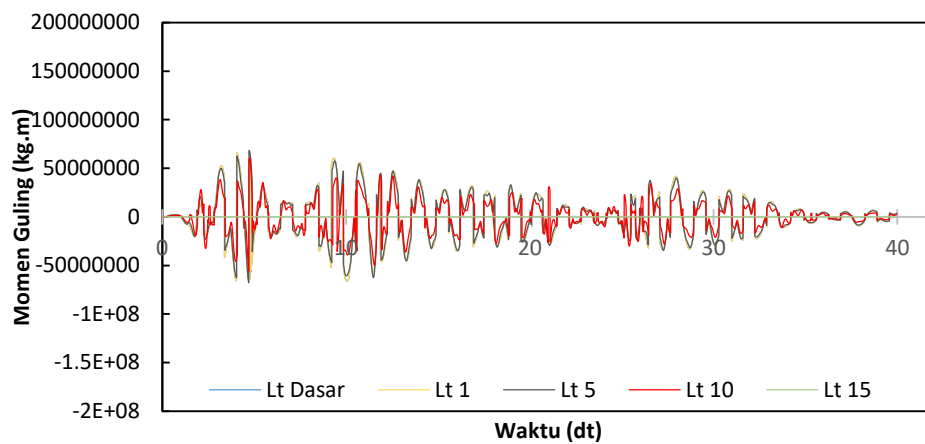


c. Frekuensi Tinggi

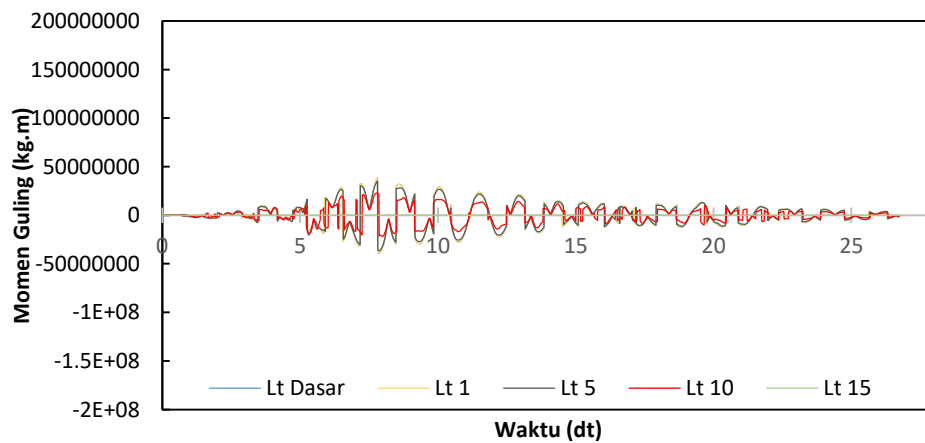
Gambar 5.260 Momen Guling Arah Y Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan X



a. Frekuensi Rendah

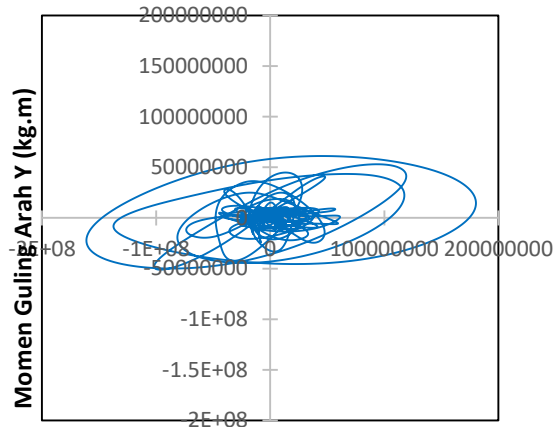


b. Frekuensi Sedang



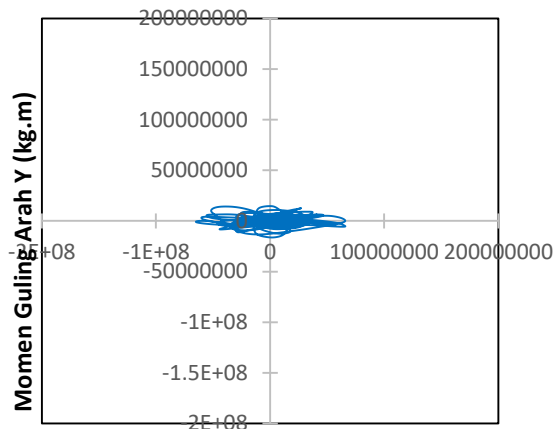
c. Frekuensi Tinggi

Gambar 5.261 Resultan Momen Guling Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan X



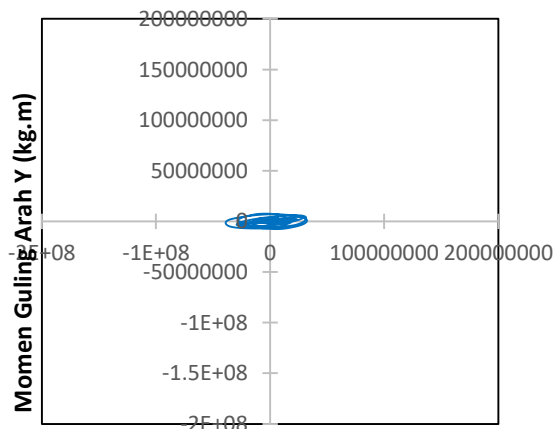
Momen Guling Arah X (kg.m)

a. Frekuensi Rendah



Momen Guling Arah X (kg.m)

b. Frekuensi Sedang



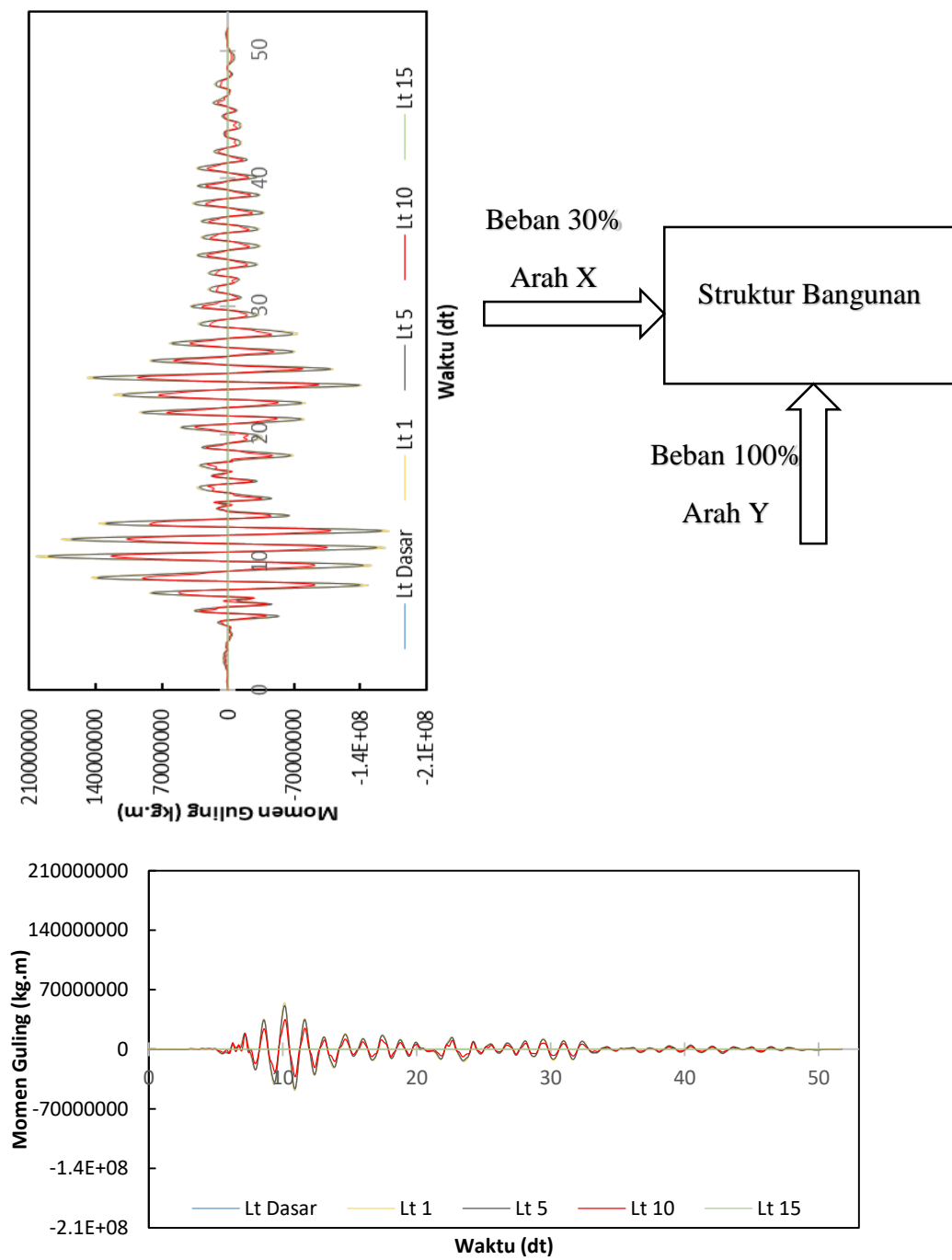
Momen Guling Arah X (kg.m)

c. Frekuensi Tinggi

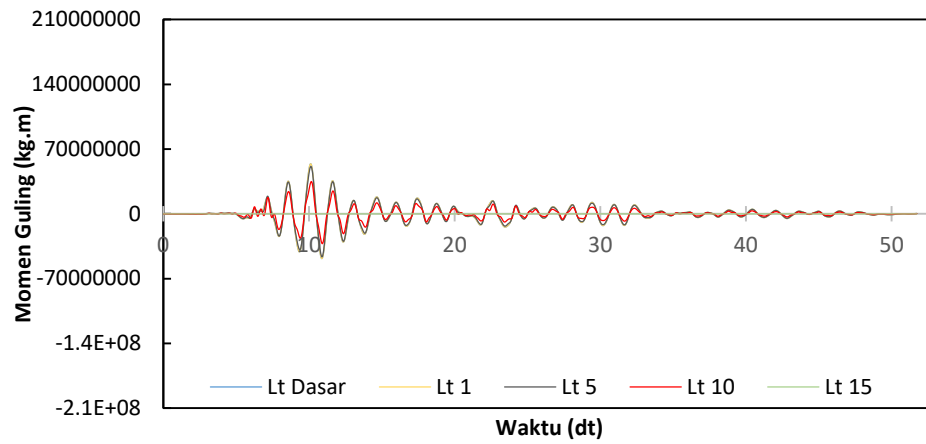
Gambar 5.262 Tampak Atas Momen Guling Setiap Frek Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan X

b. Pembebanan Dominan Y

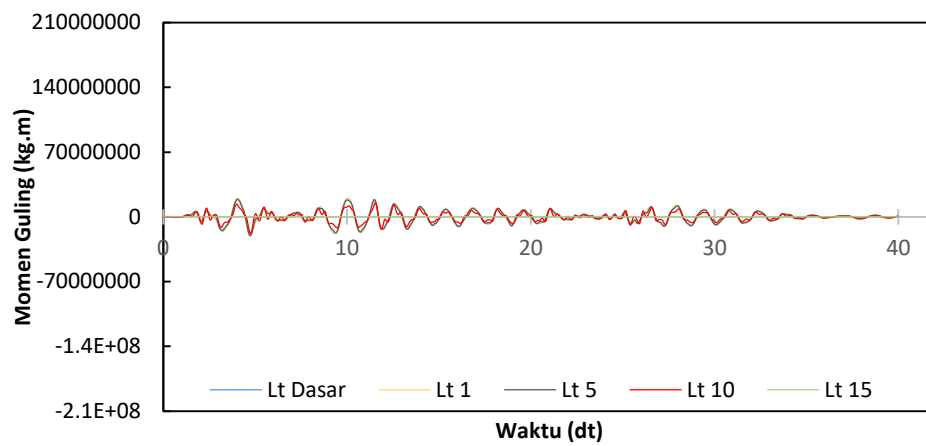
Adapun ilustrasi hasil analisis momen guling pada pembebanan dominan y dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



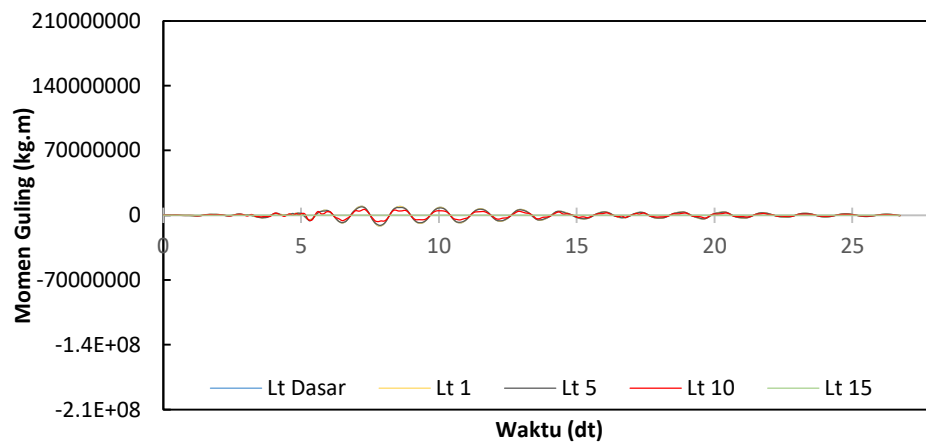
Gambar 5.263 Ilustrasi Momen Guling Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan Y



a. Frekuensi Rendah

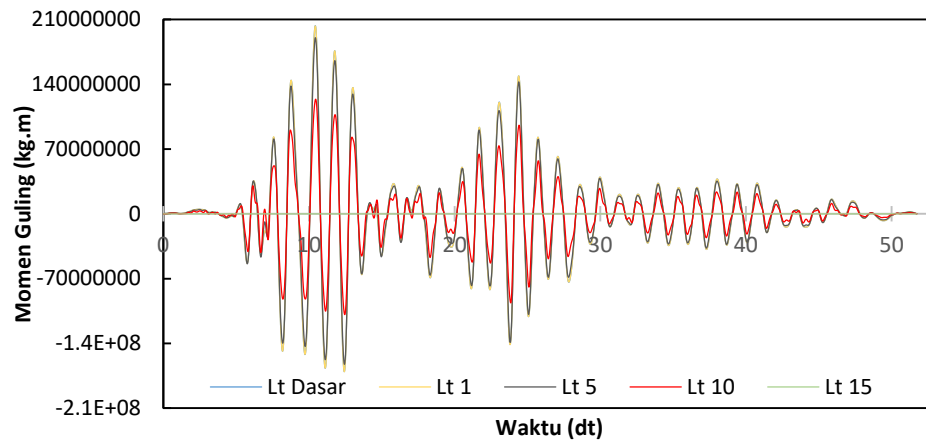


b. Frekuensi Sedang

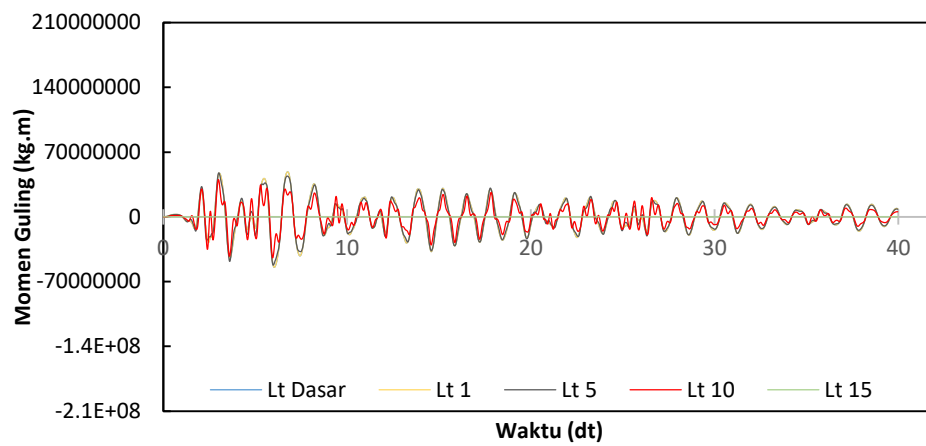


c. Frekuensi Tinggi

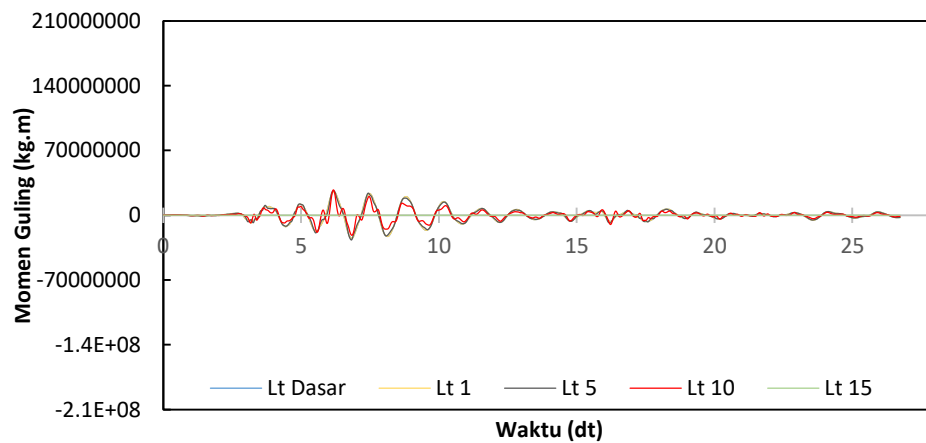
Gambar 5.264 Momen Guling Arah X Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan Y



a. Frekuensi Rendah

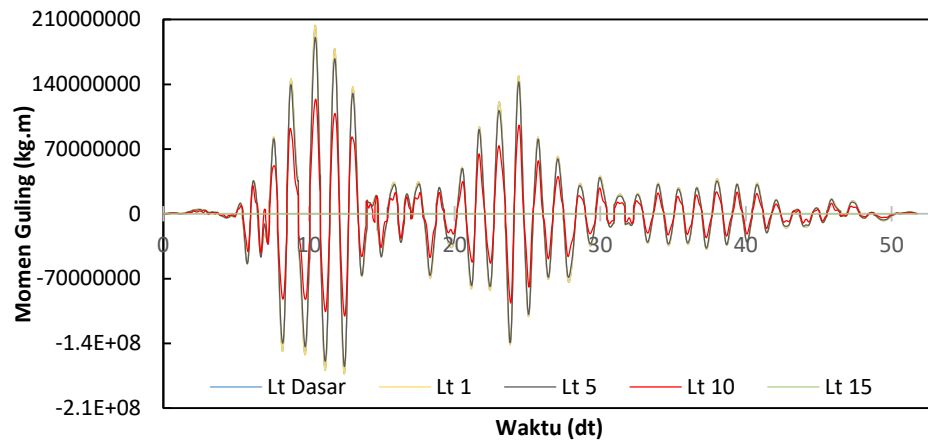


b. Frekuensi Sedang

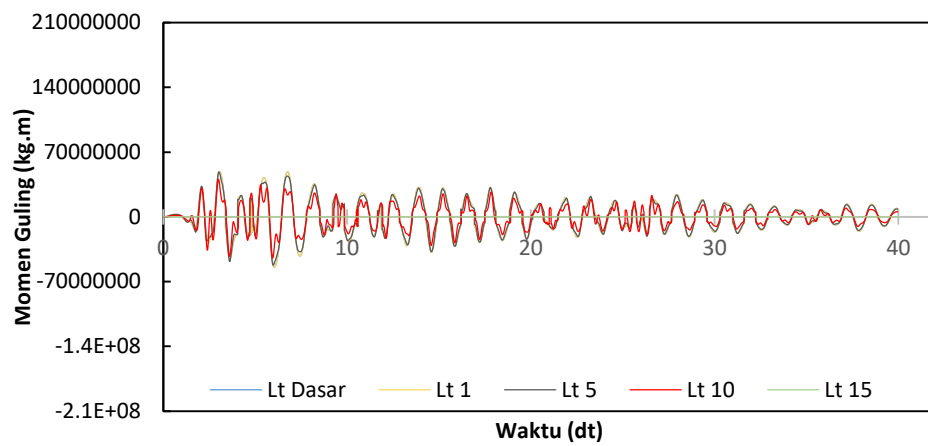


c. Frekuensi Tinggi

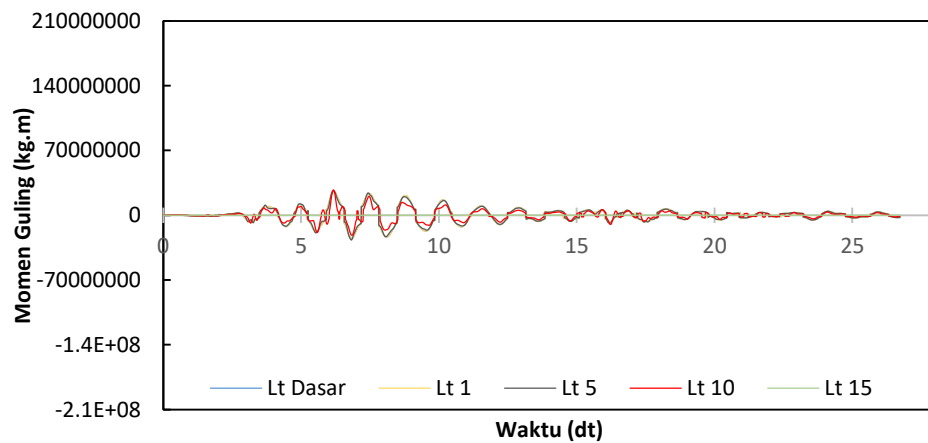
Gambar 5.265 Momen Guling Arah Y Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan Y



a. Frekuensi Rendah

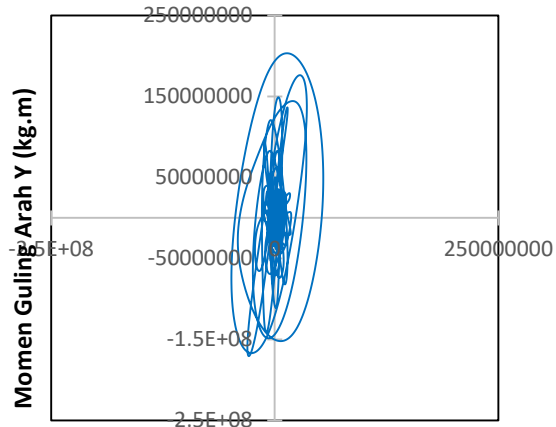


b. Frekuensi Sedang



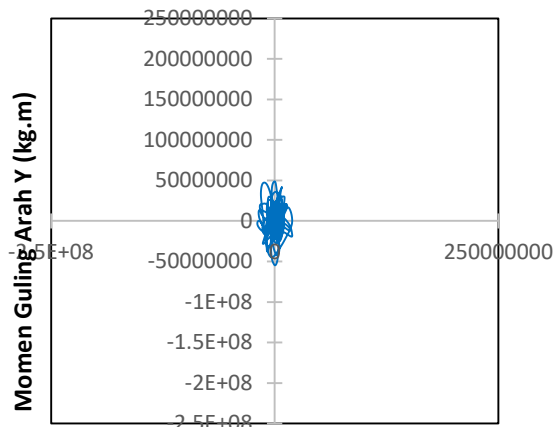
c. Frekuensi Tinggi

Gambar 5.266 Resultan Momen Guling Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan Y



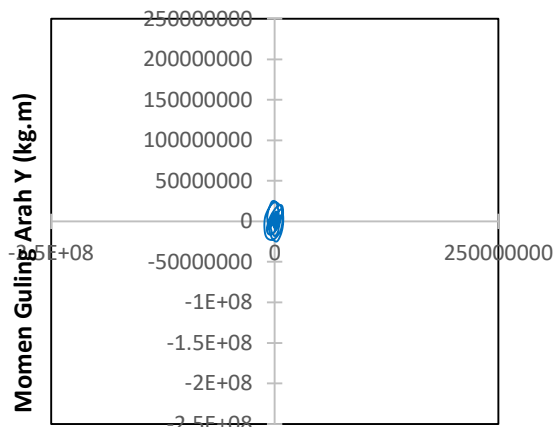
Momen Guling Arah X (kg.m)

a. Frekuensi Rendah



Momen Guling Arah X (kg.m)

b. Frekuensi Sedang



Momen Guling Arah X (kg.m)

c. Frekuensi Tinggi

Gambar 5.267 Tampak Atas Momen Guling Setiap Frek Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan Y

Tabel 5.118 Momen Guling Maks Bang Dengan Rotasi Frek Rendah

Lantai	Dominan X (kg.m)		Dominan Y (kg.m)	
	Beban 100% X	Beban 30% Y	Beban 30% X	Beban 100% Y
15	0	0	0	0
14	17574793	5582701	5272438	18609003
13	46674715	14790764	14002414	49302547
12	73031469	23136066	21909441	77120219
11	96344526	30603582	28903358	102011941
10	116373848	37164040	34912154	123880135
9	133028938	42850381	39908681	142834604
8	146466681	47660037	43940004	158866790
7	156984080	51621713	47095224	172072375
6	164924319	54750643	49477296	182502142
5	170816060	57111491	51244818	190371637
4	174974978	58809245	52492493	196030817
3	177709306	59928846	53312792	199762819
2	179357015	60588963	53807105	201963209
1	180156538	60911319	54046961	203037731
0	180403369	61014237	54121011	203380791

Tabel 5.119 Momen Guling Maks Bang Dengan Rotasi Frek Sedang

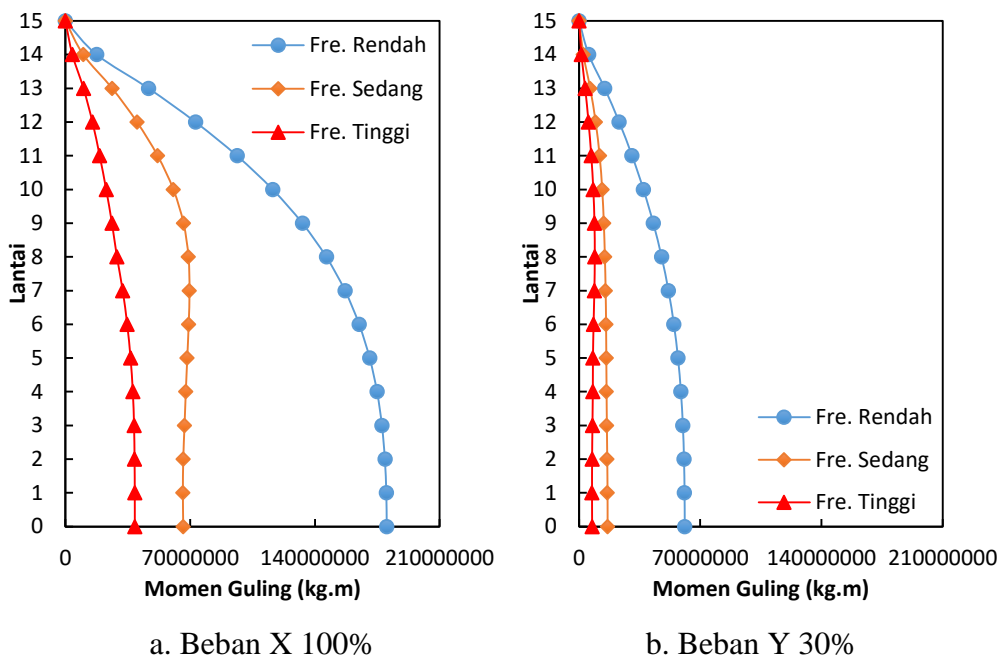
Lantai	Dominan X (kg.m)		Dominan Y (kg.m)	
	Beban 100% X	Beban 30% Y	Beban 30% X	Beban 100% Y
15	0	0	0	0
14	10029053	2472277	3008716	8240924
13	26228449	6378890	7868535	21262965
12	40135168	9514731	12040550	31715771
11	51699331	11788675	15509799	39295582
10	60502724	13284510	18150817	44281699
9	66192265	14213546	19857680	47378488
8	68958966	14820572	20687690	49401907
7	69544955	15247568	20863487	50825226
6	69068692	15504176	20720608	51680585
5	68277904	15646718	20483371	52155725
4	67450605	15790389	20235181	52634631
3	66751417	15961266	20025425	53204221
2	66040414	16183620	19812124	53945400
1	65831156	16342972	19749347	54476574
0	66017301	16380601	19805190	54602002

Tabel 5.120 Momen Guling Maks Bang Dengan Rotasi Frek Tinggi

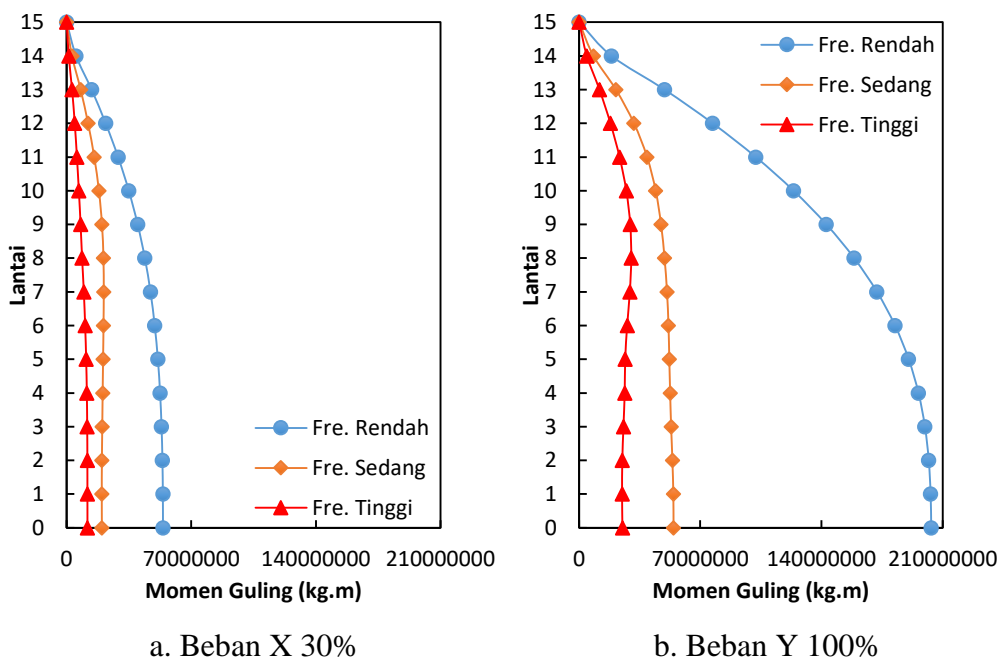
Lantai	Dominan X (kg.m)		Dominan Y (kg.m)	
	Beban 100% X	Beban 30% Y	Beban 30% X	Beban 100% Y
15	0	0	0	0
14	3947614	1345267	1184284	4484224
13	10149108	3529792	3044732	11765972
12	15168683	5442320	4550605	18141068
11	19224852	7027240	5767456	23424132
10	22855917	8202393	6856775	27341310
9	26090419	8884444	7827126	29614814
8	28891921	9058157	8667576	30193856
7	32124847	8816188	9637454	29387292
6	34624062	8352723	10387219	27842409
5	36506615	8009966	10951985	26699887
4	37773681	7923720	11332104	26412399
3	38469164	7705226	11540749	25684088
2	38751151	7504658	11625345	25015527
1	38867792	7467444	11660337	24891480
0	38895948	7526366	11668784	25087885

Tabel 5.121 Resultan Momen Guling Maks Bangunan Dengan Rotasi

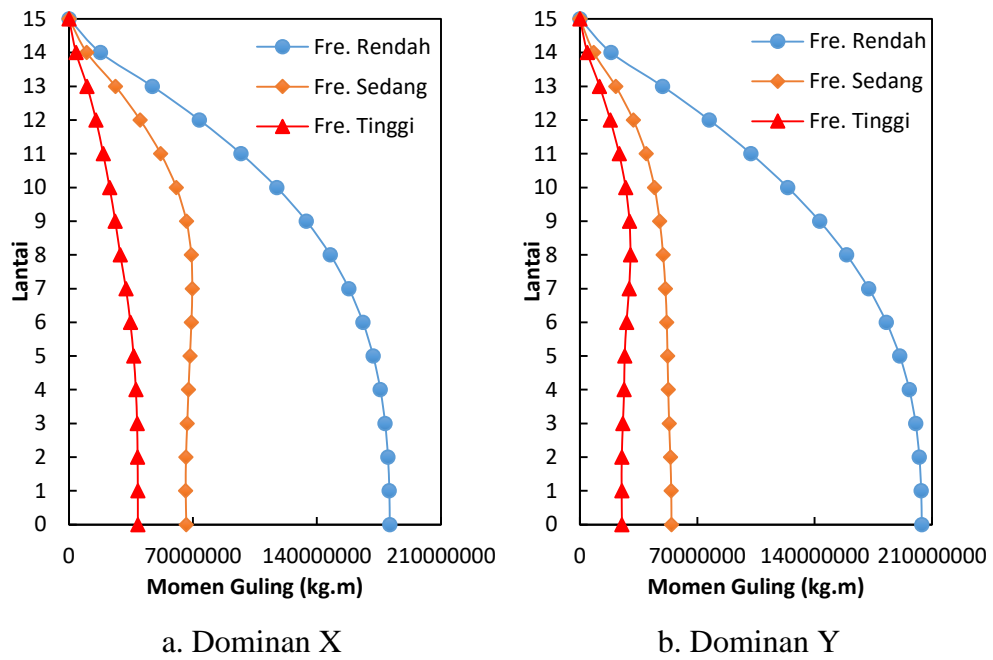
Lantai	Frekuensi Rendah		Frekuensi Sedang		Frekuensi Tinggi	
	Dom-X (kg.m)	Dom-Y (kg.m)	Dom-X (kg.m)	Dom-Y (kg.m)	Dom-X (kg.m)	Dom-Y (kg.m)
15	0	0	0	0	0	0
14	17722717	18610113	10039360	8272062	3979784	4485528
13	47046168	49304717	26253389	21345483	10221107	11765972
12	73621255	77120985	40188330	31844136	15254250	18142061
11	97093509	102013419	51791734	39463445	19308211	23427914
10	117239453	123902487	60597278	44482261	22933209	27341912
9	133997243	142875388	66280663	47602395	26151915	29615784
8	147469673	158984380	69031797	49605088	28993786	30194439
7	157954254	172231313	69576967	51015923	32195496	29387292
6	165898996	182725019	69081015	51818660	34661517	27843623
5	171663371	190714591	68281222	52248713	36537948	26737222
4	175743609	196413682	67450879	52693074	37799724	26430944
3	178423894	200174497	66752015	53224067	38488268	25689030
2	180020369	202392014	66043826	53948663	38771419	25015537
1	180786310	203473983	65883882	54477519	38899599	24947226
0	181032432	203818645	66231948	54605083	38918164	25122645



Gambar 5.268 Momen Guling Maksimum Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan X



Gambar 5.269 Momen Guling Maksimum Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi Pembebanan Dominan Y



Gambar 5.270 Resultan Momen Guling Maksimum Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Dengan Rotasi

2. Momen Guling Struktur Bangunan Tanpa Rotasi

Momen guling struktur bangunan reguler tanpa rotasi dengan beban gempa frekuensi rendah, frekuensi sedang, dan frekuensi tinggi dan pada pembebanan dominan arah x dan dominan arah y dengan beban 100%, beban 30%, resultan momen guling, dan tampak atas momen guling (momen guling lantai dasar) dapat dilihat pada Gambar 5.271 s/d Gambar 5.280. Nilai-nilai maksimum momen guling setiap lantai dapat dilihat pada Tabel 5.122 s/d Tabel 5.125 dan Gambar 5.281 s/d Gambar 5.283.

Hasil tabel dan gambar grafik tersebut menunjukkan bahwa momen guling maksimum akan semakin besar pada lantai bawah pada setiap frekuensi beban gempa karena momen guling adalah perkalian dari gaya horizontal tingkat dengan tinggi tingkat yang ada di atasnya. Momen guling maksimum terbesar ada pada lantai paling bawah karena merupakan perkalian dari gaya horizontal tingkat dengan tinggi tingkat pada semua lantai. Namun, gempa dengan frekuensi sedang (Gempa EL-Centro 1940) pada beban arah x baik pada pembebanan dominan x maupun dominan y dan resultan dominan x menghasilkan momen guling maksimum di lantai 6. Gempa dengan frekuensi tinggi (Gempa Manjil) pada beban arah y baik pada pembebanan dominan x maupun dominan y dan resultan dominan y menghasilkan momen guling maksimum di lantai 8. Hal ini dikarenakan momen guling maksimum merupakan nilai maksimum dari perkalian gaya horizontal tingkat setiap waktunya bukan perkalian gaya horizontal tingkat maksimum sehingga hasilnya dapat berbeda karena gaya horizontal tingkat pada setiap lantai tidak terjadi dalam satu fase dan pola goyangan yang berbeda pada setiap kombinasi pembebanan serta karakteristik beban dan frekuensi gempa yang beragam.

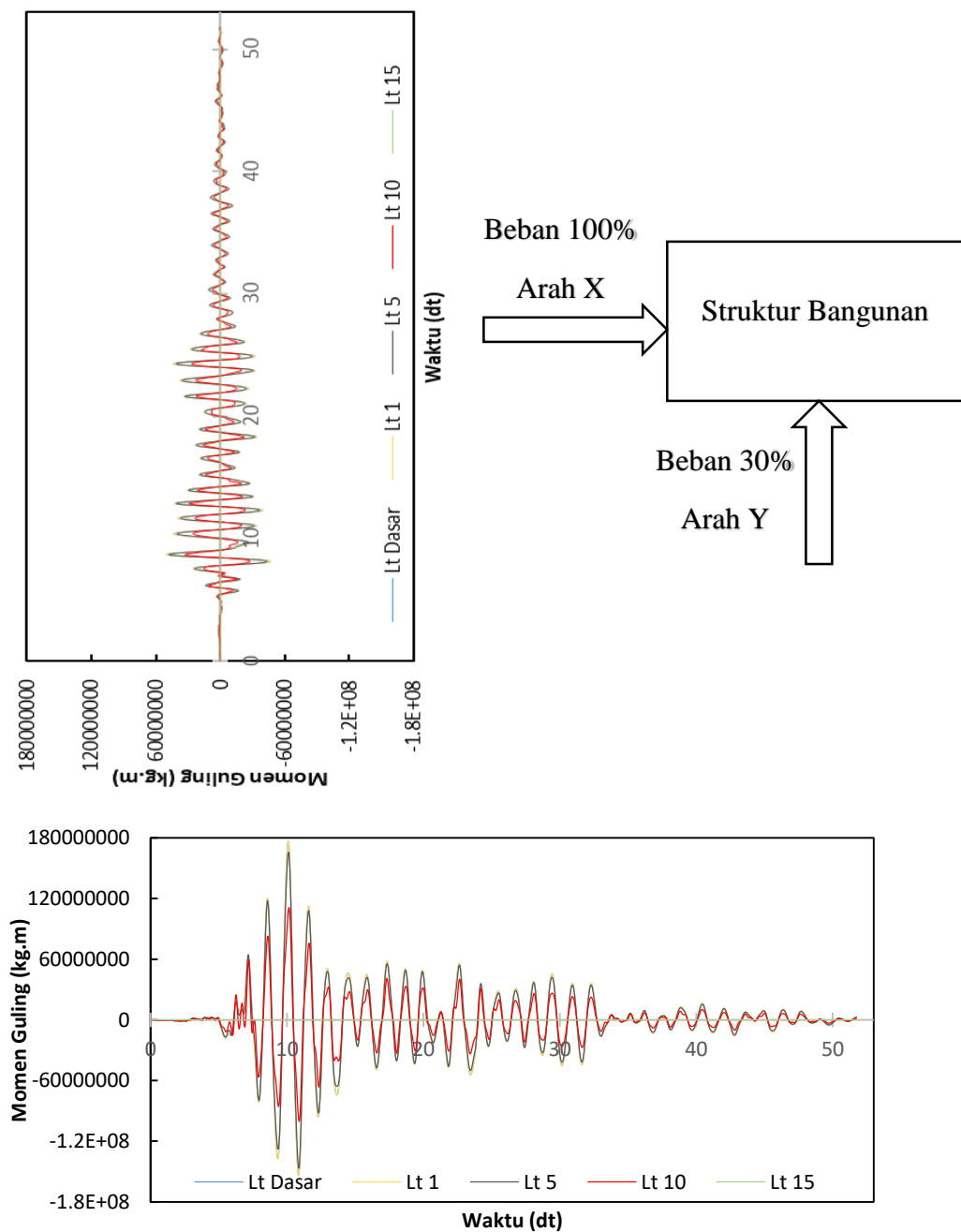
Gempa dengan frekuensi rendah (Gempa Duzce) menghasilkan momen guling yang paling besar pada struktur baik pada pembebanan dominan x maupun pembebanan dominan y, sedangkan gempa dengan frekuensi tinggi (Gempa Manjil) menghasilkan momen guling yang paling kecil dan gempa dengan frekuensi sedang (Gempa EL-Centro 1940) berada diantaranya. Hal ini dikarenakan struktur bangunan tinggi bersifat fleksibel sehingga akan

mempunyai frekuensi sudut (ω) dan frekuensi natural (f) yang rendah dan menyebabkan bangunan akan bergetar pada frekuensi rendah atau berasosiasi dengan baik dengan gempa frekuensi rendah.

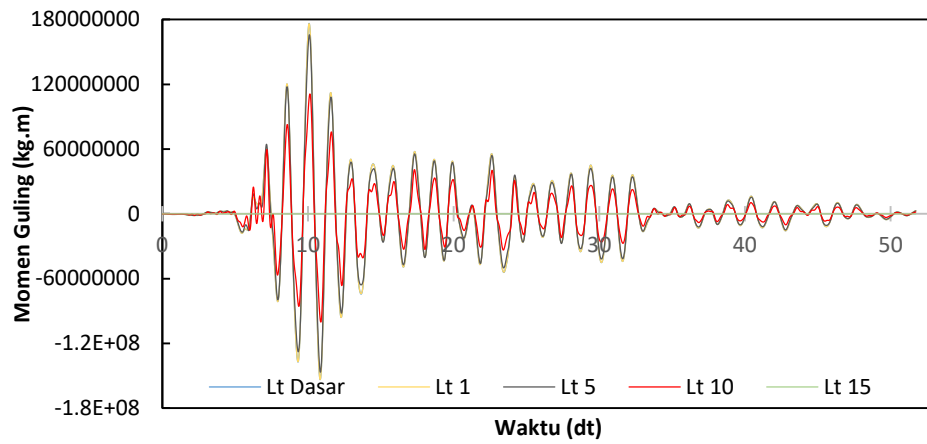
Gempa dengan frekuensi rendah (Gempa Duzce) menghasilkan resultan momen guling pada pembebanan dominan x lebih besar daripada pembebanan dominan y pada lantai 0-10 dan terjadi sebaliknya pada lantai 11-15. Gempa dengan frekuensi sedang (Gempa EL-Centro 1940) menghasilkan resultan momen guling pada pembebanan dominan y lebih besar daripada pembebanan dominan x pada lantai 0-5 dan terjadi sebaliknya pada lantai 6-15 dan gempa dengan frekuensi tinggi (Gempa Manjil) menghasilkan resultan momen guling pada pembebanan dominan x lebih besar daripada pembebanan dominan y pada lantai 0-6 dan terjadi sebaliknya pada lantai 7-15. Secara umum, momen guling akan lebih besar pada resultan pembebanan dominan y karena bangunan berbentuk pipih pada arah y, tetapi hasil yang beragam dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu, kekakuan portal arah x yang lebih besar, hasil simpangan pada struktur, pola goyangan yang berbeda pada setiap kombinasi pembebanan, karakteristik beban dan frekuensi gempa yang beragam, dan gaya horizontal tingkat setiap lantai yang tidak terjadi dalam 1 fase sehingga mempengaruhi momen gulingnya terutama pada gempa dengan frekuensi tinggi (Gempa Manjil).

a. Pembebanan Dominan X

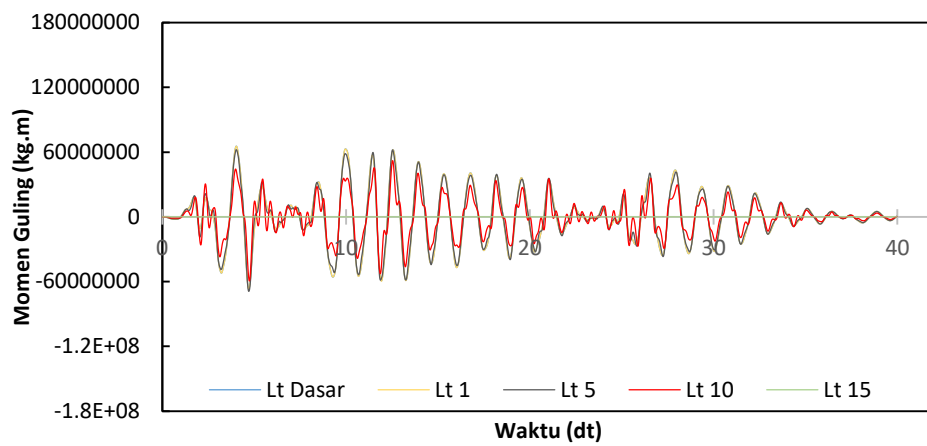
Adapun ilustrasi hasil analisis momen guling pada pembebanan dominan x dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



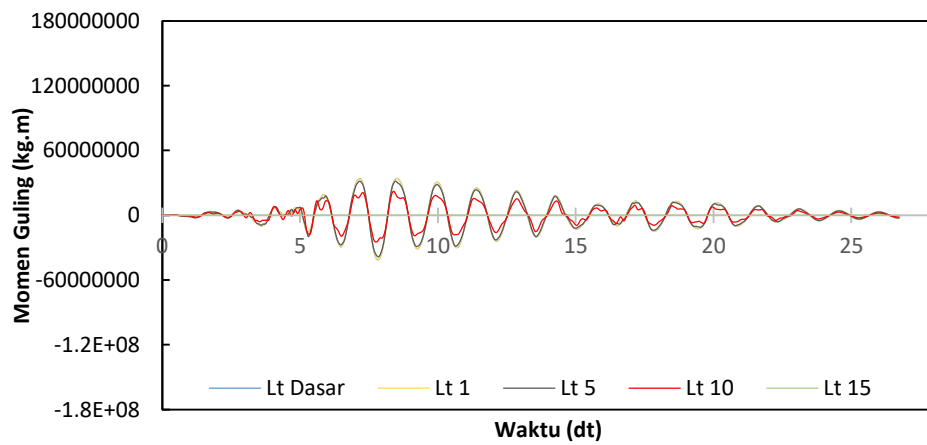
Gambar 5.271 Ilustrasi Momen Guling Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan X



a. Frekuensi Rendah

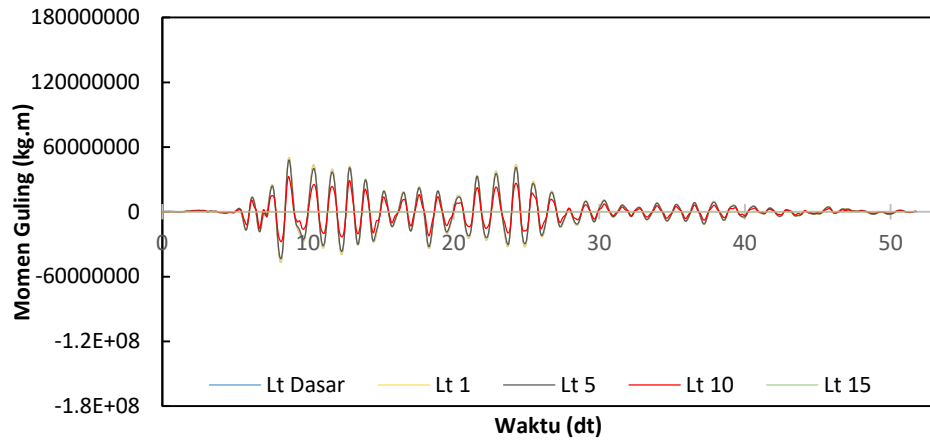


b. Frekuensi Sedang

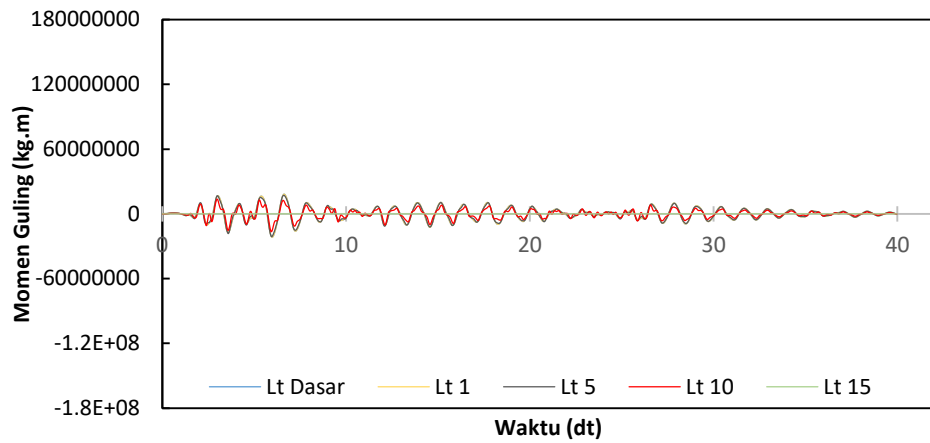


c. Frekuensi Tinggi

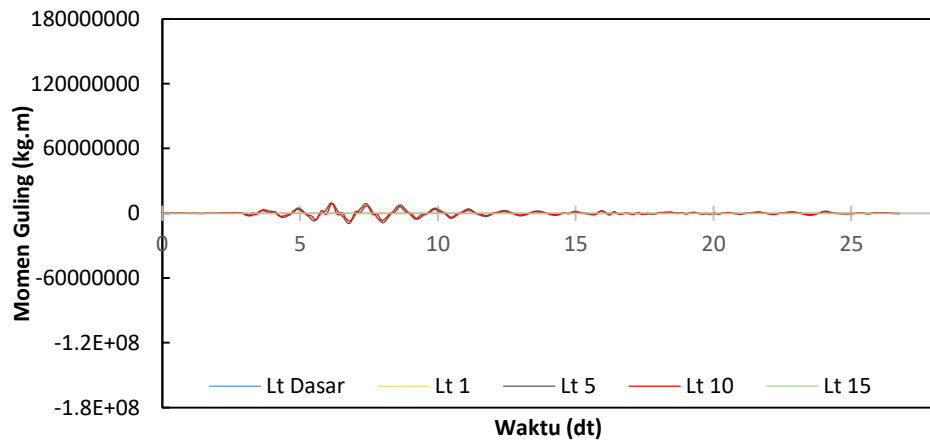
Gambar 5.272 Momen Guling Arah X Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan X



a. Frekuensi Rendah

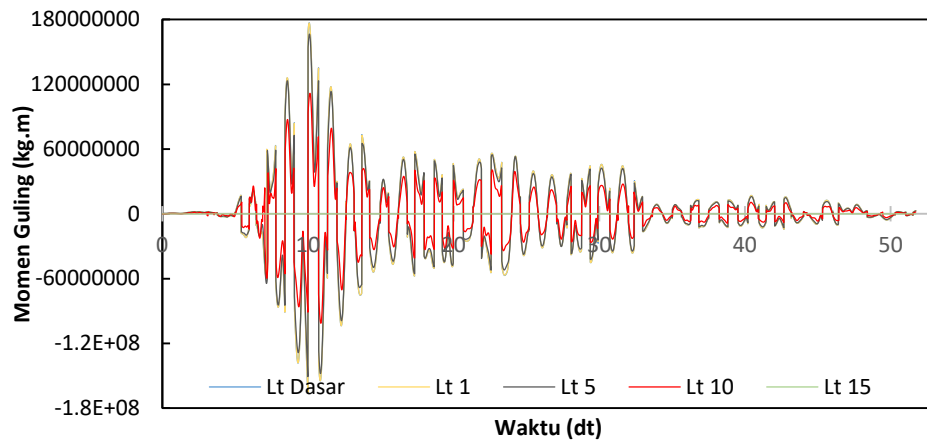


b. Frekuensi Sedang

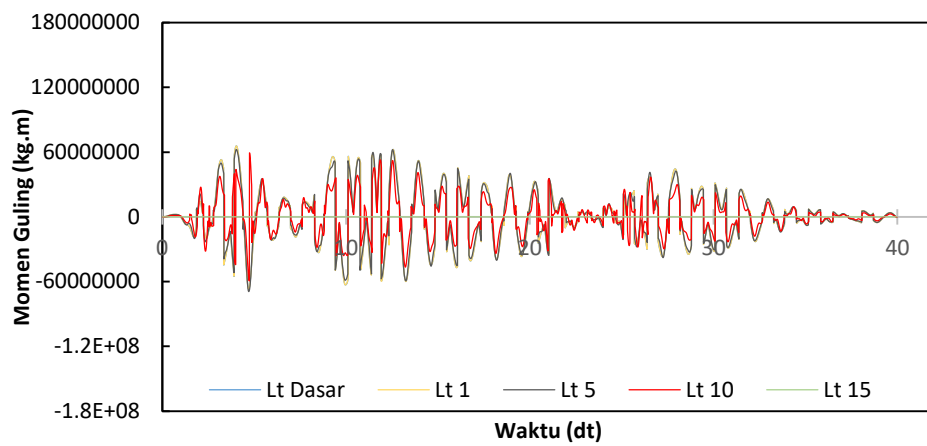


c. Frekuensi Tinggi

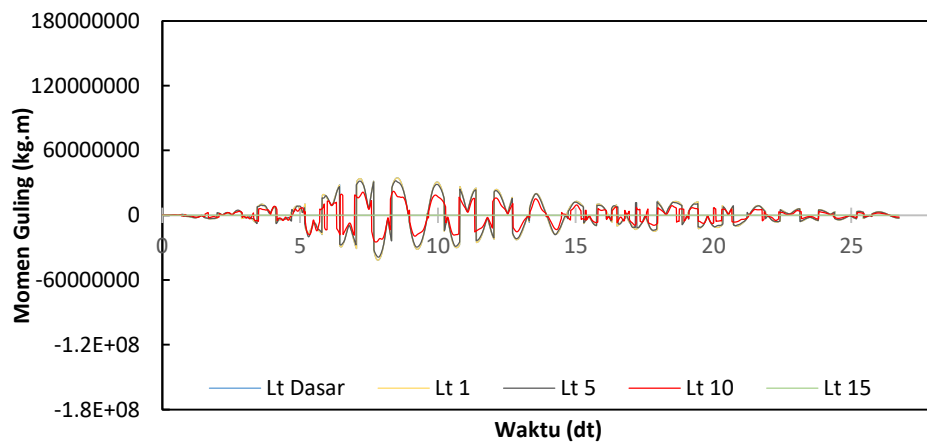
Gambar 5.273 Momen Guling Arah Y Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan X



a. Frekuensi Rendah

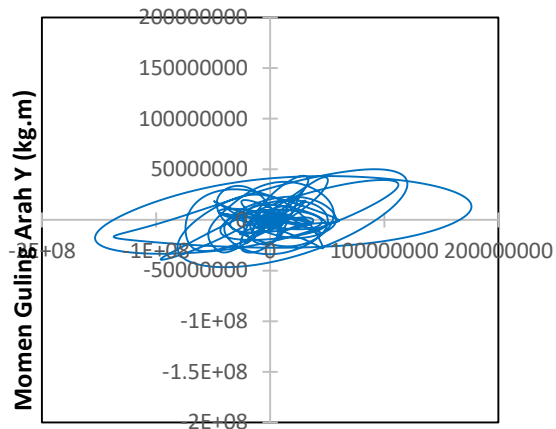


b. Frekuensi Sedang



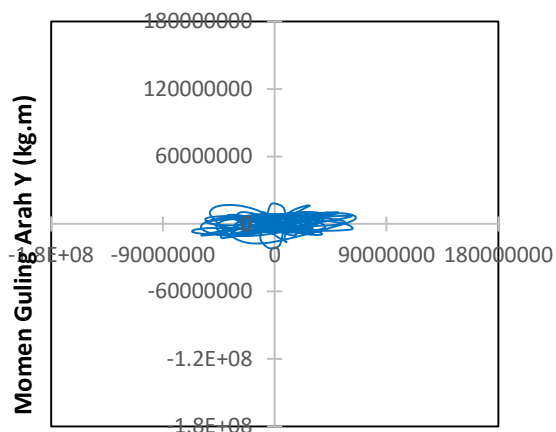
c. Frekuensi Tinggi

Gambar 5.274 Resultan Momen Guling Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan X



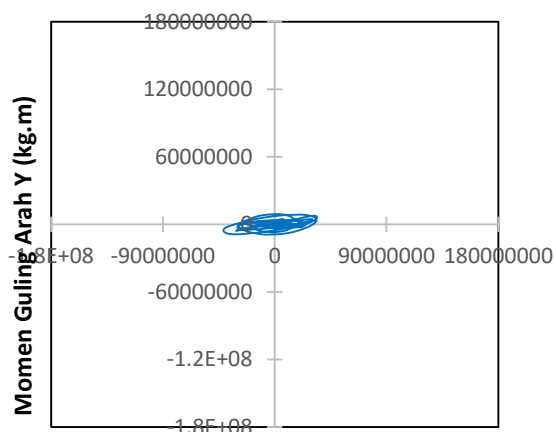
Momen Guling Arah X (kg.m)

a. Frekuensi Rendah



Momen Guling Arah X (kg.m)

b. Frekuensi Sedang



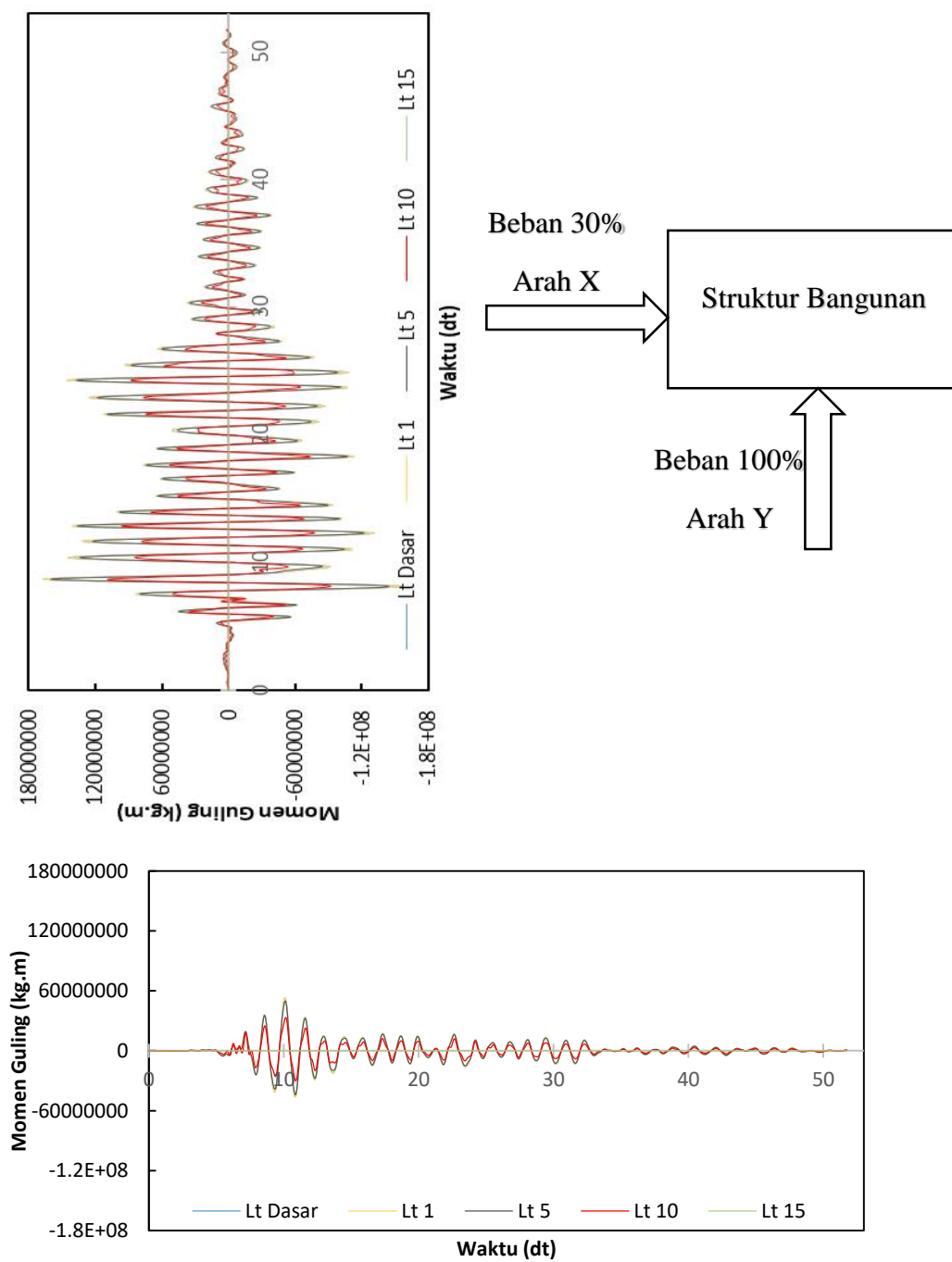
Momen Guling Arah X (kg.m)

c. Frekuensi Tinggi

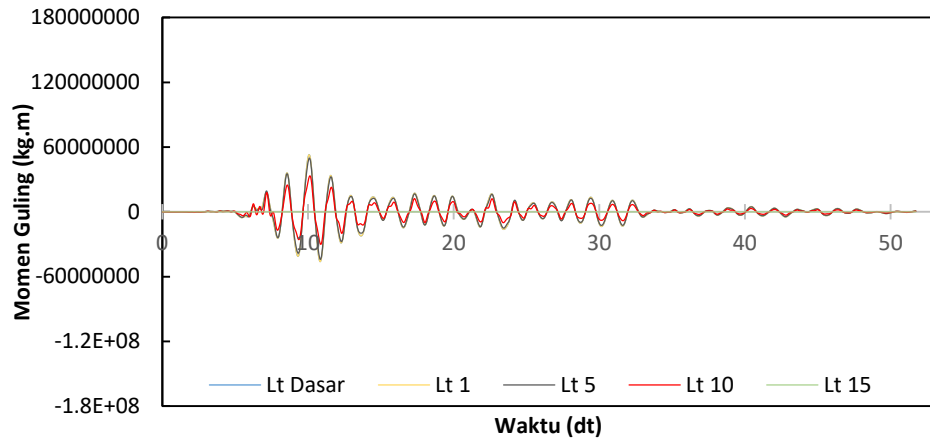
Gambar 5.275 Tampak Atas Momen Guling Setiap Frek Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan X

b. Pembebanan Dominan Y

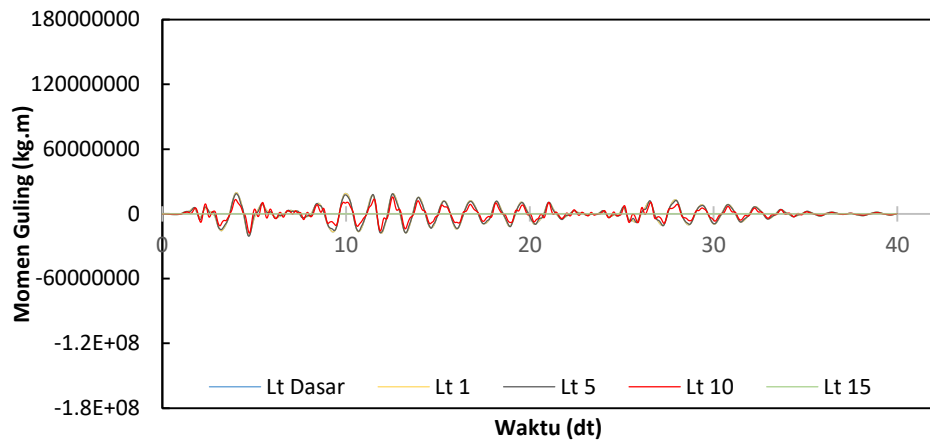
Adapun ilustrasi hasil analisis momen guling pada pembebanan dominan y dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



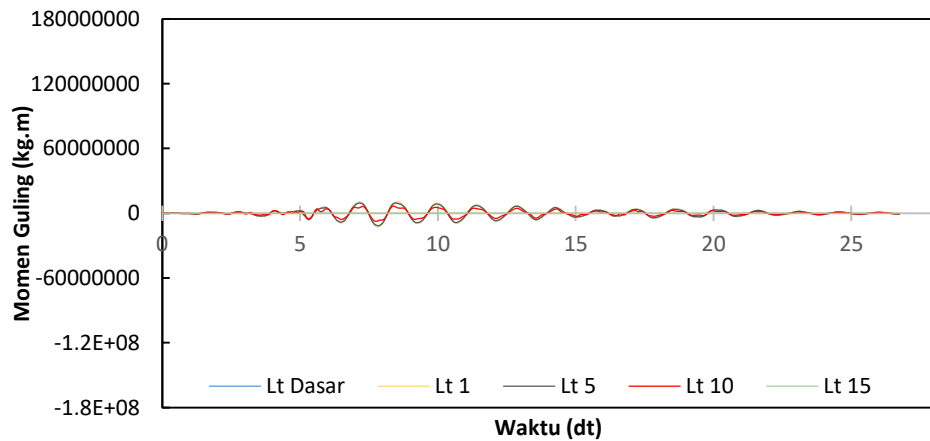
Gambar 5.276 Ilustrasi Momen Guling Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan Y



a. Frekuensi Rendah

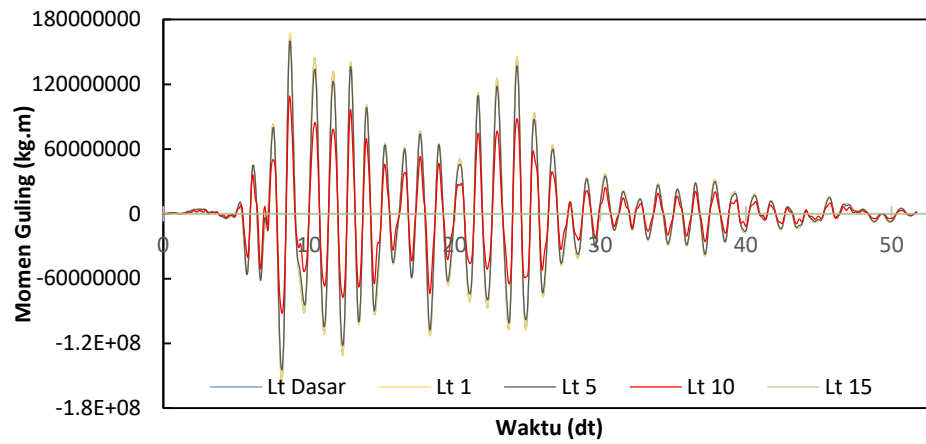


b. Frekuensi Sedang

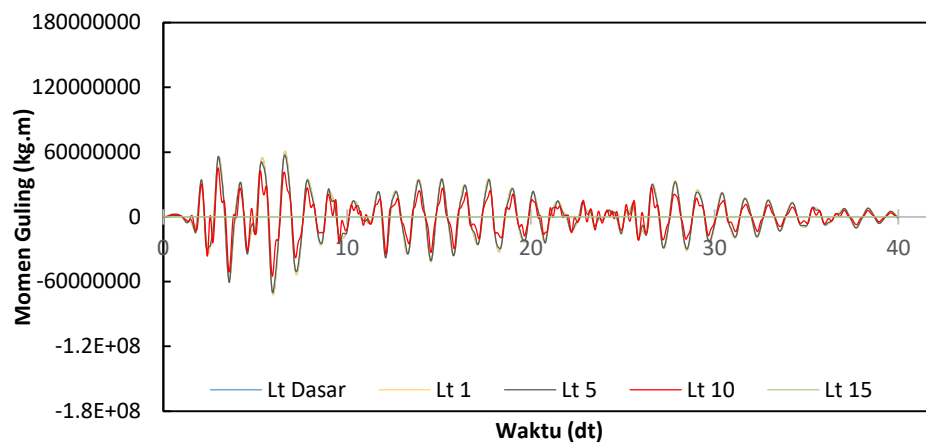


c. Frekuensi Tinggi

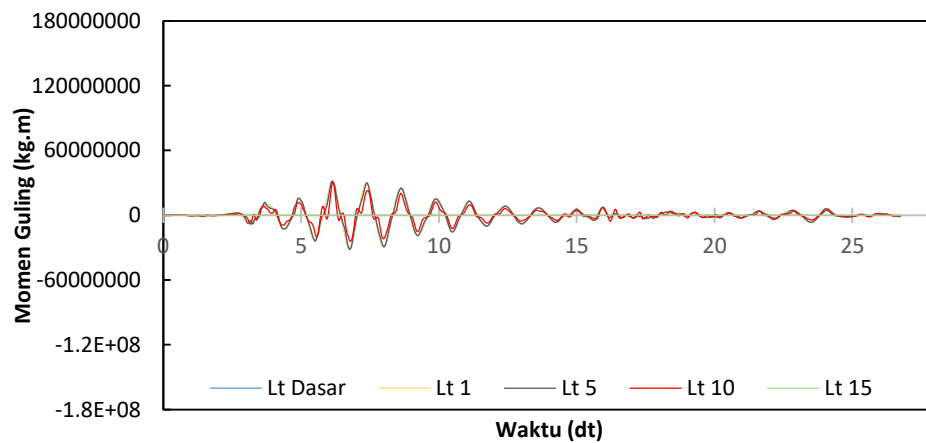
Gambar 5.277 Momen Guling Arah X Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan Y



a. Frekuensi Rendah

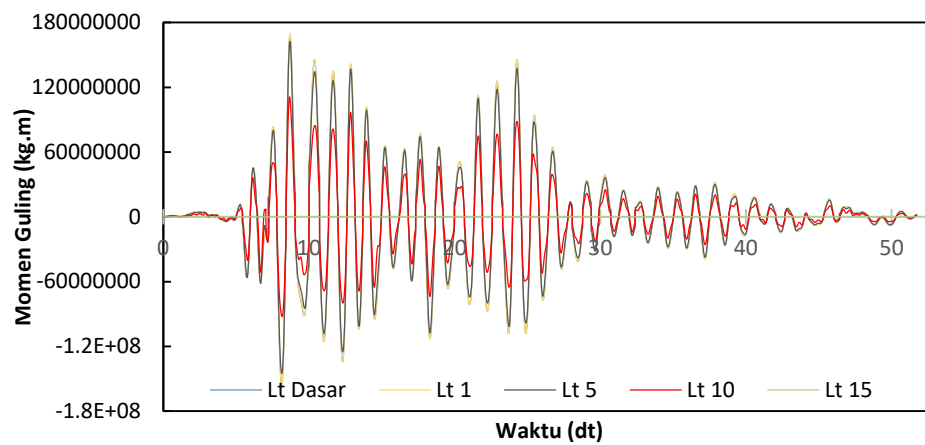


b. Frekuensi Sedang

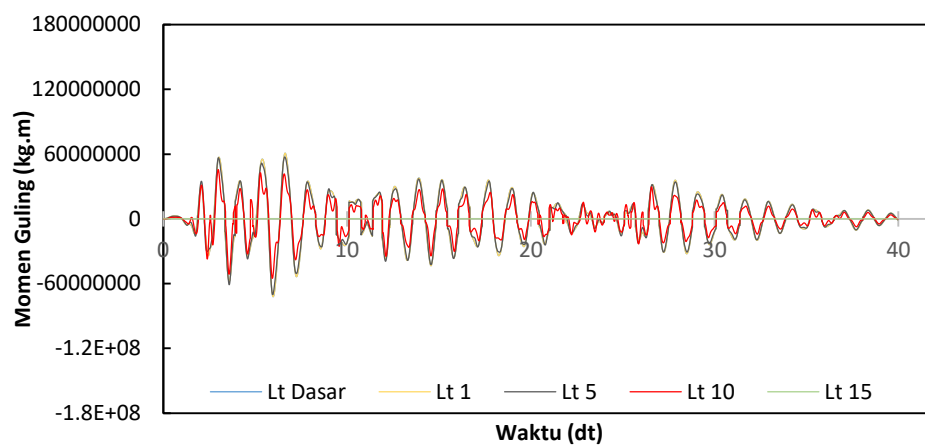


c. Frekuensi Tinggi

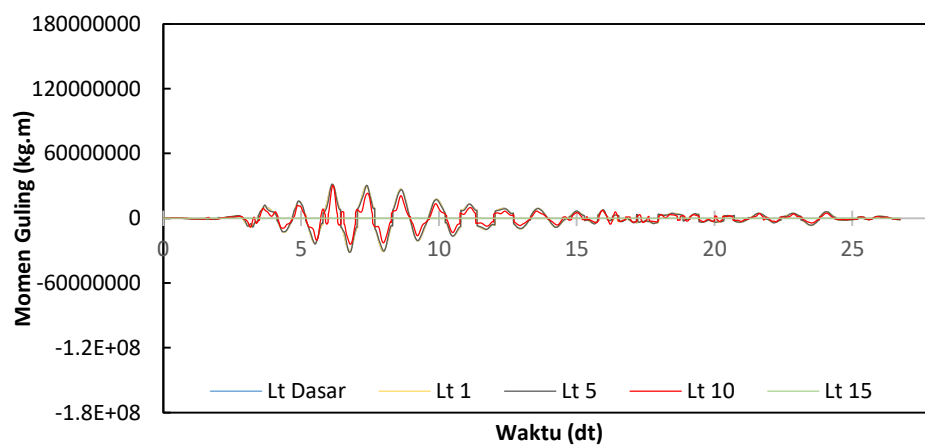
Gambar 5.278 Momen Guling Arah Y Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan Y



a. Frekuensi Rendah

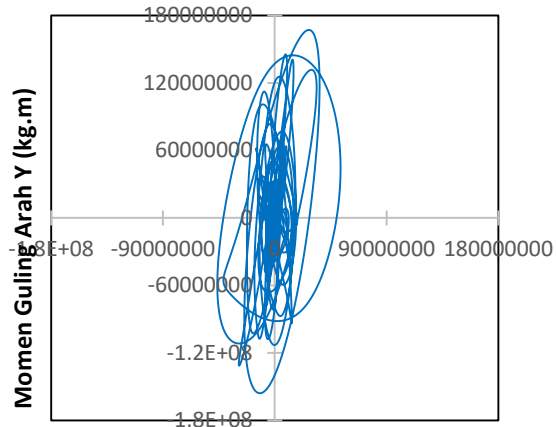


b. Frekuensi Sedang



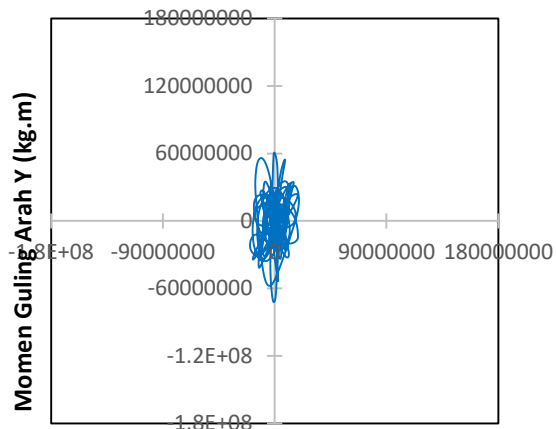
c. Frekuensi Tinggi

Gambar 5.279 Resultan Momen Guling Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan Y



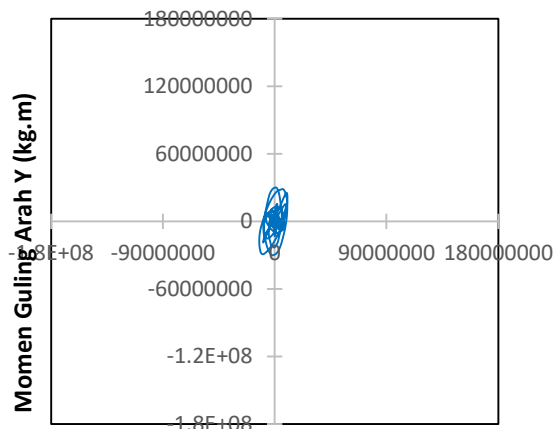
Momen Guling Arah X (kg.m)

a. Frekuensi Rendah



Momen Guling Arah X (kg.m)

b. Frekuensi Sedang



Momen Guling Arah X (kg.m)

c. Frekuensi Tinggi

Gambar 5.280 Tampak Atas Momen Guling Setiap Frek Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan Y

Tabel 5.122 Momen Guling Maks Bang Tanpa Rotasi Frek Rendah

Lantai	Dominan X (kg.m)		Dominan Y (kg.m)	
	Beban 100% X	Beban 30% Y	Beban 30% X	Beban 100% Y
15	0	0	0	0
14	16620100	5039895	4986030	16799650
13	44208842	13351415	13262653	44504715
12	69327133	20791695	20798140	69305651
11	91694889	27258567	27508467	90861889
10	111071837	32717470	33321551	109058235
9	127376288	37234714	38212886	124115715
8	140728622	40918520	42218587	136395066
7	151385854	43927970	45415756	146426566
6	159650416	46298925	47895125	154329752
5	165883799	48050885	49765140	160169616
4	170416740	49210163	51125022	164033876
3	173510476	49865873	52053143	166219578
2	175333876	50137268	52600163	167124228
1	176185678	50171414	52855703	167238047
0	176443272	50120766	52932982	167069220

Tabel 5.123 Momen Guling Maks Bang Tanpa Rotasi Frek Sedang

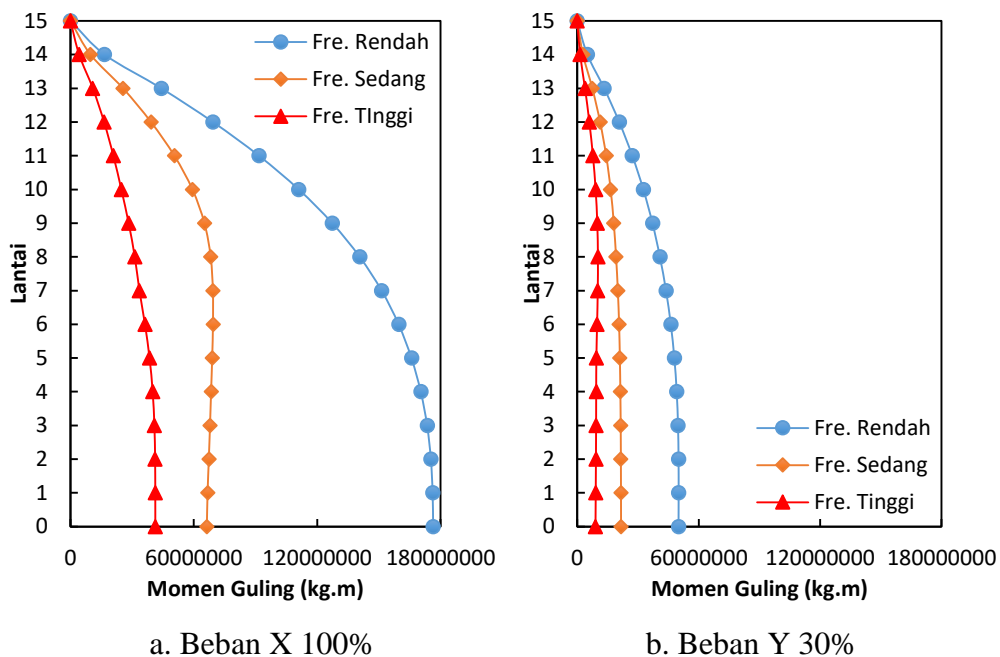
Lantai	Dominan X (kg.m)		Dominan Y (kg.m)	
	Beban 100% X	Beban 30% Y	Beban 30% X	Beban 100% Y
15	0	0	0	0
14	9776948	2868892	2933084	9562974
13	25605629	7476544	7681689	24921814
12	39232675	11310899	11769803	37702998
11	50619497	14310447	15185849	47701489
10	59413166	16509735	17823950	55032450
9	65249794	18065821	19574938	60219405
8	68296153	19188673	20488846	63962245
7	69355202	20058294	20806561	66860980
6	69402766	20674117	20820830	68913723
5	69025019	21057397	20707506	70191323
4	68484316	21296357	20545295	70987855
3	67963279	21469107	20388984	71563691
2	67383665	21557315	20215099	71857717
1	66772431	21615697	20031729	72052324
0	66425122	21640962	19927537	72136538

Tabel 5.124 Momen Guling Maks Bang Tanpa Rotasi Frek Tinggi

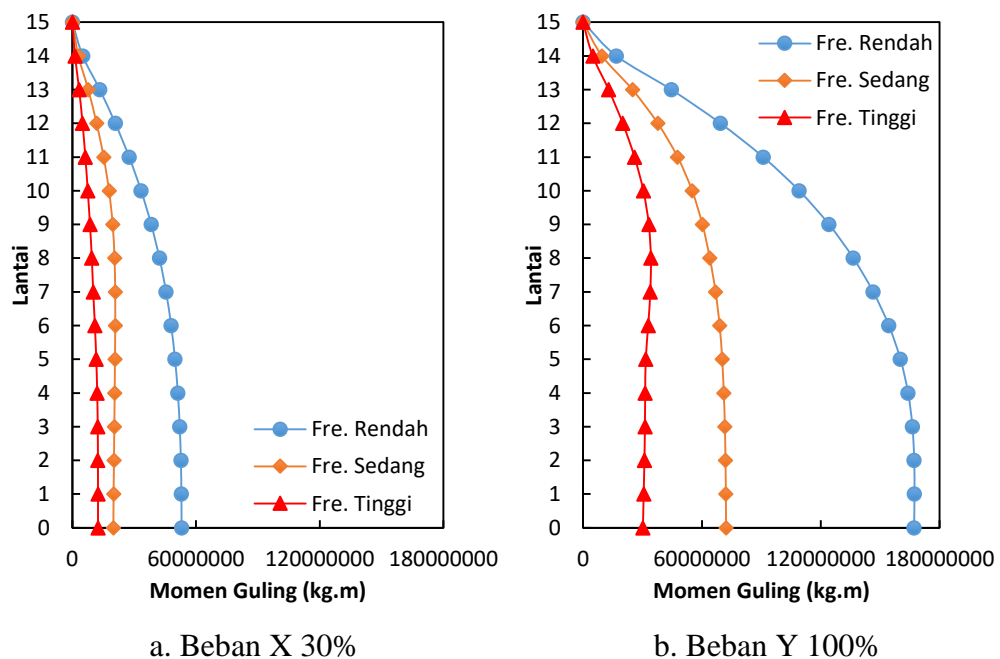
Lantai	Dominan X (kg.m)		Dominan Y (kg.m)	
	Beban 100% X	Beban 30% Y	Beban 30% X	Beban 100% Y
15	0	0	0	0
14	4214219	1468632	1264266	4895440
13	10878598	3880137	3263579	12933789
12	16363200	6012403	4908960	20041342
11	20885152	7790306	6265546	25967687
10	24768607	9128280	7430582	30427601
9	28320783	9950748	8496235	33169159
8	31312665	10268023	9393799	34226744
7	33569622	10179321	10070887	33931069
6	36264715	9859232	10879415	32864108
5	38490236	9493668	11547071	31645560
4	40010322	9409501	12003097	31365004
3	40857328	9367321	12257198	31224404
2	41200856	9289391	12360257	30964636
1	41278212	9177432	12383464	30591441
0	41296022	9063387	12388807	30211292

Tabel 5.125 Resultan Momen Guling Maks Bangunan Tanpa Rotasi

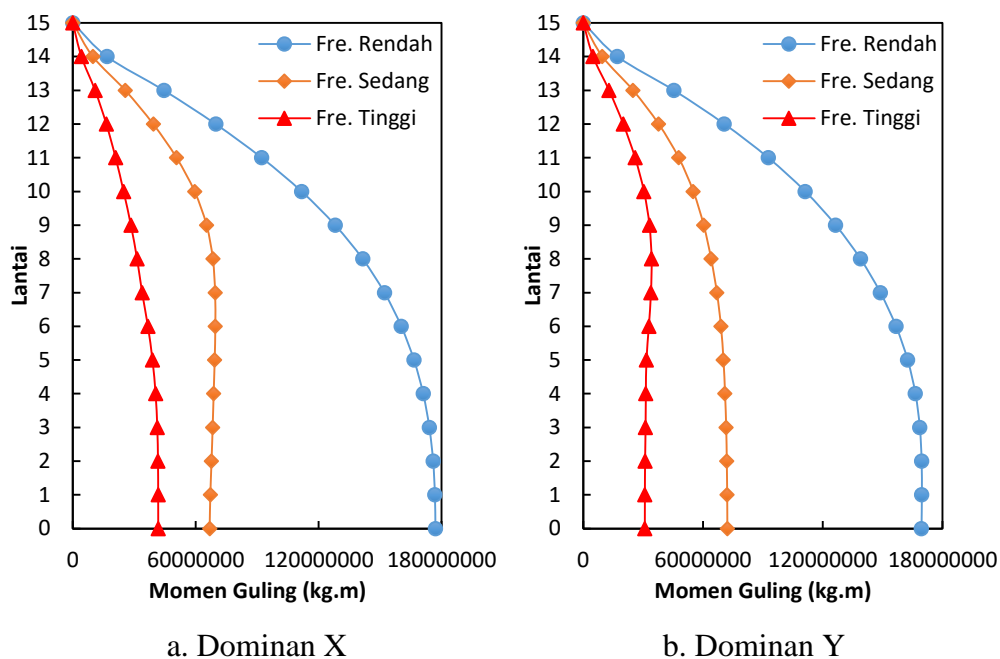
Lantai	Frekuensi Rendah		Frekuensi Sedang		Frekuensi Tinggi	
	Dom-X (kg.m)	Dom-Y (kg.m)	Dom-X (kg.m)	Dom-Y (kg.m)	Dom-X (kg.m)	Dom-Y (kg.m)
15	0	0	0	0	0	0
14	16711576	17131546	9781375	9577428	4217858	4895474
13	44458056	45385293	25611138	24958995	10883396	12934925
12	69720506	70679368	39237055	37763297	16364638	20041342
11	92195271	92663700	50620886	47792266	20885744	25969208
10	111707016	111215148	59416990	55123402	24775316	30431587
9	128080308	126445699	65258580	60303770	28336875	33174404
8	141492564	138852677	68315362	64034473	31346005	34227250
7	152113184	148823483	69415500	66907615	33792924	33931209
6	160325909	156654413	69520916	68942430	36625059	32866677
5	166545654	162497221	69209014	70201809	38848785	31659262
4	171036369	166383198	68701294	70990129	40358895	31365040
3	174033117	168571633	68215587	71563996	41192247	31227608
2	175876257	169472436	67669843	71858436	41529482	30978832
1	176742419	169580569	67083444	72054035	41617924	30882679
0	176995513	169405599	66743532	72138521	41643042	30843860



Gambar 5.281 Momen Guling Maksimum Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan X



Gambar 5.282 Momen Guling Maksimum Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi Pembebanan Dominan Y



Gambar 5.283 Resultan Momen Guling Maksimum Setiap Frekuensi Gempa Pada Struktur Bangunan Tanpa Rotasi

3. Perbandingan Momen Guling Bangunan Dengan Rotasi dan Bangunan Tanpa Rotasi

Perbandingan momen guling struktur bangunan reguler dengan rotasi dan tanpa rotasi dengan beban gempa frekuensi rendah, frekuensi sedang, dan frekuensi tinggi dan pada pembebanan dominan arah x dan dominan arah y disajikan dalam bentuk nilai-nilai maksimum setiap lantai yang dapat dilihat pada Tabel 5.126 s/d Tabel 5.134 dan Gambar 5.284 s/d Gambar 5.292.

Gempa dengan frekuensi rendah (Gempa Duzce) menghasilkan momen guling pada bangunan reguler dengan rotasi lebih besar daripada bangunan reguler tanpa rotasi (*fixed*) baik pada pembebanan dominan x maupun pembebanan dominan y.

Gempa dengan frekuensi sedang (Gempa EL-Centro 1940) menghasilkan respon yang beragam. Beban gempa arah x (EW) pada pembebanan dominan x dan resultan dominan x menghasilkan momen guling pada bangunan reguler tanpa rotasi (*fixed*) lebih besar daripada bangunan reguler dengan rotasi pada lantai 0-6 dan terjadi sebaliknya pada lantai 7-15. Selanjutnya, beban gempa arah

x (EW) pada pembebanan dominan y, beban gempa arah y (NS) pada pembebanan dominan x, dominan y, dan resultan dominan y menghasilkan momen guling pada bangunan reguler tanpa rotasi (*fixed*) lebih besar daripada bangunan reguler dengan rotasi.

Gempa dengan frekuensi tinggi (Gempa Manjil) menghasilkan momen guling pada bangunan reguler tanpa rotasi (*fixed*) lebih besar daripada bangunan reguler dengan rotasi baik pada pembebanan dominan arah x maupun pembebanan dominan arah y.

Momen guling dipengaruhi oleh gaya horizontal tingkat dan gaya horizontal tingkat dipengaruhi langsung oleh kekakuan dan simpangan netto. Tidak ada perbedaan kekakuan struktur atas pada struktur bangunan dengan rotasi dengan struktur bangunan tanpa rotasi (*fixed*) sehingga yang lebih mempengaruhi hasil yang beragam pada momen guling adalah gaya horizontal tingkat dan simpangan netto. Hasil momen guling, gaya horizontal tingkat, dan simpangan netto yang beragam tersebut dipengaruhi oleh sistem *soil-foundation*. Hal ini dikarenakan dengan diperhitungkannya sistem *soil-foundation*, maka frekuensi sudut (ω) dan frekuensi natural (f) struktur bangunan akan semakin rendah nilainya karena kekakuan sistem struktur yang semakin rendah akibat tanah tidak lagi menjepit fondasi dengan sempurna sehingga pada gempa dengan frekuensi rendah (Gempa Duzce), bangunan reguler dengan rotasi akan berasosiasi lebih baik dengan beban gempa daripada bangunan reguler tanpa rotasi (*fixed*) dan terjadi sebaliknya pada gempa dengan frekuensi tinggi (Gempa Manjil), bangunan tanpa rotasi (*fixed*) akan berasosiasi lebih baik dengan beban gempa daripada bangunan dengan rotasi. Gempa dengan frekuensi sedang (Gempa EL-Centro 1940) memiliki hasil yang beragam akibat *A/V ratio* yang terlampau jauh antara beban gempa arah x dan arah y sehingga respon struktur arah x cenderung mengikuti respon struktur akibat gempa dengan frekuensi rendah (Gempa Duzce) dan respon struktur arah y cenderung mengikuti respon struktur akibat gempa dengan frekuensi tinggi (Gempa Manjil). Selanjutnya, gaya horizontal tingkat setiap lantai yang tidak terjadi dalam 1 fase sehingga momen guling setiap lantai juga tidak terjadi dalam 1 fase.

Tabel 5.126 Perbandingan Momen Guling Maks Frek Rendah Dom-X

Lantai	Beban 100% X (kg.m)		Beban 30% Y (kg.m)	
	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi
15	0	0	0	0
14	17574793	16620100	5582701	5039895
13	46674715	44208842	14790764	13351415
12	73031469	69327133	23136066	20791695
11	96344526	91694889	30603582	27258567
10	116373848	111071837	37164040	32717470
9	133028938	127376288	42850381	37234714
8	146466681	140728622	47660037	40918520
7	156984080	151385854	51621713	43927970
6	164924319	159650416	54750643	46298925
5	170816060	165883799	57111491	48050885
4	174974978	170416740	58809245	49210163
3	177709306	173510476	59928846	49865873
2	179357015	175333876	60588963	50137268
1	180156538	176185678	60911319	50171414
0	180403369	176443272	61014237	50120766

Tabel 5.127 Perbandingan Momen Guling Maks Frek Rendah Dom-Y

Lantai	Beban 30% X (kg.m)		Beban 100% Y (kg.m)	
	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi
15	0	0	0	0
14	5272438	4986030	18609003	16799650
13	14002414	13262653	49302547	44504715
12	21909441	20798140	77120219	69305651
11	28903358	27508467	102011941	90861889
10	34912154	33321551	123880135	109058235
9	39908681	38212886	142834604	124115715
8	43940004	42218587	158866790	136395066
7	47095224	45415756	172072375	146426566
6	49477296	47895125	182502142	154329752
5	51244818	49765140	190371637	160169616
4	52492493	51125022	196030817	164033876
3	53312792	52053143	199762819	166219578
2	53807105	52600163	201963209	167124228
1	54046961	52855703	203037731	167238047
0	54121011	52932982	203380791	167069220

Tabel 5.128 Perbandingan Momen Guling Maks Frek Sedang Dom-X

Lantai	Beban 100% X (kg.m)		Beban 30% Y (kg.m)	
	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi
15	0	0	0	0
14	10029053	9776948	2472277	2868892
13	26228449	25605629	6378890	7476544
12	40135168	39232675	9514731	11310899
11	51699331	50619497	11788675	14310447
10	60502724	59413166	13284510	16509735
9	66192265	65249794	14213546	18065821
8	68958966	68296153	14820572	19188673
7	69544955	69355202	15247568	20058294
6	69068692	69402766	15504176	20674117
5	68277904	69025019	15646718	21057397
4	67450605	68484316	15790389	21296357
3	66751417	67963279	15961266	21469107
2	66040414	67383665	16183620	21557315
1	65831156	66772431	16342972	21615697
0	66017301	66425122	16380601	21640962

Tabel 5.129 Perbandingan Momen Guling Maks Frek Sedang Dom-Y

Lantai	Beban 30% X (kg.m)		Beban 100% Y (kg.m)	
	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi
15	0	0	0	0
14	1184284	1264266	4484224	4895440
13	3044732	3263579	11765972	12933789
12	4550605	4908960	18141068	20041342
11	5767456	6265546	23424132	25967687
10	6856775	7430582	27341310	30427601
9	7827126	8496235	29614814	33169159
8	8667576	9393799	30193856	34226744
7	9637454	10070887	29387292	33931069
6	10387219	10879415	27842409	32864108
5	10951985	11547071	26699887	31645560
4	11332104	12003097	26412399	31365004
3	11540749	12257198	25684088	31224404
2	11625345	12360257	25015527	30964636
1	11660337	12383464	24891480	30591441
0	11668784	12388807	25087885	30211292

Tabel 5.130 Perbandingan Momen Guling Maks Frek Tinggi Dom-X

Lantai	Beban 100% X (kg.m)		Beban 30% Y (kg.m)	
	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi
15	0	0	0	0
14	3947614	4214219	1345267	1468632
13	10149108	10878598	3529792	3880137
12	15168683	16363200	5442320	6012403
11	19224852	20885152	7027240	7790306
10	22855917	24768607	8202393	9128280
9	26090419	28320783	8884444	9950748
8	28891921	31312665	9058157	10268023
7	32124847	33569622	8816188	10179321
6	34624062	36264715	8352723	9859232
5	36506615	38490236	8009966	9493668
4	37773681	40010322	7923720	9409501
3	38469164	40857328	7705226	9367321
2	38751151	41200856	7504658	9289391
1	38867792	41278212	7467444	9177432
0	38895948	41296022	7526366	9063387

Tabel 5.131 Perbandingan Momen Guling Maks Frek Tinggi Dom-Y

Lantai	Beban 30% X (kg.m)		Beban 100% Y (kg.m)	
	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi
15	0	0	0	0
14	1184284	1264266	4484224	4895440
13	3044732	3263579	11765972	12933789
12	4550605	4908960	18141068	20041342
11	5767456	6265546	23424132	25967687
10	6856775	7430582	27341310	30427601
9	7827126	8496235	29614814	33169159
8	8667576	9393799	30193856	34226744
7	9637454	10070887	29387292	33931069
6	10387219	10879415	27842409	32864108
5	10951985	11547071	26699887	31645560
4	11332104	12003097	26412399	31365004
3	11540749	12257198	25684088	31224404
2	11625345	12360257	25015527	30964636
1	11660337	12383464	24891480	30591441
0	11668784	12388807	25087885	30211292

Tabel 5.132 Perbandingan Resultan Momen Guling Maks Frek Rendah

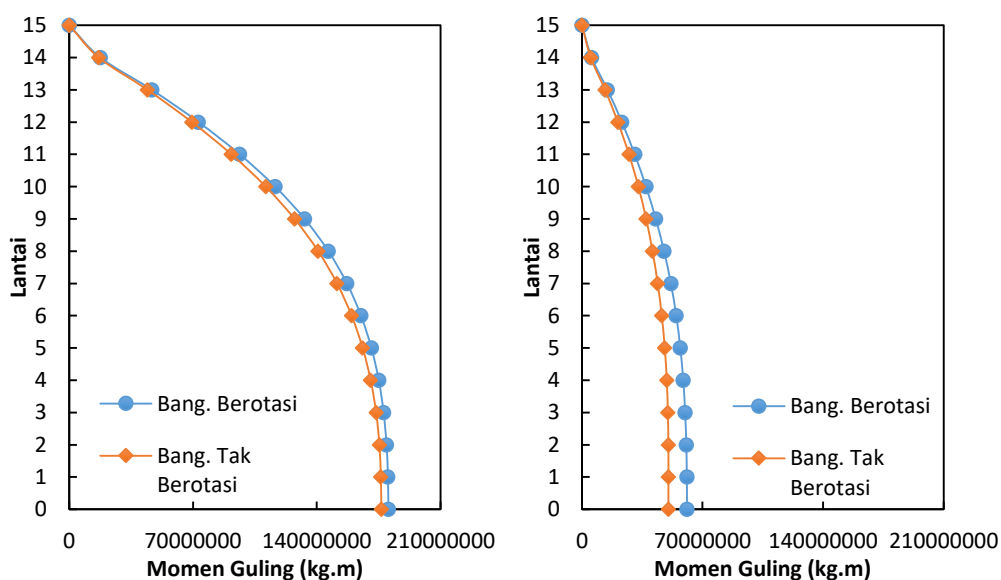
Lantai	Dominan X (kg.m)		Dominan Y (kg.m)	
	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi
15	0	0	0	0
14	17722717	16711576	18610113	17131546
13	47046168	44458056	49304717	45385293
12	73621255	69720506	77120985	70679368
11	97093509	92195271	102013419	92663700
10	117239453	111707016	123902487	111215148
9	133997243	128080308	142875388	126445699
8	147469673	141492564	158984380	138852677
7	157954254	152113184	172231313	148823483
6	165898996	160325909	182725019	156654413
5	171663371	166545654	190714591	162497221
4	175743609	171036369	196413682	166383198
3	178423894	174033117	200174497	168571633
2	180020369	175876257	202392014	169472436
1	180786310	176742419	203473983	169580569
0	181032432	176995513	203818645	169405599

Tabel 5.133 Perbandingan Resultan Momen Guling Maks Frek Sedang

Lantai	Dominan X (kg.m)		Dominan Y (kg.m)	
	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi
15	0	0	0	0
14	10039360	9781375	8272062	9577428
13	26253389	25611138	21345483	24958995
12	40188330	39237055	31844136	37763297
11	51791734	50620886	39463445	47792266
10	60597278	59416990	44482261	55123402
9	66280663	65258580	47602395	60303770
8	69031797	68315362	49605088	64034473
7	69576967	69415500	51015923	66907615
6	69081015	69520916	51818660	68942430
5	68281222	69209014	52248713	70201809
4	67450879	68701294	52693074	70990129
3	66752015	68215587	53224067	71563996
2	66043826	67669843	53948663	71858436
1	65883882	67083444	54477519	72054035
0	66231948	66743532	54605083	72138521

Tabel 5.134 Perbandingan Resultan Momen Guling Maks Frek Tinggi

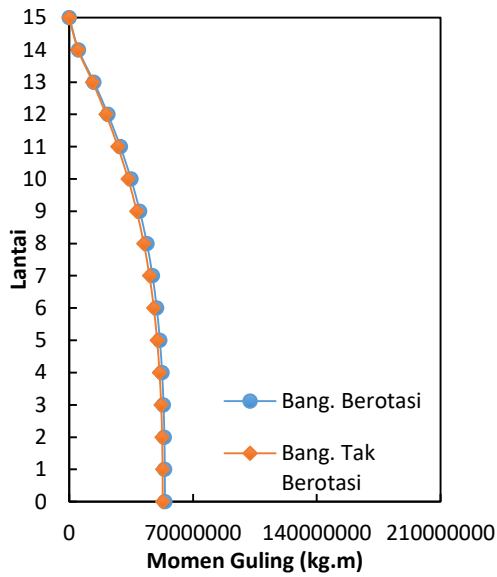
Lantai	Dominan X (kg.m)		Dominan Y (kg.m)	
	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi	Dengan Rotasi	Tanpa Rotasi
15	0	0	0	0
14	3979784	4217858	4485528	4895474
13	10221107	10883396	11765972	12934925
12	15254250	16364638	18142061	20041342
11	19308211	20885744	23427914	25969208
10	22933209	24775316	27341912	30431587
9	26151915	28336875	29615784	33174404
8	28993786	31346005	30194439	34227250
7	32195496	33792924	29387292	33931209
6	34661517	36625059	27843623	32866677
5	36537948	38848785	26737222	31659262
4	37799724	40358895	26430944	31365040
3	38488268	41192247	25689030	31227608
2	38771419	41529482	25015537	30978832
1	38899599	41617924	24947226	30882679
0	38918164	41643042	25122645	30843860



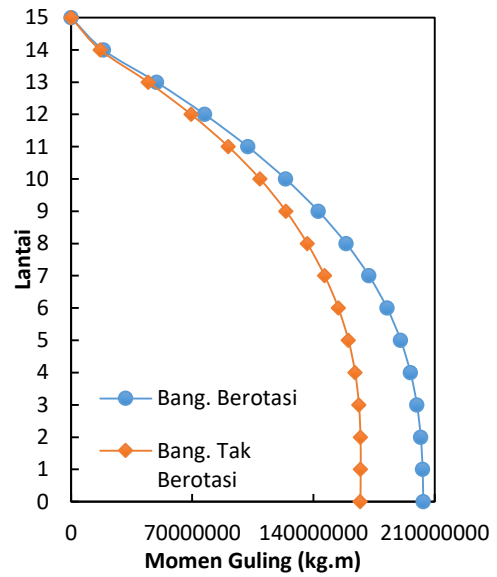
a. Beban X 100%

b. Beban Y 30%

Gambar 5.284 Perbandingan Momen Guling Maks Bangunan Dengan Rotasi dan Tanpa Rotasi Gempa Frek Rendah Pembebanan Dom-X

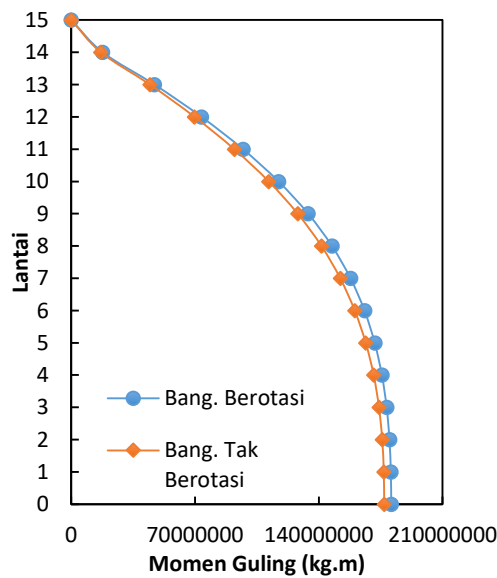


a. Beban X 30%

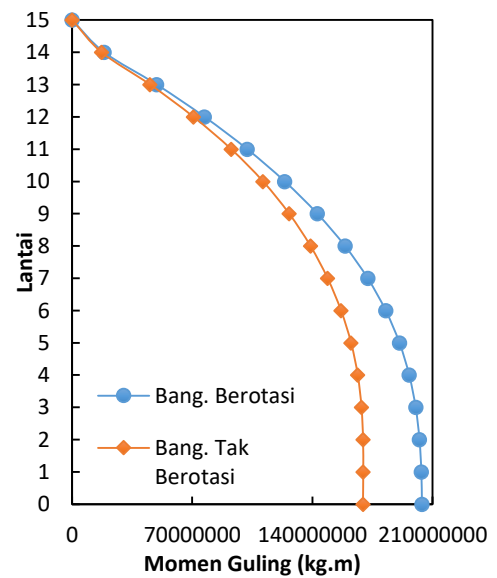


b. Beban Y 100%

Gambar 5.285 Perbandingan Momen Guling Maks Bangunan Dengan Rotasi dan Tanpa Rotasi Gempa Frek Rendah Pembebanan Dom-Y

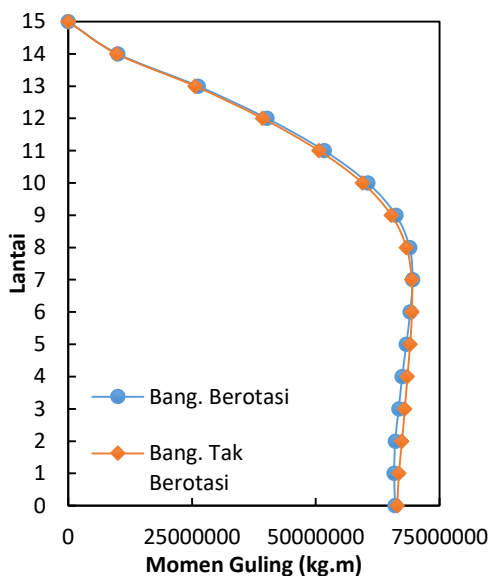


a. Dominan X

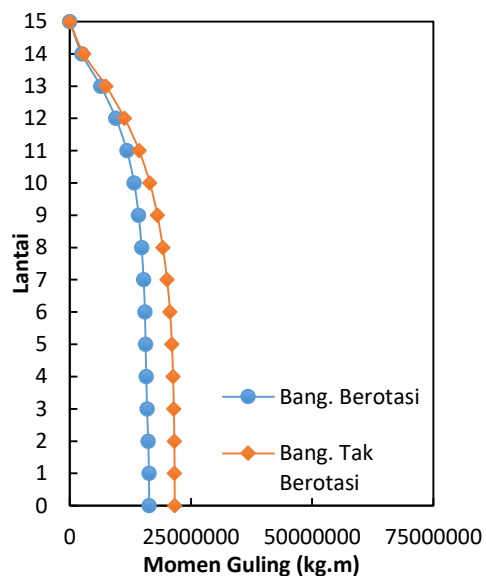


b. Dominan Y

Gambar 5.286 Perbandingan Resultan Momen Guling Maks Bangunan Dengan Rotasi dan Tanpa Rotasi Gempa Frek Rendah

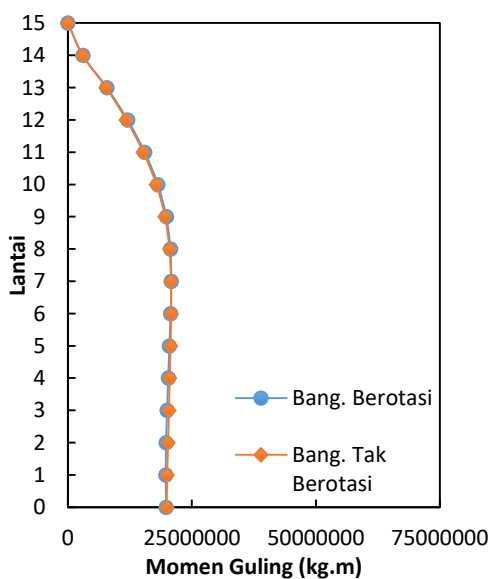


a. Beban X 100%

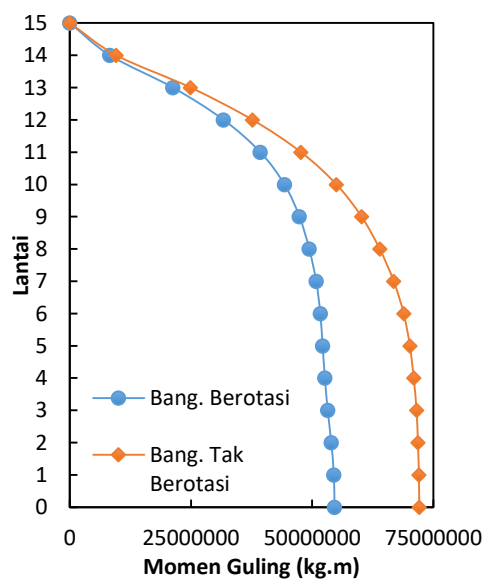


b. Beban Y 30%

Gambar 5.287 Perbandingan Momen Guling Maks Bangunan Dengan Rotasi dan Tanpa Rotasi Gempa Frek Sedang Pembebanan Dom-X

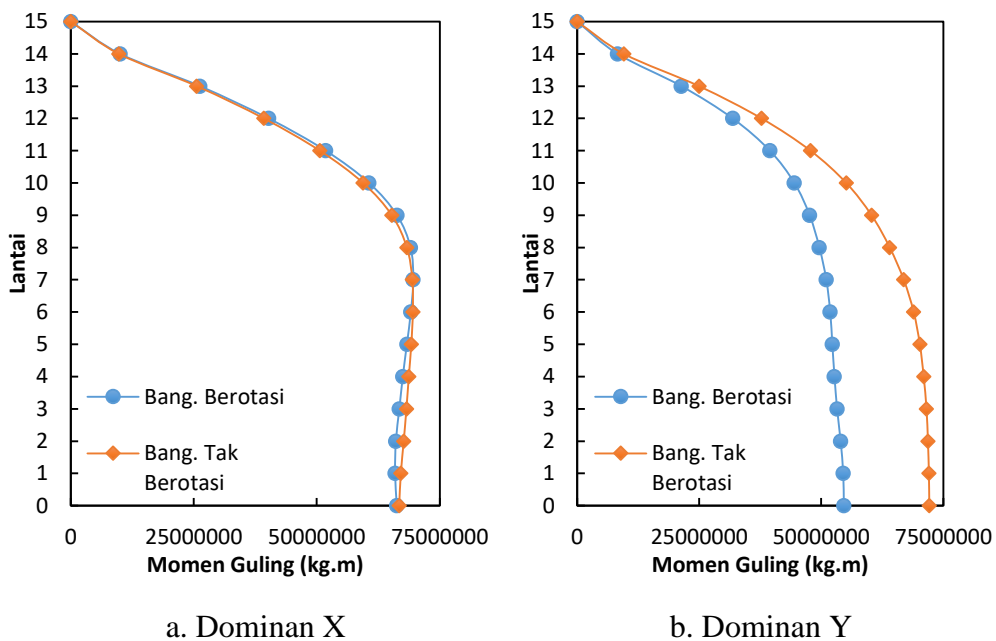


a. Beban X 30%

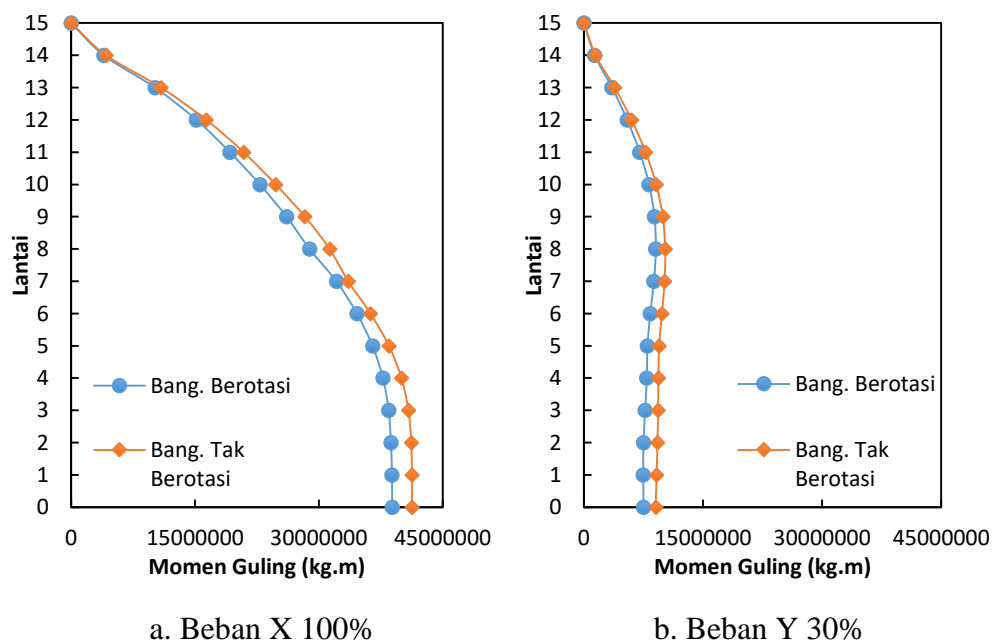


b. Beban Y 100%

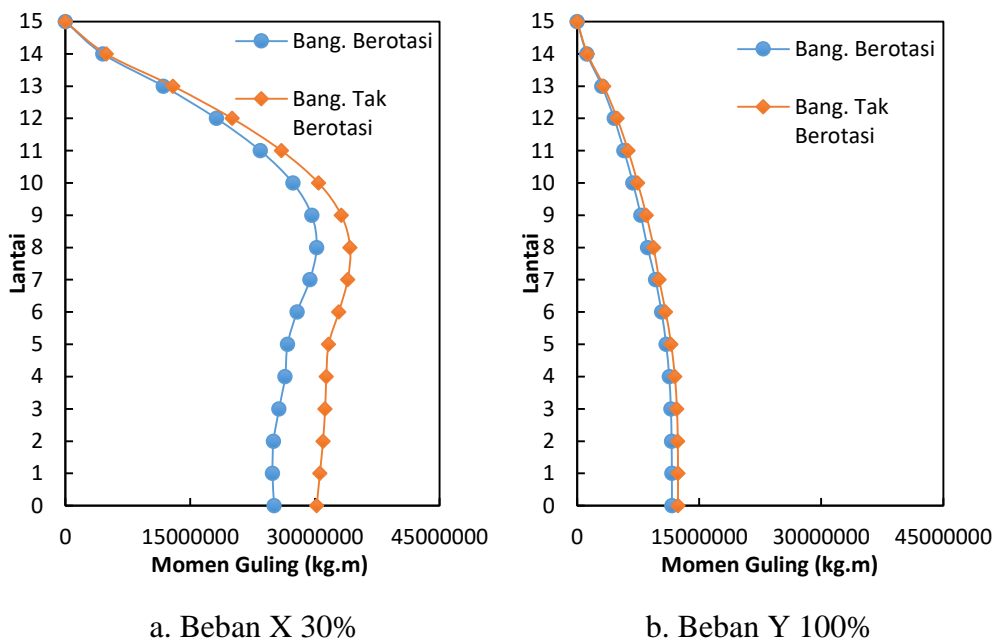
Gambar 5.288 Perbandingan Momen Guling Maks Bangunan Dengan Rotasi dan Tanpa Rotasi Gempa Frek Sedang Pembebanan Dom-Y



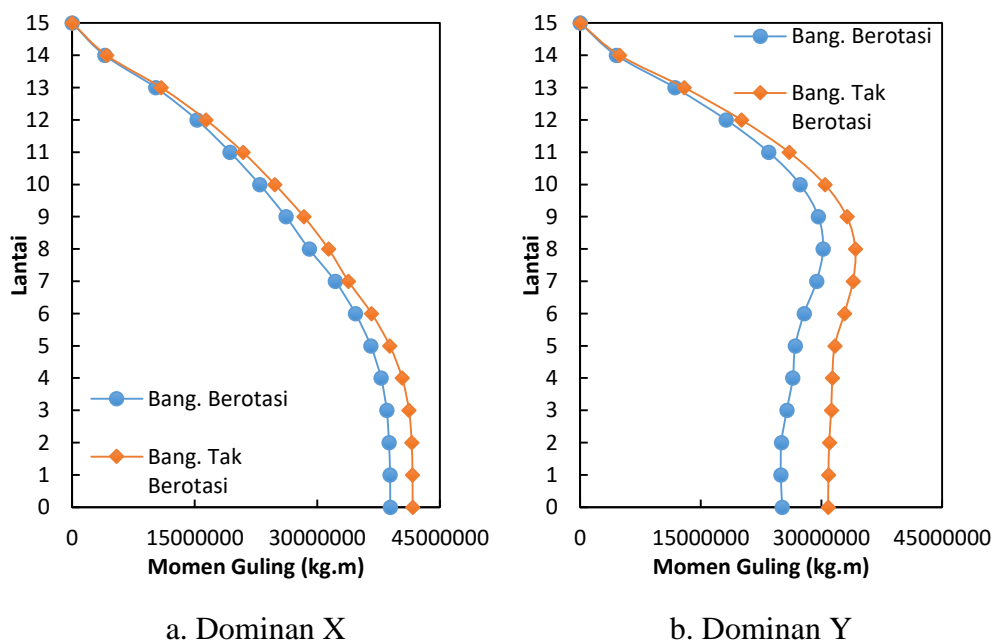
Gambar 5.289 Perbandingan Resultan Momen Guling Maks Bangunan Dengan Rotasi dan Tanpa Rotasi Gempa Frek Sedang



Gambar 5.290 Perbandingan Momen Guling Maks Bangunan Dengan Rotasi dan Tanpa Rotasi Gempa Frek Tinggi Pembebanan Dom-X



Gambar 5.291 Perbandingan Momen Guling Maks Bangunan Dengan Rotasi dan Tanpa Rotasi Gempa Frek Tinggi Pembebanan Dom-Y



Gambar 5.292 Perbandingan Resultan Momen Guling Maks Bangunan Dengan Rotasi dan Tanpa Rotasi Gempa Frek Tinggi