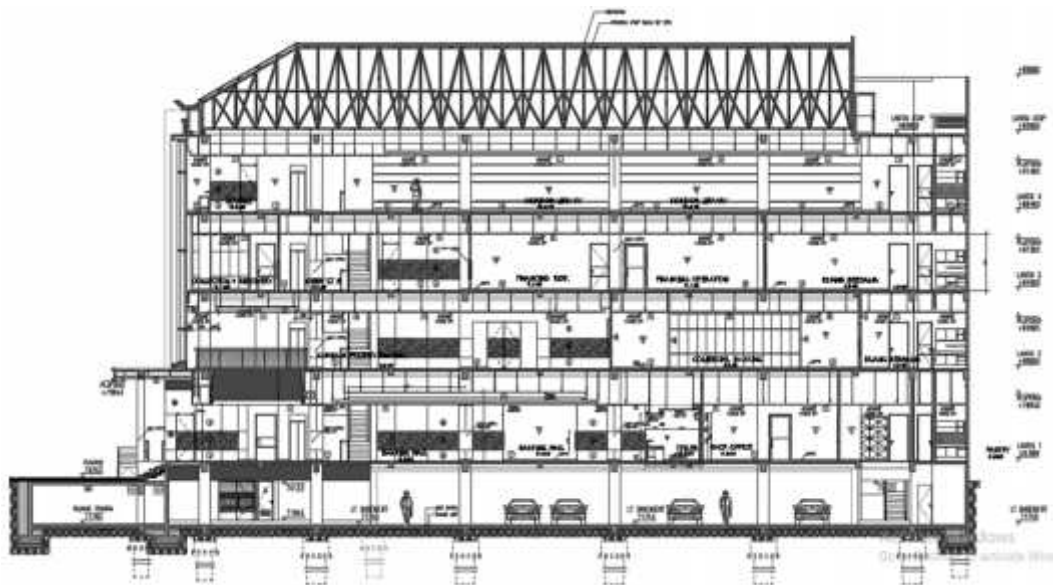


BAB 5 ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Konfigurasi Bangunan

Bangunan gedung Bank Mandiri Syariah Yogyakarta memiliki 5 lantai terdiri dari lantai basement, lantai 1, lantai 2, 3 dan 4 merupakan lantai tipikal serta lantai atap. Tinggi total bangunan tersebut adalah 23,94 meter. Gambar tampak potongan bangunan tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.1 berikut ini.



Gambar 5.1 Tampak Potongan Gedung Bank Mandiri Syariah Yogyakarta
(Sumber: PT. Inti Indah)

Tinggi dan elevasi lantai gedung Bank Mandiri Syariah Yogyakarta dapat dilihat pada Tabel 5.1 berikut ini.

Tabel 5.1 Tinggi dan Elevasi Lantai Gedung Bank Mandiri Syariah Yogyakarta

Nama Lantai	Tinggi Lantai (m)	Elevasi Lantai (m)
Basement	3.40	-3.40
Lantai 1	4.94	0.00
Lantai 2	4.20	4.94
Lantai 3	4.20	9.14

Lanjutan Tabel 5.1 Tinggi dan Elevasi Lantai Gedung Bank Mandiri Syariah Yogyakarta

Nama Lantai	Tinggi Lantai (m)	Elevasi Lantai (m)
Lantai 4	4.20	13.34
Lantai Atap	3.00	17.54
Total	23.94	

(Sumber: Gambar Desain Struktur Bank Mandiri Syariah Yogyakarta)

5.2 Klasifikasi Ketidakberaturan Bangunan Gedung

Klasifikasi ketidakberaturan bangunan gedung dapat ditemukan pada standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung SNI 03-1726-2002 pasal 4.2.1 dan 4.2.2 dan standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung SNI 03-1726-2012 pasal 7.3.2. Struktur bangunan gedung yang mempunyai satu atau lebih tipe ketidakberaturan seperti yang terdaftar pada pasal tersebut dianggap memiliki ketidakberaturan struktur.

5.2.1 Ketidakberaturan Bangunan Berdasarkan SNI 03-1726-2002

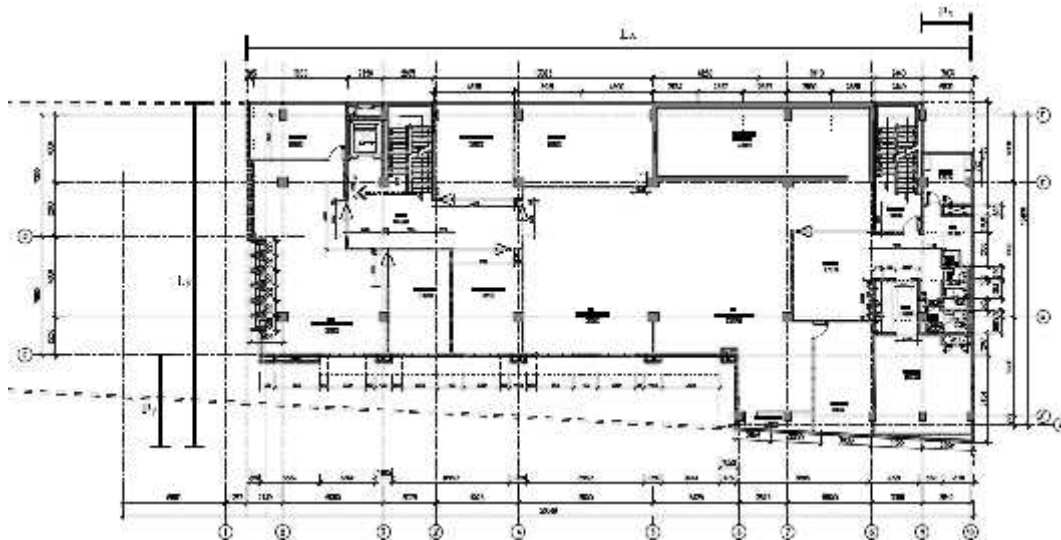
Klasifikasi ketidakberaturan struktur bangunan ditinjau secara menyeluruh baik vertikal maupun horizontal. Beberapa klasifikasi ketidakberaturan struktur bangunan pada SNI 03-1726-2002 seperti berikut ini.

1. Tinggi struktur gedung

Struktur gedung ditetapkan sebagai struktur gedung beraturan, apabila tinggi struktur gedung dari taraf penjepit lateral tidak lebih dari 10 tingkat atau 40 m. Sedangkan gedung bank Mandiri Syariah Yogyakarta hanya memiliki 5 tingkat dengan tinggi 23,94 m. Oleh karena itu, gedung bank Mandiri Syariah Yogyakarta yang dijadikan objek pada penelitian ini masih memenuhi ketentuan tersebut.

2. Tonjolan denah struktur gedung

Pada umumnya, denah struktur gedung adalah persegi panjang tanpa tonjolan. Jika ada tonjolan, panjang tonjolan tersebut tidak lebih dari 25% dari ukuran terbesar denah. Ilustrasi untuk mempermudah perhitungan dapat dilihat pada Gambar 5.2 berikut ini.



Gambar 5.2 Ilustrasi Ketidakberaturan Denah Struktur Gedung
(Sumber: PT. Inti Indah)

Tonjolan pada gedung bank Mandiri Syariah hanya arah sumbu Y. Perhitungan untuk mengetahui ketidakberaturan denah struktur gedung sebagai berikut ini.

Arah Sumbu Y

$$P_y < 25\%L_y$$

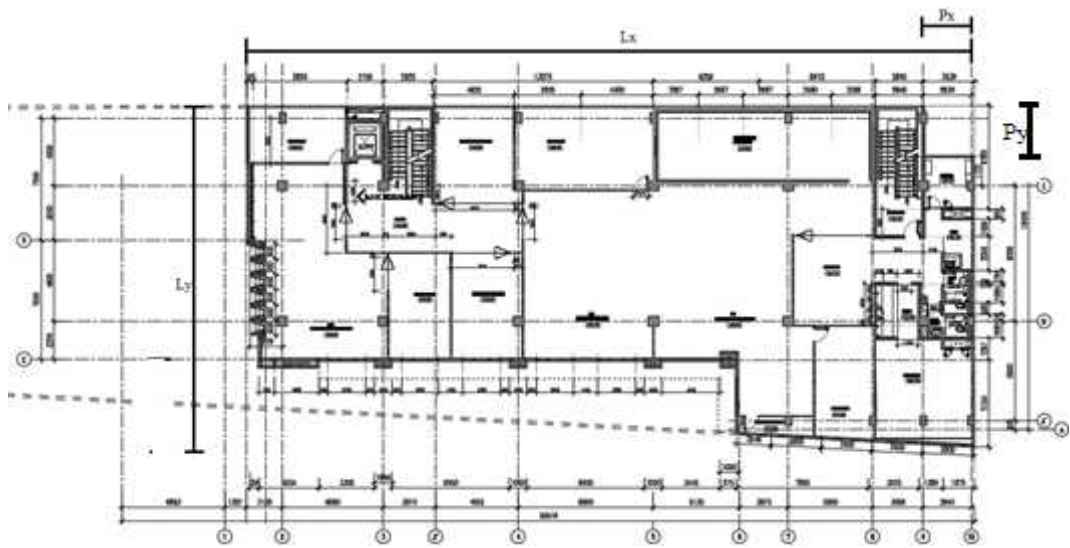
$$3,6 \text{ m} < 0,25 \times 19,15 \text{ m}$$

$$3,6 \text{ m} < 4,79 \text{ m}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, tonjolan tidak lebih dari 25% ukuran terbesar denah struktur gedung dalam arah tonjolan. Sehingga gedung bank Mandiri Syariah Yogyakarta masih memenuhi ketentuan gedung beraturan.

3. Coakan sudut denah struktur gedung

Coakan sudut denah struktur gedung adalah hilangnya sebagian kecil denah struktur yang terletak pada sudut/pojok gedung baik dalam bentuk persegi maupun bentuk lainnya. Ilustrasi untuk mempermudah pengertian coakan sudut gedung dapat dilihat pada Gambar 5.3 berikut ini.



Gambar 5.3 Ilustrasi Coakan Sudut Denah Struktur

Struktur gedung ditetapkan sebagai struktur gedung beraturan, apabila coakan sudut tidak lebih dari 15% ukuran terbesar denah struktur dalam arah sisi coakan tersebut. Perhitungan untuk mengetahui klasifikasi ketidakberaturan coakan sudut seperti di bawah ini.

- a. Arah sumbu X

$$P_x < 15\% L_x$$

$$2,84 < 0,15 \times 44,26$$

$$2,84 \text{ m} < 6,64 \text{ m}$$

Setelah dilakukan perhitungan coakan sudut denah struktur arah sumbu X, gedung bank Mandiri Syariah Yogyakarta ditetapkan sebagai gedung beraturan.

- b. Arah sumbu Y

$$P_y < 15\% L_y$$

$$4 < 0,15 \times 19,15$$

$$4 \text{ m} > 2,87 \text{ m}$$

Berdasarkan perhitungan coakan sudut di atas, gedung bank Mandiri Syariah Yogyakarta ditetapkan sebagai gedung tidak beraturan.

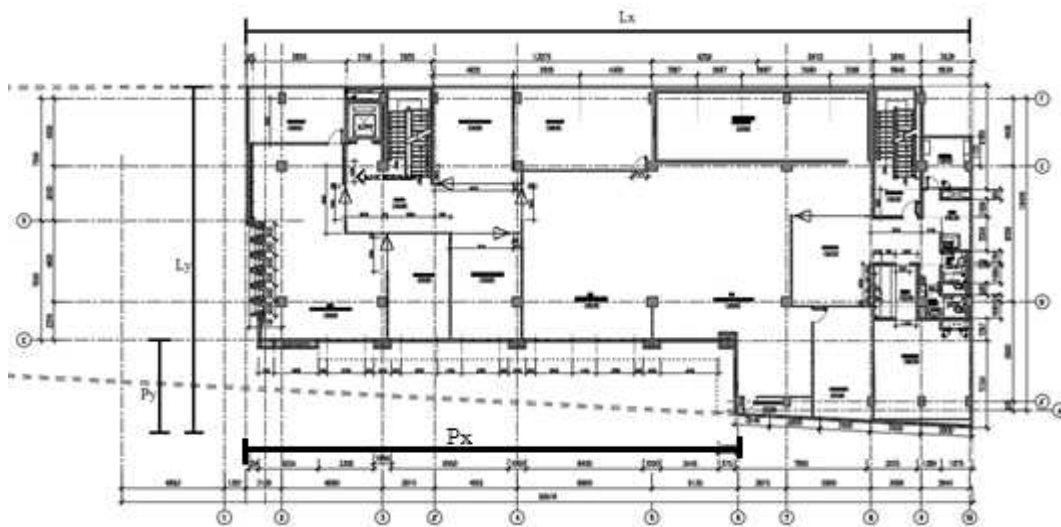
Dari hasil analisis ketidakberaturan menurut SNI 03-1726-2002, disimpulkan bahwa gedung bank Mandiri Syariah ditetapkan sebagai gedung tidak beraturan.

5.2.2 Ketidakberaturan Bangunan Berdasarkan SNI 03-1726-2012

Klasifikasi ketidakberaturan struktur bangunan menurut SNI 03-1726-2012 ditinjau secara vertikal dan horizontal. Klasifikasi ketidakberaturan struktur bangunan secara horizontal pada penelitian ini sebagai berikut ini.

1. Sudut Dalam

Struktur gedung ditetapkan sebagai struktur beraturan apabila kedua proyeksi denah struktur dari sudut dalam kurang dari 15% dimensi denah struktur dalam arah yang ditentukan. Sudut dalam struktur merupakan tonjolan dari denah ukuran terbesar struktur. Ilustrasi untuk mempermudah perhitungan dapat dilihat pada Gambar 5.4 berikut ini.



Gambar 5.4 Ilustrasi Ketidakberaturan Denah Struktur Gedung
(Sumber: PT. Inti Indah)

Perhitungan untuk mengetahui ketidakberaturan sudut dalam struktur gedung sebagai berikut ini.

a. Arah Sumbu Y

$$P_y < 15\%L_y$$

$$3,6 \text{ m} < 0,15 \times 19,15 \text{ m}$$

$$3,6 \text{ m} > 2,87 \text{ m}$$

Berdasarkan perhitungan sudut dalam arah sumbu Y, gedung bank Mandiri Syariah Yogyakarta ditetapkan sebagai gedung tidak beraturan.

Ketidakteraturan horizontal untuk torsi akan diuraikan pada subbab 5.9. Adapun klasifikasi ketidakberaturan struktur bangunan secara vertikal antara lain, seperti di bawah ini.

1. Geometri Vertikal

Ketidakteraturan geometri vertikal dapat di ketahui dengan adanya dinding geser pada suatu gedung. Struktur gedung ditetapkan sebagai gedung beraturan, apabila dimensi horizontal sistem penahan gaya gempa (dinding geser) di semua tingkat kurang dari 130% dimensi horizontal sistem penahan gaya gempa di dekatnya. Sedangkan gedung bank Mandiri Syariah tidak menggunakan dinding geser yang menerus hingga lantai teratas. Oleh karena itu, gedung bank Mandiri Syariah Yogyakarta ditetapkan sebagai gedung beraturan.

Berdasarkan hasil analisis ketidakberaturan menurut SNI 03-1726-2012 disimpulkan bahwa gedung bank Mandiri Syariah Yogyakarta ditetapkan sebagai gedung tidak beraturan.

5.3 Spesifikasi Material

Mutu material yang digunakan pada struktur bangunan gedung Bank Mandiri Syariah Yogyakarta seperti Tabel 5.6 berikut ini.

Tabel 5.2 Spesifikasi Mutu Material

Variabel	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tarik (MPa)	Modulus Elastisitas (MPa)
Beton Struktural	24.9		23500
Baja Tulangan BJ 40 Ø > 12 mm	400	400	200000
Baja Tulangan BJ 24 Ø 12 mm	240	240	200000
Baja Ringan		550	200000

(Sumber: PT. Inti Indah)

5.4 Beban Gravitasi

Beban gravitasi adalah beban yang berasal dari beban mati dan beban hidup struktur yang disesuaikan dengan fungsi bangunan. Perhitungan beban mati dan beban hidup struktur akan dijelaskan sebagai berikut ini.

1. Beban Mati

Elemen – elemen struktur bangunan gedung yang termasuk dalam beban mati adalah pelat lantai, pelat atap, dinding dan rangka atap baja ringan. Ketentuan beban mati pada gedung diambil dari peraturan lama, yaitu PPIUG 1983. Perhitungan beban mati akan dijelaskan sebagai berikut ini.

a. Pelat lantai

Keramik	= 2400 kg/m ³ x 0,01 m	= 24 kg/m ²
Spesi	= 2100 kg/m ³ x 0,02 m	= 42 kg/m ²
Pasir	= 1800 kg/m ³ x 0,05 m	= 90 kg/m ²
Plafon		= 11 kg/m ²
Instalasi Listrik dan Plumbing		= 20 kg/m ²
Total		= 187 kg/m ²

b. Pelat atap

Lapisan Kedap Air	= 2500 kg/m ³ x 0,01 m	= 25 kg/m ²
Plafon		= 11 kg/m ²
Instalasi Listrik dan Plumbing		= 20 kg/m ²
Total		= 56 kg/m ²

c. Dinding

1) Dinding penuh :

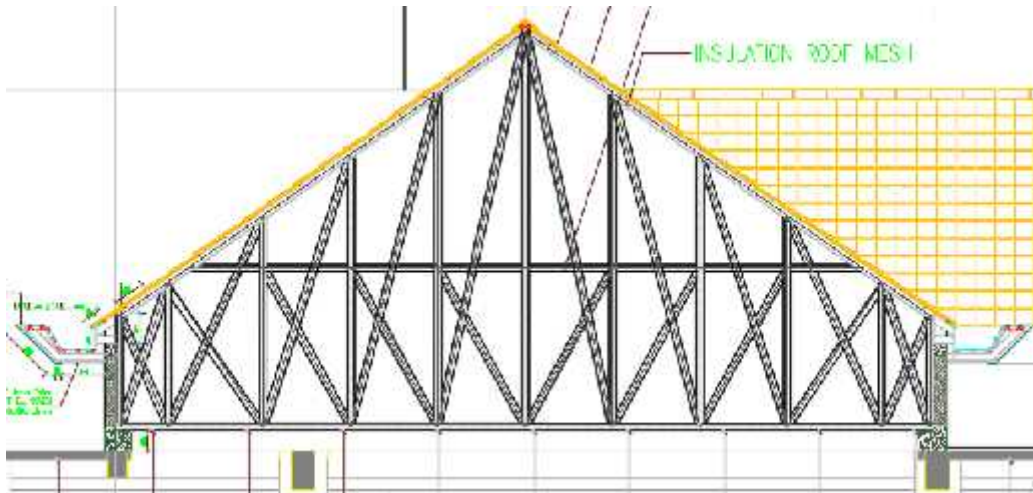
Lantai 1	= 300 kg/m ² x 4,44 m x 1	= 1332 kg/m
Lantai 2 - 4	= 300 kg/m ² x 3,7 m x 1	= 1110 kg/m
Lantai Atap	= 300 kg/m ² x 2,85 m x 1	= 855 kg/m

2) Dinding berlubang

Lantai 1	= 300 kg/m ² x 4,44 m x 0,6	= 799,2 kg/m
Lantai 2 - 4	= 300 kg/m ² x 3,7 m x 0,6	= 666 kg/m
Lantai Atap	= 300 kg/m ² x 2,85 m x 0,6	= 405 kg/m

d. Rangka atap

Penampang melintang kuda – kuda dapat dilihat dilihat pada Gambar 5.5 berikut ini.



Gambar 5.5 Penampang Melintang Kuda – Kuda Rangka Baja Ringan
(Sumber: PT. Inti Indah)

1) Data yang diketahui.

Bentang kuda – kuda = 12,74 m

Berat Genteng dan Reng = 10 kg/m²

Beban Plafond = 11 kg/m²

Profil Kuda – Kuda = C 75

Jarak antar Gording = 1,34 m

Jarak antar Kuda – Kuda = 1,1 m

2) Beban Mati

Genteng = (10 kg/m² x 1,1 m x 1,34 m) = 14,74 kg

Gording = 1,18 kg/m x 1,1 m = 1,29 kg

Kuda – Kuda = 7850 kg/m³ x 112,53 m x 0,00012 m² = 105,34 kg

Total = 133,22 kg

3) Beban Hidup

Total = 97,89 kg/m² x 1,1 m x 1,34 m = 144,29 kg

4) Beban Angin

Sudut Kuda – Kuda () = 35°

Tekan Tiup Angin (qw) = 25 kg/m²

Koefisien Angin Tekan = 0,3

Koefisien Angin Hisap = 0,4

Tabel 5.3 Koefisien Angin

No.	Jenis Gedung / Struktur	Posisi Tinjauan	Koefisien
1.	Gedung tertutup : a. Dinding vertikal	- di pihak angin	+ 0,9
		- di belakang angin	- 0,4
		- sejajar arah angin	- 0,4
	b. Atap segitiga	- di pihak angin ($\alpha < 65^\circ$)	(0,02. α - 0,4)
		- di pihak angin ($65^\circ < \alpha < 90^\circ$)	+ 0,9
		- di belakang angin (semua sudut)	- 0,4
	c. Atap segitiga majemuk	- bidang atap di pihak angin ($\alpha < 65^\circ$)	(0,02. α - 0,4)
		- bidang atap di pihak angin ($65^\circ < \alpha < 90^\circ$)	+ 0,9
		- bidang atap di belakang angin (semua sudut)	- 0,4
		- bidang atap vertikal di belakang angin (semua sudut)	+ 0,4
2.	Gedung terbuka sebelah	Sama dengan No.1, dengan tambahan : - bid. dinding dalam di pihak angin - bid. dinding dalam di belakang angin	+ 0,6 - 0,3

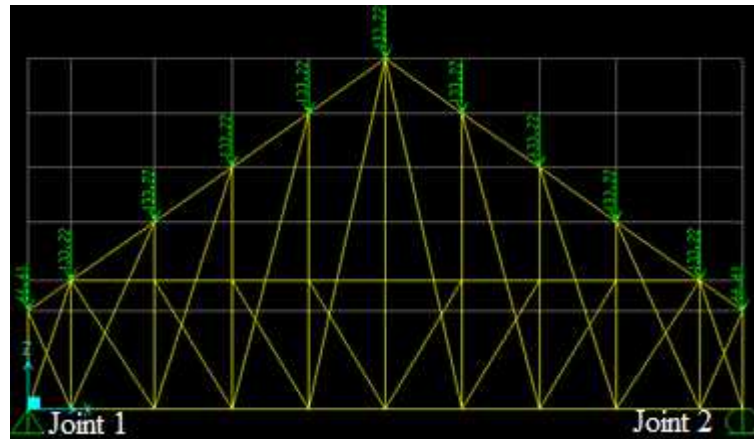
Keterangan : = sudut atap, + = tekan, - = hisap

(Sumber: Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung 1983, Pasal 4.3)

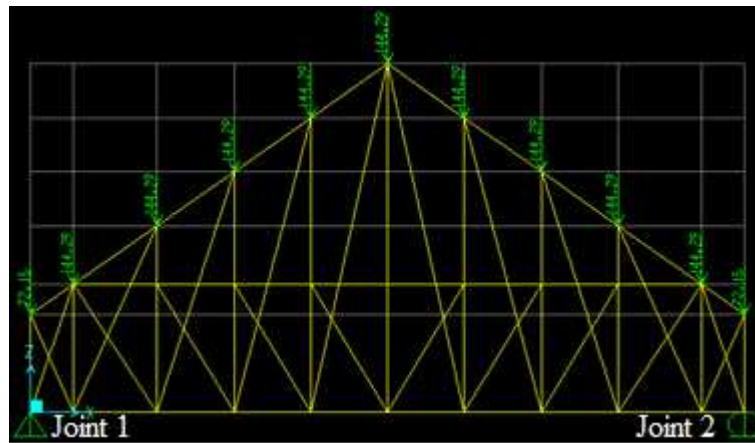
$$\begin{aligned} \text{Angin Tekan (W}_1) &= L_{\text{antar gording}} \times B_{\text{antar kuda-kuda}} \times \text{Koef}_{\text{tekan}} \times q_w \\ &= 1,34 \text{ m} \times 1,1 \text{ m} \times 0,3 \times 25 \text{ kg/m}^2 \\ &= 11,06 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Angin Hisap (W}_2) &= L_{\text{antar gording}} \times B_{\text{antar kuda-kuda}} \times \text{Koef}_{\text{hisap}} \times q_w \\ &= 1,34 \text{ m} \times 1,1 \text{ m} \times 0,4 \times 25 \text{ kg/m}^2 \\ &= 14,74 \text{ kg} \end{aligned}$$

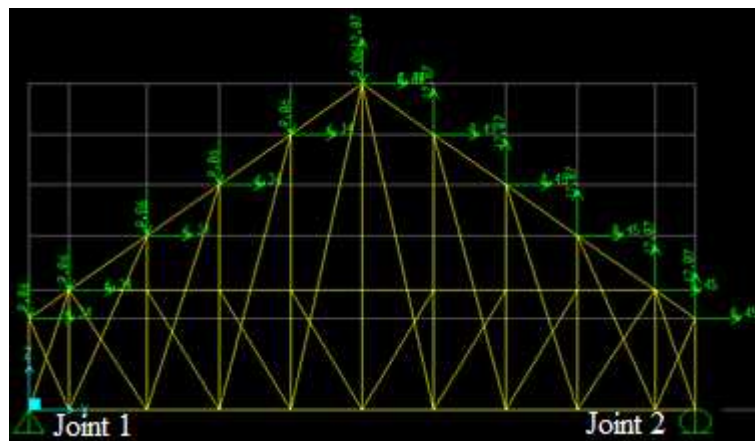
Reaksi struktur atap terhadap beban – beban tersebut dapat diketahui menggunakan software SAP 2000 v16. Letak beban – beban tersebut dapat dilihat pada gambar 5.6, 5.7, 5.8 berikut ini.



Gambar 5.6 Beban Mati Pada Struktur Atap



Gambar 5.7 Beban Hidup Pada Struktur Atap



Gambar 5.8 Beban Angin Pada Struktur Atap

Hasil reaksi struktur atap terhadap beban – beban tersebut terdapat pada Tabel 5.4 dibawah ini.

Tabel 5.4 Reaksi Struktur Atap Terhadap Beban Mati, Hidup dan Angin

Joint	Vertikal (kN)	Horizontal (kN)
1	19,28	0,7
2	19,28	

2. Beban Hidup

Perhitungan beban hidup untuk penelitian ini berdasarkan SNI 1727 tahun 2013. Menurut SNI 1727 tahun 2013 besarnya beban hidup pada pelat berbeda – beda sesuai dengan fungsi ruangan. Besarnya beban hidup untuk masing – masing ruangan akan dijabarkan pada Tabel 5.5 berikut ini.

Tabel 5.5 Beban Hidup pada Pelat Lantai

Ruangan	A (m^2)	Kll	Perlu Reduksi	LO (k / m^2)	L (k)
Loading Area	28.32	1	Tidak Perlu	4.79	4.79
Server	6.47	1	Tidak Perlu	4.79	4.79
Fotocopy	5.85	1	Tidak Perlu	4.79	4.79
Bersama	18.24	1	Tidak Perlu	4.79	4.79
Pantry	5.95	1	Tidak Perlu	4.79	4.79
Dealing & Operating Service	27.25	1	Tidak Perlu	2.40	2.40
Teller	21.34	1	Tidak Perlu	2.40	2.40
Back Office	8.96	1	Tidak Perlu	2.40	2.40
Khasanah 1,2 (Safe Deposit Box)	28.00	1	Tidak Perlu	4.79	4.79
Panel	11.36	1	Tidak Perlu	4.79	4.79
Lounge SDB	16.00	1	Tidak Perlu	2.40	2.40
AOSM	16.00	1	Tidak Perlu	2.40	2.40
Customer Service	18.00	1	Tidak Perlu	2.40	2.40
Gadai	19.70	1	Tidak Perlu	2.40	2.40
Toilet	24.00	1	Tidak Perlu	1.92	1.92
ATM	16.82	1	Tidak Perlu	2.40	2.40

Lanjutan Tabel 5.5 Beban Hidup pada Pelat Lantai

Ruangan	A (m²)	Kll	Perlu Reduksi	Lo (k /m²)	L (k)
Lobby	26.02	1	Tidak Perlu	4.79	4.79
Mushola	12.75	1	Tidak Perlu	4.79	4.79
Tempat Wudlu	4.31	1	Tidak Perlu	1.92	1.92
Meeting Room	20.20	1	Tidak Perlu	4.79	4.79
Comercial Banking Manager	12.60	1	Tidak Perlu	2.40	2.40
Consumer Financing	38.40	1	Perlu	2.40	2.37
Comercial Bussines	25.20	1	Tidak Perlu	2.40	2.40
Retail Banking Manager	12.60	1	Tidak Perlu	4.79	4.79
Manager Priority	6.64	1	Tidak Perlu	2.40	2.40
File STO	33.86	1	Tidak Perlu	7.18	7.18
Koridor Library	64.00	1	Perlu	3.83	3.15
Function Room	56.68	1	Perlu	2.40	2.06

Keterangan:

A : Luas Ruangan (m²)

Kll : Faktor elemen beban hidup

L₀ : Besar beban hidup sebelum direduksi

L : Besar beban hidup setelah direduksi

Luas pelat atap Gedung Bank Syariah Mandiri sebesar 13,84 m². Oleh karena itu, beban hidup pada pelat atap tidak perlu dilakukan reduksi menurut SNI 1727 tahun 2013 pasal 4.7.2. Perhitungan dan hasil beban hidup pada pelat atap akan dijelaskan sebagai berikut ini.

Beban hidup atap = L₀ x Luas Pelat Atap

$$= 97,89 \text{ kg/m}^2 \times 13,84 \text{ m}^2 = 1354,80 \text{ kg}$$

3. Beban Lateral Akibat Tekanan Tanah

Dinding beton bertulang digunakan sebagai penahan tekanan tanah lateral di lantai *basement* gedung ini. Data dinding dan tanah di sekitar *basement* akan dijabarkan sebagai berikut ini.

a. Data dinding *basement*

$$\text{Tebal (t)} = 0,2 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi (h)} = 3,42 \text{ m}$$

b. Data tanah di sekitar dinding *basement*

$$\text{Koheresi (c)} = 0$$

$$\text{Sudut gesek dalam } (\phi) = 40^\circ$$

$$\text{Berat jenis } (G_s) = 2,65$$

$$\text{Kadar air (w)} = 16 \%$$

$$\text{Berat volume basah } (\gamma_b) = 18,6 \text{ kN/m}^3$$

$$\text{Berat volume air } (\gamma_w) = 9,81 \text{ kN/m}^3$$

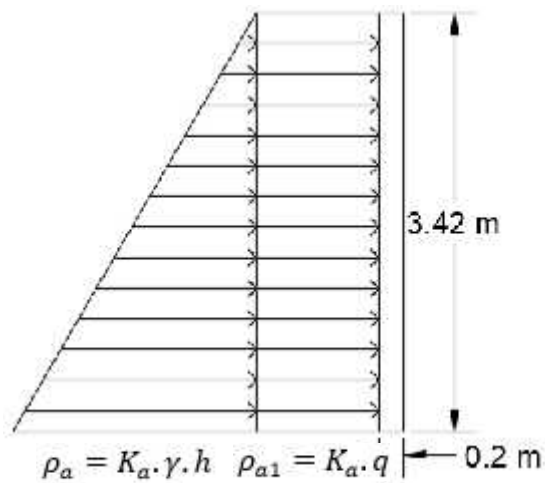
$$\begin{aligned} \text{Berat volume kering } (\gamma_d) &= \frac{\gamma_b}{(1+w)} \\ &= \frac{18,6}{(1+0,16)} \\ &= 16,05 \text{ kN/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Angka pori (e)} &= \frac{G_s \cdot \gamma_w}{\gamma_d} - 1 \\ &= \frac{2,65 \cdot 9,81}{16,05} - 1 \\ &= 0,62 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat volume } \textit{saturated} (\gamma_{\text{sat}}) &= \frac{G_s \cdot \gamma_w (W_c + 1)}{1 + e} \\ &= \frac{2,65 \cdot 9,81 (0,16 + 1)}{1 + 0,62} \\ &= 18,62 \text{ kN/m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Muka air tanah} = - 13,00$$

Dari data diatas, konsep perhitungan beban lateral pada dinding *basement* dapat dilihat pada Gambar 5.9 dibawah ini.



Gambar 5.9 Diagram Tekanan Tanah Aktif pada Dinding *Basement*

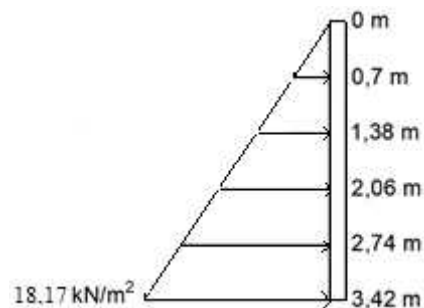
Hitungan koefisien tekanan tanah aktif (K_a)

$$\begin{aligned}
 K_a &= \text{tg}^2(45 - \phi/2) \\
 &= \text{tg}^2(45 - 40/2) \\
 &= 0,22
 \end{aligned}$$

Hitungan tekanan lateral tanah

$$\begin{aligned}
 \rho_a &= K_a \cdot \gamma \cdot h + K_a \cdot q \\
 &= 0,22 \times 18,62 \times 3,42 + 0,22 \times 20 \\
 &= 18,17 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

Tekanan lateral tanah terdistribusi dalam bentuk segitiga pada dinding *basement*. Penampang melintang dinding *basement* dan diagram tekanan tanah aktif akibat beban lateral tanah dapat dilihat pada gambar 5.10 berikut ini.



Gambar 5.10 Diagram Tekanan Tanah Aktif

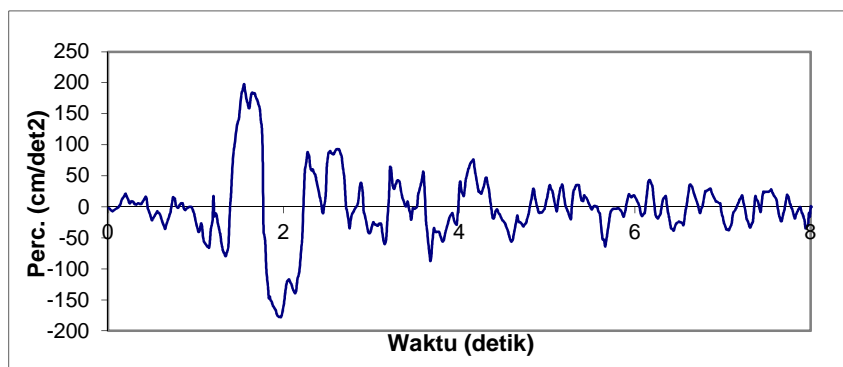
5.5 Rekaman Gempa Bumi Yogyakarta

Rekaman gempa bumi yang digunakan pada penelitian ini adalah rekaman gempa luar negeri. Penelitian ini menggunakan rekaman gempa *Bucharest*, *Elcentro*, dan *Elnashai* yang sudah disesuaikan dengan respon spektrum wilayah Yogyakarta. Rekaman gempa *Bucharest* merupakan frekuensi getaran gempa rendah. Rekaman gempa *Elcentro* merupakan frekuensi getaran gempa sedang. Rekaman gempa *Elnashai* merupakan frekuensi getaran gempa tinggi. Besarnya nilai frekuensi getaran gempa ditentukan oleh perbandingan nilai percepatan (A) dan kecepatan (V). Berdasarkan nilai perbandingan tersebut maka frekuensi gempa terbagi atas tiga jenis yaitu gempa dengan frekuensi rendah ($A/V < 0,8 \text{ g/m/dt}$), menengah ($1,2 \text{ g/m/dt} > A/V > 0,8 \text{ g/m/dt}$) dan tinggi ($A/V > 1,2 \text{ g/m/dt}$) sebagaimana terlihat dalam Tabel 5.6 berikut ini.

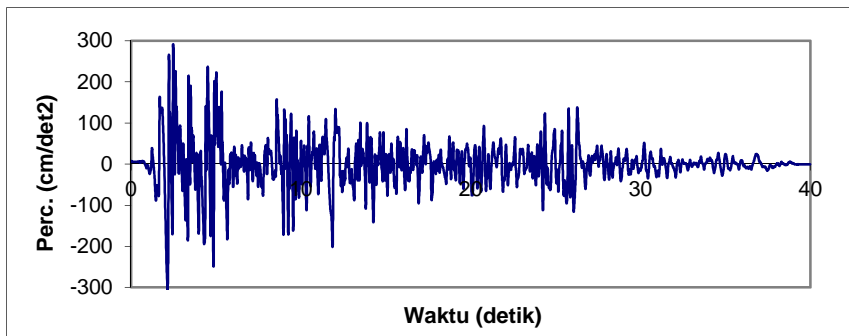
Tabel 5.6 Kandungan Frekuensi Menurut A/V Ratio

No	Parameter	Gempa		
		Bucharest	El Centro	Elnashai
1	Percepatan tanah	197.96	306.74	355.573
2	Kecepatan tanah	36.623	29.602	25.8747
3	A/V ratio	0.55157	1.05736	1.40226
4	Frekuensi	rendah	menengah	tinggi

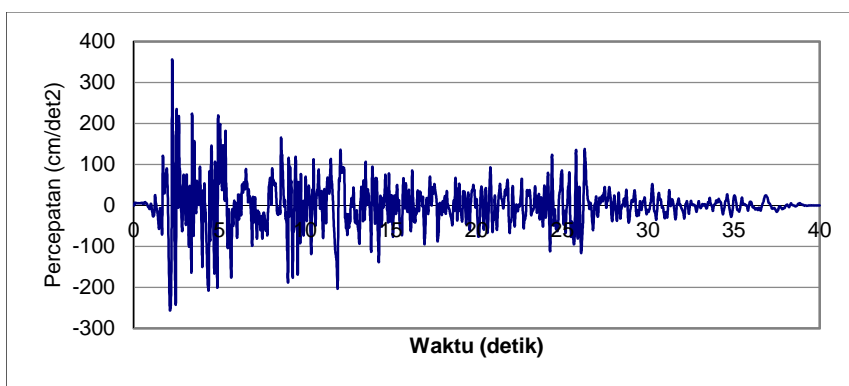
Normalisasi rekaman gempa dapat dilakukan menggunakan program *seismomach*, apabila tidak adanya rekaman luar negeri yang sudah disesuaikan dengan lokasi bangunan. Grafik rekaman gempa *Bucharest*, *Elcentro*, dan *Elnashai* yang dapat dilihat pada Gambar 5.11, 5.12 dan 5.13 berikut ini.



Gambar 5.11 Rekaman Gempa *Bucharest*
(Sumber: Marasabessy, 2017)



Gambar 5.12 Rekaman Gempa *El Centro*
(Sumber: Marasabessy, 2017)



Gambar 5.13 Rekaman Gempa *Elnashai*
(Sumber: Marasabessy, 2017)

Rekaman gempa tersebut kemudian diskalakan terhadap percepatan puncak muka tanah sesuai letak gedung Bank Mandiri Syariah. Metode untuk mendapatkan nilai percepatan puncak muka tanah sebagai berikut ini.

1. SNI 03-1726-2002

Berdasarkan SNI 03-1726-2002 pasal 7.3.2, percepatan puncak muka tanah didapatkan menggunakan persamaan 3.25 berikut ini.

Diketahui:

$$A_0 = 0,23 \text{ g}$$

$$I = 1$$

$$R = 8,5$$

maka,

$$A = \frac{A_0 \cdot I}{R} \tag{3.25}$$

$$A = \frac{0,23 \times 1}{8.5}$$

$$A = 0,0271 \text{ g}$$

2. SNI 03-1726-2012

Berdasarkan SNI 03-1726-2012 pasal 6.7.3, percepatan puncak muka tanah yang disesuaikan dengan pengaruh klasifikasi situs didapatkan menggunakan persamaan 3.15 berikut ini.

Diketahui:

$$F_P = 1,1$$

$$PGA = 0,4 \text{ g}$$

$$I = 1$$

$$R = 8,5$$

maka,

$$PGA_M = (F_P \cdot PGA)(I/R) \quad (3.15)$$

$$PGA_M = (1,1 \times 0,4)(1/8,5)$$

$$PGA_M = 0,05176 \text{ g}$$

Input rekaman gempa wajib diberikan nilai pengali agar sesuai dengan letak gedung Bank Mandiri Syariah. Nilai pengali didapatkan dengan membagi antara nilai percepatan puncak muka tanah dengan nilai percepatan maksimum setiap akselorogram. Nilai pengali tersebut didapatkan menggunakan persamaan seperti berikut ini.

1. SNI 03-1726-2002

Persamaan tersebut akan dijelaskan seperti dibawah ini.

a. *Bucharest*

Diketahui:

$$A_{\max} = 197,96 \text{ cm/detik}^2$$

$$A_{\min} = 177,38 \text{ cm/detik}^2$$

$$A_{\text{terbesar}} = 197,96 \text{ cm/detik}^2$$

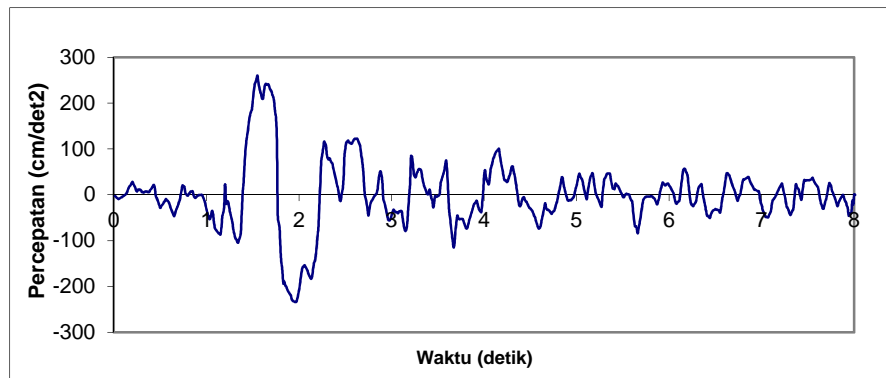
$$A_{\text{terbesar}} = \frac{1,9}{9}$$

$$= 0,202 \text{ g}$$

$$\begin{aligned} \text{Faktor skala} &= \frac{P}{A_D} \\ &= \frac{0,0}{0,2} \\ &= 0,13395 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Faktor pengali total} &= \text{faktor skala} \times \text{skala gravitasi} \\ &= 0,13395 \times 9,81 \\ &= 1.31409435061153 \end{aligned}$$

Data rekaman gempa *Bucharest* disesuaikan dengan skala tersebut pada *SAP 2000*. Data rekaman gempa tersebut dalam bentuk grafik dapat dilihat pada Gambar 5.14 berikut ini.



Gambar 5.14 Rekaman Gempa *Bucharest* Untuk Gedung Bank Mandiri Syariah

b. *Elcentro*

Diketahui:

$$A_{\max} = 209,08 \text{ cm/detik}^2$$

$$A_{\min} = 306,74 \text{ cm/detik}^2$$

$$A_{\text{terbesar}} = 306,74 \text{ cm/detik}^2$$

$$\begin{aligned} A_{\text{terbesar}} &= \frac{3,7}{9} \\ &= 0,313 \text{ g} \end{aligned}$$

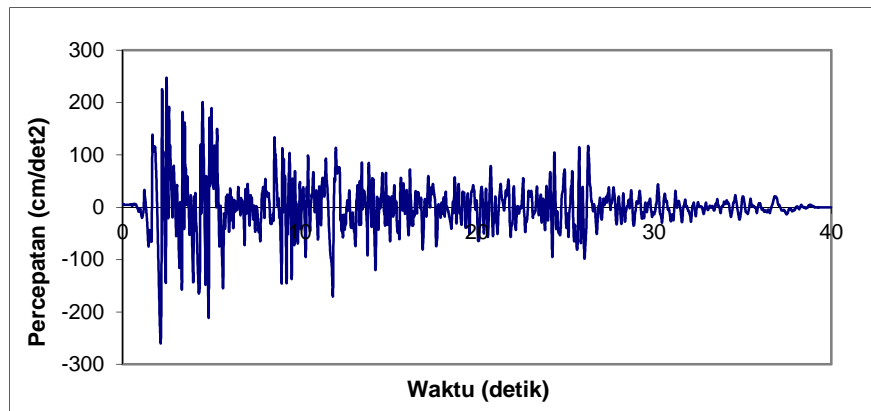
$$\begin{aligned} \text{Faktor skala} &= \frac{P}{A_D} \\ &= \frac{0,0}{0,3} \\ &= 0,086449 \end{aligned}$$

$$\text{Faktor pengali total} = \text{faktor skala} \times \text{skala gravitasi}$$

$$= 0,086449 \times 9,81$$

$$= 0.84807367036271$$

Faktor pengali total digunakan untuk menyesuaikan rekaman gempa *Elcentro* agar sesuai dengan lokasi gedung Bank Mandiri Syariah Yogyakarta. Data rekaman gempa dalam bentuk grafik dapat dilihat pada Gambar 5.15 berikut ini.



Gambar 5.15 Rekaman Gempa *Elcentro* Untuk Gedung Bank Mandiri Syariah

c. *Elnashai*

Diketahui:

$$A_{\max} = 355,57 \text{ cm/detik}^2$$

$$A_{\min} = 256,11 \text{ cm/detik}^2$$

$$A_{\text{terbesar}} = 355,57 \text{ cm/detik}^2$$

$$A_{\text{terbesar}} = \frac{3,5}{9}$$

$$= 0,3628 \text{ g}$$

$$\text{Faktor skala} = \frac{P}{A_t}$$

$$= \frac{0,0}{0,3628}$$

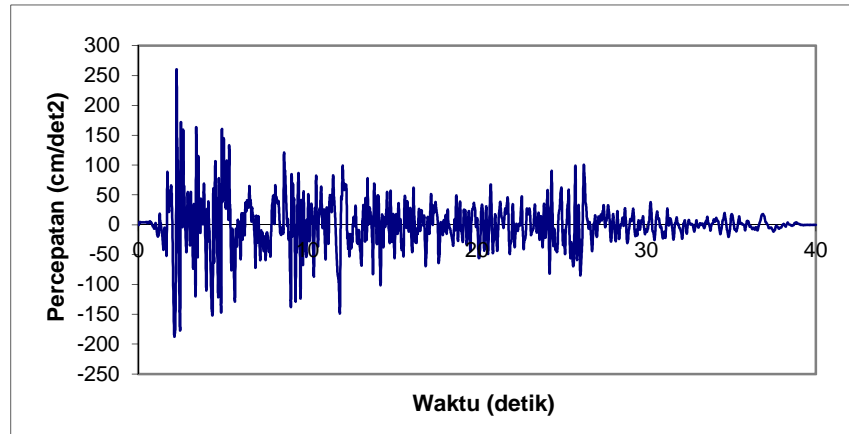
$$= 0,074577$$

$$\text{Faktor pengali total} = \text{faktor skala} \times \text{skala gravitasi}$$

$$= 0,074577 \times 9,81$$

$$= 0.731601738620096$$

Berdasarkan perhitungan faktor pengali diatas, data rekaman gempa dalam bentuk grafik dapat dilihat pada Gambar 5.16 berikut ini.



Gambar 5.16 Rekaman Gempa *Elnashai* Untuk Gedung Bank Mandiri Syariah

2. SNI 03-1726-2012

Persamaan tersebut akan dijelaskan seperti dibawah ini.

a. *Bucharest*

Diketahui:

$$A_{\max} = 197,96 \text{ cm/detik}^2$$

$$A_{\min} = 177,38 \text{ cm/detik}^2$$

$$A_{\text{terbesar}} = 197,96 \text{ cm/detik}^2$$

$$A_{\text{terbesar}} = \frac{1,9}{9}$$

$$= 0,202 \text{ g}$$

$$\text{Faktor skala} = \frac{P}{A_t}$$

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

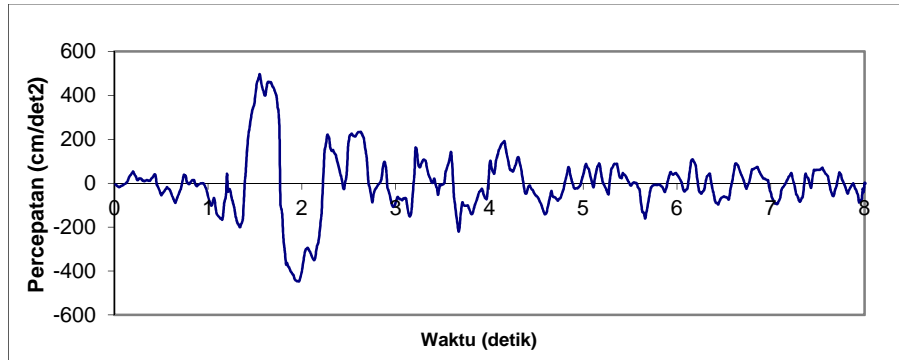
$$= 0,25626$$

$$\text{Faktor pengali total} = \text{faktor skala} \times \text{skala gravitasi}$$

$$= 0,25626 \times 9,81$$

$$= 2.51391962725684$$

Data rekaman gempa *Bucharest* disesuaikan dengan skala tersebut pada *SAP 2000*. Data rekaman gempa dalam bentuk grafik dapat dilihat pada Gambar 5.17 berikut ini.



Gambar 5.17 Rekaman Gempa *Bucharest* Untuk Gedung Bank Mandiri Syariah

b. *Elcentro*

Diketahui:

$$A_{\max} = 209,08 \text{ cm/detik}^2$$

$$A_{\min} = 306,74 \text{ cm/detik}^2$$

$$A_{\text{terbesar}} = 306,74 \text{ cm/detik}^2$$

$$A_{\text{terbesar}} = \frac{3,7}{9}$$

$$= 0,313 \text{ g}$$

$$\text{Faktor skala} = \frac{P}{A_u}$$

$$= \frac{0,0}{0,3}$$

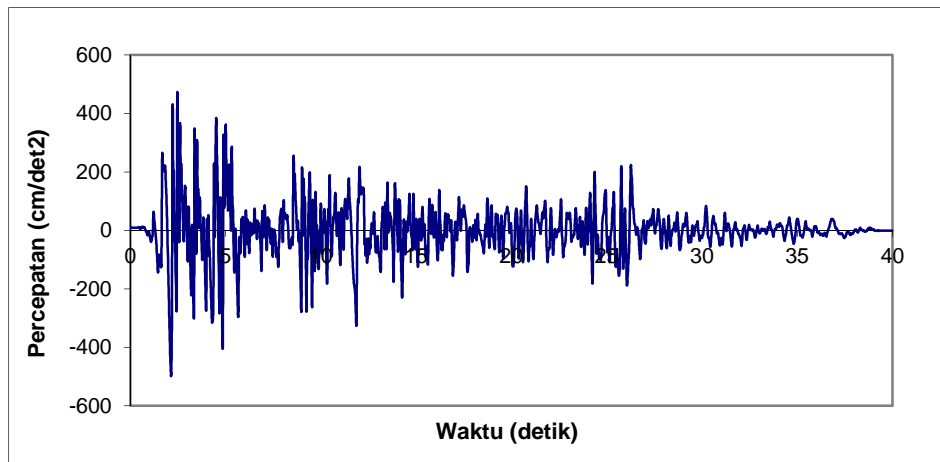
$$= 0,16538$$

$$\text{Faktor pengali total} = \text{faktor skala} \times \text{skala gravitasi}$$

$$= 0,16538 \times 9,81$$

$$= 1.622401804$$

Faktor pengali total digunakan untuk menyesuaikan rekaman gempa *Elcentro* agar sesuai dengan lokasi gedung Bank Mandiri Syariah Yogyakarta. Data rekaman gempa dalam bentuk grafik dapat dilihat pada Gambar 5.18 berikut ini.



Gambar 5.18 Rekaman Gempa *Elcentro* Untuk Gedung Bank Mandiri Syariah

c. *Elnashai*

Diketahui:

$$A_{\max} = 355,57 \text{ cm/detik}^2$$

$$A_{\min} = 256,11 \text{ cm/detik}^2$$

$$A_{\text{terbesar}} = 355,57 \text{ cm/detik}^2$$

$$A_{\text{terbesar}} = \frac{3,5}{9}$$

$$= 0,3628 \text{ g}$$

$$\text{Faktor skala} = \frac{P}{A_{\text{t}}}$$

$$= \frac{0,0}{0,3}$$

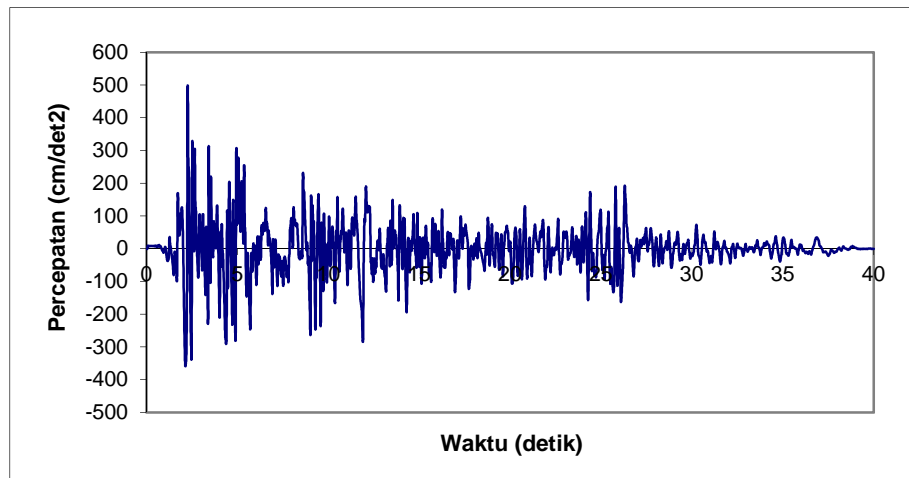
$$= 0,142669$$

$$\text{Faktor pengali total} = \text{faktor skala} \times \text{skala gravitasi}$$

$$= 0,142669 \times 9,81$$

$$= 1.399585934751490$$

Berdasarkan perhitungan faktor pengali diatas, data rekaman gempa dalam bentuk grafik dapat dilihat pada Gambar 5.19 berikut ini.



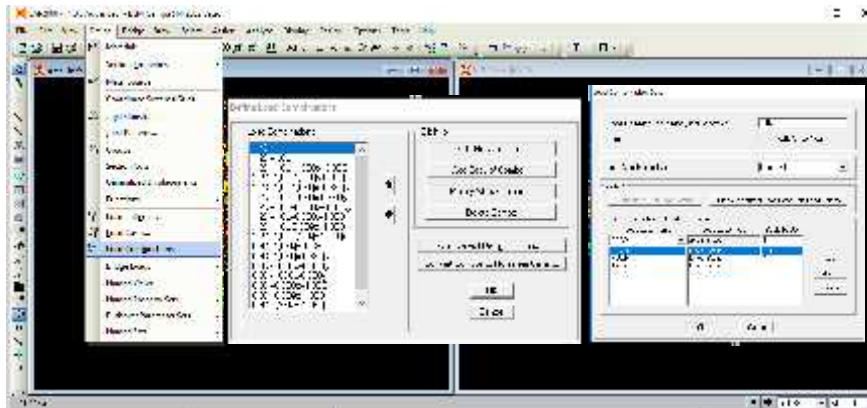
Gambar 5.19 Rekaman Gempa *Elnashai* Untuk Gedung Bank Mandiri Syariah

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, nilai pengali total menurut SNI 03-1726-2002 lebih kecil dari pada nilai pengali total menurut SNI 03-1726-2012. Hal tersebut dikarenakan nilai percepatan puncak muka tanah menurut SNI 03-1726-2012 yang lebih besar dari pada nilai percepatan puncak muka tanah menurut SNI 03-1726-2002, percepatan puncak muka tanah didapat dari peta gempa Indonesia.

Perbedaan peta gempa Indonesia menurut SNI 03-1726-2002 dengan SNI 03-1726-2012 disebabkan oleh periode ulang yang berbeda. Gempa rencana menurut SNI 03-1726-2002 mempunyai periode ulang 500 tahun, agar probabilitas terjadinya terbatas pada 10% selama umur gedung (50 tahun). Sedangkan gempa rencana menurut SNI 03-1726-2012 ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlewatinya sebesar 2%. Sehingga pembaharuan peta gempa akan sangat berpengaruh terhadap hasil pengali total rekaman gempa.

5.6 Kombinasi Pembebanan

Setelah mendapatkan beban gravitasi dan beban gempa, beban – beban tersebut dikombinasikan untuk model gedung Bank Mandiri Syariah di SAP 2000. Kombinasi beban dimasukkan dengan cara seperti gambar 5.20 berikut ini.



Gambar 5.20 Input Kombinasi Pembebanan

Perbedaan kombinasi antara SNI 03-1726-2002 dengan SNI 03-1726-2012 adalah adanya penambahan faktor redundansi () dan 0,2 kali SDs untuk beban mati pada SNI 03-1726-2012.

5.7 Gaya Luar/Tambahan

Kekuatan struktur gedung perlu ditambahkan perhitungan gaya luar, yaitu beban tanah sekeliling menurut SNI 03-1726-2002 dan momen bawaan menurut SNI 03-1726-2012. Gaya luar tersebut akan dijelaskan seperti dibawah ini.

1. SNI 03-1726-2002

Berdasarkan SNI 03-1726-2002 pasal 9.3, pembebanan gempa perlu ditambahkan beban tanah sekeliling (ρ_{u1}). Tekanan leleh tanah yang bekerja pada dinding basement harus dijadikan tekanan tanah nominal. Tekanan tanah nominal tersebut didapat dengan tekanan tanah lateral dibagi dengan faktor reduksi gempa (1.6 untuk struktur elastik penuh). Persamaan dan hasil perhitungan dapat dilihat seperti dibawah ini.

Diketahui:

Tekanan tanah lateral (ρ_u) = 18,17 kN/ m²

maka,

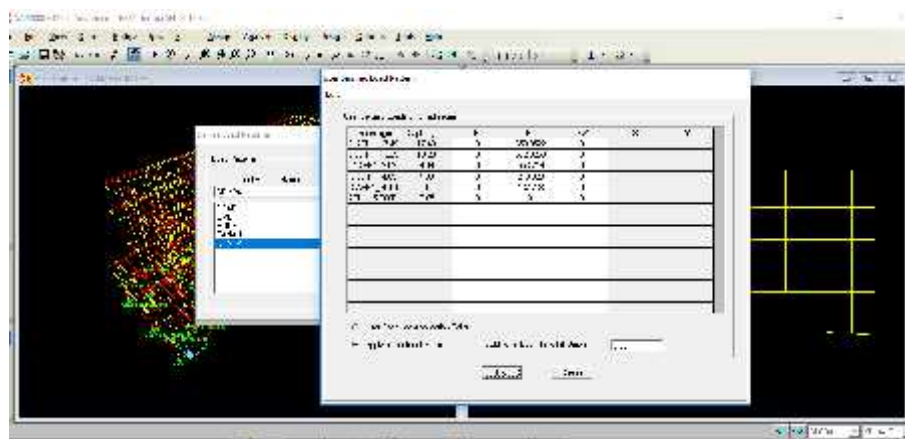
$$\rho_{u1} = \frac{\rho_u}{1,6}$$

$$\rho_{u1} = \frac{1,1}{1,6}$$

$$\rho_{u1} = 11,36 \text{ kN/m}^2$$

2. SNI 03-1726-2012

Berdasarkan SNI 03-1726-2012 pasal 7.8.4.2 jika diafragma tidak fleksibel, maka desain harus menyertakan momen torsi bawaan (M_T). Momen torsi bawaan dihasilkan dari perpindahan pusat massa struktur ditambah momen torsi tak terduga (M_{eT}). Perpindahan pusat massa struktur diasumsikan dengan jarak 5 persen dimensi struktur tegak lurus terhadap masing – masing arah gaya. Hasil perhitungan torsi bawaan akan dijelaskan pada Gambar 5.21 berikut ini.



Gambar 5.21 Torsi Bawaan dan Eksentrisitas 5%

5.8 Hasil Analisis Struktur

Analisis struktur pada penelitian ini bertujuan untuk mencari gaya geser dasar, simpangan dan simpangan antar lantai menurut SNI 03-1726-2002 dan SNI 03-1726-2012.

5.8.1 Gaya Geser Dasar

Gaya geser dasar didapat dari tabel output *program* SAP 2000. Gaya geser dasar yang didesain menggunakan gempa dinamis perlu dilakukan perbandingan terhadap gaya geser dasar statik. Perhitungan dan hasil analisis akan dijabarkan seperti berikut ini.

1. SNI 03-1726-2002

Berdasarkan SNI 03-1726-2002 pasal 7.1.3, gaya geser dasar respons dinamik (V) tidak boleh kurang dari 80 % gaya geser dasar respons statik (V_T). Perhitungan gaya geser dasar respons statik memerlukan adanya koefisien

gempa dasar. Perhitungan koefisien gempa dasar dan ketentuan pasal 7.1.3 SNI 03-1726-2002 akan dijabarkan seperti berikut ini.

a. Menentukan data percepatan

1) Percepatan puncak bantuan dasar

Berdasarkan Tabel 3.13 dengan diketahui bahwa Yogyakarta termasuk wilayah gempa 3, percepatan puncak batuan dasar didapat sebesar 0,15 g .

2) Percepatan muka tanah (A_0)

Berdasarkan Tabel 3.13 dengan diketahui bahwa jenis tanah sedang, percepatan muka tanah didapat sebesar 0,23.

3) Waktu getar alami sudut (T_c)

Dikarenakan wilayah Yogyakarta memiliki jenis tanah sedang, maka waktu getar alami sudut sebesar 0,6 detik.

4) Percepatan respons maksimum (A_m)

Berdasarkan Tabel 3.6 percepatan maksimum didapat sebesar 0,55 dan A_r sebesar 0,33.

3) Faktor keutamaan gedung (I)

Berdasarkan Tabel 1 pada SNI 03-1726-2002 dengan kategori gedung untuk perkantoran, faktor keutamaan gedung didapat sebesar 1.

4) Faktor reduksi gempa (R)

Berdasarkan Tabel 3.5 dengan sistem rangka pemikul momem khusus (beton bertulang), faktor reduksi gempa didapat sebesar 8,5.

b. Perhitungan waktu getar fundamental

Waktu getar struktur belum dapat ditentukan secara pasti, dikarenakan besarnya beban gempa yang belum diketahui. Oleh karena itu, waktu getar dari gedung bank Mandiri Syariah Yogyakarta dapat dihitung menggunakan persamaan 3.20. Persamaan dan perhitungannya akan dijabarkan seperti berikut ini.

$$T_1 = C_t \times (h_n)^{3/4} \quad (3.20)$$

$$T_1 = 0,0731 \times (23,95)^{3/4}$$

$$T_1 = 0,792 \text{ detik}$$

Waktu getar alami fundamental harus dibatasi untuk mencegah penggunaan struktur gedung yang terlalu fleksibel. Perhitungan pembatasan tersebut menggunakan persamaan 3.21 seperti berikut ini.

$$T_1 < \zeta n \quad (3.21)$$

$$0,792 < 0,18 \times 5$$

$$0,792 < 0,9$$

Berdasarkan perhitungan diatas, waktu getar alami fundamental masih memenuhi ketentuan SNI 03-1726-2002 pasal 5.6.

a. Perhitungan koefisien gempa dasar (C)

Dikarenakan waktu getar alami fundamental lebih besar dari waktu getar alami sudut maka persamaan yang digunakan untuk mencari koefisien gempa dasar adalah persamaan 3.5. persamaan tersebut akan dijabarkan seperti berikut ini.

$$C = \frac{A_T}{T} \quad (3.5)$$

$$C = \frac{0,33}{0,792}$$

$$C = 0,4169$$

b. Perhitungan gaya geser dasar statik (V_t) dan persyaratan gaya geser dasar dinamik
 Persyaratan gaya geser dasar akibat beban gempa dinamik seperti berikut ini.

$$V \geq 0,8 V_t$$

dengan:

$$\text{Koefisien gempa dasar (C)} = 0,4169$$

$$\text{Faktor reduksi gempa (R)} = 8,5$$

$$\text{Faktor keutamaan bangunan (I)} = 1$$

$$\text{Berat bangunan total (W)} = 49603,2 \text{ kN}$$

maka,

$$V_t = \frac{C \cdot I}{R} W_t$$

$$V_t = \frac{0,4169 \times 1}{8,5} \times 49603,2$$

$$V_t = 2433,37 \text{ kN}$$

Kemudian gaya geser dasar respons dinamik didapatkan dari output *program SAP 2000*, seperti berikut ini.

a. *Elnashai*

$$V_x = 2229,665 \text{ kN}$$

$$V_x = -2281,44 \text{ kN}$$

$$V_y = 2167,674 \text{ kN}$$

$$V_y = -1948,07 \text{ kN}$$

$$V_1 = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}$$

$$V_1 = \sqrt{2229,665^2 + 2167,674^2}$$

$$V_1 = 3109,697 \text{ kN}$$

$$V_2 = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}$$

$$V_2 = \sqrt{(-2281,44)^2 + (-1948,07)^2}$$

$$V_2 = 2999,991 \text{ kN}$$

Maka, gaya geser respon dinamik untuk akselogram *Elnashai* diambil nilai terbesar antara V_2 dengan V_1 yaitu :

$$V = 3109,697 \text{ kN}$$

b. *El Centro*

$$V_x = 4037,77 \text{ kN}$$

$$V_x = -4232,02 \text{ kN}$$

$$V_y = 3233,105 \text{ kN}$$

$$V_y = -2883,88 \text{ kN}$$

$$V_1 = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}$$

$$V_1 = \sqrt{4037,77^2 + 3233,105^2}$$

$$V_1 = 5172,674 \text{ kN}$$

$$V_2 = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}$$

$$V_2 = \sqrt{(-4232,02)^2 + (-2883,88)^2}$$

$$V_2 = 5122,858 \text{ kN}$$

Maka, gaya geser respon dinamik untuk akselogram *El Centro* diambil nilai terbesar antara V_2 dengan V_1 yaitu :

$$V = 5172,674 \text{ kN}$$

c. *Bucharest*

$$V_x = 4100,248 \text{ kN}$$

$$V_x = -4492,08 \text{ kN}$$

$$V_y = 3365,869 \text{ kN}$$

$$V_y = -3541,82 \text{ kN}$$

$$V_1 = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}$$

$$V_1 = \sqrt{4100,248^2 + 3365,869^2}$$

$$V_1 = 5304,819 \text{ kN}$$

$$V_2 = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}$$

$$V_2 = \sqrt{(-4492,08)^2 + (-3541,82)^2}$$

$$V_2 = 5720,425 \text{ kN}$$

Maka, gaya geser respon dinamik untuk akselogram *Bucharest* diambil nilai terbesar antara V_2 dengan V_1 yaitu :

$$V = 5720,425 \text{ kN}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, gaya geser dasar respons dinamik masih memenuhi persyaratan SNI 03-1726-2002 pasal 7.1.3, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 5.7 berikut ini.

Tabel 5.7 Rekapitulasi dan Persyaratan Gaya Geser Dasar Respons Dinamik SNI 03-1726-2002

Rekaman Gempa	V Geser Dasar <i>Time History</i> (kN)	0,8 V Geser Dasar Statik (kN)	Keterangan
<i>Elnashai</i>	3109,697	1946.70	Gaya geser dasar metode <i>time history</i> telah memenuhi syarat, yaitu lebih besar 0.8 kali gaya geser dasar statik.
<i>Elcentro</i>	5172,674	1946.70	Gaya geser dasar metode <i>time history</i> telah memenuhi syarat, yaitu lebih besar 0.8 kali gaya geser dasar statik.
<i>Bucharest</i>	5720,425	1946.70	Gaya geser dasar metode <i>time history</i> telah memenuhi syarat, yaitu lebih besar 0.8 kali gaya geser dasar statik.

2. SNI 03-1726-2012

Berdasarkan SNI 03-1726-2012 pasal 7.9.4.1, gaya geser dasar respons dinamik (V) tidak boleh kurang dari 85 % gaya geser dasar respons statik (V_t). Persyaratan gaya geser dasar dinamik dan perhitungan gaya geser dasar statik akan dijabarkan seperti berikut ini.

- a. Kategori risiko dan faktor keutamaan gempa didapat berdasarkan Tabel 1 dan 2 SNI 03-1726-2012 sehingga diperoleh kategori risiko I atau II dan faktor keutamaan gedung (I) sebesar 1.
- b. Nilai S_s dan S_1 berdasarkan Gambar 3.3 dan 3.4 diperoleh S_s sebesar 1,212 g dan S_1 sebesar 0,444 g. Nilai C_{rs} dan C_{r1} juga diperoleh melalui gambar 3.5 dan 3.6 yaitu C_{rs} sebesar 0,975 dan C_{r1} sebesar 0,975. Kemudian dikarenakan nilai S_s dan S_1 sudah didapatkan maka koefisien situs diperoleh melalui Tabel 3.8 dan 3.9, yaitu F_a sebesar 1,015 dan F_v sebesar 1,556.
- c. Respons spektrum percepatan

$$S_{MS} = F_a \cdot S_s = 1,212 \times 1,015 = 1,23 \text{ g}$$

$$S_{M1} = F_v \cdot S_1 = 1,556 \times 0,444 = 0,691 \text{ g}$$
- d. Respons struktur desain

$$S_{DS} = 2/3 \cdot S_{MS} = 2/3 \times 1,23 = 0,82 \text{ g}$$

$$S_{D1} = 2/3 \cdot S_{D1} = 2/3 \times 0,691 = 0,46 \text{ g}$$

c. Kategori desain seismik berdasarkan Tabel 6 dan 7 SNI 03-1726-2012 gedung bank Mandiri Syariah Yogyakarta memiliki kategori desain seismik D.

d. Periode fundamental alami

1) Koefisien C_u didapat berdasarkan Tabel 3.11 sebesar 1,4.

2) Berdasarkan Tabel 3.12 dengan struktur rangka beton pemikul momen, nilai parameter periode pendekatan C_t sebesar 0,0466 dan x sebesar 0,9.

3) Periode fundamental (T_a)

$$T_a = C_t \cdot h_n^x$$

$$T_a = 0,0466 \cdot (23,95^{0,9})$$

$$T_a = 0,812 \text{ detik}$$

4) $C_u \cdot T_a = 1,4 \cdot 0,812 = 1,137 \text{ detik}$

5) $T_c = 2,007 \text{ detik}$

Dikarenakan $T_c > C_u \cdot T_a$ maka periode fundamental yang digunakan adalah $C_u \cdot T_a$.

e. Koefisien respons seismik (C_s)

1) $C_s = S_{DS} / (R/I_e)$

$$C_s = 0,82 / (8/1)$$

$$C_s = 0,1025$$

2) Koefisien respons maksimum

$$C_s = S_{DS} / (T(R/I_e))$$

$$C_s = 0,82 / (1,137(8/1))$$

$$C_s = 0,0506$$

3) Koefisien respons minimum

$$C_s = 0,044 \cdot S_{DS} \cdot I_e > 0,001$$

$$C_s = 0,044 \cdot 0,82 \cdot 1 > 0,001$$

$$C_s = 0,0361 > 0,001$$

Berdasarkan perhitungan di atas, diambil nilai C_s sebesar 0,0506. Hal tersebut dikarenakan nilai C_s lebih besar dari nilai C_s maksimum.

h. Persyaratan gaya geser dasar dinamik dan perhitungan gaya geser dasar statik (V_t)

$$V \geq 0,85 V_t$$

dengan:

$$\text{koefisien gempa dasar } (C_s) = 0,506$$

$$\text{berat bangunan total } (W_t) = 49603,1885 \text{ kN}$$

maka,

$$V_t = C_s \times W_t$$

$$V_t = 0,0506 \times 49603,2$$

$$V_t = 2510,92 \text{ kN}$$

Kemudian gaya geser dasar respons dinamik didapatkan dari output *program SAP 2000*, seperti berikut ini.

d. *Elnashai*

$$V_x = 2443,069 \text{ kN}$$

$$V_x = -2412,458 \text{ kN}$$

$$V_y = 2484,822 \text{ kN}$$

$$V_y = -2223,733 \text{ kN}$$

$$V_1 = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}$$

$$V_1 = \sqrt{2443,069^2 + 2484,822^2}$$

$$V_1 = 3484,67 \text{ kN}$$

$$V_2 = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}$$

$$V_2 = \sqrt{(-2412,458)^2 + (-2223,733)^2}$$

$$V_2 = 3280,99 \text{ kN}$$

Maka, gaya geser respon dinamik untuk akselogram *Elnashai* diambil nilai terbesar antara V_2 dengan V_1 yaitu:

$$V = 3484,67 \text{ kN}$$

e. *El Centro*

$$V_x = 4533,891 \text{ kN}$$

$$V_x = -4387,919 \text{ kN}$$

$$V_y = 3520,678 \text{ kN}$$

$$V_y = -3169,879 \text{ kN}$$

$$V_1 = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}$$

$$V_1 = \sqrt{4533,891^2 + 3520,678^2}$$

$$V_1 = 5740,33 \text{ kN}$$

$$V_2 = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}$$

$$V_2 = \sqrt{(-4387,919)^2 + (-3169,879)^2}$$

$$V_2 = 5413,13 \text{ kN}$$

Maka, gaya geser respon dinamik untuk akselogram *El Centro* diambil nilai terbesar antara V_2 dengan V_1 yaitu :

$$V = 5740,33 \text{ kN}$$

f. *Bucharest*

$$V_x = 4860,283 \text{ kN}$$

$$V_x = -4395,631 \text{ kN}$$

$$V_y = 3435,084 \text{ kN}$$

$$V_y = -3897,226 \text{ kN}$$

$$V_1 = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}$$

$$V_1 = \sqrt{4860,283^2 + 3435,084^2}$$

$$V_1 = 5951,65 \text{ kN}$$

$$V_2 = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}$$

$$V_2 = \sqrt{(-4395,631)^2 + (-3897,226)^2}$$

$$V_2 = 5874,52 \text{ kN}$$

Maka, gaya geser respon dinamik untuk akselogram *Bucharest* diambil nilai terbesar antara V_2 dengan V_1 yaitu :

$$V = 5951,65 \text{ kN}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, gaya geser dasar respons dinamik masih memenuhi persyaratan SNI 03-1726-2012 pasal 7.9.4.1, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 5.8 berikut ini.

Tabel 5.8 Rekapitulasi dan Persyaratan Gaya Geser Dasar Respons Dinamik SNI 03-1726-2012

Rekaman Gempa	V Geser Dasar TH (kN)	0,85 V Geser Dasar Statik (kN)	Keterangan
<i>Elnashai</i>	3484,67	2134.28	Gaya geser dasar metode <i>time history</i> telah memenuhi syarat, yaitu lebih besar 0.85 kali gaya geser dasar statik.
Elcentro	5740,33	2134.28	Gaya geser dasar metode <i>time history</i> telah memenuhi syarat, yaitu lebih besar 0.85 kali gaya geser dasar statik.
Bucharest	5951,65	2134.28	Gaya geser dasar metode <i>time history</i> telah memenuhi syarat, yaitu lebih besar 0.85 kali gaya geser dasar statik.

Hasil gaya geser dasar menurut SNI 03-1726-2012 lebih besar dibandingkan gaya geser dasar menurut SNI 03-1726-2002. Peningkatan gaya geser untuk akselogram *Elnashai*, *El Centro* dan *Bucharest* secara berurutan sebesar 12,06 %, 10,97 % dan 4,04 % dari gaya geser dasar menurut SNI 03-1726-2002. Peningkatan gaya geser disebabkan oleh nilai pengali total rekaman gempa. Nilai pengali total rekaman gempa menurut SNI 03-1726-2002 lebih kecil dari pada nilai pengali total menurut SNI 03-1726-2012. Hal tersebut dikarenakan nilai percepatan puncak muka tanah menurut SNI 03-1726-2012 yang lebih besar dari pada nilai percepatan puncak muka tanah menurut SNI 03-1726-2002, percepatan puncak muka tanah didapat dari peta gempa Indonesia. Sehingga pembaharuan peta gempa akan sangat berpengaruh terhadap gaya geser yang diterima oleh gedung.

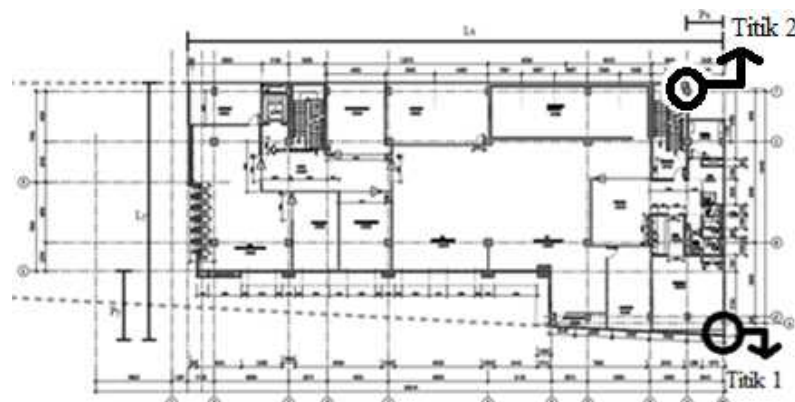
Hasil gaya geser dasar menurut SNI 03-1726-2002 masih sesuai dengan persyaratan SNI 03-1726-2012 begitu juga sebaliknya, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 5.9 berikut ini.

Tabel 5.9 Perbandingan Gaya Geser Dasar Menurut SNI 03-1726-2002 dan SNI 03-1726-2012

Rekaman Gempa	SNI 2012	SNI 2002		SNI 2002	SNI 2012	
	V Geser Dasar <i>Time History</i> (kN)	0,8 V Geser Dasar Statik (kN)	Keterangan	V Geser Dasar <i>Time History</i> (kN)	0,85 V Geser Dasar Statik (kN)	Keterangan
<i>Elnashai</i>	3484,67	1946.70	Gaya geser dasar metode <i>time history</i> telah memenuhi syarat, yaitu lebih besar 0.8 kali gaya geser dasar statik.	3109,697	2134.28	Gaya geser dasar metode <i>time history</i> telah memenuhi syarat, yaitu lebih besar 0.85 kali gaya geser dasar statik.
Elcentro	5740,33	1946.70	Gaya geser dasar metode <i>time history</i> telah memenuhi syarat, yaitu lebih besar 0.8 kali gaya geser dasar statik.	5172,674	2134.28	Gaya geser dasar metode <i>time history</i> telah memenuhi syarat, yaitu lebih besar 0.85 kali gaya geser dasar statik.
Bucharest	5951,65	1946.70	Gaya geser dasar metode <i>time history</i> telah memenuhi syarat, yaitu lebih besar 0.8 kali gaya geser dasar statik.	5720,425	2134.28	Gaya geser dasar metode <i>time history</i> telah memenuhi syarat, yaitu lebih besar 0.85 kali gaya geser dasar statik.

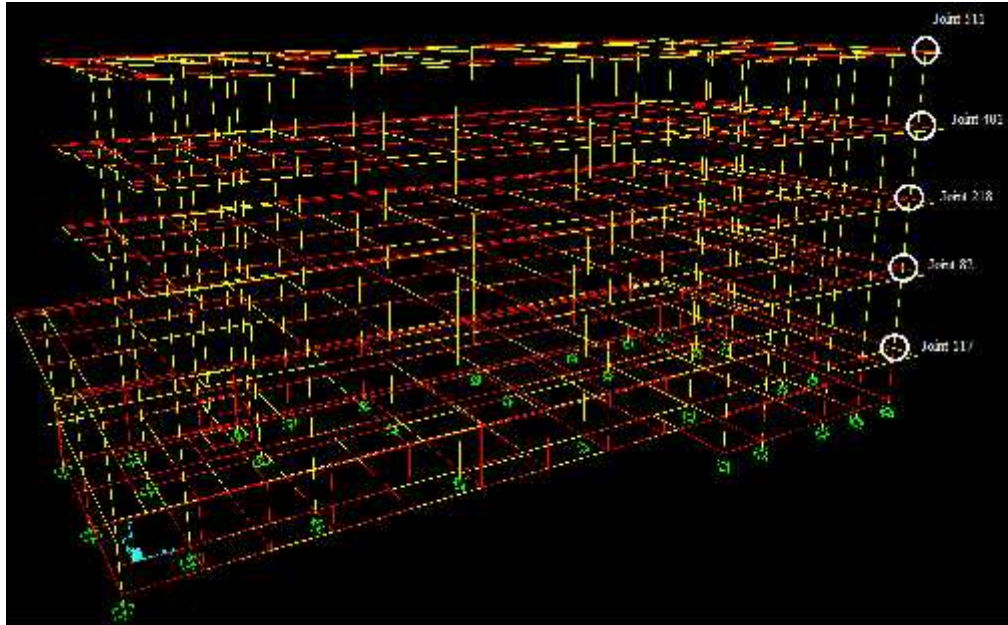
5.8.2 Simpangan Perlantai

Simpangan perlantai didapat dari tabel output *program* SAP 2000. Hasil simpangan perlantai yang digunakan yaitu simpangan pada titik – titik tiap lantai di tepi bangunan. Titik – titik tersebut teletak pada tepi kiri bagian belakang gedung Bank Mandiri Syariah untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.22 di bawah ini.

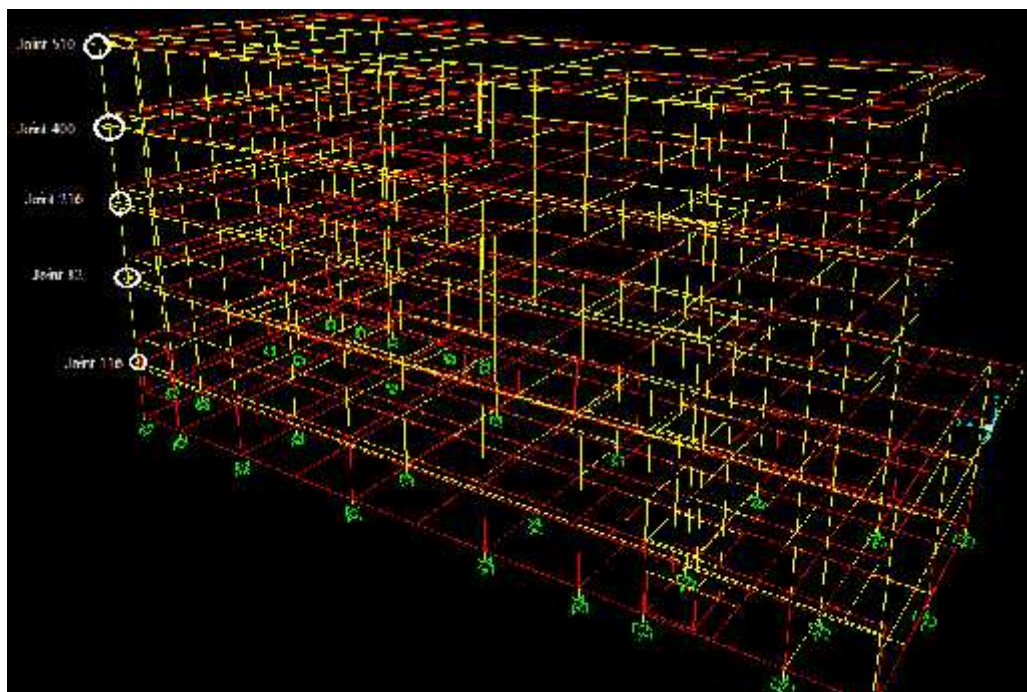


Gambar 5.22 Letak Titik – Titik yang Digunakan Untuk Simpangan

Joint - joint yang ditinjau untuk mendapatkan simpangan perantai pada gedung Bank Mandiri Syariah dapat dilihat pada Gambar 5.23 dan 5.24 berikut ini.



Gambar 5.23 Letak Joint Titik 1 yang Ditinjau Untuk Simpangan Perantai



Gambar 5.24 Letak Joint Titik 2 yang Ditinjau Untuk Simpangan Perantai

Simpangan perlantai hasil penelitian menurut SNI 03-1726-2002 dan SNI 03-1726-2012 dapat dilihat pada tabel – tabel berikut ini.

Tabel 5.10 Rekapitulasi Simpangan Perlantai *Elnashai* Titik 1 dan 2

Letak	Joint	SNI 03-1726-2012		SNI 03-1726-2002	
		Simpangan		Simpangan	
		X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)
Pojok Barat-Selatan (Titik 1)	511	0.0190	0.0258	0.0148	0.0213
	401	0.0161	0.0218	0.0125	0.0177
	218	0.0123	0.0162	0.0096	0.0134
	82	0.0072	0.0092	0.0061	0.0074
	117	0.0014	0.0009	0.0012	0.0008
Pojok Timur-Selatan (Titik 2)	510	0.0168	0.0263	0.0128	0.0214
	400	0.0145	0.0220	0.0110	0.0180
	216	0.0111	0.0167	0.0083	0.0135
	81	0.0063	0.0096	0.0047	0.0075
	116	0.001195	0.0011	0.0002	0.0006

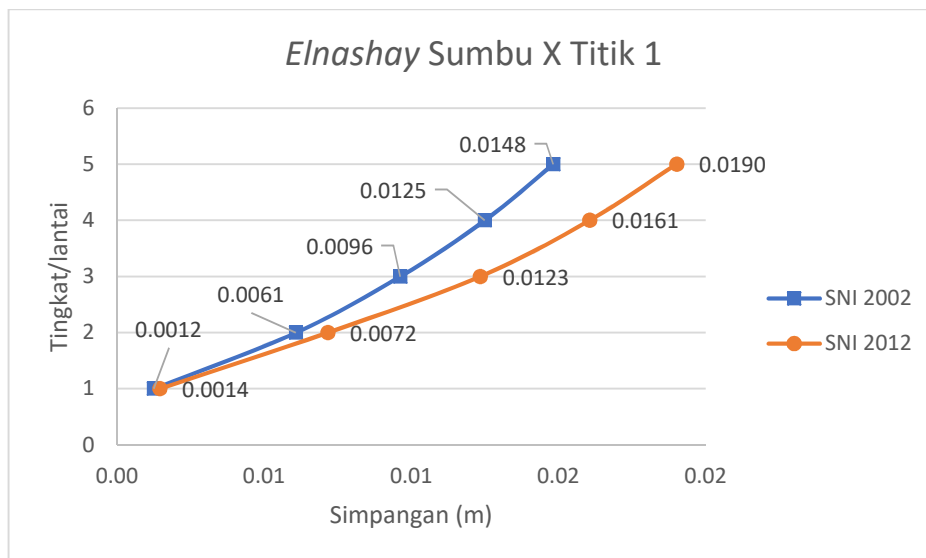
Tabel 5.11 Rekapitulasi Simpangan Perlantai *El Centro* Titik 1 dan 2

Letak	Joint	SNI 03-1726-2012		SNI 03-1726-2002	
		Simpangan		Simpangan	
		X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)
Pojok Barat-Selatan (Titik 1)	511	0.0213	0.0307	0.0172	0.0257
	401	0.0185	0.0257	0.0147	0.0219
	218	0.0145	0.0201	0.0119	0.0170
	82	0.0095	0.0121	0.0084	0.0102
	117	0.0041	0.0036	0.0035	0.0031
Pojok Timur-Selatan (Titik 2)	510	0.0217	0.0311	0.0146	0.0231
	400	0.0194	0.0263	0.0127	0.0192
	216	0.0159	0.0203	0.0100	0.0143
	81	0.0101	0.0124	0.0057	0.0079
	116	0.0033	0.0039	0.0003	0.0008

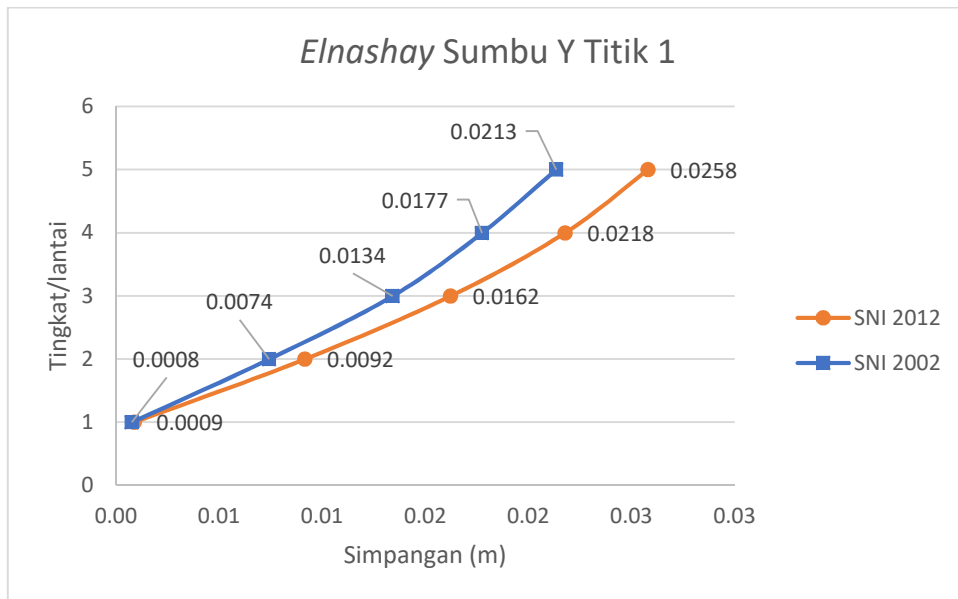
Tabel 5.12 Rekapitulasi Simpangan Perlantai *Bucharest* Titik 1 dan 2

Letak	Joint	SNI 03-1726-2012		SNI 03-1726-2002	
		Simpangan		Simpangan	
		X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)
Pojok Barat-Selatan (Titik 1)	511	0.0528	0.0569	0.0408	0.0454
	401	0.0442	0.0440	0.0343	0.0363
	218	0.0332	0.0315	0.0257	0.0252
	82	0.0182	0.0165	0.0135	0.0132
	117	0.0021	0.0013	0.0017	0.0011
Pojok Timur-Selatan (Titik 2)	510	0.0575	0.0555	0.0441	0.0439
	400	0.0482	0.0446	0.0375	0.0350
	216	0.0369	0.0309	0.0282	0.0244
	81	0.0220	0.0159	0.0164	0.0127
	116	0.003015	0.0015	0.0027	0.0007

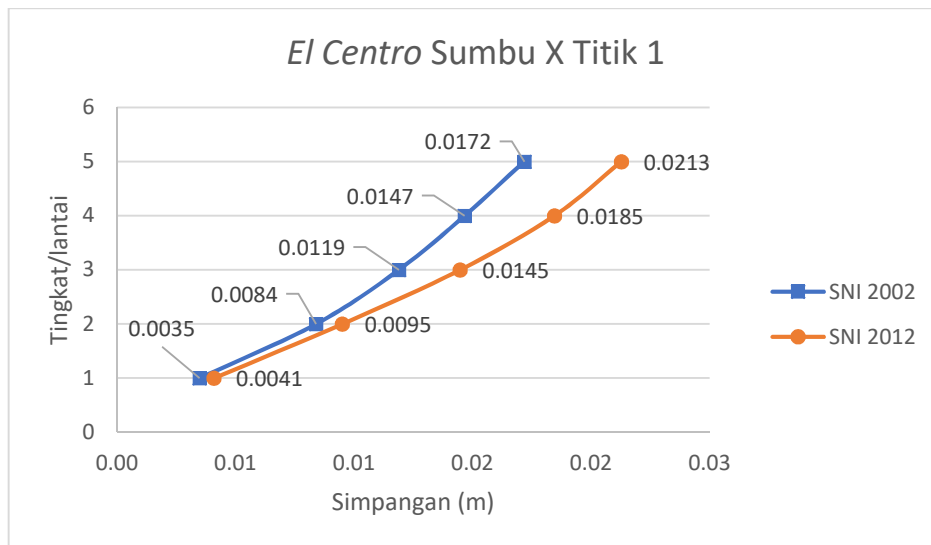
Hasil simpangan perlantai menurut SNI 03-1726-2012 lebih besar dibandingkan simpangan perlantai menurut SNI 03-1726-2002. Perbandingan hasil simpangan tersebut dapat dilihat pada gambar – gambar berikut ini.



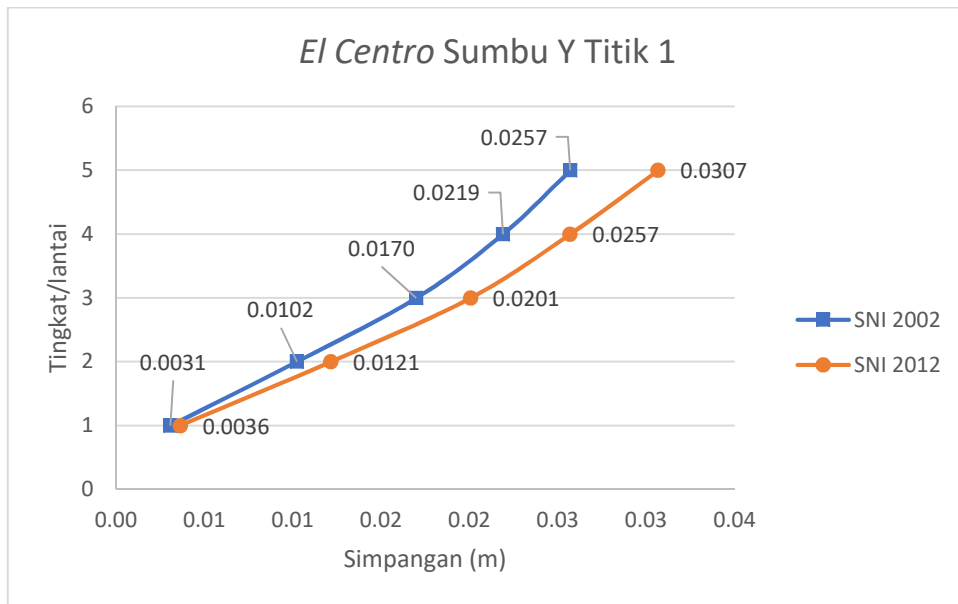
Gambar 5.25 Perbandingan Simpangan Perlantai *Elnashai* Sumbu X antara SNI 03-1726-2002 dan SNI 03-1726-2012



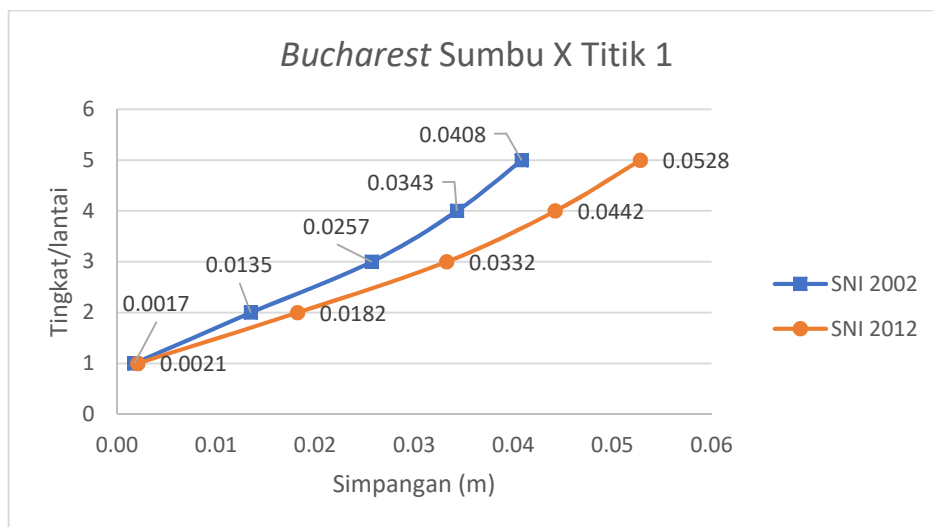
Gambar 5.26 Perbandingan Simpangan Perlantai *Elnashay* Sumbu Y antara SNI 03-1726-2002 dan SNI 03-1726-2012



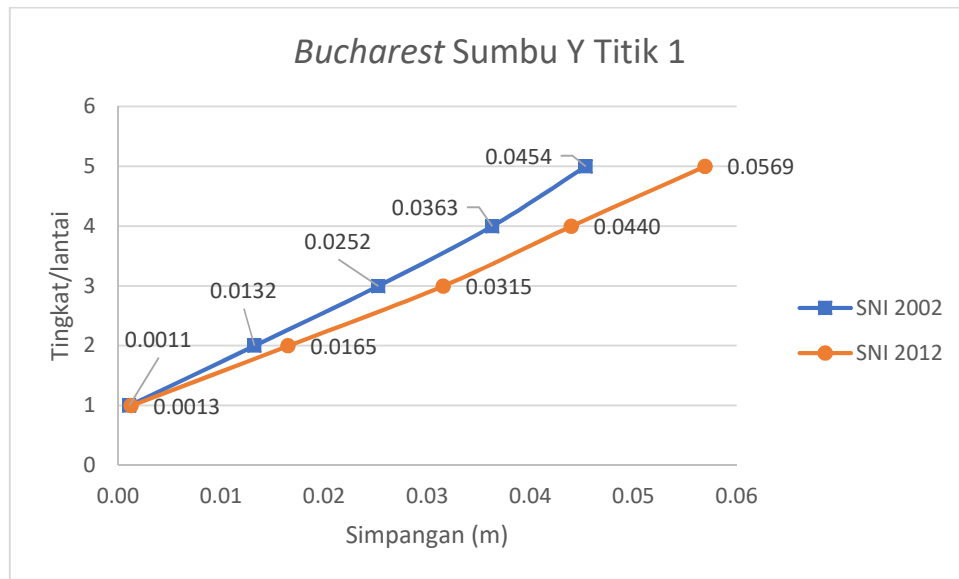
Gambar 5.27 Perbandingan Simpangan Perlantai *El Centro* Sumbu X antara SNI 03-1726-2002 dan SNI 03-1726-2012



Gambar 5.28 Perbandingan Simpangan Perlantai *El Centro* Sumbu Y antara SNI 03-1726-2002 dan SNI 03-1726-2012



Gambar 5.29 Perbandingan Simpangan Perlantai *Bucharest* Sumbu X antara SNI 03-1726-2002 dan SNI 03-1726-2012



Gambar 5.30 Perbandingan Simpangan Perlantai *Bucharest* Sumbu Y antara SNI 03-1726-2002 dan SNI 03-1726-2012

Berdasarkan hasil analisis, simpangan perlantai menurut SNI 03-1726-2012 mengalami peningkatan dari simpangan perlantai menurut SNI 03-1726-2002. Peningkatan tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.13 berikut ini.

Tabel 5.13 Peningkatan Simpangan Perlantai (%)

Letak	Joint	<i>Elnashai</i>		<i>Elcentro</i>		<i>Bucharest</i>	
		Peningkatan (%)		Peningkatan (%)		Peningkatan (%)	
		X	Y	X	Y	X	Y
Pojok Barat-Selatan (Titik 1)	511	28.3	20.9	23.8	19.3	29.4	25.5
	401	28.5	22.7	25.8	17.3	29.0	21.2
	218	28.3	20.9	21.8	18.0	29.4	25.0
	82	17.8	23.4	13.3	18.8	34.7	24.8
	117	16.3	14.9	17.6	17.7	20.0	19.0

Peningkatan simpangan perlantai disebabkan oleh nilai pengali total rekaman gempa dan adanya pemanbahan faktor redudansi () dan 0,2 kali SDs untuk beban mati pada SNI 03-1726-2012. Nilai pengali total rekaman gempa menurut SNI 03-1726-2002 lebih kecil dari pada nilai pengali total menurut SNI 03-1726-2012. Hal tersebut dikarenakan nilai percepatan puncak muka tanah menurut SNI 03-1726-2012 yang lebih besar dari pada nilai percepatan puncak

muka tanah menurut SNI 03-1726-2002, percepatan puncak muka tanah didapat dari peta gempa Indonesia.

Penambahan faktor redundansi akan dikalikan dengan beban gempa baik arah X maupun Y, nilai faktor tersebut sebesar 1,3. Kemudian 0,2 dari SDs yang di tambahkan dengan beban mati. Sehingga hal itu menyebabkan simpangan menurut SNI 03-1726-2012 lebih besar dari simpangan menurut SNI 03-1726-2002.

5.8.3 Simpangan Antar Lantai

Simpangan hasil perhitungan sebelumnya akan digunakan untuk mendapatkan nilai simpangan antar lantai. Kemudian simpangan antar lantai harus sesuai dengan persyaratan masing – masing standar yang digunakan. Perhitungan dan hasil analisis akan dijabarkan seperti berikut ini.

1. SNI 03-1726-2002

Simpangan antar lantai (Δ_s) adalah simpangan lantai (δ_e) yang dituju dikurangi dengan lantai dibawahnya. Berdasarkan SNI 03-1726-2002 pasal 8, kinerja struktur gedung dibagi menjadi kinerja batas layan dan kinerja batas ultimit. Kinerja tersebut akan dijabarkan seperti berikut ini.

a. Kinerja batas layan

Simpangan antar lantai tidak boleh melebihi $(0,03/R)$ dikali tinggi tingkat yg dituju (h_x) atau 30 mm, diantara 2 persyaratan tersebut diambil yang terkecil.

1) *Elnashai*

Diketahui:

$$\text{Simpangan lantai 2 sumbu x } (\delta_{e2}) = 6,0760 \text{ mm}$$

$$\text{Simpangan lantai 1/basement sumbu x } (\delta_{e1}) = 1,2450 \text{ mm}$$

$$\Delta_{s2} = \delta_{e2} - \delta_{e1} < \frac{0,03}{8,5} \times 4940$$

$$\Delta_{s2} = 6,0760 - 1,2450 < 17,43 \text{ mm}$$

$$\Delta_{s2} = 4,8310 \text{ mm} < 17,43 \text{ mm}$$

Rekapitulasi simpangan antar lantai dengan persyaratan batas layan dapat dilihat pada Tabel 5.14 dan 5.15 berikut ini.

Tabel 5.14 Rekapitulasi Simpangan Antar Lantai dan Batas Layan *Elnashai* Sumbu X Titik 1

Lantai	h_{sx} (mm)	Simpangan, e (mm)	Simpangan antar lantai, s (mm)	Simpangan antar lantai Batas Layan, $0.03/R*hx$ (mm)	Keterangan Batas Layan
5	4200	14,8170	2,3236	14,8235	Memenuhi Syarat
4	4200	12,4934	2,8764	14,8235	Memenuhi Syarat
3	4200	9,6170	3,5410	14,8235	Memenuhi Syarat
2	4940	6,0760	4,8310	17,4353	Memenuhi Syarat
1	3400	1,2450	1,2450	12,0000	Memenuhi Syarat

Tabel 5.15 Rekapitulasi Simpangan Antar Lantai dan Batas Layan *Elnashai* Sumbu Y Titik 1

Lantai	h_{sx} (mm)	Simpangan, e (mm)	Simpangan antar lantai, s (mm)	Simpangan antar lantai Batas Layan, $0.03/R*hx$ (mm)	Keterangan Batas Layan
5	4200	21,3410	3,5920	14,8235	Memenuhi Syarat
4	4200	17,7490	4,3340	14,8235	Memenuhi Syarat
3	4200	13,4150	5,9980	14,8235	Memenuhi Syarat
2	4940	7,4170	6,6500	17,4353	Memenuhi Syarat
1	3400	0,7670	0,7670	12,0000	Memenuhi Syarat

2) *El Centro*

Diketahui:

$$\text{Simpangan lantai 2 sumbu x } (\delta_{e2}) = 8,3870 \text{ mm}$$

$$\text{Simpangan lantai 1/basement sumbu x } (\delta_{e1}) = 3,4720 \text{ mm}$$

$$\Delta_{s2} = \delta_{e2} - \delta_{e1} < \frac{0,03}{8,5} \times 4940$$

$$\Delta_{s2} = 8,3870 - 3,4720 < 17,44 \text{ mm}$$

$$\Delta_{s2} = 4,9150 \text{ mm} < 17,44 \text{ mm}$$

Rekapitulasi simpangan antar lantai dengan persyaratan batas layan dapat dilihat pada Tabel 5.16 dan 5.17 berikut ini.

Tabel 5.16 Rekapitulasi Simpangan Antar Lantai dan Batas Layan *El Centro* Sumbu X Titik 1

Lantai	h_{sx} (mm)	Simpangan, e (mm)	Simpangan antar lantai, s (mm)	Simpangan antar lantai Batas Layan, $0.03/R*hx$ (mm)	Keterangan Batas Layan
5	4200	17,1770	2,5160	14,8235	Memenuhi Syarat
4	4200	14,6610	2,7760	14,8235	Memenuhi Syarat
3	4200	11,8850	3,4980	14,8235	Memenuhi Syarat
2	4940	8,3870	4,9150	17,4353	Memenuhi Syarat
1	3400	3,4720	3,4720	12,0000	Memenuhi Syarat

Tabel 5.17 Rekapitulasi Simpangan Antar Lantai dan Batas Layan *El Centro* Sumbu Y Titik 1

Lantai	h_{sx} (mm)	Simpangan, e (mm)	Simpangan antar lantai, s (mm)	Simpangan antar lantai Batas Layan, $0.03/R*hx$ (mm)	Keterangan Batas Layan
5	4200	25,7040	3,8160	14,8235	Memenuhi Syarat
4	4200	21,8880	4,8960	14,8235	Memenuhi Syarat
3	4200	16,9920	6,7680	14,8235	Memenuhi Syarat
2	4940	10,2240	7,1370	17,4353	Memenuhi Syarat
1	3400	3,0870	3,0870	12,0000	Memenuhi Syarat

3) *Bucharest*

Diketahui:

$$\text{Simpangan lantai 3 sumbu x } (\delta_{e3}) = 25,3850 \text{ mm}$$

$$\text{Simpangan lantai 2 sumbu x } (\delta_{e2}) = 13,2000 \text{ mm}$$

$$\Delta_{s3} = \delta_{e3} - \delta_{e2} < \frac{0,03}{8,5} \times 4200$$

$$\Delta_{s3} = 25,3850 - 13,2000 < 14,82 \text{ mm}$$

$$\Delta_{s3} = 12,1850 \text{ mm} < 14,82 \text{ mm}$$

Rekapitulasi simpangan antar lantai dengan persyaratan batas layan dapat dilihat pada Tabel 5.18 dan 5.19 berikut ini.

Tabel 5.18 Rekapitulasi Simpangan Antar Lantai dan Batas Layan *Bucharest* Sumbu X Titik 1

Lantai	h_{sx} (mm)	Simpangan, e (mm)	Simpangan antar lantai, s (mm)	Simpangan antar lantai Batas Layan, $0.03/R \cdot h_x$ (mm)	Keterangan Batas Layan
5	4200	40,8210	6,5440	14,8235	Memenuhi Syarat
4	4200	34,2770	8,5920	14,8235	Memenuhi Syarat
3	4200	25,6850	12,1850	14,8235	Memenuhi Syarat
2	4940	13,5000	11,7680	17,4353	Memenuhi Syarat
1	3400	1,7320	1,7320	12,0000	Memenuhi Syarat

Tabel 5.19 Rekapitulasi Simpangan Antar Lantai dan Batas Layan *Bucharest* Sumbu Y Titik 1

Lantai	h_{sx} (mm)	Simpangan, e (mm)	Simpangan antar lantai, s (mm)	Simpangan antar lantai Batas Layan, $0.03/R \cdot h_x$ (mm)	Keterangan Batas Layan
5	4200	45,3600	9,0770	14,8235	Memenuhi Syarat
4	4200	36,2830	11,0550	14,8235	Memenuhi Syarat
3	4200	25,2280	12,0040	14,8235	Memenuhi Syarat
2	4940	13,2240	12,1500	17,4353	Memenuhi Syarat
1	3400	1,0740	1,0740	12,0000	Memenuhi Syarat

b. Kinerja Batas Ultimit

Berdasarkan pasal 8.2.1 dan 8.2.2, simpangan antar lantai (Δ_s) dikalikan dengan faktor pengali (ξ) dan hasil perkalian tersebut tidak boleh melebihi 0,02 kali tinggi tingkat yang bersangkutan (h_x).

1) *Elnashai*

Diketahui:

$$\text{Simpangan antar lantai } (\Delta_{s1}) = 1,2450 \text{ mm}$$

$$\text{Koefisien reduksi gempa (R)} = 8,5$$

$$\text{Faktor skala} = 1,02$$

$$\Delta_1 = \Delta_{s1} \times \xi < 0,02 h_x$$

$$\Delta_1 = 1,2450 \times ((0,7 \times R)/1,02) < 0,02 \times 3400$$

$$\Delta_1 = 1,2450 \times \left(\frac{(0,7 \times 8,5)}{1,0}\right) < 68 \text{ mm}$$

$$\Delta_1 = 7,25 \text{ mm} < 68 \text{ mm}$$

Rekapitulasi simpangan antar lantai dengan persyaratan batas ultimit dapat dilihat pada Tabel 5.20 dan 5.21 berikut ini.

Tabel 5.20 Rekapitulasi Simpangan Antar Lantai dan Batas Ultimit *Elnashai* Sumbu X Titik 1

Lantai	h_{sx} (mm)	Simpangan antar lantai, s (mm)	= s^* (mm)	Keterangan Batas Ultimit
5	4200	2,3236	13,52	Memenuhi Syarat
4	4200	2,8764	16,74	Memenuhi Syarat
3	4200	3,5410	20,61	Memenuhi Syarat
2	4940	4,8310	28,12	Memenuhi Syarat
1	3400	1,2450	7,25	Memenuhi Syarat

Tabel 5.21 Rekapitulasi Simpangan Antar Lantai dan Batas Ultimit *Elnashai* Sumbu Y Titik 1

Lantai	h_{sx} (mm)	Simpangan antar lantai, s (mm)	= s^* (mm)	Keterangan Batas Ultimit
5	4200	3,5920	20,91	Memenuhi Syarat
4	4200	4,3340	25,22	Memenuhi Syarat
3	4200	5,9980	34,91	Memenuhi Syarat
2	4940	6,6500	38,7	Memenuhi Syarat
1	3400	0,7670	4,46	Memenuhi Syarat

2) *El Centro*

Diketahui:

$$\text{Simpangan antar lantai } (\Delta_{s1}) = 3,4720 \text{ mm}$$

$$\text{Koefisien reduksi gempa (R)} = 8,5$$

$$\text{Faktor skala} = 1,7$$

$$\Delta_1 = \Delta_{s1} \times \xi < 0,02 h_x$$

$$\Delta_1 = 3,4720 \times ((0,7 \times R)/1,7) < 0,02 \times 3400$$

$$\Delta_1 = 3,4720 \times ((0,7 \times 8,5)/1,7) < 68 \text{ mm}$$

$$\Delta_1 = 12,15 \text{ mm} < 68 \text{ mm}$$

Rekapitulasi simpangan antar lantai dengan persyaratan batas ultimit dapat dilihat pada Tabel 5.22 dan 5.23 berikut ini.

Tabel 5.22 Rekapitulasi Simpangan Antar Lantai dan Batas Ultimit *El* Centro Sumbu X Titik 1

Lantai	h_{sx} (mm)	Simpangan antar lantai, s (mm)	= s^* (mm)	Keterangan Batas Ultimit
5	4200	2,5160	8,8	Memenuhi Syarat
4	4200	2,7760	9,71	Memenuhi Syarat
3	4200	3,4980	12,24	Memenuhi Syarat
2	4940	4,9150	17,2	Memenuhi Syarat
1	3400	3,4720	12,15	Memenuhi Syarat

Tabel 5.23 Rekapitulasi Simpangan Antar Lantai dan Batas Ultimit *El* Centro Sumbu Y Titik 1

Lantai	h_{sx} (mm)	Simpangan antar lantai, s (mm)	= s^* (mm)	Keterangan Batas Ultimit
5	4200	3,8160	13,35	Memenuhi Syarat
4	4200	4,8960	17,13	Memenuhi Syarat
3	4200	6,7680	23,68	Memenuhi Syarat
2	4940	7,1370	24,97	Memenuhi Syarat
1	3400	3,0870	10,8	Memenuhi Syarat

3) *Bucharest*

Diketahui:

$$\text{Simpangan antar lantai } (\Delta_{51}) = 1,7320 \text{ mm}$$

$$\text{Koefisien reduksi gempa (R)} = 8,5$$

$$\text{Faktor skala} = 1,88$$

$$\Delta_1 = \Delta_{51} \times \xi < 0,02 h_x$$

$$\Delta_1 = 1,7320 \times \left(\frac{0,7 \times R}{1,88} \right) < 0,02 \times 3400$$

$$\Delta_1 = 1,7320 \times ((0,7 \times 8,5)/1,88) < 68 \text{ mm}$$

$$\Delta_1 = 5,48 \text{ mm} < 68 \text{ mm}$$

Rekapitulasi simpangan antar lantai dengan persyaratan batas ultimit dapat dilihat pada Tabel 5.24 dan 5.25 berikut ini.

**Tabel 5.24 Rekapitulasi Simpangan Antar Lantai dan Batas Ultimit
Bucharest Sumbu X Titik 1**

Lantai	h_{sx} (mm)	Simpangan antar lantai, s (mm)	= s^* (mm)	Keterangan Batas Ultimit
5	4200	6,5440	20,7	Memenuhi Syarat
4	4200	8,5920	27,18	Memenuhi Syarat
3	4200	12,1850	38,55	Memenuhi Syarat
2	4940	11,7680	37,23	Memenuhi Syarat
1	3400	1,7320	5,48	Memenuhi Syarat

**Tabel 5.25 Rekapitulasi Simpangan Antar Lantai dan Batas Ultimit
Bucharest Sumbu Y Titik 1**

Lantai	h_{sx} (mm)	Simpangan antar lantai, s (mm)	= s^* (mm)	Keterangan Batas Ultimit
5	4200	9,0770	28,72	Memenuhi Syarat
4	4200	11,0550	34,98	Memenuhi Syarat
3	4200	12,0040	37,98	Memenuhi Syarat
2	4940	12,1500	38,44	Memenuhi Syarat
1	3400	1,0740	3,4	Memenuhi Syarat

2. SNI 03-1726-2012

Berdasarkan SNI 03-1726-2012 pasal 7.12.1, simpangan antar lantai (Δ) lebih kecil dari simpangan antar tingkat ijin ($0,02 h_s$) sesuai Tabel 16 SNI 03-1726-2012. Perhitungan simpangan antar lantai akan dijabarkan seperti berikut ini.

a. *Elnashai*

Diketahui:

Simpangan lantai 1/basement sumbu x (δ_1) = 1.4480 mm

Simpangan lantai 2 sumbu x (δ_2) = 7.1550 mm

Faktor keutamaan bangunan (I) = 1

Faktor pembesaran defleksi (C_d) = 5,5

= 1,3

$$\Delta = \frac{C_d(\delta_2 - \delta_1)}{I} < 0,02 h_s / \rho$$

$$\Delta_z = \frac{C_d(\delta_2 - \delta_1)}{I} < 0,02 h_s / 1,3$$

$$\Delta_z = \frac{5,5 \times (7,1550 - 1,4480)}{1} < 0,02 \times 4940 / 1,3$$

$$\Delta_{\bar{x}} = 31.3885 \text{ mm} < 109,2 \text{ mm}$$

Rekapitulasi simpangan antar lantai dengan persyaratan simpangan antar lantai ijin dapat dilihat pada Tabel 5.26 dan 5.27 berikut ini.

Tabel 5.26 Rekapitulasi Simpangan Antar Lantai dan Simpangan Antar Lantai Ijin *Elnashai* Sumbu X Titik 1

Lantai	h_{sx} (mm)	Simpangan, (mm)	Selisih simpangan, e (mm)	= Cd e/I (mm)	Simpangan antar lantai ijin, 0,02* h_x (mm)	Keterangan
5	4200	19,0100	2,9560	16,2580	109,2	Memenuhi Syarat
4	4200	16,0540	3,7180	20,4490	109,2	Memenuhi Syarat
3	4200	12,3360	5,1810	28,4955	109,2	Memenuhi Syarat
2	4940	7,1550	5,7070	31,3885	128,44	Memenuhi Syarat
1	3400	1,4480	1,4480	7,9640	88,4	Memenuhi Syarat

Tabel 5.27 Rekapitulasi Simpangan Antar Lantai dan Simpangan Antar Lantai Ijin *Elnashai* Sumbu Y Titik 1

Lantai	h_{sx} (mm)	Simpangan, (mm)	Selisih simpangan, e (mm)	= Cd e/I (mm)	Simpangan antar lantai ijin, 0,02* h_x (mm)	Keterangan
5	4200	25,7980	4,0180	22,0990	109,2	Memenuhi Syarat
4	4200	21,7800	5,5590	30,5745	109,2	Memenuhi Syarat
3	4200	16,2210	7,0650	38,8575	109,2	Memenuhi Syarat
2	4940	9,1560	8,2750	45,5125	128,44	Memenuhi Syarat
1	3400	0,8810	0,8810	4,8455	88,4	Memenuhi Syarat

b. *El Centro*

Diketahui:

$$\text{Simpangan lantai 1/basement sumbu x (} \delta_1 \text{)} = 4.0830 \text{ mm}$$

$$\text{Simpangan lantai 2 sumbu x (} \delta_2 \text{)} = 9.4990 \text{ mm}$$

$$\text{Faktor keutamaan bangunan (I)} = 1$$

$$\text{Faktor pembesaran defleksi (C}_d\text{)} = 5,5$$

$$= 1,3$$

$$\Delta = \frac{C_d(\delta_e - \delta_{e-1})}{I} < 0,02 h_s / \rho$$

$$\Delta_z = \frac{C_d(\delta_z - \delta_1)}{1} < 0,02 h_s / \rho$$

$$\Delta_z = \frac{5,5 \times (9,4990 - 4,0830)}{1} < 0,02 \times 4940/1,3$$

$$\Delta_z = 29,7880 \text{ mm} < 128,44 \text{ mm}$$

Rekapitulasi simpangan antar lantai dengan persyaratan simpangan antar lantai ijin dapat dilihat pada Tabel 5.28 dan 5.29 berikut ini.

Tabel 5.28 Rekapitulasi Simpangan Antar Lantai dan Simpangan Antar Lantai Ijin *El Centro* Sumbu X Titik 1

Lantai	h_{sx} (mm)	Simpangan, (mm)	Selisih simpangan, e (mm)	= Cd e/I (mm)	Simpangan antar lantai ijin, 0,02* h_x (mm)	Keterangan
5	4200	21,2680	2,8180	15,4990	109,2	Memenuhi Syarat
4	4200	18,4500	3,9780	21,8790	109,2	Memenuhi Syarat
3	4200	14,4720	4,9730	27,3515	109,2	Memenuhi Syarat
2	4940	9,4990	5,4160	29,7880	128,44	Memenuhi Syarat
1	3400	4,0830	4,0830	22,4565	88,4	Memenuhi Syarat

Tabel 5.29 Rekapitulasi Simpangan Antar Lantai dan Simpangan Antar Lantai Ijin *El Centro* Sumbu Y Titik 1

Lantai	h_{sx} (mm)	Simpangan, (mm)	Selisih simpangan, e (mm)	= Cd e/I (mm)	Simpangan antar lantai ijin, 0,02* h_x (mm)	Keterangan
5	4200	30,6650	4,9820	27,4010	109,2	Memenuhi Syarat
4	4200	25,6830	5,6260	30,9430	109,2	Memenuhi Syarat
3	4200	20,0570	7,9120	43,5160	109,2	Memenuhi Syarat
2	4940	12,1450	8,5110	46,8105	128,44	Memenuhi Syarat
1	3400	3,6340	3,6340	19,9870	88,4	Memenuhi Syarat

c. *Bucharect*

Diketahui:

Simpangan lantai 1/basement sumbu x (δ_1) = 2.0780 mm

Simpangan lantai 2 sumbu x (δ_2) = 18.1880 mm

Faktor keutamaan bangunan (I) = 1

$$\begin{aligned} \text{Faktor pembesaran defleksi } (C_d) &= 5,5 \\ &= 1,3 \end{aligned}$$

$$\Delta = \frac{C_d(\delta_e - \delta_{e-1})}{I} < 0,02 h_s / \rho$$

$$\Delta_1 = \frac{C_d(\delta_2 - \delta_1)}{I} < 0,02 h_s / \rho$$

$$\Delta_1 = \frac{5,5 \times (18,1880 - 2,0780)}{1} < 0,02 \times 4940 / 1,3$$

$$\Delta_1 = 88,6050 \text{ mm} < 128,44 \text{ mm}$$

Rekapitulasi simpangan antar lantai dengan persyaratan simpangan antar lantai ijin dapat dilihat pada Tabel 5.30 dan 5.31 berikut ini.

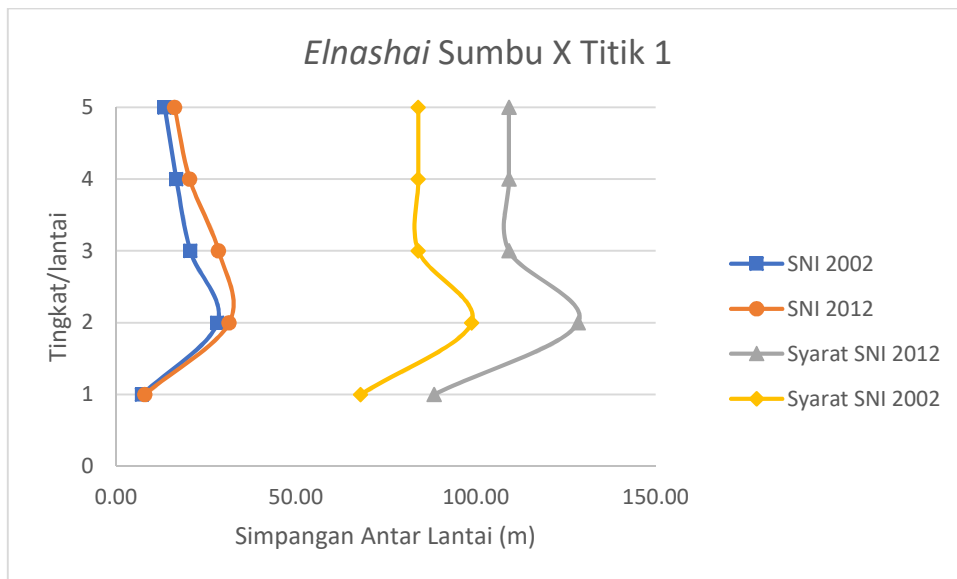
Tabel 5.30 Rekapitulasi Simpangan Antar Lantai dan Simpangan Antar Lantai Ijin Bucharest Sumbu X Titik 1

Lantai	h_{sx} (mm)	Simpangan, (mm)	Selisih simpangan, e (mm)	= Cd e/I (mm)	Simpangan antar lantai ijin, 0,02* h_x (mm)	Keterangan
5	4200	52,8080	8,6000	47,3000	109,2	Memenuhi Syarat
4	4200	44,2080	10,9660	60,3130	109,2	Memenuhi Syarat
3	4200	33,2420	15,0540	82,7970	109,2	Memenuhi Syarat
2	4940	18,1880	16,1100	88,6050	128,44	Memenuhi Syarat
1	3400	2,0780	2,0780	11,4290	88,4	Memenuhi Syarat

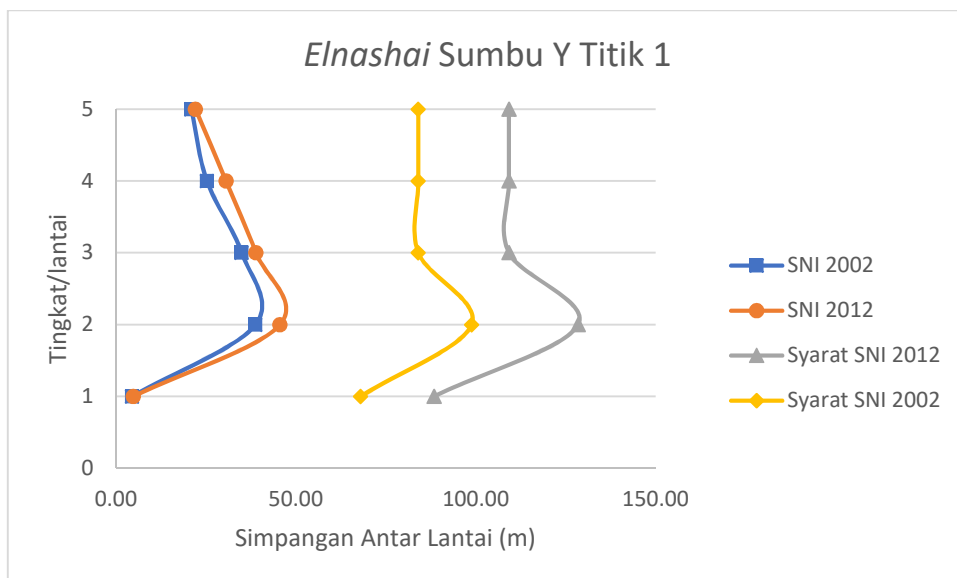
Tabel 5.31 Rekapitulasi Simpangan Antar Lantai dan Simpangan Antar Lantai Ijin Bucharest Sumbu Y Titik 1

Lantai	h_{sx} (mm)	Simpangan, (mm)	Selisih simpangan, e (mm)	= Cd e/I (mm)	Simpangan antar lantai ijin, 0,02* h_x (mm)	Keterangan
5	4200	56,9430	12,9690	71,3295	109,2	Memenuhi Syarat
4	4200	43,9740	12,4330	68,3815	109,2	Memenuhi Syarat
3	4200	31,5410	15,0440	82,7420	109,2	Memenuhi Syarat
2	4940	16,4970	15,2190	83,7045	128,44	Memenuhi Syarat
1	3400	1,2780	1,2780	7,0290	88,4	Memenuhi Syarat

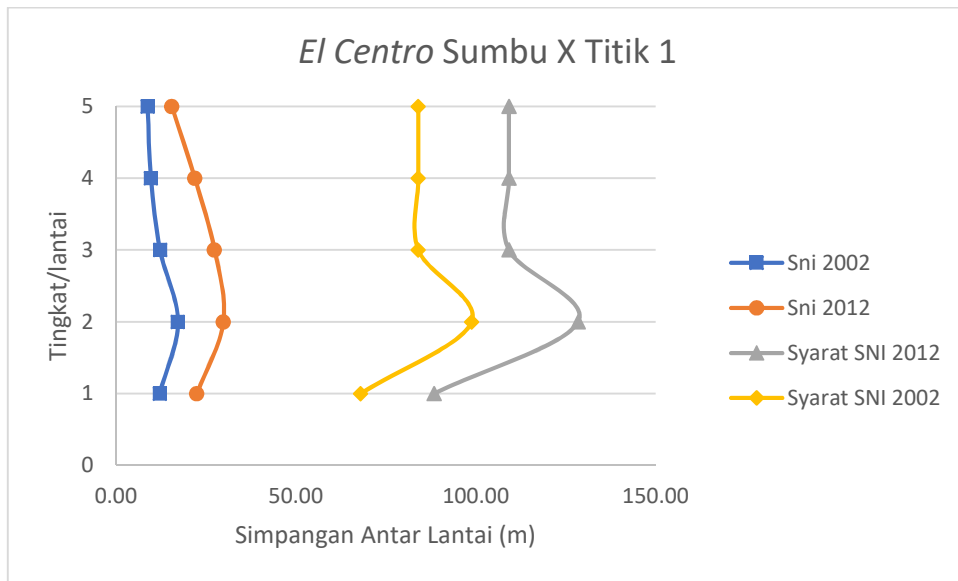
Hasil simpangan antar lantai masih memenuhi syarat dari masing – masing standar. Hasil simpangan antar lantai menurut SNI 03-1726-2002 masih memenuhi syarat SNI 03-1726-2012 begitu juga sebaliknya. Perbandingan simpangan antar lantai dapat dilihat pada gambar – gambar berikut ini.



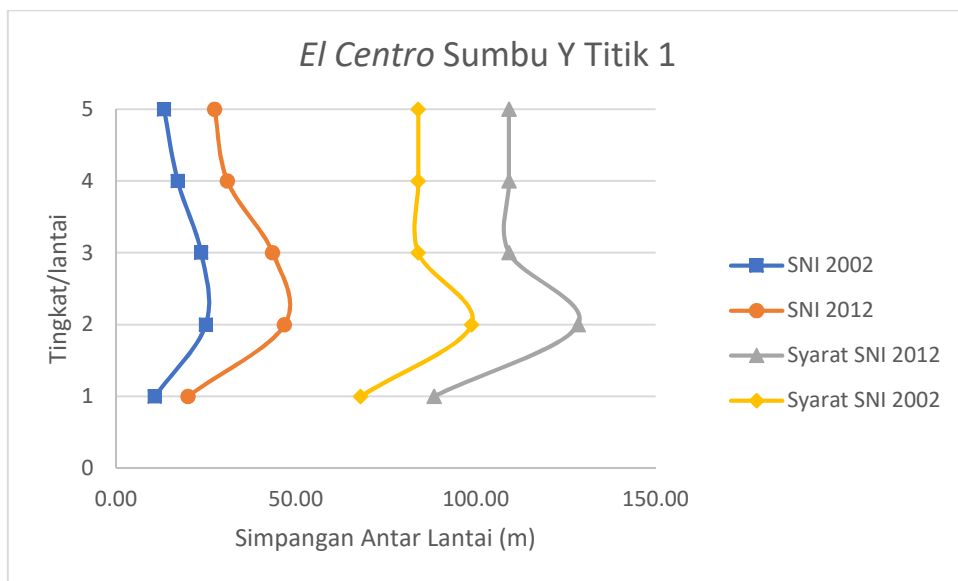
Gambar 5.31 Perbandingan Simpangan Antar Lantai *Elnashai* Sumbu X antara SNI 03-1726-2002 dan SNI 03-1726-2012



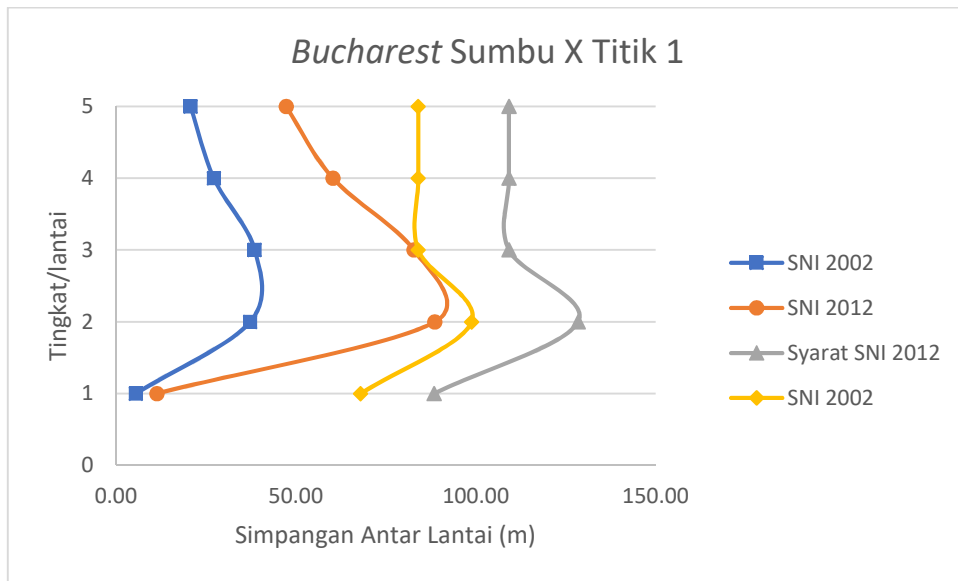
Gambar 5.32 Perbandingan Simpangan Antar Lantai *Elnashai* Sumbu Y antara SNI 03-1726-2002 dan SNI 03-1726-2012



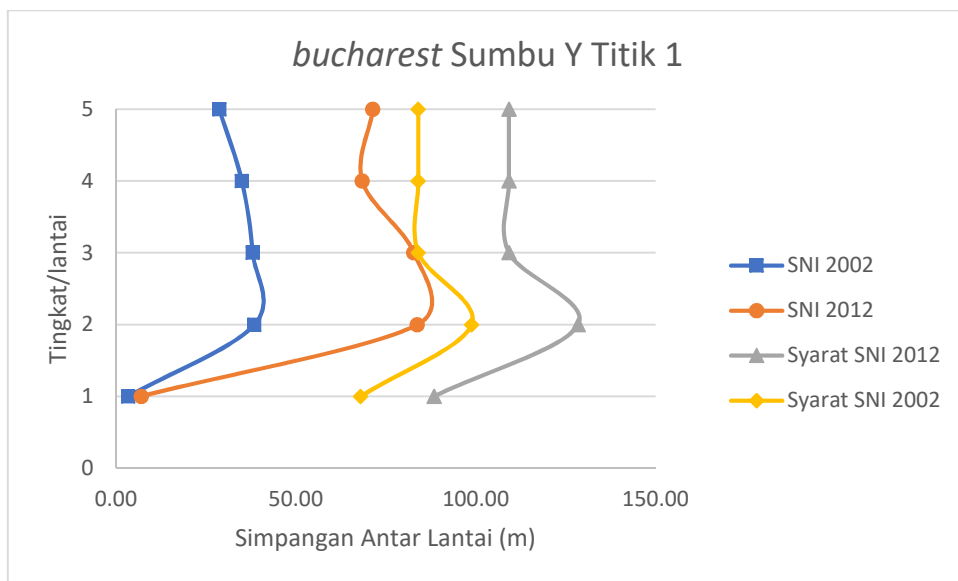
Gambar 5.33 Perbandingan Simpangan Antar Lantai *El Centro* Sumbu X antara SNI 03-1726-2002 dan SNI 03-1726-2012



Gambar 5.34 Perbandingan Simpangan Antar Lantai *El Centro* Sumbu Y antara SNI 03-1726-2002 dan SNI 03-1726-2012



Gambar 5.35 Perbandingan Simpangan Antar Lantai *Bucharest* Sumbu X antara SNI 03-1726-2002 dan SNI 03-1726-2012



Gambar 5.36 Perbandingan Simpangan Antar Lantai *Bucharest* Sumbu Y antara SNI 03-1726-2002 dan SNI 03-1726-2012

Berdasarkan hasil analisis, simpangan antar lantai menurut SNI 03-1726-2012 mengalami peningkatan dari simpangan antar lantai menurut SNI 03-1726-2002. Peningkatan tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.32 berikut ini.

Tabel 5.32 Peningkatan Simpangan Antar Lantai

Lantai	<i>Elnashai</i>		El Centro		Bucharest	
	peningkatan (%)		peningkatan (%)		peningkatan (%)	
	X	Y	X	Y	X	Y
5	20,22	5,71	76,06	105,23	128,46	148,38
4	22,15	21,21	125,26	80,63	121,88	95,51
3	38,27	11,31	123,48	83,77	114,77	117,87
2	11,64	17,60	73,22	87,46	137,98	117,75
1	9,91	8,55	84,86	85,05	108,57	106,86

Simpangan antar lantai menurut SNI 03-1726-2012 lebih besar dibandingkan dengan simpangan antar lantai menurut SNI 03-1726-2002. Hal tersebut disebabkan oleh simpangan perlantai gedung dan selisih simpangan perlantai antara lantai yang ditinjau dengan lantai dibawahnya.

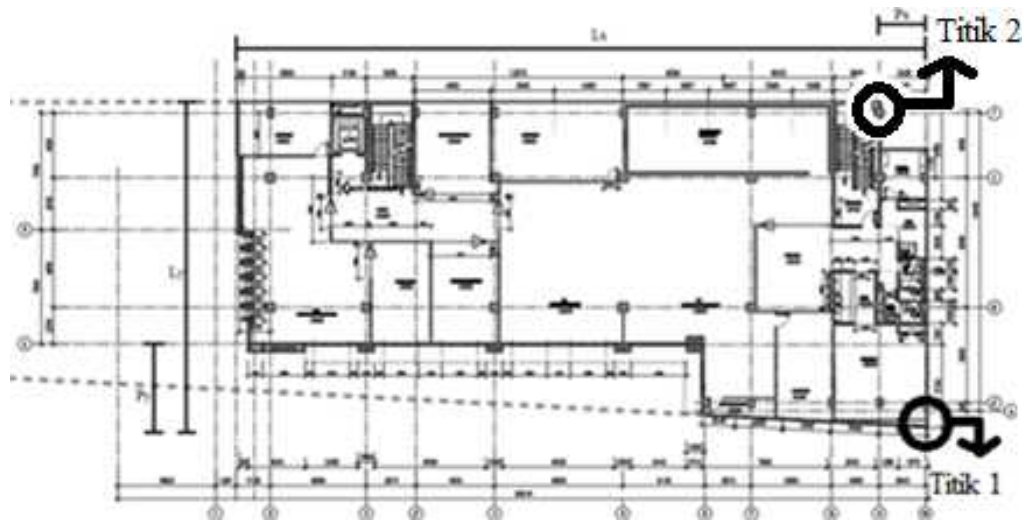
Berdasarkan perhitungan simpangan di subbab sebelumnya menghasilkan simpangan perlantai menurut SNI 03-1726-2012 lebih besar dibandingkan simpangan perlantai menurut SNI 03-1726-2002. Hal tersebut menyebabkan selisih simpangan perlantai menurut SNI 03-1726-2012 memiliki nilai lebih besar. Selisih simpangan perlantai yang lebih besar dikarenakan titik mulai hampir sama, namun titik akhir lebih jauh selisihnya. Semakin besar selisih simpangan perlantai maka akan semakin besar juga simpangan antar lantai.

5.9 Klasifikasi Ketidakberaturan Torsi

Klasifikasi ketidakberaturan torsi adalah membandingkan simpangan antar lantai maksimum (δ_{maks}) di ujung sutruktur melintang yang sejajar terhadap simpangan antar lantai rata – rata ($\delta_{rata-rata}$). Klasifikasi ketidakberaturan tersebut hanya dijelaskan pada SNI 03-1726-2012, yaitu pasal 7.3.3.4. Berdasarkan pasal tersebut bangunan beraturan wajib memenuhi syarat berikut ini.

1. $\delta_{maks} < 1,2 \delta_{rata-rata}$
2. $\delta_{maks} < 1,4 \delta_{rata-rata}$

Penelitian ini menggunakan 2 titik untuk simpangan antar lantai. Titik – titik tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.37 berikut ini.



Gambar 5.37 Letak Titik – Titik Untuk Simpangan Antar Lantai

Berdasarkan perhitungan simpangan antar lantai pada subbab sebelumnya, perhitungan simpangan antar lantai maksimum didapatkan dengan cara dipilihnya nilai tertinggi simpangan antar lantai di antara kedua titik ujung bangunan. Persyaratan klasifikasi ketidakberaturan torsi untuk masing – masing rekaman gempa dapat dilihat pada tabel - tabel berikut ini.

Tabel 5.33 Klasifikasi Ketidakberaturan Torsi Rekaman Gempa Elnashi Sumbu X

Rekaman Gempa	Lantai	1	2	maks	rata-rata	1,2 rata-rata	1,4 rata-rata	maks < 1.2 rata-rata	maks < 1.4 rata-rata
Elnashi	1	16.26	12.46	16.26	14.36	17.23	20.10	Tidak Terjadi Torsi	Tidak Terjadi Torsi
	2	20.45	18.49	20.45	19.47	23.36	27.25	Tidak Terjadi Torsi	Tidak Terjadi Torsi
	3	28.50	26.41	28.50	27.45	32.94	38.43	Tidak Terjadi Torsi	Tidak Terjadi Torsi
	4	31.39	28.34	31.39	29.87	35.84	41.81	Tidak Terjadi Torsi	Tidak Terjadi Torsi
	5	7.96	6.57	7.96	7.27	8.72	10.18	Tidak Terjadi Torsi	Tidak Terjadi Torsi

**Tabel 5.34 Klasifikasi Ketidakberaturan Torsi Rekaman Gempa *Elnashai*
Sumbu Y**

Rekaman Gempa	Lantai	1	2	maks	rata-rata	1,2 rata-rata	1,4 rata-rata	maks < 1.2 rata-rata	maks < 1.4 rata-rata
Elnashai	1	22.10	23.34	23.34	22.72	27.26	31.81	Tidak Terjadi Torsi	Tidak Terjadi Torsi
	2	30.57	29.52	30.57	30.05	36.06	42.07	Tidak Terjadi Torsi	Tidak Terjadi Torsi
	3	38.86	38.70	38.86	38.78	46.53	54.29	Tidak Terjadi Torsi	Tidak Terjadi Torsi
	4	45.51	46.88	46.88	46.20	55.44	64.68	Tidak Terjadi Torsi	Tidak Terjadi Torsi
	5	4.85	6.02	6.02	5.43	6.52	7.60	Tidak Terjadi Torsi	Tidak Terjadi Torsi

**Tabel 5.35 Klasifikasi Ketidakberaturan Torsi Rekaman Gempa *Elcentro*
Sumbu X**

Rekaman Gempa	Lantai	1	2	maks	rata-rata	1,2 rata-rata	1,4 rata-rata	maks < 1.2 rata-rata	maks < 1.4 rata-rata
Elcentro	1	12.60	12.60	12.60	12.60	15.12	17.64	Tidak Terjadi Torsi	Tidak Terjadi Torsi
	2	19.47	19.47	19.47	19.47	23.36	27.26	Tidak Terjadi Torsi	Tidak Terjadi Torsi
	3	31.95	31.95	31.95	31.95	38.34	44.73	Tidak Terjadi Torsi	Tidak Terjadi Torsi
	4	37.28	37.28	37.28	37.28	44.74	52.20	Tidak Terjadi Torsi	Tidak Terjadi Torsi
	5	18.14	18.14	18.14	18.14	21.77	25.39	Tidak Terjadi Torsi	Tidak Terjadi Torsi

**Tabel 5.36 Klasifikasi Ketidakberaturan Torsi Rekaman Gempa *Elcentro*
Sumbu Y**

Rekaman Gempa	Lantai	1	2	maks	rata-rata	1,2 rata-rata	1,4 rata-rata	maks < 1.2 rata-rata	maks < 1.4 rata-rata
Elcentro	1	27.40	26.30	27.40	26.85	32.22	37.59	Tidak Terjadi Torsi	Tidak Terjadi Torsi
	2	30.94	33.03	33.03	31.99	38.38	44.78	Tidak Terjadi Torsi	Tidak Terjadi Torsi
	3	43.52	43.26	43.52	43.39	52.06	60.74	Tidak Terjadi Torsi	Tidak Terjadi Torsi
	4	46.81	46.91	46.91	46.86	56.23	65.60	Tidak Terjadi Torsi	Tidak Terjadi Torsi
	5	19.99	21.37	21.37	20.68	24.81	28.95	Tidak Terjadi Torsi	Tidak Terjadi Torsi

Tabel 5.37 Klasifikasi Ketidakberaturan Torsi Rekaman Gempa *Bucharest* Sumbu X

Rekaman Gempa	Lantai	1	2	maks	rata-rata	1,2 rata-rata	1,4 rata-rata	maks < 1.2 rata-rata	maks < 1.4 rata-rata
Bucharest	1	47.30	51.34	51.34	49.32	59.19	69.05	Tidak Terjadi Torsi	Tidak Terjadi Torsi
	2	60.31	61.89	61.89	61.10	73.32	85.54	Tidak Terjadi Torsi	Tidak Terjadi Torsi
	3	82.80	81.98	82.80	82.39	98.87	115.35	Tidak Terjadi Torsi	Tidak Terjadi Torsi
	4	88.61	104.58	104.58	96.59	115.91	135.23	Tidak Terjadi Torsi	Tidak Terjadi Torsi
	5	11.43	16.58	16.58	14.01	16.81	19.61	Tidak Terjadi Torsi	Tidak Terjadi Torsi

Tabel 5.38 Klasifikasi Ketidakberaturan Torsi Rekaman Gempa *Bucharest* Sumbu Y

Rekaman Gempa	Lantai	1	2	maks	rata-rata	1,2 rata-rata	1,4 rata-rata	maks < 1.2 rata-rata	maks < 1.4 rata-rata
Bucharest	1	71.33	59.71	71.33	65.52	78.62	91.73	Tidak Terjadi Torsi	Tidak Terjadi Torsi
	2	68.38	75.42	75.42	71.90	86.28	100.66	Tidak Terjadi Torsi	Tidak Terjadi Torsi
	3	82.74	82.60	82.74	82.67	99.20	115.74	Tidak Terjadi Torsi	Tidak Terjadi Torsi
	4	83.70	79.12	83.70	81.41	97.70	113.98	Tidak Terjadi Torsi	Tidak Terjadi Torsi
	5	7.03	8.40	8.40	7.72	9.26	10.80	Tidak Terjadi Torsi	Tidak Terjadi Torsi

Berdasarkan klasifikasi dan persyaratan diatas, dapat disimpulkan bahwa gedung Bank Mandiri Syariah Yogyakarta untuk klasifikasi ketidakberaturan torsi baik rekaman gempa *Elnashai*, *Elcentro* dan *Bucharest* masih memenuhi syarat sebagai gedung beraturan. Hal ini dikarenakan pada gedung Bank Mandiri Syariah Yogyakarta tidak terjadi torsi pada ujung bangunan.