

---

# Analisis Perilaku Struktur Bangunan SRBE V-Terbalik dengan Ketinggian Lantai 114,7m

Rudi Sanjaya<sup>1)</sup>, Bantot Sutriyono<sup>2)</sup>, Retno Trimurtiningrum<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

<sup>2)</sup>Dosen Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

Jl. Semolowaru No.45, Surabaya

E-mail: [rudi.sanjaya848@gmail.com](mailto:rudi.sanjaya848@gmail.com)

## Abstrak

Indonesia berada pada daerah cincin api pasifik yang rawan gempa, sehingga diperlukan konstruksi bangunan tahan gempa untuk mengurangi resiko bencana yang terjadi. Sistem rangka baja dengan bresing eksentris mampu menahan paling sedikit 25% gaya seismik, namun batasan tinggi bangunan yang diizinkan dalam peraturan Indonesia adalah 75m. Penelitian ini mengambil studi kasus Gedung Tower Poros Maritim Surabaya dengan ketinggian 114,7m yang memiliki tujuan untuk menganalisis perilaku struktur yang terjadi ketika struktur baja memiliki ketinggian melebihi batasan yang diizinkan dengan menggunakan 3 variasi pemodelan. Analisis dengan respon spektrum sesuai peta gempa 2017 digunakan untuk analisis beban gempa. Model pertama menempatkan bresing pada sudut tepi bangunan dengan berat total 12.107T (101,32%), model kedua menempatkan bresing pada tengah bangunan dengan berat total 12.058T (100,91%), dan model ketiga tanpa diberikan bresing dengan berat total 11.949T (100%). Pemodelan struktur dilakukan dengan menggunakan SAP2000v.20 untuk mengetahui perilaku strukturnya. Hasil analisis menunjukkan model pertama memiliki periode struktur 3,83 dan story-drift 0,497%. Model kedua memiliki periode struktur 4,11 dan story-drift 0,745%. Dan model ketiga memiliki periode struktur 6,49 dan story-drift 1,417%. Sehingga dapat disimpulkan, letak bresing eksentris pada sudut tepi bangunan memiliki tingkat daktilitas yang lebih tinggi.

**Kata kunci:** bresing eksentris, drift, perilaku struktur, periode struktur.

## Abstract

Indonesia is located at pacific ring of fire, earthquake-resistant building construction is needed to reduce the risk of disasters. The steel frame system with eccentric bracing is able to withstand 25% of the seismic force, however, the height of the building agreed in Indonesian regulations is 75m. This research takes a case study of Tower Poros Maritim Surabaya building with a height of 114.7m which has the aim to analyze the behavior of structures that occur when steel structures have a height exceeding the permitted limits where in this case using 3 variations of modeling. Analysis with spectrum response according to 2017 earthquake map is used for earthquake load analysis. The first model places bracing at the corner of buildings with total weight 12,107T (101.32%), the second model places bracing in the center of building with total weight 12,058T (100.91%), and the third model without using bracing with total weight 11,949T (100%). Structural modeling is carried out using SAP2000v.20 to study the structural behavior. The analysis showed that the first model had structural period 3.83 and story-drift 0.497%. The second model has structural period 4.11 and story-drift 0.745%. And the third model has structural period 6.49 and story-drift 1.417%. So it can be concluded that the location of the eccentric bracing at the corner of building has a higher level of ductility.

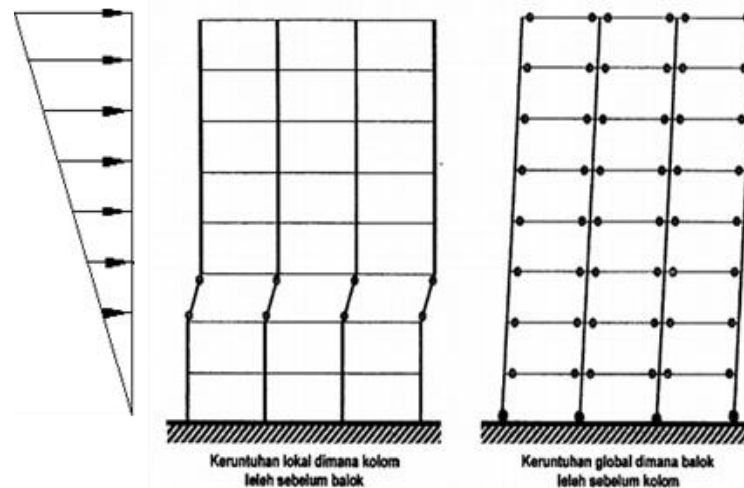
**Keywords:** eccentric bracing, story drift, structural period, structural behavior.

---

## 1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang rawan terjadi gempa bumi, karena berada pada wilayah Cincin Api Pasifik dan berada di atas tiga tumbukan lempeng benua, yaitu lempeng Indo-Australia, lempeng Eurasia, dan lempeng Pasifik (Wikipedia, 2019). Sehingga konstruksi bangunan tahan gempa sangat diperlukan supaya risiko bencana dapat dikurangi. Berdasarkan konsep desain bangunan tahan gempa, struktur bangunan harus menggunakan sistem struktur yang memiliki perilaku duktail. Untuk mendapatkan sifat yang duktail tersebut, dapat digunakan prosedur desain kapasitas, yang artinya elemen dari struktur bangunan yang menyalurkan gaya seismik melalui mekanisme perubahan bentuk (deformasi plastis) dapat didesain lokasi sendi plastisnya terlebih dahulu (Tavio dkk, 2018). Terdapat 2 (dua) jenis mekanisme terbentuknya sendi plastis pada *frame structure*, adalah sebagai berikut:

1. *Beam Sidesway Mechanism*, yaitu keadaan dimana sendi plastis terbentuk lebih dahulu pada elemen balok, karena elemen kolom lebih kuat (*Strong Column Weak Beam*).
2. *Column Sidesway Mechanism*, yaitu keadaan dimana sendi plastis terbentuk terlebih dahulu pada elemen kolom pada sebarang tingkat, karena elemen balok lebih kuat (*Strong Beam Weak Column*).



**Gambar 1.** Mekanisme Keruntuhan Terbentuknya Sendi Plastis  
(Sumber: Nasution, 2013)

Dalam penelitian ini digunakan sistem struktur bangunan SRBE V-terbalik dengan ketinggian lantai 114,7m, yaitu mengambil studi kasus pada Gedung Tower Poros Maritim Surabaya. Perilaku dari struktur yang berupa perpindahan, kecepatan, dan percepatan berbanding lurus dengan jumlah tingkat suatu struktur bangunan, karena bangunan yang semakin tinggi mengakibatkan bertambahnya berat bangunan dan gaya yang diterima lantai tersebut untuk terjadinya deformasi (Elly dkk, 2018). Tipe bresing V-terbalik dipilih karena momen terbesar yang akan menyebabkan kondisi plastis tidak terjadi di dekat kolom, jadi dipastikan tidak akan terjadi kegagalan kolom akibat kondisi inelastis yang terjadi (Dewobroto, 2016).

---

Karena bangunan memiliki tinggi melebihi ketentuan yang disyaratkan pada SNI 1726-2019, yaitu 75m untuk SRBE, maka penelitian bertujuan untuk menganalisis bagaimana pengaruh penggunaan sistem struktur tersebut yang memiliki ketinggian melebihi “peraturan batasan tinggi bangunan di Indonesia” terhadap periode struktur, *story drift*, dan efek P-Delta, serta menganalisis pengaruh penempatan letak bresing pada 3 variasi pemodelan yang digunakan dalam penelitian ini.

## 2. METODE PENELITIAN

Terdapat 2 (dua) metode yang dapat digunakan untuk melakukan analisis gaya seismik secara dinamik, yaitu analisis dinamik *linear* dan analisis dinamik *nonlinear*. Analisis dinamik *linear* dengan menggunakan *response spectrume* dipilih pada penelitian ini untuk mendapatkan respon dinamik dari struktur bangunan yang memiliki perilaku elastik penuh terhadap pengaruh suatu gaya gempa sesuai *spectrume response* gempa rencana berdasarkan lokasi penelitian terkait, yaitu Jl. Perak Timur No. 478, Perak Utara, Kec. Pabean Cantian, Kota Surabaya.

Penentuan pembebanan dan pemodelan pada proses analisis merujuk pada ketentuan SNI 1727-2013, SNI 1729-2015, SNI 1726-2019, dan berdasarkan Buku Peta Gempa Indonesia 2017. Pembebanan dilakukan bersamaan dengan pemodelan struktur pada masing-masing variasi model menggunakan program SAP2000v.20, diantaranya beban mati, beban mati tambahan, beban hidup, beban hidup atap, beban hujan, beban angin, dan beban gempa, serta dibuat konfigurasi kombinasi pembebanan sesuai SNI 1726-2019. Beban angin dan beban gempa menggunakan formula atau algoritma *ASCE 7-16 code* yang sudah *built-in* pada program SAP2000v.20 dengan memodifikasi parameter-parameter terkait sesuai dengan lokasi penelitian.

Dari hasil *run analysis* dengan program SAP2000v.20 akan didapatkan output yang dibutuhkan untuk proses pengecekan dan perhitungan perilaku struktur yang terjadi pada setiap variasi pemodelan.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Sistem Struktur

Bangunan pada penelitian tugas akhir ini (Tower Poros Maritim Surabaya) difungsikan sebagai perkantoran. Sesuai tabel 3 SNI 1726-2019, berada pada kategori risiko II dengan faktor keutamaan gempa ( $I_e$ ) adalah 1,0 dan memiliki kelas situs tanah lunak ( $SE$ ).

Dengan menggunakan program RSA2019 dari PusGeN atau melalui situs: [rsapuskim2019.litbang.pu.go.id](http://rsapuskim2019.litbang.pu.go.id) diperoleh parameter-parameter untuk menentukan kategori desain seismik (KDS). Output parameter tersebut telah dihitung otomatis menggunakan formula sesuai tabel 6, tabel 7, dan pasal 6.4 SNI 1726-2019.

Berikut merupakan parameter-parameter *output* program RSA2019:

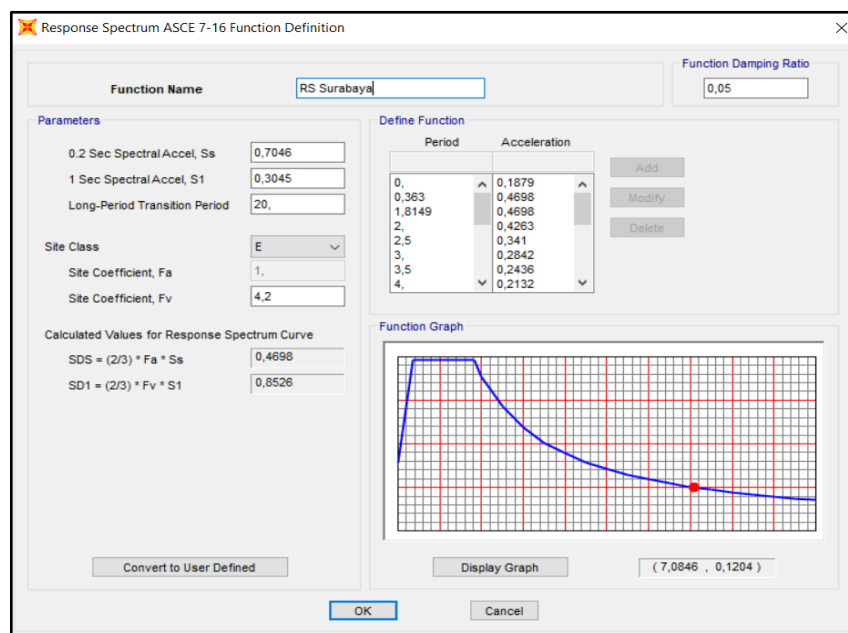
SE - Tanah Lunak	$F_v$	= 2.781947
PGA = 0.323804 g	$S_{m_s}$	= 0.967174 g
PGAm = 0.502671 g	$S_{m_1}$	= 0.847140 g
$S_s$ = 0.704649 g	$S_{d_s}$	= 0.644783 g
$S_1$ = 0.304513 g	$S_{d_1}$	= 0.564760 g
TL = 20.00000 detik	$T_0$	= 0.175178 detik
Fa = 1.372561	$T_s$	= 0.875891 detik

Dengan menggunakan parameter-parameter dari *output* program RSA2019 dapat ditentukan **KDS**-nya yaitu **D** sesuai ketentuan tabel 8 dan tabel 9 SNI 1726-2019. Sehingga dapat diketahui **Faktor Sistem Struktur** sesuai tabel 12 SNI 1726-2019 diantaranya, koefisien modifikasi respons (**R**) = 8,0; faktor kuat lebih sistem ( **$\Omega_0$** ) = 2,5; dan faktor pembesaran defleksi ( **$C_d$** ) = 4,0

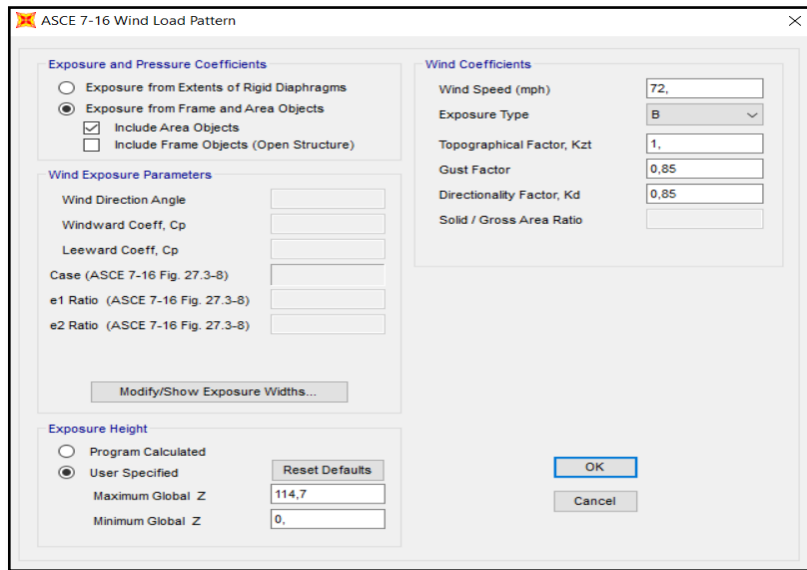
### 3.2. Pembebanan

Pembebanan ditentukan berdasarkan SNI 1727-2013 & SNI 1729-2019 yang dilakukan bersamaan dengan pemodelan struktur pada masing-masing variasi model menggunakan program SAP2000v.20. Pembebanan meliputi beban mati (berat sendiri material struktur), beban mati tambahan (*super imposed dead load*), beban hidup (*live load*), beban hidup atap (*roof live*), beban hujan, beban angin, dan beban gempa, serta dibuat konfigurasi kombinasi pembebanan sesuai ketentuan peraturan untuk mempermudah mencari beban ultimit pada struktur setelah dilakukan proses *run analysis*.

Karena beban angin dan beban gempa menggunakan algoritma ASCE 7-16 *code* yang sudah *built-in* di dalam program SAP2000v.20, dan tinggal dilakukan modifikasi parameter-parameter terkait sesuai dengan lokasi penelitian, sehingga tidak diperlukan perhitungan yang rinci untuk memodelkan kedua beban tersebut.



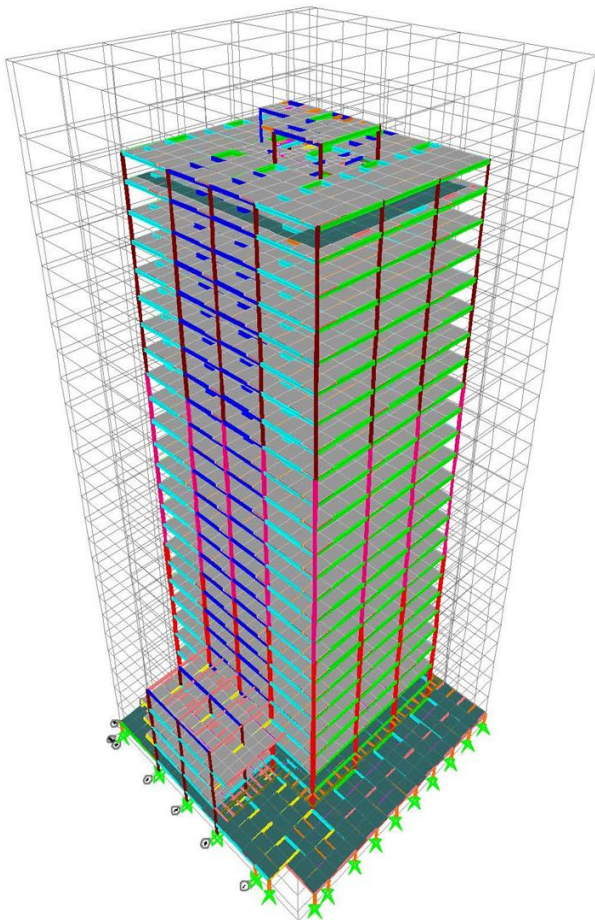
**Gambar 2.** Respons Spektrum Surabaya dengan ASCE 7-16 *Code* SAP2000v.20



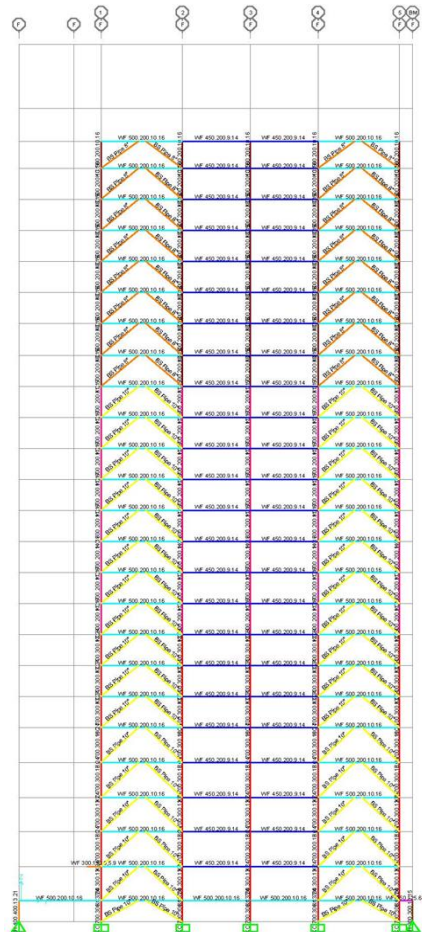
**Gambar 3.** ASCE 7-16 Wind Load Pattern SAP2000

### 3.3. Pemodelan Struktur

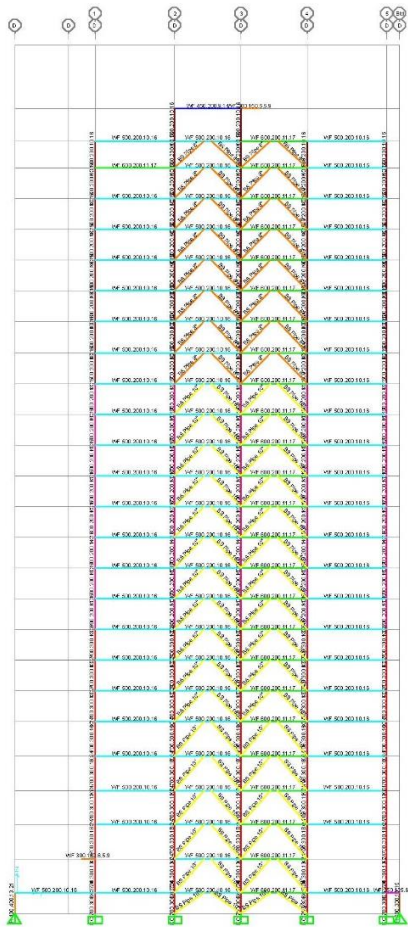
Pemodelan struktur dilakukan menggunakan program SAP2000v.20 secara 3 dimensi untuk masing-masing variasi pemodelan.



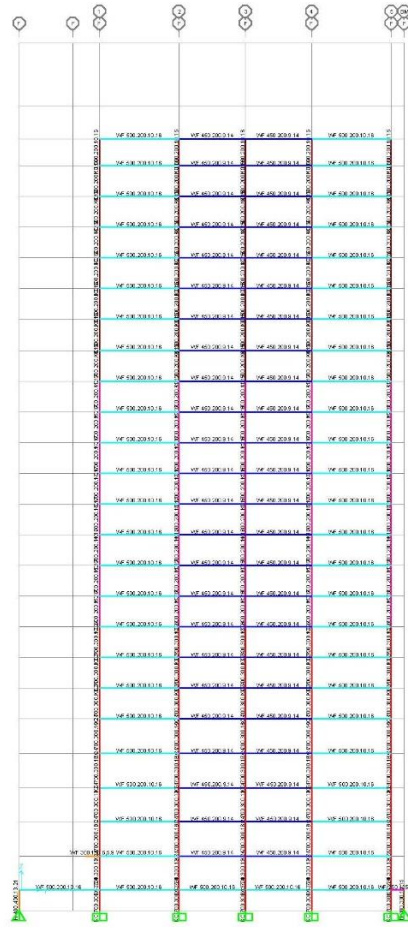
**Gambar 4.** 3D Views Model Awal (Model-3)



**Gambar 5.** Model-1 (Bresing di Sudut)



**Gambar 6.** Model-2 (Bresing di Tengah)



**Gambar 7.** Model-3 (Tanpa Bresing)

Semua variasi pemodelan memiliki elemen kolom, balok, dan pelat lantai yang sama, dimana sebelumnya sudah ditentukan dahulu *preliminary design* sesuai ketentuan SNI 1729-2015. Yang membedakan hanya penempatan letak *bracing* yang digunakan pada setiap variasi pemodelan.

### 3.4. Pengecekan Perilaku Struktur

#### 3.4.1. Rasio Partisipasi Modal Massa dan Periode Struktur

SNI 1726-2019 memiliki ketentuan mengenai jumlah ragam minimum untuk mencapai massa ragam terkombinasi sebesar 90% dari massa aktual setiap arah horisontal *orthogonal* dari respons yang ditinjau oleh model. Dari hasil *run analysis* menggunakan program SAP2000v.20 dari masing-masing model didapatkan rasio partisipasi massa dan periode struktur sebagai berikut:

**Tabel 1.** Periode Struktur dan Rasio Partisipasi Modal Massa

Model	Periode Struktur (Maks.)		Rasio Partisipasi Modal Massa	
	Arah-X	Arah-Y	Arah-X	Arah-Y
Model-1	3,618 det	3,827 det	92,3 %	92,0 %
Model-2	4,114 det	3,785 det	92,3 %	91,6 %
Model-3	5,953 det	6,487 det	91,8 %	91,9 %

Model-1 memiliki nilai periode struktur yang lebih kecil dibandingkan model lain, yang artinya memiliki tingkat daktilitas yang lebih tinggi, atau ketika bangunan digunakan dan terjadi gempa, maka getaran yang dirasakan di model-1 relatif lebih rendah dari model yang lain.

### 3.4.2. Gaya Dasar Seismik, $V$

Gaya geser dasar seismik ( $V$ ), dalam arah yang ditetapkan harus dihitung sesuai pers. (30) SNI 1726-2019, dimana terlebih dahulu harus didapatkan nilai koefisien respons seismik ( $C_s$ ). Berat total bangunan untuk masing-masing model didapatkan dari program SAP2000v.20 secara otomatis.

**Tabel 2.** Gaya Dasar Seismik untuk Semua Arah

Model	$C_s$	$W$ (kg)	$V = C_s \times W$ (kg)
1	0.028	12107203.85 (101,32%)	$V_1 = 326894.50$
2	0.028	12058435.57 (100,91%)	$V_2 = 325577.76$
3	0.028	11949841.20 (100,00%)	$V_3 = 322645.71$

Gaya geser pada model-1 lebih besar dari model yang lain dikarenakan berbanding lurus dengan berat total strukturnya dimana memiliki jumlah titik bresing yang lebih banyak. Sedangkan gaya geser terendah terdapat pada model-3, karena struktur dimodelkan tanpa adanya penambahan bresing.

### 3.4.3. Pemeriksaan *Base Shear*

Nilai *base shear* memiliki nilai yang sama pada semua variasi pemodelan, karena diberikan pembebanan yang sama, serta memiliki tumpuan yang sama pada pemodelan strukturnya yaitu jepit.

**Tabel 3.** *Base Shear* Arah-X dan Arah-Y

Model	<i>Base Shear</i> Arah-X (kg)	<i>Base Shear</i> Arah-Y (kg)
1	345953.05	290889.18
2	345953.05	290889.18
3	345953.05	290889.18

#### 3.4.4. Pengecekan Gaya Geser

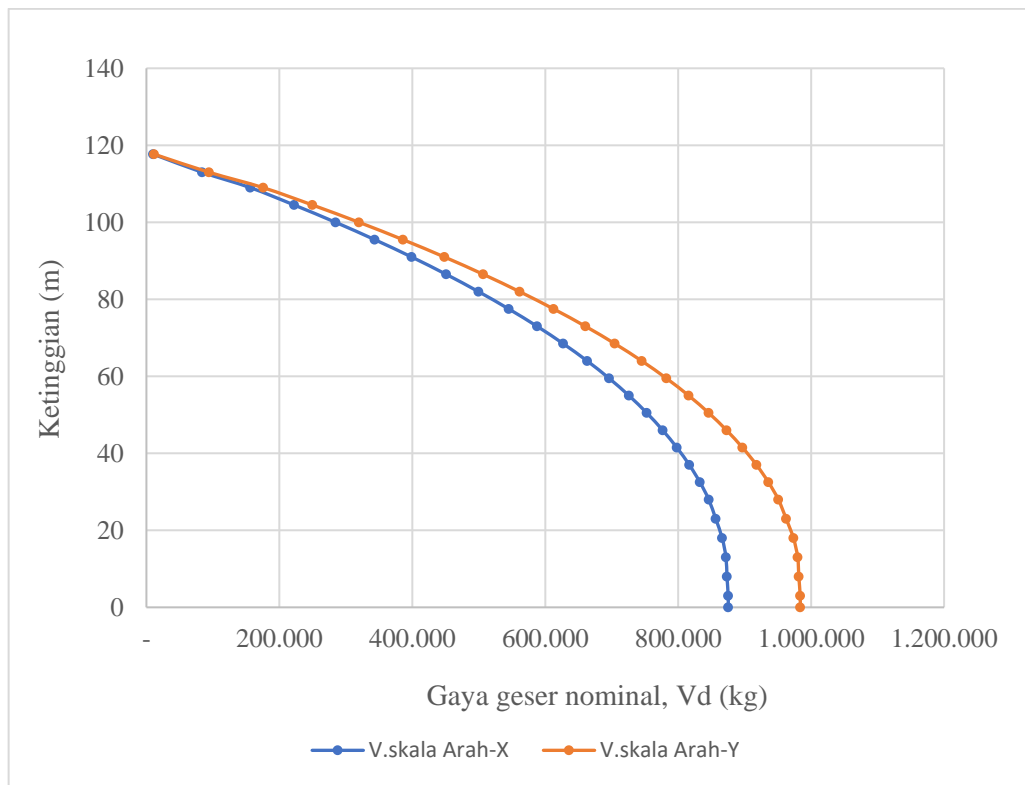
Gaya geser struktur bangunan pada penelitian ini diperoleh langsung dari program SAP2000v.20. Menurut SNI 1726-2019 pasal 7.9.1.4.1, apabila  $V_{dynamic} < V_{static}$  maka  $V$  yang dipakai harus dikalikan  $V_{static} / V_{dynamic}$ , dimana  $V_{static}$  adalah gaya geser yang telah dihitung pada tabel 2 pada penelitian ini.

Setelah dilakukan pengecekan dan perhitungan, dalam penelitian ini didapatkan hasil yaitu pada arah-X tidak perlu dilakukan penskalaan gaya gempa untuk semua variasi pemodelan dan untuk arah-Y memerlukan penskalaan gaya.

**Tabel 4.** Penskalaan Gaya Gempa

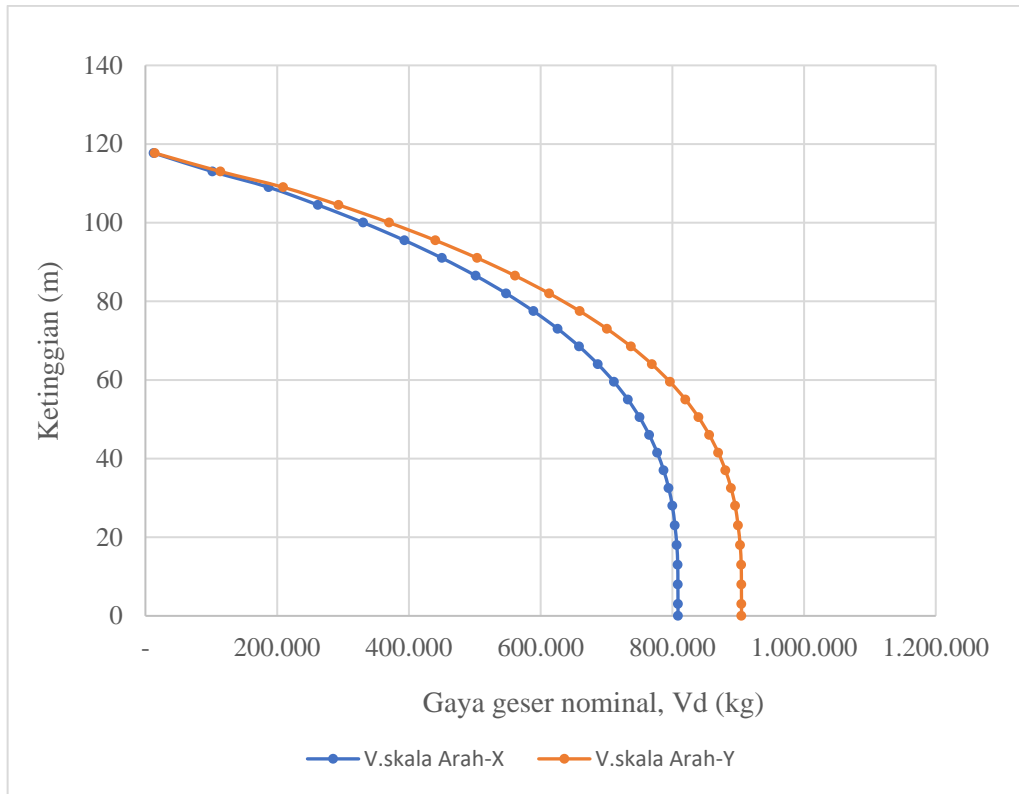
Model	Skala Arah-X	Skala Arah-Y
1	1,000	1,124
2	1,000	1,119
3	1,000	1,109

Berikut merupakan diagram gaya geser nominal yang sudah dilakukan penskalaan gaya gempa sesuai tabel 4:

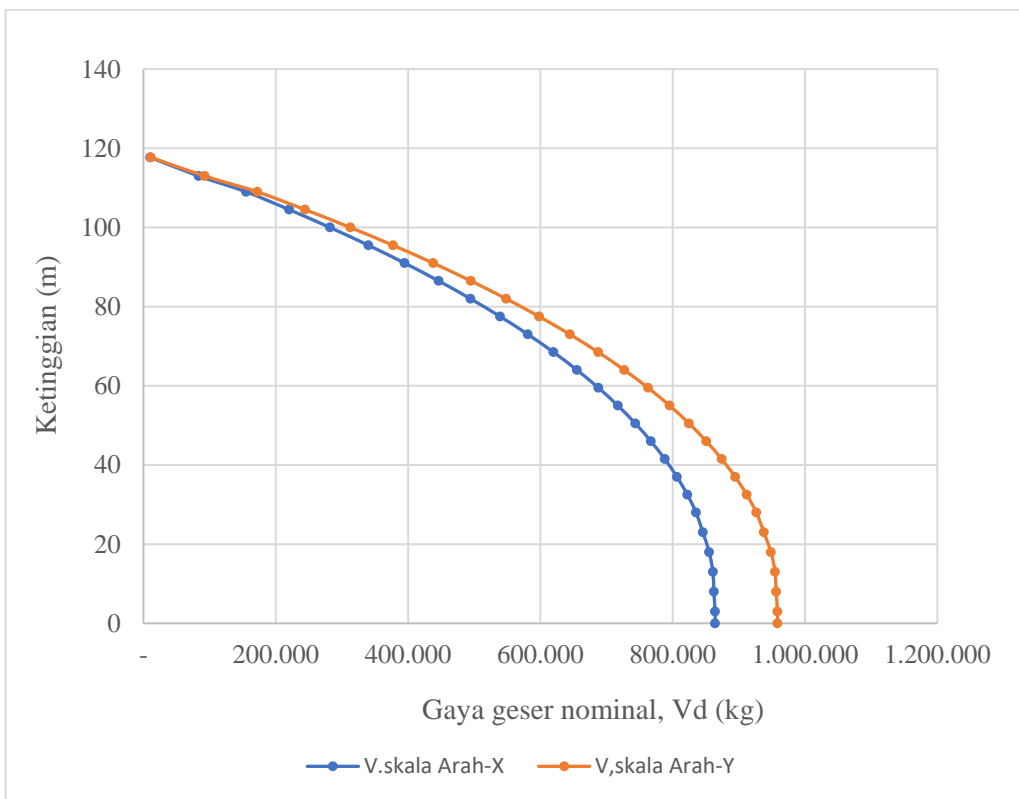


**Gambar 7.** Diagram Gaya Geser Nominal Kumulatif Model-1





**Gambar 8.** Diagram Gaya Geser Nominal Kumulatif Model-2



**Gambar 9.** Diagram Gaya Geser Nominal Kumulatif Model-3

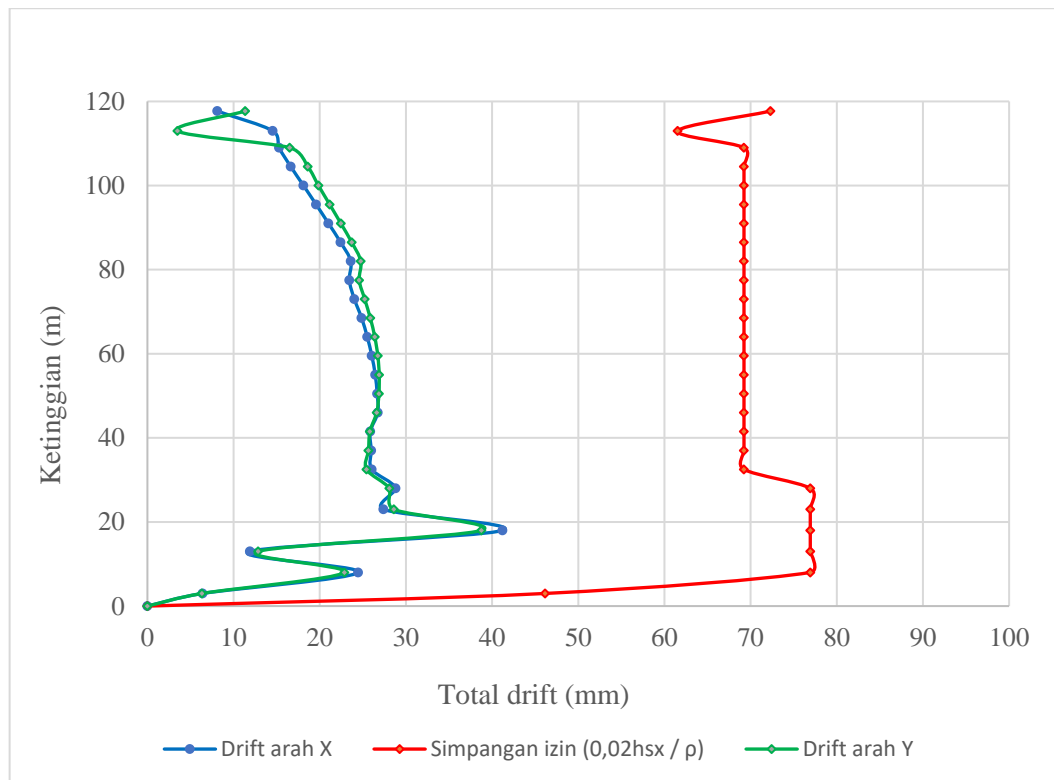
Gaya geser pada arah-X pada semua variasi pemodelan memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan arah-Y. Hal tersebut disebabkan penskalaan gaya yang diberikan sesuai tabel 4.

### 3.4.5. Pengecekan Ketidakberaturan

Pengecekan ketidakberaturan memiliki hasil yang sama pada setiap model sesuai ketentuan tabel 13 dan tabel 14 pada SNI 1726-2019, yaitu terdapat **ketidakberaturan-horisontal tipe 3** dan **ketidakberaturan-vertikal tipe 1a, tipe 1b, dan tipe 2**. Ketidakberaturan tersebut disebabkan adanya *void* pada lantai *mezzanine* yang melebihi 50% luas lantai sehingga berpengaruh terhadap perilaku struktur bangunan. Pengaruh ketidakberaturan pada penelitian ini, bisa dilihat pada diagram simpangan antar lantai atau *story drift* dan diagram *P-Delta effect* pada pembahasan selanjutnya.

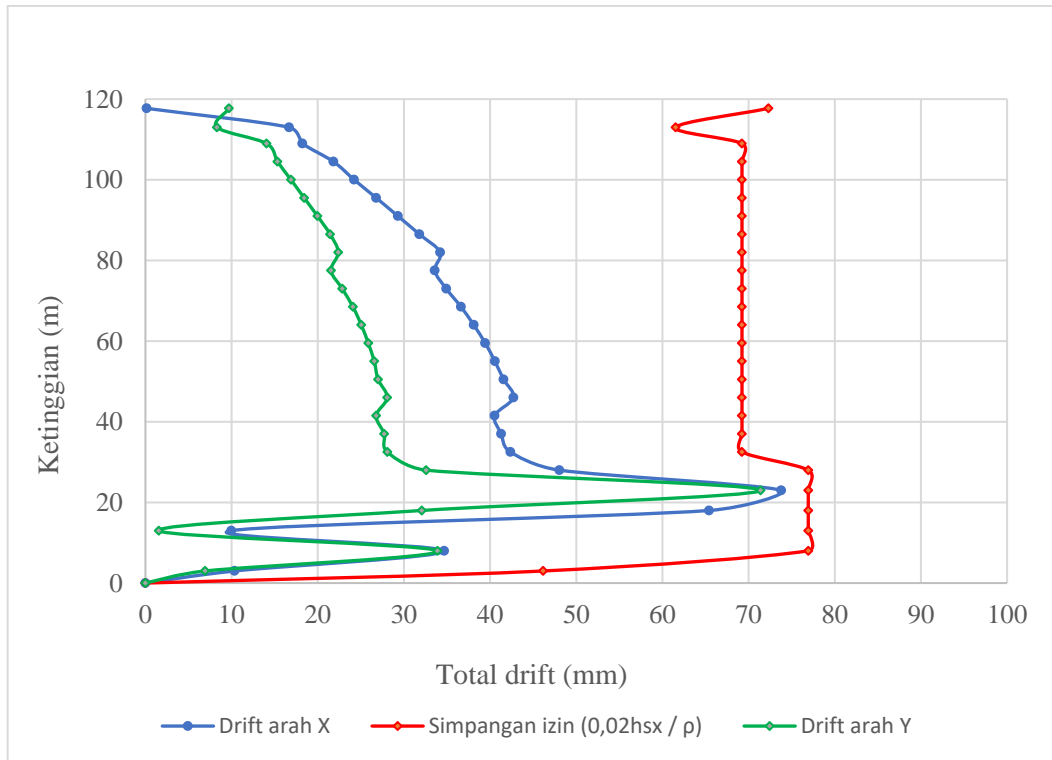
### 3.4.6. Pengecekan *Story Drift*

Pengecekan *story drift* mengacu pada pasal 7.12 SNI 1726-2019. Hasil pengecekan dihitung berdasarkan beban kombinasi maksimum dari semua variasi pemodelan pada arah-X dan arah-Y yang disajikan dalam bentuk diagram sebagai berikut:



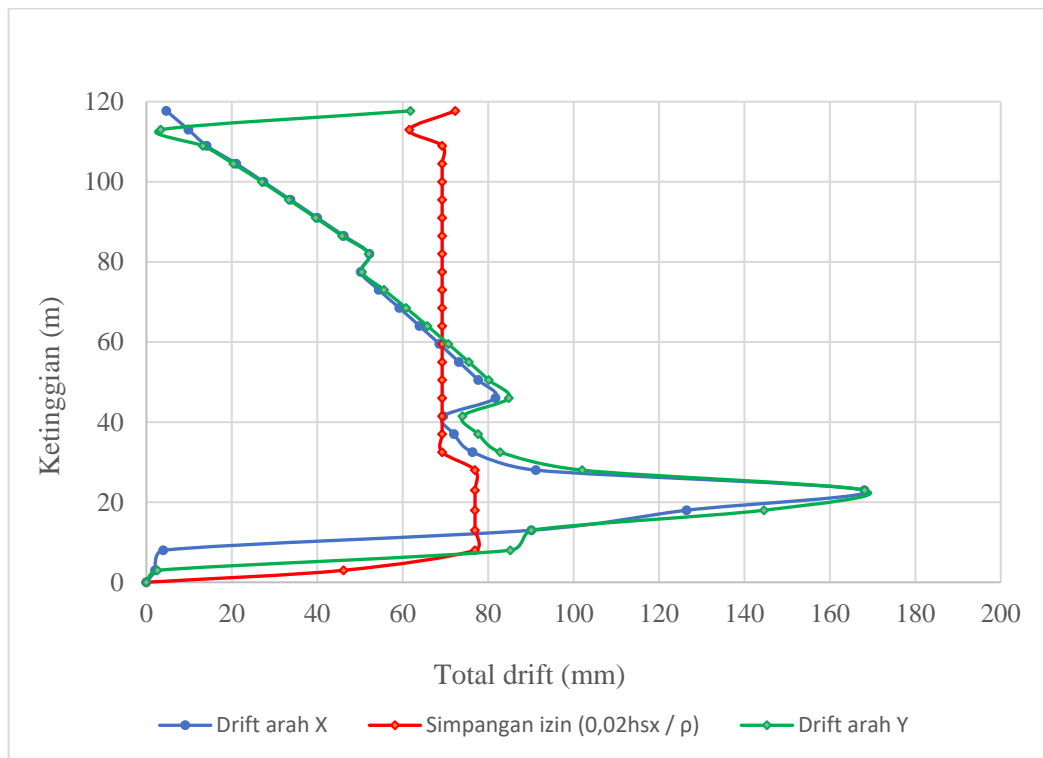
**Gambar 10.** Diagram *Story Drift* Model-1

Hasil pengecekan simpangan antar tingkat pada model-1 dapat dikategorikan aman, karena nilai *story drift* lebih rendah dari batas izin.



**Gambar 11.** Diagram *Story Drift* Model-2

Hasil pengecekan simpangan antar tingkat pada model-2 dapat dikategorikan aman, karena nilai *story drift* lebih rendah dari batas izin, namun terdapat nilai *story drift* yang mendekati batas izin.



**Gambar 3.** Diagram *Story Drift* Model-3

Hasil pengecekan simpangan antar tingkat pada model-3 dapat dikategorikan bahaya karena terdapat nilai *story drift* yang melebihi batas izin.

### 3.4.7. Pengecekan *P-Delta Effect*

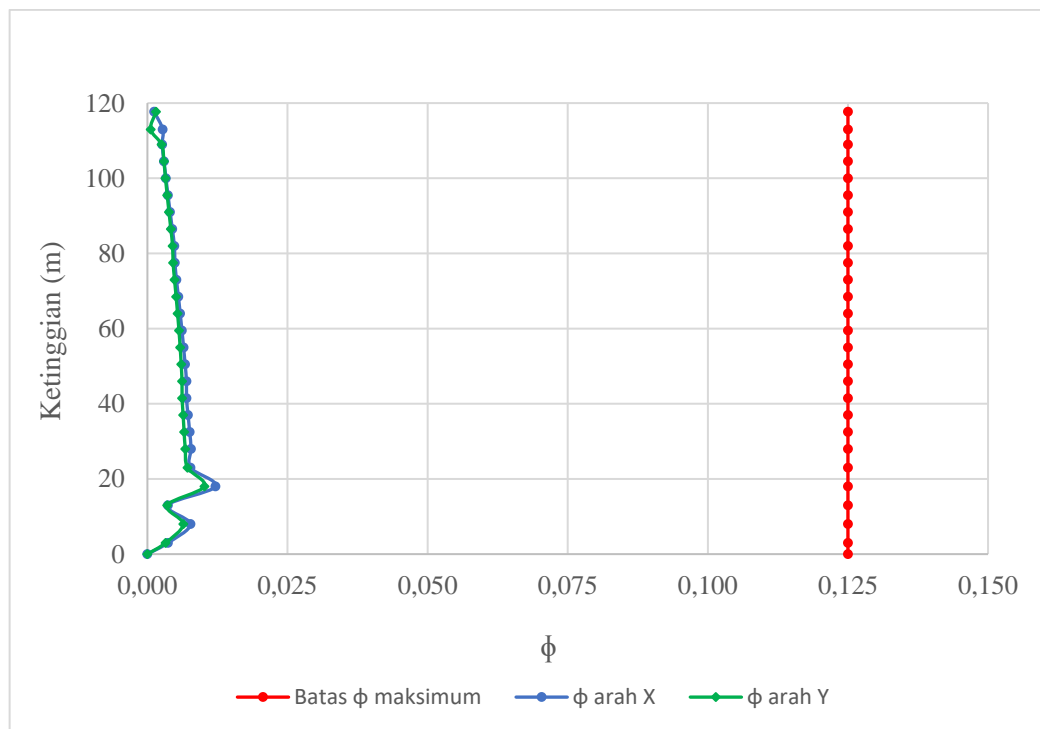
Sesuai SNI 1726-2019, pengaruh P-Delta ditentukan berdasarkan nilai koefisien stabilitas ( $\phi$ ). Jika nilai  $\phi$  lebih kecil dari nilai  $\phi_{\text{maksimum}}$ , maka pengaruh P-Delta dapat diabaikan. Nilai  $\phi_{\text{maksimum}}$  dihitung dengan rumus berikut:

$$\phi_{\text{max}} = \frac{0,5}{C_d \times \beta} = \frac{0,5}{4,0 \times 1} = 0,125 < 0,25$$

Perhitungan nilai koefisien stabilitas P-Delta menggunakan persamaan rumus berikut:

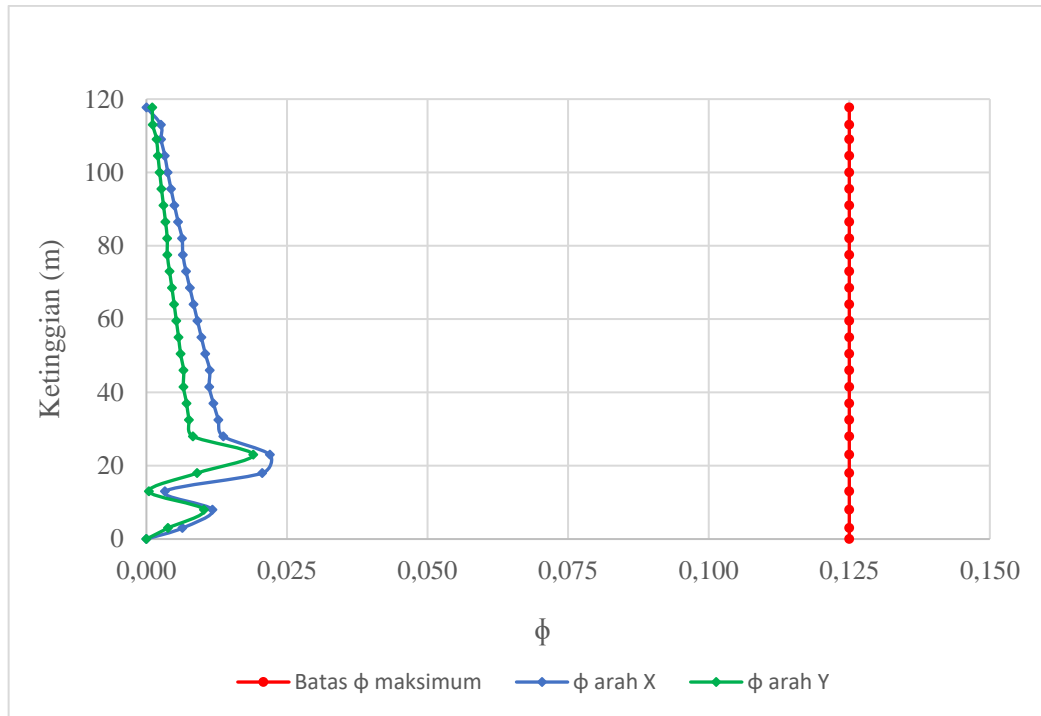
$$\phi = \frac{Px \cdot \Delta \cdot I_e}{Vx \cdot h_{sx} \cdot C_d}, \text{ dimana } I_e = 1,0 \text{ dan } C_d = 4,0$$

Berikut merupakan hasil perhitungan *P-Delta* dari semua variasi pemodelan pada arah-X dan arah-Y dalam bentuk diagram:



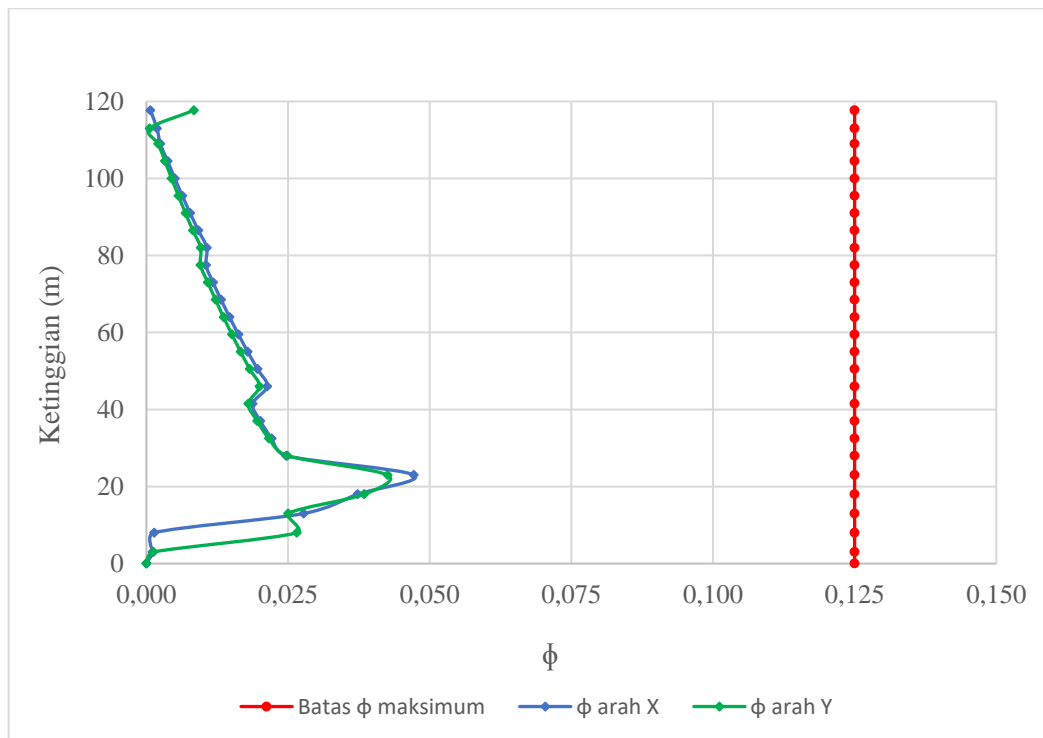
**Gambar 4.** Diagram *P-Delta Effect* Arah-X, Model-1

Hasil pengecekan *P-Delta effect* pada model-1 sesuai dengan ketentuan yang disyaratkan dimana nilai  $\phi$  tidak boleh melebihi  $\phi_{\text{maks}}$  atau dapat dikategorikan aman.



**Gambar 5.** Diagram *P-Delta Effect* Model-2

Hasil pengecekan *P-Delta effect* pada model-2 dapat dikategorikan aman dan sesuai dengan ketentuan.



**Gambar 6.** Diagram *P-Delta Effect* Model-3

Hasil pengecekan *P-Delta effect* pada model-3 dapat dikategorikan aman dan sesuai dengan ketentuan.

### 3.4.8. Resume Pengecekan Perilaku Struktur

Setelah dilakukan pengecekan perilaku struktur terhadap 3 (tiga) model, selanjutnya dibuat perbandingan dari ketiganya dalam tabel berikut ini:

**Tabel 5.** Perbandingan Ketiga Model Struktur

Parameter	Model-1	Model-2	Model-3
Tipe <i>Bracing</i>	Eksentris di Tepi	Eksentris di Tengah	Tanpa <i>Bracing</i>
H dari tanah	114,7 m	114,7 m	114,7 m
$T_{maks}$	3,83 det	4,11 det	6,49 det
$W_{total}$	12.107 Ton (101,32%)	12.058 Ton (100,91%)	11.949 Ton (100%)
$V_{dasar}$	346 Ton	346 Ton	346 Ton
Simpangan atap	146,4 mm	219,2 mm	386,0 mm
$\Delta_{maks}$	10,30 mm	18,45 mm	42,04 mm
Cek $\Delta$	OK (aman)	OK (Sebagian mendekati batas maks.)	Tidak OK
% $\Delta_{tot}$ terhadap H	0,497%	0,745%	1,417%
Cek P-Delta	OK	OK	OK

## 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengecekan perilaku struktur bangunan dari masing-masing model, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

- Model-1 memiliki periode struktur yang lebih kecil dari yang lain ( $T_{maks.} = 3,83$  det), dari segi kenyamanan saat terjadi guncangan gempa, maka getaran yang dirasakan di model-1 relatif lebih rendah dari model-2 ( $T_{maks.} = 4,11$  det) dan model-3 ( $T_{maks.} = 6,49$  det).
- Walaupun memiliki berat total struktur lebih tinggi dari yang lain, namun selisihnya tidak terlalu jauh dari model yang lain. Model-1 hanya memiliki berat 1,32% lebih tinggi dari model-3 dan memiliki berat 0,41% dari model-2, namun memiliki dampak yang cukup signifikan terhadap perilaku struktur bangunan.
- Model-1 menempatkan *bracing* pada tepi bangunan sehingga tidak mempengaruhi luas ruangan dan akses/ aktivitas di dalamnya dibandingkan model-2 yang *bracing*-nya berada di tengah (area lift).
- Model-1 memiliki nilai persentase *story drift* yang lebih rendah dari model yang lain (%  $\Delta_{tot} = 0,497\%$ ), yaitu model-2 (%  $\Delta_{tot} = 0,745\%$ ) dan model-3 (%  $\Delta_{tot} = 0,147\%$ ).
- Ketidakteraturan struktur mempengaruhi perilaku struktur yang terjadi.

---

## 5. REFERENSI

- AISC. (2010). *An American National Standard ANSI/AISC 360-10: Load Specification for Structural Steel Buildings*. American Institute of Steel Construction, Inc. Chicago: Illinois.
- ASCE 7-16. (2016). *Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures*. Virginia: American Society of Civil Engineers.
- Badan Standarisasi Nasional. (2013). *Beban Minimum untuk Perencanaan Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 03-1727-2013)*. Jakarta: BSN.
- Badan Standarisasi Nasional. (2015). *Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural (SNI 03-1729-2015)*. Jakarta: BSN.
- Badan Standarisasi Nasional. (2019). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 03-1726-2019)*. Jakarta: BSN.
- Dewobroto, Wiryanto. (2016). *Struktur Baja Edisi Ke-2*. Jakarta: LUMINA Press.
- Elly, dkk. (2018). *Analisis Respons Struktur Portal Baja Bertingkat Akibat Kandungan Frekuensi Gempa yang Berbeda*. Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Riau Vol. 5 No. 1.
- Nasution, Amrinsyah. (2016). "Rekayasa Gempa dan Sistem Struktur Tahan Gempa". Bandung: ITB Press.
- Pusat Studi Gempa Bumi Nasional. (2017). *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017*. Bandung: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Pusat Studi Gempa Bumi Nasional. (2019). *Manual Aplikasi Online Spektrum Respons Desain Indonesia 2019*. Jakarta: PusLitBang Perumahan dan Permukiman.
- Tavio dan Usman Wijaya. (2018). *Desain Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja*. Yogyakarta: ANDI.
- Wikipedia. (2019, 19 September). *Cincin Api Pasifik dan Indonesia*. Diakses pada 19 September 2019, dari [https://id.wikipedia.org/wiki/Cincin\\_Api\\_Pasifik](https://id.wikipedia.org/wiki/Cincin_Api_Pasifik).