

# PENGARUH KANDUNGAN FREKUENSI GEMPA TERHADAP SIMPANGAN DAN *DRIFT RATIO* 2 ARAH STRUKTUR BANGUNAN *SET-BACK* BERTINGKAT BANYAK

Anisa Fauzi Ratnasari<sup>1</sup>, dan Widodo Pawirodikromo<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia

Email : [14511270@students.uui.ac.id](mailto:14511270@students.uui.ac.id)

<sup>2</sup> Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia

Email : [785110201@uui.ac.id](mailto:785110201@uui.ac.id)

**Abstract:** *Indonesia is located in the region with the Eurasian Plate, the Indo-Australian Plate and the Pacific Plate. So the thing that can reduce is to minimize the occurrence of damage. Most studied or which has discussed only the structural response for one-direction earthquake loads, while the characteristics of ground motion due to earthquakes are multidimensional, random and uncertain in direction. Besides the building in Indonesia, there are many forms such as set-back building and height of building. A set-back is a building with an elevation change in its portal known as the front-field jump. One that is often encountered is the vertical set-back building. Therefore it is necessary to do dynamic response research on building set-back with 2-directions earthquake load. This study compared the dynamic response of 15 floors of regular building and 4 variations of 15 stories set-back on x axis with dynamic analysis of time history using mass and stiffness analysis 3D calculation with low, medium and high frequency earthquakes. The dominant loading of the Y direction produced a larger dynamic response than the dominant loading of the X direction for set-back building. The building study was still elastic due to the resulting deviation and cause the drift ratio of less than 0.5%, in the vertical set-back building was higher than the regular building.*

**Keywords:** *2-directions Dynamic Response, Earthquake Frequency Content, Set-back Multilevel Building, Muto Stiffness, Time History Analisis*

## PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara kepulauan dengan tingkat kerawanan bencana gempa bumi yang tinggi. Hal ini terjadi sebagai bagian dari dampak wilayah Indonesia yang terletak pada pertemuan lempeng-lempeng tektonik besar, yaitu Lempeng Eurasia, Lempeng Indo-Australia dan Lempeng Pasifik.

Kerusakan yang ditimbulkan akibat adanya gelombang gempa terhadap struktur bangunan berbeda-beda, mulai dari rusak ringan hingga ada pula yang sampai runtuh, sehingga bangunan di Indonesia harus didesain dengan perhitungan yang baik agar tahan terhadap gempa. Kerusakan bangunan

selain disebabkan oleh gempa namun juga dipengaruhi oleh kekuatan dari bangunan itu sendiri. Ketika gempa terjadi bangunan akan mengalami simpangan horisontal (*horizontal drift*), apabila melebihi syarat aman peraturan yang telah ditetapkan maka bangunan tersebut akan mengalami keruntuhan. Besaran simpangan horisontal yang terjadi sangat dipengaruhi oleh massa dan kekakuan bangunan.

Stiawan (2014) pernah melakukan penelitian mengenai respon struktur gedung bertingkat terhadap gempa dengan frekuensi rendah, frekuensi sedang dan frekuensi tinggi dengan beberapa variasi jumlah lantai, yaitu 10

tingkat, 15 tingkat dan 20 tingkat dan diketahui bahwa gempa dengan frekuensi rendah memiliki pengaruh yang sangat besar terhadap respon struktur, Indonesia memiliki banyak bangunan tingkat dengan variasi *set-back*.

### MANFAAT PENELITIAN

Manfaat yang dapat diperoleh dari Penelitian Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Menambah pemahaman mengetahui respon dinamik struktur pada bangunan bertingkat banyak, dan *software* MATLAB R2015b.
2. Mengetahui dampak pembebanan gempa dua arah.
3. Digunakan sebagai dasar perencanaan bangunan *set-back* agar dapat meminimalkan simpangan yang akan terjadi dan agar tidak menimbulkan kerusakan.
4. Digunakan sebagai bahan referensi terhadap penelitian sejenis.

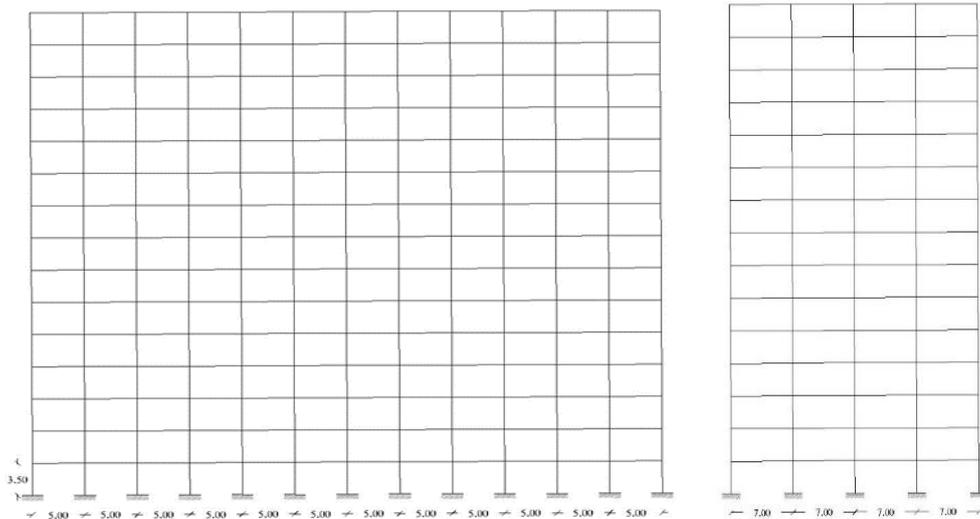
### METODOLOGI PENELITIAN

Jenis penelitian yang digunakan adalah penelitian deskriptif pendekatan komparatif. Penelitian ini menjelaskan dan membandingkan respons struktur terhadap beban gempa berdasarkan SNI 03-1726-2012. Variabel bebas dalam penelitian ini

*back*. Beban gempa yang terjadi dapat berupa 2 arah, yaitu arah X dan arah Y, oleh karena itu perlu diteliti lebih lanjut bagaimana pengaruh respon dinamik gempa 2 arah pada bangunan *set-back* bertingkat tinggi.

adalah bentuk bangunan regular dan *set-back*, sedangkan variabel terikatnya adalah *mode shape*, simpangan, *drift ratio*. Jumlah tingkat struktur bangunan berjumlah 15 lantai dengan variasi *set-back* vertikal pada arah X. Normalisasi gempa dilakukan dengan menggunakan *trial and error* pada setiap kandungan frekuensi gempa sehingga *drift ratio* yang dihasilkan menjadi  $< 0.5\%$ . Pembebanan gempa dilakukan dengan kombinasi dominan Arah X dimana arah X dengan gempa 100% dan arah Y 30%, begitu sebaliknya pada pembebanan dominan arah Y.

Dimensi balok dan kolom yang digunakan didapatkan dari *trial and error* pada program SAP 2000. *Preliminary design* dilakukan sesuai dengan keadaan respons spectrum gempa daerah Padang. Rekaman gempa yang digunakan yaitu pasangan gempa frekuensi rendah, frekuensi sedang dan frekuensi tinggi. Analisis secara keseluruhan menggunakan software Microsoft Excel 2016 dan Matlab R2015b.

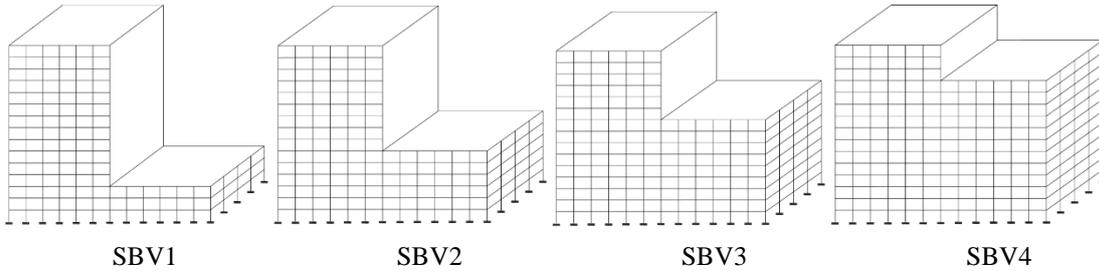


Tampak X-Z                      Tampak Y-Z  
**Gambar 1 Denah Bangunan Regular**

### BANGUNAN SET-BACK

Bangunan *set-back* atau lebih banyak diketahui dengan istilah bangunan yang memiliki tonjolan ataupun loncatan bidang muka. Bangunan *set-back* ada 2 macam yaitu

bangunan *set-back* vertikal dan bangunan *set-back* horizontal. Bangunan *set-back* vertikal memiliki perubahan elevasi yang ekstrim secara vertikal, begitu pula dengan bangunan *set-back* horizontal memiliki perbedaan ekstrim secara horizontal.



Gambar 2 Variasi Bangunan *Set-Back* Vertikal

### MASSA DAN KEKAKUAN

Massa menggunakan sistem *lumped mass* dimana massa dianggap mengumpul pada tempat tertentu.

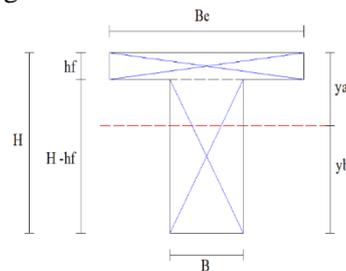
$$m = \frac{W}{g} \quad (1)$$

Dengan  $m$  = massa struktur ( $\text{kg dt}^2/\text{cm}$ ),  $W$  = berat beban gravitasi ( $\text{kg}$ ), dan  $g$  = percepatan gravitasi ( $\text{cm}/\text{dt}^2$ ).

Penurunan kekakuan kolom dengan cara Muto ini terdapat beberapa asumsi adalah sebagai berikut.

1. Bangunan cukup besar, banyak kolom, simetri, gaya geser kolom dianggap sama,
2. Join-join mengalami rotasi yang sama,
3. Pengaruh P-delta (beban gravitasi diabaikan),
4. Bending momen berbangun anti-simetrik,
5. Titik balik pada kolom dan balok dianggap ditengah-tengah.

Pada perhitungan inersia menggunakan balok tampang T.



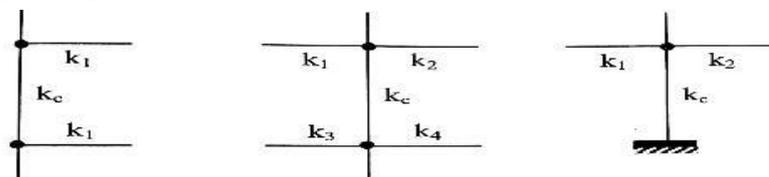
Gambar 3 Potongan Balok Tampang T

Rumus yang digunakan untuk menghitung kekakuan dengan cara Muto ini adalah sebagai berikut.

$$K_m = C_m \times K_f \quad (2)$$

$$K_f = \frac{12EI}{h^3} \quad (3)$$

Rumus untuk mencari nilai  $C_m$  berbeda-beda tergantung letak kolom (kolom tengah, kolom tepi, dan kolom tingkat dasar).



a) Kolom Tepi

b) Kolom Tengah

c) Kolom Tingkat Dasar

Gambar 4 Kondisi Pengekangan Kolom Oleh Balok

1. Kolom Tepi adalah kolom yang dipegang oleh 2 balok.

$$K' = \frac{K_1 + K_2}{2 \times K_c} = \frac{\sum K_b}{2 \times K_c} \quad (4)$$

$$C_m = \frac{K'}{K' + 2} \text{ atau } C_m = \frac{\sum K_{ba} + \sum K_{bb}}{(\sum K_{ba} + \sum K_{bb}) + 4K_c} \quad (5)$$

2. Kolom tengah adalah kolom yang dipegang oleh 4 balok

$$K' = \frac{K_1 + K_2 + K_3 + K_4}{2 \times K_c} = \frac{\sum K_b}{2 \times K_c} \quad (6)$$

$$C_m = \frac{K'}{K' + 2} \text{ atau } C_m = \frac{\sum K_{ba} + \sum K_{bb}}{(\sum K_{ba} + \sum K_{bb}) + 4K_c} \quad (7)$$

3. Kolom dasar adalah untuk kolom tingkat lantai dasar

$$K' = \frac{K_1 + K_2}{K_c} = \frac{\sum K_b}{K_c} \quad (8)$$

$$C_m = \frac{K' + 0,5}{K' + 2} \text{ atau } C_m = \frac{\sum K_{ba} + 0,5 K_c}{\sum K_{ba} + 2K_c} \quad (9)$$

Dengan  $K_b$  = Kekakuan balok,  $K_c$  = Kekakuan kolom, dan  $C_m$  = Koefisien Muto

### MULTI DEGREE OF FREEDOM (MDOF)

Asumsi yang digunakan dalam analisis dengan MDOF adalah sebagai berikut.

1. Massa perlantai sangat kaku (diafragma).
2. Gaya aksial diabaikan.
3. Derajat Kebebasan (degree of freedom) lateral

$$\begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 \\ -k_2 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & kn \end{bmatrix} - \omega^2 \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 \\ 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & mn \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \\ \theta_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (10)$$

Menggunakan persamaan eigen problem pada persamaan (10), maka akan didapatkan nilai dari masing-masing mode tiap tingkat bangunan. Nilai  $\theta$  ini yang nantinya akan menentukan pola goyangan struktur.

### HUBUNGAN ORTHOGONAL

Berfungsi untuk mengecek mode shape yang telah didapatkan sebelumnya.

$$\{ \theta \}^T_i [M] \{ \theta \}_j = 0 \quad (11)$$

$$\{ \theta \}^T_i [K] \{ \theta \}_j = 0 \quad (12)$$

Bila nilai  $i = j$  maka  $\neq 0$ , namun jika nilai  $i \neq j$  maka = 0

### INTEGRASI NUMERIK

Metode *Central difference*

$$y_{i+1} = \frac{-m\ddot{y}_{b,i} - a y_i - b y_{i-1}}{kt} \quad (13)$$

$$kt = \frac{m}{\Delta t^2} + \frac{c}{2\Delta t} \quad (14)$$

$$a = k + \frac{c}{\Delta t^2} \quad (15)$$

$$b = \frac{m}{\Delta t^2} - \frac{c}{2\Delta t} \quad (16)$$

Dengan  $y_{i+1}$  = simpangan step ke  $i + 1$  (cm),  $y_i$  = simpangan step ke- $i$  (cm),  $\ddot{y}_{b,i}$  = percepatan tanah (cm/dt<sup>2</sup>),  $m$  = massa struktur (kg.dt<sup>2</sup>/cm),  $k$  = kekakuan kolom

struktur (kg/cm),  $c$  = rasio redaman, dan  $\Delta t$  = selisih waktu step ke  $i$  dengan step  $i+1$  (dt).

### BANGUNAN SET-BACK

Bangunan *set-back* atau lebih banyak diketahui dengan istilah bangunan yang memiliki tonjolan ataupun loncatan bidang muka. Bangunan *set-back* ada 2 macam yaitu bangunan *set-back* vertikal dan horizontal. Bangunan *set-back* vertikal memiliki perubahan elevasi ekstrim secara vertikal, begitu pula dengan bangunan *set-back* horizontal memiliki perbedaan ekstrim secara horizontal.

### KANDUNGAN FREKUENSI GEMPA

Variasi beban yang dimaksud adalah kandungan frekuensi pada gempa dinyatakan dalam rasio antara percepatan tanah maksimum (A) dengan kecepatan maksimum (V) atau disebut A/V rasio, sehingga arti pengaruh kandungan frekuensi gempa terhadap respon struktur maka sejumlah gempa bumi dengan perbedaan nilai A/V. Menurut Tso (1992) menyatakan bahwa A/V rasio suatu gempa digolongkan menjadi 3 parameter:

1. A/V rasio tinggi apabila mempunyai  $A/V > 1.2$  g/m/dt,
2. A/V rasio menengah apabila  $1.20 > A/V > 0.80$  g/m/dt, dan
3. A/V rasio rendah apabila  $A/V < 0.80$  g/m/dt.

### RESPON DINAMIK 2 ARAH

Respon dinamik yang dimaksud adalah simpangan dan *drift ratio*, hal tersebut merupakan respon dari adanya beban dinamik, dalam hal ini yaitu beban akibat percepatan gempa, sedangkan respon dinamik 2 arah merupakan respon struktur terhadap percepatan gempa pada 2 bidang bangunan yaitu pada arah X dan arah y.

1. Simpangan

Simpangan atau simpangan horizontal total yaitu jarak horizontal struktur yang bergerak akibat adanya beban gempa.

$$Y_i = \sum_{j=1}^n |\theta_{ij} \Gamma_j g_{j,max}| = \sum_{j=1}^n |\theta_{ij} Z_j| \quad (17)$$

## 2. Drift Ratio

*Drift ratio* didapatkan dari simpangan antar tingkat dibagi dengan tinggi tingkat. *Drift Ratio* merupakan indikator kerusakan struktur bangunan.

$$DR = \left[ \frac{y^i - y^{(i-1)}}{H} \right] \times 100 \quad (18)$$

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis pengaruh kandungan frekuensi terhadap respon dinamik 2 arah adalah sebagai berikut.

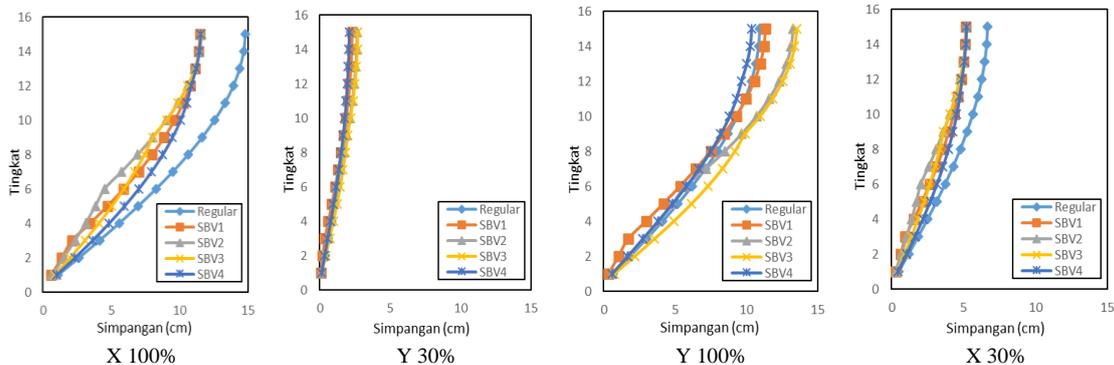
### 1. Simpangan

Simpangan atau simpangan horizontal total yaitu jarak horizontal struktur yang bergerak akibat adanya beban gempa. Simpangan secara keseluruhan tiap tingkat bergoyang dengan bentuk fase yang sama dengan simpangan maksimum pada lantai paling atas yang berarti massa bangunan bergoyang dengan arah yang sama. Hal tersebut menyatakan bahwa pengaruh mode 1 sangat dominan. Nilai

simpangan akan semakin besar pada tingkat yang semakin tinggi. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi suatu bangunan maka akan semakin fleksibel. Percepatan gempa Duzce (Frekuensi Rendah) menyebabkan simpangan paling besar pada bangunan, sedangkan gempa Manjil (Frekuensi Tinggi) menghasilkan simpangan yang kecil. Sehingga dapat diketahui bahwa struktur bangunan tinggi lebih berbahaya jika diberi gempa frekuensi rendah. Nilai simpangan maksimum terbesar adalah pada pembebanan dominan arah X yaitu 100% pada arah X dengan gempa frekuensi rendah sebesar 14,821 cm pada bangunan regular dikarenakan pada bangunan *set-back* massa pada tingkat atas berkurang yang menyebabkan simpangan pada frekuensi rendah lebih kecil dibanding bangunan regular, sedangkan pada gempa frekuensi menengah dan tinggi simpangan maksimum terbesar adalah pada bangunan *set-back*.

#### a. Frekuensi Rendah (Gempa Duzce)

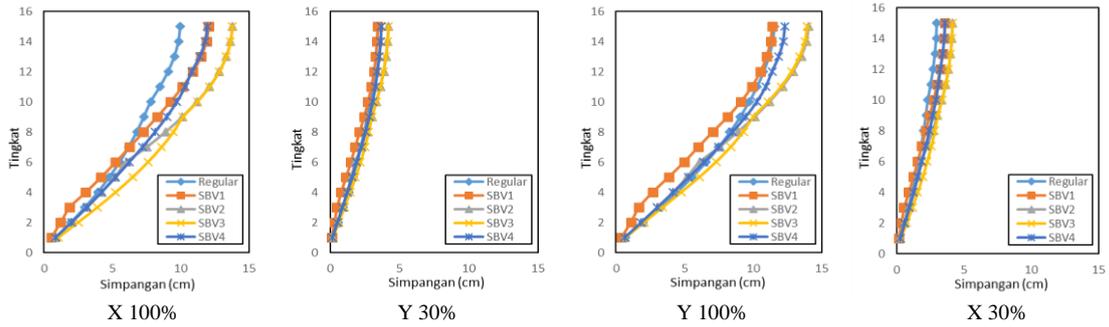
Analisis simpangan untuk gempa frekuensi rendah yang didapatkan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.



**Gambar 5 Simpangan Maksimum Bangunan Regular dan 4 Variasi Set-Back Vertikal Pembebanan Gempa Frekuensi Rendah**

#### b. Frekuensi Menengah (Gempa El-Centro)

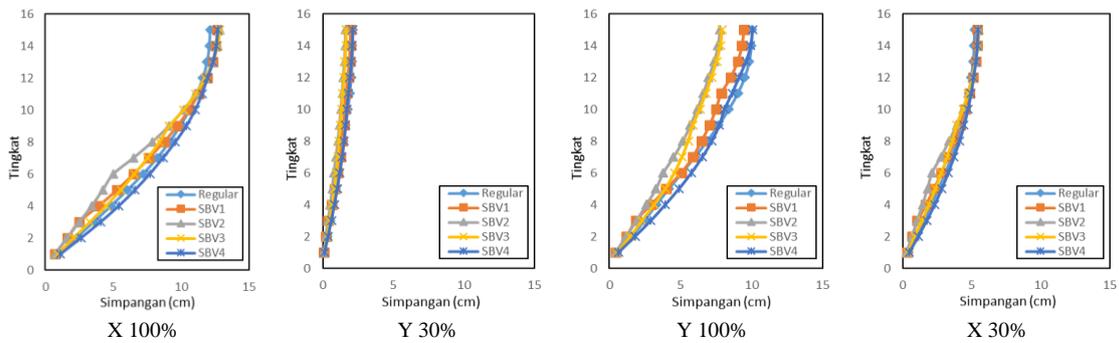
Analisis simpangan untuk gempa frekuensi menengah yang didapatkan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.



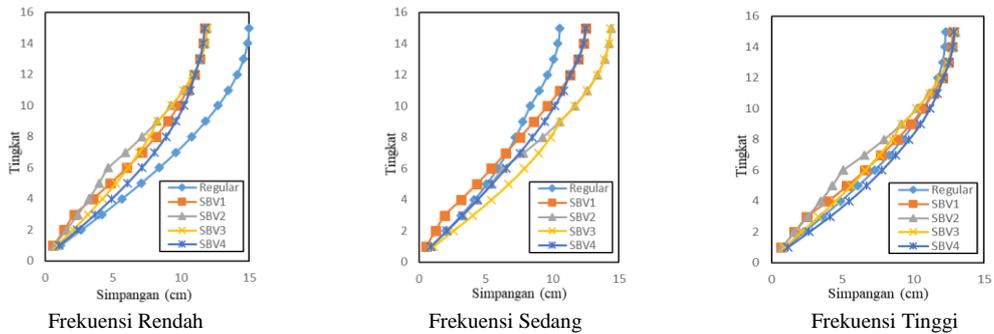
**Gambar 6 Simpangan Maksimum Bangunan Regular dan 4 Variasi Set-Back Vertikal Pembebanan Gempa Frekuensi Menengah**

c. Frekuensi Tinggi (Gempa Manjil)

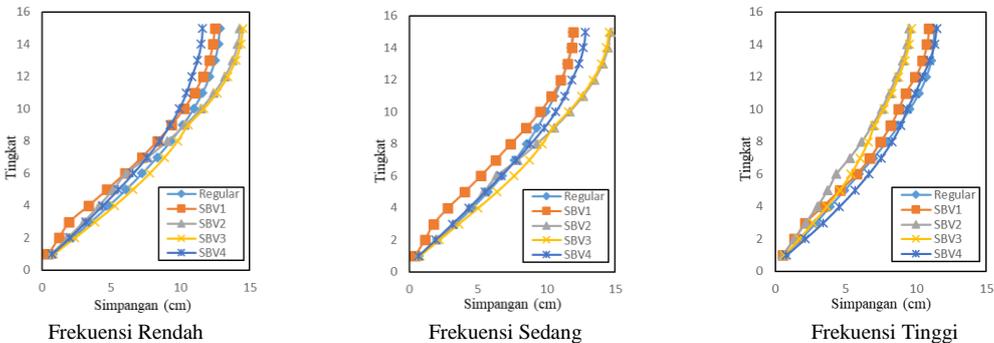
Analisis simpangan untuk gempa frekuensi tinggi yang didapatkan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.



**Gambar 7 Simpangan Maksimum Bangunan Regular dan 4 Variasi Set-Back Vertikal Pembebanan Gempa Frekuensi Tinggi**



**Gambar 8 Resultan Simpangan Bangunan Regular dan Set-Back Vertikal Dominan Arah X**



**Gambar 9 Resultan Simpangan Bangunan Regular dan Set-Back Vertikal Dominan Arah Y**

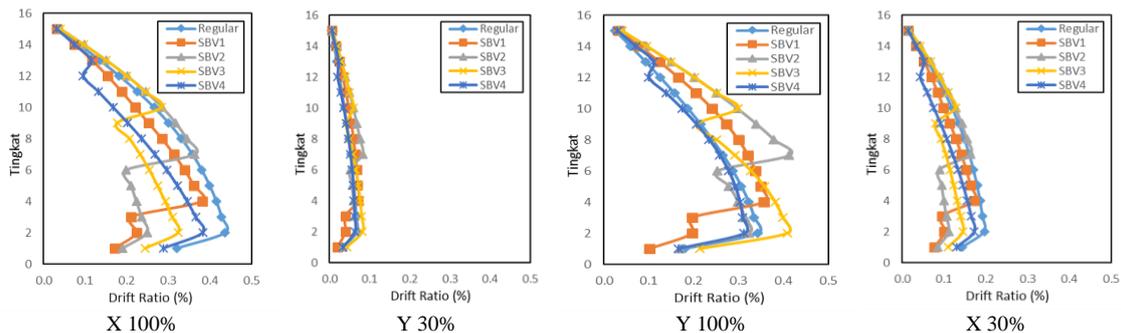
## 2. Drift Ratio

*Drift ratio* adalah salah satu parameter yang paling berpengaruh untuk mengevaluasi kinerja seismik dari sistem struktur yang ada yang merupakan plot dari simpangan antar tingkat, pada penelitian ini dengan interval 0,01 dt. pada lantai 1 lebih kecil dibandingkan lantai 2, hal tersebut disebabkan oleh kekakuan struktur dengan cara muto sehingga lantai 1 lebih besar, kemudian untuk lantai 3 sampai dengan lantai 15 akan mengecil. Grafik plot *drift ratio* cenderung naik turun (fluktuatif) mengikuti pola bangunan set-back. Nilai *drift ratio*

maksimum terbesar adalah 0,44% pada pembebanan dominan arah X yaitu 100% pada arah X dengan gempa frekuensi rendah. Sehingga dapat diketahui bahwa gempa frekuensi sedang dan frekuensi tinggi nilai drift ratio nya lebih rendah dibandingkan frekuensi rendah. Nilai simpangan antar tingkat (*drift ratio*) memenuhi syarat dari batas ultimit gedung yaitu 0.005 dari tinggi tingkat (1.75 cm). pada Penelitian ini semua *drift ratio* yang didapatkan dibawah 0.5% sehingga bangunan regular dan set-back merupakan bangunan elastik.

### a. Frekuensi Rendah (Gempa Duzce)

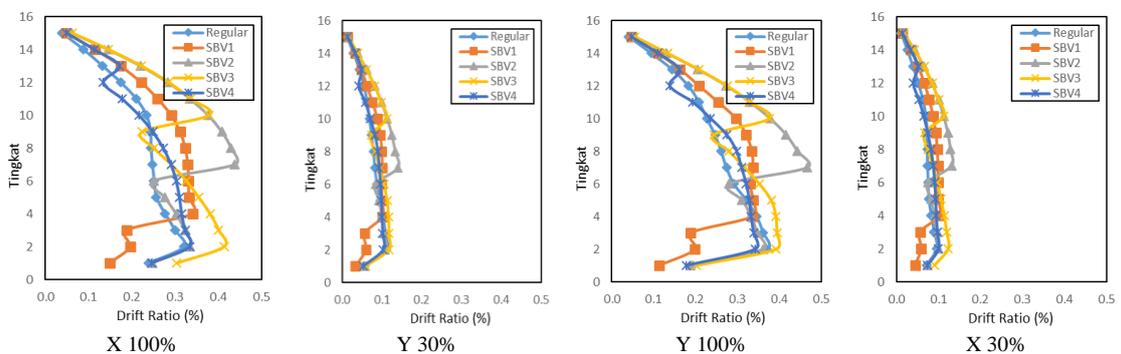
Analisis *drift ratio* untuk gempa frekuensi rendah yang didapatkan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.



**Gambar 10 Drift Ratio Maksimum Bangunan Regular dan 4 Variasi Set-Back Vertikal Pembebanan Gempa Frekuensi Rendah**

### b. Frekuensi Menengah (Gempa El-Centro)

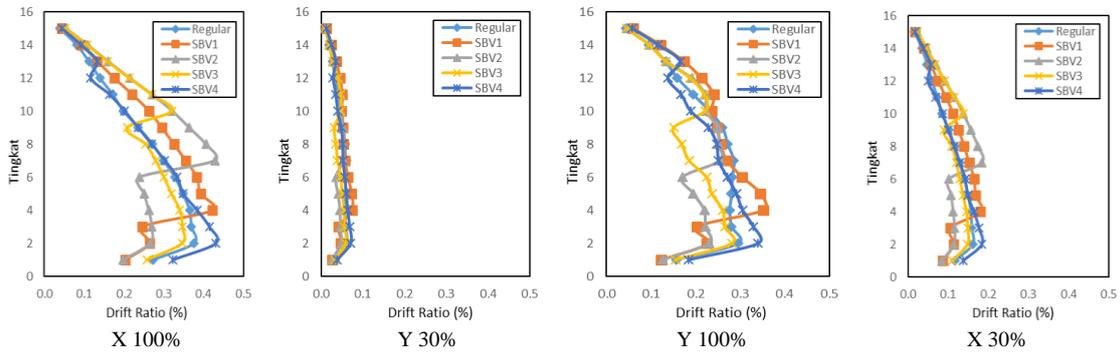
Analisis *drift ratio* untuk gempa frekuensi menengah yang didapatkan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.



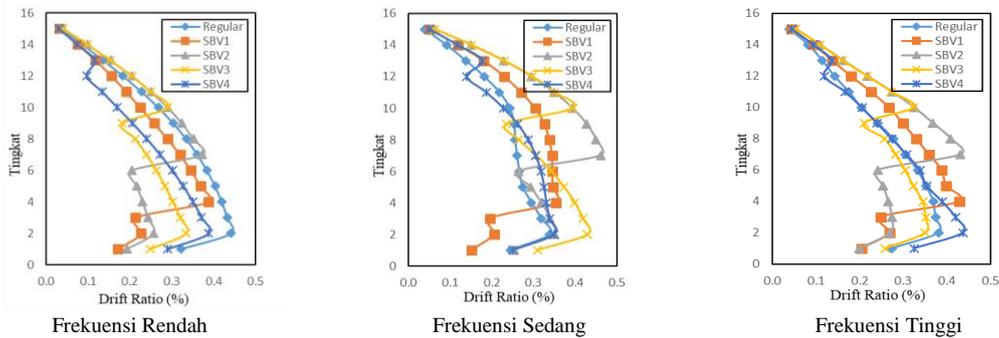
**Gambar 11 Drift Ratio Maksimum Bangunan Regular dan 4 Variasi Set-Back Vertikal Pembebanan Gempa Frekuensi Menengah**

### c. Frekuensi Tinggi (Gempa Manjil)

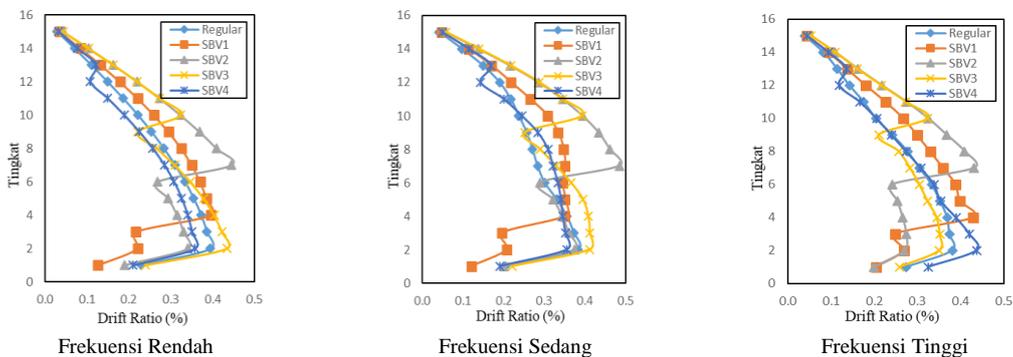
Analisis *drift ratio* untuk gempa frekuensi tinggi yang didapatkan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.



**Gambar 12 Drift Ratio Maksimum Bangunan Regular dan 4 Variasi Set-Back Vertikal Pembebanan Gempa Frekuensi Tinggi**



**Gambar 13 Resultan Drift Ratio Bangunan Regular dan Set-Back Vertikal Dominan Arah X**



**Gambar 14 Resultan Drift Ratio Bangunan Regular dan Set-Back Vertikal Dominan Arah Y**

## KESIMPULAN

1. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan didapatkan hasil respon dinamik sebagai berikut.
  - a. Simpangan horizontal bangunan *set-back* lebih besar dibandingkan bangunan regular. Massa dan kekakuan yang mengecil mengakibatkan bangunan menjadi lebih fleksibel hal tersebut yang menyebabkan simpangan pada bangunan *set-back* lebih besar.
  - b. *Drift ratio* yang didapatkan dari hasil penelitian baik itu bangunan regular

maupun *set-back* vertikal dengan pembebanan dominan arah X maupun arah y nilainya dibawah 0,5%, dengan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa bangunan aman.

2. Rasio A/V pada pasangan gempa 2 arah sangat berpengaruh pada hasil respon dinamik. Berikut ini nilai rasio A/V masing-masing pasangan gempa
  - a. Gempa Duzce (Frekuensi Rendah) pada arah X rasio A/V adalah 0,41 g/m/dt dan untuk arah y adalah 0,29 g/m/dt.
  - b. Gempa El-centro 1940 (Frekuensi Sedang) pada arah X rasio A/V adalah

0,63 g/m/dt dan untuk arah y adalah 1,2 g/m/dt.

- c. Gempa Manjil (Frekuensi Tinggi) pada arah X rasio A/V adalah 2,16 g/m/dt dan untuk arah y adalah 3,5 g/m/dt.

Berdasarkan nilai rasio A/V pada pasangan beban gempa yang digunakan pada berbagai perhitungan yang sudah dilakukan didapatkan kesimpulan bahwa struktur bangunan tinggi lebih berbahaya jika diberi gempa frekuensi rendah, kemudian bangunan yang paling kritis terjadi pada bangunan *set-back* tipe 2 karena *drift ratio* bangunan tersebut paling besar. Pembebanan dominan arah y menghasilkan dampak lebih besar pada bangunan *set-back*, sedangkan, pembebanan arah X menghasilkan dampak lebih besar pada bangunan regular. selain rasio A/V durasi tahap *strong part* pada gempa juga mempengaruhi respon struktur.

## SARAN

Beberapa saran yang dapat disampaikan penulis untuk mengembangkan penelitian tentang dinamika struktur adalah sebagai berikut.

1. Bangunan tinggi lebih baik menggunakan *shear wall* atau *bracing*
2. Program yang dibuat oleh penulis terbatas hanya pada 15 tingkat, sehingga penulis berharap adanya pengembangan program untuk bangunan yang tidak terbatas jumlah tingkatnya.
3. Penentuan skala gempa yang masih manual pada program ini, sehingga penulis berharap adanya pengembangan yang dapat membuat program dapat menghitung skala gempa secara otomatis.
4. Perlu dilakukan penelitian mengenai perbandingan respon dinamik bangunan dengan berbagai metode kekakuan.
5. Perlu diteliti lebih lanjut tentang *set-back* ini pada bangunan diatas 15 tingkat.
6. Desain awal penelitian tidak mempertimbangkan keindahan sehingga perlu dilakukan penelitian menggunakan

ukuran yang sesuai biasa digunakan bangunan pada umumnya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Pawirodikromo, Widodo. 2016. “*Analisis Dinamik Strktur*”. Pustaka Pelajar. Yogyakarta.
- Standar Nasional Indonesia. SNI-03-2847-2012 – Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung.
- Stiawan, Y.A. 2014. Analisis Pengaruh Kandungan Frekuensi terhadap Respon Struktur Bangunan Dengan Kekakuan Muto. *Jurnal Teknik Sipil*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.