

## PERILAKU STRUKTUR BANGUNAN IREGULER L BERTINGKAT BANYAK AKIBAT PENEMPATAN ARAH KOLOM

Ekawati Mei Handayani<sup>1</sup>, Atika Ulfah Jamal<sup>2</sup>

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia<sup>1,2</sup>

Jalan Kaliurang km 14,5, Sleman, Yogyakarta, Indonesia

E-mail: [handayani.eka288@gmail.com](mailto:handayani.eka288@gmail.com)

### ABSTRAK

Perencanaan bangunan struktur bertingkat banyak di daerah rawan gempa harus memegang erat konsep bangunan tahan gempa. Bangunan tahan gempa yang mampu menahan redaman getaran gempa memiliki nilai periode struktur yang kecil. Nilai periode struktur bangunan berbanding terbalik terhadap kekakuan struktur, sedangkan kekakuan struktur bangunan berbanding lurus terhadap momen inersia bangunan. Maka perlu adanya penelitian untuk menganalisis pengaruh perletakan arah kolom terhadap perilaku struktur di daerah rawan gempa. Perilaku struktur yang dimaksud yaitu periode struktur bangunan, berat total bangunan, gaya geser dasar, simpangan antar lantai dan ketidakberaturan horizontal.

Pada penelitian ini terdapat 4 buah model bangunan. Model 1 menggunakan penampang kolom bujur sangkar. Model 2 menggunakan penampang kolom persegi panjang ditempatkan memanjang pada arah X sumbu global bangunan. Model 3 menggunakan penampang kolom persegi panjang ditempatkan memanjang pada arah Y sumbu global bangunan. Model 4 menggunakan penampang kolom persegi panjang ditempatkan pada arah X dan arah Y sumbu global bangunan. Analisis struktur menggunakan program bantu ETABS V.13 dan analisis dinamika struktur menggunakan metode respon spektrum.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai periode struktur bangunan terkecil terjadi pada bangunan model 4. Periode struktur bangunan model 1, 2, dan 3 lebih besar dari model 4, berturut-turut sebesar 1,3915%, 8,777%, dan 7,036%. Simpangan antar lantai terbesar terjadi pada model 2 arah X senilai 48,9 mm dan arah Y senilai 55,55 mm. Ketidakberaturan horizontal yang terjadi berupa torsi tipe 1b arah X pada model 2 dan arah Y pada model 3.

**Kata kunci:** Kolom, Simpangan Horizontal, Ketidakberaturan Horizontal

### ABSTRACT

*Design of multi storeys structure building in earthquake-prone areas must hold the concept of earthquake resistant buildings closely. Earthquake resistant buildings that are able to withstand earthquake vibration attenuation have a small structural period value. The period value of building structure is inversely proportional to the stiffness of the structure, while the stiffness of the building structure is directly proportional to the moment of building inertia. Therefore, it is essential to concret a research for analyze the effect of column direction placement on the behavior of structures in earthquake-prone areas. Structure of behaviors there are the value of period structure, total weight of structure, interstory drift and horizontal structural irregularities.*

*In this study the building was modeled into 4 building. Model 1 used a cross section of a square column. Model 2 used a rectangular column cross section placed lengthwise in the direction of the building's global X axis. Model 3 used a rectangular column cross section placed lengthwise in the direction of the global axis of the building. Model 4 used a rectangular column cross section placed in the direction of X and in the direction of the global axis of the building. Structural analysis used the ETABS V.13 auxiliary program and structural dynamics analysis using the spectrum response method.*

*The results showed that the value of the smallest buiding structure period occurred in model 4. The period of building structure of models 1, 2, and 3 was greater than model 4, respectively 1.3915%, 8.777%, and 7.036%. The largest intersection occurs at 2-way model X with value 48.9 mm and direction Y with value 55.55 mm. Horizontal irregularities that occur is torsional irregularities type 1b in model 2 and direction Y in model 3.*

**Keywords:** Column, Drift, Horizontal Irregularities

### PENDAHULUAN

Perencanaan bangunan struktur tahan gempa harus memenuhi persyaratan yang ada pada SNI 1726-2012 Tata Cara Perencanaan Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung. Bila suatu

bangunan bertingkat mengalami gempa, maka bangunan tersebut akan mengalami gerakan ke arah vertikal maupun horizontal secara bolak-balik. Gerakan yang paling membahayakan adalah gerak arah horizontal, karena dapat menyebabkan

struktur mengalami deformasi horizontal atau simpangan.

Salah satu elemen struktur yang harus diperhatikan dalam perencanaannya adalah kolom bangunan. Kolom berfungsi menerima seluruh beban dan meneruskannya ke pondasi. Berdasarkan jenis penampangnya kolom biasanya terbagi menjadi 3, yaitu penampang kolom persegi panjang, bujur sangkar, dan lingkaran. Perbedaan bentuk penampang dapat memberikan pengaruh yang berbeda terhadap nilai momen inersia. Momen inersia penampang berhubungan dengan simpangan, jika momen inersia penampang kecil maka struktur akan kurang kaku dan simpangan akan semakin besar (Ertanto, 2015). Menurut Supit dkk. (2013), orientasi elemen struktur merupakan faktor desain tentang penempatan elemen struktur. Orientasi kolom terhadap salah satu sumbu koordinat pada bangunan bertingkat banyak sangat berpengaruh pada kekuatan kolomnya.

Selain struktur kolom serta penempatannya, dari hasil penyelidikan pasca-gempa telah mengarahkan pengamatan bahwa bangunan dengan konfigurasi tidak teratur lebih rentan mengalami kerusakan dibanding dengan bangunan yang memiliki konfigurasi bangunan teratur (Elnashai, 2008). Struktur gedung dengan ketidakberaturan contohnya bangunan dengan denah berbentuk L menjadi pilihan akibat keterbatasan lahan di perkotaan (Meillia, 2016).

Dari uraian pada latar belakang di atas, maka perlu adanya penelitian untuk menganalisis pengaruh perletakan arah kolom terhadap perilaku struktur di daerah rawan gempa. Perilaku struktur yang dimaksud yaitu periode struktur, berat total bangunan, gaya geser dasar, simpangan antar lantai dan ketidakberaturan horizontal.

Tujuan dari penelitian ini yang ingin dicapai adalah mengetahui pengaruh penempatan arah kolom terhadap periode struktur bangunan, berat total bangunan, gaya geser dasar, simpangan antar lantai dan ketidakberaturan horizontal bangunan akibat adanya beban gempa pada bangunan irreguler L menggunakan kolom bujur sangkar dan persegi panjang.

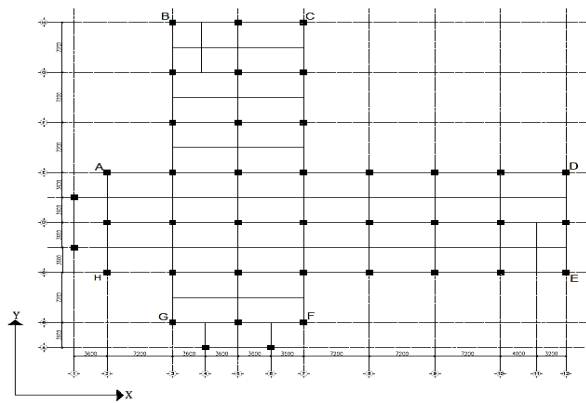
## METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode analisis komperatif. Pada penelitian ini digunakan satu jenis model gedung berbentuk L yang tidak diberi dilatasi pada struktur. Fungsi bangunan adalah hotel yang memiliki 9 lantai dengan masing-masing tingkat memiliki tinggi yang sama. Bangunan berada di wilayah Bandung dengan jenis tanah sedang.

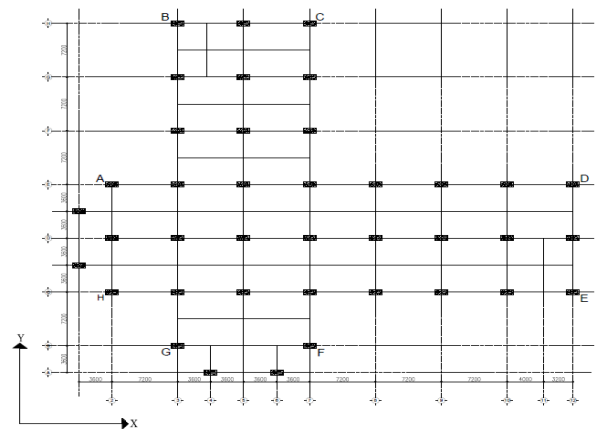
Dimensi elemen-elemen struktur awal didesain sesuai dengan ketentuan yang ada di dalam SNI 2847:2013. Luas penampang kolom persegi panjang model 2, model 3, dan model 4

adalah sama. Dimensi untuk balok, dan pelat adalah sama.

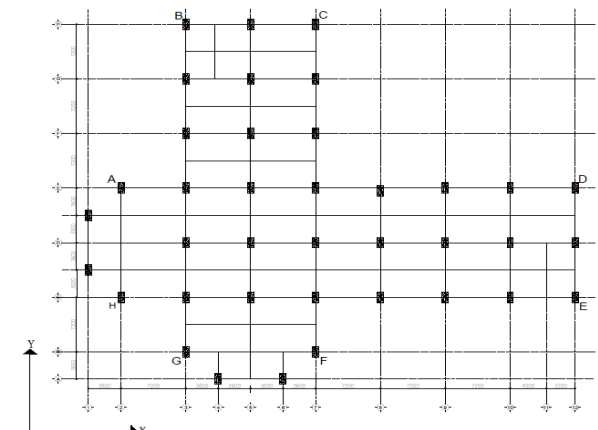
Pada penelitian ini bangunan dibagi menjadi 4 buah model bangunan. Model 1 menggunakan penampang kolom bujur sangkar. Model 2 menggunakan penampang kolom persegi panjang ditempatkan memanjang pada arah X sumbu global bangunan. Model 3 menggunakan penampang kolom persegi panjang ditempatkan memanjang pada arah Y sumbu global bangunan. Model 4 menggunakan penampang kolom persegi panjang ditempatkan pada arah X dan arah Y sumbu global bangunan. Berikut adalah gambar-gambar denah bangunan yang digunakan.



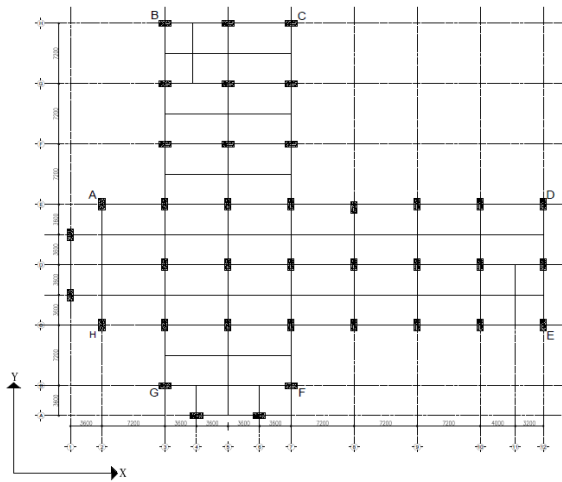
Gambar 1. Denah Bangunan Model 1



Gambar 2. Denah Bangunan Model 2



Gambar 3. Denah Bangunan Model 3



Gambar 4. Denah Bangunan Model 4

Pada penelitian ini akan membandingkan hasil data dari hasil analisis menggunakan software ETABS V.13 berupa nilai periode struktur bangunan, berat total bangunan, gaya geser dasar, simpangan antar lantai, dan ketidakberaturan horizontal. Pembebanan struktur direncanakan menggunakan acuan beban mati, beban hidup, dan beban gempa. Dalam menentukan beban mati dan beban hidup dari suatu gedung telah ditetapkan pada Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG 1987). Beban gempa direncanakan sesuai dengan pedoman dalam SNI 1726:2012. Digunakan metode analisis dinamik, yaitu respon spektrum. Analisis dibantu dengan menggunakan program bantu, yaitu ETABS V.13.

Berdasarkan SNI 1726:2012, penentuan simpangan antar lantai tingkat desain ( $\Delta$ ) harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa di tingkat teratas dan terbawah yang ditinjau. Defleksi pusat massa di tingkat  $x$  ( $\delta_x$ ) (mm) harus ditentukan sesuai dengan rumus:

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \dots \dots \dots (1)$$

dimana:

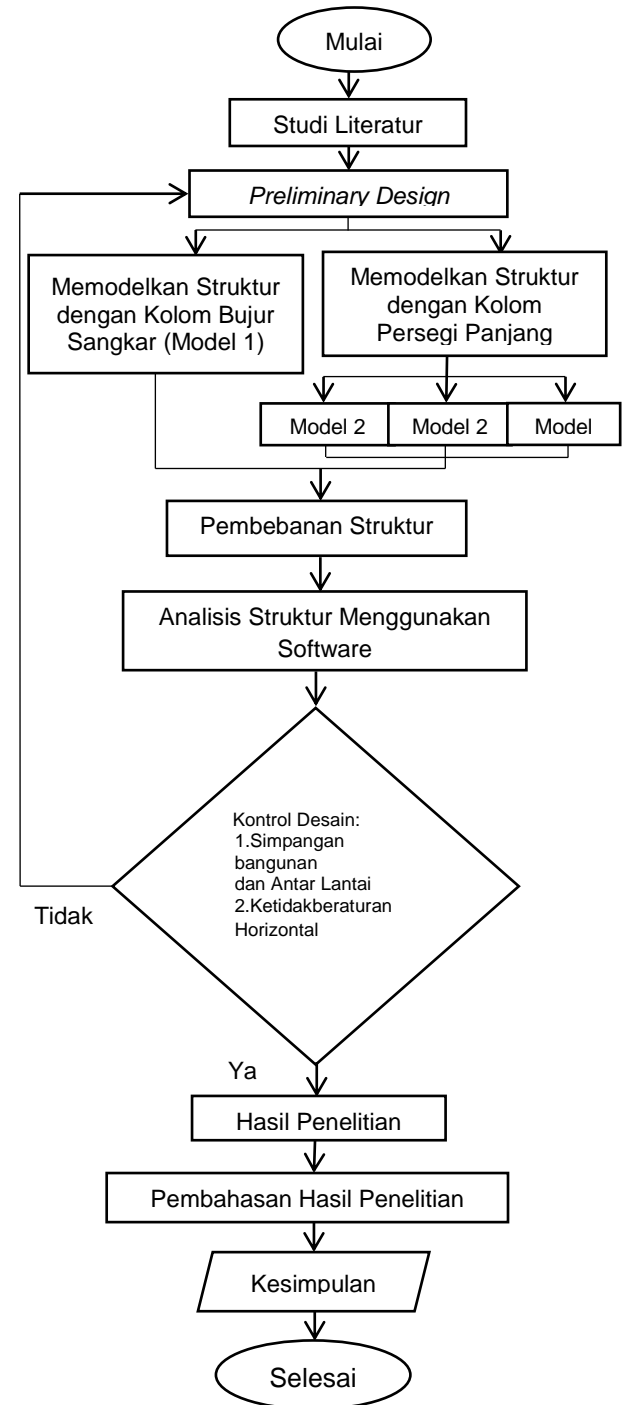
- $C_d$  = faktor amplifikasi defleksi dalam ,
- $\delta_{xe}$  = defleksi pada lokasi yang disyaratkan pada pasal ini yang ditentukan dengan analisis elastis,
- $I_e$  = faktor keutamaan gempa yang ditentukan sesuai dengan Pasal 4.1.2 (SNI 03-1726 2012)

Besar simpangan antar lantai tidak boleh melebihi simpangan antar lantai ijin sesuai dengan Pasal 7.12.1, Tabel 16 pada SNI 03-1726-2012.

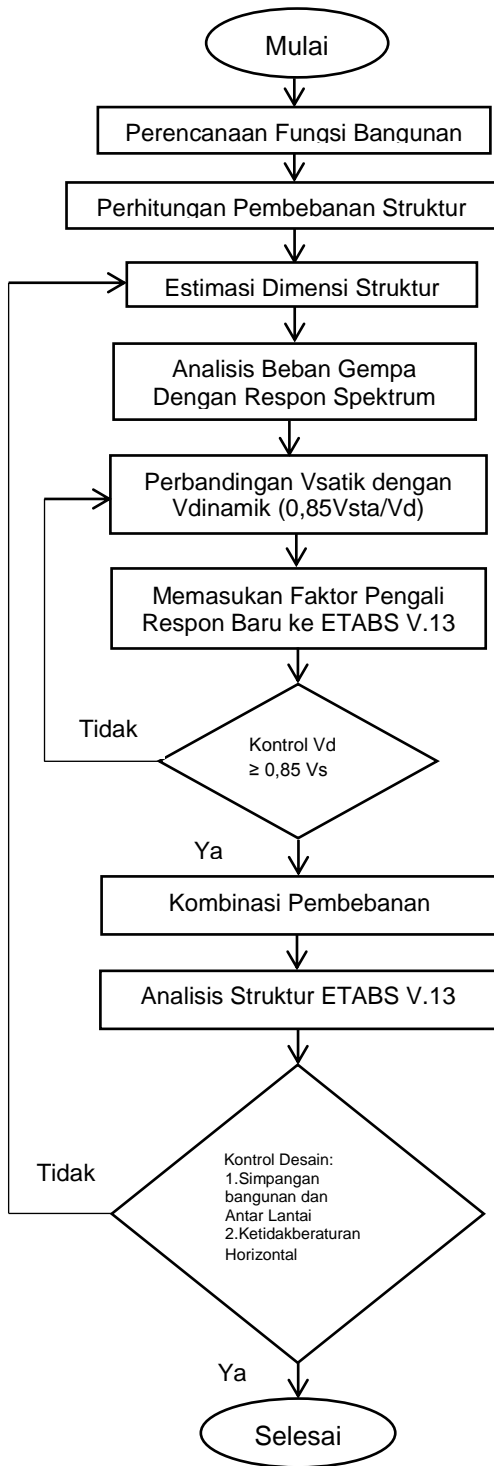
Pengaruh simpangan yang dihasilkan dapat digunakan untuk menghitung perilaku struktur terhadap ketidakberaturan horizontal, salah satunya ialah ketidakberaturan torsional. Ketidakberaturan horizontal terbagi menjadi 5 yaitu

ketidakberaturan torsional, ketidakberaturan sudut dalam, ketidakberaturan diskontinuitas diafragma, ketidakberaturan pergeseran melintang terhadap bidang, dan ketidakberaturan sistem non paralel.

Pada penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahap, yaitu studi literatur, *preliminary design*, pembebanan struktur, analisis struktur menggunakan *software*, analisis hasil penelitian, pembahasan hasil penelitian, dan penarikan kesimpulan. Bagan alir pelaksanaan penelitian dapat dilihat pada Gambar 5 dan bagan alir analisis struktur gedung tahan gempa pada Gambar 6.



Gambar 5. Bagan Alir Pelaksanaan Penelitian



**Gambar 6.** Bagan Alir Analisis Struktur Gedung Tahan Gempa

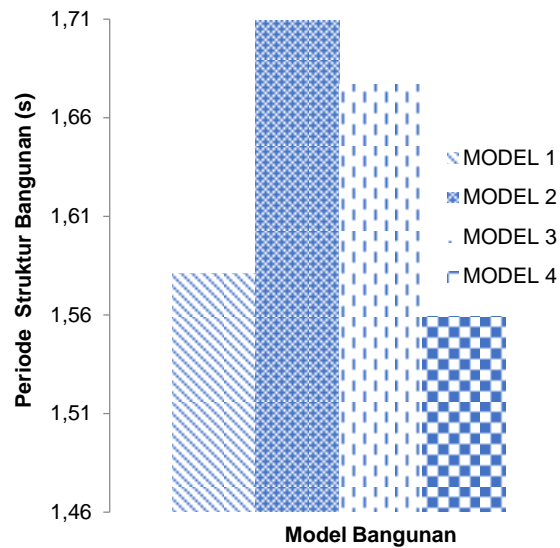
**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Dari hasil penelitian, bangunan yang didesain ditempatkan dengan arah kolom yang berbeda menghasilkan perilaku struktur yang berbeda-beda dari parameter yang telah ditetapkan pada penelitian ini. Dari empat jenis model bangunan, model 4 menghasilkan analisis yang lebih aman. Nilai periode struktur bangunan pada setiap model memiliki nilai yang berbeda-beda. Nilai periode

struktur bangunan dapat dilihat pada **Tabel 1** berikut.

**Tabel 1.** Periode Struktur Bangunan

| Model Bangunan | Periode Struktur Bangunan Hasil ETABS V.13 |
|----------------|--|
| Model 1        | 1,581                                      |
| Model 2        | 1,709                                      |
| Model 3        | 1,677                                      |
| Model 4        | 1,559                                      |



**Gambar 7.** Periode Struktur Bangunan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai periode struktur bangunan terkecil terjadi pada bangunan model 4. Periode struktur bangunan model 1, 2, dan 3 lebih besar dari model 4, berturut-turut sebesar 1,3915%, 8,777%, dan 7,036%. Dapat dikatakan jika bangunan model 4 memiliki kekakuan struktur bangunan yang lebih kecil. Hal tersebut sesuai dengan rumus sebagai berikut.

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \dots\dots\dots (2)$$

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \dots\dots\dots (3)$$

$$k = \frac{12EI}{L^3} \dots\dots\dots (4)$$

Dengan T adalah Periode getar struktur (s),  $\omega$  adalah Frekuensi sudut dalam (rad/s), k adalah Kekakuan struktur (kg/cm), m adalah Massa struktur (kg), E adalah Modulus Elastisitas, I adalah Momen Inersia (cm<sup>4</sup>), dan L adalah Panjang Bentang (cm).

Dari **Rumus 2, 3, dan 4** dapat dikatakan, apabila nilai momen inersia besar maka periode getar akan semakin kecil, karena besar nilai momen inersia berbanding lurus dengan kekakuan. Pada penelitian ini digunakan bangunan ireguler

sehingga mencari nilai inersia bangunan menggunakan alat bantu AUTOCAD. Hasil yang diperoleh nilai inersia arah y sebesar  $1,2338 \times 10^{17}$  mm dan arah X sebesar  $2,1393 \times 10^{17}$  mm. Pada bangunan model 4 kolom ditempatkan memanjang arah X untuk bentang yang memanjang arah Y dan penempatan kolom memanjang arah Y untuk bentang yang memanjang arah X. Hal tersebut diharapkan agar bangunan model 4 memiliki kekakuan yang dapat menahan gaya gempa dari dua arah bangunan. Diketahui nilai momen inersia kolom pada masing-masing model bangunan sebagai berikut.

**Tabel 2.** Momen Inersia Kolom

| Model Bangunan | Ukuran Dimensi |       | I (m <sup>4</sup> ) |
|----------------|----------------|-------|---------------------|
|                | b (m)          | h (m) |                     |
| Model 1        | 1,25           | 1,25  | 0,2543              |
| Model 2        | 0,958          | 1,631 | 0,5649              |
| Model 3        | 1,631          | 0,958 | 0,1145              |
| Model 4        | K1             | 0,958 | 0,5649              |
|                | K2             | 1,631 | 0,958               |

Berat bangunan dihitung menggunakan program bantu ETABS V.13 masing-masing model dapat dilihat pada **Tabel 3**.

**Tabel 3.** Berat Total Bangunan

| Model Bangunan | Berat Total Bangunan (kN) |
|----------------|---------------------------|
| Model 1        | 160617,96                 |
| Model 2        | 160515,86                 |
| Model 3        | 160518,77                 |
| Model 4        | 160571,12                 |

Dari hasil perhitungan berat total bangunan terbesar terjadi pada bangunan model 1 dan yang terkecil pada bangunan model 2.

Periode dan berat total bangunan mempengaruhi nilai gaya geser dasar. Gaya geser dasar dinamik yang diperoleh dari analisis menggunakan program ETABS V.13 dapat dilihat pada **Tabel 4**.

**Tabel 4.** Gaya Geser Dasar Dinamik

| Model Bangunan | Gaya Geser dasar dinamik |           |
|----------------|--------------------------|-----------|
|                | FX (kN)                  | FY (kN)   |
| Model 1        | 4732,0593                | 4616,2322 |
| Model 2        | 4236,0497                | 4529,113  |
| Model 3        | 4605,5763                | 4484,3984 |
| Model 4        | 4890,4568                | 5026,3943 |

Gaya geser dasar dinamik arah X bangunan model 2 lebih kecil 11,7 % dari model 1, bangunan model 3 lebih kecil 2,74 % dari model 1, dan bangunan model 4 lebih besar 3,238 % dari model 1.

Gaya geser dinamik arah Y bangunan model 2 lebih kecil 1,92 %, dari model 1, model 3 lebih kecil 1,92 % dari model 1, dan model 4 lebih besar 8,16 % dari model 1.

**Tabel 5.** Gaya Geser Dasar Statik

| Model Bangunan | Gaya Geser Dasar Statik |          |
|----------------|-------------------------|----------|
|                | FX (kN)                 | FY (kN)  |
| Model 1        | 6042,448                | 6042,448 |
| Model 2        | 6038,607                | 6038,607 |
| Model 3        | 6038,716                | 6038,716 |
| Model 4        | 6040,685                | 6040,685 |

Untuk gaya geser statik nilai gaya geser terbesar pada bangunan model 1 dengan nilai 6042,45 kN dan terkecil pada bangunan 2 dengan nilai 6038,607 kN.

Periode getar berpengaruh pada besarnya gaya geser dasar dinamik dan statik. Gaya geser dasar berdasarkan SNI 03-1726-2012, gaya geser dasar statik dihitung berdasarkan rumus:

$$V = C_s W \dots \dots \dots (5)$$

Koefisien  $C_s$  ditentukan dengan menggunakan persamaan-persamaan berikut

$$C_{S1} = \frac{S_{DSR}}{I_C} \dots \dots \dots (6)$$

$$C_{S2} = \frac{S_{D1}}{T \left( \frac{R}{I_C} \right)} \dots \dots \dots (7)$$

$$C_{S3} = \frac{S_1}{I_C} \dots \dots \dots (8)$$

Apabila digunakan  $C_{S2}$ , maka dari **Rumus 7** dapat dilihat semakin besar nilai periode (T), nilai  $C_{S2}$  semakin kecil. Semakin kecil nilai  $C_{S2}$  akan semakin kecil nilai V karena nilai V berbanding lurus dengan nilai  $C_s$  sesuai dengan persamaan 5. Namun, nilai gaya geser dasar berbanding terbalik terhadap nilai periode struktur bangunan. Nilai berat bangunan berbanding lurus terhadap nilai gaya dasar.

Nilai simpangan antar lantai terbesar terjadi pada bangunan model 2 arah X dan arah Y masing-masing senilai 48,9 mm dan 55,55 mm, sedangkan nilai bangunan simpangan antar lantai yang paling kecil terjadi di bangunan model 4. Bangunan dengan model 4, yaitu menggunakan penampang kolom persegi panjang ditempatkan pada arah X dan arah Y sumbu global bangunan dinyatakan lebih aman dari kerusakan bangunan akibat simpangan yang berlebih. Posisi kolom persegi panjang yang dikombinasikan menghasilkan momen inersia yang besar. Momen inersia yang besar menghasilkan kekakuan bangunan yang lebih besar, akibatnya nilai periodenya semakin kecil. Nilai periode yang

semakin kecil mengakibatkan besarnya gaya geser dasar, sehingga nilai skala gaya yang dihasilkan akan lebih kecil dari bangunan model yang lain. Jika nilai skala gaya kecil maka nilai simpangan bangunan yang dihasilkan juga kecil. Karena faktor pengali gempa pada analisis metode respon spektrum semakin kecil.

**Tabel 6.** Simpangan Antar Lantai Maksimum Arah X

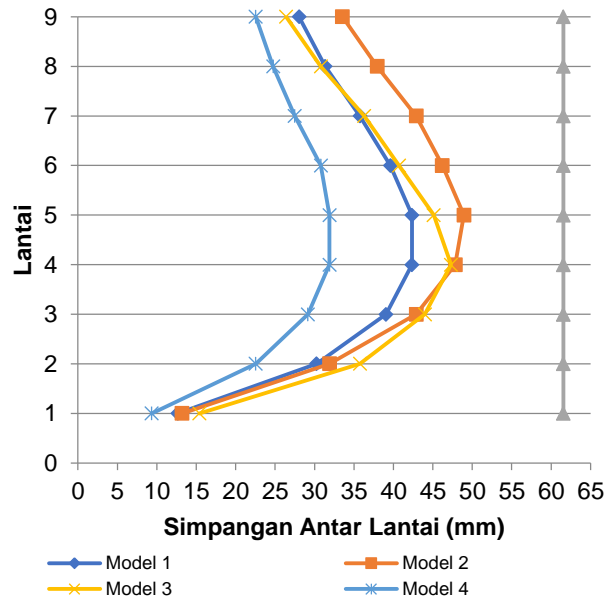
| Lantai | Simpangan Antar Lanantai (mm) |         |         |         | Simpangan Antar Lantai Ijin, $\Delta a$ (mm) |
|--------|-------------------------------|---------|---------|---------|--|
|        | Model 1                       | Model 2 | Model 3 | Model 4 |  |
| 9      | 28,05                         | 33,55   | 26,4    | 22,55   | 61,5385                                      |
| 8      | 31,35                         | 37,95   | 30,8    | 24,75   | 61,5385                                      |
| 7      | 35,75                         | 42,9    | 36,3    | 27,5    | 61,5385                                      |
| 6      | 39,6                          | 46,2    | 40,7    | 30,8    | 61,5385                                      |
| 5      | 42,35                         | 48,95   | 45,1    | 31,9    | 61,5385                                      |
| 4      | 42,35                         | 47,85   | 47,3    | 31,9    | 61,5385                                      |
| 3      | 39,05                         | 42,9    | 44      | 29,15   | 61,5385                                      |
| 2      | 30,25                         | 31,9    | 35,75   | 22,55   | 61,5385                                      |
| 1      | 12,65                         | 13,2    | 15,4    | 9,35    | 61,5385                                      |

**Tabel 7.** Simpangan Antar Lantai Maksimum Arah Y

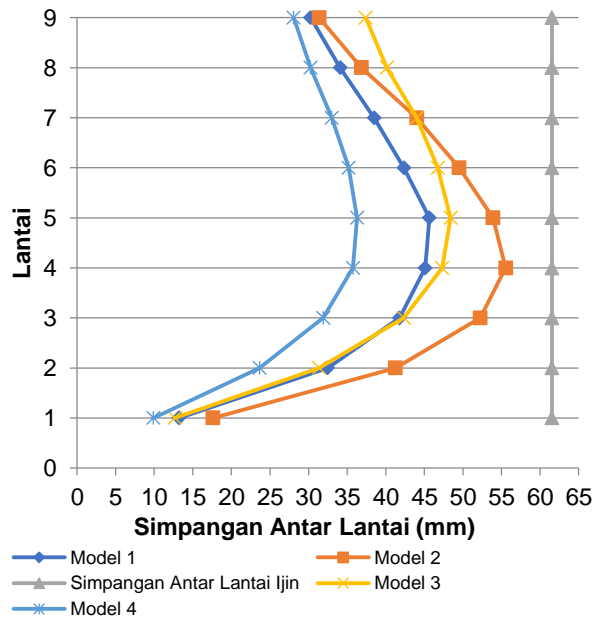
| Lantai | Simpangan Antar Lanantai (mm) |         |         |         | Simpangan Antar Lantai Ijin, $\Delta a$ (mm) |
|--------|-------------------------------|---------|---------|---------|--|
|        | Model 1                       | Model 2 | Model 3 | Model 4 |  |
| 9      | 30,25                         | 31,35   | 37,4    | 28,05   | 61,5385                                      |
| 8      | 34,1                          | 36,85   | 40,15   | 30,25   | 61,5385                                      |
| 7      | 38,5                          | 44      | 44      | 33      | 61,5385                                      |
| 6      | 42,35                         | 49,5    | 46,75   | 35,2    | 61,5385                                      |
| 5      | 45,65                         | 53,9    | 48,4    | 36,3    | 61,5385                                      |
| 4      | 45,1                          | 55,55   | 47,3    | 35,75   | 61,5385                                      |
| 3      | 41,8                          | 52,25   | 42,35   | 31,9    | 61,5385                                      |
| 2      | 32,45                         | 41,25   | 31,35   | 23,65   | 61,5385                                      |
| 1      | 13,2                          | 17,6    | 12,65   | 9,9     | 61,5385                                      |

**Tabel 8.** Perhitungan Torsi Arah X

| Lantai | $\delta B(mm)$ | $\delta g(mm)$ | $\delta avarg(mm)$ | $\delta Max$ | $1.2\delta Avarg$ | $1.4\delta Avarg$ | ket      | $\delta Max/1.2\delta Avarg$ |
|--------|----------------|----------------|--------------------|--------------|-------------------|-------------------|----------|------------------------------|
| 9      | 62,8           | 39,1           | 50,95              | 62,8         | 61,14             | 71,33             | Torsi 1b | 1,0550                       |
| 8      | 56,7           | 35,1           | 45,9               | 56,7         | 55,08             | 64,26             | Torsi 1b | 1,0597                       |
| 7      | 49,8           | 30,7           | 40,25              | 49,8         | 48,3              | 56,35             | Torsi 1b | 1,0631                       |
| 6      | 42             | 25,9           | 33,95              | 42           | 40,74             | 47,53             | Torsi 1b | 1,0628                       |
| 5      | 33,6           | 20,8           | 27,2               | 33,6         | 32,64             | 38,08             | Torsi 1b | 1,0597                       |
| 4      | 24,7           | 15,4           | 20,05              | 24,7         | 24,06             | 28,07             | Torsi 1b | 1,0539                       |
| 3      | 16             | 10,1           | 13,05              | 16           | 15,66             | 18,27             | Torsi 1b | 1,0439                       |
| 2      | 8,2            | 5,2            | 6,7                | 8,2          | 8,04              | 9,38              | Torsi 1b | 1,0402                       |
| 1      | 2,4            | 1,5            | 1,95               | 2,4          | 2,34              | 2,73              | Torsi 1b | 1,0519                       |



**Gambar 8.** Simpangan Antar Lantai Maksimum Arah X



**Gambar 9.** Simpangan Antar Lantai Maksimum Arah Y

**Tabel 9.** Perhitungan Torsi Arah Y

| Lantai | $\delta A(\text{mm})$ | $\delta D(\text{mm})$ | $\delta \text{avarg}(\text{mm})$ | $\delta \text{Max}$ | $1.2\delta \text{Avarg}$ | $1.4\delta \text{Avarg}$ | ket      | $\delta \text{Max}/1.2\delta \text{Avarg}$ |
|--------|-----------------------|-----------------------|----------------------------------|---------------------|--------------------------|--------------------------|----------|--|
| 9      | 32,4                  | 63,7                  | 48,05                            | 63,7                | 57,66                    | 67,27                    | Torsi 1b | 1,2205                                     |
| 8      | 28,8                  | 56,9                  | 42,85                            | 56,9                | 51,42                    | 59,99                    | Torsi 1b | 1,2245                                     |
| 7      | 24,9                  | 49,6                  | 37,25                            | 49,6                | 44,7                     | 52,15                    | Torsi 1b | 1,2313                                     |
| 6      | 20,8                  | 41,6                  | 31,2                             | 41,6                | 37,44                    | 43,68                    | Torsi 1b | 1,2346                                     |
| 5      | 16,5                  | 33,1                  | 24,8                             | 33,1                | 29,76                    | 34,72                    | Torsi 1b | 1,2371                                     |
| 4      | 12,1                  | 24,3                  | 18,2                             | 24,3                | 21,84                    | 25,48                    | Torsi 1b | 1,2380                                     |
| 3      | 7,9                   | 15,7                  | 11,8                             | 15,7                | 14,16                    | 16,52                    | Torsi 1b | 1,2293                                     |
| 2      | 4,1                   | 8                     | 6,05                             | 8                   | 7,26                     | 8,47                     | Torsi 1b | 1,2142                                     |
| 1      | 1,2                   | 2,3                   | 1,75                             | 2,3                 | 2,1                      | 2,45                     | Torsi 1b | 1,1995                                     |

Dari hasil perhitungan torsi diketahui jika bangunan model 2 pada arah X dan model 3 pada arah Y terjadi torsi tipe 1b. Faktor terjadinya torsi diakibatkan dari perbedaan yang signifikan antara simpangan antar lantai tingkat maksimum pada sebuah ujung struktur dengan simpangan antar lantai tingkat rata-rata di kedua ujung struktur.

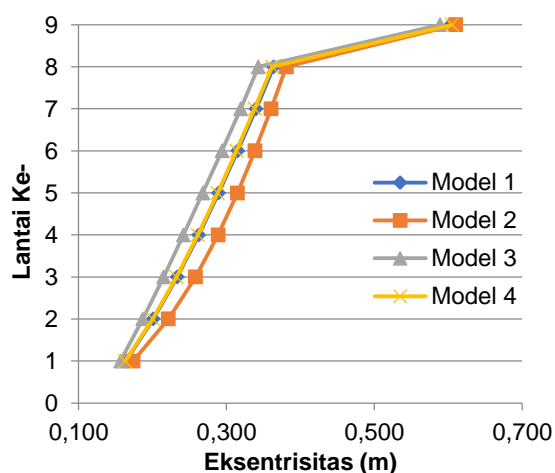
Menurut Nugroho (2015), pada bentuk bangunan yang tidak beraturan dapat mengakibatkan perilaku berbeda pada struktur. Perilaku tersebut berupa adanya eksentrisitas antar pusat massa dan pusat kekakuan pada bangunan sehingga bangunan mengalami torsi. Adanya eksentrisitas antara pusat massa bangunan dengan pusat rotasi bangunan, sehingga beban lateral pusat beban tidak tepat dengan pusat kekakuan elemen vertikal beban lateral. Berikut adalah hasil perhitungan eksentrisitas bangunan.

**Tabel 10.** Eksentrisitas Arah X

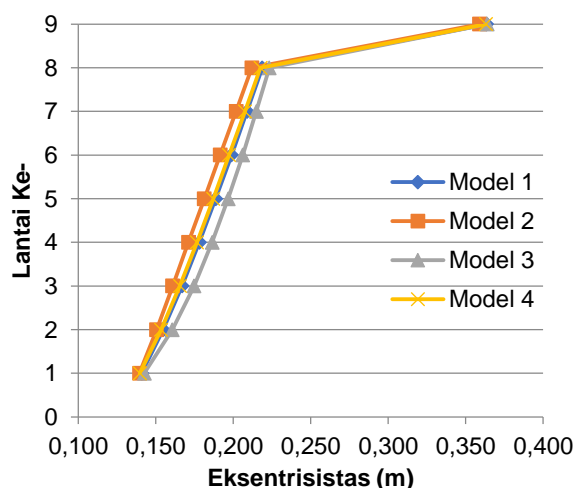
| Lantai Ke- | Eksentrisitas Arah X (m) |         |         |         |
|------------|--------------------------|---------|---------|---------|
|            | Model 1                  | Model 2 | Model 3 | Model 4 |
| 9          | 0,604                    | 0,610   | 0,589   | 0,605   |
| 8          | 0,364                    | 0,381   | 0,343   | 0,362   |
| 7          | 0,340                    | 0,361   | 0,320   | 0,338   |
| 6          | 0,315                    | 0,339   | 0,294   | 0,314   |
| 5          | 0,290                    | 0,315   | 0,268   | 0,288   |
| 4          | 0,263                    | 0,289   | 0,242   | 0,261   |
| 3          | 0,233                    | 0,258   | 0,215   | 0,232   |
| 2          | 0,201                    | 0,222   | 0,187   | 0,200   |
| 1          | 0,164                    | 0,174   | 0,157   | 0,163   |

**Tabel 11.** Eksentrisitas Arah Y

| Lantai Ke- | Eksentrisitas Arah Y (m) |         |         |         |
|------------|--------------------------|---------|---------|---------|
|            | Model 1                  | Model 2 | Model 3 | Model 4 |
| 9          | 0,364                    | 0,359   | 0,364   | 0,363   |
| 8          | 0,219                    | 0,212   | 0,223   | 0,218   |
| 7          | 0,209                    | 0,202   | 0,215   | 0,208   |
| 6          | 0,199                    | 0,192   | 0,206   | 0,197   |
| 5          | 0,189                    | 0,181   | 0,197   | 0,187   |
| 4          | 0,178                    | 0,171   | 0,186   | 0,177   |
| 3          | 0,167                    | 0,161   | 0,175   | 0,166   |
| 2          | 0,155                    | 0,151   | 0,161   | 0,154   |
| 1          | 0,141                    | 0,140   | 0,143   | 0,140   |



**Gambar 10.** Eksentrisitas Arah X



**Gambar 11.** Eksentrisitas Arah Y

Dari **Gambar 10** dan **Gambar 11** dapat dilihat jika eksentrisitas terbesar bangunan arah X terjadi pada bangunan model 2 dan untuk arah Y eksentrisitas terbesar terjadi pada bangunan model 3. Sehingga benar jika eksentrisitas bangunan dan besarnya simpangan antar lantai bangunan dapat menyebabkan terjadinya torsi pada suatu bangunan.

Selain ketidakberaturan torsional, ketidakberaturan horizontal yang terjadi pada semua model bangunan adalah ketidakberaturan



sudut dalam. Berdasarkan pedoman FEMA 451B dan SNI 03-1726-2012 sebuah bangunan memiliki ketidakberaturan sudut dalam apabila nilai  $P_y > 0,15 L_y$  dan  $P_x > 0,15 L_x$ . Dengan  $P_y$  dan  $P_x$  adalah proyeksi denah sudut dalam arah X dan

arah Y, sedangkan  $L_x$  dan  $L_y$  adalah denah sudut dalam luar arah X dan Y. 4 buah bangunan yang digunakan dalam penelitian ini memiliki denah struktur yang sama, sehingga semua model bangunan memiliki ketidakberaturan sudut dalam.

**Tabel 12.** Rekapitulasi Perhitungan Ketidakberaturan Sudut Dalam

| Model Bangunan | Px (m) | Py (m) | Lx (m) | Ly (m) | 0,15 Lx (m) | 0,15 Ly (m) | Ketidakberaturan Sudut Dalam |        |
|----------------|--------|--------|--------|--------|-------------|-------------|------------------------------|--------|
|                |        |        |        |        |             |             | Arah X                       | Arah Y |
| Model 1        | 28,8   | 21,6   | 54     | 47     | 8,1         | 7,02        | ADA                          | ADA    |
| Model 2        | 28,8   | 21,6   | 54     | 47     | 8,1         | 7,02        | ADA                          | ADA    |
| Model 3        | 28,8   | 21,6   | 54     | 47     | 8,1         | 7,02        | ADA                          | ADA    |
| Model 4        | 28,8   | 21,6   | 54     | 47     | 8,1         | 7,02        | ADA                          | ADA    |

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis terhadap struktur bangunan akibat beban gempa menggunakan metode respon spektrum terhadap bangunan dengan penempatan arah yang berbeda dapat diambil kesimpulan, yaitu nilai periode getar struktur hasil ETABS V.13 terbesar terjadi pada bangunan model 2 dan yang terkecil terjadi pada bangunan model 4. Nilai tersebut mempengaruhi nilai koefisien respon seismik, gaya geser dasar dinamik, gaya geser dasar statik, skala gaya, dan nilai eksponen statik ekivalen per lantai.

Simpangan terbesar terjadi pada bangunan model 2 pada arah X maupun arah Y bangunan. Akibat simpangan yang cukup besar, maka terjadi torsi arah X pada bangunan model 2, sedangkan untuk arah Y terjadi pada bangunan model 3. Terjadi ketidakberaturan torsi 1b pada bangunan model 2 dan model 3. Selain akibat besarnya simpangan, torsi terjadi karena besarnya eksentrisitas yang dihasilkan antara pusat massa dan pusat rotasi bangunan. Terjadi ketidakberaturan sudut dalam.

Berdasarkan dari analisis terhadap variabel terikat, bangunan model 4 lebih aman menahan simpangan berlebihan yang dapat mengakibatkan kerusakan struktur bangunan.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Diucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penelitian ini hingga selesai.

## DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. (2012). *SNI 03-1726-2012 Tata Cara Perencanaan Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. (2013). *SNI 03-2847-2013 Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*. Jakarta.
- Building Seismic Safety Council. (2006). *NEHRP Recommended Seismic Provisions: Design Examples (FEMA 451)*. Federal Emergency Management Agency. Washington, D. C.

- Departemen Pekerjaan Umum. (1987). *PPPURG 1987 Pedoman Perencanaan Pembebanan Indonesia untuk Rumah dan Gedung*. Yayasan Badan Pekerjaan Umum. Jakarta.
- Elnashai, S.A. dan Sarno, D.L. (2008). *Fundamental of Earthquake Engineering*. Willey. Hongkong.
- Ertanto, R., Giri, D., Putra, D. (2015). Analisa Perbandingan Perilaku Struktur pada Gedung dengan Variasi Bentuk Penampang Kolom Beton Bertulang. *Jurnal Ilmiah Elektronik Infrastruktur Teknik Sipil*. Denpasar.
- Gosh, S.K. and Fanella, D.A. (2003). *Seismic and Wind Design of Concrete Buildings*. International Code Council. United States.
- Meillia, D. (2016). Studi Performa Struktur Gedung Bertingkat Ketidakberaturan Torsi Berdasarkan Perencanaan Urutan Sendi Plastis dengan Pushover Analysis. *Skripsi*. Jakarta : Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana.
- Nugroho, F. (2015). Evaluasi Kinerja Bangunan Renana Gedung Hotel A.N.S dengan Dilatasi (Model B2) di Daerah Rawan Gempa. *Jurnal Momentum*. Vol. 17 No.2. Padang.
- Supit, N. W. A., Sumajouw, M. D. J., Tamboto, W. J., Dapas, S. O. (2013). Respon Dinamis Struktur Bangunan Beton Bertulang Bertingkat Banyak Dengan Variasi Orientasi Sumbu Kolom. *Jurnal Sipil Statik*. Vol. 1 No.11. Manado.