

# PERBANDINGAN SIMPANGAN HORIZONTAL PADA STRUKTUR GEDUNG DENGAN EFISIENSI ELEMEN STRUKTUR BALOK DAN KOLOM

(Studi Kasus: Pembangunan Gedung Fakultas Hukum UNTIRTA Sindangsari)

Baehaki<sup>1</sup>, Hendrian Budi Bagus Kuncoro<sup>2</sup>, Intan Cahya Kumala<sup>3</sup>  
Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa  
Jl. Jendral Sudirman km.3, Cilegon, Banten  
[intanck20@gmail.com](mailto:intanck20@gmail.com)

## ABSTRAK

Gedung Fakultas Hukum Untirta merupakan gedung baru yang bertempat di Desa Sindangsari, Kecamatan Pabuaran, Kabupaten Serang. Berdasarkan *Detail Engineering Design* (DED), gedung Fakultas Hukum di prediksi memiliki dimensi yang cukup besar, maka dilakukan efisiensi pada elemen struktur balok dan kolom sebesar 5% dan 10%. Pada perencanaan struktur khususnya struktur beton bertulang selain nilai efisiensi bangunan, struktur gedung harus di desain dengan mempertimbangkan pengaruh gempa terhadap gedung.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dan membandingkan perubahan simpangan hasil efisiensi elemen struktur balok dan kolom sebesar 5% dan 10% pada Gedung Fakultas Hukum UNTIRTA. Pembebanan yang ditinjau meliputi beban mati, beban hidup dan beban gempa (beban gempa dinamik respon spektrum dan statik ekuivalen) sesuai SNI 1726 2012.

Berat gedung pada perencanaan awal sebesar 59605,273 kN, sedangkan untuk efisiensi 5% ( $W_{t,5\%}$ ) 58407,046 kN dan berat gedung pada efisiensi 10% ( $W_{t,10\%}$ ) 57507,852 kN. Simpangan yang dihasilkan pada efisiensi 5% sebesar 35,88 kN, dengan presentasi perubahan 16,42 % dari perencanaan awal. Sedangkan efisiensi 10%, simpangan yang dihasilkan 47,02 mm dengan presentasi perubahan sebesar 52,56%. Gaya geser yang dihasilkan pada efisiensi 5% sebesar 3387 kN dan pada efisiensi 10% sebesar 31,05 kN. Persentase perubahan gaya geser pada efisiensi 5% terhadap perencanaan awal sebesar 5,77%. Efisiensi 10% mengasilkan persentase perubahan 12,24% dari perencanaan awal. Hubungan antara berat gedung dengan gaya geser, semakin ringan suatu gedung akan mengasilkan gaya geser yang lebih kecil, dan simpangan yang dihasilkan semakin besar.

**Kata kunci:** beban gempa, efisiensi, simpangan, gaya geser tingkat

## ABSTRACT

*The Law Faculty Bulding of UNTIRTA is a new building located at Desa Sindangsari Kecamatan Pabuaran Kabupaten Serang. Based on the Detail Engineering Design (DED), the Law Faculty Building predicted as a large dimation of structural elements. Ten conducted te efficiency of beam and column elements of 5% and 10%. On structural design, especially reinforced concrete structure, building structures should be designed by considering te effect of reinforced concrete building in response magnitude of earthquakeon a building .*

*The research aims to determine and compare changes in displacement of the efficiency of structural elements of beams and columns by 5% and 10% in te Faculty of Law Building of UNTIRTA. The load that included are dead load, live load, and earthquake load based on SNI 1726 2012.*

*The weight of the building in the initial planning is 59605,273 kN, while for the efficiency of 5% ( $W_t, 5\%$ ) 58407,046 kN and the weight of the building at 10% efficiency ( $W_t, 10\%$ ) 57507,852 kN. The resulting displacement the 5% efficiency was 35.88 kN, with a presentation of 16.42% of the initial planning. While the efficiency of 10%, displacement produced 47.02 mm with a presentation of 52.56% change. The resulting story shear at 5% efficiency is 3387 kN and 10% efficiency 31.05 kN. The percentage change of story shear at the 5% efficiency to the initial planning was 5.77%. Efficiency of 10% yields a 12.24% percentage change from initial planning. The relation between the weight of the building and the story shear, the lighter the building will produce smaller story shear, and the larger the resulting drift.*

**Keywords:** earthquake load, efficiency, displacement, story shear

## 1. PENDAHULUAN

Demi terciptanya suatu kampus yang ideal dan layaknya kampus negeri pada umumnya mengingat kapasitas mahasiswa yang semakin meningkat, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa (UNTIRTA) akan merencanakan pembangunan kampus baru bertempat di Desa Sindangsari, Kecamatan Pabuaran, Kabupaten Serang. Berdasarkan *Detail Engineering Design* (DED) yang didapat, gedung Fakultas Hukum di prediksi memiliki dimensi yang cukup besar.

Perencanaan struktur merupakan serangkaian kegiatan dalam pemilihan properti (material dan dimensi) elemen struktur sedemikian rupa, sehingga mampu menerima beban rencana yang ditetapkan struktur. Dalam perencanaan struktur, ada beberapa hal yang harus dipertimbangkan diantaranya struktur harus sesuai dengan kebutuhan (*utility*), struktur harus sanggup memikul beban dengan aman (*safety*), serta sebaiknya memiliki bentuk/penampilan yang menarik (*aesthetic*).

Selain nilai efisiensi bangunan, aspek keamanan merupakan aspek yang penting diperhatikan dalam merencanakan bangunan, yaitu struktur harus mampu memikul beban yang ada. Sehingga perlu dilakukan analisis mengenai pengaruh efisiensi dimensi teradap simpangan dan gaya geser yang ditimbulkan akibat beban gempa yang terjadi.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui besarnya simpangan pada gedung dari beban hidup dan beban mati, serta beban gempa (beban gempa dinamik respon spektrum dan statik ekuivalen) yang bekerja, sesuai SNI 1726 2012.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

Analisis Respon Struktur Gedung Terhadap Beban Gempa dengan Efisiensi Elemen Struktur Balok dan Kolom menggunakan tinjauan dari penelitian yang dilakukan oleh Agung Prabowo (2014), dengan judul “Efisiensi Kebutuhan Material pada Perencanaan Portal Tahan Gempa Wilayah 4 Lantai dengan Efisiensi Elemen Struktur Balok dan Kolom (Studi Kasus : Tower ALTIZ – Tangerang Selatan)”.

Tinjauan peraturan pembebanan yang dipakai adalah peraturan SNI 1726 2012

yang merupakan revisi dari SNI yang lama yaitu SNI 03 1726 2002. Menurut penelitian yang disusun oleh Desinta Nur Lailasari “Studi Komparasi Perencanaan Gedung tahan Gempa dengan Menggunakan SNI 03-1726-2002 dan SNI 03-1726-2012”.

Analisis mengenai beban gempa menggunakan tinjauan dari Rifqi Fauzan dengan judul “Analisis Dinamik Struktur Gedung Terhadap Beban Gempa

### A. Gempa Bumi

Gempa bumi di definisikan sebagai getaran yang bersifat alamiah, yang terjadi pada lokasi tertentu, dan sifatnya tidak berkelanjutan.

Indonesia termasuk negara yang sering tertimpa bencana gempa bumi. Gempa bumi baik yang skala kecil maupun skala besar pernah terjadi di Indonesia. Letak geografis Indonesia yang berada di pertemuan perbatasan 3 (tiga) lempeng tektonik, yaitu lempeng Australia, lempeng Pasifik dan lempeng Eurasia mengakibatkan Indonesia menjadi daerah yang rawan gempa.



**Gambar 1. Kondisi Tektonik Indonesia**  
Sumber: inatews.bmkg.go.id, 2016

### B. Beban Mati

Beban mati merupakan semua berat sendiri gedung dan segala unsur tambahan yang merupakan bagian yang tak terpisahkan dari gedung tersebut. Sesuai SNI 1727:2013, yang termasuk beban mati adalah seperti dinding, lantai, atap, plafond, tangga dan *finishing*. Beban mati yang diberikan pada struktur ini berdasarkan SNI 03-1727-1989 diantaranya:

- Beton =  $2.200 \text{ kg/m}^3$
- Beton Bertulang =  $2400 \text{ kg/m}^3$
- Penutup lantai dari ubin =  $24 \text{ kg/m}^2$
- Spesi =  $21 \text{ kg/m}^2$
- Penggantung langit-langit (kayu) =  $7 \text{ kg/m}^2$
- Plafond (semen asbes) =  $11 \text{ kg/m}^2$

g. Dinding setengah bata = 250 kg/m<sup>2</sup>

**C. Beban Hidup**

Beban hidup merupakan semua beban yang terjadi akibat penghunian atau penggunaan suatu gedung, termasuk beban-beban pada lantai yang berasal dari barang-barang yang dapat berpindah. Beban hidup pada lantai gedung diambil menurut SNI 1727:2013 .

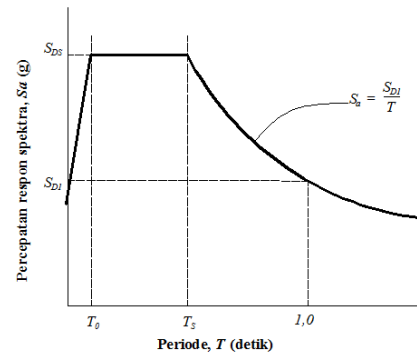
**Tabel 1. Beban Hidup Terdistribusi Merata Minimum**

| Hunian atau Penggunaan                | Merata Psf (kN/m <sup>2</sup> )      |
|---------------------------------------|--------------------------------------|
| Apartement dan Hotel                  |                                      |
| Ruang Pribadi                         | 40 (1,92)                            |
| Ruang Publik dan Koridor              | 100 (4,79)                           |
| <b>Hunian atau Penggunaan</b>         | <b>Merata Psf (kN/m<sup>2</sup>)</b> |
| Sistem Lantai Akses                   |                                      |
| Ruang Kantor                          | 50 (2,4)                             |
| Ruang Komputer                        | 100 (4,79)                           |
| Gudang Persenjataan dan Ruang Latihan | 150 (7,18)                           |
| Ruang pertemuan                       |                                      |
| Kursi tetap                           | 100 (4,79)                           |
| Lobi                                  | 100 (4,79)                           |
| Kursi dapat dipindahkan               | 100 (4,79)                           |
| Panggung pertemuan                    | 100(4,79)                            |
| Lantai podium                         | 150 (7,18)                           |
| Balkon dan Dek                        | 100 (4,79)                           |
| Ruang makan dan Restoran              | 100 (4,79)                           |
| Garasi/Parkir                         | Min 40 (1,92)                        |
| Tempat Reaksi                         |                                      |
| Tempat bowling, kolom                 | 75 (3,59)                            |
| Ruang dansa                           | 100 (4,79)                           |
| Gimnasium                             | 100 (4,79)                           |
| Atap                                  |                                      |
| Atap datar, berbubung                 | 20 (0,96)                            |
| Atap untuk taman                      | 100 (4,79)                           |
| Gudang                                |                                      |
| Gudang diatas langit-langit           | 20 (0,96)                            |
| Gudang berat                          | 250 (11,97)                          |
| Gudang ringan                         | 125 (6,00)                           |

Sumber: SNI 1727:2013, 2013

**D. Beban Gempa berdasarkan SNI 1726 2012**

Beban gempa merupakan beban yang timbul akibat pergerakan tanah dimana struktur tersebut berdiri. Terdapat beberapa metode analisa perhitungan besarnya beban gempa yang bekerja pada struktur gedung. Secara umum metode analisa ini terdiri dari analisis gempa statik ekuivalen dan analisis dinamis.



**Gambar 2. Spektrum Respon Desain**  
Sumber : SNI 1726 2012, 2012

$$S_a = S_{DS} \left( 0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right) \tag{1}$$

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T} \tag{2}$$

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \tag{3}$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \tag{4}$$

Keterangan :

SDS = parameter respon spectral percepatan desain pada periode pendek

SD1 = parameter respon spectral percepatan desain pada periode 1 detik

T = periode getar fundamental struktur

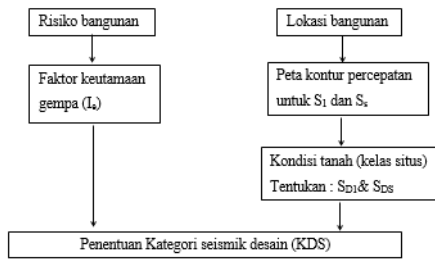
**E. Desain Kategori Seismik**

Kategori seismik desain di bagi menjadi 3 kategori, yaitu SRPMB, SRPMM, SRPMK seperti dijelaskan pada tabel di bawah ini :

**Tabel 2. Tingkat risiko kegempaan**

| Kode          | Tingkat risiko kegempaan |                |            |
|---------------|--------------------------|----------------|------------|
|               | Rendah                   | Menengah       | Tinggi     |
| SNI 1726 2013 | KDS A,B                  | KDS C          | KDS D,E,F  |
| Sistem Rangka | SRPMB/M/K SDSB/K         | SRPMM/K SDSB/K | SRPMK SDSK |

Sumber : Seminar HAKI “konsep SNI 1726 201X” oleh Prof.Dr.Ir. Bambang Budiono, M.E,2011



Gambar 3. Flow Chart Tahapan Penentuan KDS

Sumber : SNI 1726 2012, 2012

F. Geser Dasar Seismik

Geser dasar seismic V, dalam arah yang ditetapkan harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut :

$$V = C_s \cdot W \tag{4}$$

Keterangan :

Cs = koefisien respon seismik

W = berat sismik efektif

Koefisien respon seismic Cs, harus ditentukan sesuai persamaan :

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \tag{5}$$

Keterangan :

SDS = parameter percepatan spektrum respon desain dalam rentang periode pendek

R = faktor modifikasi respon

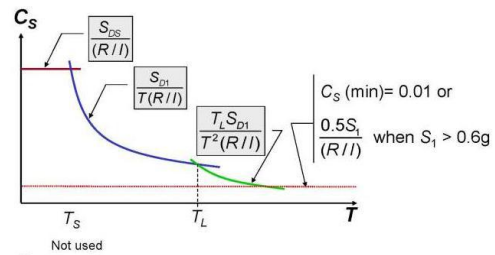
Ie = faktor keutamaan gempa

Nilai Cs yang dihitung sesuai dengan persamaan (10) tidak perlu melebihi berikut ini :

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)} \tag{6}$$

$$C_{smin} = 0,044 SDS I_e \geq 0,01 \tag{7}$$

Perhitungan diatas jika di buat grafik, bisa dilihat pada gambar berikut



Gambar 4. Grafik Hubungan Cs, dengan T Sumber : Fema 451 B, 2007

G. Perhitungan Beban Statik Ekvivalen

Gaya gempa lateral (Fx) (kN) yang timbul di semua tingkat harus ditentukan dari persamaan berikut :

$$F_x = C_v \times V \tag{8}$$

$$C_{vx} = \frac{W_x h_s^k}{\sum_{i=1}^n W_i h_i^k} \tag{9}$$

Keterangan :

Cvx = faktor distribusi vertikal

V = gaya lateral desain total atau geser didasar struktur (W)(kN)

wi dan wx = bagian berat seismik efektif total struktur (W) yang ditempatkan atau dikenakan pada tingkat i atau x

hi dan hx = tinggi dari dasar sampai tingkat I atau x (m)

k = eksponen yang terkait dengan periode struktur

H. Distribusi Horizontal Gaya Gempa

Geser tingkat desain gempa di semua tingkat (Vx)(kN) harus ditentukan dari persamaan berikut :

$$V_x = \sum_{i=x}^n F_i \tag{10}$$

Keterangan :

Fi = bagian dari geser seismic V yang timbul tingkat I (kN)

$$F_i = C_{vx} \cdot V$$

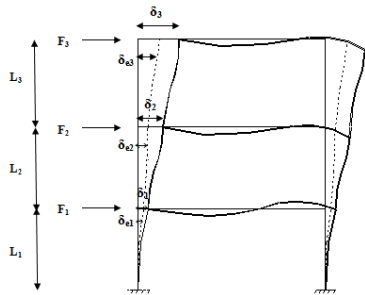
Dimana :

Cvx = Faktor distribusi vertikal

I. Simpangan Antar Lantai

Defleksi pusat massa di tingkat x (δx) harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut:

$$\delta_x = \frac{C_d \cdot \delta_e}{I_e} \tag{11}$$



Gambar 4. Grafik Hubungan Cs, dengan T  
Sumber : Fema 451 B, 2007

$F$  = gaya gempa desain tingkat kekuatan  
 $\delta_e$  = perpindahan elastis yang dihitung akibat gaya gempa desain tingkat kekuatan  
 $\delta = C_d \delta_e / I_E$  = perpindahan yang diperbesar  
 $\Delta = (\delta_{e3} - \delta_{e2}) C_d / I_E$

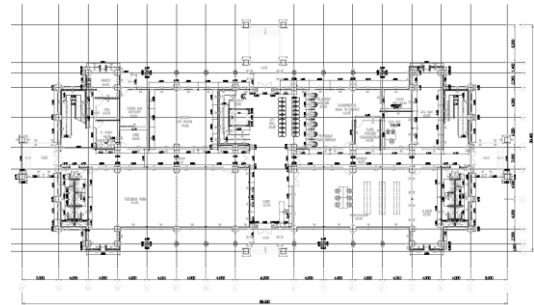
Simpangan antar lantai tingkat desain ( $\Delta$ ) tidak boleh melebihi simpangan antar lantai tingkat ijin ( $\Delta a$ ). Untuk memenuhi persyaratan kinerja batas layan struktur bangunan gedung, dalam segala hal simpangan antar-tingkat yang dihitung dari simpangan struktur tidak boleh melampaui  $\Delta = 0,015h/\rho$  kali tinggi tingkat yang bersangkutan. Suatu struktur harus memiliki kekakuan yang cukup sehingga pergerakannya dapat dibatasi. Kekakuan struktur dapat diukur dari besarnya simpangan antar lantai (*drift*) bangunan, semakin kecil simpangan struktur maka bangunan tersebut akan semakin kaku. Kekakuan bahan itu sendiri dipengaruhi oleh modulus elastisitas bahan dan ukuran elemen tersebut. Dan modulus elastisitas berbanding lurus dengan kekuatan bahan, maka semakin kuat bahan maka bahan tersebut juga semakin kaku. Namun bahan yang terlalu kaku bisa menjadi getas (patah seketika).

**3. METODOLOGI PENELITIAN**

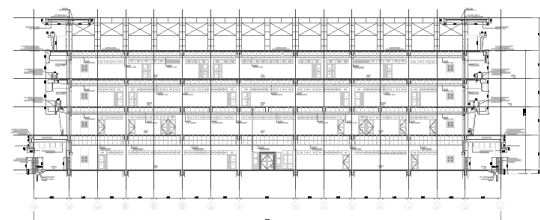
Tahapan penelitian ini diuraikan sebagai berikut:

- a Pengumpulan data
- b Studi pustaka
- c Efisiensi dimensi balok dan kolom sebesar 5% dan 10%

- d Analisis pembebanan
- e Pemodelan struktur dengan program ETABS
- f Hasil analisa struktur



Gambar 5. Denah Bangunan  
Sumber : PT. Pandu Persada, 2016



Gambar 6. Potongan Bangunan  
Sumber : PT. Pandu Persada, 2016

Data umum gedung  
 Fungsi bangunan : Gedung Pendidikan  
 Jumlah lantai bangunan : 4 lantai  
 Panjang bangunan : 66 m  
 Lebar bangunan : 30,8 m  
 Tinggi antar lantai  
 Lantai 1 : 5 m  
 Lantai 2 – 4 : 4 m  
 Lantai 5 : 4,7 m  
 Lokasi bangunan : Kota Serang, Banten  
 Mutu beton = 25 Mpa  
 Tebal pelat = 120 mm  
 Mutu baja =  $\phi < 13 = f_y 240 \text{ MPa}$  ,  
 $\phi > 13 = f_y 400 \text{ MPa}$

**Tabel 3. Spesifikasi Perencanaan Balok**

| No | Notasi | Dimensi awal (mm) | Efisiensi 5% (mm) | Efisiensi 10% (mm) |
|----|--------|-------------------|-------------------|--------------------|
| 1  | B1     | 300 x 700         | 300 x 660         | 300 x 600          |
| 2  | B2     | 300 x 700         | 300 x 660         | 300 x 600          |
| 3  | B3     | 300 x 600         | 300 x 560         | 300 x 540          |
| 4  | B4     | 200 x 350         | 200 x 330         | 200 x 310          |
| 5  | B6     | 150 x 350         | 150 x 330         | 150 x 310          |
| 6  | BA     | 300 x 500         | 300 x 470         | 270 x 500          |
| 7  | BK 2   | 300 x 600         | 300 x 560         | 300 x 540          |
| 8  | BK 3   | 300 x 500         | 280 x 500         | 300 x 450          |

Sumber : PT. Pandu Persada, 2016



**Tabel 4. Spesifikasi Perencanaan Kolom**

| No | Notasi | Dimensi Awal (mm) | Efisiensi 5% (mm) | Efisiensi 10% (mm) |
|----|--------|-------------------|-------------------|--------------------|
| 1  | K1     | 600 x 600         | 580 x 580         | 560 x 560          |
| 2  | K2     | 600 x 600         | 580 x 580         | 560 x 560          |
| 3  | K3     | 300 x 300         | 290 x 290         | 280 x 280          |
| 4  | K4     | 300 x 300         | 290 x 290         | 280 x 280          |
| 5  | K5     | 300 x 600         | 300 x 560         | 300 x 540          |
| 6  | KL     | 300 x 500         | 290 x 290         | 280 x 280          |
| 7  | KT     | 300 x 300         | 280 x 500         | 260 x 500          |

Sumber : PT. Pandu Persada, 2016

**4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

Pembebanan yang ditinjau meliputi beban hidup dan beban mati, serta beban gempa (beban gempa dinamik respon spektrum dan statik ekuivalen sesuai SNI 1726 2012. Hasil berat struktur yang digunakan pada perhitungan beban gempa merupakan hasil perbandingan antara perhitungan manual dan hasil program ETABS agar memperkecil resiko kesalahan.

**A. Respons Spektrum Desain**

Dengan menggunakan aplikasi spektra Indonesia <http://puskim.pu.go.id> didapat parameter percepatan spektral untuk tanah keras:

$$S_s = 0,828$$

$$S_1 = 0,348$$

$$S_{DS} = 0,590$$

$$S_{D1} = 0,337$$



**Gambar 7. Lokasi Penelitian**

Sumber : Analisa Penulis dan Google Maps, 2018

$$T_0 = 0,2 S_{D1}/S_{DS} = 0,2 \times 0,337/0,590 = 0,114 \text{ s}$$

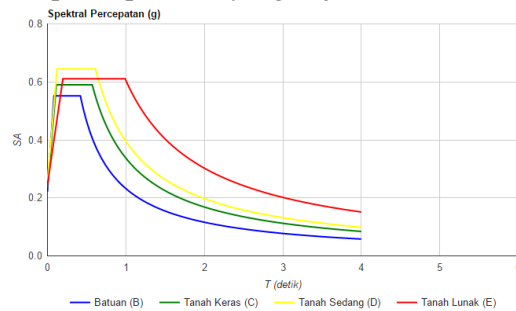
$$T_s = S_{D1}/S_{DS} = 0,337/0,590 = 0,571 \text{ s}$$

$$S_a = S_{DS} \left( 0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right)$$

$$= 0,590 \left( 0,4 + 0,6 \frac{0}{0,114} \right) = 0,236$$

$$S_a = SD_1/T = 0.337/3 = 0.112$$

Berikut di bawah ini merupakan grafik respons spektrum yang terjadi:



**Gambar 8. Grafik Respons Spektrum pada Lokasi yang ditinjau**  
Sumber : Aplikasi Spektra Desain [puskim.pu.go.id](http://puskim.pu.go.id), 2018

**B. Beban Gempa Statik Ekuivalen**

a. Beban gempa statik ekuivalen dengan efisiensi 5%

Penentuan perkiraan perioda fundamental alami ditentukan berdasarkan persamaan  $T_a = C_t h_n^x$ , kondisi *crack* dan *uncracked*. Nilai T pada kondisi *uncracked* ( $T_{gross}$ ) digunakan untuk menentukan nilai  $T_{max}$  (Batas waktu maksimum). Batas waktu getar maksimum ( $T_{max}$ ) adalah hasil perhitungan berdasarkan rumus empiris SNI gempa, namun tidak perlu lebih kecil dari hasil analisis ETABS kondisi *uncracked*. Perhitungan gempa diambil dua arah, yaitu berdasarkan arah x dan y sesuai nilai T pada masing-masing arah tersebut ( $T_x$  dan  $T_y$ )

Berdasarkan rasio partisipasi massa yang telah mencapai 90%, didapatkan  $T_{gross-x} = 1,112 \text{ s}$  dan  $T_{gross-y} = 1,088 \text{ s}$ .

Arah x  $\rightarrow C_u \cdot T_{ax} = 1,041 \text{ s} < T_{uncrack-x} = 1,112 \text{ s}$   
Maka digunakan  $T_{max-x} = 1,112 \text{ s}$

Arah y  $\rightarrow C_u \cdot T_{ay} = 1,041 \text{ s} < T_{uncrack-y} = 1,088 \text{ s}$   
Maka digunakan  $T_{max-y} = 1,088 \text{ s}$

Nilai T pada kondisi *crack* digunakan untuk menentukan nilai  $T_c$  ( $T_{computer}$ ). Berdasarkan SNI 2847 2013 pasal 10.10.4, kondisi *crack* harus meninjau properti penampang yang ditetapkan yang

memperhitungkan pengaruh beban aksial, keberadaan daerah retak pada seluruh panjang komponen struktur dan pengaruh jangka waktu pembebanan dengan mereduksi momen inersia (I) pada tiap elemen struktur.  $I_{kolom} = 0,71I_g$  dan  $I_{balok} = 0,35I_g$ .

Untuk perioda struktur yang didapat dari program ETABS ( $T_c$ ) diambil berdasarkan dua arah yaitu  $T_{cx} = 1,574$  s dan  $T_{cy} = 1,514$  s.

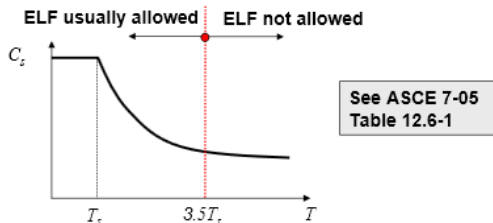
Dari ketiga persamaan diatas didapatkan persamaan yang memenuhi yaitu:

Arah x:  
 $T_{cx} > C_u.T_{ax} = 1,674$  s > 1,112 s

Maka digunakan  $T_x = 1,112$  s

Arah Y:  
 $T_{cy} > C_u.T_{ay} = 1,514$  s > 1,088 s

Maka digunakan  $T_y = 1,088$  s



**Gambar 9. Batasan Penggunaan Gaya Statik Ekuivalen Yang Diizinkan**  
 Sumber : Fema 451 B, 2007

$$T_s = S_{D1}/S_{D5} = 0,337/0,590 = 0,571$$

$$T \leq 3.5 T_s$$

$$1,112 \text{ s} \leq 3.5 \times 0,571$$

$1,112 \text{ s} \leq 1,998 \text{ s}$  (Perencanaan beban statik ekuivalen diizinkan)

Penentuan nilai  $C_s$  dihitung berdasarkan dua arah, yaitu  $C_{s-x} = 0,057$  dan  $C_{s-y} = 0,058$ .

Berat struktur,  $W_t = 58407,046$  kN

$$C_{sx} = 0,057 \rightarrow V_x = C_{s-x} \times W_t = 0,057 \times 58407,046 = 3329,212 \text{ kN}$$

$$C_{sy} = 0,058 \rightarrow V_y = C_{s-x} \times W_t = 0,058 \times 58407,046 = 3387,609 \text{ kN}$$

**Tabel 5. Beban Statik Ekuivalen Tiap Lantai Arah X**

| Lantai | Elevasi (Hi) m | berat/lantai (kN) | Wi x H^k X (kNm) | Fix (statik) (kN) | Vx (statik) (kN) |
|--------|----------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|
| 5      | 21.7           | 5771              | 321147           | 696               | 696              |
| 4      | 17             | 12114             | 490068           | 1062              | 1758             |
| 3      | 13             | 13130             | 374186           | 811               | 2569             |

| Lantai | Elevasi (Hi) m | berat/lantai (kN) | Wi x H^k X (kNm) | Fix (statik) (kN) | Vx (statik) (kN) |
|--------|----------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|
| 2      | 9              | 11375             | 235795           | 511               | 3080             |
| 1      | 5              | 14016             | 114678           | 248               | 3329             |
| Σ      |                | 58407             | 1535875          |                   |                  |

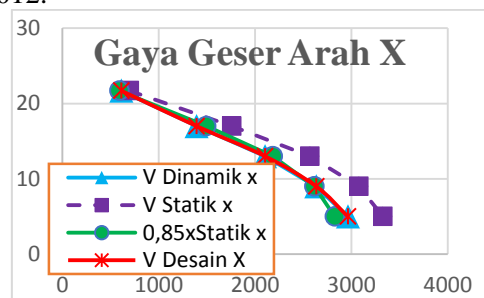
Sumber : Analisis Penulis, 2018

**Tabel 6. Beban Statik Ekuivalen Tiap Lantai Arah Y**

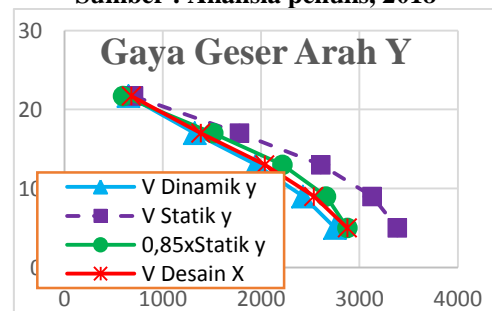
| Lantai | Elevasi (Hi) m | Berat/lantai (kN) | Wi x H^k X (kNm) | Fiy (statik) (kN) | Vy (statik) (kN) |
|--------|----------------|-------------------|------------------|-------------------|------------------|
| 5      | 21.7           | 5771              | 309504           | 704               | 704              |
| 4      | 17             | 12114             | 473686           | 1078              | 1782             |
| 3      | 13             | 13130             | 362844           | 825               | 2608             |
| 2      | 9              | 11375             | 229659           | 522               | 3131             |
| 1      | 5              | 14016             | 112484           | 256               | 3387             |
| Σ      |                | 58407             | 1488179          |                   |                  |

Sumber : Analisis Penulis, 2018

Penggunaan analisis respons spektra perlu diikuti dengan pemenuhan persyaratan yaitu besarnya gaya geser dasar respons spektra harus diperbesar dengan skala gaya apabila nilainya kurang dari 85% gaya geser dasar yang dihitung menggunakan prosedur statik ekuivalen sesuai Pasal 7.9.4.1 SNI 1726-2012.



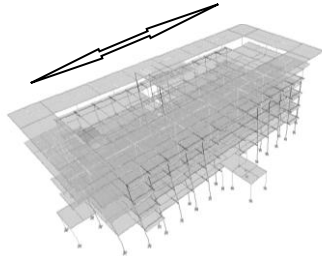
**Gambar 10. Grafik Perbandingan Berbagai Nilai Geser Arah X Efisiensi 5%**  
 Sumber : Analisia penulis, 2018



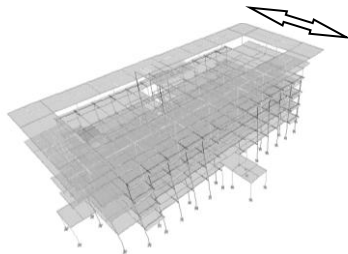
**Gambar 11. Grafik Perbandingan Berbagai Nilai Geser Arah Y Efiseinsi 5%**  
 Sumber : Analisis Penulis, 2018

C. Perilaku Struktur (*Mode Shape*)

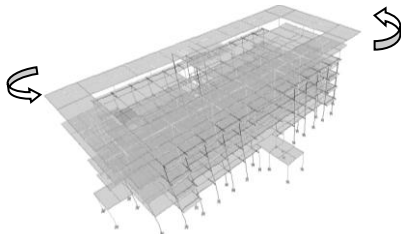
Berdasarkan SNI 1726 2012, perilaku struktur menggunakan minimum tiga derajat kebebasan dinamik yang terdiri dari translasi pada dua arah orthogonal pada denah dan rotasi torsional terhadap sumbu vertikal.



Gambar 12. Mode 1 Translasi Arah X 5%  
Sumber : Program ETABS, Analisis penulis, 2018

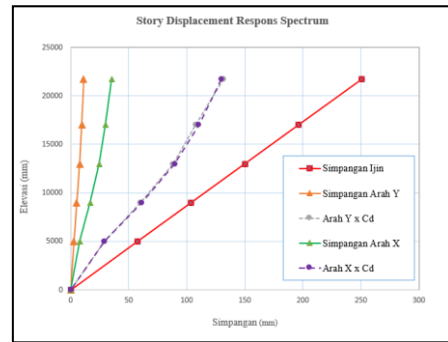


Gambar 13. Mode 2 Translasi Arah Y 5%  
Sumber : Program ETABS, Analisis penulis, 2018

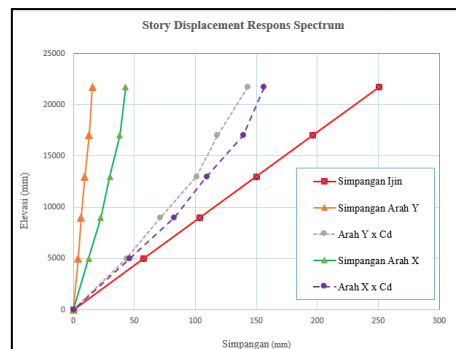


Gambar 14. Mode 3 Torsi Efisiensi 5%  
Sumber : Program ETABS, Analisis penulis, 2018

Berikut di merupakan grafik yang didapat dari simpangan respons spektrum untuk arah x dan y.



Gambar 15. Grafik Simpangan Akibat Respons Spektrum Arah X dan Y 5%  
Sumber : Analisis Penulis, 2018



Gambar 16. Grafik Simpangan Akibat Statik Ekuivalen Arah X dan Y 5%  
Sumber : Analisis Penulis, 2018

Dari grafik diatas dapat disimpulkan untuk simpangan arah x dan y akibat respons spektrum dan simpangan yang telah dikali faktor pembesaran ( $C_d$ ) arah x dan y tidak melampaui defleksi izin.

b. Beban gempa statik ekuivalen dengan efisiensi 5%

Penentuan perkiraan perioda fundamental alami ditentukan berdasarkan persamaan  $T_a = C_t h_n^x$ , kondisi *crack* dan *uncracked*. Nilai  $T$  pada kondisi *uncracked* ( $T_{gross}$ ) digunakan untuk menentukan nilai  $T_{max}$  (Batas waktu maksimum). Batas waktu getar maksimum ( $T_{max}$ ) adalah hasil perhitungan berdasarkan rumus empiris SNI gempa, namun tidak perlu lebih kecil dari hasil analisis ETABS kondisi *uncracked*. Perhitungan gempa diambil dua arah, yaitu berdasarkan arah x dan y sesuai nilai  $T$  pada masing-masing arah tersebut ( $T_x$  dan  $T_y$ )

Berdasarkan rasio partisipasi massa yang telah mencapai 90%, didapatkan  $T_{gross-x} = 1,212$  s dan  $T_{gross-y} = 1,184$  s.



Arah x →  $C_u \cdot T_{ax} = 1,041 \text{ s} < T_{uncrack-x} = 1,212 \text{ s}$   
 Maka digunakan  $T_{max-x} = 1,212 \text{ s}$

Arah y →  $C_u \cdot T_{ay} = 1,041 \text{ s} < T_{uncrack-y} = 1,184 \text{ s}$   
 Maka digunakan  $T_{max-y} = 1,184 \text{ s}$

Nilai T pada kondisi *crack* digunakan untuk menentukan nilai  $T_c$  (*Tcomputer*). Berdasarkan SNI 2847 2013 pasal 10.10.4, kondisi *crack* harus meninjau properti penampang yang ditetapkan yang memperhitungkan pengaruh beban aksial, keberadaan daerah retak pada seluruh panjang komponen struktur dan pengaruh jangka waktu pembebanan dengan mereduksi momen inersia (I) pada tiap elemen struktur.  $I_{kolom} = 0,71I_g$  dan  $I_{balok} = 0,35I_g$ .

Untuk perioda struktur yang didapat dari program ETABS ( $T_c$ ) diambil berdasarkan dua arah yaitu  $T_{cx} = 1,714 \text{ s}$  dan  $T_{cy} = 1,651 \text{ s}$ .

Dari ketiga persamaan diatas didapatkan persamaan yang memenuhi yaitu:

Arah x:

$$T_{cx} > C_u \cdot T_{ax} = 1,702 \text{ s} > 1,212 \text{ s}$$

Maka digunakan  $T_x = 1,212 \text{ s}$

Arah Y:

$$T_{cy} > C_u \cdot T_{ay} = 1,639 \text{ s} > 1,184 \text{ s}$$

Maka digunakan  $T_y = 1,184 \text{ s}$

$$T_s = S_{D1}/S_{DS} = 0,337/0,590 = 0,571 \text{ s}$$

$$T \leq 3.5 T_s$$

$$1,212 \text{ s} \leq 3.5 \times 0,571$$

$1,212 \text{ s} \leq 1,998 \text{ s}$  (Perencanaan beban statik ekuivalen diizinkan)

Penentuan nilai  $C_s$  dihitung berdasarkan dua arah, yaitu  $C_{s-x} = 0,057$  dan  $C_{s-y} = 0,058$ .

Berat struktur,  $W_t = 57507,852 \text{ kN}$

$$C_{sx} = 0,050 \rightarrow V_x = C_{s-x} \times W_t = 0,050 \times 57507,852 = 3047,916 \text{ kN}$$

$$C_{sy} = 0,053 \rightarrow V_y = C_{s-y} \times W_t = 0,053 \times 57507,852 = 3105,424 \text{ Kn}$$

**Tabel 9. Beban Statik Ekuivalen Tiap Lantai Arah X 10%**

| Lantai | Elevasi (Hi) m | Berat/ lantai (kN) | Wi x H^k X(kNm) | Fix (statik) (kN) | Vx (statik) (kN) |
|--------|----------------|--------------------|-----------------|-------------------|------------------|
| 5      | 21.7           | 5670               | 368036          | 650               | 650              |
| 4      | 17             | 11885              | 553992          | 979               | 1630             |
| 3      | 13             | 12970              | 420218          | 742               | 2373             |
| 2      | 9              | 13182              | 259385          | 458               | 2831             |
| 1      | 5              | 13798              | 122357          | 216               | 3047             |
| Σ      |                | 57507              | 1723990         | 3047              |                  |

Sumber : Analisis Penulis, 2018

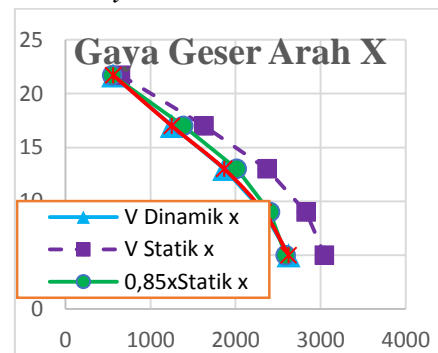
**Tabel 10. Beban Statik Ekuivalen Tiap Lantai Arah Y 10%**

| Lantai | Elevasi (Hi) m | Berat/ lantai (kN) | Wi x H^k X(kNm) | Fiy (statik) (kN) | Vy (statik) (kN) |
|--------|----------------|--------------------|-----------------|-------------------|------------------|
| 5      | 21.7           | 5670               | 352517          | 658               | 658              |
| 4      | 17             | 11885              | 532448          | 995               | 1654             |
| 3      | 13             | 12970              | 405396          | 757               | 2411             |
| 2      | 9              | 13182              | 251527          | 470               | 2881             |
| 1      | 5              | 13798              | 119631          | 223               | 3105             |
| Σ      |                | 57507              | 1661521         | 3105              |                  |

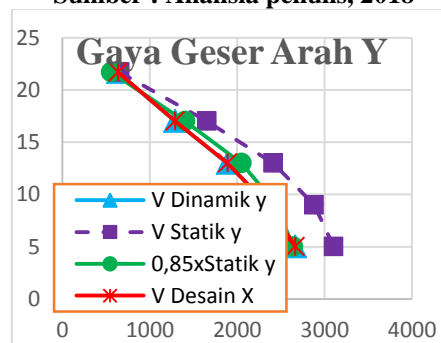
Sumber : Analisis Penulis, 2018

Penggunaan analisis respons spektra perlu diikuti dengan pemenuhan persyaratan yaitu besarnya gaya geser dasar respons spektra harus diperbesar dengan skala gaya apabila nilainya kurang dari 85% gaya geser dasar yang dihitung menggunakan prosedur statik ekuivalen sesuai Pasal 7.9.4.1 SNI 1726-2012.

$$\text{Rasio } x = \frac{0,85xV}{V_{dynamic \ base}} \leq 1$$



**Gambar 17. Grafik Perbandingan Berbagai Nilai Geser Arah X 10%**  
 Sumber : Analisis penulis, 2018

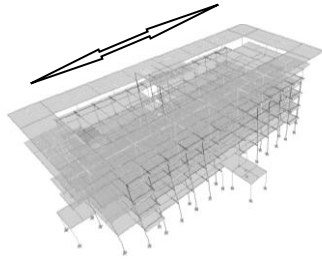


**Gambar 18. Grafik Perbandingan Berbagai Nilai Geser Arah Y 10%**  
 Sumber : Analisis Penulis, 2018

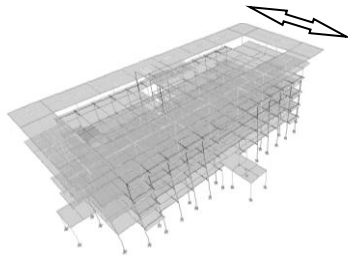
D. Perilaku Struktur (*Mode Shape*)

Berdasarkan SNI 1726 2012, perilaku struktur menggunakan minimum tiga derajat kebebasan dinamik yang terdiri dari translasi

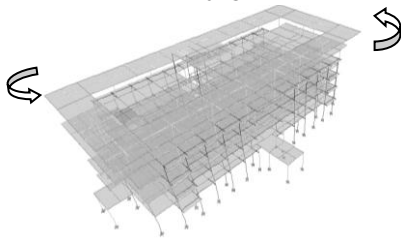
pada dua arah orthogonal pada denah dan rotasi torsional terhadap sumbu vertikal.



**Gambar 19. Mode 1 Translasi Arah X 10%**  
 Sumber : Program ETABS, Analisis penulis, 2018

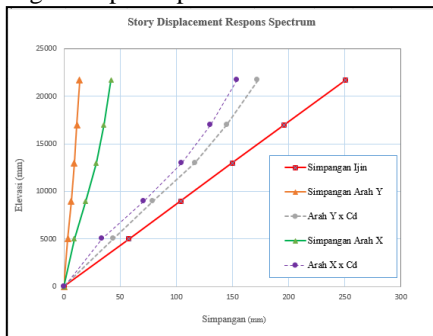


**Gambar 20. Mode 2 Translasi Arah Y 10%**  
 Sumber : Program ETABS, Analisis penulis, 2018

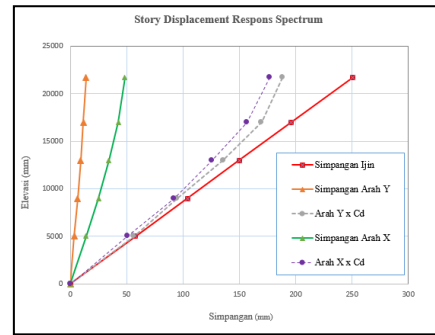


**Gambar 20. Mode 3 Torsi 10%**  
 Sumber : Program ETABS, Analisis penulis, 2018

Berikut di merupakan grafik yang didapat dari simpangan respons spektrum untuk arah x dan y.



**Gambar 21. Grafik Simpangan Akibat Respons Spektrum Arah X dan Y 10%**  
 Sumber : Analisis Penulis, 2018



**Gambar 22. Grafik Simpangan Akibat Statik Ekuivalen Arah X dan Y 10%**  
 Sumber : Analisis Penulis, 2018

Dari grafik diatas dapat disimpulkan untuk simpangan arah x dan y akibat respons spektrum dan simpangan yang telah dikali faktor pembesaran ( $C_d$ ) arah x dan y tidak melampaui defleksi izin.

**E. Pembaasan**

Perbedaan yang terlihat jelas dalam efisiensi elemen struktur balok dan kolom adalah berat gedung. Berat gedung pada perencanaan awal ( $W_{t,awal}$ ) = 59605,273 kN, sedangkan untuk efisiensi 5% berat gedung ( $W_{t,5\%}$ ) = 58407,046 kN dan berat gedung ( $W_{t,10\%}$ ) = 57507,852 kN pada efisiensi 10% sebesar kN. Persentase perubahan antara  $W_{t,5\%}$  dengan  $W_{t,awal}$  sebesar 2,01 dan persentase perbaan antara  $W_{t,10\%}$  dengan  $W_{t,awal}$  sebesar 3,52 %.

**Tabel 13. Perbandingan Simpangan Arah X**

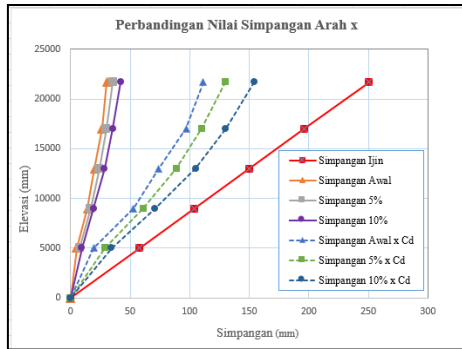
| Lantai | $\delta$ (RS) perenc. awal (mm) | $\delta$ (RS) 5% (mm) | % perubaaan | $\delta$ (RS) 10% (mm) | % perubaaan |
|--------|---------------------------------|-----------------------|-------------|------------------------|-------------|
| Atap   | 30,34                           | 35,41                 | 16,71       | 42,01                  | 18,63       |
| 4      | 26,49                           | 30,05                 | 13,44       | 35,53                  | 18,24       |
| 3      | 20,22                           | 24,49                 | 21,18       | 28,67                  | 41,79       |
| 2      | 14,38                           | 16,68                 | 15,99       | 19,32                  | 34,35       |
| 1      | 5,27                            | 7,9                   | 49,91       | 9,35                   | 75,98       |

Sumber : Analisis Penulis, 2018

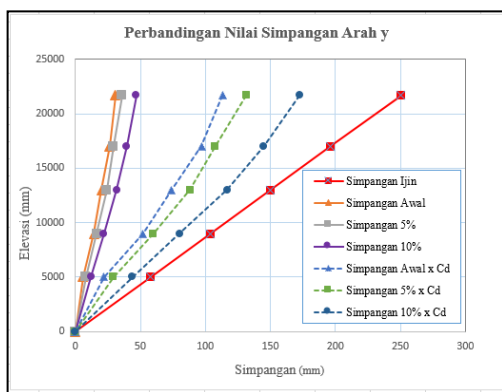
**Tabel 14. Perbandingan Simpangan Arah Y**

| Lantai | $\delta$ (RS) perenc. awal (mm) | $\delta$ (RS) 5% (mm) | % perubaaan | $\delta$ (RS) 10% (mm) | % perubaaan |
|--------|---------------------------------|-----------------------|-------------|------------------------|-------------|
| Atap   | 30,82                           | 35,88                 | 14,10       | 47,02                  | 52,56       |
| 4      | 26,45                           | 29,38                 | 11,08       | 39,57                  | 49,60       |
| 3      | 20,17                           | 24,07                 | 19,34       | 31,84                  | 57,86       |
| 2      | 14,20                           | 16,37                 | 15,28       | 21,68                  | 52,68       |
| 1      | 6,03                            | 8,02                  | 33,00       | 11,95                  | 98,18       |

Sumber : Analisis Penulis, 2018



**Gambar 22. Grafik Perbandingan Nilai Simpangan Arah x**  
 Sumber : Analisis Penulis, 2018

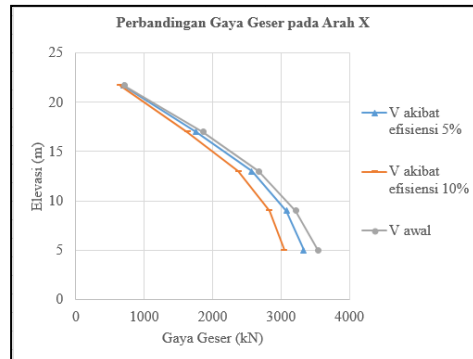


**Gambar 22. Grafik Perbandingan Nilai Simpangan Arah x**  
 Sumber : Analisis Penulis, 2018

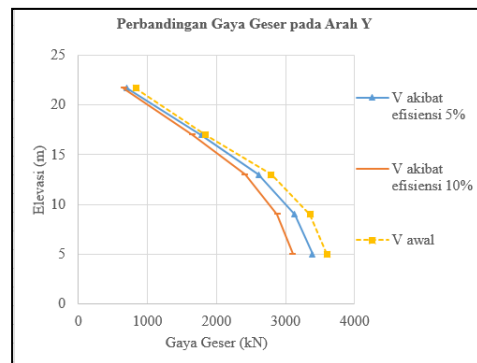
Hasil dari tabel simpangan diatas, terlihat perubahan nilai simpangan dari efisiensi balok dan kolom sebesar 5% dan efisiensi 10%. Efisiensi 10% pada balok dan kolom menghasilkan nilai simpangan yang lebih besar dari efisiensi 5%. Persentase perubahan nilai simpangan akibat efisiensi 5% teradap perencanaan awal sebesar 23,45% pada arah x dan pada arah y sebesar 18,56 %. Sedangkan persentase perubahan nilai simpangan akibat efisiensi 10% terhadap perencanaan awal sebesar 30,73 % pada arah x dan pada arah y sebesar 62,176 %.

Menurut Smith and Coul, 1991, semakin kecil simpangan struktur yang terjadi maka bangunan tersebut akan semakin kaku. Hasil menunjukkan bahwa gedung dengan efisiensi sebesar 5% memperoleh nilai simpangan yang lebih kecil dibandingkan gedung dengan efisiensi 10% pada balok dan kolom. Ini menunjukkan bahwa semakin besar dimensi elemen strukturnya maka simpangan yang dihasilkan semakin kecil karena

besarnya simpangan dipengaruhi oleh kekakuan, dan nilai kekakuan dipengaruhi oleh dimensi elemen strukturnya.



**Gambar 23. Grafik Perbandingan Gaya Geser Arah x**



**Gambar 24. Grafik Perbandingan Gaya Geser arah y**

**Tabel 15. Perbandingan Gaya Geser pada Efisiensi 5% terhadap Perencanaan Awal**

| Lantai | Gaya geser Perenc. Awal |         | Gaya Geser 5% |         | % Vx | % Vy  |
|--------|-------------------------|---------|---------------|---------|------|-------|
|        | Vx (kN)                 | Vy (kN) | Vx (kN)       | Vy (kN) |      |       |
| Atap   | 710                     | 831     | 696           | 704     | 1,98 | 15,30 |
| 4      | 1862                    | 1839    | 1758          | 1782    | 5,57 | 3,07  |
| 3      | 2673                    | 2793    | 2569          | 2608    | 3,88 | 6,60  |
| 2      | 3212                    | 3351    | 3080          | 3131    | 4,11 | 6,56  |
| 1      | 3538                    | 3595    | 3329          | 3387    | 5,92 | 5,77  |

Sumber : Analisis Penulis, 2018

**Tabel 15. Perbandingan Gaya Geser pada Efisiensi 10% terhadap Perencanaan Awal**

| Lantai | Gaya geser 5% |         | Gaya Geser 10% |         | % Vx  | % Vy  |
|--------|---------------|---------|----------------|---------|-------|-------|
|        | Vx (kN)       | Vy (kN) | Vx (kN)        | Vy (kN) |       |       |
| Atap   | 710           | 831     | 651            | 658     | 8,38  | 7,23  |
| 4      | 1862          | 1839    | 1630           | 1654    | 12,47 | 11,18 |
| 3      | 2673          | 2793    | 2373           | 2412    | 11,23 | 9,78  |
| 2      | 3212          | 3351    | 2832           | 2882    | 11,86 | 10,30 |
| 1      | 3538          | 3595    | 3048           | 3105    | 13,87 | 12,24 |

Sumber : Analisis Penulis, 2018

Berdasarkan grafik gaya geser diatas, dapat dilihat bahwa gaya geser pada efisiensi 5% lebih besar dibandingkan dengan efisiensi 10%. Gaya geser yang didapat pada perencanaan awal sebesar 3595 kN, pada efisiensi 5% diperoleh gaya geser sebesar 3387 kN dan pada efisiensi 10% sebesar 31,05 kN. Persentase perubahan gaya geser pada efisiensi 5% terdapat perencanaan awal sebesar 5,77% dari perencanaan awal. Untuk efisiensi 10% menghasilkan persentase perubahan 12,24% dari perencanaan awal. Hal ini menunjukkan bahwa hubungan gaya geser (V) dengan berat gedung, semakin berat gedung maka semakin besar gaya geser yang terjadi.

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

- Efisiensi pada elemen struktur balok dan kolom pada gedung Fakultas Hukum UNTIRTA sebesar 5% dan 10% aman terhadap simpangan.
- Efisiensi sebesar 5% menghasilkan simpangan lebih kecil dibandingkan efisiensi 10%.
- Efisiensi sebesar 5% menghasilkan gaya geser lebih kecil dibandingkan efisiensi 10%.
- Semakin besar dimensi elemen struktur, simpangan yang dihasilkan semakin kecil. Sedangkan pada gaya geser, semakin berat suatu gedung akan menghasilkan gaya geser yang lebih besar.

Adapun saran-saran yang dapat disampaikan berkaitan dengan pengerjaan skripsi ini diantaranya sebagai berikut:

- Dalam pemodelan struktur, untuk penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan pemberian beban dan struktur yang lebih mendetail, agar struktur yang dimodelkan dapat lebih sesuai dengan kenyataan.
- Perlu dianalisis kekekuan struktur gedung antara gedung dengan efisiensi balok dan kolom 5% dan 10%

## 6. DAFTAR PUSTAKA

Badan Standarisasi Nasional. (1989), *SNI-02-1727-1989: Pedoman Perencanaan*

*Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung*. Bandung: BSN.

Badan Standarisasi Nasional. (2012), *SNI-03-1726-2012: Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Bandung: BSN.

Badan Standarisasi Nasional. (2013), *SNI-03-2847-2013: Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*. Bandung: BSN.

Badan Standarisasi Nasional. (2013), *SNI-03-1727-2013: Beban Minimum untuk Perencanaan Bangunan Gedung Dan Struktur Lain*, Bandung: BSN.

HAKI. (2016). *Perancangan gedung Bertingkat Tahan Gempa Sesuai SNI 1726-2012*. Jakarta.

Mursyidan, Akhmad, (2017). Analisis Struktur Gedung Bertingkat di Lima Wilayah di Indonesia Terhadap Beban Gempa dan Beban Angin Berdasarkan SNI 1726-2012 dan SNI 1727-2013. Banten: Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.

NEHRP. (2006). *FEMA 451 for Seismic Regulation of Seismic Building and Other Structure Accompanying Commentary and Maps*, Washington, D.C.

Nur Lailasari, Desinta. (2013). Studi Komparasi Perencanaan Gedung Tahan Gempa dengan Menggunakan SNI 03-1726-2002 dan SNI 03-1726-2012. *Rekayasa Sipil*, Vol 1.

Permatasari, Atika. (2013), *Analisis Struktur Gedung Lab terpadu Untirta Berdasarkan Peraturan SNI 1726-2012 dan SNI 2847-2013*. Banten: Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.

Prabowo, Agung. (2014). Efisiensi Kebutuhan Material Pada Perencanaan Portal Tahan Gempa Wilayah 4 dengan Efisiensi Elemen Struktur Balok dan Kolom. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.

Priyosulistyo, H. (2010). *Struktur Beton Bertulang 1*. Biro Penerbit. Yogyakarta.

Ray Sandy Agusta, Rizal. (2016). Evaluasi Kekuatan dan Detailing Tulangan Balok Beton Bertulang Sesuai SNI 2847:2013

- dan SNI 1726:2012. *Matriks Sipil*, Vol 4 No.4.
- Setiawan, Agus. (2016). *Perencanaan Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847 2013*. Erlangga. Jakarta
- Suharjanto. (2013). *Rekayasa Gempa*. Kepel Press. Yogyakarta.
- Ulinuha, Toni. (2016). Evaluasi Kekuatan dan Detailing Tulangan Kolom Beton Bertulang Sesuai SNI 2847:2013 dan SNI 1726:2012. *Matriks Sipil*. Vol 4 No.4.