

ANALISIS VARIASI KONFIGURASI STRUKTUR PORTAL TIGA DIMENSI TERHADAP BEBAN GEMPA

*(Analysis of Three Dimensional Frame Structure with Various Configurations
Under Seismic Force)*

Ivan Agus Hadinata, Siti Nurlina, Roland Martin Simatupang

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
Jalan Mayjen Haryono 167 Malang 65145, Jawa Timur-Indonesia
Email : ivanagushadinata@gmail.com

ABSTRAK

Keterbatasan lahan menyebabkan beberapa gedung bertingkat tinggi dibangun dengan bentuk yang tidak sederhana atau ireguler. Bangunan ireguler akan menghasilkan perilaku atau karakteristik yang berbeda ketika mengalami gempa dibandingkan dengan bangunan yang reguler. Pada penelitian ini dilakukan proses analisis dengan metode *time history* terhadap 3 model bentuk konfigurasi bangunan, yaitu bentuk persegi, persegi panjang, dan segi delapan dengan menggunakan material MDF (*Medium Density Fiberboard*). Analisis dilakukan menggunakan bantuan *software* SAP2000 dengan membandingkan beberapa parameter output yang ditinjau dalam 2 arah gempa yaitu arah X dan arah Y. Berdasarkan hasil analisis, bentuk segi delapan menghasilkan perpindahan terbesar daripada bentuk persegi dan persegi panjang. Namun bentuk segi delapan menghasilkan gaya dalam struktur yang lebih kecil daripada 2 model lainnya.

Kata kunci: konfigurasi, gempa, *time history*, MDF, SAP2000

ABSTRACT

Due to the limitation of land availability, some high-rise buildings constructed with an irregular shape. Building with irregular shape can cause different behavior when buildings are under seismic load. In this study, structure analysis is performed by using time history method for three various configuration (square, rectangle, and octagonal shape) with uses Medium Density Fiberboard (MDF). The analysis in this study uses program SAP2000 to compare some output parameters that reviewed in 2 direction, X and Y direction. Based on the analysis result, octagonal shape produces the biggest displacement rather than square and rectangular model. But octagonal shape produces smaller internal forces than the other models.

Keywords: configurations, earthquake, *time history*, MDF, SAP2000

PENDAHULUAN

Seiring dengan berkembangnya jumlah penduduk, ketersediaan lahan untuk mendirikan bangunan semakin sempit. Oleh sebab itu, manusia mulai beralih mendirikan bangunan bertingkat yang memiliki kapasitas besar meskipun didirikan pada lahan yang sempit. Gedung bertingkat tinggi saat ini semakin banyak didirikan, termasuk di Indonesia.

Pembangunan gedung bertingkat tinggi memerlukan perencanaan yang matang. Beban-beban yang bekerja harus diperhitungkan dengan baik, tidak terkecuali beban gempa. Beban gempa tergolong beban yang sulit untuk diprediksikan keadaannya. Hal inilah yang menjadi tantangan bagi perencana.

Salah satu faktor yang mempengaruhi karakteristik gedung saat menerima gaya gempa adalah bentuk konfigurasi strukturnya atau *plan* bangunan apabila dilihat dari tampak atas. Berdasarkan pengalaman, bangunan yang paling ideal dalam menahan gempa adalah bentuk beraturan, misalnya persegi. Namun sering kali pada beberapa proyek, perencanaan tidak bisa menghasilkan bentuk bangunan yang beraturan karena keterbatasan ruang. Bentuk tidak beraturan atau ireguler memungkinkan munculnya perilaku yang berbeda pada struktur saat terjadi gempa.

Selain itu, perhatian dunia mengenai pentingnya mempelajari pengaruh gempa terhadap gedung telah memunculkan salah satu kompetisi internasional, yaitu IDEERS. Dalam kompetisi ini, setiap tim harus mendesain dan membuat sebuah konstruksi model bangunan yang tahan terhadap gempa yang disimulasikan dengan mesin *shaking table*. Sedangkan proses analisis strukturnya menggunakan

metode *time history*. Kompetisi ini menjadi salah satu motivasi bagi mahasiswa untuk lebih memahami mengenai ilmu gempa.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penulis ingin mempelajari lebih lanjut mengenai pengaruh perbedaan konfigurasi portal tiga dimensi saat menerima beban gempa.

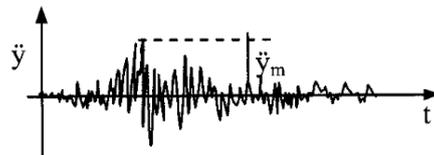
TINJAUAN PUSTAKA

Pengertian Gempa Bumi

Gempa bumi adalah getaran pada permukaan bumi, yang disebabkan oleh pergerakan kerak bumi. Getaran tersebut yang menimbulkan gaya-gaya pada bangunan karena struktur cenderung mempertahankan diri. Dampak gempa bumi bervariasi, tergantung frekuensi, tipe, dan ukuran gempa.

Karakteristik Gelombang

Gelombang gempa tergolong sebagai gelombang non harmonik non periodik (memiliki amplitudo dan periode yang fluktuatif).

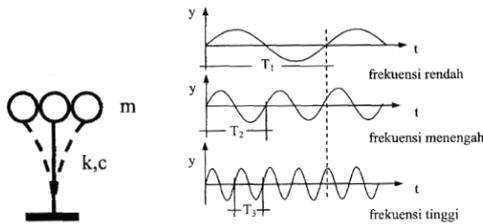


gelombang non harmonik non periodik

Gambar 1. Gelombang gempa
(Sumber: Pawirodikromo, 2012)

Karakteristik gelombang terdiri dari periode gelombang, frekuensi, amplitudo gelombang, kecepatan gelombang, dan panjang gelombang.

Kondisi struktur saat terjadi gempa dapat diasumsikan sebagai suatu struktur yang memiliki 1 massa, kekakuan, dan redaman seperti pada Gambar 2. Apabila sistem bergetar secara harmonik, maka akan muncul beberapa frekuensi, mulai dari rendah sampai tinggi.



Gambar 2. Frekuensi gelombang
(Sumber: Pawirodikromo, 2012)

Portal Gedung Bertingkat Tinggi

Pengertian gedung bertingkat tinggi adalah struktur di mana beban lateral memiliki pengaruh yang besar karena dapat menyebabkan goyangan. Semakin tinggi gedung tersebut, maka pengaruh lateral juga semakin besar. Terdapat 3 faktor utama yang perlu dipertimbangkan, yaitu kekuatan, kekakuan, dan stabilitas struktur.

Bangunan Tahan Gempa

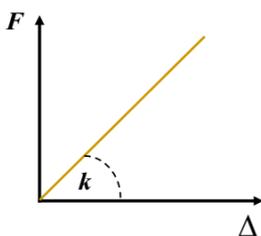
Yang dimaksud dengan bangunan tahan gempa bukan berarti tidak boleh terjadi kerusakan sama sekali saat terjadi gempa, melainkan kerusakan tersebut sudah diatur berdasarkan gempa rencana sehingga aman bagi orang di sekitarnya.

Beberapa faktor penting yang harus diperhatikan dalam perencanaan bangunan tahan gempa adalah :

- 1. Kekakuan (*stiffness*)

Kekakuan adalah gaya (*force*) yang dibutuhkan untuk menghasilkan satu satuan perpindahan (*unit displacement*).

$$k = \frac{F}{\Delta} \dots\dots\dots(1)$$



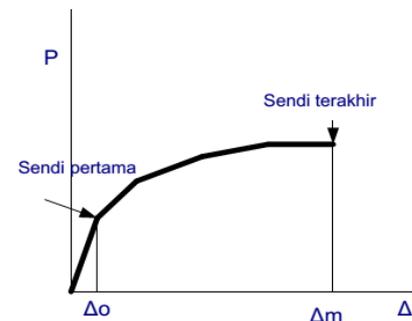
Gambar 3. Hubungan kekakuan, gaya, dan perpindahan

- 2. Kekuatan (*strength*)

Kekuatan tergantung sistem dan bahan yang digunakan untuk menahan beban. Perencanaan kekuatan disesuaikan dengan kegunaan struktur tersebut

- 3. Daktilitas (*ductility*)

Daktilitas merupakan kemampuan struktur untuk melakukan deformasi secara plastis tanpa terjadi pemisahan pada elemennya.



Daktilitas struktur

Gambar 4. Daktilitas struktur

Faktor daktilitas dirumuskan dengan persamaan berikut :

$$1,0 \leq \mu = \frac{\Delta m}{\Delta o} \leq \mu_m \dots\dots\dots(2)$$

Δm = simpangan maksimum saat kondisi di ambang keruntuhan

Δo = simpangan struktur saat muncul sendi plastis pertama

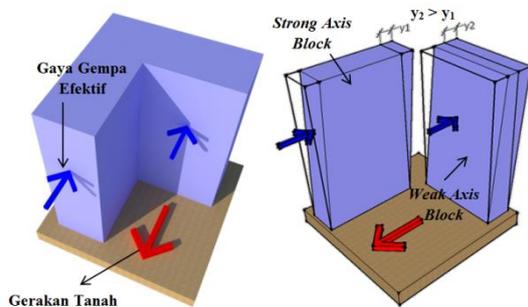
Konfigurasi Bangunan

Menurut Pawirodikromo (2012), konfigurasi bangunan meliputi hal-hal berikut :

- 1. Bentuk bangunan :
 - a) Bangunan reguler
 - b) Bangunan tidak reguler
- 2. Ukuran bangunan
 - a) Ukuran horisontal (dimensi dan *density*)
 - b) Ukuran vertikal (dimensi, distribusi massa, dan distribusi kekakuan)

3. Macam struktur utama
 - a) Portal
 - b) Portal dengan *bracing*
 - c) Portal dengan *structural walls*
 - d) *Structural walls*
 - e) *Tube building*

Denah bangunan reguler memiliki 1 massa dengan denah sederhana dan simetris. Syarat bangunan dikategorikan reguler terdapat dalam SNI 1726-2012. Sedangkan bangunan tidak reguler memiliki lebih dari 1 massa/blok dengan denah yang tidak sederhana.



Gambar 5. Bangunan tidak reguler

Bentuk bangunan ireguler dapat menyebabkan perbedaan kekakuan antar blok, terdapat blok dengan kekakuan kuat dan kekakuan yang lebih kecil. Perbedaan kekakuan ini dapat menyebabkan gedung bergetar dalam mode yang berbeda, sehingga menyebabkan kerusakan. Umumnya hal seperti ini diatasi dengan memberikan celah atau yang biasa disebut dilatasi.

Frekuensi getar gedung dipengaruhi oleh kekakuan dan massa struktur.

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

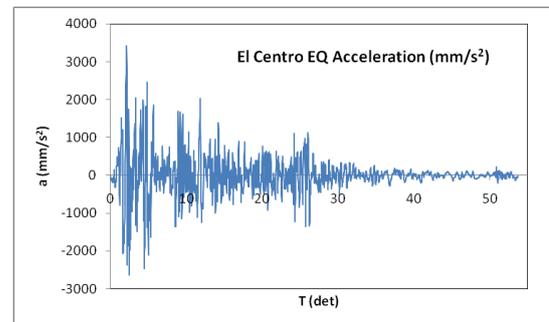
$$T = \frac{2\pi}{\omega} \dots\dots\dots(4)$$

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \dots\dots\dots(5)$$

- k = kekakuan
- m = massa
- ω = frekuensi
- T = periode

Analisis Time History

Time history merupakan metode yang paling akurat mewakili respon struktur terhadap gempa. Pembebanan gempa yang diberikan berasal dari rekaman gerakan tanah (*ground motion*) dari gempa yang pernah terjadi. Salah satu contoh catatan gempa *time history* adalah El Centro.



Gambar 6. *Time history* El Centro
(Sumber: civilinc.blogspot.com, diunduh tanggal 3 Agustus 2016)

Frekuensi Natural dan Mode Shape

Frekuensi natural adalah frekuensi di mana suatu sistem dengan massa dan kekakuan tertentu bergerak ketika mendapat eksitasi awal dan kemudian dihilangkan sehingga struktur bergerak bebas.

$$\omega = \sqrt{\frac{K_{eff} g}{W}} \dots\dots\dots(6)$$

- K_{eff} = kekakuan efektif
- g = percepatan gravitasi
- W = berat struktur

Mode shape berhubungan dengan pola goyangan yang terjadi. *Mode shape* dengan periode yang paling panjang disebut juga *mode shape* pertama (*fundamental mode*).

METODE

Variasi Model Struktur

Model struktur yang digunakan dalam proses analisis adalah sebanyak 3 model. Model yang digunakan tersebut bervariasi dari segi konfigurasi denah struktur (*plan configuration*) atau bentuk bangunan jika dilihat dari tampak atas. Bentuk denah yang akan digunakan adalah berbentuk persegi (*square*), persegi panjang (*rectangle*), dan segi delapan (*octagonal*).

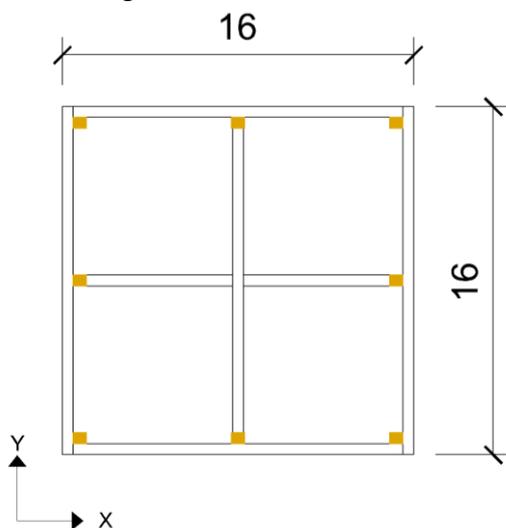
Data model dapat dilihat dalam Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Data model struktur

| Spesifikasi | Keterangan |
|--|--|
| Jumlah lantai | 6 lantai |
| Tinggi model | 6 @ 10 cm = 60 cm |
| Material | MDF (<i>Medium Density Fiberboard</i>) |
| Dimensi kolom | 5 mm x 6 mm |
| Dimensi balok | 5 mm x 6 mm |
| Jenis tumpuan | Jepit |
| Pembebanan <i>mass block</i> tiap lantai | 2 buah |
| Berat 1 <i>mass block</i> | 635 gram |

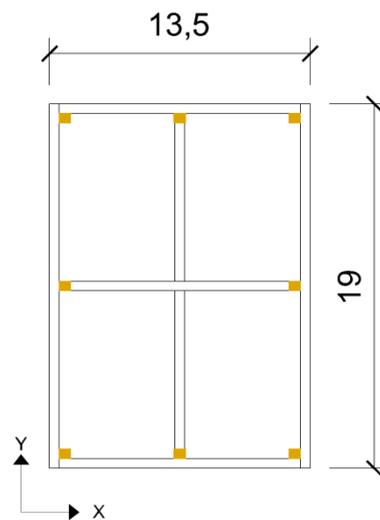
Bentuk masing-masing model struktur yang dianalisis adalah sebagai berikut :

1. Persegi 16 cm x 16 cm



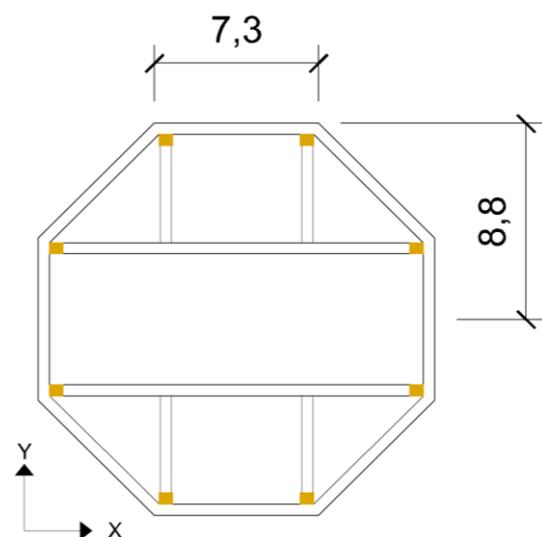
Gambar 7. Model A (Persegi)

2. Persegi Panjang 13,5 cm x 19 cm



Gambar 8. Model B (Persegi Panjang)

3. Segi Delapan (balok sisi luar 7,3 cm)



Gambar 9. Model C (Segi Delapan)

Perbandingan luas lantai untuk masing-masing model adalah sebagai berikut :

Tabel 2. Luas lantai setiap model

| Model | Dimensi | | |
|-----------------|---------|--------|-------------------------|
| | b (cm) | h (cm) | Luas (cm ²) |
| Persegi | 16,0 | 16,0 | 256,0 |
| Persegi Panjang | 13,5 | 19,0 | 256,5 |
| Segi Delapan | | | 256,6 |

Modelisasi

Masing-masing model memiliki tipikal yang sama untuk seluruh lantai. Pemodelan struktur dilakukan dengan bantuan *software* SAP2000.

Karakteristik Material MDF

Penggunaan material MDF ini sesuai dengan material yang digunakan dalam kompetisi IDEERS. Karakteristik MDF dapat dilihat dalam Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Karakteristik MDF

| Karkteristik | Satuan | Nilai |
|--|-------------------|-------|
| Berat Jenis (<i>Density</i>) | g/cm ³ | 0,75 |
| <i>Bending Stiffness</i> (<i>Modulus of Elasticity</i>) | MPa | 240 |
| <i>Bending Strength</i> (<i>Modulus of Rupture</i>) | MPa | 44 |
| Keteguhan Rekat (<i>Internal Bond</i>) | MPa | 1,15 |
| <i>Poisson's Ratio</i> | - | 0,25 |
| <i>Shear Modulus</i> | MPa | 90 |
| Kuat Tarik (<i>Tensile Strength</i>) | MPa | 18 |
| Kuat Tekan (<i>Compressive Strength</i>) | MPa | 10 |
| Konduktivitas Thermal | W/(m-K) | 0,3 |

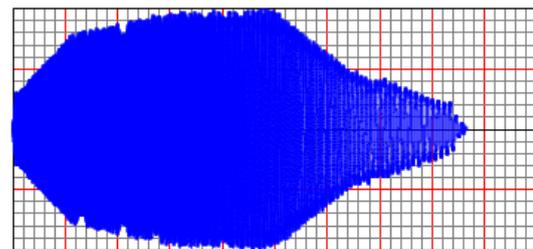
Pembebanan

Pembebanan pada pengujian sebenarnya menggunakan *mass block*

dengan berat 635 gram. Pembebanan tiap lantai sebanyak 2 *mass block*. Sehingga massa yang bekerja pada setiap lantai adalah sebesar $2 \times 0,635 \text{ kg} = 1,27 \text{ kg}$. Total massa untuk 1 model adalah $6 \times 1,27 \text{ kg} = 7,62 \text{ kg}$.

Pembebanan gempa menggunakan data *time history* yang diunduh dari situs resmi kompetisi IDEERS 2015. Data tersebut dalam bentuk data percepatan untuk kekuatan gempa 250 gal, 400 gal, 600 gal, dan 800 gal.

| Time_sec | NS_g | EW_g |
|----------------|-----------------|-----------------|
| 0,0000000e+000 | -8,3613007e-005 | -3,2652318e-004 |
| 3,9062500e-003 | -1,1527343e-003 | 6,1924691e-003 |
| 7,8125000e-003 | -2,9405321e-003 | 1,1113366e-002 |
| 1,1718750e-002 | -4,6743557e-003 | 1,3984398e-002 |
| 1,5625000e-002 | -5,0309235e-003 | 1,5232393e-002 |
| 1,9531250e-002 | -3,4145159e-003 | 1,5563664e-002 |
| 2,3437500e-002 | 5,5434523e-005 | 1,5611820e-002 |
| 2,7343750e-002 | 4,8896843e-003 | 1,5769734e-002 |
| 3,1250000e-002 | 1,0139842e-002 | 1,6136199e-002 |
| 3,5156250e-002 | 1,4326177e-002 | 1,6539915e-002 |
| 3,9062500e-002 | 1,5990667e-002 | 1,6691971e-002 |
| 4,2968750e-002 | 1,4362964e-002 | 1,6375693e-002 |



Gambar 10. Data dan grafik *time history*

Proses pembebanan gempa dilakukan dalam 2 arah yaitu arah X (menggunakan arah NS) dan arah Y (menggunakan arah EW)

Variabel

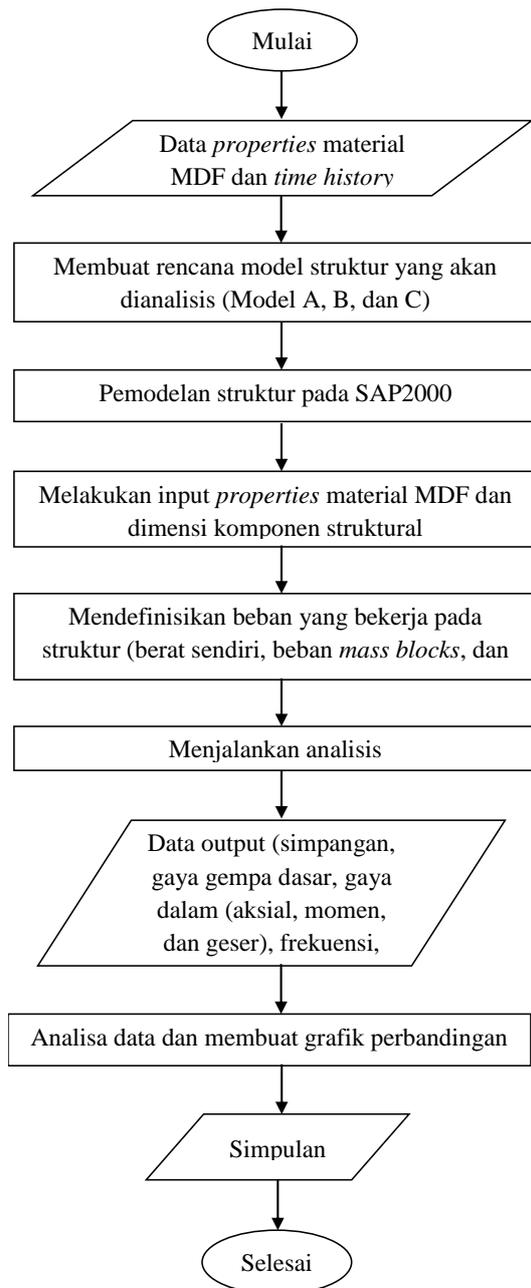
1. Variabel Bebas

Terdiri dari konfigurasi portal (bentuk denah atau *plan configuration*, susunan kolom, susunan balok).

2. Variabel Terikat

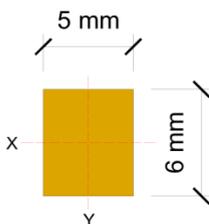
Terdiri dari simpangan, gaya gempa dasar, frekuensi natural, periode getar, dan gaya-gaya dalam yang terjadi pada struktur.

Diagram Alir



Gambar 11. Diagram alir penelitian

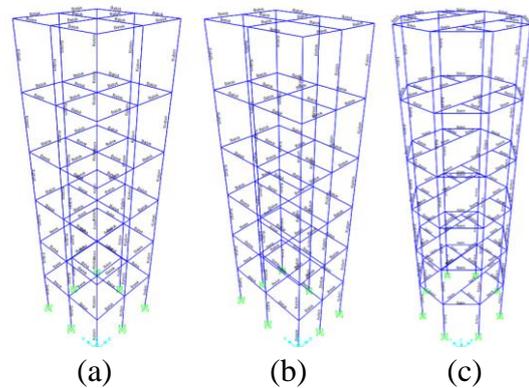
HASIL DAN PEMBAHASAN Karakteristik Komponen Struktur



Gambar 12. Dimensi penampang struktur kolom dan balok

- a) Luas penampang (A) = 30 mm^2
- b) Momen inersia sumbu X (I_x) = $\frac{1}{12} b.h^3 = \frac{1}{12} 5.6^3 = 90 \text{ mm}^4$
- c) Momen inersia sumbu Y (I_y) = $\frac{1}{12} h.b^3 = \frac{1}{12} 6.5^3 = 62,5 \text{ mm}^4$
- d) Berat jenis ($density$) = $0,75 \text{ gram/cm}^3$
- e) Modulus elastisitas = $240 \text{ N/mm}^2 = 2400 \text{ kg/cm}^2$
- f) $Poisson \text{ ratio} = 0,3$

Pemodelan pada SAP2000



Gambar 13. Pembuatan model pada SAP2000

(a) Persegi; (b) Persegi Panjang; (c) Segi Delapan

Perbandingan Berat Struktur

Berdasarkan output SAP2000, berat masing-masing struktur adalah sebagai berikut :

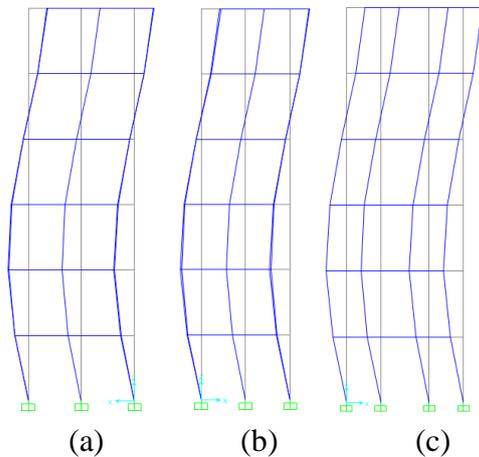
Tabel 4. Perbandingan berat

| Model | Persegi | Persegi Panjang | Segi Delapan |
|--------------|---------|-----------------|--------------|
| Berat (gram) | 237,7 | 239,6 | 262,2 |

Dari hasil tersebut, dapat dilihat bahwa untuk luas lantai yang hampir sama, model segi delapan memiliki berat sendiri struktur yang paling besar.

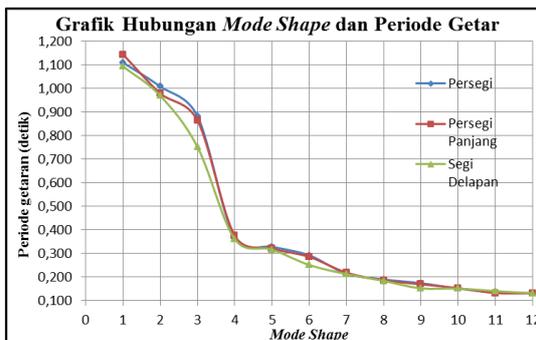
Periode Getaran, Frekuensi Natural, dan Mode Shape

Berdasarkan SNI – 1726 – 2002, partisipasi massa dalam menghasilkan respon total harus mencapai sekurang-kurangnya 90%. Ketiga model memenuhi kriteria 90% pada *mode shape* kelima sebesar 93% (untuk arah X) dan pada *mode shape* keempat sebesar 94% (untuk arah Y). Sehingga *mode shape* yang dihasilkan oleh ketiga model adalah sama.

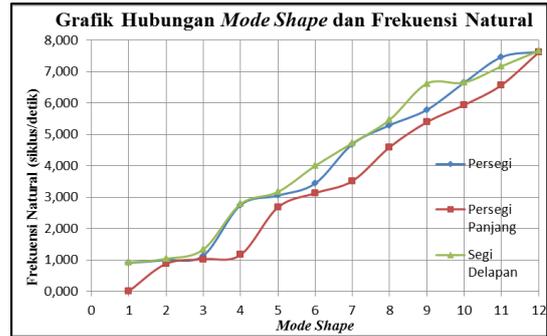


Gambar 14. Perbandingan *mode shape* (a) Persegi; (b) Persegi Panjang; (c) Segi Delapan

Berdasarkan periode getaran (menggunakan *shape mode* kelima untuk arah X dan *shape mode* keempat untuk arah Y), bentuk segi delapan menghasilkan periode terkecil untuk kedua arah. Sedangkan nilai frekuensi natural berbanding terbalik dengan periode.



Gambar 15. Grafik hubungan *mode shape* dan periode getar.



Gambar 16. Grafik hubungan *mode shape* dan frekuensi natural

Periode berhubungan dengan kekakuan struktur. Periode getar struktur memiliki hubungan terbalik (inversely proportional) dengan kekakuan struktur dengan persamaan sebagai berikut :

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

dengan :

T = periode getar

k = kekakuan struktur

m = massa struktur

$$= \frac{\text{berat (W)}}{\text{percepatan gravitasi (g)}}$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2 = 981 \text{ cm/s}^2$$

$$\sqrt{k} = \frac{2\pi\sqrt{m}}{T}$$

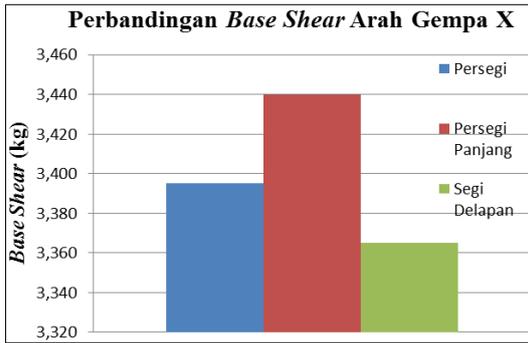
$$k = \left(\frac{2\pi\sqrt{m}}{T} \right)^2$$

Tabel 5. Perbandingan kekakuan struktur

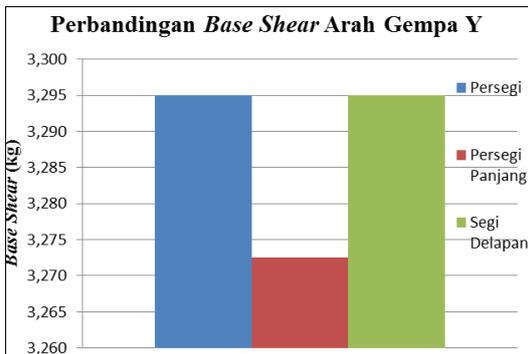
| Model | Periode T (detik) | | Berat W (gram) | Kekakuan k (gram/cm) | |
|-----------------|-------------------|--------|----------------|----------------------|--------|
| | Arah X | Arah Y | | Arah X | Arah Y |
| Persegi | 0,328 | 0,365 | 237,700 | 88,836 | 71,977 |
| Persegi Panjang | 0,320 | 0,374 | 239,600 | 94,179 | 68,777 |
| Segi Delapan | 0,316 | 0,360 | 262,200 | 105,524 | 81,334 |

Bentuk segi delapan menghasilkan kekakuan terbesar untuk arah X dan Y. Kekakuan terkecil dimiliki oleh model persegi pada arah X dan persegi panjang dalam arah Y.

Base Shear



Gambar 17. Perbandingan base shear arah gempa X

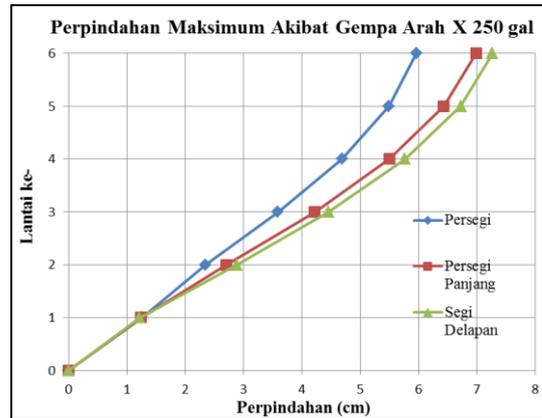


Gambar 18. Perbandingan base shear arah gempa Y

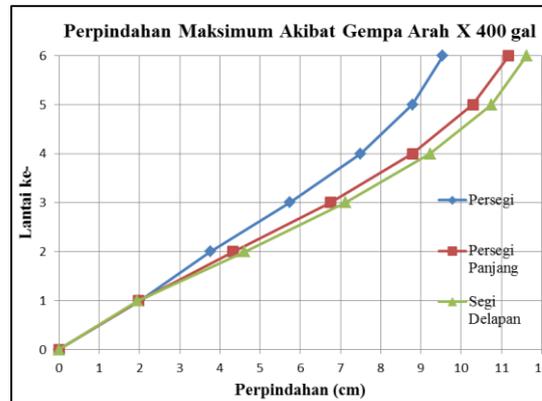
Dalam arah gempa X dapat dilihat bahwa *base shear* terbesar terjadi pada bentuk persegi panjang, sedangkan dalam arah Y *base shear* terkecil juga terjadi pada bentuk persegi panjang. Artinya, *base shear* selain dipengaruhi oleh berat bangunan, juga dipengaruhi oleh panjang bangunan.

Bentuk persegi panjang saat menerima gaya gempa arah X, ditahan oleh inersia gedung yang paling kecil dibandingkan 2 model lainnya. Akibatnya, *base shear* yang terjadi pada model persegi panjang menjadi lebih besar. Sedangkan dalam arah Y, bentuk persegi panjang memiliki inersia tahanan gedung yang paling besar, sehingga *base shear* yang terjadi lebih kecil dibandingkan model lainnya.

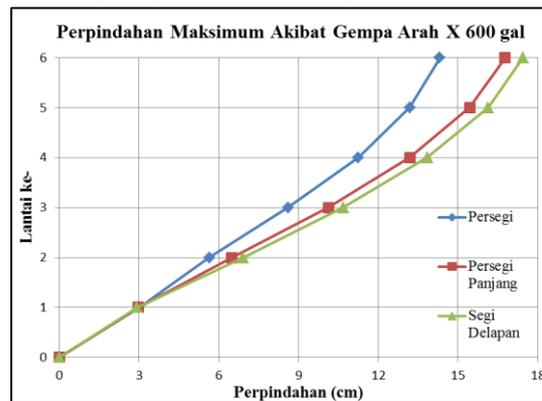
Perpindahan tiap lantai (storey displacement)



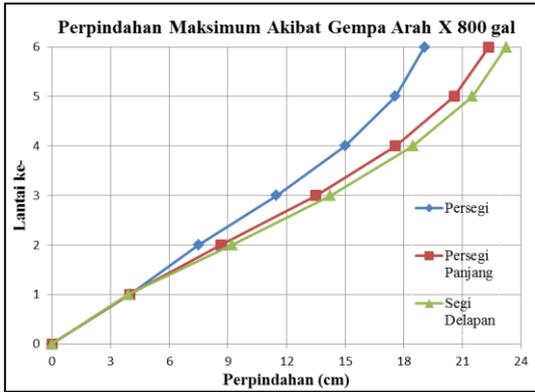
Gambar 19. Perpindahan maksimum akibat gempa arah X 250 gal



Gambar 20. Perpindahan maksimum akibat gempa arah X 400 gal

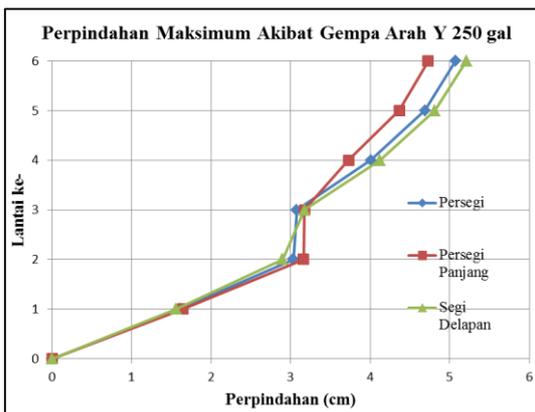


Gambar 21. Perpindahan maksimum akibat gempa arah X 600 gal

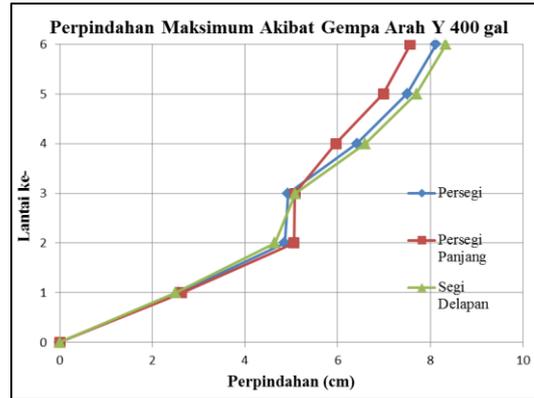


Gambar 22. Perpindahan maksimum akibat gempa arah X 800 gal

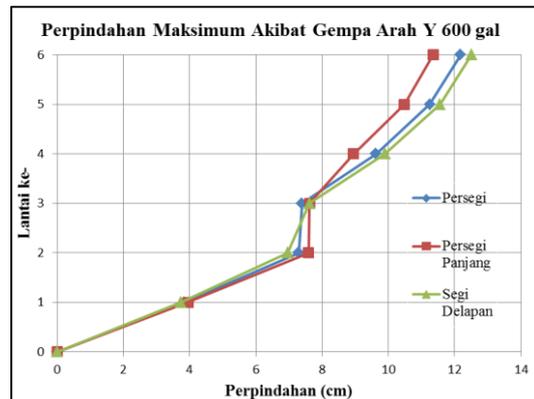
Dari hasil analisis terhadap ketiga model tersebut (dalam arah X) dengan kekuatan gempa 250 gal hingga 800 gal, model segi delapan memiliki *displacement* yang paling besar dibandingkan 2 model lainnya. Perpindahan pada lantai 6 atau lantai paling atas (*roof top*) pada model segi delapan lebih besar 21,9% dibandingkan model persegi. Sedangkan model persegi panjang menghasilkan *displacement* lebih besar sebesar 17,18% terhadap model persegi.



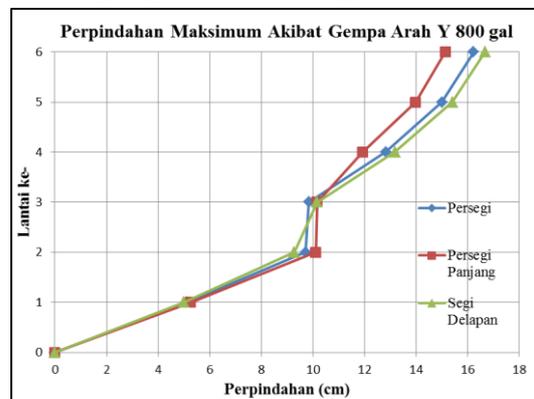
Gambar 23. Perpindahan maksimum akibat gempa arah Y 250 gal



Gambar 24. Perpindahan maksimum akibat gempa arah Y 400 gal



Gambar 25. Perpindahan maksimum akibat gempa arah Y 600 gal



Gambar 26. Perpindahan maksimum akibat gempa arah Y 800 gal

Dalam arah gempa Y bentuk segi delapan menghasilkan *displacement* terbesar pada lantai paling atas dengan selisih 2,66% dibandingkan bentuk persegi, sedangkan bentuk persegi panjang memiliki *displacement* terkecil dengan selisih 6,8% terhadap bentuk persegi.

Gaya Aksial

Tabel 6. Perbandingan gaya aksial maksimum pada kolom

| Arah Gempa | Kekuatan Gempa | Gaya Aksial Maksimum (kg) | | |
|------------|------------------|---------------------------|-----------------|--------------|
| | | Persegi | Persegi Panjang | Segi Delapan |
| X | 250 gal | 1,08 | 1,61 | 1,43 |
| | 400 gal | 1,73 | 2,57 | 2,28 |
| | 600 gal | 2,60 | 3,86 | 3,43 |
| | 800 gal | 3,46 | 5,14 | 4,57 |
| | Rata-rata | 2,22 | 3,30 | 2,93 |
| Y | 250 gal | 0,90 | 0,74 | 1,02 |
| | 400 gal | 1,44 | 1,19 | 1,63 |
| | 600 gal | 2,16 | 1,78 | 2,45 |
| | 800 gal | 2,88 | 2,38 | 3,26 |
| | Rata-rata | 1,85 | 1,52 | 2,09 |

Untuk arah X, gaya aksial terbesar terjadi pada model persegi panjang. Sedangkan dalam arah Y, model persegi panjang menghasilkan gaya aksial yang paling kecil daripada kedua model lainnya.

Gaya Momen

Tabel 7. Perbandingan momen maksimum pada kolom

| Arah Gempa | Kekuatan Gempa | Gaya Momen Maksimum pada kolom (kgcm) | | | | |
|------------|------------------|---------------------------------------|-----------------|---------------|--------------|----------------|
| | | Persegi | Persegi Panjang | | Segi Delapan | |
| | | | Momen | %Selisih | Momen | %Selisih |
| X | 250 gal | 1,50 | 1,47 | -2,00% | 1,23 | -18,00% |
| | 400 gal | 2,41 | 2,36 | -2,07% | 1,97 | -18,26% |
| | 600 gal | 3,61 | 3,53 | -2,22% | 2,95 | -18,28% |
| | 800 gal | 4,81 | 4,71 | -2,08% | 3,94 | -18,09% |
| | Rata-rata | 3,08 | 3,02 | -2,09% | 2,52 | -18,16% |
| Y | 250 gal | 1,38 | 1,41 | +2,17% | 1,19 | -13,77% |
| | 400 gal | 2,21 | 2,27 | +2,71% | 1,90 | -14,03% |
| | 600 gal | 3,32 | 3,40 | +2,41% | 2,84 | -14,46% |
| | 800 gal | 4,43 | 4,53 | +2,26% | 3,80 | -14,22% |
| | Rata-rata | 2,84 | 2,90 | +2,39% | 2,43 | -14,12% |

Tabel 8. Perbandingan momen maksimum pada balok

| Arah Gempa | Kekuatan Gempa | Gaya Momen Maksimum pada balok (kgcm) | | | | | |
|------------|------------------|---------------------------------------|-----------------|---------------|--------------|---------------|--|
| | | Persegi | Persegi Panjang | | Segi Delapan | | |
| | | | Momen | %Selisih | Momen | %Selisih | |
| X | 250 gal | 1,50 | 1,53 | +2,00% | 1,37 | -8,67% | |
| | 400 gal | 2,40 | 2,44 | +1,67% | 2,19 | -8,75% | |
| | 600 gal | 3,60 | 3,66 | +1,67% | 3,28 | -8,89% | |
| | 800 gal | 4,80 | 4,88 | +1,67% | 4,38 | -8,75% | |
| | Rata-rata | 3,08 | 3,13 | +1,75% | 2,81 | -8,76% | |
| Y | 250 gal | 1,43 | 1,39 | -2,80% | 1,38 | -3,50% | |
| | 400 gal | 2,28 | 2,23 | -2,19% | 2,20 | -3,51% | |
| | 600 gal | 3,42 | 3,35 | -2,05% | 3,30 | -3,51% | |
| | 800 gal | 4,57 | 4,46 | -2,41% | 4,40 | -3,72% | |
| | Rata-rata | 2,93 | 2,86 | -2,36% | 2,82 | -3,56% | |

Model segi delapan menghasilkan momen terkecil baik pada kolom dan balok. Pada bagian kolom, bentuk segi delapan memiliki momen 18,16% lebih

kecil dari bentuk persegi (arah X) dan 14,12% lebih kecil untuk arah Y. Pada komponen balok, bentuk segi delapan menghasilkan momen 8,76% lebih kecil dari bentuk persegi dalam arah X dan 3,56% lebih kecil dari bentuk persegi dalam arah Y.

Gaya Geser

Tabel 9. Perbandingan geser maksimum pada kolom

| Arah Gempa | Kekuatan Gempa | Gaya Geser Maksimum pada kolom (kg) | | | | |
|------------|------------------|-------------------------------------|-----------------|---------------|--------------|----------------|
| | | Persegi | Persegi Panjang | | Segi Delapan | |
| | | | Gaya Geser | %Selisih | Gaya Geser | %Selisih |
| X | 250 gal | 0,3 | 0,29 | -3,33% | 0,24 | -20,00% |
| | 400 gal | 0,48 | 0,47 | -2,08% | 0,38 | -20,83% |
| | 600 gal | 0,72 | 0,71 | -1,39% | 0,56 | -22,22% |
| | 800 gal | 0,96 | 0,94 | -2,08% | 0,75 | -21,88% |
| | Rata-rata | 0,62 | 0,60 | -2,22% | 0,48 | -21,23% |
| Y | 250 gal | 0,28 | 0,28 | 0,00% | 0,23 | -17,86% |
| | 400 gal | 0,44 | 0,45 | 2,27% | 0,36 | -18,18% |
| | 600 gal | 0,66 | 0,68 | 3,03% | 0,54 | -18,18% |
| | 800 gal | 0,89 | 0,9 | 1,12% | 0,72 | -19,10% |
| | Rata-rata | 0,57 | 0,58 | 1,61% | 0,46 | -18,33% |

Tabel 10. Perbandingan geser maksimum pada balok

| Arah Gempa | Kekuatan Gempa | Gaya Geser Maksimum pada balok (kg) | | | | |
|------------|------------------|-------------------------------------|-----------------|----------------|--------------|---------------|
| | | Persegi | Persegi Panjang | | Segi Delapan | |
| | | | Gaya Geser | %Selisih | Gaya Geser | %Selisih |
| X | 250 gal | 0,34 | 0,41 | 20,59% | 0,38 | 11,76% |
| | 400 gal | 0,55 | 0,65 | 18,18% | 0,6 | 9,09% |
| | 600 gal | 0,82 | 0,98 | 19,51% | 0,9 | 9,76% |
| | 800 gal | 1,09 | 1,31 | 20,18% | 1,2 | 10,09% |
| | Rata-rata | 0,70 | 0,84 | 19,62% | 0,77 | 10,18% |
| Y | 250 gal | 0,32 | 0,26 | -18,75% | 0,38 | 18,75% |
| | 400 gal | 0,51 | 0,42 | -17,65% | 0,6 | 17,65% |
| | 600 gal | 0,76 | 0,63 | -17,11% | 0,91 | 19,74% |
| | 800 gal | 1,01 | 0,84 | -16,83% | 1,21 | 19,80% |
| | Rata-rata | 0,65 | 0,54 | -17,58% | 0,78 | 18,98% |

Untuk komponen kolom, bentuk segi delapan menghasilkan geser terkecil, yaitu 21,23% lebih kecil dari bentuk persegi dalam arah X dan 18,33% lebih kecil dari bentuk persegi dalam arah Y. Sedangkan pada komponen balok, dalam arah X geser terkecil terjadi pada bentuk persegi dan dalam arah Y geser terkecil terjadi pada bentuk persegi panjang.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan pembahasan data hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan untuk mengetahui karakteristik atau perilaku dari ketiga model (persegi, persegi panjang, dan segi delapan) ketika menerima gaya gempa pada arah X dan arah Y, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan parameter ragam getar atau *mode shape*, ketiga model memiliki *mode shape* yang sama baik arah X maupun arah Y. Untuk arah X terbentuk *mode shape* kelima dan untuk arah Y terjadi *mode shape* keempat.

2. Berdasarkan parameter simpangan atau *displacement* bentuk segi delapan memiliki *displacement* terbesar dalam arah X (selisih $\pm 22\%$ terhadap model persegi) maupun arah Y (selisih $\pm 3\%$ terhadap model persegi).

3. Berdasarkan parameter gaya yang terjadi pada ketiga model, secara keseluruhan bentuk segi delapan menghasilkan gaya dalam yang lebih kecil dibandingkan kedua model lainnya. Bentuk segi delapan memiliki keunggulan dalam hal *base shear* yang kecil dalam arah X, momen maksimum (kolom dan balok) serta gaya geser kolom yang lebih kecil dibandingkan model persegi dan persegi panjang. Momen pada kolom model segi delapan $\pm 18\%$ lebih kecil daripada model persegi dan geser pada kolom model segi delapan $\pm 21\%$ lebih kecil daripada model persegi.

4. Berdasarkan parameter periode getaran, bentuk segi delapan memiliki periode terkecil untuk kedua arah.

Saran untuk pengembangan penelitian lebih lanjut adalah sebagai berikut:

1. Peneliti lebih lanjut harus memperhatikan berat struktur model yang akan digunakan. Sebaiknya model yang dibuat memiliki berat yang sama sehingga lebih mudah untuk membandingkan perilaku antar model.

2. Peneliti lebih lanjut yang menggunakan material MDF sebaiknya terlebih dahulu melakukan pengujian karakteristik material.

DAFTAR PUSTAKA

Badan Standardisasi Nasional. (2012). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung SNI 1726:2012*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.

Banginwar, R.S., M.R. Vyawahare & P.O. Modani. (2012). *Effect of Plans Configurations on the Seismic Behaviour of the Structure by Response Spectrume Method*. *International Journal of Engineering Research and Applications*. Vol. 2, Issue 3: 1439 - 1443.

Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah. (2001). *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung SNI - 1726 - 2012*. Jakarta : Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah.

Hartuti, E.R. (2009). *Buku Pintar Gempa*. Cetakan I. Yogyakarta: DIVA Press.

Kumar, A. (2016). *Analysis of Behaviour of A High Rise Building With*

- Various Plan Configurations Under the Influence of Seismic Forces. International Journal of Innovative Research in Science and Engineering.* Vol. 2, Issue 6: 6 - 16.
- Lumantarna, B. (2000). *Pengantar Analisis Dinamis dan Gempa*. Edisi Pertama. Surabaya: LPPM Universitas Kristen Petra Surabaya.
- Naeim, F. (2000). *The Seismic Design Handbook*. Edisi Kedua. California: Kluwer Academic Publishers.
- Paulay, T. dan M.J.N. Priestley. (1992). *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Pawirodikromo, W. (2012). *Seismologi Teknik & Rekayasa Kegempaan*. Cetakan I. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- Paz, Mario. (1985). *Structural Dynamics Theory and Computation*. Edisi Kedua. New York: Van Nostrand Reinhold Company.
- Schodek, D.L. (1991). *Structures*. Cetakan I. Terjemahan Bambang Suryoatmono. Bandung: Eresco.
- Sibagariang, Y. (2010). Analisis Nonlinier Time History pada Bangunan yang Menggunakan Base Isolator Akibat Gerakan Tanah Oleh Gempa. *Skripsi*. Tidak dipublikasikan. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Sofia, F. (2008). Analisa Sistem Outrigger pada Struktur Bangunan Tinggi. *Skripsi*. Tidak dipublikasikan. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Taranath, B.S. (1988). *Structural Analysis & Design of Tall Buildings*. New York: McGraw-Hill, Inc.