

RESPON PORTAL 3D DENGAN VARIASI KONFIGURASI STRUKTUR TERHADAP BEBAN GEMPA

Siti Nurlina¹, Desy Setyowulan¹, Devi Nuralinah¹, Ahmad Badiuzzamani²

¹Dosen / Jurusan Teknik Sipil / Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
Jl. MT. Haryono No. 167 Malang, 65145, Jawa Timur

²Mahasiswa / Jurusan Teknik Sipil / Fakultas Teknik Universitas Brawijaya
Jl. MT. Haryono No. 167 Malang, 65145, Jawa Timur

ABSTRAK

Penelitian tentang respon portal 3D dengan variasi konfigurasi struktur ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh dari variasi konfigurasi struktur portal 3D terhadap *mode shape* akibat beban gempa yang terjadi, mengetahui tipe kerusakan yang terjadi pada setiap bentuk konfigurasi dan mengetahui perbedaan antara analisis dan pembuatan modelisasi struktur bangunan di laboratorium. Pada penelitian ini digunakan analisis dinamis dengan menggunakan program SAP2000 serta dilakukan percobaan untuk tiga benda uji yang telah dipilih dari beberapa variasi yang telah dilakukan analisisnya. Model struktur yang digunakan dalam proses analisis sebanyak 3 model, dengan variasi konfigurasi denah struktur berbentuk persegi, persegi panjang, dan segi delapan. Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, terdapat perbedaan bentuk *mode shape* dari setiap konfigurasi. Selain itu, kerusakan struktur secara umum terjadi pada kolom.

Kata Kunci: dinamis, gempa, portal 3D, respon.

1. PENDAHULUAN

Gempa bumi adalah peristiwa bergetarnya bumi akibat pelepasan akumulasi energi yang dihasilkan di dalam bumi secara tiba-tiba dengan patahnya lapisan batuan pada kerak bumi akibat pergerakan lempeng-lempeng tektonik yang dipancarkan ke segala arah berupa gelombang sehingga efeknya dapat dirasakan sampai ke permukaan bumi (Tavio, 2013:3).

Perkembangan zaman yang cepat mulai memunculkan teknologi-teknologi yang mampu memperkirakan probabilitas terjadinya suatu gempa, besaran gempa dan sumber lokasi serta lokasi cakupan terjadinya suatu gempa. Sehingga kerugian yang ditimbulkan baik materi, fisik dan moral akibat bencana gempa bumi dapat diminimalisir ataupun dihindari. Seiring dengan itu, di bidang sipil, ilmuwan juga telah melakukan rekayasa bangunan yang mampu menahan gempa dan tidak

mengakibatkan kerusakan struktural yang parah.

Konfigurasi struktur dari bangunan tingkat tinggi dapat mempengaruhi respon dari struktur tersebut bila dikenakan beban gempa. Sehingga penelitian ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana konfigurasi dari struktur bangunan tingkat tinggi terhadap respon akibat beban gempa. Dalam hal ini dilakukan pemodelan portal 3D serta dilakukan pengujian dengan *shaking table*. Pemodelan dilakukan dengan menggunakan software SAP2000.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Gempa akan menimbulkan getaran/goyangan pada tanah ke segala arah dan menggetarkan bangunan yang berdiri di atas tanah tersebut. Pada dasarnya sebuah bangunan yang terkena gempa akan cenderung tidak bergerak karena mempertahankan bentuknya. Hal ini menimbulkan suatu gaya inersia pada bangunan. *Force-Based Design*

menggunakan gaya inersia tersebut pada bangunan yang ditentukan oleh berat bangunan, koefisien modifikasi respons (R), dan faktor reduksi gaya (C_d).

Menurut Tavio (2013:43-47) bangunan boleh tidak kuat terhadap gempa bumi besar dan mengalami rusak berat, bahkan tidak dapat diperbaiki tetapi bangunan tidak boleh mengalami runtuh atau roboh selama terjadi gempa bumi besar. Hal ini sesuai dengan 3 sila dari falsafah bangunan tahan gempa modern yaitu:

- a. Apabila terkena gempa ringan, bangunan boleh rusak kecil pada komponen non-struktural (kondisi “langsung huni,” karena bisa langsung dihuni dengan aman setelah perbaikan kecil pada komponen non-struktural).
- b. Apabila terkena gempa menengah atau sedang, bangunan boleh rusak menengah pada komponen structural (kondisi ambang “keamanan jiwa,” karena baru bisadihuni dengan aman setelah perbaikan/pengembalian kemampuan komponen structural yang mengalami kerusakan seperti semula).
- c. Apabila terkena gempa besar, bangunan boleh mengalami kerusakan parah bahkan tidak bisa diperbaiki lagi (kondisi ambang pencegahan keruntuhan, karena baru bisa dihuni dengan aman bilamana dibongkar dan dibangun kembali).

Soft story adalah istilah yang sering digunakan dalam pembahasan tentang struktur gedung tahan gempa. *Soft story* artinya lantai lunak. Secara analogi, kita bisa misalkan gedung bertingkat sebagai lapisan-lapisan batu bata yang ditumpuk di atas sebuah meja. Tiap lapisan batu bata merinpresentasikan lantai gedung. Sementara itu ada tumpukan batu bata lain. Tapi di tengah-tengah tumpukan tersebut ada satu lapisan yang batu batanya mempunyai rongga yang cukup besar di dalamnya. Kasus kegagalan bangunan di

atas terjadi saat Gempa di Padang beberapa tahun lalu, yang membuktikan bahwa bangunannya memang kurang direncanakan dengan matang.

3. METODE PENELITIAN

Pemodelan portal 3D yang akan dianalisis secara numerik menggunakan SAP2000 software maupun pengujian di laboratorium menggunakan model bangunan rangka terbuka atau *open frame*.

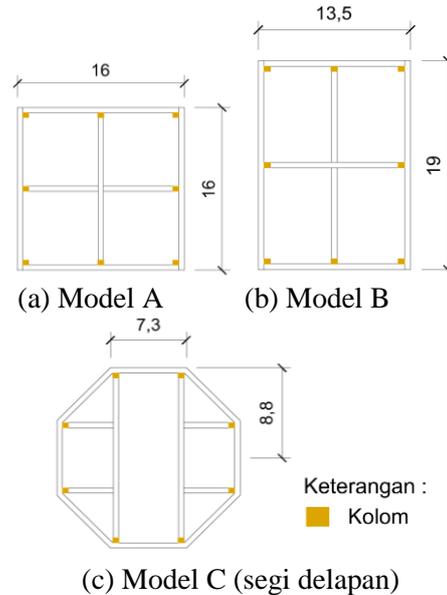
Model struktur yang digunakan dalam proses analisis adalah sebanyak 3 model. Model yang digunakan tersebut bervariasi dari segi konfigurasi denah struktur (*plan configuration*) atau bentuk bangunan jika dilihat dari tampak atas. Bentuk denah yang akan digunakan adalah berbentuk persegi (*square*), persegi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

Material yang digunakan dalam pemodelan ini adalah material kayu MDF (*Medium Density Fiberboard*). Spesifikasi fisik standar yang digunakan adalah berdasarkan JIS (*Japan Industrial Standard*) A5905 2003 tentang *fiberboards*. Karakteristik kayu MDF untuk ketebalan 5 mm dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Jumlah lantai yang digunakan dalam pemodelan sebanyak 6 lantai, dengan tinggi setiap lantai atau jarak bersih antar lantai adalah sebesar 10 cm. Pemodelan jumlah lantai dan jarak bersih setiap lantai dapat dilihat pada **Gambar 1**. Sedangkan model struktur yang digunakan dalam proses analisis adalah sebanyak 3 model, yang bervariasi dari segi konfigurasi denah struktur (*plan configuration*) atau bentuk bangunan jika dilihat dari tampak atas. Bentuk konfigurasi struktur yang diteliti terdiri dari bentuk persegi (*square*), persegi panjang (*rectangle*), dan segi delapan (*octagonal*) yang digambarkan pada **Gambar 2** dan **Gambar 3**.

Tabel 1. Karakteristik Kayu MDF

| Karakteristik | Satuan | Nilai |
|--|-------------------|-------|
| Berat Jenis (<i>Density</i>) | g/cm ³ | 0,75 |
| <i>Bending Stiffness (Modulus of Elasticity)</i> | MPa | 3800 |
| <i>Bending Strength (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 | 2500 |
| Kuat Tarik (<i>Tensile Strength</i>) | MPa | 18 |
| Kuat Tekan (<i>Compressive Strength</i>) | MPa | 10 |
| Konduktivitas Thermal | W/(m-K) | 0,3 |



Gambar 3. Detail konfigurasi model struktur

3.1 Metode Perakitan Model di Laboratorium

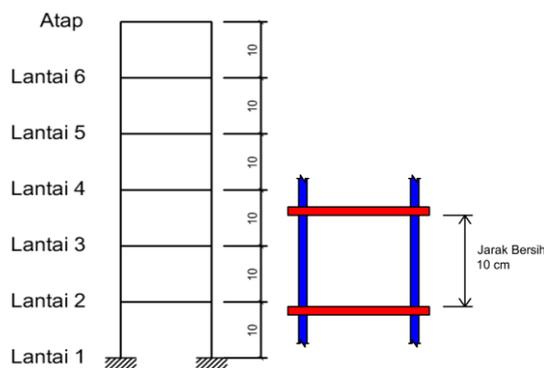
Metode yang digunakan dalam perakitan model adalah dengan cara menyusun struktur sedemikian rupa dari segmen per segmen. Kolom didirikan terlebih dahulu lalu dilanjutkan dengan balok. Balok utama dikerjakan berurutan dari lantai dua hingga ke lantai paling atas secara bergantian sampai akhir, sehingga model struktur siap untuk perakitan model dibagi dalam beberapa tahap antara lain:

a. Tahap Persiapan

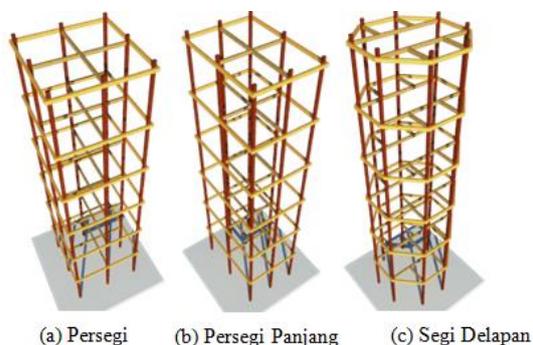
Peralatan dan perlengkapan yang diperlukan yaitu: *Stick Medium Density Fibreboard (MDF)* sebagai bahan utama untuk memodelkan elemen balok dan kolom dari struktur bangunan asli, yang dipotong dengan dimensi 0,5 cm x 0,6 cm dan panjang 70 cm, *mass block* dan *shaking table*. Selain itu juga digunakan *base board* sebagai papan landasan benda uji dengan ukuran 26 cm x 26 cm, lem tembak, pensil, penggaris, gunting, gergaji besi, dan bor manual.

b. Tahap Perakitan

Perakitan rangka model dimulai dengan pemotongan kolom memanjang, kemudian dipasang pada base board dengan menggunakan

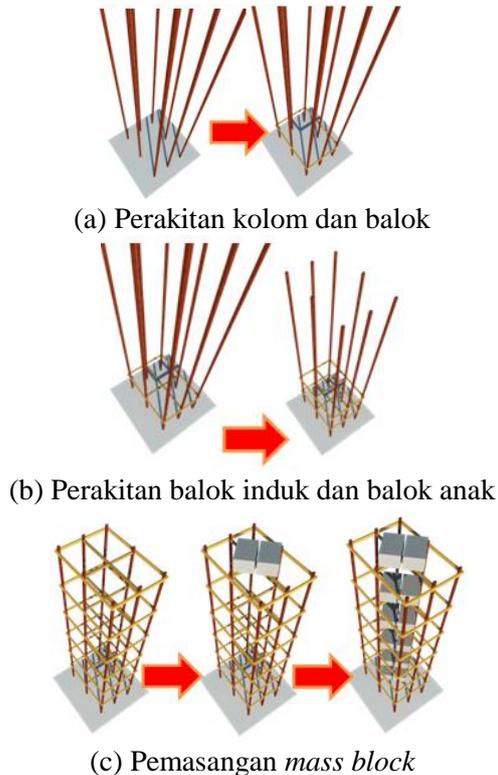


Gambar 1. Jumlah lantai dan jarak bersih tiap lantai model



Gambar 2. Bentuk konfigurasi model struktur

lem. Perakitan balok dilakukan setelah kolom berdiri terlebih dahulu. Selanjutnya dipasang 2 *mass block* pada tiap lantai. Tahap perakitan ini secara jelas digambarkan pada **Gambar 4**.



Gambar 4. Tahap perakitan struktur

Setelah selesai pembuatan model struktur, maka dilakukan pengujian di laboratorium dengan menggunakan alat *shaking table*.

3.2 Metode Pembuatan Model dan Pengujian di SAP2000

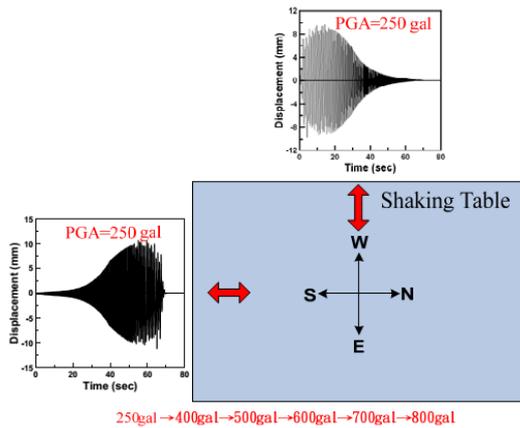
Analisis beban gempa pada struktur menggunakan *software* SAP2000 dengan metode riwayat waktu (*time history*). Langkah-langkah dalam pemodelan struktur yaitu:

- Membuat model struktur sesuai dengan dimensi seperti yang telah direncanakan (Model A, B, dan C) dan melakukan input data pada SAP2000 berupa jenis material MDF, karakteristik (*properties*) material MDF, serta dimensi komponen struktural (kolom dan balok).

- Menentukan jenis tumpuan, yaitu tumpuan jepit.
- Mendefinisikan beban yang bekerja pada struktur, terdiri dari:
 - Berat sendiri struktur (*selfweight*).
 - Berat beban *mass blocks*, dimana bebannya menjadi massa pada setiap tingkat struktur.
 - Beban gempa berdasarkan data riwayat waktu yang telah didapatkan melalui menu *Functions – Time History*.
- Menjalankan analisis pada SAP2000 dengan beban-beban yang telah diinputkan
- Mendata hasil yang didapatkan dari proses analisis, berupa: simpangan struktur dan simpangan setiap lantai (arah X dan Y), gaya gempa dasar, reaksi tumpuan, gaya-gaya dalam yang terjadi pada komponen struktural (lentur dan aksial), frekuensi, dan periode.
- Melakukan analisis.

Pembebanan gempa pada model struktur menggunakan data riwayat waktu (*time history*). Data tersebut dalam bentuk percepatan untuk setiap tingkatan kekuatan gempa. Tingkat kekuatan gempa yang digunakan adalah gempa 250 gal, 400 gal, 500 gal, 600 gal, 700 gal, 800 gal, 900 gal, dan 1000 gal. Data riwayat waktu tersebut dijadikan sebagai input beban gempa pada pemodelan SAP2000.

Dalam proses pengujian digunakan beban gempa 2 arah, yaitu arah Utara Selatan (N-S) dan arah Timur Barat (E-W). Sehingga dalam pembebanan gempa pada SAP2000 juga diterapkan beban gempa dua arah, yaitu arah X dan Y. Pembebanan model sesungguhnya dapat dilihat pada **Gambar 5**.



Gambar 5. Pengujian model sesungguhnya arah NS dan EW
Sumber : Peraturan Kompetisi IDEERS 2015

Variabel-variabel yang dipakai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Variabel Bebas

Yang merupakan variabel bebas adalah konfigurasi portal (bentuk denah tampak atas atau *plan configuration*), susunan kolom, dan susunan balok.

2. Variabel Terikat

Variabel terikat dalam penelitian ini adalah simpangan, gaya gempa dasar, frekuensi natural, periode, dan gaya-gaya dalam yang terjadi pada struktur.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisis dengan Eksperimen

Metode pengujian dilakukan dengan pengamatan model satu-persatu sehingga kamera dapat merekam besarnya simpangan pada puncak gedung. *Mass block* pada pengujian ini diikat dengan tali agar tidak terjatuh. Nilai perpindahan dilihat dari rekaman kamera. Pengujian menggunakan dua kamera depan dan samping, depan untuk melihat *displacement* dan samping untuk melihat *mode shape*. Pengujian dilakukan dengan melihat nilai *displacement* saat terjadi gempa, sedangkan nilai yang diambil adalah nilai saat pergerakan bukan di awal dan akhir pergerakan *shaking table*. Model struktur dan *mass block* yang sudah terpasang, kemudian diletakkan pada

shaking table, seperti terlihat pada **Gambar 6**. Sedangkan *mode shape* pada model struktur persegi dengan pengujian simpangan 3 cm, 5 cm (pengujian ke-1) dan 5 cm (pengujian ke-2) dapat dilihat pada **Gambar 7** berikut.



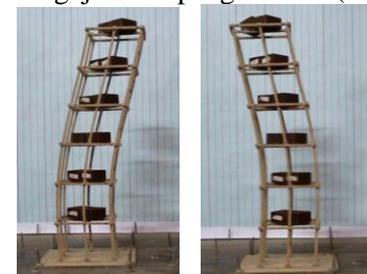
Gambar 6. Model struktur dan *mass block* yang sudah terpasang



(a) Pengujian simpangan 3 cm



(b) Pengujian simpangan 5 cm (ke-1)



(b) Pengujian simpangan 5 cm (ke-2)

Gambar 7. *Mode shape* pada struktur persegi

Setelah dilakukan pengujian pengujian untuk model struktur dengan denah persegi, maka selanjutnya adalah model struktur dengan denah persegi

panjang dan segi delapan. Pelaksanaan pengujian model hampir sama dengan sebelumnya, tetapi untuk model ini sudah menggunakan penambahan ikatan tali dengan tujuan agar *mass block* tidak jatuh.

Untuk penilaian besar simpangan yang terjadi menggunakan asumsi yang diperoleh dari hasil rekaman kamera, selanjutnya video diperlambat sehingga dapat terlihat besar simpangannya. Simpangan pada model uji difokuskan pada simpangan bagian dari kanan bangunan. Kemudian penentuan *mode shape* dari setiap benda uji, yang penentuannya berdasarkan pada rekaman video saat pendataan simpangan. Perilaku disini difokuskan pada terjadinya puntir atau tidak pada bangunan.

Rekapitulasi besaran simpangan model uji dapat dilihat pada **Tabel 2** berikut. Sedangkan rekapitulasi bentuk mode shape digambarkan pada **Tabel 3** dan **Tabel 4** berikut.

Tabel 2. Rekapitulasi simpangan model uji

| Pengujian (Simpangan) | Persegi (cm) | Persegi Panjang (cm) | Segi Delapan (cm) |
|-----------------------|--------------|----------------------|-------------------|
| 2 cm | 10 | 10 | 12,5 |
| 3 cm | 12 | 11 | 13-13,5 |
| 5 cm (ke-1) | 13-13,5 | 12,5 | 15,5 |
| 5 cm (ke-2) | 15 | 13 | 17-17,5 |
| 5 cm (ke-3) | - | - | 18,5 |
| 5 cm (ke-4) | - | - | 20 |
| 8 cm | - | 17,5 | - |

Tabel 3. Rekapitulasi bentuk *mode shape* pada model uji

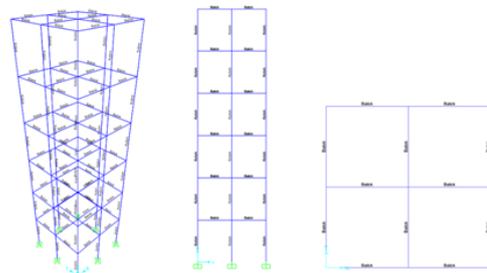
| Pengujian (Simpangan) | Persegi (cm) | Persegi Panjang (cm) | Segi Delapan (cm) |
|-----------------------|--------------|----------------------|-------------------|
| 2 cm | Searah | Sedikit puntir | Puntir |
| 3 cm | Searah | Sedikit puntir | Puntir |
| 5 cm (ke-1) | Searah | Sedikit puntir | Puntir |
| 5 cm (ke-2) | Searah | Sedikit puntir | Puntir |
| 5 cm (ke-3) | - | - | Puntir |
| 5 cm (ke-4) | - | - | Puntir |
| 8 cm | - | Sedikit puntir | - |

Tabel 4. Rekapitulasi bentuk *mode shape*

| Pengujian (Simpangan) | Persegi (cm) | Persegi Panjang (cm) | Segi Delapan (cm) |
|-----------------------|--------------|----------------------|-------------------|
| 2 cm | Mode 1 | Mode 1 | Mode 1 |
| 3 cm | Mode 1 | Mode 1 | Mode 1 |
| 5 cm (ke-1) | Mode 2 | Mode 2 | Mode 2 |
| 5 cm (ke-2) | Mode 2 | Mode 2 | Mode 2 |
| 5 cm (ke-3) | - | - | Mode 2 |
| 5 cm (ke-4) | - | - | Mode 3 |
| 8 cm | - | Mode 3 | - |

4.2. Analisis secara Teoritis dengan SAP2000

Gambar pemodelan untuk struktur portal 3D berbentuk persegi di SAP2000 dapat dilihat pada **Gambar 8** berikut ini.



Gambar 8. Pemodelan struktur portal 3D pada SAP2000 ver18.1.1

Berdasarkan hasil analisis, diperoleh simpangan maksimum yang terjadi pada struktur portal 3D, yang ditampilkan pada **Tabel 5** berikut ini.

Tabel 5a. Simpangan maksimum arah X pada portal dengan konfigurasi persegi (1)

| Lantai | Perpindahan (<i>Displacement</i>) Arah X untuk Kekuatan Gempa (cm) | | | |
|--------|--|---------|---------|---------|
| | 250 gal | 400 gal | 500 gal | 600 gal |
| 6 | 60,847 | 97,355 | 121,693 | 146,032 |
| 5 | 5,608 | 89,728 | 11,216 | 134,592 |
| 4 | 47,877 | 76,603 | 95,754 | 114,905 |
| 3 | 3,665 | 58,642 | 73,302 | 87,962 |
| 2 | 2,334 | 3,735 | 46,688 | 56,025 |
| 1 | -12,418 | -19,869 | -24,836 | -29,803 |

Tabel 5b. Simpangan maksimum arah X pada portal dengan konfigurasi persegi (2)

| Lantai | Perpindahan (<i>Displacement</i>) Arah X untuk Kekuatan Gempa (cm) | | | |
|--------|--|---------|---------|----------|
| | 700 gal | 800 gal | 900 gal | 1000 gal |
| 6 | 170,293 | 194,709 | 220,596 | 245,097 |
| 5 | 15,695 | 179,456 | 203,322 | 225,903 |
| 4 | 133,992 | 153,207 | 173,593 | 19,287 |
| 3 | 102,571 | 117,283 | 132,903 | 147,658 |
| 2 | 65,335 | 7,47 | 84,606 | 93,996 |
| 1 | -34,784 | -39,738 | -44,713 | -49,682 |

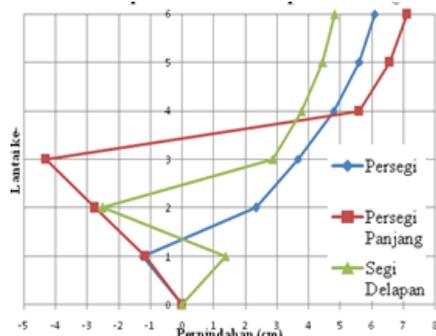
Tabel 6a. Simpangan maksimum arah Y pada portal dengan konfigurasi persegi (1)

| Lantai | Perpindahan (<i>Displacement</i>) Arah Y untuk Kekuatan Gempa (cm) | | | |
|--------|--|---------|---------|---------|
| | 250 gal | 400 gal | 500 gal | 600 gal |
| 6 | 51,149 | 8,186 | 102,325 | 122,758 |
| 5 | 4,726 | 75,637 | 94,546 | 113,425 |
| 4 | 40,422 | 64,691 | 80,864 | 97,013 |
| 3 | 31,056 | 49,704 | 6,213 | 74,536 |
| 2 | -30,172 | -48,279 | -60,348 | -72,413 |
| 1 | 15,898 | 25,426 | 31,783 | 38,155 |

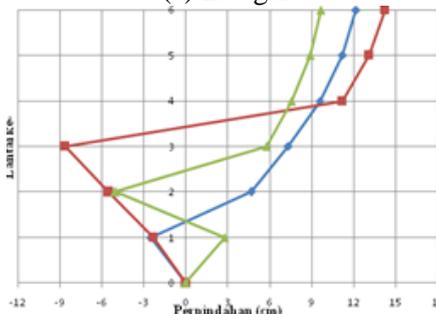
Tabel 6b. Simpangan maksimum arah Y pada portal dengan konfigurasi persegi (2)

| Lantai | Perpindahan (<i>Displacement</i>) Arah Y untuk Kekuatan Gempa (cm) | | | |
|--------|--|---------|----------|----------|
| | 700 gal | 800 gal | 900 gal | 1000 gal |
| 6 | 143,217 | 163,719 | 184,871 | 205,434 |
| 5 | 132,329 | 151,272 | 170,821 | 189,822 |
| 4 | 113,181 | 129,385 | 146,125 | 162,378 |
| 3 | 86,958 | 99,408 | 112,279 | 124,766 |
| 2 | -84,482 | -96,554 | -108,649 | -120,748 |
| 1 | 44,514 | 50,874 | 5,723 | 63,571 |

Sedangkan untuk hasil perpindahan pada konfigurasi persegi panjang dan segi delapan, hasilnya secara jelas dapat dilihat pada **Gambar 8** dan **Gambar 9**.

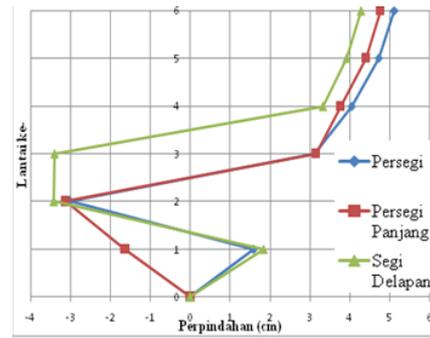


(a) 250 gal

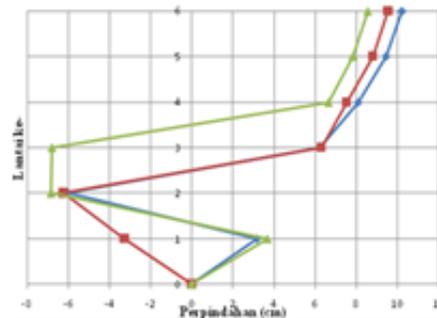


(a) 500 gal

Gambar 8. Perbandingan perpindahan antar model dalam arah X



(a) 250 gal



(a) 500 gal

Gambar 8. Perbandingan perpindahan antar model dalam arah Y

Berdasarkan gambar yang ada, dapat diketahui perpindahan yang terjadi pada tiap lantai, dimana bentuk struktur segi delapan mempunyai perpindahan paling kecil, sedangkan model persegi mempunyai perpindahan paling besar pada lantai paling atas (lantai ke-6).

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- Terdapat perbedaan bentuk *mode shape* pada setiap konfigurasi. Untuk konfigurasi persegi, *mode shape* yang terjadi adalah searah (*mode 1*), sedangkan untuk konfigurasi persegi panjang terjadi sedikit puntir dan termasuk *mode 1*, *2*, dan *3*. Konfigurasi segi-delapan mengalami puntir yang kemungkinan disebabkan oleh penempatan *mass block* yang tidak simetris serta termasuk bangunan *irregular*, dimana bentuk *mode shape*-nya termasuk *mode 1*, *2*, *3*.

- b. Terdapat beberapa perbedaan perilaku struktur yang terjadi antara hasil analisis dengan SAP2000 dan pembuatan modelisasi struktur di laboratorium. Hal tersebut dikarenakan input beban gempa yang dimasukkan ke dalam analisis SAP 2000 belum disesuaikan dengan input riil yang ada di alat shaking table test.
- c. Rata-rata kerusakan model struktur yang terjadi adalah kerusakan yang terjadi pada kolom, yang diakibatkan nilai kekakuan dari kolom lebih kecil daripada balok.

Beberapa saran yang diberikan setelah dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Untuk melakukan validasi analisis, input beban yang dimasukkan sebaiknya menggunakan input yang sama.
- b. Pemasangan *mass block* agar diusahakan sekuat mungkin menempel pada struktur balok, sehingga tidak terjadi keruntuhan struktur akibat jatuhnya *mass block* yang menimpa balok atau kolom.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Ghosh, S.K. and Fanella, D.A. (2003), "Seismic and Wind Design of Concrete Buildings", *International Code Council*, United States.
- Departemen Pekerjaan Umum. (2012), SNI 1726-2012, "Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-gedung", Badan Standardisasi Nasional, Jakarta, Indonesia.
- ACI 374.1-05. (2005). Acceptance Criteria for Moment Frames Based on Structural Testing and Commentary. Farmington Hills, Michigan: ACI Committee.
- ASTM E 564-06. (2006). Practice for Static Load Test for Shear Resistance of Framed Walls for Buildings. West Conshohocken, Pennsylvania: ASTM International.
- FEMA 273. (1997). NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings. Washington, D.C.: Federal Emergency Management Agency.
- SNI 03-1726-2002. (2002). Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan Gedung. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- SNI 7973-2013. (2013). Spesifikasi Disain untuk Konstruksi Kayu. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.