

ANALISIS EFEKTIVITAS PENERAPAN *OUTRIGGER* PADA BANGUNAN BERTINGKAT DALAM MENGURANGI SIMPANGAN DENGAN VARIASI BENTUK *OUTRIGGER*

ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS OF *OUTRIGGER* IMPLEMENTATION IN HIGH RISE BUILDING TO REDUCE THE DISPLACEMENT WITH VARIATIONS OF *OUTRIGGER* SHAPES

Liana Widya Hari*¹, Agustinus Agus Setiawan²

*Email: lianawidya98@gmail.com

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknologi dan Desain, Universitas Pembangunan Jaya, Tangerang Selatan

²Program Studi Teknik Sipil, Center for Urban Studies, Universitas Pembangunan Jaya, Tangerang Selatan

Abstrak—Gedung bertingkat tentu harus aman dan handal untuk menghadapi gempa yang sering terjadi di Indonesia, sehingga muncul inovasi bernama struktur *outrigger*. Sistem *outrigger* adalah suatu sistem struktur yang menghubungkan *shear/corewall* dengan kolom terluar dari suatu bangunan bertingkat. Desain *outrigger* sendiri memiliki banyak variasi bentuk *outrigger*, misalnya bentuk *truss* (X), V, dan Λ . Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas penerapan *outrigger* pada gedung bertingkat dalam mengurangi simpangan yang terjadi dengan variasi dari bentuk *outrigger*. Analisis akan dilakukan pada gedung 40 lantai dengan variasi tujuh model yaitu, model bangunan tanpa *outrigger*, model bangunan dengan *outrigger* berbentuk (X), (V), dan (Λ) yang masing-masing terletak di dua ketinggian yang berbeda. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bangunan dengan *outrigger* terbukti dapat mengurangi simpangan dan model bangunan dengan *outrigger* berbentuk (X) pada ketinggian 0,25h dan 0,75h merupakan yang paling efektif dalam memikul beban gempa yang terjadi. Pada model tersebut, penerapan *outrigger* dapat mengurangi simpangan hingga 10,75% pada arah X dan 5,52% pada arah Y.

Kata kunci— Analisis Struktur, *Outrigger*, Beban Gempa, Simpangan, ETABS.

Abstract—High rise buildings must be safe and reliable to face the earthquakes that often occur in Indonesia, so that an innovation called *outrigger* structures appears. *Outrigger* system is a structural system that connects the *shear/corewall* with the outer column of a high rise building. *Outrigger* design has many variations of *outrigger* shape, for example *truss* (X), V, and Λ . This study has an objective to determine the effectiveness of *outriggers* implementation in high rise buildings to reducing displacement that occur with variations of *outriggers* shapes. The analysis will be carried out on a 40-story building with a variation of seven models. The models consists of a building model without *outriggers*, building models with *outriggers* shaped (X), (V), and (Λ), each of which is located at two different heights. The results showed that buildings with *outriggers* proved to be able to reduce the displacement and the model of buildings with *outriggers* in the form of (X) that located at 0.25h and 0.75h was the most effective in bearing the earthquake load that occurred. In this model, the application of *outrigger* can reduce the displacement up to 10.75% in the X direction and 5.52% in the Y direction

Keywords— Structure Analysis, *Outrigger*, Earthquake Load, Displacement, ETABS.

I. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara yang masuk daerah kegempaan aktif, catatan menunjukkan bahwa dalam rentang waktu tahun

1976 - 2006 sudah terjadi 3.486 gempabumi dengan magnitudo lebih dari 6,0 SR. Apabila data tersebut dirata-ratakan maka Indonesia mengalami kejadian gempabumi sebanyak 2 kali dan tsunami 1 kali setiap tahunnya [1]. Beberapa kejadian kegempaan

sering kali menimbulkan kerusakan maupun kerugian yang signifikan [2]. Hal ini terjadi karena Indonesia berada di perbatasan lempeng-lempeng tektonik aktif yang terdiri dari tiga lempeng tektonik utama dan satu lempeng tektonik kecil. Ketiga lempeng tektonik tersebut adalah lempeng tektonik Indo-Australia, lempeng Eurasia dan lempeng Pasifik serta lempeng kecil Filipina [3].

Gemerlap kota metropolitan seperti DKI Jakarta selalu menjadi daya tarik bagi para pendatang dari daerah lain. Berdasarkan hasil proyeksi penduduk 2015-2045 survei penduduk antar sensus (SUPAS) 2015 yang dilakukan oleh Badan Pusat Statistik (BPS) [4], menunjukkan jumlah penduduk DKI Jakarta pada tahun 2045 akan mencapai puncaknya yaitu dengan total 11,24 juta penduduk. Jika dibandingkan dengan luas DKI Jakarta yang hanya 661,5 km² maka kondisi DKI Jakarta pada tahun 2045 akan sangat padat.

Dengan kondisi penduduk yang semakin padat, kebutuhan akan tempat tinggal juga semakin tinggi. Sehingga masyarakat dipaksa harus mencari tempat tinggal yang tidak lagi mendatar tetapi menjulang ke atas untuk menghemat ruang. Meskipun permintaan gedung bertingkat meningkat tetapi tidak boleh dilupakan bahwa gedung bertingkat tersebut harus aman dan handal untuk menghadapi beban lateral. Semakin tinggi bangunan maka beban lateral yang diterima akan semakin besar. Salah satu beban lateral adalah beban gempa.

Pada umumnya pembangunan gedung bertingkat hanya mengandalkan dinding geser atau *shearwall* untuk menahan beban gempa. Tetapi pada bangunan yang cukup tinggi jika hanya mengandalkan dinding geser bisa jadi desain dari dinding geser menjadi kurang efisien. Oleh karena itu muncul inovasi bernama struktur *outrigger* [5,6]. *Outrigger* sendiri belum banyak dipelajari dan diperkenalkan di Indonesia sehingga penerapannya masih sangat jarang. Desain *outrigger* memiliki banyak variasi bentuk misalnya bentuk truss (X), V, dan Λ .

Syahrir [7] melakukan penelitian dengan membandingkan antara *shearwall* dan kombinasi antara *shearwall-outrigger*. Penelitian yang dilakukan memperoleh hasil yaitu struktur gedung yang menggunakan *outrigger* mempunyai nilai kekakuan yang lebih besar dari pada struktur gedung yang tidak menggunakan *outrigger*. Penggunaan *outrigger* dapat memperkecil gaya dalam yang diterima *shearwall*. Hal ini mengakibatkan dimensi strukturnya dapat diperkecil.

Penelitian lainnya dilakukan oleh Hardiman [8] yang melakukan kajian kinerja sistem struktur

outrigger dan *belt wall* pada gedung tinggi akibat beban gempa. Hasil penelitiannya yaitu sistem *outrigger* dan *belt wall* menghasilkan efektivitas kinerja yang baik yang memenuhi syarat kontrol kinerja struktur dan dinyatakan aman terhadap gempa. Sistem *outrigger* dan *belt wall* dapat mengurangi massa struktur atau berat total struktur terhadap sistem *shearwall frame* sehingga bermuara pada perancangan struktur yang ekonomis.

Rodianti [3] melakukan penelitian tentang variasi tata letak *outrigger* pada struktur bangunan gedung tinggi. Hasil penelitiannya yaitu sistem *outrigger* dapat memberikan kontribusi menahan gaya lateral seperti beban gempa struktur bangunan bertingkat. Namun penempatan sistem *outrigger* yang tidak tepat akan membuat kinerja sistem *outrigger* tidak efektif. Setelah melakukan perbandingan simpangan, diperoleh lokasi optimum dari penempatan 2 (dua) set *outrigger* pada bangunan setinggi 40 lantai adalah penempatan *outrigger* pada 1/2 dan 3/4 dari tinggi bangunan.

Angerik [9] melakukan kajian terhadap beban angin pada bangunan bertingkat tinggi yang menggunakan sistem *outrigger truss*. Dari hasil penelitian yang dilakukan disimpulkan bahwa bangunan tingkat tinggi yang menggunakan sistem *outrigger* memiliki *displacement* lateral yang lebih kecil dibandingkan dengan bangunan yang tidak menggunakannya. Lokasi optimum penempatan *single outrigger* pada bangunan 40 lantai adalah ditengah ketinggian gedung yaitu pada lantai 20.

Sementara itu Junita [10] melakukan studi terhadap respons struktur bangunan tinggi dengan variasi penempatan *outrigger* terhadap beban lateral, dengan mengambil studi kasus pada Bangunan Tower A ST. Moritz Panakukang. Penelitian yang dilakukan memperoleh hasil bahwa penambahan sistem *outrigger* pada 1/4h dan 1/2h yang merupakan *soft story* menyebabkan adanya ketidakberaturan massa. Ketidakberaturan massa pada lantai lunak mengakibatkan mengecilnya nilai *base shear*, besarnya periode bangunan, besarnya nilai *displacement* serta *story drift*. Jika mempertimbangan keefektifan, penggunaan sistem *outrigger* tidak perlu digunakan pada St. Morits Panakukang, karena bangunan yang sudah kaku akibat konfigurasi *core wall* dan *shearwall* yang sudah tepat pada struktur bangunan ini.

Masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah kinerja struktur ditinjau dari simpangan yang terjadi bila menerima beban gempa, terutama pada gedung bertingkat. Tetapi *outrigger* memiliki beberapa variasi bentuk yang belum pernah dikaji.

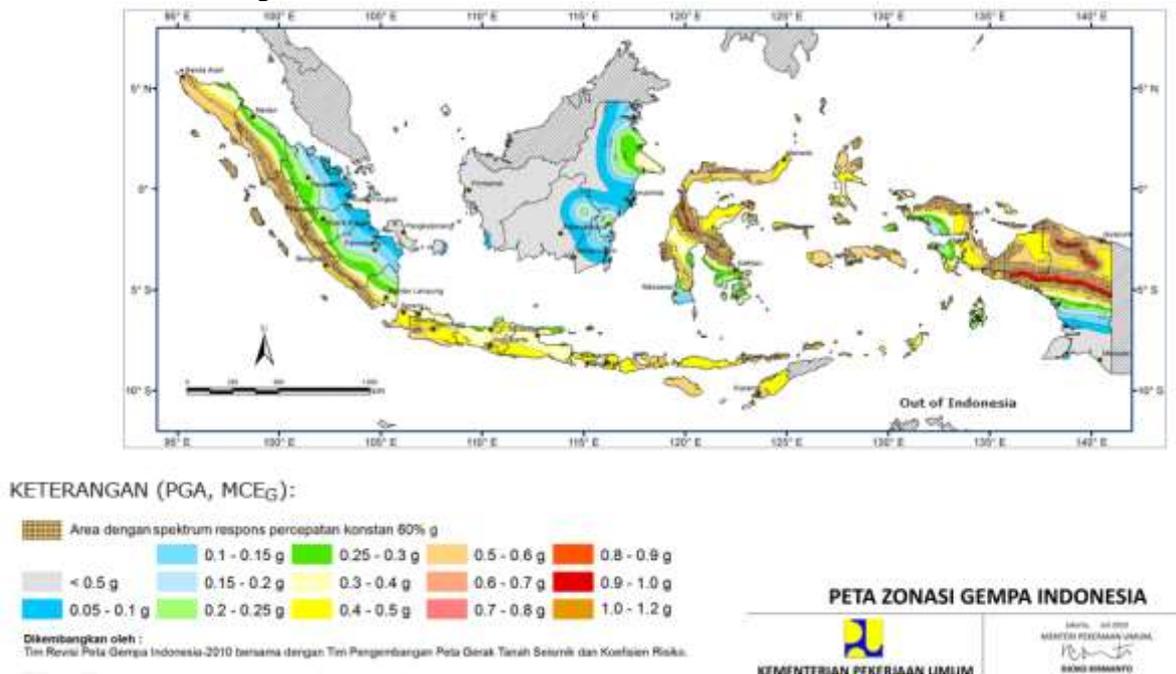
Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penerapan *outrigger* pada gedung bertingkat terhadap simpangan yang terjadi akibat beban gempa dan kombinasi variasi bentuk *outrigger* paling efektif untuk diterapkan pada gedung bertingkat agar dapat memikul simpangan yang terjadi akibat beban gempa. Manfaat dari penelitian ini adalah untuk memperoleh sistem struktur bangunan tinggi yang lebih efektif terutama dalam memikul beban gempa bumi.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Perencanaan Gempa

Untuk melakukan perencanaan bangunan tahan gempa di Indonesia, perlu mengacu pada peraturan SNI 03-1726-2012 tentang “Tata Cara Perencanaan

Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung” [11]. Peta gempa yang digunakan adalah peta gempa Indonesia tahun 2010 yang dibuat berdasarkan gempa rencana dengan periode ulang 2500 tahun (probabilitas kejadian 2% dalam kurun waktu 50 tahun). Peta gempa ini memuat informasi tentang percepatan puncak batuan dasar (*peak ground acceleration*), ditunjukkan dalam Gambar-1. Respons spektrum rencana dibuat berdasarkan peta percepatan batuan dasar periode pendek 0,2 detik (S_s), dan percepatan batuan dasar untuk periode 1 detik (S_1) untuk probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun, dengan redaman 5%. Gambar-2 menunjukkan bentuk spektrum respon gempa rencana yang akan digunakan untuk menentukan beban gempa pada struktur.



Gambar-1. Peta Percepatan Puncak Batuan Dasar (PGA) 2% dalam 50 Tahun [11].

Untuk membuat grafik spektrum respons desain diperlukan beberapa parameter sebagai berikut:

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (1)$$

$$T_S = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (2)$$

$$C_a = 0,4 S_{DS} \quad (3)$$

$$C_v = S_{D1} \quad (4)$$

dengan:

S_{DS} : Parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek (g)

S_{D1} : Parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik (g)

Koefisien respons seismik (C_s) ditentukan sesuai dengan persamaan (5):

$$C_s = \frac{S_a}{R/I_e} \quad (5)$$

Nilai C_s yang telah dihitung dengan persamaan (5) harus memenuhi syarat berikut:

$$0,01 < 0,044 \times S_{DS} \times I_e < C_s \quad (6)$$

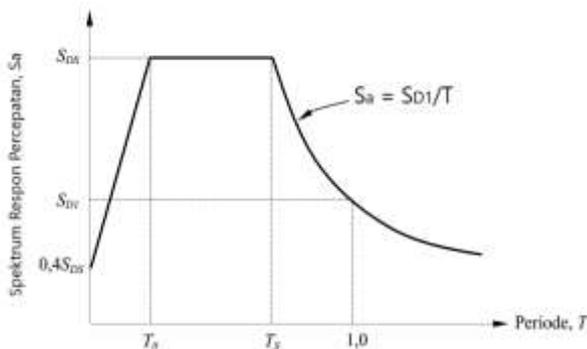
dengan:

S_a : Spektrum respons percepatan desain (g)

R : Faktor modifikasi respons

I_e : Faktor keutamaan gempa

S_1 : Parameter percepatan spektrum respons maksimum yang dipetakan (g)



Gambar-2. Spektrum Respons Desain [13].

Gaya geser dasar seismik (V) dalam arah yang ditetapkan harus sesuai dengan persamaan berikut:

$$V = C_s \times W \quad (7)$$

dengan :

C_s : Koefisien respons seismik

W : Berat struktur (kg)

Gaya gempa lateral yang timbul di semua tingkat harus ditentukan dari persamaan berikut:

$$F_x = C_{vx} \times V \quad (8)$$

$$C_{vx} = \frac{W_i \times h_i^k}{\sum W_i \times h_i^k} \quad (9)$$

dengan:

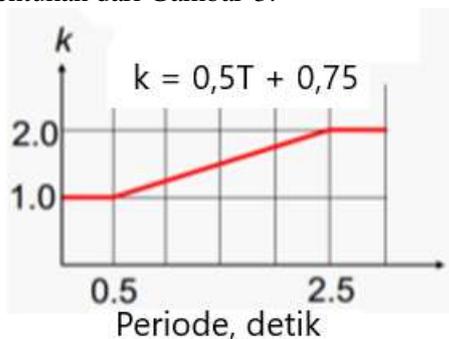
C_{vx} : Faktor distribusi vertikal

V : Gaya geser di dasar struktur (kgf)

W_i : Berat total struktur (W) yang ditempatkan pada Tingkat i (kg)

h_i : Tinggi dari dasar sampai tingkat ke- i (m)

k : Eksponen terkait dengan periode struktur, ditentukan dari Gambar-3.



Gambar-3. Grafik Penentu Nilai k [13].

Simpangan antar lantai (*story drift*) harus selalu diperiksa untuk menjamin stabilitas serta menjamin kenyamanan. Penentuan simpangan antar lantai (Δ) harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa di tingkat teratas dan terbawah yang ditinjau. Defleksi pusat massa di tingkat x (δ_x) harus dihitung sesuai persamaan berikut:

$$\delta_x = \frac{C_d \times \delta_{xe}}{I_e} \quad (10)$$

dimana,

δ_x : Defleksi pusat massa (mm)

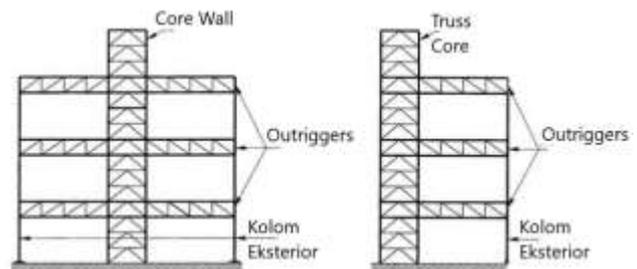
C_d : Faktor pembesaran defleksi

δ_{xe} : Defleksi pada lokasi lantai yang ditinjau (mm)

I_e : Faktor keutamaan gempa

B. Sistem *Outrigger*

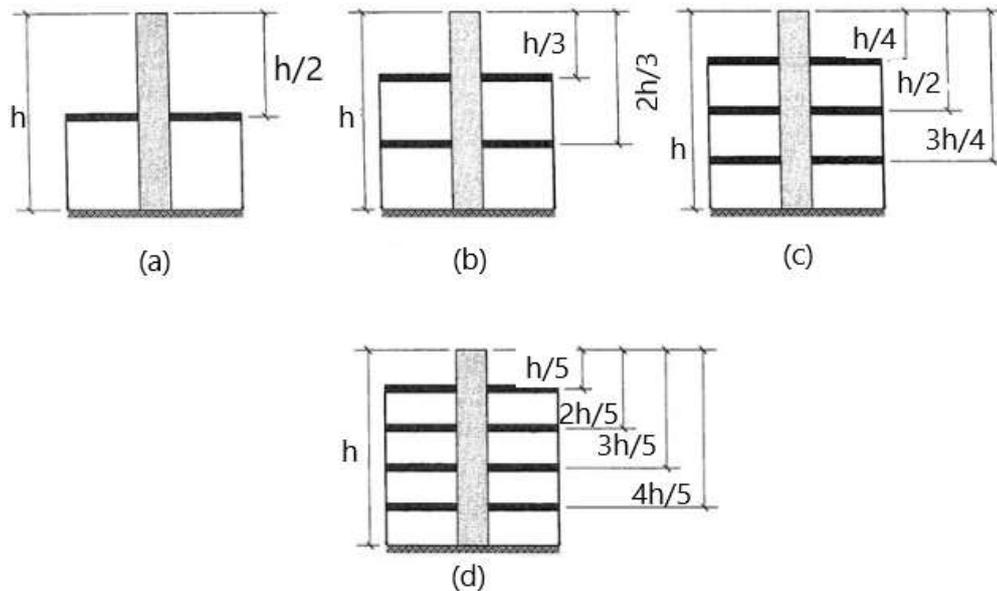
Sistem *outrigger* adalah suatu sistem struktur yang menghubungkan *shear/corewall* dengan kolom terluar dari suatu bangunan bertingkat [7]. Penggunaan *outrigger* bertujuan untuk membantu kinerja *shear/corewall*. *Outrigger* juga dapat mengurangi momen yang terjadi pada *shear/corewall*, menambah kekakuan struktur, dan mengurangi simpangan yang terjadi. Meskipun *outrigger* handal dalam meningkatkan kekakuan struktur tetapi *outrigger* tidak dapat meningkatkan ketahanan terhadap geser yang merupakan fungsi utama dari *shear/corewall*. *Outrigger* dapat terbuat dari rangka baja, beton, maupun komposit.



Gambar-4. Penempatan *Outrigger* [2].

Gambar-4 menunjukkan penempatan dari *outrigger* pada bangunan, *outrigger* dapat memanjang ke kolom bangunan di satu sisi dan terhubung dengan *shear/corewall* di sisi lain atau *shear/corewall* terletak di tengah bangunan dengan *outrigger* memanjang di kedua sisi.

Kinerja maksimal dari penggunaan *outrigger* dipengaruhi oleh letak *outrigger* pada bangunan, tinggi bangunan, dan jumlah *outrigger* yang akan digunakan. Bungale [12] menyatakan lokasi optimum untuk *outrigger* tunggal yaitu 1/2 dari ketinggian bangunan yang dapat mereduksi simpangan hingga 75%. Tetapi jika terdapat pertimbangan arsitektural, penempatan *outrigger* di bagian atas bangunan masih dianggap layak walaupun hanya dapat mereduksi simpangan hingga 50%.



Gambar-5. Posisi Optimum dari *Outrigger* [12].

Gambar-5 menunjukkan lokasi optimum dari *outrigger* agar kinerja dari *outrigger* dapat bekerja secara optimal menurut Bungale [12]. Untuk n -*outrigger*, *outrigger* harus ditempatkan di $\frac{1}{n+1}$, $\frac{2}{n+1}$, $\frac{3}{n+1}$, ..., $\frac{4}{n+1}$ dari ketinggian bangunan.

III. METODE

Metode penelitian yang dilakukan terbagi dalam 4 bagian yaitu pengumpulan data, *input*, analisis, dan *output*. Tahap pengumpulan data yaitu berisi denah bangunan, penentuan dimensi struktur, material struktur, dan variabel lain yang diperoleh dari SNI 03-1726-2012, serta pembuatan model. Model yang akan dibuat terdiri dari tujuh model, yaitu model 1a bangunan tanpa *outrigger*, model 2a adalah bangunan dengan *outrigger* bentuk X, masing-masing diketinggian $0,25h$ dan pada $0,75h$ serta $0,5h$ dan $1h$ untuk model 2b, model 3a adalah bangunan dengan *outrigger* bentuk V masing-masing di ketinggian $0,25h$ dan $0,75h$ serta pada $0,5h$ dan $1h$ untuk model 3b. Sedangkan model 4a adalah bangunan dengan *outrigger* dengan bentuk V terbalik (Λ) masing-masing di ketinggian $0,25h$ dan $0,75h$ serta pada $0,5h$ dan $1h$ untuk model 4b. Jenis-jenis model struktur yang akan dianalisis dirangkum dalam Tabel-1.

Tahap *input* data yaitu dilakukannya proses *input* data-data yang telah diperoleh pada tahap pengumpulan data. Proses *input* tersebut dilakukan di pemodelan 3 dimensi yang telah dibuat. Tahap analisis yaitu dilakukannya proses analisis

menggunakan bantuan dari program ETABS 2016 v16.2.0 untuk mengetahui hasil simpangan pada setiap model yang telah dibuat. Dan tahap terakhir adalah *output*, pada tahap ini akan diperoleh hasil akhir dan penarikan kesimpulan.

Tabel-1. Model Analisis

Model (1)	Bentuk <i>Outrigger</i> (2)	Posisi (3)
1	Tanpa <i>Outrigger</i>	-
2a	X	$0,25h$ dan $0,75h$
2b	X	$0,5h$ dan $1h$
3a	V	$0,25h$ dan $0,75h$
3b	V	$0,5h$ dan $1h$
4a	Λ	$0,25h$ dan $0,75h$
4b	Λ	$0,5h$ dan $1h$

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Data Teknis Bangunan

Pada proses analisis digunakan contoh denah bangunan dengan jumlah lantai sebanyak 40 lantai dan ketinggian setiap lantai adalah 4 meter.

Tabel-2. Ukuran kolom

Lantai (1)	Ukuran (mm^2) (2)	f'_c (MPa) (3)
1 -10	900×900	30
11 -20	850×850	30
11 -20	850×850	30
21 -30	800×800	30
31 -40	750×750	30

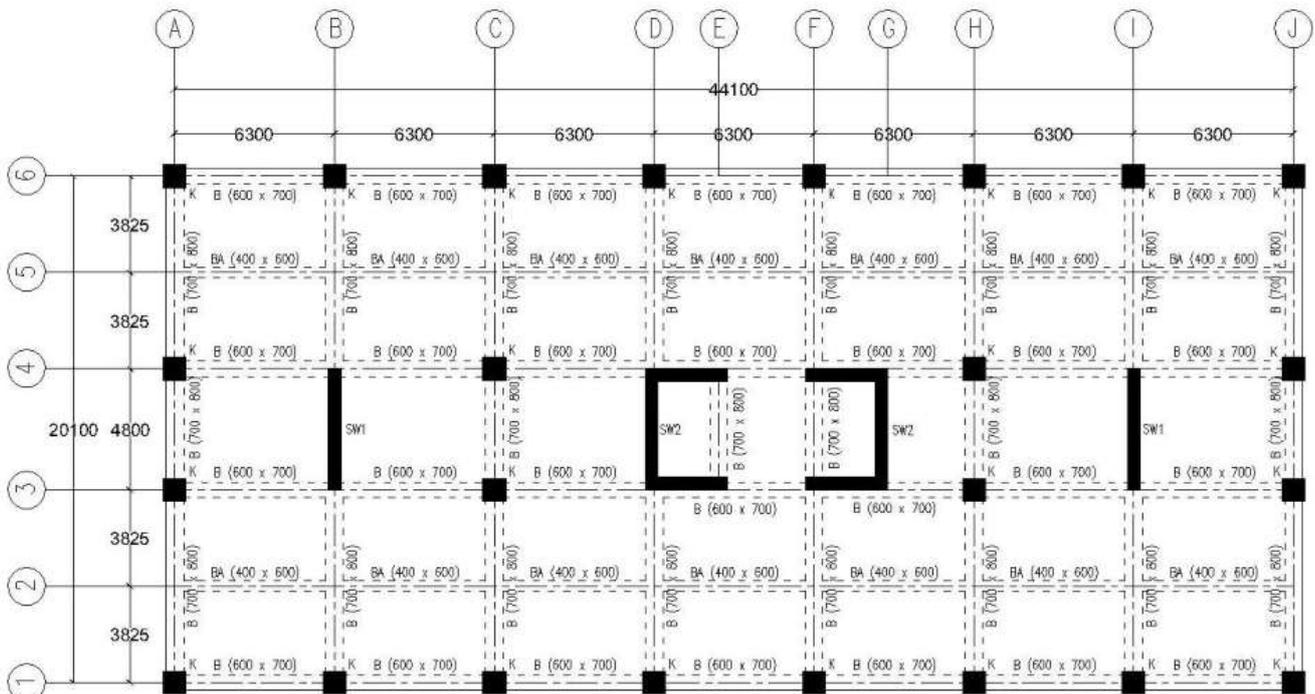
Data ukuran/dimensi dan mutu beton struktur yang digunakan untuk struktur kolom dapat dilihat pada Tabel-2. Sedangkan data untuk balok dan pelat lantai serta dinding geser, meliputi ukuran dan mutu beton yang dipakai dapat dilihat pada Tabel-3 dan Tabel-4. Gambar-6 memperlihatkan denah lantai tipikal yang digunakan dalam pembuatan model struktur gedung. Pembebanan pada struktur gedung, meliputi beban mati dan beban hidup mengacu pada SNI 03-1727-2013 tentang Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain [13].

Tabel-3. Ukuran balok

Nama (1)	Ukuran (mm ²) (2)	f'_c (MPa) (3)
B 600/700	600 × 700	30
B 700/800	700 × 800	30
BA 400/600	400 × 600	30

Tabel-4. Ukuran plat lantai dan dinding geser

Struktur (1)	Keterangan (2)	Ukuran (mm) (3)	f'_c (MPa) (4)
Plat Lantai	Tebal	130	30
Dinding Geser	Tebal	500	40
	Panjang	4800	
Corewall	Tebal	500	40
	Panjang X	3250	
	Panjang Y	4800	

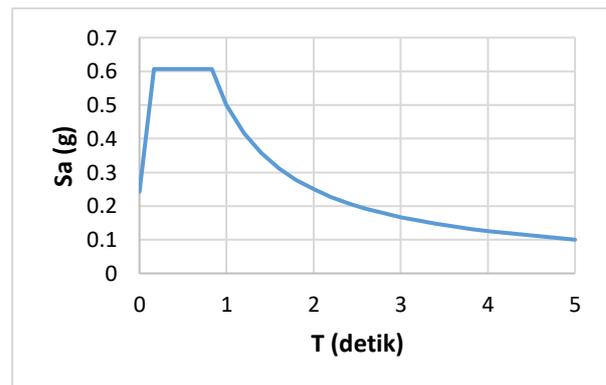


Gambar-6. Denah Struktur Bangunan.

B. Data Gempa

Respon spektrum gempa dibuat berdasarkan SNI 03-1726-2012 [13]. Bangunan dianggap berada di wilayah Kota Tangerang Selatan ($S_s = 0,65g$; $S_1 = 0,25g$), dengan kategori risiko II, faktor keutamaan 1 dan klasifikasi situs dianggap sebagai tanah lunak (SE).

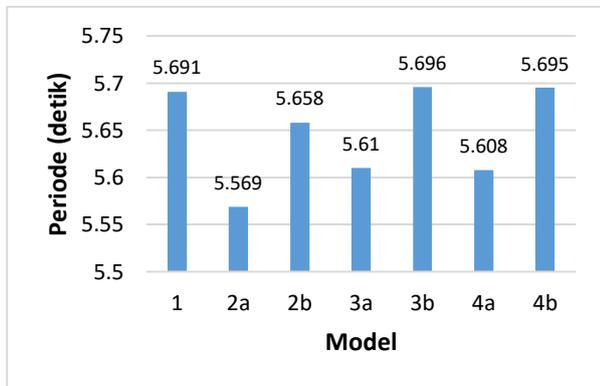
Grafik respons spektrum gempa rencana diperlihatkan dalam Gambar-7



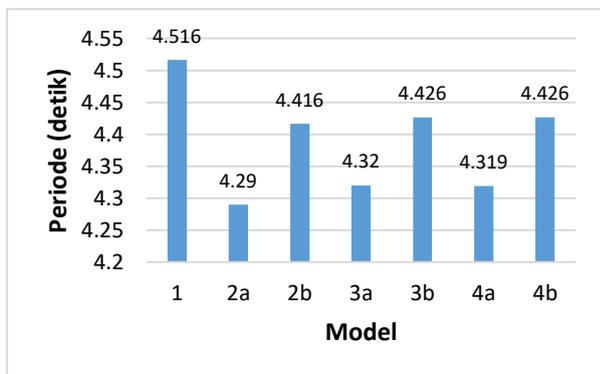
Gambar-7. Grafik Spektrum Respons Desain.

C. Periode Getar

Perhitungan periode getar struktur diperoleh dari hasil analisis dengan bantuan program ETABS. Hasil perhitungan periode getar untuk ketujuh model ditunjukkan dalam Gambar-8 (untuk arah-X) dan Gambar-9 (untuk arah-Y) sebagai berikut:



Gambar-8. Perbandingan Periode pada Arah X.



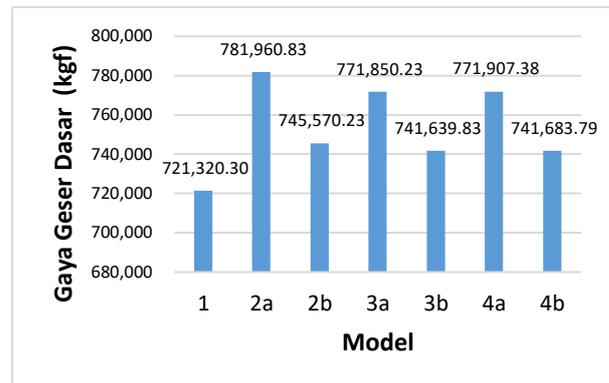
Gambar-9. Perbandingan Periode pada Arah Y.

Dari Gambar-8 dan Gambar-9 dapat disimpulkan bahwa model 2a atau bangunan dengan (X) *outrigger* di ketinggian 0,25h dan 0,75h memiliki periode terkecil dengan nilai 5,569 detik pada arah X dan 4,29 detik pada arah Y. Sedangkan model dengan periode terbesar adalah model 1 atau bangunan tanpa *outrigger* dengan nilai 5,691 detik pada arah X dan 5,416 detik pada arah Y.

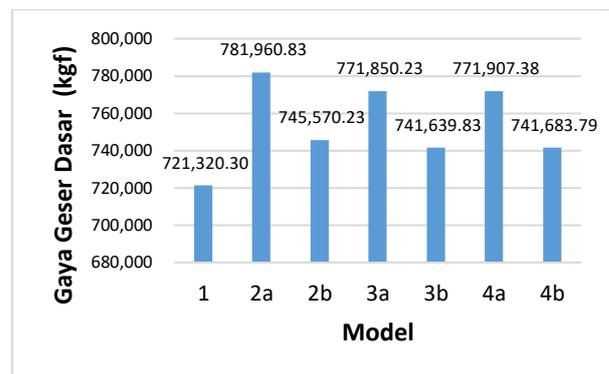
D. Gaya Geser Dasar (Base Shear)

Gaya geser dasar dipengaruhi oleh berat bangunan itu sendiri. Oleh karena itu model tanpa *outrigger* memiliki nilai gaya geser dasar lebih kecil dibandingkan model dengan *outrigger*, karena bangunan dengan *outrigger* memiliki berat bangunan tambahan akibat *outrigger*. Hasil perhitungan gaya geser dasar untuk ketujuh model

ditunjukkan dalam Gambar-10 (untuk arah-X) dan Gambar-11 (untuk arah-Y) sebagai berikut:



Gambar-10. Perbandingan Gaya Geser Dasar pada Arah X.

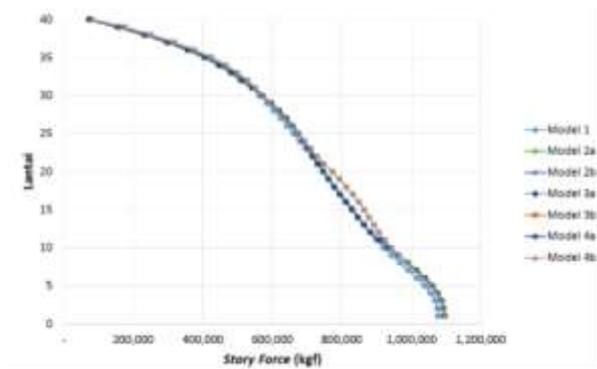


Gambar-11. Perbandingan Gaya Geser Dasar pada Arah Y.

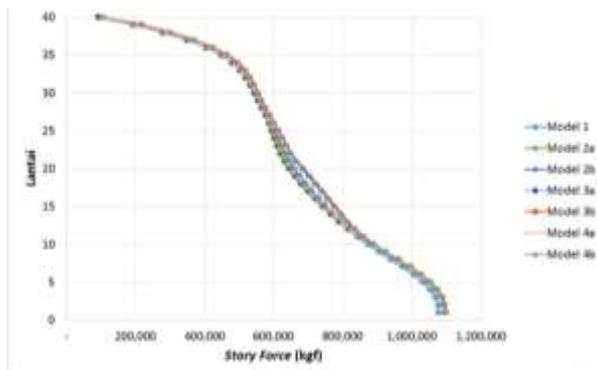
Dari Gambar-10 dan Gambar-11 dapat disimpulkan bahwa model 1 atau bangunan tanpa *outrigger* memiliki gaya geser dasar terkecil yaitu 721.320,3 kgf pada arah X dan 649.777,01 kgf pada arah Y. Sedangkan model dengan gaya geser dasar terbesar adalah model 2a atau bangunan dengan (X) *outrigger* di ketinggian 0,25h dan 0,75h yaitu 781.960,83 kgf pada arah X dan 695.883,02 pada arah Y.

E. Gaya Geser Tingkat (Story Shear)

Story shear atau gaya geser tingkat merupakan hasil kumulatif dari distribusi gaya gempa pada setiap lantai bangunan yang dipengaruhi oleh berat bangunan itu sendiri. Oleh karena itu model tanpa *outrigger* memiliki nilai gaya geser dasar lebih kecil dibandingkan model dengan *outrigger*, karena bangunan dengan *outrigger* memiliki berat bangunan tambahan akibat *outrigger*. Hasil perhitungan gaya geser tingkat untuk ketujuh model ditunjukkan dalam Gambar-12 (untuk arah-X) dan Gambar-13 (untuk arah-Y).



Gambar-12. Perbandingan *Story Shear* pada Arah X.



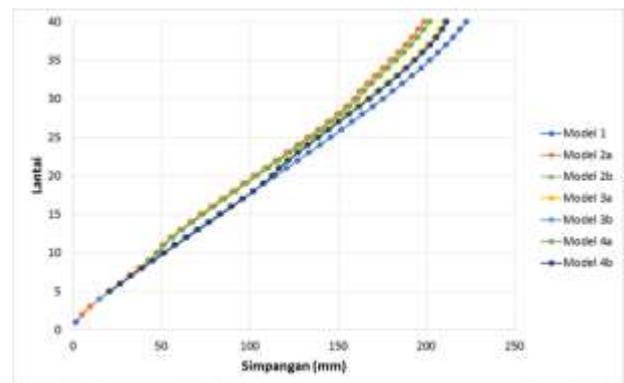
Gambar-13. Perbandingan *Story Shear* pada Arah Y.

Dari Gambar-12 dan Gambar-13 dapat disimpulkan bahwa model 1 atau bangunan tanpa *outrigger* memiliki *story shear* terkecil dari ketujuh model yang telah dianalisis baik pada arah X dan arah Y. Sedangkan model dengan *story shear* terbesar adalah model 3b atau bangunan dengan (V) *outrigger* di ketinggian $0,5h$ dan $1h$ baik pada arah X dan arah Y.

F. Simpangan (*Displacement*)

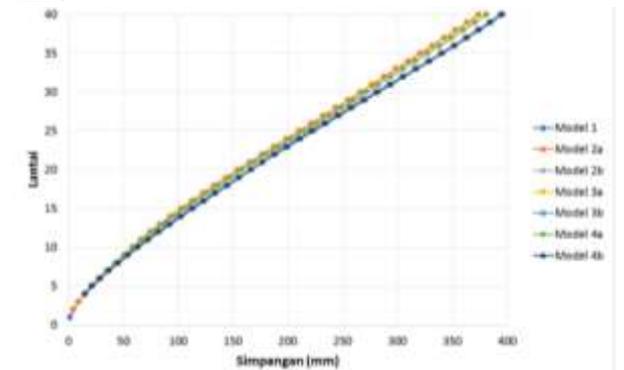
Simpangan adalah salah satu mekanisme kontrol terhadap kinerja dari suatu struktur bangunan. Simpangan yang dihasilkan dari ketujuh model ditunjukkan dalam Gambar-14 (untuk arah-X) dan Gambar-15 (untuk arah-Y). Simpangan pada bagian lantai atap (*roof top*) menjadi acuan utama yang akan dibandingkan.

Dari Gambar-15 dapat ditinjau pada lantai teratas yaitu lantai 40 arah Y menunjukkan bahwa model 2a atau bangunan dengan (X) *outrigger* di ketinggian $0,25h$ dan $0,75h$ memiliki simpangan terkecil yaitu 373,55 mm. Sedangkan model dengan simpangan terbesar adalah model 1 atau bangunan tanpa *outrigger* dengan nilai 395,36 mm.



Gambar-14. Perbandingan Simpangan pada Arah X.

Dari Gambar-14 dapat ditinjau pada lantai teratas yaitu lantai 40 arah X bahwa model 2a atau bangunan dengan (X) *outrigger* di ketinggian $0,25h$ dan $0,75h$ memiliki simpangan terkecil dengan nilai 198,63 mm. Sedangkan model dengan simpangan terbesar adalah model 1 atau bangunan tanpa *outrigger* dengan nilai 222,55 mm.



Gambar-15. Perbandingan Simpangan pada Arah Y.

Tabel-5 dan Tabel-6 menunjukkan persentase pengurangan simpangan, dari hasil yang diperoleh dapat dilihat bahwa dengan penerapan *outrigger* pada bangunan maka simpangan yang terjadi akan mengalami pengurangan, model 2a menunjukkan pengurangan simpangan terbesar untuk arah-X maupun arah-Y.

Tabel-5. Presentase pengurangan simpangan arah-X

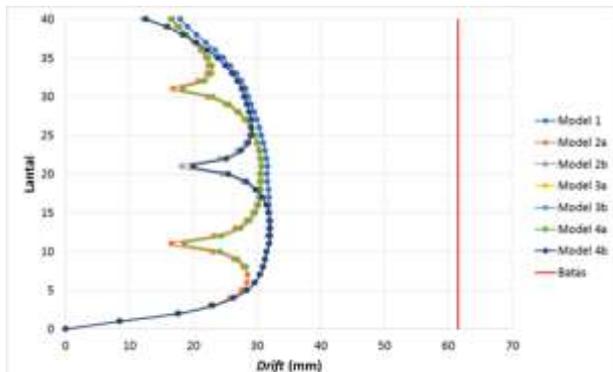
Model (1)	Δ Max (mm) (2)	Δ' Max (mm) (3)	Pengurangan Δ (%) (4)
1	222,55	222,55	0%
2a	198,63	222,55	10,75%
2b	210,07	222,55	5,60%
3a	201,98	222,55	9,24%
3b	211,52	222,55	4,96%
4a	201,91	222,55	9,27%
4b	211,48	222,55	4,97%

Tabel-6. Presentase pengurangan simpangan arah-Y

Model (1)	Δ Max (mm) (2)	Δ' Max (mm) (3)	Pengurangan Δ (4)
1	395,36	395,36	0%
2a	373,55	395,36	5,52%
2b	393,22	395,36	0,54%
3a	380,91	395,36	3,65%
3b	394,98	395,36	0,10%
4a	380,60	395,36	3,73%
4b	394,86	395,36	0,13%

G. Simpangan antar Lantai (Drift)

Simpangan antar lantai (*drift*) merupakan hasil selisih dari simpangan yang terjadi pada bangunan. Hasil *drift* ini harus dikontrol berdasarkan SNI 03-1726-2012 [13]. Nilai *drift* yang diperoleh harus memenuhi syarat yaitu tidak boleh melebihi nilai syarat $drift < \Delta/1,3$ yang pada Gambar-16 dan Gambar-17 ditunjukkan dengan garis merah di sisi paling kanan.

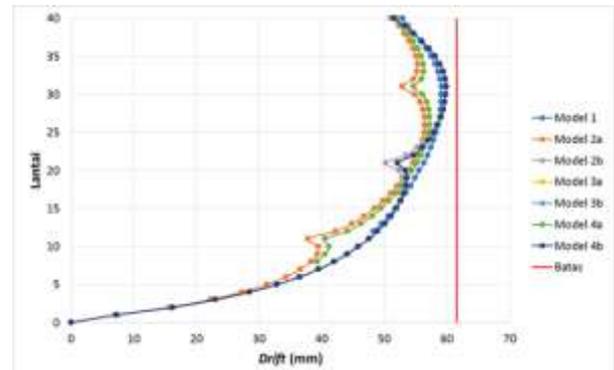


Gambar-16. Perbandingan *Drift* pada Arah X

Dari Gambar-16 dapat disimpulkan bahwa semua model pada arah X sudah memenuhi syarat *drift*. Dan model 2a atau bangunan dengan (X) *outrigger* di ketinggian 0,25h dan 0,75h memiliki *drift* terkecil, sedangkan model dengan *drift* terbesar adalah model 1 atau bangunan tanpa *outrigger*. Terlihat juga pada beberapa lantai mengalami penurunan *drift* yang cukup drastis dibandingkan dengan lantai lainnya, hal tersebut diakibatkan karena pada lantai tersebut terpasang struktur *outrigger* yang akan menambah kekakuan.

Dari Gambar-17 diperoleh bahwa semua model pada arah Y sudah memenuhi syarat dari *drift*. Dan model 2a atau bangunan dengan (X) *outrigger* bentuk X di ketinggian 0,25h dan 0,75h memiliki *drift* terkecil, sedangkan model dengan *drift* terbesar adalah model 1 atau bangunan tanpa

outrigger. Terlihat juga pada beberapa lantai mengalami penurunan *drift* yang cukup drastis dibandingkan dengan lantai lainnya, hal tersebut diakibatkan karena pada lantai tersebut terpasang struktur *outrigger* yang akan menambah kekakuan.



Gambar-17 Perbandingan *Drift* pada Arah Y.

H. Optimasi Struktur Bangunan

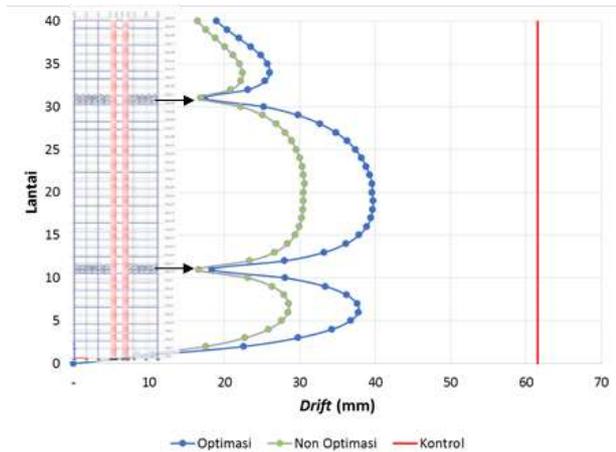
Dengan penggunaan struktur tambahan *outrigger* di ketinggian yang tepat menyebabkan simpangan yang terjadi dapat dikurangi cukup signifikan. Dari analisis yang telah dilakukan dengan menggunakan berbagai bentuk variasi *outrigger* dan di beberapa variasi ketinggian penempatan, diperoleh bahwa model 2a atau bangunan dengan *outrigger* berbentuk (X) di ketinggian 0,25h dan 0,75h merupakan yang paling efektif dalam mengurangi simpangan yang terjadi pada bangunan dengan ketinggian 40 lantai.

Manfaat dari berkurangnya simpangan yang terjadi yaitu dapat dilakukannya optimasi pada struktur bangunan. Pada kasus ini dilakukan optimasi dengan mengurangi ketebalan dinding geser dan *corewall* dari 500 mm menjadi 400 mm, mengurangi dimensi B 600/700 menjadi 500 mm \times 600 mm, dimensi B 700/800 menjadi 600 mm \times 700 mm, dan dimensi BA 400/600 menjadi 400 mm \times 500 mm. Pengurangan dimensi yang dilakukan dapat dilihat pada Tabel-7.

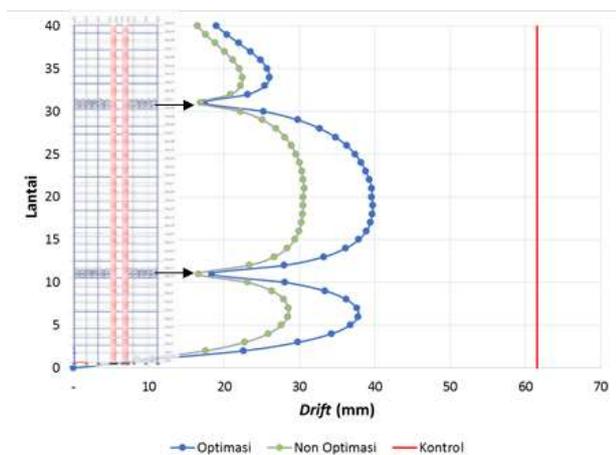
Tabel-7. Pengurangan dimensi struktur yang dilakukan

Struktur (1)	Ukuran Awal (2)	Ukuran Baru (3)
B 600/700	600 \times 700 mm ²	500 \times 600 mm ²
B 700/800	700 \times 800 mm ²	600 \times 700 mm ²
BA 400/600	400 \times 600 mm ²	400 \times 500 mm ²
Dinding Geser	tebal 500 mm	Tebal 400 mm
<i>Corewall</i>	tebal 500 mm	Tebal 400 mm

Gambar-18 dan Gambar-19 menunjukkan pemeriksaan terhadap syarat simpangan antar lantai baik arah X maupun arah Y.



Gambar-18. Drift Model Optimasi pada Arah X.



Gambar-19. Drift Model Optimasi pada Arah Y.

Dari Gambar-18 dan Gambar 19, dapat dilihat dari kedua gambar tersebut bahwa simpangan antar lantai yang terjadi masih memenuhi syarat, yaitu $drift < \Delta/1,3$ untuk semua lantai. Terlihat juga pada lantai 10 dan 30 yang mengalami penurunan $drift$ yang cukup drastis karena terdapat struktur *outrigger*.

V. PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan pada keseluruhan model mengenai efektivitas penerapan *outrigger* pada bangunan bertingkat dalam mengurangi simpangan dengan variasi bentuk dari *outrigger* dapat disimpulkan bahwa:

1. Penerapan *outrigger* dapat meningkatkan kekakuan pada bangunan bertingkat dibandingkan dengan bangunan tanpa *outrigger*. Hal ini terlihat dari seluruh model dengan *outrigger* memiliki nilai simpangan yang lebih kecil dibandingkan dengan bangunan tanpa *outrigger*.
2. Dari seluruh model yang telah dianalisis pada bangunan bertingkat sebanyak 40 lantai. Model 2a atau bangunan dengan *outrigger* berbentuk (X) pada ketinggian 0,25h dan 0,75h merupakan yang paling efektif dibanding model lainnya dalam memikul beban gempa yang terjadi. Pada model 2a, penerapan *outrigger* dapat mengurangi simpangan hingga 10,75% pada arah X dan 5,52% pada arah Y.
3. Penggunaan *outrigger* dapat meningkatkan kekakuan bangunan mengakibatkan dimensi struktur bangunan lainnya dapat dikurangi. Pada model yang menggunakan data Apartemen Transpark Bintaro jika diterapkan seperti model 2a atau bangunan dengan *outrigger* berbentuk (X) pada ketinggian 0,25h dan 0,75h, dapat dilakukan pengurangan dimensi dinding geser, *corewall*, dan balok.

B. Saran

1. Untuk penelitian selanjutnya dapat menggunakan contoh bangunan lain, karena untuk penggunaan *outrigger* pada satu bangunan dengan bangunan lainnya akan memberikan efek yang berbeda-beda. Dapat juga menggunakan contoh bangunan yang berada di daerah lain, karena beban gempa pada setiap daerah berbeda-beda.
2. Pada penelitian kali ini hanya menggunakan 3 variasi bentuk *outrigger*. Untuk penelitian selanjutnya bisa mengembangkan variasi lain dari bentuk *outrigger* yang dapat digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sunarjo M, Taufik G, Sugeng P. *Gempabumi Edisi Populer*. Jakarta: Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. 2012.
- [2] Urip S, Indra G, Priyobudi, et al. *Katalog Gempabumi Signifikan dan Merusak 1821-2018 Per Tahun*. Jakarta: Pusat Gempabumi dan Tsunami Kedeputian Bidang Geofisika BMKG. 2019.

- [3] Estty R, Steenie E, Banu D. Respons Dinamis Bangunan Bertingkat Banyak dengan Variasi Tata Letak *Outrigger*. *Jurnal Sipil Statik*. 2018; 6(3): 163-174.
- [4] Badan Pusat Statistik. *Proyeksi Penduduk Indonesia 2015-2045 Hasil SUPAS 2015*. Jakarta: Badan Pusat Statistik. 2018.
- [5] Mir M, Kyoung S. Structural Developments in Tall Buildings: Current Trends and Future Prospect. *Architectural Science Review*. 2007; 50(3): 205-223.
- [6] Ran D, Mu-Xuan T, Xin N. Fishbone-Shaped Beam–Column Model for Steel Outrigger Truss–Concrete Wall Composite Join. *Journal of Constructional Steel Research*. 2018; 145: 386-396.
- [7] Yachub S, M. Faishal M, Data I, Trijoko W. Analisis Perbandingan Efektivitas Struktur Gedung dengan Menggunakan *Shearwall* dan kombinasi antara *Shearwall-Outrigger*. *Jurnal Teknik Pomit*. 2012; 1(1): 1-6.
- [8] Satria E, Mukahar, Agus S. Kinerja Sistem Struktur *Outrigger* dan *Belt Wall* pada Gedung Tinggi akibat Pembebanan Gempa. *E-Jurnal Matriks Teknik Sipil*. 2017; 823-830.
- [9] Verik A. *Analisis Respons Beban Angin pada Bangunan Beton Tingkat Tinggi yang Menggunakan Sistem Outrigger Truss*. Skripsi. Medan: Sarjana USU. 2009.
- [10] Bella Junita, B. Respon Struktur Bangunan Tinggi dengan Variasi Penempatan *Outrigger* Terhadap Beban Lateral (Studi Kasus : Bangunan Tower A St. Moritz Panakukang). Skripsi Program Studi Pendidikan Teknik Bangunan. Universitas Negeri Jakarta. 2018.
- [11] SNI 03-1726-2012 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.
- [12] Bungale S. *Wind and Earthquake Resistant Buildings*. Los Angeles, California: Marcel Dekker. 2005.
- [13] Pusat Litbang Perumahan dan Permukiman Balitbang Kementerian PUPR Republik Indonesia, <http://puskim.pu.go.id/>, 3 November 2019.