

RESPON STRUKTUR GEDUNG BERTINGKAT BANYAK DENGAN *LAYOUT* PERSEGI PANJANG MENGGUNAKAN DINDING GESER DI PERIMETER BAGIAN LUAR DAN DI BAGIAN DALAM

Sekar Mentari ^[1]

^[1]Dosen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Tanri Abeng
Jl. Swadarma Raya No.58, Ulujami, Kec. Pesanggrahan, Kota Jakarta Selatan, DKI Jakarta 12250
Email: sekarmentari22@gmail.com

ABSTRAK

Intensitas gempa yang terjadi di Indonesia cukup banyak, maka gedung–gedung tinggi yang ada di daerah–daerah di Indonesia harus didesain tahan gempa. Penelitian ini dilakukan secara numerik dimana modelisasi dari struktur bangunan dilakukan dengan menggunakan *software* ETABS yang berbasis metode elemen hingga untuk mengetahui respon struktur dari gedung bertingkat dengan *layout* persegi panjang akibat adanya dinding geser yang berada di bagian dalam dan sisi luar gedung. Hasil modelisasi numerik dari respon struktur gedung menunjukkan bahwa *mode shape* pertama dan kedua tidak menunjukkan rotasi dan pada *mode shape* ketiga barulah terjadi rotasi. Partisipasi massa juga telah mencapai 90% pada pola ragam getar ke 7 untuk arah X, pola ragam getar ke 8 untuk arah Y, dan pola ragam getar ke 9 untuk arah Z. Gaya geser dasar struktur hasil analisis dinamik juga belum memenuhi persyaratan 85% gaya geser statik untuk di arah Y sehingga perlu dilakukan skala pembesaran. Respon terakhir yang dilihat adalah simpangan antar tingkat dari model struktur dimana masih di bawah dari simpangan yang diizinkan, namun memiliki selisih nilai yang cukup banyak.

Kata Kunci: Bangunan Bertingkat, Dinding Geser, Letak Dinding Geser, Pola Ragam Getar, Gaya Geser Dasar, Simpangan Antar Lantai.

ABSTRACT

The intensity of earthquake that occurred in Indonesia is quite a lot, so the high rise building in the regions of Indonesia must be design as earthquake resistant. This research was done numerically with a modelization of the building structure using ETABS software which is based on the finite element method to know the structure response of the high rise building with rectangular layout due to the shearwall inside and outside perimeter of the building. The numerical modelization results of the building structure response indicate that the first and second shape modes do not show any rotation and in the third shape mode there is rotation. The mass participation has also reached 90% in the 7th mode shape for the X direction, 8th mode shape for the Y direction, and 9th mode shape for the direction of Z. The base shear of the dynamic analysis has not yet fulfilled the requirements of 85% static shear forces on X direction so it needs to do scale magnification. The last response that was studied in this research is the drift of the structure which is still below the permitted permission deviation, but has a considerable difference in value.

Keyword: High Rise Building, Shearwall, Location of Shearwall, Mode Shape, Base Shear, Drift.

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara yang rawan terhadap bencana gempa bumi. Hal ini disebabkan karena lokasi Indonesia, baik ditinjau secara geografis maupun geologis terletak di titik yang rawan gempa. Ditinjau secara geografis, Indonesia berada pada pertemuan tiga lempeng kerak bumi, yaitu lempeng Eurasia, lempeng Pasifik, dan

lempeng India–Australia. Sedangkan ditinjau secara geologis, Indonesia berada pada pertemuan dua jalur gempa utama, yaitu jalur gempa Sirkum Pasifik dan jalur gempa *Alpide Transiatic*. Akibat letaknya ini, maka frekuensi terjadinya gempa di Indonesia cukup besar sehingga bangunan–bangunan yang ada harus dirancang untuk mampu menahan gaya gempa.

Dalam mengantisipasi gaya gempa yang bekerja, ada filosofi yang banyak digunakan hampir di seluruh belahan dunia, yaitu:

1. Pada gempa dengan skala kecil, bangunan tidak boleh mengalami kerusakan.
2. Pada gempa dengan skala sedang, bangunan tidak boleh mengalami kerusakan pada komponen struktural, sedangkan pada komponen nonstruktural boleh rusak.

Pada gempa dengan skala besar, komponen struktural boleh rusak tetapi bangunan tidak boleh sampai runtuh untuk meminimalisir jumlah korban jiwa yang terjadi. Oleh karena intensitas gempa yang terjadi di Indonesia cukup banyak, maka gedung–gedung tinggi yang ada di daerah–daerah di Indonesia harus didesain tahan gempa. Salah satu daerah yang memiliki banyak gedung tinggi adalah Jakarta. Seperti yang diketahui bahwa di Jakarta banyak sekali bangunan tinggi, baik itu perkantoran, hotel, apartemen, dan lain–lain.

Untuk hal tersebut maka perlu menggunakan sistem struktur penahan beban lateral untuk bangunan tinggi yang optimum dan meminimalisir resiko keruntuhan bangunan akibat gempa. Kinerja gedung beton bertulang dengan sistem ganda juga dipengaruhi oleh letak dan variasi geometri dinding geser dalam menerima beban gempa (Suhaimi, T. B. A; Afifuddin, M, 2014). Penempatan dan variasi bentuk dinding geser yang berbeda dapat mempengaruhi kekakuan struktur terhadap beban lateral yang diterima (Hasan, A; Astira, I F, 2013). Oleh karena itu dibuat penelitian untuk melihat respon struktur yang dihasilkan akibat adanya dinding geser yang diletakkan pada perimeter luar dan bagian dalam.

Melalui penelitian ini, dengan melihat pengaruh karakteristik bangunan tinggi akibat adanya dinding geser dapat dijadikan masukan maupun bahan pertimbangan dalam pengambilan keputusan pemakaian dinding geser dalam merancang struktur bangunan tinggi di Indonesia.

2. METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan secara numerik dimana modelisasi dari struktur bangunan dilakukan dengan menggunakan *software* ETABS yang merupakan program komputer yang dikembangkan dengan tujuan khusus untuk struktur bangunan. Program

tersebut juga menyediakan berbagai *tools* yang diperlukan untuk membuat, memodifikasi, menganalisis, merancang, dan mengoptimalkan model bangunan bagi *structural engineer*. ETABS merupakan program komputer yang berbasis elemen hingga (Anjaneyulu, B; Prakash, Jaya K, 2016). Metode elemen hingga merupakan teknik numerik untuk mencari solusi pendekatan dari persamaan differensial parsial dan berawal dari kebutuhan untuk memecahkan elastisitas yang kompleks serta masalah analisis struktural dalam teknik sipil, mekanik dan dirgantara. Penggunaan metode elemen hingga dapat secara signifikan mengurangi waktu dalam menganalisis maupun mendesain suatu struktur.

Permodelan dilakukan untuk mengetahui respon struktur dari bangunan tersebut ketika telah dilakukan pemberian beban baik beban vertikal maupun beban lateral (beban gempa) akibat adanya dinding geser yang berada di bagian dalam dan sisi luar gedung. Analisa perilaku atau respon struktur yaitu dengan melihat pola ragam getar, partisipasi massa, gaya geser struktur, serta simpangan antar lantai yang terjadi.

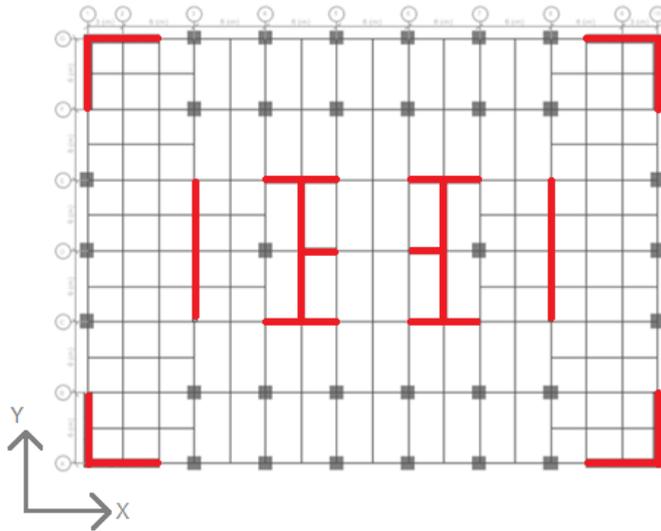
Permodelan gedung ini mengacu pada Standar Nasional Indonesia yaitu SNI 2847-2013 mengenai Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung, SNI 1727-2013 tentang Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain, dan SNI 1726-2012 mengenai Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.

3. STUDI KASUS

Data-data yang digunakan dalam studi kasus penelitian ini adalah bangunan persegi panjang dengan 25 lantai.

3.1 Layout Bangunan

Bangunan yang dianalisis pada penelitian ini adalah gedung perkantoran yang memiliki *layout* persegi panjang dengan dimensi terluar bangunan 48 m x 36 m dengan elevasi tiap lantai 4 m sebanyak 25 lantai. Struktur yang digunakan adalah struktur beton bertulang dengan sistem ganda. Dinding geser akan digunakan pada bangunan di bagian dalam serta pada bagian *lift* dan sisi luar bangunan di tiap sudut bangunan yang ditandai dengan warna merah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Denah Tipikal *Layout* Bangunan dan Letak Dinding Geser

Sistem struktur penahan beban gravitasi yang dipilih pada bangunan ini yaitu sistem rangka beton bertulang dengan balok dan kolom serta sistem pelat beton bertulang satu arah dan dua arah. Sedangkan sistem struktur penahan beban lateral, dimana dalam hal ini adalah gempa, dipilih sistem struktur *dual system*. Sistem ganda yang digunakan yaitu dinding geser dan sistem rangka pemikul momen yang sesuai dengan ketentuan SNI 1726-2012, Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung yaitu harus mampu menahan 25% gaya gempa desain arah x dan y. Sistem rangka pemikul momen terletak pada perimeter luar gedung di bagian sudutnya dan posisi dinding struktur berada di dalam gedung. Balok-balok beton bertulang tidak dirancang untuk memikul gempa.

3.2 Properti Material

Properti material yang digunakan pada struktur gedung perkantoran ini yaitu, untuk kolom serta dinding geser lantai dasar sampai lantai 15 menggunakan beton normal dengan kuat tekan 50 MPa. Untuk kolom dan dinding geser lantai 16 sampai lantai 25 menggunakan beton normal dengan kuat tekan 45 MPa. Untuk balok dan pelat lantai menggunakan beton normal dengan kuat tekan 40 MPa. Untuk baja tulangan yang digunakan adalah baja dengan nilai tegangan leleh sebesar 400 MPa.

3.3 Dimensi Komponen

Untuk dimensi atau ukuran elemen-elemen struktur yang tidak berubah-ubah yaitu ketinggian lantai dasar dan lantai tipikal sebesar 4 m. Dimensi kolom terdapat 2

jenis yaitu 1200 mm x 1200 mm dan 1000 mm x 1000 mm. Ukuran balok induk yang digunakan 500 mm x 1000 mm sedangkan balok anak memiliki dimensi lebih kecil yaitu 400 mm x 800 mm. Tebal pelat yang digunakan adalah 120 mm.

Tebal dinding geser dari lantai dasar sampai lantai 15 untuk dinding geser di perimeter luar memiliki tebal 600 mm sedangkan di bagian dalam gedung memiliki tebal 350 mm. Tebal dinding geser lantai di atasnya lebih kecil, dimana untuk lantai 16 sampai lantai 25, dinding geser di perimeter luar memiliki ketebalan 550 mm dan ketebalan dinding geser di bagian dalam sebesar 300 mm. Spesifikasi elemen dinding geser dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Spesifikasi Elemen Dinding Geser

Lantai	Letak	Tebal Dinding Geser (mm)	Mutu Beton (MPa)
1-15	Sisi Luar	600	50
	Sisi Dalam	350	50
16-25	Sisi Luar	550	45
	Sisi Dalam	300	45

3.4 Pembebanan Struktur

3.4.1 Beban Mati dan Beban Hidup

Yang termasuk beban mati yaitu berat sendiri elemen struktur serta beban mati tambahan. Sedangkan beban hidup adalah beban manusia yang bisa dilihat pada acuan Standar Nasional Indonesia (SNI 1727-2013) mengenai pembebanan gedung. Beban mati dan beban hidup yang digunakan pada penelitian ini terdapat pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2 Beban Mati

JENIS	BERAT
Berat sendiri (Beton)	24 kN/m ³
Berat sendiri (Baja)	78,5 kN/m ³
Penutup Lantai	1,5 kN/m ²
Penutup Lantai Atap	3,0 kN/m ²
MEP	0,3 kN/m ²
<i>Façade</i>	0,2 kN/m ²
Partisi	0,1 kN/m ²
Mekanik Atap	10 ton
<i>Roof Tank</i> Atap	40 ton

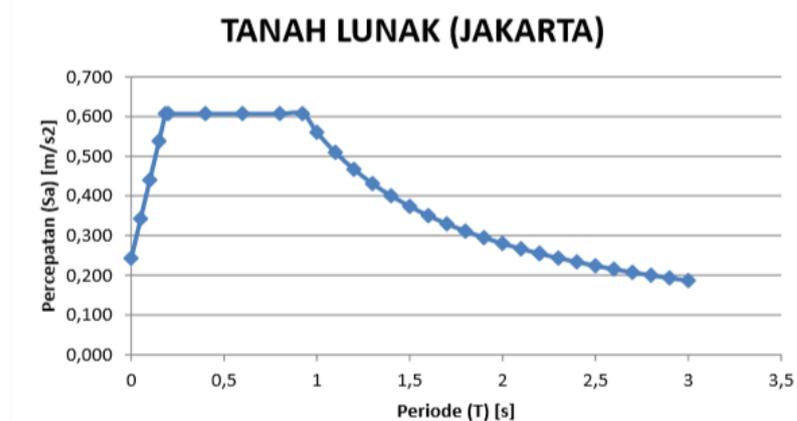
Tabel 3 Beban Hidup

JENIS	BERAT
Beban Hidup Lantai	2,4 kN/m ²
Beban Hidup Atap	0,96 kN/m ²

Beban Hidup Tangga	3,0 kN/m ²
Lift Motor Room	66 kN dan 51 kN
Lift Motor Room Barang	133 kN dan 88 kN

3.4.2 Beban Gempa

Beban gempa yang dikenakan pada struktur adalah beban gempa wilayah Jakarta untuk kondisi tanah lunak. Pembebanan gempa yang dilakukan menggunakan respon spektrum desain dengan nilai S_1 dan S_0 berdasarkan SNI 1726-2012 seperti Gambar 2.



Gambar 2 Grafik Respons Spektrum Gempa Desain Jakarta SNI 1726-2012

Sistem penahan gaya lateral yang digunakan yakni sistem ganda dengan nilai faktor reduksi $R = 7$. Wilayah Jakarta merupakan wilayah tanah lunak sehingga nilai respon seismik maksimum pada periode *predominant* adalah 0,067. Pembebanan gempa yang diberikan pada gedung berupa respon spektrum dengan grafik seperti Gambar 2.

3.4.3 Faktor Reduksi Komponen Struktur

Dalam perencanaan bangunan terhadap beban gempa, momen inersia penampang dari setiap komponen struktur direduksi karena mempertimbangkan terjadinya retak pada penampang saat gempa. Besarnya faktor reduksi dan permodelan tiap elemen sebagai berikut:

- Balok dimodelkan sebagai elemen *beam* biasa dimana distribusi tegangan masih elastis. Reduksi momen inersia menghasilkan $I_e=70\%$ dari I_g untuk arah lenturnya. *Torsional constant* juga diisi dengan angka 30%.
- Kolom dimodelkan sebagai *line element* biasa, reduksi momen inersia menghasilkan $I_e=70\%$ dari I_g untuk kedua arah.

- c. Dinding geser dimodelkan sebagai *shell element* karena memiliki DOF terlengkap. Reduksi kekakuan diambil 70% untuk kekakuan *membrane* arah f22 dan 35% jika terjadi *cracking*.
- d. Pelat dimodelkan sebagai *membrane element* karena asumsi bahwa pelat sangat kaku dalam arah bidangnya dan hanya mentransfer gaya gravitasi ke sistem penahan gaya gravitasi (tidak berkontribusi dalam menahan gaya gravitasi). Reduksi kekakuan diambil sebesar 25% untuk kekakuan *membrane* dan *shear*.

3.4.4 *Rigid Zone Factor*

Rigid zone factor ini merepresentasikan bahwa pada *joint* antara kolom balok akan terjadi retak yang bernilai. Pada pemodelan nilai *rigid zone factor* diberikan sebesar 1 untuk elemen kolom dan 0 untuk elemen balok untuk memastikan bahwa sendi plastis terjadi pada balok nantinya. Sehingga merepresentasikan kriteria perancangan bangunan tinggi dengan metode *strong column weak beam*.

3.4.5 *Mass Source*

Berdasarkan peraturan SNI 1726-2012, massa bangunan yang berkontribusi dalam analisa beban ialah beban sendiri.

3.4.6 *P-Δ Effect*

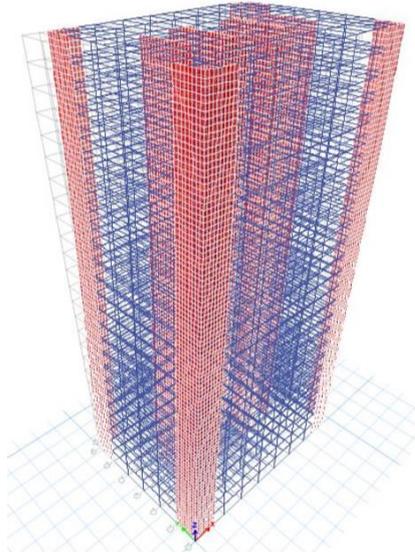
Selain itu, dalam analisa bangunan tinggi, fenomena P-Δ juga harus diperhitungkan. Efek P-Δ merepresentasikan momen guling tambahan yang dihasilkan oleh beban gravitasi yang bekerja melalui defleksi yang diakibatkan oleh beban lateral. Untuk dapat mengetahui efek P-Δ, maka terdapat beberapa metode analisis yaitu metode *iterative* dan *non iterative*.

Dalam penelitian ini, analisa P-Δ yang digunakan adalah metode iterasi yang berdasarkan *load combination*. Beban kombinasi yang dipakai dalam perhitungan menggunakan program ETABS ini yaitu 1.0DL+LL.

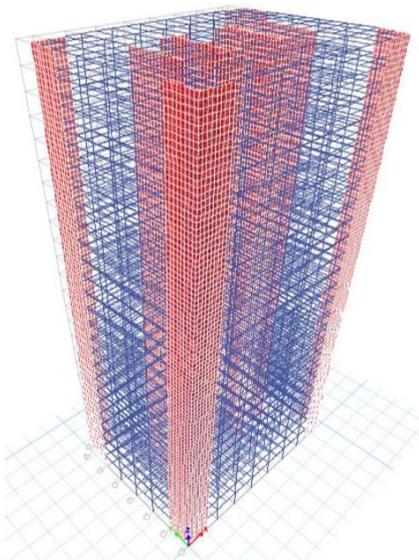
4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pola Ragam Getar

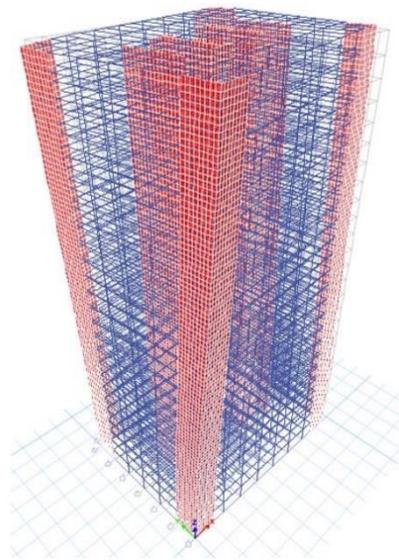
Gambar 3 sampai Gambar 5 adalah tiga ragam getar (*mode shape*) pertama yang terjadi pada struktur dalam penelitian ini. Dari bentuk pola ragam getar, dapat ditentukan arah respon getar gedung akibat beban-beban beserta beban gempa yang terjadi pada gedung.



Gambar 3 Bentuk Pola Ragam Getar Pertama



Gambar 4 Bentuk Pola Ragam Getar Kedua



Gambar 5 Bentuk Pola Ragam Getar Ketiga.

Terlihat pada Gambar 3 yang menyajikan pola ragam getar (*mode shape*) pertama, gedung mengalami translasi ke arah sumbu x dengan periode sebesar 2,421 detik. Gambar 4 adalah pola ragam getar (*mode shape*) kedua, gedung mengalami translasi ke arah sumbu y dengan periode sebesar 2,004 detik, sedangkan pada pola ragam getar (*mode shape*) ketiga yang disajikan pada Gambar 5, gedung mengalami translasi pada sumbu x dan y dengan periode 1,824 detik. Hal ini menunjukkan bahwa *mode shape* pertama dan kedua tidak menunjukkan rotasi. Namun pada *mode shape* ketiga baru

terjadi rotasi. Nilai periode gedung beserta arah translasi untuk tiga pola ragam getar yang lebih jelas dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Nilai Periode dan Arah Translasi Tiga Ragam Getar

Ragam Getar	Periode (T) (detik)	Keterangan
1	2,421	Translasi arah X
2	2,004	Translasi arah Y
3	1,824	Rotasi arah Z

4.2 Partisipasi Massa

Partisipasi massa adalah jumlah massa bangunan yang dibawa oleh tiap pola ragam getar (mode). Sesuai dengan SNI 1726-2012, partisipasi massa akumulatif dari bangunan untuk ketiga arah DOF (translasi x, translasi y, dan rotasi z) haruslah melebihi 90%. Nilai partisipasi massa dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5 Partisipasi Massa Tiap Mode

Mode	Periode (detik)	UX	UY	Sum UX	Sum UY	RZ	Sum RZ
1	2,421	0,7315	0	0,7315	0	0	0
2	2,004	0	0,7077	0,7315	0,7077	0	0
3	1,824	0	0	0,7315	0,7077	0,7092	0,7092
4	0,733	0,1233	0	0,8548	0,7077	0	0,7092
5	0,57	0	0,1417	0,8548	0,8494	0	0,7092
6	0,523	0	0	0,8548	0,8494	0,1349	0,8441
7	0,374	0,0489	0	0,9038	0,8494	0	0,8441
8	0,277	0	0,0564	0,9038	0,9058	0	0,8441
9	0,251	0	0	0,9038	0,9058	0,0569	0,901
10	0,234	0,0274	0	0,9312	0,9058	0	0,901
11	0,171	0	0,029	0,9312	0,9357	0	0,901
12	0,162	0,0175	0	0,9487	0,9357	0	0,901

Dari Tabel 5, pada pola ragam getar ke-7 jumlah partisipasi massa arah x sebesar 90,38 %, pada pola ragam getar ke-8 arah y sebesar 90,58 % dan rotasi z sebesar 90,1 % pada pola ragam getar ke-9. Nilai ketiganya telah melebihi nilai minimum yaitu 90%.

4.3 Gaya Geser Dasar Struktur

Dari pemodelan struktur yang telah dilakukan didapatkan nilai gaya geser dasar hasil analisis dinamik dengan menggunakan program ETABS. Kemudian nilai gaya geser dasar ini dibandingkan dengan nilai gaya geser dasar hasil analisis statik ekuivalen.

Dalam SNI 1726-2012 disyaratkan bahwa gaya geser dasar dari hasil analisa dinamik harus mempunyai nilai minimal 85% dari gaya geser dasar analisa statik ekivalen (pasal 7.9.4.1).

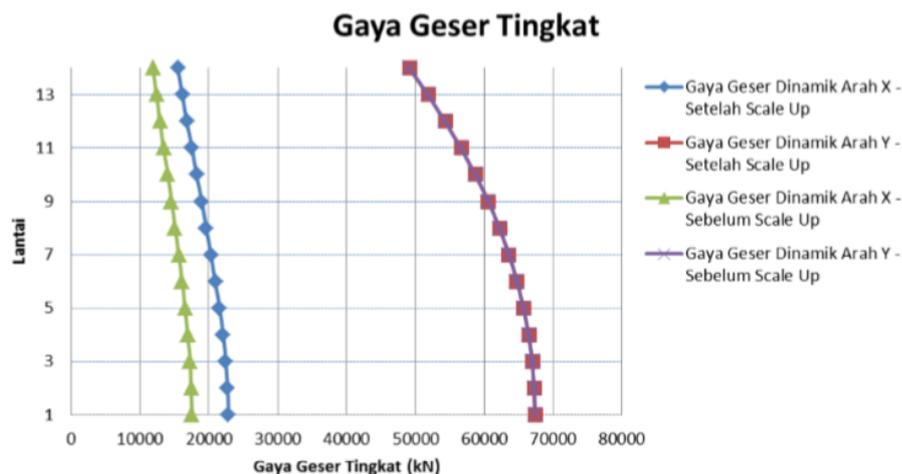
$$V_{\text{dinamik}} > 0,85 V_{\text{statik}} \quad (1)$$

Dari hasil perhitungan diatas dapat disimpulkan bahwa persyaratan gaya geser dasar struktur hasil analisis dinamik belum memenuhi persyaratan 85% gaya geser statik untuk di arah X. Oleh karena itu, faktor skala *response spectrum* perlu diperbesar 1,206 kali untuk arah X (Tabel 6). Sedangkan gaya geser dasar dinamik di arah Y sudah jauh memenuhi 85% gaya geser statiknya sehingga tidak perlu diberikan faktor pembesaran skala. Gambar 6 menyajikan grafik gaya geser dasar tiap lantai baik sebelum dan setelah dilakukan *scale up*.

Tabel 6 Skala Pembesaran yang Diberikan Pada Struktur

V_{base}	Gaya Geser Dinamik (kN)	Gaya Geser Statik (kN)	85% Gaya Geser Statik (kN)	Keterangan	Skala Pembesaran
Arah X	17564,8	24915,5	21178,19	Not OK	1,206
Arah Y	67390			OK	1

Terlihat bahwa gaya geser setelah *scale up* pada arah x dan y menjadi lebih besar. Hal ini menunjukkan bahwa struktur dari arah x lebih kaku dibandingkan di arah y dikarenakan pada gedung terdapat selain dinding geser bagian luar di setiap sudut siku bangunan juga terdapat dinding geser di bagian dalam. Penempatan dinding geser di bagian dalam yang dapat dilihat pada Gambar 1, memberikan kekuatan lateral yang dibutuhkan untuk menahan gaya gempa di arah x.



Gambar 6 Grafik Gaya Geser Sebelum dan Sesudah *Scale Up*

4.4 Gaya Geser Tingkat dan Interaksi Sistem Ganda

Sistem struktur yang digunakan dalam penelitian ini adalah sistem ganda yakni kombinasi dinding geser dan rangka pemikul momen yang mampu menahan paling sedikit 25 persen gaya gempa yang ditetapkan. Perhitungan gaya gempa setelah dilakukan *scale up* yang dikenakan pada rangka dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7 Gaya Gempa yang Dipikul Rangka Akibat Gaya Gempa

Lantai	Gaya Geser Tingkat Arah X				Gaya Geser Tingkat Arah Y			
	<i>EQx</i> Max	Portal	25% Gaya	Portal Terpikul	<i>EQy</i> Max	Portal	25% Gaya	Portal Terpikul
25	2449.6	0.0	612.4	0%	5468.3	0.0	1367.1	0%
24	4730.3	3253.7	1182.6	69%	10983.7	10274.9	2745.9	94%
23	6648.7	5065.4	1662.2	76%	16096.2	14758.0	4024.0	92%
22	8257.9	6271.2	2064.5	76%	20838.7	18624.5	5209.7	89%
21	9626.2	7213.2	2406.6	75%	25256.9	22291.3	6314.2	88%
20	10810.7	8006.4	2702.7	74%	29395.6	25739.8	7348.9	88%
19	11844.6	8698.5	2961.1	73%	33287.2	28984.7	8321.8	87%
18	12747.3	9309.0	3186.8	73%	36947.3	32005.2	9236.8	87%
17	13540.3	9873.1	3385.1	73%	40379.2	34807.2	10094.8	86%
16	14253.4	10248.2	3563.3	72%	43582.6	37111.1	10895.7	85%
15	14939.8	11184.2	3734.9	75%	46657.3	40967.0	11664.3	88%
14	15616.2	11530.8	3904.0	74%	49561.8	43120.3	12390.5	87%
13	16283.9	11935.0	4071.0	73%	52250.3	45283.7	13062.6	87%
12	16952.9	12288.1	4238.2	72%	54725.3	47276.1	13681.3	86%
11	17633.8	12604.4	4408.4	71%	56984.0	49089.6	14246.0	86%
10	18331.8	12873.8	4582.9	70%	59020.6	50696.0	14755.2	86%
9	19040.2	13083.8	4760.0	69%	60830.5	52076.2	15207.6	86%
8	19741.7	13214.9	4935.4	67%	62413.7	53209.0	15603.4	85%
7	20417.5	13239.8	5104.4	65%	63774.1	54066.1	15943.5	85%
6	21053.6	13124.3	5263.4	62%	64916.2	54601.8	16229.0	84%
5	21635.5	12831.6	5408.9	59%	65840.5	54734.5	16460.1	83%
4	22137.1	12327.4	5534.3	56%	66543.9	54295.9	16636.0	82%
3	22520.1	11615.6	5630.0	52%	67025.1	52996.9	16756.3	79%
2	22751.7	10721.1	5687.9	47%	67295.3	49637.8	16823.8	74%
1	22834.2	10936.4	5708.6	48%	67390.1	44880.6	16847.5	67%

Pada Tabel 7 didapatkan nilai gaya geser yang dipikul oleh portal akibat gaya gempa arah x dan arah y. Yang disyaratkan oleh SNI 1726-2012 mengenai Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung yakni gedung harus mampu menahan minimal 25% gaya gempa desain arah x dan y

untuk sistem ganda. Dari Tabel 7 terlihat bahwa gedung sudah memikul lebih besar dari nilai yang disyaratkan yaitu 25% baik dari arah x maupun dari arah y.

4.5 Simpangan Antar Lantai

Simpangan antar lantai bangunan akibat pengaruh gempa rencana membatasi terjadinya pelelehan baja dan peretakan beton yang berlebihan juga untuk mencegah kerusakan nonstruktur dan ketidaknyamanan penghuni. Tabel 8 adalah simpangan antar tingkat yang dihitung berdasarkan perbedaan defleksi pada pusat massa di tingkat teratas dan terbawah yang ditinjau sesuai dengan pasal 7.8.6 SNI 03-1726-2012 mengenai Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.

Menurut SNI 1726-2012, penentuan simpangan antar lantai tingkat desain (δ) harus dihitung berdasarkan perbedaan defleksi pada pusat massa di tingkat teratas dan terbawah. Defleksi pusat massa di tingkat x (δ_x) dihitung sesuai dengan Persamaan 2:

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \quad (2)$$

C_d merupakan faktor amplifikasi/pembesaran defleksi yang diambil dari SNI1726-2012 Tabel 9. Untuk struktur dalam penelitian ini diambil nilai C_d sebesar 5,5. Nilai I_e merupakan faktor keutamaan gempa yang diambil dari SNI 1726-2012 pasal 4.1.2. Faktor keutamaan gempa yang diambil berdasarkan fungsi bangunan dan kategori resiko adalah sebesar 1,0. Sedangkan δ_{xe} merupakan defleksi pada lokasi yang disyaratkan pada pasal tersebut dengan analisis elastis.

Tabel 8 Simpangan Tiap Lantai yang Terjadi

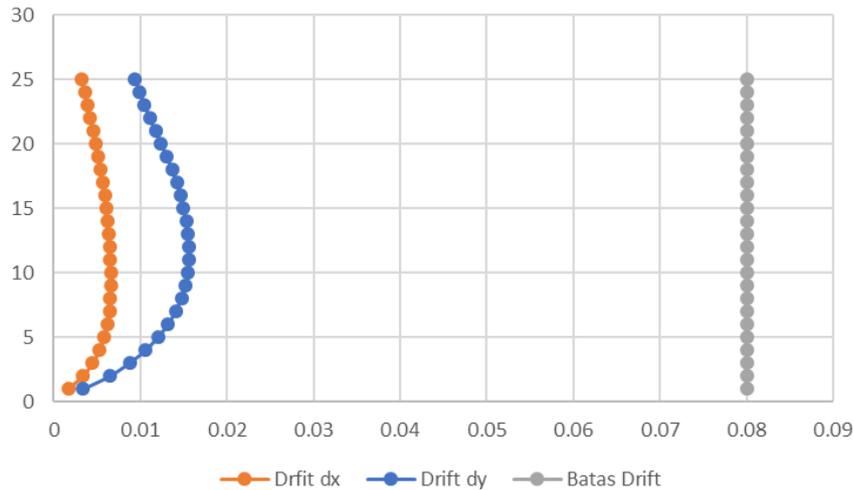
Lantai	Arah x		Arah y		Batas Drift (m)	Cek
	δ_{xe} (m)	δ_x (m)	δ_{ye} (m)	δ_y (m)		
25	0,000594	0,003267	0,001704	0,009372	0,08	OK
24	0,000648	0,003564	0,001808	0,009944	0,08	OK
23	0,000704	0,003872	0,001904	0,010472	0,08	OK
22	0,000765	0,004208	0,002016	0,011088	0,08	OK
21	0,000826	0,004543	0,002133	0,011732	0,08	OK
20	0,000884	0,004862	0,002253	0,012392	0,08	OK
19	0,000939	0,005165	0,00237	0,013035	0,08	OK
18	0,000989	0,00544	0,002482	0,013651	0,08	OK
17	0,001033	0,005682	0,002584	0,014212	0,08	OK
16	0,001073	0,005902	0,002676	0,014718	0,08	OK
15	0,001095	0,006023	0,002722	0,014971	0,08	OK
14	0,001124	0,006182	0,002778	0,015279	0,08	OK
13	0,001148	0,006314	0,002818	0,015499	0,08	OK

Tabel 8 Simpangan Tiap Lantai yang Terjadi (Lanjutan)

Lantai	Arah x		Arah y		Batas Drift (m)	Cek
	δ_{xe} (m)	δ_x (m)	δ_{ye} (m)	δ_y (m)		
12	0,001169	0,00643	0,00284	0,01562	0,08	OK
11	0,001186	0,006523	0,002841	0,015626	0,08	OK
10	0,001196	0,006578	0,002818	0,015499	0,08	OK
9	0,001198	0,006589	0,002766	0,015213	0,08	OK
8	0,001189	0,00654	0,002683	0,014757	0,08	OK
7	0,001167	0,006419	0,002563	0,014097	0,08	OK
6	0,001125	0,006188	0,002402	0,013211	0,08	OK
5	0,001058	0,005819	0,002192	0,012056	0,08	OK
4	0,000959	0,005275	0,001927	0,010599	0,08	OK
3	0,000815	0,004483	0,001594	0,008767	0,08	OK
2	0,00061	0,003355	0,00118	0,00649	0,08	OK
1	0,000302	0,001661	0,00061	0,003355	0,08	OK

Nilai defleksi atau simpangan bangunan berubah karena dipengaruhi letak dan dimensi dari dinding geser (Ismail, 2014). Hal ini membuktikan bahwa letak ataupun tebal dari dinding geser yang digunakan memengaruhi kinerja dan keefektifitasan dari dinding geser dalam menerima gaya geser.

Gambar 7 merupakan grafik defleksi pusat massa di tingkat x (δ_x). Dari Tabel 8 dan Gambar 7, diketahui bahwa simpangan antar tingkat dari model struktur masih dibawah dari simpangan yang diizinkan. Simpangan di arah x memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan simpangan di arah y. Hal tersebut dikarenakan penempatan dinding geser di bagian dalam yang memberikan kekuatan lateral yang lebih besar untuk menahan gaya gempa di arah x sehingga menyebabkan struktur dari arah x lebih kaku dibandingkan arah y. Dari Gambar 7 juga terlihat bahwa antara simpangan yang terjadi dan batas simpangan yang diizinkan memiliki selisih nilai yang cukup banyak, ini menunjukkan bahwa struktur terlalu kaku.



Gambar 7 Grafik Simpangan Lantai Terhadap Simpangan Ijin

5. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari hasil numerik dari respon struktur gedung bertingkat dengan *layout* persegi panjang dengan dinding geser di bagian luar dan di bagian dalam menunjukkan bahwa:

1. *Mode shape* pertama dan kedua tidak menunjukkan terjadinya rotasi sedangkan pada *mode shape* ketiga barulah terjadi rotasi. Hal ini menunjukkan bahwa respon pola ragam getar pada gedung tinggi sudah tercapai dimana pola ragam getar ke-1 dan ke-2 tidak diperbolehkan terjadi adanya rotasi.
2. Partisipasi massa telah mencukupi dimana dalam analisis ini telah mencapai 90% pada pola ragam getar ke 7 untuk arah x, pola ragam getar ke 8 untuk arah y, dan pola ragam getar ke 9 untuk arah z.
3. Gaya geser dasar struktur hasil analisis dinamik belum memenuhi persyaratan 85% gaya geser statik untuk di arah y sehingga perlu dilakukan skala pembesaran dengan faktor skala *response spectrum* perlu diperbesar 1,206 kali untuk arah y.
4. Gaya geser setelah *scale up* pada arah x dan y menjadi lebih besar. Hal ini menunjukkan bahwa dengan menggunakan *layout* persegi panjang dan menggunakan dinding geser di bagian dalam menyebabkan struktur menjadi lebih kaku di arah x karena penempatan dinding geser di bagian dalam tersebut memberikan kekuatan lateral yang lebih besar untuk menahan gaya gempa di arah x.
5. Simpangan di arah x memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan simpangan di arah y karena penempatan dinding geser di bagian dalam yang berkontribusi memberikan kekuatan lateral yang lebih besar di arah x sehingga menyebabkan struktur dari arah x lebih kaku dibandingkan arah y.

6. Simpangan antar tingkat dari model struktur masih dibawah dari simpangan yang diizinkan, dengan selisih nilai yang cukup banyak.

Dari kesimpulan di atas, menunjukkan bahwa keseluruhan model yang diuji memenuhi syarat kinerja struktur SNI 1726-2012. Namun jika dilihat dari adanya perbedaan nilai yang cukup jauh dari respon yang ada serta batas yang diijinkan, maka dapat dikatakan bahwa struktur terlalu kaku. Struktur yang terlalu kaku juga bukanlah struktur yang ideal, sehingga pada struktur dapat dikurangi penggunaan dinding gesernya dengan tetap melihat aspek-aspek respon struktur seperti *mode shape*, partisipasi massa, gaya geser dasar struktur, serta simpangan antar lantai. Dengan mengefektifkan penggunaan dinding geser ini akan mengurangi biaya yang diperlukan dalam pembangunan gedung.

DAFTAR PUSTAKA

1. Anjaneyulu, B; Prakash, Jaya K;. (2016). Analysis And Design Of Flat Slab By Using Etabs Software. *International Journal of Science Engineering and Advance Technology*, 105-125.
2. Hasan, A; Astira, I F;. (2013). Analisis Perbandingan Simpangan Lateral Bangunan Tinggi dengan Variasi Bentuk dan Posisi Dinding Geser. Studi Kasus: Proyek Apartemen The Royale Springhill Residence. *Journal of Civil and Environmental Engineering*, 1(1).
3. Ismail, M. (2014). Analisis Kinerja Struktur Atas Gedung 7 Lantai Dengan Variasi Dimensi dan Lokasi Shearwall Studi Kasus Konsep Kondominium Hotel. *Journal of Civil ans Environmental Engineering*, 2(1).
4. Standar Nasional Indonesia. (2012). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Non Gedung. SNI 1726-2012*. Jakarta (ID): Badan Standarisasi Nasional.
5. Standar Nasional Indonesia. (2013). *Beban Minimum Untuk Perancangan bangunan Gedung dan Struktur Lain. SNI 1727-2013*. Jakarta (ID): Badan Standarisasi Nasional.
6. Standar Nasional Indonesia. (2013). *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung. SNI 2847-2013*. Jakarta (ID): Badan Standarisasi Nasional.
7. Suhaimi, T. B. A; Afifuddin, M;. (2014). Evaluasi Kinerja Gedung Beton Bertulang Sistem Ganda dengan Variasi Geometri Dinding Geser di Wilayah Gempa Kuat. *Jurnal Teknik Sipil, Pascasarjana Universitas Syiah Kuala*, 3(1), 70-82.