**Analisis Kinerja Bangunan Gedung Tinggi Dengan Penambahan Dinding Geser
(Studi Kasus: Bangunan 8 Lantai)**

M. Mirza Abdillah Pratama^{*1}, Septiana Dyah Sugmana Putri², Edi Santoso³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Malang

Jl. Semarang No.5, Sumbarsari, Kec. Lowokwaru, Kota Malang, Jawa Timur 65145

Submitted : 31 Mei 2021;

Accepted: 19 Agustus 2021

Abstrak

Dinding geser pada bangunan tinggi berfungsi untuk meningkatkan ketahanan gedung bertingkat tinggi terhadap beban lateral. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan kinerja struktur bangunan gedung 8 (delapan) lantai eksisting yang didisain sebagai struktur rangka pemikul momen khusus (SRPMK) terhadap gedung yang diredesain sebagai sistem ganda, yang terdiri atas: waktu getar struktur, gaya geser dasar, perpindahan, dan simpangan. Tiga buah konfigurasi peletakan dinding geser direncanakan berbentuk: (1) L, terletak di sudut salah satu sisi bangunan berjumlah 2 (dua) buah (SW₁); (2) L, terletak pada ke-empat sudut bangunan berjumlah 4 (empat) buah (SW₂); dan 3) I, terletak di sepanjang sisi gedung berjumlah 6 (enam) buah (SW₃). Simulasi dijalankan menggunakan program Etabs dengan memperhitungkan beban mati, beban hidup, dan beban gempa. Hasil menunjukkan bahwa penambahan dinding geser dapat: (1) mereduksi periode getar struktur hingga 62,55% pada SW₃, (2) meningkatkan gaya geser dasar hingga 86,34% pada SW₃, (3) mereduksi perpindahan hingga 90,97% pada SW₃, dan (4) mereduksi simpangan antar lantai hingga 89,58% pada SW₃. Walau demikian, desain SW₂ dinilai lebih baik diterapkan pada gedung tersebut dengan memperhatikan faktor kinerja struktur, efektivitas, dan efisiensi.

Kata Kunci: gedung bertingkat tinggi; dinding geser; kinerja struktur

Abstract

Shear walls in high-rise buildings serve to increase the resistance of high-rise buildings to lateral loads. This study aims to compare the structural performance of an existing 8 (eight) storey building designed as a special moment resisting frame structure against a building designed as a dual system, which consists of: structural vibration time, base shear force, displacement, and drift. Three configurations for shear walls are designed, as follows: (1) L-shaped located at the corner of one side of the building, totaling 2 (two) units (SW₁); (2) L-shaped located at the four corners of the building totaling 4 (four) units (SW₂); and 3) I-shaped located along the side of the building totaling 6 (six) units (SW₃). Simulations are run using the Etabs by taking into account dead loads, live loads, and earthquake loads. The results show that the addition of shear walls can: (1) reduce the vibration period of the structure up to 62,55% in SW₃, (2) increase the base shear force up to 86,34% in SW₃, (3) reduce peak displacement up to 84,86% in SW₃, and (4)

reduce the drift between floors up to 89,58% in SW₃. However, the SW₂ is considered to be better applied to the building by taking into account the structural performance, effectiveness and efficiency factors.

Keywords: *high-rise buildings; shear walls; structural performance*

A. PENDAHULUAN

Bangunan gedung bertingkat tinggi merupakan bangunan yang memiliki lebih dari 6 (enam) lantai dengan ketinggian gedung lebih dari 20 meter. Gedung yang termasuk dalam kategori *high rise building* harus memenuhi syarat kekuatan (*strength*) dan syarat tingkat layan (*serviceability*). Syarat tingkat layan meliputi aspek keawetan dan kenyamanan yang ditunjukkan dari nilai kekakuan (*stiffness*) dari struktur tersebut. Nilai kekakuan akan mempengaruhi terjadinya simpangan horizontal (*lateral drift*) pada struktur dan akan mempengaruhi kenyamanan pemakainya sehingga *high rise building* harus direncanakan untuk mengantisipasi simpangan lateral yang berlebih yang ditimbulkan dari beban gempa. Solusi alternatif yang dapat diterapkan untuk mengoptimalkan kinerja bangunan gedung bertingkat tinggi terhadap gaya gempa, yaitu dengan mendesain struktur menggunakan sistem struktur gabungan antara rangka dan dinding geser, atau disebut dengan sistem ganda (*dual system*) (Astuti, 2015).

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan kinerja struktur bangunan gedung bertingkat 8 lantai yang awalnya berupa sistem struktur rangka pemikul momen khusus terhadap struktur yang direndesain menjadi sistem ganda. Tiga buah konfigurasi peletakan dinding geser dianalisis lebih lanjut. Simulasi dijalankan menggunakan program Etabs dengan memperhitungkan beban mati, beban hidup, dan beban gempa. Kinerja struktur berupa waktu getar struktur, gaya geser dasar, perpindahan, dan simpangan dievaluasi lebih lanjut. Pada bagian akhir

dari penelitian ini, akan direkomendasikan desain dinding geser yang memenuhi kriteria kinerja struktur, namun tetap mempertimbangkan aspek efektivitas dan efisiensinya.

B. TINJAUAN PUSTAKA

Berdasarkan SNI 1726-2019, terdapat 6 (enam) kontrol yang digunakan untuk mengevaluasi suatu gedung agar termasuk dalam kategori gedung tahan gempa, diantaranya yaitu periode getar alami struktur, gaya geser dasar, partisipasi massa, sistem ganda, perpindahan, dan simpangan.

1. Periode Getar Alami Struktur

Periode getar alami struktur merupakan karakteristik alami yang dimiliki oleh sebuah struktur dan besarnya dipengaruhi oleh massa dan kekakuan struktur bangunan (Pramesti, 2018). Setiap perubahan konfigurasi pada struktur akan mengubah nilai periode getar alaminya. Pada struktur bangunan gedung, semakin banyak jumlah lantai, maka nilai periode getar alami strukturnya meningkat.

2. Gaya Geser Dasar

Soelarso et al. (2016) menjelaskan bahwa gaya geser dasar merupakan perwujudan dari getaran gempa yang bekerja pada dasar bangunan. Perhitungan gaya geser bertujuan untuk menghasilkan nilai distribusi gaya gempa statik ekuivalen pada setiap arah gempa. Perhitungan gaya geser yang terjadi harus memenuhi syarat ketahanan struktur terhadap geser.

3. Partisipasi Massa

Hartahap dan Fauzan (2019) menjelaskan bahwa partisipasi massa menunjukkan rasio massa bangunan akibat getaran yang dialami oleh bangunan tersebut. Nilai partisipasi massa diperoleh dari hasil analisis modal pada program ETABS. SNI 1726-2019 pasal 11.2.3.1 mensyaratkan bahwa analisis partisipasi massa wajib melampirkan total variasi yang cukup untuk memperoleh hasil partisipasi massa terkombinasi lebih dari 90%.

4. Sistem Ganda

Sistem ganda merupakan kombinasi antara sistem rangka dan dinding geser. Pembagian kinerja antara struktur rangka dan *shear wall* harus proporsional dan seimbang, yaitu sekitar 25% pada rangka dan 75% pada dinding geser (SNI 1726-2019).

5. Perpindahan

Perpindahan adalah simpangan yang dihasilkan suatu lantai yang diukur dari lantai dasar bangunan dalam kondisi diam. Perpindahan sangat dipengaruhi oleh kekakuan, kondisi tanah, ketinggian bangunan dan letak dinding geser (Pramesti, 2018).

6. Simpangan Antar Lantai

Pramesti (2018) menjelaskan bahwa simpangan adalah perpindahan lateral antar lantai yang diukur dari lantai di bawahnya. Simpangan dapat digunakan untuk mengukur tingkat keamanan suatu struktur bangunan dalam menahan gaya gempa yang terjadi

Beban Mati

Beban mati pada struktur terdiri dari berat sendiri struktur dan beban mati tambahan. Berat sendiri akan dihitung secara otomatis oleh ETABS dengan berat jenis beton sebesar $23,6 \text{ kN/m}^3$. Beban mati tambahan pada pelat lantai 2-7 yang terdiri dari keramik dan *mortar bed* 13 mm, *gypsum board* 9 mm, penggantung dan *mechanical ducting* sebesar $1,132 \text{ kN/m}^2$. Beban mati tambahan pada lantai atap yang terdiri dari *waterproof*, *gypsum board* 9 mm, penggantung dan *mechanical ducting* sebesar $0,432 \text{ kN/m}^2$.

Beban Hidup

Gedung difungsikan sebagai sarana perkuliahan direncanakan sebesar $1,92 \text{ kN/m}^2$ dan beban hidup pada atap yaitu sebesar $0,96 \text{ kN/m}^2$.

Beban Gempa

Perhitungan beban gempa mengacu pada SNI 1726-2019 mengenai perhitungan beban gempa pada bangunan gedung dan non gedung. Beban gempa direncanakan dalam bentuk respons spektral dengan data pada Tabel 1.. Kurva respons spektral ditunjukkan pada Gambar 1.

Tabel 1. Data Perencanaan Beban Gempa

Fungsi	: Gedung perkuliahan
Lokasi	: Kota Sidoarjo
Kelas situs	: SE
S_{DS}	: 0,729g
S_{D1}	: 0,636g
KDS	: D

C. METODE PENELITIAN

1. Perencanaan Pembebanan

Pembebanan struktur mengacu pada SNI 1727-2020, dengan uraian sebagai berikut:

Gambar 1. Kurva respons spektral desain (S_{DS} : 0,729g; S_{D1} :0,636g)

2. Pemodelan Struktur

Pemodelan struktur bangunan dilakukan dengan menginput elemen-elemen struktur bangunan dengan dimensi, konfigurasi, dan properties material sesuai dengan data perencanaan. Struktur direncanakan menggunakan mutu beton 35 MPa dan baja tulangan dengan tegangan leleh 400 MPa.

Plat

Tipe plat dibedakan berdasarkan penggunaannya dengan detail ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Plat

Kode	Tebal (cm)	Penggunaan
P ₁	15	Lantai Biasa
P ₂	15	Balkon dan Kamar Mandi
P ₃	20	Lantai Atap

Balok

Dimensi balok induk dan balok anak ditunjukkan pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3. Balok Induk

Kode	Dimensi (cm)	Panjang (cm)
B ₁	40/75	900
B ₂	40/60	720

Tabel 4. Balok Induk

Kode	Dimensi (cm)	Panjang (cm)
BA ₁	25/50	300
BA ₂	25/40	350

Kolom

Kolom bangunan dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu K₁ dan K₂, di mana K₁ digunakan pada lantai 1 sampai dengan lantai 7, sedangkan K₂ digunakan pada lantai 8. Detail dimensi kolom ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Kolom

Kode	Dimensi (cm)	Tinggi (cm)
K ₁	70/70	400
K ₂	25/40	400

Dinding Geser

Ukuran *shear wall* didesain berdasarkan syarat SNI 2847-2019 pasal 11.3.1.1 dengan ketebalan 250 mm.

3. Konfigurasi Dinding Geser

Perencanaan konfigurasi dinding geser harus memperhatikan beberapa persyaratan, yaitu:

- Simetris, agar tidak terjadi eksentrisitas sehingga menimbulkan gaya-gaya sekunder
- Proporsional
- SRI dan BRI bernilai lebih dari 60%
- Eksentrisitas bernilai kurang dari 1/6 lebar bangunan
- Tidak mengganggu denah arsitektur

Pada penelitian ini, 3 (tiga) buah konfigurasi letak dinding geser dianalisis lebih lanjut, yaitu berbentuk: (1) L, terletak di sudut salah satu sisi bangunan berjumlah 2 (dua) buah (SW₁); (2) L, terletak pada ke-empat sudut bangunan berjumlah 4 (empat) buah (SW₂); dan 3) I, terletak di sepanjang sisi gedung berjumlah 6 (enam) buah (SW₃). Konfigurasi letak dinding geser ditunjukkan pada Gambar 2 hingga Gambar 4.

(a) Perspektif

(b) Denah

Gambar 2. Pemodelan gedung dengan dinding geser tipe SW₁

(a) Perspektif

(b) Denah

Gambar 3. Pemodelan gedung dengan dinding geser tipe SW₂

(a) Perspektif

(b) Denah

Gambar 4. Pemodelan gedung dengan dinding geser tipe SW₃

Sebagai variabel kontrol, disiapkan pemodelan bangunan tanpa dinding geser dan diberikan notasi SW₀.

D. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Periode Getar Alami Struktur

Setiawan (2016) menjelaskan bahwa periode getar alami struktur dapat diperoleh dari hasil analisis getaran bebas tanpa redaman. Pada bangunan bertingkat, periode getar struktur tidak boleh melebihi hasil kali koefisien (C_u) dan periode alami pendekatan (T_a). SNI 1726-2019 pasal 7.8.6.2 menjelaskan bahwa periode getar maksimum (T_{max}) berlaku sebagai batas agar tidak terjadi efek P-delta, simpangan antar tingkat yang berlebih, indikator tingkat layan bagi penghuni, dan menghindari kemungkinan terjadinya kerusakan struktur maupun non struktur.

Tabel 6. Waktu Getar Struktur Arah X

Tipe	T _a (detik)	T _{max} (detik)	T _c (detik)	Sig. (%)
SW ₀	1,027	1,438	1,048	-
SW ₁	0,643	0,900	0,809	-22,81
SW ₂	0,643	0,900	0,72	-31,30
SW ₃	0,643	0,900	0,453	-56,77

Tabel 7. Waktu Getar Struktur Arah Y

Tipe	T _a (detik)	T _{max} (detik)	T _c (detik)	Sig. (%)
SW ₀	1,027	1,438	1,105	-
SW ₁	0,643	0,900	0,668	-41,70
SW ₂	0,643	0,900	0,801	-29,01
SW ₃	0,643	0,900	0,45	-62,50

Hasil analisis menunjukkan bahwa waktu getar alami struktur (T_c) gedung yang dilengkapi dengan dinding geser lebih kecil dibandingkan SW₀. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Sila et al. (2019) yang menyebutkan bila dinding geser mampu mengurangi nilai waktu getar alami struktur. Berdasarkan tabel 6

dan 7, SW₃ memiliki nilai periode yang terkecil sehingga struktur SW₃ paling kaku. Wiryadi & Sudarsana (2019) menjelaskan bahwa dinding geser dengan tipe I yang diletakkan secara simetris di bagian tepi struktur memiliki nilai kekakuan yang tinggi dibandingkan bentuk T, L dan IWF. Efendi et al. (2017) menambahkan jika dinding geser yang ditempatkan tidak simetris akan memberikan waktu getar yang lebih panjang.

2. Gaya Geser Dasar

SNI 1726-2019 pasal 7.9.4.1 mensyaratkan bahwa gaya geser dasar dari hasil analisis dinamik harus memiliki nilai sekurang-kurangnya 100% dari gaya geser dasar analisis statik ekuivalen. Kontrol gaya geser dasar hasil analisis statik dan dinamik ditunjukkan pada Tabel 8.

Tabel 8. Gaya Geser Dasar Analisis Statik dan Dinamik

Gaya Geser Dasar		SW ₀	SW ₁	SW ₂	SW ₃
Statik	X (kN)	6541,19	9284,40	9303,72	11853,69
	Y (kN)	6196,92	9284,40	9303,72	11853,69
Dinamik	X (kN)	6580,47	9466,53	9346,28	12137,46
	Y (kN)	6207,59	9329,27	9791,58	12045,39

Tabel 8 menunjukkan bahwa gaya geser dasar hasil analisis dinamik seluruh tipe struktur telah melampaui syarat batas yang ditetapkan. Nilai gaya geser dasar masing-masing tipe struktur dan perbandingannya terhadap SW₀ ditunjukkan pada Tabel 9.

Tabel 9. Gaya Geser Dasar

Tipe	Arah X (kN) Sig. (%)	Arah Y (kN) Sig. (%)
SW ₀	6580,479	6207,594
	-	-
SW ₁	9466,537 (+41,95)	9329,275 (+47,16)
SW ₂	9346,285 (+42,21)	9791,580 (+47,33)
SW ₃	12137,463 (+81,21)	12045,398 (+86,34)

Gaya geser dasar seluruh gedung yang dilengkapi dinding geser mengalami peningkatan dibanding struktur eksisting. Peningkatan nilai gaya geser tersebut disebabkan karena peningkatan nilai kekakuan dari penambahan dinding geser (Sila et al., 2019; Ivan & Edison, 2019). Peningkatan kekakuan menyebabkan frekuensi sudut (ω) bertambah dan periode getar (T) berkurang sehingga gaya geser struktur meningkat.

3. Partisipasi Massa

Partisipasi massa adalah jumlah massa bangunan yang diperhitungkan tiap pola ragam getar (*mode shape*). SNI 1726-2019 pasal 11.2.3.1 mensyaratkan bahwa hasil partisipasi massa

terkombinasi harus lebih dari 90%. Hasil analisis menunjukkan bahwa partisipasi massa pada seluruh model telah memenuhi persyaratan (Tabel 10 dan 11).

Tabel 10. Partisipasi Massa Analisis Statik

Arah	Partisipasi Massa			
	SW ₀	SW ₁	SW ₂	SW ₃
X	99,98	99,93	99,97	98,68
Y	99,98	99,86	99,96	99,82

Tabel 11. Partisipasi Massa Analisis Dinamik

Arah	Partisipasi Massa			
	SW ₀	SW ₁	SW ₂	SW ₃
X	99,98	93,85	90,10	99,67
Y	99,98	91,93	94,34	91,83

Hartahap & Fauzan (2019) menjelaskan bahwa nilai partisipasi massa ditentukan oleh jumlah ragam dan pola goyangan struktur. Siajaya et al. (2018) menambahkan bahwa faktor yang menyebabkan nilai partisipasi massa kurang dari 90% adalah desain kolom langsing dan adanya lubang (void) pada lantai bangunan sehingga dapat menyebabkan distribusi kekakuan vertikal tidak merata. Keberadaan void tersebut juga berpotensi menyebabkan puntir pada bangunan karena letak pusat massa tidak terhimpit dengan pusat kekakuan.

4. Perpindahan Lantai

Secara umum, keberadaan dinding geser mampu mengurangi nilai perpindahan hingga 90,97% karena adanya kontribusi dinding geser dalam meningkatkan kekakuan antar lantai dari struktur tersebut. Siajaya et al. (2018) menjelaskan bahwa struktur yang memiliki kekakuan yang besar dapat mencegah terjadinya perpindahan lantai yang berlebih selama gempa terjadi. Nilai perpindahan lantai merupakan fungsi linier dari ketinggian struktur. Semakin tinggi struktur, maka perpindahan akan

meningkat. Penempatan dinding geser merupakan pada sisi struktur gedung dapat menjadi solusi untuk mengurangi perpindahan secara efektif.

Dalam perencanaan, struktur tetap diperkenankan mengalami perpindahan lantai dengan batasan sesuai dengan fungsi bangunan yang didesain. Smith (1991) memberikan batasan nilai perpindahan lantai antara H/500 hingga H/1000, di mana H merupakan tinggi total bangunan tersebut. Pada kasus ini, batasan nilai perpindahan ijin yang digunakan adalah H/800. Pada kasus yang lebih umum, semakin besar faktor keutamaan gedung yang dianalisis, maka koefisien pembagi yang digunakan semakin besar, sehingga nilai perpindahan ijin dibatasi seminimum mungkin. Kontrol nilai perpindahan masing-masing tipe struktur ditunjukkan pada Gambar 5. Kontrol menunjukkan jika SW₀ dan SW₁ melampaui nilai perpindahan ijin yang disyaratkan dan beresiko terjadi torsi.

Sebagai tambahan, sebuah struktur harus tetap mengalami perpindahan lantai akibat beban lateral sebagai indikator bahwa struktur memiliki daktilitas yang memadai. Kekakuan berlebih pada struktur bangunan menyebabkan struktur berperilaku getas dan menimbulkan kegagalan tiba-tiba yang membahayakan bagi penghuni bangunan (Muhtar, 2017). Struktur dengan kekakuan yang cukup memadai dapat membentuk sendi-sendi plastis pada hubungan balok – kolom sehingga beban gempa dapat terdisipasi secara maksimal.

Gambar 5. Perpindahan Lantai

5. Simpangan Antar Lantai

Gambar 6 menunjukkan jika penempatan dinding geser dapat mengurangi nilai simpangan antar lantai hingga 89,58%. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Hanif & Haryo (2014) yang menyatakan bahwa simpangan arah X dan Y mengalami penurunan setelah adanya penambahan dinding geser. Lebih lanjut, gambar 6 menunjukkan bahwa terjadi puncak simpangan pada lantai 3 yang terjadi akibat adanya efek balok kantilever pada struktur sehingga gedung berkategori sebagai *shear type building*

(Lin et al., 2019). Dalam kasus ini, seluruh tipe struktur memenuhi batas simpangan ijin yang ditetapkan dalam SNI 1726-2019 pasal 7.12.1. Simpangan antar lantai tidak boleh melebihi simpangan ijin yang bernilai 0,01 dikali dengan tinggi antar lantai. Penggunaan perbandingan dalam rasio dimaksudkan agar pengaruh perbedaan tinggi antar lantai dapat diiadakan.

(a) Rasio Simpangan Antar Lantai Arah X

(b) Rasio Simpangan Antar Lantai Arah Y

Gambar 6. Rasio Simpangan Antar Lantai

6. Evaluasi Sistem Ganda

Tabel 12 menunjukkan distribusi gaya geser yang dipikul oleh dinding geser dan sistem rangka. Berdasarkan data tersebut, SW_1 dan SW_2 membentuk proporsi distribusi gaya geser pada rangka dan dinding geser sebesar 25% : 75%. Pola yang berbeda drastis dijumpai pada SW_3 . Hampir seluruh gaya geser ditahan sepenuhnya oleh dinding geser akibat struktur yang terlalu kaku. SW_3 tidak direkomendasikan untuk diimplementasikan karena dapat menyebabkan kegagalan getas.

Tabel 12. Kontrol Sistem Ganda

Tipe Struktur	Pemikul Gaya Geser	Gempa Arah X (%)	Gempa Arah Y (%)
SW_1	Dinding Geser	62.98	75.55
	Rangka	37.02	24.45
SW_2	Dinding Geser	67.27	69.28
	Rangka	32.73	30.72
SW_3	Dinding Geser	97.45	96.13
	Rangka	2.55	3.87

7. Efektivitas dan Efisiensi

Efektivitas

Reduksi Simpangan Puncak

Analisis efektivitas dinding geser dapat ditinjau dari kinerja struktur dalam mengurangi simpangan yang terjadi. Dinding geser harus mampu mengurangi simpangan yang terjadi lebih dari 5%. Reduksi simpangan pada masing-masing gedung ditunjukkan pada Tabel 13. Tabel 13 menunjukkan bahwa penambahan dinding geser mampu mereduksi simpangan puncak hingga 84.86%. SW_3 memiliki kinerja struktur yang paling baik, disusul oleh SW_2 dan SW_1 .

Tabel 13. Efektivitas Dinding Geser dalam Mereduksi Simpangan Puncak

Tipe	Simpangan Puncak (mm)	Efektivitas Terhadap Simpangan (%)
SW_1	47.51	- 14.15
SW_2	29.83	- 46.09
SW_3	8.38	- 84.86

Eksentrisitas

Penempatan dinding geser pada struktur perlu memperhatikan eksentrisitas antara pusat massa dan pusat kekakuan dari struktur tersebut. Semakin besar jarak antara pusat massa dan pusat kekakuan, maka akan menimbulkan momen torsi yang menyebabkan struktur gedung mengalami puntir (Sunaryati et al., 2017). Pusat massa dimaknai sebagai titik tangkap beban mati dan beban hidup yang bekerja pada lantai, sedang pusat kekakuan dimaknai sebagai titik pada lantai yang apabila bekerja gaya horizontal, tidak akan menyebabkan lantai mengalami rotasi dan hanya mengalami translasi. Desain struktur harus mengupayakan agar tidak terdapat jarak yang terlalu besar antara pusat massa dan pusat kekakuan. Kontrol eksentrisitas pada seluruh tipe struktur disajikan pada Tabel 14. Berdasarkan Tabel 14, SW_3 memiliki eksentrisitas minimum disusul oleh SW_2 dan SW_1 . Dalam hal ini, SW_1 tidak memenuhi kriteria batas eksentrisitas maksimum, karena eksentrisitas yang diijinkan adalah sebesar 4.73 m. Hal tersebut disebabkan dinding geser pada SW_1 dipasang secara simetris hanya pada 1 (satu) sumbu.

Tabel 14. Eksentrisitas

Tipe	Eksentrisitas Arah X (m)	Eksentrisitas Arah X (m)
SW_1	0.33	11.77
SW_2	0.28	0.95
SW_3	0.25	0.41

Efisiensi

Volume Pekerjaan

Dalam hal ini, volume pekerjaan beton pada dinding geser dihitung secara sederhana. Hasil perhitungan volume pekerjaan beton tiap tipe dinding geser ditunjukkan pada Tabel 15. Tampak bahwa SW₂ memiliki volume pekerjaan minimum disusul dengan SW₁ dan SW₃.

Tabel 15. Perhitungan volume *shear wall* tipe SW₁, SW₂ & SW₃

Tipe	Volume Pekerjaan (m ³)
SW ₁	203,0
SW ₂	191,8
SW ₃	296,8

Biaya Pekerjaan

Tabel 16 menunjukkan estimasi perhitungan biaya pekerjaan dinding geser dengan biaya satuan pekerjaan per-meter kubik senilai Rp. 6.395.469,00.

Tabel 16. Biaya Pekerjaan Dinding Geser

Desain	Volume (m ³)	Total (Rp)
SW ₁	203	1.298.280.207,00
SW ₂	191.8	1.226.650.954,00
SW ₃	296.8	1.898.175.199,00

Harga satuan pekerjaan tersebut didasarkan atas Harga Satuan Pekerjaan Konstruksi (HSPK) Pekerjaan Dinding Beton Bertulang Kota Sidoarjo. Hasil perhitungan pekerjaan menunjukkan bahwa SW₂ memiliki biaya pekerjaan minimum disusul dengan SW₁ dan SW₃

Kontrol Kekokohan

Kontrol kekokohan didasarkan atas indikator kinerja struktur yang telah dilakukan pada bagian sebelumnya dan dibandingkan terhadap nilai batas yang telah ditetapkan dalam standar yang digunakan. Rekapitulasi kontrol kekokohan ditunjukkan pada Tabel 17 dan pemeringkatan tipe struktur berdasarkan aspek efektivitas dan efisiensi ditunjukkan pada Tabel 18.

Tabel 18 menunjukkan jika SW₂ memiliki konfigurasi pemasangan dinding geser terbaik dari segi kinerja struktur, efektivitas dan efisiensi. SW₁ tidak memenuhi batas ijin dalam hal perpindahan sedangkan tidak memenuhi dalam hal kontrol sistem ganda karena membentuk kekakuan berlebih pada struktur.

Tabel 17. Kontrol Kekokohan

Tipe	Periode Getar Alami Struktur	Gaya Geser Dasar	Partisipasi Massa	Perpindahan Lantai	Simpangan Antar Lantai	Sistem Ganda
SW ₁	M	M	M	TM	M	M
SW ₂	M	M	M	M	M	M
SW ₃	M	M	M	M	M	TM

Keterangan:

M = Memenuhi; TM= Tidak Memenuhi

Tabel 18. Pemeringkatan Kinerja Dinding Geser

Peringkat	Kekokohan	Reduksi Simpangan Puncak	Eksentrisitas	Volume Pekerjaan	Biaya Pekerjaan
1	SW ₂	SW ₃	SW ₃	SW ₂	SW ₂
2	-	SW ₂	SW ₂	SW ₁	SW ₁
3	-	SW ₁	SW ₁	SW ₃	SW ₃

E. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, penempatan dinding geser berbentuk L secara simetris pada 2 (dua) sumbu pada setiap sudut bangunan mampu memberikan kinerja struktur yang optimal. Hal tersebut ditunjukkan dengan terpenuhinya seluruh syarat kinerja struktur berdasarkan persyaratan struktur tahan gempa pada SNI 1726-2019. Peletakan dinding geser berbentuk L secara asimetris pada salah satu sisi gedung (SW_1) dan dinding geser berbentuk I pada sepanjang sisi gedung (SW_3) perlu dilakukan evaluasi kembali karena tidak memenuhi syarat perpindahan dan kekakuan berlebih yang ditimbulkan sehingga bangunan riskan mengalami kegagalan getas. Pemasangan dinding geser berbentuk L secara simetris pada 2 (dua) sumbu pada setiap sudut bangunan dapat mengurangi simpangan puncak hingga 46,09%.

DAFTAR PUSTAKA

- Astuti, P. (2015). Pengaruh Penambahan Dinding Geser (Shear Wall) pada Waktu Getar Alami Fundamental Struktur Gedung. *Jurnal Ilmiah Semesta Teknika*, 18(2).
- Bupati Sidoarjo. (2019). *Peraturan Bupato Sidoarjo Nomor 39 Tahun 2019 tentang Analisis Standar Belanja Pemerintah Kabupaten Sidoarjo*.
- Effendi, Fadlan., Yovi, C., & Said, J.A. (2017). Studi Penempatan Dinding Geser Terhadap Waktu Getar Alami Fundamental Struktur Gedung. *Teras Jurnal*, 7(2).
- Hanif, A.B., & Haryo, K.B. (2014). Analisis Pengaruh Shear Wall Terhadap Simpangan Struktur Gedung Akibat Gempa Dinamis. *Jurnal Konstruksia*, 5(2).
- Hartahap, M.A., & M. Fauzan. (2019). Perilaku Dinamik pada Struktur Apartemen Metro Galaxy Park terhadap Beban Gempa. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 4(3).
- Ivan, L., & Edison, L. (2019). Analisis Dinamik Perilaku Gedung Dengan Ketidakberaturan Massa Pada Masing-Masing Tingkat Terhadap Beban Gempa. *Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 2(3).
- Lin, Jui-Liang, Jyun-Ying Dai & Keh-Chyuan Tsai. (2019). Optimization Approach to Uniformly Distributed Peak Interstory Drifts along Building Heights. *Journal Structure Engineering*, 145(5).
- Pramesti, N.A. (2018). *Analisa Perilaku Bangunan Tidak Beraturan Horizontal Dengan Variasi Dimensi Kolom Terhadap Gempa*. Skripsi tidak diterbitkan. Jakarta: FT UNJ.
- Setiawan, A. (2016). Persamaan Empiris Waktu Getar Alami Struktur Pelat Datar Beton Bertulang Berdasarkan Hasil Analisis Vibrasi 3 Dimensi. *Media Teknik Sipil*, 13(2).
- Siajaya, K., Reky S.W., & Banu. D.H. (2018). Respons Struktur Gedung Bertingkat Dengan Variasi Kekakuan Kolom Akibat Gempa Berdasarkan SNI 03-1726-2012. *Jurnal Sipil Statik*, 6(6).
- Sila, A.A., Irianto, & Ardianto, M.A. (2019). Studi Komparasi Gedung Dengan Dan Tanpa Shearwall Pada Bangunan Hotel Fame Jayapura. *Journal of Portal Civil Engineering*, 2(1).
- Smith, Bryan Stafford & Alex. (1991). *Tall Building Structures: Analysis And Design*. New York: A Willey-Interscience Publication.
- Soelarso, Baehaki, & Fika, N. (2016). Analisis Perbandingan Simpangan Horisontal (Drift) Pada Struktur

Gedung Tahan Gempa Dengan Menggunakan Pengaku Lateral (Bracing) Berdasarkan SNI 03-1726-2002 dan SNI 03-1726-2012. *Jurnal Fondasi*, 5(1).

Standar Nasional Indonesia 1726. (2019). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.

Standar Nasional Indonesia 1727. (2020). *Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung Dan Struktur Lain*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.

Wiryadi, G & I Ketut Sudarsana. (2019). Analisis Pengaruh Bentuk Dinding Geser Beton Bertulang Terhadap Kapasitas Dan Luas Tulangan. *Jurnal Spektran*, 7(2).

© 2021 Siklus Jurnal Teknik Sipil All rights reserved. This is an open access article distributed under the terms of the CC BY Licens (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)