

ANALISIS PENGARUH PENEMPATAN DINDING GESER TERHADAP PERILAKU DINAMIK STRUKTUR BANGUNAN

Hendry Tanoto Kalangi^{1*}, Jonie Taniyaya² dan Michael Thetrawan³

¹Teknik Sipil, Teknik, Universitas Atma Jaya Makassar, Jl. Tanjung Alang No. 23, Makassar

²Teknik Sipil, Teknik, Universitas Kristen Indonesia Paulus, Jl. Perintis Kemerdekaan Km. 13, Makassar

³Teknik Sipil, Teknik, Universitas Atma Jaya Makassar, Jl. Tanjung Alang No. 23, Makassar

*E-mail: hendrykalangi@gmail.com

ABSTRAK

Tujuan penelitian ini adalah untuk memodelkan tiga alternatif perencanaan dengan lokasi penempatan dinding geser yang berbeda. Analisis struktur menggunakan ETABS v18.1.1 sebagai alat bantu dan mengacu pada SNI 1726:2019 dan SNI 1727:2020. Hasil penelitian dari tiga pemodelan tersebut diatas, menunjukkan bahwa mode shape yang terjadi dari ketiga model tersebut adalah translasi pada mode shape 1 dan 2. Perencanaan alternatif 2 memiliki nilai simpangan yang paling kecil terhadap sumbu X dan sumbu Y, dan nilai simpangan rata-rata sebesar 19,787 mm pada arah X dan 17,220 mm pada arah Y. Syarat sistem ganda dengan rangka pemikul momen khusus juga terpenuhi pada perencanaan alternatif 2 dengan kontribusi gaya yang bekerja pada portal sebesar 36,7340% pada arah X dan 31,1996% pada arah Y. Jumlah partisipasi massa yang terjadi adalah diatas 90% dan sesuai dengan syarat yang ditentukan SNI.

Kata kunci: sistem ganda, dinding geser, perilaku dinamik, struktur beton bertulang

1. PENDAHULUAN

Dalam merencanakan bangunan tingkat tinggi tahan gempa, penggunaan dinding geser (*shear wall*) merupakan salah satu alternatif solusi yang dapat digunakan untuk meningkatkan kinerja struktur bangunan dalam menahan gaya gempa yang terjadi. Dinding geser merupakan pelat beton bertulang yang dipasang pada posisi vertikal untuk menambah kekakuan struktur. Dengan adanya dinding geser, maka akan mempengaruhi kekakuan bangunan sehingga gaya lateral yang terjadi tidak sepenuhnya diterima langsung oleh struktur rangka dalam hal ini kolom dan balok. Lokasi penempatan dinding geser sangat berpengaruh terhadap perilaku struktur gedung tingkat tinggi. Dinding geser yang diletakkan pada lokasi-lokasi tertentu yang cocok dan strategis dapat digunakan untuk menyediakan tahanan beban horizontal yang diperlukan.

Penelitian ini meninjau salah satu gedung yang berlokasi di Makassar di mana pembangunan ini terbagi menjadi dua tahap dengan rentang waktu yang belum diketahui untuk pembangunan selanjutnya. Rencana pembangunan gedung, yaitu setinggi 22 lantai tetapi pada tahap pertama ini, gedung hanya akan di bangun setinggi 9 lantai. Pembangunan tahap pertama setinggi 9 lantai seluas $\pm 3200\text{m}^2$ sedangkan untuk luas rencana bangunan setinggi 22 lantai jauh lebih luas dengan luas keseluruhan bangunan $\pm 18000\text{m}^2$ yang mengakibatkan terjadinya rotasi pada pembangunan tahap pertama ini. Pada pembangunan tahap selanjutnya, bangunan akan di bangun semakin tinggi dan menjadi lebih luas ke belakang. Berhubungan pembangunan bertahap, maka dilakukan penelitian akan bahaya rotasi yang terjadi pada pembangunan tahap pertama, yang tidak disarankan oleh SNI. Oleh karena itu dilakukan pengkajian ulang dengan variasi penempatan dinding geser agar struktur tersebut memenuhi syarat SNI. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis tiga alternatif penempatan dinding geser dengan lokasi penempatan yang berbeda terhadap pembangunan gedung Tahap I dan sesuai dengan standar perencanaan yang diatur dalam SNI 1726:2019. Analisis struktur menggunakan program software ETABS v18.1.1 sebagai alat bantu dan mengacu pada SNI 1726:2019 dan SNI 1727:2020.

1.1 Kajian Literatur

Menurut penelitian Windah (2011) pada jurnal "Penggunaan Dinding Geser Sebagai Elemen Penahan Gempa Pada Bangunan Bertingkat 10 Lantai" mendapatkan hasil simpangan untuk struktur yang menggunakan dinding geser lebih kecil dibandingkan dengan struktur yang tidak menggunakan dinding geser dan inersia suatu penampang merupakan faktor yang paling berpengaruh dalam meningkatkan kekakuan dari suatu struktur.

Menurut penelitian Andalas dkk (2016) pada jurnal "Analisis Layout Shear Wall Terhadap Perilaku Struktur Gedung" dibuat beberapa pemodelan dinding geser yang ditempatkan pada posisi yang berbeda-beda. Hasil dari analisis tersebut, yaitu penempatan atau posisi *shear wall* akan lebih optimum apabila *shear wall* diletakkan pada sisi gedung yang paling pinggir sehingga kekakuan struktur akan menjadi lebih besar dari pada dinding geser yang ditempatkan pada struktur dalam gedung.

Menurut penelitian Effendi dkk. (2017) pada jurnal “Studi Penempatan Dinding Geser Terhadap Waktu Getar Alami Fundamental Struktur Gedung” yang bertujuan untuk mengetahui variasi tata letak dinding geser terhadap waktu getar alami fundamental struktur gedung serta gaya geser dasar dan simpangan antar lantai yang terjadi dan gaya-gaya dalam pada bangunan akibat adanya beban gempa. Hasil dari penelitian tersebut, yaitu dinding geser yang diletakkan tidak simetris pada bangunan akan memberikan waktu getar yang lebih panjang sehingga tidak memenuhi batas atas waktu sedangkan dinding geser dengan posisi simetris akan memberikan nilai yang hampir sama dan masih masuk dalam batas bawah dan batas atas yang disyaratkan. Pemodelan *shear wall* yang menghasilkan waktu yang paling kecil yaitu posisi *shear wall* yang diletakkan pada ujung gedung.

Menurut penelitian Ida Bagus Dharma Giri (2018) pada jurnal “Analisis Perbandingan Perilaku Struktur Bangunan Tanpa Dan Dengan Dinding Geser Beton Bertulang” yang bertujuan untuk mendapatkan perbandingan perilaku struktur bangunan tanpa dan dengan dinding geser beton bertulang. Dalam pemodelan dibuat gedung tujuh lantai dengan tiga buah model, yaitu model rangka terbuka (tanpa dinding geser), model rangka dengan dinding geser beton bertulang dan model rangka dengan dinding geser beton bertulang tetapi dengan perubahan dimensi struktur pada kolom dan balok. Berdasarkan analisis tersebut, didapatkan hasil bahwa struktur dengan dinding geser akan menghasilkan nilai momen dan gaya geser yang relatif lebih kecil jika dibandingkan dengan struktur rangka yang dimodelkan tanpa dinding geser. Hal ini disebabkan karena kekakuan struktur rangka dengan menggunakan dinding geser menjadi lebih besar jika dibandingkan dengan kekakuan struktur rangka tanpa dinding geser.

Menurut penelitian Usmat dkk. (2019) pada jurnal “Analisa Letak Dinding Geser (*Shear Wall*) Terhadap Perilaku Struktur Gedung Akibat Beban Gempa” menganalisis posisi yang paling optimum untuk penempatan *Shear Wall* pada gedung yang menerima gempa statik dan dinamik dan menunjukkan bahwa *layout shear wall* yang diletakkan simetris sumbu-XY mendekati pusat massa dinilai paling optimum pada struktur gedung sistem ganda.

2. METODE

2.1 Data Penelitian

Bangunan yang ditinjau berukuran lebar 20 meter dan panjang 16 meter, dengan tinggi keseluruhan gedung pada Tahap I, yaitu 37,7 m. Data perencanaan gedung tersaji pada Tabel 1.

Tabel 1. Konfigurasi Gedung

Spesifikasi Tinggi Gedung	
Tinggi keseluruhan	37,7 meter
Tinggi <i>basement</i>	3,2 meter
Tinggi lantai dasar	5 meter
Tinggi lantai tipikal	4 meter (Lantai 2, 3, 4, 5 dan 6) 5,5 meter (Lantai 7) 4 meter (Lantai 8)

Dimensi balok dan kolom yang digunakan pada perencanaan gedung, berturut-turut tersaji pada Tabel 2 hingga Tabel 3.

Tabel 2. Dimensi Balok Perencanaan Gedung

No.	Dimensi	
	Lebar (mm)	Tinggi (mm)
1.	150	400
2.	300	300
3.	300	400
4.	300	500
5.	300	600
6.	300	700

Tabel 3. Dimensi Kolom Perencanaan Gedung

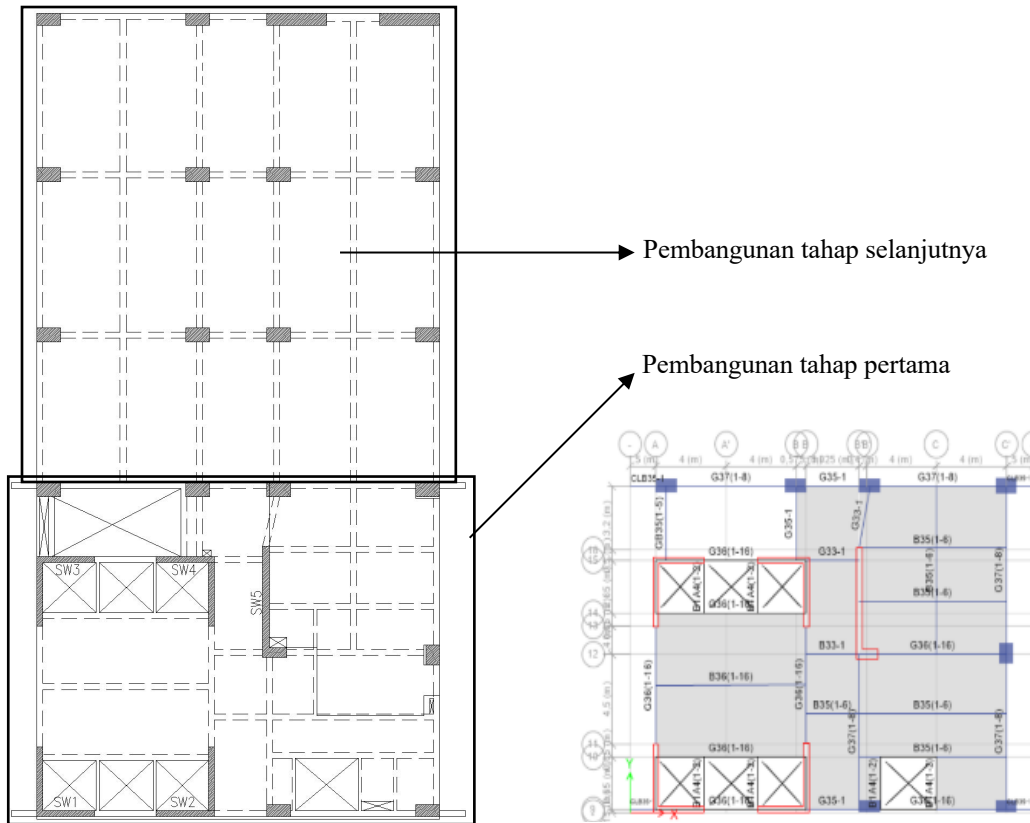
No.	Tipe	Level (lantai)	Dimensi (mmxmm)
1.	K1	B1-9	600x1200
2.	K2	B1-2	800x1000
		2-9	700x1000
3.	K3	B1-9	700x1200
4.	K4	B1-2	800x1200
		2-9	700x1200

Terdapat 2 tipe dinding geser berdasarkan data perencanaan awal tahap pertama pembangunan gedung. Dinding geser tipe 1, memiliki tebal 30 cm dengan panjang 290 cm pada arah X dan panjang 350 cm pada arah Y. Dinding geser tipe 2, memiliki tebal 50 cm dengan panjang 100 cm pada arah X dan tebal 35 cm dengan panjang 530 cm pada arah Y. Dinding geser tipe 1 merupakan SW1-SW4 dan dinding geser tipe 2 merupakan SW5 (lihat Gambar 1).

Tebal pelat lantai yang digunakan terdiri dari beberapa jenis, yaitu tebal pelat 12 cm, 13 cm dan 15 cm. Pelat dimodelkan sebagai elemen *shell* dengan *rigid diaphragm*. Digunakannya elemen *shell*, yaitu karena pelat diasumsikan dapat menerima gaya vertikal akibat beban mati dan hidup, juga dapat menerima gaya horizontal/lateral akibat beban gempa. Penggunaan elemen *shell* juga agar dimensi balok di sekitar pelat dapat menjadi lebih kecil di bandingkan jika menggunakan elemen *membrane*. Pelat dimodelkan sebagai *rigid diaphragm* agar pada saat terjadi gempa bumi, tidak terjadi rotasi pada pelat lantai yang direncanakan.

2.2 Pemodelan gedung dan mutu yang digunakan

Gedung menggunakan struktur beton bertulang dengan kuat tekan beton (f_c') sebesar 35 MPa untuk kolom dan dinding geser, sedangkan untuk balok dan pelat lantai menggunakan kuat tekan beton sebesar 25 MPa. Pemodelan awal gedung (*existing*) tersaji pada Gambar 1 dan untuk denah pembangunan tahap pertama tersaji pada Gambar 2.



Gambar 1. Denah perencanaan awal gedung

Gambar 2. Denah pembangunan tahap pertama

2.3 Pembebanan

Beban yang bekerja pada struktur bangunan, yaitu beban mati yang diakibatkan oleh berat sendiri struktur, beban mati akibat beban tambahan yang bersifat permanen, beban hidup dan beban gempa.

2.3.1 Beban Mati Tambahan

Beban mati tambahan yang bekerja pada struktur, dapat dilihat pada Tabel 4.

2.3.2 Beban Hidup

Gedung yang ditinjau yaitu berfungsi sebagai kampus. Besarnya beban hidup yang bekerja pada bangunan yang ditinjau berdasarkan SNI 1727:2020, yaitu sebesar 200 kg/m².

Tabel 4. Beban mati tambahan

No.	Komponen Gedung	Berat
1	Beban dinding	625 kg/m
2	Finishing lantai	125 kg/m ²
3	Plafond + ducting	25 kg/m ²

2.3.3 Beban Gempa

Bangunan yang ditinjau berfungsi sebagai kampus, maka bangunan tersebut masuk dalam kategori IV dan memiliki faktor keutamaan gempa, yaitu sebesar 1,5.

Nilai dari parameter percepatan gempa didapatkan dari aplikasi Peta Gempa dan Respons Spektra 2019 dengan nilai, S_s sebesar 0,220640g dan nilai S_1 sebesar 0,107680g.

Jenis kelas situs tanah yang ditinjau adalah tanah lunak (SE), maka akan didapatkan nilai $F_a = 2,4$ dan $F_v = 4,2$.

Nilai parameter spektrum respons percepatan pada periode pendek (S_{MS}) dan periode 1 detik (S_{M1}), yaitu sebesar:

$$S_{MS} = F_a \times S_s = 2,4 \times 0,22064 = 0,528g$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1 = 4,2 \times 0,10768 = 0,449g$$

Nilai Parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek, S_{DS} dan periode 1 detik, S_{D1} , yaitu sebagai berikut:

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times S_{MS} = \frac{2}{3} \times 0,582 = 0,3520g$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \times S_{M1} = \frac{2}{3} \times 0,449 = 0,2996g$$

2.3.4 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan yang digunakan pada perencanaan struktur ini sesuai dengan yang disyaratkan SNI 1726:2019.

Untuk nilai parameter percepatan spektral desain untuk periode pendek (S_{DS}) diperoleh sebesar 0,3520 g dan nilai faktor redundansi struktur (ρ) diperoleh sebesar 1,3 karena kategori desain seismik, struktur termasuk dalam kategori D.

2.3.5 Sistem Struktur

Sistem struktur yang digunakan, yaitu Sistem Ganda, yang merupakan gabungan antara Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dan Sistem Dinding Struktural Khusus (SDSK). Maka, nilai faktor R , C_d dan Ω_0 , yaitu:

Koefisien modifikasi respons, $R = 7$.

Faktor pembesaran defleksi, $C_d = 5,5$.

Faktor kuat lebih sistem, $\Omega_0 = 2,5$.

2.3.6 Pemodelan Perencanaan Alternatif

Terdapat 3 model perencanaan alternatif yang dilakukan dengan mencari posisi penempatan dinding geser yang paling efektif dan efisien dalam perencanaan ini. Ketiga model alternatif perencanaan yang dilakukan tersaji pada Gambar 3 – Gambar 5.

Dimensi dinding geser pada perencanaan alternatif dapat dilihat pada Tabel 5.

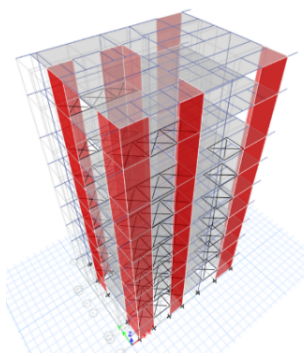
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis yang didapatkan, menggunakan program software *ETABS v18.1.1* dan mengacu pada SNI 1726:2019 untuk beban gempa dan SNI 1727:2020 untuk beban desain minimum pada struktur yang direncanakan. Hasil keluaran dari ketiga perencanaan alternatif yang dilakukan adalah sebagai berikut.

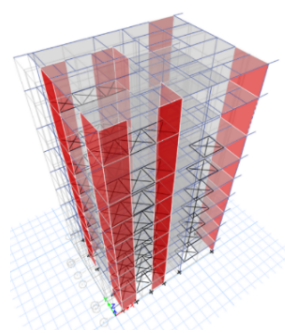
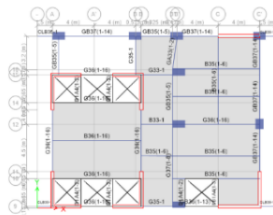
3.1 Jumlah Ragam/Partisipasi Massa

Jumlah ragam yang didapatkan dari ketiga alternatif perencanaan, yaitu diatas 90% dan telah memenuhi persyaratan sesuai SNI. Hasil perhitungan jumlah ragam dapat dilihat pada Tabel 6–Tabel 8.

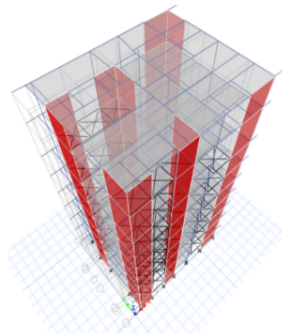
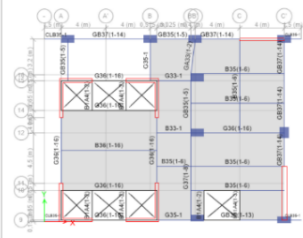
Berdasarkan Tabel 6–Tabel 8, dapat dilihat bahwa jumlah ragam getar untuk ketiga perencanaan yang dilakukan, telah mencapai syarat yang ditentukan, yaitu sebesar 90% pada modal 8 untuk kedua arah yang ditinjau, yaitu arah X maupun arah Y.



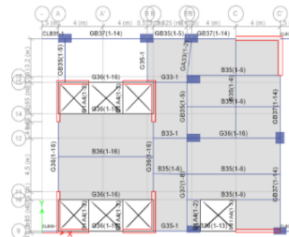
Gambar 3. Model perencanaan alternatif 1



Gambar 4. Model perencanaan alternatif 2



Gambar 5. Model perencanaan alternatif 3



Tabel 5. Dimensi Dinding Geser Pada Perencanaan Alternatif

SW	Arah	Tebal SW (mm)		
		Perencanaan 1	Perencanaan 2	Perencanaan 3
SW1	X	300	300	300
	Y		325	
SW2	X	300	300	300
	Y		325	
SW3	X	300	320	300
	Y			
SW4	X	300	320	300
	Y			
SW5	X	300	-	300
	Y		400	
SW6	X	330	240	250

3.2 Penentuan Periode Struktur

Ketinggian struktur dari lantai bawah hingga lantai atas, yaitu 37,7 m, dan dapat diperoleh batas bawah periode struktur yang diizinkan, dengan persamaan:

$$T_a = C_t h_n^x$$

$$T_a = 0,0488 \times 37,7^{0,75}$$

$$T_a = 0,7424 \text{ detik}$$

Batas atas periode struktur yang diizinkan, yaitu:

$$T = C_u T_a$$

$$T = 1,44 \times 0,7424 \text{ detik}$$

$$T = 1,0691 \text{ detik}$$

Dari persamaan diatas, telah didapatkan batas bawah dan batas atas periode struktur yang diizinkan. Berdasarkan Tabel 6–Tabel 8, dapat dilihat bahwa periode struktur yang terjadi secara berturut-turut, yaitu

0.9410 detik; 0.965 detik dan 0.967 detik. Dapat disimpulkan bahwa, nilai periode yang dihasilkan dapat digunakan, karena tidak kurang dari batas bawah dan tidak melebihi batas atas yang diizinkan.

Tabel 6. Jumlah Ragam Perencanaan Alternatif 1

Case	Mode	Period (sec)	Sum UX	Sum UY
Modal	1	0.9410	0.1145	0.5626
Modal	2	0.8410	0.6750	0.6753
Modal	3	0.6210	0.6750	0.6787
Modal	4	0.2290	0.7052	0.8092
Modal	5	0.1970	0.8411	0.8437
Modal	6	0.1450	0.8434	0.8452
Modal	7	0.0950	0.8546	0.8954
Modal	8	0.0810	0.9061	0.9079

Tabel 7. Jumlah Ragam Perencanaan Alternatif 2

Case	Mode	Period (sec)	Sum UX	Sum UY
Modal	1	0.965	0.6523	0.0001
Modal	2	0.821	0.6530	0.6664
Modal	3	0.624	0.6820	0.6720
Modal	4	0.235	0.8396	0.6720
Modal	5	0.190	0.8397	0.8446
Modal	6	0.149	0.8437	0.8457
Modal	7	0.097	0.9051	0.8457
Modal	8	0.077	0.9051	0.9102

Tabel 8. Jumlah Ragam Perencanaan Alternatif 3

Case	Mode	Period (sec)	Sum UX	Sum UY
Modal	1	0.967	0.1519	0.5091
Modal	2	0.851	0.6490	0.6740
Modal	3	0.616	0.6761	0.6776
Modal	4	0.233	0.7114	0.8028
Modal	5	0.200	0.8413	0.8424
Modal	6	0.146	0.8438	0.8446
Modal	7	0.095	0.8558	0.8944
Modal	8	0.082	0.9072	0.9070

3.3 Perhitungan Gaya Geser Dasar Dinamis Dan Gaya Geser Dasar Statis

Dari hasil perhitungan diperoleh nilai gaya geser dasar nominal yang didapat dari hasil analisis ragam respons struktur yang telah dilakukan untuk arah X dan Y. Nilai gaya geser dasar yang didapatkan dari hasil analisis ragam respons spektrum harus mencapai minimal 100% dari nilai gaya geser statik yang dihasilkan. Nilai gaya geser dasar dinamis dan gaya geser statis tersaji pada Tabel 9–Tabel 11.

Tabel 9. Pengecekan Gaya Geser Dasar Dinamis Dan Statis Perencanaan 1

Arah gaya	Dinamik Geser Dasar (kN)	Statik Geser Dasar (kN)	Kontrol $V_d \geq V_s$
Arah X	2655,2853	2655,2816	OK
Arah Y	2394,3189	2394,3108	OK

Tabel 10. Pengecekan Gaya Geser Dasar Dinamis Dan Statis Perencanaan 2

Arah gaya	Dinamik Geser Dasar (kN)	Statik Geser Dasar (kN)	Kontrol $V_d \geq V_s$
Arah X	2691,3701	2691,3659	OK
Arah Y	2365,7889	2365,7856	OK

Tabel 11. Pengecekan Gaya Geser Dasar Dinamis Dan Statis Perencanaan 3

Arah gaya	Dinamik Geser Dasar (kN)	Statik Geser Dasar (kN)	Kontrol $V_d \geq V_s$
Arah X	2626,4913	2626,4816	OK
Arah Y	2311,7646	2311,7623	OK

3.4 Simpangan Antar Lantai

Simpangan antar tingkat dari suatu struktur tidak boleh melebihi batas simpangan izin yang diizinkan. Batas simpangan izin yang diizinkan terjadi pada perencanaan struktur ini (sistem ganda) menurut SNI 1726:2019, yaitu sebesar $0,010 \cdot h_{sx}$ dimana h_{sx} merupakan tinggi tingkat di bawah tingkat x . Perhitungan simpangan inelastis pada alternatif perencanaan dapat dilihat pada Tabel 12 hingga Tabel 14.

Tabel 12. Simpangan Inelastis Alternatif Perencanaan 1

Story	h_{sx} mm	Cd	Arah X			Arah Y			Δ_a mm	Kontrol ($\delta_x \leq \Delta_a$)	
			δ_{xe} mm	Δ mm	δ_x mm	δ_{xe} mm	Δ mm	δ_x mm		Arah X	Arah Y
8	4000	5,5	41,658	5,113	18,748	52,478	6,155	22,568	40	OK!	OK!
7	5500	5,5	36,545	7,388	27,089	46,323	9,014	33,051	55	OK!	OK!
6	4000	5,5	29,157	5,349	19,613	37,309	6,791	24,900	40	OK!	OK!
5	4000	5,5	23,808	5,312	19,477	30,518	6,851	25,120	40	OK!	OK!
4	4000	5,5	18,496	5,213	19,114	23,667	6,678	24,486	40	OK!	OK!
3	4000	5,5	13,283	4,850	17,783	16,989	6,186	22,682	40	OK!	OK!
2	4000	5,5	8,433	4,141	15,184	10,803	5,270	19,323	40	OK!	OK!
1	5000	5,5	4,292	3,483	12,771	5,533	4,466	16,375	50	OK!	OK!
B1	3200	5,5	0,809	0,809	2,966	1,067	1,067	3,912	32	OK!	OK!
Base	0	5,5	0	0,000	0,000	0	0,000	0,000	0	OK!	OK!

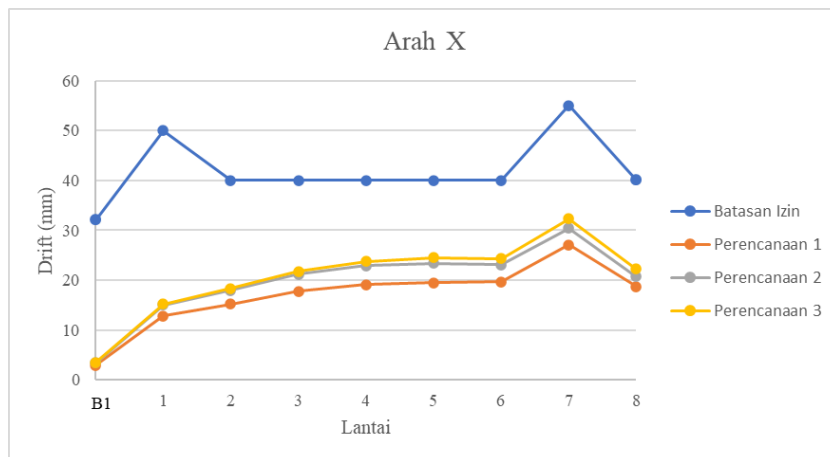
Tabel 13. Simpangan Inelastis Alternatif Perencanaan 2

Story	h_{sx} mm	Cd	Arah X			Arah Y			Δ_a mm	Kontrol ($\delta_x \leq \Delta_a$)	
			δ_{xe} mm	Δ mm	δ_x mm	δ_{xe} mm	Δ mm	δ_x mm		Arah X	Arah Y
8	4000	5,5	48,567	5,639	20,676	42,267	5,184	19,008	40	OK!	OK!
7	5500	5,5	42,928	8,303	30,444	37,083	7,461	27,357	55	OK!	OK!
6	4000	5,5	34,625	6,307	23,126	29,622	5,568	20,416	40	OK!	OK!
5	4000	5,5	28,318	6,382	23,401	24,054	5,551	20,354	40	OK!	OK!
4	4000	5,5	21,936	6,234	22,858	18,503	5,346	19,602	40	OK!	OK!
3	4000	5,5	15,702	5,772	21,164	13,157	4,883	17,904	40	OK!	OK!
2	4000	5,5	9,93	4,904	17,981	8,274	4,098	15,026	40	OK!	OK!
1	5000	5,5	5,026	4,089	14,993	4,176	3,391	12,434	50	OK!	OK!
B1	3200	5,5	0,937	0,937	3,436	0,785	0,785	2,878	32	OK!	OK!
Base	0	5,5	0	0,000	0,000	0	0,000	0,000	0	OK!	OK!

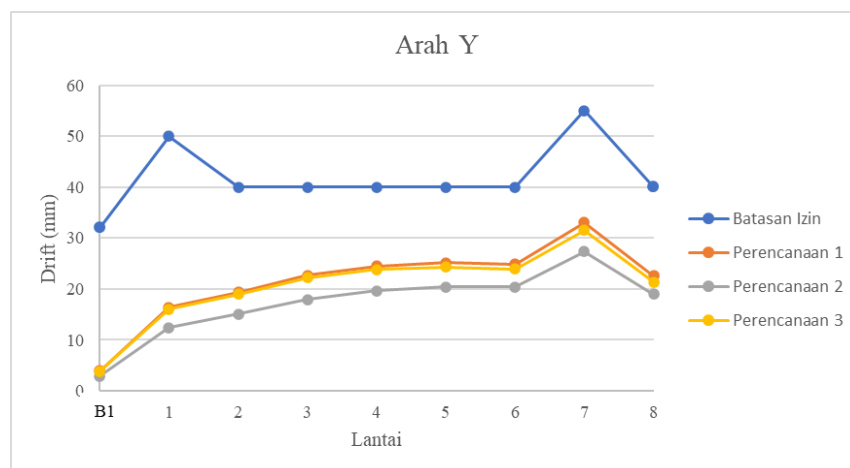
Tabel 14. Simpangan Inelastis Alternatif Perencanaan 3

Story	h_{sx} mm	Cd	Arah X			Arah Y			Δ_a mm	Kontrol ($\delta_x \leq \Delta_a$)	
			δ_{xe} mm	Δ mm	δ_x mm	δ_{xe} mm	Δ mm	δ_x mm		Arah X	Arah Y
8	4000	5,5	50,681	6,055	22,202	50,716	5,817	21,329	40	OK!	OK!
7	5500	5,5	44,626	8,820	32,340	44,899	8,586	31,482	55	OK!	OK!
6	4000	5,5	35,806	6,645	24,365	36,313	6,533	23,954	40	OK!	OK!
5	4000	5,5	29,161	6,674	24,471	29,78	6,633	24,321	40	OK!	OK!
4	4000	5,5	22,487	6,468	23,716	23,147	6,504	23,848	40	OK!	OK!
3	4000	5,5	16,019	5,940	21,780	16,643	6,049	22,180	40	OK!	OK!
2	4000	5,5	10,079	5,005	18,352	10,594	5,170	18,957	40	OK!	OK!
1	5000	5,5	5,074	4,133	15,154	5,424	4,376	16,045	50	OK!	OK!
B1	3200	5,5	0,941	0,941	3,450	1,048	1,048	3,843	32	OK!	OK!
Base	0	5,5	0	0,000	0,000	0	0,000	0,000	0	OK!	OK!

Dari Tabel 12-Tabel 14, maka dapat dibuat grafik hasil *drift* perpindahan yang terjadi pada perencanaan alternatif 1 hingga 3. Grafik hasil *drift* tersebut dapat dilihat pada Gambar 6 dan Gambar 7.



Gambar 6. Grafik hasil *drift* arah X



Gambar 7. Grafik hasil *drift* arah Y

Berdasarkan Gambar 6 dan Gambar 7, dapat dilihat bahwa simpangan yang terjadi pada ketiga perencanaan alternatif, tidak melebihi batas izin simpangan (garis berwarna biru).

Perencanaan alternatif 1 (garis berwarna orange) mempunyai simpangan yang paling kecil terhadap sumbu X sedangkan perencanaan 3 mempunyai nilai simpangan yang paling besar (garis berwarna kuning).

Nilai simpangan yang paling kecil terhadap sumbu Y didapatkan pada perencanaan 2 (garis berwarna abu-abu), sedangkan perencanaan alternatif 1 memiliki nilai simpangan yang paling besar.

3.5 Pengecekan P-delta

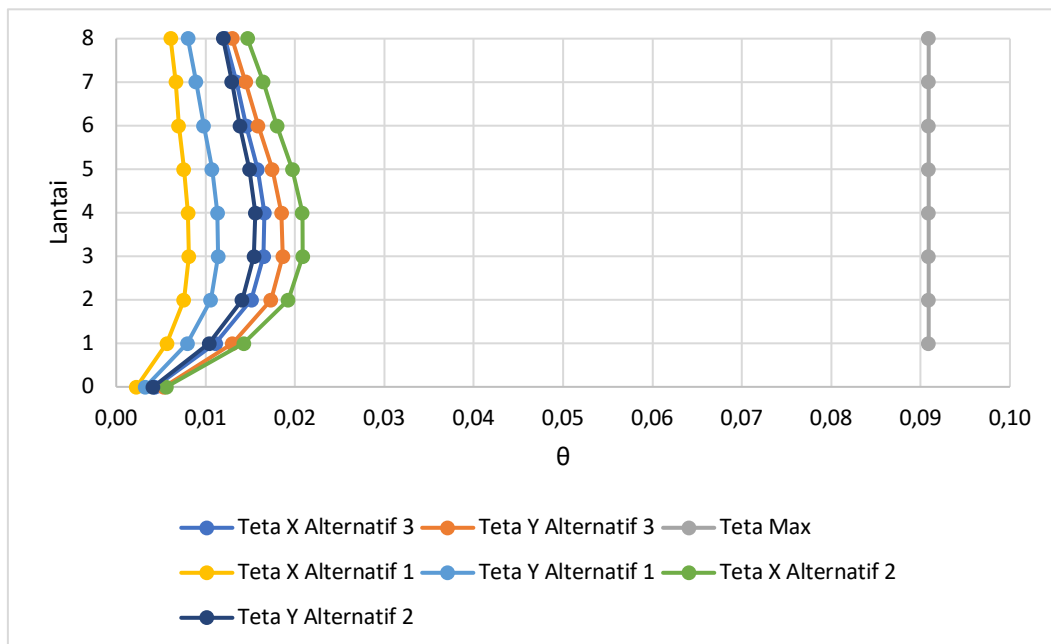
Struktur dikatakan masih dalam keadaan yang stabil atau efek P-delta boleh tidak diperhitungkan, jika $\theta < \theta_{max}$ Untuk mendapatkan nilai θ_{max} menggunakan persamaan dibawah ini:

$$\theta_{max} = \frac{0,5}{\beta C_A} \leq 0,025$$

$$\theta_{max} = \frac{0,5}{1 \times 5,5}$$

$$\theta_{max} = 0,0901$$

Perhitungan nilai θ pada perencanaan disajikan pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik P-delta

Dari Gambar 7, dapat dilihat bahwa nilai θ yang didapatkan dari ketiga perencanaan alternatif tidak melebihi θ_{max} yang berarti bahwa pengaruh P-delta boleh tidak diperhitungkan dan juga struktur masih dalam keadaan yang stabil.

3.6 Pengecekan Ketidakberaturan

Pada alternatif perencanaan yang dilakukan, tidak didapatkan ketidakberaturan horizontal maupun ketidakberaturan vertikal.

Untuk jenis-jenis ketidakberaturan horizontal maupun ketidakberaturan vertikal pada struktur dapat dilihat pada Tabel 13 dan Tabel 14 SNI 1726:2019. Contoh pengecekan ketidakberaturan horizontal Tipe 1 dapat dilihat pada Tabel 15–Tabel 20.

Dapat dilihat pada Tabel 15–Tabel 20, perencanaan alternatif yang dilakukan tidak menimbulkan ketidakberaturan horizontal tipe 1A (terjadi jika simpangan maksimum antar lantai melebihi 1,2) maupun ketidakberaturan horizontal tipe 1B (terjadi jika simpangan maksimum antar lantai melebihi 1,4).

Pada struktur ini, semua kolom dan *shear wall* menerus dari bawah hingga atas, sehingga ketidakberaturan horizontal tipe 4 tidak ada. Kolom-kolom dan *shear wall* juga terletak pada arah sumbu X maupun sumbu Y sehingga ketidakberaturan sistem nonparallel tidak ada (ketidakberaturan horizontal tipe 5).

Tabel 15. Pengecekan Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1 Perencanaan Alternatif 1 Arah X

Story	Max Drift mm	Avg Drift mm	Ratio
8	4,369	4,145	1,054
7	6,314	6,062	1,042
6	4,706	4,570	1,030
5	4,683	4,593	1,019
4	4,495	4,455	1,009
3	4,104	4,088	1,004
2	3,503	3,461	1,012
1	2,945	2,877	1,024
B1	0,685	0,664	1,031

Tabel 19. Pengecekan Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1 Perencanaan Alternatif 3 Arah X

Story	Max Drift mm	Avg Drift mm	Ratio
8	5,808	5,068	1,146
7	8,543	7,471	1,143
6	6,498	5,683	1,143
5	6,574	5,754	1,143
4	6,423	5,626	1,142
3	5,951	5,219	1,140
2	5,065	4,447	1,139
1	4,229	3,723	1,136
B1	0,975	0,858	1,136

Tabel 16. Pengecekan Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1 Perencanaan Alternatif 1 Arah Y

Story	Max Drift mm	Avg Drift mm	Ratio
8	5,364	4,693	1,143
7	7,845	6,842	1,147
6	5,895	5,142	1,147
5	5,931	5,166	1,148
4	5,767	5,016	1,150
3	5,329	4,625	1,152
2	4,533	3,924	1,155
1	3,835	3,300	1,162
B1	0,896	0,776	1,154

Tabel 18. Pengecekan Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1 Perencanaan Alternatif 2 Arah Y

Story	Max Drift mm	Avg Drift mm	Ratio
8	4,419	4,138	1,068
7	6,343	5,891	1,077
6	4,72	4,333	1,089
5	4,691	4,268	1,099
4	4,507	4,063	1,109
3	4,113	3,677	1,119
2	3,457	3,066	1,128
1	2,874	2,535	1,134
B1	0,658	0,589	1,117

Tabel 17. Pengecekan Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1 Perencanaan Alternatif 2 Arah X

Story	Max Drift mm	Avg Drift mm	Ratio
8	4,787	4,534	1,056
7	7,091	6,778	1,046
6	5,371	5,171	1,039
5	5,422	5,247	1,033
4	5,285	5,136	1,029
3	4,886	4,769	1,025
2	4,156	4,070	1,021
1	3,464	3,403	1,018
B1	0,795	0,777	1,022

Tabel 20. Pengecekan Ketidakberaturan Horizontal Tipe 1 Perencanaan Alternatif 3 Arah Y

Story	Max Drift mm	Avg Drift mm	Ratio
8	3,729	3,389	1,100
7	5,381	4,891	1,100
6	4,019	3,646	1,102
5	4,005	3,631	1,103
4	3,855	3,493	1,104
3	3,520	3,189	1,104
2	2,954	2,679	1,103
1	2,447	2,228	1,098
B1	0,562	0,526	1,069

Pengecekan ketidakberaturan vertikal tipe 1A maupun tipe 1B tersaji pada Tabel 21–Tabel 26.

Tabel 21. Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1A Perencanaan 1

Lantai	Arah X			Arah Y		
	Kekakuan kN/m	Cek 70% kN/m	Cek 80% kN/m	Kekakuan kN/m	Cek 70% kN/m	Cek 80% kN/m
8	173033,250	-	-	151194,225	-	-
7	236780,801	121123,275	-	204513,190	105835,958	-
6	431464,154	165746,561	-	369009,385	143159,233	-
5	517073,737	302024,908	224340,855	439140,027	258306,570	193257,813
4	606610,018	361951,616	316084,985	512090,920	307398,019	270043,361
3	722279,430	424627,013	414706,109	606100,435	358463,644	352064,089
2	908052,133	505595,601	492256,849	756977,665	424270,305	415288,369
1	1132400,570	635636,493	596517,755	931583,279	529884,366	500045,072
B1	4941159,810	792680,399	736728,569	3964291,060	652108,295	611909,701

Tabel 22. Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1A Perencanaan 2

Lantai	Arah X			Arah Y		
	Kekakuan kN/m	Cek 70% kN/m	Cek 80% kN/m	Kekakuan kN/m	Cek 70% kN/m	Cek 80% kN/m
8	146856,379	-	-	183282,104	-	-
7	195196,118	102799,465	-	252624,817	128297,473	-
6	347402,411	136637,283	-	462748,694	176837,372	-
5	410332,684	243181,688	183854,642	557433,136	323924,086	239641,497
4	476306,830	287232,879	254114,990	657964,627	390203,195	339415,106
3	562532,421	333414,781	329077,847	788341,681	460575,239	447505,722
2	702572,790	393772,695	386445,849	996682,944	551839,177	534330,518
1	871124,622	491800,953	464376,544	1242617,656	697678,061	651463,801
B1	3808795,452	609787,235	569661,289	5312512,769	869832,359	807371,275

Tabel 23. Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1A Perencanaan 3

Lantai	Arah X			Arah Y		
	Kekakuan kN/m	Cek 70% kN/m	Cek 80% kN/m	Kekakuan kN/m	Cek 70% kN/m	Cek 80% kN/m
8	167344,918	-	-	144754,838	-	-
7	227020,858	117141,443	-	195373,415	101328,387	-
6	411625,049	158914,601	-	352109,506	136761,391	-
5	492715,185	288137,534	214930,887	419410,054	246476,654	184596,736
4	578379,228	344900,630	301696,291	490112,034	293587,038	257838,127
3	689989,343	404865,460	395391,857	581853,791	343078,424	336435,092
2	869792,706	482992,540	469622,335	729452,523	407297,654	397700,234
1	1088560,219	608854,894	570176,341	902757,196	510616,766	480378,226
B1	4763227,315	761992,153	706224,605	3881179,644	631930,037	590416,936

Tabel 24. Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1b Perencanaan 1

Lantai	Arah X			Arah Y		
	Kekakuan	Cek 60%	Cek 70%	Kekakuan	Cek 60%	Cek 70%
	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m
8	173033,250	-	-	151194,225	-	-
7	236780,801	103819,950	-	204513,190	90716,535	-
6	431464,154	142068,481	-	369009,385	122707,914	-
5	517073,737	258878,492	196298,248	439140,027	221405,631	169100,587
4	606610,018	310244,242	276574,361	512090,920	263484,016	236287,940
3	722279,430	363966,011	362867,845	606100,435	307254,552	308056,077
2	908052,133	433367,658	430724,743	756977,665	363660,261	363377,322
1	1132400,570	544831,280	521953,036	931583,279	454186,599	437539,438
B1	4941159,810	679440,342	644637,498	3964291,060	558949,967	535420,988

Tabel 25. Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1B Perencanaan 2

Lantai	Arah X			Arah Y		
	Kekakuan	Cek 60%	Cek 70%	Kekakuan	Cek 60%	Cek 70%
	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m
8	146856,379	-	-	183282,104	-	-
7	195196,118	88113,827	-	252624,817	109969,262	-
6	347402,411	117117,671	-	462748,694	151574,890	-
5	410332,684	208441,447	160872,812	557433,136	277649,216	209686,310
4	476306,830	246199,610	222350,616	657964,627	334459,882	296988,218
3	562532,421	285784,098	287943,116	788341,681	394778,776	391567,507
2	702572,790	337519,453	338140,118	996682,944	473005,009	467539,204
1	871124,622	421543,674	406329,476	1242617,656	598009,766	570030,825
B1	3808795,452	522674,773	498453,628	5312512,769	745570,594	706449,866

Tabel 26. Pengecekan Ketidakberaturan Vertikal Tipe 1B Perencanaan 3

Lantai	Arah X			Arah Y		
	Kekakuan	Cek 60%	Cek 70%	Kekakuan	Cek 60%	Cek 70%
	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m	kN/m
8	167344,918	-	-	144754,838	-	-
7	227020,858	100406,951	-	195373,415	86852,903	-
6	411625,049	136212,515	-	352109,506	117224,049	-
5	492715,185	246975,029	188064,526	419410,054	211265,704	161522,144
4	578379,228	295629,111	263984,255	490112,034	251646,032	225608,361
3	689989,343	347027,537	345967,874	581853,791	294067,220	294380,705
2	869792,706	413993,606	410919,543	729452,523	349112,275	347987,705
1	1088560,219	521875,624	498904,298	902757,196	437671,514	420330,948
B1	4763227,315	653136,131	617946,529	3881179,644	541654,318	516614,819

Dapat dilihat dari Tabel 21–Tabel 26, pada perencanaan alternatif ini juga tidak terdapat ketidakberaturan vertikal tipe 1A (didefinisikan ada jika kekakuan lateral di sembarang tingkat kurang dari 70% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 80% rata-rata tiga tingkat di atasnya) maupun 1B (didefinisikan ada jika kekakuan lateral di sembarang tingkat kurang dari 60% kekakuan lateral tingkat di atasnya atau kurang dari 70% kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya).

Pengecekan terhadap ketidakberaturan massa dan tidak didapatkan ketidakberaturan vertikal tipe 2 (didefinisikan ada jika massa efektif di sembarang tingkat lebih dari 150% massa efektif tingkat di dekatnya). Semua dimensi kolom dan shear wall dari lantai bawah hingga lantai atas adalah seragam sehingga tidak didapatkan ketidakberaturan vertikal tipe 3.

3.7 Pengecekan Kontribusi *Frame*

Dalam proses desain sistem ganda, disyaratkan bahwa rangka pemikul momen (*frame*) minimal memikul 25% gaya lateral yang terjadi. Hasil pengecekan kontribusi dinding geser dari struktur yang direncanakan disajikan pada Tabel 27–Tabel 29.

Tabel 27. Kontribusi *Shear Wall* Perencanaan Alternatif 1

Arah	Lokasi	Total gaya yang dipikul (kN)	(%)
X	<i>Shear Wall</i>	2098,5909	79,0344
	Keseluruhan	2655,2853	
Y	<i>Shear Wall</i>	2017,7788	84,2736
	Keseluruhan	2394,3189	

Tabel 28. Kontribusi *Shear Wall* Perencanaan Alternatif 2

Arah	Lokasi	Total gaya yang dipikul (kN)	(%)
X	<i>Shear Wall</i>	1496,7420	63,2660
	Keseluruhan	2365,7889	
Y	<i>Shear Wall</i>	1851,6747	68,8004
	Keseluruhan	2691,3701	

Tabel 29. Kontribusi *Shear Wall* Perencanaan Alternatif 3

Arah	Lokasi	Total gaya yang dipikul (kN)	(%)
X	<i>Shear Wall</i>	2079,5851	79,1773
	Keseluruhan	2626,4913	
Y	<i>Shear Wall</i>	1804,9394	78,0762
	Keseluruhan	2311,7646	

Berdasarkan Tabel 27–Tabel 29, dapat dilihat bahwa perencanaan 2 merupakan perencanaan yang paling efisien dalam memenuhi syarat sistem ganda dengan kontribusi *frame* yang terjadi yaitu sebesar 36,7340% pada arah X dan 31,1996% pada arah Y, yang berarti bahwa perencanaan 2 dapat digunakan sebagai perencanaan alternatif untuk memenuhi syarat sistem ganda. Terpenuhi nya syarat sistem ganda yang di maksud, yaitu kontribusi *frame* dan kontribusi *shear wall* (*frame* minimal memikul 25% gaya lateral yang terjadi dan *shear wall* maksimal memikul 75% gaya lateral yang terjadi).

Perencanaan 1 dan 3 juga dapat digunakan sebagai perencanaan alternatif, tetapi perlu dilakukan analisis yang lebih lanjut agar persyaratan sistem ganda terpenuhi.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Dari ketiga alternatif perencanaan yang dianalisis, menunjukkan bahwa alternatif 2 merupakan alternatif perencanaan yang paling efisien karena mempunyai perpindahan struktur yang paling efektif terhadap sumbu X dan sumbu Y dengan nilai rata-rata perpindahan sebesar 19,787mm terhadap sumbu X dan 17,220mm terhadap sumbu Y (maksimal perpindahan yang diizinkan yaitu 40mm untuk kedua arah

yang ditinjau). Alternatif 2 ini juga merupakan alternatif yang paling efisien dalam memenuhi syarat sistem ganda (*frame* minimal memikul 25% gaya lateral yang terjadi), dengan kontribusi pada portal sebesar 36,7340% terhadap sumbu X dan 31,1996% terhadap sumbu Y.

2. Dari ketiga alternatif perencanaan, didapatkan bahwa pada saat terjadi gempa, struktur tersebut sudah mengalami translasi pada *mode* shape 1 dan 2 dengan jumlah partisipasi massa lebih dari 90% sesuai dengan syarat yang ditentukan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada proyek yang telah mengizinkan untuk melakukan penelitian dan memberikan data-data yang dibutuhkan pada penelitian kali ini.

PUSTAKA

- Andalas, G., Suyadi dan Husni, H. R. 2016 . Analisis Layout Shearwall Terhadap Perilaku Struktur Gedung. *Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain*. (Online), Vol. 1, No. 1, (<http://journal.eng.unila.ac.id/index.php/jsdd/article/viewFile/453/pdf>, diakses 20 Oktober 2020).
- Badan Standardisasi Nasional. 2019. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung, SNI 1726:2019*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standardisasi Nasional. 2020. *Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain, SNI 1727:2020*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Batu, Mikael Lumban, dkk. 2016. Efisiensi Penggunaan Dinding Geser Untuk Mereduksi Efek Torsi Pada Bangunan Yang Tidak Beraturan. *Jurnal Sipil Statik*. (Online), Vol. 4 No. 1, (<https://media.neliti.com/media/publications/129768-ID-none.pdf>, diakses 15 Maret 2021).
- Budiono, Bambang, dkk. 2017. *Contoh Desain Bangunan Tahan Gempa Dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus dan Sistem Dinding Struktur Khusus di Jakarta*. Bandung: ITB Press.
- Effendi, F., Wesli, Chandra, Y. dan Akbar, S. J. 2017. Studi Penempatan Dinding Geser Terhadap Waktu Getar Alami Fundamental Struktur Gedung. *Teras Jurnal*. (Online), Vol. 7, No. 2, (<http://teras.unimal.ac.id/index.php/teras/article/download/133/119>, diakses 20 Januari 2021).
- Fadli, M. Hamzah. 2015. *Aplikasi ETABS Pada Perancangan Gedung 15 Lantai Dengan Struktur Beton Bertulang Menggunakan Sistem Ganda Sebagai Penahan Beban Gempa Sesuai SNI 1726:2012*. (Online), (<https://www.scribd.com/document/384559072/Aplikasi-Etabs-Pada-Dual-System-Structure-by-Hamzah>, diakses 26 Oktober 2020).
- Giri, I. D. 2018. Perbandingan Perilaku Struktur Bangunan Tanpa dan Dengan Dinding Geser Beton Bertulang. *A Scientific Journal Of Civil Engineering*. (Online), Vol. 22, No. 2, (<https://ojs.unud.ac.id/index.php/jits/article/download/41769/25394>, diakses 20 Oktober 2020).
- Nugroho, F. 2017. Pengaruh Dinding Geser Terhadap Perencanaan Kolom dan Balok Bangunan Gedung Beton Bertulang. *Jurnal Momentum*. (Online), Vol. 19, No. 1, (<http://ejournal.itp.ac.id/index.php/momentum/article/download/583/488>, diakses 06 Januari 2021).
- Pusat Litbang Perumahan dan Permukiman. 2019. *Desain Spektra Indonesia*. (Online), (<http://rsapuskim2019.litbang.pu.go.id/>, diakses 17 November 2020).
- Usmat, N. A., Imran, I. dan Sultan, M. A. 2019. Analisa Letak Dinding Geser (*Shear Wall*) Terhadap Perilaku Struktur Gedung Akibat Beban Gempa. *Jurnal Techno*. (Online), Vol. 08, No. 02, (<https://ejournal.unkhair.ac.id/index.php/Techno/article/download/1327/1119>, diakses 20 Januari 2021).
- Windah, R. S. 2011. Penggunaan Dinding Geser Sebagai Elemen Penahan Gempa Pada Bangunan Bertingkat 10 Lantai. *Jurnal Ilmiah Media Engineering*. (Online), Vol. 1, No. 2, (<https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/jime/article/download/4222/3751>, diakses 20 Oktober 2020).