

Analisis Pengaruh Penambahan Dinding Geser terhadap Perilaku Struktur Gedung Sistem Ganda

Rosi Nursani^{1,*} dan Dheni Elyana Noor¹

¹ Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Siliwangi, Tasikmalaya, Indonesia 46115

* Penulis koresponden: rosinursani@gmail.com

Abstrak: Beban gempa merupakan beban yang harus diperhitungkan dalam merencanakan kekuatan struktur gedung terutama di daerah rawan gempa. Beban gempa dapat mengakibatkan bangunan mengalami gerakan pada arah horizontal dan menyerang titik lemah struktur. Dinding geser merupakan salah satu komponen struktural pada gedung yang dapat meningkatkan kekakuan gedung. Terdapat struktur gedung 7 lantai yang menggunakan sistem ganda dengan dinding geser di bagian lift. Penelitian dilakukan dengan menambahkan dinding geser pada struktur dengan tujuan membandingkan perilaku struktur sebelum dan setelah penambahan dinding geser. Perhitungan analisis struktur menggunakan bantuan perangkat lunak untuk membuat pemodelan dan mendapatkan hasil gaya dalam yang terjadi. *Output* gaya dalam digunakan untuk menghitung kapasitas struktur. Hasil penelitian menunjukkan terdapat perbandingan antara perilaku struktur sebelum dan setelah penambahan dinding geser. Apabila simpangan horizontal, gaya geser dasar dan waktu getar alami melebihi syarat aman, maka gedung berpotensi mengalami kerusakan sampai keruntuhan. Struktur dengan penambahan dinding geser dapat meminimalisir simpangan antar lantai sehingga kekakuan struktur lebih besar.

Kata kunci: Dinding geser; Simpangan; Gaya geser dasar; Periode struktur

1. Pendahuluan

Struktur gedung bertingkat harus mempunyai kekuatan dan daya layan yang baik dimana salah satunya ditunjukkan oleh nilai kekakuan struktur. Struktur yang memiliki kekakuan yang baik akan meminimalisir terjadinya simpangan lateral yang terjadi. Kekakuan struktur dapat diperbesar dengan menggunakan sistem struktur kombinasi antara rangka dan dinding geser, atau sering disebut sebagai sistem ganda. Dinding geser merupakan salah satu komponen struktural penting yang berfungsi menambah kekakuan bangunan yang dapat menahan beban lateral seperti beban gempa dan beban angin. Kerusakan dinding geser dapat menyebabkan kerusakan serius bahkan keruntuhan struktur yang progresif sehingga kerusakan dinding geser dalam variabel perpindahan dan gaya geser dasar baik dalam jangka waktu pendek maupun dalam kerusakan jangka Panjang perlu dianalisis dan dideteksi agar keruntuhan struktur dapat dihindari [1]. Bentuk dan material dinding geser dapat bervariasi. Bentuk dinding geser *I-Shape* memiliki kapasitas aksial dan momen lebih besar dibandingkan dengan bentuk dinding geser *L-Shape* dan *T-Shape*. Selain itu bentuk dinding geser tersebut menghasilkan luas tulangan paling kecil dibandingkan tipe bentuk dinding geser lainnya [2].

Diterima: 27 Juli 2023
Disetujui: 29 Agustus 2023

Sitasi:
Nursani, R. Noor, Dheni E. Analisis Pengaruh Penambahan Dinding Geser terhadap Perilaku Struktur Gedung Sistem Ganda. *J. Teknik Sipil dan Lingkungan*. 2023; 8 (2): 105-114.,
<https://doi.org/10.29244/jsil.8.2.105-114>

Tipe bentuk dinding geser L-*Shape* yang diletakkan di tepi bangunan memiliki kapasitas lebih baik jika dilihat dari dimensi dan simpangannya dibandingkan dengan bentuk dinding geser yang lainnya [3]. Sedangkan material dinding geser dapat berupa beton bertulang, baja ataupun komposit atau gabungan dari dua jenis material atau lebih. Dinding geser baja memiliki kekakuan lentur yang baik sehingga dapat meningkatkan kekuatan lateral yang bekerja seperti bantalan dalam arah lateral [4]. Selain dinding geser beton bertulang, dinding geser komposit dapat digunakan pada gedung. Kelebihan lebih dari dua material yang berbeda seperti dinding geser komposit baja-beton dapat meningkatkan kekuatan struktur. seperti kuat tekan beton, rasio tulangan, tegangan leleh baja dapat berpengaruh nyata pada daktilitas dan penyerapan energi [5].

Selain dengan bentuk tipe dinding geser, ketidakberaturan denah gedung juga mempengaruhi kinerja dari dinding geser yang ada. *Layout* tata letak dinding geser sangat berpengaruh terhadap struktur bangunan bertingkat dalam menahan beban gempa dan besar simpangan horizontal yang dihasilkan [6]. Pada gedung bertingkat, bentuk denah struktur bangunan yang tidak beraturan menyebabkan adanya eksentrisitas antara pusat kekakuan dan pusat massa dimana eksentrisitas tersebut dapat menyebabkan terjadinya rotasi akibat torsi dan berbahaya pada struktur bangunan. Ketidakberaturan bangunan bisa berupa ketidakberaturan horizontal maupun vertikal. Ketidakberaturan horizontal bisa disebabkan oleh bentuk denah yang tidak simetris atau terdapat banyak bukaan untuk keperluan arsitektural. Kekakuan lateral bangunan gedung bertingkat dipengaruhi oleh ukuran bukaan baik bukaan horizontal pada denah gedung maupun bukaan vertical seperti jendela sehingga diperlukan adanya dinding geser untuk meningkatkan kekakuan gedung akibat bukaan tersebut [7]. Kebutuhan arsitektur dan kebutuhan teknis berupa bukaan dan lain-lain pada gedung tidak dapat dihindari. Daerah bukaan menyebabkan adanya diskontinuitas dan penurunan kekakuan sehingga memerlukan dinding geser sebagai salah satu elemen penahan lateral utama [8].

Dinding geser memberikan kinerja yang berbeda berdasarkan posisinya dalam struktur bangunan. Ketebalan dinding geser yang semakin tebal menyebabkan adanya penurunan daktilitas. Selain itu penurunan daktilitas juga dapat terjadi ketika posisi dinding geser berubah. [9]. Pada bangunan beton bertingkat dinding geser berfungsi untuk menahan beban lateral yang timbul dari beban angin dan beban gempa yang berkekuatan sedang sampai dengan kekuatan tinggi. Jumlah dan lokasi dinding geser memiliki peran penting dalam mengendalikan respon bangunan sehingga perlu dioptimalkan [10]. Oleh karena itu, Penelitian dilakukan dengan menambahkan dinding geser di posisi selain lift. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan perilaku struktur gedung sistem ganda dengan dan tanpa penambahan dinding geser.

2. Metode

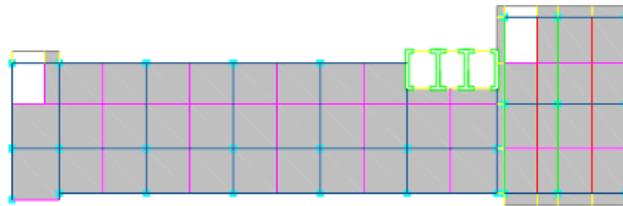
2.1. Data Teknis Gedung

Struktur gedung yang dimodelkan merupakan gedung 7 lantai dengan luas bangunan 1.132,51 m² berlokasi di Kota Tasikmalaya. Hasil penyelidikan tanah di lokasi menghasilkan kesimpulan berupa tanah dasar kategori sedang yang termasuk ke dalam KDS D. Sistem struktur yang digunakan menggunakan sistem ganda dengan dinding geser di bagian lift. Kota Tasikmalaya termasuk wilayah gempa 4 berdasarkan peta wilayah gempa. Beban gempa diperhitungkan berdasarkan pergerakan tanah dimana struktur itu berdiri, adapun indikator untuk mengukur efek beban dinamis gempa adalah simpangan horizontal dan waktu getar alami. Simpangan horizontal dan waktu getar alami telah diatur dalam SNI 1726:2019 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung apabila melebihi syarat aman, maka gedung akan melewati ambang batas *serviceability* dan berpotensi mengalami kerusakan sampai keruntuhan.

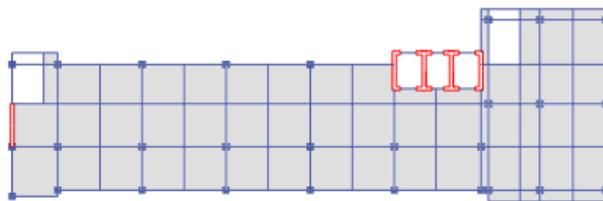
Berikut merupakan data Teknis Gedung yang dimodelkan:

Fungsi Bangunan	:	Hotel
Lokasi Bangunan	:	Kota Tasikmalaya
Jumlah Lantai	:	7 Lantai
Luas Bangunan	:	1.132,51 m ²
Struktur Bangunan	:	Sistem Struktur Ganda
Jenis Fondasi	:	<i>Bored Pile</i>
Mutu Beton		
Kolom dan pondasi	:	K – 350
<i>Sloof</i> , pelat dan balok	:	K – 300
Mutu Baja Beton		
Tulangan Ulir (<i>f_y</i>)	:	420 MPa
Tulangan Polos (<i>f_y</i>)	:	280 MPa

Berdasarkan SNI 1726-2019 struktur dengan sistem ganda merupakan gabungan antara sistem rangka dan dinding geser dimana sistem rangka dan dinding geser memiliki pengaruh yang proporsional. Struktur gedung sistem ganda dianalisis berdasarkan pemodelan 3D menggunakan bantuan perangkat lunak. Pemodelan dilakukan dengan menerapkan dua buah variasi model yaitu model 1 struktur gedung tanpa penambahan dinding geser dan model 2 struktur gedung dengan penambahan dinding geser. Berikut gambar (**Gambar 1 dan 2**) denah struktur yang dimodelkan:



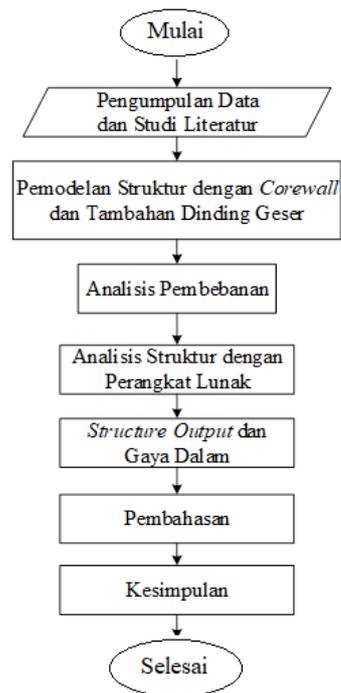
Gambar 1. Denah Struktur Model 1: tanpa Penambahan Dinding Geser



Gambar 2. Denah Struktur Model 2 : Penambahan Dinding Geser

2.2. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian dimulai dengan studi literatur dari beberapa sumber dan standar yang berlaku untuk melakukan analisis pembebanan dan desain awal (*preliminary design*) untuk menentukan dimensi struktur yang akan digunakan. Struktur dimodelkan dengan menggunakan perangkat lunak yang kemudian perilaku struktur dari dua variasi pemodelan dilihat variasi model mana yang memiliki respon paling baik terhadap pembebanan yang diberikan (**Gambar 3**).



Gambar 3. Bagan Alir Penelitian

Analisis pembebanan dilakukan terhadap bangunan tujuh lantai dengan struktur konstruksi beton bertulang. Analisa pembebanan mengacu pada SNI 1727-2020 dan SNI 1726-2019. Pembebanan yang dianalisa terdiri dari beban mati, beban hidup, beban angin dan beban gempa.

Tabel 1 merupakan beban mati dan beban hidup tiap lantai :

Tabel 1. Beban Mati Tambahan dan Beban Hidup

Lantai	Beban Hidup Pelat kN/m ²	Beban Mati Tambahan Pelat kN/m ²
Atap	0,96	0,66
6	1,92	1,04
3 s.d 5	1,92	1,04
2	4,79	1,04
1	1,92	1,04
Dasar	1,92	0,72

Beban angin mengacu pada SNI 1727:2019, berikut parameter beban angin yang digunakan :

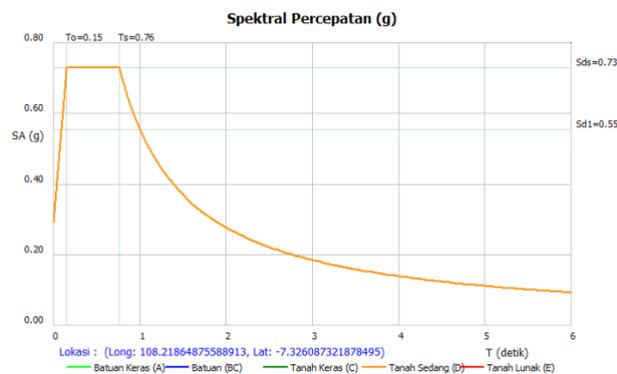
- Kecepatan angin (V) = 10,3 m/s
- Faktor arah angin, K_d = 0,85
- Kategori eksposur = B
- Faktor topografi (K_{zt}) = 1,0
- Faktor elevasi permukaan tanah (K_e) = 1
- Faktor efek hembusan angin (G) = 0,85
- Koefisien tekanan internal, (G_{Cpi}) = -0,18.
- Koef. eksposur tekanan velositas (K_z) = 0,966
- Tekanan angin (P) = 770 N/m² (beban desain minimum)

Parameter beban gempa untuk wilayah Kota Tasikmalaya dengan KDS-D dan kategori resiko struktur II, didapat parameter respon spektrum seperti disajikan pada **Tabel 2** dan **Gambar 4**.

Tabel 2. Parameter Respon Spektrum Gempa

Variabel	Nilai
PGA (g)	0,459379
PGAm (g)	0,523977
Ss (g)	0,995998
S1 (g)	0,449421
TL (detik)	20
Fa	1,101601
Fv	1,850579
Sms (g)	1,097192
Sm1 (g)	0,831689
Sds (g)	0,731462
Sd1 (g)	0,554459
T0 (detik)	0,151603
Ts (detik)	0,758015

(Sumber : ESRC-PUSGEN-PUSKIM,2019-2020)



Gambar 4. Respon Spektrum Tanah Sedang

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Kontrol Partisipasi Massa dan Periode Struktur

Partisipasi massa merupakan massa bangunan yang diperhitungkan tiap pola ragam getar atau setiap *mode shape*. Partisipasi massa menunjukkan rasio massa bangunan akibat getaran yang dialami oleh bangunan tersebut.

Berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 7.9 bahwa perhitungan respon dinamik struktur diizinkan jumlah ragam minimum 90% dari massa aktual dalam masing-masing arah horizontal ortogonal dari respons yang ditinjau oleh model struktur tanpa penambahan dinding geser. Adanya ketidakberaturan horizontal seperti lubang atau void dan ketidakberaturan vertikal seperti desain kolom langsing dapat menyebabkan nilai partisipasi massa kurang dari 90% karena menyebabkan distribusi kekakuan yang tidak merata. Partisipasi massa yang lebih dari 90% pada model 2 baik pada arah sumbu X maupun sumbu Y dicapai pada mode ke 17 sedangkan pada model 1 dicapai pada mode 22. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan dinding geser pada model 2 menambah kekakuan struktur sehingga partisipasi masa lebih dari 90% dicapai pada mode yang lebih kecil.

Tabel 3 dan 4 menyajikan *output* partisipasi massa dengan bantuan program :

Tabel 3. Rasio Modal Partisipasi Massa Model 1

Case	Mode	SumUX	SumUY
Modal	1	0,0006	0,6959
Modal	2	0,1066	0,7004
Modal	3	0,6803	0,7004
Modal	4	0,6805	0,8006
Modal	5	0,6945	0,8007
Modal	6	0,6947	0,8658
Modal	7	0,7894	0,8661
Modal	8	0,8447	0,8661
Modal	9	0,8471	0,9134
Modal	10	0,8673	0,9192
Modal	11	0,8675	0,9197
Modal	12	0,8677	0,9198
Modal	13	0,8696	0,9245
Modal	14	0,8724	0,9382
Modal	15	0,8908	0,9393
Modal	16	0,8908	0,9393
Modal	17	0,8929	0,9398
Modal	18	0,893	0,9406
Modal	19	0,8931	0,9408
Modal	20	0,8939	0,9424
Modal	21	0,8968	0,9537
Modal	22	0,9247	0,9539

Table 4. Rasio Modal Partisipasi Massa Model 2

Mode	SumUX	SumUY
1	0,000004685	0,7002
2	0,466	0,7002
3	0,6743	0,7004
4	0,6744	0,801
5	0,6744	0,8662
6	0,7696	0,8662
7	0,8456	0,8675
8	0,8465	0,919
9	0,8485	0,9195
10	0,8494	0,9195
11	0,8533	0,9195
12	0,854	0,939
13	0,8549	0,9393
14	0,8551	0,9394
15	0,8574	0,9403
16	0,8582	0,9405
17	0,9204	0,9412

Perioda dan rotasi struktur diperoleh dengan pemodelan perangkat lunak. Perioda struktur dikontrol berdasarkan SNI 1726:2019 dengan Persamaan (1) dan **Tabel 5**.

$$T = C_u \cdot T_a \quad (1)$$

$$T = 1,4 \cdot (0,0488 \cdot 29,95^{0,75}) = 0,875 \text{ det}$$

Tabel 5. Perioda dan Rotasi Struktur Model 1

Mode	Period sec	UX	UY	RZ	SumRZ
1	1,336	0,0006	0,696	0,004	0,004
2	1,083	0,1059	0,004	0,568	0,572
3	0,789	0,5737	0	0,124	0,697

Berdasarkan nilai hasil analisa dari pemodelan dengan menggunakan *software* maka digunakan perioda struktur adalah $T = 0,875$ detik, seperti disajikan pada **Tabel 6**.

Tabel 6. Perioda dan Rotasi Struktur Model 2

Mode	Period sec	UX	UY	RZ	SumRZ
1	1,339	4,7E-6	0,7002	0,0003	0,0003
2	0,793	0,466	1,5E-5	0,2342	0,2344
3	0,522	0,2083	0,0002	0,4319	0,6664

Nilai periode getar alami struktur merupakan karakteristik struktur yang dipengaruhi oleh massa dan kekakuan struktur. Nilai periode getar alami struktur akan semakin besar apabila jumlah lantai semakin banyak. Dari hasil pemodelan didapatkan nilai periode struktur yang tidak jauh berbeda untuk *mode* 1 dan *mode* 2. Rotasi struktur bangunan model 2 lebih kecil dari pada rotasi bangunan model 1, penambahan dinding geser menambah kekakuan struktur dan memperkecil terjadinya momen torsi pada struktur gedung. Momen torsi dapat terjadi karena adanya eksentrisitas antara pusat massa dengan pusat rotasi bangunan [11].

3.2. Gaya Geser Dasar dan Kontrol Simpangan

Gaya geser dasar dari analisis respon spektrum diperoleh dari *output* perangkat lunak, disajikan pada **Tabel 7-8**.

Table 7. Gaya Geser Dasar Model 1

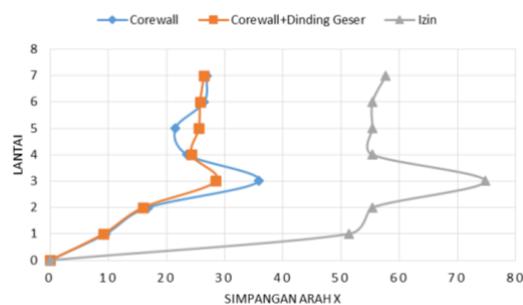
Output Case	FX kN	FY kN
EX	2280,05	423,17
EY	828,80	2234,23

Table 8. Gaya Geser Dasar Model 2

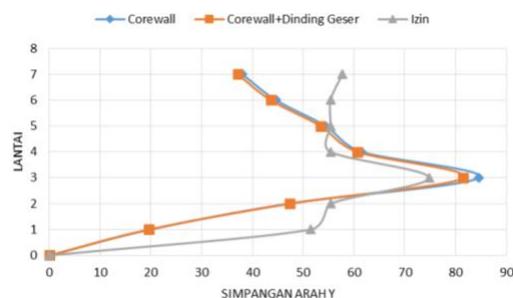
Output Case	FX kN	FY kN
EX	2344,40	436,08
EY	814,05	2363,48

Gaya geser dasar pada model 2 lebih besar dibandingkan dengan gaya geser dasar model 1. Hal ini menunjukkan adanya nilai kekakuan dari penambahan dinding geser. Peningkatan kekakuan menyebabkan periode getar berkurang sehingga gaya geser struktur semakin besar. Dimensi penampang balok dan kolom pada struktur dengan tambahan dinding geser beton bertulang juga dapat dibuat lebih efisien dengan mengurangi luas penampang elemen struktur atau mengurangi luas tulangan. Namun, masih tetap mempertimbangkan kapasitas penampang dan desain seismik. Perbedaan gaya geser dapat terjadi karena berbedanya massa struktur itu sendiri dimana massa struktur akan berbanding lurus dengan gaya geser yang bekerja. Selain itu, besarnya gaya geser pada arah sumbu X dan sumbu Y bergantung dari arah pembebanan gempa yang diberikan, jika gempa bekerja dalam arah sumbu X maka besar gaya geser dalam arah sumbu Y akan jauh lebih kecil dari pada arah sumbu X begitu pun sebaliknya.

Selain gaya geser dasar, simpangan lateral menjadi indikasi baiknya kondisi kekakuan sebuah struktur gedung. Gaya geser dasar struktur memengaruhi nilai simpangan lateral dimana semakin tinggi nilai gaya geser dasar maka semakin tinggi pula nilai simpangan lateral dan simpangan antar lantainya [12]. Pembatasan simpangan antar lantai suatu struktur bertujuan untuk mencegah kerusakan dan ketidaknyamanan penghuni. Berikut hasil analisa batas simpangan yang disajikan dalam **Gambar 5-6**.



Gambar 5. Perbandingan Simpangan Arah X Model 1 dan Model 2

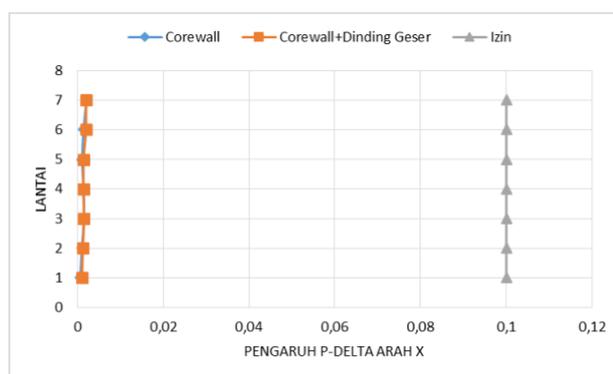


Gambar 6. Perbandingan Simpangan Arah Y Model 1 dan Model 2

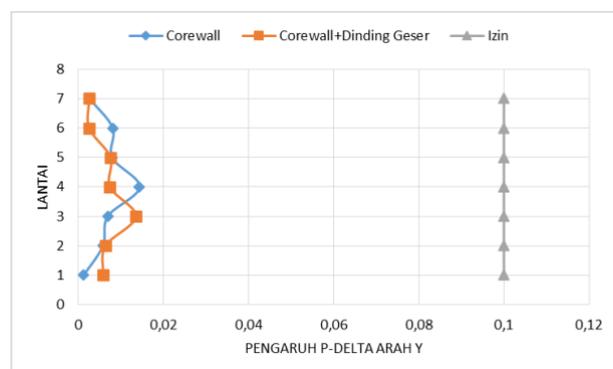
Simpangan antar lantai akan semakin besar seiring dengan pertambahan tinggi struktur gedung. Struktur gedung tidak boleh terlalu kaku agar tidak terjadi keruntuhan, simpangan dapat menjadi salah satu indikator daktilitas struktur. Akan tetapi simpangan yang terjadi tidak boleh melebihi simpangan izin. Penambahan dinding geser dapat meningkatkan kekakuan struktur sehingga dapat memperkecil terjadinya simpangan akibat beban lateral. Dinding geser berfungsi untuk meningkatkan kinerja struktur yang menjadikan struktur lebih kaku sehingga dapat mereduksi simpangan horizontal dan memperkecil waktu getar alami akibat gaya lateral [13]. Selain dari penambahan dinding geser, dimensi struktur juga berpengaruh terhadap besarnya simpangan yang terjadi dimana semakin besar dimensi elemen struktur dapat memperkaku struktur dan menghasilkan simpangan yang semakin kecil pula [14]. Pada gambar 5 dan gambar 6 terjadi perubahan simpangan antar lantai dimana simpangan kembali lebih kecil pada

lantai atas, hal ini dapat terjadi karena adanya ketidakberaturan massa pada suatu tingkat sehingga menyebabkan simpangan antar lantai dapat lebih besar atau pun sebaliknya.

Struktur gedung yang memiliki simpangan di bawah simpangan izin dapat dianalisis lebih lanjut dengan metode *non – linear* untuk mengantisipasi beban gempa dengan magnitudo yang besar. **Gambar 7 - 8** menampilkan struktur gedung dengan penambahan dinding geser (model 2) lebih kaku dari pada struktur gedung tanpa penambahan dinding geser hal ini ditunjukkan oleh nilai simpangan yang lebih kaku dalam arah X. Sedangkan nilai simpangan dalam arah Y tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan dan masih melebihi simpangan izin sehingga struktur gedung perlu diperkaku dengan menambahkan dinding geser di lokasi berbeda atau memperbesar dimensi struktur yang digunakan.



Gambar 7. P-Delta Arah X Model 1 dan Model 2



Gambar 8. P-Delta Arah Y Model 1 dan Model 2

Pengaruh P-delta merupakan pengaruh dari eksentrisitas antara beban gravitasi terhadap sumbu vertikal kolom akibat adanya beban lateral seperti beban gempa, pengaruh P-delta tersebut perlu diperhitungkan untuk mempertimbangkan adanya penambahan simpangan. Oleh karena itu, struktur tahan gempa perlu memperhitungkan pengaruh P-delta, seiring dengan bertambahnya tinggi bangunan atau jumlah lantai gedung maka efek P-delta menjadi sangat penting untuk diperhitungkan dalam desain [15]. Pada gambar 7 dan gambar 8 terlihat adanya perbedaan pengaruh P-delta pada arah sumbu X dan sumbu Y, pada arah sumbu Y baik pada model 1 dan model 2 pengaruh P-delta relatif lebih tidak beraturan antar lantai dari pada arah sumbu X, hal ini disebabkan karena arah sumbu Y merupakan arah sumbu lemah bangunan. Meskipun demikian, pengaruh P-delta baik dalam arah sumbu X maupun sumbu Y pada model 1 dan 2 tidak melebihi izin sehingga tidak diperlukan desain ulang. Pengaruh P-delta pada geser tingkat dan momen, gaya dan momen elemen struktur yang dihasilkan, dan simpangan antar tingkat yang diakibatkannya tidak perlu diperhitungkan bila koefisien stabilitas (θ) sama dengan atau kurang dari 0,10.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis diatas dengan adanya tambahan dinding geser pada struktur bangunan dapat meminimalisir rotasi yang terjadi akibat gaya gempa. Adanya tambahan dinding geser dapat meningkatkan kekakuan struktur gedung sehingga memiliki respon struktur yang lebih baik dalam menahan beban lateral.

Daftar Pustaka

- [1] F. Khademian, H. Naderpour, and M. K. Sharbatdar, "Structural damage detection of reinforced concrete shear walls subject to consequent earthquakes," *SN Appl. Sci.*, vol. 2, no. 1, 2020, doi: 10.1007/s42452-019-1899-9.
- [2] I. G. G. Wiryadi and I. K. Sudarsana, "Analisis Pengaruh Bentuk Dinding Geser Beton Bertulang Terhadap Kapasitas dan Luas Tulangan," *J. Spektran*, vol. 7, no. 2, 2019.
- [3] Y. N. Kusuma, "Studi Bentuk Dan Layout Dinding Geser (Shear Wall) Terhadap Perilaku Struktur Gedung Bertingkat," *Kurva Mhs.*, vol. 1, no. 1, pp. 1828–1844, 2020, [Online]. Available: <http://ejurnal.untag-smd.ac.id/index.php/TEK/article/view/4754>
- [4] M. Akbar *et al.*, "Seismic analysis of lateral force resisting steel frame with honeycombed steel thin plate shear wall," *J. Vibroengineering*, vol. 24, no. 2, 2022, doi: 10.21595/jve.2021.22171.
- [5] H. M. Najm *et al.*, "Modelling of Cyclic Load Behaviour of Smart Composite Steel-Concrete Shear Wall Using Finite Element Analysis," *Buildings*, vol. 12, no. 6, 2022, doi: 10.3390/buildings12060850.
- [6] T. Widorini, N. H. Crista, and B. Purnijanto, "Analisis Dinding Geser pada Desain Bangunan Gedung Bertingkat yang Tidak Beraturan," *Teknika*, vol. 16, no. 1, 2021, doi: 10.26623/teknika.v16i1.2660.
- [7] A. M. Fares, "The impact of RC shear wall openings at the lateral stiffness of the cantilever shear walls," *Res. Eng. Struct. Mater.*, vol. 7, no. 1, 2021, doi: 10.17515/resm2020.208st0816.
- [8] H. Mamdouh, N. Zenhom, M. Hasabo, A. F. Deifalla, and A. Salman, "Performance of Strengthened, Reinforced Concrete Shear Walls with Opening," *Sustain.*, vol. 14, no. 21, 2022, doi: 10.3390/su142114366.
- [9] R. Resatoglu and S. Jkhsi, "EVALUATION OF DUCTILITY OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES WITH SHEAR WALLS HAVING DIFFERENT THICKNESSES AND DIFFERENT POSITIONS," *IJUM Eng. J.*, vol. 23, no. 2, 2022, doi: 10.31436/iiumej.v23i2.2070.
- [10] A. M. Abualreesh, A. Tuken, A. Albidah, and N. A. Siddiqui, "Reliability-based optimization of shear walls in RC shear wall-frame buildings subjected to earthquake loading," *Case Stud. Constr. Mater.*, vol. 16, 2022, doi: 10.1016/j.cscm.2022.e00978.
- [11] H. A. Syarif, Z. Djauhari, and . R., "Pengaruh Ketidakberaturan Horizontal Torsi Terhadap Beban Gempa Pada Struktur Gedung Sistem Flat Slab-Drop Penel," *Aptek*, vol. 13, no. 1, 2021, doi: 10.30606/aptek.v13i1.531.
- [12] A. P. Usman, Rosidawani, and Sri Palta Mutmainna, "Analisis Respons dan Kinerja Struktur Bangunan Gedung Menggunakan Pushover Analysis," *J. SAINTIS*, vol. 21, no. 02, pp. 87–96, Nov. 2021, doi: 10.25299/saintis.2021.vol21(02).7585.
- [13] M. T. Asoma and A. Wardhono, "Perencanaan Diding Geser Berdasarkan Tata Cara SNI 03-2848-2002 pada Gedung FMIPA Universitas Negeri Surabaya," *Rekayasa Tek. Sipil*, vol. 3, no. 3, pp. 236–241, 2016.
- [14] B. Baehaki, H. B. B. Kuncoro, and I. C. Kumala, "PERBANDINGAN SIMPANGAN HORIZONTAL PADA STRUKTUR GEDUNG DENGAN EFISIENSI ELEMEN STRUKTUR BALOK DAN KOLOM (Studi Kasus: Pembangunan Gedung Fakultas Hukum UNTIRTA Sindang Sari)," *J. FONDASI*, vol. 7, no. 2, 2018, doi: 10.36055/jft.v7i2.4077.
- [15] V. Phani Kumar, M. Deepthi, K. Saikiran, and R. B. N. Santhosh, "Behavior of P-delta effect in high-rise buildings with and without shear wall," *Int. J. Recent Technol. Eng.*, vol. 8, no. 2, pp. 2060–2068, Jul. 2019, doi: 10.35940/ijrte.B2282.078219.