



Pengaruh Pemilihan Tipe Dinding Geser Terhadap Perilaku Simpangan Antar Tingkat dan Torsi Bangunan

Eka Faisal Nurhidayatullah^{*1}, Helmy Agustin Yohanes Djawa²,

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Teknologi Yogyakarta, Daerah Istimewa Yogyakarta, 55285, Indonesia

²PT. Skala Abadi Jaya, Kota Magelang, Jawa Tengah, 56172, Indonesia.

*Email korespondensi: _eka.faisal@staff.uty.ac.id

Diterima April 2024; Disetujui Juli 2024; Dipublikasi Juli 2024

Abstract: *Currently, there are many earthquake resistant building technologies. One of the most familiar ones is the use of shear walls in multi story buildings. The selection of shear walls type is a crucial step in achieving earthquake resistant buildings. A comprehensive study is needed regarding the performance of various types of shear walls in carrying earthquake loads according to the seismic conditions of Indonesia. This study does comparing analysis the behavior of multi story reinforced concrete building structures with moment resisting frame system, dual system combining portal frames with type I dan L shear walls. The structural analysis was performed using linear dynamic response spectrum method. The behavior of the building structures observed includes internal forces, inter-story drift, drift ratio, and torsion. Based on research, it is known that in terms of natural vibration period, dual system structure with type I shear walls has the highest stiffness followed by L shear walls and portal structures. The use of type I shear walls is capable of dissipating seismic energy and reducing internal forces in building frames better than type L shear walls. Dual system with type I shear walls can be more effective control lateral deflection and prevent the occurrence of soft stories in building structures than type L. Type I shear walls significantly reduce building torsional behavior compared to type L.*

Keywords: *earthquake resistant buildings, shear walls, building structure behavior, drift, torsion*

Abstrak: Saat ini sudah banyak ditemukan teknologi bangunan tahan gempa. Salah satu yang paling familiar yaitu penggunaan dinding geser pada struktur bangunan bertingkat. Pemilihan tipe dinding geser merupakan salah satu langkah awal krusial dalam mewujudkan suatu bangunan tahan gempa. Perlu dilakukan studi komprehensif berkaitan dengan kinerja beragam tipe dinding geser dalam memikul beban gempa sesuai dengan kondisi seismik wilayah Indonesia. Penelitian ini melakukan analisis perbandingan perilaku struktur bangunan beton bertulang bertingkat dengan sistem rangka pemikul momen, sistem ganda kombinasi portal dengan dinding geser tipe I serta tipe L. Analisis struktur dikerjakan dengan metode respons spektrum dinamik linear. Perilaku struktur bangunan yang ditinjau yaitu gaya dalam, simpangan antar tingkat, *drift ratio* serta torsi. Berdasarkan penelitian diketahui bahwa apabila dilihat dari periode getar alami, sistem struktur ganda dengan dinding geser tipe I mempunyai kekakuan yang paling besar disusul dengan dinding geser tipe L dan portal. Penggunaan dinding geser tipe I mampu mendisipasi energi gempa serta mereduksi gaya dalam pada struktur rangka bangunan secara lebih baik dibandingkan dengan tipe L. Sistem ganda dinding geser tipe I dapat lebih efektif mengendalikan simpangan lateral dan mencegah terjadinya *soft story* pada struktur bangunan dari pada tipe L. Dinding geser tipe I mampu secara signifikan mereduksi perilaku torsi bangunan dibandingkan dengan tipe L.

Kata kunci : bangunan tahan gempa, dinding geser, perilaku struktur bangunan, simpangan, torsi

Menurut (Wikipedia, 2023) wilayah Indonesia rawan terhadap bencana gempa baik gempa tektonik maupun vulkanik. Selain terletak pada pertemuan tiga pelat besar dunia, yaitu lempeng pasifik, Indo-Australia, serta Eurasia. Indonesia juga berlokasi di daerah kawasan cincin api pasifik yang mempunyai banyak deretan gunung aktif.

Jawa merupakan salah satu pulau di Indonesia dengan populasi penduduk terbesar di dunia dengan jumlah penduduk kisaran 150 Juta jiwa menempati area seluas 128 km² (UncoveredGeo, 2024). Kondisi lahan yang semakin berkurang, ketersediaan ruang terbuka Hijau (RTH) yang semakin minim, kesulitan masyarakat generasi y & z terutama dari kalangan menengah ke bawah untuk memiliki hunian pribadi yang layak dan terjangkau, sampai dengan munculnya banyak pemukiman kumuh wilayah perkotaan merupakan sebagian problematika yang membuat kebutuhan akan hunian vertikal di pulau Jawa sudah tidak lagi dapat dipungkiri (Zen, A. & Putra, D. A., 2021).

Dilansir dari situs ((PAHO), 2024) diketahui bahwa gempa bumi besar yang menerjang wilayah perkotaan padat penduduk dapat menjadi salah satu bencana alam terburuk. Selama empat dekade terakhir, gempa telah menyebabkan lebih dari satu juta kematian di seluruh dunia dari Armenia, Tiongkok, Ekuador, Guatemala, Haiti, Iran, India, Indonesia, Jepang, Meksiko, Pakistan, Peru, hingga Turki.

Salah satu ikhtiar yang perlu dilakukan guna meminimalisir dampak bencana gempa bumi di lingkungan padat penduduk yaitu dengan membuat bangunan bertingkat tahan gempa. Saat ini, sudah banyak ditemukan teknologi terkait dengan struktur bangunan tahan gempa. Salah satu yang paling

familiar yaitu penggunaan dinding geser (*shear wall*) pada bangunan bertingkat beton bertulang.

Dinding geser merupakan komponen struktur bangunan yang berfungsi untuk menahan beban-beban lateral baik angin maupun gempa kemudian mentransfernya ke fondasi (Prawirodikromo, 2012). Pemberian dinding geser pada struktur bangunan gedung beton bertulang mampu secara signifikan meningkatkan kekakuan dan kekuatan sehingga struktur bangunan mampu memikul beban lateral yang besar. Adanya dinding geser juga membuat struktur bangunan gedung berperilaku lebih daktail sehingga struktur tidak mudah mengalami keruntuhan setelah batas pelehannya tercapai. (Nurhidayatullah, E. F. & Kurniati, D. K. , 2022)

Perencanaan dan pelaksanaan struktur bangunan beton bertulang tahan gempa dengan sistem dinding geser di Indonesia mengacu pada SNI 2847:2019 serta SNI 1726: 2019. Dikutip dari (Aisyah, 2015) dinding geser memiliki beberapa tipe yaitu: *rectangle*, *L-shape*, *I-shape*, *C-shape* . Pemilihan tipe dinding geser merupakan salah satu langkah awal krusial dalam mewujudkan suatu bangunan tahan gempa. Perlu dilakukan studi komprehensif berkaitan dengan bagaimana kinerja masing-masing tipe dinding geser dalam memikul beban lateral terutama gempa sesuai dengan kondisi wilayah Indonesia.

Pada studi ini dilakukan analisis perbandingan perilaku struktur bangunan berton bertulang bertingkat rangka pemikul momen, sistem ganda kombinasi portal dengan dinding geser tipe I serta tipe L. Dari studi yang dilakukan diharapkan dapat diketahui bagaimana perbedaan perilaku struktur bangunan apabila dilihat dari gaya dalam,

simpangan, *drift ratio* serta efek torsi (puntir) pada ketiga ragam tipe struktur bangunan. Sehingga dapat diperoleh rekomendasi jenis struktur yang paling sesuai untuk diimplementasikan pada kondisi wilayah kegempaan di Indonesia.

KAJIAN PUSTAKA

Sistem Rangka Pemikul Momen (Portal)

Banyak bangunan beton bertulang bertingkat sedang hingga tinggi di Indonesia menggunakan jenis sistem rangka pemikul momen atau portal. Sistem struktur disebut sebagai rangka pemikul momen apabila terdapat dua komponen struktur yang bertugas memikul gaya seismik yaitu balok dan kolom (Nurhidayatullah, E. F., & Teguh, M., 2018). Sistem portal merupakan jenis struktur yang mengandalkan sifat fleksibilitas. Pada saat gempa terjadi struktur berdeformasi dengan mengalami goyangan secara horisontal. Pada bangunan bertingkat tinggi, *interstory drift* bagian tingkat bawah relatif jauh lebih besar apabila dibandingkan dengan tingkat-tingkat atas. Pada saat struktur bangunan mengalami goyangan akibat beban gempa, joint diperbolehkan untuk mengalami rotasi namun harus tetap kaku atau berada dalam kondisi elastik. Apabila terjadi gempa besar diharapkan mekanisme inelatik bekerja pada ujung balok terlebih dahulu dibandingkan kolom dengan menerapkan filosofi desain *strong column weak beam*. Ujung balok berperan sebagai fuse yang mampu mendisipasi energi gempa sehingga melindungi struktur utama baik kolom maupun joint guna mencegah keruntuhan bangunan gedung.

Namun menurut (Prawirodikromo, 2012) sistem portal mempunyai kelemahan, yaitu :

1. Kolom tingkat bawah berpotensi mengalami

soft story akibat gaya dalam serta simpangan antar tingkat yang cenderung lebih besar apabila dibandingkan dengan tingkat atasnya.

2. *Beam column joint* berpotensi mengalami konsentrasi tegangan geser akibat beban gempa yang terjadi sehingga mengakibatkan terjadinya *shear failure* .
3. Struktur portal yang bersifat fleksibel dengan simpangan antar tingkat yang besar akan mudah terbentuk sendi-sendi plastik (kerusakan) akibat beban gempa.

Sistem Kombinasi Portal dengan Dinding Geser (Sistem Ganda)

Bangunan dengan *dual system* (struktur ganda) dapat terdiri dari dua komponen struktur yaitu *frames* (balok-kolom) dan *shear wall* (dinding geser) (Mibang, D. & Choudhury, S., 2021) . Penambahan dinding geser terhadap struktur portal pada sistem ganda mampu meningkatkan kekakuan serta kekuatan struktur secara signifikan (Astuti, 2015). Kekakuan yang baik dapat mereduksi simpangan global serta *interstory drift* pada kolom tingkat bawah akibat beban lateral sehingga mampu mencegah terjadinya *soft story effect* . Sistem ganda mempunyai kekuatan yang baik sehingga membuat struktur bangunan mampu menahan gaya lateral yang besar. Dinding geser pada sistem ganda berperan sebagai *fuse* yang berfungsi mendisipasi energi gempa. Sendi-sendi plastis akibat gempa besar diharapkan dapat terjadi terlebih dahulu pada dinding geser sebelum struktur yang lain. Dengan peranannya sebagai disipiator energi gempa diharapkan mampu mencegah kerusakan struktur baik pada balok, kolom maupun *beam column joint* guna mencegah terjadinya keruntuhan bangunan.

Tipe dan Penempatan Dinding Geser

Menurut (Usmat, I. dkk, 2019) dinding geser dapat diklasifikasikan dalam beberapa jenis, berdasarkan sistem, fungsi, perletakan, geometri hingga bentuk penampangnya. Dilansir dari (Purwantoro. dkk, 2023) terdapat tiga jenis dinding geser berdasarkan letak dan fungsinya yaitu: *bearing wall* dinding geser yang berperan memikul beban gravitasi sekaligus beban lateral, *frame wall* dinding geser yang berfungsi sebagai penahan beban lateral sedangkan beban gravitasi ditahan oleh struktur balok kolom serta *core wall* dinding geser yang terletak di bagian dalam bangunan gedung sekaligus sebagai penahan beban lift.

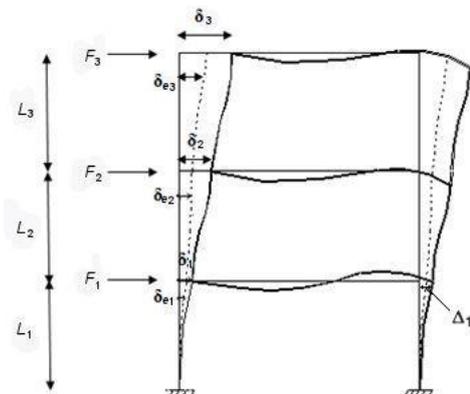
Dalam konsep bangunan tahan gempa struktur dinding geser jenis *frame wall* merupakan paling efektif. *Frame wall* lebih terkonsentrasi untuk menahan gaya lateral sehingga mampu mendissipasi energi gempa secara lebih maksimal. Menurut (Aisyah, 2015) terdapat beberapa tipe dinding geser *frame wall* apabila dilihat dari bentuk penampangnya yaitu tipe *tube*, *rectagle*, *L shape*, *C Shape* dan *coupled Sw*.

Paulay dan Priestley (1992) berpendapat bahwa supaya defleksi lateral struktur dengan sistem ganda tidak menyebabkan torsi berlebihan, penempatan dinding geser harus dipertimbangkan sehingga prinsip kesimetrian struktur bangunan tetap dapat dipertahankan. Menurut (Purwantoro. dkk, 2023) beberapa pertimbangan yang dapat digunakan dalam menempatkan dinding geser pada struktur bangunan bertingkat tinggi diantaranya: memposisikan dinding geser secara simetri baik satu maupun dua arah untuk mengurangi torsi serta menempatkan pada bagian sepanjang sisi luar struktur bangunan dari pada di bagian dalam

struktur bangunan.

Simpangan Antar Tingkat (*Inter Story Drift*)

Simpangan merupakan perpindahan struktur secara horisontal yang dipicu oleh adanya gaya eksternal seperti angin atau gempa. Sedangkan, simpangan antar tingkat merupakan perpindahan relatif dari dua lantai bangunan yang saling berdekatan atau perpindahan lantai bangunan dibandingkan dengan tingkat atas maupun bawahnya. Meskipun nilainya cukup kecil, namun simpangan sangat berpengaruh terhadap tingkat keamanan serta kinerja struktur bangunan (Prasad, 2024). Menurut (BSN, 2019) simpangan antar tingkat diperhitungkan sebagai perbedaan simpangan pada pusat massa di atas dan di bawah tingkat yang ditinjau.



Gambar 1. Simpangan antar tingkat ((BSN, 2019)

Simpangan pusat massa pada tingkat-x bangunan (δ_x) ditentukan dengan persamaan :

$$\delta_x = \frac{C_d \delta_{xe}}{I_e} \quad (1)$$

Keterangan :

δ_{xe} = Simpangan elastik pada tingkat - x (mm)

C_d = Faktor perbesaran simpangan lateral

I_e = Faktor keutamaan gempa

Simpangan antar tingkat perlu diberi batasan supaya gaya lateral tidak berpotensi menimbulkan adanya tingkat lemah yang bisa memicu kegagalan struktur bangunan. Berdasarkan (BSN, 2019) simpangan antar tingkat struktur bangunan dengan sistem rangka pemikul momen dan sistem ganda tidak boleh melebihi :

$$\Delta_a = (0,02 - 0,01) h_{sx} \quad (2)$$

Keterangan :

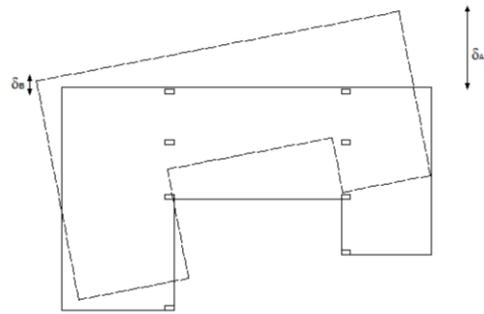
Δ_a = Simpangan antar tingkat izin (mm)

h_{sx} = Tinggi tingkat di bawah tingkat - x (mm)

Torsi Bangunan Gedung

Apabila tidak diperhitungkan dalam perancangan, perilaku torsi dapat memicu terjadinya kerusakan struktur bangunan (Prasad, 2024). Penempatan dan pemilihan tipe dinding geser perlu dipertimbangkan dengan seksama karena bisa menjadi penyebab ketidakberaturan kekakuan yang menimbulkan perilaku torsi bangunan gedung.

Pada beberapa peraturan perilaku torsi diperhitungkan sebagai eksentrisitas yang tidak disengaja (*accidental eccentricity*). Eksentrisitas yang tidak disengaja terjadi karena adanya ketidaksimetrisan kekakuan, masa dan kekuatan pada struktur bangunan (Hussein, et al., 2019) . Menurut peraturan Indonesia (BSN, 2019) perilaku torsi dapat dapat diketahui dengan meninjau perpindahan lateral titik terjauh struktur bangunan pada tingkat tertentu akibat pengaruh gaya seismik.



Gambar 2. Perpindahan lateral (BSN, 2019)

$$Ax = \left[\frac{\delta_{max}}{1,2\delta_{avg}} \right]^2 = \left[\frac{\eta}{1,2} \right]^2 \quad (3)$$

Keterangan :

δ_{max} = Perpindahan lateral maksimum pada tingkat - x dengan asumsi $Ax = 1$ mm (mm)

δ_{avg} = Rata-rata perpindahan lateral antar titik terjauh struktur pada tingkat - x dengan asumsi $Ax = 1$ mm (mm)

η = Koefisien ketidak beraturan torsi.

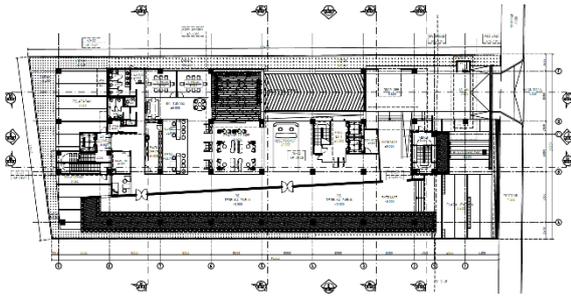
METODE PENELITIAN

Objek dan Lokasi Penelitian

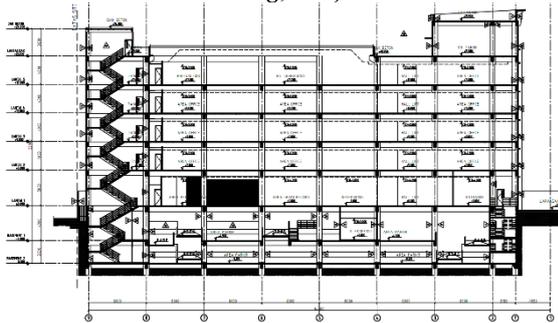
Objek penelitian merupakan bangunan beton bertulang enam tingkat dengan sistem struktur rangka pemikul momen (sistem portal). Fungsi bangunan adalah sebagai gedung perkantoran. Lokasi penelitian ditunjukkan oleh gambar berikut.



Gambar 3. Peta Daerah Istimewa Yogyakarta (Sumber: Kompas.com)



Gambar 4. Denah bangunan gedung (Sumber: *As-built drawing*, 2019)



Gambar 5. Potongan memanjang struktur bangunan (Sumber: *As-built drawing*, 2019)

Metode Pelaksanaan Penelitian

1. Pengumpulan data

Penelitian menggunakan data primer dan sekunder. Data primer diperoleh dari hasil pengujian material dan *as-built drawing* objek penelitian yaitu: kuat tarik baja dan tekan beton, data arsitektural, hingga konfigurasi, dimensi serta detail struktur bangunan. Data sekunder didapatkan dari peraturan, buku serta jurnal yang relevan dengan penelitian yaitu: pembebanan gravitasi (beban hidup dan mati), percepatan gempa, dan jenis tanah.

2. Pembebanan

Terdapat dua jenis pembebanan dalam penelitian yaitu beban gravitasi dan lateral. Beban gravitasi terdiri dari beban hidup dan mati. Nominal beban hidup ditentukan sesuai dengan fungsi bangunan perkantoran berdasarkan peraturan Indonesia SNI 1727: 2020 (BSN(2), 2020). Beban mati yang diperhitungkan terdiri dari berat sendiri elemen struktur beton bertulang dan beban mati

tambahan komponen non struktur bangunan.

Pembebanan lateral berasal dari gaya gempa (seismik) yang bekerja pada struktur bangunan gedung. Beban lateral yang dipergunakan terdiri dari dua jenis yaitu gaya gempa statik ekuivalen dan dinamik respons spektrum. Gaya gempa diperhitungkan berdasarkan data percepatan gerakan tanah sesuai dengan peta gempa Indonesia (BSN, 2019).

3. Pemodelan struktur bangunan

Bangunan gedung dimodelkan dalam tiga sistem struktur, yaitu : sistem struktur rangka pemikul momen (portal), sistem struktur ganda kombinasi portal dengan dinding geser tipe I dan tipe L. Konfigurasi dan dimensi struktur balok, kolom, dinding geser, serta plat lantai dimodelkan mengacu pada *as-built drawing* dan peraturan Indonesia SNI 2847: 2019 (BSN(3), 2019) & SNI 1726:2019 (BSN, 2019) sedangkan karakteristik material struktur baik beton maupun baja sesuai dengan data uji material. Pemodelan baik sistem struktur maupun material bangunan dilakukan dengan bantuan *software Etabs V18.0.2*.

4. Analisis struktur bangunan

Kombinasi beban ultimit yang tersusun dari beban mati, hidup, gempa statik serta dinamik sesuai SNI 1726: 2019 (BSN, 2019) diberikan pada model struktur bangunan. Analisis struktur dikerjakan pada tiga model struktur bangunan gedung dengan dua metode yaitu linear statik dan linear dinamik menggunakan *software Etabs V18.0.2* (CSI, 2024).

5. Gaya geser dasar dan gaya dalam

Hasil dari proses analisis struktur diantaranya berupa gaya geser dasar dan gaya dalam. Perbandingan gaya geser dasar ketiga model struktur bangunan gedung merepresentasikan

besaran gaya gempa yang dipikul oleh masing-masing tipe struktur dengan kondisi percepatan gempa yang seragam. Dampak pemberian dinding geser tipe I dan L terhadap struktur portal terlihat dari gaya dalam baik momen, gaya geser, maupun gaya aksial) pada balok maupun kolom masing-masing model bangunan.

6. Simpangan antar tingkat (*interstory drift*)

Simpangan antar tingkat bangunan dihitung menggunakan persamaan (1) berdasarkan nilai perpindahan lateral hasil dari analisis struktur. Simpangan antar tingkat diperhitungkan di setiap lantai dari tingkat 1 hingga 6 pada masing-masing model struktur bangunan. Hasil analisis tersebut kemudian dibandingkan sehingga dapat diketahui perbedaan kekakuan serta kinerja masing-masing tipe struktur bangunan terhadap gaya seismik. Simpangan antar tingkat juga perlu dipertimbangkan terhadap batasan simpangan ijin struktur bangunan sesuai dengan persamaan (2) untuk menganalisis potensi terjadinya tingkat lemah pada setiap model struktur akibat beban seismik.

7. Torsi bangunan gedung

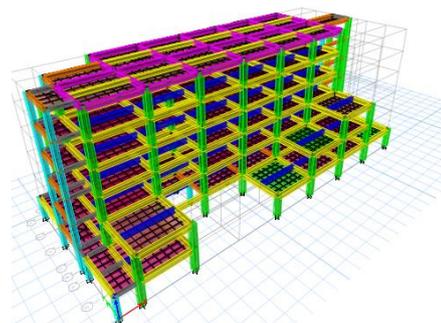
Koefisien ketidakberaturan torsi dan sudut torsi struktur bangunan dihitung menggunakan persamaan (3) berdasarkan nilai perpindahan lateral hasil dari analisis struktur. Koefisien ketidakberaturan torsi yang besar mengindikasikan adanya ketimpangan kekakuan yang berpotensi menimbulkan perilaku torsi berlebihan pada struktur bangunan apabila terkena gaya gempa. Sudut torsi diperhitungkan di setiap lantai dari tingkat 1 hingga 6 pada masing-masing model struktur bangunan. Hasil analisis torsi ketiga model struktur bangunan kemudian dibandingkan

sehingga diketahui perbedaan perilaku torsi masing-masing sistem struktur serta bagaimana pengaruh pemilihan tipe dinding geser terhadap ketahanan torsi bangunan akibat gaya seismik.

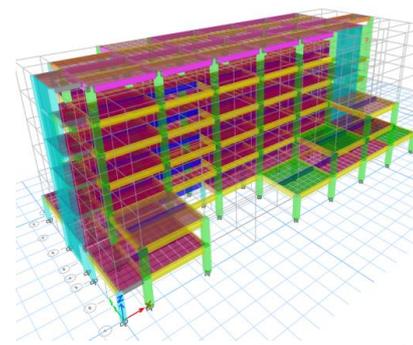
HASIL DAN PEMBAHASAN

Model Struktur Bangunan

Pemodelan struktur bangunan gedung dibuat dalam 3 tipe, yaitu: sistem rangka pemikul momen atau portal, sistem ganda dengan dinding geser tipe I dan tipe L. Konfigurasi struktur portal dimodelkan sesuai dengan *data as-built drawing* bangunan objek penelitian. Struktur dinding geser tipe I dan L dimodelkan dengan mengikuti ketentuan SNI 2847:2019 (BSN(3), 2019) dan SNI 1726: 2019 (BSN, 2019). Komponen material struktur bangunan dimodelkan sesuai dengan data hasil uji material yaitu kuat tekan beton, $f'_c = 29,05$ MPa sedangkan kuat tarik baja, $f_y = 420$ MPa. Pemodelan ketiga jenis struktur gedung dikerjakan dengan bantuan software ETABS V.18.02.

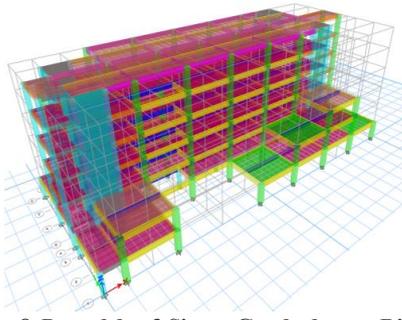


Gambar 6. Pemodelan 1 Sistem Rangka Pemikul Momen



Gambar 7. Pemodelan 2 Sistem Ganda dengan Dinding

Geser Tipe I



Gambar 8. Pemodelan 3 Sistem Ganda dengan Dinding Geser Tipe L

Denah model struktur rangka pemikul momen, sistem ganda dengan dinding geser tipe I dan L ditunjukkan oleh gambar 9 sampai dengan 10.



Gambar 9. Denah Struktur Rangka Pemikul Momen



Gambar 10. Denah Struktur Dinding Geser I



Gambar 11. Denah Struktur Dinding Geser L

Dinding geser baik tipe I maupun L ditempatkan pada posisi yang sama di kedua arah sumbu bangunan secara simetris guna mencegah timbulnya ketidakberaturan struktur. Penempatan

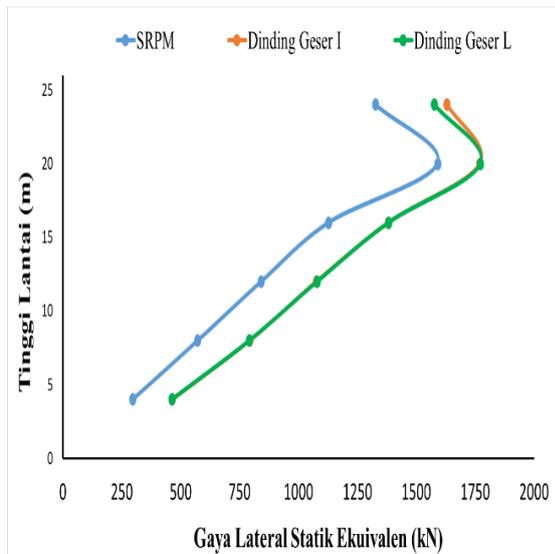
dinding geser dilakukan di tepi bangunan secara menerus dari tingkat dasar sampai *roof top* untuk mengantisipasi simpangan lateral terbesarnya.

Pembebanan Gravitasi

Beban hidup diperhitungkan berdasarkan fungsi ruang bangunan sesuai dengan ketentuan SNI 1727: 2020 (BSN(2), 2020). Masing-masing ruang diperhitungkan menopang beban hidup yang beragam tergantung dari kegunaannya yaitu ruang kantor $2,4 \text{ kN/m}^2$, perpustakaan $2,87 \text{ kN/m}^2$, ruang pertemuan dan publik $4,79 \text{ kN/m}^2$, koridor $3,83 \text{ kN/m}^2$ dan *roof top* $0,96 \text{ kN/m}^2$. Sedangkan beban mati tambahan yang diberikan pada model struktur bangunan terdiri dari: beban keramik, beban dinding bata ringan, plafond, MEP dan lain-lain.

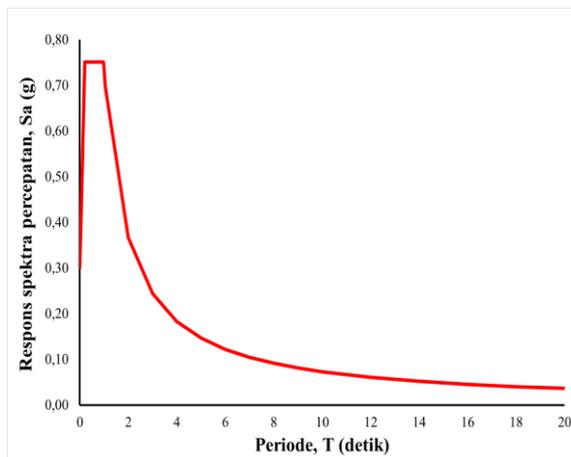
Beban Gempa

Beban gempa diperhitungkan dengan dua metode yaitu statik ekuivalen dan dinamik respons spektrum. Perhitungan gaya gempa didasarkan pada percepatan gempa peta probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun batuan dasar wilayah Yogyakarta dengan nilai percepatan gerakan tanah periode pendek $0,2$ detik (S_s) sebesar $1,15 \text{ g}$ dan periode $1,0$ detik (S_1) sebesar $0,5 \text{ g}$. Perambatan gelombang gempa dari batuan dasar hingga permukaan tanah sangat dipengaruhi oleh kondisi tanah setempat. Data hasil uji tanah tidak dapat diidentifikasi sehingga menurut anjuran dari SNI 1726: 2019 dapat diambil kualitas tanah terburuk yaitu tanah lunak (SE). Gaya gempa lateral statik ekuivalen diperhitungkan pada ketiga model struktur bangunan sehingga diperoleh grafik berikut.



Gambar 12. Gaya Gempa Statik Ekuivalen

Penambahan elemen dinding geser memperbesar massa bangunan hingga menyebabkan gaya seismik yang dipikul oleh sistem ganda dengan dinding geser tipe I dan L lebih besar dari pada struktur rangka pemikul momen. Beban gempa dinamik response spektrum ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 13. Gempa Dinamik Respons Spektrum

Pada penelitian ini digunakan respons spektrum permukaan tanah level beban gempa desain. Tampak pada grafik bahwa percepatan gempa periode pendek (S_s) (0,2) detik adalah 0,75 g lebih kecil dari pada percepatan di batuan dasar

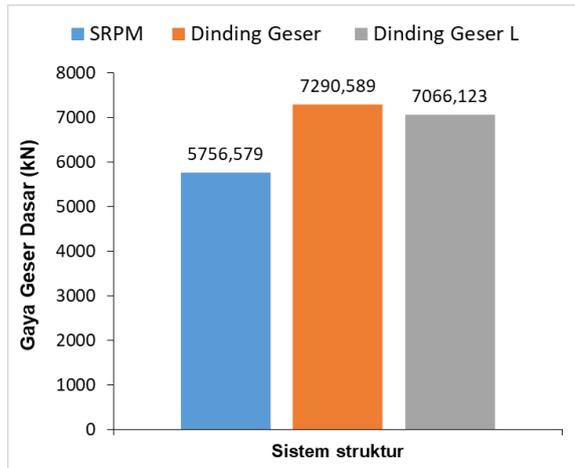
1,15 g sedangkan percepatan gempa periode 1 detik (S_1) yaitu 0,73 g lebih besar dari percepatannya di batuan dasar 0,5 g. Amplifikasi perambatan gelombang gempa akibat pengaruh kondisi tanah lunak cukup signifikan pada periode 1 detik dibandingkan periode pendek 0,2 detik.

Analisis Struktur

Beban – beban yang sudah diperhitungkan yaitu beban mati, beban hidup, beban gempa statik dan dinamik response spektrum dikombinasikan sesuai dengan ketentuan kombinasi pembebanan ultimit SNI 1726: 2019. Analisis struktur dengan kombinasi pembebanan ultimit dikerjakan dengan metode statik dan dinamik linear analisis dengan bantuan software ETABS V18.02. Analisis struktur dilakukan hingga memenuhi syarat-syarat yang terdapat pada SNI 1726: 2019 yaitu *mass participation ratio* $\geq 90\%$ dan gaya geser dasar gempa dinamik \geq gaya geser dasar gempa statik.

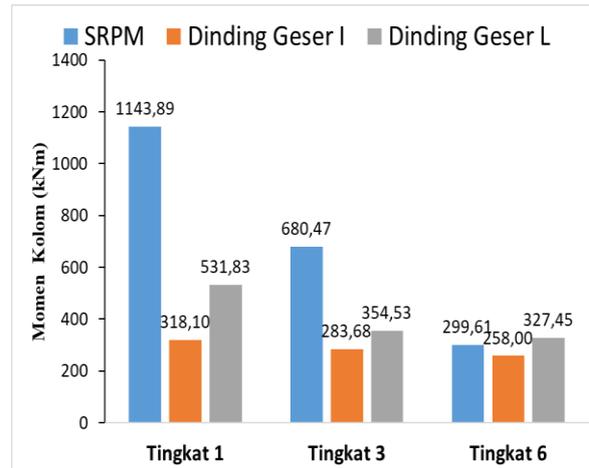
Gaya Geser Dasar dan Gaya Dalam

Dari proses analisis struktur diperoleh gaya geser dasar dan gaya dalam. Gaya geser dasar menunjukkan total gaya seismik yang diterima oleh struktur bangunan sesuai dengan skenario gempa yang diberikan.

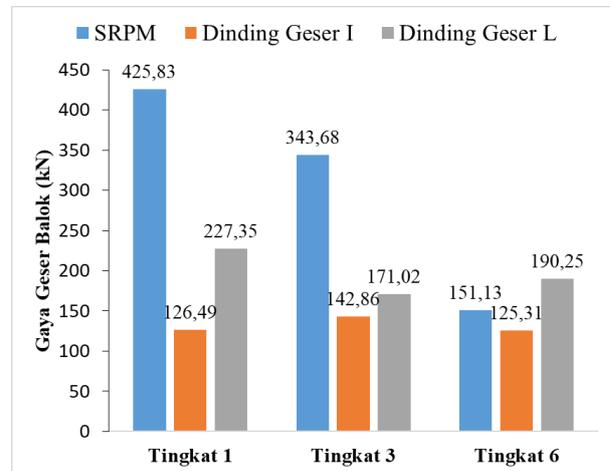


Gambar 14. Gaya Geser Dasar

Penambahan dinding geser baik tipe I maupun L pada sistem portal memperbesar massa struktur bangunan sehingga berdampak terhadap gaya seismik yang diterima secara signifikan. Perbedaan tipe dinding geser berpengaruh terhadap periode fundamental struktur bangunan. Periode getar alami sistem portal diketahui sebesar $T_{SRPM} = 1,015$ detik, dinding geser I $T_{Dinding\ Geser\ I} = 0,581$ detik, sedangkan sdinding geser L yaitu $T_{Dinding\ Geser\ L} = 0,696$ detik. Apabila dilihat dari periode getar alami, struktur bangunan dengan sistem dinding geser I mempunyai kekakuan (*stiffness*) yang paling besar disusul dengan sistem dinding geser L dan sistem portal. Sehingga dengan massa bangunan yang identik, struktur sistem dinding geser tipe L cenderung menunjukkan besara gaya geser yang lebih kecil dari tipe I. Gaya dalam merepresentasikan besaran gaya yang diterima oleh setiap komponen rangka baik balok maupun kolom akibat kombinasi pembebanan yang diberikan termasuk didalamnya yaitu beban gempa.



Gambar 15. Momen Kolom

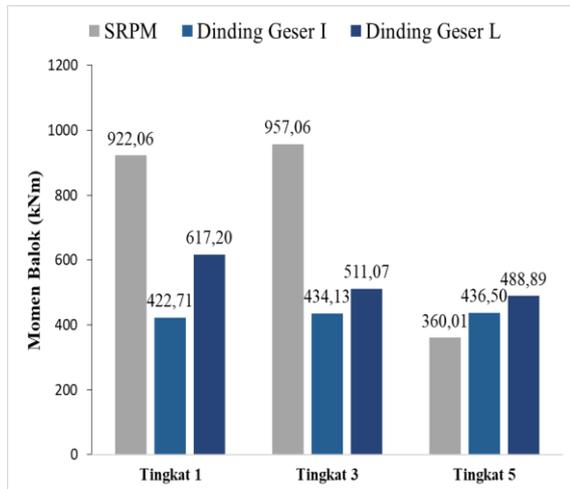


Gambar 16. Gaya Geser Kolom

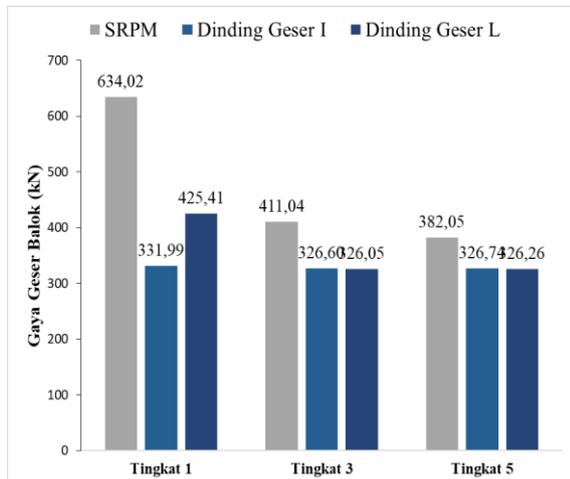
Elemen struktur kolom pada sistem portal mengalami momen dan gaya geser yang sangat dominan di tingkat dasar hingga menengah namun tereduksi signifikan pada bagian puncak bangunan. Penambahan elemen struktur dinding geser baik tipe I maupun L mampu secara signifikan mereduksi gaya dalam elemen kolom terutama di tingkat dasar hingga menengah, sedangkan tingkat atas justru terjadi kontradiksi yaitu sedikit lebih besar dari sistem portal. Apabila dibandingkan antara kedua jenis sistem ganda, diketahui bahwa sistem dinding geser tipe I mampu mereduksi lebih besar gaya pada rangka kolom dari pada tipe L.

Perilaku gaya dalam pada balok ditunjukkan

oleh Gambar 17 dan 18.



Gambar 17. Momen Balok



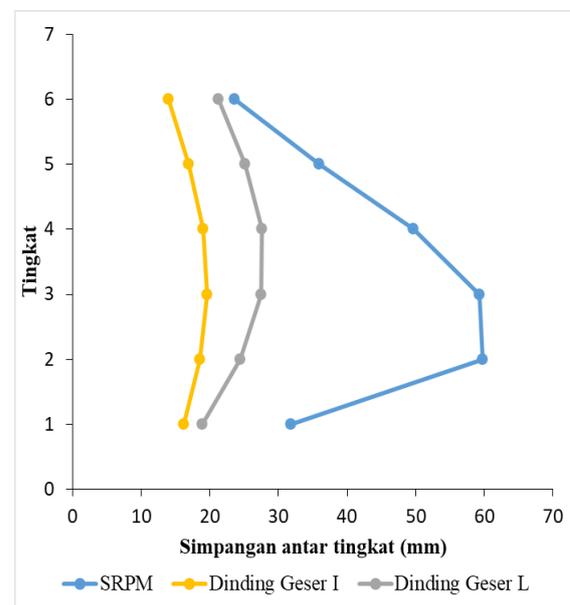
Gambar 18. Gaya Geser Balok

Kedua grafik menunjukkan bahwa gaya dalam yang terjadi pada elemen struktur balok identik dengan struktur kolom (Gambar 15 dan 16) pada ketiga sistem struktur. Kombinasi sistem portal dan dinding geser atau disebut dengan sistem ganda mampu mereduksi secara signifikan gaya dalam yang terjadi baik pada elemen struktur balok maupun kolom bangunan. Berdasarkan kondisi gaya dalam pada elemen balok dan kolom diketahui bahwa penggunaan sistem dinding geser tipe I mampu mendissipasi energi gempa serta mereduksi gaya dalam pada struktur rangka bangunan secara

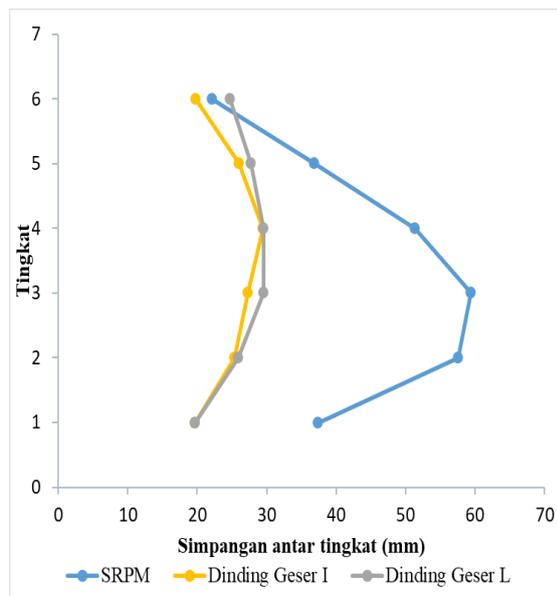
lebih baik dibandingkan dengan tipe L.

Simpangan Antar Tingkat

Pada saat menerima beban gempa masing-masing tingkat bangunan bergerak secara lateral relatif terhadap tingkat atas atau bawah dikarenakan perbedaan kekakuan, distribusi massa dan karakteristik redaman. Simpangan antar tingkat merupakan salah satu parameter penting dalam perencanaan struktur bangunan tahan gempa. Simpangan antar tingkat yang besar dapat memicu terjadinya kerusakan bahkan keruntuhan struktur bangunan. Perilaku simpangan bangunan dengan sistem struktur rangka pemikul momen, sistem ganda dengan dinding geser tipe I dan L ditunjukkan oleh gambar 19 dan 20 berikut.



Gambar 19. Simpangan Antar Tingkat Arah Sumbu X



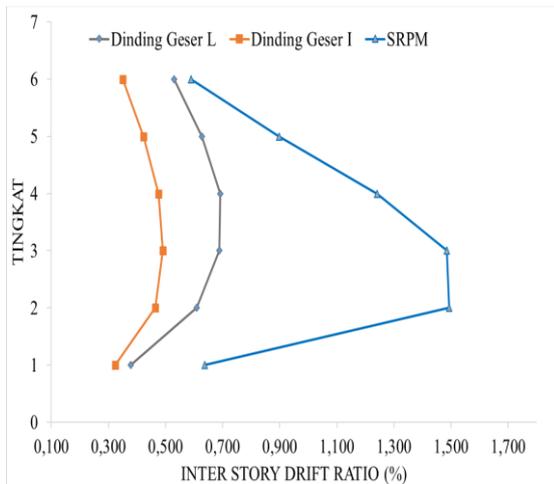
Gambar 20. Simpangan Antar Tingkat Arah Sumbu Y

Pola perilaku simpangan antar tingkat menunjukkan bahwa deformasi lateral setiap lantai pada ketiga sistem struktur bangunan cenderung tidak seragam. Pengaruh gempa menimbulkan perbedaan arah defleksi struktur antar tingkat bangunan. Sistem struktur portal mengalami simpangan antar tingkat yang relatif besar di tingkat dasar dan menengah dibandingkan dengan tingkat atasnya. Struktur portal memang dikenal sebagai struktur yang mengandalkan fleksibilitas dalam memikul gaya seismik. Namun, struktur portal yang terlalu fleksibel dapat menyebabkan simpangan antar tingkat bawah yang besar sehingga bisa berdampak pada kerusakan elemen non struktur bahkan elemen struktur (Prawirodikromo, 2012)

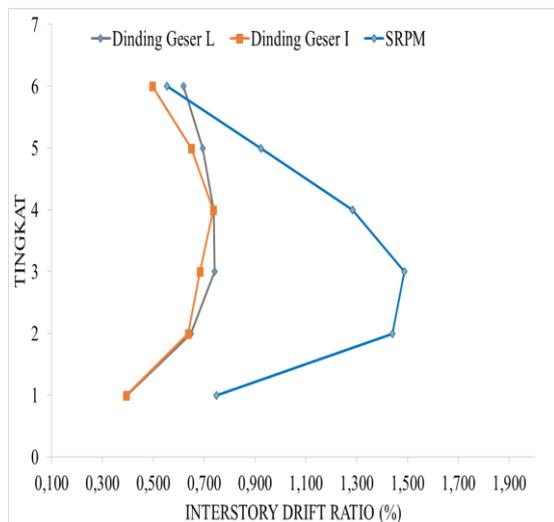
Pemberian dinding geser baik tipe I maupun L pada sistem portal mampu secara signifikan mereduksi simpangan lateral terutama pada tingkat dasar hingga menengah. Struktur dengan dinding geser memang merupakan jenis struktur yang mengandalkan kekakuan terlihat dari periode getar alaminya yang cenderung lebih kecil dibandingkan dengan struktur portal. Kekakuan sistem struktur

dinding geser mampu mencegah terjadinya fenomena tingkat lemah (*soft story*) yang riskan terjadi pada sistem struktur portal terutama di tingkat dasar (Prawirodikromo, 2012). Berdasarkan grafik tampak bahwa sistem struktur ganda dengan dinding geser tipe I menunjukkan simpangan yang lebih kecil dari pada tipe L. Penambahan dinding geser tipe I pada struktur portal mampu menciptakan kekakuan yang relatif lebih besar sehingga dapat mengendalikan simpangan lateral struktur bangunan secara lebih baik dibandingkan dengan tipe L. Simpangan struktur bangunan perlu dibatasi untuk mencegah terjadinya kerusakan elemen non struktur, efek *soft story* hingga keruntuhan bangunan. Peraturan perencanaan struktur bangunan tahan gempa Indonesia (BSN(3), 2019) dan Amerika (ASCE 7-16, 2017) mengontrol simpangan lateral dengan memberikan ketentuan batas *interstory drift ratio*.

SNI 1726: 2019 & ASCE 7-16 membatasi *inter story drift ratio* struktur bangunan supaya kondisi struktur bangunan sesuai dengan target kinerja pada saat memikul beban gempa. Batasan *inter story drift ratio* bangunan lebih dari 4 tingkat dengan sistem struktur rangka pemikul momen dan sistem ganda lebih yaitu jenis *Standard Occupancy Buildings (SOB)* sebesar 2%, *Emergency Response Facilities (ERF)* 1,5% dan *Safety Critical Facilities (SCF)* sebesar 1%.



Gambar 21. Story Drift Arah Sumbu X



Gambar 22. Story Drift Arah Sumbu Y

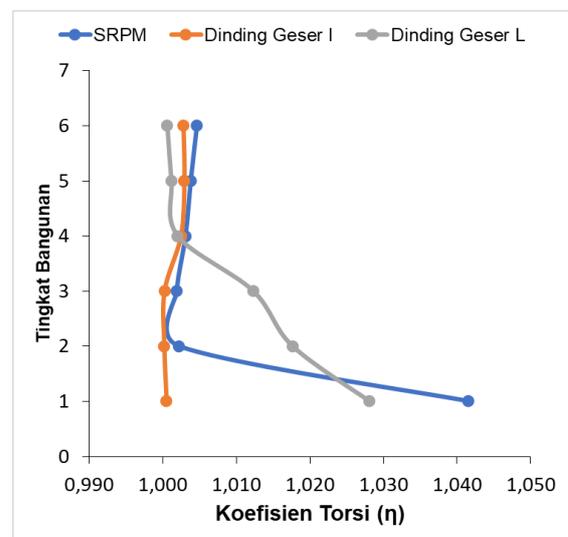
Berdasarkan grafik diketahui bahwa dengan skenario beban gempa desain *inter story drift ratio* tingkat dasar pada sistem portal mencapai angka 1,5%. Menurut SNI 1726: 2019 & ASCE 7-16, pada struktur dengan fungsi bangunan sebagai perkantoran angka tersebut masih termasuk memenuhi. Alih fungsi bangunan harus lebih berhati-hati terlebih penggunaannya sebagai bangunan ERF atau SCF karena bangunan kategori tersebut memiliki batasan *drift ratio* yang lebih ketat. Kondisi gempa yang melebihi gempa desain juga perlu diwaspadai karena kolom dasar berpotensi mengalami *soft story effect* apabila

dilihat dari pola simpangan lateral sistem portal.

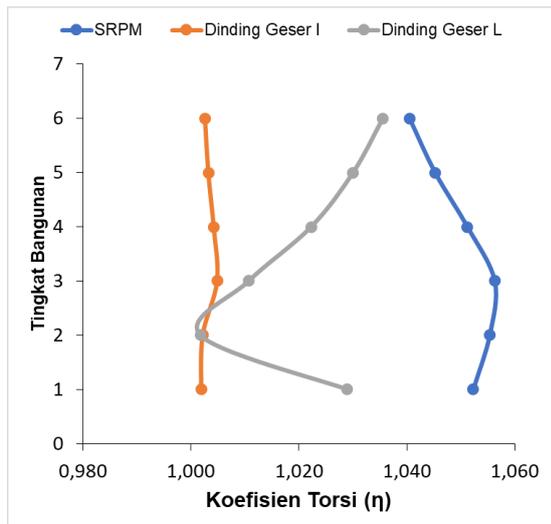
Pemberian dinding geser baik tipe I maupun L pada struktur bangunan mampu mereduksi secara signifikan *story drift* pada struktur bangunan, meningkatkan *safety factor*, mengeliminasi potensi *soft story effect* hingga mencegah kegagalan struktur bangunan terutama apabila gempa besar terjadi. Penggunaan dinding geser juga merupakan salah satu solusi apabila diperlukan alih fungsi bangunan selama masa layan baik menjadi ERF bahkan SCF mengingat *story drift ratio* pada sistem ganda relatif minim yaitu kurang dari 1%.

Torsi

Gaya lateral yang bekerja pada struktur bangunan dengan ketidakberaturan baik bentuk, massa, maupun kekakuan dapat menimbulkan efek torsi. Pengaruh torsi dapat berimbas pada beragam elemen struktur seperti balok, kolom, plat lantai hingga fondasi. Indikasi munculnya perilaku torsi dapat diketahui dengan meninjau perpindahan lateral titik terjauh struktur bangunan pada setiap tingkat akibat pengaruh kombinasi gaya seismik.

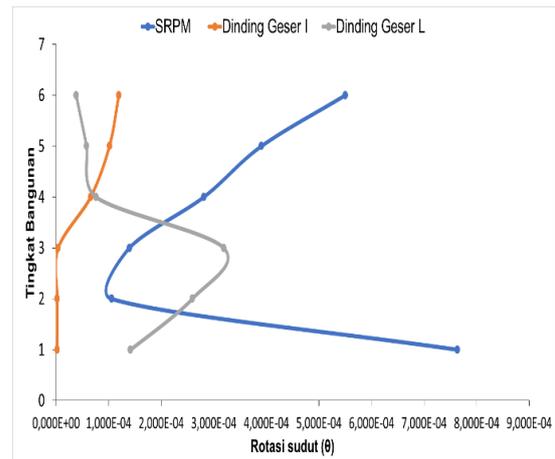


Gambar 23. Koefisien Torsi Arah X

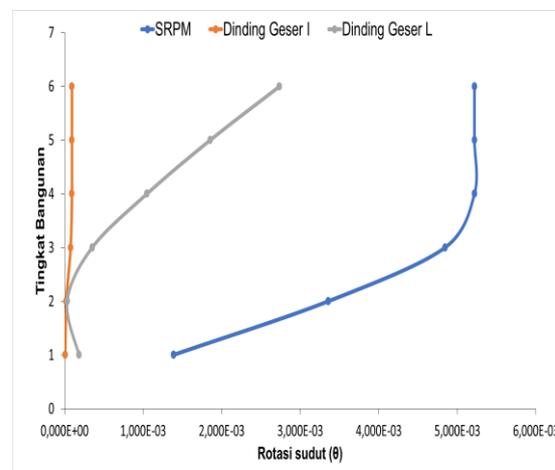


Gambar 24. Koefisien Torsi Arah Y

Angka koefisien torsi menggambarkan tingkat ketidakeraturan horizontal struktur bangunan yaitu bagaimana simpangan antar tingkat akibat beban seismik mengandung torsi takterduga hingga menyebabkan terjadinya rotasi yang tidak diharapkan. Nilai koefisien torsi ketiga model struktur bangunan lebih besar dari 1 namun masih kurang dari 1,2 sehingga termasuk dalam kategori perilaku torsi ringan. Tidak diperlukan perlakuan khusus dalam perencanaan struktur bangunan untuk mengatasi potensi munculnya perilaku torsi berlebihan pada struktur bangunan akibat beban seismik (BSN, 2019). Beban gempa yang bekerja tidak hanya menyebabkan terjadinya simpangan secara horizontal namun juga torsi atau rotasi sudut. Baik simpangan maupun torsi yang terjadi pada masing-masing tingkat menunjukkan nilai yang beragam pada ketiga jenis struktur bangunan.



Gambar 25. Sudut Rotasi Bangunan Arah X



Gambar 26. Sudut Rotasi Bangunan Arah X

Perilaku torsi terbesar di setiap tingkat dari ketiga model struktur bangunan terjadi pada jenis struktur rangka pemikul momen. Penggunaan dinding geser baik tipe I maupun L mampu secara efektif mereduksi torsi atau rotasi sudut struktur bangunan. Penggunaan dinding geser tipe I mampu mereduksi torsi lebih baik dibandingkan dengan tipe L. Penggunaan dinding geser tipe I membuat joint struktur bangunan berdeformasi lateral secara seragam dan bersamaan sehingga lebih efektif guna mencegah potensi terjadinya kegagalan struktur akibat perilaku torsi bangunan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

- Periode getar alami struktur menunjukkan bahwa sistem dinding geser I mempunyai kekakuan (*stiffness*) yang paling besar disusul dengan dinding geser L dan portal. Dengan massa bangunan yang identik struktur sistem dinding geser tipe L memikul gaya geser yang lebih kecil dari pada tipe I apabila dikenakan beban gempa.
- Sistem ganda mampu mereduksi secara signifikan gaya dalam yang terjadi baik pada elemen struktur balok maupun kolom bangunan terutama di tingkat dasar hingga menengah. Penggunaan sistem dinding geser tipe I mampu mendisipasi energi gempa serta mereduksi gaya dalam pada struktur rangka bangunan secara lebih baik dibandingkan dengan tipe L.
- Pemberian dinding geser baik tipe I maupun L pada sistem portal mampu secara signifikan mereduksi simpangan lateral terutama pada tingkat dasar hingga menengah sehingga mencegah fenomena tingkat lemah (*soft story*). Penggunaan dinding geser tipe I mampu menciptakan kekakuan yang lebih besar sehingga dapat mengendalikan simpangan lateral struktur bangunan secara lebih baik dibanding dengan tipe L.
- Perilaku torsi terbesar di setiap tingkat dari ketiga model struktur bangunan terjadi pada jenis struktur rangka pemikul momen. Penggunaan dinding geser baik tipe I maupun L mampu secara efektif menurunkan torsi atau rotasi sudut struktur bangunan. Penggunaan dinding geser tipe I mampu mereduksi torsi

lebih baik dibandingkan dengan tipe L. Penggunaan dinding geser tipe I membuat join struktur bangunan berdeformasi lateral secara seragam dan bersamaan sehingga lebih efektif guna mencegah potensi terjadinya kegagalan struktur akibat perilaku torsi bangunan.

Saran

Perlu dilakukan studi perilaku sistem struktur dengan beragam tipe penampang dinding geser menggunakan metode analisis nonlinear baik *pushover analysis* atau *ground motion time history analysis* untuk mengetahui perilaku yang lebih akurat terutama pada kondisi gempa besar.

DAFTAR PUSTAKA

- (PAHO), P. A. (2024, Marc 11). <https://www.paho.org/en>. Retrieved from <https://www.paho.org/en/topics/earthquakes>
- Aisyah, G. N. (2015). *Diaphragma dan Dinding Geser*. Retrieved March 14, 2024, from <https://www.scribd.com/doc/279381633/Dinding-Geser>
- ASCE 7-16. (2017). *Minimum Design Loads For Buildings and Other Structures*. Reston, VA, USA : American Society of Civil Engineers. doi:<https://doi.org/10.1061/9780784414248>
- Astuti, P. (2015, November). Pengaruh Penambahan Dinding Geser (Shear Wall) pada Waktu Getar Alami Fundamental Struktur Gedung. *Jurnal Ilmiah Semesta Teknika*, 8(2), 140 - 146. Retrieved from

- <https://journal.umy.ac.id/index.php/st/article/view/1815>
- BSN. (2019). *SNI 1726: 2019 Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung*. Jakarta: BSN Press .
- BSN(2). (2020). *SNI 1727: 2020 Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Struktur Bangunan Gedung dan Struktur Lain*. Jakarta: BSN.
- BSN(3). (2019). *SNI 2847: 2019 Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan (ACI 318M-14 dan ACI 318RM-14, MOD)*. Jakarta: BSN Press.
- CSI. (2024). Retrieved from <https://www.csiamerica.com/products/etabs>
- Hussein, et al. (2019). Torsional Behavior of Irregular Structures during Earthquakes. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE)*, 16(5), 40 - 55 . doi:DOI: 10.9790/1684-1605044055
- Mibang, D. & Choudhury, S. (2021, June 2nd). Uni ed Performance-Based Design of RC Dual system. *Reseach Square*, 1-23 . doi: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-566220/v1>
- Nurhidayatullah, E. F. & Kurniati, D. K. . (2022, Juli). Korelasi Perilaku Struktur Bangunan Berdasarkan Parameter R, Cd dan Ω Terhadap Tingkat Kinerja pada Beragam Simulasi Gempa. *Jurnal Teknik Sipil Unaya*, 8(2), 189 - 203. doi:<https://doi.org/10.30601/jtsu.v8i2.2841>
- Nurhidayatullah, E. F., & Teguh, M. (2018). Kinerja Seismik Struktur Pada Tipe Gedung dengan Ketidakberaturan Ketinggian dan Denah . *Teknisia*, 23(1), 450-462. Retrieved from <https://journal.uui.ac.id/teknisia/article/view/11031>
- Prasad. (2024, 03 15). What is Storey Drift and its Limitations. *Structural Guide: Civil & Structural Engineering Knowledge Base* . Retrieved from <https://www.structuralguide.com/what-is-storey-drift/>
- Prawirodikromo, W. (2012). Seismologi Teknik & Rekayasa Kegempaan. In *Seismologi Teknik & Rekayasa Kegempaan* (p. 20). Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- Purwanto. dkk. (2023 , Desember). Studi Perbandingan Pengaruh Letak Dinding Geser Pada Bangunan Bertingkat Akibat Beban Gempa. *Jurnal Konstruksia*, 15(1), 35 - 45 . Retrieved from <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/konstruksia/article/view/18407>
- UncoveredGeo. (2024, 03 11). *I Knever Know that Indonesia has The Most Populated Island in The World*. Retrieved from <https://www.youtube.com/@UncoveredGeo>: <https://www.youtube.com/shorts/JGYHR2AdNGA?t=21&feature=share>
- Usmat, I. dkk. (2019 , 11 02). *Analisa Letak Dinding Geser (Shear Wall) Terhadap Perilaku Struktur Gedung Akibat Beban Gempa*, 8(2), 297 - 307 . Retrieved from <https://ejournal.unkhair.ac.id/index.php/>

Techno/article/view/1327/1119

Wikipedia. (2023 , Agustus 23). Retrieved from
Wikipedoa.org:

[https://id.wikipedia.org/wiki/Daftar_gem
pa_bumi_di_Indonesia](https://id.wikipedia.org/wiki/Daftar_gem
pa_bumi_di_Indonesia)

Zen, A. & Putra, D. A. (2021, Agustus 17).

Pembangunan Vertikal, Solusi
Pemanfaatan Lahan Sempit. *The Essence
Of Life*. Retrieved from

[https://esensi.tv/pembangunan-vertikal-
solusi-pemanfaatan-lahan-sempit/](https://esensi.tv/pembangunan-vertikal-
solusi-pemanfaatan-lahan-sempit/)