



Analisis Pengaruh Konfigurasi dan Dimensi Dinding Geser (*Shear Wall*) terhadap Persyaratan Simpangan dan Torsi Struktur Bangunan Gedung

Khoirul Anwar^{1*}, Sumirin², Abdul Rochim³

¹ Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung, Indonesia

²⁻³ Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung, Indonesia

Korespondensi penulis: anwarbagus84@gmail.com¹

Abstract. Indonesia is in an earthquake-prone region, therefore, designing building constructions that can withstand seismic loads is crucial in civil engineering. Reinforced concrete shear walls are one of the vertical structural fundamentals that are effectively used in multi-story buildings to withstand lateral forces due to earthquake and wind loads. Structures that use shear walls can increase stiffness and reduce horizontal deviations (deflections) of buildings, which contribute to the stability and safety of structures based on the SNI 1726:2019 standard. This study aims to analyze the effect of shear wall configurations on deviation and torsion requirements in multi-story building planning. The study object is a 6-story reinforced concrete building model in a specific earthquake zone. The design and modeling were performed using structural analysis software, taking into account columns, beams, slabs, and shear walls. The analysis results show that optimal placement of shear walls at the building edges significantly reduces horizontal drift, torsion, and shear forces, and improves the structural performance level compared to structures without shear walls or those with less effective placement. Structures with shear walls have optimal stiffness in absorbing lateral forces, making them more resistant to damage from the planned earthquake.

Keywords: Buildings; Earthquake Resistance; Reinforced Concrete Structures; Shear Walls; Structural Performance.

Abstrak. Indonesia berada pada kategori wilayah yang rawan gempa, maka dari itu, perancangan konstruksi bangunan yang mampu menahan beban seismik menjadi sangat krusial dalam bidang teknik sipil. Dinding geser dari beton bertulang ialah salah satu fundamental struktural vertikal yang efektif digunakan pada bangunan bertingkat untuk menahan gaya lateral akibat beban gempa dan angin. Struktur yang menggunakan dinding geser mampu meningkatkan kekakuan dan mengurangi simpangan horizontal (lendutan) bangunan, yang berkontribusi pada stabilitas dan keselamatan struktur berdasarkan standar SNI 1726:2019. Penelitian ini mempunyai tujuan untuk melakukan analisis pengaruh konfigurasi dinding geser (*shear wall*) untuk persyaratan simpangan dan torsi pada perencanaan gedung bertingkat. Objek studi adalah model gedung beton bertulang 6 lantai di wilayah gempa tertentu. Desain dan pemodelan dilakukan menggunakan perangkat lunak analisis struktur, dengan mempertimbangkan elemen kolom, balok, pelat, dan dinding geser. Hasil analisis menunjukkan bahwa penempatan dinding geser yang optimal di bagian tepi bangunan secara signifikan mengurangi simpangan horizontal, torsi, gaya geser dan meningkatkan level kinerja struktur dibandingkan dengan struktur tanpa dinding geser atau dengan penempatan yang kurang efektif. Struktur menggunakan dinding geser memiliki kekakuan yang lebih optimal dalam menyerap gaya lateral, sehingga lebih tahan terhadap kerusakan akibat gempa rencana.

Kata kunci: Bangunan; Dinding Geser; Ketahanan Gempa; Kinerja Struktural; Struktur Beton Bertulang.

1. LATAR BELAKANG

Konsep Pengurangan Risiko Bencana menyatakan bahwa perencanaan untuk gedung bertingkat mengandung risiko besar dari bencana alam, khususnya gempa bumi (Harijoko et al., 2021). Banyak bangunan telah mengalami kerusakan parah akibat gempa bumi, sehingga penting untuk merancang desain struktur yang dapat menahan guncangan. Gedung-gedung harus dirancang dengan tingkat keamanan yang sangat tinggi, sehingga jika terjadi gempa yang kuat, struktur bangunan tetap berdiri dan tidak runtuh (Sila et al., 2023).

Dalam beberapa tahun terakhir sejumlah wilayah di Tanah Air mengalami gempa bumi seperti di pulau Lombok, Manggarai, Palu dan Gumbang di Aceh Barat, yang mengakibatkan kematian dan kerusakan bangunan. Indonesia terletak di Lingkar Gunung Berapi Pasifik dan merupakan negara dengan gunung berapi yang paling aktif di dunia, sehingga sering terjadi gempa bumi (Fasikhullisan, 2023)

Dalam perancangan sebuah bangunan, pertimbangan terhadap stabilitas struktural merupakan hal yang krusial, khususnya ketika konstruksi dilakukan di area yang rentan terhadap seismisitas, seperti halnya di wilayah Indonesia (Ginting, 2024). Regulasi terkait desain bangunan yang tahan terhadap gempa telah distandardisasi dalam Standar Nasional Indonesia (SNI) 1726-2019 salah satu hal yang terkait desain gempa adalah pasal 7.12 tentang simpangan antar lantai dan 7.8.6 berisi penentuan simpangan antar lantai dan sesuai tabel 13 terkait ketidakberaturan horizontal pada struktur sehingga memerlukan perencanaan struktur menggunakan dinding geser, Peraturan ini merupakan peraturan gempa terbaru, guna mendapatkan struktur tahan gempa yang lebih baik (Ashari, 2020).

Indonesia, sebagai negara yang rawan gempa karena terletak di pertemuan tiga lempeng besar yaitu lempeng Indo-Australia, lempeng Eurasia, dan lempeng Pasifik, menghadapi tantangan besar dalam membangun infrastruktur yang tahan terhadap gempa. Pembangunan gedung bertingkat di wilayah ini memerlukan desain sistem struktur yang mampu menahan gaya lateral akibat aktivitas gempa. Penelitian tentang kinerja seismik menekankan pentingnya penerapan praktik rekayasa modern dan kepatuhan terhadap standar nasional. Misalnya, Nurbian et al. (2025) menunjukkan bahwa Special Moment Resisting Frame System (SMRFS) memberikan kekuatan, kekakuan, dan duktilitas yang diperlukan untuk memenuhi persyaratan gempa di zona risiko tinggi di Indonesia. Analisis mereka terhadap desain gedung beton bertulang (RC) bertingkat menengah di Surabaya mengonfirmasi bahwa desain tersebut memenuhi spesifikasi yang tercantum dalam SNI 1726:2019, standar Indonesia untuk desain bangunan tahan gempa. Selain itu, penelitian oleh Prayuda et al. (2025) tentang kinerja seismik bangunan bertingkat menekankan dampak ketidakberaturan vertikal dan horizontal terhadap respons gempa. Ini semakin menegaskan perlunya desain yang terintegrasi dengan baik untuk mengurangi dampak gaya gempa. Begitu juga dengan penelitian yang dilakukan oleh Anonim (2025) mengenai ketahanan terhadap beban lateral, yang menyoroti pentingnya penerapan standar desain yang tepat seperti SNI 1726:2019 serta penggunaan teknologi konstruksi modern seperti perangkat disipasi energi dan isolator dasar untuk meningkatkan ketahanan bangunan di daerah rawan gempa. Secara keseluruhan, penelitian-penelitian ini semakin

menguatkan kebutuhan untuk sistem struktur yang kuat dan dirancang dengan baik guna memastikan bangunan di Indonesia tetap aman saat terjadi gempa.

Salah satu sistem struktur yang sering digunakan dalam mengurangi gaya lateral yaitu sistem struktur dengan dinding geser (*shear wall*). Gaya lateral akibat gempa dapat mempengaruhi nilai simpangan struktur sehingga dengan dibuatkannya sistem struktur dinding geser dapat mengurangi simpangan dan gaya ketidakberaturan horizontal maupun vertikal pada struktur akibat beban gempa tersebut. Berkaitan dengan sistem dinding geser yang dipasang untuk dapat mengurangi simpangan struktur terdapat peneliti-peneliti terdahulu yang juga meneliti mengenai keefektifan penempatan dinding geser dalam mengurangi simpangan struktur. Dimana peneliti juga menggunakan variasi dinding geser yang dipasang pada bagian-bagian luar gedung menggunakan analisis statik ekuivalen untuk mencari model gedung yang paling efisien dalam mengurangi simpangan struktur. Dewobroto (2005) pada penelitiannya menyajikan kurva beban-perpindahan yang dapat dipakai sebagai kekakuan efektif yang mendekati kekuatan lentur yang penting saat memperkirakan respon struktur untuk memenuhi syarat kemampuan layak.

Ada beberapa jurnal atau prosedering terdahulu yang membahas tentang *shear wall*. Berdasarkan latar belakang peniliti ingin mengkaji tentang analisis konfigurasi atau tata letak dinding geser yang mana pada perencanaan ini bertujuan mendapatkan persyaratan yang memenuhi simpangan antar lantai, Δ , dan juga gaya torsi yang bekerja dalam gedung tersebut agar sesuai dengan standar nasional Indonesia.

2. KAJIAN TEORITIS

Berdasarkan hasil kajian terhadap penelitian terdahulu, dapat diketahui bahwa efektivitas penempatan dan konfigurasi dinding geser (*shear wall*) berpengaruh signifikan terhadap respons struktur gedung bertingkat, khususnya dalam mengendalikan simpangan dan perilaku dinamis struktur. Handayani (2022) menunjukkan bahwa perencanaan dinding geser pada gedung dengan sistem ganda telah memenuhi persyaratan struktur, di mana rangka bangunan mampu menahan gaya lateral minimum sebesar 25%. Penelitian Tani dkk. (2023) menyatakan bahwa variasi jumlah dan konfigurasi *shear wall* pada beberapa model struktur secara langsung memengaruhi besarnya simpangan. Sementara itu, Hasibuan dan Ma'arif (2022) melalui analisis menggunakan *ETABS* menemukan bahwa optimasi letak *shear wall* pada model tertentu menghasilkan periode getar alami yang lebih kecil dan nilai *base shear* yang lebih besar, sehingga dinilai lebih optimal terhadap kinerja struktur. Studi Purwanto dkk. (2021) memperlihatkan bahwa perbedaan bentuk dan *layout shear wall*, khususnya konfigurasi

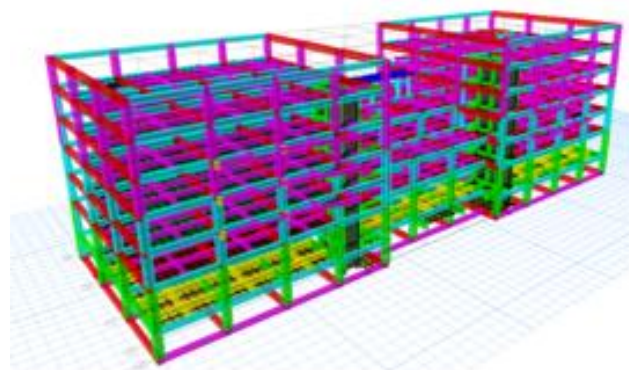
berbentuk I dan L, menghasilkan variasi simpangan yang signifikan pada arah X dan Y. Selain itu, Baehaki dkk. (2019) menegaskan bahwa pada gedung tidak beraturan, posisi *shear wall* tertentu memberikan kinerja struktur paling efektif berdasarkan analisis *response spectrum*.

Secara umum, penelitian-penelitian terdahulu memiliki kesamaan pada tahapan analisis, meliputi pemodelan struktur gedung, analisis pembebanan, analisis *response spectrum*, serta evaluasi simpangan dan ketidakberaturan struktur. Perbedaan utama terletak pada objek studi dan konfigurasi *shear wall* yang diterapkan. Berdasarkan kajian tersebut, dapat disimpulkan bahwa pengaturan letak dan konfigurasi *shear wall* merupakan faktor penting dalam perencanaan struktur gedung tahan gempa untuk memenuhi persyaratan simpangan dan torsi. Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan pada analisis konfigurasi dinding geser yang memenuhi kriteria kinerja struktur, khususnya pada bangunan bertingkat dengan kebutuhan sistem vertikal seperti *lift*, sehingga relevan dengan perkembangan desain struktur gedung modern.

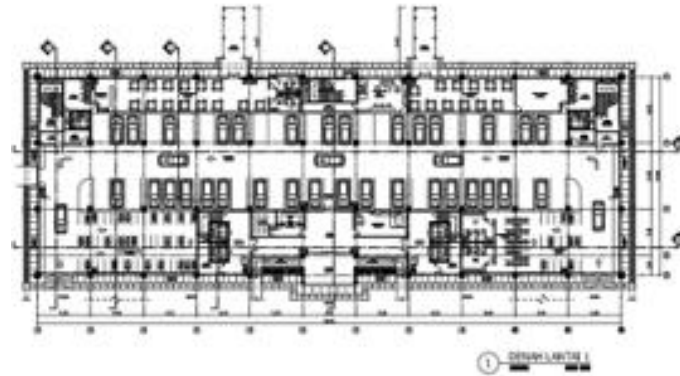
3. METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini terdiri dari tahapan *input*, *analysis*, dan *output*. Tahap *input* meliputi pemodelan struktur tiga dimensi (*3D*) dan penentuan pembebanan. Tahap *analysis* dilakukan melalui analisis gempa dinamis menggunakan *ETABS* versi 19.0 untuk memperoleh gaya internal serta simpangan lantai pada setiap variasi konfigurasi dinding geser (*shear wall*). Tahap *output* berupa evaluasi hasil analisis gaya internal dan simpangan lantai (Sadhewa, 2021).

Objek penelitian adalah Gedung Politeknik Pekerjaan Umum di Semarang Jawa Tengah dengan tinggi 25,8 m dan struktur beton bertulang. Penelitian ini menganalisis pengaruh konfigurasi *shear wall* terhadap simpangan dan torsi bangunan, dengan model struktur dan denah gedung disajikan pada Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1. 3D Politeknik Pekerjaan Umum.



Gambar 2. Denah Gedung Politeknik Pekerjaan Umum Semarang.

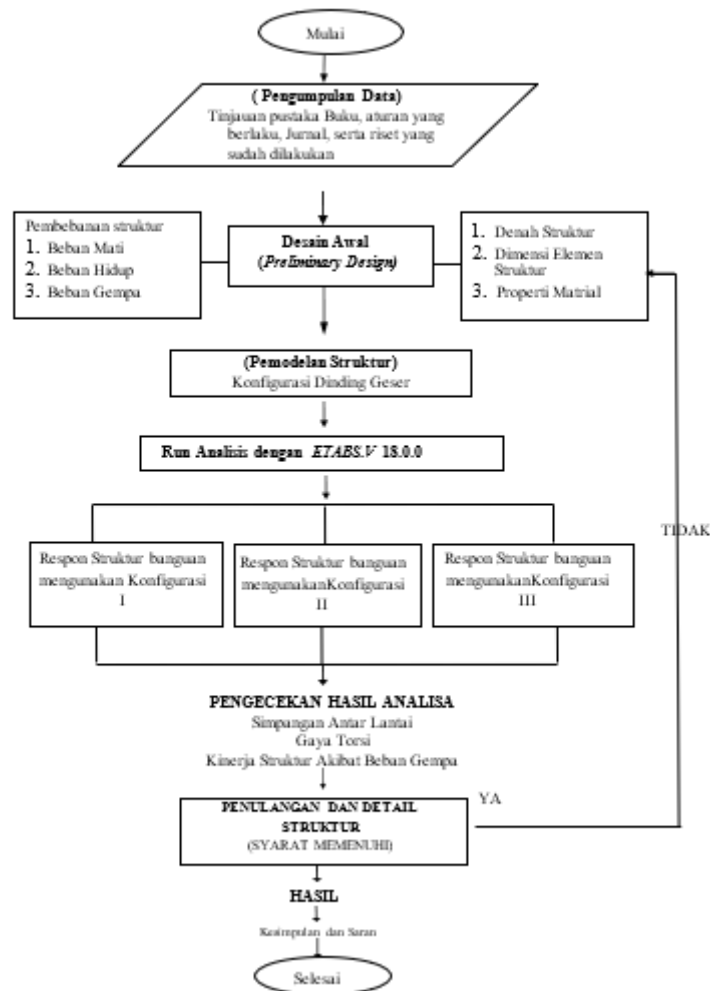
Pengumpulan data penelitian ini dilakukan sebagai dasar perencanaan dan analisis struktur gedung yang ditinjau. Objek penelitian adalah Gedung Politeknik Pekerjaan Umum yang difungsikan sebagai bangunan perkuliahan dan laboratorium. Gedung ini terdiri dari 6 lantai dengan tinggi total bangunan sebesar 25,8 m. Tinggi lantai dasar (*base*) adalah 3,6 m, tinggi lantai pertama sebesar 5,4 m, sedangkan tinggi lantai dua hingga lantai enam masing-masing sebesar 4,2 m. Struktur utama bangunan direncanakan menggunakan beton bertulang.

Data bahan struktur yang digunakan dalam pemodelan dan analisis meliputi mutu beton dan baja tulangan. Mutu beton yang digunakan adalah $f_c' = 30$ MPa. Sementara itu, baja tulangan yang digunakan terdiri dari tulangan ulir dengan diameter ≥ 10 mm yang memiliki nilai f_y sebesar 420 MPa dan f_u sebesar 620 MPa, serta tulangan polos dengan diameter ≤ 10 mm yang memiliki nilai f_y sebesar 240 MPa dan f_u sebesar 370 MPa. Nilai kuat leleh efektif (f_{ye}) dan kuat tarik efektif (f_{ue}) masing-masing digunakan sebesar 462 MPa dan 682 MPa untuk tulangan ulir, serta 264 MPa dan 407 MPa untuk tulangan polos, sebagaimana disajikan dalam tabel data bahan.

Data tanah yang digunakan diperoleh dari spektrum respons desain pada lokasi Gedung Politeknik Pekerjaan Umum dan Laboratorium. Berdasarkan data tersebut, jenis tanah pada lokasi penelitian diklasifikasikan sebagai tanah lunak dengan kategori SE, yang selanjutnya digunakan dalam analisis respons struktur terhadap beban gempa.

Berdasarkan data yang telah dikumpulkan, pembebanan struktur meliputi beban mati, beban hidup, dan beban gempa. Beban mati terdiri atas beban sendiri dan beban tambahan pada pelat lantai serta atap, sedangkan beban hidup diterapkan sebagai beban merata sesuai fungsi ruang. Beban gempa ditentukan berdasarkan spektrum respons desain dari aplikasi Indonesian Design Spectrum dan digunakan sebagai input analisis gempa pada *ETABS* versi 19.

Analisis struktur dilakukan dengan menerapkan sistem dinding geser (*shear wall*) sebagai elemen utama penahan beban lateral. Tiga variasi konfigurasi penempatan dinding geser dianalisis dengan kombinasi beban yang sama untuk mengevaluasi pengaruhnya terhadap respons struktur, khususnya simpangan dan torsi bangunan. Tahapan penelitian ini digambarkan dalam flowchart berikut:



Gambar 3. Diagram Alir.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

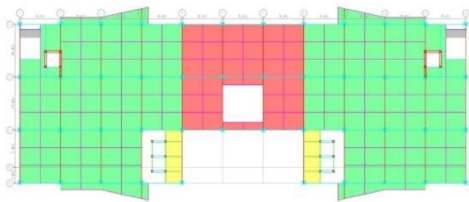
Data Struktur Gedung

Penelitian ini dilakukan pada bangunan enam lantai untuk menganalisis konfigurasi tata letak dinding geser yang optimal. Analisis dilakukan menggunakan tiga model struktur dengan variasi konfigurasi dinding geser guna mengevaluasi pengaruhnya terhadap simpangan, torsi, dan ketidakberaturan struktur. Setiap model memiliki karakteristik torsi inheren yang berbeda, sehingga dilakukan pemilihan konfigurasi berdasarkan hasil analisis yang memenuhi kriteria kinerja struktur.

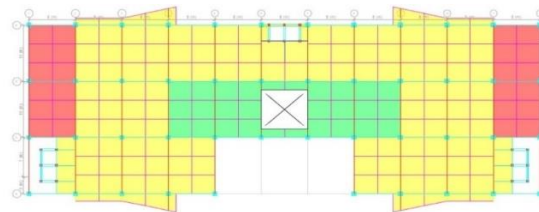
Bangunan yang dianalisis berfungsi sebagai gedung perkuliahan dan laboratorium yang berlokasi di Semarang, Jawa Tengah. Struktur bangunan menggunakan beton bertulang, berbentuk persegi panjang, dengan tinggi total 25,8 m dan terdiri atas enam lantai. Seluruh analisis dilakukan dengan mengacu pada ketentuan SNI 1726:2019 tentang bangunan gedung tahan gempa. Data model struktur disajikan pada Tabel 3, sedangkan konfigurasi struktur untuk Model 1, Model 2, dan Model 3 ditampilkan pada Gambar 4 sampai dengan Gambar 6.

Tabel 1. Data Model Struktur Gedung.

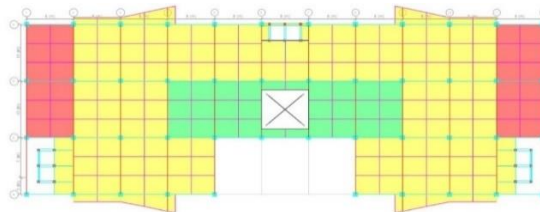
Fungsi Bangunan	Gedung Perkuliahan dan Laboratorium
Lokasi	Semarang
Jumlah Lantai	6 Lantai
Tinggi Total	25,8 m



Gambar 4. Denah Konfigurasi I.



Gambar 5. Denah Konfigurasi II.



Gambar 6. Denah Konfigurasi II.

Perancangan awal dimensi struktur merupakan tahap awal penentuan ukuran elemen struktur yang mengacu pada SNI 2847:2019. Dimensi balok dirancang dengan variasi lebar 200–500 mm dan tinggi 300–1000 mm sesuai kebutuhan bentang dan beban. Kolom menggunakan dimensi antara 300 × 300 mm hingga 850 × 850 mm berdasarkan kapasitas struktur. Pelat lantai direncanakan dengan ketebalan 120–150 mm menyesuaikan fungsi dan bentang pelat.

Kategori Desain Seismik

Berdasarkan ketentuan SNI 1726:2019, setiap struktur bangunan harus diklasifikasikan ke dalam Kategori Desain Seismik. Bangunan yang dianalisis termasuk dalam Kategori Risiko IV dengan nilai $SDS \geq 0,50$ dan $SD1 \geq 0,20$, sehingga diklasifikasikan sebagai Kategori Desain Seismik tinggi (Kategori D).

Sistem struktur bangunan direncanakan menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus sebagai sistem penahan gaya gempa utama, baik untuk arah lateral maupun vertikal. Mengacu pada SNI 1726:2019 Tabel 12, diperoleh nilai koefisien modifikasi respons (R) sebesar 8, faktor kuat lebih sistem (Ω_0) sebesar 3, serta faktor pembesaran defleksi (C_d) sebesar 5,5.

Perhitungan beban dan pemodelan massa struktur dilakukan pada setiap lantai dengan mempertimbangkan beban mati berupa berat sendiri struktur lantai. Nilai massa efektif pada tiap lantai selanjutnya disajikan pada Tabel 4.

Tabel 2. Massa Efektif Tiap Lantai.

Lantai	Tinggi lantai dari dasar, $Z_x(m)$	Berat lantai, W_x (Kg)	Berat lantai, W_y (Kg)
6	25,8	1005151,91	1005151,91
5	21,6	1219108,75	1219108,75
4	17,4	1373402,34	1373402,34
3	13,2	1444363,28	1444363,28
2	9	1513652,06	1513652,06
1	3,6	1720114,32	1720114,32

Analisa dinamis getaran bebas akibat gempa dilakukan dengan bantuan *software* ETABS dan menunjukkan ragam gempa yang terjadi. Berikut merupakan hasil dari ragam getar yang terjadi pada struktur.

Rasio Partisipasi Modal Massa

Berdasarkan hasil analisis dinamik menggunakan ETABS, dilakukan evaluasi rasio partisipasi massa modal pada Model I, Model II, dan Model III. Rekapitulasi rasio partisipasi massa modal menunjukkan bahwa partisipasi massa kumulatif yang diperoleh dari sejumlah mode getar telah memenuhi ketentuan SNI 1726:2019, yaitu minimal 90% pada masing-masing arah analisis.

Pada Model I, partisipasi massa modal kumulatif telah melampaui 90%, dengan kontribusi dominan berasal dari mode getar awal yang merepresentasikan gerakan translasi struktur.

Pada Model II, rasio partisipasi massa modal kumulatif pada arah translasi dan rotasi juga mencapai lebih dari 90%, yang menunjukkan bahwa respons dinamik struktur telah terwakili secara memadai.

Pada Model III, hasil rekapitulasi menunjukkan partisipasi massa modal kumulatif pada seluruh arah analisis telah memenuhi persyaratan, dengan kontribusi utama tetap didominasi oleh mode translasi.

Secara keseluruhan, rekapitulasi rasio partisipasi massa modal pada Model I hingga Model III menunjukkan bahwa jumlah mode getar yang digunakan dalam analisis telah

mencukupi dan sesuai dengan ketentuan standar, sehingga hasil analisis dinamik dapat dinyatakan valid dan representatif.

Perhitungan Faktor Skala Gempa

Perhitungan Koefisien Respon Seismik Model I

Nilai Periode (T) yang digunakan dalam perhitungan C_s adalah nilai periode di ETABS yang dibandingkan dengan nilai periode minimum dan nilai periode maksimum yang diatur pada Pasal 7.8.2 SNI 1726:2019.

a. Periode Alami

Tabel 3. Periode Alami Arah X Model I.

Periode / Waktu Getar Arah X		
T_a (T min)	< T PROGRAM <	T max
$C_t \times H_n^x$	< T PROGRAM <	$T_a \times C_u$
0,558643309	0,882	0,78210063
Digunakan (T) =	0,782100633	

Tabel 4. Periode Alami Arah Y Model I.

Periode / Waktu Getar Arah Y		
T_a (t min)	< T PROGRAM <	T max
$C_t \times H$	< T PROGRAM <	$T_a \times C_u$
0,558643309	0,822	0,78210063
Digunakan (T) =	0,782100633	

Nilai C_s dihitung berdasarkan Pasal 7.8.1.1 SNI 1726:2019, yakni terdapat nilai C_s arah X dan arah Y yang harus dibandingkan dengan nilai C_s maksimum dan nilai C_s minimum. Rumus C_s , $C_{s \text{ min}}$ dan $C_{s \text{ max}}$ arah X dan arah Y perhitungan nilai dapat dilihat pada tabel 4.12 sampai 4.14 berikut:

b. Nilai C_s Yang digunakan arah X

Tabel 5. Nilai C_s Yang digunakan arah X Model I.

C_s Awal ($T_0 \leq T \leq T_s$)	$S_{DS} / (R/I_e)$	0,14347345
$T \leq T_L$?	$C_s = S_{DI} / T(R/I_e)$	Iya
$T > T_L$?	$C_s = S_{DI} T_L / T^2 (R/I_e)$	Tidak
C_{s1}	Jika $T \leq T_L, C_s$ Awal tidak perlu Lebih C_{s1}	$C_s = S_{DI} / T(R/I_e)$ 0,16654616
C_{s2}	Jika $T > T_L, C_s$ Awal tidak perlu Lebih C_{s1}	$C_s = S_{DI} T_L / T^2 (R/I_e)$ 4,258944518
C_s hitung	$C_s \text{ Awal} < C_{s1}$ atau $> C_{s2}$	0,14347345
$C_{s \text{ min}}$	$0.044 * S_{DS} * I_e$ $C_{s \text{ min}} \geq 0.01$	0,044189823 Cs min Ok
$C_{s \text{ mak}}$	$S_{DS1} / T (R/I_e)$	0,16654616
C_s Pakai	$C_{s \text{ min}} < C_s < C_{s \text{ mak}}$	0,14347345

c. Nilai C_s Yang digunakan arah Y

Tabel 6. Nilai C_s Yang digunakan arah Y Model I.

C_s Awal ($T_0 \leq T \leq T_s$)	$S_{DS}/(R/I_e)$	0,14347345
$T \leq T_L$?	$C_s = S_{D1}/T(R/I_e)$	Iya
$T > T_L$?	$C_s = S_{D1}T_L/T^2(R/I_e)$	Tidak
C_{s1}	Jika $T \leq T_L$, C_s Awal tidak perlu Lebih C_{s1} $C_s = S_{D1}/T(R/I_e)$	0,16654616
C_{s2}	Jika $T > T_L$, C_s Awal tidak perlu Lebih C_{s1} $C_s = S_{D1}T_L/T^2(R/I_e)$	4,258944518
C_s hitung	C_s Awal $< C_{s1}$ atau $> C_{s2}$	0,14347345
C_s min	$0,044 * S_{DS} * I_e$	0,044189823
C_s mak	$S_{D1}/T(R/I_e)$	0,16654616
C_s Pakai	C_s min $< C_s < C_s$ mak	0,14347345

Perhitungan Koefisien Respon Seismik Model II

Perhitungan koefisien respon seismik pada Model II dilakukan dengan mengacu pada ketentuan SNI 1726:2019 dan menggunakan prosedur yang sama seperti pada Model I. Evaluasi dilakukan terhadap periode alami struktur serta penentuan nilai koefisien respon seismik pada masing-masing arah analisis.

Hasil analisis menunjukkan bahwa periode alami struktur Model II pada arah X berada pada rentang periode yang diizinkan, dengan nilai periode yang digunakan sebesar $T = 0,672$ detik. Sementara itu, pada arah Y diperoleh periode alami sebesar $T = 0,628$ detik, yang juga memenuhi batas periode minimum dan maksimum yang dipersyaratkan.

Selanjutnya, penentuan nilai koefisien respon seismik C_s pada arah X dan Y menunjukkan bahwa nilai C_s hasil perhitungan berada di antara batas minimum dan maksimum yang ditentukan oleh peraturan. Nilai C_s yang digunakan untuk Model II pada kedua arah analisis adalah sebesar **0,152**, sehingga memenuhi ketentuan $C_{s,min} < C_s < C_{s,max}$.

Dengan demikian, nilai koefisien respon seismik Model II dinyatakan memenuhi persyaratan peraturan dan digunakan dalam perhitungan gaya gempa rencana pada tahap selanjutnya.

Perhitungan Koefisien Respon Seismik Model III

Perhitungan koefisien respon seismik pada Model III dilakukan dengan prosedur yang sama seperti Model I, mengacu pada ketentuan SNI 1726:2019. Perbedaan terletak pada nilai periode alami struktur dan hasil evaluasi parameter spektrum respons yang digunakan pada masing-masing arah analisis.

Berdasarkan hasil analisis, periode alami Model III pada arah X berada pada rentang $T_a < T < T_{max}$ dengan nilai periode yang digunakan sebesar $T = 0,782$ detik. Sementara itu, pada arah Y diperoleh periode struktur sebesar $T = 0,702$ detik yang juga masih berada dalam batas periode yang diizinkan.

Penentuan nilai koefisien respon seismik C_s pada arah X dan Y menunjukkan bahwa nilai C_s hasil perhitungan berada di antara batas minimum dan maksimum yang dipersyaratkan. Nilai C_s yang digunakan pada kedua arah adalah sebesar **0,152**, yang memenuhi ketentuan $C_{s,\min} < C_s < C_{s,\max}$.

Dengan demikian, nilai koefisien respon seismik Model III pada arah X dan Y dinyatakan memenuhi persyaratan peraturan dan digunakan dalam perhitungan gaya gempa rencana selanjutnya.

Nilai koefisien respon seismik C_s pada masing-masing model dibandingkan dengan nilai $C_{s,\min}$ dan $C_{s,\max}$ sesuai ketentuan SNI 1726:2019. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa nilai C_s untuk Model I, Model II, dan Model III pada arah X dan Y berada dalam rentang yang diizinkan. Oleh karena itu, nilai C_s yang digunakan dalam perhitungan gaya gempa rencana masing-masing model adalah 0,143 untuk Model I dan 0,152 untuk Model II dan Model III.

Perhitungan Faktor Skala Gaya Model I Sampai III

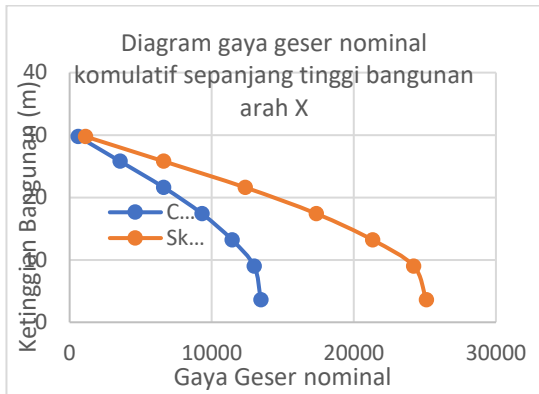
Faktor skala gaya ditentukan dengan membandingkan gaya geser dasar hasil analisis dinamik respons spektrum (V_d) terhadap gaya geser dasar seismik statik ekuivalen (V_s) sesuai ketentuan SNI 1726:2019. Apabila nilai V_d lebih kecil dari V_s , maka dilakukan penskalaan hingga memenuhi syarat $V_d \geq V_s$.

Hasil analisis menunjukkan bahwa pada Model I, Model II, dan Model III, nilai gaya geser dasar dinamik awal pada arah X dan Y belum memenuhi ketentuan, sehingga diperlukan faktor skala. Setelah dilakukan penskalaan, nilai gaya geser dasar dinamik pada seluruh model dan arah analisis telah memenuhi syarat yang dipersyaratkan dan digunakan dalam analisis struktur selanjutnya.

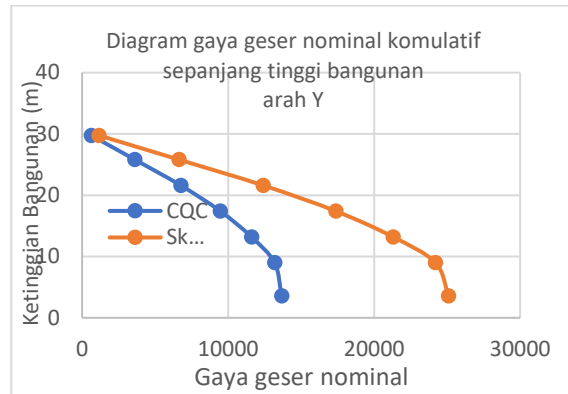
Pengecekan Gaya Geser

Gaya geser pada struktur dapat diperoleh langsung dari ETABS. Berikut grafik geser struktur terhadap ketinggian bangunan arah X dan arah Y ditunjukkan pada Gambar 7 sampai dengan Gambar 12.

Pemodelan I

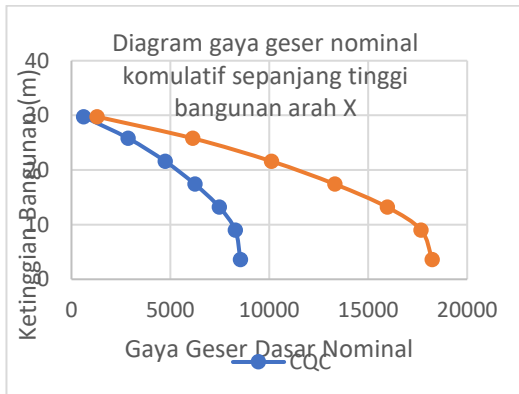


Gambar 7. Diagram Gaya Geser Gempa Arah X.

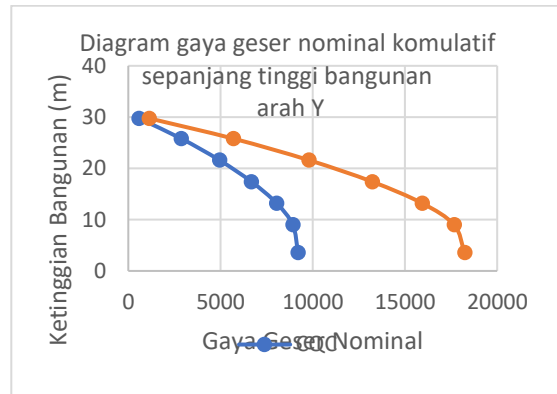


Gambar 8. Diagram Gaya Geser Gempa Arah Y.

Pemodelan II

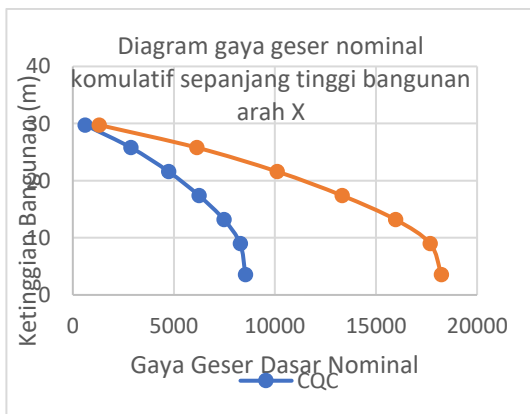


Gambar 9. Diagram Gaya Geser Gempa Arah X.

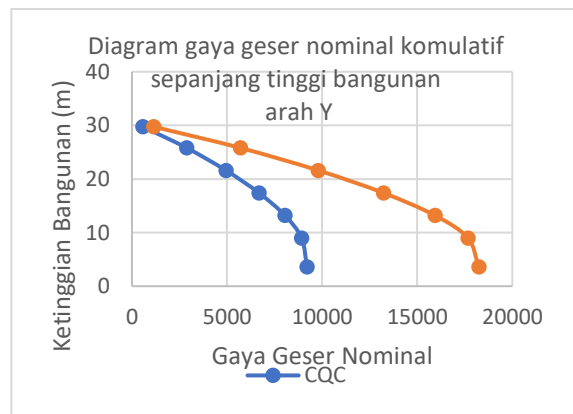


Gambar 10. Diagram Gaya Geser Gempa Arah Y.

Pemodelan III



Gambar 11. Diagram Gaya Geser Gempa Arah X.



Gambar 12. Diagram Gaya Geser Gempa Arah Y.

Pengecekan Simpangan Antar Lantai (*Story Drift*)

Menurut SNI 1726:2019, faktor-faktor dalam persyaratan simpangan antar lantai adalah sebagai berikut:

- a. Faktor pembesaran defleksi (C_d) untuk Sistem Ganda = 5,5 (Tabel 8 SNI 1726:2019),
- b. Faktor Keutamaan Gempa (I_e) = 1,5 (Tabel 2 SNI 1726:2019),
- c. Simpangan antar lantai tingkat desain (Δ) tidak boleh lebih dari simpangan antar lantai izin. Berdasarkan SNI 1726:2019 Pasal 7.12.1, simpangan antar lantai izin untuk gedung dengan Kategori risiko IV adalah $= (0,010) \times h$, dimana h adalah tinggi tingkat.

Simpangan antar tingkat diartikan sebagai pergeseran horizontal pada bagian atas suatu lantai relatif terhadap lantai di bawahnya.

Berdasarkan hasil analisis simpangan antar lantai (storey drift) menggunakan perangkat lunak ETABS, dapat disimpulkan bahwa Model I dan Model II menunjukkan kinerja yang memenuhi persyaratan batas simpangan izin pada arah X dan Y, sesuai ketentuan SNI 1726:2019. Seluruh nilai storey drift pada kedua model tersebut berada di bawah drift limit yang dipersyaratkan.

Sementara itu, pada Model III, hasil analisis menunjukkan bahwa nilai storey drift pada beberapa tingkat lantai melebihi batas simpangan izin. Oleh karena itu, Model III belum memenuhi kriteria kinerja struktur terhadap kontrol simpangan antar lantai dan memerlukan evaluasi serta penyesuaian lebih lanjut agar memenuhi ketentuan yang dipersyaratkan.

Pengecekan Nilai P-Delta

Pengecekan efek P-Delta dilakukan untuk menilai stabilitas struktur melalui perbandingan nilai θ hasil analisis dengan nilai batas maksimum yang diizinkan. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa seluruh nilai θ pada setiap tingkat bangunan berada di bawah batas θ_{max} sebesar 0,0909, baik pada arah X maupun arah Y.

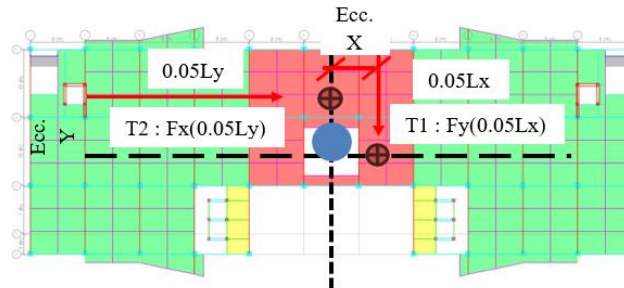
Pada Model II, nilai θ yang diperoleh pada kedua arah utama tetap berada dalam batas yang diperkenankan, sehingga pengaruh efek P-Delta dinyatakan tidak signifikan terhadap respons struktur. Kondisi ini menunjukkan bahwa struktur memiliki stabilitas yang memadai terhadap efek sekunder akibat beban aksial dan simpangan lateral, tanpa memerlukan penyesuaian tambahan dalam analisis lanjutan.

Hasil serupa juga diperoleh pada Model III, di mana seluruh nilai θ pada arah X dan Y berada di bawah batas maksimum yang diizinkan. Hal ini menegaskan bahwa pengaruh efek P-Delta masih dalam batas yang dapat diterima dan tidak memengaruhi perilaku global struktur secara signifikan.

Secara keseluruhan, struktur pada seluruh model dinyatakan stabil terhadap efek P-Delta pada kedua arah utama. Oleh karena itu, efek P-Delta dapat diabaikan dalam analisis lanjutan tanpa mengurangi tingkat keamanan dan kinerja struktur.

Pengecekan Eksentrisitas dan Torsi

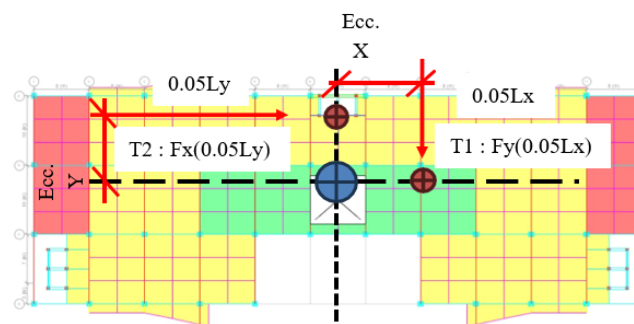
Berikut denah eksentrisitas dan ketidakberaturan torsi dapat dilihat di Gambar 13



Gambar 13. Denah letak torsi tak terduga Permodelan 1.

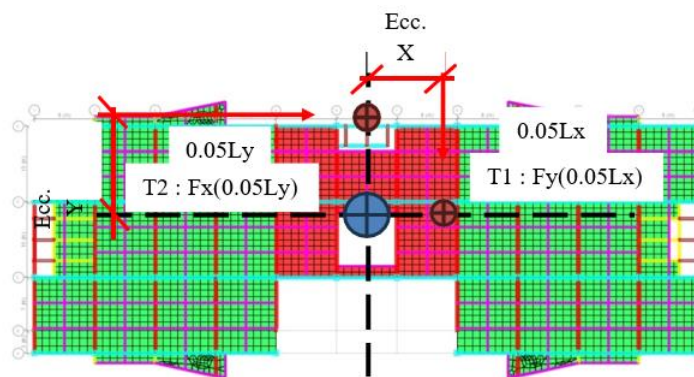
Evaluasi torsi tak terduga menunjukkan bahwa eksentrisitas bawaan dan eksentrisitas tambahan sebesar 0,05 dimensi denah menghasilkan respons torsi yang masih berada dalam batas yang diperkenankan. Pada gempa arah X dan Y, simpangan maksimum berada pada kisaran $\pm 2,7$ – $47,9$ mm dengan perbedaan yang relatif kecil terhadap simpangan rata-rata di setiap tingkat bangunan. Nilai faktor penguat torsi (A_x) berada pada kisaran 0,70–0,71, yang mengindikasikan bahwa pengaruh torsi tidak mendominasi respons lateral struktur.

Eksentrisitas desain yang dihitung pada arah sumbu X berada pada kisaran $\pm 0,038$ – $0,041$ m, sedangkan pada arah sumbu Y berkisar antara $\pm 0,047$ – $0,118$ m. Nilai tersebut menunjukkan variasi yang wajar antar tingkat bangunan tanpa adanya lonjakan eksentrisitas yang signifikan. Dengan demikian, respons torsi tak terduga dapat dikategorikan terkendali dan struktur memenuhi persyaratan kinerja terhadap efek torsi tanpa memerlukan penyesuaian tambahan dalam perencanaan.



Gambar 14. Denah letak torsi tak terduga Permodelan 2.

Evaluasi torsi tak terduga pada seluruh permodelan dilakukan dengan mempertimbangkan eksentrisitas bawaan dan eksentrisitas tambahan sebesar 0,05 dimensi denah bangunan. Hasil analisis menunjukkan bahwa simpangan maksimum dan simpangan rata-rata pada arah X dan Y memiliki perbedaan yang relatif kecil di setiap tingkat bangunan, dengan nilai faktor penguat torsi (A_x) berada pada kisaran $\pm 0,69$ – $0,86$. Eksentrisitas desain yang diperoleh pada arah sumbu X berada pada kisaran $\pm 0,038$ – $0,043$ m, sedangkan pada arah sumbu Y berkisar antara $\pm 0,047$ – $0,168$ m, dengan variasi yang masih wajar dan tanpa lonjakan signifikan antar tingkat. Temuan ini menunjukkan bahwa pengaruh torsi tak terduga tidak mendominasi respons lateral struktur, sehingga seluruh permodelan dinyatakan memenuhi persyaratan kinerja terhadap efek torsi tanpa memerlukan penyesuaian tambahan dalam perencanaan struktur.



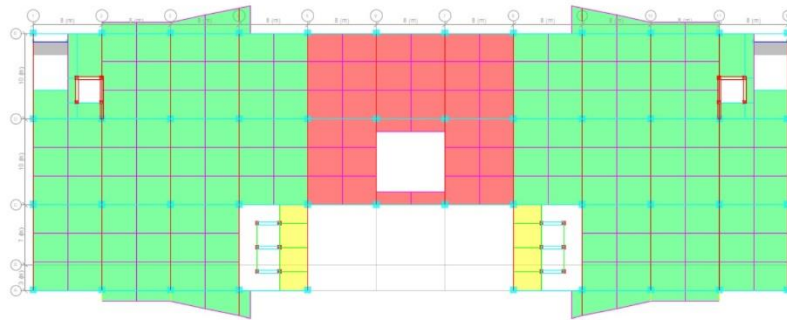
Gambar 15. Denah letak torsi tak terduga Permodelan 3.

Evaluasi torsi tak terduga pada Permodelan III dilakukan dengan mempertimbangkan eksentrisitas bawaan dan eksentrisitas tambahan sebesar 0,05 dimensi denah bangunan. Hasil analisis menunjukkan bahwa simpangan maksimum akibat gempa arah X berada pada kisaran $\pm 4,06$ – $82,19$ mm dengan nilai faktor penguat torsi (A_x) yang relatif seragam, yaitu sekitar 0,70, sedangkan pada gempa arah Y simpangan maksimum berkisar antara $\pm 1,55$ – $27,24$ mm dengan nilai A_x berada pada kisaran 0,08–0,10. Eksentrisitas desain yang diperoleh pada arah sumbu X berada pada kisaran $\pm 0,035$ – $0,037$ m, sementara pada arah sumbu Y berada pada kisaran $\pm 0,004$ – $0,021$ m, tanpa adanya lonjakan signifikan antar tingkat bangunan. Temuan ini menunjukkan bahwa pengaruh torsi tak terduga pada Permodelan III tidak mendominasi respons lateral struktur, sehingga struktur dinyatakan memenuhi persyaratan kinerja terhadap efek torsi tanpa memerlukan penyesuaian tambahan dalam perencanaan.

Pengecekan Ketidakberaturan Horizontal dan Vertikal Permodelan

Dalam permodelan pertama hingga ketiga, penulis melakukan perencanaan ulang untuk memastikan dan mencari tata letak dinding geser yang paling efektif terhadap bangunan gedung

tersebut agar tidak mengalami ketidakberaturan torsi. Upaya yang dilakukan penulis meliputi peningkatan kekakuan struktur melalui penambahan perkuatan pada tepi bangunan serta koridor dengan menggunakan dinding geser (shearwall). Tujuan utama penulis adalah merancang konfigurasi dinding geser yang efisien agar memenuhi persyaratan Standar Nasional Indonesia (SNI) 1726-2019 mengenai Ketentuan Bangunan Gedung Tahan Gempa. Denah permodelan tersebut disajikan pada Gambar 16.



Gambar 16. Gambar permodelan.

Ketidakberaturan Horizontal Model I

Ketidakberaturan Horizontal 1a dan 1b (Torsi)

Ketidakberaturan horizontal berupa ketidakberaturan torsi tipe 1a dan 1b dievaluasi berdasarkan rasio simpangan maksimum terhadap simpangan rata-rata ($\Delta_{max}/\Delta_{avg}$) pada arah X dan arah Y di setiap lantai. Hasil analisis menunjukkan bahwa pada Pemodelan 1 dan Pemodelan 2, seluruh nilai $\Delta_{max}/\Delta_{avg}$ masih berada dalam batas ketentuan yang dipersyaratkan, sehingga struktur dinyatakan tidak mengalami ketidakberaturan torsi baik pada arah X maupun arah Y. Pada Pemodelan 3, sebagian besar lantai juga memenuhi kriteria ketidakberaturan torsi, namun ditemukan satu lantai yang menunjukkan ketidakberaturan torsi tipe 1a pada arah Y, sedangkan lantai lainnya tetap berada dalam kondisi beraturan. Secara umum, struktur pada ketiga pemodelan menunjukkan perilaku yang relatif beraturan terhadap ketidakberaturan horizontal, dengan adanya indikasi ketidakberaturan torsi yang bersifat lokal pada salah satu pemodelan.

Ketidakberaturan Sudut Dalam

Ketidakberaturan sudut dalam terjadi apabila kedua dimensi proyeksi denah struktur yang diukur dari titik sudut dalam melebihi 15% dari dimensi total denah. Berdasarkan hasil pemeriksaan pada Pemodelan 1, Pemodelan 2, dan Pemodelan 3, struktur bangunan memiliki denah berbentuk persegi sehingga tidak menunjukkan adanya ketidakberaturan sudut dalam. Nilai rasio L_x/P_x sebesar 0,3409 dan L_y/P_y sebesar 0,0341 pada ketiga pemodelan masih berada dalam batas ketentuan yang dipersyaratkan dan memenuhi kriteria H.2. Dengan

demikian, dapat disimpulkan bahwa struktur bangunan tergolong beraturan secara geometris dan tidak mengalami ketidakberaturan sudut dalam.

Ketidakberaturan Diskontinuitas Diafragma

Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma tidak terjadi pada struktur bangunan karena luas total lantai sebesar 7.654 m² dengan luas bukaan 166 m², sehingga tidak memicu terjadinya ketidakberaturan diskontinuitas diafragma. Ketidakberaturan ini didefinisikan terjadi apabila suatu lantai memiliki bukaan yang melebihi 50% dari luas lantai secara keseluruhan. Berdasarkan hasil pengecekan pada Pemodelan 1, Pemodelan 2, dan Pemodelan 3, nilai luas bukaan pada setiap pemodelan masih memenuhi persyaratan, sehingga struktur dinyatakan tidak mengalami ketidakberaturan diskontinuitas diafragma.

Ketidakberaturan Akibat Pergeseran Tegak Lurus terhadap Bidang

Ketidakberaturan ini tidak terjadi karena dinding geser dirancang berkesinambungan dari lantai dasar hingga lantai atas, sehingga sistem penahan gaya lateral tetap konsisten secara vertikal.

Ketidakberaturan Sistem Non-Paralel

Model I tidak menunjukkan ketidakberaturan sistem non-paralel karena elemen penahan gaya lateral disusun sejajar dan saling tegak lurus terhadap sumbu X dan Y, sehingga respons struktur terhadap beban gempa tetap teratur.

Ketidakberaturan Vertikal

Ketidakberaturan Kekakuan Tingkat Lunak (Soft Story) 1a dan 1b

Ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak tipe 1a dan 1b dievaluasi berdasarkan perbandingan kekakuan lateral antar tingkat pada arah X dan arah Y, di mana ketidakberaturan tipe 1a terjadi apabila kekakuan suatu tingkat kurang dari 70% kekakuan tingkat di atasnya atau kurang dari 80% kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya, sedangkan ketidakberaturan tipe 1b terjadi apabila kekakuan lateral suatu tingkat kurang dari 60% kekakuan tingkat di atasnya atau kurang dari 70% kekakuan rata-rata tiga tingkat di atasnya. Hasil analisis pada Pemodelan 1, Pemodelan 2, dan Pemodelan 3 menunjukkan bahwa nilai kekakuan lateral pada setiap tingkat, baik pada arah X maupun arah Y, masih berada dalam batas ketentuan yang dipersyaratkan, sehingga struktur tidak mengalami ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak baik tipe 1a maupun tipe 1b dan dapat dikategorikan sebagai struktur beraturan dari aspek kekakuan tingkat.

Ketidakberaturan Berat (Massa)

Ketidakberaturan berat (massa) terjadi apabila massa efektif pada suatu tingkat melebihi 150% dari massa efektif pada tingkat di dekatnya. Berdasarkan hasil analisis pada Pemodelan

1, Pemodelan 2, dan Pemodelan 3, distribusi massa pada setiap tingkat bangunan menunjukkan nilai yang masih berada dalam batas ketentuan yang dipersyaratkan. Tidak terdapat tingkat dengan massa efektif yang melampaui ambang batas 150% dibandingkan tingkat di sekitarnya, sehingga struktur dinyatakan tidak mengalami ketidakberaturan berat (massa) dan tergolong beraturan dari aspek distribusi massa vertikal.

Ketidakberaturan Geometri Vertikal

Struktur bangunan tidak menunjukkan ketidakberaturan geometri vertikal karena ukuran dinding geser dirancang relatif seragam sepanjang tinggi gedung. Pada ketiga pemodelan, dimensi dinding geser bernilai 800 mm pada lantai atas hingga lantai tiga dan 850 mm pada lantai dua dan lantai satu, sehingga tidak terjadi perubahan geometri vertikal yang signifikan antar tingkat. Kondisi ini menunjukkan bahwa seluruh pemodelan masih memenuhi kriteria ketidakberaturan geometri vertikal, sehingga struktur dapat dikategorikan beraturan dari aspek geometri vertikal.

Ketidakberaturan akibat Diskontinuitas Bidang Elemen Vertikal Pemikul Gaya Lateral

Struktur ini tidak terjadi ketidakberaturan diakibatkan oleh diskontinuitas bidang pada elemen vertikal pemikul gaya lateral dikarenakan dinding geser dari lantai 1 sampai lantai 6.

Ketidakberaturan Tingkat Lemah akibat Diskontinuitas Kekuatan Lateral

Ketidakberaturan tingkat lemah akibat diskontinuitas pada kekuatan lateral tingkat dievaluasi dengan membandingkan kekuatan lateral antar tingkat pada arah X dan arah Y. Hasil analisis menunjukkan bahwa pada Pemodelan 1, nilai kekuatan lateral meningkat secara bertahap dari lantai atas ke lantai bawah, dengan kisaran kekuatan dari sekitar 1.126–1.152 kN pada lantai teratas hingga lebih dari 25.000 kN pada lantai dasar, dan seluruh tingkat memenuhi kriteria yang dipersyaratkan. Pola serupa juga ditunjukkan pada Pemodelan 2 dan Pemodelan 3, di mana kekuatan lateral pada arah X dan Y meningkat secara konsisten dari nilai sekitar 1.100–1.300 kN pada lantai atas hingga mencapai lebih dari 24.000 kN pada lantai bawah, tanpa adanya tingkat yang menunjukkan penurunan kekuatan signifikan. Dengan demikian, struktur pada ketiga pemodelan tidak mengalami ketidakberaturan tingkat lemah akibat diskontinuitas kekuatan lateral tingkat dan dapat dikategorikan beraturan dari aspek kekuatan lateral vertikal.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis, konfigurasi, dimensi, dan tata letak dinding geser terbukti berpengaruh signifikan terhadap kinerja struktur dalam mengendalikan simpangan antar tingkat, ketidakberaturan torsi horizontal, dan distribusi gaya geser akibat beban gempa. Model II menunjukkan kinerja paling optimal dengan simpangan maksimum sebesar 31,44 mm pada arah X dan 20,27 mm pada arah Y, berada jauh di bawah batas izin 42 mm sesuai SNI 1726:2019, serta menghasilkan gaya geser dasar paling kecil, yaitu sekitar 18.232 kN, yang menunjukkan efisiensi penyaluran gaya lateral melalui dinding geser. Model I masih memenuhi persyaratan simpangan dan tidak mengalami ketidakberaturan torsi signifikan, meskipun kinerjanya berada di bawah Model II. Sebaliknya, Model III tidak memenuhi ketentuan simpangan antar lantai karena simpangan arah X mencapai 59,95 mm dan menunjukkan ketidakberaturan torsi yang signifikan dengan nilai A_y sebesar 1,276 akibat tata letak dinding geser yang tidak simetris, sehingga menghasilkan respons deformasi dan torsi yang lebih besar. Oleh karena itu, Model I dan terutama Model II direkomendasikan sebagai konfigurasi struktur yang efektif, sedangkan Model III tidak direkomendasikan untuk digunakan.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian, disarankan agar perancangan dinding geser dilakukan dengan konfigurasi yang simetris dan dimensi yang memadai guna menyeimbangkan pusat massa dan pusat kekakuan, sehingga simpangan antar lantai dan ketidakberaturan torsi dapat diminimalkan. Konfigurasi seperti pada Model II dan Model I dapat dijadikan acuan karena terbukti mampu meningkatkan stabilitas respons struktur terhadap beban gempa. Selain itu, penempatan dinding geser yang efisien perlu dioptimalkan karena dinding geser mampu menahan sebagian besar gaya lateral, mengurangi beban pada kolom, serta menekan gaya geser dasar, sehingga berkontribusi pada peningkatan kinerja dan efisiensi desain bangunan bertingkat tahan gempa.

DAFTAR REFERENSI

- Anonim. (2025). Evaluasi kekuatan struktur bangunan terhadap beban lateral gempa untuk meningkatkan ketahanan bangunan. *JIIC: Jurnal Intelek Insan Cendekia*, 2(10).
- Ashari, A. A. D. (2020). *Analisis spasial tingkat risiko wilayah terhadap DBD: Studi kasus Kecamatan Manggala, Panakkukang, dan Mariso, Kota Makassar* (Disertasi doctoral). Universitas Hasanuddin.
- Baehaki, B., Kuncoro, H. B. B., & Dahlia, P. (n.d.). Pengaruh letak shear wall pada gedung tidak beraturan terhadap nilai simpangan dengan analisa respons spektrum.
- Dewobroto, W. (2005). *Evaluasi kinerja struktur baja tahan gempa dengan analisa pushover*. Universitas Pelita Harapan.
- Fintel, M. (1991). Shear wall—An answer for seismic resistance. *Concrete International, Journal*.
- Ginting, S. D. (2024). Rekayasa struktural dalam desain bangunan tahan gempa. *Tugas Mahasiswa Program Studi Arsitek*, 1(1).
- Handayani, N. K. (2022). Perencanaan dinding geser pada gedung kuliah 7 lantai dengan sistem ganda.
- Harijoko, A., Puspitasari, D., Prabaningrum, I., Prastika, K. P., & Wijayanti, N. F. (2021). *Manajemen penanggulangan bencana dan pengurangan risiko bencana di Indonesia*. UGM Press.
- Harto Nurbian, Agyanata T. M., Syafwandi, & Agung Sumarno. (2025). Performance-based seismic analysis and design of a mid-rise RC guest house in a high seismic zone of Indonesia. *Momentum International Journal of Civil Engineering*, 1(2). <https://doi.org/10.64123/mijce.v1.i2.2>
- Prayuda, H., Maulana, T. I., Anzelina, S. R., Hermawan, A. A., Hasibuan, S. A. R. S., Ikhsan, M. N., & Paudel, S. (2025). Seismic performance of multi-story reinforced concrete frame structures due to vertical and horizontal irregularities. *Semesta Teknika*, 28(1), 12-29. <https://doi.org/10.18196/st.v28i1.25184>
- Purwanto, Y. N. K., & Mahendra, W. (2021). Studi bentuk dan layout dinding geser (shear wall) terhadap perilaku struktur gedung bertingkat.
- Sadhewa, Z. F. (2021). *Evaluasi kinerja struktur beton bertulang menggunakan analisis dinamik metode respons spektrum*.
- Sila, A. A., Isdyanto, A., La Ola, M. N., Hamdi, F., Masgode, M. B., Aryadi, A., & Buarlele, L. (2023). *Dinamika dan struktur tahan gempa*. Tohar Media.
- Standar Nasional Indonesia. (1987). *SKBI 1.3.53-1987: Perencanaan pembebanan untuk rumah dan gedung*. Jakarta.
- Standar Nasional Indonesia. (2019a). *SNI 03-1726-2019: Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk bangunan gedung*. Jakarta.
- Standar Nasional Indonesia. (2019b). *SNI 2847-2019: Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung*. Jakarta.