Jurnal Ilmiah
TELSINAS

Volume 8, No. 1 April 2025
e-ISSN 2621-5276 (online)

Pengaruh Kekakuan Dinding Pengisi Terhadap Simpangan Antar Tingkat pada Struktur Rangka Baja dengan Perletakan Sendi

I Ketut Diartama Kubon Tubuh, I Putu Agus Putra Wirawan, I Gede Gegiranang Wiryadi, Gede Aditya, I Wayan Soma Adi Pratama

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Mahasaraswati Denpasar, Indonesia
E-mail: diartamakubon@unmas.ac.id

DOI:	**Received**:	**Accepted**:	**Publish**:
https://doi.org/10.38043/telsinas.v8i1.6124	28 Januari 2025	22 Maret 2025	25 April 2025

ABSTRAK: Dinding pengisi memberikan pengaruh kekakuan struktur rangka penahan momen. Pengabaian kekakuan dari dinding pengisi tersebut dapat memengaruhi perilaku berupa simpangan antar tingkat. Studi ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh kekakuan dinding pengisi, baik dinding yang penuh maupun dinding yang berlubang, pada suatu struktur gedung hotel dengan sistem struktur rangka baja penahan momen. Gedung hotel berlantai empat memiliki fungsi restoran dan lobi pada lantai dasar sehingga pada lantai tersebut tidak terdapat dinding pengisi. Sedangkan sisa tiga lantai di atasnya digunakan sebagai kamar-kamar. Dinding pengisi dimodelkan sebagai elemen *shell* dan celah antara dinding pengisi dengan struktur rangka dimodel sebagai elemen *gap*. Perletakan struktur dianggap sebagai sendi dengan asumsi sambungan antara kolom baja dengan kolom pedestal beton bertulang memungkinkan terjadinya putaran sudut. Hasil analisis menunjukkan simpangan antar tingkat pada model yang tidak memperhitungkan kekakuan dinding pengisi (MOF) jauh melebihi simpangan antar tingkat izin, terutama pada lantai dua dan tiga. Sedangkan model yang memperhitungkan kekakuan dinding pengisi (MIF) melebihi simpangan antar tingkat izin hanya pada lantai dua. Kontribusi kekakuan dinding pengisi mengakibatkan simpangan MIF menjadi kurang lebih setengah dari simpangan MOF. Untuk mengatasi permasalahan simpangan antar tingkat, dilakukan perubahan asumsi perletakan menjadi jepit. Perubahan perletakan tersebut sangat signifikan meningkatkan kinerja simpangan antar tingkat, kecuali MOF.

Kata Kunci: *Dinding Pengisi; Rangka Baja; Elemen Shell; Elemen Gap; Simpangan Antar Tingkat; Perletakan Sendi*

ABSTRACT: Infill walls affect the stiffness of moment-resisting frame structures. Ignoring the stiffness of infill walls can impact inter-story drift behavior. This study examines the effect of infill wall stiffness, with and without openings, on a hotel building structure using a moment-resisting steel frame system. The four-story hotel has a restaurant and lobby on the ground floor, so there are no infill walls on that floor. The remaining three floors above are used as rooms. The infill walls are modeled as shell elements, and the gap between the walls and the frame is modeled as a gap element. The structural base restraints are considered as pinned, assuming an angular rotation connection between the steel column and the reinforced concrete pedestal column. Analysis results indicate that inter-story drift in the model without accounting for infill wall stiffness (MOF) significantly exceeds permissible limits, particularly on the second and third floors. Conversely, the model considering infill wall stiffness (MIF) only exceeds permissible drift on the second floor. The contribution of infill wall stiffness results in MIF drift being approximately half of MOF drift. To address inter-story drift issues, the placement assumption was changed to fixed, which notably improved performance except for MOF.

Keyword: *Infill Wall; Steel Frame; Shell Element; Gap Element; Interstory Drift; Pinned Restraint*

Volume 8, No. 1 April 2025
e-ISSN 2621-5276 (online)

I. PENDAHULUAN

Struktur gedung yang menggunakan dinding pengisi sebagai bahan pemisah ruang sangat banyak digunakan pada gedung bertingkat rendah dan dijumpai di wilayah-wilayah berkembang, salah satunya di Denpasar, Bali. Struktur utama gedung umumnya menggunakan sistem struktur rangka penahan momen dan berisi partisi dinding pengisi. Dinding pengisi merupakan partisi ruangan yang dibuat dari material bata dan sering dianggap sebagai elemen non struktural karena dinilai memiliki kuat tekan yang rendah. Namun, dinding pengisi dapat memberikan kekakuan terhadap struktur rangka di sekelilingnya [1], [2], [3]. Pada umumnya, ketebalan dinding dibuat seragam. Namun, dinding juga bisa dibuat lebih tebal untuk kepentingan tertentu seperti pada dinding pemisah kamar hotel agar lebih kedap suara. Semakin tebal dinding, akan memberikan kekakuan yang lebih terhadap struktur [4]. Bahkan dinding yang diperkuat dengan penambahan tulangan dapat meningkatkan kemampuan struktur dalam menahan gaya lateral dan meningkatkan kinerja strukturnya [5].

Pengaruh kekakuan dinding pengisi terhadap struktur rangka beton bertulang dapat memberikan ketidakberaturan tingkat lunak [6]. Meskipun demikian, masih sering keberadaan dinding pengisi hanya diperhitungkan sebagai beban dan kesalahan dalam memperhitungkan kekakuan tersebut dapat menimbulkan bahaya *soft story* [7], [8]. Struktur gedung yang menggunakan dinding pengisi tidak hanya bermaterial beton bertulang. Struktur baja juga dapat dijadikan pilihan apabila diperlukan kecepatan dalam pengerjaan konstruksi. Pada struktur baja, dinding pengisi juga memberikan kekakuan [9], meskipun dinding pengisi tersebut terdapat bukaan [10], [11].

Struktur rangka baja penahan momen umumnya memiliki perletakan struktur yang dimodelkan sebagai sendi. Sambungan pedestal kolom baja dengan kolom pedestal beton bertulang di bawahnya sangat memungkinkan terjadinya putaran sudut yang mengakibatkan terjadinya simpangan struktur dan simpangan antar tingkat yang besar [12]. Selain itu, juga terjadi perubahan kekakuan yang besar dari beton ke baja. Oleh karenanya, pada studi ini diteliti mengenai pengaruh kekakuan dinding pengisi terhadap simpangan struktur dan simpangan antar tingkat pada struktur rangka baja penahan momen dengan perletakan sendi. Diambil sebuah gedung hotel fiktif berlokasi di Denpasar, Bali sebagai objek penelitian. Gedung berlantai empat dengan tinggi bangunan tidak melebihi 15 meter, mengikuti batas ketinggian maksimum daerah. Penelitian ini juga menganalisis pengaruh pemakaian perletakan jepit terhadap kekakuan dan simpangan dengan pertimbangan bahwa sambungan kolom baja dengan kolom pedestal juga dapat diperkaku dengan membuatnya seperti kolom komposit.

II. LANDASAN TEORI

Desain Elemen Struktur Baja

Desain struktur elemen-elemen struktur balok dan kolom dari rangka baja mengacu pada SNI 1729:2020 [13]. Gaya-gaya dalam yang didapat dari hasil analisis kemudian dibandingkan dengan kekuatan dari elemen-elemen struktur tersebut mengikuti konsep Desain Faktor Beban dan Ketahanan (DFBK). Desain struktur baja menggunakan konsep DFBK menghasilkan hasil desain yang lebih efektif dari konsep Desain Kekuatan Izin (DKI) [14]. Kekuatan dari penampang dinyatakan memenuhi syarat melalui parameter *Demand per Capacity* (D/C) *Ratio* yang dihitung melalui Persamaan (1) dan (2).

$$\frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9}\left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}}\right) \leq 1{,}0; \text{ untuk } \frac{P_r}{P_c} \geq 0{,}2 \quad (1)$$

$$\frac{P_r}{2P_c} + \frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \leq 1{,}0; \text{ untuk } \frac{P_r}{P_c} \leq 0{,}2 \quad (2)$$

P_r dan M_r adalah kuat aksial dan kuat lentur perlu, sedangkan P_c dan M_c adalah kapasitas kuat aksial dan kapasitas kuat lentur. Subskrip x dan y adalah keterangan pelenturan arah sumbu kuat dan sumbu lemah

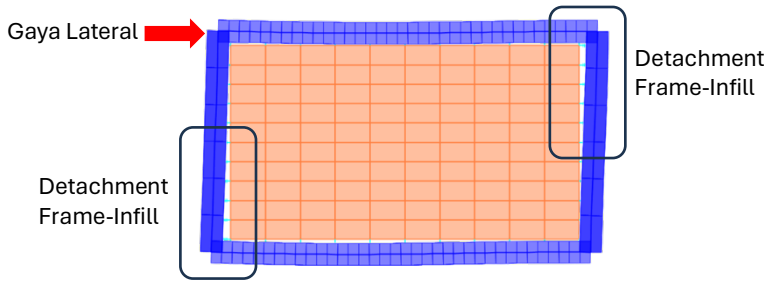
Struktur rangka baja penahan momen umumnya menumpu pada kolom pedestal beton bertulang. Sambungan antara kolom baja dengan kolom pedestal beton bertulang di bawahnya menggunakan sambungan angkur baja. Kondisi sambungan seperti ini memungkinkan terjadinya putaran sudut dan memberikan asumsi perletakan sendi, namun akan memberikan simpangan struktur yang besar [12].

Volume 8, No. 1 April 2025
e-ISSN 2621-5276 (online)

Pemodelan Dinding Pengisi

Dinding pengisi dapat dimodelkan sebagai elemen *shell* atau sebagai elemen *strut*. Pemodelan dinding pengisi sebagai elemen *shell* dilakukan seperti halnya memodel pelat lantai, yaitu dengan menggambarkan *area section* dinding pengisi sesuai posisi, konfigurasi, dan spesifikasi dari yang direncanakan. Sedangkan pemodelan sebagai elemen *strut* dilakukan seperti halnya memodel balok atau kolom yang dipasang secara diagonal menghubungkan sudut-sudut rangka, namun memerlukan analisis lebih lanjut untuk menentukan lebar ekivalennya. Elemen *shell* akan lebih mudah digunakan dalam memodel dinding pengisi yang memiliki bukaan pintu atau jendela. Beberapa studi menunjukkan dinding pengisi memberikan kekakuan terhadap struktur rangka meskipun terdapat bukaan [15], [16].

Pemodelan dinding pengisi dengan elemen *shell* memerlukan elemen *gap* yang menghubungkan dinding pengisi dengan balok dan kolom. Elemen *gap* memberikan perilaku *compression only* yang berarti hanya akan meneruskan tegangan atau gaya tekan saja dari beban lateral yang diterimanya. Hal ini bersesuaian dengan perilaku saat mengalami tegangan tarik, pasangan dinding pengisi yang akan terlepas dengan rangka di sekitarnya (*detachment frame-infill*), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Ilustrasi perilaku dinding pengisi terlepas dari rangka (detachment frame-infill)

Mendefinisikan elemen *gap* memerlukan nilai kekakuan dan dihitung berdasarkan studi oleh [17] melalui persamaan berikut.

$$K_g = 0{,}0378 E_i t_i + 347 \quad (3)$$

Besarnya Kekakuan elemen *gap* (K_g) dipengaruhi oleh Modulus Elastisitas (E_i) dan Ketebalan (t_i) dari dinding pengisi.

Beban Lateral Gempa

Pemilihan prosedur dan perhitungan besaran beban lateral gempa ditentukan mengikuti ketentuan SNI 1726:2019 [18]. Analisis dimulai dari penentuan okupansi gedung yang menghasilkan Kategori Risiko dan Faktor Keutamaan Gempa (I_e), serta nilai parameter-parameter spektral percepatan terpetakan yang bergantung dari lokasi gedung dibangun antara lain Spektral Percepatan Periode Pendek (S_S), Spektral Percepatan Periode 1 Detik (S_1). Nilai-nilai tersebut dihitung menjadi Spektral Percepatan Maksimum (S_{MS} & S_{M1}) dan Spektral Percepatan Desain (S_{DS} & S_{D1}) bergantung dari jenis tanah yang dinyatakan dalam Kelas Situs.

Penentuan jenis tanah menghasilkan klasifikasi tanah antara lain Batuan Keras (kelas situs SA), Batuan (SB), Tanah Keras (SC), Tanah Sedang (SD), Tanah Lunak (SE), dan Tanah Khusus (SF). Kelas situs menggambarkan rambatan gelombang gempa dari batuan dasar ke permukaan tanah menghasilkan Faktor-faktor Amplifikasi F_a dan F_v. Getaran gempa dari batuan dasar merambat ke permukaan tanah melalui medium tanah yang jenisnya harus ditentukan melalui penyelidikan tanah. Kekeliruan dalam menentukan kelas situs akan berpengaruh pada perhitungan besaran gaya gempa [19].

Dari parameter-parameter yang sudah diketahui, dapat ditentukan Kategori Desain Seismik yang menggambarkan tingkat risiko kegempaan dan akan memengaruhi pemilihan prosedur analisis, tipe sistem penahan gaya gempa yang diizinkan, batasan tinggi struktur, dan batasan ketidakberaturan. Parameter Periode Getar Fundamental Struktur (T) kemudian ditentukan sebagai periode pendekatan (T_a)

Volume 8, No. 1 April 2025
e-ISSN 2621-5276 (online)

untuk menghitung besarnya gaya gempa, termasuk besarnya Koefisien-koefisien Respons Seismik ($C_{S\,min}$, C_S, $C_{S\,maks}$) dihitung dengan persamaan-persamaan di bawah ini.

$$T_a = 0{,}1N \tag{4}$$

$$C_{S\,min} = 0{,}044\, S_{DS}\, I_e \geq 0{,}01 \tag{5}$$

$$C_S = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} \tag{6}$$

$$C_{S\,maks} = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} \tag{7}$$

Nilai C_S harus tidak kurang dari $C_{S\,min}$ dan tidak lebih dari $C_{S\,maks}$. Apabila kurang dari batas minimum, maka nilai yang digunakan adalah nilai minimum tersebut, begitu juga pada penentuan nilai maksimumnya apabila melewati batas maksimum. Nilai $C_{S\,min}$ terhitung dari persamaan di atas juga harus tidak kurang dari 0,01. Persamaan untuk menentukan nilai batas maksimum yang ditampilkan di atas berlaku untuk nilai periode getar fundamental struktur tidak melebihi Transisi Periode Panjang (T_L).

Berat Seismik Efektif (W) merupakan berat struktur yang diperhitungkan memberi kontribusi terhadap besarnya gaya gempa. Beban-beban yang diperhitungkan seluruh beban mati yaitu berat sendiri struktur dan beban mati tambahan. Gaya Geser Dasar (V) dan Gaya Geser Tingkat (F_x) selanjutnya ditentukan dari persamaan-persamaan di bawah.

$$V = C_S\, W \tag{8}$$

$$F_x = \frac{w_x {h_x}^k}{\sum w_x {h_x}^k} V \tag{9}$$

Besaran gaya geser tingkat dipengaruhi oleh Faktor Distribusi Vertikal (C_{vx}) yang terdiri dari besaran Berat Seismik Efektif Tingkat (w_x), Ketinggian Tingkat (h_x) diukur dari dasar, dan periode getar fundamental struktur. Parameter Eksponen (k) bernilai 1 apabila periode struktur tidak lebih dari 0,5 detik, bernilai 2 apabila periode struktur sama atau lebih dari 2,5 detik. Dilakukan interpolasi linier apabila periode struktur berada di antara 0,5 dan 2,5 detik.

Simpangan Antar Tingkat

Simpangan antar tingkat dievaluasi bertujuan untuk memastikan keamanan, kestabilan, dan kemampuan layan hasil desain. Simpangan Antar Tingkat (Δ_x) dihitung sebagai selisih simpangan struktur pada suatu tingkat dengan simpangan struktur tingkat di bawahnya. Simpangan Tingkat Elastis (δ_{ex}) hasil desain diperbesar dengan Faktor Amplifikasi Defleksi (C_d) menghasilkan Simpangan Diperbesar (δ_x) menurut prosedur SNI 1726:2019 [18], seperti yang ditunjukkan pada Persamaan (10). Simpangan antar tingkat kemudian dievaluasi agar tidak melebihi Simpangan Antar Tingkat Izin (Δ_a).

$$\delta_x = \frac{C_d\, \delta_{ex}}{I_e} \tag{10}$$

$$\Delta_x = \delta_x - \delta_{x-1} \tag{11}$$

$$\Delta_a = 1\%\sim 2\%\, h_{sx} \tag{12}$$

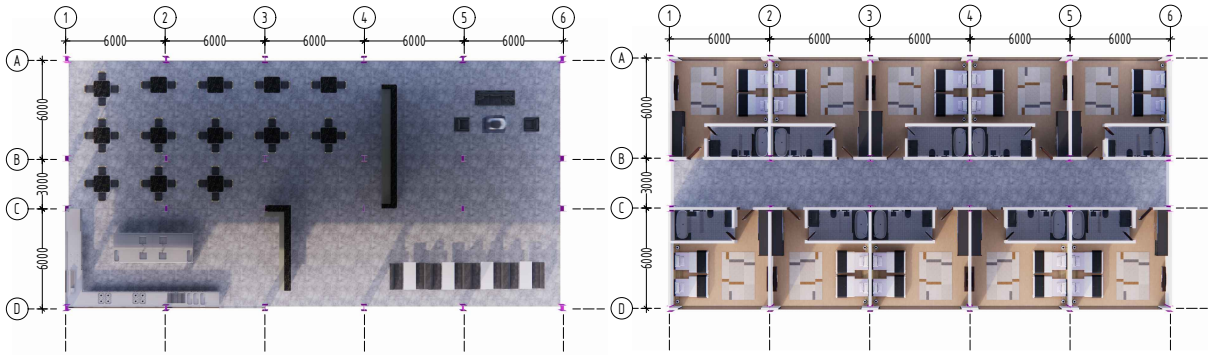
Simpangan antar tingkat izin ditampilkan berupa rentang nilai di atas, nilainya dipengaruhi oleh kategori risiko gedung. Kategori risiko I dan II akan memberikan simpangan antar tingkat izin yang lebih longgar yaitu 2%, kategori risiko III sebesar 1,5%, dan kategori risiko IV sebesar 1% dari tinggi tingkat di bawah tingkat-x (h_{sx}).

Volume 8, No. 1 April 2025
e-ISSN 2621-5276 (online)

III. METODE PENELITIAN

Deskripsi Objek Penelitian

Penelitian dilakukan dengan mengambil objek berupa bangunan gedung dengan fungsi hotel berlantai empat yang berlokasi di Denpasar, Bali. Struktur gedung hotel merupakan rangka baja penahan momen. Denah-denah lantai dasar dan lantai kamar-kamar gedung ditampilkan pada Gambar 2.

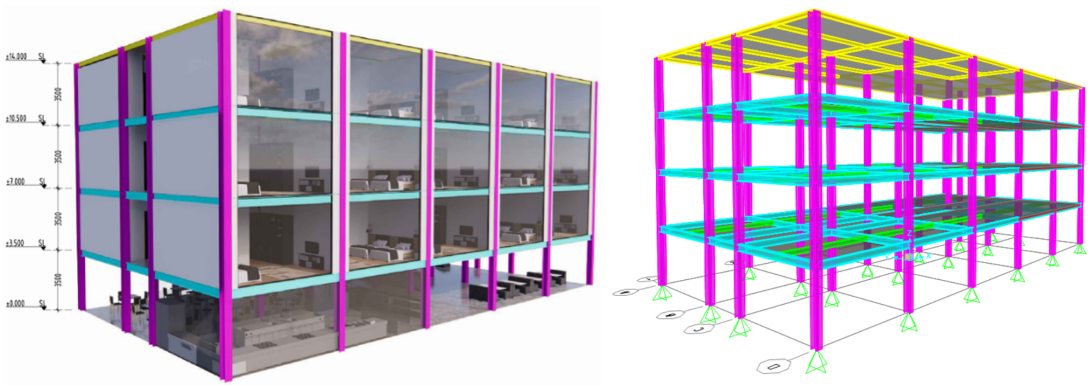


Gambar 2. Denah lantai dasar dan denah lantai kamar-kamar

Struktur terdiri dari enam buah portal melintang (portal 1-6) pada sumbu X dan empat buah portal memanjang (portal A-D) pada sumbu Y. Jarak antar portal melintang dan jarak antar portal memanjang adalah 6 m, kecuali jarak antara portal B dengan portal C sejauh 3 m yang merupakan koridor. Orientasi kolom dipasang sedemikian rupa sumbu kuat penampang kolom searah pada portal melintang.

Lantai dasar hotel difungsikan sebagai lobi dan restoran, sehingga tidak terdapat dinding pengisi. Partisi antar ruang maupun material fasad diasumsikan menggunakan kaca dan tidak memberikan kontribusi kekakuan. Ketiga lantai di atasnya difungsikan sebagai kamar-kamar dengan koridor berada di tengah denah. Dinding penyekat antar kamar merupakan dinding pengisi penuh tanpa lubang, sedangkan dinding pemisah kamar dengan koridor merupakan dinding pengisi yang terdapat lubang untuk bukaan pintu. Dimensi bukaan pintu pada dinding pengisi adalah sebesar 1 m × 2,45 m tanpa kolom dan balok lintel, dengan posisi bukaan berada pada 1 m dari as kolom terdekat. Pada bagian jendela, kaca dibuat memenuhi lebih dari 80% bidang, sehingga kekakuan dinding pengisi dianggap tidak signifikan [8]. Kekakuan dinding pengisi yang menyekat kamar mandi di dalam kamar diabaikan.

Ketinggian gedung dibuat tidak melebihi 15 m sesuai dengan batas ketinggian bangunan di Denpasar, Bali. Tinggi lantai adalah masing-masing sebesar 3,5 m, dibuat sama untuk memastikan tidak ada ketidakberaturan vertikal yang disebabkan oleh perbedaan tinggi lantai. Pada atap tidak terdapat struktur limasan dan diasumsikan hanya sebagai pelat datar. Tangga dan *elevator* merupakan bagian yang terpisah dari gedung sehingga tidak dimodelkan. Perletakan kolom-kolom diasumsikan menggunakan sendi dengan pertimbangan sambungan antara kolom baja dengan kolom pedestal beton memungkinkan terjadinya putaran sudut. Hasil pemodelan struktur disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Tampilan tiga dimensi gedung dan tiga dimensi pemodelan struktur dengan SAP2000

Volume 8, No. 1 April 2025
e-ISSN 2621-5276 (online)

Model struktur tanpa pemodelan dinding pengisi atau Model *Open Frame* (MOF) digunakan sebagai acuan dalam mendesain dimensi-dimensi elemen struktur dan nantinya dibandingkan dengan model yang dinding pengisinya dimodelkan.

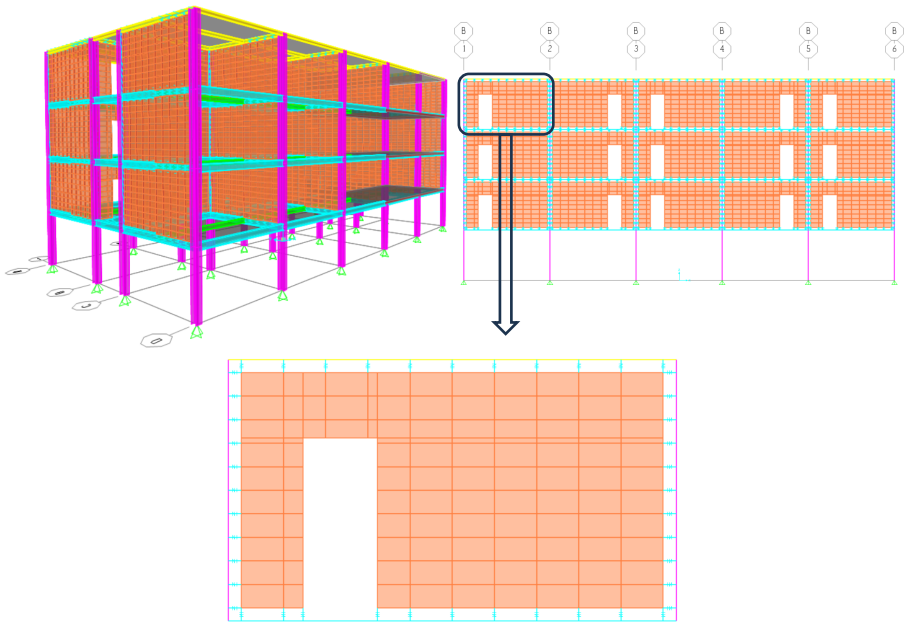
Definisi Material-material dan Pemodelan Dinding Pengisi

Material baja dan dinding pengisi yang digunakan memiliki spesifikasi berdasarkan studi oleh [20]. Sedangkan pelat lantai menggunakan material beton bertulang. Adapun spesifikasi material-material tersebut dijabarkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi material-material

No.	Parameter	Baja	Dinding Pengisi	Beton
1.	Kuat Tarik, F_y (MPa)	315	-	-
2.	Kuat Tekan, f' (MPa)	-	7,4	21
3.	Modulus Elastisitas, E (MPa)	200000	5194	21538

Pemodelan dinding pengisi dilakukan dengan menggunakan elemen *shell*. Tebal dinding pengisi digunakan adalah sebesar 110 mm, yang juga mengikuti spesifikasi tebal dinding pada [20]. Celah antara dinding pengisi dengan as kolom dan balok dimodel dengan elemen *link* berupa *gap*. Kekakuan *gap* dihitung dengan Persamaan (3) sebesar 21944 N/mm. Tampilan pemodelan elemen *shell* dan *gap* dari dinding pengisi pada Model *Infilled Frame* (MIF) ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Tampilan pemodelan MIF dan detail pemodelan elemen shell serta gap dari dinding pengisi

Elemen *shell* dari dinding pengisi, baik yang penuh maupun yang berlubang di-*divide* sebanyak 10 blok × 10 blok. Kemudian bukaan pintu dibuat sedemikian rupa sesuai ukuran dan posisi yang telah ditentukan. Karena dimensi dan posisi pintu tidak bersesuaian dengan ukuran pembagian elemen *shell*, maka dilakukan *divide* tambahan pada blok *shell* yang terdampak. Elemen *gap* yang merupakan *link* pada SAP2000 digambarkan dengan garis pendek berliku yang menghubungkan *joint* dari sudut-sudut terluar elemen *shell* tegak lurus menuju balok dan kolom.

Pembebanan Struktur

Pembebanan struktur yang diterapkan berupa pembebanan gravitasi dan pembebanan lateral. Beban gravitasi berupa beban mati dan beban mati tambahan mengikuti standar PPIUG 1983 [21], serta beban

Volume 8, No. 1 April 2025
e-ISSN 2621-5276 (online)

hidup berdasarkan SNI 1727:2020 [22]. Penjabaran beban-beban gravitasi ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Besaran pembebanan pada struktur

No.	Komponen	Besaran	Satuan
	Beban Mati		
1.	Beton Bertulang	2400	kg/m^3
2.	Baja	7800	kg/m^3
	Beban Mati Tambahan		
3.	Spesi dan keramik (t=5 cm)	105	kg/m^2
4.	Spesi (t=3 cm, pada lantai atap)	63	kg/m^2
5.	Plafon dan penggantung	18	kg/m^2
6.	Instalasi	40	kg/m^2
7.	Dinding (h=3,5 m)	875	kg/m
	Beban Hidup (L)		
8.	Lantai Kamar	1,92	kN/m^2
9.	Lantai Koridor	2,88	kN/m^2
10.	Lantai Atap Datar	0,96	kN/m^2

Beban mati (D) berupa berat sendiri dari elemen struktur dihitung oleh SAP2000 bergantung dari dimensi elemen struktur yang digunakan pada model. Hal ini dilakukan dengan mendefinisikan nilai "1" pada *self weight multiplier*. Beban mati tambahan dari *finishing* yaitu berupa spesi dan keramik dihitung berdasarkan berat spesi sebesar 2100 kg/m^3. Sehingga, total beban mati tambahan yang bekerja pada lantai kamar dan lantai atap adalah sebesar 163 kg/m^2 dan 121 kg/m^2. Besaran beban instalasi tidak ditemukan pada standar pembebanan yang disebutkan dan ditentukan berdasarkan asumsi.

Beban dinding pengisi dihitung berdasarkan berat satuan dinding sebesar 250 kg/m^2. Beban merata dinding pengisi tersebut diterapkan sebagai dinding pengisi penuh dan mengabaikan adanya bukaan. Pada model MOF dan MIF, beban dinding pengisi dimodelkan sebagai beban merata per meter di atas balok sebesar 875 kg/m. Oleh karenanya, elemen *shell* pada model MIF didefinisikan tidak lagi memiliki berat sendiri yang akan membebani balok.

Beban gempa (E) dihitung dengan prosedur gaya lateral ekivalen. Metode ini dipilih dengan pertimbangan geometri struktur yang beraturan, baik secara horizontal maupun vertikal, dan ketinggian gedung tidak melebihi 48,8 m. Pemeriksaan ketidakberaturan yang ditemui setelah analisis akan dievaluasi kemudian. Periode pendekatan fundamental struktur (T_a) yang dihitung dengan Persamaan (4) adalah sebesar 0,4 detik. Gedung berlokasi di Denpasar, Bali dan Kelas Situs diasumsikan adalah Tanah Sedang (SD), sehingga memiliki parameter-parameter lokasi seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Parameter-parameter lokasi untuk perhitungan beban gempa

No.	Parameter untuk Spektral Percepatan Periode Pendek	Nilai	Parameter untuk Spektral Percepatan Periode 1 Detik	Nilai
1.	S_S	0,9594 g	S_1	0,3951 g
2.	F_a	1,1162	F_v	1,9049
3.	S_{MS}	1,0709 g	S_{M1}	0,7526 g
4.	S_{DS}	0,7139 g	S_{D1}	0,5018 g

Gedung berfungsi sebagai hotel sehingga memiliki Kategori Risiko II dan Faktor Keutamaan Gempa (I_e) sebesar 1,00. Oleh karenanya, dengan nilai S_{DS} dan S_{D1} sedemikian rupa didapat Kategori Desain Seismik D. Ketinggian bangunan yang melebihi 10 m dan kategori desain seismik tersebut mengharuskan sistem struktur menggunakan sistem rangka penahan momen khusus (SRPMK). Besaran koefisien-koefisien gempa untuk perhitungan gaya geser dasar dihitung dengan Persamaan-persamaan (5), (6), (7) dan nilai Faktor Modifikasi Respons (R) sebesar 8 menghasilkan nilai $C_{S\,min}$, C_S, $C_{S\,maks}$

Volume 8, No. 1 April 2025
e-ISSN 2621-5276 (online)

adalah sebesar berturut-turut 0,0471; 0,0892; 0,1176. Semua beban kemudian dikombinasikan menurut konsep desain *Load and Resistance Factor Design* (LRFD) menurut SNI 1726:2019 [18].

IV. PEMBAHASAN

Dimensi Elemen Struktur

Dimensi kolom dibuat sama di semua lantai yaitu HB 350×350×12×19. Oleh karena baja pada umumnya tersedia dengan panjang 12 m dan tinggi struktur adalah 14 m, maka dua meter sisanya tidak dibuat pengecilan dimensi. Pelat lantai kamar-kamar dan lantai atap digunakan setebal 15 cm dan 12 cm. Dimensi balok dan kolom hasil desain ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Dimensi hasil desain elemen struktur

Lantai	Dimensi Kolom & Balok	D/C *Ratio* Terbesar			
		P	M_X	M_Y	Total
Atap	Kolom HB 350×350×12×19	0,014	0,041	0,104	0,159
	Balok WF 250×125×6×9	0,000	0,757	0,000	0,757
4	Kolom HB 350×350×12×19	0,038	0,039	0,243	0,320
	Balok WF 350×175×7×11	0,000	0,518	0,000	0,518
3	Kolom HB 350×350×12×19	0,064	0,043	0,375	0,482
	Balok WF 350×175×7×11	0,000	0,606	0,000	0,606
2	Kolom HB 350×350×12×19	0,090	0,030	0,639	0,759
	Balok WF 350×175×7×11	0,002	0,801	0,000	0,803

Pada lantai-lantai kamar, semua balok induk dan semua balok anak menggunakan dimensi WF 350×175×7×11 dan WF 250×125×6×9. Sedangkan pada lantai atap, semua balok-balok menggunakan dimensi WF 200×100×5,5×8. Semua kolom, terutama kolom lantai dasar, memiliki D/C *ratio* terendah sebesar 0,55. Sedangkan D/C *ratio* terendah untuk balok induk lantai kamar dan balok induk lantai atap adalah sebesar 0,257 dan 0,202.

Gaya Geser Dasar dan Gaya Geser Tingkat

Gaya geser dasar dihitung menggunakan Persamaan (8). Berat seismik efektif (W) dihitung berdasarkan kontribusi penuh dari berat sendiri elemen struktur dan beban mati tambahan. Berat seismik efektif dan Gaya Geser Dasar (V) didapat yaitu sebesar 15001,4 kN dan 1338,1 kN. Selanjutnya, perhitungan gaya geser tingkat ditampilkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Perhitungan gaya geser tingkat

Tingkat ke-x	Berat Seismik Efektif Lantai, w_x (kN)	Elevasi, h_x (m)	$w_x {h_x}^k$	Faktor Distribusi Vertikal, C_{vx}	Gaya Geser Tingkat, F_x (kN)
Atap	1935,7	14	27099,3	0,2293	306,9
4	4336,7	10,5	45535,4	0,3853	515,6
3	4336,7	7	30356,9	0,2569	343,7
2	4336,7	3,5	15178,5	0,1284	171,9
1/Dasar	55,6	0	0	0	0
Jumlah	W=15001,4	-	$\sum w_x {h_x}^k$=118170,1	1	V=1338,1

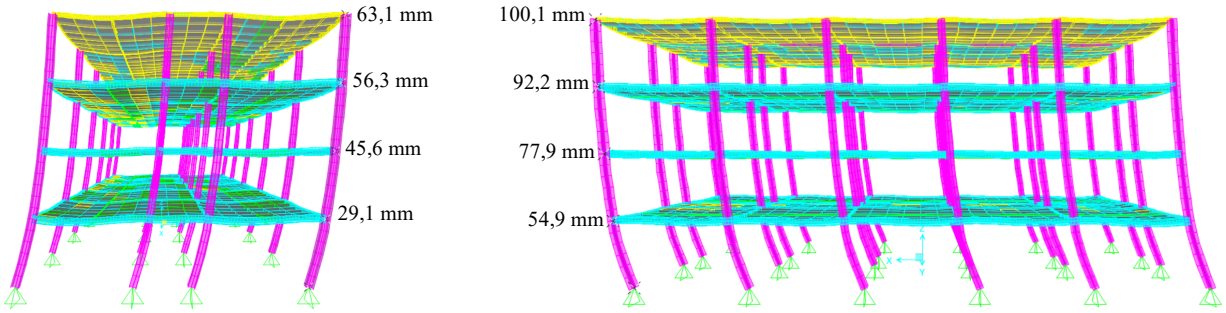
Faktor distribusi vertikal dihitung dengan Persamaan (9). Gaya-gaya geser tingkat selanjutnya menjadi beban lateral statis yang bekerja pada lantai masing-masing. Berat seismik efektif lantai didapat dari SAP2000. Faktor eksponen (k) adalah sebesar 1 karena periode pendekatan fundamental struktur kurang dari 0,5 detik.

Simpangan dan Simpangan Antar Tingkat

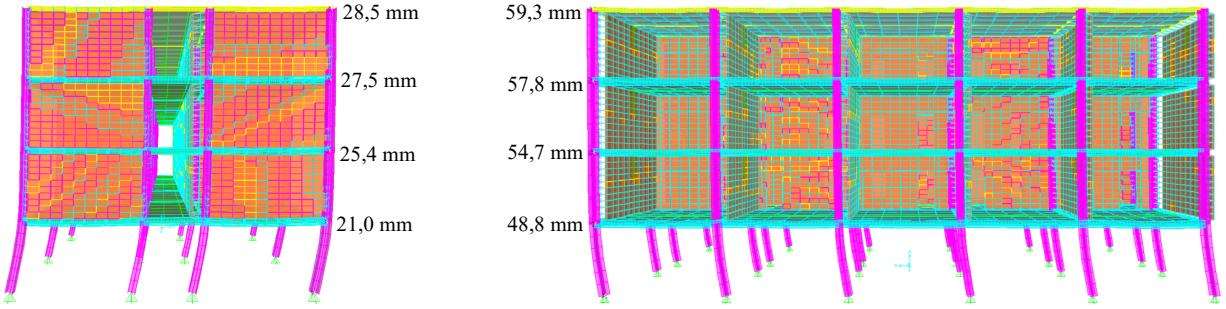
Simpangan struktur diamati berdasarkan kombinasi pembebanan dari beban mati, beban hidup dan beban gempa (D+L+E). Sebagai acuan pengamatan simpangan struktur, dipilih salah satu sudut bangunan

Volume 8, No. 1 April 2025
e-ISSN 2621-5276 (online)

yaitu titik as 6-A pada tiap lantainya. Hasil dari simpangan struktur dari model MOF dan MIF dapat dilihat pada Gambar 5 dan 6.



Gambar 5. Simpangan struktur MOF akibat D+L+E_Y dan D+L+E_X pada titik as 6-A



Gambar 6. Simpangan struktur MF akibat D+L+E_Y dan D+L+E_X pada titik as 6-A

Simpangan struktur yang terjadi pada titik-titik di portal lainnya tidak berbeda signifikan, hanya berselisih satu per seratus milimeter. Oleh karenanya, simpangan struktur pada titik-titik yang ditentukan di atas dapat mewakili. Pada model MIF, dapat diamati dinding yang tegak lurus arah gaya lateral terlihat tidak ikut bergerak mengikuti deformasi struktur rangka. Hal ini terjadi karena karakteristik dari elemen *gap* yang kekakuannya didefinisikan hanya bekerja pada sumbu searah panjang (sumbu lokal U1) dari *link* elemen *gap* tersebut.

Dari gambar di atas, dapat diamati simpangan atap pada struktur MIF berkurang 55,4% dari simpangan atap struktur MOF pada portal melintang dan berkurang 41,3% pada portal memanjang. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun dianggap sebagai elemen non struktural, dinding pengisi dapat memberikan kontribusi kekakuan yang cukup signifikan pada struktur rangka di sekelilingnya. Selain itu, meskipun terdapat bukaan pintu, pengaruh kekakuan dinding pengisi layak untuk diperhitungkan dalam mendesain perilaku berupa simpangan antar tingkat. Selanjutnya dilakukan perhitungan dan pemeriksaan simpangan antar tingkat untuk kedua model arah X dan Y pada Tabel 6 dan Tabel 7.

Tabel 6. Pemeriksaan simpangan antar tingkat model MOF akibat D+L+E

Tingkat ke-x	Tinggi Tingkat, h_{sx} (mm)	Simpangan Hasil Analisis, δ_{ex} (mm)		Simpangan Diperbesar, δ_x (mm)		Simpangan Antar Tingkat, $\Delta_x = \delta_x - \delta_{x-1}$ (mm)		Simpangan Antar Tingkat Izin, Δ_a (mm)
		Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	
Atap	3500	100,1	63,1	550,6	347,1	43,4	37,4	70
4	3500	92,2	56,3	507,1	309,7	78,7	58,9	70
3	3500	77,9	45,6	428,5	250,8	126,5	90,8	70
2	3500	54,9	29,1	302,0	160,1	302,0	160,1	70
1/Dasar	-	0	0	0	0	-	-	-

Simpangan diperbesar (δ_x) dan simpangan antar tingkat izin (Δ_a) dihitung dengan Persamaan (10) dan (11) dengan nilai Faktor Pembesaran Defleksi (C_d) sebesar 5,5 untuk SRPMK. Dari tabel di atas, hasil

Volume 8, No. 1 April 2025
e-ISSN 2621-5276 (online)

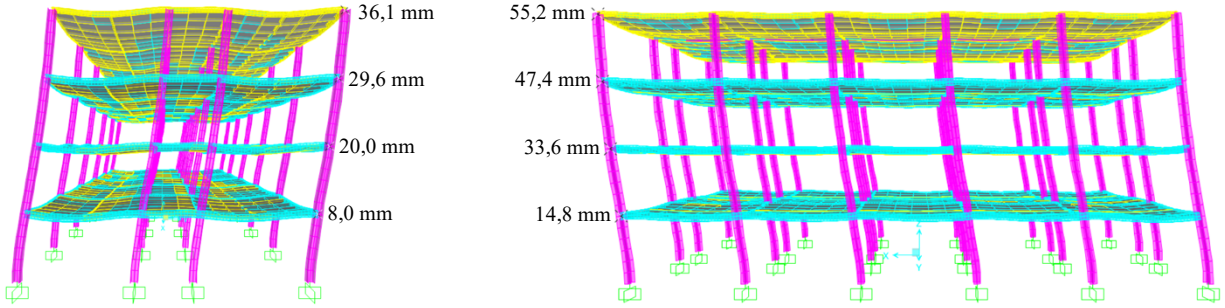
menunjukkan bahwa semua simpangan antar tingkat, kecuali atap, melebihi simpangan antar tingkat izin pada kedua arah dan struktur perlu dilakukan perubahan desain agar menjadi lebih kaku. Nilai simpangan antar tingkat yang sangat besar terjadi pada lantai dua yang diakibatkan oleh karakteristik dari perletakan sendi.

Tabel 7. Pemeriksaan simpangan antar tingkat model MIF akibat D+L+E

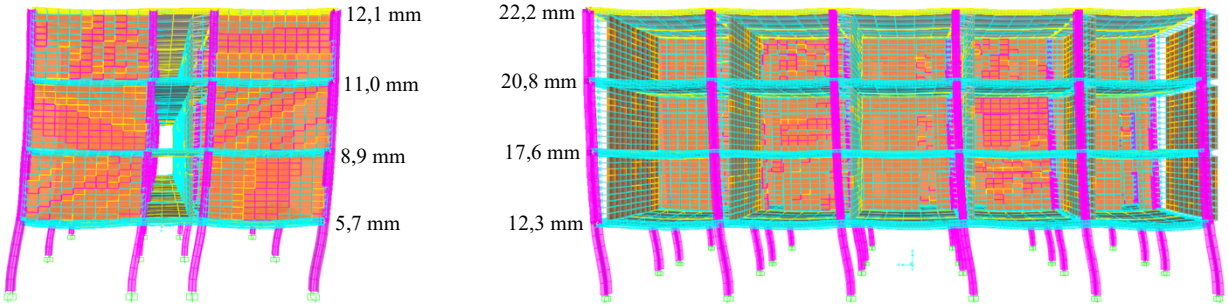
Tingkat ke-x	Tinggi Tingkat, h_{sx} (mm)	Simpangan Hasil Analisis, δ_{ex} (mm)		Simpangan Diper-besar, δ_x (mm)		Simpangan Antar Tingkat, $\Delta_x = \delta_x - \delta_{x-1}$ (mm)		Simpangan Antar Tingkat Izin, Δ_a (mm)
		Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	
Atap	3500	59,3	28,5	326,2	156,8	8,3	5,5	70
4	3500	57,8	27,5	317,9	151,3	17,1	11,6	70
3	3500	54,7	25,4	300,9	139,7	32,5	24,2	70
2	3500	48,8	21,0	268,4	115,5	268,4	115,5	70
1/Dasar	-	0	0	0	0	-	-	-

Pada model MIF, selain lebih kaku dari MOF, dapat diamati bahwa kontribusi kekakuan dinding pengisi juga membuat simpangan antar tingkatnya memenuhi izin kecuali pada lantai dua. Hal ini juga dipengaruhi dari asumsi perletakan struktur berupa sendi yang memberikan hasil simpangan struktur yang besar.

Studi ini dilanjutkan dengan mengubah semua perletakan struktur menjadi jepit untuk mengetahui dampaknya. Hasil simpangan struktur ditunjukkan pada Gambar 7 dan 8.



Gambar 7. Simpangan struktur MOF perletakan jepit akibat D+L+E_Y dan D+L+E_X pada titik as 6-A



Gambar 8. Simpangan struktur MIF perletakan jepit akibat D+L+E_Y dan D+L+E_X pada titik as 6-A

Simpangan antar tingkat dari kedua model pada kedua arah dihitung dan dievaluasi pada Tabel 8.

Volume 8, No. 1 April 2025
e-ISSN 2621-5276 (online)

Tabel 8. Pemeriksaan simpangan antar tingkat model MOF dan MIF perletakan jepit akibat D+L+E

Tingkat ke-x	Model MOF						Model MIF					
	δ_{ex} (mm)		δ_x (mm)		Δ_x (mm)		δ_{ex} (mm)		δ_x (mm)		Δ_x (mm)	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
Atap	55,2	36,1	303,6	198,6	42,9	35,8	22,2	12,1	122,1	66,6	7,7	6,1
4	47,4	29,6	260,7	162,8	75,9*	52,8	20,8	11	114,4	60,5	17,6	11,6
3	33,6	20,0	184,8	110,0	103,4*	66,0	17,6	8,9	96,8	49,0	29,2	17,6
2	14,8	8,0	81,4	44,0	81,4*	44,0	12,3	5,7	67,7	31,4	67,7	31,4
1/Dasar	0	0	0	0	-	-	0	0	0	0	-	-

Keterangan: * = simpangan antar tingkat melampaui simpangan antar tingkat izin

Dengan nilai simpangan antar tingkat izin yang masih sama, yaitu 70 mm, maka hanya model MOF yang masih melebihi ketentuan. Simpangan antar tingkat model MOF pada arah X melewati izinnya, sedangkan pada arah Y masih memenuhi izin. Hal ini dipengaruhi oleh orientasi dari sumbu kuat penampang kolom. Sehingga perlu dilakukan variasi orientasi sumbu lokal dari kolom untuk mengatasi hal ini. Pada model MIF, dengan adanya perubahan perletakan menjadi jepit, dapat mengatasi permasalahan simpangan antar tingkat tersebut.

Dengan perubahan perletakan menjadi jepit juga dapat diamati simpangan atap model MOF dan MIF berkurang dari simpangan atap model yang menggunakan perletakan sendi. Simpangan atap model MOF berkurang 45,3% dan 43,5% pada arah X dan Y. Sedangkan simpangan atap model MIF berkurang 67% dan 57,5% pada arah X dan Y. Dengan kondisi sama-sama menggunakan perletakan jepit, simpangan atap model MIF berkurang 59,8% pada arah X dan berkurang 66,5% pada arah Y dari simpangan atap model MOF. Perubahan perletakan ini juga menghasilkan besaran D/C *Ratio* semua elemen struktur lebih kecil dari struktur dengan perletakan sendi.

V. KESIMPULAN

Studi terkait pengaruh kekakuan dinding pengisi dan perletakan struktur terhadap simpangan dan simpangan antar tingkat telah dilakukan. Hasil studi menunjukkan bahwa model-model dengan perletakan sendi, kekakuan dinding pengisi dapat memperkecil simpangan atap arah X dan Y rata-rata sejauh hampir setengahnya (berkurang 48,4%). Simpangan antar tingkat semua model dengan perletakan sendi melampaui simpangan antar tingkat izin. Perubahan asumsi perletakan menjadi jepit membantu mengatasi permasalahan simpangan antar tingkat, kecuali pada model MOF arah sumbu X. Diperlukan perlakuan salah satunya perubahan orientasi kolom agar simpangan antar tingkatnya memenuhi izin. Dengan perletakan jepit, simpangan atap arah X dan Y rata-rata juga berkurang hampir setengahnya (44,4%) untuk model MOF dan berkurang lebih dari setengahnya (62,3%) untuk model MIF.

Oleh karena dinding pengisi memberi kontribusi kekakuan, maka dinding pengisi sebaiknya dimodelkan pada saat mendesain sebuah struktur rangka dengan dinding pengisi agar perilaku yang sebenarnya terjadi dapat diantisipasi. Penelitian ini memiliki keterbatasan yaitu tidak dapat dilanjutkan ke analisis kinerja struktur karena sendi plastis pada dinding pengisi tidak dapat didefinisikan pada suatu elemen *shell*. Perlu dilakukan studi dengan semua dinding pengisi dimodelkan dengan elemen *frame* berupa *strut*, sehingga dapat didefinisikan sendi plastisnya dan dilanjutkan ke analisis *pushover*.

DAFTAR PUSTAKA

[1] I. K. D. K. Tubuh, I. G. G. Wiryadi, I. P. A. P. Wirawan, and N. L. M. A. M. Pradnyadari, "Modeling and Validation of Experimental Test Results on Infilled Frame With Eccentric Reinforced Opening," in *5th International Conference on Sustainable Development*, I. M. W. Wijaya, Ed., Denpasar: Unmas Press, Dec. 2021, pp. 189–198.

[2] I. P. A. P. Wirawan, I. K. D. K. Tubuh, and I. G. G. Wiryadi, "Studi Analitikal Perilaku dan Kinerja Struktur Rangka Dinding Pengisi Dengan Bukaan Sentris," *Jurnal Paduraksa*, vol. 11, no. 1, pp. 49–56, 2022, doi: 10.22225/pd.11.1.4256.49-56.

[3] I. P. A. P. Wirawan, I. G. G. Wiryadi, I. K. D. K. Tubuh, and N. L. M. A. M. Pradnyadari, "Analytical Study on Behaviour and Performance of Infilled Frame Structure With Reinforced

Volume 8, No. 1 April 2025
e-ISSN 2621-5276 (online)

Eccentric Opening," *Journal of Applied Engineering Science*, vol. 21, no. 2, 2023, doi: 10.5937/jaes0-40596.

[4] M. Sukrawa, I. A. M. Budiwati, I. B. D. Giri, and I. P. A. P. Wirawan, "Studi Analitikal Perilaku Dan Kinerja Struktur Rangka Dinding Pengisi (RDP) Dengan Variasi Ketebalan Dinding," *Jurnal Spektran*, vol. 8, no. 2, pp. 139–148, 2020.

[5] I. K. Sudarsana, I. B. R. Widiarsa, M. K. A. Negara, and I. P. A. P. Wirawan, "Pengaruh Dinding Bata Bertulang Terhadap Kinerja Struktur Rangka Dengan Dinding Pengisi (Infilled Frame)," *Jurnal Ilmiah Telsinas Elektro, Sipil dan Teknik Informasi*, vol. 6, no. 1, pp. 1–10, May 2023, doi: 10.38043/telsinas.v6i1.4224.

[6] I. K. D. K. Tubuh, M. Sukrawa, and D. Putra, "Analisis Perilaku dan Kinerja Struktur Rangka Dinding Pengisi Dengan Variasi Penempatan Dinding pada Lantai Dasar," *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, vol. 18, no. 1, pp. 66–77, Jan. 2014.

[7] M. Sukrawa, "Design Aspect of including Infill Wall in RC Frame Design*," *Civil Engineering Dimension*, vol. 16, no. 1, Mar. 2014, doi: 10.9744/ced.16.1.24-32.

[8] M. Sukrawa, "Earthquake response of RC infilled frame with wall openings in low-rise hotel buildings," *Procedia Eng*, pp. 125 933-939, 2015, doi: 10.1016/j.proeng.2015.11.118.

[9] I. B. D. Giri, I. G. A. Susila, and F. H. Suprapto, "Perilaku dan Kinerja Struktur Rangka Baja Dengan Dinding Pengisi dan Tanpa Dinding Pengisi," *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, vol. 20, no. 1, pp. 25–30, Jan. 2016, doi: https://doi.org/10.24843/JITS.2016.v20.i01.p04.

[10] I. M. Nada, I. K. D. K. Tubuh, and I. K. A. Setyawan, "Analisis Kinerja Struktur Baja dengan dan Tanpa Dinding Pengisi," *Jurnal Ilmiah Kurva Teknik*, vol. 12, no. 1, pp. 45–52, May 2023, doi: 10.36733/jikt.v12i1.6560.

[11] I. K. D. K. Tubuh, I. P. A. P. Wirawan, I. G. G. Wiryadi, G. Aditya, and I. W. S. A. Pratama, "Analytical Model Validation on Steel Infilled Frame Experimental Tests Result," Singapore, 2025.

[12] I. K. D. K. Tubuh, "Studi Perbandingan Perilaku Struktur Gedung Dengan Kolom Beton Bertulang, Kolom Baja, dan Kolom Komposit," *Jurnal Bakti Saraswati*, vol. 08, no. 02, Sep. 2019.

[13] BSN, *Spesifikasi untuk bangunan gedung baja struktural (SNI 1729:2020)*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2020.

[14] I. S. Fajarani and I. G. L. B. Eratodi, "Evaluasi Perencanaan Struktur Komposit Menggunakan Metode Load Resistance Factor Design (LRFD) Pada Gedung C Undiknas Denpasar," *Jurnal Ilmiah Telsinas Elektro, Sipil dan Teknik Informasi*, vol. 3, no. 1, pp. 1–5, Apr. 2020.

[15] I. K. D. K. Tubuh, I. G. G. Wiryadi, I. P. A. P. Wirawan, I. K. A. Setyawan, and I. M. L. W. Saputra, "Infill-Walls Interaction on Steel Moment Resisting Frame Due to Lateral Forces," 2024, pp. 747–755. doi: 10.1007/978-981-99-1111-0_64.

[16] I. G. G. Wiryadi, I. K. D. K. Tubuh, I. P. A. P. Wirawan, I. K. A. Setyawan, and I. M. L. W. Saputra, "Behavior and Performance Analysis of Reinforced Concrete and Steel Infilled-Frame," *Civil Engineering and Architecture*, vol. 12, no. 3, pp. 1621–1633, May 2024, doi: 10.13189/cea.2024.120327.

[17] J. Dorji and D. P. Thambiratnam, "Modelling and Analysis of Infilled Frame Structures Under Seismic Loads," *The Open Construction and Building Technology Journal*, vol. 3, no. 2, pp. 119–126, 2009, doi: 10.2174/1874836800903020119.

[18] BSN, *Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung (SNI 1726:2019)*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2019.

[19] I. K. D. K. Tubuh, I. G. G. Wiryadi, and I. P. A. P. Wirawan, "Pengaruh Penentuan Kelas Situs Terhadap Perilaku Struktur Dalam Menahan Beban Gempa," in *Civil Engineering and Material Technology Seminar (CEMTECS #2)*, I. P. Laintarawan, Ed., Denpasar: UNHI Press, Aug. 2021, pp. 1–7.

[20] A. Mohebkhah and A. A. Tasnimi, "Distinct Element Modeling of Masonry-Infilled Steel Frames with Openings," *The Open Construction and Building Technology Journal*, vol. 6, no. 1, pp. 42–49, Nov. 2012, doi: 10.2174/1874836801206010042.

[21] DPMB, *Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung*. Bandung: Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan, 1983.

Volume 8, No. 1 April 2025
e-ISSN 2621-5276 (online)

[22] BSN, *Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain (SNI 1727:2020)*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional, 2020.