

Pemodelan dan Analisis Perilaku Struktur Rangka Baja Dinding Pengisi Terhadap Beban Lateral Gempa

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

Universitas Mahasaraswati Denpasar, Denpasar

*Corresponding author, email address: diartamakubon@unmas.ac.id

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 17 Agustus 2024

Revised: 5 September 2024

Accepted: 20 September 2024

Available Online: 30 November 2024

Kata Kunci:

Dinding pengisi, rangka baja, elemen *shell*, elemen *gap*, simpangan antar tingkat

ABSTRAK

Penggunaan dinding pengisi sebagai pemisah ruang banyak diterapkan pada bangunan bertingkat rendah. Dinding pengisi memberikan kontribusi terhadap kekakuan lateral struktur yang tidak boleh diabaikan, namun sering kali dianggap hanya sebagai beban saja. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh kekakuan dinding pengisi terhadap simpangan dan simpangan antar tingkat pada struktur rangka baja penahan momen dari sebuah bangunan gedung hotel berlantai empat. Dalam studi ini, dinding pengisi yang dimodelkan kekakuannya menggunakan elemen *shell* sebagai Model Infilled Frame (MIF) dan dibandingkan dengan dinding pengisinya yang hanya dimodelkan sebagai beban saja menjadi Model Open Frame (MOF). Pemodelan MIF juga mengikutsertakan elemen *gap* yang menghubungkan *shell* dengan *frame* di sekelilingnya untuk memodelkan perilaku dinding pengisi yang mampu menerima tegangan tekan saja. Hasil analisis menunjukkan bahwa pada model MIF, kekakuan dinding pengisi mampu menurunkan simpangan atap pada gedung secara signifikan, yaitu sebesar 6,4 kali pada arah X, dan pada arah Y sebesar 6,1 kali lebih kecil dari simpangan atap model MOF. Pada model MOF, hasil simpangan antar tingkat tidak memenuhi simpangan antar tingkat izin di semua lantai kecuali pada lantai atap. Namun, saat kekakuan dindingnya dimodelkan menggunakan elemen *shell* sebagai MIF, semua simpangan antar tingkatnya memenuhi izin. Temuan ini menegaskan pentingnya mempertimbangkan kekakuan dinding pengisi dalam perencanaan struktur baja penahan momen, khususnya untuk memastikan kinerja seismik bangunan agar memenuhi ketentuan simpangan antar lantai izin.

ABSTRACT

The use of infill walls as room dividers is widely applied in low-rise buildings. Infill walls contribute to the lateral stiffness of the structure that should not be ignored, but are often considered only as loads. This study aims to examine the effect of infill wall stiffness on the drift and inter-story drift in a moment-resisting steel frame structure of a four-story hotel building. In this study, the infill wall whose stiffness is modeled using shell elements as the Model Infilled Frame (MIF) and compared to the infill wall which is only modeled as a load to become the Model Open Frame (MOF). MIF modeling also includes gap elements connecting the shell to the surrounding frame to model the behavior of infill walls that are capable of receiving compressive stress only. The results of the analysis show that in the MIF model, the stiffness of the infill wall is able to significantly reduce the roof drift, which is 6.4 times in the X direction, and in the Y direction it is 6.1 times smaller than the roof drift of the MOF model. This finding emphasizes the importance of considering the stiffness of infill walls in the design of moment-resisting steel structures, especially to ensure the seismic performance of buildings to meet the allowable inter-story drift requirements.

Keywords:

Infill wall, steel frame, shell element, gap element, interstory drift



1. PENDAHULUAN

Struktur bangunan yang menggunakan dinding pengisi sebagai pemisah ruang banyak diterapkan pada bangunan bertingkat rendah, khususnya di daerah berkembang seperti Denpasar, Bali. Pada umumnya, struktur utama bangunan ini mengandalkan sistem rangka penahan momen dengan dinding pengisi yang berfungsi sebagai pemisah antar ruang. Dinding pengisi, yang biasanya terbuat dari bata, sering dianggap sebagai elemen non-struktural karena memiliki kekuatan tekan yang relatif rendah. Keberadaan dinding memberikan efek kekakuan dan kekuatan dalam struktur bangunan [1],[2],[3].

Dalam perencanaan suatu struktur gedung, struktur umumnya didesain sebagai *open frame* dengan dinding pengisi yang dianggap hanya sebagai beban [4],[5]. Padahal, keberadaan dinding pengisi memiliki kecenderungan untuk berinteraksi dengan portal yang ditempatinya dan dinding memberikan kontribusi berupa kekakuan terutama apabila terdapat beban horizontal yang besar [6]. Dalam praktik konstruksi, ketebalan dinding pengisi biasanya dirancang seragam. Namun, dalam beberapa kasus khusus, dinding pengisi dapat dibuat lebih tebal, contohnya pada partisi kamar hotel, untuk meningkatkan peredaman suara. Semakin tebal dinding yang digunakan, semakin besar pula kekakuan yang diberikan pada struktur bangunan [7]. Selain itu, dinding pengisi yang dilengkapi dengan tambahan tulangan dapat meningkatkan kapasitas struktur dalam menahan gaya lateral dan memperbaiki kinerja keseluruhan bangunan.

Kekakuan dinding pengisi dalam struktur rangka beton bertulang dapat berkontribusi pada ketidakberaturan yang dikenal dengan sebutan *soft story* [8],[9]. Meskipun demikian, dinding pengisi sering kali hanya dipandang sebagai beban tambahan, dan kesalahan dalam memperhitungkan kekakuannya dapat berisiko menghasilkan mekanisme *soft story*. Bangunan dengan dinding pengisi tidak hanya terbatas pada struktur beton bertulang, struktur baja juga dapat digunakan untuk mempercepat proses konstruksi. Dalam struktur baja, dinding pengisi pun berfungsi memberikan kekakuan [10],[11], bahkan ketika terdapat bukaan di dalamnya [12].

Struktur rangka baja penahan momen umumnya memiliki dukungan struktural yang dimodelkan sebagai sendi. Sambungan pedestal antara kolom baja dan pondasi beton bertulang di bawahnya memungkinkan terjadinya pergerakan rotasi, yang dapat menyebabkan simpangan struktur dan perpindahan antar tingkat yang signifikan [13]. Selain itu, terdapat perbedaan besar dalam kekakuan antara beton dan baja. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh kekakuan dinding pengisi terhadap simpangan struktur dan perpindahan antar tingkat pada struktur rangka baja penahan momen.

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1 Struktur Rangka Baja Penahan Momen

Perancangan elemen struktur balok dan kolom pada rangka baja dilakukan berdasarkan ketentuan dalam SNI 1729:2020 [14]. Gaya-gaya dalam yang dihasilkan dari proses analisis kemudian dievaluasi terhadap kapasitas struktur menggunakan pendekatan Desain Faktor Beban dan Ketahanan (DFBK). Penampang dinyatakan memenuhi kriteria apabila rasio antara kekuatan dan kapasitas (*Demand to Capacity* atau *D/C ratio*) yang dihitung menggunakan Persamaan (1) dan (2) berada dalam batas yang diizinkan.

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

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

keterangan:

P_r = kuat aksial perlu (N)

P_c = kapasitas kuat aksial (N)

M_r = kuat lentur perlu (N mm)

x dan y = subskrip untuk pelenturan arah sumbu kuat dan sumbu lemah

2.2 Pemodelan Dinding Pengisi

Elemen *shell* adalah jenis objek permukaan yang digunakan untuk memodelkan perilaku membran, pelat, dan *shell* dalam bidang dan struktur tiga dimensi. Pemodelan RDP dilakukan dengan memodelkan struktur rangka sebagai *frame element* dan dinding pengisi sebagai *shell element* [12].

Dalam pemodelan struktur seperti Rangka Dinding Pengisi (RDP), dibuatkan model dua komponen utama yaitu rangka (*frame*) dan dinding pengisi (*infill wall*). Rangka biasanya dimodelkan sebagai *elemen frame*, sedangkan dinding pengisi dimodelkan sebagai elemen *shell*.

2.3 Pemodelan Elemen Gap

Elemen *gap* merupakan elemen yang menghubungkan dua material yang berbeda dengan tujuan untuk menyalurkan gaya yang berasal dari masing-masing material tersebut. Dalam penelitian [15] diperoleh rumus kekuatan *gap* sebagai berikut:

$$K_g = 0,0378E_iT_i+347 \quad (3)$$

Keterangan:

K_g = kekuatan Gap (N mm)

E_i = modulus elastisitas dinding (MPa)

T_i = tebal pasangan dinding

2.4 Beban Lateral Gempa

Beban gempa adalah beban yang bekerja pada suatu struktur akibat dari pergerakan tanah yang disebabkan karena adanya gempa bumi baik itu gempa vulkanik atau tektonik yang mempengaruhi struktur tersebut. Peraturan-peraturan yang memuat perencanaan beban gempa pada gedung-gedung di Indonesia yang berlaku pada saat ini diatur dalam SNI 1726:2019 [16]. Penentuan besaran beban gempa dipengaruhi oleh faktor lokasi dan jenis tanah. Lokasi yang ditentukan dari peta gempa akan menghasilkan parameter percepatan spektral (S_S dan S_1). Sedangkan jenis tanah akan mempengaruhi besaran percepatan spektral maksimum (S_{MS} dan S_{M1}) dan percepatan spektral desain (S_{DS} dan S_{D1}). Penentuan jenis tanah merupakan proses yang krusial untuk dilakukan penyelidikan. Kesalahan dalam menentukan jenis tanah akan memberi nilai percepatan spektral desain yang tidak sesuai dan pada akhirnya akan memberikan nilai besaran gaya geser dasar yang juga tidak sesuai [17].

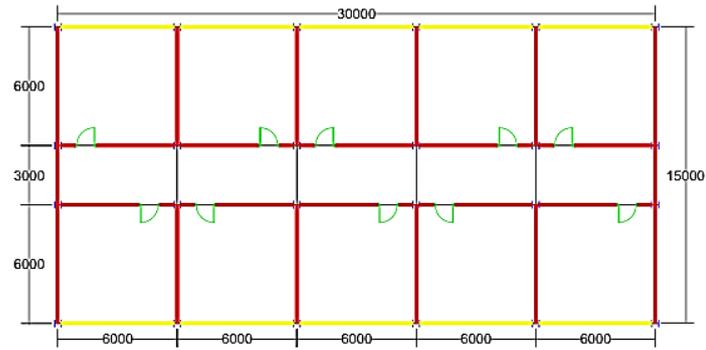
2.5 Simpangan Antar Tingkat

Dalam perencanaan struktur, bentuk bangunan memiliki pengaruh terhadap kemampuan bangunan tersebut menahan gaya lateral akibat gempa, salah satu indikasi yang menyatakan bangunan tersebut aman terhadap gempa adalah simpangan bangunan. Simpangan antar tingkat dihitung berdasarkan perbedaan simpangan pada pusat massa di atas dan di bawah tingkat yang ditinjau. Nilai simpangan yang dihitung akibat beban gempa dikalikan dengan faktor pembesaran simpangan (C_d) untuk memperkirakan simpangan inelastik maksimum. Berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 7.12.1 [16], simpangan antar lantai tingkat desain (Δ) tidak boleh melebihi simpangan antar lantai ijin (Δ_a).

3. METODE PENELITIAN

3.1 Deskripsi Objek Penelitian

Penelitian ini menggunakan objek berupa bangunan hotel empat lantai yang berlokasi di Denpasar, Bali. Struktur bangunan dirancang sebagai rangka baja penahan momen. Denah arsitektur penempatan dinding pengisi dan denah struktur dari bangunan hotel tersebut ditampilkan pada Gambar 1 dan Gambar 2.

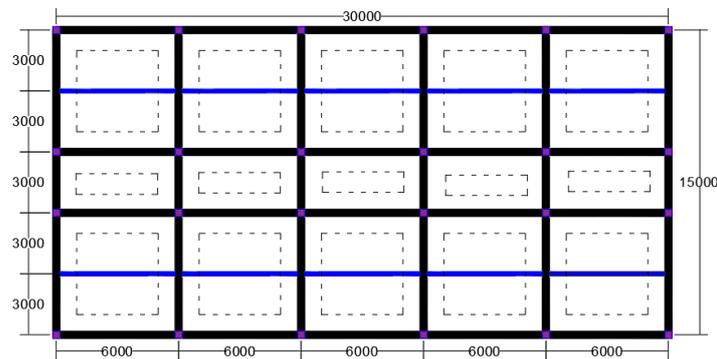


Keterangan:

█ - Dinding pengisi
█ - Kaca



Gambar 1. Denah Dinding Setiap Lantai



Keterangan:

█ -Balok Induk
█ -Balok Anak

█ -Titik Kolom

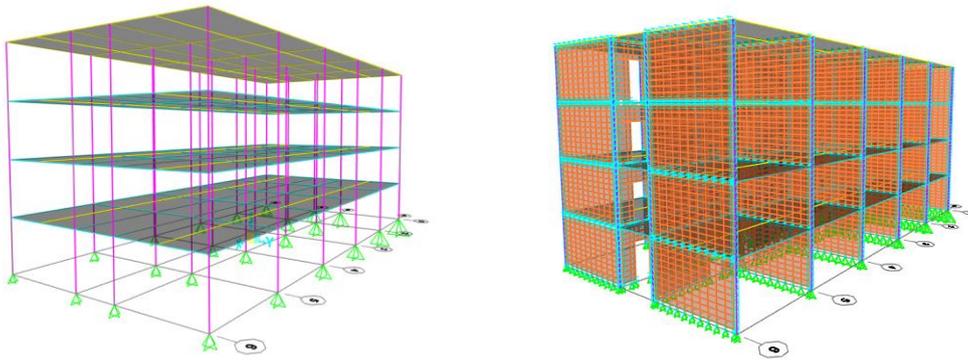
-Plat Lantai t=12cm

Gambar 2. Denah Struktur Balok Induk dan Balok Anak Setiap Lantai

Struktur bangunan terdiri atas enam portal melintang (portal 1 hingga 6) yang tersusun sepanjang sumbu X, serta empat portal memanjang (portal A hingga D) pada arah sumbu Y. Jarak antar portal, baik melintang maupun memanjang, umumnya adalah 6 meter, kecuali jarak antara portal B dan C yang hanya 3 meter karena berfungsi sebagai koridor. Arah orientasi kolom diatur sedemikian rupa sehingga sumbu kuat penampang kolom sejajar dengan arah portal melintang. Seluruh lantai dalam bangunan digunakan sebagai kamar hotel. Partisi antar ruang dan material fasad diasumsikan terbuat dari kaca, sehingga tidak memberikan kontribusi terhadap kekakuan struktur.

Dinding penyekat antar kamar dirancang sebagai dinding pengisi penuh tanpa bukaan, sementara dinding yang memisahkan kamar dengan koridor memiliki bukaan berupa pintu berukuran 1 meter \times 2,45 meter. Bukaan ini tidak dilengkapi dengan kolom maupun balok lintel, dan terletak 1 meter dari sumbu kolom terdekat. Untuk area jendela, karena lebih dari 80% permukaan ditutupi kaca, kekakuan dinding pengisi dianggap tidak signifikan. Selain itu, kekakuan dari dinding penyekat kamar mandi di dalam kamar juga diabaikan dalam analisis. Tinggi total bangunan tidak melebihi 15 meter, menyesuaikan dengan batas maksimum ketinggian bangunan di wilayah Denpasar, Bali. Setiap lantai memiliki tinggi 3,5 meter dan dibuat seragam untuk menghindari ketidakberaturan vertikal akibat perbedaan ketinggian antar lantai. Atap bangunan dirancang tanpa struktur limasan dan diasumsikan sebagai pelat datar. Struktur tangga dan elevator dianggap sebagai elemen terpisah dari gedung, sehingga tidak disertakan dalam pemodelan.

Perletakan kolom diasumsikan bersendi, mengingat sambungan antara kolom baja dan kolom pedestal beton memungkinkan terjadinya rotasi. Hasil dari pemodelan struktur ditampilkan pada Gambar 3.

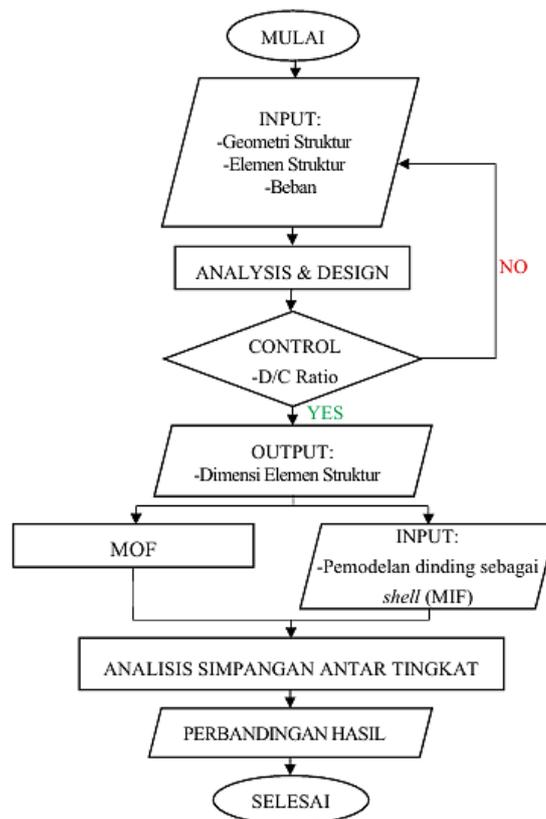


Gambar 3. Tampilan tiga dimensi pemodelan struktur MOF & MIF dengan SAP2000

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.

3.2 Bagan Alir

Untuk memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai tahapan-tahapan dalam pelaksanaan penelitian, berikut disajikan bagan alir (*flowchart*) penelitian. Bagan ini menggambarkan alur sistematis mulai dari awal mendesain model, melakukan kontrol pada model, penerapan elemen *shell*, sampai ke analisis data kesimpulan. Dengan adanya bagan alir ini, diharapkan pembaca dapat memahami proses penelitian secara keseluruhan secara terstruktur dan logis. Bagan Alir ditampilkan pada Gambar 4.



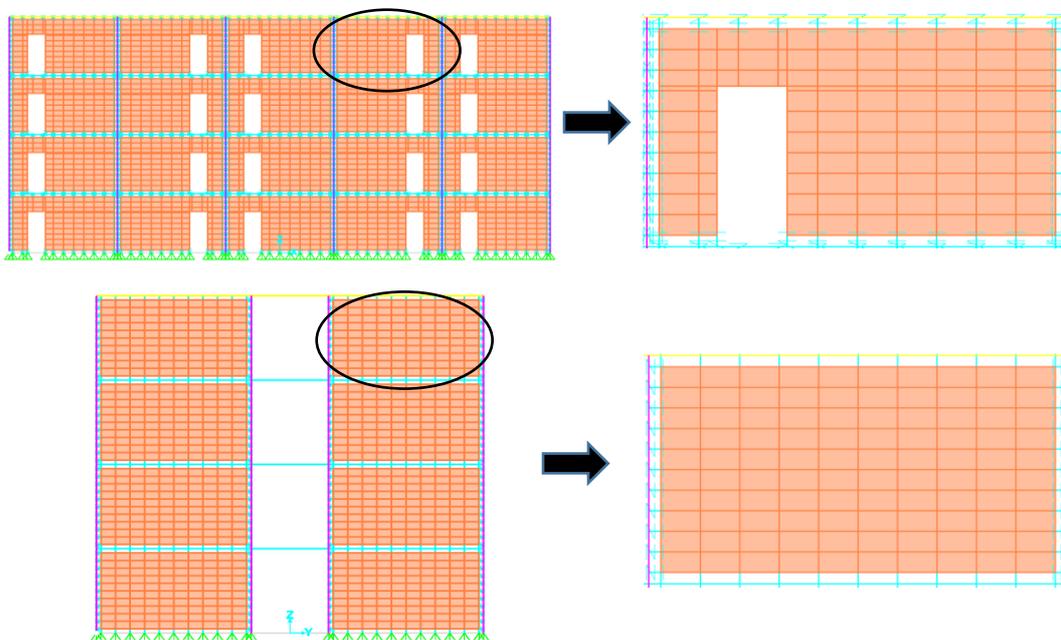
Gambar 4. Bagan alir

Pada tahap pengumpulan data, data yang diperlukan dalam penelitian ini adalah data primer dan data sekunder. Data primer meliputi gambar struktur (denah, portal, dimensi struktur), data material dan data geometri, sedangkan data sekunder meliputi data lokasi, data beban dan kelas situs tanah. Pada tahap estimasi dimensi ditujukan untuk memperkirakan dimensi awal yang akan di-*input* pada program SAP2000. Tujuan dari analisis desain atau analisis struktur adalah untuk mengevaluasi rasio, dan simpangan gedung berlantai 4 dengan menggunakan model struktur rangka MOF. Pembuatan model pada program *software* SAP2000 v22 yang mengacu pada peraturan SNI 1727:2020 [18] beban, dan SNI 1726:2019 [16] gempa. Dari hasil yang keluar akan dilakukan kontrol terhadap syarat nilai *Demand/Capacity* (D/C) *ratio* < 1 dan simpangan antar tingkat. Jika model tidak memenuhi persyaratan kontrol pemodelan akan diulang dengan memodifikasi dimensi penampang hingga memenuhi hasil yang sesuai dengan persyaratan kontrol, namun jika hasil yang keluar pada saat pertama melakukan analisis sudah memenuhi syarat kontrol maka analisis bila dilanjutkan tanpa melakukan modifikasi penampang. Selanjutnya meng-*input* elemen *shell* pada dinding Model *Infilled Frame* (MIF) dan membandingkan dengan Model *Open Frame* (MOF). *Output* yang didapatkan berupa model dengan hasil dimensi yang sudah melewati tahap kontrol dan sudah memenuhi syarat untuk dilanjutkan pada tahap *input* elemen dinding *shell* dan penerapan *gap* sesuai model penelitian. Setelahnya didapatkan analisis data berupa gaya geser, gaya geser tingkat, simpangan dan simpangan antar tingkat.

3.3 Definisi Material dan Pemodelan Dinding Pengisi

Material baja dan dinding pengisi yang digunakan memiliki spesifikasi berdasarkan studi oleh [19]. Sedangkan pelat lantai menggunakan material beton bertulang. Spesifikasi material yang digunakan sebagai berikut, kuat tarik baja $F_y = 315$ MPa, kuat tekan dinding pengisi dan beton secara berturut $f' = 7,4$ MPa dan $f' = 21$ MPa. Selanjutnya modulus elastisitas baja, dinding pengisi dan beton adalah $E = 200000$ MPa, $E = 5194$ MPa, dan $E = 21538$ MPa

Pemodelan dinding pengisi dilakukan dengan menggunakan elemen *shell*. Tebal dinding pengisi digunakan adalah sebesar 110 mm. Celah antara dinding pengisi dengan as kolom dan balok dimodel dengan elemen *link* berupa *gap*. Kekakuan *gap* dihitung dengan Persamaan (1) sebesar 21944 N/mm. Tampilan pemodelan elemen *shell* dan *gap* dari dinding pengisi pada Model *Infilled Frame* (MIF) ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. 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 \times 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.

3.4 Pembebanan Struktur

Pembebanan struktur mencakup pembebanan gravitasi dan pembebanan lateral. Beban gravitasi terdiri dari beban mati dan beban mati tambahan yang mengacu pada standar PPIUG 1983 [20], serta beban hidup yang mengikuti ketentuan dalam SNI 1727:2020 [18]. Rincian beban gravitasi tersebut disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Besaran pembebanan pada struktur

No.	Komponen	Besaran	Satuan
<u>Beban Mati</u>			
1	Beton Bertulang	2400	kg/m ³
2	Baja	7800	kg/m ³
<u>Beban Mati Tambahan</u>			
3	Spesi dan keramik (t = 5cm)	105	kg/m ²
4	Spesi (t = 3cm, pada lantai atap)	63	kg/m ²
5	Plafon dan penggantung	18	kg/m ²
6	Instalasi	40	kg/m ²
7	Dinding (h = 3,5m)	875	kg/m
<u>Beban Hidup (L)</u>			
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/m³. Sehingga, total beban mati tambahan yang bekerja pada lantai kamar dan lantai atap adalah sebesar 163 kg/m² dan 121 kg/m². 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/m². 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 ekuivalen. 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 berdasarkan SNI 1726:2019 pasal 7.8.2.1 [16], adalah sebesar 0,4 detik. Gedung berlokasi di Denpasar, Bali dan Kelas Situs diasumsikan adalah Tanah Sedang (SD), sehingga memiliki parameter-parameter lokasi ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. 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 rangka penahan momen khusus. Besaran koefisien-koefisien gempa untuk perhitungan gaya geser dasar dihitung dengan persamaan berdasarkan SNI gempa 1726:2019 pasal 7.8.1 [16], menghasilkan nilai $C_{s\ min}$, C_s , dan $C_{s\ maks}$ adalah sebesar berturut-turut 0,0471; 0,0892; dan 0,1176.

Semua beban kemudian dikombinasikan menurut konsep desain *Load and Resistance Factor Design* (LRFD) menurut SNI 1726:2019 [16].

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Dimensi Elemen Struktur

Dimensi kolom diseragamkan di setiap lantai dengan ukuran HB 350×350×12×19. Mengingat baja umumnya tersedia dalam panjang 12 meter, sementara tinggi struktur mencapai 14 meter, maka sisa 2 meter tidak mengalami pengurangan dimensi. Ketebalan pelat lantai untuk kamar-kamar dan atap masing-masing ditetapkan sebesar 15 cm dan 12 cm. Dimensi balok dan kolom hasil perancangan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Dimensi hasil desain elemen struktur

Lantai	Dimensi Kolom & Balok	D/C Ratio Terbesar			
		P	M_x	M_y	Total
Atap	Kolom HB 350x350x12x19	0,014	0,041	0,104	0,159
	Balok WF 200x100x5,5x8	0,000	0,757	0,000	0,757
4	Kolom HB 350x350x12x19	0,038	0,039	0,243	0,320
	Balok WF 350x175x7x11	0,000	0,518	0,000	0,518
3	Kolom HB 350x350x12x19	0,064	0,043	0,375	0,482
	Balok WF 350x175x7x11	0,000	0,606	0,000	0,606
2	Kolom HB 350x350x12x19	0,090	0,030	0,639	0,759
	Balok WF 350x175x7x11	0,002	0,801	0,000	0,803

Pada lantai-lantai kamar, seluruh balok induk dan balok anak dirancang menggunakan profil baja tipe WF dengan dimensi masing-masing WF 350×175×7×11 untuk balok induk dan WF 250×125×6×9 untuk balok anak. Pemilihan dimensi ini mempertimbangkan kebutuhan kekuatan dan kekakuan struktur dalam menahan beban gravitasi maupun lateral. Sementara itu, pada lantai atap, semua elemen balok menggunakan profil WF berukuran 200×100×5,5×8 yang dinilai cukup untuk menahan beban yang lebih ringan dibandingkan lantai kamar. Seluruh kolom, terutama kolom pada lantai dasar yang menahan beban paling besar, memiliki nilai D/C ratio terendah sebesar 0,55, yang menunjukkan bahwa kolom masih berada dalam batas aman kekuatan struktur. Adapun untuk elemen balok, nilai D/C ratio terendah ditemukan pada balok induk lantai kamar sebesar 0,257, dan pada balok induk lantai atap sebesar 0,202, yang juga menunjukkan efisiensi penggunaan material dan keamanan struktur secara keseluruhan.

4.2 Gaya Geser Dasar dan Gaya Geser Tingkat

Gaya geser dasar dihitung menggunakan Persamaan (1), yang mengacu pada ketentuan analisis seismik dalam perencanaan struktur bangunan tahan gempa. Dalam perhitungan ini, berat seismik efektif (W) ditentukan berdasarkan akumulasi penuh dari berat sendiri seluruh elemen struktur, termasuk kolom, balok, pelat, serta tambahan dari beban mati lainnya seperti beban non-struktural permanen. Berdasarkan hasil analisis, nilai berat seismik efektif diperoleh sebesar 15.001,4 kN, sementara gaya geser dasar (V), yang merupakan total gaya horizontal akibat gempa yang harus ditahan oleh struktur pada dasar bangunan, sebesar 1.338,1 kN. Angka ini menunjukkan besarnya gaya yang harus ditransfer melalui elemen-elemen vertikal seperti kolom dan dinding geser ke pondasi. Untuk memberikan gambaran lebih rinci, distribusi gaya geser pada tiap lantai atau tingkat bangunan disajikan secara sistematis dalam Tabel 4.

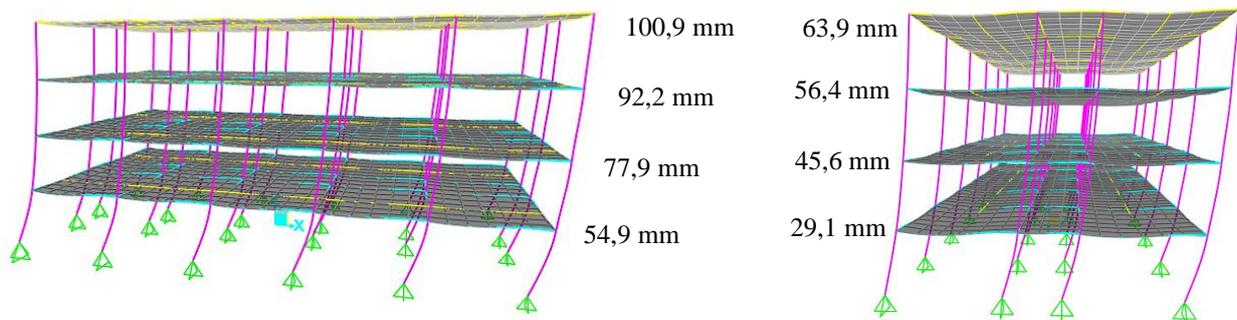
Tabel 4. Perhitungan gaya geser tingkat

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	515,5
3	4336,7	7	30356,9	0,2569	343,7
2	4336,7	3,5	15178,5	0,1284	171,9
1	55,6	0	0	0	0
Jumlah	$W = 15001,4$	-	$\sum w_x h_x^k = 118170,1$	1	$V = 1338,1$

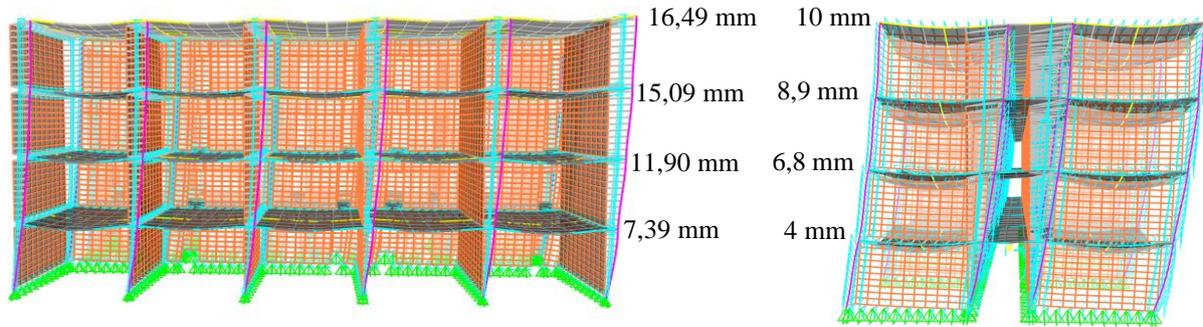
Faktor distribusi vertikal diperoleh melalui perhitungan menggunakan persamaan dalam SNI gempa 1726:2019 pasal 7.8.3 [16]. Gaya-gaya geser pada setiap tingkat kemudian digunakan sebagai beban lateral statis yang bekerja di masing-masing lantai struktur. Nilai berat seismik efektif tiap lantai diambil dari hasil analisis model struktur menggunakan perangkat lunak SAP2000. Adapun nilai faktor eksponen (k) ditetapkan sebesar 1, karena periode fundamental pendekatan struktur berada di bawah 0,5 detik, sesuai dengan ketentuan peraturan yang berlaku.

4.3. Simpangan dan Simpangan Antar Tingkat

Pengamatan terhadap simpangan struktur dilakukan berdasarkan kombinasi pembebanan yang terdiri dari beban mati, beban hidup, dan beban gempa ($D+L+E$). Titik referensi yang digunakan untuk memantau simpangan pada setiap lantai adalah sudut bangunan di pertemuan garis as 6-A. Nilai simpangan struktur yang dihasilkan dari analisis model MOF dan MIF dapat dilihat pada Gambar 6 dan Gambar 7.



Gambar 6. Simpangan struktur MOF akibat $D+L+Ex$ dan $D+L+Ey$ pada titik as 6-A



Gambar 7. Simpangan Struktur MIF akibat D+L+Ex dan D+L+Ey 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 hanya bekerja pada sumbu searah panjang *link* dari elemen *gap* tersebut.

Dapat diamati simpangan atap pada struktur MIF berkurang 6,4 kali dari struktur MOF pada arah X, kemudian berkurang 6,1 kali pada arah Y. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun dianggap sebagai elemen non struktural, dinding pengisi dapat memberikan kontribusi kekakuan yang cukup signifikan pada struktur rangka di sekelilingnya meskipun terdapat bukaan pintu. Selanjutnya dilakukan pemeriksaan simpangan antar tingkat pada Tabel 5 di bawah ini.

Tabel 5. 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	100,9	63,9	555,0	351,5	47,9	41,3	70
4	3500	92,2	56,4	507,1	310,2	78,7*	59,4	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	-	0	0	0	0	-	-	-

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

Simpangan diperbesar (δ_x) dan simpangan antar tingkat izin (Δ_a) dihitung dengan persamaan dalam SNI gempa 1726:2019 pasal 7.8.6 [16]. Berdasarkan hasil analisis yang disajikan dalam Tabel 5, diperoleh bahwa nilai simpangan antar tingkat pada sebagian besar lantai bangunan, kecuali pada lantai atap, menunjukkan nilai yang melebihi batas maksimum yang diizinkan. Hal ini mengindikasikan bahwa struktur bangunan mengalami deformasi lateral yang cukup signifikan akibat beban gempa, dan oleh karena itu diperlukan tindakan perbaikan atau modifikasi desain untuk meningkatkan kekakuan lateral struktur secara keseluruhan. Besarnya simpangan ini dapat dikaitkan dengan karakteristik perletakan struktur, khususnya penggunaan perletakan sendi pada elemen struktur tersebut. Perletakan sendi, meskipun umum digunakan untuk memberikan fleksibilitas pada sambungan struktur, dapat secara signifikan mengurangi kekakuan lateral dan menyebabkan konsentrasi deformasi di lantai terkait.

Selain memberikan tambahan kekakuan, pemodelan kekakuan dinding pengisi pada model MIF juga berkontribusi terhadap kinerja layannya. Hasil evaluasi simpangan antar tingkat untuk model MIF ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. 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 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	16,5	10	90,8	55,0	7,7	6,1	70
4	3500	15,1	8,9	83,1	49,0	17,6	11,6	70
3	3500	11,9	6,8	65,5	37,4	24,8	15,4	70
2	3500	7,4	4	40,7	22,0	40,7	22,0	70
1	-	0	0	0	0	-	-	-

Pada model MIF, dapat diamati bahwa kontribusi kekakuan dinding pengisi pada lantai dasar membuat lebih kaku dari model MOF. Hal ini juga membuat simpangan antar tingkatnya memenuhi izin pada semua lantai.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Studi terkait pengaruh kekakuan dinding pengisi dan perletakan struktur terhadap simpangan dan simpangan antar tingkat telah dilakukan. Hasil studi menunjukkan bahwa model dengan dinding pengisi penuh (MIF), kekakuan dinding pengisi dapat memperkecil simpangan atap pada gedung 6,4 kali membandingkan dengan MOF arah X, sedangkan berkurang 6,1 kali pada arah Y. Simpangan antar tingkat pada model MOF, setelah dimodelkan tidak memenuhi simpangan antar tingkat izin. Setelah dimodelkan dengan dinding pengisi penuh (MIF) dengan perletakan sendi memenuhi simpangan antar tingkat izin.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. B. E. Turang, M. D. Sumajouw, and R. S. Windah, "Analisa Portal Dengan Dinding Tembok Pada Rumah Tinggal Sederhana Akibat Gempa," *Jurnal Sipil Statik*, vol. 2, no. 6 September 2014, pp. 310–319, 2014.
- [2] B. J. Tololiu, H. Manalip, R. S. Windah, and S. O. Dapas, "Perbandingan Respons Struktur Bangunan Gedung Bertingkat Dengan Dinding Pengisi dan Tanpa Dinding Pengisi Akibat Gempa," *Jurnal Sipil Statik*, vol. 1, no. 1, pp. 8–15, 2012.
- [3] 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 Buka Sentris," *PADURAKSA: Jurnal Teknik Sipil Universitas Warmadewa*, vol. 11, no. 1, pp. 49–56, 2022, doi: 10.22225/pd.11.1.4256.49-56.
- [4] I. K. Sudarsana, P. Deskarta, and I. M. S. Putra, "Perbandingan Perubahan Kinerja Struktur Rangka Struktur Beton Bertulang Dan Baja Dengan Dinding Pengisi," 2016.
- [5] L. Rahman, M. Darwis, A. Minmahddun, M. H. D. Adityawan, E. P. Rambak, and R. A. HS, "Tinjauan Kinerja Struktur Dinding Bata Berdasarkan SNI 1726-2019 Untuk Bangunan Bertingkat Rendah Menggunakan Pendekatan Diagonal Tekan Ekuivalen," *Media Konstruksi: Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 9(3), 189-198., 2024.
- [6] W. Dewobroto, "Analisa Inelastis Portal - Dinding Pengisi dengan 'Equivalent Diagonal Strut,'" *Jurnal Teknik Sipil ITB*, 2005.
- [7] M. Sukrawa, I. A. M. Budiwati, and I. B. D. Giri, "Studi Analitikal Perilaku Dan Kinerja Struktur Rangka Dinding Pengisi (RDP) Dengan Variasi Ketebalan Dinding," *Jurnal Spektran*, 8(2), 139-148., 2020.
- [8] M. Sukrawa, "Design Aspect of including Infill Wall in RC Frame Design," *Civil Engineering Dimension*, vol. 16, no. 1, pp. 24–32, 2014, doi: 10.9744/ced.16.1.24-32.
- [9] J. Tanijaya and F. Jumawan, "Struktur Gedung Tahan Gempa dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK)," 2024.

- [10] I. B. D. Giri, I. G. A. Susila, and F. H. Suprpto, “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.
- [11] D. S. Sri, “Studi Numerik Perilaku Dinding Geser Pelat Baja Dengan Penambahan Perforasi Arah Diagonal Tekan Akibat Pembebanan Statik Monotonik,” (*Doctoral dissertation, Universitas Andalas*), 2022.
- [12] 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, 2023.
- [13] I. K. D. K. Tubuh, “Studi Perbandingan Perilaku Struktur Gedung Dengan Kolom Beton Bertulang, Kolom Baja, Dan Kolom Komposit,” 2019.
- [14] BSN, “SNI 1729:2020 Tentang Spesifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural,” *Badan Standardisasi Nasional*, no. 8, p. 311, 2020.
- [15] D. Dorji, Jigme & Thambiratnam, “Modelling and Analysis of Infilled Frame Structures Under Seismic Loads,” *The Open Construction and Building Technology Journal*. 3. 10.2174/1874836800903020119, 2009.
- [16] BSN, “SNI 1726:2019 Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Nongedung,” *SNI 1726-2019*, no. 8, 2019.
- [17] 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.
- [18] BSN, “SNI 1727:2020 Beban desain minimum dan Kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain,” *Jakarta*, no. 8, pp. 1–336, 2020.
- [19] A. Tasnimi, A and A. Mohebkhah, “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, 2012.
- [20] DPMB, “Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung. Bandung: Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan,” 1983.