

Evaluasi Kinerja Seismik Struktur Rangka Beton Pemikul Momen dengan Pengaruh Dinding Pengisi Menggunakan SNI 9273:2025 (Studi Kasus: Wilayah Gempa Kota Palu)

Article History:

Received
19 Januari 2026
Revised
22 Februari 2026
Accepted
22 Maret 2026

ARZAL M. ZAIN^{1*}

¹Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Palu, Palu, Indonesia

*Corresponding email: achal1808@gmail.com

ABSTRAK

Pengabaian kontribusi kekakuan dinding pengisi (infill wall) dalam analisis struktur gedung beton bertulang sering kali menghasilkan prediksi perilaku seismik yang tidak akurat, khususnya di wilayah dengan intensitas gempa tinggi seperti Kota Palu. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh interaksi dinding-rangka terhadap kinerja seismik gedung perkantoran 5 lantai pada kondisi tanah sedang (SD) menggunakan standar evaluasi terbaru SNI 9273:2025. Analisis dilakukan secara komparatif menggunakan Prosedur Dinamik Linear (Respons Spektrum) terhadap dua model struktur: Model A (Bare Frame) dan Model B (Infilled Frame) yang dimodelkan dengan metode makro Equivalent Diagonal Strut (Mainstone). Hasil simulasi menunjukkan bahwa pemodelan dinding pengisi meningkatkan kekakuan global secara signifikan, yang mereduksi periode getar fundamental sebesar 71%. Peningkatan kekakuan ini berimplikasi pada lonjakan Gaya Geser Dasar (Base Shear) sebesar 162% akibat pergeseran respons spektral ke area percepatan tinggi, namun secara efektif mereduksi simpangan antarlantai (drift) hingga 69%. Evaluasi kapasitas berdasarkan kriteria Force-Controlled menunjukkan bahwa dinding pada lantai 1-4 mengalami kegagalan geser dengan rasio DCR > 1,0. Kesimpulan studi ini menegaskan bahwa asumsi bare frame cenderung memberikan estimasi gaya geser dasar yang terlalu rendah (underestimate).

Kata kunci: dinding pengisi, Equivalent Diagonal Strut, Kota Palu, respon spektrum, SNI 9273:2025

ABSTRACT

Omitting the contribution of infill wall stiffness in the structural analysis of reinforced concrete buildings often leads to inaccurate predictions of seismic behavior, especially in areas with high earthquake intensity, such as Palu City. This study aims to evaluate the effect of wall-frame interaction on the seismic performance of a 5-story office building on moderate soil conditions (SD) using the latest evaluation standard SNI 9273:2025. The analysis was conducted comparatively using the Linear Dynamic Procedure (Spectrum Response) on two structural models: Model A (Bare Frame) and Model B (Infilled Frame), modeled with the Equivalent Diagonal Strut (Mainstone) macro method. The simulation results show that infill wall modeling significantly increases global stiffness, thereby reducing the fundamental vibration period by 71%. This increase in stiffness implies a 162% increase in Base Shear Force due to the shift in the spectral response toward the high-acceleration area, but effectively reduces the drift between floors (Drift) by 69%. Capacity evaluation based on Force-Controlled criteria indicates that walls on floors 1-4 experienced shear failure with a DCR ratio > 1.0. The conclusion of this study confirms that the bare frame assumption tends to provide an underestimate of the base shear force.

Keywords: infill wall, Equivalent Diagonal Strut, Palu city, spectrum response, SNI 9273:2025

This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license



PENDAHULUAN

Indonesia memiliki risiko seismik tinggi, khususnya di Kota Palu yang dilintasi oleh Sesar Palu-Koro aktif. Peristiwa gempa 2018 (Mw 7.4) memberikan pelajaran krusial mengenai kerentanan struktur beton bertulang terhadap beban ekstrem [1]. Berdasarkan peta gempa nasional [2] dan standar SNI 1726:2019, Palu memiliki percepatan batuan dasar tinggi. Pada kondisi tanah sedang (SD), amplifikasi gelombang dapat meningkatkan gaya geser dasar secara signifikan [3], sehingga evaluasi kinerja struktur menjadi sangat krusial.

Pada praktik konstruksi gedung bertingkat rendah-menengah di Indonesia, sistem Rangka Beton Pemikul Momen (SRPM) dengan dinding pengisi (*infill wall*) bata merah adalah yang paling umum. Namun, insinyur sering kali mengabaikan kekakuan dinding dan memodelkannya hanya sebagai beban garis (*bare frame*) [4]. Padahal, literatur klasik menegaskan bahwa interaksi dinding-rangka meningkatkan kekakuan lateral dan mengubah perilaku dinamis struktur secara drastis [5].

Pengabaian kontribusi dinding dapat menyebabkan ketidakakuratan fatal. Peningkatan kekakuan akibat dinding memperpendek periode alami struktur, yang pada analisis respons spektrum memicu gaya gempa rencana yang lebih besar [6]. Lebih lanjut, interaksi ini sering memicu kegagalan getas seperti short-column effect atau soft-story mechanism yang menjadi penyebab utama keruntuhan gedung [7]. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan pemodelan makro (*macro-modelling*) yang mampu merepresentasikan perilaku *infilled frame* secara praktis namun akurat.

Standar nasional terkini, SNI 9273:2025 (Evaluasi dan Rehabilitasi Seismik untuk Bangunan Gedung Eksisting), mengadopsi metode *Equivalent Diagonal Strut* dari formulasi *Mainstone* [8] untuk menentukan kekakuan efektif dinding [9]. Pendekatan ini dinilai efektif untuk analisis prosedur dinamik linier (*Linear Dynamic Procedure*) karena menangkap perilaku global tanpa kompleksitas komputasi berlebihan [10].

Studi terdahulu menunjukkan bahwa pemodelan mikro (*finite element*) memberikan akurasi tinggi, namun menuntut biaya

komputasi mahal [11]. Sebaliknya, pendekatan makro-model diagonal *strut* terbukti efisien untuk analisis praktis dengan deviasi yang dapat diterima [6]. Meskipun SNI 9273:2025 menyediakan parameter komprehensif [12], mayoritas studi penerapannya masih berfokus pada analisis statik nonlinier (*Pushover*) [13], [14], [15]. Masih terdapat keterbatasan literatur mengenai penerapan standar ini menggunakan prosedur dinamik linier yang lebih umum digunakan oleh praktisi di Indonesia.

Di konteks lokal, studi spesifik yang mengevaluasi kinerja struktur di wilayah gempa ekstrem seperti Palu pasca-2018 dengan metode ini masih terbatas. Ketiadaan evaluasi yang tepat berisiko menyebabkan underestimation terhadap gaya gempa yang teramplifikasi oleh kondisi tanah sedang di Palu.

Penelitian ini bertujuan mengisi kesenjangan (*research gap*) tersebut dengan:

1. Menganalisis perubahan karakteristik dinamis (periode getar dan partisipasi massa) akibat pemodelan dinding sebagai *Equivalent Diagonal Strut* dibandingkan dengan model *open frame*.
2. Memvalidasi penerapan formulasi *Mainstone* dan kriteria penerimaan SNI 9273:2025 dalam kerangka analisis respons spektrum linier pada kondisi tanah sedang (SD).
3. Menentukan rasio kapasitas-permintaan (*Demand to Capacity Ratio/DCR*) elemen dinding untuk mengidentifikasi potensi kegagalan geser (*shear failure*) akibat beban gempa rencana SNI 1726:2019.

METODE

Objek penelitian merupakan gedung perkantoran hipotetik 5 (lima) lantai di Kota Palu dengan sistem struktur Rangka Beton Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Gedung didesain memiliki keteraturan geometris dengan denah simetris berukuran total 15 m × 15 m (3 bentang @ 5 m pada kedua arah) dan tinggi antarlantai seragam sebesar 4,0 meter (Total tinggi bangunan 20 m).

Berdasarkan *preliminary design* (SNI 2847:2019), dimensi elemen struktur dan spesifikasi material yang digunakan terlihat dalam data teknis struktur yang disajikan pada **Tabel 1**.

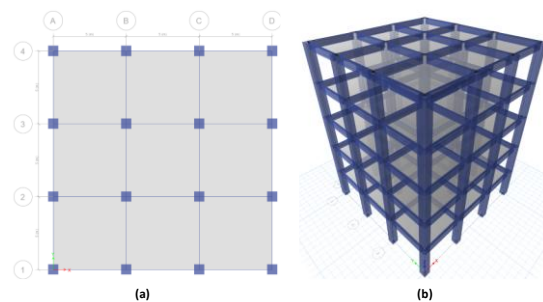
Tabel 1. Data Teknis Struktur Gedung Hipotetik

Parameter	Keterangan / Nilai
Fungsi Bangunan	Perkantoran
Jumlah Lantai	5 Lantai
Tinggi Total	20 Meter
Tinggi per Lantai	4 m
Sistem Struktur	SRPMK (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus)
Konfigurasi Grid	3 × 3 Bentang (@ 5 meter)
Dimensi Kolom (K1)	700 mm × 700 mm
Dimensi Balok (B1)	300 mm × 600 mm
Tebal Pelat	120 mm
Mutu Beton (f'_c)	28 MPa
Mutu Baja Tulangan (f_y)	420 MPa (Ulir)

Elemen dinding dimodelkan sebagai pasangan bata merah berplester (*clay brick masonry*) dengan asumsi "*Fair Condition*" (Kondisi Sedang) mengacu pada *Default Lower-Bound Properties* SNI 9273:2025 (Tabel 11-2). Tanpa pengujian *in situ*, parameter material disajikan pada **Tabel 2**.

Simulasi 3D (**Gambar 1**) dilakukan secara komparatif terhadap dua model struktur:

1. Model A (*Bare Frame*): Dinding dianggap nonstruktural dan hanya dibebankan sebagai beban garis (*line load*).
2. Model B (*Infilled Frame*): Interaksi dinding-rangka dimodelkan menggunakan metode makro *Equivalent Diagonal Strut* sesuai SNI 9273:2025.



Gambar 1. (a) Denah tipikal struktur gedung dan (b) Model 3D struktur di ETABS

Lebar *strut* ekuivalen (a) pada Model B dihitung berdasarkan formulasi empiris Mainstone (1971) pada **Persamaan 1**:

$$a = 0,175(\lambda_1 h_{col})^{-0,4} r_{inf} \quad (1)$$

Tabel 2. Properti Material Dinding Pengisi (Referensi: SNI 9273:2025)

Parameter	Notasi	Nilai	Satuan	Sumber/Keterangan
Kondisi Pasangan	-	<i>Fair</i>	-	Asumsi SNI 9273:2025 Tabel 11-2
Tebal Dinding	t_{inf}	150	mm	Bata Merah + Plesteran
Kuat Tekan Bata	f'_m	5	MPa	Estimasi Bata Merah Lokal
Modulus Elastisitas	E_{me}	2.750	MPa	$550 \times f'_m$ (SNI 9273:2025)
Kohesi/Kuat Geser	C (atau v_{me})	0,09	MPa	SNI 9273:2025 Tabel 11-2
Koefisien Gesek	μ	0,7	-	SNI 9273:2025

Dengan h_{col} adalah tinggi bersih kolom, r_{inf} adalah panjang diagonal dinding, dan λ_1 adalah koefisien kekakuan relatif dinding-rangka.

Elemen *strut* dimodelkan dengan konfigurasi silang (X) menggunakan elemen *truss* (*Release Moment* M22/M33). Mengingat analisis menggunakan prosedur *Linear Dynamic* di mana kedua diagonal aktif bersamaan, diterapkan *Property Modifier* 0,5 pada luas

penampang (A) *strut*. Langkah ini bertujuan menghindari perhitungan kekakuan ganda (*double counting stiffness*), memastikan kekakuan model setara dengan satu dinding yang bekerja menahan tekan ($K_{model} \approx K_{tekan}$).

Analisis beban gempa dilakukan menggunakan metode Analisis Spektrum Respons Ragam (*Modal Response Spectrum Analysis*) sesuai SNI 1726:2019. Lokasi studi berada di Kota Palu

(Kawasan Seismik Tinggi) dengan kondisi tanah dasar diklasifikasikan sebagai Kelas Situs SD (Tanah Sedang).

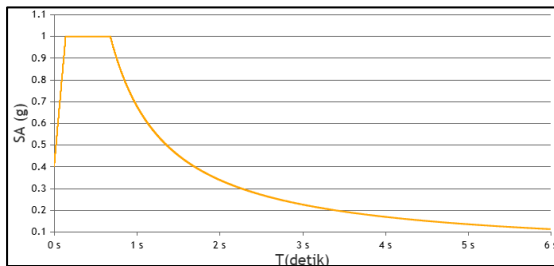
Parameter percepatan batuan dasar (S_S dan S_1) diperoleh dari aplikasi Desain Spektra Indonesia (RSA) Kementerian PUPR. Nilai tersebut dikonversi menjadi parameter desain (S_{DS} dan S_{D1}) berdasarkan faktor amplifikasi seismik (F_a

dan F_v) untuk tanah sedang. Rincian parameter gempa disajikan pada **Tabel 3**.

Struktur difungsikan sebagai gedung perkantoran (Kategori Risiko II, $I_e = 1,0$). Beban spektral diaplikasikan pada dua arah ortogonal utama dengan metode kombinasi ragam CQC (*Complete Quadratic Combination*).

Tabel 3. Parameter Respons Spektrum Desain (Wilayah Kota Palu, Tanah Sedang)

Parameter	Notasi	Nilai	Keterangan
Percepatan Batuan Dasar (Pendek)	S_S	1,50 g	RSA Cipta Karya
Percepatan Batuan Dasar (1 Detik)	S_1	0,60 g	Cek RSA Cipta Karya
Kelas Situs	-	SD	Tanah Sedang
Faktor Amplifikasi Pendek	F_a	1	Tabel 6 SNI 1726:2019
Faktor Amplifikasi 1 Detik	F_v	1,7	Tabel 7 SNI 1726:2019
Parameter Desain (Pendek)	S_{DS}	1,00 g	$(2/3) \times F_a \times S_S$
Parameter Desain (1 Detik)	S_{D1}	0,68 g	$(2/3) \times F_v \times S_1$
Transisi Periode Pendek	T_0	0,14 s	$0,2 \times (S_{D1}/S_{DS})$
Transisi Periode Panjang	T_s	0,680 s	S_{D1}/S_{DS}



Gambar 2. Kurva Respons Spektrum Desain SNI 1726:2019 untuk Kota Palu (Tanah Sedang)

Analisis kinerja struktur dilakukan menggunakan Prosedur Dinamik Linier (Respons Spektrum) sesuai SNI 1726:2019 dengan bantuan perangkat lunak ETABS. Beban spektral diaplikasikan pada dua arah ortogonal (X dan Y) menggunakan kombinasi ragam CQC (*Complete Quadratic Combination*).

Evaluasi komparatif antara Model A (*Bare Frame*) dan Model B (*Infilled Frame*) didasarkan pada tiga parameter utama:

1. Periode Getar Alami: Menghitung persentase reduksi periode fundamental (T) pada Model B terhadap Model A untuk memvalidasi peningkatan kekakuan global struktur.

2. Simpangan Antar Lantai (*Drift*): Memastikan simpangan maksimum (Δ) tidak melebihi batas izin 2,0% tinggi tingkat ($0,02h_{sx}$) untuk Kategori Risiko II (SNI 1726:2019 Pasal 7.12.1).
3. Rasio Kapasitas Dinding (DCR): Mengevaluasi validitas kekakuan strut menggunakan metode *Force-Controlled Action* (SNI 9273:2025). Kapasitas geser nominal (V_{ne}) dihitung berdasarkan kriteria kegagalan geser *bed-joint* (**Persamaan 2**):

$$V_{ne} = (P_{CE} + P_{DL})\mu + A_w C \quad (2)$$

Dengan P_{CE} dan P_{DL} adalah gaya gravitasi pada dinding, μ koefisien gesek, A_w luas penampang horizontal, dan C adalah kohesi pasangan bata.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis modal menunjukkan perbedaan signifikan pada perilaku dinamis antara struktur rangka terbuka (*Bare Frame*) dan struktur dengan dinding pengisi (*Infilled Frame*). Rangkuman periode getar alami (T) untuk tiga ragam (mode) pertama disajikan pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Perbandingan Periode Getar Alami Struktur

Mode	Arah Dominan	Model A [detik]	Model B [detik]	Reduksi [%]
1	Translasi-Y	0,992	0,703	71
2	Translasi-X	0,992	0,703	71
3	Rotasi (Torsi)	0,841	0,548	65

Berdasarkan **Tabel 4**, terlihat bahwa pemodelan dinding pengisi pada Model B menyebabkan penurunan periode getar fundamental yang sangat drastis, yaitu sebesar 71% dibandingkan dengan Model A. Fenomena ini mengindikasikan adanya peningkatan kekakuan lateral global (*global stiffness*) yang signifikan akibat kontribusi elemen diagonal strut.

Pada Model A, kekakuan struktur hanya bersumber dari kelenturan balok dan kolom (mekanisme *frame action*). Sebaliknya, pada Model B, interaksi *in-plane* antara dinding dan rangka membentuk mekanisme truss action yang membatasi deformasi lateral, sehingga struktur menjadi jauh lebih kaku. Sesuai dengan hukum dasar dinamika struktur ($T = 2\pi\sqrt{(M/K)}$), peningkatan kekakuan (K) yang besar berbanding terbalik dengan kuadrat periode getar (T), sehingga menghasilkan waktu getar yang jauh lebih singkat.

Untuk memvalidasi kewajaran hasil analisis numerik, nilai periode getar kedua model dibandingkan dengan batas atas periode empiris yang diizinkan oleh SNI 1726:2019. Berdasarkan Pasal 7.8.2.1, perkiraan periode fundamental alami (T_a) untuk sistem rangka beton pemikul momen ditentukan dengan **Persamaan 3** berikut.

$$T_a = C_t h_n^x \quad (3)$$

Dengan h_n adalah ketinggian total gedung (20 meter); $C_t = 0,0466$ dan $x = 0,9$. Di samping itu, juga mempertimbangkan koefisien batas atas ($C_t = 1,4$ untuk $S_{D1} > 0,4$); maka batas periode maksimum (T_{max}) adalah **Persamaan 4** berikut.

$$T_{max} = C_u T_a \quad (4)$$

Hasil perbandingan menunjukkan bahwa:

1. Model A (0,992 detik) memiliki periode yang melampaui batas T_{max} ($0,992 > 0,966$). Hal ini menunjukkan bahwa asumsi *bare frame*

cenderung *overestimate* terhadap fleksibilitas struktur, menghasilkan model yang "terlalu lunak" dibandingkan dengan ketentuan standar.

2. Model B (0,703 detik) menghasilkan periode yang lebih besar dari T_a empiris ($0,703 > 0,69$). Hal ini wajar mengingat rumus empiris SNI diturunkan dari data gedung riil yang secara implisit sudah mengandung komponen nonstruktural, namun Model B secara eksplisit memodelkan kekakuan penuh dinding yang kondisinya utuh (*uncracked*).

Perubahan karakteristik dinamis struktur berdampak langsung pada besarnya gaya geser dasar seismik (V) yang harus dipikul oleh bangunan. Perbandingan hasil analisis gaya geser dasar ragam (*modal base shear*) untuk arah utama X dan Y antara Model A dan Model B disajikan pada **Tabel 5**.

Tabel 5. Perbandingan Gaya Geser Dasar (Base Shear)

Arah Gempa	Model A [kN]	Model B [kN]	Peningkatan [%]
Gempa Arah-X	1.627	2.637	162
Gempa Arah-Y	1.627	2.637	162

Berdasarkan Tabel 5, terlihat bahwa Model B menghasilkan gaya geser dasar yang jauh lebih besar dibandingkan dengan Model A. Peningkatan ini merupakan konsekuensi logis dari penurunan periode getar alami struktur (T) sebagaimana dibahas sebelumnya.

Mengacu pada kurva respons spektrum desain SNI 1726:2019, nilai periode getar berbanding terbalik dengan koefisien respons seismik (C_s) pada rentang periode pendek hingga menengah.

1. Pada Model A: Periode getar yang panjang (T besar) menempatkan struktur pada bagian kurva menurun (*descending branch*), menghasilkan percepatan spektral (S_a) yang rendah.
2. Pada Model B: Kekakuan dinding menggeser posisi spektral struktur ke arah periode pendek (T kecil), yang berada pada wilayah "plato" atau puncak percepatan spektral desain (S_{DS}).

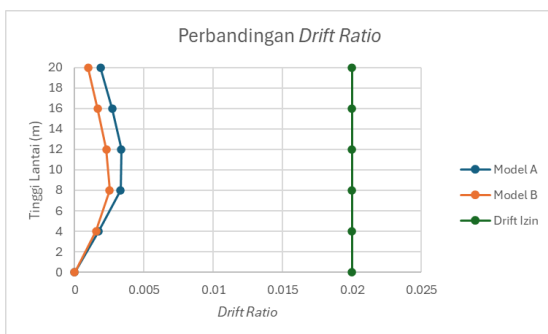
Akibatnya, meskipun massa total (W) kedua model relatif sama (karena berat dinding pada Model A tetap dihitung sebagai beban mati),

gaya inersia gempa ($V = C_s \times W$) pada Model B meningkat tajam karena lonjakan nilai C_s .

Temuan ini memberikan implikasi krusial terhadap keamanan desain, khususnya pada elemen fondasi. Praktik umum yang hanya mengandalkan analisis *Bare Frame* (Model A) cenderung menghasilkan estimasi gaya geser dasar yang *underestimate* (terlalu kecil).

Jika fondasi didesain hanya berdasarkan gaya geser Model A (1.627 kN), maka fondasi tersebut berisiko mengalami kegagalan saat menerima beban gempa aktual yang sebenarnya jauh lebih besar (2.637 kN) akibat kekakuan dinding yang bekerja nyata di lapangan. Oleh karena itu, jika kontribusi dinding diperhitungkan, gaya gempa yang harus ditransfer ke tanah dasar sebenarnya jauh lebih besar, menuntut dimensi dan kedalaman fondasi yang lebih konservatif dibandingkan dengan hasil analisis rangka terbuka biasa. Hal ini menegaskan pentingnya memverifikasi kapasitas pondasi terhadap gaya geser ultimit yang memperhitungkan interaksi dinding-struktur.

Parameter simpangan antar lantai (Δ) merupakan indikator utama untuk mengevaluasi kinerja batas layan dan membatasi kerusakan pada komponen non-struktural. Profil distribusi simpangan antarlantai untuk kedua model struktur pada arah ortogonal dominan disajikan dalam **Gambar 3**.



Gambar 3. Perbandingan simpangan antar lantai arah-X

Grafik di atas memperlihatkan perbedaan perilaku deformasi lateral yang sangat signifikan.

1. Model A (*Bare Frame*): Menunjukkan perilaku deformasi yang fleksibel dengan

simpangan yang membesar secara kumulatif dari lantai dasar hingga atap.

2. Model B (*Infilled Frame*): Kurva simpangan terlihat jauh lebih tegak mendekati sumbu vertikal.

Kehadiran dinding pengisi terbukti sangat efektif dalam mereduksi simpangan lateral. Hasil analisis menunjukkan bahwa Model B mampu mereduksi *drift* maksimum rata-rata sebesar 69% dibandingkan dengan Model A. Mekanisme ini terjadi karena elemen *diagonal strut* bekerja sebagai pengaku (*bracing*) yang menahan deformasi geser pada setiap panel portal, sehingga mencegah terjadinya mekanisme *racking* yang berlebihan.

Evaluasi kelayakan struktur dilakukan dengan membandingkan simpangan maksimum (Δ_{max}) terhadap batas izin simpangan (Δ_a) sesuai SNI 1726:2019 Pasal 7.12.1. Untuk Kategori Risiko II, batas izin ditetapkan sebesar 2,0% dari tinggi tingkat ($0,02h_{sx}$).

1. Evaluasi Model A: Seluruh nilai simpangan pada Model A berada jauh di bawah batas izin SNI (maksimum hanya 0,34%).
2. Evaluasi Model B: Seluruh nilai simpangan pada Model B berada jauh di bawah batas izin SNI (maksimum hanya 0,25%).

Validitas penggunaan model *equivalent strut* sangat bergantung pada kemampuan dinding bata untuk mempertahankan integritasnya saat menerima beban gempa. Oleh karena itu, evaluasi rasio kapasitas-permintaan (*Demand-to-Capacity Ratio / DCR*) dilakukan pada setiap tingkat untuk menentukan apakah dinding tersebut masih berperilaku elastis atau telah mengalami kegagalan.

Gaya aksial terfaktor ($P_{(u, strut)}$) diperoleh dari *output* gaya dalam elemen *strut* pada kombinasi pembebanan gempa maksimum (*Envelope*). Nilai ini dibandingkan dengan kapasitas kuat geser nominal diagonal ($P_{(n, strut)}$) yang diturunkan dari Persamaan 11-37 SNI 9273:2025. Hasil evaluasi DCR pada elemen strut tertekan disajikan pada **Tabel 6**.

Tabel 6. Evaluasi DCR Elemen Strut Dinding (Arah-X)

Lantai	$P_{(u, strut)}$ [kN]	$P_{(n, strut)}$ [kN]	P_u/P_n	Status Kinerja
1	301	273	1,1	GAGAL (Shear Failure)
2	446	273	1,6	GAGAL (Shear Failure)
3	403	273	1,5	GAGAL (Shear Failure)
4	301	273	1,1	GAGAL (Shear Failure)
5	192	273	0,7	Aman (Elastis)

Berdasarkan **Tabel 6**, teridentifikasi perilaku yang berbeda antar tingkat struktur:

1. Kegagalan pada Lantai 1-4: Nilai DCR mencapai $>1,0$. Hal ini mengindikasikan bahwa gaya tekan yang bekerja pada strut telah melampaui kapasitas geser gesekan (*sliding shear*) pasangan bata. Secara fisik, kondisi ini merepresentasikan terjadinya retak diagonal yang parah atau kegagalan geser pada dinding lantai dasar. Konsekuensi: Asumsi kekakuan penuh dinding pada lantai ini menjadi tidak lagi valid. Dinding dianggap kehilangan kontribusinya dalam menahan gaya lateral, sehingga beban gempa akan beralih sepenuhnya ke kolom-kolom struktur utama.
2. Kinerja pada Lantai Atas: Pada Lantai 5, nilai DCR $< 1,0$. Hal ini menunjukkan bahwa dinding pada lantai tersebut masih mampu menahan beban gempa rencana dan berperilaku elastis. Elemen *strut* pada lantai ini valid untuk diperhitungkan kekakuannya.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis numerik dan evaluasi kinerja seismik struktur gedung beton bertulang di Kota Palu dengan membandingkan model rangka terbuka (*Bare Frame*) dan rangka berdinding (*Infilled Frame*) menggunakan standar SNI 9273:2025, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Peningkatan Kekakuan & Reduksi Periode: Pemodelan interaksi dinding pengisi sebagai elemen diagonal strut berkontribusi secara signifikan terhadap kekakuan lateral global. Hal ini dibuktikan dengan terjadinya reduksi periode getar alami fundamental sebesar 71%, yaitu dari 0,992 detik pada Model *Bare Frame* menjadi 0,703 detik pada Model *Infilled*

Frame. Hasil ini mengonfirmasi bahwa pengabaian dinding dalam model struktur menghasilkan estimasi fleksibilitas yang *overestimate*.

2. Peningkatan Gaya Geser Dasar (*Base Shear*): Pemendekan periode getar akibat kekakuan dinding menyebabkan struktur merespons pada rentang percepatan spektral yang lebih tinggi (*area plateau*). Akibatnya, gaya geser dasar (*Base shear*) yang harus dipikul struktur mengalami peningkatan drastis sebesar 162% dibandingkan dengan model rangka terbuka. Hal ini mengimplikasikan bahwa desain fondasi yang hanya mengacu pada analisis *Bare Frame* berisiko tinggi mengalami *under-design*.
3. Kontrol Simpangan Antarlantai (*Drift*): Kehadiran dinding pengisi sangat efektif dalam membatasi deformasi lateral. Simpangan antarlantai maksimum tereduksi secara signifikan hingga 69%, menjadikan kinerja struktur lebih kaku. Model *Infilled Frame* terbukti memenuhi syarat batas layan (*serviceability*) dengan drift maksimum sebesar 0,23% ($< 2,0\%$), memperbaiki kinerja Model *Bare Frame*.
4. Evaluasi Kapasitas Strut (DCR): Berdasarkan kriteria penerimaan SNI 9273:2025, dinding pengisi pada lantai 1-4 memiliki rasio Kapasitas terhadap Permintaan (*Demand-to-Capacity Ratio/DCR*) $> 1,0$. Hal ini mengindikasikan bahwa dinding lantai 1-4 mengalami kegagalan geser (*shear failure*) akibat beban gempa rencana, sementara dinding pada lantai atas masih berperilaku elastis.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] Bappenas, "Rencana Induk Pemulihan dan Pembangunan Kembali Wilayah Pascabencana Provinsi Sulawesi Tengah," Kementerian PPN, 2019.

- [2] PuSGeN, Peta Sumber Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017, Kementerian PUPR, 2017.
- [3] BSN, SNI 1726:2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, Badan Standarisasi Nasional, 2019.
- [4] H. B. Kaushik, D. C. Rai dan S. K. Jain, "Code Approaches to Seismic Design of Masonry-Infilled Reinforced Concrete Frames: A State-of-the-Art Review," *Earthquake Spectra*, vol. 22, no. 4, pp. 961-983, 2006.
- [5] T. Paulay dan M. J. N. Priestley, *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*, John Wiley & Sons, 1992.
- [6] F. J. Crisafulli, A. J. Carr dan R. Park, "Analytical Modelling of Infilled Frame Structures – A General Review," *Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering*, vol. 33, no. 1, pp. 30-47, 2000.
- [7] P. G. Asteris, D. J. Kakaletsis dan C. Z. Chrysostomou, "Failure Modes of Infilled Frames caused by Earthquake," *Electronic Journal of Structural Engineering*, vol. 11, no. 1, pp. 1-11, 2011.
- [8] R. J. Mainstone, "On the Stiffnesss and Strengths of Infilled Frames," *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, vol. 49, no. 4, pp. 57-90, 1971.
- [9] BSN, SNI 9273:2025 Evaluasi dan Rehabilitasi Seismik untuk Bangunan Gedung Eksisting, Badan Standarisasi Nasional, 2025.
- [10] S. Bose dan D. C. Rai, "Simplified Micro-Model for In-Plane Response of Masonry Infilled RC Frames," *Engineering Structures*, vol. 105, pp. 1-30, 2015.
- [11] A. Stavridis dan P. B. Shing, "Finite-element modeling of nonlinear behavior of masonry-infilled RC frames.," *Journal of Structural Engineering*, vol. 136, no. 3, pp. 285-296, 2010.
- [12] E. Opabola dan K. J. Elwood, "Evaluation of ASCE 41-17 modeling parameters for non-ductile RC columns," *Earthquake Spectra*, vol. 34, no. 3, 2018.
- [13] S. H. Hwang, "Seismic Performance Evaluation of RC Frames with Unreinforced Masonry Infills based on ASCE 41-17," *Engineering Structures*, vol. 204, 2020.
- [14] R. M. Fathoni dan E. Desimaliana, "Evaluasi Kinerja Struktur Tribun Barat Stadion RAA Adiwijaya Kabupaten Garut dengan Analisis Pushover Metode ATC-40," *RekaRacana: Jurnal Teknik Sipil*, vol. 10, no. 2, pp. 133, 2024.
- [15] E. Desimaliana, Z. K. Ramadhini, A. S. Arifin dan D. Nurrensyah, "Kinerja Struktur Gedung Fashion Gallery Terhadap Penggunaan Kayu Laminasi Laban," *Jurnal Rekayasa Sipil (JRS-Unand)*, vol. 21, no. 1, pp. 55-66, 2025.