Jurnal Sosial dan Teknologi (SOSTECH)
Volume 6, Number 10, Oktober 2026, pp. 3171-3181
e-ISSN 2774-5155
https://doi.org/10.59188/jurnalsostech.v6i10.33010

Evaluasi Simpangan dan Perencanaan Ulang Struktur atas Gedung Laboratorium Pendidikan di Manado

Raquel Feren Ferdinandus, Mario Marthen Luther Moningka*, Seska Nicolaas
Politeknik Negeri Manado, Indonesia
Email: mariomoningka4@gmail.com*

Keywords:
Educational Building; Interstorey Drift; Redundancy Factor; Reinforced Concrete; Response Spectrum

This is an open access article under the CC BY-SA license.

Copyright © 2026 by Author. Published by Publikasiku Publisher

Abstract

This study evaluates interstorey drift and member capacity in a documented superstructure configuration and examines a member-enlargement alternative together with the sensitivity of drift acceptance to the redundancy factor. A quantitative case study used a three-dimensional space-frame model with cracked-section stiffness, response-spectrum analysis, and sectional checks based on SNI 1726:2019, SNI 2847:2019, and SNI 1727:2020. An ETABS comparison was limited to modal characteristics. The calculated fundamental period decreased from 0.866 s to 0.581 s after columns were enlarged from 450 × 450 mm to 600 × 600 mm and main beams from 350 × 500 mm to 350 × 600 mm. The critical interstorey drift decreased from 99.2 mm to 42.4 mm, a 57.3% reduction. Under the baseline acceptance limit using ρ = 1.0, the proposed drifts were below the limit; when the limit was recalculated using ρ = 1.3, every proposed drift ratio exceeded one. Checks of the initial configuration also identified demand-to-capacity ratios above one for selected member actions. Enlarging the members increases model stiffness and reduces drift, but it does not establish final seismic compliance. Completion of the assessment requires verified site-class data, consistent application of the redundancy factor in the structural model, torsional checks, beam-column joint checks, critical axial-flexural combinations, and a like-for-like comparison of the analytical and ETABS models.

Kata Kunci:
Beton Bertulang; Faktor Redundansi; Gedung Pendidikan; Respons Spektrum; Simpangan Antar Lantai

Abstrak

Penelitian ini mengevaluasi simpangan dan kapasitas elemen pada konfigurasi struktur atas berdasarkan gambar kerja serta menilai alternatif pembesaran elemen dan sensitivitas batas simpangan terhadap faktor redundansi pada gedung pendidikan dua lantai di Manado. Studi kasus kuantitatif menggunakan model portal ruang tiga dimensi dengan kekakuan penampang retak, analisis respons spektrum, dan pemeriksaan penampang mengacu pada SNI 1726:2019, SNI 2847:2019, dan SNI 1727:2020. Model pembanding ETABS digunakan terbatas untuk karakteristik ragam. Periode fundamental model hitungan turun dari 0,866 detik menjadi 0,581 detik setelah kolom diperbesar dari 450 × 450 mm menjadi 600 × 600 mm dan balok induk dari 350 × 500 mm menjadi 350 × 600 mm. Simpangan kritis turun dari 99,2 mm menjadi 42,4 mm atau 57,3%. Dengan batas dasar ρ = 1,0, simpangan alternatif berada di bawah batas, tetapi ketika batas dihitung dengan ρ = 1,3 seluruh rasio simpangan alternatif berada di atas satu. Pemeriksaan konfigurasi awal juga menunjukkan rasio kebutuhan-kapasitas tertentu di atas satu. Pembesaran elemen meningkatkan kekakuan model dan menurunkan simpangan,

tetapi belum membuktikan kepatuhan seismik akhir. Verifikasi masih memerlukan data kelas situs, penerapan faktor redundansi yang konsisten dalam pemodelan, pemeriksaan torsi, sambungan balok-kolom, seluruh kombinasi aksial-lentur kritis, dan pembandingan model dengan parameter yang setara.

PENDAHULUAN

Evaluasi bangunan pendidikan di wilayah gempa perlu menilai kekuatan penampang dan kekakuan lateral secara bersamaan. Elemen yang mampu memikul kombinasi gaya belum tentu menghasilkan simpangan antar lantai yang memenuhi batas rencana. Pada fasilitas pendidikan, pembatasan deformasi juga berkaitan dengan perlindungan komponen nonstruktural dan keberlangsungan pemanfaatan bangunan. Kerangka evaluasi dalam penelitian ini menggunakan SNI 1726:2019 untuk ketahanan gempa, SNI 2847:2019 untuk beton struktural, dan SNI 1727:2020 untuk pembebanan (Badan Standardisasi Nasional [BSN], 2019a, 2019b, 2020).

Penelitian di Manado menunjukkan pentingnya memasukkan pembebanan lateral dan pendetailan rangka pemikul momen khusus dalam perencanaan bangunan pendidikan (Honarto, Handono, & Pandaleke, 2019; Liando, Dapas, & Wallah, 2020). Lamia, Pandaleke, dan Handono (2020) menelaah gedung berdenah L, sehingga relevan untuk pembahasan distribusi kekakuan pada denah yang tidak simetris. (Ompi et al., 2025) menemukan bahwa perubahan peraturan gempa meningkatkan tuntutan gaya geser dasar dan menyebabkan sebagian simpangan tingkat pada gedung yang dikaji melampaui batas. Temuan tersebut menunjukkan perlunya penilaian ulang terhadap parameter gempa dan deformasi, bukan hanya dimensi yang tercantum pada gambar kerja (Nasional, 2012).

Hukama & Erizal, (2023) mengkaji kekuatan bangunan delapan lantai menggunakan respons spektrum, sedangkan (Febrianto et al., 2024) membandingkan evaluasi seismik menurut SNI dan ASCE 41-17. Kedua pendekatan menekankan perlunya menghubungkan respons global dengan kapasitas elemen. Perencanaan ulang asrama oleh (Fuzairi et al., 2023) memperlihatkan penerapan ketiga standar Indonesia pada struktur atas dengan kelas situs yang ditentukan dari pengujian tanah. Kontras data situs tersebut menjadi pertimbangan penting karena kelas situs dalam penelitian ini belum didukung hasil penyelidikan tanah.

Penelitian respons spektrum mutakhir menegaskan bahwa periode, partisipasi massa, simpangan antar lantai, kekakuan retak, dan pendetailan SRPMK harus diperiksa secara konsisten dalam satu model (Imaduddin et al., 2024; Irawan & Machmoed, 2024; Rabbani, 2026; Santana et al., 2026; Tarelluan et al., 2026). Namun, studi terdahulu umumnya mengevaluasi model dengan parameter situs dan pengaturan perangkat lunak yang telah ditetapkan, sedangkan kasus ini berangkat dari gambar kerja dan data skripsi yang menyisakan ketidakpastian kelas situs, faktor redundansi, serta perbedaan representasi pelat antara model hitungan dan ETABS. Kesenjangan tersebut membuat penilaian sensitivitas dan keterlacakan asumsi menjadi sama pentingnya dengan besarnya penurunan simpangan.

Objek penelitian adalah Gedung Laboratorium dan Bengkel Terpadu Teknik Sipil Politeknik Negeri Manado, berupa struktur beton bertulang dua lantai berdenah L. Skripsi sumber menyatakan bahwa dokumen yang tersedia berupa gambar kerja, sedangkan perhitungan struktur yang memuat analisis gempa dinamis tidak tersedia untuk ditelaah. Karena itu, istilah eksisting dalam artikel ini berarti konfigurasi berdasarkan gambar kerja,

bukan kondisi terbangun yang telah diverifikasi melalui pengujian mutu atau pengukuran struktur di lapangan.

Penelitian ini bertujuan mengevaluasi simpangan dan kapasitas elemen pada konfigurasi berdasarkan gambar kerja, menyajikan alternatif dimensi dan penulangan, serta menilai sensitivitas kesimpulan terhadap asumsi model. Kontribusi studi kasus terletak pada pengaitan perubahan dimensi dengan periode, gaya geser, simpangan, kapasitas penampang, dan batas penerimaan faktor redundansi, sambil membedakan hasil yang telah dihitung dari aspek yang masih memerlukan verifikasi. Hipotesis kerja yang diperiksa adalah bahwa pembesaran kolom dan tinggi balok meningkatkan kekakuan lateral dan menurunkan simpangan, tetapi perbaikan tersebut belum dengan sendirinya membuktikan kepatuhan seismik menyeluruh.

METODE PENELITIAN

Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif evaluatif berupa studi kasus satu bangunan. Unit analisis mencakup konfigurasi portal utama dua tingkat serta tipe kolom, balok induk, balok anak, dan pelat yang tercantum pada gambar kerja. Penelitian ini tidak menggunakan populasi responden atau pengambilan sampel statistik. Data numerik merupakan data sekunder yang dilaporkan dalam skripsi, bersumber dari gambar kerja digital PT Tigamas Mitra Selaras dan perhitungan penulis skripsi. Pengamatan pelaksanaan selama praktik kerja lapangan tahun akademik 2025/2026 dipakai sebagai konteks keterlaksanaan detail, bukan sebagai uji kapasitas struktur.

Geometri dan material model dirangkum pada Tabel 1. Model portal ruang memiliki 186 titik kumpul dan 338 elemen batang, terdiri atas 124 kolom dan 214 balok. Dasar kolom dianggap terjepit pada elevasi atas sloof, lantai menggunakan diafragma kaku, dan kekakuan lentur diambil 0,70Ig untuk kolom serta 0,35Ig untuk balok. Pelat pada model hitungan meneruskan beban ke balok tanpa tambahan kekakuan lentur portal. Model pembanding ETABS versi 23.3.1 memasukkan pelat sebagai elemen cangkang; perbedaan ini dipertahankan sebagai batasan pembandingan.

Tabel 1. Geometri dan parameter material model

Parameter	Nilai
Dimensi denah keseluruhan	60,00 × 30,00 m; luas efektif 1.656 m²
Bentang dan titik kolom	Bentang 6,00 m; 62 titik kolom
Tinggi tingkat	5,14 m dan 4,00 m
Kolom dan balok induk awal	450 × 450 mm; 350 × 500 mm
Balok anak dan pelat	250 × 400 mm; tebal pelat 140 mm
Mutu beton dan baja	f'c = 30 MPa; fy = fyt = 420 MPa

Sumber: data skripsi Raquel Feren Ferdinandus (2026), diolah.

Beban hidup lantai 2 sebesar 1,92 kN/m² mengikuti fungsi ruang kelas, sementara beban hidup atap pemeliharaan sebesar 0,96 kN/m². Beban mati tersebar yang dilaporkan adalah 6,90 kN/m² pada lantai 2 dan 5,60 kN/m² pada atap. Peralatan bengkel berat diasumsikan berada pada pelat di atas tanah sehingga tidak dibebankan ke portal atas. Jika fungsi lantai 2 berubah menjadi laboratorium dengan mesin berat, hasil tidak dapat diterapkan

tanpa analisis ulang. Pentingnya kesesuaian fungsi dan pembebanan juga ditunjukkan pada perencanaan gedung arsip oleh (Koloy et al., 2023).

Berat seismik yang dilaporkan adalah 28.313 kN untuk konfigurasi awal dan 30.931 kN untuk alternatif usulan. Skripsi memakai seluruh beban mati ditambah 25 persen beban hidup sebagai asumsi sumber massa. Artikel mempertahankan angka hasil tersebut untuk keterlacakan, tetapi tidak menafsirkan fraksi 25 persen sebagai ketentuan umum untuk seluruh ruang kelas. Inventaris massa permanen, partisi, peralatan, dan beban sesuai fungsi perlu diperiksa kembali sebelum analisis akhir.

Parameter spektral bersumber dari nilai wakil Kota Manado pada skripsi, yaitu Ss = 1,50 g dan S1 = 0,60 g. Kelas situs SD diasumsikan karena data N-SPT, CPT, atau kecepatan gelombang geser tidak tersedia. Dengan Fa = 1,0 dan Fv = 1,7, diperoleh SDS = 1,00 g, SD1 = 0,68 g, T0 = 0,136 detik, dan Ts = 0,680 detik. Parameter ini merupakan skenario analisis; kelas situs SD tidak dinyatakan sebagai pilihan yang pasti paling konservatif. Skripsi menempatkan gedung dalam kategori risiko IV, kategori desain seismik D, dengan sistem rangka pemikul momen khusus, R = 8,0, Cd = 5,5, dan Ie = 1,50 (BSN, 2019a).

Respons ragam digabungkan dengan kombinasi kuadratik lengkap. Gaya geser dasar dinamik dibandingkan dengan gaya geser statik dan diskalakan menggunakan V/Vt apabila Vt lebih kecil. Periode empiris digunakan untuk mengendalikan perhitungan gaya gempa; periode numerik yang lebih panjang dari batas empiris tidak diperlakukan sebagai bukti tunggal bahwa bangunan gagal. Pemeriksaan kapasitas penampang meliputi lentur balok, interaksi aksial–lentur kolom, geser berbasis kapasitas, dan pengekangan menurut BSN (2019b). Tampanguma, Windah, dan Mondoringin (2023) juga menekankan pemeriksaan kombinasi gaya pada kolom. Simpangan antar lantai dihitung dari selisih perpindahan elastis tingkat yang diperbesar dengan Cd/Ie. Persamaan pengendali ditulis sebagai berikut.

$$\Delta x = (Cd/Ie)(\delta e,x - \delta e,x-1) \quad (1)$$

$$\Delta izin = 0{,}010hsx/\rho \quad (2)$$

Dalam persamaan tersebut, Δx adalah simpangan antar lantai desain, δe adalah perpindahan elastis, hsx adalah tinggi tingkat, dan ρ adalah faktor redundansi. Skenario dasar mengikuti skripsi dengan ρ = 1,0 untuk kontrol simpangan. Analisis sensitivitas artikel menghitung ulang batas dengan ρ = 1,3 menggunakan simpangan yang sama, tanpa menjalankan ulang model struktur. Hasil sensitivitas merupakan pemeriksaan batas penerimaan, bukan keluaran analisis ETABS baru.

Perubahan relatif periode dan simpangan dihitung sebagai (nilai awal − nilai usulan)/nilai awal × 100 persen. Angka kapasitas dan respons diambil dari tabel hasil skripsi; penataan artikel ini tidak menghasilkan pengujian material, survei lapangan baru, atau model numerik baru. Verifikasi independen penuh membutuhkan berkas model asli, kombinasi beban, sumber massa, pengaturan diafragma, dan tabel keluaran perangkat lunak.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Respons Ragam dan Gaya Geser Dasar

Tabel 2 memperlihatkan penurunan periode fundamental model hitungan dari 0,866 detik menjadi 0,581 detik, atau 32,9 persen. ETABS pada konfigurasi awal menghasilkan 0,728 detik, yaitu 15,9 persen lebih pendek dibanding model hitungan. Skripsi mengaitkan perbedaan dengan kontribusi pelat cangkang. Penjelasan ini masuk akal sebagai hipotesis pemodelan,

tetapi belum merupakan isolasi sebab karena belum tersedia pembandingan kedua model dengan seluruh pengaturan yang identik.

Tabel 2. Periode ragam dan parameter gempa hasil skripsi

Parameter	Awal	Usulan
Periode ragam 1 model hitungan (s)	0,866	0,581
Periode ragam 2 model hitungan (s)	0,848	0,567
Periode ragam 3 model hitungan (s)	0,795	0,535
Berat seismik efektif (kN)	28.313	30.931
Gaya geser statik (kN)	5.309	5.800
Gaya geser dinamik X sebelum skala (kN)	4.029	5.365
Gaya geser dinamik Y sebelum skala (kN)	3.927	5.344
Faktor skala X / Y	1,318 / 1,352	1,081 / 1,085

Sumber: data skripsi Raquel Feren Ferdinandus (2026), diolah.

Partisipasi massa ETABS pada ragam pertama adalah 95,70 persen arah Y dan pada ragam kedua 96,08 persen arah X. Enam ragam yang disajikan mencapai partisipasi kumulatif 100 persen pada kedua arah. Kecukupan partisipasi massa menunjukkan cakupan ragam translasi pada model tersebut, tetapi tidak membuktikan ketidakberaturan torsi tidak terjadi. Untuk denah L, simpangan tepi dan pengaruh eksentrisitas tetap perlu diperiksa, sebagaimana pentingnya analisis denah tidak simetris pada Lamia *et al.* (2020).

Peningkatan berat seismik sebesar 9,2 persen diikuti peningkatan gaya geser dasar statik dari 5.309 menjadi 5.800 kN. Dengan demikian, perbesaran elemen meningkatkan kekakuan sekaligus menambah massa dan tuntutan gaya. Ompi *et al.* (2025) memperlihatkan hubungan antara parameter spektral, gaya geser dasar, dan simpangan pada gedung lain di Manado. Kesamaan tersebut mendukung penggunaan pemeriksaan gaya dan deformasi secara bersama, tanpa menyamakan angka antargedung yang memiliki geometri dan massa berbeda.

Simpangan dan Sensitivitas Faktor Redundansi

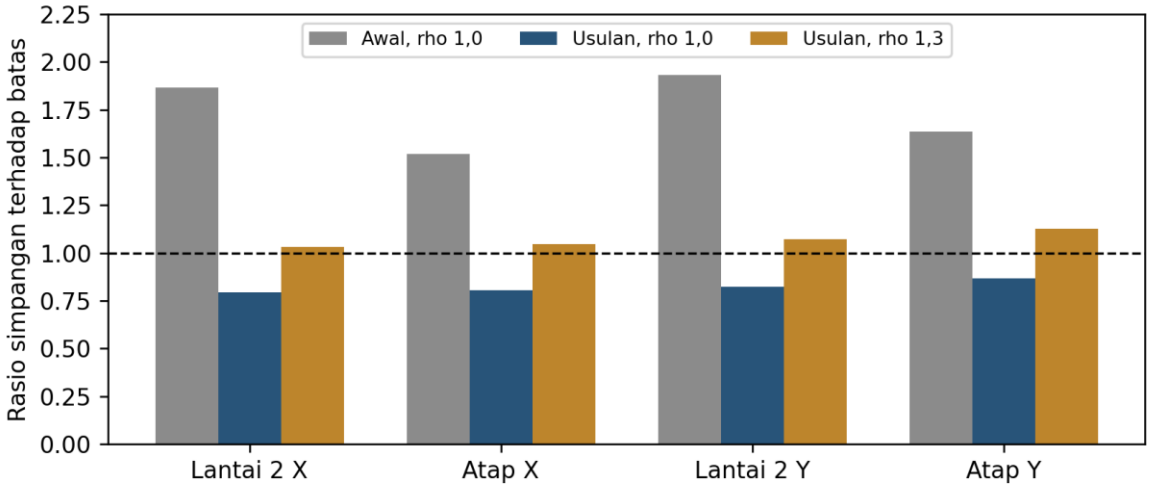
Tabel 3 menunjukkan bahwa seluruh simpangan konfigurasi awal melampaui batas dasar yang dipakai skripsi. Nilai terbesar adalah 99,2 mm pada lantai 2 arah Y, sebesar 1,93 kali batas 51,4 mm. Pada alternatif usulan, simpangan yang sama turun menjadi 42,4 mm atau berkurang 57,3 persen. Rasio usulan terbesar terhadap batas dasar justru terdapat pada atap arah Y, yakni 34,7/40,0 = 0,868. Identifikasi ini membedakan simpangan absolut terbesar dari rasio penerimaan paling kritis.

Tabel 3. Simpangan dan pemeriksaan dua skenario redundansi

Tingkat arah	Awal (mm)	Usulan (mm)	Izin ρ=1,0 (mm)	Izin ρ=1,3 (mm)	Rasio usulan ρ=1,3
Lantai 2 X	95,9	40,8	51,4	39,54	1,032
Atap X	60,7	32,2	40,0	30,77	1,047
Lantai 2 Y	99,2	42,4	51,4	39,54	1,072
Atap Y	65,4	34,7	40,0	30,77	1,128

Sumber: data skripsi Raquel Feren Ferdinandus (2026), diolah.

Gambar 1 membandingkan rasio simpangan terhadap batas untuk kedua skenario. Pada ρ = 1,0, alternatif usulan berada di bawah batas; pada ρ = 1,3, seluruh rasio usulan berada di atas satu, dengan pelampauan sekitar 3,2–12,8 persen. Oleh sebab itu, kesimpulan memenuhi kontrol simpangan hanya berlaku apabila kelayakan ρ = 1,0 telah dibuktikan. Jumlah balok yang banyak dan partisipasi translasi yang tinggi belum cukup untuk menggantikan pemeriksaan redundansi dan ketidakberaturan torsi yang disyaratkan.



Gambar 1. Rasio simpangan berdasarkan data skripsi dan sensitivitas batas redundansi
Sumber: data skripsi Raquel Feren Ferdinandus (2026), diolah.

Pembesaran kolom meningkatkan momen inersia penampang bruto secara teoritis sebesar $(600/450)^4 = 3{,}16$ kali, sedangkan kenaikan tinggi balok pada lebar tetap meningkatkan inersia sebesar $(600/500)^3 = 1{,}73$ kali. Angka ini menjelaskan arah peningkatan kekakuan, tetapi tidak identik dengan peningkatan kekakuan seluruh bangunan karena respons global dipengaruhi hubungan balok–kolom, retak, massa, dan kondisi batas. Turunnya periode disertai penurunan simpangan mendukung hipotesis peningkatan kekakuan model, dengan pemenuhan batas yang tetap bersyarat.

Kapasitas Elemen dan Pendetailan Usulan

Pemeriksaan konfigurasi awal pada Tabel 4 menunjukkan bahwa masalah tidak hanya berupa simpangan. Balok induk masih memiliki kuat lentur negatif sedikit di atas kebutuhan, tetapi kuat lentur positif pada muka kolom lebih kecil dari setengah kuat nominal negatif. Kolom memiliki rasio kebutuhan terhadap kapasitas hingga 1,23 pada pasangan gaya aksial

dan momen tertentu. Karena itu, penilaian berdasarkan satu nilai momen maksimum tanpa pasangan gaya aksial yang bersesuaian dapat menyesatkan.

Tabel 4. Pemeriksaan kapasitas elemen konfigurasi awal

Pemeriksaan	Kebutuhan	Kapasitas	Rasio
Lentur negatif balok B1	312,2 kNm	317,8 kNm	0,98
Kuat positif minimum ujung B1	176,5 kNm	150,2 kNm	1,18
Interaksi kolom K1 pada Pu = 7 kN	367,9 kNm	300,0 kNm	1,23
Interaksi kolom K1 pada Pu = 907 kN	395,4 kNm	373,4 kNm	1,06
Lentur balok anak Ba1	88,5 kNm	100,5 kNm	0,88
Lentur pelat per meter	4,04 kNm/m	21,9 kNm/m	0,18

Sumber: data skripsi Raquel Feren Ferdinandus (2026), diolah.

Alternatif pada Tabel 5 memakai kolom 600 × 600 mm bertulangan 16D22 dan balok induk 350 × 600 mm dengan 5D22 atas serta 3D22 bawah di tumpuan. Luas tulangan longitudinal kolom sebesar sekitar 6.082 mm² menghasilkan rasio 1,69 persen. Nilai ini merupakan alternatif yang dilaporkan skripsi, bukan hasil optimasi biaya yang telah dibuktikan. Balok anak dan pelat dipertahankan dalam lingkup pemeriksaan lentur sumber; hal tersebut belum mencakup verifikasi lengkap penghubung geser sistem pelat komposit.

Tabel 5. Dimensi, detail, dan kapasitas alternatif usulan

Elemen atau kontrol	Usulan dan hasil
Kolom K1 dan K2	600 × 600 mm; 16D22; rasio P–M dilaporkan 0,78
Pengekangan kolom	D10-100 lima kaki tiap arah, panjang 800 mm; di luar zona D10-125
Luas pengekangan kolom	Ash perlu 369 mm²; terpasang 393 mm²
Geser kolom berbasis kapasitas	Ve = 408,7 kN; φVs = 666,7 kN
Balok induk B1 dan B2	350 × 600 mm; tumpuan 5D22 atas dan 3D22 bawah
Lapangan balok induk	3D22 atas dan 3D22 bawah
Sengkang balok	D10-100 tiga kaki sepanjang 1.200 mm; di luar zona D10-200
Lentur dan geser balok B1	Mu = 300,8 kNm; φMn = 355,1 kNm; Ve = 206,6 kN; φVs = 400,0 kN
Rasio kolom kuat balok lemah	ΣMnc/(1,2ΣMnb) = 1.267,6/767,9 = 1,65

Sumber: data skripsi Raquel Feren Ferdinandus (2026), diolah.

Untuk balok, kapasitas geser dievaluasi terhadap gaya geser berbasis momen probabel, bukan hanya gaya geser keluaran analisis. Pada kolom usulan, gaya geser analisis yang dilaporkan 139,5 kN lebih kecil daripada gaya geser berbasis kapasitas 408,7 kN. Perbedaan

ini menjelaskan pentingnya konsistensi hierarki kapasitas. Chalid dan Walujodjati (2024) menelaah penerapan prinsip rangka khusus serta kolom kuat balok lemah pada gedung KORPRI; prinsip tersebut relevan untuk pemeriksaan joint, tetapi dimensinya tidak dapat langsung dipindahkan ke objek penelitian ini.

Rasio 1,65 pada Tabel 5 menggunakan penyebut yang sudah dikalikan 1,2, sehingga batas penerimaannya adalah satu. Rasio tersebut berbeda dari ΣMnc/ΣMnb yang memiliki batas 1,2. Skripsi menghitung contoh kapasitas kolom pada gaya aksial nol. Pernyataan bahwa evaluasi pada gaya aksial nol selalu konservatif tidak diterima sebagai kesimpulan umum; kapasitas kolom perlu diperiksa pada rentang gaya aksial terfaktor dan pada setiap joint yang relevan. Prayoga dan Bhisama (2023) menunjukkan bahwa mekanisme dan peluang kegagalan struktur membutuhkan penilaian yang lebih luas daripada pemenuhan rasio nominal tunggal.

Dimensi dan detail usulan juga berkaitan dengan keterlaksanaan. Lima kaki D10 memberikan luas pengekangan yang lebih besar daripada empat kaki, tetapi meningkatkan kepadatan tulangan pada sambungan. Pemeriksaan ruang bersih, panjang penyaluran, sambungan lewatan, kait, dan pemadatan beton perlu disertakan pada detail akhir. Gunawan dan Kristianto (2024) mengidentifikasi kesalahan pendetailan tulangan pada pekerjaan lapangan; meskipun objeknya rumah sederhana, penelitian tersebut mendukung pentingnya memastikan detail rencana dapat dilaksanakan dan diperiksa.

Batas Interpretasi dan Implikasi Penelitian

Secara keseluruhan, hasil mendukung manfaat pembesaran dimensi untuk meningkatkan kekakuan model. Namun, temuan bukan pernyataan kelayakan operasional bangunan terbangun. Mutu beton dan baja merupakan nilai rencana dari dokumen, bukan hasil pengujian aktual; fondasi tidak dianalisis; dan dinding pengisi hanya dimasukkan sebagai beban. Ruang tangga di atas atap yang tercantum pada dokumen sumber juga tidak dimasukkan dalam model global. Efek komponen tersebut, termasuk interaksi tanah–struktur, dapat mengubah massa, distribusi gaya, dan deformasi.

Kelas situs dan parameter gempa lokasi merupakan keterbatasan paling mendasar pada pembebanan, sedangkan redundansi menentukan ketegasan batas penerimaan. Perbedaan antara model portal dan model ETABS perlu diselesaikan melalui sumber massa, kekakuan efektif, kontribusi pelat, kondisi batas, dan kombinasi beban yang sama. Pemeriksaan lanjutan perlu meliputi simpangan pusat massa dan tepi, torsi tak terduga, efek P–Δ, gaya dalam yang berpasangan, kapasitas sambungan balok–kolom, dan fondasi. Tanpa keluaran tersebut, klaim bahwa alternatif memenuhi seluruh persyaratan rangka khusus melampaui bukti yang tersedia.

Implikasi praktis penelitian adalah menyediakan dasar terarah untuk analisis ulang, bukan menetapkan satu ukuran elemen sebagai solusi final. Alternatif penambahan dinding geser dapat dibandingkan dengan pembesaran portal dari sisi distribusi kekakuan, gaya fondasi, volume material, dan pelaksanaan. Hasil studi ini tidak menetapkan alternatif paling ekonomis karena belum tersedia estimasi biaya dan evaluasi komparatif. Untuk publikasi, kekuatan artikel terletak pada transparansi asumsi serta perbandingan terukur, bukan pada klaim keamanan yang tidak dapat diverifikasi.

KESIMPULAN

Konfigurasi berdasarkan gambar kerja menunjukkan kebutuhan perbaikan kekakuan dan kapasitas pada skenario analisis yang tersedia. Pembesaran kolom dari 450 × 450 mm

menjadi 600 × 600 mm dan balok induk dari 350 × 500 mm menjadi 350 × 600 mm menurunkan periode fundamental dari 0,866 menjadi 0,581 detik serta simpangan kritis dari 99,2 menjadi 42,4 mm. Akan tetapi, ketika batas simpangan dihitung dengan $\rho = 1{,}3$, seluruh rasio simpangan alternatif tetap melebihi satu. Dengan demikian, alternatif usulan menunjukkan peningkatan kekakuan model, tetapi belum dapat dinyatakan memenuhi seluruh persyaratan seismik.

Implikasinya, keputusan desain tidak boleh didasarkan hanya pada penurunan simpangan. Verifikasi akhir memerlukan data kelas situs, konsistensi faktor redundansi dalam pemodelan, pembandingan model dengan asumsi identik, pemeriksaan ketidakberaturan torsi, seluruh sambungan balok-kolom, dan rentang kombinasi aksial-lentur kritis. Penelitian lanjutan disarankan melakukan pemodelan ulang dengan data geoteknik terverifikasi dan dokumentasi keluaran perangkat lunak lengkap sehingga kesimpulan kepatuhan dapat diaudit secara independen.

Konfigurasi struktur atas berdasarkan gambar kerja memperlihatkan kekurangan kekakuan dan kapasitas tertentu dalam skenario analisis skripsi. Pembesaran kolom menjadi 600 × 600 mm dan balok induk menjadi 350 × 600 mm menurunkan periode fundamental sebesar 32,9 persen serta simpangan lantai 2 arah Y sebesar 57,3 persen, disertai kenaikan berat seismik 9,2 persen. Alternatif ini memenuhi batas simpangan yang dihitung dengan faktor redundansi 1,0, tetapi seluruh simpangannya melampaui batas apabila faktor 1,3 digunakan. Karena verifikasi ETABS terbatas pada karakteristik ragam, kelas situs masih diasumsikan, dan pemeriksaan sambungan serta fondasi belum lengkap, alternatif dimensi dinyatakan sebagai rekomendasi analitis bersyarat. Penetapan kelayakan akhir memerlukan bukti redundansi, parameter gempa lokasi, penyamaan model, serta verifikasi simpangan dan kapasitas yang menyeluruh.

PENDANAAN

Penulis menyatakan bahwa tidak ada dukungan finansial yang diterima untuk pelaksanaan penelitian ini dan/atau penerbitan artikel ini.

KONFLIK KEPENTINGAN

Penulis menegaskan bahwa mereka tidak memiliki hubungan finansial atau bisnis yang dapat dianggap sebagai konflik kepentingan saat melakukan penelitian ini.

KONTRIBUSI PENULIS

Raquel Feren Ferdinandus: konseptualisasi penelitian, perancangan metodologi, pengumpulan data, analisis data, penyusun manuskrip, dan revisi manuskrip. Kontribusi berikut ini diberikan oleh Mario Marthen Luther Moningka dan Seska Nicolaas: supervisi penelitian, validasi hasil, masukan ilmiah, serta peninjauan dan revisi naskah. Setelah meninjau versi akhir artikel, seluruh penulis memberikan persetujuan mereka.

PERNYATAAN PENGGUNAAN KECERDASAN ARTIFISIAL GENERATIF

Penulis menyatakan bahwa kecerdasan artifisial (AI) generatif digunakan dalam penyusunan manuskrip ini. Penulis mengakui penggunaan AI generatif untuk membantu meningkatkan kejelasan bahasa dan memperbaiki struktur tata bahasa manuskrip. Penggunaan

tersebut dilakukan dengan mematuhi pedoman etika yang berlaku mengenai penggunaan dan pengungkapan AI generatif dalam penelitian ilmiah. Setiap penulis telah memberikan kontribusi intelektual yang substansial terhadap karya ini. Seluruh isi manuskrip telah ditelaah secara cermat untuk memastikan keakuratannya, dan penulis bertanggung jawab sepenuhnya atas integritas serta isi akhir manuskrip

REFERENSI

Nasional, B. S. (2012). Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung. *Sni*, *1726*, 2012.

Badan Standardisasi Nasional. (2019b). SNI 2847:2019 Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan. Jakarta: Penulis.

Badan Standardisasi Nasional. (2020). SNI 1727:2020 Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain. Jakarta: Penulis.

Chalid, N. A., & Walujodjati, E. (2024). Evaluasi struktur beton bertulang dengan sistem rangka pemikul momen khusus pada gedung KORPRI Kab. Garut. *Jurnal Konstruksi*, 22(1), 67–75. https://doi.org/10.33364/konstruksi/v.22-1.1504

Febrianto, A., Erizal, & Putra, H. (2024). Analisis seismik struktur bangunan mengunakan ASCE 41-17 dan SNI 1726:2019. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 9(2), 211–220. https://doi.org/10.29244/jsil.9.2.211-220

Fuzairi, S. A., Sumajouw, M. D. J., & Pandaleke, R. E. (2023). Perencanaan ulang struktur bangunan gedung asrama 5 lantai di Politeknik Pelayaran Sulawesi Utara. *TEKNO*, 21(83). https://doi.org/10.35793/jts.v21i83.47447

Gunawan, J., & Kristianto, A. (2024). Evaluasi pengerjaan *detailing* tulangan pada komponen struktur beton bertulang pembangunan rumah sederhana di wilayah Kabupaten Bandung. *Jurnal Teknik Sipil*, 20(2), 286–301. https://doi.org/10.28932/jts.v20i2.6882

Honarto, R. J., Handono, B. D., & Pandaleke, R. E. (2019). Perencanaan bangunan beton bertulang dengan sistem rangka pemikul momen khusus di Kota Manado. *Jurnal Sipil Statik*, 7(2), 201–208. https://ejournal.unsrat.ac.id/v3/index.php/jss/article/view/22026

Hukama, R. D., & Erizal. (2023). Analisis kekuatan struktur pada bangunan 8 lantai berdasarkan respon spektrum SNI 03-1726-2019 menggunakan SAP2000. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 8(3), 127–136. https://doi.org/10.29244/jsil.8.03.127-136

Imaduddin, M., Melani, S., Oemiati, N., & Setiawati, M. (2024). Evaluasi respon struktur akibat penambahan lantai dengan metode analisis statik dan dinamik response spectrum. Bearing: Jurnal Penelitian dan Kajian Teknik Sipil, 9(1). https://doi.org/10.32502/jbearing.v9i1.8286

Irawan, D., & Machmoed, S. P. (2024). Perencanaan struktur beton bertulang gedung perkantoran Dira 10 lantai dengan metode sistem rangka pemikul momen khusus di Kabupaten Ende. Axial: Jurnal Rekayasa dan Manajemen Konstruksi, 12(2), 83–94. https://doi.org/10.30742/axial.v12i2.3378

Koloy, B., Pandaleke, R. E., & Kumaat, E. J. (2023). Perencanaan struktur beton bertulang gedung arsip 4 lantai. *TEKNO*, 21(84). https://doi.org/10.35793/jts.v21i84.49026

Lamia, N. W. M. T., Pandaleke, R. E., & Handono, B. D. (2020). Perencanaan struktur gedung beton bertulang dengan denah bangunan berbentuk L. *Jurnal Sipil Statik*, 8(4), 519–532. https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/jss/article/view/29899

Liando, F. J., Dapas, S. O., & Wallah, S. E. (2020). Perencanaan struktur beton bertulang gedung kuliah 5 lantai. *Jurnal Sipil Statik*, 8(4), 471–482. https://ejournal.unsrat.ac.id/v3/index.php/jss/article/view/29894

Ompi, F. G., Kumaat, E. J., Handono, B. D., & Pandaleke, R. E. (2025). Studi perbandingan dua peraturan gempa, SNI 1726-2012 dan SNI 1726-2019 khusus tentang gaya geser

dasar seismik pada gedung menggunakan ETABS. *TEKNO*, 23(93), 1835–1846. https://doi.org/10.35793/jts.v23i93.63885

Prayoga, M. H., & Bhisama, I. B. P. (2023). Analisis fragilitas struktur rangka kolom kuat-balok lemah beton bertulang akibat gempa. *Jurnal Spektran*, 11(1), 26–35. https://doi.org/10.24843/SPEKTRAN.2023.v11.i01.p04

Rabbani, N. (2026). Seismic performance of reinforced concrete frames with clay and lightweight brick infill walls using response spectrum analysis. Jurnal Teknik Sipil, 25(4), 2554–2564. https://doi.org/10.26418/jts.v25i4.101543

Santana, F. R., Budi, G. S., & Yusuf, M. (2026). Seismic performance evaluation of an eight-story reinforced concrete apartment building with special moment-resisting frame in Kubu Raya Regency. Jurnal Teknik Sipil, 26(1), 2631–2649. https://doi.org/10.26418/jts.v26i1.97408

Tampanguma, K. M., Windah, R. S., & Mondoringin, M. R. I. A. J. (2023). Desain dan analisa struktur kolom beton bertulang gedung bertingkat berdasarkan SNI 2847-2019. *TEKNO*, 21(86). https://doi.org/10.35793/jts.v21i86.53493

Tarelluan, A. P. M., Nicolaas, S., & Mantiri, H. G. (2026). Tinjauan perencanaan struktur atas Gedung Laboratorium Kesehatan Masyarakat Kota Manado dengan analisis respons spektrum berbasis ETABS. Jurnal Penelitian Rumpun Ilmu Teknik, 5(3), 307–326. https://doi.org/10.55606/juprit.v5i3.6951