

Evaluasi Kinerja Global dan Simpangan antar Lantai Struktur Gedung terhadap Gempa Ambon Menggunakan Analisis Pushover

Suci Putri Elza ^{1*}, Wahyu Helmi Lestari ²

¹⁻²Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana, Indonesia

*Penulis Korespondensi: suci.putri@mercubuana.ac.id

Abstract. Indonesia is located in a region with high seismic activity, making structural performance evaluation necessary to consider the seismic demand corresponding to the building location. This study evaluates the performance of the five-story SOHO Ginza PIK 2 Building, originally planned for Tangerang, when analyzed under the higher seismic demand of Ambon City. The model was developed using ETABS with existing dimensions, gravity loads, and spectrum parameters in accordance with SNI 1726:2019. Response spectrum analysis was performed on the existing model and two column modification schemes, namely column widening on Floors 2–3 and column widening by 100 mm. The model with widened columns that provided the best response was then compared with the existing model through pushover analysis. The performance point was obtained using the FEMA 440 Equivalent Linearization procedure, while the global performance level was interpreted using the ATC-40 drift limits. Under the Ambon spectrum, the maximum displacement of the existing structure in the X direction reached 86.99 mm and exceeded the limit, while the Y direction remained within the limit. Widening all columns reduced the displacement to 62.15 mm in the X direction and 53.26 mm in the Y direction. The global drift ratio at the performance point was approximately 0.014–0.018, within the Damage Control range. However, the interstory drift ratio on Floors 2–4 still exceeded the Life Safety limit. These results indicate that improvements in global stiffness and capacity do not always produce uniform improvements in local performance; therefore, global and local indicators should be considered simultaneously.

Keywords: Interstory Drift Ratio; Pushover Analysis; Response Spectrum Analysis; Seismic Demand; Structural Performance.

Abstrak. Indonesia berada pada wilayah dengan aktivitas seismik tinggi sehingga evaluasi kinerja struktur perlu mempertimbangkan seismic demand sesuai lokasi bangunan. Penelitian ini mengevaluasi kinerja Gedung SOHO Ginza PIK 2 lima lantai yang direncanakan untuk Tangerang ketika dianalisis terhadap seismic demand Kota Ambon yang lebih tinggi. Pemodelan dilakukan menggunakan ETABS dengan dimensi eksisting, beban gravitasi, dan parameter spektrum sesuai SNI 1726:2019. Response spectrum analysis dilakukan pada model eksisting dan dua skema modifikasi kolom, yaitu pelebaran kolom Lantai 2–3 dan pelebaran kolom sebesar 100 mm. Model pelebaran seluruh kolom yang memberikan respons terbaik kemudian dibandingkan dengan model eksisting melalui analisis pushover. Performance point diperoleh menggunakan prosedur FEMA 440 Equivalent Linearization, sedangkan global performance level diinterpretasikan menggunakan batas drift ATC-40. Pada spektrum Ambon, simpangan maksimum eksisting arah X mencapai 86,99 mm dan melampaui batas, sedangkan arah Y masih memenuhi. Pelebaran seluruh kolom menurunkan simpangan menjadi 62,15 mm pada arah X dan 53,26 mm pada arah Y. Global drift ratio pada performance point berada sekitar 0,014–0,018, yaitu pada rentang Damage Control. Namun, interstory drift ratio Lantai 2–4 masih melampaui batas Life Safety. Hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan kekakuan dan kapasitas global tidak selalu memperbaiki kinerja lokal secara seragam, sehingga indikator global dan lokal perlu digunakan bersamaan.

Kata kunci: Analisis Pushover; Interstory Drift Ratio; Kinerja Struktur; Response Spectrum Analysis; Seismic Demand.

1. LATAR BELAKANG

Indonesia berada pada kawasan dengan aktivitas seismik tinggi akibat interaksi beberapa lempeng tektonik aktif. Kondisi tersebut menyebabkan bangunan di Indonesia perlu dievaluasi terhadap *seismic demand* yang sesuai dengan karakteristik lokasi. Peristiwa gempa Ambon tahun 2019 memperlihatkan besarnya dampak seismik terhadap infrastruktur, sedangkan perkembangan ketentuan ketahanan gempa di Indonesia terus diarahkan pada pengendalian risiko kerusakan dan keselamatan struktur (BMKG, 2019; Nugroho et al., 2022)

Perubahan lokasi bangunan dapat menghasilkan *seismic demand* yang berbeda meskipun geometri dan sistem struktur tidak berubah (Mubarak et al., 2019). Studi komparatif terhadap kategori situs dan wilayah gempa menunjukkan bahwa perubahan karakteristik spektrum dapat memengaruhi simpangan dan efisiensi sistem struktur secara nyata (Elza et al., 2025; Guci et al., 2025). Dalam penelitian ini, Gedung SOHO Ginza PIK 2 lima lantai yang semula direncanakan untuk Tangerang dievaluasi apabila berada di Kota Ambon. Kondisi tersebut digunakan untuk menilai apakah respons struktur yang memenuhi kondisi awal tetap memadai ketika seismic demand meningkat (Monfareddi et al., 2022).

Analisis Pushover telah banyak digunakan untuk mengevaluasi kapasitas lateral, perkembangan sendi plastis, dan *performance level* struktur. Sejumlah penelitian menekankan penggunaan kurva kapasitas dan *performance point* dalam evaluasi bangunan bertingkat (Aji Mustofa et al., 2024; Erizal et al., 2024; Wulandari & Wardi, 2023) menunjukkan bahwa evaluasi *drift* yang dikombinasikan dengan mekanisme keruntuhan dapat memberikan gambaran kinerja struktur yang lebih menyeluruh. Pada konteks modifikasi atau retrofit, peningkatan kekakuan dan kapasitas global juga dapat mengubah distribusi deformasi sepanjang tinggi struktur (Gaetani d'Aragona et al., 2022; Hadzima-Nyarko et al., 2025). Oleh karena itu, evaluasi yang hanya menggunakan indikator global berpotensi memberikan interpretasi yang terlalu optimistis apabila konsentrasi deformasi antar tingkat tidak diperiksa.

Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kinerja Gedung SOHO Ginza PIK 2 terhadap spektrum gempa Ambon melalui Analisa respon spectrum dan pushover. Evaluasi difokuskan pada perubahan simpangan akibat modifikasi dimensi kolom, kapasitas lateral, perkembangan sendi plastis, performance point, serta perbandingan kinerja global dan simpangan antar lantai. Kontribusi penelitian diarahkan pada identifikasi kuantitatif hubungan antara perbaikan respons global dan perubahan respons lokal setelah modifikasi kolom

2. KAJIAN TEORITIS

Analisis Pushover dan Performance Point

Analisis pushover merupakan analisis statik nonlinier dengan peningkatan beban lateral secara bertahap untuk memperoleh hubungan gaya geser dasar dan control-point displacement hingga struktur memasuki kondisi inelastik (Guettala et al., 2025; Liu et al., 2010). Kurva kapasitas yang dihasilkan digunakan untuk menilai perubahan kekakuan, kapasitas lateral, dan perkembangan plastic mechanism struktur (Applied Technology Council, 1996; Erizal et al., 2024). Pada penelitian ini, analisis pushover dilakukan menggunakan ETABS. Output performance point diperoleh menggunakan prosedur FEMA 440 Equivalent Linearization yang

tersedia pada perangkat lunak (Applied Technology Council, 2005) , sedangkan interpretasi global performance level mengacu pada batas drift ATC-40.. Pemisahan ini diperlukan agar metode penentuan performance point konsisten dengan output perangkat lunak yang digunakan.

Evaluasi Kinerja Global dan Lokal

Kinerja global menggambarkan respons keseluruhan sistem, antara lain melalui control-point displacement, kurva kapasitas, dan rasio perpindahan global (Zhu et al., 2018). Sebaliknya, rasio simpangan antar lantai menggambarkan konsentrasi deformasi relatif antar lantai sehingga lebih sensitif untuk mendeteksi tingkat yang mengalami deformasi lokal berlebih. Penggunaan kedua indikator secara bersamaan telah digunakan pada evaluasi pushover dan retrofit karena peningkatan kapasitas sistem tidak selalu diikuti penurunan drift pada seluruh lantai (Firdha et al., 2021).

Kriteria Tingkat Kinerja Struktur Berdasarkan ATC-40

Batas drift ATC-40 yang digunakan sebagai acuan interpretasi global performance level disajikan pada Tabel 1. Rentang Damage Control berada di antara Immediate Occupancy (IO) dan Life Safety (LS), sedangkan evaluasi lokal pada penelitian ini mengikuti performance level yang diperoleh dari hasil model untuk setiap ratio simpangan antar lantai

Tabel 1. Batas drift ATC-40 yang digunakan dalam evaluasi

Parameter	Performance Level			
	<i>Immediate Occupancy (IO)</i>	<i>Damage Control</i>	<i>Life Safety (LS)</i>	<i>Structural Stability</i>
Maksimum total <i>drift</i>	0,01	0,01 s/d 0,02	0,02	0,33Vi/P
Maksimum total <i>in-elastik drift</i>	0,005	0,005 s/d 0,015	No limit	No Limit

Sumber: (Applied Technology Council, 1996)

3. METODE PENELITIAN

Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif melalui simulasi numerik pada Gedung SOHO Ginza PIK 2 lima lantai. Geometri dan dimensi elemen mengikuti model eksisting, sedangkan beban gravitasi dan parameter gempa disesuaikan dengan ketentuan SNI 1726:2019 (BSN, 2019). Tinggi titik kontrol/atap yang digunakan pada evaluasi global adalah 17 m. Model struktur dikembangkan pada ETABS sebagai sistem portal beton bertulang.

Response spectrum analysis dilakukan terhadap tiga kondisi model. Model M0 merupakan kondisi eksisting yang dibandingkan untuk spektrum Tangerang dan Ambon. Model M1 merupakan modifikasi kolom pada Lantai 2-3, sedangkan Model M2 merupakan

pelebaran seluruh kolom sebesar 100 mm. Perbandingan M1 dan M2 digunakan untuk menilai efektivitas perubahan kekakuan terhadap simpangan. Model M2 kemudian dipilih sebagai model modifikasi untuk analisis pushover karena memberikan pengendalian simpangan yang lebih baik, terutama pada arah X.

Tabel 2. Skenario pemodelan dan tahapan analisis

Model	Kondisi	Response spectrum analysis	Analisis Pushover
M0	Eksisting	Tangerang dan Ambon	Ya, spektrum Ambon
M1	Modifikasi kolom Lantai 2-3	Ambon	Tidak
M2	Pelebaran seluruh kolom +100 mm	Ambon	Ya, spektrum Ambon

Analisis Pushover dilakukan pada M0 dan M2 dalam arah X dan Y dengan pemodelan perilaku inelastik melalui sendi plastis pada elemen struktur. Kurva kapasitas, distribusi sendi plastis, dan performance point digunakan untuk membandingkan kapasitas sebelum dan sesudah modifikasi. Performance point ditentukan menggunakan prosedur FEMA 440 Equivalent Linearization pada ETABS (Applied Technology Council, 2005). Global drift ratio dihitung dari rasio target displacement terhadap tinggi bangunan, yaitu $\theta_{\text{global}} = \delta_t/H$, kemudian dibandingkan dengan batas ATC-40. Evaluasi lokal dilakukan menggunakan ratio simpangan antar lantai pada Lantai 2, Lantai 3, Lantai 4, dan atap.

Hasil selanjutnya dibandingkan secara kuantitatif untuk melihat perubahan simpangan maksimum, target displacement, kapasitas pada performance point, distribusi sendi plastis, serta perubahan ratio simpangan antar lantai. Interpretasi hasil juga dibandingkan dengan penelitian retrofit dan evaluasi pushover terdahulu untuk menilai apakah peningkatan kekakuan global menghasilkan kinerja lokal yang searah.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis kinerja struktur dilakukan melalui beberapa tahapan evaluasi yang saling melengkapi, meliputi respons simpangan akibat analisis dinamik respons spektrum, perubahan respons akibat modifikasi dimensi kolom, kurva kapasitas hasil analisis pushover, perkembangan sendi plastis, penentuan performance point, serta evaluasi kinerja berdasarkan parameter global dan simpangan antar lantai. Pendekatan tersebut digunakan untuk memperoleh gambaran tidak hanya mengenai kapasitas struktur secara keseluruhan, tetapi juga distribusi deformasi dan potensi kondisi kritis pada tingkat tertentu.

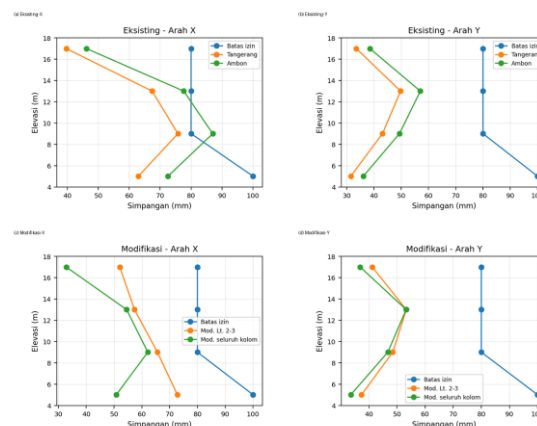
Respons Simpangan dan Efektivitas Modifikasi Kolom

Profil simpangan model eksisting dan model modifikasi ditunjukkan pada Gambar 1, sedangkan nilai maksimum setiap kondisi diringkas pada Tabel 3. Pada model eksisting, perubahan spektrum dari Tangerang ke Ambon meningkatkan simpangan pada kedua arah. Arah X menjadi paling kritis karena simpangan maksimum meningkat dari 75,746 mm menjadi 86,988 mm dan melampaui batas 80 mm pada Lantai 3. Pada arah Y, simpangan maksimum Ambon sebesar 57,024 mm masih berada di bawah batas yang digunakan.

Tabel 3. Ringkasan simpangan maksimum dan status pemenuhan

Kondisi	Arah X (mm)	Status X	Arah Y (mm)	Status Y
Eksisting - Tangerang	75,746	Memenuhi	49,786	Memenuhi
Eksisting - Ambon	86,988	Tidak memenuhi	57,024	Memenuhi
Modifikasi Lt. 2-3	72,793	Memenuhi	53,328	Memenuhi
Modifikasi seluruh kolom	62,150	Memenuhi	53,262	Memenuhi

Status ditentukan terhadap batas simpangan yang digunakan pada masing-masing lantai dalam model penelitian.

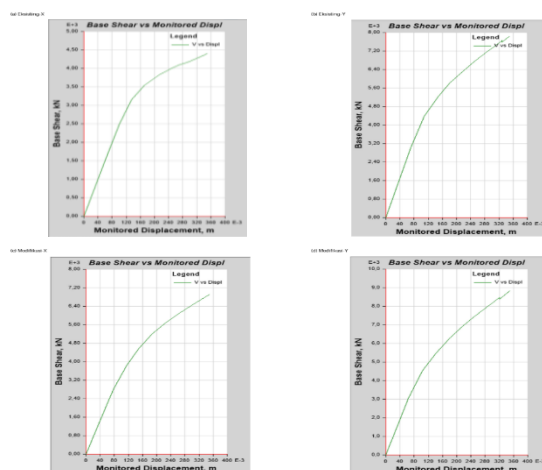


Gambar 1. Profil simpangan struktur eksisting dan model modifikasi pada arah X dan Y

Pelebaran seluruh kolom memberikan hasil yang lebih efektif dibandingkan modifikasi terbatas pada Lantai 2-3. Dibandingkan model eksisting Ambon, simpangan maksimum arah X menurun dari 86,988 mm menjadi 62,150 mm atau sekitar 28,6%, sedangkan arah Y menurun dari 57,024 mm menjadi 53,262 mm atau sekitar 6,6%. Perbedaan ini menunjukkan bahwa penambahan kekakuan lebih berpengaruh pada arah X yang sebelumnya menjadi arah kritis. Perbedaan respons antara kedua arah menunjukkan bahwa perubahan kondisi seismik dan karakteristik kekakuan struktur dapat menghasilkan tingkat deformasi yang berbeda pada setiap arah utama. Kecenderungan tersebut sejalan dengan (Elza et al., 2025; Monfaredi et al., 2022) yang menunjukkan bahwa perubahan karakteristik lokasi dan parameter gempa dapat memengaruhi respons deformasi struktur.

Perubahan Kapasitas Lateral Struktur

Kurva kapasitas model eksisting dan model modifikasi seluruh kolom disajikan pada Gambar 2. Pada kondisi eksisting, arah Y menunjukkan kapasitas lateral yang lebih besar dibandingkan arah X. Kecenderungan ini konsisten dengan hasil simpangan, yaitu arah X menghasilkan deformasi yang lebih besar pada spektrum Ambon. Setelah pelebaran seluruh kolom sebesar 100 mm, kurva kapasitas meningkat pada kedua arah dan peningkatan lebih nyata terjadi pada arah X.



Gambar 2. Kurva kapasitas model eksisting dan modifikasi pada arah X dan Y

Konsistensi antara penurunan simpangan dan peningkatan capacity curve menunjukkan bahwa modifikasi memberikan perbaikan pada respons global struktur. (Avulapalle et al., 2023) menunjukkan bahwa intervensi retrofit pada struktur beton bertulang dapat meningkatkan kekakuan awal dan kapasitas lateral. (Gaetani d’Aragona et al., 2022) juga menunjukkan bahwa perubahan kekakuan akibat retrofit dapat memengaruhi distribusi respons sepanjang tinggi struktur. Dengan demikian, peningkatan kapasitas pada Gambar 2 perlu dievaluasi bersama perkembangan plastic hinge dan interstory drift ratio, bukan digunakan sebagai indikator tunggal keberhasilan modifikasi

Perkembangan dan Distribusi Sendi plastis

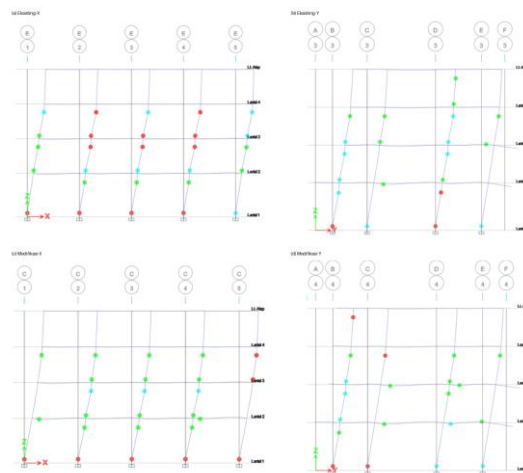
Perkembangan *plastic hinge* pada model eksisting dan modifikasi diringkas pada Tabel 4 dan divisualisasikan pada Gambar 3. Pada model eksisting, perkembangan respons inelastik yang lebih nyata teridentifikasi pada displacement sekitar 135,279 mm arah X dan 110,098 mm arah Y. Pada model modifikasi, kondisi serupa teridentifikasi pada displacement sekitar 115,151 mm arah X dan 102,745 mm arah Y. Nilai tersebut digunakan untuk menandai perkembangan respons inelastik yang mulai lebih nyata, sedangkan jumlah *plastic hinge* pada Tabel 4 disajikan pada *step akhir* analisis.

Tabel 4. Ringkasan distribusi plastic hinge pada step akhir

Model	Arah	Final displacement (mm)	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
Eksisting	X	350	1044	34	36	42	1156
Eksisting	Y	350	1052	57	34	13	1156
Modifikasi	X	350	1058	58	14	26	1156
Modifikasi	Y	350	1052	64	22	18	1156

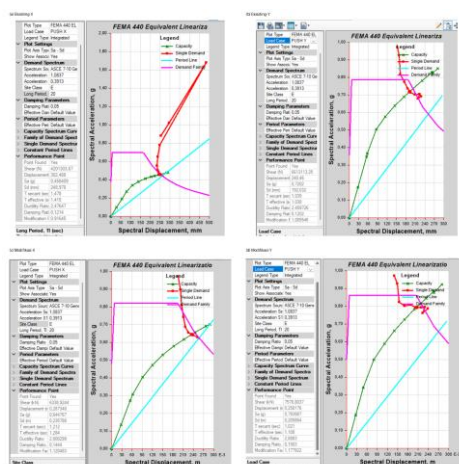
Jumlah sendi plastis pada Tabel 4 merupakan kondisi step akhir analisis pada displacement 350 mm.

Tabel 4 menunjukkan bahwa modifikasi mengubah distribusi performa level sendi plastis, tetapi respons inelastik tetap berkembang pada elemen struktur tertentu. Evaluasi lokasi sendi plastis lebih penting daripada hanya membandingkan jumlah totalnya karena mekanisme keruntuhan ditentukan oleh lokasi dan urutan plastifikasi. (Wulandari & Wardi, 2023) menunjukkan bahwa pola sendi plastis pada balok dan kolom berkaitan langsung dengan mekanisme global struktur. (Chong et al., 2024) menekankan bahwa *retrofit* dapat meningkatkan kekakuan dan kekuatan tetapi tetap perlu diperiksa terhadap evolusi kerusakan pada balok, kolom, dan sambungan.



Gambar 3. Distribusi sendi plastis pada step akhir model eksisting dan modifikasi
Performance Point dan Kinerja Global Struktur

Gambar 4 memperlihatkan performance point model eksisting dan modifikasi yang diperoleh dari FEMA 440 Equivalent Linearization pada ETABS. Untuk menjaga konsistensi evaluasi, global performance level selanjutnya ditentukan menggunakan total drift ratio berdasarkan target displacement dan tinggi bangunan 17 m, kemudian dibandingkan dengan batas ATC-40 pada Tabel 1.



Gambar 4. Performance point FEMA 440 Equivalent Linearization untuk model eksisting dan modifikasi

Tabel 5. Target displacement, global drift ratio, dan performance level

Model	Arah	Target displacement (m)	Global drift ratio	Performance level
Eksisting	X	0,302488	0,01779	Damage Control (IO-LS)
Eksisting	Y	0,240460	0,01414	Damage Control (IO-LS)
Modifikasi	X	0,286951	0,01688	Damage Control (IO-LS)
Modifikasi	Y	0,256033	0,01506	Damage Control (IO-LS)

Global drift ratio dihitung sebagai target displacement dibagi tinggi bangunan 17 m. Rentang 0,01-0,02 termasuk Damage Control, yaitu di antara IO dan LS menurut ATC-40.

Pada model eksisting, global drift ratio diperoleh sebesar 0,01779 pada arah X dan 0,01414 pada arah Y. Setelah modifikasi, nilainya menjadi 0,01688 pada arah X dan 0,01506 pada arah Y. Keempat kondisi berada pada rentang Damage Control antara Immediate Occupancy dan Life Safety berdasarkan batas maximum total drift ATC-40 (Applied Technology Council, 1996). Target displacement arah X menurun sekitar 5,1%, sedangkan arah Y meningkat sekitar 6,5%.

Evaluasi Simpangan Antar Lantai dan Sintesis Kinerja Global-Lokal

Evaluasi lokal dilakukan dengan membandingkan rasio simpangan antar lantai model eksisting dan modifikasi pada tingkat yang sama. Tabel 6 memperlihatkan bahwa perubahan drift setelah modifikasi tidak seragam sepanjang tinggi struktur. Pada arah X, drift Lantai 4 turun sekitar 29,7%, Lantai 3 hampir tidak berubah, sedangkan Lantai 2 meningkat sekitar 20,0%. Pada arah Y, penurunan hanya terjadi pada Lantai 4, sementara tingkat lain mengalami perubahan kecil ke arah peningkatan.

Tabel 6. Perbandingan rasio simpangan antar lantai sebelum dan sesudah modifikasi

Tingkat	X Eks.	X Mod.	ΔX	Y Eks.	Y Mod.	ΔY
Atap	0,0059 (IO)	0,00648 (IO)	+9,8%	0,0097 (IO)	0,01007 (DC)	+3,8%
Lantai 4	0,0289 (>LS)	0,02033 (>LS)	-29,7%	0,0247 (>LS)	0,02317 (>LS)	-6,2%
Lantai 3	0,028 (>LS)	0,0279 (>LS)	-0,4%	0,0263 (>LS)	0,0265 (>LS)	+0,8%
Lantai 2	0,0236 (>LS)	0,02832 (>LS)	+20,0%	0,0242 (>LS)	0,02464 (>LS)	+1,8%

Tanda negatif menunjukkan penurunan drift setelah modifikasi; kategori kinerja mengikuti klasifikasi yang digunakan pada model penelitian. Walaupun kinerja global berada pada rentang Damage Control di antara Immediate Occupancy dan Life Safety, evaluasi lokal menunjukkan bahwa interstory drift ratio pada Lantai 2–4 di kedua arah masih melampaui batas Life Safety. Pada tingkat atap, model eksisting dan modifikasi arah X berada pada kategori Immediate Occupancy, sedangkan arah Y berubah dari Immediate Occupancy pada model eksisting menjadi Damage Control setelah modifikasi. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa pengendalian simpangan global dan peningkatan kapasitas lateral belum menghasilkan perbaikan kinerja lokal yang seragam sepanjang tinggi struktur. (Gaetani d’Aragona et al., 2022) menunjukkan bahwa perubahan distribusi kekakuan akibat retrofit dapat memengaruhi konsentrasi deformasi antar tingkat. (Firdha et al., 2021) juga menunjukkan pentingnya mengevaluasi *drift* bersama mekanisme keruntuhan untuk memperoleh gambaran kinerja struktur yang lebih menyeluruh. Temuan tersebut mendukung hasil penelitian ini bahwa perubahan kekakuan akibat modifikasi kolom dapat menghasilkan redistribusi deformasi meskipun respons global struktur mengalami perbaikan.

Hasil penelitian ini memperlihatkan bahwa pelebaran seluruh kolom sebesar 100 mm efektif menurunkan simpangan global arah X sekitar 28,6% dan meningkatkan kapasitas pada performance point, tetapi tidak menghilangkan konsentrasi simpangan antar lantai pada Lantai 2-4. Dengan demikian, kontribusi utama terletak pada identifikasi kuantitatif bahwa pada struktur yang dievaluasi terhadap peningkatan *seismic demand* dari kondisi Tangerang ke Ambon, perbaikan simpangan dan kapasitas global akibat modifikasi kolom tidak selalu diikuti oleh perbaikan simpangan antar lantai secara seragam pada setiap tingkat.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Perubahan seismic demand dari Tangerang ke Ambon meningkatkan respons struktur dan menjadikan arah X sebagai arah kritis. Pada model eksisting Ambon, simpangan maksimum arah X mencapai 86,988 mm dan melampaui batas yang digunakan, sedangkan arah

Y sebesar 57,024 mm masih memenuhi. Pelebaran seluruh kolom sebesar 100 mm menurunkan simpangan maksimum menjadi 62,150 mm pada arah X dan 53,262 mm pada arah Y, setara dengan penurunan sekitar 28,6% dan 6,6%. Kurva kapasitas dan performance point juga menunjukkan peningkatan kapasitas global setelah modifikasi, terutama pada arah X.

Global drift ratio pada performance point berada pada rentang sekitar 0,014–0,018 sehingga dikategorikan sebagai Damage Control di antara Immediate Occupancy dan Life Safety berdasarkan ATC-40. Namun, evaluasi interstory drift ratio menunjukkan bahwa Lantai 2–4 masih melampaui batas Life Safety. Modifikasi menurunkan drift Lantai 4 arah X sekitar 29,7%, tetapi drift Lantai 2 arah X justru meningkat sekitar 20,0%. Dengan demikian, peningkatan kekakuan dan kapasitas global tidak secara otomatis menghasilkan perbaikan kinerja lokal yang seragam sepanjang tinggi struktur.

Modifikasi dimensi kolom efektif memperbaiki respons global struktur terhadap gempa Ambon, tetapi belum sepenuhnya mengatasi konsentrasi deformasi lokal. Evaluasi lanjutan perlu meninjau alternatif retrofit yang memperbaiki distribusi kekakuan dan mekanisme inelastik; keputusan retrofit harus mempertimbangkan parameter global dan lokal secara bersamaan.

DAFTAR REFERENSI

- Aji Mustofa, R., Riakara Husni, H., & Isneini, M. (2024). Evaluasi kinerja struktur gedung bertingkat dengan metode analisis pushover (Studi kasus: Gedung 6 Rumah Sakit Pendidikan Perguruan Tinggi Negeri [RSPTN] Universitas Lampung). *Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain*, 12(1). <https://doi.org/10.23960/jrsdd.v12i1.4316>
- Applied Technology Council. (1996). *Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings (ATC-40)*.
- Applied Technology Council. (2005). *Improvement of nonlinear static seismic analysis procedures (FEMA 440)*.
- Avulapalle, N., Chenna, R., & Vemuri, J. (2023). Assessment of seismic retrofitting interventions in reinforced concrete structures. *Geohazard Mechanics*, 1(2), 194–202. <https://doi.org/10.1016/j.ghm.2023.04.003>
- BMKG. (2019). *Ulasan guncangan tanah akibat gempabumi di Ambon Maluku*. <https://www.bmkg.go.id/gempabumi/ulasan-guncangan-tanah/ulasan-guncangan-tanah-akibat-gempabumi-di-ambon-maluku-26-september-2019>
- BSN. (2019). *SNI 1726-2019 tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung*.
- Chong, X., Liu, H., Xie, L., Zhou, A., Huang, J., & Sha, H. (2024). Experimental investigation of retrofitting seismically damaged reinforced-concrete frames using steel jacketing. *Structures*, 62. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2024.106243>

- Elza, S. P., Citra, Z., Edra Swasti, T., & Komerdevi, D. (2025). Analisis perbandingan simpangan akibat gempa pada bangunan 7 lantai di berbagai kategori situs tanah di Indonesia. *Jurnal Media Konstruksi*, 10(2). <https://doi.org/10.33772/jmk.v10i2.156>
- Erizal, E., Arrafi, N. R., & Mentari, S. (2024). Evaluation of seismic performance of Sabilulungan 99 Tower structure in Bandung Regency with nonlinear pushover static analysis method. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 30(2), 166–176. <https://doi.org/10.14710/mkts.v30i2.65172>
- Firdha, R. A., Mohd Isneini, H., Riakara Husni, H., & Widyawati, R. (2021). Analisis kinerja struktur gedung bertingkat terhadap beban gempa dengan metode pushover analysis (Studi kasus: Gedung Rawat Inap Non-Bedah Rumah Sakit Umum Daerah). *Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain*, 9(4), 829–840. <https://doi.org/10.23960/jrsdd.v9i4.2201>
- Gaetani d'Aragona, M., Polese, M., & Prota, A. (2022). Stick model for as-built and retrofitted infilled RC frames. *Engineering Structures*, 268. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2022.114735>
- Guci, J. M., Zulhendra, R., Putri Yastari, F., & Putri Elza, S. (2025). Studi komparatif efisiensi struktur Mall 7 lantai pada tanah SE dan SD terhadap beban gempa di Sumatera Barat. *Jurnal Media Konstruksi*, 10(2). <https://doi.org/10.33772/jmk.v10i2.137>
- Hadzima-Nyarko, M., Işık, E., Radu, D., Bulajić, B., Lozančić, S., Radić, J., & Ereš, A. (2025). Effectiveness of high-performance concrete jacketing in improving the performance of RC structures. *Applied Sciences*, 15(21). <https://doi.org/10.3390/app152111421>
- Liu, S. W., Liu, Y. P., & Chan, S. L. (2010). Pushover analysis by one element per member for performance-based seismic design. *International Journal of Structural Stability and Dynamics*, 10(1), 111–126. <https://doi.org/10.1142/S0219455410003385>
- Monfaredi, S., Hamidi, H., & Khosravi, H. (2022). Characterization of site location versus the causative fault in seismic demands of structures. *Structures*, 40, 693–710. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2022.04.062>
- Mubarak, M., Abdullah, A., Azmeri, A., & Hayati, Y. (2019). Cost estimation of structural components of a building by considering the seismic load on different regions. *Advances in Civil Engineering*, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/7357913>
- Nugroho, W. O., Sagara, A., & Imran, I. (2022). The evolution of Indonesian seismic and concrete building codes: From the past to the present. *Structures*, 41, 1092–1108. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2022.05.032>
- Wulandari, W., & Wardi, S. (2023). Seismic performance of an RC building using pushover analysis (Case study: Three-storey flat house building in Padang City). *JCEBT*, 7(1). <http://ojs.uma.ac.id/index.php/jcebt>
- Zhu, Z.-C., Luo, Y.-F., & Xiang, Y. (2018). Global stability analysis of spatial structures based on Eigen-stiffness and structural Eigen-curve. *Journal of Constructional Steel Research*, 141, 226–240. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2017.11.003>