Journal Scientific of Mandalika (JSM)
https://www.ojs.cahayamandalika.com/index.php/jomla

Vol. 7, No. 9, 2026
e-ISSN: 2745-5955 | p-ISSN: 2809-0543
pp. 969-976

.

Analisis kekuatan bangunan terhadap gaya gempa pada gedung ruko 4 lantai citraland medan sampali

Muara Diva Rajagukguk,[1]* Eng Supriatno[2], Tika Ermita Wulandari[3]
[1,2,3]Program studi teknik sipil fakultas teknik Universitas Medan Area Medan
*Corresponding Author e-mail: rajagukgukmuara46@gmail.com

Abstrak

Indonesia is located at the convergence of three major tectonic plates, making it one of the countries with the highest levels of seismic activity in the world. Therefore, every building must be designed and evaluated to ensure adequate resistance to earthquake loads. This study aims to analyze the structural strength and evaluate the seismic performance of the four-story commercial building at the Citraland Medan Sampali Project using the nonlinear static (pushover) analysis method. The study was conducted by developing a three-dimensional structural model using SAP2000 software in accordance with the provisions of SNI 1726:2019. The structural performance was evaluated based on the ATC-40 Capacity Spectrum Method through the analysis of the capacity curve, the formation of plastic hinges, and the determination of the structural performance level. The analysis results indicate that the structure exhibits nonlinear behavior as the earthquake load increases. The maximum story drift values obtained were 0.0011494 in the X-direction and 0.0009923 in the Y-direction, both of which are within the allowable limits specified by ATC-40. Plastic hinges developed gradually in the beams and columns without indicating sudden structural failure. Based on the evaluation, the structural performance level is classified as Immediate Occupancy (IO), indicating that the building remains safe for occupancy after the design earthquake with only minor structural damage. Therefore, the four-story commercial building at the Citraland Medan Sampali Project has sufficient capacity to withstand the design earthquake and satisfies the structural performance requirements based on the ATC-40 method.

***Keywords**: Building Structure, Seismic Performance, Pushover, SAP2000,ATC-40, SNI 1726:2019.*

Abstrak

Indonesia merupakan negara yang berada pada pertemuan tiga lempeng tektonik utama dunia sehingga memiliki tingkat aktivitas gempa yang tinggi. Kondisi tersebut mengharuskan setiap bangunan direncanakan dan dievaluasi agar memiliki ketahanan yang memadai terhadap beban gempa. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kekuatan serta mengevaluasi kinerja seismik struktur Gedung Ruko 4 Lantai Citraland Medan Sampali terhadap beban gempa menggunakan metode analisis statik nonlinier (*pushover*). Penelitian dilakukan melalui pemodelan struktur tiga dimensi menggunakan perangkat lunak SAP2000 dengan mengacu pada ketentuan SNI 1726:2019. Evaluasi kinerja struktur dilakukan berdasarkan metode ATC-40 Capacity Spectrum melalui analisis kurva kapasitas, pembentukan sendi plastis, serta penentuan tingkat kinerja struktur. Hasil analisis menunjukkan bahwa struktur mengalami perilaku nonlinier seiring dengan peningkatan beban gempa. Nilai *story drift* yang diperoleh sebesar 0,0011494 pada arah X dan 0,0009923 pada arah Y masih berada di bawah batas yang dipersyaratkan oleh ATC-40. Pembentukan sendi plastis terjadi secara bertahap pada elemen balok dan kolom tanpa menunjukkan indikasi keruntuhan mendadak. Berdasarkan hasil evaluasi, tingkat kinerja struktur termasuk dalam kategori *Immediate Occupancy (IO)*, yang menunjukkan bahwa bangunan masih aman digunakan setelah mengalami gempa dengan tingkat kerusakan struktural yang relatif kecil. Dengan demikian, Gedung Ruko 4 Lantai Citraland Medan Sampali memiliki kapasitas yang memadai dalam menahan beban gempa rencana dan memenuhi kriteria kinerja struktur berdasarkan metode ATC-40.

Kata Kunci: Struktur Gedung, Kinerja Seismik, Pushover, SAP2000, ATC-40, SNI 1726:2019.

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang berada pada kawasan tektonik aktif karena dipengaruhi oleh pertemuan beberapa lempeng tektonik utama dunia. Kondisi tersebut menyebabkan sebagian besar wilayah Indonesia memiliki tingkat ancaman gempa bumi yang relatif tinggi dengan karakteristik bahaya yang berbeda-beda antardaerah. Gempa bumi tidak hanya menimbulkan korban jiwa, tetapi juga dapat menyebabkan kerusakan bahkan keruntuhan bangunan apabila struktur tidak memiliki kapasitas yang memadai dalam menerima beban lateral akibat gempa. Oleh karena itu, aspek ketahanan terhadap gempa menjadi salah satu pertimbangan utama dalam perencanaan dan evaluasi struktur bangunan, khususnya bangunan bertingkat yang memiliki tingkat kerentanan dan konsekuensi kerusakan yang lebih besar. Evaluasi terhadap perilaku struktur diperlukan untuk memastikan bahwa bangunan mampu memenuhi tingkat keselamatan yang dipersyaratkan ketika menerima beban gempa rencana maupun kondisi gempa yang lebih besar dari kondisi desain (Usman et al., 2021; Firdha et al., 2021).

Copyright©2026, Author (s)
This is an open-access article under the CC-BY-SA License.

https://doi.org/10.36312/jomla.v7i8.6721

Beban gempa memiliki karakteristik yang berbeda dengan beban gravitasi karena bekerja secara dinamis dan dapat menghasilkan respons berupa gaya lateral, perpindahan, simpangan antar lantai, serta pembentukan sendi plastis pada elemen struktur. Ketika gaya gempa bekerja pada bangunan, struktur akan mengalami respons getaran yang dipengaruhi oleh massa, kekakuan, redaman, serta periode getar alami bangunan. Apabila tuntutan gempa melebihi kapasitas struktur, elemen-elemen struktural dapat mengalami pelelehan dan kerusakan yang berkembang menjadi mekanisme keruntuhan. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa evaluasi struktur tidak cukup hanya dilakukan berdasarkan kekuatan elastis, tetapi juga perlu mempertimbangkan kemampuan struktur dalam mengalami deformasi dan berperilaku inelastis sebelum mencapai kondisi keruntuhan (Rachman et al., 2019; Firdha et al., 2021).

Dalam konteks perencanaan bangunan tahan gempa di Indonesia, evaluasi struktur perlu mengacu pada ketentuan teknis yang berlaku, salah satunya SNI 1726:2019 tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung. Penerapan standar tersebut penting karena karakteristik bahaya gempa di Indonesia bersifat spesifik terhadap lokasi, sehingga parameter seismik, respons spektrum, kategori risiko, kondisi tanah, serta sistem struktur harus diperhitungkan secara tepat. Penelitian Suwondo et al. menunjukkan bahwa analisis statik nonlinear dapat digunakan untuk mengevaluasi kinerja struktur beton bertulang yang dirancang berdasarkan SNI 1726:2019, dengan penilaian kinerja dilakukan terhadap kriteria penerimaan struktur. Hal tersebut memperlihatkan pentingnya penggabungan antara ketentuan desain berbasis SNI dengan evaluasi perilaku struktur secara nonlinear untuk memperoleh gambaran kapasitas struktur yang lebih komprehensif (Suwondo et al., 2022).

Salah satu pendekatan yang dapat digunakan untuk mengevaluasi kapasitas dan perilaku struktur terhadap beban gempa adalah metode *pushover analysis*. Metode ini merupakan analisis statik nonlinear yang memberikan beban lateral secara bertahap dan terus meningkat sehingga dapat diketahui hubungan antara gaya geser dasar (*base shear*) dan perpindahan struktur (*displacement*). Melalui kurva kapasitas tersebut dapat ditentukan kapasitas struktur, titik kinerja (*performance point*), distribusi sendi plastis, simpangan, serta tingkat kinerja struktur ketika menerima tuntutan gempa. Dengan demikian, metode *pushover* memberikan informasi mengenai tahapan perilaku struktur dari kondisi elastis menuju kondisi inelastis hingga mendekati mekanisme keruntuhan yang tidak dapat diperoleh secara memadai hanya melalui analisis statik linear (Aulia et al., 2022; Kurniawati et al., 2021.

Sejumlah penelitian terdahulu telah menerapkan metode *pushover analysis* untuk mengevaluasi kinerja struktur bangunan terhadap gempa. Usman et al. (2021), misalnya, melakukan analisis respons dan kinerja struktur bangunan pada beberapa wilayah dengan tingkat risiko gempa yang berbeda dan menunjukkan bahwa lokasi dengan karakteristik seismik berbeda menghasilkan respons struktur yang berbeda pula. Penelitian Putri et al. (2022) juga menerapkan *pushover analysis* pada struktur beton bertulang bertingkat untuk mengevaluasi kinerja seismiknya ketika bangunan menerima beban gempa yang melebihi kondisi rencana. Sementara itu, penelitian Firdha et al. (2021) menggunakan *pushover analysis* untuk mengevaluasi struktur gedung bertingkat berdasarkan SNI 1726:2019 dan ATC-40, termasuk simpangan antar lantai, tingkat kinerja, serta mekanisme keruntuhan struktur. Hasil berbagai penelitian tersebut menunjukkan bahwa analisis nonlinear *pushover* relevan digunakan sebagai instrumen evaluasi kinerja struktur bangunan di Indonesia.

Penelitian lainnya juga memperlihatkan bahwa metode *pushover* mampu memberikan informasi yang lebih rinci mengenai kapasitas dan tingkat kinerja bangunan. Wibawa et al. (2021), misalnya, menerapkan analisis statik nonlinear *pushover* pada gedung empat lantai dan mengevaluasi kinerja struktur berdasarkan perpindahan target serta *performance level*. Penelitian Zebua dan Koespiadi (2022) menggunakan metode *pushover* dengan pendekatan ATC-40 untuk mengidentifikasi nilai perpindahan, distribusi sendi plastis, serta pola kerusakan dan keruntuhan pada bangunan bertingkat. Penelitian pada bangunan rumah tinggal di Kota Padang juga menunjukkan bahwa perubahan standar gempa dari SNI 1726:2012 menjadi SNI 1726:2019 dapat meningkatkan tuntutan gaya geser dasar, sehingga evaluasi nonlinear diperlukan untuk mengetahui kapasitas aktual struktur terhadap tuntutan gempa tersebut (Wibawa et al., 2021; Zebua & Koespiadi, 2022; Harsono et al., 2023).

Meskipun berbagai penelitian mengenai evaluasi kinerja struktur dengan metode *pushover* telah dilakukan, masih terdapat kesenjangan penelitian dalam penerapannya pada bangunan dengan karakteristik lokasi dan konfigurasi fungsi tertentu. Sebagian penelitian terdahulu berfokus pada gedung perkantoran, hotel, rumah sakit, fasilitas pendidikan, apartemen, atau bangunan beton bertulang dengan konfigurasi tertentu. Sementara itu, kajian yang secara spesifik mengevaluasi struktur ruko empat lantai pada kawasan pengembangan baru CitraLand Medan Sampali dengan mempertimbangkan parameter kegempaan dan karakteristik tanah lokasi penelitian masih terbatas. Padahal, respons struktur terhadap gempa tidak hanya ditentukan oleh konfigurasi dan sistem struktur, tetapi juga dipengaruhi oleh karakteristik seismik lokasi, kondisi tanah, parameter respons spektrum, serta fungsi dan konfigurasi bangunan yang ditinjau (Usman et al., 2021; Suwondo et al., 2022).

Gedung ruko empat lantai di kawasan CitraLand Medan Sampali memiliki karakteristik yang menarik untuk dikaji karena bangunan ruko pada umumnya mempunyai fungsi ruang yang beragam dan dapat mengalami perubahan konfigurasi maupun penggunaan ruang. Kondisi tersebut perlu diperhatikan dalam evaluasi struktur karena distribusi massa, kekakuan, konfigurasi elemen struktur, serta pola pembebanan dapat memengaruhi respons bangunan terhadap gaya lateral. Selain itu, lokasi bangunan yang berada di wilayah Sumatera Utara memerlukan penentuan parameter gempa dan respons spektrum berdasarkan lokasi pembangunan serta standar yang berlaku. Oleh sebab itu, evaluasi kinerja struktur dengan pendekatan

nonlinear diperlukan agar dapat diketahui apakah kapasitas struktur yang direncanakan mampu memenuhi tuntutan gempa pada lokasi tersebut (Firdha et al., 2021; Suwondo et al., 2022). .

Urgensi penelitian ini semakin kuat karena evaluasi kinerja struktur bukan hanya bertujuan untuk mengetahui apakah bangunan memenuhi persyaratan kekuatan, tetapi juga untuk mengidentifikasi perilaku struktur ketika memasuki kondisi inelastis. Informasi mengenai *performance point*, kapasitas gaya geser dasar, perpindahan maksimum, simpangan antar lantai, serta distribusi sendi plastis dapat digunakan untuk menentukan tingkat kinerja dan potensi mekanisme keruntuhan bangunan. Informasi tersebut penting sebagai dasar pengambilan keputusan teknis, terutama dalam menentukan apakah struktur memiliki kapasitas yang memadai atau memerlukan penyesuaian dan penguatan pada elemen tertentu. Dengan demikian, hasil evaluasi dapat mendukung penerapan konsep bangunan tahan gempa yang tidak hanya berorientasi pada kekuatan, tetapi juga pada keselamatan dan kemampuan struktur mempertahankan fungsi setelah mengalami gempa (Kurniawati et al., 2021; Aulia et al., 2022).

Kebaruan penelitian ini terletak pada penerapan analisis *pushover* terhadap struktur ruko empat lantai pada kawasan pengembangan CitraLand Medan Sampali dengan menggunakan parameter kegempaan lokasi dan ketentuan SNI 1726:2019 sebagai dasar evaluasi. Penelitian ini mengintegrasikan pemodelan struktur tiga dimensi dengan parameter respons spektrum yang disesuaikan dengan lokasi proyek sehingga evaluasi tidak hanya bersifat umum, tetapi mempertimbangkan kondisi spesifik bangunan yang diteliti. Selain itu, penelitian ini menganalisis hubungan kapasitas struktur dengan tuntutan gempa melalui kurva kapasitas, *performance point*, simpangan antar lantai, serta mekanisme pembentukan sendi plastis. Pendekatan tersebut diharapkan dapat memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai kemampuan struktur ruko dalam menghadapi beban gempa dibandingkan evaluasi yang hanya didasarkan pada analisis linear (Suwondo et al., 2022; Firdha et al., 2021). .

Berdasarkan permasalahan, fenomena, hasil penelitian terdahulu, dan kesenjangan penelitian tersebut, penelitian ini penting dilakukan untuk mengetahui tingkat kinerja dan kapasitas struktur ruko empat lantai di kawasan CitraLand Medan Sampali terhadap beban gempa. Secara khusus, penelitian ini bertujuan untuk: (1) menganalisis respons struktur bangunan terhadap beban gempa berdasarkan SNI 1726:2019; (2) menentukan kapasitas struktur melalui *pushover analysis* berdasarkan hubungan *base shear* dan *displacement*; (3) menentukan *performance point* dan tingkat kinerja struktur; (4) mengevaluasi simpangan antar lantai serta distribusi sendi plastis; dan (5) mengidentifikasi potensi mekanisme keruntuhan struktur sebagai dasar penilaian keamanan bangunan. Dengan demikian, pertanyaan utama penelitian ini adalah bagaimana tingkat kinerja dan kapasitas struktur ruko empat lantai CitraLand Medan Sampali ketika menerima tuntutan gempa berdasarkan SNI 1726:2019 dan hasil analisis nonlinear *pushover*? Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi referensi teknis dalam evaluasi dan pengembangan bangunan tahan gempa pada kawasan dengan karakteristik seismik yang serupa.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan desain analisis numerik untuk mengevaluasi kinerja struktur Gedung Ruko 4 Lantai Proyek CitraLand Medan Sampali terhadap beban gempa. Pendekatan kuantitatif dipilih karena penelitian menggunakan data numerik berupa dimensi elemen struktur, mutu material, beban gravitasi, parameter kegempaan, perpindahan, gaya geser dasar (*base shear*), serta hasil analisis struktur yang kemudian diolah secara objektif. Analisis dilakukan dengan metode pushover analysis, yaitu analisis statik nonlinear dengan memberikan beban lateral secara bertahap hingga struktur mencapai target perpindahan tertentu. Metode ini dapat digunakan untuk mengetahui kapasitas struktur, pola pembentukan sendi plastis, serta tingkat kinerja bangunan terhadap tuntutan gempa (FEMA, 2000; FEMA, 2009).

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada Gedung Ruko 4 Lantai Proyek CitraLand Medan Sampali, yang berlokasi di Jalan Kesuma, Desa Sampali, Kecamatan Percut Sei Tuan, Medan, Sumatera Utara. Pemilihan lokasi didasarkan pada karakteristik bangunan dan kebutuhan untuk mengevaluasi kemampuan struktur terhadap beban gempa berdasarkan kondisi lokasi pembangunan. Parameter kegempaan dan respons struktur ditentukan dengan mengacu pada SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung, yang saat ini berstatus berlaku menurut Badan Standardisasi Nasional (BSN, 2019). Penelitian dilakukan pada periode pengumpulan data, pemodelan, analisis, dan interpretasi hasil sesuai dengan jadwal pelaksanaan penelitian.

Populasi dan Sampel/Subjek Penelitian

Populasi dalam penelitian ini berupa keseluruhan struktur bangunan Gedung Ruko 4 Lantai Proyek CitraLand Medan Sampali. Karena penelitian difokuskan pada satu bangunan, teknik yang digunakan adalah total sampling, sehingga seluruh elemen struktur utama yang terdapat pada objek penelitian dijadikan bagian dari model analisis. Elemen yang dianalisis meliputi balok, kolom, pelat, serta sistem struktur yang berfungsi dalam menerima dan menyalurkan beban gravitasi maupun beban lateral akibat gempa. Dengan demikian, tidak dilakukan pengambilan sampel secara statistik karena objek penelitian merupakan satu kesatuan struktur bangunan.

Teknik Pengumpulan Data

Data penelitian dikumpulkan melalui survei lapangan, dokumentasi, dan studi dokumen teknis proyek. Survei lapangan dilakukan untuk memperoleh informasi mengenai kondisi dan konfigurasi bangunan, sedangkan dokumentasi digunakan untuk

memperoleh data geometrik serta kondisi elemen struktur. Data sekunder diperoleh dari gambar teknis proyek yang meliputi denah, dimensi balok dan kolom, konfigurasi pelat, jumlah lantai, serta informasi material. Mutu material yang digunakan dalam pemodelan adalah beton dengan fc' = 21 MPa dan baja tulangan dengan fy = 420 MPa. Data tersebut selanjutnya digunakan sebagai input pemodelan struktur tiga dimensi.

Instrumen Penelitian

Instrumen utama penelitian terdiri atas lembar observasi lapangan, dokumen gambar struktur, dokumentasi bangunan, serta perangkat lunak SAP2000 V14 sebagai instrumen analisis numerik. Model struktur dibuat dalam bentuk tiga dimensi dengan mendefinisikan material, penampang balok dan kolom, serta elemen pelat. Pelat dimodelkan menggunakan elemen *shell*, sedangkan setiap lantai dimodelkan sebagai rigid diaphragm untuk merepresentasikan distribusi gaya lateral pada tingkat lantai. Pembebanan struktur meliputi beban mati, beban hidup, dan beban gempa yang ditentukan berdasarkan ketentuan SNI 1726:2019. Standar tersebut secara khusus mengatur perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung (BSN, 2019).

Teknik Analisis Data

Analisis data dilakukan secara bertahap. Tahap pertama adalah validasi model dengan memeriksa periode alami struktur, mode shape, dan partisipasi massa. Setelah model memenuhi kriteria yang ditetapkan, dilakukan analisis nonlinear dengan memasukkan plastic hinge pada elemen struktur. Hinge tipe M3 digunakan pada kedua ujung balok, sedangkan hinge tipe PMM digunakan pada kedua ujung kolom berdasarkan parameter perilaku nonlinear yang mengacu pada FEMA 356. Selanjutnya dilakukan *pushover analysis* pada arah X dan Y dengan memberikan beban lateral secara bertahap sampai mencapai target displacement. Hasil analisis berupa kurva kapasitas (*capacity curve*), base shear, displacement, distribusi sendi plastis, simpangan antar lantai, dan performance point.

Evaluasi tingkat kinerja struktur dilakukan berdasarkan pendekatan *performance-based assessment*. Tingkat kinerja yang digunakan meliputi Immediate Occupancy (IO), Life Safety (LS), dan Collapse Prevention (CP). Ketiga tingkat tersebut digunakan untuk menggambarkan kondisi struktur berdasarkan tingkat kerusakan dan kemampuan struktur setelah menerima tuntutan gempa (FEMA, 2009). Seluruh hasil kemudian dianalisis secara deskriptif dan dibandingkan dengan kriteria penerimaan yang digunakan untuk menentukan apakah struktur Gedung Ruko 4 Lantai CitraLand Medan Sampali memiliki kapasitas dan tingkat kinerja yang memadai terhadap beban gempa.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Evaluasi Kapasitas Struktur Berdasarkan *Pushover curve*

Hasil evaluasi terhadap kurva pushover menunjukkan bahwa struktur telah memasuki fase perilaku inelastis, yang ditandai dengan mulai terbentuknya sendi plastis pada beberapa elemen struktur yang berperan sebagai penahan beban utama. Terbentuknya sendi plastis tersebut mengindikasikan bahwa respons struktur tidak lagi sepenuhnya berada pada kondisi elastis, melainkan telah mengalami perubahan perilaku akibat redistribusi gaya dalam sebagai konsekuensi dari peningkatan beban lateral. Apabila pembebanan terus ditingkatkan, jumlah dan penyebaran sendi plastis diperkirakan akan semakin berkembang pada elemen-elemen struktur lainnya. Kondisi tersebut dapat mengurangi kapasitas struktur dalam mempertahankan kestabilannya serta meningkatkan kemungkinan terbentuknya mekanisme keruntuhan apabila kapasitas elemen struktur telah terlampaui.

Secara umum, hasil analisis pushover menunjukkan bahwa struktur masih mampu menahan beban lateral dengan baik hingga mencapai kapasitas maksimumnya. Setelah kapasitas tersebut terlampaui, terjadi penurunan kekakuan struktur yang ditunjukkan oleh perubahan kemiringan pada kurva hubungan gaya–perpindahan. Kondisi ini mengindikasikan bahwa kemampuan elemen-elemen struktur dalam menahan beban mulai mengalami penurunan akibat berkembangnya deformasi inelastis. Akibatnya, peningkatan perpindahan struktur menjadi lebih besar meskipun kenaikan gaya yang terjadi relatif kecil. Fenomena tersebut menunjukkan bahwa struktur telah memasuki fase penurunan kapasitas, sehingga apabila pembebanan terus meningkat, risiko terjadinya kerusakan yang lebih serius hingga mekanisme kegagalan struktur akan semakin besar.

Perkembangan perilaku plastis yang terus berlanjut dapat menyebabkan kerusakan terkonsentrasi pada elemen struktur tertentu, terutama di lantai bawah yang menerima gaya geser paling besar. Kondisi ini meningkatkan risiko kerusakan yang lebih parah hingga potensi keruntuhan apabila struktur mengalami gempa kuat. Oleh karena itu, hasil analisis kurva pushover menjadi acuan penting dalam mengevaluasi tingkat keamanan serta kinerja seismik struktur secara menyeluruh. Untuk mengurangi risiko kerusakan, diperlukan upaya mitigasi melalui perkuatan elemen struktur yang kritis, peningkatan sistem penahan gaya lateral, serta pemenuhan kriteria perencanaan sesuai standar yang berlaku. Penerapan langkah-langkah tersebut diharapkan dapat meningkatkan kapasitas dan daktilitas struktur, sehingga bangunan tetap memiliki kinerja yang aman, stabil, dan mampu meminimalkan potensi kerusakan saat menerima beban gempa maupun beban lateral lainnya.

Analisis tingkat kinerja struktur berdasarkan ATC-40

ATC-40 (Applied Technology Council-40) menyediakan pendekatan desain seismik berbasis kinerja (*performance-based seismic design*) melalui analisis pushover untuk mengevaluasi ketahanan struktur terhadap beban gempa. Metode ini

memungkinkan penilaian perilaku struktur secara bertahap hingga mencapai kondisi perpindahan tertentu, sehingga kemampuan bangunan dalam menahan beban gempa dapat dievaluasi secara menyeluruh.

Dalam ATC-40, kinerja struktur diklasifikasikan ke dalam beberapa level kinerja yang ditentukan berdasarkan kriteria simpangan antar lantai (*story drift*) pada saat target perpindahan tercapai. Nilai story drift hasil analisis pushover dibandingkan dengan batas kinerja yang ditetapkan untuk menentukan level kinerja struktur.

Analisis Pada Arah -X

Tingkatan kinerja struktur pada bangunan dapat ditentukan berdasarkan kriteria *drift* yang didapatkan pada saat titik kinerja tercapai. Berdasarkan perhitungan maksimum total *drif* yaitu dengan membagi nilai *displacement* arah -X dengan total tinggi struktur dengan perhitungan sebagai berikut.

Berdasarkan hasil analisis *pushover* arah -X diketahui data sebagai berikut:

Base shear = 8.046,789 kN.

Displacement (D) = 0.17701 m = 17,701 mm

Tinggi Struktur (H) = 15,4 m = 15400 mm

Maka, *drift* $= \frac{\text{D (mm)}}{\text{H (mm)}} = \frac{17{,}701 \text{ mm}}{15400 \text{ mm}}$

$= 0{,}0011494$ mm

Berdasarkan analisis ATC -40 nilai maksimum *total drift ratio* < 0,01 masuk kedalam kategori *Immediate Occupancy* berarti bangunan aman pada saat terjadinya gempa bumi, gedung tidak mengalami kerusakan yang berarti dan gedung dapat segera untuk difungsikan.

Maka diambil kesimpulan analisis ATC-40 pada arah -X level kinerja *Immediate Occupancy (IO).*

Analisis Pada Arah -Y

Analisis pada arah -Y tingkatan kinerja struktur pada bangunan dapat ditentukan berdasarkan kriteria *drift* yang didapatkan pada saat titik kinerja tercapai. Berdasarkan perhitungan maksimum total *drift* yaitu dengan membagi nilai *displacement* arah -Y dengan total tinggi struktur dengan perhitungan sebagai berikut.

Berdasarkan hasil analisis *pushover* arah -Y diketahui data sebagai berikut:

Base shear = 3.555,481 kN.

Displacement (D) = 0.152827 m = 15,282 mm

Tinggi Struktur (H) = 15,4 m = 15400 mm

Maka, *drift* $= \frac{\text{D (mm)}}{\text{H (mm)}} = \frac{15{,}282 \text{ mm}}{15400 \text{ mm}}$

$= 0{,}0009923$ mm

Berdasarkan analisis ATC -40 nilai maksimum total *drift ratio* < 0,01 masuk kedalam kategori *Immediate Occupancy* berarti bangunan aman pada saat terjadinya gempa bumi, gedung tidak mengalami kerusakan yang berarti dan gedung dapat segera untuk difungsikan.

Maka diambil kesimpulan analisis ATC-40 pada arah -Y level kinerja *Immediate Occupancy (IO).*

Tabel 31. Hasil Penentuan Kinerja Struktur

Metode Spektrum	Evaluasi Gedung	Story Drift	Level Kinerja
Arah X	15,4 m	0,0011494 mm	IO
Arah Y	15,4 m	0,0009923 mm	IO

Mekanisme Keruntuhan Struktur

Berdasarkan hasil analisis pushover, struktur menunjukkan perilaku nonlinier seiring dengan meningkatnya beban lateral yang diberikan. Perubahan perilaku tersebut ditandai dengan berkembangnya sendi plastis pada elemen struktur secara bertahap hingga mencapai *performance point*. Kondisi ini menunjukkan bahwa struktur masih mampu mengalami deformasi inelastis dan mendisipasikan energi gempa tanpa mengalami kehilangan kapasitas secara tiba-tiba. Selain itu, titik kinerja yang masih berada pada zona aman mengindikasikan bahwa mekanisme keruntuhan yang terjadi berlangsung secara bertahap sehingga struktur tetap memiliki kemampuan untuk mempertahankan kestabilannya selama menerima pembebanan gempa rencana.

Urutan Terbentuknya Sendi Plastis

Hasil analisis menunjukkan bahwa pembentukan sendi plastis terjadi secara bertahap selama proses pembebanan. Pada tahap awal, seluruh elemen struktur masih berada dalam kondisi elastis. Seiring bertambahnya beban lateral, elemen struktur mulai memasuki fase plastis yang ditandai dengan terbentuknya sendi plastis pada balok dan kolom. Perkembangan tersebut berlangsung secara progresif hingga struktur mencapai *performance point*, tanpa menunjukkan indikasi keruntuhan mendadak. Pola ini menunjukkan bahwa struktur masih memiliki kemampuan deformasi yang baik dalam merespons pembebanan gempa.

Distribusi Kerusakan Struktur

Distribusi kerusakan dievaluasi berdasarkan perkembangan sendi plastis selama analisis pushover. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kerusakan berkembang secara bertahap pada elemen balok dan kolom, tanpa mengindikasikan kegagalan struktur secara menyeluruh. Kondisi ini menunjukkan bahwa struktur masih mampu mendistribusikan beban lateral secara efektif

meskipun telah memasuki daerah plastis. Dengan demikian, kerusakan yang terjadi masih berada dalam batas yang dapat diterima sesuai kriteria evaluasi kinerja berdasarkan ATC-40.

Kapasitas Struktur terhadap Gempa Rencana

Evaluasi kapasitas struktur dilakukan berdasarkan kurva pushover dan hasil penentuan *performance point* menggunakan metode *Capacity Spectrum.* Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai *story drift* sebesar 0,0011494 pada arah X dan 0,0009923 pada arah Y masih berada di bawah batas yang dipersyaratkan oleh ATC-40, sehingga tingkat kinerja struktur termasuk dalam kategori Immediate Occupancy (IO). Kondisi tersebut menunjukkan bahwa struktur masih memiliki kapasitas yang memadai untuk menahan pengaruh gempa rencana dengan tingkat kerusakan yang relatif kecil. Bangunan diperkirakan tetap dapat difungsikan setelah gempa dan masih mampu memberikan tingkat keselamatan bagi penghuninya.

Implikasi hasil penelitian terhadap keamanan struktur ruko 4 lantai

Hasil penelitian menunjukkan bahwa ruko empat lantai masih memiliki kapasitas yang memadai dalam menahan beban gempa berdasarkan evaluasi kurva pushover dengan metode ATC-40 Capacity Spectrum. Posisi *performance point* yang masih berada pada zona aman menunjukkan bahwa struktur mampu mengalami deformasi dan menyerap energi gempa tanpa mengalami kerusakan struktural yang signifikan. Dengan kondisi tersebut, bangunan diperkirakan tetap stabil saat menerima gempa rencana serta mampu memberikan waktu yang cukup bagi proses evakuasi penghuni.

Meskipun demikian, adanya indikasi awal perilaku plastis pada beberapa elemen struktur, yang ditunjukkan oleh perubahan kemiringan kurva pushover, menunjukkan bahwa balok dan kolom perlu dievaluasi lebih lanjut. Apabila diperlukan, perkuatan atau retrofit pada elemen yang mendekati batas kapasitas dapat dilakukan untuk meningkatkan kinerja struktur. Mengingat ruko empat lantai merupakan bangunan komersial dengan tingkat aktivitas yang cukup tinggi, aspek keselamatan struktur harus tetap menjadi prioritas dalam evaluasi dan pengembangan desain selanjutnya.

Rekomendasi Perbaikan dan penguatan Struktur

Berdasarkan hasil evaluasi kapasitas struktur ruko empat lantai menggunakan analisis pushover dengan metode *ATC-40 Capacity Spectrum*, peningkatan kinerja struktur dapat dilakukan sebagai langkah untuk meningkatkan ketahanan bangunan terhadap beban gempa. Salah satu upaya yang dapat diterapkan adalah perkuatan pada balok dan kolom menggunakan *concrete jacketing* atau *steel jacketing* guna meningkatkan kapasitas tekan dan ketahanan terhadap gaya geser. Selain itu, penggunaan material *Fiber Reinforced Polymer (FRP)* dapat menjadi alternatif untuk meningkatkan kapasitas tarik sekaligus memperbaiki daktilitas struktur. Perbaikan juga dapat dilakukan melalui penebalan elemen yang mengalami deformasi relatif besar serta penguatan sambungan balok–kolom agar mampu menyalurkan gaya secara lebih efektif dan meningkatkan kinerja struktur secara menyeluruh.

Selain perkuatan pada elemen struktur, penerapan sistem pengendali respons gempa seperti *base isolator* atau *viscous damper* dapat dipertimbangkan apabila diperlukan untuk mengurangi perpindahan lateral dan meningkatkan kemampuan struktur dalam meredam energi gempa. Alternatif lain yang dapat diterapkan adalah penambahan *shear wall* atau sistem *steel bracing* pada lokasi yang sesuai untuk meningkatkan kekakuan dan kapasitas struktur terhadap beban lateral. Pemeliharaan kualitas material juga perlu diperhatikan melalui perbaikan retak beton, penggantian elemen yang mengalami kerusakan, serta pemeriksaan kondisi sambungan apabila ditemukan penurunan kinerja. Di samping itu, inspeksi dan pemeliharaan secara berkala, terutama setelah terjadi gempa, penting dilakukan untuk memastikan kondisi struktur tetap memenuhi persyaratan keselamatan. Dengan langkah-langkah tersebut, kinerja dan keandalan ruko empat lantai diharapkan dapat tetap terjaga serta memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap beban gempa di masa mendatang.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis statik nonlinier (pushover) terhadap Gedung Ruko 4 Lantai Citraland Medan Sampali menggunakan perangkat lunak SAP2000 dengan mengacu pada SNI 1726:2019 dan ATC-40, dapat disimpulkan bahwa struktur bangunan memiliki kapasitas yang memadai dalam menahan beban gempa rencana. Kurva kapasitas menunjukkan bahwa struktur masih mampu menerima peningkatan beban lateral hingga mencapai kondisi nonlinier tanpa mengalami kehilangan kekuatan secara tiba-tiba.

Hasil evaluasi menunjukkan bahwa nilai *story drift* sebesar 0,0011494 pada arah X dan 0,0009923 pada arah Y masih berada di bawah batas yang dipersyaratkan oleh ATC-40. Selain itu, pembentukan sendi plastis terjadi secara bertahap dan sebagian besar diawali pada elemen balok sebelum menyebar ke elemen struktur lainnya. Kondisi ini menunjukkan bahwa mekanisme keruntuhan struktur telah mengikuti konsep *strong column-weak beam*, sehingga perilaku struktur terhadap beban gempa tergolong daktail dan mampu mendisipasikan energi gempa dengan baik. Berdasarkan hasil tersebut, tingkat kinerja struktur berada pada kategori *Immediate Occupancy (IO).* Secara rekayasa, kondisi ini mengindikasikan bahwa bangunan masih berada pada tingkat keamanan yang baik ketika menerima beban gempa rencana. Kerusakan yang mungkin terjadi diperkirakan hanya bersifat ringan, terutama pada elemen nonstruktural, sehingga kekuatan dan kestabilan struktur utama tetap terjaga. Dengan demikian, bangunan masih dapat difungsikan setelah terjadi gempa tanpa mengalami gangguan yang signifikan terhadap keselamatan penghuninya.

Implikasi dari hasil penelitian ini menunjukkan bahwa Gedung Ruko 4 Lantai Citraland Medan Sampali telah memiliki tingkat ketahanan gempa yang memadai sesuai dengan kriteria evaluasi yang digunakan. Oleh karena itu, bangunan dinilai aman untuk digunakan pada kondisi gempa rencana sesuai standar yang berlaku. Meskipun demikian, pemeriksaan dan pemeliharaan struktur secara berkala tetap diperlukan untuk menjaga kinerja bangunan selama masa layan serta mengantisipasi penurunan kapasitas struktur akibat pengaruh umur bangunan, perubahan fungsi, maupun kejadian gempa yang lebih besar dari gempa rencana.

SARAN

Berdasarkan hasil evaluasi kinerja seismik struktur gedung bertingkat melalui analisis pushover menggunakan perangkat lunak SAP2000, diperoleh beberapa rekomendasi yang dapat dijadikan acuan untuk pengembangan penelitian maupun penerapan di masa mendatang, yaitu sebagai berikut:

1. Penelitian selanjutnya dapat menambahkan variasi beban gempa, termasuk pengaruh gempa dengan intensitas lebih tinggi, untuk memperoleh gambaran yang lebih komprehensif terkait kapasitas maksimum struktur.
2. Penambahan dinding geser (shear wall) pada lokasi-lokasi strategis dapat meningkatkan kekakuan lateral bangunan dan mengurangi deformasi akibat beban gempa. Selain itu, penggunaan sistem bracing baja, seperti X-bracing atau K-bracing, juga dapat meningkatkan kapasitas geser dan stabilitas struktur secara keseluruhan.
3. Analisis pushover statik nonlinier memiliki keterbatasan dalam merepresentasikan pengaruh gempa aktual yang bersifat dinamis. Oleh karena itu, disarankan pada penelitian selanjutnya dilakukan analisis time history nonlinier menggunakan rekaman gempa real atau gempa buatan agar respons struktur dapat dievaluasi secara lebih realistis.

DAFTAR PUSTAKA

1. Badan Standardisasi Nasional, *SNI 1726:2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung*. Jakarta: BSN, 2019.
2. Badan Standardisasi Nasional, *SNI 1727:2020 Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain*. Jakarta: BSN, 2020.
3. Badan Standardisasi Nasional, *SNI 2847:2019 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan*. Jakarta: BSN, 2019.
4. Applied Technology Council, *ATC-40: Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*. Redwood City, CA: Applied Technology Council, 1996.
5. Federal Emergency Management Agency, *FEMA 356: Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings*. Washington, DC: FEMA, 2000.
6. R. A. Firdha, M. Isneini, H. R. Husni, and R. Widyawati, "Analisis kinerja struktur gedung bertingkat terhadap beban gempa dengan metode pushover analysis," *Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain*, vol. 9, no. 4, 2021. doi: 10.23960/jrsdd.v9i4.2201.
7. A. P. Usman, Rosidawani, and S. P. Mutmainna, "Analisis respons dan kinerja struktur bangunan gedung menggunakan pushover analysis," *Jurnal Saintis*, vol. 21, no. 2, pp. 87–96, 2021. doi: 10.25299/saintis.2021.vol21(02).7585.
8. R. A. Suwondo, L. Mellyati, and S. Alama, "Pushover analysis of reinforced concrete building seismically designed based on SNI 1726-2019," *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 998, no. 1, p. 012005, 2022. doi: 10.1088/1755-1315/998/1/012005.
9. D. Zebua and Koespiadi, "Performance evaluation of highrise building structure based on pushover analysis with ATC-40 method," *Applied Research on Civil Engineering and Environment*, vol. 3, no. 2, pp. 54–63, 2022. doi: 10.32722/arcee.v3i02.4334.
10. D. I. R. Dewi, "Evaluasi kinerja struktur gedung dengan metode pushover analysis sesuai pedoman ATC-40," *Inersia: Jurnal Teknik Sipil*, vol. 12, no. 1, pp. 1–11, 2020. doi: 10.33369/ijts.12.1.1-11.
11. A. F. Arjakoni and M. Lutfi, "Evaluasi kinerja seismik pada struktur gedung Rumah Sakit Pendidikan Universitas Indonesia dengan metode analisis pushover berdasarkan ATC 40," *Jurnal Komposit: Jurnal Ilmu-Ilmu Teknik Sipil*, vol. 4, no. 2, pp. 67–73, 2022. doi: 10.32832/komposit.v4i2.3764.
12. I. M. S. Wibawa, I. K. D. K. Tubuh, and P. P. L. A. Prawira, "Analisis kinerja struktur gedung dengan analisis pushover pada proyek Gedung Rektorat Universitas Mahasaraswati Denpasar," *Jurnal Ilmiah Kurva Teknik*, vol. 10, no. 2, 2021. doi: 10.36733/jikt.v10i2.3001.
13. D. F. Aulia, I. Sudarsono, and F. Mulyawati, "Evaluasi kinerja struktur gedung bertingkat dengan pemodelan struktur 3D berdasarkan analisis statik beban dorong (pushover analysis)," *CIVED: Journal of Civil Engineering and Vocational Education*, vol. 9, no. 3, 2022. doi: 10.24036/cived.v9i3.436112.
14. W. Wulandari and S. Wardi, "Seismic performance of an RC building using pushover analysis: Case study: Three-storey flat house building in Padang City," *Journal of Civil Engineering, Building and Transportation*, vol. 7, no. 1, pp. 18–23, 2023. doi: 10.31289/jcebt.v7i1.8564.

15. S. Wardi and U. Ramadhani, "Analisis kinerja seismik gedung dengan pushover analysis: Studi kasus gedung perkantoran tiga tingkat yang runtuh akibat gempa Palu 2018," *Cantilever: Jurnal Penelitian dan Kajian Bidang Teknik Sipil*, vol. 12, no. 1, 2023. doi: 10.35139/cantilever.v12i1.190.
16. K. K. D. Sungkono, E. A. Krisdianti, and Gunarso, "Analisis kinerja struktur pada gedung bertingkat dengan analisis pushover berdasarkan ATC-40," *Jurnal Teknik Sipil dan Arsitektur*, vol. 29, no. 2, 2024. doi: 10.36728/jtsa.v29i2.3300.
17. A. Kurniawandy and S. Nakazawa, "A proposal of seismic index for existing buildings in Indonesia using pushover analysis," *Journal of Engineering and Technological Sciences*, vol. 52, no. 3, 2020. doi: 10.5614/j.eng.technol.sci.2020.52.3.2.
18. Z. M. C. A. Razaq and F. Ma'arif, "Performance evaluation of low-rise steel structures using pushover analysis: Case study of Jeep Indonesia Brand Center Alam Sutera showroom building," *Journal of Applied Civil Engineering and Practices*, vol. 1, no. 1, 2025. doi: 10.21831/jacep.v1i1.1016.
19. M. Hidayat, Y. Abdurrasyid, and Maidiawati, "Analisis pengaruh posisi dinding geser terhadap kapasitas seismik struktur gedung beton bertulang dengan metode analisis pushover," *Jurnal Bangunan, Konstruksi & Desain*, vol. 3, no. 4, pp. 195–208, 2025. doi: 10.25077/jbkd.3.4.195-208.2025.
20. E. Erizal, N. R. Arrafi, and S. Mentari, "Evaluasi kinerja seismik struktur Menara Sabilulungan 99 Kabupaten Bandung dengan metode analisis statis nonlinear pushover," *Media Komunikasi Teknik Sipil*, vol. 30, no. 2, pp. 166–176, 2024. doi: 10.14710/mkts.v30i2.65172.
21. A. J. Pierre and I. Hidayat, "Seismic performance of reinforced concrete structures with pushover analysis," *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 426, p. 012045, 2020. doi: 10.1088/1755-1315/426/1/012045.
22. S. Fuqaha and G. Nugroho, "Seismic stiffness evaluation of RC dual systems in varying geometries: A pushover-based study using Indonesian codes," *Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan*, vol. 27, no. 2, 2025. doi: 10.15294/jtsp.v27i2.25494.
23. N. F. Faradhilla, Erizal, and S. Mentari, "Evaluation of the seismic performance of the X Building structure in West Jakarta using nonlinear pushover static analysis," *J-SIL: Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, vol. 10, no. 2, pp. 307–318, 2025. doi: 10.29244/jsil.10.2.307-318.
24. T. R. Putra, T. Widodo, and R. D. Atmaja, "Analisis pushover pada kekuatan struktur beton bertulang tahan gempa Gedung Graha Adhyaksa Kejaksaan Kota Blitar menggunakan SAP 2000," *Journal of Science Nusantara*, vol. 5, no. 4, 2025. doi: 10.28926/jsnu.v5i4.2105.
25. K. Z. C. Wira, R. M. Ikshan, Supriyo, D. R. Kusumastuti, and D. B. Setiawan, "Building strength analysis based on SNI 1726-2019 and the performance of building structure based on ATC-40 with pushover analysis method: Case study: Laboratory Building of Fakultas Kedokteran Unimus Semarang," *Proceedings of IC-ASS 2023*, 2024. doi: 10.2991/978-2-38476-202-6_36.