

Evaluasi kinerja seismik gedung bertingkat banyak dengan metode analisis *pushover* berdasarkan pedoman ATC-40 dan FEMA 356 (Studi kasus: Hotel Oakwood Yogyakarta)

Aulia Ananda Bahtiar^{1,*}, Anggit Mas Arifudin¹

¹Program Sarjana Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, Indonesia

Article Info

Available online

Keywords:

Pushover
Performance point
Plastic hinges
Structural performance

Corresponding Author:

Aulia Ananda Bahtiar
auliaanandab413@gmail.com
[m](#)

Abstract

Yogyakarta is one of the regions with a notable history of earthquakes, such as those that occurred in May 2006, August 2004, May 2001, and June 1992. These seismic activities have had significant impacts on society, ranging from loss of life to damage of building infrastructure, thereby highlighting the need for evaluating the performance of structures in resisting earthquakes. This study was conducted on the structure of the Oakwood Hotel Yogyakarta, a 10-story building serving as temporary accommodation, located on A. M. Sangaji Street, Jetis, Yogyakarta. Given its close proximity to residential buildings and public facilities such as Jetis 1 State Elementary School, assessing the building's seismic performance is crucial to minimize collapse risk and ensure the safety of occupants and nearby residents. The analysis was using the nonlinear static pushover analysis method to approximate seismic loading conditions more realistically. The pushover analysis was performed with the aid of ETABS software to obtain the capacity curve, plastic hinge mechanism, and structural performance level, based on the assessment guidelines provided in ATC-40 and FEMA 356. The pushover analysis output in the form of a capacity curve indicated the performance point values according to ATC-40 as follows: for the X direction, $V = 17773.776$ kN and $\delta = 0,126$ m, and for the Y direction, $V = 21340,786$ kN and $\delta = 0,106$ m. Meanwhile, based on FEMA 356, the performance point values were: for the X direction, $V = 17716,38$ kN and $\delta = 0,125$ m, and for the Y direction, $V = 13841,35$ kN and $\delta = 0,031$ m. The study results show that the structural capacity level according to ATC-40 is at the Immediate Occupancy level for both X and Y directions, while based on FEMA 356, the structure also falls under the Immediate Occupancy level for both directions. The plastic hinge mechanism in the structure complies with the SCWB (strong column–weak beam) principle, where plastic hinges are formed first in the beam elements.

Copyright © 2026 Universitas Islam Indonesia
All rights reserved

Pendahuluan

Indonesia merupakan negara yang memiliki tingkat aktivitas seismik yang tinggi akibat terletak di pertemuan tiga lempeng litosferik dunia, yaitu Lempeng Indo-Australia, Lempeng Eurasia, dan Lempeng Pasifik (Rumbyarso, 2024). Daerah Istimewa Yogyakarta yang dilalui Sesar Opak aktif

meningkatkan probabilitas terjadinya gempa bumi di wilayah tersebut, hingga saat ini Daerah Istimewa Yogyakarta termasuk sebagai salah satu kawasan di Indonesia yang memiliki riwayat kejadian gempa bumi yang cukup panjang. Sejumlah peristiwa gempa yang terjadi pada masa sebelumnya telah menimbulkan berbagai dampak kerugian, salah satunya berupa kerusakan pada infrastruktur. Dalam kacamata Teknik

Sipil, hal tersebut menjadi suatu dasar perancangan desain struktur bangunan yang tahan gempa.

Dalam perancangan struktur bangunan tahan gempa, khususnya pada gedung bertingkat banyak, pendekatan desain telah berkembang dari sekadar memperhatikan kekuatan (*strength*) menuju pendekatan berbasis kinerja (*performance*). Konsep *Performance-Based Seismic Design* (PBSD) digunakan untuk menilai sejauh mana suatu bangunan dapat mempertahankan fungsi dan keselamatannya setelah mengalami beban gempa, sehingga evaluasi struktur tidak hanya menilai kekuatan, tetapi juga perilaku deformasi dan tingkat kerusakan yang mungkin terjadi.

Penelitian ini mengambil studi kasus Gedung Hotel Oakwood Yogyakarta yang memiliki 10 lantai dan berfungsi sebagai akomodasi publik. Gedung ini berada di kawasan padat penduduk dan berdekatan dengan fasilitas umum seperti sekolah dasar. Kondisi tersebut menjadikan evaluasi kinerja struktur terhadap beban gempa sangat penting untuk memastikan keselamatan penghuni dan lingkungan sekitar, terutama karena bangunan berada di wilayah rawan seismik.

Untuk memperoleh gambaran perilaku struktur yang realistis terhadap beban gempa, digunakan analisis *pushover*, yaitu metode analisis non-linear statik yang dapat menunjukkan respons inelastik struktur secara bertahap hingga kondisi mendekati keruntuhan. Hasil analisis ditampilkan dalam bentuk kurva kapasitas yang menunjukkan keterkaitan antara gaya lateral dengan perpindahan pada puncak bangunan, kemudian dibandingkan dengan spektrum gempa target untuk menentukan tingkat kinerja struktur. Evaluasi kinerja dilakukan berdasarkan ATC-40 dan FEMA 356, yang mengklasifikasikan kondisi struktur ke dalam level *Immediate Occupancy* (IO), *Life Safety* (LS), dan *Collapse Prevention* (CP).

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

- [1] memperoleh kurva kapasitas dari struktur Gedung Hotel Oakwood Yogyakarta melalui analisis *pushover*.
- [2] menentukan level kinerja struktur berdasarkan kriteria performa berdasarkan pedoman ATC-40 dan FEMA 356 serta perbandingan hasil level kinerja antara pedoman ATC-40 dan FEMA 356.
- [3] mengidentifikasi mekanisme sendi plastis yang pada struktur akibat beban gempa yang diberikan melalui analisis *pushover*.

Tinjauan Pustaka

Penelitian Prasetyo dkk. (2020) berjudul *Evaluasi Kinerja Struktur Bangunan Menggunakan Pushover Analysis dengan Metode ATC-40 dan FEMA 356* yang bertujuan untuk menganalisis kinerja struktur gedung RSGM UGM Prof. Soedomo menggunakan metode non-linear *pushover* sehingga dapat memastikan objek penelitian mampu menerima beban gempa. Kinerja struktur dievaluasi saat menerima beban gempa sesuai SNI 1726-2012, dimana level kinerjanya ditentukan dengan mengacu pada dua pedoman yaitu ATC-40 (1996) dan FEMA 356 (2000). Berdasarkan hasil analisis *pushover* menggunakan pedoman ATC-40, diperoleh titik kinerja (*performance point*) pada arah X dengan nilai percepatan spektral (S_a) sebesar 0,737 dan perpindahan spektral (S_d) sebesar 0,200, sedangkan pada arah Y diperoleh $S_a = 0,680$ dan $S_d = 0,225$. Nilai *drift ratio* hasil perhitungan menunjukkan sebesar 0,01165 pada arah X dan 0,0127 pada arah Y, yang menandakan bahwa kinerja struktur berada dalam kategori *Immediate Occupancy* (IO). Selanjutnya, mengacu pada ketentuan FEMA 356, diperoleh nilai perpindahan lateral sebesar 0,00437 (0,437%) untuk arah X serta 0,006 (0,6%) untuk arah Y. Hasil tersebut kembali mengonfirmasi bahwa struktur Gedung Hotel Oakwood Yogyakarta termasuk ke dalam tingkat kinerja *Immediate Occupancy* (IO).

Penelitian yang dilakukan oleh Syahira & Jamal (2023) berjudul *Evaluasi Kinerja Struktur Atas pada Desain Gedung Perkantoran Menggunakan Analisis Pushover berdasarkan ATC-40 Terhadap Beban Gempa Level Besar (Maximum Considered Earthquake, Risk Targeted)*. Penelitian ini dilaksanakan pada sebuah gedung perkantoran di Kota Padang dengan menerapkan metode analisis *pushover* nonlinier yang menggunakan pembebanan gempa tingkat besar MCER (*Maximum Considered Earthquake, Risk Targeted*). Level kinerja struktur ditentukan dengan mencari nilai gaya geser serta displacement dari hasil analisis menggunakan beban gempa MCE_R , selanjutnya kinerja struktur ditentukan berdasarkan pedoman ATC-40 (1996). Penelitian ini menghasilkan output analisis berupa nilai *performance point* yang menunjukkan kapasitas struktur terhadap beban gempa. Berdasarkan hasil analisis, diperoleh nilai $V = 20.149,839$ kN dengan $\delta = 0,309$ m untuk arah X, sedangkan untuk arah Y diperoleh nilai $V = 26.643,81$ kN dan $\delta = 0,231$ m. Sehingga, tingkat kinerja struktur tersebut berada pada level *Damage Control* (DC).

Penelitian yang dilakukan oleh Zebua dkk. (2023) berjudul *Evaluation of Seismic Performance of Hospital Building Using Pushover Analysis Based on ATC-40 yang bertujuan untuk mengetahui level kinerja struktur pada struktur gedung Gedung Rumah Sakit Cut Nyak Dhien Meulaboh, Aceh, menggunakan metode analisis non-linear pushover*. Pada proses pembangunannya terjadi perubahan dari desain yang telah dirancang pada 2016. Beban gempa dalam penelitian ini mengacu pada SNI 1726-2019 dan SNI 1727-2020. Analisis dilakukan untuk mengevaluasi respons struktur terhadap beban gempa, meliputi mekanisme pembentukan sendi plastis, nilai perpindahan (*displacement*), serta gaya geser struktur. Tingkat kinerja struktur ditentukan berdasarkan nilai *drift ratio* hasil analisis sesuai pedoman ATC-40. Berdasarkan hasil analisis, diperoleh nilai gaya geser maksimum sebesar 20090,204

kN pada arah X dan 19832,572 kN pada arah Y. Nilai perpindahan maksimum yang terjadi masing-masing sebesar 0,052 m untuk arah X dan 0,058 m untuk arah Y. Pola pembentukan sendi plastis diawali pada elemen balok dan selanjutnya terjadi pada elemen kolom, yang menandakan bahwa konsep *Strong Column Weak Beam* (SCWB) telah terpenuhi. Mengacu pada ketentuan ATC-40, nilai *drift* pada arah X sebesar 0,0126 dan pada arah Y sebesar 0,0081, sehingga kinerja struktur diklasifikasikan ke dalam tingkat *Immediate Occupancy* (IO).

Landasan Teori

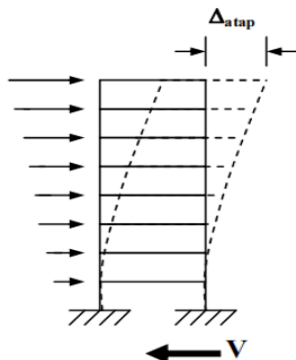
Analisis Struktur Bangunan Tahan Gempa

Analisis struktur tahan gempa merupakan aspek krusial dalam perencanaan bangunan untuk memastikan bahwa struktur mampu bertahan terhadap guncangan gempa tanpa mengalami kerusakan signifikan yang membahayakan keselamatan. Dalam penelitian ini digunakan analisis statik nonlinear *pushover*, yaitu metode yang memberikan beban lateral secara bertahap hingga elemen-elemen struktur mencapai kondisi plastis. Berdasarkan hasil analisis diperoleh kurva kapasitas yang menggambarkan keterkaitan antara gaya geser dasar (*base shear*) dan simpangan atap (*displacement*), sehingga kemampuan struktur dalam menahan beban gempa dapat dievaluasi serta tingkat kinerjanya dapat ditentukan.. Penerapan metode ini mengacu pada SNI 1726-2019, yang memuat pedoman permodelan struktur tahan gempa, termasuk penentuan parameter gempa (nilai S_s dan S_l) serta klasifikasi tingkat risiko bangunan. Standar tersebut juga mengatur bahwa dalam analisis nonlinear, sendi plastis harus dimodelkan pada ujung elemen baik pada balok (M3) maupun kolom (P-M2-M3) untuk merepresentasikan interaksi gaya aksial dan momen secara akurat dalam menggambarkan perilaku inelastik struktur.

Analisis Statik Nonlinear Pushover

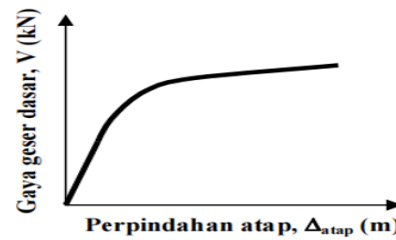
Analisis *pushover* merupakan metode analisis statik nonlinear yang digunakan untuk mengevaluasi kapasitas struktur

terhadap beban lateral akibat gempa. Dalam metode ini, beban lateral diberikan secara bertahap hingga struktur mencapai simpangan target atau kondisi mendekati keruntuhan, ketika elemen-elemen seperti balok dan kolom mulai mengalami leleh. Pendekatan ini termasuk dalam desain berbasis kinerja (*Performance-Based Design*), dengan tujuan mengetahui kemampuan deformasi inelastik struktur sebelum kehilangan kestabilannya. Seiring peningkatan beban, terbentuk sendi plastis pada elemen yang paling lemah dan menyebar ke elemen lain, sehingga perancang dapat mengenali bagian struktur yang paling rentan terhadap kerusakan. Skema analisis static nonlinear pushover dapat dilihat pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Skema Analisis Statik Linear Pushover

Menurut Chopra (2012), analisis pushover mampu memperkirakan kapasitas struktur dan urutan plastifikasi elemen secara efisien, meskipun tidak sepenuhnya menangkap respons dinamis kompleks akibat gempa. Dalam penerapannya melalui perangkat lunak ETABS, hasil analisis ini ditampilkan dalam bentuk kurva kapasitas (*capacity curve*) yang menunjukkan hubungan antara gaya geser dasar (*base shear*) dan simpangan atap (*displacement*). Kurva tersebut digunakan untuk menilai kemampuan struktur dalam menahan deformasi dan menentukan tingkat kinerja struktur terhadap beban gempa. Kurva kapasitas dapat dilihat pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Kurva Kapasitas

Metode Spektrum Kapasitas (ATC-40)

Metode spektrum kapasitas diterapkan dengan melakukan transformasi terhadap kurva kapasitas yang diperoleh dari analisis *pushover*, yang semula menggambarkan hubungan antara gaya geser dasar dan perpindahan atap, ke dalam bentuk spektrum kapasitas. Spektrum kapasitas tersebut menyajikan kurva dalam format *Acceleration Displacement Response Spectrum* (ADRS), yaitu hubungan antara percepatan spektral (S_a) dan perpindahan spektral (S_d).

Metode Koefisien Perpindahan (FEMA 356)

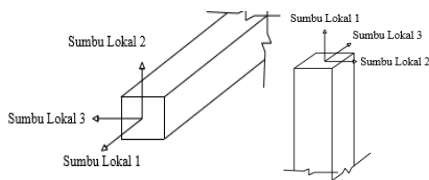
Metode koefisien perpindahan merupakan salah satu pendekatan yang diterapkan dalam FEMA 356 untuk pelaksanaan analisis statik nonlinier. Pada metode ini, evaluasi dilakukan melalui penyesuaian koefisien C_0 , C_1 , C_2 , dan C_3 hingga diperoleh nilai perpindahan global maksimum, baik pada kondisi elastis maupun inelastis, yang selanjutnya disebut sebagai target *displacement* (δ_T). Tahapan perhitungan diawali dengan penentuan periode getar efektif (T_e) yang menggambarkan perilaku inelastis struktur bangunan.

Mekanisme Sendi Plastis

Sendi plastis merupakan bagian dari elemen struktur yang mengalami deformasi permanen akibat beban yang melampaui batas elastis material tanpa menyebabkan kegagalan total. Pada struktur tahan gempa, keberadaan sendi plastis berperan penting dalam menyerap serta mendisipasi energi gempa melalui deformasi plastis yang terkontrol sehingga kestabilan struktur tetap terjaga. Menurut Dewobroto (2006), pada struktur beton bertulang sendi

plastis umumnya direncanakan terbentuk pada ujung balok agar proses disipasi energi gempa dapat berlangsung secara aman. Dalam penelitian ini, evaluasi kinerja struktur dilakukan menggunakan pendekatan berbasis kinerja dengan menerapkan konsep *Strong Column Weak Beam* (SCWB), di mana balok dirancang mengalami plastisitas terlebih dahulu sebelum kolom, sehingga kerusakan bersifat lokal dan tidak memicu keruntuhan menyeluruh bangunan.

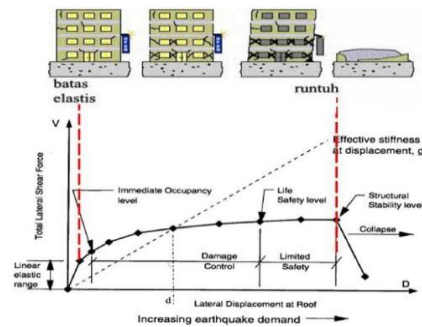
Pembentukan sendi plastis direncanakan pada penampang balok di daerah tumpuan. Penampang balok dimodelkan dengan pembebanan momen M_3 yang menunjukkan bahwa sendi plastis hanya dipengaruhi oleh momen terhadap sumbu lokal 3. Sementara itu, pemodelan sendi plastis pada elemen kolom menggunakan pendekatan P-M2-M3, yang mempertimbangkan interaksi antara gaya aksial (P) dan momen lentur terhadap sumbu lokal 2 serta sumbu lokal 3. Orientasi sumbu lokal pada elemen balok dan kolom ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Posisi Sumbu Lokal Balok dan Kolom

Level Kinerja Struktur Bangunan

Level kinerja adalah batas tingkat kerusakan atau kondisi yang dideskripsikan dengan kerusakan secara fisik pada suatu bangunan, ancaman terhadap keselamatan jiwa penghuni bangunan akibat kerusakan yang terjadi, dan kemampuan bangunan untuk dapat berfungsi setelah gempa. Level kinerja suatu bangunan adalah kombinasi antara level kinerja struktur bangunan dengan kinerja non-struktural bangunan (ATC-40, 1996). Level kinerja struktur yang mengacu pada ATC-40 digambarkan melalui kurva kapasitas seperti pada Gambar 4 berikut.



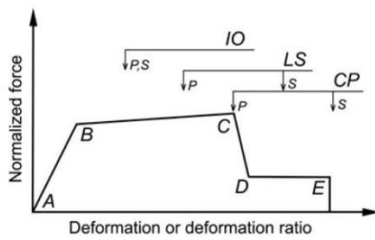
Gambar 4. Level Kinerja Struktur Berdasarkan ATC-40

Level kinerja struktur tergambar pada batas dan titik tertentu pada kurva yaitu level *Immediate Occupancy*, level *Damage Control*, level *Life Safety*, level *Limited Safety*, level *Structural Stability*, dan level *Not Considered*. Batasan nilai simpangan (*drift*) untuk setiap level dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Batasan Nilai *Drift* ATC-40

Batasan Simpangan Antar Tingkat	Level Kinerja Struktur			
	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Damage Control</i>	<i>Life Safety</i>	<i>Structural Stability</i>
Simpangan total maksimum	0,01	0,01 – 0,02	0,02	$0,33 V_i/P_i$
Simpangan inelastis maksimum	0,005	0,005 – 0,015	No Limit	No Limit

Kriteria penerimaan komponen yang diterapkan oleh FEMA 356 (2000) pada prosedur nonlinear dengan kendali deformasi (*deformation controlled*) didasarkan pada besarnya deformasi pada titik-titik tertentu yang terdapat pada alternatif kurva hubungan antara gaya (Q) dan deformasi (Δ). Mengacu pada FEMA 356, kategori kinerja tertentu yang menjadi acuan dalam menilai sejauh mana struktur mampu menahan beban gempa sebelum mencapai kondisi kritis. Kategori ini kemudian dipetakan pada kurva hasil analisis untuk menunjukkan batas-batas perilaku struktur sesuai tingkat kerusakan dan kemampuan layan pasca gempa. Kategori level kinerja struktur pada kurva dapat dilihat pada Gambar 5 berikut.



Gambar 5. Level Kinerja Struktur Berdasarkan FEMA 356

Level kinerja struktur digambarkan pada titik dan batas tertentu pada kurva, meliputi *Immediate Occupancy* (IO), *Life Safety* (LS), dan *Collapse Prevention* (CP). Batasan nilai rasio simpangan (*drift ratio*) untuk setiap level kinerja struktur menurut FEMA 356 pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Batasan Nilai *Drift* FEMA 356

Level Kinerja Struktur	Drift (%)	Keterangan
Immediate Occupancy (IO)	1,0	Transient
Life Safety (LS)	2,0	Transient
	1,0	Permanent
Collapse Prevention (CP)	4,0	Transient atau permanent

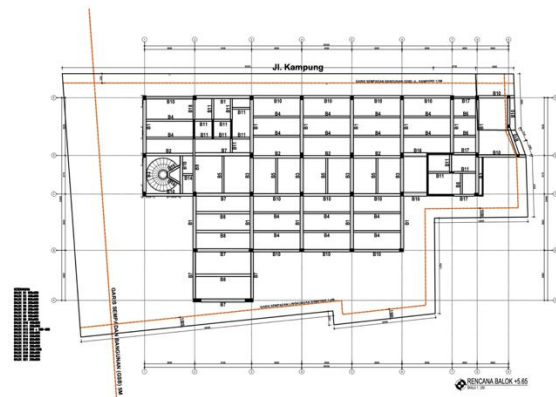
Metode Penelitian

Data Bangunan

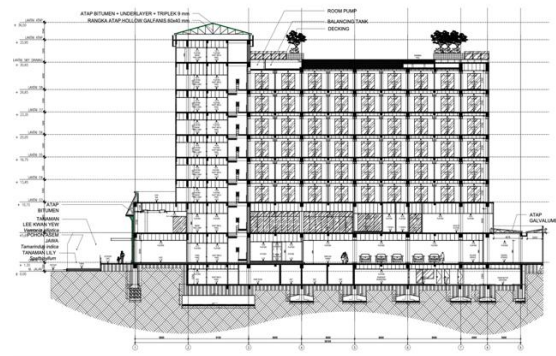
Objek yang ditinjau pada penelitian ini yaitu Gedung Hotel Oakwood Yogyakarta yang berlokasi di Jl. A. M. Sangaji, Cokrodiningratan, Jetis, Yogyakarta, dengan ketinggian 9 lantai. Detail gedung dapat dilihat pada Gambar 6, Gambar 7, dan Gambar 8 berikut.



Gambar 6. Lokasi Gedung Hotel Oakwood Yogyakarta



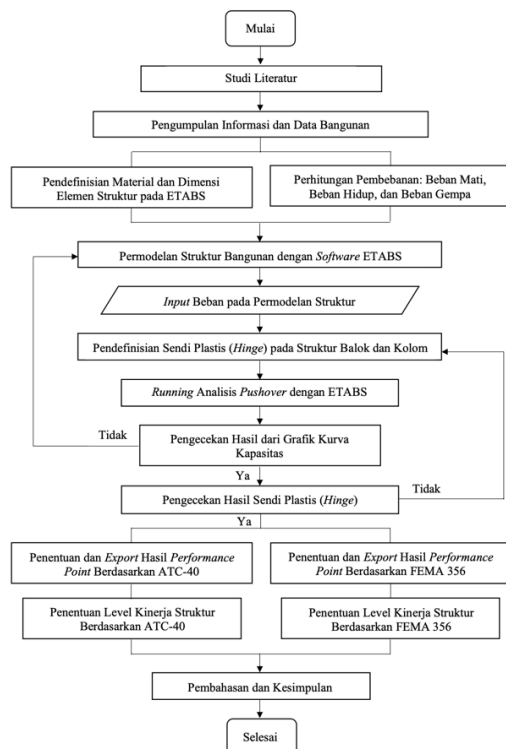
Gambar 7. Denah Gedung Hotel Oakwood Yogyakarta



Gambar 8. Potongan Gedung Hotel Oakwood Yogyakarta

Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian meliputi studi literatur untuk mengumpulkan referensi terkait metode *pushover* dan standar yang digunakan, yaitu SNI 1726:2019, SNI 1727:2020, ATC-40 (1996), dan FEMA 356 (2000). Data yang dianalisis mencakup kondisi tanah serta *Detail Engineering Design* (DED) dan *As Built Drawing* bangunan sebagai dasar pemodelan struktur menggunakan ETABS. Pembebanan struktur mencakup beban mati, beban hidup, dan beban gempa sesuai ketentuan. Analisis dilakukan dengan bantuan ETABS untuk memperoleh hasil berupa kurva kapasitas, nilai *drift ratio*, dan displacement. Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 8 berikut.



Gambar 8. Bagan Alir Penelitian

Analisis Struktur dengan Software ETABS

Pemodelan struktur disusun dalam bentuk tiga dimensi dengan mempertimbangkan pembebanan gempa pada dua arah utama. Metode analisis yang diterapkan untuk menilai kinerja struktur Gedung Hotel Oakwood adalah analisis statik nonlinier *pushover* dengan dukungan perangkat lunak ETABS. Evaluasi kinerja struktur dilakukan dengan mengacu pada dua pedoman, yaitu ATC-40 dan FEMA 356. Elemen struktur berupa kolom, balok, dan sloof dimodelkan melalui fasilitas *section designer*. Pemodelan tersebut bertujuan untuk memperoleh serta meninjau grafik hubungan momen-kurvatur atau momen kelengkungan pada elemen struktur, mengingat material bangunan yang digunakan adalah beton bertulang. Momen kurvatur adalah besar rotasi yang timbul pada elemen struktur akibat pengaruh momen lentur. Grafik momen-kurvatur ini memperlihatkan nilai momen lentur serta rotasi yang terjadi pada elemen tersebut.

Input Analisis *Pushover*

Analisis *pushover* pada software ETABS dilakukan dimulai dengan pendefinisian *load pushover* dengan tahapan sebagai berikut:

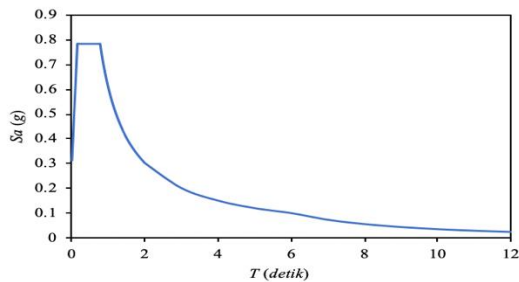
- [1] Pendefinisian *load pattern pushover analysis*. Pada analisis *pushover* yang akan dilakukan, perlu dilakukan pendefinisian gaya seismik lateral pada arah X dan arah Y yang bekerja pada struktur bangunan. Pendefinisian gaya seismik lateral ini dilakukan pada perangkat lunak ETABS dalam format Ex ELF dan Ey ELF.
- [2] Pendefinisian *load case pushover analysis*. *Load case* yang bekerja pada struktur bangunan untuk analisis statik non-linear *pushover* dibagi menjadi 2 tahap pembebanan. Untuk tahap pertama dilakukan analisis dengan *load case gravity*, sedangkan untuk tahap kedua analisis dilakukan dengan *load case pushover X* dan *Y* dimana menambahkan beban lateral secara bertahap kepada struktur.
- [3] Pendefinisian sendi plastis dilakukan agar dapat mengetahui kondisi plastisitas struktur bangunan yang ditinjau, kondisi plastisitas struktur ditargetkan terjadi lebih dahulu pada elemen balok kemudian elemen kolom. Sendi plastis didefinisikan dalam software ETABS agar dapat terdeteksi terjadinya sendi plastis selama analisis *pushover*.

Selanjutnya dilakukan running analisis *pushover* pada struktur bangunan yang telah dimodelkan pada ETABS.

Hasil dan Pembahasan

Respon Spektrum

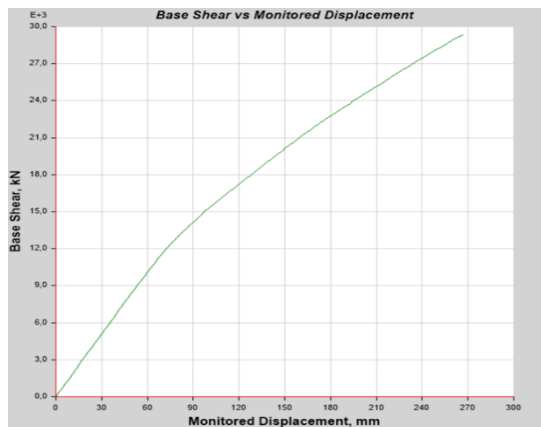
Berikut adalah grafik respon spektrum yang dihasilkan sesuai dengan lokasi objek penelitian, dapat dilihat pada Gambar 9 berikut.



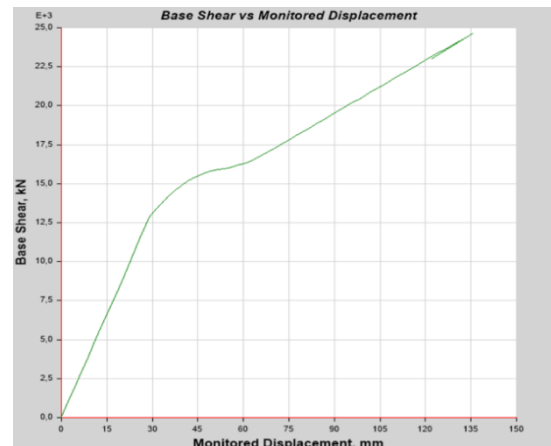
Gambar 9. Grafik Respon Spektrum

Kurva Kapasitas

Kurva kapasitas (*capacity curve*) menggambarkan hubungan antara *base shear* dan simpangan lateral yang terjadi pada titik kontrol di lantai atap. Kurva kapasitas digunakan untuk menilai seberapa besar deformasi yang masih dapat ditoleransi oleh struktur sebelum mencapai keruntuhan. *Output* analisis *pushover* berupa kurva kapasitas dapat ditampilkan melalui ETABS dengan cara klik *Display > Static Pushover Curve*, maka kurva kapasitas hasil dari analisis akan ditampilkan baik untuk *pushover* X maupun *pushover* Y. Kurva kapasitas dari analisis ini dapat dilihat pada Gambar 10 untuk arah X dan Gambar 11 untuk arah Y.



Gambar 10. Kurva Kapasitas *Pushover* X



Gambar 11. Kurva Kapasitas *Pushover* Y

Berdasarkan gambar di atas, dapat dilihat kurva kapasitas yang terbentuk dari hasil analisis *pushover* arah X dan arah Y. Pada kurva kapasitas arah X, gaya geser dasar menunjukkan kecenderungan meningkat secara bertahap seiring dengan bertambahnya simpangan atap tanpa memperlihatkan penurunan yang signifikan. Kondisi ini sejalan dengan hasil penelitian Fazarinc dkk. (2023) yang menyatakan bahwa kurva *pushover* masih dapat terus meningkat setelah terjadinya degradasi kekakuan yang signifikan, selama ketidakstabilan global struktur belum terjadi. Sementara itu, pada kurva kapasitas arah Y terlihat bahwa kurva sempat mengalami lengkungan di tengah kemudian kembali naik serta diakhiri dengan penurunan tajam kurva kapasitas. Kurva *pushover* dapat memperlihatkan sedikit penurunan ketika sebagian besar kekakuan telah hilang, meskipun kapasitas total struktur belum sepenuhnya habis (Fazarinc dkk., 2023). Dapat diartikan kurva kapasitas arah Y menggambarkan terjadinya persebaran gaya internal yang tidak seimbang, sehingga *base shear* sempat menurun hingga struktur kembali memperoleh kekuatan dari elemen lain. Lebih jelasnya nilai *displacement* dan *base shear* dari kurva kapasitas di atas dapat dilihat pada Tabel 3 dan Tabel 4 berikut.

Tabel 3. *Output* Nilai Kurva Kapasitas
Pushover X

Step	Monitored Displacement (mm)	Base Force (kN)
0	0,000	0,000
1	2,145	367,083
2	4,290	733,439
...		
19	40,755	6898,418
20	42,900	7259,425
21	45,045	7620,170
22	47,190	7981,046
...		
77	181,416	22872,686
78	184,342	23113,498
79	186,524	23291,268
80	189,176	23505,951
...		
99	243,438	27729,779
100	243,517	27735,920
101	243,522	27735,793
102	245,312	27864,002

Tabel 4. *Output* Nilai Kurva Kapasitas
Pushover Y

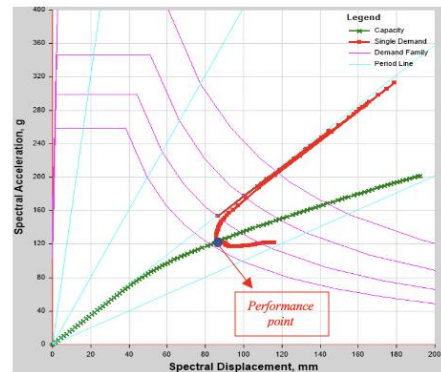
Step	Monitored Displacement (mm)	Base Force (kN)
0	0,000	0,000
1	0,067	30,300
2	2,212	992,817
3	4,357	1942,493
...		
22	53,608	15954,442
23	55,753	16069,033
24	57,898	16176,898
25	60,043	16284,934
...		
51	126,520	23634,774
52	130,571	24086,444
53	132,716	24326,924
54	135,447	24631,293
55	135,482	24635,164
56	122,181	23013,182

Performance Point

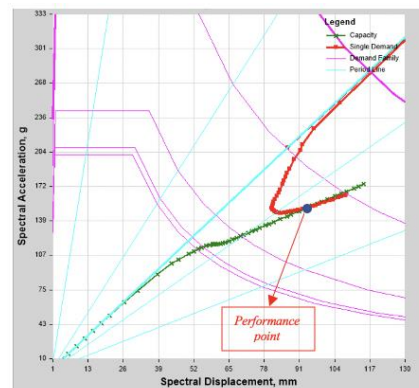
Performance Point ATC-40

Penentuan titik kinerja (*performance point*) mengacu pada ATC-40 maka perlu dilakukan dengan metode *Capacity Spectrum*. Metode ini diterapkan melalui proses transformasi kurva kapasitas yang dihasilkan dari analisis *pushover* ke dalam format ADRS (*Acceleration-Displacement Response Spectrum*). Parameter yang digunakan dalam analisis ini meliputi nilai S_s sebesar 1,1144 g dan nilai S_1 sebesar 0,5045 g. Proses perubahan kurva kapasitas ke bentuk ADRS dilakukan secara otomatis menggunakan perangkat lunak ETABS, sehingga diperoleh kurva respons spektrum pada arah X dan arah Y sebagaimana

ditunjukkan pada Gambar 12 dan Gambar 13.



Gambar 12. Kurva Respon Spektrum ATC-40
Arah X



Gambar 13. Kurva Respon Spektrum ATC-40
Arah Y

Nilai *performance point* berdasarkan ATC-40 dapat dilihat pada Tabel 5 berikut.

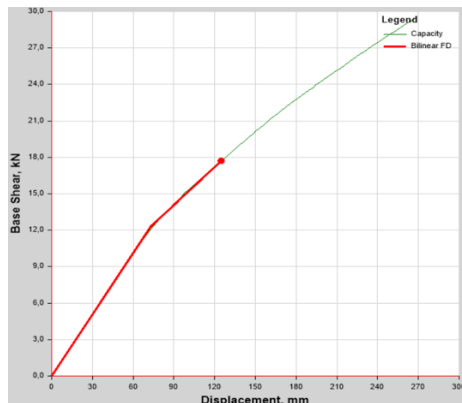
Tabel 5. *Performance Point* Berdasarkan ATC-40

Performance Point	Arah Beban <i>Pushover</i>	
	Arah X	Arah Y
V (kN)	17773,776	21340,786
δ (m)	0,126	0,106
Sa	0,124	0,151
Sd	86,815	93,361
T _{eff}	1,695	1,675
β_{eff}	0,079	0,117

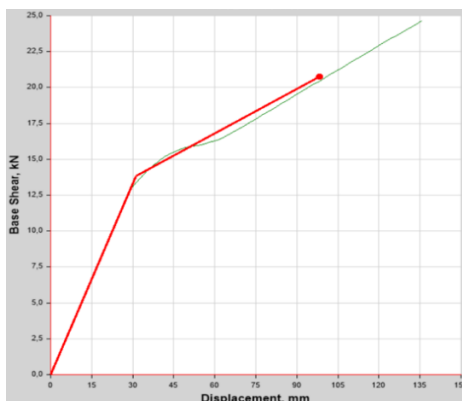
Performance Point FEMA 356

Penetapan titik kinerja (*performance point*) dilakukan berdasarkan ketentuan FEMA 356 dengan menerapkan pendekatan metode koefisien perpindahan. Pada pendekatan ini, proses perhitungan dilakukan melalui penyesuaian koefisien C_0 , C_1 , C_2 , dan C_3 hingga dicapai nilai perpindahan global maksimum pada kondisi elastis maupun

inelastis, yang selanjutnya disebut sebagai target *displacement* (δ_T). Penerapan metode koefisien perpindahan sesuai FEMA 356 dilakukan secara otomatis menggunakan perangkat lunak ETABS, sehingga diperoleh kurva hasil analisis sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 14 dan Gambar 15.



Gambar 14. Kurva FEMA 356 Arah X



Gambar 15. Kurva FEMA 356 Arah Y

Nilai *performance point* berdasarkan FEMA 356 dapat dilihat pada Tabel 6 berikut.

Tabel 6. *Performance Point* Berdasarkan FEMA 356

Pushover Curve Parameter	Arah Beban Pushover	
	Arah X	Arah Y
V (kN)	17716,375	13841,349
Dt (m)	0,125	0,031
Sa	0,152	0,206
Te	1,517	1,305
C0	1,448	1,119
C1	1,000	1,000
C2	1,000	1,000
Cm	1,000	1,000
W (kN)	220819,721	220819,721
α	0,612	0,232

Level Kinerja Struktur

Kinerja Struktur Berdasarkan ATC-40

Berdasarkan kurva respon spektrum yang telah diperoleh sebelumnya, nilai parameter *performance point* berdasarkan ATC-40 meliputi gaya geser, *displacement*, S_a , S_d , waktu getar alami efektif, dan redaman viskous efektif dapat dilihat pada Tabel (5) di atas. Level kinerja struktur berdasarkan ATC-40 dinilai berdasarkan besarnya total *drift* (simpangan) maksimum yang diperoleh dengan persamaan berikut.

[1] Arah X
Total *drift* maksimum

$$= \frac{\delta}{H} = \frac{0,126}{35,750} = 0,00352$$

Inelastic drift maksimum

$$= \frac{\delta_T - \delta_1}{H} = \frac{0,126 - 0,00067}{35,750} = 0,00351$$

[2] Arah Y
Total *drift* maksimum

$$= \frac{\delta}{H} = \frac{0,106}{35,750} = 0,00297$$

Inelastic drift maksimum

$$= \frac{\delta_T - \delta_1}{H} = \frac{0,106 - 0,00215}{35,750} = 0,00291$$

Hasil total *drift* maksimum berdasarkan pedoman ATC-40, diperoleh nilai *drift* maksimum pada sumbu X sebesar 0,00352 dan pada sumbu Y sebesar 0,00297, sedangkan nilai *inelastic drift* maksimum tercatat sebesar 0,00351 untuk sumbu X dan 0,00291 untuk sumbu Y. Berdasarkan ATC-40, dapat disimpulkan bahwa tingkat kinerja struktur Gedung Hotel Oakwood Yogyakarta termasuk dalam kategori *Immediate Occupancy* (IO). Kategori ini menunjukkan bahwa struktur gedung memiliki kemampuan untuk menahan beban gempa tanpa mengalami kegagalan struktur yang signifikan, serta kondisi bangunan setelah kejadian gempa tidak mengalami kerusakan berarti dan masih dapat segera digunakan kembali.

Kinerja Struktur Berdasarkan FEMA 356

Berdasarkan kurva *pushover* FEMA 356 yang telah diperoleh sebelumnya dengan pendekatan metode koefisien perpindahan, telah diperoleh nilai parameter kurva

pushover pada sumbu X dan sumbu Y yang sesuai Tabel 6 di atas. Level kinerja struktur berdasarkan FEMA 356 dinilai berdasarkan besarnya total *drift* (simpangan) maksimum yang dihitung berdasarkan persamaan berikut.

[1] Arah X

$$\begin{aligned} \text{Drift aktual} \\ = \frac{\delta_T}{H} = \frac{0,104}{35,750} = 0,00290 = 0,290\% \end{aligned}$$

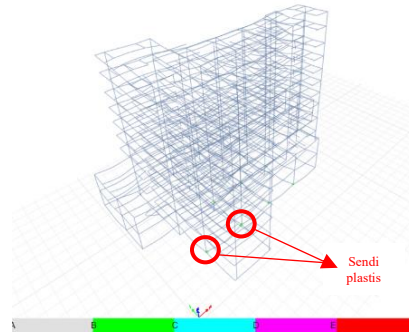
[2] Arah Y

$$\begin{aligned} \text{Drift aktual} \\ = \frac{\delta_T}{H} = \frac{0,07474}{35,75} = 0,00209 = 0,209\% \end{aligned}$$

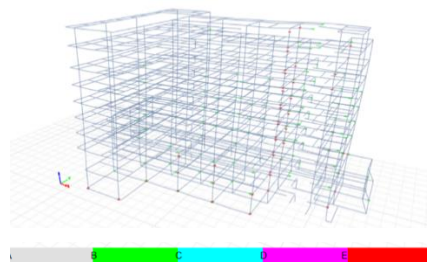
Berdasarkan perhitungan *drift* aktual menurut FEMA 365, didapatkan nilai *drift* aktual untuk arah X sebesar 0,290% dan untuk arah Y sebesar 0,209%. Dapat disimpulkan bahwa berdasarkan pedoman FEMA 356 level kinerja struktur Gedung Hotel Oakwood Yogyakarta berada pada kategori *Immediate Occupancy* (IO). Hal tersebut diartikan bahwa struktur bangunan hanya akan mengalami kerusakan ringan ketika menerima beban gempa, tidak ada simpangan permanen, dan struktur akan tetap memiliki kekuatan rencana saat dikenai beban gempa.

Mekanisme Sendi Plastis

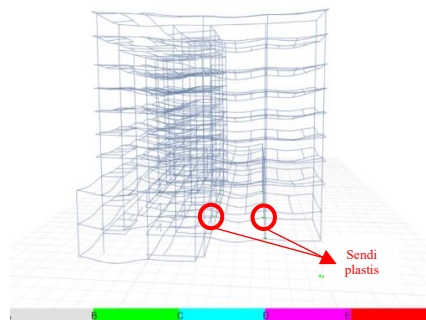
Pada analisis *pushover*, terbentuknya sendi plastis ditandai dengan titik pada ujung elemen balok ataupun kolom. Warna pada tanda titik tersebut mewakili level kondisi sendi plastis pada elemen struktur. Apabila step iterasi pada analisis *pushover* bertambah, maka level kondisi sendi plastis pada bangunan gedung yang ditinjau terus menurun secara bertahap hingga terjadi keruntuhan. Mekanisme sendi plastis yang terjadi pada struktur bangunan saat dilakukan analisis *pushover* dapat dilihat pada Gambar 16, Gambar 17, Gambar 18, dan Gambar 19 berikut.



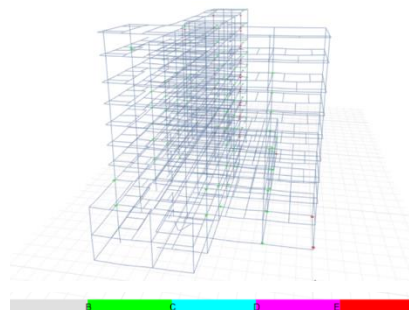
Gambar 16. Step Awal Sendi Plastis Arah X



Gambar 17. Step Akhir Sendi Plastis Arah X



Gambar 18. Step Awal Sendi Plastis Arah Y



Gambar 19. Step Akhir Sendi Plastis Arah Y

Mekanisme sendi plastis yang terjadi akibat analisis *pushover* yang dilakukan yaitu sesuai dengan prinsip SCWB (*strong column weak beam*), dimana baik pada arah

X maupun Y sendi plastis pertama kali terbentuk pada elemen balok pada step yang sama yaitu step ke-1 di lantai yang sama yaitu lantai 1. Selanjutnya elemen kolom mulai mengalami sendi plastis pada step ke-50, baik pada arah X maupun arah Y sendi plastis yang terbentuk berada pada level B – C dan beberapa langsung terbentuk pada level *collapse prevention*. Pada step akhir terbentuknya sendi plastis yaitu pada step ke-95, hampir seluruh elemen balok dan kolom sudah mengalami sendi plastis sebagian besar ada level B – C dan beberapa elemen kolom dan balok berada pada level *collapse prevention*.

Kesimpulan

Hasil analisis *pushover* menunjukkan bahwa sumbu kuat struktur berada pada arah X dan sumbu lemah pada arah Y. Berdasarkan pedoman ATC-40, diperoleh nilai *performance point* sebesar $V = 17.773,776$ kN dan $\delta = 0,126$ m untuk arah X serta $V = 21.340,786$ kN dan $\delta = 0,106$ m untuk arah Y. Sedangkan berdasarkan FEMA 356, nilai *performance point* untuk arah X sebesar $V = 17.716,375$ kN dan $\delta = 0,125$ m, serta untuk arah Y sebesar $V = 13.841,349$ kN dan $\delta = 0,031$ m. Kedua pedoman tersebut menunjukkan bahwa tingkat kinerja struktur Gedung Hotel Oakwood Yogyakarta berada pada level *Immediate Occupancy* (IO), dengan nilai *drift* yang masih dalam batas aman. Mekanisme sendi plastis yang terbentuk juga sesuai dengan prinsip *Strong Column Weak Beam* (SCWB), dimana sendi plastis pertama kali terjadi pada elemen balok di lantai dasar sebelum muncul pada kolom, menunjukkan perilaku struktur yang terkendali dan memenuhi kriteria kinerja desain berbasis performa.

Daftar Pustaka

- ATC-40. (1996). *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings Volume 1*.
Chopra, A. K. (2012). *Dynamics of Structures Theory and Applications to Earthquake Engineering (4th edition)*.
Dewobroto, W. (2006). Evaluasi Kinerja Struktur Baja Tahan Gempa dengan Analisa Pushover. Dalam *Jurusan Teknik Sipil*.

- Fazarinc, N., Babič, A., & Dolšek, M. (2023). *Parametric pushover curve model for seismic performance assessment of building stock*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3202780/v1>
FEMA 356. (2000). *Prestandard and Commentary for FOR The Seismic Rehabilitation of Buildings*.
Prasetyo, H., Kurniati, D., & Prihadi, B. K. (2020). Evaluasi Kinerja Struktur Bangunan Menggunakan Pushover Analysis dengan Metode ATC-40 dan FEMA 356. *Jurnal PenSil*, 9(1), 40–46. <https://doi.org/10.21009/jpensil.v9i1.14021>
Rumbyarso, Y. P. A. (2024). *Kinerja Struktur Gedung Office 36 Lantai: Analisis Time History dan Pushover*.
SNI 1726. (2019). *SNI 1726:2019 tentang Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*.
SNI 1727. (2020). *SNI 1727:2020 tentang Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain*.
Syahira, M. S., & Jamal, A. U. (2023). Evaluasi Kinerja Struktur Atas pada Desain Gedung Perkantoran Menggunakan Analisis Pushover Berdasarkan ATC-40 Terhadap Beban Gempa Level Besar (Maximum Considered Earthquake, Risk Targeted). *Proceeding Civil Engineering Research Forum*, 3, 40–51.
Zebua, D., Putra, A. A. S., Wibowo, L. S. B., & Alfiani, S. (2023). Evaluation of Seismic Performance of Hospital Building Using Pushover Analysis Based on ATC-40. *Journal of Civil Engineering, Science and Technology*, 14(2), 138–145. <https://doi.org/10.33736/jceest.5326.2023>