

ANALISIS *PUSHOVER* UNTUK *PERFORMANCE BASED DESIGN* PADA STRUKTUR BETON BERTULANG DENGAN MENGGUNAKAN SOFTWARE ETABS

(Studi Kasus : Proyek Hotel Fox Harris Lite di Jln. S.Parman, Kota Samarinda, Kalimantan Timur)

Dini Indah Cahyani ¹⁾, Ery Budiman ²⁾, Budi Haryanto ³⁾, Fachriza Noor Abdi ⁴⁾, Masayu Widiastuti ⁵⁾

¹⁾Program Studi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman
Jl.Sambaliung No.9, Samarinda, Kalimantan Timur 75119

E-mail: dinindahc@gmail.com

²⁾Program Studi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman
Jl.Sambaliung No.9, Samarinda, Kalimantan Timur 75119

E-mail: ery_budi@yahoo.com

³⁾Program Studi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman
Jl.Sambaliung No.9, Samarinda, Kalimantan Timur 75119

E-mail: haryb7951@gmail.com

⁴⁾Program Studi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman
Jl.Sambaliung No.9, Samarinda, Kalimantan Timur 75119

E-mail: fnabdi@ft.unmul.ac.id

⁵⁾Program Studi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman
Jl.Sambaliung No.9, Samarinda, Kalimantan Timur 75119

E-mail: widiwidada@ft.unmul.ad.id

ABSTRAK

Indonesia merupakan daerah yang rawan terhadap gempa bumi, karena terletak pada pertemuan 3 lempeng tektonik besar dunia, yaitu: lempeng Hindia-Australia, Eurasia, dan Pasifik. Gempa bumi yang terjadi sering kali memakan korban jiwa. Namun, dapat dipastikan bahwa penyebab adanya korban jiwa bukan diakibatkan langsung oleh gempa bumi melainkan oleh rusaknya bangunan yang menyebabkan keruntuhan pada bangunan tersebut. Karena sifat gempa bumi yang tidak dapat diprediksi maka diperlukan suatu tindakan pencegahan guna meminimalisir timbulnya kerugian dan korban jiwa salah satunya dengan merencanakan bangunan tahan gempa dengan konsep *Performance Based Design* dengan salah satu metode pendekatannya adalah Analisis Static Non-Linear *Pushover*.

Analisis ini bertujuan untuk memperkirakan gaya maksimum dan deformasi yang terjadi serta untuk memperoleh informasi bagian mana saja yang kritis sehingga dapat diketahui kriteria tingkat kinerja struktur dengan menggunakan Metode Spektrum Kapasitas berdasarkan peraturan ATC-40 dan Metode Koefisien Perpindahan berdasarkan peraturan FEMA 356 dengan menggunakan program bantu ETABS. Konsep analisis ini adalah memberi suatu pola beban dorong statik tertentu dalam arah lateral pada pusat massa tiap lantai bangunan. Penambahan beban dilakukan secara otomatis oleh program secara berangsur-angsur sampai tercapai keruntuhan pada elemen struktur atau mencapai target displacement tertentu.

Hasil analisis diperoleh kriteria level kinerja kedua metode tersebut termasuk dalam kategori *Immediate Occupancy* dan *Damage Control*, dimana diambil level kinerja struktur terburuk yaitu *Damage Control* yang artinya bila terjadi gempa bangunan masih mampu menahan gempa yang terjadi dan resiko korban jiwa sangat kecil.

Kata Kunci : Gempa Bumi, Bangunan Tahan Gempa, *Performance Based Design*, Analisis Static Non-Linear *Pushover*.

ABSTRACT

Indonesia is an area that is prone to earthquakes, because it is located at the confluence of 3 major tectonic plates in the world, namely: the Indian-Australian, Eurasian, and Pacific plates. Earthquakes that occur often take lives. However, it can be ascertained that the cause of the loss of life was not directly caused by the earthquake but by the damage to the building that caused the collapse of the building. Due to the unpredictable nature of earthquakes, preventive measures are needed to minimize losses and casualties,

one of which is by planning earthquake-resistant buildings with the concept of Performance Based Design with one of the approach methods is Static Non-Linear Pushover Analysis.

This analysis aims to estimate the maximum force and deformation that occurs and to obtain information on which parts are critical so that the criteria for the performance level of the structure can be known using the Capacity Spectrum Method based on the ATC-40 regulation and the Displacement Coefficient Method based on the FEMA 356 regulation using the ETABS program. . The concept of this analysis is to give a certain static thrust load pattern in the lateral direction at the center of mass of each floor of the building. The addition of the load is carried out automatically by the program in stages until the structural element collapses or reaches a certain displacement target.

The results of the analysis obtained that the performance level criteria of the two methods are included in the Immediate Occupancy and Damage Control categories, where the worst structural performance level is Damage Control, which means that if an earthquake occurs the building is still able to withstand the earthquake that occurs and the risk of fatalities is very small.

Keywords: Earthquake, Earthquake Resistant Building, Performance Based Design, Static Non-Linear Pushover Analysis.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Dengan keterbatasan lahan di Indonesia yang semakin berkurang sedangkan jumlah pembangunannya semakin meningkat, hal ini menyebabkan banyak dibangunnya gedung-gedung tinggi yang artinya semakin rawan terhadap gempa bumi dikarenakan fungsi beban gempa lebih dominan daripada beban gravitasi akibat berat sendiri bangunan tersebut. Perencanaan bangunan tahan gempa dibutuhkan untuk memberikan waktu bagi pengguna bangunan untuk menyelamatkan diri saat terjadi gempa. Potensi runtuhnya struktur akan membahayakan keselamatan dari penghuni atau pemakai struktur tersebut.

Seiring berkembangnya kemajuan teknologi di bidang konstruksi muncul konsep baru dalam analisis dan perencanaan bangunan tahan gempa salah satunya adalah konsep *Performance Based Design* dengan salah satu metode pendekatannya adalah Analisis Static Non-Linear *Pushover*. Analisis *Pushover* merupakan analisis kinerja seismik untuk mengetahui perilaku inelastis struktur terhadap gempa dengan memberi suatu pola beban dorong statik tertentu dalam arah lateral pada pusat massa tiap lantai bangunan secara berangsur-angsur sampai tercapai keruntuhan pada elemen struktur atau mencapai target displacement tertentu kemudian dibandingkan level kinerja struktur dengan Metode Spektrum Kapasitas berdasarkan peraturan ATC-40 dan Metode Koefisien Perpindahan berdasarkan peraturan FEMA 356. Ditetapkan level kinerja struktur terburuk sebagai acuan dalam penanganan terhadap gempa.

Rumusan Masalah

Bagaimana kriteria level kinerja struktur hotel berdasarkan peraturan ATC-40 dan FEMA 356 dan distribusi sendi plastis bangunan hotel dengan menggunakan program bantu ETABS.

Tujuan Penelitian

1. Untuk memperlihatkan kurva kapasitas dan kurva kapasitas spektrum yang dihasilkan dari Analisis *Pushover*.
2. Untuk membandingkan kriteria level kinerja struktur gedung hotel berdasarkan peraturan ATC 40 dan FEMA 356 dengan menggunakan program bantu ETABS.
3. Untuk memperlihatkan skema distribusi sendi plastis yang dihasilkan dari Analisis *Pushover*.

LANDASAN TEORI

Gempa Bumi

Menurut Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, gempa bumi adalah peristiwa bergetarnya bumi akibat pelepasan energi di dalam bumi secara tiba-tiba yang ditandai dengan patahnya lapisan batuan pada kerak bumi. Akumulasi energi penyebab terjadinya gempa bumi dihasilkan dari pergerakan lempeng-lempeng tektonik. Energi yang dihasilkan dipancarkan ke segala arah berupa gelombang gempa bumi sehingga efeknya dapat dirasakan sampai ke permukaan bumi. Menurut Suharjanto (2013), sebagian besar gempa bumi disebabkan dari pelepasan energi yang dihasilkan oleh tekanan yang dilakukan oleh lempeng yang bergerak. Dengan kata lain bahwa gempa

teknik merupakan gempa dengan intensitas yang sering bila dibandingkan dengan klasifikasi gempa lainnya.

Konsep Perencanaan Struktur Tahan Gempa

Menurut Uniform Building Code (UBC, 1997), umumnya suatu bangunan dikatakan sebagai bangunan tahan gempa apabila memenuhi kriteria berikut :

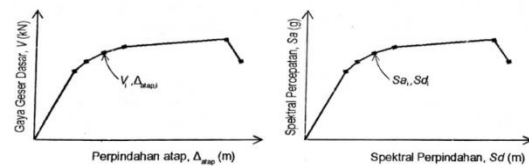
1. Struktur yang direncanakan harus memiliki kekakuan lateral yang mencukupi untuk dapat mempertahankan kondisi elastis ketika menerima beban gempa.
2. Struktur yang direncanakan harus dapat menahan beban gempa menengah tanpa terjadinya kerusakan pada elemen struktural. Kerusakan pada elemen nonstruktural diperbolehkan untuk terjadi.
3. Struktur yang direncanakan diperbolehkan untuk mengalami kerusakan pada elemen strukturalnya ketika menerima beban gempa besar. Namun struktur keseluruhan tidak diperbolehkan mengalami keruntuhan.

Analisis Pushover

Analisis statik nonlinear atau yang lebih dikenal dengan analisis *pushover* merupakan analisis untuk mengetahui perilaku keruntuhan suatu bangunan terhadap gempa dengan memberikan suatu pola beban dorong yang dianggap sebagai beban-beban statik yang ditingkatkan secara berangsur-angsur sampai terjadinya pelepasan (sendi plastis) atau mencapai target perpindahan pada pusat massa yang biasanya terletak di atap. Analisis ini menghasilkan suatu respon struktur berupa kurva kapasitas yakni hubungan antara gaya geser dasar (V) dengan perpindahan pada atap (Δ_{atop}) yang memperlihatkan suatu kondisi linier sebelum mencapai kondisi leleh dan selanjutnya berperilaku nonlinier. Menurut Wiryanto Dewobroto (2006), tujuan analisis pushover adalah untuk memperkirakan perpindahan maksimum dan deformasi yang terjadi serta untuk memperoleh informasi bagian mana saja yang kritis. Selanjutnya dapat diidentifikasi bagian-bagian yang memerlukan perhatian khusus untuk pendetailan atau stabilitasnya. Hasil dari analisis pushover merupakan suatu pendekatan karena bagaimanapun perilaku gempa yang sebenarnya adalah bersifat bolak-balik.

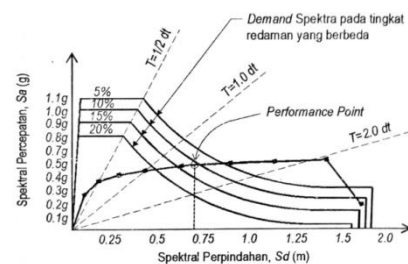
Metode Spektrum Kapasitas atau Capacity Spectrum Method (CSM)

Metode spektrum kapasitas merupakan metode yang didokumentasikan dalam peraturan ATC-40. Metode ini memberikan gambaran grafis dari kinerja gempa yang diharapkan dari struktur dengan memotong kurva spektrum kapasitas (*capacity spectrum*) dan *demand spectrum*. Analisis pushover menghasilkan kurva kapasitas, untuk menjadikan spektrum kapasitas, kurva kapasitas yang diperoleh dari analisis pushover harus diubah kedalam format spektral percepatan (S_a) dan spektral perpindahan (S_d) yang disebut *Acceleration Displacement Respon Spectrum* (ADRS) agar mempunyai satuan yang sama dengan demand spectrum seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1 sebagai berikut.



Gambar 1. Kurva Kapasitas dan Spektrum Kapasitas (ATC, 40)

Selanjutnya grafik spektrum kapasitas dan spektrum demand di plot dalam satu grafik ADRS. Dalam grafik tersebut akan ada titik perpotongan yang disebut sebagai titik kinerja atau performance point yang merupakan perkiraan permintaan perpindahan pada struktur untuk tingkat bahaya yang ditentukan seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2 sebagai berikut.



Gambar 2. Titik Kinerja Struktur (ATC,40)

Metode Koefisien Perpindahan atau Displacement Coefficient Method (DCM)

Metode koefisien perpindahan merupakan metode yang didokumentasikan dalam peraturan FEMA 356. Metode ini memberikan suatu pendekatan yang menyediakan perhitungan numerik dari perpindahan global maksimum pada struktur untuk memperkirakan permintaan perpindahan pada struktur dengan menggunakan representasi bilinear dari kurva kapasitas dan serangkaian faktor atau koefisien modifikasi untuk

menghitung target perpindahan seperti pada persamaan 1 sebagai berikut.

$$\delta_T = C_0 \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot S_a \left(\frac{T_e}{4\pi}\right)^2 g \dots \dots \text{Pers. 1}$$

Penentuan Level Kinerja Struktur

Menurut ATC-40, yang menjadi acuan bagi perencanaan berbasis kinerja maka kategori kriteria-kriteria struktur tahan gempa sebagai berikut :

1. *Immediate Occupancy*, artinya saat terjadi gempa, resiko korban jiwa dan kerusakan struktural sangat kecil (tidak ada kerusakan yang berarti pada struktur). Sistem penahan gaya vertikal dan lateral masih sama saat belum terjadi gempa. Artinya daerah yang mengalami kerusakan masih tetap aman untuk segera dihuni.
2. *Damage Control*, artinya kerusakan antara level *Immediate Occupancy* SP-1 dan *Life Safety* SP-3 yaitu bangunan masih mampu menahan gempa yang terjadi, resiko korban jiwa sangat kecil.
3. *Life Safety*, artinya saat terjadi gempa, mulai muncul kerusakan yang cukup signifikan pada struktur, kekakuan pun berkurang tetapi masih dapat menahan gempa sehingga tidak mengalami keruntuhan. Bangunan dapat dipakai kembali setelah dilakukan perbaikan komponen struktural maupun non-struktural, walaupun kerusakan yang terjadi kadangkala membutuhkan biaya yang tidak sedikit.
4. *Limited Safety*, artinya transisi antara SP-3 dan SP-4 dan tidak memperhitungkan aspek ekonomis dalam perbaikan pasca gempa.
5. *Structural Stability*, artinya setelah terjadi gempa, struktur mengalami kerusakan hingga di batas ambang keruntuhan total maupun parsial. Komponen struktur penahan beban gravitasi masih bekerja meskipun keseluruhan kestabilan sudah di ambang keseluruhan.
6. *Not Considered*, artinya kinerja bangunan yang tidak dibahas, tetapi hanya untuk melakukan evaluasi seismik non struktural atau retrofit.

Adapun deformasi lateral pada saat *performance point* harus diperiksa terhadap nilai simpangan total maksimum dan simpangan inelastis maksimum untuk mendapatkan tingkat kinerja yang dapat dilihat pada Tabel 1 sebagai berikut.

Tabel 1. Batasan Deformasi menurut ATC-40

Batas Simpangan Antar Lantai	Tingkat 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 Vt/Pi
Simpangan Inelastis Maksimum	0,005	0,005 - 0,015	No Limit	No Limit

Simpangan total maksimum didefinisikan sebagai simpangan antar tingkat (*interstory drift*) pada perpindahan di titik kinerja. Sedangkan simpangan inelastis maksimum proporsi simpangan total maksimum di luar titik leleh efektif dari struktur. Besarnya simpangan total maksimum dan simpangan inelastis maksimum dihitung seperti pada persamaan 2 dan 3 sebagai berikut.

$$\text{Simpangan Total Maksimum} = \frac{D_t}{H} \dots \dots \text{Pers. 2}$$

$$\text{Simpangan Inelastis Maksimum} = \frac{D_t - D_1}{H} \dots \dots \text{Pers. 3}$$

Mekanisme Sendi Plastis

Menurut Dewobroto (2005), pada analisis pushover struktur akan didorong sampai mengalami leleh di satu atau lebih lokasi di struktur tersebut. Urutan terjadinya leleh ini berkaitan dengan urutan terbentuknya sendi plastis pada masing-masing elemen struktur yang akan terus bermunculan hingga batas deformasi pada struktur. Sendi plastis atau hinge merupakan bentuk ketidakmampuan elemen struktur (balok dan kolom) menahan gaya dalam.

Konsep perencanaan struktur harus sesuai dengan *strong column-weak beam* (kolom kuat-balok lemah) yang artinya apabila terjadi keruntuhan struktur maka balok yang harus runtuh dahulu, namun apabila kolomnya yang runtuh dahulu maka struktur langsung hancur.

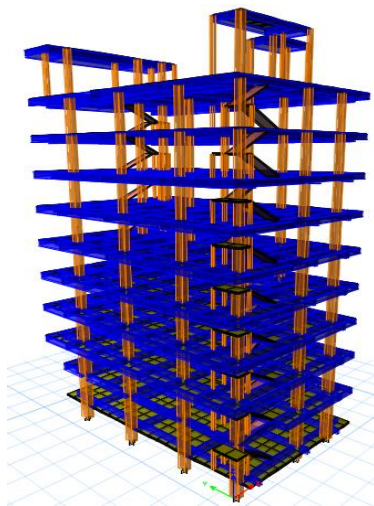
METODOLOGI PENELITIAN

Adapun langkah-langkah pada proses analisis struktur adalah:

- a. Memodelkan seluruh elemen struktur seperti membuat grid, material dan dimensi struktur yang digunakan pada program bantu ETABS.
- b. Input beban yang bekerja pada struktur.

- c. Melakukan analisis ragam modal untuk memperhitungkan waktu getar alami, periode fundamental dan penentuan ragam getar pada struktur berdasarkan peraturan yang berlaku.
- d. Melakukan analisis dinamik respon spektrum untuk mengetahui besar gaya geser dasar dan simpangan yang diijinkan berdasarkan peraturan yang berlaku.
- e. Melakukan analisis pushover dengan membuat nonlinear case yaitu gravitasi dan pushover.
- f. Memodelkan sendi plastis pada balok dan kolom untuk mengetahui mekanisme runtuh dari struktur dengan melihat perilaku lelehnya.
- g. Melakukan analisis pushover dengan menentukan displacement control yang akan ditinjau.
- h. Menganalisis hasil dari analisis pushover berupa kurva kapasitas
- i. Menentukan level kinerja struktur yang mengacu pada ATC-40 dan FEMA 356.
- j. Mengambil kinerja struktur terburuk dari dua metode yang digunakan sebagai acuan dalam tingkat kinerja struktur.

HASIL DAN ANALISIS



Gambar 3. Permodelan Struktur 3D (Program Bantu, 2021)

Pada Gambar 3 diketahui bahwa gedung Hotel Fox Harris Lite terdiri dari 10 lantai dengan ketinggian lantai 1 yaitu 3,95 meter, lantai 2 yaitu 4 meter, lantai 3 sampai lantai RF yaitu 3,7 meter dan lantai atap 4,95 meter, dengan total ketinggian 38,6 meter. Struktur gedung ini memiliki panjang bentang arah x adalah 15,5 meter dan arah y adalah 23,5.

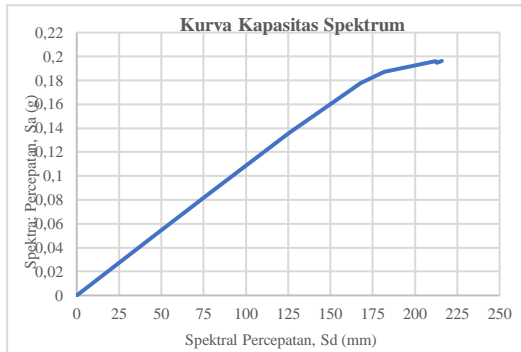
Adapun material yang digunakan berupa beton bertulang K300 dan baja tulangan BJTD 40 dan BJTP 24.

Di dalam analisis struktur ini, banyak asumsi dan idealisasi yang diterapkan dalam memberikan atau menyalurkan beban-beban yang bekerja pada struktur, hal ini dilakukan untuk menyederhanakan pola pembebanan yang bekerja. Adapun asumsi-asumsi pembebanan yang digunakan dapat didefinisikan sebagai berikut:

1. Beban- beban yang bekerja pada struktur meliputi beban mati, beban hidup, beban hujan dan beban gempa.
2. Beban mati struktur (Structural Dead Load) atau berat sendiri yang berasal dari komponen pokok struktur seperti balok, kolom, dan pelat akan dihitung otomatis oleh ETABS berdasarkan input data dimensi dan karakteristik material yang direncanakan.
3. Beban mati tambahan atau Superimpose Dead Load (SIDL) berdasarkan PPURG (1987) dan beban pada balok merupakan beban mati tambahan akibat berat dinding sesuai posisi dinding.
4. Beban pelat yang dihitung dan dimasukkan dalam program ETABS adalah beban hidup berdasarkan fungsi masing-masing ruangan berdasarkan SNI 1727:2013.
5. Beban tangga diasumsikan sebagai beban pada pelat sehingga dihitung berat pelat akibat anak tangga dan bordes.
6. Beban akibat lift diasumsikan bekerja pada lantai puncak dibawah ruang mesin, dan beban akibat berat mesin dan kabin dipikul oleh balok perletakan tempat mesin diberdirikan.

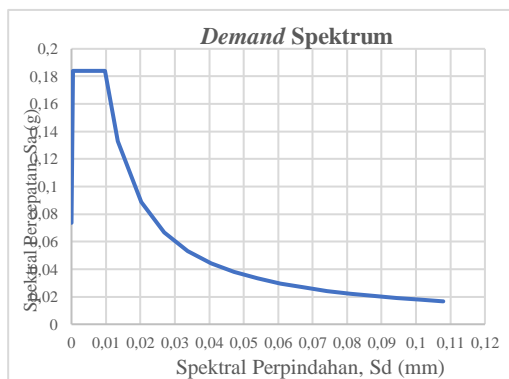
Kinerja Struktur Metode Spektrum Kapasitas ATC-40

Untuk menentukan *performance point* maka kurva kapasitas yang diperoleh dari analisis pushover harus dikonversi ke dalam format ADRS yang telah terbuilt-in pada program seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4 sebagai berikut.



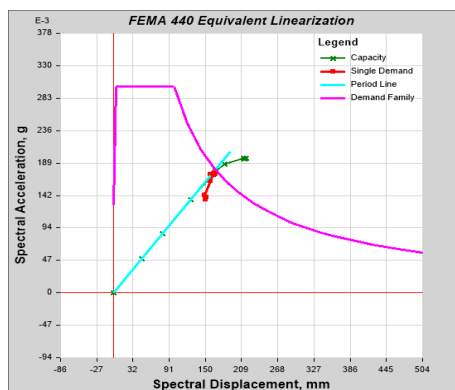
Gambar 4. Spektrum Kapasitas (Program Bantu, 2021)

Respon spektrum yang awalnya dinyatakan dalam spektra percepatan “Sa” dan periode “T” kemudian diubah menjadi format ADRS seperti yang diperlihatkan pada Gambar 5 sebagai berikut.



Gambar 5. Demand Spektrum (Program Bantu, 2021)

Selanjutnya keduanya di plot dalam satu grafik ADRS. Dalam grafik tersebut akan ada titik perpotongan yang disebut sebagai titik kinerja atau *performance point* seperti yang diperlihatkan pada Gambar 6 sebagai berikut.



Gambar 6. Performance Point (Program Bantu, 2021)

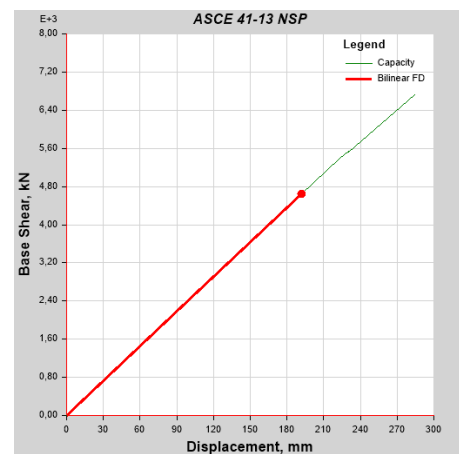
Maka berdasarkan gambar diatas didapatkan beberapa parameter untuk menentukan titik kinerja struktur:

$$\begin{aligned} \text{Displacement (D)} &= 275,994 \text{ mm} \\ \text{Displacement Pertama (D}_1) &= 77,2 \text{ mm} \\ \text{Base Shear (V)} &= 7130,7361 \text{ kN} \end{aligned}$$

Didapatkan simpangan total maksimum sebesar 0,0017 yang menunjukkan bahwa gedung termasuk dalam level kinerja *Immediate Occupancy* (IO) yang artinya saat terjadi gempa, resiko korban jiwa dan kerusakan struktural sangat kecil dan bangunan dapat segera dihuni kembali. Simpangan inelastis maksimum sebesar 0,0051 yang menunjukkan bahwa gedung termasuk dalam kinerja *Damage Control* (DC) yang artinya saat terjadinya gempa bangunan masih mampu menahan gempa dan resiko korban jiwa sangat kecil.

Kinerja Struktur Metode Koefisien Perpindahan FEMA 356

Kurva kapasitas yang dihasilkan pada analisis pushover diubah menjadi kurva biner yang telah terbuilt-in oleh program dengan memodifikasi respons elastis linear dari sistem SDOF ekuivalen dengan faktor koefisien sehingga diperoleh beberapa parameter untuk menghitung target perpindahan seperti yang diperlihatkan pada Gambar 7 sebagai berikut.



Gambar 7. Kuvra Biner (Program Bantu, 2021)

Berdasarkan kurva biner diatas didapatkan beberapa parameter untuk menentukan titik kinerja struktur yang dapat dilihat pada Tabel 2 sebagai berikut.

Tabel 2. Parameter Target Perpindahan (Program Bantu, 2021)

Parameter	
Base Shear (kN)	6854,8501
C ₀	1,688637
C ₁	1
C ₂	1
C ₃	1,5418
Te (s)	1,921
Sa.g	0,172498
Target Perpindahan, δ _T (m)	0,267
Simpangan Total Maksimum	0,0069
Simpangan Inelastis Maksimum	0,0049

Berdasarkan perhitungan diatas, maka didapatkan nilai simpangan total maksimum dan simpangan inelastis maksimum masing-masing sebesar 0,0069 dan 0,0049 yang menunjukkan bahwa gedung termasuk dalam level kinerja *Immediate Occupancy* (IO) yang artinya saat terjadi gempa,

resiko korban jiwa dan kerusakan struktural sangat kecil atau tidak ada kerusakan yang berarti pada struktur.

Skema Distribusi Sendi Plastis

Sendi plastis terjadi karena beban dorong yang diberikan melampaui beban yang dapat ditahan oleh struktur. Sendi plastis pertama muncul pada step ke-2 dimana lokasi awal terjadinya sendi plastis terjadi pada balok di lantai 6. Kemudian secara bertahap naik ke atas seiring pertambahan beban dorong yang diberikan struktur dan muncul sendi plastis pertama kali pada kolom pada step ke-4. Pada step ke-10 merupakan step terakhir dimana step berhenti secara otomatis oleh program dikarenakan elemen struktur mengalami sendi plastis pada tingkat E yang dapat dilihat pada Tabel 3 sebagai berikut.

Tabel 3. Persebaran Sendi Plastis (Program Bantu, 2021)

Step	Displ. (m)	Base Shear (kN)	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A to IO	IO to LS	LS to CP	LS to CP	> CP	Total
0	0	0	1928	0	0	0	0	1928	0	0	0	0	1928
1	77,2	2055,4466	1928	0	0	0	0	1928	0	0	0	0	1928
2	133,861	3564,0485	1926	2	0	0	0	1928	0	0	0	0	1928
3	211,214	5578,0969	1914	14	0	0	0	1928	0	0	0	0	1928
4	309,105	7259,7499	1879	42	2	5	0	1928	0	1	7	0	1928
5	283,978	7284,5402	1894	30	2	2	0	1920	0	0	5	0	1928
6	283,97	7321,9005	1894	30	4	0	0	1923	0	0	5	0	1928
7	309,097	7816,9833	1883	39	4	2	0	1923	0	0	6	0	1928
8	368,01	8232,7678	1852	67	3	4	2	1922	1	0	9	1	1928
9	366,182	8281,3219	1853	66	3	4	2	1918	1	0	9	1	1928
10	373,278	8286,6563	1849	70	3	4	2	1918	0	1	9	0	1928

Berdasarkan gambar dan tabel distribusi mekanisme sendi plastis diatas, dapat dilihat bahwa pushover pada arah x menghasilkan 10 step sebelum dinyatakan collapse. Pada step-0 belum mengalami perpindahan, kemudian iterasi lanjut ke step-1 dan terjadi kenaikan nilai displacement sebesar 77,2 mm dengan nilai gaya geser sebesar 2055,4466 kN. Sendi plastis mulai muncul pada step ke-2 pada level B, kemudian sendi plastis tersebut akan terus meningkat seiring penambahan gaya dorong yang dihasilkan oleh program bantu. Step ke-10 merupakan step yang terakhir terjadi karena struktur tidak mampu lagi menerima beban dorong atau dinyatakan

collapse sehingga step terhenti. Selain itu dapat diamati bahwa sendi plastis pertama kali terjadi pada balok tepatnya di lantai 6 pada ketinggian 15,25 meter sebelum akhirnya terbentuk sendi plastis di beberapa kolom. Hal ini menggambarkan bahwa perencanaan struktur gedung hotel memenuhi konsep perencanaan struktur strong column-weak beam (kolom kuat-balok lemah). Dengan diketahuinya mekanisme sendi plastis tersebut maka dapat mengantisipasi terjadinya keruntuhan struktur, apabila terjadi gempa yang melebihi kapasitas struktur bangunan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Diperoleh kurva kapasitas dan kurva kapasitas spektrum yang telah diubah dalam format ADRS yang menunjukkan performance point yaitu nilai base shear (V) sebesar 7130,7361 kN dan displacement (D) sebesar 275,994 mm.
2. Dari hasil perhitungan dengan bantuan program ETABS pada metode spektrum kapasitas berdasarkan peraturan ATC-40 didapatkan nilai simpangan total maksimum dan simpangan inelastis maksimum masing-masing termasuk dalam kategori Immediate Occupancy dan Damage Control. Sedangkan pada metode koefisien perpindahan berdasarkan peraturan FEMA 356 didapatkan nilai simpangan total maksimum dan simpangan inelastis maksimum keduanya termasuk dalam kategori Immediate Occupancy. Dimana diambil level kinerja struktur terburuk yaitu Damage Control yang artinya bila terjadi gempa bangunan masih mampu menahan gempa yang terjadi dan resiko korban jiwa sangat kecil.
3. Bahwa sendi plastis mulai muncul pada step ke-2 pada level B, kemudian terus meningkat seiring penambahan gaya dorong yang diberikan sampai mencapai level D dan pada step ke-10. Step berhenti karena tidak mampu lagi menerima beban dorong atau dinyatakan collapse. Besar gaya geser dasar maksimum yang dapat ditahan struktur sebesar 8286,6563 kN dan displacement (D) sebesar 373,278 mm.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] American Society of Civil Engineer, 2000. FEMA 356 Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings. Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.
- [2] Anisa Febriana dkk. Analisis Pushover Untuk Performance Based Design (Studi Kasus Gedung B Program Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer Universitas Brawijaya), 2016. Universitas Brawijaya, Malang.
- [3] Applied Technology Council, 1996. ATC-40 Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings. Vol 1. Redwood City California, USA.
- [4] Badan Standarisasi Nasional. 2019. Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung (SNI 1726:2019). Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- [5] Badan Standarisasi Nasional. 2013. Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain (SNI 1727:2013). Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- [6] Badan Standarisasi Nasional. 2013. Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung (SNI 2847:2013). Badan Standarisasi Nasional, Jakarta Departemen Pekerjaan Umum. 1987. Pedoman Perencanaan Pembebanan Indonesia Untuk Rumah Dan Gedung (PPURG 1987). Yayasan Badan Pekerjaan Umum, Jakarta.
- [7] Departemen Pekerjaan Umum. 1987. Pedoman Perencanaan Pembebanan Indonesia Untuk Rumah Dan Gedung (PPURG 1987). Yayasan Badan Pekerjaan Umum, Jakarta.
- [8] Dewobroto Wiryanto, 2006. Evaluasi Kinerja Bangunan Baja Tahan Gempa dengan SAP2000. Universitas Pelita Harapan, Jakarta.
- [9] Fitri Hasdanita dkk, 2018. Analisis Pushover Terhadap Respon Struktur dengan Menggunakan Base Isolator. Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh.
- [10] Pranata, Y.A, 2006. Evaluasi Kinerja Gedung Beton Bertulang Tahan gempa dengan Pushover Analysis (sesuai ATC-40, FEMA 356 dan FEMA 440). Universitas Kristen Maranatha, Bandung.
- [11] Ramli Ahmad, 2016. Analisis kinerja seismik struktur beton dengan Metode pushover menggunakan program SAP2000 V.14. Universitas Mataram, Mataram.
- [12] Tavio & Usman Wijaya, 2018. Desain Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja (Performance Based Design). Andi, Yogyakarta.