



Kajian Level Kinerja Struktur Apartemen 25 Lantai terhadap Beban Gempa dengan Analisis Pushover pada Sumbu Kuat

Gita Zakiah Putri^{1*}, Edra Grady Wartono²

¹ Badan Riset dan Inovasi Daerah Pemerintah Provinsi Riau, Riau

² Jurusan Teknik Sipil dan Infrastruktur, Fakultas Teknik, Politeknik Astra, Bekasi

*Email: gita.putri@polytechnic.astra.ac.id

Abstract: High-rise projects like 25-storey apartment buildings often face construction challenges due to dense reinforcement, particularly in shear walls. Spatial constraints may prevent full rebar installation, as seen in a studied project in Jakarta, leading to minor reinforcement reductions. Although seemingly insignificant, such reductions can affect ductility and seismic performance. The site lies in Seismic Design Category D per SNI 1726:2019, requiring special seismic detailing and ensuring structures meet at least Damage Control (DC) performance under Maximum Considered Earthquake (MCE) conditions (2% probability in 50 years). The building uses a dual system—moment-resisting frames and shear walls—with a ductility factor of $R=7R=7$, following ATC-40 guidelines. Pushover analysis showed a maximum base shear of 3063.76 kN at 1298.59 mm roof displacement (step 18), while the performance point was reached at 619.45 mm displacement and 2250.89 kN base shear. Plastic hinges formed first in beams at step 7 and progressed until step 18. The building satisfies the DC performance level, indicating it can endure MCE-level earthquakes with low life-safety risk. Estimated repair costs at this level are around 35% of the structural value, confirming acceptable structural performance and safety for occupancy during major seismic events.

Keywords: Pushover; Seismic performance; Damage Control Level.

1. PENDAHULUAN

Pada desain struktur berbasis kinerja, biasanya kinerja struktur didesain sesuai dengan tujuan dan kegunaan suatu bangunan dengan mempertimbangkan faktor ekonomis terhadap perbaikan bangunan saat terjadi gempa tanpa mengesampingkan keselamatan terhadap pengguna bangunan (Tavio, 2018). Dalam pembangunan gedung bertingkat tinggi, khususnya apartemen dengan jumlah lantai mencapai 25, sering kali dijumpai tantangan teknis dalam pelaksanaan di lapangan.

Salah satu permasalahan yang umum terjadi adalah kepadatan konfigurasi penulangan, terutama pada elemen struktur kritis seperti *shear wall*. Penulangan yang sangat rapat menyebabkan kesulitan dalam proses instalasi baja tulangan sesuai dengan desain, sehingga pada beberapa kasus terdapat batang tulangan yang tidak dapat terpasang. Hal ini juga terjadi pada salah satu proyek apartemen 25 lantai yang menjadi objek pengamatan dalam penelitian ini, di mana sebagian tulangan pada elemen shear wall tidak berhasil terpasang karena keterbatasan ruang dan kemudahan kerja di lapangan. Meskipun pengurangan ini tidak signifikan dalam rasio tulangan secara keseluruhan,

namun potensi dampaknya terhadap performa struktur tidak dapat diabaikan begitu saja. Keberadaan beban vertikal meningkatkan kapasitas dukung lateral dinding, sementara rasio aspek memengaruhi ketahanan terhadap geser (*sliding resistance*) dan daktilitas dinding (Dusicka dkk., 2009). Pengaruh rasio tulangan horizontal terhadap kekuatan puncak pada *shear-critical wall* terhadap geser adalah kecil di atas nilai ambang tertentu yang cukup untuk menjaga integritas / kekakuan diagonal (Luna, 2015).

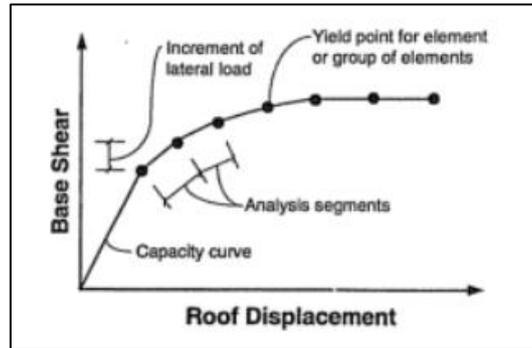
Wilayah Jakarta, sebagai lokasi proyek, termasuk dalam kategori zona seismik D berdasarkan ketentuan (SNI 1726:2012). Zona ini mengharuskan desain struktur bangunan memenuhi ketentuan detailing seismik penuh (*special seismic detailing*) dengan tingkat daktilitas tinggi. Oleh karena itu, elemen-elemen struktur seperti *shear wall* tidak hanya berfungsi menahan gaya lateral, tetapi juga wajib memiliki performa yang mampu mencapai tingkat *Damage Control* (DC) dalam skenario gempa rencana, sebagai syarat minimum dari kinerja struktur (American Society of Civil Engineers, 2017). SNI 1726:2019 menyatakan gempa periode ulang 2500 tahun disebut sebagai Gempa Batas Atas (*Maximum Considered Earthquake / MCE*) dengan probabilitas kejadian sekitar 2% dalam 50 tahun. Pendekatan ini bertujuan untuk memastikan bahwa bangunan yang dirancang sesuai standar memiliki tingkat keamanan yang tinggi terhadap gempa besar.

Titik-titik merah dalam peta kegempaan menunjukkan frekuensi gempa sepanjang patahan aktif, yang menjadi dasar dalam menentukan nilai amplifikasi beban gempa di tiap wilayah di Indonesia sesuai kategori desain seismiknya. Evaluasi berbasis kinerja struktur (*performance-based evaluation*) merupakan salah satu pendekatan yang digunakan untuk menilai seberapa tahan suatu bangunan terhadap beban gempa. Metode ini dikenal sebagai *pushover analysis*, merupakan pendekatan *nonlinier* berbasis material inelastik dengan pembebanan statik bertahap untuk menilai respons struktur hingga kondisi *ultimit*, memprediksi kemungkinan kerusakan struktural pada rangka beton bertulang (*RC frame*) (Ahmed, 2022). Pushover mengakibatkan leleh yang cukup signifikan pada beberapa elemen balok, rangka struktur mampu menahan gaya gempa yang diperkirakan, meskipun terdapat variasi panjang sendi plastis yang terbentuk (Kadid, 2008).

Dalam penelitian ini, penulis melakukan evaluasi terhadap struktur Apartemen 25 lantai yang difungsikan sebagai apartement / rumah huni, kategori risiko II, lokasi di Tangerang, Kategori Desain Seismik D, dan dirancang menggunakan sistem ganda berupa rangka pemikul momen dan dinding geser dengan nilai daktilitas $R = 7$ sesuai SNI 1726:2019. Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi kinerja seismik struktur apartemen terhadap beban gempa MCE menggunakan metode analisis statik nonlinier (*pushover*) dengan kondisi adanya pengurangan rasio tulangan terpasang berdasarkan kriteria ATC-40 dan FEMA 273.

Kurva kapasitas

Kurva kapasitas menggambarkan keterkaitan antara gaya geser pada dasar struktur (*Base Shear*) terhadap perpindahan pada atap (*Roof displacement*).

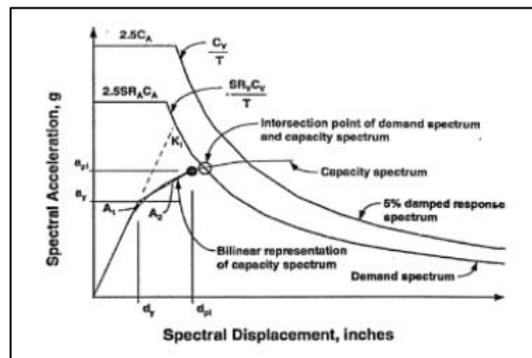


Gambar 1. Kurva Kapasitas

Sumber: ATC-40 Volume I *Figure 8-1* (1996)

Performance Point

Titik kinerja (*performance point*) adalah titik perpotongan antara kurva kapasitas (*capacity curve*) dan kurva spektrum respons (*demand spectrum*) sesuai dengan ATC-40 (1996).



Gambar 2. *Performance Point*

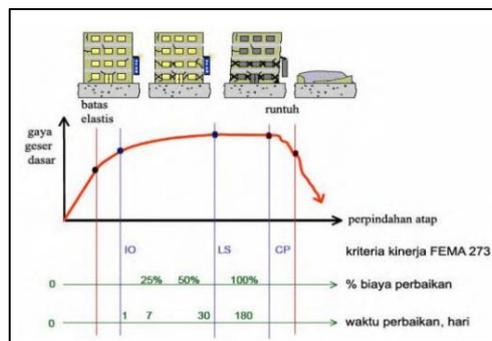
Sumber: ATC-40 Volume I *Figure 8-28* (1996)

Kinerja Struktur

Level kinerja diperoleh dari daktilitas struktur bangunan yang didesain. Daktilitas bangunan diperoleh dari material struktur, beton dan baja tulangan, detail tulangan, tipe sistem struktur, konfigurasi geometri, dan rasio tulangan. Penurunan mutu beton secara signifikan berdampak pada penurunan rata-rata daktilitas struktur (Sutarno, 2023). Selain itu, terdapat kecenderungan bahwa semakin besar rasio bentang, maka daktilitas struktur juga mengalami penurunan (Arissaputra, 2025). Pedoman ATC-40 (*Applied Technology Council*) digunakan untuk menentukan tingkat kinerja bangunan saat mengalami gempa. Tingkat kinerja ini ditetapkan berdasarkan tingkat kerusakan bangunan yang diukur dari batas deformasi maksimum.

Tabel 1. Tingkat kinerja, kondisi kerusakan, dan batas simpangan antar-lantai (Ghobarah, 2001)

Performance Level [3-5]	Damage State	Drift [3]
Fully operational, immediate occupancy	No damage	<0,2%
Operational, Damage control, Moderate	Repairable	<0,5%
Life safe – Damage state	Irreparable	<1,5%
Near collapse, Limited safety, Hazard reduced	Severe	<2,5%
Collapse		>2,5%

**Gambar 3.** Ilustrasi Keruntuhan Gedung
Sumber: ATC-40 (1996)**Tabel 2.** Level Kinerja dan Kondisi Bangunan Pasca Gempa
Sumber: ATC-40 (1996)

Tingkat Kinerja	Kondisi Bangunan Pasca Gempa	Kategori Bangunan
SP-1 <i>Immediate Occupancy (IO)</i>	Bangunan aman saat terjadi gempa, risiko korban jiwa dan kegagalan struktur tidak terlalu berarti, gedung tidak mengalami kerusakan berarti, dan dapat segera difungsikan kembali.	Struktur bangunan yang mutlak difungsikan sebagai sarana penyelamatan, penyimpanan barang berbahaya, atau struktur bangunan yang dapat mempengaruhi ekonomi nasional. Contohnya rumah sakit, gudang bahan bakar atau bahan berbahaya.
SP-2 <i>Damage Control (DC)</i>	Merupakan transisi antara SP-1 dan SP-3. Bangunan masih mampu menahan gempa yang terjadi, risiko korban jiwa manusia sangat kecil.	Struktur untuk bangunan bersejarah, bangunan yang menjadi tempat penyimpanan barang-barang berharga.
SP-3 <i>Life Safety (LS)</i>	Bangunan mengalami kerusakan tetapi tidak diperkenankan mengalami keruntuhan yang menyebabkan korban jiwa manusia (risiko korban jiwa sangat rendah).	Fasilitas-fasilitas umum, gedung perkantoran, perumahan, gudang dan lain sebagainya.

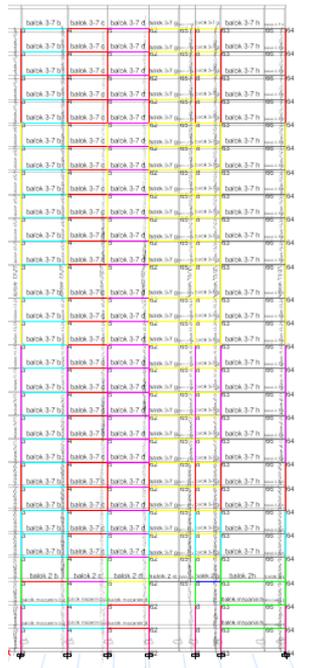
	Setelah terjadi gempa maka bangunan dapat berfungsi kembali setelah dilakukan perbaikan komponen struktural maupun non struktural.	
SP-4 <i>Limited Safety</i>	Merupakan transisi antara SP-3 dan SP-5 dan bukan merupakan tingkatan serta tidak memperhitungkan aspek ekonomis dalam melakukan perbaikan pasca gempa.	
SP-5 <i>Structural Stability (SS)</i>	Struktur pasca gempa mengalami kerusakan hingga diambang keruntuhan total maupun parsial. Komponen struktur penahan beban gravitasi masih bekerja meskipun keseluruhan kestabilan sudah diambang keseluruhan.	
SP-6 <i>Not Considered</i>	Bukan merupakan tingkatan kinerja struktur, tetapihanya untuk melakukan evaluasi seismik non-struktural atau retrofit.	

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja struktur Apartemen terhadap beban gempa analisis statik non-linier (*pushover analysis*) berbasis pendekatan *performance-based evaluation*. Penelitian dilakukan pada bulan Maret hingga Agustus 2025, dengan objek penelitian berupa Apartemen yang berlokasi di Tangerang, Provinsi Banten. Teknik pengumpulan data meliputi data primer berupa gambar teknis struktur, spesifikasi material, dan data perencanaan, serta data sekunder berupa peta gempa dari RSA Cipta Karya 2024, SNI 1726:2019, ATC-40, dan FEMA 273. Seluruh data dianalisis menggunakan perangkat lunak ETABS untuk melakukan pemodelan struktur dan simulasi *pushover*, sehingga diperoleh kurva kapasitas struktur/titik kinerja (*performance point*) berdasarkan indikator kategori *Immediate Occupancy (IO)*, *Life Safety (LS)*, atau *Damage Control (DC)*. Hasil analisis untuk mengetahui keandalan dan keamanan struktur terhadap beban gempa maksimum (MCE) dengan kondisi rasio tulangan eksisting.

2.1. Permodelan struktur

Permodelan struktur dilakukan dengan bantuan *software* ETABS dengan menggambar struktur dari bangunan yaitu kolom dan balok sesuai dengan *shop drawing*. Gambar permodelan struktur dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 4. Model ETABS Proyek Apartemen 25 tingkat

Beban yang bekerja pada gedung meliputi (Zuher, 2023):

1. Berat beban sendiri elemen struktur (*Dead Load*) : balok, kolom, *shear wall*, dan plat.
2. Beban elemen tambahan (*Super Dead Load*),: dinding, keramik, plesteran, *plumbing*, ME (*mechanical electrical*).
3. Beban hidup (*Live Load*) : beban luasan per m² berdasarkan fungsi bangunan apartemen serta fungsi ruang sesuai gambar arsitektural.
4. Beban Gempa (*Earthquake Load*) : beban dinamik (*respons spectrum*)

2.2. Pendefinisian sendi plastis

Sendi plastis pada *pushover analysis* bertujuan untuk menentukan lokasi kelelahan, representasi non-linier, pemodelan kapasitas rotasi, dan penentuan kapasitas ultimit. Pada kasus ini *plastic hinges properties* diinput otomatis dari program ETABS dengan *default code ASCE 41-17 dan FEMA 356* (American Society of Civil Engineers, 2017; ASCE, 2000; Vijayakumar dkk., 2012).

2.3. Analisis *pushover*

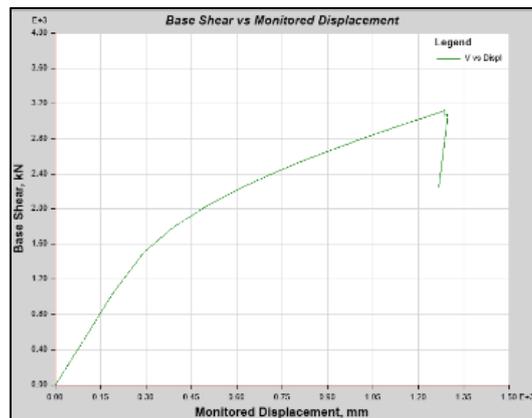
Pada penelitian ini, analisis *pushover* dilakukan dengan peningkatan beban lateral statik dari nilai *base shear* akibat mode ke-1 (*mode dominan*). Beban gempa diambil dari mass source dengan kombinasi beban mati 100%, dan beban hidup 25%. Berikutnya didapatkan nilai *Modal Participating Mass Ratios* (MPMR) pada tahap ini beban lateral awal diterapkan untuk mengidentifikasi titik-titik plastis pada elemen-elemen tersebut. Rotasi plastis maksimum diukur pada elemen-elemen yang merupakan indikator kinerja seismik elemen struktural. Analisis dilakukan dengan menerapkan pola beban lateral statik pada struktur, yang kemudian secara bertahap dinaikkan menggunakan faktor

pengali hingga mencapai target perpindahan lateral pada titik acuan tertentu. Dalam proses pushover, struktur didorong hingga terjadi pelepasan pada satu atau beberapa bagian struktur. Kurva kapasitas akan menunjukkan perilaku linier hingga mencapai titik leleh, dan setelah itu menunjukkan karakteristik non-linier (Utomo dkk., 2012).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Kurva Kapasitas

Dari kurva kapasitas pushover didapatkan hasil gaya geser dasar maksimum yang dapat ditahan secara maksimum pada step ke-17 dengan nilai sebesar 3063,76 kN dengan perpindahan pada atap sebesar 1298,59 mm dan berakhir pada step ke-18.



Gambar 5. Kurva Kapasitas *Pushover*

Tabel 3 menunjukkan hasil analisis kurva kapasitas struktur menggunakan metode *pushover* pada Apartemen 25 tingkat. Pada awal tahap (step 1), struktur menunjukkan perpindahan (*displacement*) sebesar 100,00 mm dengan gaya geser dasar (*base shear*) sebesar 548,86 kN. Seiring dengan bertambahnya langkah analisis, nilai perpindahan dan gaya geser dasar meningkat secara progresif. Pada step ke-6, tercatat perpindahan sebesar 605,01 mm dan gaya geser mencapai 2227,51 kN, menunjukkan bahwa struktur masih berada dalam zona elastis dengan peningkatan kekakuan relatif stabil.

Kinerja struktur mencapai nilai maksimum pada step ke-17, dengan perpindahan sebesar 1298,59 mm dan gaya geser dasar maksimum sebesar 3063,76 kN. Hal ini menandai kapasitas maksimum struktur dalam menahan beban lateral. Namun, pada step ke-18 terjadi penurunan gaya geser menjadi 2255,41 kN dengan *displacement* sebesar 1267,90 mm, yang mengindikasikan bahwa struktur telah memasuki kondisi pasca-puncak, di mana plastisitas mulai berkembang secara signifikan dan kekuatan struktur mulai menurun. Fenomena ini menunjukkan bahwa elemen struktur, terutama balok, mulai mengalami formasi sendi plastis, yang kemudian memengaruhi kapasitas lateral keseluruhan struktur. Dengan demikian, kurva kapasitas menunjukkan bahwa struktur Apartemen mampu menahan beban gempa hingga titik maksimum tertentu sebelum mengalami penurunan kapasitas akibat mekanisme keruntuhan yang berkembang.

Tabel 3. Kurva Kapasitas Pushover

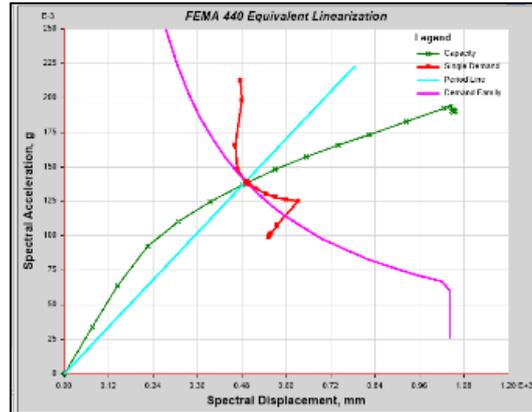
Step	Displacement	Base Shear (kN)	Total
1	100.00	548.86	768
2	187.58	1029.54	768
3	292.47	1508.62	768
4	393.32	1796.40	768
5	498.16	2027.84	768
6	605.01	2227.51	768
7	711.89	2400.64	768
8	813.15	2544.39	768
9	917.78	2680.46	768
10	1018.05	2803.85	768
17	1298.59	3063.76	768
18	1267.90	2255.41	768

3.2. Performance Point

Titik performa ditemukan pada *displacement* 619,445 mm dan *base shear* 2250,89 kN, yang merupakan hasil dari proses *pushover analysis* yang telah dilinear-kan. Grafik juga menunjukkan bahwa kurva *demand* (S_a) berada di atas kurva kapasitas di awal, namun bertemu di titik performa, yang menandakan bahwa struktur mulai menunjukkan respons inelastik setelah titik tersebut.

Perlu dicatat bahwa nilai percepatan spektral pada titik performa (S_a *performance*) lebih kecil daripada nilai percepatan spektral desain gempa (S_a *design*) yang diwakili oleh garis biru (*design spectrum*). Ini menunjukkan bahwa periode alami struktur pada titik performa lebih besar daripada periode struktur desain (elongasi perioda terjadi akibat perilaku inelastik struktur). Hal ini mengindikasikan bahwa struktur merespons gempa dalam kondisi lebih lunak dari yang diasumsikan saat desain, namun tetap berada pada kondisi aman dan konservatif terhadap beban MCEr.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa desain gempa MCEr yang digunakan dalam perencanaan struktur ini tergolong konservatif, karena respons aktual struktur pada kondisi performa masih berada di bawah batas desain. Hal ini memperkuat kesimpulan bahwa struktur mampu menahan gempa besar dengan cukup baik, sejalan dengan prinsip evaluasi seismik berbasis kinerja (Performance-Based Seismic Evaluation) dengan kondisi rasio tulangan eksisting



Gambar 6. Spectrum Kapasitas Pushover

3.3. Level kinerja struktur

Level kinerja struktur ditentukan dari batasan rasio drift (ATC-40) yang diperoleh pada titik kinerja atau performance point. Data yang digunakan untuk memperoleh level kinerja struktur ialah maximum total drift ratio dan maximum inelastic drift ratio.

$$\text{Maksimum total Drift Ratio} = \frac{\delta_t}{H} = \frac{1,298}{91,4} = 0,01421$$

$$\text{Maksimum total Drift Ratio} = 0,01 < 0,01421 < 0,02$$

Menurut ATC-40 pada Table 11-2 jika nilai Maximum Total Drift Ratio berada diantara $0,01 < x < 0,02$ maka termasuk dalam kategori level kinerja struktur *Damage Control* (DC). *Damage Control* merupakan tahap transisi antara kondisi *Immediate Occupancy* dan *Life Safety*, di mana bangunan masih dapat bertahan terhadap gempa dengan tingkat kerusakan yang relatif ringan.

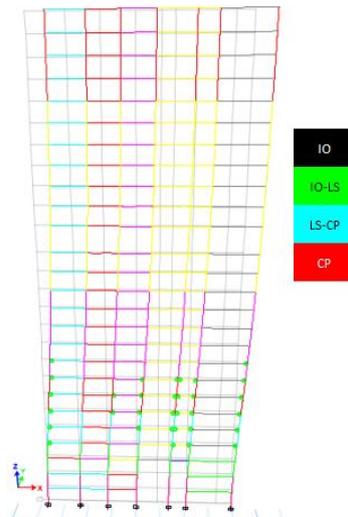
$$\text{Maksimum inelastik Drift Ratio} = \frac{\delta_t - \delta_{li}}{H} = \frac{1,298 - 0,292}{91,4} = 0,01101$$

$$\text{Maksimum inelastik Drift Ratio} = 0,005 < 0,01101 < 0,015$$

Menurut ATC-40 pada Table 11-2, Maximum Inelastic Drift Ratio diantara $0,005 < x < 0,015$, kinerja masuk dalam kategori *Damage Control* (DC). *Damage Control* adalah transisi level kinerja *Immediate Occupancy* dan *Life Safety*.

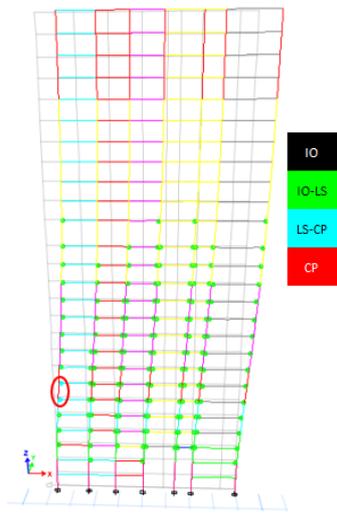
3.4. Sendi plastis

Sendi plastis mulai terbentuk saat mencapai step ke-7. Pada step ini sendi plastis terjadi di balok ditandai dengan titik-titik hijau yang muncul di lokasi sendi plastis. Warna hijau ini menunjukkan bahwa elemen tersebut berada pada level kinerja *Immediate Occupancy*, yang berarti proses pembentukan sendi plastis telah dimulai. Pada tahap ini, elemen-elemen masih berada dalam kondisi elastis, beberapa titik mengalami deformasi plastis yang merupakan indikasi elemen tersebut telah mencapai titik *yield* dan mulai mengalami deformasi yang tidak bisa sepenuhnya kembali ke kondisi awal setelah beban dihilangkan.

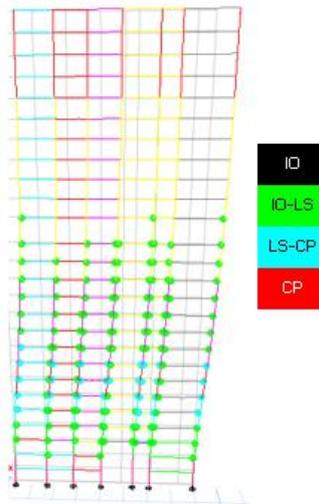


Gambar 7. Sendi Plastis Pada Step-7

Pada step ke-14 terlihat mulai banyak sendi plastis yang terbentuk, ditandai dengan titik-titik hijau yang muncul. Selain warna hijau pada step ini mulai muncul warna biru. Warna biru ini menunjukkan bahwa elemen tersebut masih berada pada level kinerja LS (*Life Safety*), yang berarti proses deformasi yang terjadi telah melampaui batas elastisnya dan mengalami perubahan permanen tetapi struktur masih mampu berfungsi dan memberikan keamanan yang cukup. Walaupun kerusakan struktural terjadi, keselamatan penghuninya masih dapat dijamin. Dalam tahap ini, struktur mungkin telah mengalami deformasi yang signifikan, tetapi tidak mengalami keruntuhan total dan tetap cukup stabil untuk memungkinkan evakuasi tanpa risiko tinggi terhadap penghuninya.



Gambar 8. Sendi Plastis Pada Step-14



Gambar 9. Terjadinya Final Sendi Plastis Pada Step-18

Hasil akhir dari mekanisme sendi plastis terjadi pada step-18 dan terjadi pada balok sesuai dengan prinsip *strong column weak beam* yang mana dari awal hingga akhir sendi plastis terjadi pada balok. Pada step ini sendi plastis terlihat ada dua warna yaitu hijau dan biru. Pada bagian bawah struktur, terlihat bahwa sebagian besar elemen berwarna biru dan merah. Hal ini menunjukkan bahwa bagian bawah struktur mengalami deformasi yang signifikan dan berada dalam kondisi *Life Safety*. Deformasi yang lebih besar di bagian bawah dapat disebabkan oleh beban gempa yang lebih besar diterima di bagian ini.

Elemen-elemen di bagian tengah hingga atas struktur cenderung berwarna hijau, yang berarti mereka berada dalam kondisi *Immediate Occupancy*. Ini menunjukkan bahwa bagian atas struktur mengalami kerusakan yang lebih ringan dibandingkan dengan bagian bawahnya.

4. KESIMPULAN

Dari hasil analisis pushover terhadap struktur Apartemen, diketahui bahwa gaya geser dasar maksimum sebesar 3063,76 kN terjadi pada langkah analisis ke-17, dengan perpindahan atap mencapai 1298,59 mm. Titik performa struktur tercapai pada perpindahan 619,445 mm dengan gaya geser dasar sebesar 2250,89 kN. Berdasarkan evaluasi tingkat kinerja menurut ATC-40, bangunan berada pada level Damage Control (DC), yang menandakan bahwa struktur masih mampu menahan beban gempa dengan potensi korban jiwa yang sangat rendah, sehingga keamanan dan kenyamanan penghuni tetap terjamin. Munculnya sendi plastis pertama kali terjadi pada elemen balok pada langkah ke-7, ditandai dengan warna hijau, dan berakhir di step ke-18 dengan sendi berwarna biru, yang menunjukkan bahwa balok mengalami kerusakan signifikan pada *level Life Safety (LS) to Collapse Prevention (CP)*, tetapi tetap tidak runtuh total. Kolom tidak menunjukkan sendi plastis, sehingga prinsip *desain strong column weak beam* telah terpenuhi. Mengacu pada ATC-40, kerusakan pada level DC ini diperkirakan

menimbulkan biaya perbaikan sekitar 35% dari total biaya struktur. Dengan demikian, struktur Apartemen dapat disimpulkan memiliki kinerja seismik yang baik terhadap beban gempa maksimum (MCE), dan dapat dijadikan rujukan dalam pengembangan perencanaan struktur bangunan tinggi lainnya di wilayah dengan risiko seismik tinggi

REFERENSI

- Ahmed, S. Y., Salih, O. A., & Najeebabba, O. (2022). Effect of plastic hinge properties in pushover analysis of reinforced concrete plane frames. *International Research Journal of Innovations in Engineering and Technology*.
- American Society of Civil Engineers. (2017, December). Seismic evaluation and retrofit of existing buildings. American Society of Civil Engineers.
- Arissaputra, S., & Irwan, J. (2025). Studi Kasus Perilaku Daktilitas Struktur Bangunan 20 Lantai Terhadap Defisiensi Mutu Beton Menggunakan Metode Pushover. *Technologic*, 16(1).
- ASCE. (2000). Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings. *Rep. Prepared for FEMA, FEMA 356*.
- ATC-40. (1996). *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*. SEISMIC SAFETY COMMISSION State of California.
- Dusicka, P., & Kay, T. (2009). Seismic evaluation of a green building structural system: ICF grid walls. In *Structures Congress 2009: Don't Mess with Structural Engineers: Expanding Our Role* (pp. 1-7).
- Ghobarah, A. (2001). Performance-based design in earthquake engineering: state of development. *Engineering structures*, 23(8), 878-884.
- Kadid, A., & Boumrkik, A. (2008). Pushover analysis of reinforced concrete frame structures.
- Luna, B. N., Rivera, J. P., & Whittaker, A. S. (2015). Seismic Behavior of Low-Aspect-Ratio Reinforced Concrete Shear Walls. *ACI Structural Journal*, 112(5).
- Nasional, B. S. (2012). Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung. *Sni*, 1726, 2012.
- Sutarno, S. (2023). *Efektivitas pengeangan terhadap perilaku beton mutu tinggi berserat baja* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Sultan Agung (Indonesia)).
- Tavio, U. W. (2018). *Desain Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja (Performance Based Design)*. Yogyakarta: Andi.

Utomo, C., Susanto, R. I., Tadjono, S., & Wibowo, H. (2012). Evaluasi Struktur dengan Pushover Analysis pada Gedung Kalibata Residences Jakarta (The Evaluation Of The Structure by Using Pushover Analysis of Kalibata Residences Building Jakarta). *Jurnal Karya Teknik Sipil*, 1(1), 1-10.

Vijayakumar, A., & Babu, D. V. (2012). Pushover analysis of existing reinforced concrete framed structures. *European Journal of Scientific Research*, 71(2), 195-202.

Zuher, M. H. (2023). *Analisis Kurva Fragilitas Pada Struktur Bangunan 12 Lantai dengan Metode Pushover* (Doctoral dissertation, Universitas Andalas).