Analisis Struktur Atas Terhadap Beban Gempa Dengan Menggunakan Metode *Pushover Analysis*

(Studi Kasus Proyek Gedung Ji'rona Rumah Sakit 'Aisyiyah Bojonegoro)

Hariyanto[a], Mochammad Ya'isy Kamal[b*]

[a] Sekolah Tinggi Teknologi Ronggolawe Cepu
[b] Sekolah Tinggi Teknologi Ronggolawe Cepu
[*] Penulis Korespondensi, Alamat Email: garu93942@gmail.com

Diterima : 29-12-2025 - Direview : 30-12-2025 - Diterbitkan : 31-12-2025

Intisari

Penelitian ini mengevaluasi kinerja struktur atas Gedung Ji'rona Rumah Sakit 'Aisyiyah Bojonegoro terhadap beban gempa menggunakan Metode *Pushover Analysis* dengan perangkat lunak SAP2000 V.24. Mengacu pada SNI 1726:2019 dan ATC-40, tujuan utamanya adalah menentukan level kinerja struktur dan pola keruntuhan. Hasil analisis menunjukkan bahwa gedung mencapai tingkat kinerja *Damage Control* (DC). Ini berarti struktur mampu menahan gempa tanpa runtuh total, namun akan mengalami kerusakan yang memerlukan perbaikan signifikan. Simpangan total maksimum pada arah Y-Y mencapai 365,641 mm, dengan rasio simpangan 0,012, dan simpangan inelastik 0,011. Pola keruntuhan yang teridentifikasi dimulai dengan pembentukan sendi plastis pada balok di lantai 3 hingga 7, diikuti oleh kolom di lantai dasar. Pola ini mengindikasikan mekanisme *strong column-weak beam* yang diinginkan, di mana balok meleleh terlebih dahulu. Namun, beberapa kolom menunjukkan kinerja kritis, mendekati *Collapse Prevention*, terutama pada arah Y-Y. Arah X-X menunjukkan perilaku yang lebih kaku dan kurang responsif.

Kata Kunci : *Damage Control*, Gedung Tahan Gempa, Kinerja Struktur, Pola Keruntuhan, *Pushover Analysis*.

Abstract

This research evaluates the seismic performance of the superstructure of Gedung Ji'rona 'Aisyiyah Bojonegoro Hospital under earthquake loads using the Pushover Analysis Method with SAP2000 V.24 software. Referring to SNI 1726:2019 and ATC-40, the main objective is to determine the structural performance level and collapse pattern. The analysis results show that the building achieved a Damage Control (DC) performance level. This means the structure is capable of resisting total collapse from an earthquake, but will sustain significant damage requiring repair. The maximum total displacement in the Y-Y direction reached 365.641 mm, with a displacement ratio of 0.012, and an inelastic displacement of 0.011. The identified collapse pattern began with the formation of plastic hinges in beams on floors 3 to 7, followed by columns on the ground floor. This pattern indicates the desired strong column-weak beam mechanism, where beams yield first. However, some columns showed critical performance, approaching Collapse Prevention, especially in the Y-Y direction. The X-X direction exhibited stiffer and less responsive behavior.

Keywords : *Damage Control, Earthquake-Resistant Building, Structural Performance, Collapse Pattern, Pushover Analysis*.

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan negara berkembang yang terus berusaha untuk menjadi negara maju. Usaha yang dilakukan yaitu dengan pembangunan di bidang infrastrukur. Kemajuan infrastruktur di bidang kesehatan khususnya rumah sakit, mengalami perkembangan yang signifikan beberapa tahun terakhir, baik dari segi teknologi maupun konstruksi. Dalam pembangunan gedung rumah sakit, gedung harus memiliki struktur yang kuat, aman, nyaman, dan tahan terhadap gempa. Seperti halnya Rumah Sakit Aisyiyah Bojonegoro yang berperan penting dalam pelayanan kesehatan. Keberadaan rumah sakit ini sangat krusial dalam menyediakan layanan kesehatan yang optimal bagi masyarakat Bojonegoro dan sekitarnya.

Wilayah Indonesia memiliki potensi tinggi terjadinya gempa bumi karena terletak di kawasan Cincin Api Pasifik. Cincin Api Pasifik yaitu daerah yang paling sering mengalami gempa akibat pergerakan lempeng tektonik. Kondisi geografis ini menjadi faktor penting dalam perencanaan desain struktur bangunan. Seiring berkembangnya teknologi, inilah yang dapat memunculkan konsep dan metode baru dalam mengevaluasi perencanaan gedung tahan gempa, salah satunya menggunakan konsep *Perform Based Seismik Evaluation* (PBSE) dengan metode analisis beban dorong statik atau Analisis Pushover. Metode ini mampu memberikan informasi pola keruntuhan bangunan ketika terbebani gaya gempa yang melebihi kapasitas bangunan.

Dalam perencanaan gedung harus memenuhi syarat-syarat yang diataur dalam undang-undang, pada Bagian Keempat Persyaratan Keandalan Bangunan Gedung pasal 16 ayat 1 berbunyi Persyaratan keaandaan bangungan gedung, meliputi persyaratan keselamatan, kesehatan, kenyamanan, dan kemudahan. Dalam hal keselamatan struktur bangunan harus mampu menahan beban yang kerja pada struktur untuk menghindari terjadinya kegagalan struktur atau keruntuhan yang bisa berdampak besar bagi keselamatan. Beban gempa termasuk beban yang bisa mempengaruhi kinerja struktur cukup besar, salah satu metode yang digunakan untuk menahan beban gempa adalah metode perencanaan struktur sistem rangka pemikul momen, yang terbagi dalam 3 bagian yaitu sistem rangka pemikul momen biasa (SRPMB), sistem rangka pemikul momen menengah (SRPMM), dan sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK). Struktur yang menjadi prioritas perencanaan adalah struktur SRPMK, dimana akan dirancang sedemikian rupa sehingga dapat menahan respon inelastic akibat beban gempa agar dapat dikategorikan aman untuk digunakan (Dapas & pandalike, Perencanaan Strutur Gedung Beton Bertulang dengan Sistim Rangka Pemikul Momen Khusus 2018).

Gedung Ji'rona Rumah Sakit 'Aisyiyah yang berlokasi di kota Bojonegoro Provinsi Jawa Timur adalah mitra pemerintah dibidang kesehatan dan salah rumah sakit terbaik di Bojonegoro, yang melakukan pengembangan fasilitas kesehatan dengan membangun gedung baru. Dikarenakan adanya ketidakberaturan pada struktur gedung ini, sehingga perlu dilakukan pengecekan kinerja struktur gedung tersebut. (Dr. Ir. Iswandi Imran, M.T.) " Analisis pushover merupakan alat yang penting dalam mengevaluasi kinerja struktur gedung bertingkat. Dengan metode ini, dapat diketahui kapasitas struktur dalam menahan beban lateral dan titik-titik kritis yang berpotensi mengalami kerusakan saat gempa."

(Kubon *et al.*, 2023) Hasil pada penelitian ini menunjukkan bahwa pendekatan spektrum kapasitas maupun target perpindahan modifikasi menghasilkan tingkat kinerja yang sama, yaitu *Immediate Occupancy* (IO). Namun, terdapat beberapa elemen struktur yang mengalami sendi plastis dengan status *Collapse* (C), yang menunjukkan bahwa kinerja struktur belum memenuhi kriteria yang ditetapkan oleh ATC-40 dan FEMA 440. Oleh karena itu, disarankan untuk melakukan perbaikan pada elemen-elemen struktur yang mengalami keruntuhan agar dapat mencapai level kinerja yang sesuai dengan standar yang berlaku.

(Rinda Fitri Nabhilla and Hayu, 2020) Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa target perpindahan sebesar 0,015 m pada arah X dan arah Y serta didapatkan nilai maksimum total drift sebesar 0,0066 m pada arah X dan 0,00273 m pada arah Y. berdasarkan deformasi struktur dan kriteria pada ATC 40 kondisi struktur berada pada tingkat kinerja *Immediately Occupancy* (IO).

Berdasarkan hal tersebut, masih terdapat kesenjangan penelitian terkait analisis kinerja struktur gedung bertingkat dengan konfigurasi tidak beraturan dan kondisi tanah berbeda, khususnya pada bangunan vital seperti rumah sakit. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi kinerja struktur Gedung Ji'rona Rumah Sakit 'Aisyiyah Bojonegoro terhadap beban gempa menggunakan metode *Pushover Analysis* dengan bantuan perangkat lunak SAP2000 V.24. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai mengenai level kinerja struktur serta pola keruntuhan bangunan yang mengacu pada standar SNI 1726:2019 dan ATC-40.

2. Kerangka Teori

Rumah sakit dikategorikan sebagai bangunan dengan fungsi vital yang tidak boleh mengalami kegagalan pascagempa. Oleh karena itu, evaluasi terhadap perilaku struktur rumah sakit dilakukan menggunakan analisis berbasis kinerja (*Performance-Based Seismic Evaluation*), dengan metode analisis statik nonlinier (*Pushover Analysis*) yang diacu dari pedoman ATC-40 dan SNI 1726:2019.

2.1. Metode Analisis Pushover

Metode *Pushover* digunakan untuk menggambarkan perilaku struktur akibat beban lateral gempa yang meningkat secara bertahap. Analisis ini menghasilkan kurva kapasitas, yaitu hubungan antara gaya geser dasar (*base shear*) dan simpangan atap (*roof displacement*). Dari kurva tersebut dapat ditentukan titik kinerja struktur (*performance point*), yaitu kondisi di mana kapasitas struktur dan permintaan gempa seimbang.

Analisis ini mampu memperlihatkan urutan terbentuknya sendi plastis pada elemen-elemen struktur, serta memberikan informasi mengenai seberapa jauh struktur mampu berdeformasi sebelum mengalami kegagalan. Dengan demikian, metode pushover memberikan gambaran yang lebih realistis terhadap kondisi inelastik bangunan dibandingkan analisis linier konvensional.

2.2. Level Kinerja Struktur

Berdasarkan ATC-40, tingkat kinerja struktur dibagi 6 yang ditabelkan pada tabel 1.

Tabel 1

Kondisi Bangunan Setelah Terjadi Gempa dan Kategorinya

Level Kinerja	Kondisi Bangunan Setelah Terjadi Gempa	Kategori Bangunan
Immediate Occupancy (IO) SP-1	Bangunan prima saat terjadi gempa, hanya mengalami kerusakan ringan, tidak timbul korban jiwa, dan dapat difungsikan Kembali.	Bangunan yang di desain dengan faktor keamanan tinggi, seperti rumah sakit dan tempat penyimpanan barang berbahaya.
Damage Control (DC) SP-2	Bangunan yang dapat menahan gempa yang terjadi meskipun timbul kerusakan pada bangunan. Ada resiko korban jiwa minimum.	Struktur yang difungsikan menyimpan barang berharga dan bangunan-bangunan bersejarah nasional.
Life Safety (LS) SP-3	Bangunan yang diperkenankan mengalami kerusakan akibat gempa, resiko korban jiwa minimum. Bangunan dapat digunakan kembali setelah dilakukan perbaikan arsitektural pada komponen bangunan.	Bangunan dengan fungsi umum, seperti perkantoran maupun rumah tinggal.
Limited Safety SP-4	Bangunan yang setelah terjadi gempa dan	

	dilakukan perbaikan tidak memperhitungkan aspek ekonomis saat dilakukakn perbaikan.
Structural Stability (SS) SP-5	Bangunan yang terjadi kerusakan bersifat struktural yang cukup signifikan pasca terjadi gempa, namun bangunan masih mampu berdiri.
Not Considered SP-6	Sudah bukan merupakan level kinerja struktur karena gedung sudah mengalami kerusakan structural sangat parah dan diambang keruntuhan.

Sumber: ATC-40

Setiap tingkat kinerja pada ATC-40 memiliki batas deformasi. Batasan deformasi pada berbagai tingkat kinerja ditunjukkan pada Tabel 2.5.

Tabel 2

Batasan Simpangan pada Tingkat Kinerja Struktur

	Tingkat Kinerja Struktural			
	Immediate Occupany	*Damage Control*	*Life Safety*	*Structural Stabilty*
Batasan simpangan maksimum	0,01	0,01 - 0,02	0,02	0,33 Vi / Pi
Batas simpangan non-elastis maksimum	0,005	0,005 - 0,015	-	-

Sumber: ATC-40

2.3. Prinsip Strong Column-Weak Beam

Prinsip *strong column–weak beam* atau kolom kuat–balok lemah merupakan konsep dasar dalam desain struktur tahan gempa. Tujuannya agar energi gempa terdisipasi pada balok yang lebih mudah mengalami leleh, sementara kolom tetap menjaga kestabilan vertikal bangunan. Kondisi ini dianggap ideal karena mencegah terjadinya keruntuhan menyeluruh akibat kegagalan kolom. Mekanisme ini diharapkan agar energi gempa dapat terdisipasi melalui deformasi plastis balok tanpa menyebabkan kegagalan kolom. Apabila kolom lebih lemah daripada balok, maka keruntuhan akan bersifat tiba-tiba dan sangat berbahaya bagi kestabilan bangunan. Oleh karena itu, analisis pushover juga digunakan untuk mengevaluasi apakah struktur memenuhi prinsip tersebut dengan mengamati lokasi terbentuknya sendi plastis.

2.4. Beban Gempa dan Respons Struktur

Beban gempa dihitung berdasarkan standar SNI 1726:2019, dengan mempertimbangkan peta percepatan gempa Indonesia serta faktor-faktor seperti kondisi tanah, berat total struktur, dan karakteristik dinamik bangunan. Besarnya gaya geser dasar dihitung menggunakan persamaan:

$$V = C_s \times W \quad (1)$$

Dimana:
V= gaya geser dasar (kN)
C_s= koefisien respons seismik
W= berat total bangunan (kN)

Respon struktur akibat gempa dilihat dari besarnya simpangan antar lantai (*inter-story drift*). Menurut SNI 1726:2019, nilai drift maksimum yang diperbolehkan adalah 0,02 × tinggi lantai agar struktur tetap berada pada kondisi aman.

2.5. Evaluasi Level Kinerja Struktur

Hasil analisis pushover berupa kurva kapasitas dibandingkan dengan spektrum respons gempa untuk menentukan titik kinerja struktur. Posisi titik kinerja menunjukkan apakah struktur masih dalam kondisi aman, memerlukan perbaikan, atau sudah mendekati keruntuhan.

Untuk bangunan penting seperti rumah sakit, level kinerja minimal yang disyaratkan adalah *Immediate Occupancy (IO)*, agar fungsi pelayanan tetap dapat berjalan setelah terjadi gempa. Jika hasil menunjukkan kategori *Damage Control (DC)*, maka struktur dianggap masih aman namun perlu dilakukan penguatan agar mampu mencapai kinerja yang lebih baik.

3. Metodologi Penelitian

3.1. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada proyek pembangunan Gedung Ji'rona Rumah Sakit 'Aisyiyah Bojonegoro yang berlokasi di Jl. Hasyim Asyari No. 17, Kauman, Kecamatan Bojonegoro, Kabupaten Bojonegoro, Provinsi Jawa Timur.

3.2. Studi Literatur

Sumber literatur penelitian ini mengacu pada jurnal, buku, dan standar seperti SNI 2847:2019, SNI 1726:2019, SNI 1727:2020, serta pedoman ATC-40 (1966) yang relevan dengan analisis non-linier statik pushover.

3.3. Pengumpulan Data

Pengumpulan data menggunakan *Shop Drawing* dan data tanah N-SPT dari perencana dan kontraktor. Data ini menjadi dasar permodelan 3D di SAP2000, dimana *Shop Drawing* memastikan akurasi model struktur, dan data N-SPT menentukan klasifikasi tanah untuk analisis amplifikasi gempa.

3.4. Permodelan Struktur Portal 3D Menggunakan SAP2000

Untuk permodelan struktur menggunakan bantuan SAP2000 V.24 berdasarkan *Shop Drawing*, termasuk input material (beton fc' 30 Mpa dan baja fy 420 Mpa), dimensi elemen (balok, kolom, dan pelat), dan pembebanan (beban mati, beban hidup, beban angin, dan beban gempa).

3.5. Perhitungan Pembebanan

Perhitungan pembebanan struktur mengacu pada standar nasional, dengan nilai beban mati tambahan 2,44 kN/m^2 dan nilai beban hidup 4,79 kN/m^2. Beban gempa di analisis mengikuti SNI 1726:2019, di lokasi penelitian didapatkan hasil analisis situs tanah lunak (SE), dan menggunakan spektrum respons desain (SDS= 0,642 g: SD1= 0,5568 g). Beban angin diperhitungkan dengan kecepatan dasar 40 m/s dan kategori eksposur D. Selanjutnya, seluruh variabel beban

dikombinasikan dalam 22 skenario pembebanan sesuai ketentuan regulasi untuk simulasi struktur.

3.6. Analisis Pushover

Analisis pushover adalah suatu analisis yang mengaplikasikan beban dorong secara berangsur-angsur hingga struktur bangunan tersebut runtuh, sehingga kemudian dapat ditentukan level kinerja dari struktur bangunan tersebut. Analisis pushover terdiri dari penambahan detail tulangan terpasang pada elemen kolom dan balok, pembuatan non-linier case untuk analisis pushover arah X dan Y, permodelan sendi plastis (*plastic hinges*) berdasarkan ASCE 41-17, dan menjalankan analisis untuk mendapatkan kurva kapasitas serta level kinerja struktur.

3.7. Kurva Kapasitas Pushover

Kurva kapasitas pushover dihasilkan otomatis oleh SAP2000 setelah analisis non-linier, menggambarkan hubungan antara gaya geser dasar dan perpindahan atap struktur. Analisis kurva difokuskan pada identifikasi titik-titik kritis seperti titik leleh (transisi elastis-inelastis) dan titik kapasitas ultimit. Visualisasi kurva ini menjadi dasar penentuan *performance point* menggunakan metode spektrum kapasitas (ATC-40) untuk mengevaluasi level kinerja struktur.

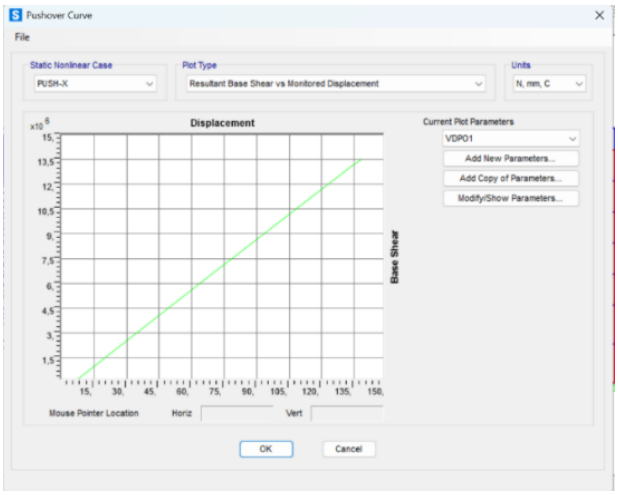
3.8. Level Kinerja Struktur

Penentuan tingkat kinerja struktur dilakukan melalui analisis terhadap hasil pushover dan kurva kapasitas, yang selanjutnya diklasifikasikan sesuai dengan kriteria yang ditetapkan dalam standar ATC-40. Kategori kinerja, seperti *Immediate Occupancy*, *Life Safety*, atau *Collapse Prevention*, memberikan gambaran jelas tentang kemampuan struktur bertahan terhadap gempa serta langkah perbaikan yang diperlukan untuk meningkatkan keselamatan dan kinerjanya.

4. Hasil dan Pembahasan

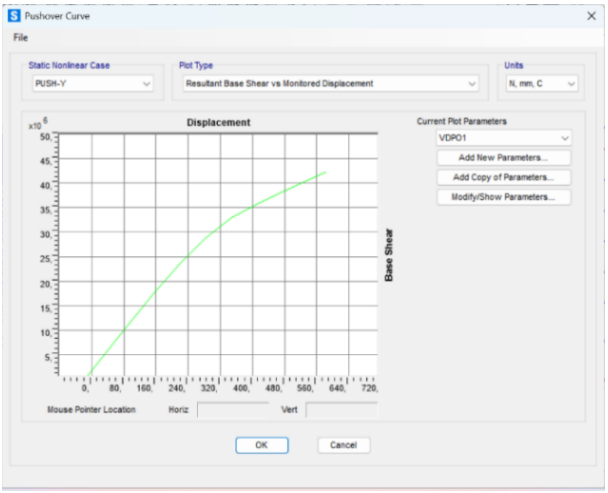
4.1. Hasil Pola Keruntuhan Struktur

Dari hasil running pushover analisis dengan program SAP2000 untuk arah x-x didapatkan 4 step dengan perpindangan atap maksimum 138,082 mm dan gaya geser dasar maksimum sebesar 13.517 kN, untuk arah y-y didapatkan 10 step pola beban dorong yang diberikan dengan perpindahan maksimum 582,804 mm dan gaya geser dasar maksimum sebesar 42.216 kN, hingga struktur mengalami keruntuhan. Berikut tingkatan kondisi plasifikasi pada sendi plastis elemen struktur.



Gambar 1 Pushover curve x-x

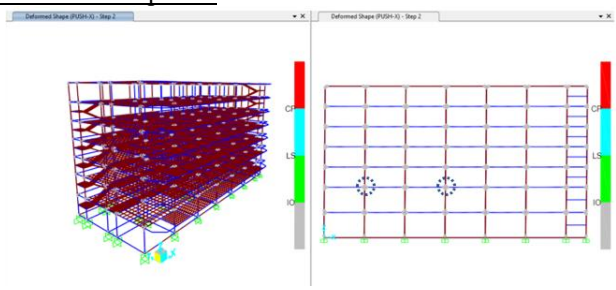
Sumber : SAP 2000



Gambar 2 Pushover curve y-y

Sumber : SAP 2000

Distribusi sendi plastis

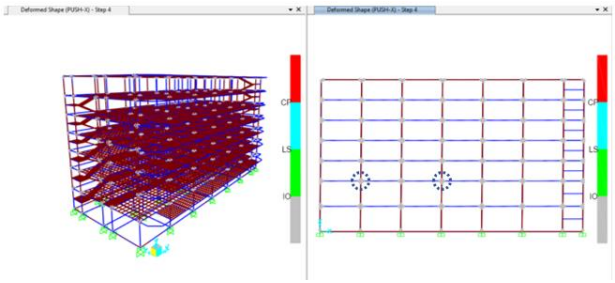


Gambar 3 Push-X Step 2

Sumber : SAP 2000

Pada push-x step 2 dengan perpindahan atap 125,367 mm dan gaya geser dasar 6.159 kN, Terdapat warna abu-abu pada area sendi plastis pada elemen balok artinya kondisi dimana

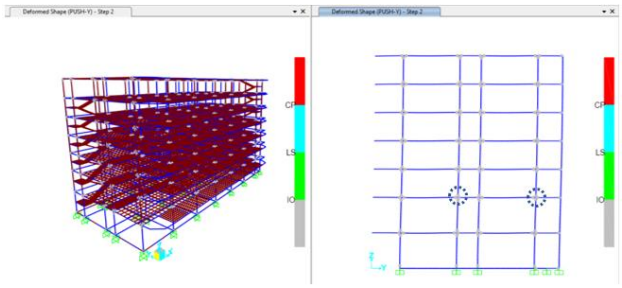
elemen mulai mengalami leleh dengan tingkat kinerja pada elemen *Immadiately Ocupancy* (IO).



Gambar 4 Push-X Step 4

Sumber : SAP 2000

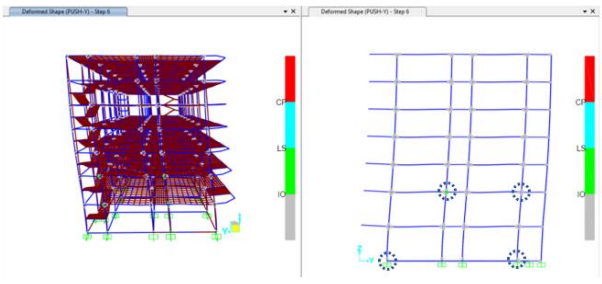
Pada push-x step 4 dengan perpindahan atap 138,082 mm dan gaya geser dasar sebesar 13.517 kN, hanya terjadi pelelehan sendi plastis dengan tingkat kinerja pada elemen *Immediately Ocupancy* ditandani dengan warna abu-abu pada area sendi plastis elemen balok dikeseluruhan struktur gedung, maka bisa disimpulkan bangunan terlalu kaku dan tidak terlalu reponsif terhadap beban gempa.



Gambar 5 Push-Y Step 2

Sumber : SAP 2000

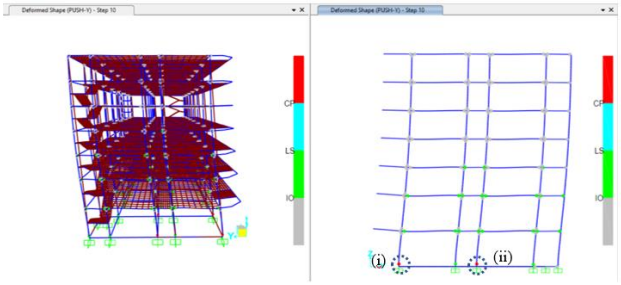
Pada push-y step 2 dengan perpindahan atap 97,958 mm dan gaya geser dasar sebesar 11.969 kN, terjadi pelelehan sendi plastis pertama ditandani dengan warna abu-abu diarea sendi plastis elemen balok pada elemen struktur gedung.



Gambar 6 Push-Y Step 6

Sumber : SAP 2000

Pada push-y step 6 dengan perpindahan atap 346,543 dan gaya geser dasar sebesar 32.989 kN, sudah ada elemen pada level kinerja *Live Safety* (kondisi plastis) pelelehan sendi plastis ditandai dengan titik bewarna oranye diarea sendi plastis pada elemen balok diikuti pada elemen dasar kolom yang berarti tahap struktur dalam kondisi plastis



Gambar 7 Push Y Step 10

Sumber : SAP 2000

Pada push-y step 10 dengan perpindahan atap 582,804 mm dan gaya geser dasar sebesar 42.216 kN, diikuti pelelehan sendi plastis diarea dasar kolom, terdapat titik bewarna merah pada area sendi plastis elemen kolom, disebagian elemen kolom struktur, yang menandakan kondisi struktur gedung hampir runtuh.

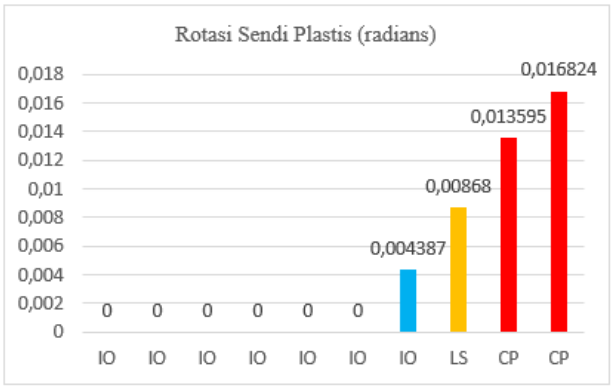
Kapasitas Kolom Kritis

1. Kapasitas kolom pada titik **i (K1)**

Tabel 1 Kapasitas Kolom Pada Titik i (K1)

Step	Kapasitas P (kN)	Kapasitas M (kN)	Level Kinerja	Rotasi Sendi Plastis (radians)
1	3930,6	753,6	IO	0
2	3696,0	1450,2	IO	0
3	3428,2	2252,4	IO	0
4	3168,1	3017,2	IO	0
5	2909,0	3932,7	IO	0
6	2701,6	5125,3	IO	0
7	2528,1	5242,8	IO	0,004387
8	2396,3	5286,3	LS	0,008680
9	2241,0	5347,4	CP	0,013595
10	2166,7	5383,2	>CP	0,016824

Sumber: SAP 2000



Berdasarkan tabel hasil sendi plastis yang diimplementasikan ke dalam diagram maka bisa disimpulkan:

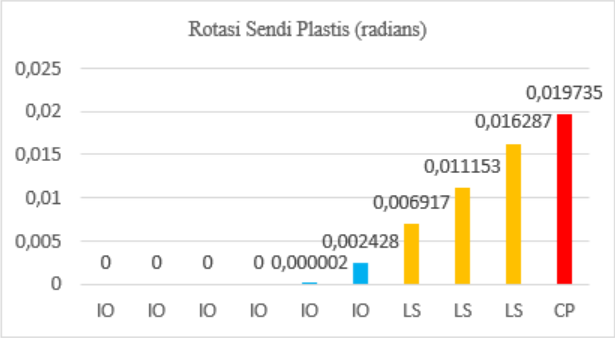
- Untuk batas aman (LS) pada kolom titik i (K1) terjadi pada step 8 dengan momen 5.286,3 kN, beban aksial 2.396,3 kN dan Rotasi sendi plastis 0,00868 rad.
- Untuk kapasitas ultimate (> CP) terjadi pada step 10 dengan momen 5.383,2 kN, beban aksial 2.166,7 kN, dan rotasi sendi plastis 0,016824 rad, saat kolom pada kapasitas ultimate ini bangunan tidak lagi aman.

2. Kapasitas Kolom Pada Titik **ii (K2)**

Tabel 2 Kapasitas Kolom Pada Titik ii (K2)

Step	Kapasitas P (KkN)	Kapasitas M (kN)	Level Kinerja	Rotasi Sendi Plastis (radians)
1	3692,1	764,8	IO	0
2	4551,9	1554,1	IO	0
3	5318,8	2447,8	IO	0
4	5931,3	3293,3	IO	0
5	6426,3	4278,6	IO	0,000001849
6	6862,3	4363,3	IO	0,002428000
7	7310,5	4491,1	LS	0,006917000
8	7749,6	4610,7	LS	0,011153000
9	8217,3	4626,1	LS	0,016287000
10	8525,0	4559,0	>CP	0,019735000

Sumber: SAP 2000



Berdasarkan tabel hasil sendi plastis yang diimplementasikan ke dalam diagram maka bisa disimpulkan.

- Untuk batas aman (LS) pada kolom titik ii (K2) terjadi pada step 9 dengan momen 4.626,1 kN, beban aksial 8.217,3 kN dan Rotasi sendi plastis 0,016287 rad.
- Untuk kapasitas ultimate (> CP) terjadi pada step 10 dengan momen 4.559,0 kN, beban aksial 8.525,0 kN, dan rotasi sendi plastis 0,019735 rad, saat kolom pada kapasitas ultimate ini bangunan tidak lagi aman.

4.2. Hasil Level Kinerja Struktur

Tingkat kinerja struktur dievaluasi mengacu pada pedoman ATC-40. Secara keseluruhan, penentuan level kinerja dilakukan dengan membandingkan rasio antara nilai perpindahan atap pada titik *performance point* dan tinggi total bangunan. Berdasarkan kriteria dalam ATC-40, klasifikasi tingkat kinerja struktur secara global dapat ditentukan melalui tabel 3.

Tabel 3 Batasan Simpangan pada Tingkat Kinerja Struktur

	Tingkat Kinerja Struktural			
	Immediate Occupany	Damage Control	Life Safety	Strucutural Stabilty
Batasan simpangan maksimum	0,01	0,01 - 0,02	0,02	0,33 Vi / Pi
Batas simpangan non-elastis maksimum	0,005	0,005 - 0,015	-	-

Sumber: ATC-40

Berdasarkan data yang telah didapat pada beban gempa diatas, respon gempa untuk wilayah Bojonegoro untuk tanah sedang diketahui :

Parameter respon percepatan pada periode 0,2 dt,

Sms= 0,963 g

Parameter respon percepatan pada periode 1,0 dt,

Sm1= 0,853 g

Selanjutnya berdasarkan ATC-40 dapat dihitung parameter nilai C_A dan C_V sebagai berikut :

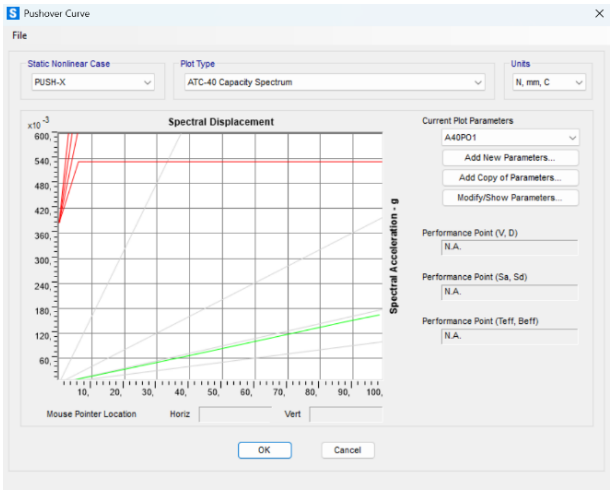
C_A $= 0{,}4\ S_{MS}$

$= 0{,}4 \times 0{,}963$ g

$= 0{,}385$ g

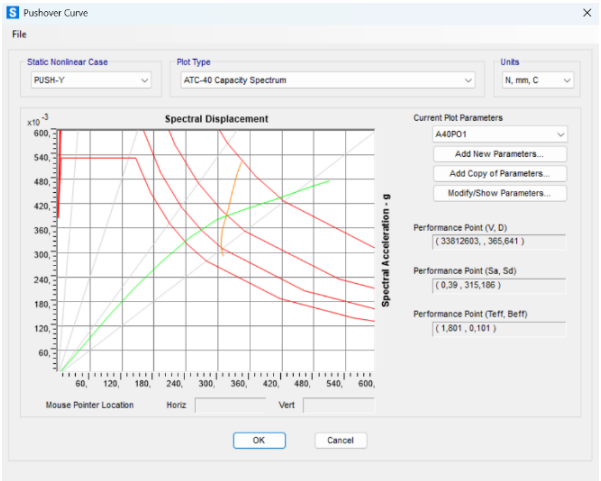
C_V $= S_{M1}$

$= 0{,}853$ g



Gambar 8 Spektrum kapasitas arah x-x

Sumber: SAP 2000



Gambar 9 Spektrum kapasitas arah y-y

Sumber: SAP 2000

Penjelasan :

- Garis bewarna hijau adalah presentasi dari kurva kapasitas struktur, yang menggambarkan hubungan

antara gaya geser dasar (*base shear*) dengan perpindahan atap (*roof displacement*).
- Garis bewarna orange adalah spektrum permintaan (*demand spectrum*), kurva ini menggambarkan kebutuhan seismic yang diakibatkan oleh gempa.
- Perpotongan kedua garis tersebut disebut titik kinerja kinerja (*performance point*).

Selanjutnya untuk menentukan tingkat kinerja parameter yang diperlukan adalah nilai perpindahan atap saat performance point dan nilai perpindahan atap saat *first yield* (beban dorong ke-1) dimana tinggi total bangunan 30 meter. Untuk hasil output dari displacement pada kurva spectrum kapasitas x-x tidak muncul simpangan totalnya, karena tidak ada perpotongan kurva pushover demand x-x dengan kurva kapasitas spectrum x-x.

1. Simpangan total maksimum

$$Arah\ y-y = \frac{\text{Dt}}{\text{Htotal}} = \frac{365{,}641}{30000} = 0{,}012$$

2. Simpangan inelastic maksimum

$$Arah\ y-y = \frac{\text{Dt}-\text{D1}}{\text{Htotal}} = \frac{365{,}641+42{,}805}{30000} = 0{,}011$$

Merujuk pada ketentuan ATC-40 pada tabel 3, hasil analisis menunjukkan bahwa struktur berada pada tingkat kinerja *Damage Control* (DC). Nilai simpangan total maksimum 0,02 dan simpangan inelastik maksimum sebesar 0,015 menandakan bahwa gedung masih mampu menahan gaya gempa dengan baik. Kondisi ini menunjukkan risiko terhadap keselamatan penghuni relatif rendah dan tidak menimbulkan bahaya fatal.

4.3. Pembahasan

Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi kinerja struktur atas Gedung Ji'rona Rumah Sakit 'Aisyiyah Bojonegoro terhadap beban gempa dengan menggunakan Metode *Pushover Analysis*. Proses penelitian diawali dengan studi literatur mengenai standar perencanaan gempa berdasarkan SNI 1726:2019 dan ATC-40, serta penelusuran beberapa penelitian terdahulu yang relevan. Tahapan selanjutnya dalah pengumpulan data proyyek berupa dimensi elemen struktur, mutu beton dan baja, serta data tanah dari hasil uji N-SPT. Data tersebut digunakan untuk pemodelan struktur tiga dimensi pada program SAP2000 versi 24, kemudian dilakukan analisis statik nonlinier (pushover) dengan pembebanan lateral bertahap hingga struktur mencapai kondisi inelastik.

Hasil analisis menunjukkan bahwa level kinerja struktur berada pada kategori *Damage Control* (DC). Nilai simpangan total maksimum arah Y-Y mencapai 365,641 mm dengan rasio simpangan 0,012, dan simpangan inelastik 0,011. Pola keruntuhan dimulai dengan pembentukan sendi plastis pada balok lantai 3 hingga 7, kemudian diikuti oleh kolom di lantai dasar. Mekanisme keruntuhan ini menunjukkan bahwa struktur bekerja sesuai prinsip *strong column–weak beam*, di mana balok meleleh terlebih dahulu sebelum kolom. Pada arah X-X, struktur menunjukkan perilaku yang lebih kaku dengan simpangan yang lebih kecil, sedangkan arah Y-Y lebih fleksibel dan mengalami deformasi lebih besar.

Jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya oleh (Dewi, 2020) dan (Rinda Fitri Nabhilla and Hayu, 2020) yang menganalisis gedung bertingkat menggunakan metode yang sama, diperoleh hasil bahwa gedung-gedung tersebut memiliki level kinerja *Immediate Occupancy* (IO) dengan deformasi kecil dan kerusakan ringan. Sementara itu, penelitian oleh (Putri *et al.*, 2022) pada struktur Hotel Platinum menghasilkan tingkat kinerja IO dengan gaya geser maksimum 12.164,73 kN dan perpindahan atap sebesar 6 cm. Dalam konteks ini, hasil penelitian Gedung Ji'rona menunjukkan tingkat kinerja yang sedikit lebih rendah, yaitu *Damage Control (DC)*, yang berarti struktur mampu bertahan tanpa runtuh total, namun memerlukan perbaikan setelah gempa besar.

Perbedaan hasil tersebut disebabkan oleh karakteristik bangunan dan kondisi tanah Bojonegoro yang berbeda dibandingkan lokasi penelitian lain seperti Yogyakarta, Malang, dan Balikpapan. Struktur Gedung Ji'rona memiliki ketidakberaturan bentuk dan perbedaan kekakuan antar lantai, yang menyebabkan konsentrasi gaya lateral pada lantai tertentu lebih tinggi. Selain itu, tipe tanah sedang hingga lunak di lokasi penelitian memperbesar simpangan lateral yang terjadi, sehingga memengaruhi tingkat kinerja struktur secara keseluruhan.

Kelebihan penelitian ini terletak pada penggunaan data proyek nyata rumah sakit yang sedang dibangun, serta pemanfaatan versi terbaru perangkat lunak SAP2000 V.24 yang memiliki kemampuan analisis nonlinier lebih akurat. Penelitian ini juga mengacu pada standar terbaru SNI 1726:2019 dan ATC-40, sehingga hasilnya lebih relevan untuk kondisi seismik terkini di Indonesia. Selain itu, penelitian ini menyajikan analisis pola keruntuhan secara visual dan sistematis, yang jarang diuraikan secara mendalam dalam penelitian sebelumnya.

Unsur kebaruan (*novelty*) dari penelitian ini terletak pada objek dan pendekatan yang digunakan. Penelitian ini merupakan salah satu studi evaluasi kinerja struktur rumah sakit di wilayah Bojonegoro menggunakan *pushover analysis*. Kondisi tanah dan zona seismik di lokasi penelitian memberikan hasil yang khas, di mana struktur menunjukkan perilaku *Damage Control* yang belum banyak dijelaskan dalam penelitian lain. Penelitian ini juga menegaskan pentingnya evaluasi kinerja pasca-elastis pada bangunan pelayanan publik seperti rumah sakit, yang harus tetap berfungsi pasca gempa meskipun mengalami kerusakan struktural sedang.

Secara keseluruhan, penelitian ini memperkuat kerangka keilmuan dalam bidang evaluasi kinerja struktur bangunan tahan gempa berbasis analisis nonlinier, serta menunjukkan bahwa metode pushover dapat digunakan untuk menilai kemampuan gedung dalam menahan gaya lateral dan mengidentifikasi elemen-elemen struktur yang kritis. Hasil penelitian ini juga memberikan masukan bahwa pada bangunan berisiko tinggi seperti rumah sakit, diperlukan desain lanjutan dengan kekakuan lateral lebih besar atau penambahan elemen penahan gaya gempa tambahan, seperti dinding geser (*shear wall*) atau sistem peredam energi, untuk meningkatkan tingkat kinerja dari *Damage Control* menuju *Immediate Occupancy*.

5. Simpulan

Penelitian ini memperlihatkan bahwa penerapan metode *Pushover Analysis* pada Gedung Ji'rona Rumah Sakit 'Aisyiyah Bojonegoro memberikan pemahaman yang komprehensif mengenai kinerja struktur gedung terhadap beban gempa berdasarkan pendekatan berbasis kinerja (*performance-based seismic evaluation*). Hasil kajian menunjukkan bahwa struktur mampu menahan gaya lateral secara memadai hingga mencapai kondisi inelastik dengan mekanisme keruntuhan yang sesuai prinsip *strong column–weak beam*, meskipun tingkat kinerjanya berada pada kategori *Damage Control*. Temuan tersebut menegaskan bahwa analisis nonlinier memiliki peran penting dalam menilai ketahanan bangunan bertingkat, terutama untuk fasilitas pelayanan publik yang harus tetap berfungsi pascagempa. Secara umum, studi ini memperkaya pemahaman tentang perilaku struktur beton bertulang pada kondisi tanah dan wilayah gempa menengah serta dapat menjadi acuan dalam peningkatan perencanaan maupun perkuatan bangunan tahan gempa di masa depan.

Daftar Pustaka

Afandi, N.R. (2010) 'Dengan Analisis Pushover Menggunakan Program Sap 2000 Nur Rachmad Afandi I 0104118'.

Andhika Kadarusman, R., SMD, A. and Wibowo, A. (2012) 'KAJIAN ANALISIS PUSHOVER UNTUK PERFORMANCE BASED DESIGN PADA GEDUNG A RUMAH SAKIT UMUM DAERAH (RSUD) KERTOSONO (Study of Pushover Analysis for Performance Based Design on Kertosono Regional Public Hospital Building A)', *Jurnal Teknik Sipil*, pp. 1–10.

Dewi, D.I.R. (2020) 'EVALUASI KINERJA STRUKTUR GEDUNG DENGAN METODE PUSHOVER ANALYSIS SESUAI PEDOMAN ATC-40 (Studi Kasus: SMP 3 Muhammadiyah Yogyakarta)', *Inersia: Jurnal Teknik Sipil*, 12(1), pp. 1–11. Available at: https://doi.org/10.33369/ijts.12.1.1-11.

Emergency, F. and Agency, M. (2000) 'Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings', (November).

Fikri Wardana Barus Y (2021) 'Analisis Kekuatan Struktur Gedung Bertingkat Terhadap Beban Gempa Dengan Analisis Pushover Berdasarkan Sni 1726:2019', pp. 1–61.

Himawan, I. (2005) 'Perhitungan Beban Gempa Pada Bangunan Gedung Berdasarkan Standar Gempa Indonesia Yang Baru', *Pilar: Media Komunikasi dan Pengembangan Teknik Sipil Universitas Diponegoro*, 14(1), pp. 42–57.

Kubon, D. *et al.* (2023) 'Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Berdasarkan Metode Spektrum', (May), pp. 0–11. Available at: https://doi.org/10.24843/JITS.2023.v27.i01.p0.

Nurhidayatullah, Eka Faisal Teguh, M. (2018) 'Kinerja Seismik Struktur pada Tipe Gedung dengan Ketidakteraturan Ketinggian dan Denah', *Jurnal Teknisia*, XXIII(1), pp. 450–462.

Pangestu, S.F. and Pratama, M.M.A. (2021) 'Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Bertingkat Menggunakan Pendekatan Desain Berbasis Kinerja', *Cantilever: Jurnal Penelitian dan Kajian Bidang Teknik Sipil*, 10(2), pp. 91–100. Available at: https://doi.org/10.35139/cantilever.v10i2.110.

Putri, A. *et al.* (2022) 'Analisis Kinerja Seismik Struktur 10 Lantai Beton Bertulang dengan Metode Pushover Analysis', *Indonesian Journal Of Civil Engineering Education*, 8(1), p. 15. Available at: https://doi.org/10.20961/ijcee.v8i1.68037.

R. Bambang Kusuma Prihadi, R.H.P., Kurniati, D. and Prihadi, B.K. (2020) 'Evaluasi Kinerja Struktur Bangunan Menggunakan Pushover Analysis Dengan Metode Atc-40 Dan Fema 356', *Jurnal PenSil*, 9(1), pp. 40–46. Available at: https://doi.org/10.21009/jpensil.v9i1.14021.

Rinda Fitri Nabhilla and Hayu, G.A. (2020) 'Analisis Perilaku Struktur Perkantoran Tahan Gempa Menggunakan Metode Pushover Analysis', *Siklus : Jurnal Teknik Sipil*, 6(2), pp. 141–154. Available at: https://doi.org/10.31849/siklus.v6i2.4889.

Sistem, D. and Standar, P. (2020) 'Penerapan Standar Nasional Indonesia', (8).

Siswanto, S. and Prijasambada, P. (2022) 'Analisis Kinerja Struktur Gedung Bertingkat Menggunakan Metode Pushover', *IKRAITH-Teknologi*, 7(1), pp. 46–52. Available at: https://doi.org/10.37817/ikraith-teknologi.v7i1.2319.

Sriwahyuningsih, Y. (2019) *Analisis Kinerja Struktur Gedung Beton Bertulang Terhadap Beban Gempa dengan Metode Beban Dorong (Pushover) (Studi Kasus : Hotel Santika Banyuwangi)*, *Program Studi S1 Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember*.

Tanjung, E.S. (2023) 'EVALUASI KINERJA STRUKTUR GEDUNG HOTEL ATIAN SYARIAH BUKITTINGGI MENGGUNAKAN METODE PUSHOVER ANALYSIS PADA PROGRAM SAP 2000 Disusun', *Nucl. Phys.*, 13(1), pp. 104–116.