

ANALISIS KINERJA STRUKTUR PADA GEDUNG BERTINGKAT DENGAN ANALISIS PUSHOVER BERDASARKAN ATC-40 Studi Kasus: Bangunan Pasar Jongke

Ega Ayu Krisdianti¹, *Kukuh Kurniawan Dwi Sungkono², Gunarso³
^{1,2,3}Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Tunas Pembangunan, Surakarta
*) Email: kukuhkurniawan@lecture.utp.ac.id

ABSTRACT

Indonesia is an area prone to earthquakes. Earthquakes can cause infrastructure damage and casualties. Efforts are needed to reduce the risk of earthquake hazards by strengthening earthquake-resistant infrastructure. The design procedures for earthquake-resistant buildings are carried out using a performance based design approach. Building performance can be estimated through non-linear static pushover analysis. This research takes a case study in Jongke Market, Surakarta. This research aims to determine the capacity curve, performance level, and structure collapse mechanism. The method used is pushover analysis with the capacity spectrum. The result of this analysis is a capacity curve that processed to determine the level of structure performance referring to the drift ratio limitation table in the Applied Technology Council (ATC-40). Based on the results of this research, displacement that occurred in the x direction is 92 mm and in the y direction is 77 mm. Building displacement is good because the displacement that occurred is smaller than the displacement limit (control). The total maximum drift in the x direction is 0.007 and in the y direction is 0.006. The maximum inelastic total drift in the x direction is 0.005 and in the y direction is 0.004. Based on the drift ratio limitation table in the ATC-40 document, this building has an immediate occupancy performance level. Based on the plastic hinge mechanism formed, the existing structure also meets the ideal collapse concept (strong column-weak beam).

Keywords: Pushover analysis; structure performance level; earthquake-resistant building.

ABSTRAK

Indonesia termasuk wilayah yang rawan bencana gempa bumi. Bencana gempa bumi dapat menimbulkan kerusakan infrastruktur dan korban jiwa. Diperlukan upaya pengurangan resiko bahaya gempa dengan melakukan penguatan infrastruktur tahan gempa. Tata cara desain bangunan tahan gempa dilakukan dengan menggunakan pendekatan perencanaan berbasis kinerja. Kinerja bangunan dapat diperkirakan melalui analisis statik non-linier pushover. Penelitian dilakukan dengan menggunakan studi kasus Gedung Pasar Jongke Surakarta. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kurva kapasitas, level kinerja, dan mekanisme keruntuhan struktur. Metode yang digunakan adalah analisis pushover dengan spektrum kapasitas. Hasil dari analisis ini adalah kurva kapasitas yang selanjutnya diproses untuk menentukan tingkat kinerja struktur merujuk pada tabel batasan rasio *drift* yang ada di dokumen *Applied Technology Council (ATC-40)*. Berdasarkan hasil penelitian, diperoleh besar simpangan atap yang terjadi pada arah x sebesar 92 mm dan pada arah y sebesar 77 mm. *Displacement* gedung dapat dikatakan baik karena *displacement* yang terbentuk lebih kecil dari *displacement limit (control)* yang ditentukan. Total *drift* maksimum pada arah x sebesar 0,007 dan pada arah y sebesar 0,006. *Inelastic total drift* maksimum pada arah x sebesar 0,005 dan pada arah y sebesar 0,004. Berdasarkan tabel batasan rasio *drift* yang ada pada dokumen ATC-40, gedung ini memiliki level kinerja *immediate occupancy*. Dilihat dari mekanisme sendi plastis yang terbentuk, struktur eksisting juga memenuhi konsep keruntuhan ideal (kolom kuat balok lemah).

Kata kunci: Analisis pushover; level kinerja struktur; bangunan tahan gempa.

1. PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara yang terletak pada jalur gempa teraktif di dunia yakni Kawasan Cincin Api Pasifik [1] dan berada di atas tiga tumbukan lempeng benua: Indo-Australia dari selatan, Eurasia dari utara, dan Pasifik dari timur. Kondisi geografis ini menjadikan Indonesia sebagai wilayah yang rawan bencana gempa bumi. Bencana gempa bumi dapat menimbulkan kerusakan infrastruktur dan korban jiwa. Diperlukan upaya pengurangan resiko bahaya gempa dengan melakukan penguatan infrastruktur tahan gempa.

Tata cara desain bangunan tahan gempa dilakukan dengan menggunakan pendekatan perencanaan berbasis kinerja (*Performance based design*). Perencanaan tahan gempa berbasis kinerja merupakan proses yang dapat digunakan untuk perencanaan bangunan baru maupun perkuatan bangunan yang sudah ada, dengan pemahaman yang realistis terhadap resiko keselamatan (*life*), kesiapan pakai (*occupancy*) dan kerugian harta benda (*economic loss*) yang mungkin terjadi akibat gempa yang akan datang. Mekanisme keruntuhan bangunan harus disesuaikan dengan konsep desain kolom kuat balok lemah. Jika kemudian terjadi keruntuhan struktur, maka yang runtuh terlebih dahulu adalah balok.

Kinerja dan mekanisme keruntuhan struktur bangunan dapat diperkirakan melalui analisis statik non-linier pushover. Dengan analisis ini, bangunan diberikan beban lateral secara bertahap hingga mencapai target peralihan yang diharapkan atau sampai mencapai kondisi plastis. Hasil dari analisis ini adalah kurva kapasitas yang

selanjutnya diproses untuk menentukan tingkat kinerja struktur merujuk pada tabel batasan rasio drift yang ada di dokumen *Applied Technology Council (ATC-40)*.

Penelitian tentang evaluasi kinerja struktur bangunan dilakukan dengan menggunakan studi kasus Gedung Pasar Jongke yang terletak di Jl. Dr. Rajiman, Pajang, Kecamatan Laweyan, Kota Surakarta. Gedung ini berlantai tiga dengan tinggi bangunan 13,5 meter. Konstruksi bangunan ini menggunakan struktur beton bertulang. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kurva kapasitas, level kinerja, dan mekanisme keruntuhan struktur Gedung Pasar Jongke Surakarta. Metode yang digunakan adalah analisis pushover dengan spektrum kapasitas.

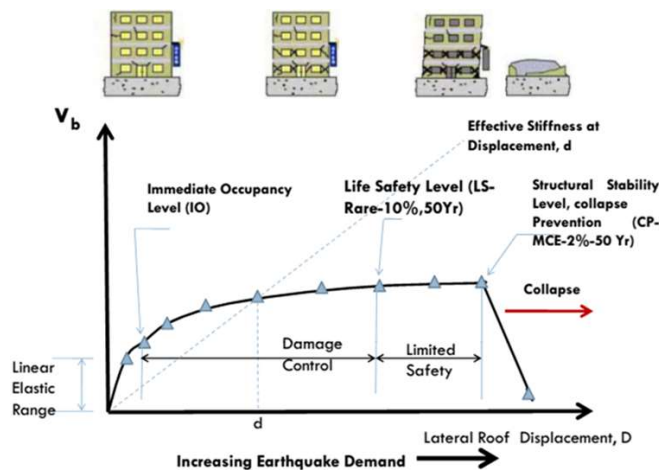
2. TINJAUAN PUSTAKA

Konsep Desain Bangunan Tahan Gempa

Bangunan tahan gempa adalah bangunan yang mampu mempertahankan strukturnya agar tidak runtuh saat terjadi gempa. Bangunan yang dimaksud bukan berarti tidak diperbolehkan mengalami kerusakan sedikitpun, namun boleh mengalami kerusakan selama masih memenuhi persyaratan yang berlaku [2].

Level Kinerja Struktur Tahan Gempa

Kinerja struktur bangunan dibagi menjadi 6 kategori level [3]: (1) *Immediate occupancy*. (2) *Damage control*. (3) *Life safety*. (4) *Limited safety*. (5) *Structural stability*. (6) *Non-considered*. Gambaran level kinerja dapat dilihat pada Gambar 1.



Sumber: ATC-40, 1996

Gambar 1. Level kinerja struktur bangunan

ATC-40 memberikan batasan rasio *drift* yang digunakan untuk mengevaluasi kinerja struktur. Batasan rasio *drift* ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Batasan Rasio *Drift* Atap untuk Berbagai Level Kinerja Struktur Berdasarkan ATC-40

Parameter	Level Kinerja Struktur			
	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Damage Control</i>	<i>Life Safety</i>	<i>Structural Stability</i>
<i>Total drift</i> maksimum	0,01	0,01-0,02	0,02	0,33Vi/Pi
<i>Inelastic drift</i> maksimum	0,005	0,005-0,015	Tidak dibatasi	Tidak dibatasi

Sumber: ATC-40, 1996

Perencanaan Tahan Gempa Berbasis Kinerja

Perencanaan tahan gempa berbasis kinerja (*performance based seismic design*) dapat digunakan untuk perencanaan bangunan baru maupun perkuatan bangunan yang sudah ada [4]. Perencanaan tahan gempa berbasis kinerja merupakan konsep mendesain bangunan dimana target level kinerja struktur ditentukan terlebih dahulu. Kinerja struktur ditargetkan sesuai dengan fungsi suatu bangunan, pertimbangan faktor ekonomis terhadap perbaikan bangunan saat terjadi gempa (*economic loss*), tanpa mengesampingkan resiko keselamatan pengguna

bangunan (*life*). Pada akhir proses perencanaan, target tersebut dijadikan parameter minimum yang harus dipenuhi sebagai status operasional (*operational state*). Target level kinerja dalam desain yang menjadi kriteria penerimaan (*acceptance criteria*) diatur oleh FEMA 356 dengan faktor keutamaan disesuaikan dari SNI 1726 2019 [5] dapat dilihat pada Gambar 2.

Level Desain Gempa		Target Level Kinerja Bangunan Beton			
		Operational	IO	LS	CP
		Level (1-A)	Level (1-B)	Level(3-C)	Level(5-E)
Kala Ulang	72 tahun 50%DBE		x	x	x
	225 tahun 70%DBE			x	x
	474 tahun DBE				x
	2475 tahun MCE				
Drift %		0-0.5%	0.5-1%	1%-2%	2%-4%

Sumber: Ertanto, Satyarno, & Suhendro, 2017

Gambar 2. Target level kinerja menurut FEMA 356

Mekanisme Keruntuhan

Hirarki kekuatan elemen-elemen struktur bangunan harus disesuaikan dengan konsep desain kolom kuat balok lemah [6]. Konsep ini bertujuan untuk membentuk mekanisme keruntuhan ideal dimana sendi plastis terbentuk pada ujung-ujung balok. Jika kemudian terjadi sebuah keruntuhan struktur, maka yang runtuh terlebih dahulu adalah balok. Jika kolom struktur runtuh terlebih dahulu, maka struktur akan langsung hancur [7].

Analisis Pushover

Kinerja dan mekanisme keruntuhan struktur bangunan dapat diperkirakan melalui analisis statik non-linier pushover. Analisis pushover adalah analisis dimana pengaruh gempa rencana pada struktur dianggap sebagai beban statik yang menangkap pada pusat massa. Beban statik kemudian ditingkatkan secara bertahap sampai melampaui pembebanan sehingga menyebabkan terjadinya pelelehan (sendi plastis) pertama pada struktur. Kemudian peningkatan beban lebih lanjut dilakukan hingga struktur mengalami perubahan bentuk pasca-elastik yang besar sampai mencapai target peralihan yang diharapkan atau sampai mencapai kondisi plastis [8].

Terdapat dua macam metode yang dipakai dalam analisis pushover, keduanya adalah metode spektrum kapasitas dan metode koefisien perpindahan [9]. Dalam penelitian ini, metode yang dipakai yakni metode spektrum kapasitas. Metode spektrum kapasitas merupakan metode yang memplotkan spektrum kapasitas dengan *demand spectrum* dalam satu format ADRS (*acceleration displacement response spectra*). Titik dimana kurva kapasitas berpotongan dengan *demand spectrum* disebut dengan *performance point* [10]. Dari *performance point* bisa didapat informasi tentang nilai *displacement* efektif, gaya geser dasar, waktu getar efektif dan *damping* efektif.

3. METODOLOGI PENELITIAN

Objek Penelitian

Objek penelitian ini adalah Gedung Pasar Jongke yang terletak di Jl. Dr. Rajiman, Pajang, Kecamatan Laweyan, Kota Surakarta. Gedung ini berlantai tiga dengan tinggi bangunan 13,5 meter. Luas massa bangunan yang menjadi objek penelitian adalah ±13.165 m². Konstruksi bangunan ini menggunakan struktur beton bertulang.

Pengumpulan Data

Data pada penelitian ini berupa data primer yaitu data asli yang diperoleh atau dikumpulkan oleh peneliti. Data yang diperoleh adalah gambar kerja, hasil penyelidikan tanah, hasil uji tekan beton, dan hasil uji tarik baja tulangan.

Pemodelan Struktur

Pemodelan struktur dengan bantuan software SAP2000 V23 dilakukan sesuai dengan data aktual lapangan yang diperoleh. Tahapan yang dilakukan yaitu: (1) Pendefinisian material beton dan baja tulangan, (2) Input semua jenis dan ukuran penampang elemen pelat, balok, dan kolom, (3) Pemodelan elemen struktur berdasarkan gambar kerja, (4) Perhitungan pembebanan, (5) Pendefinisian sendi plastis.

Analisis Pushover Metode Spektrum Kapasitas

Pada *static pushover case* dibuat dua macam pembebanan, yaitu beban gravitasi dan beban lateral. DOF beban gravitasi adalah U3. Untuk beban gravitasi dipilih *load pattern*: beban mati dengan faktor skala 1, beban mati tambahan dengan faktor skala 1 dan beban hidup dengan faktor skala 0,25. Untuk beban lateral dipilih *acceleration*: UX dan UY. *Monitored displacement* berada di titik pusat massa bangunan.

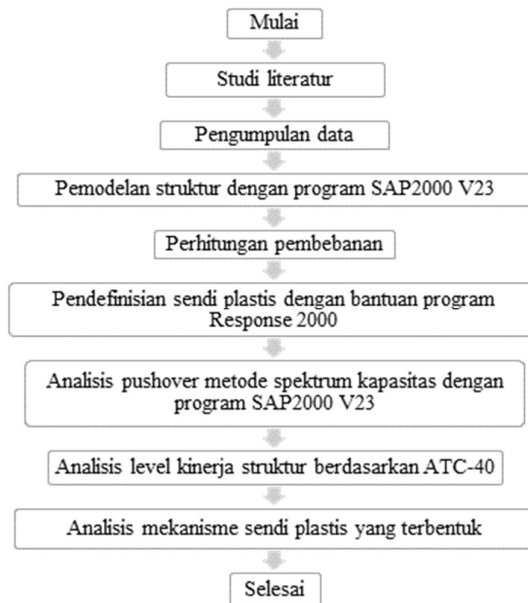
Pola pembebanan diberikan secara bertahap sampai mencapai target peralihan yang diharapkan atau sampai mencapai kondisi plastis. Tahap pertama analisis belum mempertimbangkan kondisi nonlinier dimana struktur diberi beban gravitasi. Tahap kedua dilanjutkan dengan memberikan pola beban lateral (*pushover case* arah x dan arah y) secara bertahap. Hasil pushover disimpan secara *multiple states* dengan jumlah minimum 10 *steps* dan maksimum 100 *steps*.

Dari hasil analisis pushover didapatkan kurva kapasitas yang memberikan gambaran perilaku struktur ketika dikenai gaya geser pada level tertentu. Respon spektrum format ADRS kemudian diplotkan dengan kurva kapasitas format ADRS sehingga diperoleh *performance point*. Proses konversi dilakukan sepenuhnya oleh program SAP2000. Dari *performance point* diperoleh nilai *displacement* efektif, gaya geser dasar, waktu getar efektif dan *damping* efektif. Dari nilai *displacement* akan diketahui level kinerja struktur berdasarkan ATC-40.

Untuk menampilkan skema keelehan sendi plastis, dapat dilihat dari *deformed shape* akibat *pushover case* x atau y. Sendi plastis yang leleh terlebih dahulu akibat beban pushover dapat diketahui. Perilaku pelelehan pada elemen ditunjukkan dengan warna pada sendi plastis.

Diagram Alir Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian dapat dilihat pada diagram alir berikut ini.



Gambar 3. Diagram alir penelitian

4. ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

Data Struktur Gedung

Bahan elemen struktur bersumber dari hasil uji tekan beton dan hasil uji tarik baja tulangan, diantaranya: (1) Mutu beton balok, $f_c' = 28,7$ MPa; (2) Mutu beton kolom, $f_c' = 31,01$ MPa; (3) Mutu BJTS 10 mm, $f_y = 537,6$ MPa dan

$f_u = 699,62$ MPa; (4) Mutu BJTS 13 mm, $f_y = 439,49$ MPa dan $f_u = 598,72$ MPa; (5) Mutu BJTS 19 mm, $f_y = 407,64$ MPa dan $f_u = 592,36$ MPa; (6) Mutu BJTS 22 mm, $f_y = 414,01$ MPa dan $f_u = 624,2$ MPa.

Dimensi elemen struktur yang didefinisikan pada program SAP2000 dapat dilihat pada Tabel 2, 3, dan 4 berikut:

Tabel 2. Data dimensi struktur pelat

No	Tipe	Ketebalan (mm)
1	Pelat lantai	120
2	Pelat atap	100

Sumber: Gambar kerja

Tabel 3. Data dimensi struktur balok

No	Tipe		Dimensi (mm)
1	Sloof	S1	300 x 500
2	Balok induk	B1	300 x 600
3	Balok induk	B2	300 x 400
4	Balok induk	B3	300 x 600
5	Balok anak	BA1	250 x 500
6	Ring balok	RB1	300 x 400
7	Ring balok	RB2	300 x 400
8	Ring balok	RBA1	250 x 400

Sumber: Gambar kerja

Tabel 4. Data dimensi struktur kolom

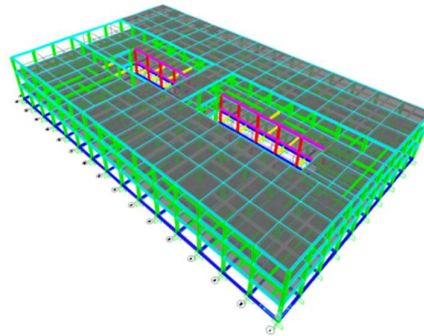
No	Tipe		Dimensi (mm)
1	Kolom	K1	500 x 500
2	Kolom	K2	400 x 400

Sumber: Gambar kerja

Dari laporan penyelidikan tanah, dapat diketahui bahwa nilai N-SPT berkisar antara 15-50, maka dapat dikategorikan klasifikasi situs tanah sedang (SD).

Pemodelan Struktur

Pemodelan struktur dilakukan dengan bantuan software SAP2000 V23 sesuai dengan data aktual lapangan yang diperoleh.



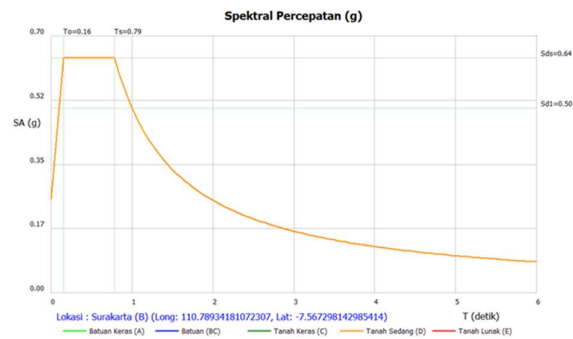
Gambar 4. Pemodelan struktur

Perhitungan Pembebanan

Pembebanan yang diperhitungkan dalam pemodelan struktur meliputi beban mati, beban hidup, dan beban gempa. Dalam analisis struktur ini digunakan pembebanan gempa dinamis dengan respons spektrum. Fungsi respons spektrum ditetapkan sesuai peta wilayah gempa untuk kondisi tanah sedang (SD) dengan koordinat *Longitude 110.789 degrees* dan *Latitude -7,567 degrees*. Parameter seismik dan fungsi respons spektrum diperoleh dari program RSA 2019.

Tabel 5. Perhitungan pembebanan

No	Jenis beban	Berat
1	Beban mati	
	Beton bertulang	24 kN/m ³
2	Beban mati tambahan	
	Pasangan bata ringan	60 kg/m ²
	Adukan semen atau spesi	21 kg/m ²
	Penutup lantai (keramik)	42 kg/m ²
	Plafond dan rangka	18 kg/m ²
	Mekanikal dan elektrikal	25 kg/m ²
3	Beban hidup	
	Toko lantai satu [11]	4,79 kN/m ²
	Toko lantai di atasnya [11]	3,59 kN/m ²
	Atap datar [11]	0,96 kN/m ²

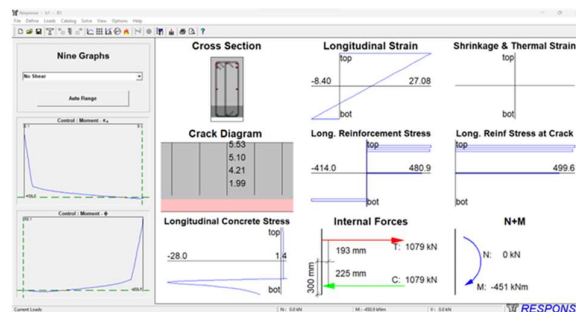


Sumber: RSA, 2019

Gambar 5. Respons Spektrum

Pendefinisian Sendi Plastis

Berikut tahapan pendefinisian sendi plastis untuk salah satu balok induk, yaitu balok B1 dengan ukuran 30 x 60 cm. Pendefinisian sendi plastis dimulai dengan analisis momen kurvatur menggunakan bantuan program Response 2000. Setelah momen kurvatur diperoleh, dilakukan perhitungan titik kurva berdasarkan ATC-40. Dari hasil perhitungan kemudian diplot menjadi kurva *backbone*.



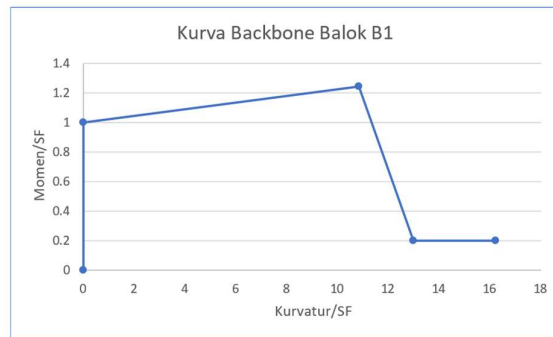
Gambar 6. Hasil sectional response balok B1

Tabel 6. Hasil sectional response balok B1

No	Parameter	Nilai	
1	Yield moment	M_y	359,66 kNm
2	Yield curvature	ϕ_y	5,46 mrad/m
3	Ultimate moment	M_u	448,92 kNm
4	Ultimate curvature	ϕ_u	59,13 mrad/m

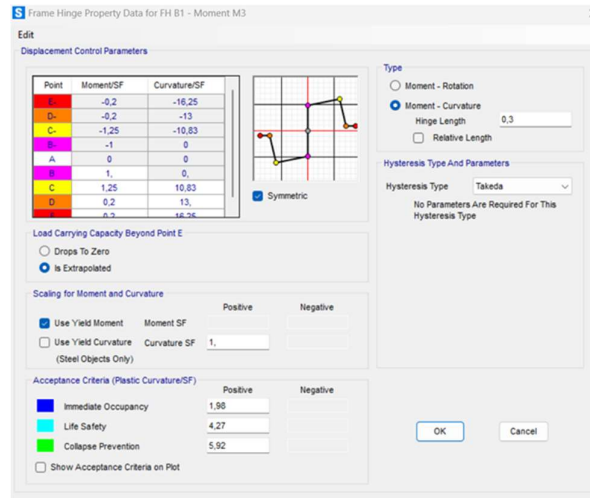
Tabel 7. Perhitungan Titik Kurva Berdasarkan ATC-40

Titik	Momen / SF (kNm)	Kurvatur (mrad/m)
A	0	0
B	1	0
C	$M_u / M_y = 1,25$	$\phi_u / \phi_y = 10,83$
D	0,2	$1,2 \phi_u / \phi_y = 13$
E	0,2	$1,5 \phi_u / \phi_y = 16,25$



Gambar 7. Kurva backbone balok B1

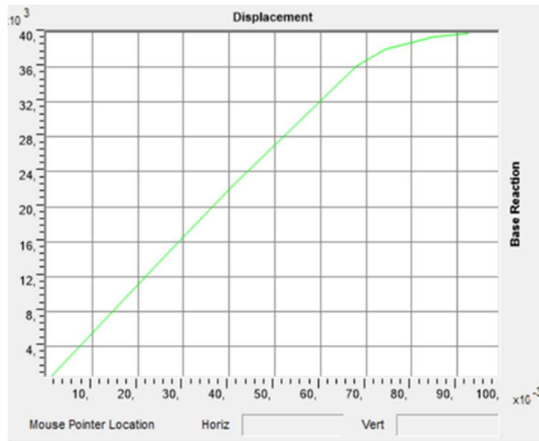
Setelah diperoleh kurva backbone, selanjutnya dilakukan pendefinisian properti sendi plastis. Elemen balok pada portal diasumsikan tidak terjadi leleh karena aksial, leleh hanya dikarenakan momen terhadap sumbu lokal 3. Oleh karena itu, tipe sendi adalah *deformation controlled (ductile) - moment M3*. Tipe parameter *displacement control* adalah *moment-curvature* dengan *hinge length* 0,5 x tinggi penampang balok (0,5 x 0,6 = 0,3). Kemudian dilakukan input nilai sesuai Tabel 7, sehingga diperoleh data *frame hinge property* seperti berikut.



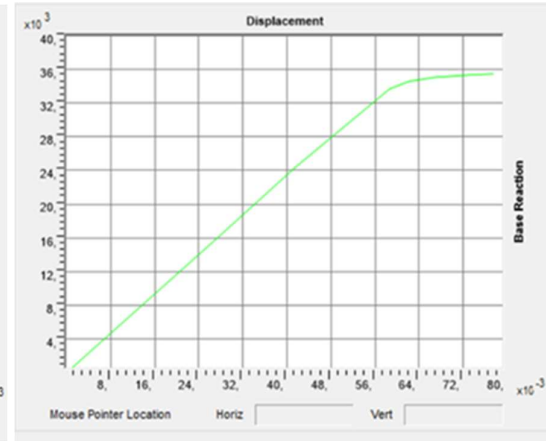
Gambar 8. Data *frame hinge property* balok B1

Hasil Analisis Pushover

Dari proses iterasi, didapatkan kurva kapasitas yang merupakan hubungan antara perpindahan titik acuan pada atap (D) dengan gaya geser dasar (V).



Gambar 9. Kurva kapasitas arah x



Gambar 10. Kurva kapasitas arah y

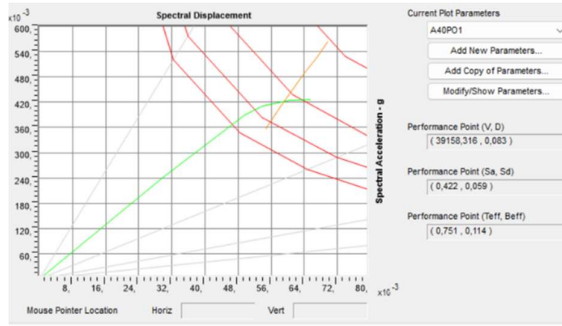
Tabel 8. Pushover capacity curve arah x

Load case	Step	Displacement	Base Force	A to B	B to C	C to D	D to E	Beyond E
Text	Unit-less	m	kN	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
Push X	0	0.000	0.00	4328	0	0	0	0
Push X	1	0.027	14869.14	4328	0	0	0	0
Push X	2	0.041	22386.11	4327	1	0	0	0
Push X	3	0.068	36142.23	4152	176	0	0	0
Push X	4	0.074	38087.71	4019	309	0	0	0
Push X	5	0.085	39425.26	3887	441	0	0	0
Push X	6	0.092	39907.68	3843	485	0	0	0

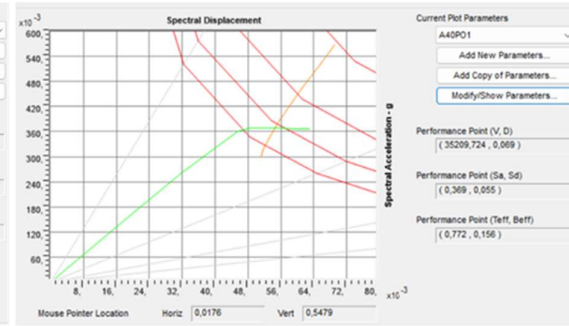
Tabel 9. Pushover capacity curve arah y

Load case	Step	Displacement	Base Force	A to B	B to C	C to D	D to E	Beyond E
Text	Unit-less	m	kN	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
Push Y	0	0.000	0.00	4332	0	0	0	0
Push Y	1	0.027	15878.36	4332	0	0	0	0
Push Y	2	0.041	24332.99	4331	1	0	0	0
Push Y	3	0.059	33720.06	4099	233	0	0	0
Push Y	4	0.062	34646.07	3994	338	0	0	0
Push Y	5	0.067	35130.84	3914	418	0	0	0
Push Y	6	0.068	35174.96	3900	432	0	0	0
Push Y	7	0.071	35286.59	3886	446	0	0	0
Push Y	8	0.074	35337.58	3883	449	0	0	0
Push Y	9	0.075	35411.92	3875	457	0	0	0
Push Y	10	0.077	35502.56	3867	465	0	0	0
Push Y	11	0.077	35454.78	3867	465	0	0	0

Berdasarkan Tabel 8 dan Tabel 9, diperoleh besar simpangan atap yang terjadi pada arah x sebesar 92 mm dan pada arah y sebesar 77 mm. *Displacement* gedung dapat dikatakan baik karena *displacement* yang terbentuk lebih kecil dari *displacement limit (control)* yang ditentukan sebesar $2\% H = 2\% \times 13,5 \text{ m} = 0,27 \text{ m}$.



Gambar 11. Kurva pushover arah x



Gambar 12. Kurva pushover arah y

Tabel 10. Nilai performance point

Parameter	Arah X	Arah Y
Performance Point (V; D)	37958,362; 0,082	35209,724; 0,069
Performance Point (Sa; Sd)	0,41; 0,059	0,369; 0,055
Performance Point (Teff; Beff)	0,761; 0,119	0,772; 0,156

Level Kinerja Struktur

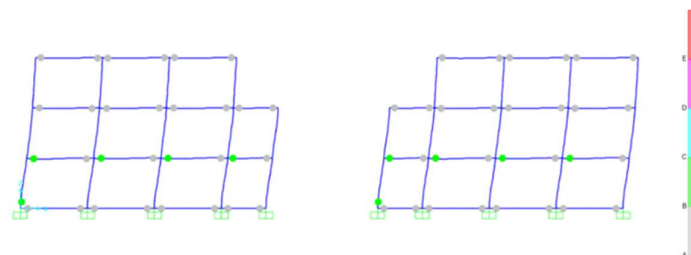
Level kinerja struktur ditentukan berdasarkan batasan rasio drift pada Tabel 1.

Tabel 11. Level kinerja struktur

Parameter	Arah X	Arah Y	Level Kinerja Struktur
Total drift maksimum (Dt/H)	$0,092/13,5 = 0,007$	$0,077/13,5 = 0,006$	Immediate occupancy
Inelastic total drift maksimum ((Dt-D1)/H)	$(0,092-0,027)/13,5 = 0,005$	$(0,077-0,027)/13,5 = 0,004$	Immediate occupancy

Skema Distribusi Sendi Plastis

Penyajian gambar skema distribusi sendi plastis diambil contoh pada portal as-4. Pada step 0, sendi plastis menunjukkan level A yang berarti belum terjadi kelelahan struktur. Pada step 1-2, sendi plastis juga menunjukkan level A. Sendi plastis dengan level B mulai terjadi pada step 3, saat nilai displacement sebesar 0,068 m. Level ini menunjukkan batas linier yang kemudian diikuti terjadinya pelepasan pertama pada struktur. Sendi plastis dengan level B muncul pada balok lantai dua (B1, B2) dan kolom dasar (K1, K2). Hal ini menunjukkan bahwa struktur eksisting memenuhi konsep keruntuhan ideal (*strong column-weak beam*). Pada step 4-5, terjadi sendi plastis dengan level B pada titik lainnya. Iterasi program berhenti pada step 6 saat nilai displacement sebesar 0,092 m yang berarti struktur telah memasuki kondisi limit.



Gambar 13. Deformed shape pada step 3

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, maka dapat disimpulkan bahwa: (1) Besar simpangan atap yang terjadi pada arah x sebesar 92 mm dan pada arah y sebesar 77 mm. Displacement gedung dapat dikatakan baik karena displacement yang terbentuk lebih kecil dari displacement limit (control) yang ditentukan sebesar $2\% H = 2\% \times 13,5 \text{ m} = 0,27 \text{ m}$, (2) Total drift maksimum pada arah x sebesar 0,007 dan pada arah y sebesar 0,006. Inelastic total drift maksimum pada arah x sebesar 0,005 dan pada arah y sebesar 0,004. Berdasarkan batasan rasio drift untuk berbagai level kinerja struktur yang ada pada dokumen ATC-40, gedung Pasar Jongke Surakarta memiliki level kinerja Immediate Occupancy, (3) Dilihat dari mekanisme sendi plastis yang terbentuk, sendi plastis dengan level B terjadi

pertama kali pada balok dan kolom dasar. Hal ini menunjukkan bahwa struktur eksisting memenuhi konsep keruntuhan ideal (*strong column-weak beam*).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. A. Shulhan, E. Julianto, D. L. C. Galuh and A. Y. Adipradana, "Analisis Kinerja Struktur Gedung Sekolah 4 Lantai dengan Metode Pushover," *Fakultas Teknik Universitas Tidar*, pp. 19-24, 2014.
- [2] R. Kurniawati, B. H. R. Husni and M. Isneini, "Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Bertingkat Menggunakan Nonlinear Static Pushover Analysis dengan Capacity Spectrum Method (CSM) (Studi Kasus: Gedung B Rumah Sakit Umum Muhammadiyah Metro)," *JRSDD*, pp. 605-622, 2021.
- [3] ATC-40, *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*, California: California Seismic Safety Commission, 1996.
- [4] M. R. Saputra, F. Alami and R. Widyawati, "Studi Kinerja Gedung Empat Tingkat Terhadap Beban Gempa dengan Metode Statik Pushover," *JRSDD*, pp. 113-124, 2020.
- [5] B. C. Ertanto, I. Satyarno and B. Suhendro, "Performance Based Design Bangunan Gedung untuk Level Kinerja Operasional," *INERSIA*, pp. 189-204, 2017.
- [6] SNI 1726 2019, *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*, Jakarta: Badan Standarisasi Nasional, 2019.
- [7] H. Y. Mamesah, S. E. Wallah and R. S. Windah, "Analisis Pushover pada Bangunan dengan Soft First Story," *Jurnal Sipil Statik*, pp. 212-224, 2014.
- [8] H. Istiono, Y. Septiarsilia, D. K. Fitriyah, I. Komara and F. T. Nuciferani, "Evaluasi Struktur Gedung Hotel Swiss-Belhotel Darmo Surabaya Menggunakan Analisis Pushover Berdasarkan SNI 1726-2019," *Jurnal Teknologi dan Manajemen*, pp. 97-110, 2023.
- [9] R. F. Nabhillah and G. A. Hayu, "Analisis Perilaku Struktur Perkantoran Tahan Gempa Menggunakan Metode Pushover Analysis," *Siklus Jurnal Teknik Sipil*, pp. 141-154, 2020.
- [10] M. A. Prasetya, I. Wirakusuma and G. Sarya, "Kinerja Struktur Gedung Perkuliahan 10 Lantai Berdasarkan Analisis Nonlinier Pushover dan ATC-40 (Studi Kasus: Graha Wiyata UNTAG Surabaya)," *Jurnal Extrapolasi*, pp. 35-45, 2022.
- [11] SNI 1727 2020, *Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain*, Jakarta: Badan Standarisasi Nasional, 2020.