

Evaluasi Kinerja Struktur Beton Gedung Fakultas Perikanan Dan Kelautan Unair Surabaya Dengan Metode Pushover Analysis

Dewi Nur Fitri Intan Utami^{*1}, Eka Susanti², Heri Istiono³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya

e-mail: ^{*1}dewibaybas@gmail.com

Abstract

The Faculty of Fisheries and Marine at Airlangga University in Surabaya City belongs to one of the educational facility buildings developed in 2014. The construction of the building referred to the regulations of SNI 1726-2002 for earthquakes, SNI 03-2847-2002 for concrete structures, and PPIUG 1983 for loading. This condition needs to be considered as educational buildings are the main and vital physical infrastructures for humans to seek knowledge and work. In this study, a pushover analysis was carried out to determine the structural level, referring to the ATC-40 ductility that occurred after the evaluation. After employing the rules of SNI 1726-2012 for earthquakes, SNI 03-2847-2013 for structural element design, and SNI 1727-2013 for loading, this research obtained a displacement value of 0.231, meaning that the displacement performance of the building was good. Furthermore, the maximum drift was 0.00546 and the maximum inelastic drift gained 0.005, signifying the performance criteria of IO (Immediate Occupancy). Thus, when an earthquake occurs, only a small amount of structural damage will exist. Since the ductility of the FPK building was 1.2, it belonged to level 1 (elastic structure).

Keywords: Pushover Analysis, ATC-40, Inelastic Joint

Abstrak

Fakultas Perikanan dan Kelautan Universitas Airlangga yang terletak di Kota Surabaya merupakan salah satu gedung sarana pendidikan yang dibangun pada tahun 2014. Dimana pembangunan gedung tersebut mengacu pada peraturan SNI 1726-2002 untuk gempa, SNI 03-2847-2002 untuk struktur beton, dan PPIUG 1983 untuk pembebanan.. Kondisi ini perlu diperhatikan , mengingat bangunan pendidikan merupakan prasarana fisik utama yang penting bagi manusia, sebagai tempat untuk mencari ilmu dan bekerja. Pada penelitian ini dilakukan analisis pushover untuk mengetahui kriteria level struktur yang mengacu pada ATC-40 daktilitas yang terjadi setelah dilakukan evaluasi. Aturan yang dipakai yaitu SNI 1726-2012 untuk gempa, SNI 03-2847- 2013 untuk desain elemen sreuktur dan SNI 1727-2013 untuk pembebanan. Maka didapatkan nilai Displacement 0,231 yang berarti kinerja displacement gedung baik, maksimal drift 0,00546 dan maksimal In elastic Drif 0,005 termasuk dalam kriteria kinerja IO (Immediate Occupancy) yang berarti bila terjadi gempa, hanya sedikit kerusakan structural yang terjadi.Serta daktilitas pada gedung FPK ini yaitu 1,2 tergolong pada tingkat 1 (struktur elastis).

Kata kunci: Dinding Geser, Perilaku Struktur, Ketidakberaturan.

1. Pendahuluan

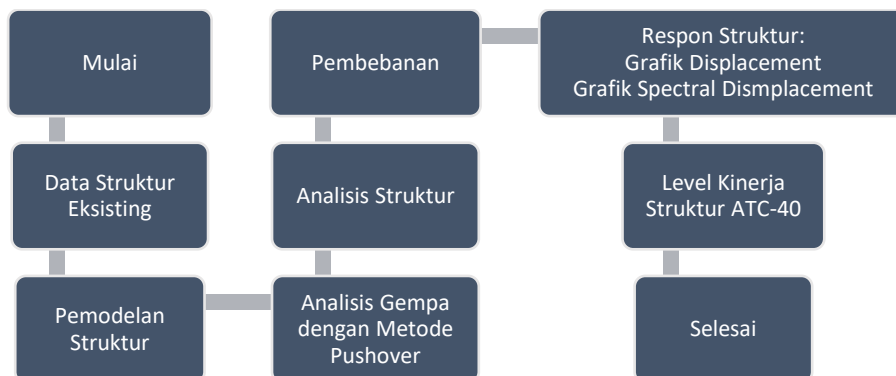
Indonesia terletak di daerah rawan gempa, untuk mengurangi resiko akibat bencana gempa tersebut perlu direncanakan struktur bangunan tahan gempa. Berdasarkan data gempa terbaru yang terjadi di Aceh, Jogja dan daerah lainya para ahli dibawah kordinasi KPUPR mengeluarkan peta gempa 2017 [1]. Peraturan perencanaan struktur gedung tahan gempa di Indonesia mengalami perkembangan seiring terjadinya gempa besar, dari SNI 1726-2002 dimana terdapat 6 area spektrum gempa dikembangkan menjadi SNI 1726-2012 yang membagi Indonesia menjadi 15 area spektrum yang berbeda. Dengan adanya peraturan terbaru maka perlu dilakukan evaluasi kinerja struktur pada gedung-gedung yang termasuk dalam faktor keutamaan tinggi yaitu gedung sekolah dan fasilitas pendidikan, untuk memperkecil resiko kerusakan bangunan akibat bencana gempa [2].

Menurut Wiryanto Dewobroto (2005), keamanan dan keselamatan bangunan tidak hanya bergantung pada tingkat kekuatan, tetapi juga pada tingkat deformasi dan energi struktur pada kinerja struktur. Salah satu metode analisa untuk mengetahui kinerja struktur, yang dapat digunakan adalah analisis dinamik non linear atau analisis *pushover*. Ada 3 macam metode untuk menentukan kriteria Level kinerja yaitu : *Applied Technology Council (ATC-40)*, *Failure Mode Effect Analysis (FEMA 356)*, dan *Failure Mode Effect Analysis (FEMA 440)*. Namun untuk menentukan evaluasi kinerja struktur berbasis performance point berdasarkan ATC-40 [3][4].

Analisa *pushover* adalah salah satu komponen performance based seismic design yang memanfaatkan teknik analisa non-linier berbasis komputer untuk menganalisis perilaku in-elastis struktur dari berbagai macam in-tensitas gerakan tanah (gempa) [5], dengan memberikan beban statik tertentu dalam arah lateral yang besarnya ditingkatkan secara bertahap (*incremental*) sampai struktur tersebut mencapai target displacement tertentu atau mencapai pola keruntuhan tertentu [6]. Hasil akhir dari analisis ini didapatkan kurva kapasitas struktur (*capacity curve*) yang menggambarkan hubungan antara gaya geser dasar (*base shear*) dan perpindahan atap (*roof displacement*). Melalui kurva kapasitas tersebut dapat diketahui kinerja dari struktur gedung yang dianalisis. Selain itu, analisa pushover juga dapat memperlihatkan secara visual perilaku struktur pada saat kondisi elastis, plastis dan sampai terjadinya keruntuhan pada elemen-elemen strukturnya. Metode analisa pushover bisa menghasilkan informasi yang sangat bermanfaat karena mampu menggambarkan respons in-elastis bangunan ketika mengalami gempa. Berdasarkan data tersebut, penulis akan mengevaluasi kinerja struktur gedung Fakultas Perikanan dan Kelautan Universitas Airlangga Surabaya menggunakan analisis pushover berdasarkan ATC-40 [4].

2. Metode Penelitian

Adapun bagan alir untuk melakukan analisis, seperti yang tertera pada Gambar 1 :



Gambar 1. Flowchart Penelitian.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Menentukan Jenis Tanah (*Site Class*)

Untuk data tanah menggunakan sesuai data eksisting yang ada. Didapat data sebagai berikut :

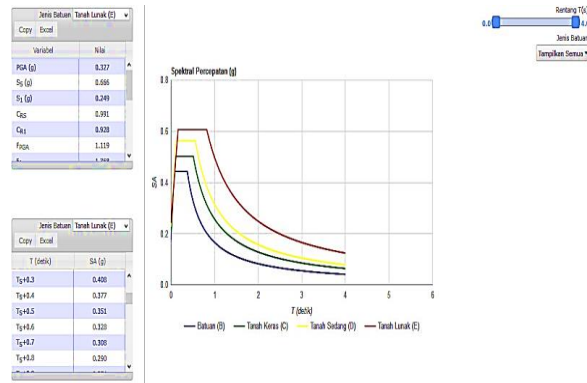
Tabel 1. Data Tanah Eksisting

No.	Depth (m)	Ti (m)	Ni-SPT	Ti/Ni
1	1,25	2	0	0
2	3,25	2	3	0,667
3	5,25	2	0	0
4	7,25	2	0	0
5	9,25	2	0	0
6	11,25	2	0	0
7	13,25	2	0	0
8	15,25	2	16	0,125
9	17,25	2	12	0,167
10	19,25	2	43	0,046
11	21,25	2	47	0,042
12	23,25	2	50	0,040
13	25,25	2	28	0,071
14	27,25	2	33	0,060
15	29,25	2	38	0,526
16	31,25	2	12	0,167
17	33,25	2	50	0,040
18	35,25	2	30	0,066
19	37,25	2	23	0,086
20	39,25	2	25	0,080
Total				2,183
Nrata-rata (39,25/Total)				17,97

Dari hasil perhitungan nilai N rata-rata sebesar 17,97 dari Tabel 2.6 termasuk dalam klasifikasi situs dengan jenis tanah sedang (SE) dengan nilai 15 – 50.

3.2. Menentukan Parameter Gempa

Dilihat pada tabel 2.4 kategori risiko bangunan gedung untuk beban gempa, bangunan Fakultas Perikanan dan Kelautan Unair termasuk pada kategori risiko IV karena termasuk dalam kategori gedung sekolah dan fasilitas pendidikan. Nilai Faktor $R=8$, $C_d=5,5$; dan $\Omega_0=3$. Nilai $I_e = 1,5$; Parameter percepatan gempa S_s ($T=0,2$ detik)= 0,6881 dan S_1 ($T=1,0$ detik)= 0,3 ; $F_a= 1,4$; $F_v= 2,88$; $SMS= F_a.S_s = 0,9633$; $SM_1= F_v.S_1 = 0,864$; $SDS= 2/3 SMS= 0,6422$; $SD_1= 2/3 SM_1= 0,876$; dan spektrum respon = 0,2 (SD_1/SDS) = 0,1746 sec. Dengan grafik respon spektranya seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Hasil perhitungan Program Desain Spektra Indonesia.

Koefisien Respon Seismik (Cs)

Koefisien respons seismik, Cs, harus ditentukan sesuai dengan SNI 03-1726-2012 pasal 7.8.1.1

SDS = 0,6422 ; SDI = 0,876; I_e = 1,50 ; R = 8 (SRPMK)

$$C_s = \frac{S_{DS}}{R} = 0,12 \text{ dan Nilai } C_s \text{ tidak lebih dari } C_s = \frac{S_{D1}}{T \alpha (R/I)} = 0,1946$$

Dan nilai Cs tidak kurang dari :

$$C_s = 0,044 S_{DS} I_e = 0,0423 \geq 0,01$$

Maka nilai Cs diambil 0,120 untuk gempa 100 %

3.3. Kombinasi Pembebanan dan Kontrol Struktur Gedung

Struktur, komponen, dan fondasi harus dirancang sedemikian rupa sehingga kekuatan desainnya sama atau melebihi efek dari beban terfaktor dalam kombinasi yang mengacu berdasarkan SNI 03 1727:2013 yaitu

- 1) 1,4 DL
- 2) 1,2 DL+ 1,6LL
- 3) 1,2 DL + 1,6 LL ± 1 Ex ± 0,3 Ey
- 4) 1,2 DL+ 1,6 LL ± 0,3 Ex ± 1 Ey
- 5) 0,9 DL ± 0,3 Ex ± 1 Ey
- 6) 0,9 DL ± 1 Ex ± 0,3 Ey

• Kontrol Terhadap Beban Gempa

Setelah dilakukan pembebanan sesuai SNI 1726-2012 terhadap model struktur eksisting, maka dilakukan analisis dengan menggunakan SAP2000, untuk meninjau kelayakan struktur dalam memikul beban-beban yang bekerja. Dari hasil analisis struktur tersebut harus dikontrol melalui batasan-batasan berikut :

Tabel 2. Perhitungan Gaya Axial Pada Kolom

Element	Depth (m)	Ti (m)	Ni-SPT	Ti/Ni
1	1,25	2	0	0
2	3,25	2	3	0,667
3	5,25	2	0	0
4	7,25	2	0	0
5	9,25	2	0	0
6	11,25	2	0	0
7	13,25	2	0	0
8	15,25	2	16	0,125
9	17,25	2	12	0,167

Element	Depth (m)	Ti (m)	Ni-SPT	Ti/Ni
10	19,25	2	43	0,046
11	21,25	2	47	0,042
12	23,25	2	50	0,040
13	25,25	2	28	0,071
14	27,25	2	33	0,060
15	29,25	2	38	0,526
16	31,25	2	12	0,167
17	33,25	2	50	0,040
18	35,25	2	30	0,066
19	37,25	2	23	0,086
20	39,25	2	25	0,080
Total				2,183
Nrata-rata (39,25/Total)				17,97

Nilai ini masih berada dibawah batas selisih toleransu berat bangunan, yaitu 5% . Maka untuk model yang telah dibuat dapat digunakan dengan bantuan program SAP 2000. Kontrol Periode Alami Struktur $T = T_a \cdot C_u$.

- Periode fundamental pendekatan (T_a)**

$$T_a = \frac{0,0062}{\sqrt{C_w}} h_n$$

$C_u = 1,4$ (SNI 03-1726-2012 pasal 7.8.2

$$C_{wy} = \frac{100}{A_g} \sum_{i=1}^x \left(\frac{h_n}{h_i} \right)^2 \frac{A_i}{\left[1 + 0,83 \left(\frac{h_i}{D_i} \right)^2 \right]} = 0,000312 \text{ dan } C_{wx} = 0,000377$$

$T_{ay}=0,877$ dan $T_{ax}=0,798$

Kontrol Partisipasi Massa

Menurut SNI 1726:2012 Pasal 7.9.1, bahwa analisa harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi sebesar paling sedikit 90 % (Tabel 3).

Tabel 3. Kontrol Partisipasi Massa

Mode	Period	UX	UY	SumUX	SumUY
1	0.970021	0.272790	0.086840	27 %	9 %
2	0.899642	0.062610	0.714720	34 %	80 %
3	0.415034	0.446600	0.007260	78 %	81 %
4	0.298025	0.038910	0.006510	82 %	82 %
5	0.272903	0.004890	0.094430	83 %	91 %
6	0.225292	0.008760	0.000670	83 %	91 %
7	0.222047	0.000110	0.022130	83 %	93 %
8	0.201651	0.001390	0.000024	84 %	93 %

Mode	Period	UX	UY	SumUX	SumUY
9	0.194155	0.000095	0.000260	84 %	93 %
10	0.160094	0.013690	0.001010	85 %	93 %
11	0.134610	0.001680	0.038860	85 %	97 %
12	0.133319	0.007310	0.000000	86 %	97 %
13	0.127630	0.006420	0.000210	87 %	97 %
14	0.126247	0.087270	0.000047	95 %	97 %

- Kontrol Base Reaction**

Nilai Vdinamik dan Vstatik didapatkan dari base reaction hasil analisa struktur. Pada SNI 03-1726-2012 pasal 7.9.4 memsyaratkan nilai akhir Vdinamik minimal 85% dari Vstatik ($V_{dinamik} \geq 0,85 V_{statik}$). Bila syarat ini tidak terpenuhi maka gaya geser dasar ragam perlu dikalikan faktor skala gaya sebesar 0,85 V/V_t (SNI 03-1726-2012 pasal 7.9.4.1)

Tabel 4. Kontrol nilai akhir respons spectrum

TIPE BEBAN GEMPA	FX	FY
RSPX	554769,72	166130,68
RSPY	124958,00	554755,25

Diketahui V static dari SAP2000 yaitu : 652648,02 kg Arah x :

$V_{dinamik} \geq 0,85 V_{statik}$

$554769,72 \text{ kg} \geq 0,85 \times 652648,02 \text{ kg}$

$554769,72 \text{ kg} > 554750,82 \text{ kg} \rightarrow$ maka OK

Arah y :

$V_{dinamik} \geq 0,85 V_{statik}$

$554769,72 \text{ kg} \geq 0,85 \times 652648,02 \text{ kg}$

$554755,25 \text{ kg} > 554750,82 \text{ kg} \rightarrow$ maka OK

Dari hasil di atas dapat disimpulkan bahwa nilai akhir dari respon spektrum telah memenuhi SNI 03-1726-2012 pasal 7.9.4.1, maka pengaruh gempa dinamik lebih menentukan. Maka pada tahap perencanaan struktur akan digunakan beban gempa dinamik.

- Kontrol Simpangan**

Untuk kontrol drift pada SNI 03-1726-2012 dirumuskan sebagai berikut :

$$\delta x = \frac{C_d \cdot \delta x_e}{I_e}$$

Di mana :

δx = defleksi pada lantai ke-x

C_d = faktor pembesaran defleksi (= 5,5) SNI 03-1726-2012 Tabel 9

I = faktor keutamaan gedung (= 1,5)

Untuk struktur SRPMK, menurut SNI 03-1726-2012 pasal 7.12.1 tabel 16, simpangan dibatasi sebesar :

$\Delta_{max} = 0,01 h_{sx} = 0,01 \times 3200 = 32 \text{ mm}$, untuk tingkat 1

$\Delta_{max} = 0,01 h_{sx} = 0,01 \times 4000 = 40 \text{ mm}$, untuk tingkat 2 - 11 (atap)

Tabel 5. Kontrol Drift Arah x Tiap Lantai

Lantai	hi	δ_{xe}	δ_x	Drift	Syarat	Ket
				(Δ_s)	Drift Δ_s	
	m	mm	mm	mm	mm	
10	42,3	6,26	22,97	-51,79	40	OK
9	37,7	11,56	27,54	20,65	40	OK
8	32,7	15,98	60,08	38,01	40	OK
7	30,5	19,02	74,75	38,66	40	OK
6	27,9	20,39	74,75	37,38	40	OK
5	23,1	10,19	37,38	5,00	40	OK
4	18,3	10,19	37,38	5,63	40	OK
3	13,5	8,66	31,74	11,49	40	OK
2	8,7	5,52	20,26	11,84	40	OK
1	5,5	2,30	8,42	8,42	32	OK
0	0,00	0,00	0,00	0,00	32	OK

Tabel 6. Kontrol Drift Arah y Tiap Lantai

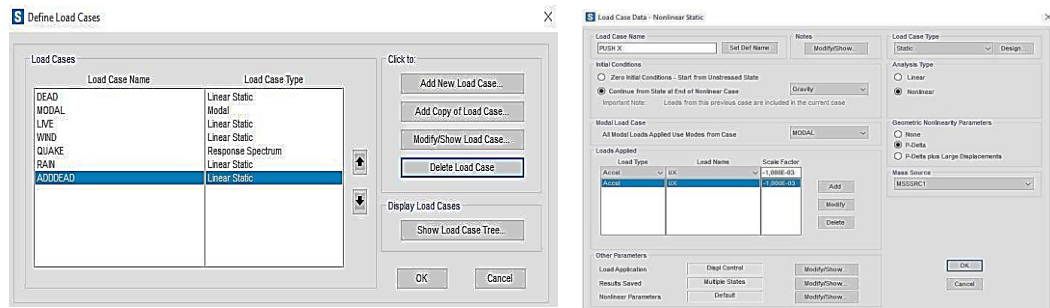
Lantai	hi	δ_{xe}	δ_x	Drift	Syarat	Keterangan
				(Δ_s)	Drift Δ_s	
	m	mm	mm	mm	mm	
10	42,3	150,01	551,9	36,85	40	OK
9	37,7	138,90	501,0	36,85	40	OK
8	32,7	130,88	490,11	36,85	40	OK
7	30,5	122,32	448,52	34,75	40	OK
6	27,9	101,94	373,77	34,75	40	OK
5	23,1	81,55	299,01	34,75	40	OK
4	18,3	61,16	224,26	34,75	40	OK
3	13,5	40,77	149,51	37,38	40	OK
2	8,7	30,58	112,13	35,96	40	OK
1	5,5	9,87	36,17	26,17	32	OK
0	0,00	0,00	0,00	0,00	32	OK

3.4. Analisis Statis Nonlinear Pushover

Analisis *pushover* atau beban dorong diberikan dengan menentukan titik berat gedung di puncak bangunan, pada keempat model bangun. Metode yang digunakan dalam ATC-40 adalah Spektrum kapasitas (*capacity-spectrum*). Metode spektrum kapasitas adalah dengan memplotkan demand respon spektrum dan kurva kapasitas dalam satu format antara spektral percepatan vs spektral perpindahan atau disebut sebagai format *Acceleration-Displacement Response Spectra* (ADRS).

Membuat Nonlinier Case

- Menentukan Gravity Nonlinier Case Pilih Define > Load case, lalu akan muncul boxes Define Load Cases seperti terlihat pada Gambar 3.
- Pilih Add New Case, maka akan muncul Load Case Data Linier Static lalu isikan data seperti terlihat pada Gambar 3.
- Dalam hal ini prosentase beban yang digunakan dalam analisa pushover yaitu 100% beban mati (termasuk beban mati tambahan) dan 50% beban hidup. Selain itu efek P-Delta harus ditambahkan karena pada analisa pushover Displacement yang terjadi akan terus bertambah seiring dengan penambahan beban dorong statik yang diberikan pada bangunan.



Gambar 3. Define Load Cases.

Menentukan Nonlinier Pushover Case

- Pilih Define > Load Case > Add New Load Case dan isikan Static Nonlinier Case Name = PUSHX.
- Isikan Push to Disp. Magnitude = - 1, dan centang pada Use Conjugate Displ. For control. (data tersebut dipilih untuk memonitor deformasi pada struktur gedung dengan mencatat perpindahan bangunan atau displacement selama proses analysis pushover dengan maksifmum displacement yang akan dihitung oleh program sebesar 1 (satu) meter.
- Isikan Load to Monitored Displacement Magnitude of = 846 (Monitires displacement diambil 2% dari tinggi gedung)
- Pada option DOF pilih U1 dan Input at Joint = 773 dan klik OK

Memodelkan Sendi Plastis

Untuk analisis Pushover hal lain yang juga perlu diperhatikan adalah permodelan sendi plastis (plastic hinges) pada elemen struktur yang dibuat. pendefinisian sendi plastis ini didasarkan pada perilaku struktur yang didesain. Perilaku struktur yang dimodelkan. Dalam hal ini struktur akan berperilaku sebagai Beam Sway Mechanism, yang artinya ketika struktur terkena beban lateral maka balok akan terlebih dahulu mengalami kelelahan pada ujung-ujung balok tersebut kemudian dilanjutkan dengan kelelahan pada kolom pada pangkal kolom. Langkah- langkah untuk mendefinisikan sendi plastis ditunjukkan dibawah ini :

- Sendi Plastis pada Balok. Pilih semua elemen balok induk dan balok anak pada semua lantai.
- Pilih Assign > Frame > Hinges, lalu akan muncul boxes Assign Frame Hinges. Masukkan data sesuai Gambar 4.

- c) Sendi plastis pada kolom. Pilih semua elemen pada seluruh lantai.
- d) Pilih *Assign > Frame > Hinges*, lalu akan muncul *boxes Assign Frame Hinges*. Masukkan data sesuai Gambar 5.
- e) Run Program pada menu *Analyze > Run Analysis*. Lalu setelah selesai, *Run Static Nonlinear Analysis* dengan pilih pada menu *Analyze > Run Static Nonlinear Analysis*.

a.

The left screenshot shows the 'Auto Hinge Assignment Data' dialog box. It has sections for 'Auto Hinge Type' (set to 'From Tables in ASCE 41-17'), 'Select a Hinge Table' (set to 'Table 10-7 (Concrete Beams - Flexure) Item i'), 'Degree of Freedom' (radio buttons for M2, M3, and M3 is selected), 'V Value From' (radio buttons for Case/Combo and User Value, with Case/Combo selected and DEAD in the dropdown), 'Transverse Reinforcing' (checkbox for 'Transverse Reinforcing is Conforming' is checked), 'Reinforcing Ratio (p - s) / balanced' (radio buttons for From Current Design and User Value, with From Current Design selected), and 'Deformation Controlled Hinge Load Carrying Capacity' (radio buttons for Drops Load After Point E and Is Extrapolated After Point E, with Drops Load After Point E selected). The right screenshot shows the 'Assign Frame Hinges' dialog box. It has a table for 'Hinge Property' with columns 'Location Type', 'Relative Distance', and 'Absolute Distance'. The table contains two rows: 'Auto M3' and 'Auto M3', both with 'Relative To Clear Length' as the location type and '0.95' as the relative distance. There are buttons for 'Add Hinge...', 'Modify Hinge...', and 'Delete Hinge'. Below the table is a 'Current Hinge Information' section with 'Type: From Tables in ASCE 41-17', 'Table: Table 10-7 (Concrete Beams - Flexure) Item i', and 'DOF: M3'. There is also an 'Options' section with radio buttons for 'Add Specified Hinge Assigns to Existing Hinge Assigns', 'Replace Existing Hinge Assigns with Specified Hinge Assigns', and 'Existing Hinge Assignments on Currently Selected Frame Objects'. The 'Existing Hinge Assignments on Currently Selected Frame Objects' section shows 'Number of Selected Frame Objects: 0' and 'Total Number of Hinges on All Selected Frame Objects: 0'. At the bottom, there is a text box 'Fill Form with Hinges on Selected Frame Object' and buttons for 'OK', 'Close', and 'Apply'.

Gambar 4. Input Hinge pada Balok

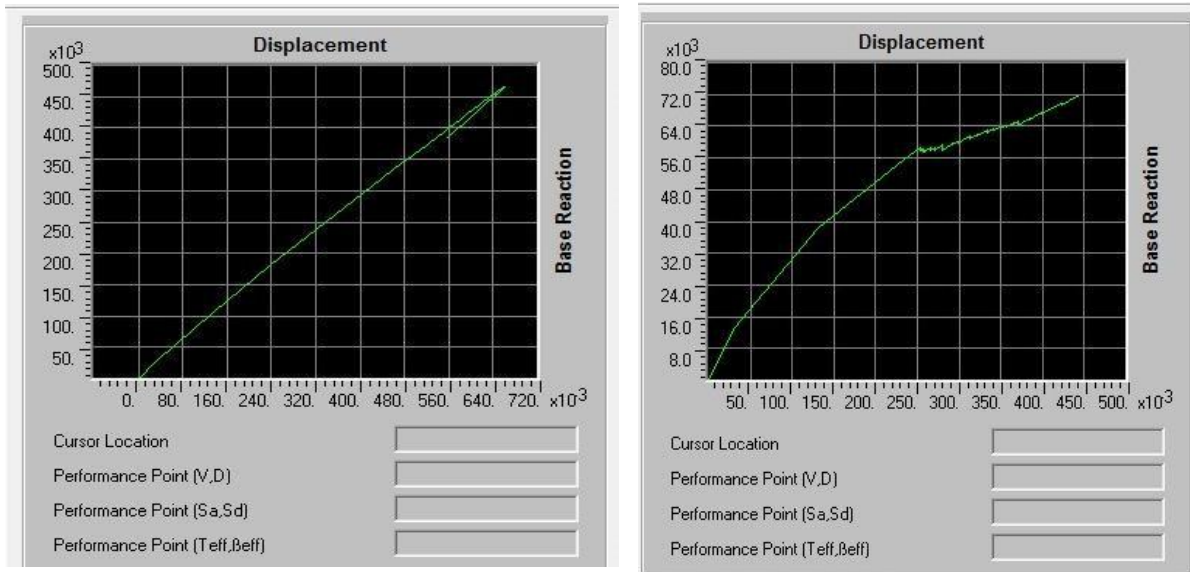
The screenshot shows the 'Auto Hinge Assignment Data' dialog box. It has sections for 'Auto Hinge Type' (set to 'From Tables in ASCE 41-17'), 'Select a Hinge Table' (set to 'Table 10-8 and 10-9 (Concrete Columns)'), 'Degree of Freedom' (radio buttons for M2, M3, M2-M3, and Parametric P-M2-M3, with M3 selected), 'P Values From' (radio buttons for Case/Combo and User Value, with Case/Combo selected and DEAD in the dropdown for Gravity and Gravity + Lateral), 'Not Controlled by inadequate Development or Splicing' (radio buttons for Not Controlled by inadequate Development or Splicing and Controlled by inadequate Development or Splicing, with Not Controlled by inadequate Development or Splicing selected), 'Shear Reinforcing Ratio $p = A_v / (b_w \cdot s)$ ' (radio buttons for From Current Design and User Value, with From Current Design selected), 'Deformation Controlled Hinge Load Carrying Capacity' (radio buttons for Drops Load After Point E and Is Extrapolated After Point E, with Drops Load After Point E selected), 'Shear Demand at Flex. Yielding / Shear Cap. ($V_y E / V_{colDE}$)' (radio buttons for Program Calculated and User-specified Shear Demand, $V_y E$, with Program Calculated selected), and 'Shear Reinforcement Spacing Ratio (s/d)' (radio buttons for From Current Design and User Value, with From Current Design selected). The bottom has buttons for 'OK' and 'Cancel'.

Gambar 5. Input Hinge pada Kolom

3.5. Kurva Kapasitas Pushover

Setelah selesai proses Static Nonlinear Analysis. Untuk menampilkan hasil dari analisa tersebut berikut langkah-langkah :

- a) Pilih *Display > Show Static Pushover Curve* maka akan muncul boxes baru.
- b) Pilih options Static Nonlinier Case pilih PUSHX untuk Pushover Curve arah x-x dan PUSHY untuk Pushover Curve arah y-y, terlihat pada Gambar
- c) untuk menampilkan plot-plot kurva pushover maka pilih *File > Display Table* maka akan muncul plot-plot gaya beserta perpindahannya untuk setiap step beban dorong.

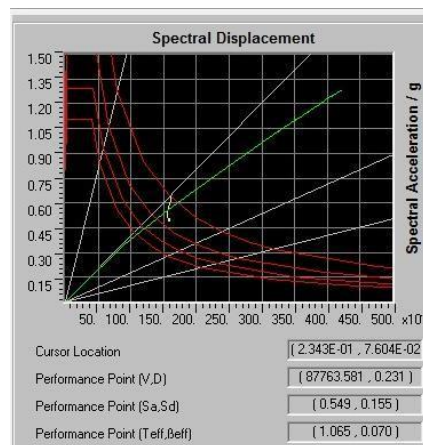


Gambar 4.18 Pushover Curve-x dan Curve-y.

Lalu untuk menampilkan titik kinerja struktur terlebih dahulu harus memasukan beberapa parameter-parameter yang dihitung dan sesuai dengan dokumen ATC-40. Berdasarkan ATC-40 pasal 4.4.3.1 dapat dihitung parameter nilai CA dan Cv sebagai berikut :

$$CA = 0,4 \cdot S_{ms} = 0,38 \text{ dan } C_v = S_{m1} = 0,86$$

Untuk Damping parameter isikan nilai 0,05 atau 5 % (natural damping pada bangunan beton bertulang).



Gambar 4.24 Spektrum Kapasitas Arah X-X.

Tingkat Kinerja Struktur

Setelah dilakukan analisa pushover pada program SAP 2000 maka Level kinerja bangunan terhadap gempa mengacu pada IO (*Immediate Occupancy*), DC (*Damage Control*), LS (*Life Safety*), dan CP (*Collapse Prevention*) diperoleh hasil sebagai berikut :

$$V = 87763,581 \text{ Kn} ; D = 0,231 \text{ m} ; S_a = 0,549 \text{ m} \text{ dan } S_d = 0,115 \text{ m}$$

$$Displacement \text{ Limit (SNI 1726-2012)} = 2\%$$

$$H = 0,02 \times 42,3 = 0,846 \text{ m} > D = 0,231 \text{ m} \text{ maka kinerja displacement gedung baik.}$$

Kinerja gedung menurut ATC – 40 Tabel 11-12

$$\text{Maksimal Drift} = \frac{D}{H} = \frac{0,231}{42,3} = 0,00546$$

Sehingga level kinerja gedung adalah **Immediate Occupancy**.

$$\text{Maksimal In elastic Drift} = \frac{D_1}{H} = \frac{0,231-0,0992}{42,3} = 0,005$$

Sehingga level kinerja gedung adalah **Immediate Occupancy**.

Daktilitas Struktur

Struktur daktail adalah struktur yang mampu mengalami simpangan pasca elastis yang besar secara berulang kali dan bolak-balik akibat gempa yang menyebabkan terjadinya pelelehan pertama, sambil mempertahankan kekuatan yang cukup, sehingga struktur tetap berdiri, walaupun sudah berada di ambang keruntuhan. Faktor daktilitas gedung adalah rasio antara simpangan maksimum pada ambang keruntuhan dengan sempangan pertama yang terjadi pada pelelehan pertama. Daktilitas struktur dapat dirumuskan sebagai berikut : $\mu = \frac{\delta_m}{\delta_{uy}} = \frac{0,444}{0,2529} = 1,2$

Dimana: μ = daktilitas struktur

δ_m = mengalami keruntuhan

δ_y = leleh pertama

Tingkat 1 (struktur elastis), yaitu dimana sturktur didesain sedemikian rupa sehingga dapat mmenuhi persyaratan penyelesaian detail strukur yang ringan dimana stuktur akan menerima gaya gempa secara elastis, dengan nilai factor daktilitas sebesar 1,0.

4. Kesimpulan

Berdasarkan evaluasi kinerja struktur beton pada gedung Fakultas Perikanan unair didapatkan tingkat kinerja sebagai berikut :

- 1) Nilai *displacement* untuk Gedung FPK adalah = 0,231m maka kinerja *displacement* gedung baik.
- 2) Level kinerja struktur yang terjadi setelah menggunakan analisis Pushover adalah Maksimal Drift = 0,00546 (**Immediate Occupancy**). Maksimal In elastic Drif = 0,005 (**Immediate Occupancy**). Bila terjadi gempa, hanya sedikit kerusakan struktural yang terjadi. Karakteristik dan kapasitas sistem penahan gaya vertikal dan lateral pada struktur masih sama dengan kondisi dimana gempa belum terjadi, sehingga bangunan aman dan dapat langsung dipakai.
- 3) Dari hasil Daktilitas struktur yang terjadi setelah menggunakan analisis Pushover adalah termasuk dalam kategori daktilitasTingkat 1, (daktilitas elastis) yaitu dimana sturktur didesain sedemikian rupa sehingga dapat mmenuhi persyaratan penyelesaian detail strukur yang ringan dimana stuktur akan menerima gaya gempa secara elastis, dengan nilai factor daktilitas sebesar 1,0.

Daftar Pustaka

- [1] T. F. Hidayat and E. Susanti, "Evaluasi Struktur Gedung Smpn 25 Surabaya Terhadap Beban Gempa," Pros. Semin. Teknol. Perencanaan, Perancangan, Lingkungan. dan Infrastruktur, vol. 1, no. 1, pp. 136–142, 2019.
- [2] F. A. Nugraha et al., "Kinerja Struktur Gedung Baja Tahan Gempa Menggunakan Analisis Pushover Pada Gedung Office Momen Surabaya," Semin. Nas. Sains dan Teknol. Terap. X,

pp. 1–17, 2022.

- [3] Y. Andriyani et al., “Analisa sistem rangka pemikul momen menengah terhadap karakterisasi kelas situs batuan keras (SA), batuan (SB) dan Batuan Lunak (SC) berbasis respon spectrum,” Pros. Semin. ..., pp. 188–198, 2017, [Online]. Available: <http://ejurnal.itats.ac.id/stepplan/article/view/1562%0Ahttp://ejurnal.itats.ac.id/stepplan/article/viewFile/1562/1308>
- [4] ATC 40, “ATC 40 Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings Redwood City California,” Seism. Saf. commisionsion, vol. 1, no. November 1996, p. 334, 1996.
- [5] S. Pangemanan and H. G. Mantiri, “Analisis Pushover Perilaku Seismik Struktur Bangunan Bertingkat : Studi Kasus Bangunan Ruko,” Pros. Simp. II, vol. 40, no. September, pp. 978–979, 2017.
- [6] I. S. R. Utomo Cipto, “EVALUASI STRUKTUR DENGAN PUSHOVER ANALYSIS PADA GEDUNG KALIBATA RESIDENCES JAKARTA,” vol. 2002.