

# STUDI PERILAKU STRUKTUR BETON BERTULANG PASCA ELASTIS AKIBAT BEBAN GEMPA SNI 03-1726-2012 DENGAN ATC 40 DAN FEMA 440

Disusun Oleh  
Eka Susanti<sup>1</sup>, Richo Oktavian Indarto<sup>2</sup>  
Teknik Sipil ,FTSP ,ITATS  
Jl.Arief Rahman Hakim 100 Surabaya

## ABSTRAK

Disain struktur tahan gempa dengan metode disain berbasis kinerja (Performance Based Design) merupakan metode disain struktur yang memperhitungkan level kinerja (tingkat kerusakan) struktur saat dilanda gempa. Metode disain ini menetapkan target perpindahan struktur pada proses disain. Hasil disain dievaluasi terhadap beban gempa non linier untuk mengetahui level kinerja struktur pasca elastis. Metode ini berbeda dengan metode disain konvensional yang tidak mengevaluasi hasil disain terhadap beban gempa non linier.

Banyak struktur tahan gempa yang sudah berdiri dan disain struktur tahan gempa yang ada di proyek teknik sipil, masih menggunakan metode disain konvensional.

Studi ini bertujuan mengevaluasi level kinerja struktur tahan gempa yang merupakan hasil disain dengan metode konvensional. Struktur tahan gempa yang distudi merupakan hasil disain dengan peraturan SNI 03-2847-2002 dan SNI 03-1726-2002 dengan analisis beban gempa statik linier. Hasil disain struktur tersebut di modelkan di SAP dan diberi beban gempa statik non linier (push over analisis) untuk mengetahui tingkat kerusakan struktur. Output SAP berupa hasil analisis pushover (kurva kapasitas dan kurva respon spektrum) yang selanjutnya dianalisis menggunakan ATC 40 dan FEMA 440 untuk mengetahui tingkat kerusakan struktur.

Analisis pushover menghasilkan kurva kapasitas dan kurva respon kapasitas. Berdasarkan kurva kapasitas, titik yield struktur ada pada nilai defleksi lateral  $\delta_y = 0,03776$  , titik max struktur ada pada nilai defleksi lateral  $\delta_m = 0,2874$  meter dan gaya geser  $V_{max} = 3889,4$  kN. Dan berdasarkan kurva respon kapasitas, Performance point struktur ada pada nilai  $\delta = 0,2874$  meter dan  $V = 3889,4$  kN. Hasil analisis tingkat kerusakan struktur menggunakan ATC-40 menghasilkan nilai drift ratio = 0,0037 dan masuk dalam kategori tingkat kerusakan struktur *Immediate Occupancy* (IO). Sedangkan hasil analisis tingkat kerusakan struktur menggunakan FEMA 440 menghasilkan nilai target perpindahan lateral struktur  $\delta_T = 0,236$  m dan masuk dalam kategori tingkat kerusakan struktur *Life Safety* (LS).

## PENDAHULUAN

Disain struktur tahan gempa dengan metode disain berbasis kinerja (Performance Based Design) merupakan metode disain struktur yang memperhitungkan level kinerja (tingkat kerusakan) struktur saat dilanda gempa. Metode disain ini menetapkan target perpindahan struktur pada proses disain. Hasil disain dievaluasi terhadap beban gempa non linier untuk mengetahui level kinerja struktur pasca elastis. Metode ini berbeda dengan metode disain konvensional yang tidak mengevaluasi hasil disain terhadap beban gempa non linier. Studi ini menganalisis perilaku struktur yang merupakan hasil disain konvensional.

## TINJAUAN PUSTAKA SNI 03-1726-2012

Peraturan SNI 03-1726-2012 [7] dibuat untuk menunjang perkembangan peraturan perencanaan struktur gedung tahan gempa di Indonesia. Latar belakang diterbitkannya peraturan tersebut adalah:

1. Indonesia merupakan negara rawan gempa di dunia. Hal ini disebabkan posisi Indonesia berada pada pertemuan 3 (tiga) lempeng tektonik besar di dunia (lempeng Indo – Australia, lempeng Eurasia, dan lempeng Pasifik).
2. Gempa-gempa besar yang terjadi di Indonesia, gempa Aceh (2004), gempa Jogja (2006) dan gempa Padang juga Bengkulu (2007), menyebabkan banyak terjadi kerusakan struktur bangunan. Studi terhadap gempa-gempa ini menunjukkan nilai percepatan batuan dasar lebih besar daripada nilai percepatan batuan dasar yang telah ditetapkan dalam peta gempa SNI 03-1726-2002.

SNI 03-1726-2012 berbeda dengan SNI 03-1726-2002 dalam menetapkan nilai gaya geser seismik ( $V$ ), SNI 03-1726-2012 menetapkan nilai gaya geser seismik ( $V$ ) sebesar:

$$V = C_s W_t$$

dimana :

$C_s$  = koefisien respons seismik

$$C_s = (S_{DS} / (R/I))$$

$$C_{s\max} = (S_{D1} / T(R/I))$$

$$C_{s\min} = 0,044 S_{DS} \text{ I} \geq 0,01$$

$W_t$  = berat total gedung

$T$  = periode alami struktur

$$T = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

$h_n$  = tinggi struktur dari dasar sampai ke tingkat paling atas

$C_r$  = dari Tabel koefisien parameter periode pendekatan

$C_u$  = dari Tabel koefisien untuk batas atas pada periode yang dihitung

$x = 0,9$  dari Tabel koefisien parameter periode pendekatan

$R$  = faktor modifikasi respons

$I$  = Faktor keutamaan gedung yang nilainya tergantung jenis pemanfaatan gedung

$S_{DS}$  = parameter percepatan respons spektrum desain pada periode 1 detik

$$S_{DS} = 2/3 S_{MS}$$

$$S_{MS} = F_a S_s$$

Nilai  $F_a$  dapat dilihat pada pasal 6.2, tabel 4

Kota Padang memiliki nilai  $S_s = 1,3$

$S_{D1}$  = parameter percepatan respons spektrum yang ditetapkan

$$S_{D1} = 2/3 S_{M1}$$

$$S_{M1} = F_y S_1$$

Nilai  $F_y$  dapat dilihat pada pasal 6.2, tabel 5 kota Padang memiliki nilai  $S_1 = 0,6$

Faktor kombinasi pembebanan

1. 1,4 DL
2. 1,2 DL + 1,6 LL
3. 1,2 DL + 1 LL  $\pm 0,3 (\rho QE + 0,2 SDS DL) \pm 1 (\rho QE + 0,2 SDS DL)$
4. 1,2 DL + 1 LL  $\pm 1 (\rho QE + 0,2 SDS DL) \pm 0,3 (\rho QE + 0,2 SDS DL)$
5. 0,9 DL  $\pm 0,3 (\rho QE - 0,2 SDS DL) \pm 1 (\rho QE - 0,2 SDS DL)$
6. 0,9 DL  $\pm 1 (\rho QE - 0,2 SDS DL) \pm 0,3 (\rho QE - 0,2 SDS DL)$

Keterangan:

$\rho$  = faktor redundansi untuk desain seismik

*SDS* = parameter percepatan spektrum respons desain pada periode pendek

QE = pengaruh gaya seismik horizontal dari V

DL = Beban Mati, termasuk SIDL

LL = Beban Hidup

### **Metode Disain Konvensional**

Metode disain konvensional tidak mengevaluasi hasil disain terhadap beban gempa non linier. Beban gempa yang biasa digunakan adalah beban gempa statik ekivalen, sehingga tidak dapat melihat perilaku plastis struktur. Metode ini kurang mewakili permodelan struktur saat dilanda beban gempa yang bersifat berulang.

### **Metode Disain Berbasis Kinerja (Performance Based Seismic Design)**

Performance Based Seismic Design adalah konsep yang menetapkan tingkat kinerja (performance level) yang diharapkan dapat dicapai saat struktur dilanda gempa dengan intensitas tertentu. Penetapan tingkat kinerja suatu bangunan dapat didasarkan atas aturan tingkat keselamatan yang diberikan kepada penghuni gedung selama dan sesudah terjadi gempa, serta biaya terhadap kerusakan gedung pasca gempa. Dengan kata lain tingkat kinerja merupakan suatu kerusakan maksimum yang masih diijinkan sesuai dengan tingkat kepentingan, pertimbangan ekonomis dari pemilik bangunan yang akan dibangun.

Analisa struktur yang digunakan untuk mengevaluasi kinerja struktur adalah analisa nonlinear. Dipakai analisa nonlinear karena ketika terjadi gempa yang cukup besar pada struktur terjadi perilaku plastis di beberapa tempat. Sehingga bangunan tidak lagi berperilaku linear akan tetapi berperilaku nonlinear.

Analisa nonlinear yang dapat dilakukan antara lain:

1. Analisa statis nonlinear

Analisa Statis nonlinear adalah analisa yang menggunakan beban statis yang ditingkatkan hingga struktur mencapai keruntuhan.

2. Analisa dinamis nonlinear.

Analisa Dinamis nonlinear adalah analisa yang menggunakan input akselerogram untuk mendapatkan respon dinamis suatu struktur.

Analisa statis nonlinear lebih mudah dilakukan dari pada analisa dinamis nonlinear.

Pushover analisis merupakan analisa statis nonlinier yang dapat digunakan. Pushover analisis adalah analisis beban gempa yang menggunakan beban lateral statis yang ditingkatkan hingga struktur mencapai keruntuhan.

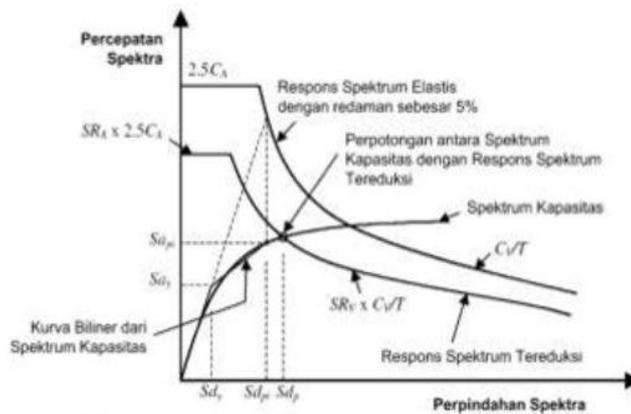
## Performance Point

### a. ATC 40

ATC 40 merupakan salah satu metode yang banyak digunakan dalam menentukan performan struktur. Metode spektrum kapasitas dimulai dengan proses menghasilkan kurva kapasitas, yaitu hubungan gaya geser dasar (base shear) dengan perpindahan atap max yang memperhitungkan kondisi plastis struktur. Proses tersebut sama dengan metode koefisien perpindahan, kecuali bahwa hasilnya diplot-kan dalam format ADRS (acceleration displacement response spectrum).

Gerakan tanah gempa juga dikonversi ke format ADRS. Hal itu menyebabkan kurva kapasitas dapat diplot-kan pada sumbu yang sama sebagai gaya gempa perlu. Pada format tersebut waktu getar ditunjukkan sebagai garis radial dari titik pusat sumbu.

Titik potong dari kedua kurva tersebut adalah performance point (titik kinerja) struktur saat dilanda gempa. ETABS sudah memasukkan metode ATC 40 dalam analisa struktur nonliniernya, sehingga memudahkan dalam menentukan titik kinerja ini. Nilai perpindahan dan gaya geser yang terjadi pada titik tersebut dapat dianalisa lebih lanjut untuk mengetahui level kinerja struktur sesuai definisi level keruntuhan sesuai tabel ATC 40 [2].



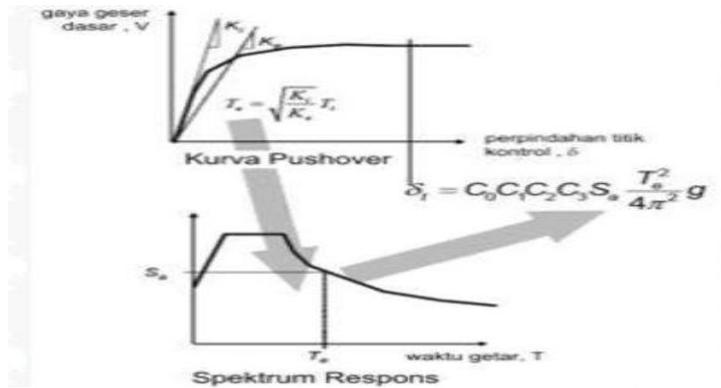
Gambar 1. Kurva respon spektrum

Tabel 1. Tingkat Kinerja Struktur sesuai ATC 40

	Tingkat Kinerja			
	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Damage Control</i>	<i>Life Safety</i>	<i>Structural Stability</i>
<i>Interstory Drift Limit</i> (Batas Simpangan Antar Lantai)				
<i>Maximum Total Drift</i> (Simpangan Total Maks.)	0.01	0.01-0.02	0.02	0.33 $V_i/P_i$
<i>Maximum Inelastic Drift</i> (Simpangan Nonelastik Maks.)	0.005	0.005-0.015	No Limit	No Limit

### FEMA 440

FEMA menggunakan metode koefisien perpindahan dalam menentukan level kinerja struktur. Secara skematik, prosedur dari metode koefisien perpindahan dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2. Skematik prosedur metode koefisien perpindahan (FEMA 440)

Persamaan target perpindahannya adalah [4]

$$\delta_T = C_0 C_1 C_2 C_3 S_B \left(\frac{T_e}{2\pi}\right)^2 g$$

Dimana koefisien perpindahan:

$C_0$  = Konversi SDOF perpindahan spektra ke MDOF perpindahan atap (elastis). Nilainya dapat dilihat pada tabel 3.3 FEMA 356.

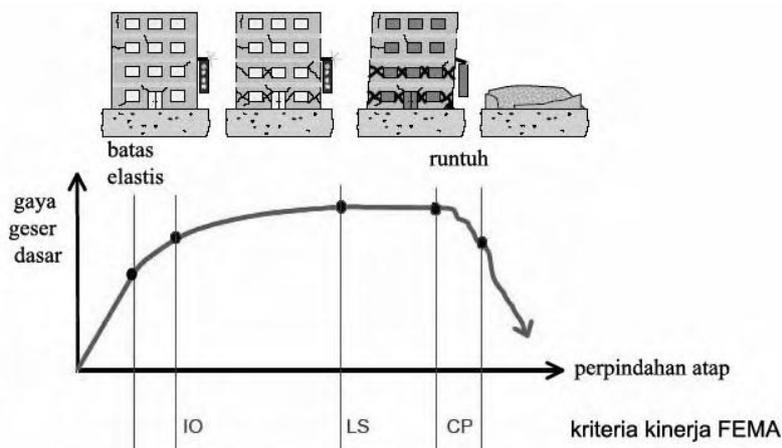
$C_1$  = Faktor Modifikasi untuk mewakili nilai perkiraan perpindahan plastis maksimum. Nilainya ditentukan oleh:

$$C_1 = 1,5 \quad \rightarrow \quad T_e < 0,15$$

$$C_1 = 1 \quad \rightarrow \quad T_e < T_s$$

$C_2$  = Faktor Modifikasi untuk mewakili efek hysteresis dari sendi plastis, penurunan kekakuan dan tingkat kerusakan pada respon perpindahan maksimum. Nilainya ditentukan oleh tabel 3-3 FEMA 356 [3].

$C_3$  = Faktor modifikasi untuk mewakili peningkatan nilai perpindahan akibat efek P- $\Delta$  dinamis.



Gambar 3. Level Kinerja Struktur sesuai FEMA

## METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini bersifat studi permodelan struktur menggunakan software ETABS dengan langkah sebagai berikut:

1. Studi Literatur
2. Desain awal (*Preliminary Design*)
3. Pembebanan
  - a. Beban Mati
  - b. Beban Hidup
  - c. Beban gempa menggunakan analisa statik ekuivalen
4. Kombinasi Pembebanan
5. Permodelan struktur dengan bantuan ETABS 9.7.2 dengan beban gempa statik linier (statik ekuivalen).
6. Output ETABS 9.7.2 berupa gaya dalam yang digunakan untuk perhitungan dimensi dan penulangan balok kolom.
7. Hasil disain dimodelkan kembali di ETABS 9.7.2 dengan beban gempa statik non linier (pushover)
8. Output ETABS 9.7.2, hasil analisis pushover berupa kurva kapasitas dan kurva spektrum kapasitas yang memberikan informasi titik kinerja (performance point) struktur.
9. Hasil analisis pushover digunakan untuk mengevaluasi kinerja struktur sesuai ATC 40 dan FEMA 440.

## Informasi Perencanaan

Data bangunan terdiri dari :

- Gedung yang dianalisa adalah sistem rangka pemikul momen (SRPMK)
- Bangunan direncanakan untuk gedung Rumah Sakit yang berlokasi di kota Padang.
- Tinggi Bangunan 20m (5 lantai)
- Data percepatan  $S_s = 1,3$  g dan  $S_1 = 0,6$  g.
- Mutu beton yang digunakan ( $f'_c = 30$  MPa) dan mutu baja ( $f_y = 400$  MPa)
- Dimensi dan ukuran penampang yang direncanakan, tebal plat = 12 cm, Balok 40 x 60 cm dan Kolom = 60 x 60 cm

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Desain gedung yang direncanakan sebagai gedung daktail penuh dengan  $R = 8$  (SNI 03-1726-2012 Tabel 9) dan kategori sebagai gedung rumah sakit  $I = 1,5$ .

Berdasarkan pemilihan penempatan rencana gedung yang akan direncanakan di Kota Padang, maka nilai  $S_s = 1,3$  dan  $S_1 = 0,6$ . Karena pada penelitian ini tidak menggunakan data tanah yang ada pada kota setempat maka menggunakan Kelas situs SE sebagai tanah lunak. Didapat nilai  $F_a = 0,9$  dan  $F_y = 2,4$ . Sehingga :

- **Parameter respons spektral periode pendek dan periode 1 detik :**

$$S_{MS} = F_a S_s = 0,9 \times 1,3 = 1,17 \text{ g}$$

$$S_{M1} = F_y S_1 = 2,4 \times 0,6 = 1,44 \text{ g}$$

- **Parameter design spektral acceleration:**

$$S_{DS} = 2/3 S_{MS} = 2/3 \times 1,17 = 0,78 \text{ g}$$

$$S_{D1} = 2/3 S_{M1} = 2/3 \times 1,44 = 0,96 \text{ g}$$

- **Spektrum respon desain**

$$T = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0,96}{0,78} = 1,23$$

- **Koefisien respons seismik  $C_s$ :**

$$C_{s(\max)} = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I}\right)} = \frac{0,78}{\left(\frac{8}{1,5}\right)} = 0,14625$$

$$C_{s(\text{hitung})} = \frac{S_{D1}}{T\left(\frac{R}{I}\right)} = \frac{0,96}{1,23\left(\frac{8}{1,5}\right)} = 0,14634$$

$$C_{s(\min)} = 0,044 S_{DS} I = 0,044 \times 0,78 \times 1,5 = 0,05 \geq 0,01$$

Jadi, nilai  $C_s$  yang digunakan adalah 0,14.

- **Seismik Base Shear (V)**

$$V = C_s W_t = 0,14 \times 12468,48 = 3241,805 \text{ kN}$$

- **Periode Fundamental**

$$T_a = C_t h_n^x$$

Sesuai type struktur Rangka Pemikul Momen, nilai  $C_t = 0,0466$  dan  $x = 0,9$ .

Tinggi total lantai,  $h_n = 20 \text{ m}$ .

$$T_{a(\min)} = C_t h_n^x = 0,0466 \times 20^{0,9} = 0,69 \text{ detik}$$

$$T_{a(\max)} = C_u T_{a(\min)} = 1,4 \times 0,69 = 0,96 \text{ detik}$$

Pembatasan waktu getar alami fundamental

$T_a < x N$ , dimana  $N = 5$  adalah jumlah tingkatnya

Untuk  $T = 0,1 N$  menurut SNI 03-1726-2012 pasal 7.8.2.1

$$T_a = 0,1 \times 5 = 0,5$$

$$T_a < x N$$

$$0,5 < 1,4 \times 5$$

$$0,5 < 7$$

Untuk pembatasan waktu getar alami fundamental diambil yang terkecil yaitu  $T_a = 0,5$  detik

### Distribusi Beban Gempa Statik Ekuivalen

Distribusi beban gempa statik ekuivalen dihitung dengan perumusan:

$$F_i = \frac{W_i \cdot Z_i}{\sum_{i=1}^n W_i \cdot Z_i} V$$

Ditabelkan sebagai berikut:

Tabel 2. Distribusi beban gempa statik ekuivalen

lantai	hi (m)	Wi (kN)	Wi x hi (kN.m)	Fi (kN)	Vi
5	20	2075.52	41510.4	498.2124787	498.21248
4	16	2598.24	41571.84	498.9498885	997.16237
3	12	2598.24	31178.88	374.2124164	1371.3748
2	8	2598.24	20785.92	249.4749443	1620.8497
1	4	2598.24	10392.96	124.7374721	1745.5872
<b>Total</b>		12468.5	145440	1745.5872	

### Analisis T Rayleigh

Besarnya  $T$  yang dihitung sebelumnya memakai cara-cara empiris, harus dibandingkan dengan  $T$  rayleigh dengan rumus :

$$T_i = 6,3 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n W_i \cdot d_i^2}{g \sum_{i=1}^n F_i \cdot d_i}}$$

Berdasarkan formula diatas, perhitungan nilai  $T_i$  ditabelkan pada tabel 3.

Tabel 3. Proses perhitungan Nilai Ti

Lantai	hx (m)	Wi (kN)	F (kN)	di (mm)	di <sup>2</sup> (mm)	Wi(di <sup>2</sup> )	F.di
5	20	2075.52	498.2124787	17.76	315.4176	654655.5372	8848.254
4	16	2598.24	498.9498885	15.9	252.81	656861.0544	7933.303
3	12	2598.24	374.2124164	12.64	159.7696	415119.7655	4730.045
2	8	2598.24	249.4749443	8.27	68.3929	177701.1685	2063.158
1	4	2598.24	124.7374721	3.39	11.4921	29859.2339	422.86
		<b>Jumlah</b>		<b>57.96</b>	<b>807.8822</b>	<b>1934196.759</b>	<b>23997.62</b>

$$T_i = 6,3 \sqrt{\frac{1.934.196,759}{981 \times 23.997,62}} = 1,80 \text{ detik}$$

Nilai T yang diijinkan = 0,98 – 20% x 1,80 = 0,62 detik

Karena  $T_i = 1,8 > T_{\text{rayleigh}} = 0,62$ , maka  $T_i$  hasil empiris yang dihitung di atas memenuhi ketentuan lebih dari 20% hasil  $T_{\text{rayleigh}}$ .

### Penulangan Balok Kolom

Hasil analisis struktur portal 3D dan penulangan balok, kolom lt 1 – 5 ditabelkan dengan bentuk tipikal sebagai desain struktur gedung sederhana.

Tabel 4. Penulangan lentur balok

Lantai	Daerah	Mu	As perlu	As pasang		Ø Mn
		kNm	mm <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>		kN
1 s / d 5	Tumpuan	82.932	488.06	851	3 D 19	519.61
	Negatif					
1 s / d 5	Lapangan	23.6	148.54	567	2 D 19	519.61

Tabel 5. Penulangan geser balok

Balok	Daerah	Vu total	Vs	S perlu	Tulangan geser
		kN	kN	mm	
Tepi	Sendi	197.34	246.68	135.05	2 Ø 10 - 150
Tengah	Plastis	93.13	116.41	286.17	3 Ø 10 - 150

Tabel 6. Penulangan lentur kolom

Kolom	Pu	Ø Mu	Tulangan	Ø Mu	Me	Mg	Σ Me ≥ 6/5 Mg
		Kolom		PCA COL			
	kN	kNm		kNm			
1 s / d 5	1.203,4	139,9	16 D 25	836	1672	419,7	OK

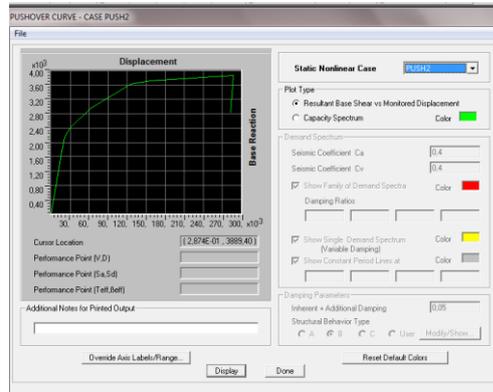
Tabel 6.4 Penulangan geser kolom

Kolom	Vu	Vc	Vs	Ø V perlu	Tulangan Geser
	kN	kN	kN	kN	
1 s / d 5	159,65	327,92	837,43	932,28	3 Ø 10 - 150

## Hasil Analisis Pushover

Hasil disain diatas dimodelkan kembali di ETABS dengan beban gempa pushover. Hasil analisisnya sebagai berikut:

### 1. Kurva Kapasitas



Gambar4. Kurva Kapasitas Struktur

Dari gambar 4, dapat dilihat bahwa:

Defleksi max = 0,2874 meter dan Base shear max = 3889,4 kN.

### 2. Daktilitas

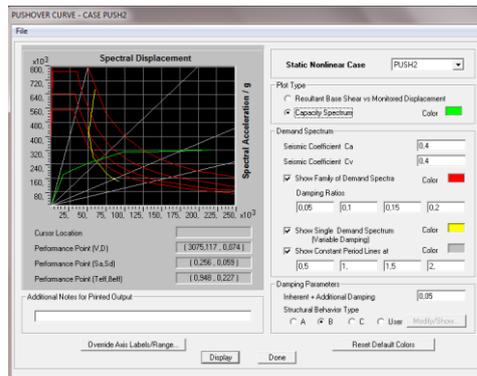
Daktilitas adalah kemampuan elemen struktur untuk menerima siklus respon inelastik pada saat beban gempa rencana terjadi, tanpa kehilangan kekuatan yang berarti.

Daktilitas struktur dinyatakan dengan persamaan:

$$\mu = \frac{\delta_m}{\delta_y} = \frac{0,2874}{0,03776} = 7,611$$

$\delta_m$  = Defleksi max dan  $\delta_y$  = Defleksi yield

### 3. Kurva Pushover



Gambar5. Kurva Spektrum Kapasitas

Dari gambar 5, dapat dilihat bahwa performance point struktur tercapai pada:

Defleksi = 0,074 meter dan Base shear = 3075,117 kN.

### 4. Tingkat Kinerja Struktur (ATC 40)

Evaluasi tingkat kinerja struktur menggunakan ATC 40 dilakukan sebagai berikut.

Gambar spektrum kapasitas hasil analisa pushover menunjukkan, performance point struktur tercapai pada:

$V = 3075,117$  kN,  $D = 0,074$  m dan  $\beta_{eff} = 0,227$

Tinggi total gedung adalah 20 m

Drift ratio =  $0,074/20 = 0,0037$

Dengan melihat Tabel 1, dapat disimpulkan bahwa tingkat kinerja struktur berdasarkan ATC 40 berada pada level *Immediate Occupancy* (IO).

#### 5. Tingkat Kinerja Struktur (FEMA 440)

Dengan nilai :  $T_e = 1,821$  ;  $C_1 = 1$  ;  $C_2 = 1$  ;  $C_0 = 1,4$  dan  $C_3 = 1,0$

$S_a = 0,42/T = 0,42/1,8 = 0,233 \text{ g's}$

Maka target perpindahan dapat dihitung sebagai berikut:

$$\delta_T = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \left( \frac{T_e}{2\pi} \right)^2 g = 1,4 \times 1 \times 1 \times 1 \times 0,233 \times \left( \frac{1,821}{2 \times 3,14} \right)^2 \times 9,81 = 0,263 \text{ m}$$

Berdasarkan hasil analisa statis nonlinear, didapatkan bahwa struktur melampaui target perpindahan struktur untuk level kinerja *Life Safety* yang disyaratkan FEMA 440.

### KESIMPULAN

1. Kurva kapasitas menunjukkan, akibat beban gempa, struktur mengalami defleksi lateral max sebesar 0,2874 meter dan gaya geser max sebesar 3889,4 kN.
2. Kurva kapasitas juga menunjukkan, struktur berada pada titik yield dengan nilai defleksi lateral  $\delta_y = 0,03776$  , titik max sebelum runtuh dengan nilai defleksi lateral  $\delta_m = 0,2874$  m dan nilai daktilitas struktur  $\mu = 7,611$ .
3. Kurva spektrum kapasitas menunjukkan titik kinerja (performance point) struktur ada pada nilai defleksi lateral = 0,074 meter dan gaya geser = 3075,117 kN.
4. Hasil analisa *pushover* menunjukkan bahwa distribusi sendi plastis hanya terjadi pada ujung-ujung balok dan kaki kolom. Hal ini sesuai dengan konsep "Kolom kuat – Balok lemah"
5. Evaluasi tingkat kinerja struktur menggunakan ATC 40, menunjukkan nilai drift ratio = 0,0037 dan berada pada level kinerja *Immediate Occupancy* (IO).
6. Evaluasi tingkat kinerja struktur menggunakan FEMA 440, menunjukkan nilai target perpindahan lateral struktur  $\delta_T = 0,236$  m dan berada pada level kinerja *Life Safety* (LS).

### DAFTAR PUSTAKA

1. Alrasyid, Harun dkk.2011. Evaluasi Kinerja Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus dengan Variasi Panjang Bentang. Jurnal. Jurusan Teknik Sipil ITS
2. ATC 40, 1996, Seismic Evaluation and Retrofit Of Concrete Buildings, California
3. FEMA 356, 2000, *Improvement Of Non Linier Static Seismic Analysis Procedur*, Washington, D.C.
4. FEMA 440, 2005, *Improvement Of Non Linier Static Seismic Analysis Procedur*, Washington, D.C.
5. Kurdian Suprpto and Sudarto, 2009, Evaluation Of Performance Of Asymmetrically Dual System Structures Using Pushover And Time History Analyses, ITS Journal Of Civil Engineering / Vol. 29 No. 1/ May 2009.
6. SNI-2847-2002, *Tata Cara Perencanaan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*, Bandung.
7. SNI-1726-2012, *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung*, Jakarta.
8. Suhaimi , T. Budi Aulia, Mochammad Afifuddin, 2014, Evaluasi Kinerja Gedung Beton Bertulang Sistem Ganda Dengan Variasi Geometri Dinding Geser Pada Wilayah Gempa Kuat, Jurnal Teknik Sipil ISSN 2302-0253 Volume 3, No. 1, Februari 2014.