

ANALISIS KEKUATAN BANGUNAN TERHADAP GAYA GEMPA DENGAN METODE *PUSHOVER*

STUDI KASUS GEDUNG ASRAMA PUSDIKLAT PPATK, DEPOK

*(Analysis of Building Strength to Earthquake Force with Pushover Method
Case Study of Pusdiklat PPATK Boarding House, Depok)*

Tatya Putri Utami¹, Niken Warastuti¹

¹Jurusan Teknik Sipil Universitas Pancasila

E-mail: tatya.202@hotmail.com

ABSTRAK

Indonesia merupakan Negara kepulauan yang terletak pada pertemuan tiga lempeng tektonik sehingga Indonesia berpotensi mengalami gempa. Akibat terjadinya gempa banyak bangunan yang mengalami kerusakan struktur bangunan. Saat terjadi gempa, diharapkan bangunan mampu menerima gaya gempa pada level tertentu tanpa terjadinya kerusakan yang signifikan pada strukturnya atau apabila struktur bangunan harus mengalami keruntuhan bangunan mampu memberikan perilaku non-linier pada kondisi pasca elastik sehingga tingkat keamanan bangunan terhadap gempa dan keselamatan jiwa penghuninya lebih terjamin. Gedung asrama Pusdiklat PPATK, Depok merupakan gedung yang dalam perencanaan pembangunannya diharapkan mampu menerima gaya gempa dan berperilaku non-linier. Namun gedung asrama ini belum memiliki data ketahanan bangunan terhadap gaya gempa. Oleh karena itu diperlukan analisis terhadap bangunan ini dengan menggunakan salah satu metode analisis kekuatan bangunan terhadap gaya gempa yaitu metode pushover. Analisis ini dilakukan dengan menggunakan program SAP2000. Kesimpulan dari hasil analisis menunjukkan bahwa semakin besar gaya (base force) yang diberikan maka semakin besar juga perpindahan (displacement) yang terjadi pada bangunan. Beban gempa maksimum yang mampu diterima oleh gedung sebesar 730,383 kN. Berdasarkan ATC-40 batas kinerja bangunan berada pada level IO, menunjukkan bahwa bangunan aman digunakan saat terjadi gempa.

Kata Kunci: *analisis pushover, kurva kapasitas, batas kinerja, sendi plastis*

ABSTRACT

Indonesia is an archipelago country located at a meeting of three tectonic plates so that Indonesia has the potential to experience an earthquake. As a result of the earthquake many buildings are damaged building structures. When an earthquake happens, the building is expected to be able to accept a certain level of earthquake force without significant damage to the structure or if the collapsing structures must be able to give non-linear behavior in the post-elastic conditions so that the building's safety level against earthquake and safety of the occupants is more secure. The Pusdiklat PPATK boarding house, Depok is a building which in its development planning is expected to be able to accept the earthquake force and behave non-linearly. But this dormitory building does not yet have data on building resistance to earthquake forces. Therefore it is necessary to analyze this building by using one method of building strength analysis to earthquake forces that is pushover method. This analysis is done using SAP2000 program. The conclusion of the analysis shows that the greater the force (base force) given the greater the displacement that occurs in the building. The maximum earthquake load that the building can accept is 730,383 kN. Based on the ATC-40 performance limit the building is at the level of IO, indicating that the building is safe to use during an earthquake.

Keywords: *pushover analysis, capacity curve, performance level, plastic hinge*

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan yang terletak pada pertemuan tiga lempeng tektonik, yaitu lempeng tektonik Hindia-Australia, lempeng Pasifik dan lempeng Eurasia. Pertemuan ketiga lempeng ini menyebabkan Indonesia sangat berpotensi mengalami gempa. Seperti beberapa tahun terakhir, Indonesia telah dilanda gempa besar seperti di Aceh, Yogyakarta, Kepulauan Mentawai dsb.

Pada peristiwa tersebut, banyak bangunan yang mengalami kerusakan fatal dengan berbagai macam pola keruntuhan. Hal ini menegaskan pentingnya tinjauan beban gempa rencana dalam perencanaan desain struktur sebagai antisipasi apabila terjadi gempa, dengan begitu struktur bangunan mampu menerima gaya gempa pada level tertentu tanpa terjadi kerusakan yang signifikan pada strukturnya atau apabila struktur bangunan harus mengalami keruntuhan (disebabkan beban gempa melebihi beban gempa rencana), struktur bangunan mampu memberikan perilaku non-linier pada kondisi pasca-elastik sehingga tingkat keamanan bangunan terhadap gempa dan keselamatan jiwa penghuninya lebih terjamin.

Ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk menganalisa perencanaan struktur bangunan gedung tahan gempa, baik itu linier (elastik) dan non-linier (inelastik) yang dapat dipergunakan untuk memprediksi perilaku struktur terhadap beban lateral. Metode analisis linier meliputi analisis statik ekuivalen dan analisis dinamik respons spektrum, sedangkan metode analisis non-linier meliputi analisis statik beban dorong (static non-linear/pushover analysis) dan analisis riwayat waktu (in-elastic dynamic time history analysis).

Perhitungan terhadap gempa biasanya dilakukan dengan analisa linier, namun beberapa peneliti beranggapan bahwa analisa linier tidak dapat digunakan untuk mengetahui perilaku struktur terhadap gempa besar. Hal ini dikarenakan pada dasarnya struktur yang mengalami gempa besar akan terjadi plastifikasi di beberapa tempat, sehingga bangunan tidak lagi berperilaku linier akan tetapi berperilaku non-linier. Dengan begitu diperlukan analisa non-linier untuk mengetahui perilaku struktur saat mengalami gempa besar.

Analisis riwayat waktu sampai saat ini dianggap terlalu kompleks serta tidak praktis untuk diterapkan dalam mendesain stuktur bangunan gedung, sehingga muncul metode baru, metode analisis non-linier yang disederhanakan, yaitu analisis statik beban dorong (static non-linear/pushover analysis).

Analisis pushover adalah suatu analisis statik non-linier dimana suatu bangunan diberi gaya horisontal pada pusat massa masing-masing lantai, kemudian bebannya ditingkatkan secara berangsur-angsur hingga struktur tersebut runtuh. Analisis ini mampu

memberikan informasi pola keruntuhan bangunan saat dibebani gaya gempa yang melebihi kapasitas bangunan, apakah bangunan tersebut mengalami keruntuhan langsung atau mampu berperilaku non-linier sebelum terjadi keruntuhan total.

Studi kasus yang penulis ambil adalah gedung asrama Pusat Pendidikan dan Pelatihan (Pusdiklat) Pusat Pelaporan dan Analisis Transaksi Keuangan (PPATK), yang merupakan tempat penginapan ditujukan untuk para anggota Diklat PPATK. Gedung asrama Pusdiklat PPATK berada diwilayah tapos, Depok. Penulis tertarik untuk mengambil studi kasus di asrama Pusdiklat PPATK, Depok dikarenakan pada bangunan ini kontraktor tidak memiliki data mengenai analisis kekuatan bangunan terhadap gaya gempa dan bangunan yang tidak terlalu tinggi yaitu hanya 4 lantai.

Tujuan dari dilakukannya analisis ini adalah untuk menganalisis kurva kapasitas, hubungan *base shear* dengan *displacement*, pada kurva *pushover*. Kedua, menentukan beban gempa maksimum yang mampu diterima oleh gedung asrama Pusdiklat PPATK. Ketiga, memperlihatkan distribusi sendi plastis yang terjadi dari hasil perhitungan program SAP2000. Keempat, untuk mengetahui batas kinerja bangunan gedung asrama Pusdiklat PPATK, Depok.

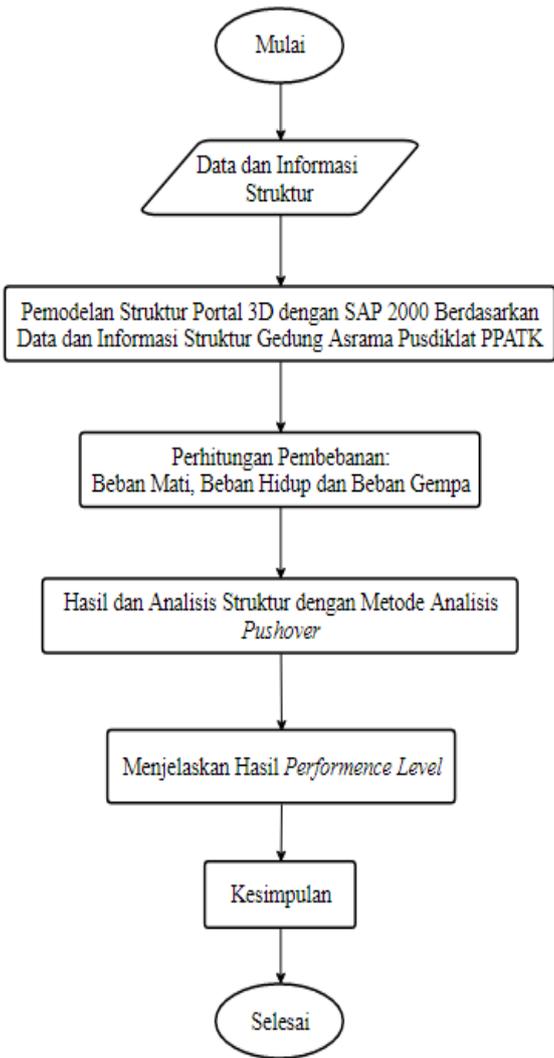
METODE PENELITIAN

Dalam metode penelitian ini digunakan metode analisis *pushover*. Analisis ini dibantu dengan menggunakan program SAP 2000.

Proses dimulai dengan pengumpulan data dan informasi struktur yang akan digunakan untuk pemodelan. Data-data yang digunakan adalah data teknis, antara lain:

- Lokasi Studi Kasus : Jl. Raya Tapos,
Desa Cimpaeun, Kecamatan
Tapos, Kota Depok
- Jenis Struktur : Gedung
Struktur Beton Bertulang dengan Sistem Rangka
Pemikul Momen Khusus (SRPMK)
- Material Utama Struktur : Beton
Bertulang
- Fungsi Bangunan : Tempat
Tinggal
(Asrama)
- Jumlah Lantai : 4 Lantai
- Tinggi Bangunan : 16,05 m
- Tinggi Lantai Tipikal : 3,85 m
- Tinggi Lantai 4 : 3,325 m
- Ukuran dan Detail Kolom
- Ukuran dan Detail Balok
- Tipe dan Ukuran Pelat
- Mutu Beton dan Mutu Tulangan

Berikut merupakan langkah analisis yang hendak dilakukan:



Gambar 1. Diagram Alir Analisis Pushover

HASIL DAN PEMBAHASAN

Beban Mati

Beban mati didefinisikan sebagai beban yang ditimbulkan oleh elemen-elemen struktur bangunan ; balok, kolom, dan pelat lantai. Beban ini akan dihitung otomatis oleh program SAP2000.

Beban mati tambahan didefinisikan sebagai beban mati yang diakibatkan oleh berat dari elemen-elemen tambahan atau finishing yang bersifat permanen. Pada Gedung Asrama Pusdiklat PPAK, Depok beban mati tambahan terdiri dari:

- Beban pasir setebal 1 cm = $0,01 \times 16 \text{ kN/m}^3 = 0,16 \text{ kN/m}$
- Beban spesi setebal 4 cm = $0,04 \times 22 = 0,88 \text{ kN/m}$
- Beban keramik setebal 1 cm = $0,01 \times 22$
- Beban plafon dan penggantung = $0,2 \text{ kN/m}$
- Beban instalasi ME = $0,25 \text{ kN/m}$
- Berat waterproofing dengan aspal tebal 2 cm = $0,28 \text{ kN/m}$
- Dinidng (Beban Merata) = $2,5 \text{ kN/m}^2$

Tabel 1. Beban Mati Perlantai

No	Lantai	Beban Mati Struktur (kN)	Beban Mati Tambahan (kN)	Beban Mati Total (kN)
1	Lantai 1	3,443,793	2,297,323	5,741,115
2	Lantai 2	4,048,056	2,426,189	6,474,245
3	Lantai 3	3,089,037	2,202,210	5,291,247
4	Lantai 4	3,062,843	1,984,550	5,047,393
5	Atap	2,959,213	648,375	3,607,588
Total Beban Mati				26,161,588

Sumber: Perhitungan Penulis (2017)

Dari Tabel 1 didapat beban mati paling besar berada pada lantai 2 sebesar 6474,245 kN, hal ini dikarenakan luas bangunan pada lantai 2 paling luas diantara lantai lainnya. Dan beban mati paling kecil berada pada lantai atap sebesar 3607,588 kN, hal ini dikarenakan tinggi tembok pada lantai atap paling kecil dibandingkan tinggi tembok pada lantai lainnya.

Beban Hidup

Beban hidup didefinisikan sebagai beban yang sifatnya tidak membebani struktur secara permanen, misalnya beban akibat pengguna bangunan. Berdasarkan fungsi Gedung Asrama Pusdiklat PPAK, Depok sebagai ruang asrama (rumah tinggal). Peraturan Pembebanan Indonesia 1987 merekomendasikan beban hidup sebagai berikut :

- Beban hidup di lantai ruangan $1,92 \text{ kN/m}^2$.
- Beban hidup di lantai atap $0,96 \text{ kN/m}^2$.

Hasil perhitungan beban hidup perlantai disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Beban Hidup Perlantai

No	Lantai	Beban Hidup Lantai (kN)	Luas Area (m ²)	Koefisien Reduksi Gempa	Beban Hidup Total (kN)
1	Lantai 1	1,92	551,602	30%	317,723
2	Lantai 2	1,92	653,072	30%	376,169
3	Lantai 3	1,92	476,711	30%	274,586
4	Lantai 4	1,92	476,711	30%	274,586
5	Atap	0,96	467,979	30%	134,778
Total Beban Hidup					1,377,841

Sumber: Perhitungan Penulis (2017)

Dari Tabel 2 didapat beban hidup paling besar berada pada lantai 2 sebesar 376,169 kN, hal ini dikarenakan luas bangunan pada lantai 2 paling luas diantara lantai lainnya. Dan beban hidup paling kecil berada pada lantai atap sebesar 467,979 kN, hal ini dikarenakan

luas bangunan pada lantai atap paling kecil dibandingkan luas lantai bangunan yang lainnya dan fungsi atap yang merupakan atap datar.

Beban Gempa

Kategori resiko bangunan gedung dan struktur lainnya untuk beban gempa ditentukan sebagai berikut:

- Lokasi Gempa = Wilayah 4
- Sistem Struktur = SRPMK
- Jenis Pemanfaatan = II
- Bangunan Faktor Keutamaan = $I_e = 1$
- Gempa Jenis Tanah = SD (Tanah Sedang)
- Klasifikasi Status = $V_s = 175 - 350$ m/s
- $N = 15 - 50$
- $S_u = 50 - 100$ kPa

Faktor amplikasi seismik pada periode:

$$T = 0,2 \text{ s}$$

$$S_s = 0,7 - 0,8 \text{ g}$$

$$= 0,774 \text{ g}$$

Faktor amplikasi seismik pada periode:

$$T = 1 \text{ s}$$

$$S_s = 0,3 - 0,4 \text{ g}$$

$$= 0,325 \text{ g}$$

Tabel 3. Koefisien Situs, F_a

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan pada periode pendek, $T = 0,2$ detik, S_s				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1$	$S_s \geq 1,25$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
SD	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
SE	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
SF	SS ^b				

Sumber: Tata Cara Perhitungan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726:2012)

$$S_s = 0,774 \text{ g}$$

Dilakukan interpolasi linear karena nilai S_s ada diantara nilai-nilai S_s

$$F_a = H_1 - \frac{B_1}{B_2} \cdot (H_1 - H_2)$$

$$= 1,1 - \frac{0,23}{0,25} \cdot (1,1 - 1,2)$$

$$= 1,1 - 0,92 \cdot (-0,1)$$

$$= 1,192$$

Tabel 4. Koefisien Situs, F_v

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa MCE_R terpetakan pada periode 1 detik, S_1				
	$S_1 \leq 0,1$	$S_1 = 0,2$	$S_1 = 0,3$	$S_1 = 0,4$	$S_1 \geq 0,5$
SA	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
SB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
SC	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
SD	2,4	2	1,8	1,6	1,5
SE	3,5	3,2	2,8	2,4	2,4
SF	SS ^b				

Sumber: Tata Cara Perhitungan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726:2012)

$$S_1 = 0,325 \text{ g}$$

Dilakukan interpolasi linear karena nilai S_1 ada diantara nilai-nilai S_1

$$F_v = H_1 - \frac{B_1}{B_2} \cdot (H_1 - H_2)$$

$$= 1,6 - \frac{0,07}{0,1} \cdot (1,6 - 1,8)$$

$$= 1,6 - 0,7 \cdot (-0,2)$$

$$= 1,74$$

Maka,

$$S_{MS} = F_a \times S_s = 1,192 \times 0,774 \text{ g} = 0,923 \text{ g}$$

$$S_{M1} = F_v \times S_1 = 1,74 \times 0,33 \text{ g} = 0,566 \text{ g}$$

Parameter percepatan spektral desain :

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_{MS} = \frac{2}{3} \times 0,923 \text{ g} = 0,62 \text{ g}$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} S_{M1} = \frac{2}{3} \times 0,566 \text{ g} = 0,38 \text{ g}$$

Tabel 5. Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode Pendek

Nilai S_{DS}	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{DS} < 0,167$	A	A
$0,167 \leq S_{DS} < 0,33$	B	C
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D
$0,50 \leq S_{DS}$	D	D

Sumber: Tata Cara Perhitungan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726:2012)

Tabel 6. Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode 1 detik

Nilai S_{D1}	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$S_{D1} < 0,067$	A	A
$0,067 \leq S_{D1} < 0,133$	B	C
$0,133 \leq S_{D1} < 0,20$	C	D
$0,20 \leq S_{Ds}$	D	D

Sumber: Tata Cara Perhitungan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726:2012)

Dalam mendesain bangunan tahan gempa ditentukan sistem yang akan digunakan, dalam studi kasus ini sistem yang digunakan pada gedung asrama Pusdiklat PPATK, Depok adalah Rangka Beton Bertulang Pemikul Momen Khusus (SRPMK) dengan nilai $R = 8$; $C_D = 5,5$; $\Omega_0 = 3$ yang dapat dilihat pada SNI 1726:2012.

Tabel 7. Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x

Tipe Struktur	C_t	x
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka pemikul 100 persen gaya gempa yang disyaratkan dan tidak dilindungi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya gempa		
Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua system struktur lainnya	0,0488	0,75

Sumber: Tata Cara Perhitungan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726:2012)

$$\begin{aligned}
 C_t &= 0,0466 \\
 X &= 0,9 \\
 h_n &= 18,675 \text{ m} \\
 T_a &= C_t \cdot h_n^x \\
 &= 0,0466 \times 18,675^{0,9} \\
 &= 0,65
 \end{aligned}$$

Koefisien respons seismik

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left[\frac{R}{I_e} \right]} = \frac{0,62}{\left[\frac{8}{1,0} \right]} = 0,077$$

Nilai C_s yang dihitung tidak perlu melebihi :

$$C_{s \max} = \frac{S_{D1}}{T_a \left[\frac{R}{I_e} \right]} = \frac{0,38}{0,65 \left[\frac{8}{1,0} \right]} = 0,073$$

C_s harus tidak kurang dari :

$$\begin{aligned}
 C_{s \min} &= 0,044 \cdot S_{DS} \cdot I_e = 0,044 \cdot 0,62 \cdot 1,0 \\
 &= 0,03
 \end{aligned}$$

Maka, $C_{s \min} < C_s < C_{s \max}$

Maka perhitungan geser dasar seismik :

$$\begin{aligned}
 V &= C_s \cdot W \\
 V &= 0,077 \cdot 27539,4 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

$$V = 2117,34 \text{ kN/m}$$

Dari hasil perhitungan, didapat beban geser bangunan sebesar 2117,34 kN. Dan distribusi beban lateral perlantai disajikan dalam Tabel 8.

Tabel 8. Distribusi Beban Lateral Tiap Lantai

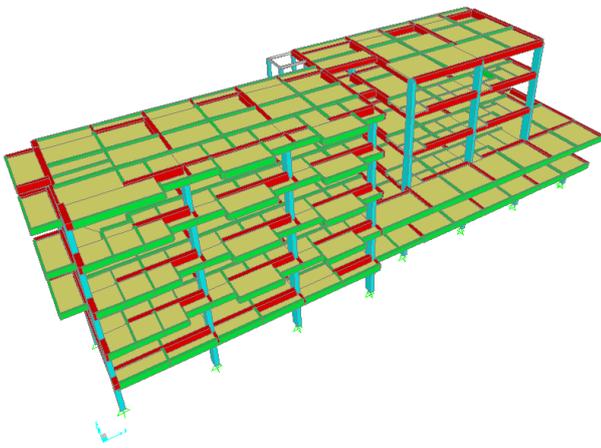
No	Lantai	h_i (m)	W_i (kN)	K	$W_i \cdot h_i^k$	C_v	F_i (kN)	V_i (kN)
1	Lantai 1	3,8	6,058,838	2	87,489,627	0,023	48,960	2,117,342
2	Lantai 2	7,65	6,850,414	2	400,903,352	0,106	224,348	2,068,382
3	Lantai 3	11,5	5,565,833	2	736,081,390	0,195	411,916	1,844,033
4	Lantai 4	15,35	5,321,978	2	1,253,977,825	0,331	701,735	1,432,117
5	Atap	18,675	3,724,366	2	1,305,171,247	0,345	730,383	730,383
Jumlah					27539,4			

Sumber: Perhitungan Penulis (2017)

Dari Tabel 8 didapat beban lateral paling besar berada pada lantai Atap sebesar 730,383 kN dan beban lateral paling kecil berada pada lantai 1 sebesar 48,960 kN.

Pemodelan Struktur

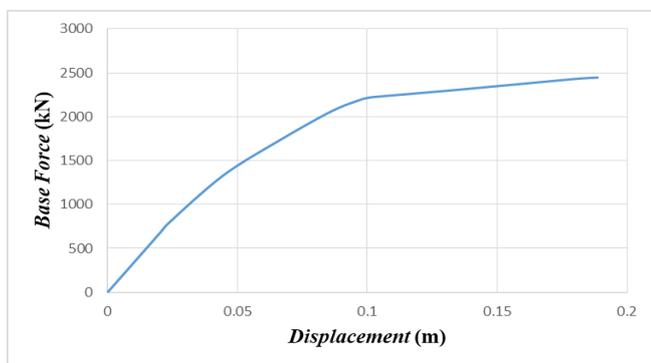
Pembuatan pemodelan 3D struktur bangunan gedung asrama Pusdiklat PPATK, Depok sesuai dengan data, informasi dari shop drawing dan perhitungan pembebanan pada gedung asrama Pusdiklat PPATK, Depok. Kemudian dari data dan informasi yang sudah didapat dilakukan pemodelan 3D dan analisis kekuatan bangunan terhadap gaya gempa dengan analisis statik non-linear (analisis pushover) dengan bantuan program. Dalam penelitian ini, proses analisis dilakukan dengan bantuan program SAP2000.



Gambar 2. Denah Struktur Gedung dalam Bentuk 3D

Kurva Kapasitas

Dari proses analisis pushover dengan bantuan program SAP2000, didapatkan hasil perhitungan analisis pushover. Kemudian dibuat kurva, hubungan antara perpindahan titik acuan pada atap (displacement) dengan gaya geser dasar (base shear) yang merupakan kurva kapasitas



Gambar 3. Kurva Kapasitas (Capacity Curve) Gedung Asrama Pusdiklat PPAK, Depok

Kurva menunjukkan pada saat perpindahan mencapai 0,023608 m kondisi struktur masih bersifat elastis yang kemudian berperilaku in-elastis sampai perpindahan mencapai 0,15729 m

Batas Kinerja (Performance Level)

Kinerja bangunan dapat dilihat dari perpindahan (displacement) yang terjadi setelah bangunan mengalami gempa. Dari hasil analisis didapat perpindahan (displacement) yang diketahui bahwa nilai *displacement* sebelum bangunan mengalami sendi in-elastis sebesar 0,044363 m. Untuk mengetahui titik kinerja (Performance Point) dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\begin{aligned}
 \text{Drift Ratio} &= \frac{\text{Displacement}}{\text{Height Of Structure}} \\
 &= \frac{0,044363 \text{ m}}{18,675 \text{ m}} \\
 &= 0,002376
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan didapat nilai drift ratio sebesar 0,002376. Untuk batasan rasio *drift* dapat dilihat pada Tabel1.

Tabel 9. Batasan Rasio *Drift* Atap

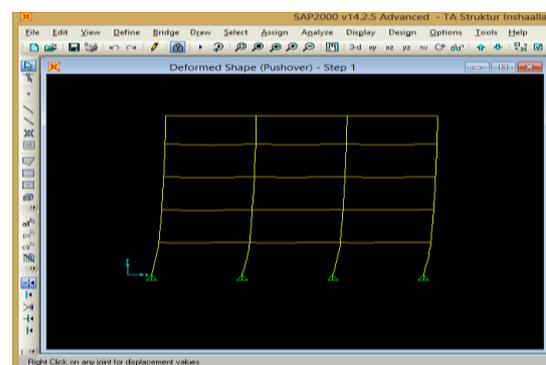
Performance Level	Performance Level				
	Interstory drift limit	Immediate Occupancy	Damage Control	Life Safety	Structural Stability
Maximum total drift	0,01	0,01-0,02	0,02	0,33 Vi/Pi	
Maximum in-elastic drift	0,005	0,005-0,015	No Limit	No Limit	No Limit

Sumber: ATC-40, Volume 1

Berdasarkan Tabel 9 menurut ATC-40 hasil perhitungan diatas menunjukkan bahwa gedung yang ditinjau termasuk dalam level kinerja Immediate Occupancy (IO), hal ini berarti bahwa bila terjadi gempa gedung tidak mengalami kerusakan struktural sehingga bangunan tersebut tetap aman digunakan.

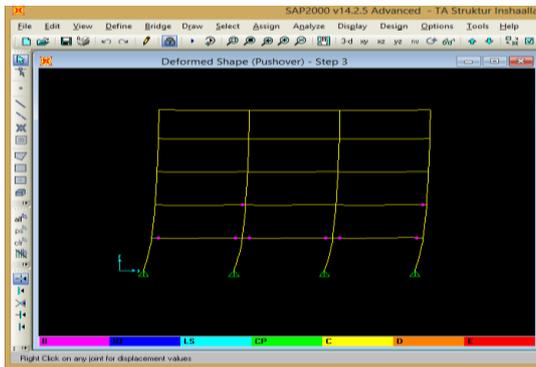
Distribusi Sendi Plastis

Sendi plastis yang direncanakan agar sesuai dengan mekanisme yang direncanakan yaitu beam sway mechanism (strong column weak beam). Di mana sendi-sendi plastis untuk struktur direncanakan dapat terjadi pada elemen balok, dan kolom dasar bangunan. Dari hasil analisis yang dilakukan dapat diketahui letak sendi plastis yang terjadi pada struktur.



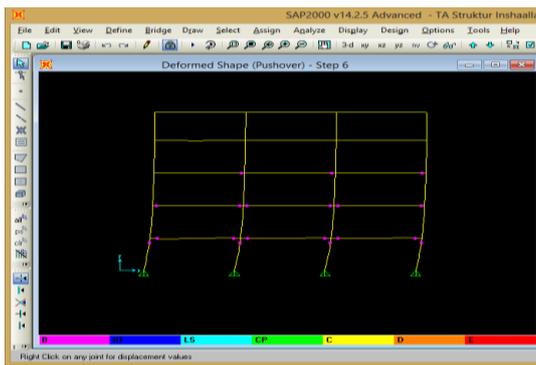
Gambar 4. Step 1

Pada step 1, saat nilai *displacement* 0,020141 m belum terlihat adanya sendi plastis yang terbentuk pada struktur bangunan.



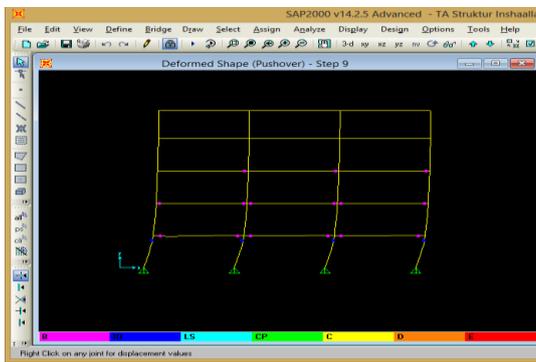
Gambar 5. Step 3

Pada step 3, saat nilai *displacement* 0,044363 m sudah terlihat adanya sendi plastis yang terbentuk pada struktur bangunan. Sendi plastis pada step ini berada pada level B to IO, dimana elemen balok bersifat elastis yang ditandai dengan warna ungu.



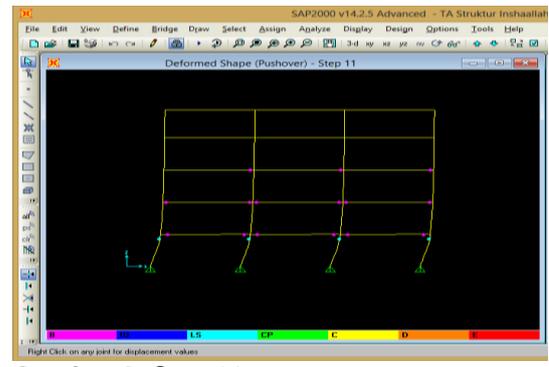
Gambar 6. Step 6

Pada step 6, saat nilai *displacement* 0,098029 m sendi plastis yang terbentuk pada struktur bangunan semakin banyak. Sendi plastis pada step ini berada pada level B to IO, dimana elemen balok masih bersifat elastis yang ditandai dengan warna ungu.



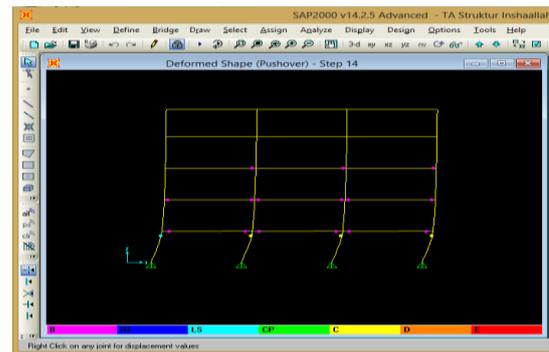
Gambar 7. Step 9

Pada step 9, saat nilai *displacement* 0,129155 m sendi plastis yang terbentuk pada struktur bangunan semakin banyak dan sebagian sudah berubah level menjadi IO to LS. Sendi plastis pada step ini berada pada level B to IO yang ditandai dengan warna ungu dan berada pada level IO to LS yang ditandai dengan warna biru tua dimana elemen balok sudah bersifat in-elastis.



Gambar 8. Step 11

Pada step 11, saat nilai *displacement* 0,179441 m sendi plastis yang terbentuk pada struktur bangunan semakin banyak dan sebagian sudah berubah level menjadi LS to CP. Sendi plastis pada step ini berada pada level B to IO yang ditandai dengan warna ungu dan berada pada level LS to CP yang ditandai dengan warna biru muda dimana elemen kolom mencapai tahap leleh pertama dengan perilaku *nonlinear*.



Gambar 9. Step 14

Pada step 14, saat nilai *displacement* 0,188651 m sendi plastis yang terbentuk pada struktur bangunan semakin banyak dan sebagian sudah berubah level menjadi C to D. Sendi plastis pada step ini berada pada level B to IO yang ditandai dengan warna ungu dan berada pada level C to D yang ditandai dengan warna kuning dimana elemen kolom mencapai tahap leleh dengan perilaku non-linear.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis statik non-linear pada gedung asrama Pusdiklat PPAK, Depok dengan menggunakan program SAP2000 diperoleh kesimpulan yang pertama adalah berdasarkan kurva kapasitas, saat gaya (base force) diberikan kepada bangunan maka terjadilah perpindahan (*displacement*). Semakin besar gaya yang diberikan maka semakin besar juga perpindahan yang terjadi pada bangunan. Kedua adalah beban gempa maksimum yang mampu diterima oleh gedung asrama Pusdiklat PPAK, Depok sebesar 730,383 kN. Ketiga, distribusi sendi plastis terdiri dari 14 step dimana saat step 3 sendi plastis mulai bekerja dan saat step 14 sendi plastis sudah mencapai tahap leleh. Keempat, batas kinerja bangunan gedung asrama pusdiklat

PPATK, depok berada di level IO, hal ini menunjukkan bahwa bangunan aman digunakan saat terjadi gempa.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis ingin bersyukur kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya. Penulis juga menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya, khususnya untuk keluarga tercinta, Papa Erik dan Mama Nita yang selalu memberikan semangat dan doa kepada penulis, serta kedua adik penulis, Mas Satya dan Mas Ditya yang selalu memberikan keceriaan ketika penulis dalam kejenuhan dan kepenatan.

Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Bapak Ir. Akhmad Dofir, MT. selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil FTUP yang senantiasa memberikan kesempatan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini. Terima kasih kepada Ibu Niken Warastuti, ST., MT. selaku Dosen Pembimbing sekaligus Sekretaris Program Studi Teknik Sipil FTUP yang senantiasa membimbing, memberikan masukan dan motivasi kepada penulis hingga Tugas Akhir ini selesai. Terima kasih kepada Bapak dan Ibu Dosen serta staff Jurusan Teknik Sipil FTUP, terutama Bapak Fadli Kurnia, ST., MT. dan Ibu Resti N. A. ST., MT. yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini. Terima kasih juga untuk teman-teman Jurusan Teknik Sipil FTUP, khususnya angkatan 2013 yang telah membantu, menemani, menyemangati, memotivasi dan mendukung penulis selama masa perkuliahan sampai penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Akhir kata, penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu namun tidak dapat disebutkan namanya satu persatu. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca serta dapat menambah sedikit pengetahuan terutama dalam bidang Teknik Sipil.

REFERENSI

- 40 ATC.** (1996). Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings [Book]. - California : Applied Technology Council.
- Baroroh Atik** Dampak Gempa Bumi Tektonik Kehidupan Masyarakat Kepuh Wetan Wirokerten Banguntapan Bandul [Book]. - Yogyakarta : Perpustakaan Digital UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta, 2008.
- Dewobroto Wiryanto** Evaluasi Kinerja Bangunan Baja Tahan Gempa dengan SAP2000 [Journal] // Jurnal Teknik Sipil. - 2006. - pp. 3-4.
- Dipohusodo Istimawan.** (1999). Struktur Beton Bertulang [Book]. - Jakarta : Gramedia Pustaka Utama.
- Fajar Ihram** Struktur Bangunan [Journal] // Teknik Pelaksanaan Struktur dan Bangunan. (2016). - p. 1.

- Gideon Kusuma dan Takim Andriano.** (1994). Desain Struktur Rangka Beton Bertulang di Daerah Rawan Gempa [Book]. - Jakarta : Erlangga.
- Nasional Badan Standarisasi.** (2002). SNI 03-1726-2002 : Standar Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung [Book]. - Bandung : Departemen Kimpraswil PU.
- Palupi Arum Seto.** (2015). Studi Kinerja Gedung Supermall Pakuwon Mansion Phase-1 Surabaya Menggunakan Metode Analisa Pushover [Book]. - Jember : Universitas Jember.
- Pranata Yosafat Aji.** (2006) Evaluasi Kinerja Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa dengan Pushover Analysis [Journal] // Jurnal Teknik Sipil. - 2006. - p. 42.
- Purwono dan Takim A.** (2010). Implikasi Konsep Seismic Design Category (SDC) – ASCE 7-05 Terhadap Perencanaan Struktur Tahan Gempa Sesuai SNI 1726-02 Dan SNI 2847- 02”, Seminar dan Pameran HAKI 2010 – Perkembangan dan Kemajuan Konstruksi Indonesia [Book].
- Riza** Analisa Pushover [Online] // I an just an enjineer. - September 20, 2013. - April 24, 2017. - <https://enjiner.wordpress.com/2013/09/20/analisa-pushover/>.
- Sabena Nazar.** (2015). Konstruksi dan Struktur Bangunan [Online] // <http://sabenatamsis.blogspot.co.id>. - Maret 25, 2015. - Mei 1, 2017. - <http://sabenatamsis.blogspot.co.id/2015/03/konstruksi-dan-struktur-bangunan.html>.
- Setiadi Ryan Rakhmat.** (2012). Studi Perilaku Struktur Gedung Akibat Pengaruh Gempa Dengan Mempertimbangkan Efek Soil-Struktur Interaction [Book]. - Depok : Universitas Indonesia.
- Sudarman, H. Manalip, Reky S. Windah, Servie O. Dapas.** (2014). ANALISIS PUSHOVER PADA STRUKTUR GEDUNG BERTINGKAT TIPE PODIUM [Journal] // Jurnal Sipil Statik Vol.2 No.4, April 2014 (201-213) ISSN: 2337-6732. - 2014. - p. 206.
- Sumarwan.** (2010). Evaluasi Kinerja Struktur Beton Tahan Gempa Dengan Analisis Pushover Menggunakan Software SAP 2000 [Book]. - Surakarta : Universitas Sebelas Maret, 2010.
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 28 Tahun 2002.** (2002) Tentang Bangunan Gedung [Book].
- Widodo.** (2001). Respons Dinamik Struktur Elastik [Book]. - Yogyakarta : UII Press.