

Evaluasi seismik struktur bangunan bertingkat dengan analisis statik nonlinier (*Pushover*) menggunakan program ETABS

Mayga Bima Setyadi¹, Yunalia Muntafi^{1*}

¹Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta

Article Info

Available online

Keywords:

Earthquake
Pushover analysis
Performance points
Plastic hinge
ETABS

Corresponding Author:

Yunalia Muntafi
yunalia@uii.ac.id

Abstract

Lampung Province which is traversed by the Sumatran fault (Great Sumatran Fault) which causes the potential for tectonic earthquakes to occur, which is the location of the Multazam Building. So it is necessary to evaluate the performance of the building structure. The purpose of this study is to evaluate the existing Multazam Building in the Hajj Dormitory area of Lampung Province against earthquake loads. The analysis method in this study uses pushover analysis with reference to the ATC-40 (Applied Technology council) method. From the analysis that has been done, the base shear value for the x-direction capacity curve of 20105.37 kN is greater than the y-direction capacity curve of 18823.68 kN. This shows that the x direction is the strong axis of the building while the y direction is the weak axis of the building. Next for the structural performance level based on the maximum total drift parameter, the values for the x direction is 0.005145 and the y direction is 0.005550, with the structural performance level in the Immediate Occupancy (IO) category. Furthermore, based on the maximum inelastic drift parameter, the value for the x direction is 0.005078 and the y direction is 0.005483, with the structural performance level in the Damage Control (DC) category. Then for the plasticization process in the building under review begins with the appearance of plastic joints in the beam section then in the column section of the building. Based on the ATC-40 code, this is in accordance with the beam sway mechanism criteria.

Copyright © 2024 Universitas Islam Indonesia
All right reserved

Pendahuluan

Pada saat ini telah terjadi peralihan metode atau teknik perencanaan bangunan tahan gempa dari metode sebelumnya berdasarkan kekuatan (*force based*) beralih menjadi berdasarkan kinerja (*performance based*). Perencanaan berbasis kinerja dianggap lebih baik karena sasaran kinerja bangunan terhadap gempa dinyatakan dengan jelas, yang mana sasaran kinerja ditentukan berdasarkan tingkat kinerja (Nugraha, 2021). Pada penelitian ini, dilakukan evaluasi kinerja struktur gedung terhadap

beban gempa pada Gedung Multazam yang berada di kawasan asrama haji Provinsi Lampung. Lokasi bangunan berada di Provinsi Lampung, yang mana dilalui oleh sesar atau patahan sumatera (*Great Sumatran Fault*) yang menyebabkan adanya potensi terjadi gempa tektonik, sehingga evaluasi kinerja struktur bangunan sangat penting untuk dilakukan. Langkah ini dilakukan sebagai bentuk upaya mitigasi bangunan publik eksisting terhadap potensi risiko kerusakan akibat gempa pada lokasi bangunan.

Metode pada penelitian ini menggunakan analisis *pushover*, yang mana termasuk dalam jenis analisis statik non-linear. Berikutnya hasil kondisi perilaku struktur dari analisis *pushover* digunakan untuk mendapatkan nilai tingkatan kinerja struktur. Tingkatan kinerja tersebut berfungsi untuk menggambarkan kondisi kerusakan fisik bangunan dan ancaman keselamatan yang dapat terjadi pada penghuni bangunan. Prosedur analisis *pushover* yang digunakan pada penelitian ini mengacu pada metode ATC-40 (*Applied Technology Council*). Tujuan pada penelitian ini adalah untuk melakukan evaluasi bangunan Gedung Multazam terhadap beban gempa dengan hasil evaluasi seismik adalah tingkatan kinerja bangunan pada saat terjadi gempa dan mekanisme terjadinya sendi plastis.

Metodologi Penelitian

Objek Penelitian

Pada penelitian ini objek yang dianalisis ialah Gedung Multazam yang berada dalam kawasan asrama Haji Provinsi Lampung. Gedung tersebut memiliki tingkatan sebanyak 5 lantai dengan tinggi total bangunan yaitu 21,3 m.

Data Bangunan

Pada penelitian ini data yang digunakan adalah data *Shop Drawing* data tersebut didapat dari PT. Pandu Persada selaku konsultan perencana proyek. Data yang didapat dari *Shop Drawing* adalah sebagai berikut.

1. Mutu beton
 - a. $f_c = 25 \text{ MPa}$
 - b. Modulus Elastisitas (E_c)
 $= 4700 \cdot \sqrt{f_c}$
 $= 23500 \text{ MPa}$
2. Mutu baja tulangan
 - a. Untuk baja dengan diameter ≥ 10 mm menggunakan baja dengan BJTD 40, dengan $F_y = 400 \text{ N/mm}^2$
 - b. Untuk baja dengan diameter = 12 mm menggunakan baja dengan BJTP 24, dengan $F_y = 240 \text{ N/mm}^2$
3. Dimensi elemen struktur
 - a. Kolom

Berikut ini adalah dimensi tiap tipe kolom dari bangunan gedung yang disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2 Dimensi dan Tipe Kolom

Tipe Kolom	Dimensi (mm)
K1	600 x 600
K2	600 x 600
K3	Bentuk L
K4	150 x 750
K5	150 x 750
K7	450 x 450

Sumber : Data *Shop Drawing* 2018

b. Balok

Berikut dimensi tiap balok sesuai tipe dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Dimensi dan Tipe Balok

Tipe Balok	Dimensi (mm)
B2-1	350 x 700
B2-2	350 x 550
B2-3	250 x 550
B2-4	250 x 400
B2-5	300 x 650
B2-6	250 x 450
B2-7	250 x 450
B2-8	200 x 400
B2-9	250 x 400
B2-10	300 x 600
B2-11	250 x 450
B2-12	250 x 450
B2-13	200 x 400
BDA-1	300 x 650
BDA-2	250 x 500
BDA-3	200 x 400
BDA-4	250 x 400
BDA-5	250 x 500
BDA-6	150 x 550

Sumber : Data *Shop Drawing* 2018

c. Sloof

Berikut dimensi tiap pelat sesuai tipe dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Dimensi dan Tipe Sloof

Tipe Balok	Dimensi (mm)
SL-1	350 x 600
SL-2	300 x 500
SL-3	250 x 450

Sumber : Data Shop Drawing 2018

d. Pelat

Berikut dimensi tiap pelat sesuai tipe dapat dilihat pada Tabel 5. Tabel 5 Tebal dan Tipe Pelat

Tipe pelat	Tebal (mm)
Lantai A	120
Lantai B	100

Sumber : Data Shop Drawing 2018

4. Data penyelidikan tanah

Berikut ini adalah data hasil pengujian penetrasi standar SPT (*Standard Penetration Test*) dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6 Hasil Pengujian SPT (*Standard Penetration Test*)

No. BH	Kedalaman (m)	SPT
BH -1	0,00 – 4,50	23
	4,50 – 6,00	60
	6,00 – 7,00	60
	7,00 – 13,00	51
	13,00 – 16,00	60
	16,00 – 20,00	60
	22,00 – 25,00	60
BH -2	0,00 – 3,50	6
	3,50 – 5,00	17

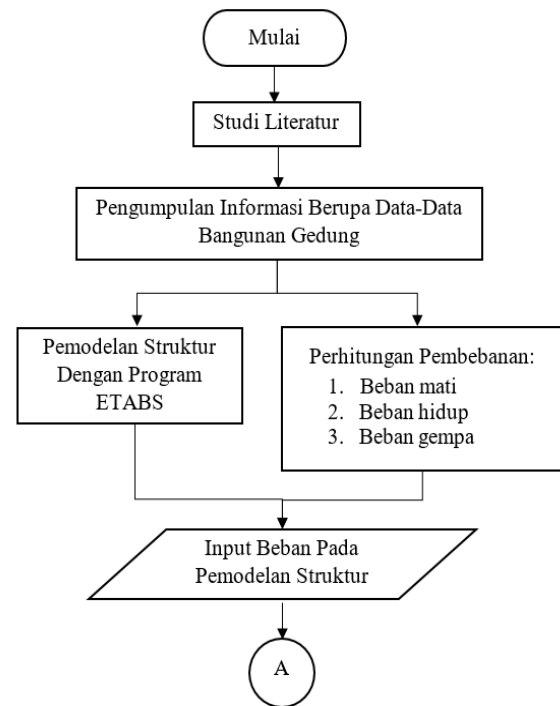
Lanjutan Tabel 6 Hasil Pengujian SPT (*Standard Penetration Test*)

No. BH	Kedalaman (m)	SPT
BH -3	5,00 – 8,00	46
	8,00 – 9,50	56
	9,50 – 12,00	60
	12,00 – 30,00	60
BH -4	0,00 – 1,00	10
	1,00 – 2,50	10
	2,50 – 4,50	60
	4,50 – 5,00	48
BH -4	5,00 – 6,50	54
	6,50 – 12,00	60
	12,00 – 13,00	60
	13,00 – 30,00	60

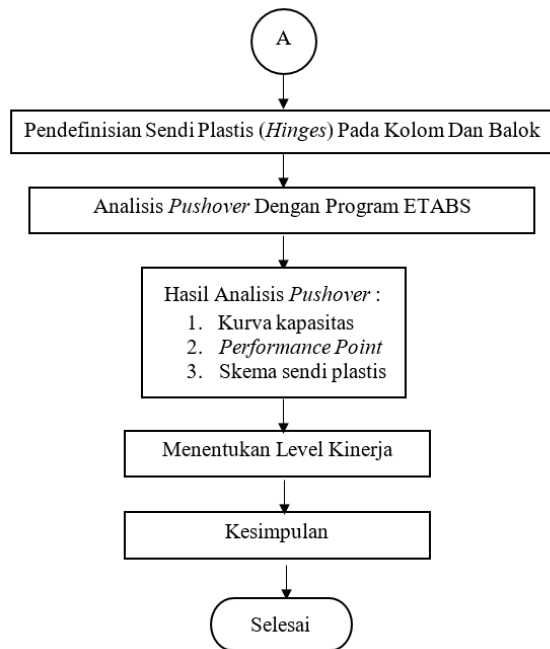
BH -4	26,00 – 30,00	60
	0,00 – 1,00	10
	0,00 – 1,00	10
	1,00 – 2,50	10
BH -4	2,50 – 4,50	60
	4,50 – 5,00	48
	5,00 – 6,50	54
	6,50 – 12,00	60
BH -4	12,00 – 13,00	60
	13,00 – 30,00	60

Sumber : Laporan Faktual Penyelidikan Tanah Lapangan Perencanaan Pembangunan Asrama Haji Bandar Lampung

Diagram Alir Tahapan Penelitian



Gambar 3 Diagram Alir Tahapan Penelitian



Lanjutan Gambar 3 Diagram Alir Tahapan Penelitian

1. Studi literatur

Pada tahapan studi literatur dilakukan dengan mencari informasi dari berbagai sumber. Sumber yang diambil berasal dari jurnal, tugas akhir, dan buku-buku yang berkaitan dengan analisis statik non-linear *pushover* dan cara menentukan level kinerja struktur bangunan ketika gempa berdasarkan (*Applied Technology Council*) ATC-40 *Seismic Evaluation and retrofit of Concrete Buildings*.

2. Pengumpulan data

Pada pelaksanaan tugas akhir ini data yang dipergunakan berupa data *Shop Drawing* bangunan Gedung Multazam yang berada dalam kawasan asrama Haji Provinsi Lampung, data penyelidikan dari dari pengujian penetrasi standar SPT (*Standard Penetration Test*). Data-data tersebut digunakan pada saat pemodelan bangunan dalam bentuk 3D menggunakan program ETABS yang kemudian dilakukan analisis.

3. Pemodelan 3D

Tahap pemodelan bangunan secara 3D dibuat dengan menggunakan program

ETABS. Bagian bangunan yang dimodelkan hanya pada struktur bangunan, yaitu bagian kolom, pelat dan balok. Sehingga pemodelan bangunan berupa portal *open frame*.

4. Perhitungan pembebanan

Perhitungan pembebanan yang bekerja pada struktur bangunan dilakukan dengan bantuan program Microsoft Excel, berikutnya masing-masing beban di input satu per satu ke dalam program ETABS. Beban-beban yang bekerja pada struktur berupa beban mati, beban hidup, dan beban gempa.

5. Analisis beban gempa

Analisis beban gempa dilakukan berdasarkan SNI 1726-2019 Pasal 7.9.1.4.1, apabila kombinasi respon untuk gaya geser dasar hasil analisis ragam ($V_{dinamik}$) kurang dari 100% dari gaya geser (V_{statik}) yang dihitung melalui metode statik ekuivalen, maka gaya tersebut perlu dikalikan dengan $V_{statik}/V_{dinamik}$.

6. Pendefinisian sendi plastis (*hinges*) pada kolom dan balok

Setelah melakukan pemodelan dan penginputan beban pada program ETABS, berikutnya dilakukan pendefinisian sendi plastis (*hinges*) pada balok dan kolom. Peletakan sendi plastis (*hinges*) diletakkan pada ujung-ujung tepi panjang bersih baik pada balok maupun kolom.

7. Analisis statik *pushover*

Pada analisis statik *pushover* dilakukan dengan berpedoman pada (*Applied Technology Council*) ATC-40 *Seismic Evaluation and retrofit of Concrete Buildings*. Analisis statik *pushover* dilakukan dengan bantuan program ETABS. Hasil dari analisis statik *pushover* yaitu berupa nilai *drift*, *displacement*, dan kurva kapasitas. Kemudian nilai dari hasil analisis tersebut digunakan untuk menentukan *performance point* dan level kinerja dari bangunan.

8. Membuat kesimpulan

Pada tahaan ini dibuat kesimpulan dari hasil analisis yang telah dilakukan.

Analisis dan Hasil

Pemodelan Struktur

Pemodelan struktur bangunan menggunakan program ETABS dilakukan sebagai berikut.

1. Pemodelan balok, menggunakan *section designer* untuk memodelkan tulangan pada setiap sisi balok dan sengkang yang digunakan sesuai acuan gambar *shop drawing*.
2. Pemodelan kolom, menggunakan *section properties* untuk memodelkan tulangan pada setiap sisi kolom, yang mana jumlah tulangan pada kolom untuk setiap sisinya sama, dan sengkang yang digunakan sesuai acuan gambar *shop drawing*.
3. Pemodelan pelat, menggunakan *slab section* untuk memodelkan tulangan pada pelat dan tebal pelat sesuai acuan gambar *shop drawing*.

Analisis Struktur

Gaya Geser Dasar Seismik

Gaya geser dasar seismik berdasarkan SNI 1726-2019 dapat ditentukan menggunakan persamaan berikut.

$$V = C_s \times W \tag{1}$$

$$= 0,0619 \times 28555,105 \text{ kN}$$

$$= 1767,10 \text{ kN}$$

Keterangan:

Cs = Koefisien respon spektrum

W = Berat seismik efektif

Distribusi Beban Gempa Statik Ekuivalen

Gaya seismik lateral (Fx) yang terjadi pada setiap tingkat dapat ditentukan dengan persamaan berikut.

$$F_x = C_{vx} \times V \tag{2}$$

Dengan nilai Cvx (faktor distribusi verlikal) didapat dengan persamaan berikut.

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k} \tag{3}$$

Nilai k (nilai eksponen yang terkait dengan periode struktur) untuk T = 1,0234 detik, dapat dicari menggunakan interpolasi sebagai berikut.

$$k = \frac{(2-1) \times (1,00234-0,5)}{(2,5-0,5)+1}$$

$$= 1,2617$$

Tabel 7 Perhitungan Nilai Gaya Gempa Horizontal

Lantai ke-i	H (m)	Wi (kN)	W x H ^k	Fx dan Fy (kN)
Atap	21,3	1949,646	92467,291	267,989
5	18,4	4274,566	169127,717	490,166
4	14,8	4912,305	147169,757	426,528
3	11,2	4962,154	104587,843	303,117
2	7,6	5020,618	64876,9184	188,026
1	4	5477,434	31492,234	91,271
0	0	1958,381	0	0
Total		28555,102	595641,625	1767,10

Spektrum respon percepatan desain (Sa)

$$T_0 = 0,2 \times (S_{D1}/S_{DS}) \tag{5}$$

$$= 0,2 \times (0,507/0,629)$$

$$= 0,161$$

$$T_s = S_{D1}/S_{DS} \tag{6}$$

$$= 0,507/0,629$$

$$= 0,805$$

$$T_L = 20 \text{ (berdasarkan peta transisi periode pada SNI 1726-2019)}$$

Dimana S_{D1} Spektral desain untuk periode 1 detik dan S_{DS} adalah spektral desain untuk periode pendek.

$$S_a = S_{DS} (0,4 + 0,6 (T/T_0)) \tag{7}$$

$$= 0,629 (0,4 + 0,6 (0/0,161))$$

$$= 0,252 \text{ untuk } T < T_0$$

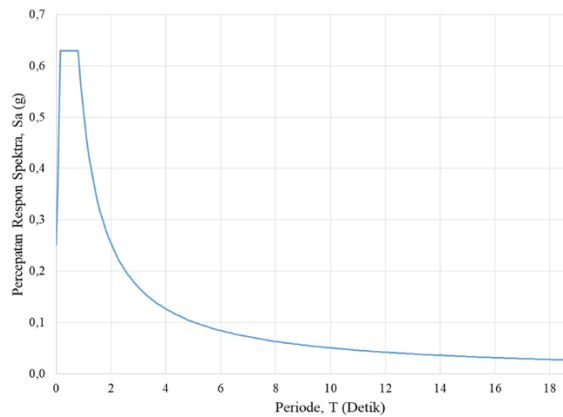
$$S_a = S_{DS} \quad (8)$$

$$= 0,629 \text{ untuk } T_0 < T < T_s$$

$$S_a = S_{D1}/T \quad (9)$$

$$= 0,507/2$$

$$= 0,253 \text{ untuk } T_0 > T_s$$



Gambar 3 Grafik Respon Spektrum

Analisis Pushover

Pemodelan struktur bangunan menggunakan program ETABS dilakukan sebagai berikut.

1. Elemen kolom menggunakan tipe sendi P-M2-M3, yang berarti sendi plastis terjadi akibat interaksi gaya aksial (P) dan momen (M) pada sumbu lokal 2 dan 3.
2. Elemen Balok menggunakan tipe sendi M3, yang berarti balok efektif menahan momen dalam arah sumbu lokal 3.
3. Evaluasi analisis pushover dilakukan pada setiap titik yang berpotensi mengalami sendi plastis.
4. Monitor target Displacement untuk beban lateral baik pada sumbu x dan sumbu y, sesuai dengan arah pola beban.

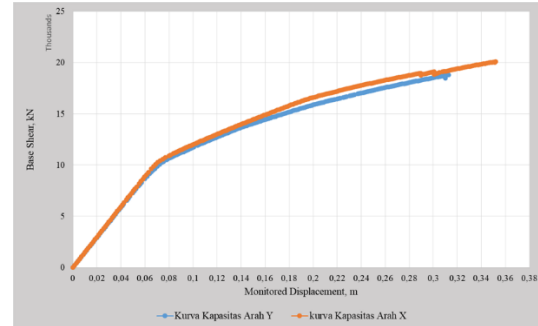
Hasil Analisis Pushover

Kurva Kapasitas

Dalam kurva kapasitas menunjukkan hubungan antara gaya geser dasar (*base force*) dengan perpindahan lateral (*displacement*) yang terjadi pada semua lantai.

1. Arah X

force) dengan perpindahan lateral (*displacement*) yang terjadi pada semua lantai.

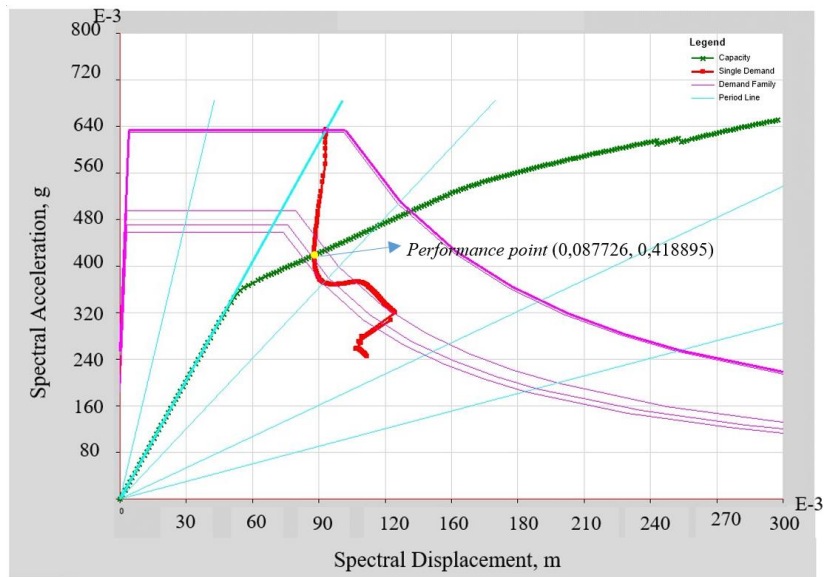


Gambar 4 Perbandingan Kurva Arah X dan Arah Y

Kurva kapasitas arah x memiliki nilai *base shear* lebih besar dibandingkan dengan kurva kapasitas arah y. Nilai *base shear* maksimum arah x sebesar 20.105,37 kN pada *step* ke- 243 dan untuk arah y sebesar 18.823,68 kN pada *Step* ke- 211. Hal ini menunjukkan bahwa untuk arah x merupakan sumbu kuat bangunan dan arah y merupakan sumbu lemah bangunan, dikarenakan pada arah x memiliki jumlah kolom dan balok yang lebih banyak daripada arah y. Hasil ini sesuai dengan penelitian Kurniati (2018), Muntafi, dkk (2018), Nugraha (2021) dan Saputra, dkk (2023), yaitu untuk kurva kapasitas dengan nilai *base shear* lebih besar berada pada sumbu kuat bangunan.

Performance Point

Performance point merupakan titik dimana kurva kapasitas (*capacity curve*) berpotongan dengan kurva respon spektrum (*demand spectrum*).



Gambar 5 Spektrum Kapasitas Arah X

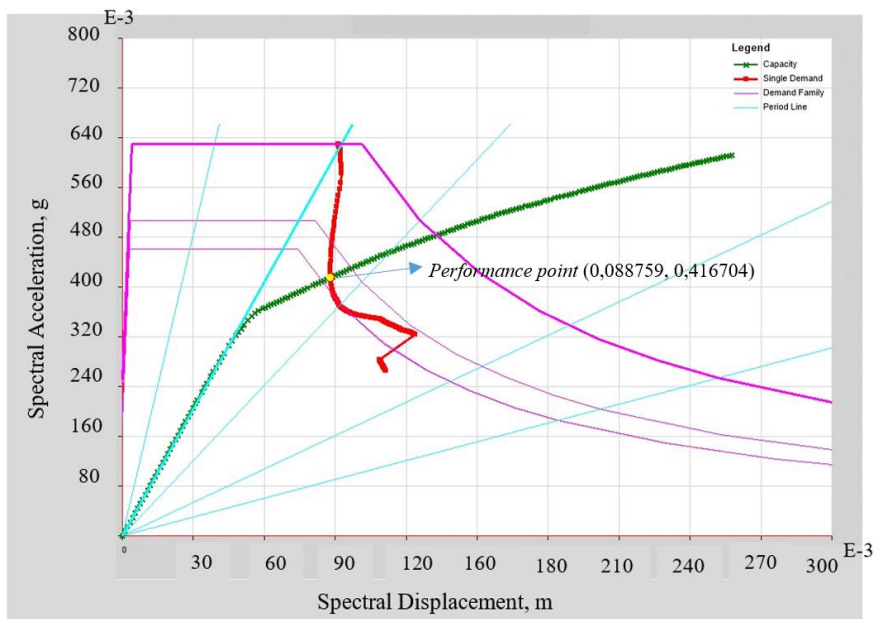
Tabel 8 Performance Point Arah X

Base Shear (kN)	Performance Point					
	V_t (kN)	D_t (m)	S_a	S_d	T_{eff}	β_{eff}
1767,10	12496,2	0,10959	0,4189	0,08773	0,919	0,0692

Gaya geser dasar (*base shear*) untuk arah x $V_t = 12.798,2 \text{ kN} > V_x = 1.767,10 \text{ kN}$. Yang berarti perilaku struktur arah x pada

gempa rencana telah mengalami kondisi in-elastis yang terjadi akibat pelepasan pada sendi-sendi plastisnya.

2. Arah Y



Gambar 6 Spektrum Kapasitas Arah Y

Tabel 8 *Performance Point* Arah Y

<i>Base Shear</i> (kN)	<i>Performance Point</i>					
	<i>Vt</i> (kN)	<i>Dt</i> (m)	<i>Sa</i>	<i>Sd</i>	<i>T_{eff}</i>	<i>β_{eff}</i>
1767,10	12798,2	0,11821	0,4167	0,08876	0,947	0,0848

Gaya geser dasar (*base shear*) untuk arah x $V_t = 12.798,2 \text{ kN} > V_x = 1.767,10 \text{ kN}$. Yang berarti perilaku struktur arah x pada gempa rencana telah mengalami kondisi in-elastis yang terjadi akibat pelelehan pada sendi-sendi plastisnya.

Tingkat Kinerja Struktur

Tingkat kinerja struktur pada bangunan dapat ditentukan berdasarkan batasan rasio *drift* atap yang dievaluasi pada *performance point*, yang mana parameternya adalah maksimum total *drift* dan maksimum inelastik *drift*. Perhitungannya adalah sebagai berikut.

1. Arah X

$$\text{Maksimum total drift} = \frac{Dt}{H} \quad (10)$$

$$= \frac{0,10959}{21,3} \\ = 0,005145$$

$$\text{Maksimum inelastik drift} = \frac{(Dt-D1)}{H} \quad (11)$$

$$= \frac{(0,10959-0,00142)}{21,3} \\ = 0,005078$$

Untuk nilai parameter maksimum total *drift* hasil dari perhitungan *pushover* arah x sebesar $0,005145 < 0,01$, yang mana berdasarkan ATC-40 Tabel 11-2 masuk kedalam kategori *Immediate Occupancy* (IO). *Immediate occupancy* artinya bangunan aman ketika terjadi gempa, risiko korban jiwa dan kegagalan struktur tidak terlalu berarti, dan gedung tidak mengalami kerusakan berarti dan dapat segera difungsikan kembali. Kemudian untuk nilai parameter maksimum inelastik *drift* hasil perhitungan *pushover* arah x sebesar $0,005078 > 0,005$, nilai tersebut berdasarkan

ATC-40 Tabel 11-2 masuk ke dalam kategori *Damage Control* (DC). *Damage Control* artinya bangunan masih mampu menahan gempa yang terjadi, dan risiko korban jiwa sangat rendah.

2. Arah Y

$$\text{Maksimum total drift} = \frac{Dt}{H} \quad (12)$$

$$= \frac{0,11821}{21,3} \\ = 0,005550$$

$$\text{Maksimum inelastik drift} = \frac{(Dt-D1)}{H} \quad (13)$$

$$= \frac{(0,11821-0,00142)}{21,3} \\ = 0,005483$$

Untuk nilai parameter maksimum total *drift* hasil dari perhitungan *pushover* arah y sebesar $0,005550 < 0,01$, yang mana berdasarkan ATC-40 Tabel 11-2 masuk kedalam kategori *Immediate Occupancy* (IO). *Immediate Occupancy* artinya bangunan aman ketika terjadi gempa, risiko korban jiwa dan kegagalan struktur tidak terlalu berarti, dan gedung tidak mengalami kerusakan berarti dan dapat segera difungsikan kembali. Kemudian untuk nilai parameter maksimum inelastik *drift* hasil perhitungan *pushover* arah y sebesar $0,005483 > 0,005$, nilai tersebut berdasarkan ATC-40 Tabel 11-2 masuk ke dalam kategori *Damage Control* (DC). *Damage Control* artinya bangunan masih mampu menahan gempa yang terjadi, dan risiko korban jiwa sangat rendah.

Mekanisme Sendi Plastis

Setelah dilakukan analisis *pushover*, maka akan terlihat proses terjadinya sendi plastis pada struktur, sendi plastis pada struktur

terjadi karena momen yang ditahan oleh elemen struktur lebih besar dari momen kapasitas elemen struktur. Berikut adalah penjelasan mengenai mekanisme sendi plastis yang terjadi pada arah x dan arah y.

1. Arah X

Sendi plastis pada gedung terjadi pada *step* ke- 38, yang mana terjadi pada balok. Yang mana ditandai dengan muncul titik-titik sendi plastis berwarna hijau yang berarti pada level kinerja B. level kinerja B artinya sendi plastis mulai terjadi. Mekanisme sendi plastis pada arah x berakhir pada *step* ke- 244, yang mana terlihat sendi plastis sudah terjadi hampir di seluruh bangunan. Kemudian terjadi sendi plastis pada kolom yang sudah masuk kedalam fase *collapse Prevention*. *Collapse Prevention* artinya terjadi kerusakan parah pada elemen struktur sehingga kekuatan dan kekakuan berkurang.

2. Arah Y

Sendi plastis untuk arah y dengan beban gempa rencana terjadi pada balok pada *step* ke- 30 dimana ditandai dengan muncul titik-titik sendi plastis berwarna hijau yang berarti pada level kinerja B. Level kinerja B artinya sendi plastis mulai terjadi. Mekanisme sendi plastis pada arah y berakhir pada *step* ke- 212, yang mana sendi plastis sudah terjadi hampir di seluruh bangunan. Kemudian terjadi sendi plastis kolom yang sudah masuk kedalam fase *collapse prevention*. *Collapse Prevention* artinya terjadi kerusakan parah pada elemen struktur sehingga kekuatan dan kekakuan berkurang.

Kesimpulan

Dari analisis yang telah dilakukan terhadap kinerja Gedung Multazam Asrama Haji Provinsi Lampung, maka dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Berdasarkan kurva kapasitas hasil dari analisis *pushover*, didapatkan nilai *base shear* untuk kurva kapasitas arah x lebih besar dibandingkan dengan kurva

kapasitas arah y. Dengan nilai *base shear* maksimum untuk arah x sebesar 20105,37 kN pada *step* ke- 243 dan untuk arah y sebesar 18823,68 kN pada *Step* ke- 211. Hasil ini menunjukkan bahwa untuk arah x merupakan sumbu kuat bangunan sedangkan arah y merupakan sumbu lemah bangunan, hal tersebut dikarenakan pada sumbu kuat bangunan memiliki jumlah kolom dan balok yang lebih banyak.

2. Tingkat kinerja struktur diukur berdasarkan perhitungan parameter maksimum total *drift* dan parameter maksimum inelastik *drift*. Berdasarkan perhitungan parameter maksimum total *drift* didapatkan nilai untuk arah x sebesar 0,005145 dan arah y sebesar 0,005550, kedua nilai tersebut kurang dari 0,01 sehingga tingkat kinerja struktur masuk kedalam kategori *Immediate Occupancy* (IO). *Immediate occupancy* artinya bangunan aman ketika terjadi gempa, risiko korban jiwa dan kegagalan struktur tidak terlalu berarti, dan gedung tidak mengalami kerusakan berarti dan dapat segera difungsikan kembali. Kemudian berdasarkan perhitungan parameter maksimum inelastik *drift* didapatkan nilai untuk arah x sebesar 0,005078 dan arah y sebesar 0,005483, kedua nilai tersebut lebih dari 0,005 dan kurang dari 0,015 sehingga tingkat kinerja struktur masuk kedalam kategori *Damage Control* (DC). *Damage Control* artinya bangunan masih mampu menahan gempa yang terjadi, dan risiko korban jiwa sangat rendah.
3. Proses plastifikasi pada gedung yang ditinjau diawali dengan munculnya sendi plastis pada bagian balok kemudian pada bagian kolom dari gedung baik untuk arah x maupun arah y. Berdasarkan *code* ATC-40 hasil ini sesuai dengan kriteria *beam sway mechanism*. Kemudian hasil ini juga telah sesuai dengan prinsip *strong column weak beam* yang mana terjadi

pelelehan sendi plastis diawali dari balok pada *step* ke- 38 dan berakhir pada *step* ke- 244 dengan terjadinya kerusakan pada kolom, kerusakan pada kolom tersebut ditandai dengan sendi plastis pada kolom yang telah masuk ke fase *collapse prevention*. *Collapse prevention* artinya terjadi kerusakan parah pada elemen struktur sehingga kekuatan dan kekakuan berkurang.

Daftar Pustaka

- ATC-40. (1996). *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Volume I*. California: Seismic Safety Commission of California.
- ATC-40. (1996). *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Volume II*. California: Seismic Safety Commission of California.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2017). *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017*. Bandung: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2022). *Peta Deagregasi Bahaya gempa Indonesia Untuk Perencanaan dan Evaluasi Infrastruktur Tahan Gempa*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Kurniati, D. (2018). *Kajian Analisis Pushover Untuk Performance Based Design Pada Awana Condotel Yogyakarta*. Jurnal Rekayasa Sipil. Vol.6 No.1:85-93. Yogyakarta.
- Muntafi, Y. (2008). *Evaluasi Kinerja Seismik Gedung Simetri Empat Lantai dengan Analisis Statik Nonlinier (Pushover)*. Tugas Akhir. Surakarta: Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret.
- Muntafi, Y. (2012). Simposium Nasional RAPI XI FT UMS 2012. *Evaluasi Kinerja Bangunan Gedung DPU Wilayah Kabupaten Wonogiri Dengan Analisis Pushover*, pp. 68-75.
- Muntafi, Y. (2018). *Damage and loss probability assessment of reinforced concrete building due to Yogyakarta earthquake scenario using pushover and hazus analysis (case study: student center building, faculty of social science, UNY)*. Prosiding International Conference on Disaster Management (ICDM). Padang, Indonesia. MATEC Web of Conferences 229, pp. 1-9.
- Nugraha, H. (2021). *Evaluasi Kinerja Seismik Gedung APSLC UGM Dengan Metode Analisis Pushover Sesuai Peraturan SNI 1726-2019*. Yogyakarta: Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
- PT. Pandu Persada. (2018). *Laporan Faktual Penyelidikan Tanah Lapangan Perencanaan Pembangunan Asrama Hasi Bandar Lampung*.
- PT. Pandu Persada (2018). *Perencanaan Revitalisasi Pengembangan Asrama Haji Provinsi Lampung Untuk Pembangunan Gedung Multazam dan Fasilitas Pendukung*.
- Saputra, R. S., RM, R. A., dan Masrilayanti. (2023). *Evaluasi Struktur Kampus II Universitas Muhammadiyah, Sumatera Barat Dengan Analisis Statik Non-Linear Pushover*. Jurnal Darma Agung. Vol.31 No.4:528-540. Sumatera Barat.
- SNI 1726-2019. (2019). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 1727-1989. (1989). *Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung, SNI 1727-1989*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Syahira, M. S. (2023). *Evaluasi Kinerja Struktur Atas Pada Desain Gedung*

*Perkantoran Menggunakan Analisis
Pushover Berdasarkan ATC-40.*
Yogyakarta: Program Studi Teknik

Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan
Perencanaan, Universitas Islam
Indonesia.