

## Analisis Kerentanan Struktur Gedung C Rumah Sakit Rujukan Regional Kota Langsa Menggunakan Metode *Pushover Analysis*

Irwansyah<sup>1)</sup>, Muhammad Agussalim<sup>2)</sup>, Meilandy Purwandito<sup>3)</sup>, Haikal Fajri<sup>4)</sup>  
<sup>1,2,3,4)</sup> Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Samudra, Kota Langsa  
Email: [irwansyah@unsam.ac.id](mailto:irwansyah@unsam.ac.id)<sup>1)</sup> [agussalim@gmail.com](mailto:agussalim@gmail.com)<sup>2)</sup>  
[meilandy\\_purwandito@unsam.ac.id](mailto:meilandy_purwandito@unsam.ac.id)<sup>3)</sup> [haikal.fajri@unsam.ac.id](mailto:haikal.fajri@unsam.ac.id)<sup>4)</sup>  
Corresponding Author: [haikal.fajri@unsam.ac.id](mailto:haikal.fajri@unsam.ac.id)

DOI: <http://dx.doi.org/10.29103/tj.v13i2.964>

(Received: 12 May 2023 / Revised: 13 August 2023 / Accepted: 03 September 2023)

### Abstrak

Fenomena gempa merupakan gejala alam yang sangat berpengaruh terhadap bangunan, terutama pada bangunan tinggi. Perencanaan struktur bangunan gedung tahan gempa sangat penting di Indonesia, mengingat sebagian besar wilayahnya terletak dalam wilayah gempa dengan intensitas sedang hingga tinggi. Kajian penelitian adalah Rumah sakit rujukan regional kota Langsa dengan struktur bangunan 4 lantai dan tinggi 19,25 meter. Tujuan penelitian ini adalah menentukan kriteria level kinerja struktur dan mengetahui pola keruntuhan bangunan sehingga dapat diketahui joint-joint yang mengalami kerusakan dan kehancuran. Metode analisis *pushover* merupakan salah satu metode yang digunakan untuk menganalisis beban gempa guna mengetahui perilaku keruntuhan struktur dari hasil nilai *performance point* menggunakan ATC-40 dan nilai target *displacement* FEMA-356 dan FEMA 440. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa berdasarkan ATC-40 untuk arah-x diperoleh nilai *drift* aktual sebesar 0,0082 mm berada di level kinerja *Immediate occupancy* dan untuk arah-y sebesar 0,0072 berada di level kinerja *Imediated Occupancy*. Sedangkan menurut FEMA 356 dan FEMA 440 drift aktual untuk arah-x sebesar 0,015 yang berada di level kinerja *Damage Control*, sementara arah-y sebesar 0,037 berada pada level kinerja *Life safety*.

Kata kunci: *kerentanan struktur, rumah sakit, gempa, pushover analysis, level kinerja*

### Abstract

Earthquake phenomena are natural phenomena that greatly affect buildings, especially tall buildings. The planning of earthquake-resistant building structures is very important in Indonesia, considering that most of the area is located in an earthquake area with moderate to high intensity. The research study was the Langsa city regional hospital with a 4-storey building structure and a height of 19.25 meters. The purpose of this study was to determine the criteria for the level of structural performance and to determine the pattern of building collapse so that the joints that were damaged and destroyed could be identified. The pushover analysis method is one of the methods used to analyze earthquake loads to determine the collapse behavior of structures from the results of performance point values using ATC-40 and displacement target values of FEMA-356 and FEMA 440. The results show that based on ATC-40 for the x-direction the actual drift value of 0.0082 mm is obtained at the Immediate Occupancy and for the y-direction of 0.0072 at the Immediate Occupancy performance level. Meanwhile, according to FEMA 356 and FEMA 440 the actual drift for the x-direction is 0.015 which is at the Damage Control, while the y-direction is 0.037 at the Life safety performance level.

Keywords: *structure vulnerability, hospital, earthquake, pushover analysis, performance level*

## 1. Latar Belakang

Wilayah Provinsi Aceh merupakan wilayah yang memiliki potensi gempa yang tinggi (Anzala et al., 2015), (Muksin et al., 2019), (Muzli et al., 2018), (Arif, 2018). Berdasarkan data BMKG, Kota Langsa juga merupakan wilayah yang memiliki frekuensi gempa darat yang tinggi dalam 10 tahun terakhir (Haikal et al., 2022). Efek gempa tersebut dapat menghancurkan bangunan serta menyebabkan efek ganda seperti likuifaksi tanah, tanah longsor, dan tsunami (Astuti & Restu, 2016), (Chang & Song, 2006), .

Standar peraturan desain gempa bangunan gedung Indonesia (Badan Standardisasi Nasional, 2019), (Badan Standardisasi Nasional, 2013) memberikan persyaratan beban minimum untuk desain bangunan dan struktur lainnya. Prosedur desain menurut standar ini pada umumnya adalah berdasarkan metode analisis berbasis gaya linier *Force-Based Design* (FBD) daripada metode berbasis perpindahan. Kelemahan dari metode FBD ini adalah memakan banyak waktu yaitu mengenai konsep daktilitas yang digunakan secara konstan dan seringkali perlu dilakukan iterasi ulang untuk mendapatkan kekakuan struktur akhir gedung (Widjaja et al., 2013), (Powell, 2008). Sehingga diperlukan metode lainnya.

Standar bangunan terkini seperti ATC, FEMA untuk desain dan evaluasi seismik telah menerapkan kriteria *Direct Displacement Based Design* (DDBD) yang memperkirakan respons bangunan nonlinier (Septianto et al., 2019). Dalam metode DDBD besarnya gaya geser dasar ditentukan berdasarkan kekakuan efektif dan target perpindahan yang telah ditentukan menurut level kinerja struktur sehingga dapat mengelola risiko kerusakan dan biaya pemulihan (Glorie et al., 2014). Untuk mengetahui kinerja struktur saat menerima beban gempa, maka dibutuhkan analisis nonlinier. Salah satu cara analisis nonlinear yang dapat digunakan adalah *nonlinear static pushover analysis*.

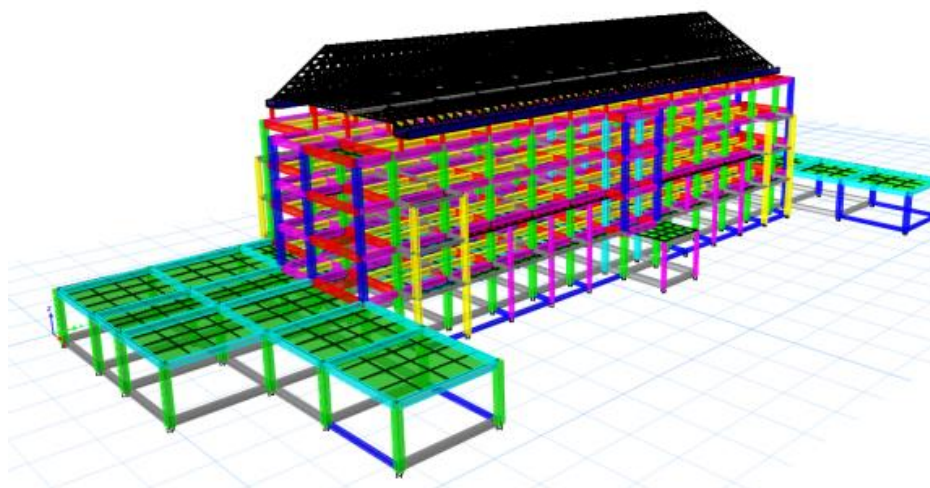
Analisis nonlinier *pushover* merupakan salah satu bagian *performance based design* yang berfungsi untuk mencari nilai kapasitas dari suatu struktur (Tata, 2021). Analisis Pushover merupakan analisis yang digunakan untuk mengetahui perilaku keruntuhan struktur terhadap gempa, dan untuk memperkirakan gaya maksimum dan deformasi yang terjadi, serta untuk memperoleh informasi kritis pada elemen bangunan (Magenes, 2000), (Kim & Kurama, 2008). Penelitian dan pengembangan metode tersebut telah banyak dikembangkan oleh peneliti (Magenes, 2000), (Kim & Kurama, 2008), (Panyakapo, 2014), (Elnashai, 2001), (Paraskeva & Kappos, 2010). Sejumlah program komputer, seperti SAP2000 (Poluraju, 2011), Seismostruct (Soni et al., 2018), dan OpenSees (McKenna et al., 2010) telah tersedia dan memungkinkan penerapan analisis pushover dalam design bangunan. Namun, para insinyur harus selalu memeriksa hasil yang diperoleh dari model analisis komputer. Perencanaan gedung rumah sakit di Kota Langsa umumnya masih menggunakan metode *Force-Based Design* (FBD) sehingga perlu dilakukan perhitungan struktur dengan metode *pushover analysis* untuk mengetahui level kinerja dari gedung tersebut.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui perilaku struktur bangunan Gedung C rumah Sakit Regional Langsa dalam menahan gaya gempa yang terjadi sehingga nantinya akan diketahui gaya geser dasar (*base shear*) dan perpindahan (*displacement*) maksimum yang dapat ditahan oleh struktur, *performance point*, target perpindahan, tingkat kinerja berdasarkan metode ATC-40, FEMA 356 dan

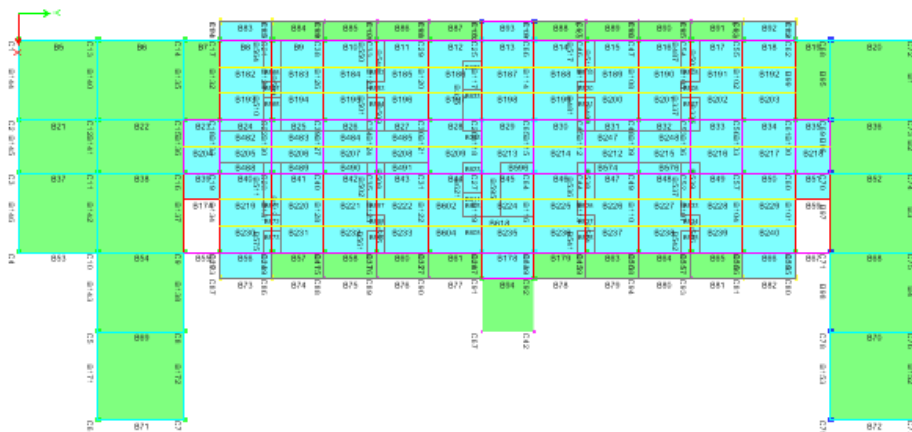
FEMA 440 dengan menunjukkan kurva kapasitas, hubungan *base shear* dengan *displacement* pada kurva *pushover* sebagai tahapan perilaku struktur saat terjadi gaya geser dasar pada level tertentu serta *performance point* dan menentukan mekanisme sendi plastis yang terjadi pada struktur (Liu et al., 2014), (Golghate et al., 2013), (Jan et al., 2004), (Zou & Chan, 2005).

## 2. Metode Penelitian

Pada penelitian ini objek yang diteliti adalah Gedung C Rumah Sakit Regional berlokasi di Kota Langsa. Struktur gedung tersebut memiliki tingkatan sebanyak 4 lantai dengan tinggi total bangunan yaitu 19,25 meter dengan kelas situs tanah Lunak (SE). Struktur tersebut didesain dengan mutu beton  $f'c$  26,4 MPa untuk kolom, balok, dan pelat, dan untuk tulangan menggunakan mutu baja  $f_y$  420 MPa. Struktur gedung akan dianalisis menggunakan metode Pushover untuk mendapatkan nilai *performance point*, level kinerja dan pola keruntuhan struktur terhadap gempa bumi yang terjadi. Objek akan dianalisis secara komputasi dengan bantuan software ETABS V17. Pemodelan struktur pada penelitian ini seperti diperlihatkan pada Gambar 1.



(a)

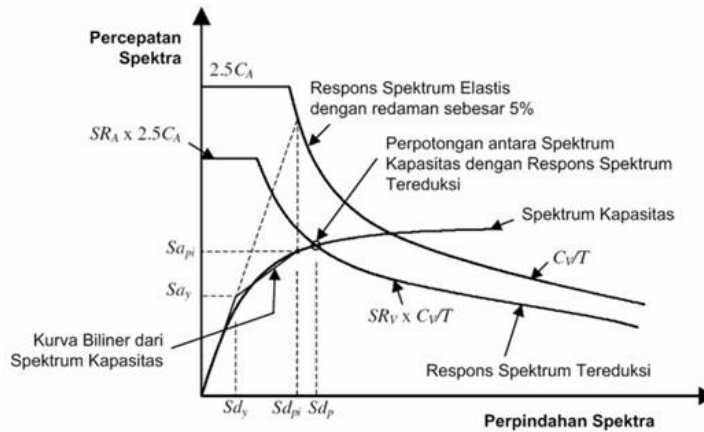


(b)

Gambar 1 Pemodelan struktur, (a) tampak 3D; (b) denah struktur lantai 1

### 2.1. Metode spektrum kapasitas ATC-40

Metode spektrum kapasitas menyajikan secara grafis dua buah grafik yang disebut spektrum kapasitas (*capacity spectrum*) yang menggambarkan kapasitas struktur berupa hubungan gaya geser dasar (*base shear*) dengan *displacement* lateral struktur (biasanya ditetapkan di puncak bangunan) yang disebut kurva kapasitas (*capacity curve*), dan *spectrum demand* yang menggambarkan besarnya *demand* (tuntutan kinerja) akibat beban gempa dengan periode ulang tertentu. Kurva tersebut diplotkan dalam format *acceleration displacement response pectrum* (ADRS) (Saidi et al., 2018).



Gambar 2 Penentuan titik kinerja menurut metode spektrum kapasitas

Penentuan *performance point* dengan metode spektrum kapasitas dilakukan dengan mencari titik potong antara *capacity spectrum* dan *demand spectrum* (Gambar 2). *Capacity spectrum* merupakan hasil transformasi *capacity curve* ke dalam satuan *spectral displacement* dan *spectral acceleration* ( $S_a, S_d$ ). Sedangkan *demand spectrum* merupakan hasil transformasi *response spectrum* elastik gempa rencana ke dalam kondisi inelastik dengan satuan  $S_a$  dan  $S_d$ . Penyesuaian akibat kondisi inelastik perlu dilakukan karena *damping ratio* akan membesar pada kondisi inelastik sehingga *response spectrum* gempa rencana secara umum akan bergeser ke bawah. Metode ini secara khusus telah *built-in* dalam program ETABS, proses konversi kurva *pushover* ke format ADRS dan kurva respon spektrum yang direduksi dikerjakan otomatis dalam program.

Tabel 1 Batasan rasio drift

Parameter	Tingkat Kinerja			
	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Damage Control</i>	<i>Life Safety</i>	<i>Structural Stability</i>
Maksimum Total Drift (MTD)	0,01	0,01 s.d 0,02	0,02	$0,33 \frac{V_i}{P_i}$
Maksimum Total Inelastik Drift (MID)	0,005	0,005 s.d 0,015	No limit	No limit

Sumber: ATC 40

Sasaran kinerja pada dokumen Applied Technology Council (ATC) 40 (ATC 40, 1996) memasukkan beberapa pertimbangan kondisi kerusakan untuk beberapa level gerakan tanah. ATC 40 memberikan batasan rasio drift atap yang dievaluasi pada performance point dalam rangka mengevaluasi kinerja struktur daktail. Parameter yang digunakan adalah maksimum total drift dan maksimum inelastik drift. Batasan rasio drift atap sesuai ATC 40 disajikan pada Tabel 1.

Untuk menentukan tingkat kinerja dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$MTD = \frac{Dt}{Hn} \quad (1)$$

$$MID = \frac{Dt-D1}{Hn} \quad (2)$$

di mana:

$Dt$  = displacement atap (lantai teratas)

$D1$  = displacement lantai dasar

$Hn$  = tinggi gedung

## 2.2. Metode *target displacement* FEMA-356

Pada metode *target displacement* FEMA-356 titik kinerja berada pada koordinat *target displacement* dan gaya geser dasar yang terjadi pada *target displacement* tersebut, perhitungan dilakukan dengan memodifikasi respons elastik linier sistem struktur SDOF ekuivalen dengan faktor modifikasi  $C_0$ ,  $C_1$ ,  $C_2$  dan  $C_3$  sehingga dapat dihitung *target displacement* ( $d$ ), dengan menetapkan dahulu waktu getar efektif ( $T_e$ ) untuk memperhitungkan kondisi inelastik struktur gedung.

$$\delta = C_0 \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot S_a \frac{(T_e)^2}{2, n} \cdot g \quad (3)$$

$$C_1 = \frac{(1+(R-1)\frac{T_s}{T_e})^R}{R} \quad (4)$$

$$R = \frac{S_a}{(V_y/W)} \cdot C_m \quad (5)$$

$$C_3 = 1,0 \frac{(|a|(R-1))^{3/2}}{T_e} \quad (6)$$

di mana:

$\delta$  = Target displacement

$C_0$  = Faktor modifikasi yang menghubungkan spektral displacement dengan peralihan lantai atap pada bangunan berdasarkan Tabel 3-2 dari FEMA-356

$C_1$  = Faktor modifikasi untuk menghubungkan peralihan inelastik Maksimum

$T_e$  = Periode getar alami efektif bangunan

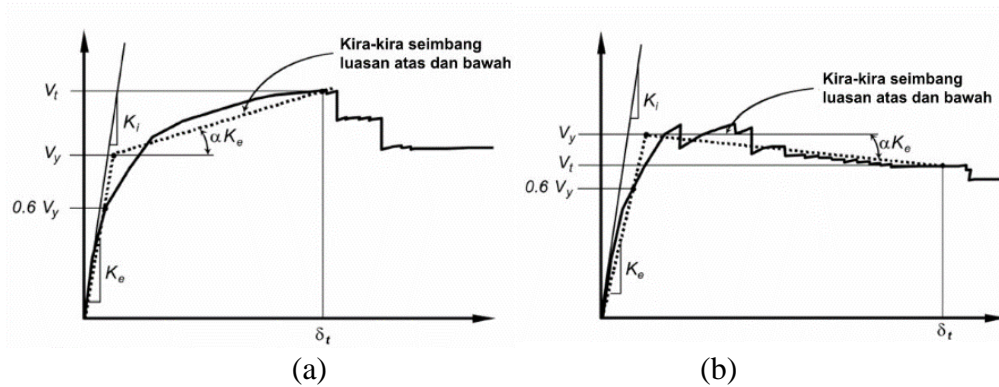
$T_s$  = Periode karakteristik dari respon spektrum

$R$  = Rasio “kuat elastis perlu” terhadap “koefisien kuat leleh terhitung

$S_a$  = Response spectrum acceleration pada periode alami efektif

$V_y$  = Gaya geser dasar pada saat kondisi leleh, dari idealisasi kurva pushover menjadi bilinear

- W = Beban gempa efektif
- C<sub>m</sub> = Faktor massa efektif berdasarkan Tabel 3-1 dari FEMA-356
- C<sub>2</sub> = Faktor modifikasi untuk memperlihatkan pinched hysteresis shape, degradasi kekakuan dan penurunan kekuatan pada respon peralihan maksimum berdasarkan Tabel 3-3 dari FEMA-356
- C<sub>3</sub> = Faktor modifikasi untuk memperlihatkan kenaikan peralihan akibat efek p-delta. Untuk gedung dengan perilaku kekakuan pasca-leleh bernilai positif maka C<sub>3</sub> = 1,0. Sedangkan untuk gedung dengan perilaku pasca-leleh bernilai negatif,
- a = Rasio kekakuan pasca-leleh terhadap kekakuan elastik efektif
- g = Percepatan gravitasi 9,81 m/s<sup>2</sup>



Gambar 3 Perilaku pasca leleh sistem struktur berdasarkan FEMA-356, (a) Kemiringan pasca leleh – positif; (b) Kemiringan pasca leleh - negatif

### 2.3. Merode target displacement FEMA-440

Merupakan koefisien perpindahan pada FEMA-440 yang telah dimodifikasi dan diperbaiki. Persamaan yang digunakan untuk menghitung target displacement tetap sama, akan tetapi mengalami modifikasi dan perbaikan dalam menghitung faktor C<sub>1</sub> dan C<sub>2</sub> sebagai berikut :

$$C_1 = 1 + \frac{R-1}{\alpha \cdot T_e^2} \quad (7)$$

Nilai konstanta a adalah 130, 90 dan 60 untuk kategori desain B, C dan D. Untuk waktu getar < 0,2 detik maka nilai C<sub>1</sub> pada 0,2 detik dapat dipakai, sedangkan untuk waktu getar > 1 detik maka C<sub>1</sub> = 1,0.

$$C_2 = 1 + \frac{1}{800} \cdot \frac{R-1}{(\alpha \cdot T_e)^2} \quad (8)$$

Untuk waktu getar < 0,2 detik maka nilai C<sub>2</sub> pada 0,2 detik dapat dipakai, sedangkan untuk waktu getar > 0,7 detik maka C<sub>2</sub> = 1,0.

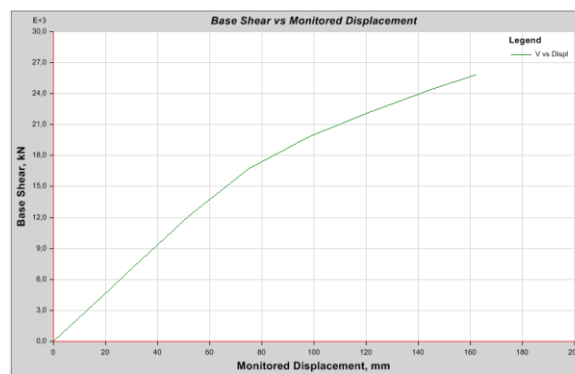
## 3. Hasil dan Pembahasan

Hasil penelitian beserta pembahasan diuraikan secara detail berdasarkan metode ATC-40, FEMA 356 dan FEMA 440 serta penjelasan tentang mekanisme sendi plastis yang terjadi pada struktur gedung rumah sakit.

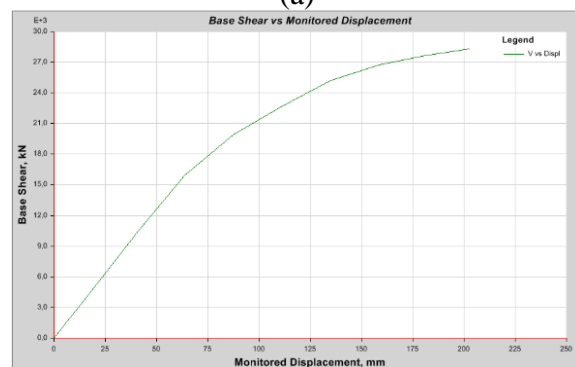
### 3.1 Kurva kapasitas struktur

Berdasarkan hasil analisis *pushover* didapatkan kurva kapasitas struktur gedung rumah sakit. Kurva kapasitas adalah kurva hubungan antara gaya geser dasar (*base shear*) terhadap *monitored displacement* lantai atap yang ditinjau. Kurva kapasitas hasil analisis *pushover* untuk masing-masing arah dapat dilihat pada Gambar 4.

Grafik pada Gambar 4 (a) memperlihatkan besaran nilai kurva kapasitas untuk arah-x. Kurva kapasitas adalah hubungan antara gaya dan perpindahan terhadap struktur. Pada arah-x terdapat 8 step pola beban dorong sehingga struktur mengalami keruntuhan yang ditandai dengan munculnya sendi plastis pada elemen kolom dan balok. Nilai *monitored displacement* (dm) diperoleh sebesar 162,074 dengan nilai base shear ( $V_m$ ) 25813,9 kN.



(a)



(b)

Gambar 4 Kurva kapasitas bangunan base shear vs monitored displacement  
(a) arah-x; (b) arah-y

Sementara besaran nilai kurva kapasitas pada arah-y diperlihatkan pada Gambar 4 (b). Pola beban dorong diberikan hingga struktur mengalami keruntuhan terjadi pada step 14 yang ditandai dengan munculnya sendi plastis pada elemen struktur balok dan kolom. Nilai *monitored displacement* (dm) adalah 202,65 mm dan *base shear* ( $V_m$ ) sebesar 28286,6 kN.

### 3.2 Hasil spektrum kapasitas ATC-40

Berdasarkan hasil analisis *pushover* didapatkan kurva spektrum kapasitas. Program menggambarkan *demand spectrum* secara otomatis ke format



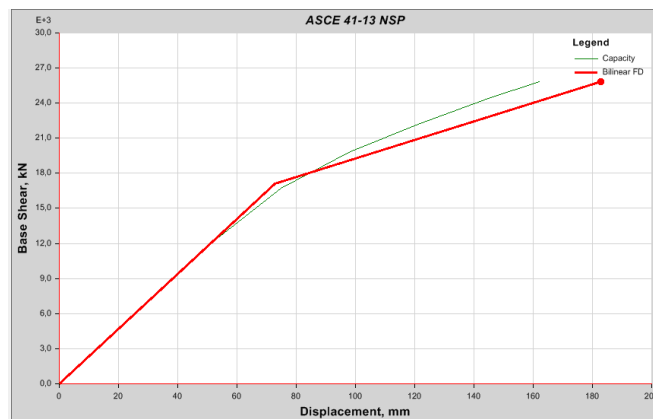
*Acceleration Displacement Response Spectrum (ADRS)*, yang merupakan reduksi dari respons spektrum elastis dengan redaman 5%, 10%, 15% dan 20%. Selanjutnya program elemen hingga mereduksi spektrum elastis 5% menjadi *single demand*. Kemudian program mengkonversi kurva kapasitas ke format ADRS menjadi spektrum kapasitas. Selanjutnya melakukan penggabungan antara *single demand* dengan spektrum kapasitas sehingga diperoleh titik perpotongan kurva yang disebut titik kinerja (*performance point*) struktur. *Target displacement* dengan metode spektrum kapasitas ATC-40 pada setiap arah ditampilkan dalam Tabel 2 sebagai berikut:

Tabel 2 Target *displacement* dengan metode spektrum kapasitas ATC-40

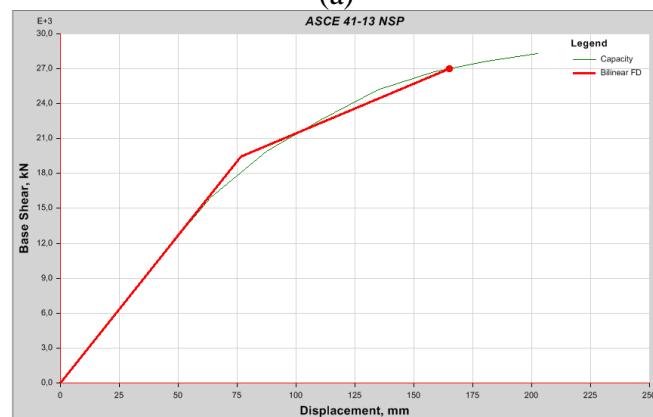
<i>Performance point</i>	Arah-x	Arah-y
V <sub>m</sub> (kN)	12142,27	10527,84
D, (mm)	52,056	31,706
S <sub>a</sub>	0,172	0,200
S <sub>d</sub>	0,268	0,215

### 3.3 Hasil target *displacement* FEMA-356

Pada metode *target displacement* FEMA-356 diambil kurva idealisasi bilinear (kurva bilinear *pushover*) yang didapat pada program. Kurva idealisasi bilinear ditampilkan pada Gambar 5.



(a)



(b)

Gambar 5 Kurva bilinear *pushover* (a) arah-x; (b) arah-y



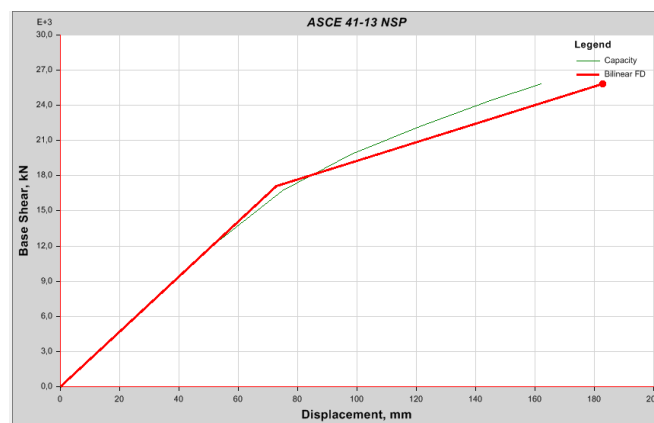
Hasil target *displacement* berdasarkan metode target *displacement* FEMA-356 pada setiap arah ditampilkan dalam Tabel 3.

Tabel 3 Hasil *Target displacement* berdasarkan FEMA-356

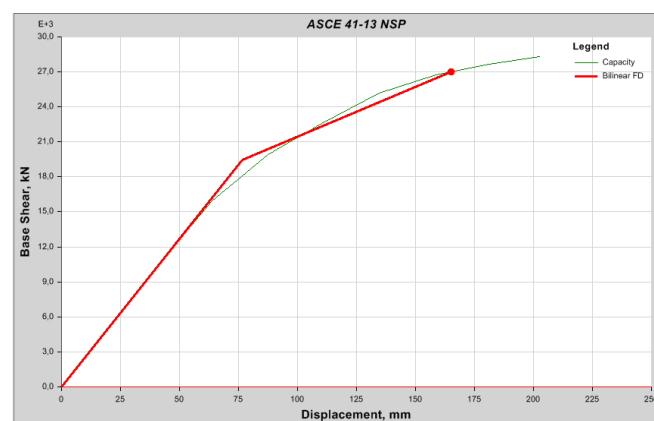
Parameter hitungan	Arah-x	Arah-y
C0	1,010	1,028
C1	1	1
C2	1	1
C3	1,63	4,329
Sa	0,632	0,635
Te (s)	1,005	1,225
g (m/s)	9,81	9,81
D, d (mm)	295,989	710,350

### 3.4 Hasil *target displacement* FEMA-440

Pada metode *target displacement* FEMA-440 diambil kurva idealisasi bilinear (kurva bilinear *pushover*) yang didapat pada program. Kurva idealisasi bilinear ditampilkan pada Gambar 6.



(a)



(b)

Gambar 6 Kurva bilinear *pushover* (a) arah-x; (b) arah-y

Disebabkan nilai-nilai parameter yang diperoleh dengan metode *target displacement* FEMA-440 sama dengan metode FEMA 356 maka, nilai-nilai yang diperlukan pun sama seperti yang diperlihatkan pada Tabel 4.

Tabel 4 Hasil *targeted displacement* dengan metode FEMA-440

Parameter hitungan	Arah-x	Arah-y
C0	1,010	1,028
C1	1	1
C2	1	1
C3	1,63	4,329
Sa	0,632	0,635
Te (s)	1,005	1,225
g (m/s)	9,81	9,81
D, d (mm)	295,989	710,350

### 3.5 Evaluasi kinerja struktur

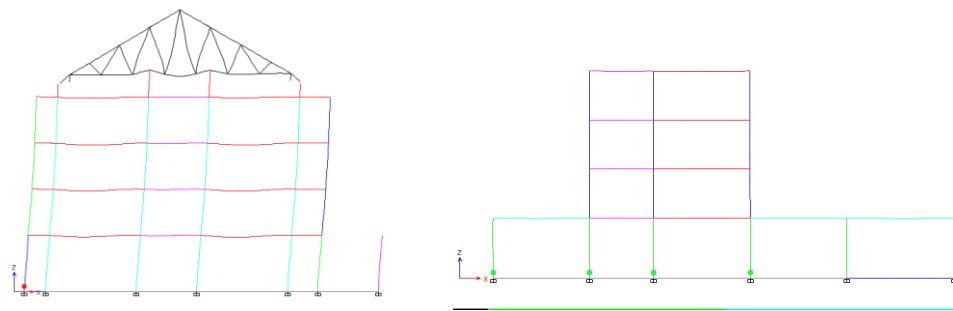
Level kinerja struktur ditentukan melalui kriteria rasio *displacement* atap struktur yang dihitung sebagai perbandingan antara *displacement* (D) atap struktur pada saat titik kinerja tercapai terhadap ketinggian titik kontrol *displacement* (H). Level kinerja struktur gedung untuk metode ATC-40, FEMA-356 dan FEMA-440 dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5 Rekapitulasi level kinerja struktur bangunan

Arah	Parameter	Hasil Analisis Pushover		
		ATC-40	FEMA-356	FEMA-356
Arah-x	Displacement, D (mm)	0,0520	0,296	0,296
	Tinggi, H (mm)	19250	19250	19250
	Rasio simpangan total maks., D/H	0,0027	0,015	0,015
	Level kinerja	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Damage Control</i>	<i>Damage Control</i>
Arah-y	Displacement, D (mm)	0,0317	0,710	0,710
	Tinggi, H (mm)	19250	19250	19250
	Rasio simpangan total maks., D/H	0,0016	0,037	0,037
	Level kinerja	<i>Immediate Occupancy</i>	<i>Life Safety</i>	<i>Life Safety</i>

### 3.6 Mekanisme Sendi Plastis

Pada mekanisme sendi plastis akan ditampilkan distribusi sendi plastis pada saat kondisi struktur diambang mengalami keruntuhan pada arah-x dan arah-y dapat dilihat pada Gambar 7 dan Gambar 8. Berdasarkan mekanisme keruntuhan baik arah-x dan arah-y pada step yang berbeda-beda, mayoritas terjadinya sendi plastis terdapat pada ujung kolom sehingga konsep yang diharapkan pada struktur yaitu balok lemah kolom kuat tidak tercapai karena keruntuhan terjadi terlebih dahulu dikolom.



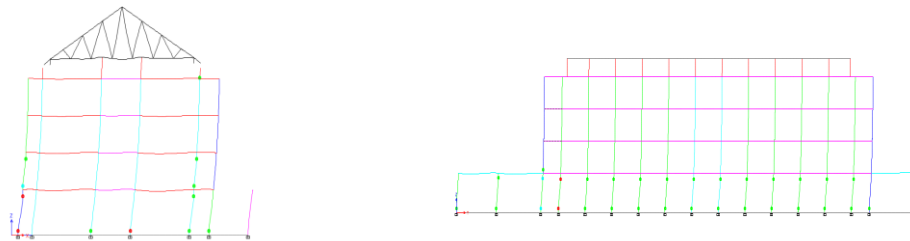
a. Sendi plastis step 3 arah-x

b. Sendi plastis step 5 arah-y

Gambar 7 Sendi plastis (a) arah-x; (b) arah-y

Pada step ke 3 sendi plastis pertama kali muncul pada ujung kolom pada arah-x dengan nilai *displacement* ( $dy$ ) 52,056 mm dan base shear 12142,2 kN dan pada arah-y pertama kali muncul pada ujung kolom bawah ada pada step ke 5 dengan nilai *displacement* ( $dy$ ) 110,294 mm dan bas shear 22591,5 kN.

Pada step ke 8 sendi plastis muncul di beberapa kolom dan balok pada arah-x dengan nilai *displacement* ( $dy$ ) 162,075 mm dan bas shear 25813,9 kN dan pada arah-y ada pada step ke 14 muncul beberapa sendi plastis pada kolom dan balok dengan nilai *displacement* ( $dy$ ) 202,65 mm dan bas shear 28286,6 kN.



Sendi plastis step 8 arah-x

b. Sendi plastis step 14 arah-y

Gambar 8 Sendi plastis (a) arah-x (b) arah-y

#### 4. Kesimpulan dan Saran

##### 4.1 Kesimpulan

Pada metode spektrum kapasitas ATC-40 didapatkan nilai *displacement* untuk arah-x sebesar 162,075 mm dan arah-y sebesar 202,65 mm, sedangkan pada metode *FEMA-356* dan *FEMA-440* diperoleh nilai *displacement* untuk arah-x sebesar 296,989 mm dan arah-y sebesar 710,350 mm. Tingkat level kinerja struktur pada metode spektrum kapasitas ATC-40 arah x-x dan y-y berada di level kinerja *Immediate occupancy*. Sedangkan pada metode *FEMA 356* dan 440 pada arah x-x didapat nilai drift aktual sebesar 0,015 berada di level kinerja *Damage Control*, sementara untuk arah y-y diperoleh drift aktual sebesar 0,037 berada di level kinerja *Life Safety*.

#### 4.2 Saran

Saran yang dapat diberikan sebagai bentuk rekomendasi dari penelitian ini dapat dinyatakan bahwa menurut FEMA 356 dan FEMA 440 drift aktual yang berada di level kinerja *Damage Control*, dapat berada pada level kinerja *Life safety*.

#### Daftar Kepustakaan

- Anzala, M., Fatimah, E., & Ismail, N. (2015). Kajian Pemetaan Kawasan Risiko Gempa Bumi Di Kabupaten Aceh Tengah. *Pascasarjana Universitas Syiah Kuala*, 9(1), 19–27.
- Applied Technology Council. (1996). ATC 40 Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings Redwood City California. *Seismic Safety Commisionsion*, 1(November 1996), 334.
- Arif, M. (2018). Kesiapsiagaan Masyarakat Kawasan Perkotaan Terhadap Bencana Gempa Bumi. *Jurnal Planologi Unpas*, 5(1), 903. <https://doi.org/10.23969/planologi.v5i1.928>
- Astuti, P., & Restu, F. (2016). *Tema: Paradigma Baru dalam Risk Communication menuju SDGs Model Struktur Portal Pelana untuk Rumah Tinggal Satu Lantai sebagai Mitigasi Bangunan di Daerah Rawan Gempa Gable Frame Structure Model for Single-Storey Dwelling as Building Mitigation in Earthqu.*
- ATC 40. (1996). ATC 40 Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings Redwood City California. *Seismic Safety Commisionsion*, 1(November 1996), 334.
- Badan Standardisasi Nasional. (2013). *Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain.*
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). Sni 1726-2019. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung Dan Non Gedung*, 8, 254.
- Chang, L., & Song, J. (2006). *CONSEQUENCE-BASED RISK MANAGEMENT OF SEISMIC Liang Chang and Junho Song. December.*
- Elnashai, A. S. (2001). Advanced inelastic static (pushover) analysis for earthquake applications. *Structural Engineering and Mechanics*, 12(1), 51–69. <https://doi.org/10.12989/sem.2001.12.1.051>
- Glorie, S. M., Luis, V., Muljati, I., & Pudjisuryadi, P. (2014). Evaluasi Kinerja Metode Direct Displacement Based Design Dan Force Based Design Pada Bangunan Vertical Setback 6 Lantai. *Jurnal Dimensi Pratama Teknik Sipil*, 2(2), 1–8.
- Golghate, K., Baradiya, V., & Sharma, A. (2013). Pushover Analysis of 4 Storey ' s Reinforced Concrete Building. *International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology*, 2(3), 80–84.

- Haikal, F., Irwansyah, Nina, F., Defry, B., & Zaenal, A. (2022). Jurnal Teknik Sipil. *Jurnal Teknik Sipil Universitas Syah Kuala*, 11(2), 107–116.
- Jan, T. S., Liu, M. W., & Kao Ying Chieh, C. (2004). An upper-bound pushover analysis procedure for estimating the seismic demands of high-rise buildings. *Engineering Structures*, 26(1), 117–128. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2003.09.003>
- Kim, S. P., & Kurama, Y. C. (2008). An alternative pushover analysis procedure to estimate seismic displacement demands. *Engineering Structures*, 30(12), 3793–3807. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2008.07.008>
- Liu, J., Wang, W., & Dasgupta, G. (2014). Pushover analysis of underground structures: Method and application. *Science China Technological Sciences*, 57(2), 423–437. <https://doi.org/10.1007/s11431-013-5430-z>
- Magenes, G. (2000). a Method for Pushover Analysis in Seismic Assessment of Masonry Buildings. *12th World Conference on Earthquake Engineering*, 1–8.
- McKenna, F., Scott, M. H., & Fenves, G. L. (2010). Nonlinear Finite-Element Analysis Software Architecture Using Object Composition. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 24(1), 95–107. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)cp.1943-5487.0000002](https://doi.org/10.1061/(asce)cp.1943-5487.0000002)
- Muksin, U., Irwandi, I., Idris, Y., Rusydy, I., Ningsih, W. A., Arifullah, & Vadzla, L. (2019). Sesar Aktif dan Kerentanan Seismik Aceh Tenggara. *Tsunami and Disaster Mitigation Research Center*.
- Muzli, M., Muksin, U., Nugraha, A. D., Bradley, K. E., Widiyantoro, S., Erbas, K., Jousset, P., Rohadi, S., Nurdin, I., & Wei, S. (2018). The 2016 Mw 6.5 Pidie Jaya, Aceh, North Sumatra, earthquake: Reactivation of an unidentified sinistral fault in a region of distributed deformation. *Seismological Research Letters*, 89(5), 1761–1772. <https://doi.org/10.1785/0220180068>
- Panyakapo, P. (2014). Cyclic Pushover Analysis procedure to estimate seismic demands for buildings. *Engineering Structures*, 66, 10–23. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2014.02.001>
- Paraskeva, T. S., & Kappos, A. J. (2010). Further development of a multimodal pushover analysis procedure for seismic assessment of bridges. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 39(2), 211–222. <https://doi.org/10.1002/eqe.947>
- Poluraju, P. (2011). Pushover analysis of reinforced concrete frame structure using SAP 2000. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 04(28), 173–181.
- Powell, G. H. (2008). Displacement-Based Seismic Design of Structures. *Earthquake Spectra*, 24(2), 555–557. <https://doi.org/10.1193/1.2932170>
- Saidi, T., Aulia, T. B., Setiawan, B., Abdullah, N., & Hasan, M. (2018). Spectral displacement (SD) of banda aceh's soft soil for seismic vulnerability assessment. *MATEC Web of Conferences*, 197, 1–4. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201819710001>
- Septianto, B., Christianto, D., & Pranata, H. (2019). Evaluasi Struktur Sistem Rangka Gedung Dengan Dinding Geser Berbasis Kinerja. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 2(2), 105. <https://doi.org/10.24912/jmts.v2i2.4299>

- Soni, D., Prajapati, J., & Sheth, R. (2018). Comparative study of nonlinear static pushover analysis and displacement based adaptive pushover analysis method. *International Journal of Structural Engineering*, 9(1), 1. <https://doi.org/10.1504/ijstructe.2018.10009092>
- Tata, A. (2021). Perilaku Struktur Gedung Bertingkat Ketidak Beraturan Vertikal Kekakuan Tingkat Lunak Dengan Analisis Berbasis Kinerja. *Teras Jurnal*, 11(2), 259. <https://doi.org/10.29103/tj.v11i2.475>
- Widjaja, K., Weliem, N., & Muljati, I. (2013). Evaluasi Kinerja Direct Displacement Based Design Dan Forced Based Design Pada Regular Frame 12 Lantai. *Jurnal Dimensi Pratama ...*, 1–7. <http://publication.petra.ac.id/index.php/teknik-sipil/article/view/1196>
- Zou, X. K., & Chan, C. M. (2005). Optimal seismic performance-based design of reinforced concrete buildings using nonlinear pushover analysis. *Engineering Structures*, 27(8), 1289–1302. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2005.04.001>