

Studi Kinerja Gedung Empat Tingkat Terhadap Beban Gempa dengan Metode Statik *Pushover*

Muhamad Ridho Saputra¹⁾

Fikri Alami²⁾

Ratna Widyawati³⁾

Abstract

The hospital is one of the public facilities that is included in an important category IV building so that earthquake resistant structure design is needed where the building must remain standing after being given the burden of the earthquake design. Pushover analysis is one of the methods used to analyze earthquake loads in order to determine the structural collapse behavior of earthquake loads. The purpose of this study is to determine and analyze the level of structural performance, the maximum base shear force held by the structure, the collapse pattern and the level of structural ductility due to earthquake loads.

Based on the analysis results, the target displacement value obtained by the FEMA-356 was 251.6 mm for the x-axis and 210.6 mm for the y-axis while the ATC-40 obtained a value of 322.027 mm for the x-axis and 229.491 mm for the y-axis. The level of performance produced by the two methods was damage control where the risk of human casualties was very small, the damage that occurs can still be repaired and the building is still able to withstand the burden of the designed earthquake. The structure collapse mechanism has strong column weak beam mechanism so that the structure of the building is relatively safe during the earthquake load. The ductility level of building based on SNI 1726:2002 was a partial ductile with the actual reduction factor, R was 4.07.

Keywords: pushover analysis, damage control, ductility.

Abstrak

Rumah sakit merupakan salah satu fasilitas yang termasuk bangunan penting kategori IV sehingga dibutuhkan perencanaan struktur tahan gempa dimana bangunan harus tetap berdiri setelah diberikan beban gempa rencana. Analisis *pushover* merupakan salah satu metode yang digunakan untuk menganalisis beban gempa guna mengetahui perilaku keruntuhan struktur. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dan menganalisis level kinerja struktur, gaya geser dasar maksimum yang ditahan struktur, pola keruntuhan dan tingkat daktilitas struktur akibat beban gempa.

Berdasarkan hasil analisis, didapatkan nilai *target displacement* dengan metode FEMA-356 sebesar 251,6 mm untuk arah-x dan 210,6 mm arah-y sedangkan dengan metode ATC-40 didapatkan nilai 322,027 mm untuk arah-x dan 229,491 mm untuk arah-y. Level kinerja yang dihasilkan dari kedua metode tersebut adalah *damage control* dimana resiko korban jiwa manusia sangat kecil, kerusakan yang terjadi masih dapat diperbaiki dan bangunan masih mampu menahan beban gempa rencana yang terjadi. Mekanisme keruntuhan struktur menunjukkan mekanisme *strong column weak beam* sehingga struktur bangunan tersebut relatif aman selama terkena beban gempa direncanakan. Tingkat daktilitas struktur bangunan berdasarkan SNI 1726:2002 adalah daktil parsial dengan nilai R aktual 4,07.

Kata kunci: *pushover, damage control, daktilitas.*

¹⁾ Mahasiswa pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung.

²⁾ Staf pengajar pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan. Prof. Sumantri Brojonegoro 1. Gedong Meneng Bandar Lampung. 35145.

³⁾ Staf pengajar pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan Prof. Sumantri Brojonegoro 1. Gedong Meneng Bandar Lampung. 35145.

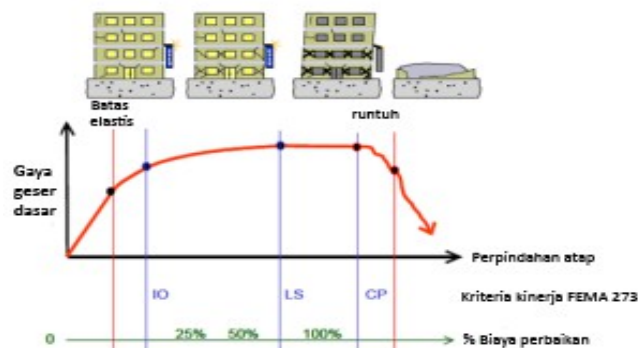
1. PENDAHULUAN

Perkembangan suatu kota menimbulkan tingkat permintaan sarana fasilitas umum bagi masyarakat bertambah, salah satunya rumah sakit. Rumah sakit merupakan salah satu fasilitas masyarakat yang termasuk bangunan penting sehingga dibutuhkan perencanaan struktur tahan gempa dimana bangunan harus tetap berdiri setelah diberikan beban gempa rencana. Perancangan struktur tahan gempa berbasis kinerja kini sudah menjadi salah satu pilihan yang sering digunakan dalam perencanaan bangunan tahan gempa. Dalam perencanaan ini, kinerja bangunan terhadap gempa dan pola keruntuhannya dapat diketahui. Analisis *Pushover* adalah analisis statik nonlinear untuk mengetahui perilaku keruntuhan suatu bangunan atau struktur. Dengan analisis ini, bangunan diberikan beban lateral secara bertahap sampai komponen struktur mengalami plastis dan rusak yang kemudian menghasilkan kurva *pushover*/kapasitas. Kurva tersebut menggambarkan hubungan antara gaya geser dan *displacement* pada atap.

2. TINJAUAN PUSTAKA

A. Perancangan Struktur Tahan Gempa Berbasis Kinerja

Perancangan bangunan tahan gempa berbasis kinerja merupakan proses yang dapat digunakan untuk perancangan bangunan baru maupun perkuatan bangunan yang sudah ada. Setiap simulasi memberikan informasi tingkat kerusakan (*level of damage*) dan ketahanan struktur, sehingga dapat memperkirakan berapa besar keselamatan (*life*), kesiapan pakai (*occupancy*) dan kerugian harta benda (*economic loss*) yang akan terjadi. Perencana selanjutnya dapat mengatur ulang resiko kerusakan yang dapat diterima sesuai dengan resiko biaya yang dikeluarkan.



Gambar 1. Ilustrasi kinerja bangunan berdasarkan FEMA-273 (1997)

Gambar 1 di atas menjelaskan secara kualitatif level kinerja FEMA-273 yang digambarkan bersama dengan suatu kurva hubungan gaya–perpindahan yang menunjukkan perilaku struktur secara menyeluruh terhadap pembebanan lateral. ATC-40 (1996) menetapkan level kinerja untuk perancangan struktur tahan gempa sebagai berikut:

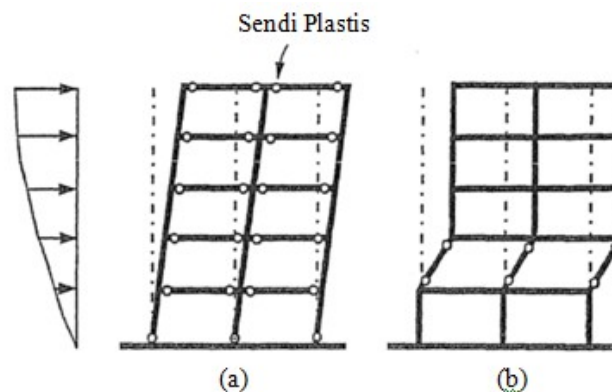
- **Immediate Occupancy** adalah kondisi dimana elemen struktural dan non-struktural mengalami kerusakan minimum. Ancaman adanya korban jiwa nyaris nol.
- **Damage Control** adalah kondisi yang mana elemen struktural dan non-struktural mengalami kerusakan minimum, namun fasilitas operasional gedung mungkin

ada yang tidak dapat digunakan. Sebaiknya dilakukan perbaikan sebelum digunakan kembali. Ancaman adanya korban jiwa sangat kecil.

- **Life Safety** yaitu suatu kondisi dimana terjadi kerusakan struktural tetapi tidak terjadi keruntuhan, komponen non struktural tidak berfungsi tetapi bangunan masih dapat digunakan setelah dilakukan perbaikan.
- **Structural Stability** yaitu suatu kondisi dimana ancaman terjadinya korban jiwa mungkin cukup tinggi dikarenakan gagal/runtuhnya elemen-elemen non struktural. Elemen struktural diharapkan tidak mengalami keruntuhan. Pada level ini bangunan sudah tidak dapat digunakan sama sekali.

B. Mekanisme Keruntuhan

Perilaku struktur bila beban yang bekerja pada struktur tersebut terus bertambah secara linier, maka pada saat struktur dengan beban relatif kecil, besarnya momen-momen yang ada di setiap penampangnya masih terletak dalam daerah elastis. Kemudian apabila beban yang ditingkatkan bertambah besar akan mengakibatkan besar momen pada salah satu penampang mencapai kondisi momen plastisnya, sehingga akan terbentuk sendi plastis pertama, kedua, ketiga dan seterusnya sampai terbentuk jumlah sendi plastis yang cukup untuk menyebabkan struktur tersebut mengalami keruntuhan. Perencanaan suatu bangunan pada daerah resiko gempa besar harus sesuai dengan konsep desain kolom kuat dan balok lemah. Apabila terjadi keruntuhan struktur, maka yang runtuh adalah baloknya dahulu. Apabila kolomnya runtuh terlebih dahulu, maka struktur langsung kolaps.



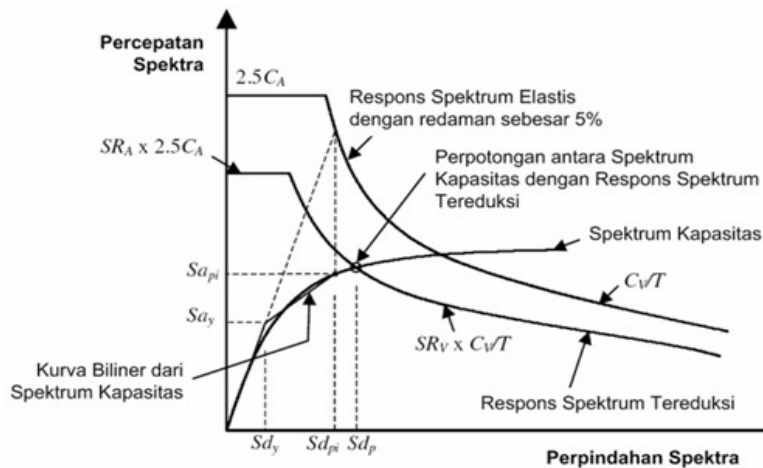
Gambar 2. Sendi plastis pada balok (a) dan pada kolom (b)

C. Analisis Nonlinear Statik *Pushover*

Analisis nonlinear statik *pushover* adalah suatu analisis statik nonlinier yang digunakan untuk mengetahui perilaku keruntuhan suatu struktur bangunan, dimana pengaruh gempa rencana terhadap struktur bangunan tersebut dianggap sebagai beban statik yang bekerja pada pusat massa masing-masing lantai. Dalam analisisnya beban statik ini nilainya ditingkatkan secara bertahap sampai melampaui beban yang menyebabkan terjadinya pelelehan (sendi plastis) pertama pada struktur bangunan tersebut, dan kemudian dengan peningkatan beban selanjutnya akan mengalami perubahan bentuk pasca elastik yang besar sampai struktur tersebut mencapai kondisi di ambang keruntuhan. Analisis Nonlinear Statik *Pushover* menghasilkan kurva *pushover* yang akan memperlihatkan suatu kondisi linier sebelum mencapai kondisi leleh dan selanjutnya berperilaku nonlinier.

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 spectrum* (ADRS).



Gambar 3. 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 3). *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.

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* (δ), dengan menetapkan dahulu waktu getar efektif (T_e) untuk memperhitungkan kondisi inelastik struktur gedung.

$$\delta = C_0 \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot S_a \cdot \left(\frac{T_e}{2\pi} \right)^2 \cdot g \quad (1)$$

Dimana,

δ = 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 dengan peralihan respons elastik linier. $C_1 = 1,0$ dan $C_1 = \frac{(1+(R-1)\frac{T_s}{T_e})}{R}$ untuk $T_e < T_s$

T_e = Periode getar alami efektif bangunan

T_s = Periode karakteristik dari respon spektrum

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

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

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_m = Faktor massa efektif berdasarkan Tabel 3-1 dari FEMA-356

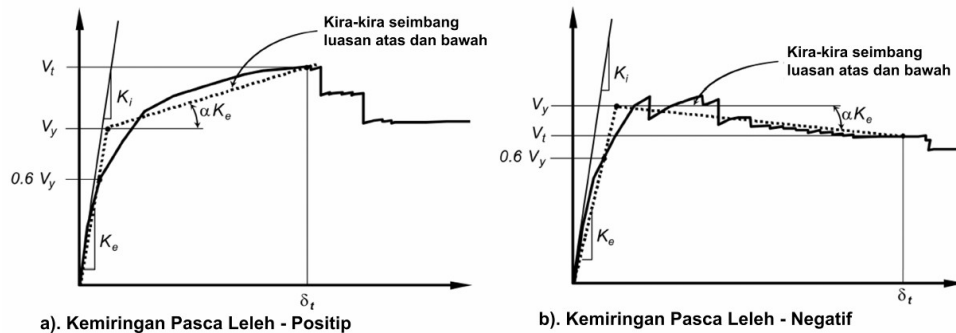
C_2 = Faktor modifikasi untuk memperlihatkan *pinched hysteresis shape*, degradasi kekakuan dan penurunan kekuatan pada respon peralihan maksimum berdasarkan Tabel 3-3 dari FEMA-356

C_3 = Faktor modifikasi untuk memperlihatkan kenaikan peralihan akibat efek p-delta. Untuk gedung dengan perilaku kekakuan pasca-leleh bernilai positif maka $C_3 = 1,0$. Sedangkan untuk gedung dengan perilaku pasca-leleh bernilai negatif,

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

α = Rasio kekakuan pasca-leleh terhadap kekakuan elastik efektif

g = Percepatan gravitasi 9,81 m/s²



Gambar 4. Perilaku pasca leleh sistem struktur berdasarkan FEMA-356 (2000)

3. METODE PENELITIAN

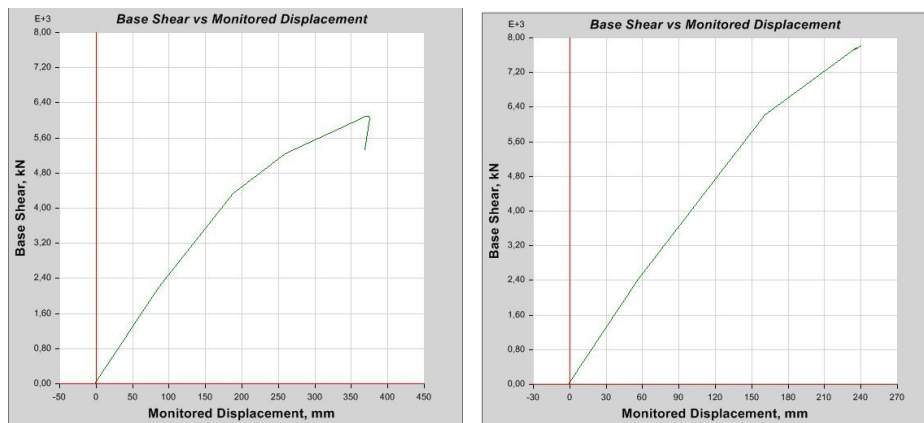
Penelitian ini dilakukan dengan metode analisis data kuantitatif dimana data-data berupa angka dan data-data pendukung yang sudah dikumpulkan diolah dengan menggunakan bantuan *software* dalam rangka menjawab rumusan masalah. Analisis nonlinear statik *pushover* digunakan untuk mengevaluasi tingkat kinerja bangunan. Analisis dilakukan dengan mengacu pada SNI 1726 (2012), metode *target displacement* FEMA-356 dan metode spektrum kapasitas ATC-40. Struktur gedung terdiri dari empat lantai dengan sebuah atap tambahan yang berada diatas lantai empat, atap tersebut merupakan atap dari tangga dan lift untuk akses lantai empat menuju ke atap. Dalam analisis *pushover*, atap tambahan dimodelkan namun tidak dijadikan titik acuan *displacement* untuk atap karena merupakan sebidang struktur tambahan sehingga titik acuan *displacement* atap berada

pada lantai empat dengan ketinggian 17,4 m. Berdasarkan SNI 1726 (2012), dalam penentuan beban gempa termasuk kategori resiko 4 untuk gedung rumah sakit dan Faktor keutamaan (I_e) adalah 1,5. Klasifikasi jenis tanah diasumsikan termasuk jenis tanah sedang (SD).

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Kurva Kapasitas

Dari hasil analisis *pushover* didapatkan kurva kapasitas dari struktur. Kurva kapasitas adalah kurva hubungan antara *displacement* lateral lantai atap yang ditinjau dengan gaya geser dasar (*base shear*). Kurva kapasitas hasil analisis *pushover* untuk masing-masing arah adalah sebagai berikut:

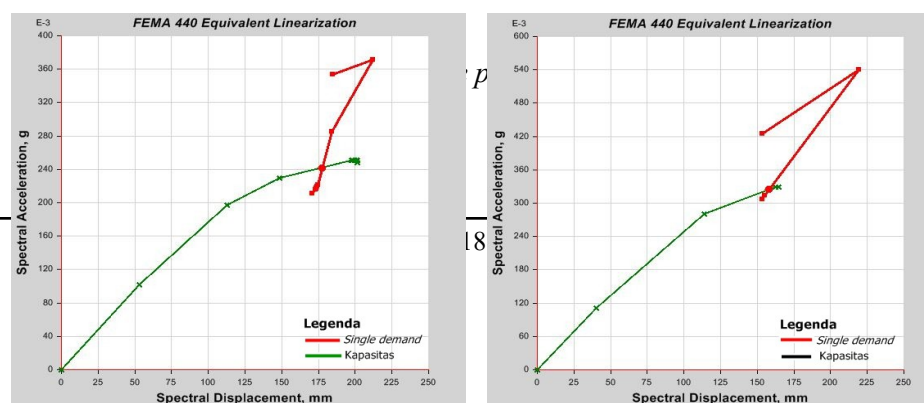


Gambar 5. Kurva kapasitas arah-x dan arah-y

Dari grafik-grafik di atas untuk arah-x didapatkan nilai *displacement* (δ_y) 86,113 mm dan *base shear* (V_y) 2202,6403 kN pada pelelehan pertama, kemudian nilai *displacement* (δ_m) 368,641 mm dan *base shear* (V_m) 5341,7305 kN pada saat kondisi struktur diambang keruntuhan. Untuk arah-y didapatkan nilai *displacement* (δ_y) 56,473 mm dan *base shear* (V_y) 2432,406 kN pada pelelehan pertama, kemudian nilai *displacement* (δ_m) 239,861 mm dan *base shear* (V_m) 7824,0059 kN pada saat kondisi struktur diambang keruntuhan.

B. Metode Spektrum Kapasitas ATC-40

Berdasarkan hasil analisis *pushover* didapatkan kurva spektrum kapasitas. Program elemen hingga 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 merupakan titik kinerja (*performance point*) struktur. Kurva spektrum kapasitas ditampilkan sebagai berikut:



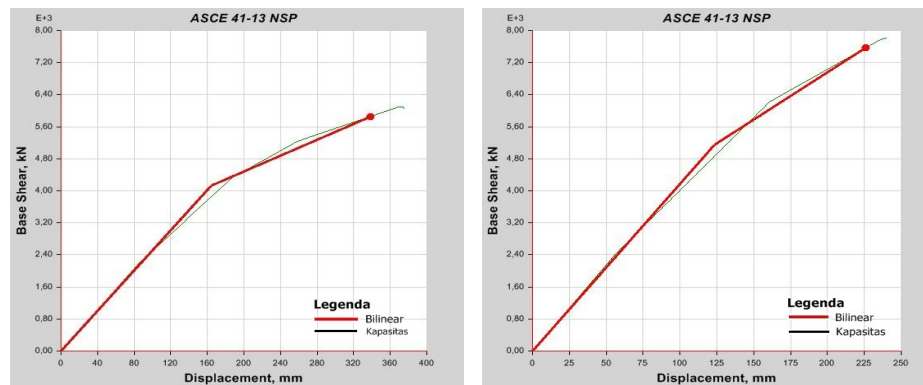
Target displacement dengan metode spektrum kapasitas ATC-40 pada setiap arah ditampilkan dalam Tabel 1 sebagai berikut:

Tabel 1. *Target displacement* dengan metode spektrum kapasitas ATC-40

Performance point	Arah-x	Arah-y
V (kN)	5730,4947	7641,4163
D, δ (mm)	322,027	229,491
S _a	0,242	0,325
S _d	177,668	157,951

C. Metode *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 sebagai berikut:



Gambar 7. Kurva bilinear *pushover* arah-x dan arah-y

Target displacement dengan metode *target displacement* FEMA-356 pada setiap arah ditampilkan dalam Tabel 2 sebagai berikut

Tabel 2. *Target displacement* dengan metode *target displacement* FEMA-356

Parameter hitungan	Arah-x	Arah-y
C ₀	1,35	1,35
C ₁	1	1
C ₂	1	1
C ₃	1	1
S _a	0,350	0,418
T _e (s)	1,463	1,225
g (m/s ²)	9,81	9,81
D, δ (mm)	251,6	210,6

D. Penentuan Level Kinerja Struktur

ATC-40 (2000) menetapkan batasan rasio *displacement* atap sebagai berikut:

Tabel 3. Batasan rasio simpangan/*displacement* atap

Parameter	Performance level			
	Immediate Occupancy	Damage control	Life safety	Structural stability
Simpangan maksimum total	0,01	0,01 s.d. 0,02	0,02	0,33 V_i/P_i
Simpangan maksimum inelastik	0,005	0,005 s.d. 0,0015	Tidak ada batasan	Tidak ada batasan

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 dan FEMA-356 dapat dilihat pada Tabel 4.

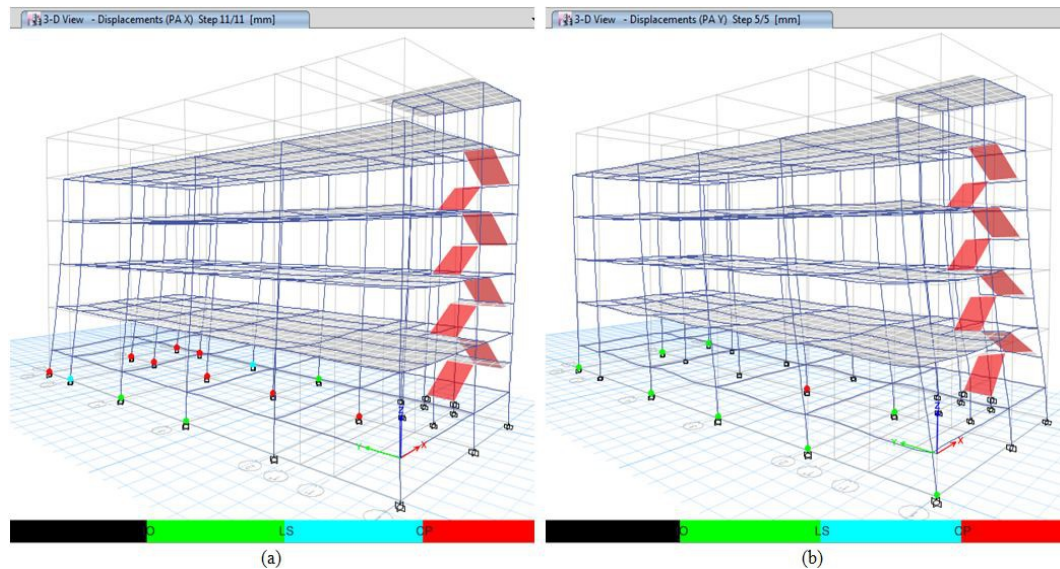
Tabel 4. Level kinerja gedung

Arah	Parameter	Hasil Analisis Pushover	
		ATC-40	FEMA-356
Arah-x	Displacement, D (mm)	322,027	251,6
	Tinggi, H (mm)	17400	17400
	Rasio simpangan total maks., D/H	0,0185	0,0132
	Level kinerja	<i>Damage control</i>	<i>Damage control</i>
Arah-y	Displacement, D (mm)	229,491	210,6
	Tinggi, H (mm)	17400	17400
	Rasio simpangan total maks., D/H	0,0145	0,0121
	Level kinerja	<i>Damage control</i>	<i>Damage control</i>

2.1.

E. 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.



Gambar 8. Mekanisme sendi plastis akibat push-x step 11 (a) dan akibat push-y step 5 (b)

Berdasarkan mekanisme keruntuhan baik arah-x dan arah-y pada *step* yang berbeda-beda, mayoritas terjadinya sendi plastis terdapat pada pangkal kolom sehingga konsep yang diharapkan pada struktur yaitu balok lemah kolom kuat sudah dapat tercapai.

F. Faktor Daktilitas (μ) dan Faktor Reduksi Gempa Aktual (R)

Berdasarkan SNI 1726 (2002), faktor daktilitas struktur gedung (μ) adalah rasio antara simpangan maksimum struktur gedung akibat pengaruh gempa rencana pada saat mencapai kondisi diambang keruntuhan/*collapse* (δ_m) dan simpangan struktur gedung saat terjadi pelelehan pertama (δ_y). Berdasarkan kurva kapasitas yang didapatkan, diperoleh besarnya faktor daktilitas aktual struktur gedung untuk arah-x (μ_x) dan arah-y (μ_y) sebagai berikut:

$$\mu_x = \frac{368,641}{86,113} = 4,281$$

$$\mu_y = \frac{239,861}{56,473} = 4,218$$

Berdasarkan SNI 1726 (2002), faktor reduksi gempa (R) didapat dari hasil kali antara faktor daktilitas dengan nilai faktor kuat lebih sistem ($R = \mu \cdot \Omega_0$), dimana Ω_0 adalah faktor kuat lebih sistem yang dihitung dari beban gempa saat kondisi leleh (V_y) dibagi dengan beban gempa rencana (V_d). Hasil perhitungan faktor kuat lebih sistem (Ω_0) ditampilkan dalam Tabel 5.

Tabel 5. Nilai kuat lebih sistem (Ω_0)

Arah analisis	Gaya geser kondisi leleh	Gaya geser rencana, V_d	Rasio V_y/V_d ,
---------------	--------------------------	---------------------------	-------------------

<i>pushover</i>	pertama, V_y (kN)	(kN)	Ω_0
Arah-x	2202,6403	2323,5754	0,95
Arah-y	2432,4206	2323,5754	1,05

Berdasarkan Tabel 5 diperoleh besarnya faktor daktilitas aktual struktur untuk arah-x (R_x) dan arah-y (R_y) gedung sebagai berikut:

$$R_x = 4,28 \cdot 0,95 = 4,07$$

$$R_y = 4,22 \cdot 1,05 = 4,43$$

Berdasarkan nilai dari faktor daktilitas aktual dan faktor reduksi beban gempa aktual struktur pada kasus pembebanan *pushover* didapatkan nilai menentukan untuk $\mu = 4,22$ dan nilai $R = 4,07$ sehingga berdasarkan SNI 1726 (2002) taraf kinerja struktur gedung cenderung berperilaku daktil parsial.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai *displacement* menggunakan metode *target displacement* FEMA-356 didapatkan hasil yang lebih kecil dibandingkan metode spektrum kapasitas ATC-40. Perbedaan hasil dari kedua metode yang digunakan disebabkan karena pengolahan data kurva *pushover* pada masing-masing metode menggunakan pendekatan perhitungan yang berbeda.
2. Pada metode spektrum kapasitas ATC-40 didapatkan nilai *displacement* untuk arah-x sebesar 322,027 mm dan arah-y sebesar 229,491 mm, sedangkan pada metode *target displacement* FEMA-356 didapatkan nilai *displacement* untuk arah-x sebesar 251,6 mm dan arah-y sebesar 210,6 mm.
3. Tingkat level kinerja struktur pada metode spektrum kapasitas ATC-40 dan metode *target displacement* FEMA-356 berada pada tingkat *damage control* dimana resiko korban jiwa manusia sangat kecil, kerusakan yang terjadi masih dapat diperbaiki dan bangunan masih mampu menahan beban gempa rencana yang terjadi.
4. Pola keruntuhan gedung saat dikenai beban gempa rencana telah memenuhi pola keruntuhan yang diharapkan yaitu balok lemah kolom kuat dimana pada hasil analisis *pushover*, terbentuknya sendi-sendi plastis terjadi pada mayoritas ujung-ujung balok dan pada ujung bawah kolom lantai dasar.
5. Tingkat daktilitas struktur bangunan berdasarkan SNI 1726 (2002) adalah daktil parsial dengan nilai R aktual = 4,07.

DAFTAR PUSTAKA

- ATC-40, 1996. *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*, American Society of Civil Engineers, Virginia.
- FEMA-273, 1997. *NEHRP Guidelines For The Seismic Rehabilitation of Buildings*, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.
- FEMA-356, 2000. *PrEstandard And Rehabilitation Of Buildings*, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.
- SNI 1726, 2002. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*, Badan Standarisasi Nasional Indonesia, Jakarta.
- SNI 1726, 2012. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*, Badan Standarisasi Nasional Indonesia, Jakarta.
- Tavio, dan Wijaya U., 2018. *Desain Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja*, Penerbit Andi Offset, Yogyakarta.

