JOURNAL FLYOVER (JFO)
Magister Teknik Sipil Program Pascasarjana UMI

Vol. 02, No. 02 Tahun 2022
E-ISSN: 2829-5684

Evaluasi Kinerja Struktur Beton Bertulang Dengan Pushover Analysis Berdasarkan ATC-40, FEMA 356 dan FEMA 440

Indah Nur Afiah [1*], Hanafi Ashad [2], Mohammad Junaedy Rahman [3]

1*) Magister Teknik Sipil, Universitas Muslim Indonesia, Kota Makassar, indahafiah@gmail.com
2) Teknik Sipil, Universitas Muslim Indonesia, Kota Makassar
3) Teknik Sipil, Universitas Negeri Makassar, Kota Makassar

Abstract

Based on the 2017 Seismic Hazard Map of Indonesia, Palu is one of the cities that has a very-high earthquake potential. In determining the performance level of the UPT-UPBJJ Palu Open University Building, the concept of performance-based seismic evaluation is used and carried out by pushover analysis using the SAP2000 program based on SNI 1726:2019, ATC-40, FEMA-356, and FEMA 440 by providing static lateral loads pattern on the structure and increasing the multiplier gradually until target displacement is reached. The maximum total drift using the ATC-40 is 0.0101 m for the X-Direction and 0.0081 m for the Y-Direction so the performance level of the structure is at the Damage Control which indicates that the building is still able to withstand the earthquake that occurred and the risk of life-threatening injury is very low. For the target displacement, the evaluation results for the FEMA 356 obtained 0.1123 m for the X-Direction and 0.1401 m for the Y-Direction so that the actual drift in each direction is 1.250% and 1.556%, while for the FEMA 440, the target displacement is 0.1721 m for the X-Direction and 0.1787 m for the Y-Direction so that the actual drift in each direction is 1.910% and 1.990% so the performance level of the structure is at the Life Safety which means that the building suffers structural and non-structural damage but can still be reactivated after repairs and injuries may occur during the earthquake but the overall risk of life-threatening injury is expected to be low.

Keywords: Earthquake, Performance Level, Pushover Analysis,

Abstrak

Berdasarkan Peta Sumber Bahaya Gempa Indonesia tahun 2017, Kota Palu termasuk salah satu kota yang memiliki potensi gempa sangat tinggi. Dalam penentuan tingkat kinerja Gedung UPT- UPBJJ Universitas Terbuka Palu digunakan konsep evaluasi seismik berbasis kinerja (Performance Based Seismic Evaluation) dengan analisis pushover menggunakan program SAP2000) berdasarkan SNI 1726 : 2019, ATC-40, FEMA 356 dan FEMA 440 dengan memberikan pola beban lateral statik pada struktur dan meningkatkan faktor pengali secara bertahap sampai target perpindahan lateral dari suatu titik acuan tercapai. Hasil simpangan total maksimum menggunakan Metode ATC-40 adalah sebesar 0.0101 m untuk Arah-X dan 0.0081 m untuk Arah-Y sehingga tingkat kinerja struktur berada pada level Damage Control yang menunjukkan bahwa bangunan masih mampu menahan gempa yang terjadi dan resiko korban jiwa manusia sangat rendah. Untuk nilai target perpindahan, hasil evaluasi untuk Metode FEMA 356 diperoleh sebesar 0.1123 m untuk Arah-X dan 0.1401 m untuk Arah-Y serta drift aktual pada masing-masing arah sebesar 1.250% dan 1.556%, sedangkan untuk Metode FEMA 440 diperoleh nilai target perpindahan sebesar 0.1721 m untuk Arah-X dan 0.1787 m untuk Arah-Y serta drift aktual pada masing-masing arah sebesar 1.910% dan 1.990% maka tingkat kinerja struktur yang didapatkan berada pada level Life Safety yang menunjukkan bahwa pada saat struktur menerima beban gempa bangunan mengalami kerusakan komponen struktural dan non-struktural namun masih dapat difungsikan kembali setelah dilakukan perbaikan dan resiko korban jiwa diperkirakan rendah.

Kata Kunci: Analisis Pushover, Gempa, Tingkat Kinerja.

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang berada di wilayah jalur gempa pasifik (Circum Pasific Earthquake Belt) dan jalur gempa asia (Trans Asiatic Earthquake Belt) sehingga sangat berpotensi mengalami gempa. Hal ini menegaskan pentingnya tinjauan beban gempa rencana dalam perencanaan desain struktur sebagai antisipasi sehingga apabila terjadi gempa, 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 pascaelastik sehingga tingkat keamanan bangunan terhadap gempa dan keselamatan jiwa penghuninya lebih terjamin.

Konsep terbaru dalam perencanaan maupun evaluasi bangunan terhadap gempa saat ini adalah perencanaan berbasis kinerja yang dikenal sebagai Performance Based Earthquake Engineering (PBEE). Dalam perkembangannya, analisis statik non-linier yang lebih dikenal dengan istilah pushover analysis merupakan salah satu metode dalam konsep PBEE untuk mengevaluasi bangunan eksisting sehingga dapat diketahui kinerja seismik bangunannya. Analisis pushover adalah suatu analisis statik non-linier dimana suatu bangunan diberi beban lateral statik pada struktur dan meningkatkan faktor pengali secara bertahap sampai suatu target perpindahan lateral tercapai.

Pada Peta Sumber Bahaya Gempa Indonesia tahun 2017, Kota Palu termasuk ke dalam jajaran kota yang memiliki potensi gempa sangat tinggi. Kota Palu yang merupakan pusat pemerintahan dan jantung perekonomian Provinsi Sulawesi Tengah telah terkena dampak bencana gempa dengan skala 7,4 Mw yang mengakibatkan tsunami pada tanggal 28 September 2018 silam dan menyebabkan kelumpuhan Kota Palu dari berbagai aspek.

Berdasarkan uraian tersebut, maka penulis mengangkat penelitian ini dengan tujuan untuk mengevaluasi tingkat kinerja struktur bangunan pada Kota Palu dimana dalam hal ini diambil kasus Gedung UPT UPBJJ Universitas Terbuka Palu dengan analisis pushover dan ditinjau berdasarkan metode capacity spectrum (ATC-40), metode displacement coefficient (FEMA 356) dan metode displacement coefficient modification (FEMA 440).

2. METODE

A. Ruang Lingkup

Untuk mencapai sasaran yang diharapkan dan penelitian ini dapat berjalan dengan efektif maka perlu diadakan pembatasan permasalahan, yaitu sebagai berikut:

1. Studi kasus dilakukan pada Gedung UPT UPBJJ Universitas Terbuka Palu yang berfungsi sebagai gedung perkantoran dan terletak di Kota Palu, Provinsi Sulawesi Tengah dengan jenis tanah lanau berpasir dan berbatu dengan kepadatan sedang.
2. Struktur gedung terdiri dari 2 lantai dan 2 dak atap yang akan dimodelkan dengan program bantu SAP2000 v.22.0.0 sesuai data-data struktur eksisting yang ada.
3. Pembebanan gempa yang digunakan berdasarkan SNI 1726 : 2019 tentang Tata Cata Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-gedung.
4. Perilaku struktur dianalisis menggunakan analisis *pushover* menggunakan program bantu SAP2000 v.22.0.0.
5. Tingkat kinerja struktur dari hasil analisis ditetapkan berdasarkan *ATC*-40, *FEMA* 356, dan *FEMA* 440.

B. Metode Pengumpulan Data

Data primer adalah data-data yang diperoleh melalui peninjauan dan pengamatan langsung di lapangan. Pengamatan ini mencakup lokasi rencana proyek, luas area proyek, dan keadaan umum proyek. Data sekunder adalah data pendukung yang digunakan dalam penyusunan penelitian ini. Data sekunder ini meliputi data *shop drawing*, laporan hasil perhitungan struktur dan laporan hasil pengujian tanah (*soil test*) serta laporan N-SPT penyelidikan tanah. Data-data ini digunakan sebagai data pendukung dalam pemodelan struktur 3D yang selanjutnya dianalisis dengan bantuan SAP2000.

C. Metode dan Tahapan Analisis Data

Dalam penelitian ini dilakukan analisis statik nonlinier atau analisis *pushover* dimana dilakukan pembebanan lateral statik pada struktur bangunan dan peningkatan faktor pengali secara bertahap sampai suatu target perpindahan lateral tercapai yang akan dihitung menggunakan bantuan program SAP2000 untuk menentukan tingkat kinerja struktur (*performance level*) gedung yang ditinjau.

Sebelum dilakukan analisis *pushover*, terlebih dahulu dilakukan pemodelan struktur eksisting pada program dan penentuan parameter-parameter beban gempa dengan memperhatikan standar dan persyaratan yang berlaku berdasarkan SNI 1726 : 2019.

Setelah dilakukan pemodelan struktur maka dilakukan analisis terhadap beban gempa yang bekerja sesuai prosedur analisis yang diijinkan untuk karakteristik struktur dalam hal ini dilakukan dua analisis yaitu analisis statik ekuivalen dan analisis statik dinamis dengan program SAP2000 yang digunakan untuk melakukan evaluasi respon struktur pada kondisi elastis.

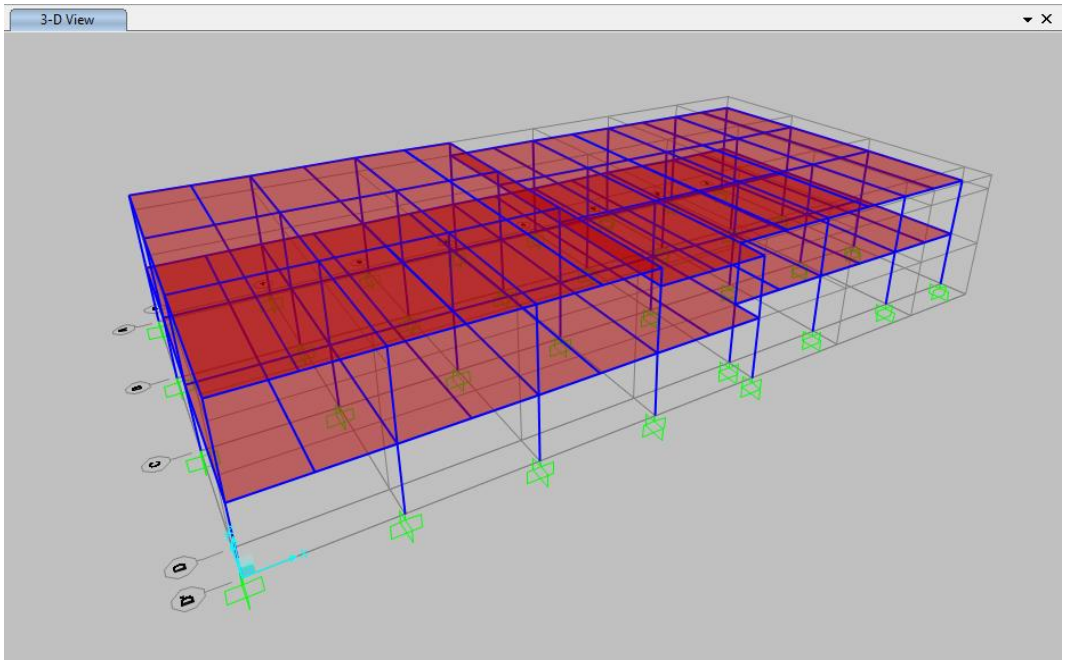
Jika evaluasi respon struktur pada parameter-parameter yang ditinjau telah memenuhi standar dan persyaratan yang berlaku berdasarkan SNI 1726 : 2019 maka dapat dilanjutkan untuk melakukan analisis *pushover* untuk mengetahui respon struktur pada kondisi in-elastis.

Dari hasil analisis *pushover* diperoleh kurva kapasitas yang menunjukkan perilaku struktur saat dikenai gaya geser pada level tertentu yang selanjutnya digunakan sebagai dasar untuk menentukan tingkat kinerja (*performance* level) struktur yang ditinjau.

3. PEMBAHASAN

A. Pemodelan Struktur

Pembuatan pemodelan 3D struktur bangunan Gedung UPT UPBJJ Universitas Palu sesuai dengan data, informasi dari *shop drawing* eksisting Gedung UPT UPBJJ Universitas Palu dan penentuan parameter-parameter beban gempa sesuai standar dan persyaratan yang berlaku pada SNI 1726 : 2019. Kemudian setelah dilakukan pemodelan 3D dan analisis kekuatan bangunan terhadap gaya gempa, dilakukan pemeriksaan hasil pemodelan terlebih dahulu sebelum dilanjutkan melakukan analisis statik nonlinier (analisis *pushover*) dengan bantuan program. Dalam penelitian ini, proses analisis dilakukan dengan bantuan program SAP2000 kemudian dilanjutkan dengan perhitungan manual untuk menentukan tingkat kinerja struktur (**Gambar 1**)



Gambar 1 Pemodelan 3D Gedung UPT UPBJJ UT Palu

B. Faktor Partisipasi Massa (FPM)

Faktor partisipasi massa merupakan kontribusi massa bangunan terhadap respon struktur dalam analisa tiga dimensi, dimana FPM 100% mengambarkan seluruh massa struktur sudah terakomodir dalam analisa tiga dimensi untuk mencapai respon total maksimum. Berdasarkan SNI 1726 : 2019 pasal 7.9.1.1 yang menyatakan analisa harus menyertakan jumlah ragam yang cukup untuk mendapatkan partisipasi massa ragam terkombinasi yang nilainya paling sedikit 90% dari masa aktual yang dimodelkan.

Tabel 1 Faktor Partisipasi Massa

Mode	UX	UY	Sum UX	Sum UY
1	0.00251	0.64457	0.00251	0.64457
2	0.85630	0.00539	0.85882	0.64996
3	0.00370	0.20830	0.86251	0.85826
4	0.00001	0.00131	0.86252	0.85957
5	0.00066	0.00001	0.86318	0.85958
6	0.00007	0.10662	0.86326	0.96620
7	0.12719	0.00014	0.99044	0.96634
8	0.00760	0.00062	0.99804	0.96696
9	0.00001	0.03154	0.99805	0.99850
10	0.00075	0.00002	0.99880	0.99852
11	0.00028	0.00084	0.99908	0.99936
12	0.00066	0.00030	0.99974	0.99966

Dari hasil analisis menggunakan SAP2000 pada **Tabel 1** terlihat bahwa respon total Sum-UX dan Sum-UY untuk mode ke-7 nilai masing-masing Sum-UX = 0.99044 dan Sum-UY = 0.96634 yang berarti sudah memenuhi syarat minimum 90% sehingga menunjukkan bahwa massa struktur telah terakomodir secara baik.

C. Simpangan Antar Lantai

Penentuan simpangan antar lantai desain (Δ) harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa di tingkat teratas dan terbawah yang ditinjau, batasan simpangan lantai diatur dalam SNI 1726 : 2019 pasal 7.8.6. yang ditunjukkan pada Persamaan (1).

$$\Delta = \frac{(\delta 2 - \delta 1) x\, C_d}{I_e} \qquad (1)$$

dimana untuk gedung yang ditinjau ini sesuai SNI 1726 : 2019 Tabel 20 dengan kategori resiko II dan struktur kondisi pertama ditetapkan nilai Δa = $0.025h_{sx}$ sehingga hasil perhitungan simpangan antar lantai pada Arah-X (U-S) Δ_x, dan pada Arah-Y (B-T) Δ_y dimana nilai total *drift* diambil dari analisa program SAP2000 dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2 Nilai Simpangan Antar Lantai Arah-X (U-S) dan Arah-Y (B-T)

Lantai	h_{sx} (m)	δ_x (m)	δ_y (m)	Δ_x (m)	Δ_y (m)	Δa (m)	Ket.
Dak Atap 2	1	0.0147	0.0146	0.0051	0.0047	0.0250	aman
Dak Atap 1	4	0.0138	0.0137	0.0398	0.0414	0.1000	aman
Lantai 2	4	0.0066	0.0062	0.0361	0.0342	0.1000	aman

D. Gaya Geser Dasar

Berdasarkan SNI 1726 : 2019 Pasal 7.9.4.1 mengenai skala gaya, nilai akhir (Gaya geser dasar) dinamik dari hasil analisis ragam (V_t) struktur gedung terhadap beban gempa nominal akibat pengaruh beban gempa rencana tidak boleh diambil kurang dari 85% gaya geser dasar statik ekuivalen (V_s) (**Tabel 3**)

Tabel 3 Nilai Akhir Respon Spektrum dan Statik Ekuivalen Arah-X dan Y

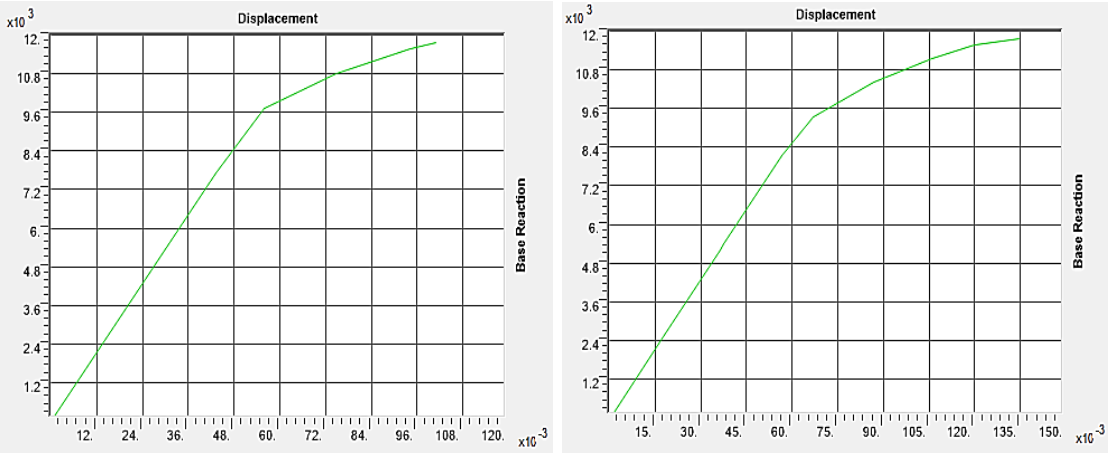
Arah	V_t (kN)	V_s (kN)	85%V_s (kN)	Syarat $V_t \geq 85\%V_s$ (kN)
X (U-S)	2232.7010	2269.8835	1929.4010	memenuhi
Y (B-T)	1931.9530	2269.8835	1929.4010	memenuhi

Dari **Tabel 3** dapat dilihat bahwa gaya geser dasar dinamik pada Arah-X (U-S) dan Arah-Y (B-T) sudah mencapai syarat 85% gaya geser dasar statik ekuivalen.

E. Analisis Statik Nonlinier (*Pushover Analysis*)

Dari hasil prosedur analisis *pushover* diperoleh respons in-elastis struktur yang digunakan sebagai kriteria untuk mengetahui kinerja bangunan. Beberapa parameter yang diteliti untuk mengetahui kinerja bangunan pada kondisi in-elastis diantaranya : titik kinerja (*performance point*), tingkat kinerja (*performance level*), serta skema kelelehan berupa distribusi sendi plastis.

Dari proses iterasi program terhadap analisis *pushover* diperoleh kurva hubungan antara gaya geser dasar (*V*) dan perpindahan titik acuan pada atap (*D*) sebagai bentuk respon struktur terhadap pemberian beban lateral yang diberikan secara bertahap yang disebut kurva kapasitas dan selanjutnya digunakan untuk melakukan evaluasi kinerja struktur.



Gambar 2 Kurva Kapasitas Arah-X (kiri), Kurva Kapasitas Arah-Y (kanan)

Dari **Gambar 2** dapat dilihat hasil analisis *pushover* menggunakan SAP2000 dalam bentuk kurva kapasitas Arah-X (U-S) yang menunjukkan nilai perpindahan terbesar D = 0.101 m pada saat terjadinya gaya geser dasar V = 11750.120 kN, sedangkan pada kurva kapasitas Arah-Y (B-T) nilai perpindahan terbesar D = 0.134 m pada saat terjadinya gaya geser dasar V = 11787.038 kN.

F. Metode Capacity Spectrum (ATC-40)

Hasil evaluasi kinerja berdasarkan metode *ATC*-40 ditentukan dengan mencari nilai simpangan total maksimum terjadi pada kondisi *performance point* dan nilai simpangan inelastis maksimum. Dari hasil analisis pada SAP2000 diperoleh nilai perpindahan pada *performance point* (D_t) adalah sebesar 0.0907 m untuk Arah-X (U-S) dan 0.1121 m Arah-Y (B-T), sedangkan nilai perpindahan pada saat beban dorong pertama/step ke-1 (D_1) adalah sebesar 0.0180 m untuk Arah-X (U-S) dan 0.0183 m Arah-Y (B-T) sehingga dapat dihitung :

Simpangan total maksimum = $\frac{D_t}{H_{total}}$ (2)

- Untuk Arah X (U-S) $= \frac{0.0907}{9}$

  $= 0.0101$

- Untuk Arah Y (B-T) $= \frac{112.138}{9}$

  $= 0.0125$

- Simpangan inelastis maksimum $= \frac{D_t - D_1}{H_{total}}$ (3)

- Untuk Arah X (U-S) $= \frac{0.0907 - 0.0180}{9}$

  $= 0.0081$

- Untuk Arah Y (B-T) $= \frac{112.138 - 0.0183}{9}$

  $= 0.0104$

Untuk batasan nilai simpangan antar tingkat yang ditetapkan dalam *ATC*-40 Pasal 11.3.3 dapat dilihat pada **Tabel 4**.

Tabel 4 Batasan Simpangan Pada Tingkat Kinerja Struktur (ATC-40, 11-4)

Batas Simpangan Antar Tingkat	Tingkat Kinerja Struktur			
	Immediate Occupancy	***Damage Control***	***Life Safety***	***Structural Stability***
Simpangan Total Maksimum	0.01	0.01-0.02	0.02	0.33 V_i/P_i
Simpangan Inelastis Maksimum	0.005	0.005-0.015	Tidak ada Batasan	Tidak ada Batasan

Berdasarkan **Tabel 4** menurut ATC-40 maka hasil perhitungan di atas menunjukkan bahwa gedung yang ditinjau termasuk dalam level kinerja *Damage Control* (DO) yang merupakan transisi antara *Immediate Occupancy* (IO) dan *Life Safety* (LS).

G. Metode Displacement Coefficient (FEMA 356)

Untuk mendapatkan tingkat kinerja struktur (*performance level*) berdasarkan *FEMA* 356 terlebih dahulu dilakukan perhitungan nilai perpindahan maksimum yang disebut target perpindahan (δ_T) dengan memodifikasi respon elastis dari sistem *SDOF* (*single degree of freedom*) ekuivalen dengan faktor koefisien C_0, C_1, C_2, dan C_3 untuk memperoleh nilai drift aktual. Parameter-parameter diperlukan diambil dari idealisasi kurva kapasitas struktur atau kurva bilinier struktur yang diperoleh dari hasil analisis program SAP2000.

Tabel 5 Parameter *FEMA* 356 Arah-X (U-S) dan Y(B-T) Hasil Analisis SAP2000

Parameter	Arah-X (U-S)	Arah-Y (B-T)
C_0	1.24	1.49
C_1	1.01	1.00
C_2	1.00	1.00
C_3	1.00	1.00
S_a	1.10	1.09
T_e	0.57	0.59
T_i	0.57	0.59
V_y	9928.83	9959.19
D_y	177.79	143.09
K_i	177.79	143.09
K_e	0.19	0.18
α	2.34	2.30
C_m	1.00	1.00

Parameter *FEMA* 356 yang diperoleh dari hasil analisis SAP2000 pada masing-masing arah dapat dilihat pada **Tabel 5** yang selanjutnya dapat digunakan untuk menghitung target

perpindahan (δ_s). Untuk batasan nilai simpangan tingkat kinerja struktur yang ditetapkan dalam *FEMA* 356 dapat dilihat pada **Tabel 6**.

Tabel 6 Batasan Simpangan Tingkat Kinerja Struktur Metode *FEMA* 356

Tingkat Kinerja	*Drift* Aktual (%)	Keterangan
Immediate Occupancy	1.0	*Transient*
Life Safety	2.0 1.0	*Transient* *Permanent*
Collapse Prevention	4.0	*Transient atau Permanent*

Nilai *drift* aktual dari Arah-X (U-S) dan Arah-Y (B-T) yang diperoleh pada perhitungan di atas masing-masing lebih besar dari 1%, sehingga dapat disimpulkan bahwa berdasarkan simpangan yang disyaratkan oleh *FEMA* 356 pada **Tabel 6**, didapatkan bahwa struktur para Arah-X dan Arah-Y berada pada tingkat kinerja *Life Safety* (LS).

H. Metode Displacement Coefficient Modification (FEMA 440)

Karena merupakan metode pengembangan dari metode koefisien perpindahan *FEMA* 356, secara garis besar dasar dalam perhitungan metode *FEMA* 440 ini sama dengan *FEMA* 356, yaitu dengan hasil akhir menentukan nilai target perpindahan (δ_T) namun diberikan perbaikan atau modifikasi untuk menentukan parameter C_1dan C_2 dimana pada analisis ini dihitung langsung oleh program SAP2000.

Tabel 7 Parameter *FEMA* 440 Arah-X (U-S) dan Y(B-T) Hasil Analisis SAP2000

Parameter	Arah-X (U-S)	Arah-Y (B-T)
C_0	1.232	1.264
C_1	1.068	1.063
C_2	1.007	1.006
C_3	1.443	1.409
S_a	1.100	1.086
T_e	0.573	0.590
T_i	0.573	0.590
V_y	9928.825	9959.187
D_y	55.846	69.600
K_i	177.788	143.091
K_e	177.788	143.091
α	0.164	0.162
R	2.342	2.304
C_m	1.000	1.000

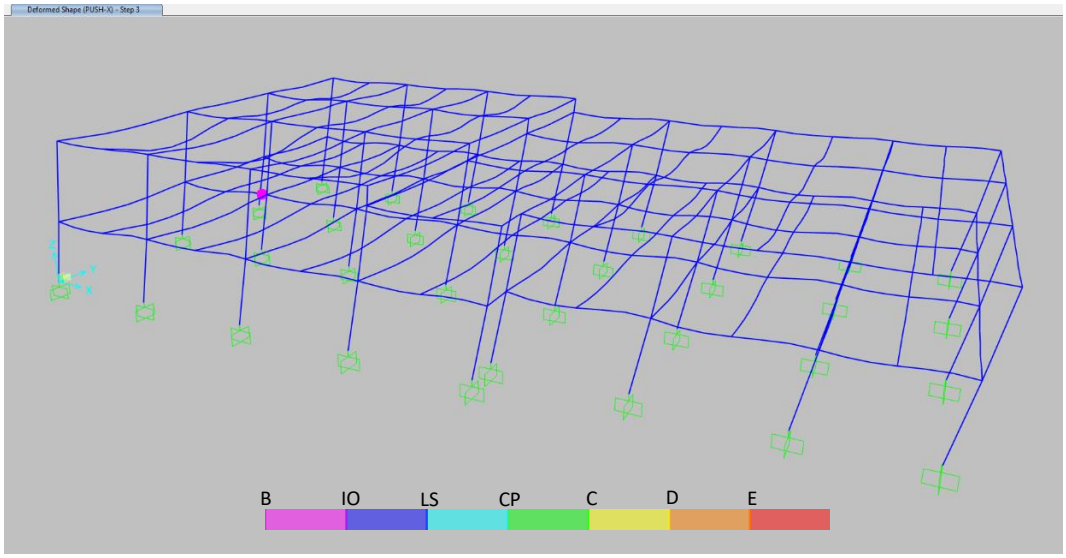
Dari hasil analisis SAP2000 diperoleh parameter *FEMA* 440 pada masing-masing arah yang dapat dilihat pada **Tabel 7** yang selanjutnya digunakan untuk menghitung target perpindahan (δ_T). Nilai *drift* aktual dari Arah-X (U-S) dan Arah-Y (B-T) yang diperoleh pada perhitungan di atas masing-masing lebih besar dari 1%, sehingga dapat disimpulkan bahwa berdasarkan simpangan yang disyaratkan oleh *FEMA* 356 pada **Tabel 6**, didapatkan bahwa struktur para Arah-X dan Arah-Y berada pada tingkat kinerja *Life Safety* (LS).

I. Distribusi Sendi Plastis

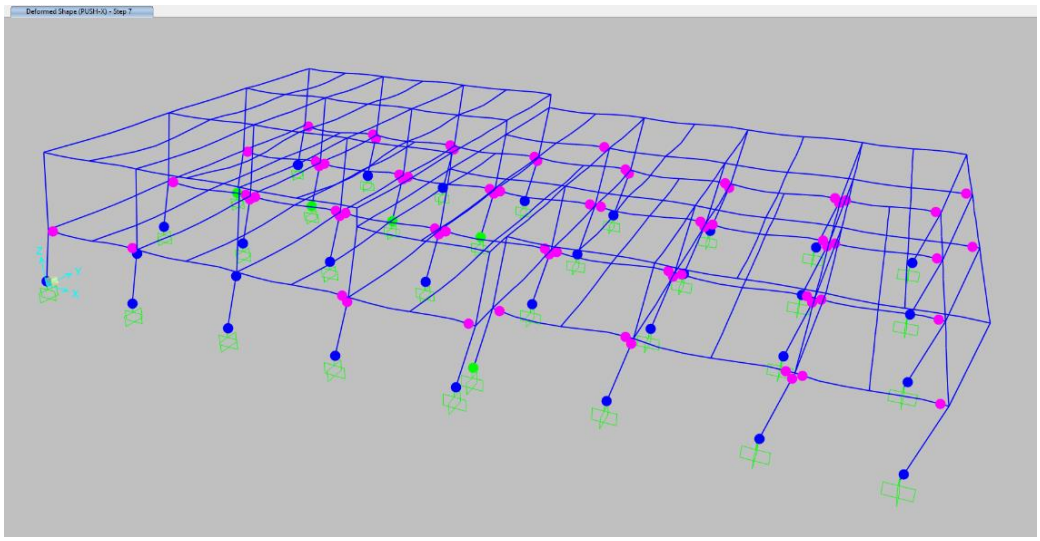
Berdasarkan analisis statik nonlinier yang dilakukan hingga mendapatkan perilaku in-elastis pasca keruntuhan bangunan, maka diperoleh gambar pendistribusian sendi plastis perlangkah pada portal yang juga menjadi titik kontrol *case push* dimana sendi-sendi plastis untuk struktur direncanakan dapat terjadi pada elemen balok, dan kolom dasar bangunan. Dari hasil analisis yang dilakukan diketahui letak sendi plastis yang terjadi pada struktur yang akan dibahas lebih lanjut.

a) Sendi Plastis Arah-X (U-S)

Hasil analisa pushover menunjukkan pembentukan sendi plastis terjadi pada balok dan kolom, di mana pada Arah-X dimulai pada balok dan diikuti oleh kolom.



Gambar 3 *Displacement* dan Sendi Plastis Arah-X (U-S) Pada Step ke-3

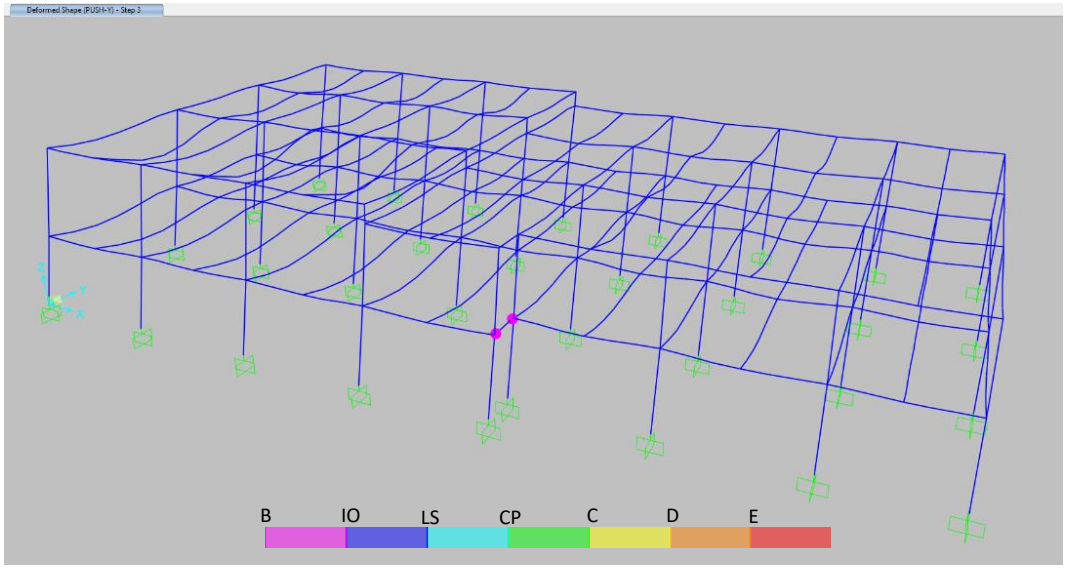


Gambar 4 Pola Keruntuhan Arah-X (U-S) Pada Step ke-7

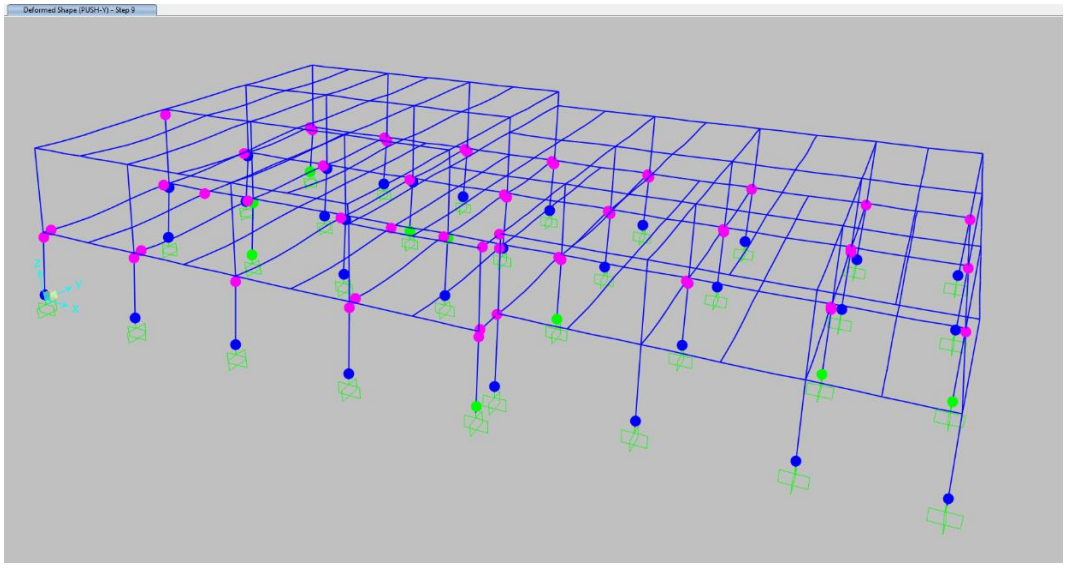
Pembentukan sendi plastis pertama kali terjadi pada step ke-3 dimana pada tahap ini nilai *displacement* diperoleh 0.0433529 m dengan gaya geser dasar 7712.458 kN dan gedung sudah berperilaku nonlinier. Terjadinya sendi plastis pada level B ditandai dengan warna ungu menunjukkan batas linier pada struktur balok tersebut kemudian diikuti pelelehan pertama pada struktur balok tersebut. Namun pada level ini, elemen dianggap masih bersifat elastis sehingga tidak berpengaruh pada kemampuan struktur gedung.

b) Sendi Plastis Arah-Y (B-T)

Hasil analisa pushover menunjukkan pembentukan sendi plastis terjadi pada balok dan kolom, di mana pada Arah-Y juga dimulai pada balok dan diikuti oleh kolom.



Gambar 5 *Displacement* dan Sendi Plastis Arah-Y (B-T) Pada Step ke-3



Gambar 6 Pola Keruntuhan Arah-Y (B-T) Pada Step ke-9

Pada Arah-Y (B-T) pembentukan sendi plastis pertama kali juga terjadi pada step ke-3 dimana pada tahap ini nilai *displacement* diperoleh 0.0374183 m dengan gaya geser dasar

5394.920 dan gedung sudah berperilaku nonlinier. Terjadinya sendi plastis pada level B ditandai dengan warna ungu menunjukkan batas linier pada struktur balok tersebut kemudian diikuti pelelehan pertama pada struktur balok tersebut. Namun pada level ini, elemen dianggap masih bersifat elastis sehingga tidak berpengaruh pada kemampuan struktur gedung.

4. KESIMPULAN

Struktur gedung yang ditinjau terbagi menjadi 2 kategori. Berdasarkan ATC-40, tingkat kinerja gedung berada pada level Damage Control (DO) yang menunjukkan bahwa saat terjadi gempa rencana bangunan masih mampu menahan gempa yang terjadi dan resiko korban jiwa manusia sangat rendah. Sedangkan berdasarkan FEMA 356 dan FEMA 440, tingkat kinerja gedung berada pada level Life Safety (LS) dimana pada saat struktur menerima beban gempa bangunan mengalami kerusakan pada komponen struktural dan non-struktural namun masih dapat difungsikan kembali setelah dilakukan perbaikan dan resiko korban jiwa diperkirakan rendah.

Kesimpulan akhir yang dapat diperoleh dari tulisan ini adalah bahwa perencanaan berbasis kinerja dapat memberikan informasi sejauh mana suatu gempa akan mempengaruhi struktur sehingga struktur dapat didesain sesuai dengan tujuan dan kegunaan bangunannya dengan pertimbangan faktor ekonomis terhadap perbaikan bangunan saat terjadi gempa disamping memperhatikan keselamatan terhadap pengguna bangunan.

5. DAFTAR PUSTAKA

Ahmad, Zulfikar, dkk. 2022. Analisis Tingkat Kepadatan Tanah dengan Stabilisasi Kapur terhadap Kuat Geser Langsung. Jurnal Konstruksi : Teknik, Infrastruktur dan Sains, Volume 1 Nomor 8 Halaman 1-11. Program Pascasarjana UMI Makassar.

American Society of Civil Engineers. (2000). FEMA 356 – Prestandard and Commentary for The Seismic Rehabilitation of Buildings. Washington, D.C., USA.

Applied Technology Council (ATC-55 Project). (2005). FEMA 440 – Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures. California, USA.

Applied Technology Council. (1996). ATC 40 – Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings. California, USA.

Badan Standarisasi Nasional. (2019). Standar Nasional Indonesia (SNI) Tata cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726-2019). Jakarta, Indonesia.

Febriana, A., & Wibowo, A. (2016). Analisis Pushover Untuk Performance Based Design (Studi Kasus Gedung B Program Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer Universitas Brawijaya. Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, 1(2), PP-676.

Ghozaly, I.A, dkk. 2022. Studi Eksperimental Penggunaan Fly Ash dan Difa Soil Stabilizer pada Tanah Lempung untuk Meningkatkan Daya Dukung Tanah Dasar. Jurnal Konstruksi : Teknik, Infrastruktur dan Sains, Volume 1 Nomor 11 Halaman 56-66. Program Pascasarjana UMI Makassar.

Pamungkas, A., & Harianti, E. (2018). Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa. Yogyakarta: Penerbit Andi.

Prakosa, A. Y., & Wibowo, A. (2018). Desain Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja Dengan Metode Direct Displacement Based Design (DDBD). Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, 1(2), pp890-898.

Rahma, A. N.(2019). Perancangan Desain Gempa Berbasis Kinerja (Performance Based Design) Pada Bangunan Bertingkat Delapan di Surabaya. Universitas Lambung Mangkurat.

Realdy, M. G., & Nuraini, R. (2019). Evaluasi Kinerja Struktur Bangunan Gedung Bertingkat menggunakan Pushover Analysis dengan Metode FEMA 356 dan FEMA 440. Jurnal Teknologi, 12(1), 28-34.

Simanjuntak, P. (2020). Evaluasi Kerusakan Bangunan Akibat Gempa di Indonesia. Jurnal Rekayasa Teknik Sipil dan Lingkungan-CENTECH, 1(1), 44-53.

Tavio, & Wijaya, U. (2018). Desain Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja (Performance Based Design). Yogyakarta: Penerbit Andi.

Utami, T. P., & Warastuti, N. (2017). Analisis Kekuatan Bangunan Terhadap Gaya Gempa dengan Metode Pushover Studi Kasus Gedung Asrama Pusdiklat PPATK, Depok.