

EVALUASI KINERJIA GEDUNG BETON BERTULANG DENGAN METODE PUSHOVER

(Studi Kasus Bangunan Gedung di Ternate)

Novia Zulfasti Mangoda¹, Mufti Amir Sultan^{2*}, Imran³

^{1,2,3} Jurusan Teknik Sipil FT Unkhair

Jln. Pertamina Gambesi Ternate 55281 INDONESIA

*muftiasltn@unkhair.ac.id

Abstrak— Gempa bumi menyebabkan kerusakan bangunan dan korban jiwa. Kota Ternate tercatat telah terjadi gempa bumi yang belum lama terjadi, yaitu pada 15 November 2014 berkekuatan 7,3 skala richter (SR), pada 25 Januari 2015 berkekuatan 5,4 SR, pada 8 Juni 2016 berkekuatan 6,6 SR dan masih banyak lagi gempa-gempa yang telah terjadi. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui prosedur analisis *pushover* untuk mengevaluasi kinerja struktur gedung dan untuk mengetahui pola keruntuhan struktur gedung setelah dianalisis dengan *pushover*. Penelitian ini menggunakan metode *Static Pushover Analysis* menggunakan aturan *FEMA356, 2000*. Penelitian menunjukkan bahwa ada beberapa kesimpulan. Pertama, perpindahan hasil *pushover* maksimum (δ_{max}) arah XZ = 52,046 mm > target perpindahan (δ_t) = 42,874 mm. Kedua, δ_{max} arah YZ = 10,693 mm < δ_t = 42,874 mm. Ketiga, evaluasi pada arah XZ masih dalam keadaan aman walaupun $\delta_{max} > \delta_t$, karena skema distribusi sendi-plastis tidak memperlihatkan komponen struktur melewati *Immediate Occupancy* (IO), tapi ada kemungkinan terjadi balok kuat-kolom lemah apabila diperbesar step pembebanan, hal ini ditandai dengan adanya beberapa kolom yang duluan mencapai kinerja IO sebelum balok. Keempat, Kinerja komponen struktur arah YZ masih dalam keadaan aman karena $\delta_{max} < \delta_t$ dan skema distribusi sendi-plastis tidak memperlihatkan komponen struktur yang melewati kinerja IO.

Kata kunci— *pushover analysis*, sendi-plastis, *displacement*

I. PENDAHULUAN

Kota Ternate termasuk ke daerah wilayah rawan gempa berdasarkan peta wilayah gempa di Indonesia. Tercatat telah terjadi gempa bumi yang mengguncang Kota Ternate dengan skala $\geq 5,0$ MM, seperti yang terjadi pada tahun 2014 sebesar 7.3 MM, tahun 2015 sebesar 5.4 MM, tahun 2016 pada skala 6,6 MM dan di tahun 2018 pada skala 5,0 MM, masih banyak lagi gempa-gempa yang telah terjadi. Gempa yang terjadi bisa mengakibatkan kerusakan pada struktur gedung maupun non-gedung. Untuk mengurangi resiko bencana yang terjadi diperlukan konstruksi bangunan tahan gempa untuk menjamin keselamatan pengguna bangunan terhadap gempa yang mungkin terjadi serta menghindari dan meminimalisir kerusakan struktur bangunan dan korban jiwa..

Bangunan tahan gempa umumnya direncanakan dengan menggunakan prosedur yang tertulis dalam peraturan perencanaan bangunan (*building codes*) dilakukan dengan analisis linier (elastis), sehingga tidak menunjukkan kinerja bangunan terhadap gempa secara langsung. Oleh karena itu, perlu dilakukan evaluasi terhadap bangunan baru maupun perkuatan bangunan yang sudah ada.

Kinerja suatu struktur bisa dianalisis menggunakan analisis statik nonlinier (*pushover*) dan analisis dinamik nonlinier. Namun analisis yang sering digunakan adalah analisis statik nonlinier. Analisa *pushover* merupakan komponen *performance based seismic design* yang memanfaatkan teknik analisa *pushover* berbasis komputer untuk menganalisa perilaku inelastis struktur dari berbagai macam gempa. Saat ini telah tersedia beberapa aplikasi yang mampu menyederhanakan dalam pemodelan yang sebelumnya sangat sulit apabila dikerjakan secara klasik atau lazim.

Beberapa penelitian mengenai Evaluasi Kinerja Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa Dengan Analisa *Pushover* diantaranya :

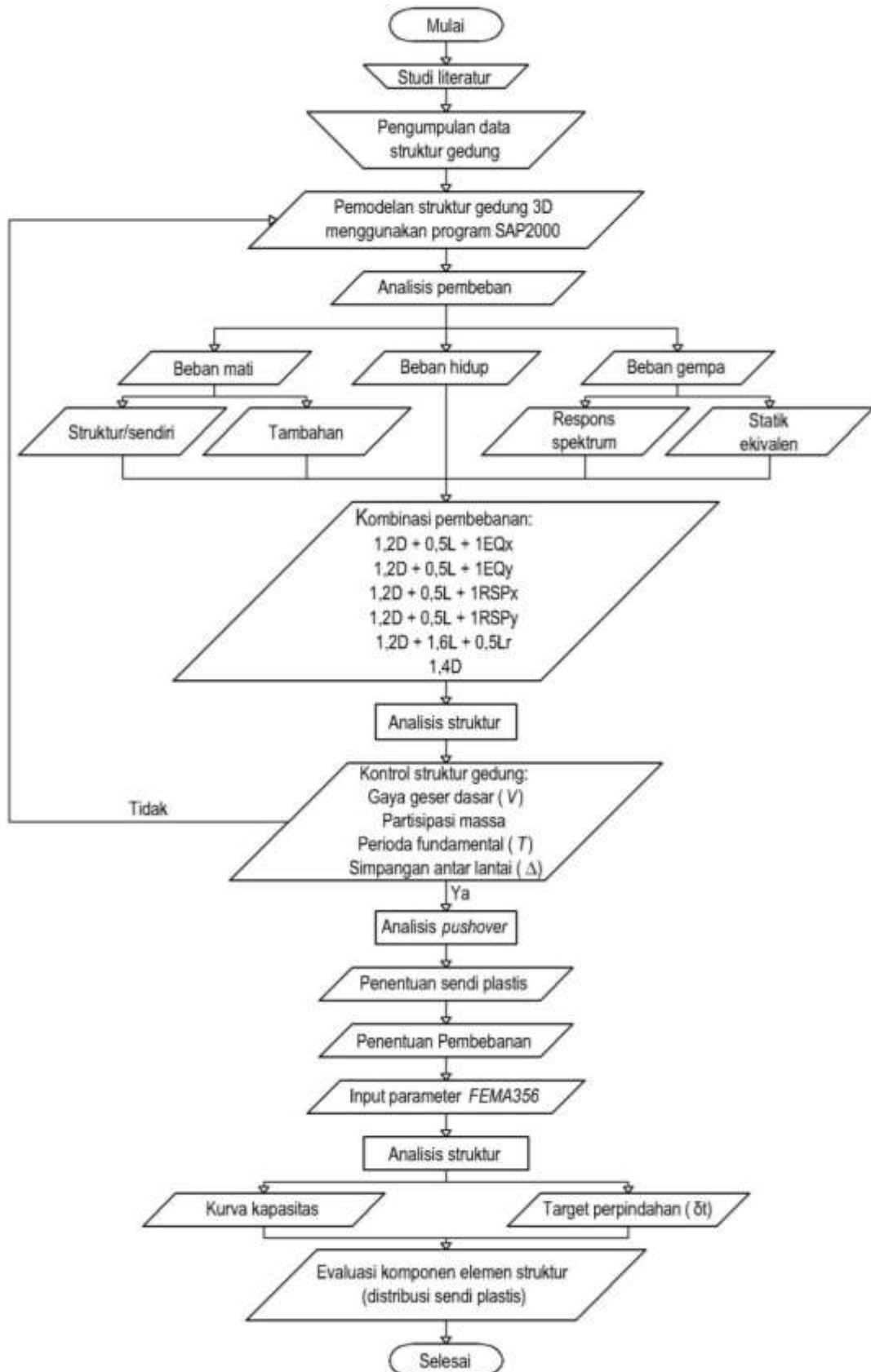
Penelitian dengan mengevaluasi Gedung Kalibata Residences Jakarta *Pushover* Analysis, dari hasil analisis menunjukkan bahwa daktilitas ($\mu\Delta$) aktual dan faktor reduksi gempa (R) aktual yang terjadi sesuai dengan SNI 03-1726-2002 ($\mu_m = 4,0$ dan $R_m = 6,5$ untuk sistem ganda yang terdiri dari struktur dinding geser dan SRPMM beton bertulang) [1]. Penelitian pada dengan menvaluasi bangunan Hotel di wilayah Karanganyar berdasarkan pada drift dan displacement diperoleh bahwa gedung termasuk dalam level kinerja *Immediate Occupancy (IO)* [2]. Analisis *Pushover* dari Bangunan Simetris dan Asimetris Dengan dan Tanpa Beban Berat, menghasilkan perpindahan pada pembentukan engsel Pertama lebih awal untuk bangunan Asimetris dibandingkan dengan model bangunan Simetris [3]. Bangunan 4 lantai terbuat dari beton bertulang di kota Khortoum dengan system flat slab dianalisis dengan *pushover* perilaku struktur dapat dianalisis terhadap beban gempa [4]. Bangunan Bertingkat Tinggi dan Sistem Outrigger Dengan atau Tanpa Dinding Berisi dianalisis dengan Analisis *Pushover*, Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa dinding struktural, sistem outrigger struktural dan dinding pasangan bata yang terisi memiliki efek yang sangat penting pada struktur di bawah perilaku seismic [5]. Mengevaluasi kinerja bangunan gedung DPU Kabupaten Wonogiri dengan analisis *pushover*, menyatakan bahwa gedung yang ditinjau termasuk dalam level kinerja *Immediate Occupancy (IO)*, sehingga bila terjadi gempa, gedung hanya mengalami sedikit kerusakan struktur dan nonstruktur, sehingga bangunan aman dan dapat langsung dihuni kembali [6]. Menggunakan analisis *pushover* pada bangunan dengan *soft first story* menunjukkan level kinerja struktur berdasarkan target perpindahan dari metode koefisien perpindahan FEMA-356 menunjukkan bahwa pada ketiga model bangunan tersebut berada pada level *damage control* dimana kondisi gedung belum mengalami kerusakan berarti dan dapat difungsikan kembali [7]. Evaluasi kinerja dengan *pushover* dapat memberikan informasi sejauh mana gempa akan mempengaruhi struktur bangunan Gedung [8]. Penelitian Gedung bertingkat dengan Analisa *pushover* menunjukkan bahwa distribusi sendi plastis yang terjadi pada semua step memperlihatkan tidak ada komponen struktur yang melewati batas kinerja *Immediate Occupancy (IO)* sehingga dapat dikatakan kinerja komponen struktur masih dalam keadaan aman [9]. Penelitian dengan menganalisa struktur bangunan hotel di Semarang dengan Analisa *pushover*, dari hasil penelitian menyimpulkan menunjukkan bahwa gaya geser dari evaluasi *pushover* pada arah x sebesar 557,867 ton. Nilai displacement adalah 0,112 m. Displacement pada gedung tidak melampaui displacement yang diijinkan, sehingga gedung aman terhadap gempa rencana. Maksimum total drift adalah 0,0035 m dan maksimum Inelastic drift adalah 0,0034 m, Sehingga bahwa kinerja Gedung masuk kategori *Immediate Occupancy (IO)* [10,16].

Pada penelitian ini gedung yang dijadikan studi kasus adalah Bangunan Beton bertulang berlantai 4 di Kota Ternate. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui prosedur analisis *pushover* dan untuk mengevaluasi kinerja struktur gedung serta untuk mengetahui pola keruntuhan struktur gedung setelah dianalisis dengan *pushover*. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan bantuan *software* SAP2000 untuk membuat permodelan gedung yang diteliti.

II. METODOLOGI

A. Gambaran Umum Analisis

Metodologi penelitian ini akan menguraikan tahapan analisis mulai dari studi literatur sampai analisis *pushover*. Untuk analisis yang sistematis seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Peraturan yang digunakan dalam analisis ini mengacu ke peraturan dari Indonesia [11-14] dan ASCE [15].



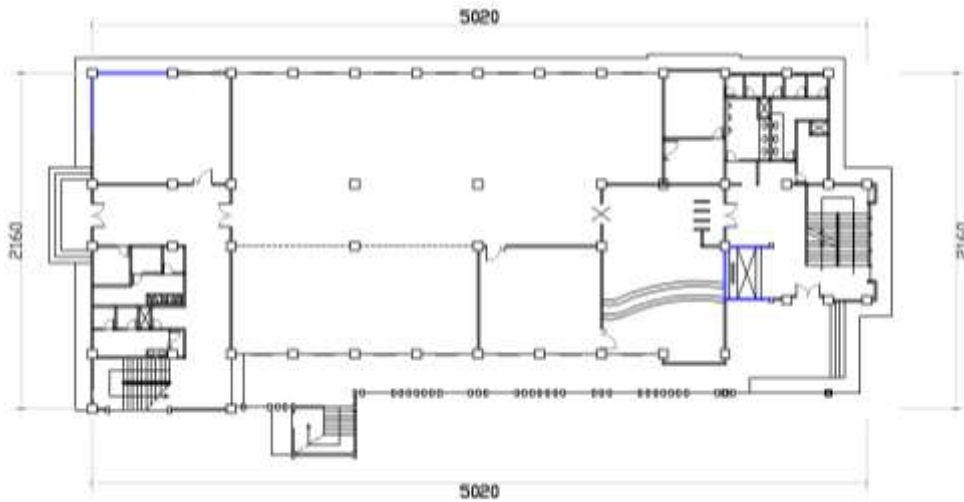
Gambar 1. Diagram alir analisis struktur gedung

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Data Gedung

1. Denah Struktur Gedung:

Gedung yang dianalisis berlantai 4 dengan tipikal dari lantai 1 sampai dengan lantai 4, dimana Panjang Gedung 50,20 m dan lebar 21,60. Gedung berbentuk persegi Panjang beraturan, denah gedung seperti ditunjukkan Gambar 2.



Gambar 2. Denah Gedung (tipikal lantai 1 s.d lantai 4)

2. Data Koordinat Struktur Gedung:

Penentuan koordinat gedung untuk arah X sebanyak 15 titik, arah Y sebanyak 7 titik dan arah Z berjumlah 6 titik, titik koordinat masing-masing arah ditunjukkan pada tabel 1, tabel 2 dan tabel 3 berikut :

Tabel 1. Koordinat arah Z

No	Label	Lantai	Jarak (m)	Koordinat (m)
1	Z1	Base	4,0	0
2	Z2	1	4,0	4,0
3	Z3	2	4,0	8,0
4	Z4	3	4,0	12,0
5	Z5	4	4,0	16,0
6	Z6	Atap	0	20,0

Tabel 2. Koordinat arah Y

No	Label	Jarak (m)	Koordinat (m)
1	1	3,5	0
2	2	3,5	3,5
3	3	3,5	7,0
4	4	4,0	10,5
5	5	3,3	14,5
6	6	3,8	17,8
7	7	0	21,6

Tabel 3. Koordinat arah X

No	Label	Jarak (m)	Koordinat (m)
1	A	5,2	0
2	B	3,8	5,2
3	C	4,0	9,0
4	D	4,0	13,0
5	E	4,0	17,0
6	F	4,0	21,0
7	G	4,0	25,0
8	H	4,0	29,0
9	I	4,0	33,0
10	J	4,0	37,0
11	K	3,0	41,0
12	L	1,0	44,0
13	M	2,7	45,0
14	N	2,5	47,7
15	O	0	50,2

3. Data Elemen Struktur Gedung:

Elemen struktur gedung terdiri dari pelat lantai (lantai 1 s.d lantai 4), pelat atap, balok, kolom, dan dinding geser. Data elemen gedung ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Data elemen gedung

No	Elemen	Dimensi (cm)
1	Pelat Lantai 1 - Lantai 4	20
2	Pelat atap	15
3	Balok	40 x 55
4	Kolom	70 x 70
5	Dinding Geser	30

4. Data Material Struktur Gedung:

Material yang digunakan pada struktur gedung terbuat dari bahan beton bertulang, spesifikasi material gedung sebagai berikut :

Spesifikasi Material Beton

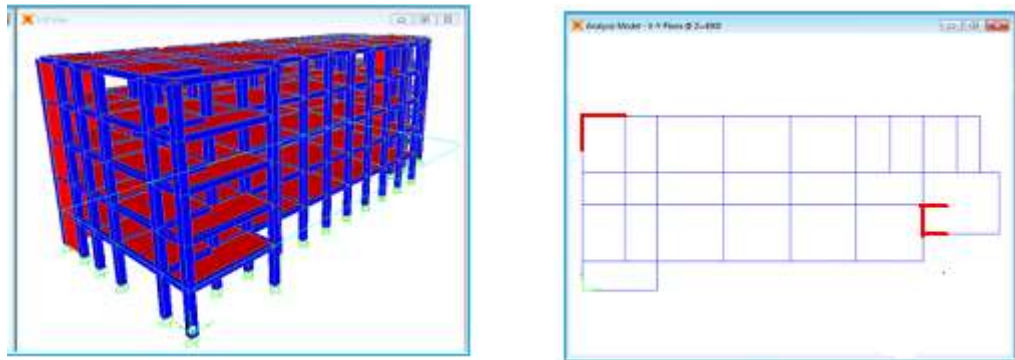
Berat jenis beton	: 23520 N/m ³
Kuat tekan beton	: 30 MPa
Modulus elastisitas beton	: $4700\sqrt{f_c}$
Angka poison beton	: 0,2

Spesifikasi material baja tulangan

Berat jenis baja	: 76930 N/m ³
Modulus elastisitas baja	: 2×10^5 MPa
Angka poison baja	: 0,3
Tegangan leleh tulangan utama	: $2,9 \times 10^2$ MPa
Tegangan putus tulangan utama	: $5,0 \times 10^2$ MPa
Tegangan leleh tulangan sengkang	: $2,4 \times 10^2$ MPa
Tegangan putus tulangan sengkang	: $3,7 \times 10^2$ MPa

B. Pemodelan Struktur Gedung

Pemodelan gedung mengacu kepada data-data geometri Gedung. Hasil pemodelan gedung seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Pemodelan Gedung 3D dan arah XY

C. Pembebanan Gedung

Pembebanan terdiri atas beban gravitasi.

1. Beban Gravitasi:

Beban gravitasi meliputi berat sendiri struktur dan beban mati tambahan. Hasil perhitungan beban gravitasi di tunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil perhitungan beban gravitasi

No	Label	Beban Mati Tambahan (kN/m ²)	Beban Hidup (kN/m ²)
1	Pelat atap	1,49	2,5
2	Pelat lantai 1 – 4	0,45	1
3	Balok	12	-

2. Beban Gempa:

Beban gempa dianalisis dengan respons spektrum (RSP) dan beban gempa statik ekuivalen (EQ).

a. Data Gempa:

Rekapitulasi data gempa ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Data gempa

No	Label	Hasil
1	Fungsi bangunan	Bangunan Pendidikan
2	Lokasi	Kota Ternate
3	Kategori resiko bangunan	IV
4	Faktor keutamaan (Ie)	1,5
5	Tanah dasar	Tanah sedang
6	Nilai Ca	0,309
7	Nilai Cv	0,513
8	Faktor modifikasi respons (R)	7
9	Nilai Ct	0,0466
10	Faktor pembesaran defleksi (Cd)	5,5
11	Simpangan antara lantai izin ($\Delta\alpha$)	0,010h _{sx}
12	Nilai Ss	1,086

Sumber : SNI 1726–2012 dan Puskim

b. Beban Gempa Respons Spektrum (RS):

Persyaratan : $T_{ci} < T_{maks}$
 Arah X = 0,2666 < 0,6461
 Arah Y = 0,2491 < 0,6461

4. Kontrol Simpangan Antar Lantai (Δ):

Persyaratan : $\Delta_i < \Delta\alpha$
 Hasil maksimum (Δ_i) = 9,4406 mm
 Simpangan izin ($\Delta\alpha$) = 40 mm
 Jadi = 9,4406 < 40

E. Analisis *Pushover*

1. Analisis Pembebanan:

Analisis *pushover* dilakukan dalam dua tahap pembebanan, yaitu:

Tahap pertama, struktur gedung dibebani oleh beban gravitasi. Hasil input beban gravitasi dapat dilihat pada Gambar 6a. Tahap kedua, analisis selanjutnya dengan memberikan pola beban lateral pada struktur, dengan masing-masing arah yaitu arah X dan arah Y. Hasil input beban lateral arah X dapat dilihat pada Gambar 6b, sedangkan arah Y juga sama.



a. Input pembebanan gravitasi



b. Input pembebanan arah X

Gambar 6. Inputan pada Analisa pushover

2. Analisis Target Perpindahan (FEMA 356):

Metode ini terdapat secara langsung pada program SAP2000, input yang diperlukan hanya parameter untuk metode koefisien FEMA 356 dengan data-data dapat dilihat pada Tabel 6. Hasil input parameter metode koefisien FEMA 356 dapat dilihat pada Gambar 7.

bel 7. Tabulasi data *Pushover curve demand* FEMA 356

Label	Hasil <i>Pushover</i> , δ_{max} (mm)	Target Perpindahan, δ_t (mm)
PUSH-X	52,045912	42,874
PUSH-Y	10,692687	42,874

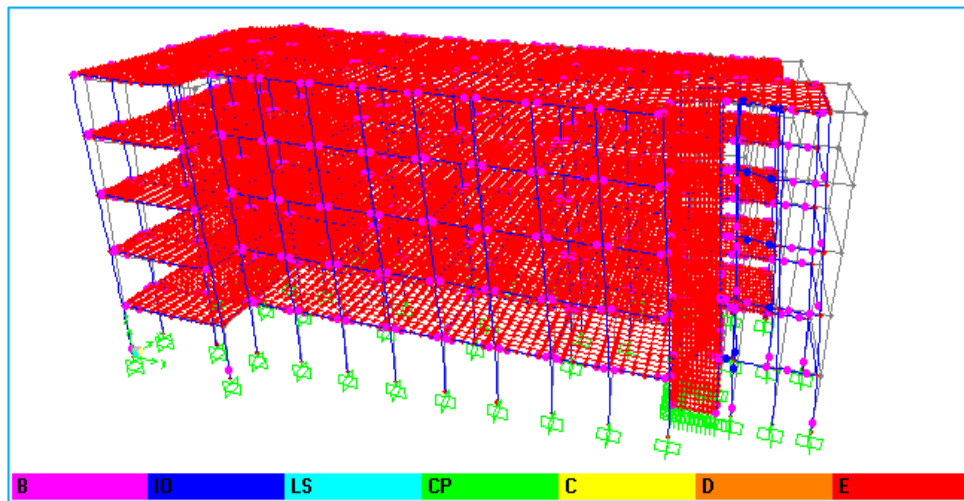
Pushover curve demand FEMA 356 menunjukkan bahwa pada PUSH-X hasil *pushover* (perpindahan maksimum) lebih besar dari target perpindahan (δ_t).

3. Skema Distribusi Sendi Plastis:

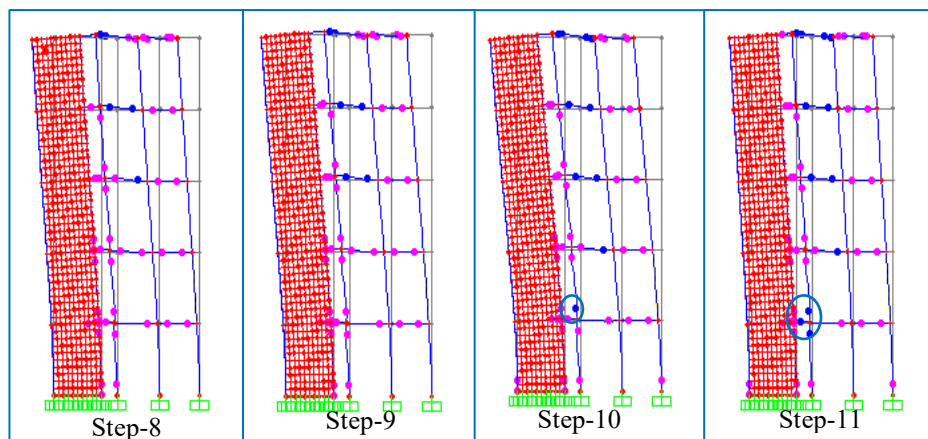
Analisa *pushover* menunjukkan terjadinya sendi plastis pada setiap peningkatan beban. Struktur diberikan gaya gempa statik secara bertahap (*incremental*) pada proses *pushover* maka akan terbentuk sendi plastis pada elemen struktur. Sendi plastis merupakan bentuk ketidakmampuan struktur menahan gaya dalam.

a. Sendi Plastis Arah X:

Distribusi sendi plastis arah XZ ditampilkan pada Gambar 12 dengan tampilan 3D pada step 11 dan Gambar 13 dari step 8 s/d 11, karena dari tahap 8 mulai terjadi level kinerja *Immediate Occupany* (IO).



Gambar 9. Distribusi sendi plastis pada step-11 untuk pembebanan arah-X



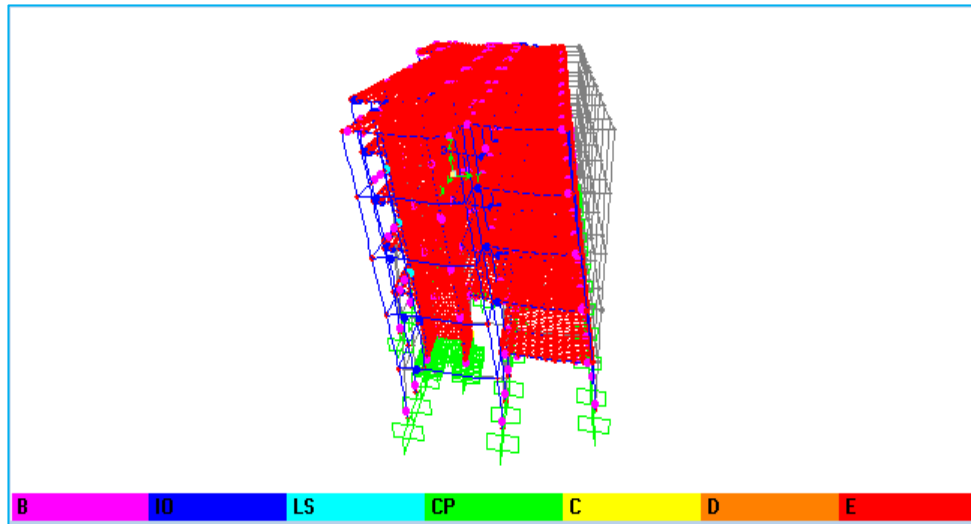
Gambar 10. Mekanisme keruntuhan arah XZ

δ_t arah-XZ gedung adalah 42,874 mm berada diantara step-9 dan step-10, sehingga evaluasi komponen struktur dilakukan pada *step*-10 dan *step*-11 dengan *displacement* yang terjadi

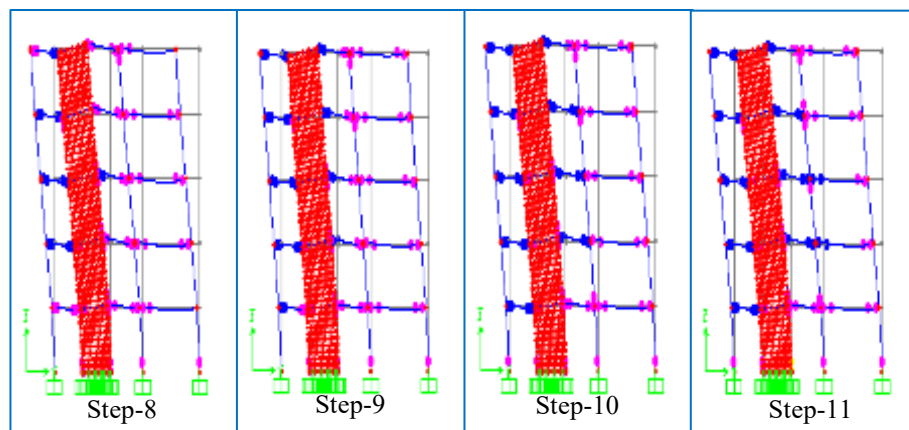
47,776431 mm dan 52,045912 > 42,874 mm. Distribusi sendi plastis yang terjadi pada *step*-10 dan *step*-11 memperlihatkan tidak ada komponen struktur yang melewati batas kinerja IO sehingga dapat dikatakan kinerja komponen struktur masih dalam keadaan aman. Tapi ada komponen struktur (kolom) yang memperlihatkan telah sampai kinerja IO, sementara ada beberapa komponen struktur (balok) yang belum melewati batas kinerja IO sehingga ada kemungkinan terjadi kolom lemah-balok kuat.

b. Sendi Plastis Arah Y

Distribusi sendi plastis arah YZ ditampilkan pada Gambar 11 dengan tampilan 3D pada *step* 11 dan 15 dari 8 s/d 11, karena dari tahap 8 mulai terjadi level kinerja IO.



Gambar 11. Distribusi sendi plastis pada *step*-11 untuk pembebanan arah-Y



Gambar 12. Mekanisme keruntuhan arah YZ

δ_t arah-YZ gedung adalah 42,874 mm berada Diatas *step*-11, sehingga evaluasi komponen struktur tidak dilakukan karena *displacement step*-11 yang terjadi 10,692687 mm < 42,874 mm (δ_t) dan Distribusi sendi plastis yang terjadi pada semua *step* memperlihatkan tidak ada komponen struktur yang melewati batas kinerja IO sehingga dapat dikatakan kinerja komponen struktur masih dalam keadaan aman.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan analisa *pushover* di peroleh kesimpulan sebagai berikut:

1. δt_{\max} arah XZ = 52,045912 mm > $\delta t = 42,874$ mm.
2. δt_{\max} arah YZ = 10,692687 mm < $\delta t = 42,874$ mm.
3. Evaluasi pada arah XZ masih dalam keadaan aman walaupun $\delta t_{\max} > \delta t$, karena pada skema distribusi sendi plastis tidak memperlihatkan komponen struktur yang melewati kinerja IO, tapi ada kemungkinan terjadi balok kuat kolom lemah apabila diperbesar step pembebanan, hal ini ditandai dengan ada beberapa kolom yang duluan mencapai kinerja IO sebelum balok.
4. Kinerja komponen struktur arah YZ masih dalam keadaan aman karena $\delta t_{\max} < \delta t$ dan skema distribusi sendi plastis tidak memperlihatkan komponen struktur yang melewati kinerja IO.

REFERENSI

- [1] Utomo, Cipto. Dkk (2012), “Evaluasi Struktur dengan Pushover Analysis pada Gedung Kalibata Residences Jakarta”, Jurnal Karya Teknik Sipil Vol. 1 NO. 1, hal:1-10.
- [2] Nurhadi, Muhammad dan Budi, Agus Setiya (2014), “Evaluasi Kinerja Gaya Gempa Pada Struktur Gedung Bertingkat Dengan Analisis Pushover Berdasarkan Pada Drift dan Displacement Menggunakan Software ETABS (Studi Kasus: Hotel di Wilayah Karanganyar)”, Matriks Teknik Sipil Vol.2 No.2, hal:123-130
- [3] Khan, Jaweed Jilani., Prasad, Bellam Sivarama Krishna and Sekhar, Seshadri (2018), “Pushover Analysis of Symmetrical and Asymmetrical Buildings With and Without Heavy Loads”, International Journal of Engineering & Technology Vol. 7 No.3, pp:5-9.
- [4] Hassaballa, A E., et al (2014) “Pushover Analysis of Existing 4 Storey RC Flat Slab Building”, International Journal of Sciences: Basic and Applied Research Vol. 16 No.2 pp:242-257
- [5] Chavan, Abhijeet., Shelar, Vaibhav (2017), “Pushover Analysis of High Rise Building and Outrigger System With or Without In-Filled Walls”, International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET) Vol. 4 No. 7 pp: 1439-1445
- [6] Muntafi, Yunalia (2012), “Evaluasi Kinerja Bangunan Gedung DPU Wilayah Kabupaten Wonogiri dengan Analisis Pushover”, Simposium Nasional RAPI XI FT UMS hal: 68-75.
- [7] Mamesah, Hizkia Yehezkiel., Wallah, Steenie E., Windah, Reky Stenly (2014), “Analisis Pushover Pada Bangunan Dengan Soft First Story”, Jurnal Sipil Statik Vol. 2 No. 4 hal: 214-224
- [8] Sultan, Mufti Amir., 2016, “Evaluasi Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa Dengan Analisa Pushover”, Jurnal Sipil Sains, Vol. 6, No. 11,
- [9] Mangoda, Novia Zulfasti., Sultan, Mufti Amir. dan Imran 2018, “Evaluasi Kinerja Struktur Beton Bertulang Tahan Gempa dengan Pushover Analysis”, Prosiding Seminar Keteknikan (SINTEK), hal:80-87
- [10] Rachman, Nissa Zahra., Purwanto, Edy., Suptiyadi, Agus (2014), “Analisis Kinerja Struktur pada Gedung Bertingkat dengan Analisis Pushover Menggunakan Software ETABS (Studi Kasus : Bangunan Hotel di Semarang)”, Matriks Teknik Sipil Vol. 2 No. 1, hal: 116-123.
- [11] Anonimus, 1983, *Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung*, Yayasan LPMB, Bandung.
- [12] Anonimus, 2012, *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*, SNI 1726:2012, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- [13] Anonimus, 2013, *Beban Minimum Untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain*, SNI 1727:2013, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- [14] Anonimus, 2013, *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*, SNI 2847:2013, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- [15] ASCE, 2000, FEMA 356 - *Prestandard And Commentary For The Seismic Rehabilitation Of Building*, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.
- [16] Tata, A. 2018. *Evaluasi Kinerja Struktur Beton Gedung Fakultas Ekonomi Unkhair dengan Analisis Pushover Berdasarkan ATC-40*, Jurnal SIPIlsains Vol. 8 No. 15 Maret. pp 1-10.