

Studi Pola Pembentukan Sendi Plastis dengan Analisis *Pushover*

Study of Plastic Joint Pattern Formation with Pushover Analysis

Ageng Uky Restyan, M. Ibnu Syamsi, Bagus Soebandono

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

Abstrak. Analisis *pushover* merupakan analisis statis nonlinear dengan memberikan suatu pola beban lateral statik pada struktur, yang kemudian secara bertahap ditingkatkan dengan faktor pengali sampai satu target perpindahan/ *displacement* tercapai yang akan ditunjukkan berupa kurva kapasitas titik kinerja struktur gedung pada saat menerima beban gempa. Tujuan dari penelitian ini untuk mengevaluasi kinerja struktur bangunan pada gedung K.H Ibrahim Universitas Muhammadiyah Yogyakarta dengan 7 lantai secara tiga dimensi (3D) menggunakan *software* SAP 2000 versi 14. Mekanisme pola keruntuhan yang terjadi setelah analisis *pushover* untuk arah-X pada *step* 8. Struktur dibebani sebesar 26350,560 kN dengan perpindahan 0,461259 m dan mulai berubah level kinerja struktur dari LS ke CP dengan jumlah 22 elemen, level IO ke LS sebanyak 1029 elemen, level B ke IO 879 dan level A ke B 3577 elemen dari total 5520 elemen, sedangkan untuk arah-Y pada *step* 6. Struktur dibebani sebesar 32742,127 kN terjadi perpindahan 0,0173 m dan mulai berubah level kinerja struktur dari LS ke CP dengan jumlah 6 elemen, level IO ke LS sebanyak 722 elemen, level B ke IO 1426 dan level A ke B 3364 elemen dari total 5520 elemen. Hasil dari analisis *pushover* menunjukkan bahwa titik kinerja gedung yang ditinjau untuk pembebanan gempa arah-X adalah 0,347 meter dengan gaya geser dasar yang terjadi sebesar 26032,184 kN, sedangkan untuk pembebanan gempa arah-Y diperoleh titik kinerja gedung yaitu 0,015 meter dengan gaya geser yang terjadi sebesar 30930,721 kN. Titik kinerja diperoleh *structural-drift ratio*/ simpangan struktur yang terjadi akibat pembebanan gempa arah-X dan arah-Y adalah 1,172% dan 0,050%, maka level kinerja struktur berdasarkan batas simpangan yang disyaratkan oleh FEMA 356 dan ATC-40 termasuk pada level *Immediate Occupancy*.

Kata-kata kunci : analisis *pushover*, kurva kapasitas, titik kinerja, level kinerja struktur

Abstract. Pushover analysis is a nonlinear static analysis by giving a static lateral load pattern to the structure, which is then gradually increased by a multiplier until a target displacement / displacement is achieved which will be shown in the form of building structure performance point curves when receiving earthquake loads. The purpose of this study was to evaluate the performance of building structures in the KH Ibrahim University of Muhammadiyah Yogyakarta building with 7 floors in three dimensions (3D) using SAP 2000 version 14. The collapse pattern mechanism that occurs after pushover analysis for X-direction in step 8. Structured structures amounting to 26350,560 kN with a displacement of 0,461259 m and starting to change the level of structural performance from LS to CP with a number of 22 elements, IO level to LS as many as 1029 elements, level B to IO 879 and level A to B 3577 elements from a total of 5520 elements, while for the Y-direction in step 6. The structure is 32742,127 kN displacement 0.0173 m and the structure performance level changes from LS to CP with a number of 6 elements, IO level to LS is 722 elements, level B to IO 1426 and level A to B 3364 elements from a total of 5520 elements. The results of the pushover analysis show that the building performance point reviewed for X-direction earthquake loading is 0,347 meters with a base shear force which occurs at 26032,184 kN, while for Y-direction earthquake loading a building performance point is 0.015 meters with a shear force occurred at 30930,721 kN. The performance points obtained by structural-drift ratios that occur due to X-direction and Y-direction earthquake loading are 1,172% and 0,050%, then the structural performance level is based on the deviation limits required by FEMA 356 and ATC-40 including the level of Immediate Occupancy.

Keywords : pushover analysis, capacity curve, performance point, performance level structure.

1. Pendahuluan

Gempa bumi adalah suatu kejadian getaran atau guncangan yang terjadi di

permukaan bumi akibat pelepasan energi secara tiba-tiba dari dalam bumi. Energi tersebut akan menciptakan suatu gelombang

seismik yang merambat ke segala arah pada permukaan bumi. Apabila pelepasan energi tersebut keluar dengan jumlah kekuatan yang sangat besar, akan mengakibatkan salah satunya kerusakan pada bangunan yang berada di atas permukaan bumi. Indonesia merupakan wilayah rawan terhadap gempa, untuk mengurangi resiko bencana yang terjadi maka diperlukan konstruksi bangunan tahan gempa (Lesmana, 2016). Saat terjadi gempa, diharapkan bangunan mampu menerima gaya gempa pada level tertentu tanpa terjadi kerusakan yang signifikan pada strukturnya atau apabila struktur bangunan harus mengalami keruntuhan mampu memberikan perilaku nonlinear pada kondisi pasca elastik sehingga tingkat keamanan bangunan terhadap gempa dan keselamatan jiwa penghuninya lebih terjamin (Riantoby dkk., 2014). Salah satu cara melakukannya yaitu dengan menganalisa kinerja keruntuhan pada struktur gedung menggunakan analisis *pushover*.

Menurut Mamesah dkk. (2014) analisis *pushover* merupakan analisis perilaku keruntuhan suatu bangunan terhadap gempa dimana pengaruh gempa rencana terhadap struktur gedung dianggap sebagai beban-beban statik yang menangkap pada pusat massa masing-masing lantai, yang nilainya ditingkatkan secara barangsur-angsur sampai melampaui pembebanan yang menyebabkan terjadinya pelelehan disatu atau lebih lokasi di struktur tersebut, kemudian dengan peningkatan beban lebih lanjut mengalami perubahan bentuk *elastoplastis* yang besar sampai mencapai kondisi di ambang keruntuhan. Prosedur analisis *pushover* dengan memberikan beban statis dalam arah lateral yang ditingkatkan secara bertahap (*increment*) hingga mencapai target perubahan bentuk (*displacement*) tertentu (Wisnumurti dkk., 2008). Menurut Dewobroto (2006) perilaku struktur bangunan yang ditunjukkan fase awal dan mayoritas terjadinya sendi-sendi plastis terjadi pada elemen balok baru kemudian elemen kolom. Tujuan dari analisis *pushover* untuk mengetahui berapa besar gaya maksimum yang dapat ditahan struktur serta besar perpindahan maksimum struktur (Pranata dan Wijaya, 2009).

Pranata (2006) mengevaluasi kinerja gedung beton bertulang tahan gempa dengan *pushover analysis* sesuai ATC-40 (1996), FEMA-356 (2000) dan FEMA-440 (2005) dengan tiga model bangunan gedung berstruktur beton bertulang menggunakan sistem rangka yang berstruktur pemikul momen menengah dan khusus, memiliki 10 lantai dan beraturan. Sistem struktur balok dan kolom pada gedung bertingkat 10 lantai berfungsi sebagai perkantoran ($I = 1$). Lantai dasar memiliki 4 meter, sedangkan untuk lantai 2 dan seterusnya memiliki tinggi 3,6 meter, dengan bentang berjumlah 3×3 tiap bentang memiliki panjang 8 meter. Studi yang dilakukan pada elemen kolom, tipe yang digunakan adalah sendi *default-PMM*. Sendi *default-PMM* merupakan hubungan antara gaya aksial dan momen (diagram interaksi P-M) pada elemen kolom (Afandi, 2010). Pada kasus ini, menurut Dewobroto (2005) tipe sendi *default-M3* digunakan untuk elemen balok, dengan harapan momen keefektifan balok dapat ditahan dalam aliran sumbu yang kuat (sumbu-3), dan balok diharapkan akan mengalami sendi plastis. Asumsi sendi pada elemen balok dan kolom diperkirakan bersumbu ditiap ujungnya dengan desain gedung berdasarkan SNI 03-1726-2002 dan SNI 03-2874-2002. Evaluasi perilaku seismik gedung berdasarkan evaluasi kinerja dengan menggunakan analisis *pushover* ETABS. Berdasarkan ATC-40 (1996) menghasilkan titik kinerja yang paling kecil pada evaluasi kinerja, sedangkan berdasarkan SNI 03-1726-2002 didapatkan hasil dengan besar 0,728 m pada batas *ultimate* kinerja di setiap tipe gedung. Menurut Manalip dkk. (2015) pada umumnya peningkatan kinerja struktur pemodelan biasanya dipengaruhi oleh kelas situs tanah tempat struktur gedung dibangun.

Tujuan dari penyusunan tugas akhir yaitu menganalisa tahapan kinerja pola pembentukan sendi plastis pada gedung K.H Ibrahim Universitas Muhammadiyah Yogyakarta menggunakan metode analisis *pushover* dengan:

1. Menghasilkan kurva kapasitas (*capacity curve*) struktur gedung.
2. Menentukan titik kinerja (*performance point*) struktur gedung pada kondisi inelastis.

- Menentukan level kinerja (*performance level*) struktur gedung pada saat titik kinerja tercapai.

Oleh karena itu penting untuk mempelajari dan mengevaluasi keruntuhan gedung dalam kondisi seismik salah satunya dengan cara menggunakan analisis *pushover* (Ismail, 2013).

2. Pengumpulan Data dan Analisis

Tahapan awal penelitian, yaitu mengumpulkan data-data sekunder berupa gambar perencanaan struktur dan arsitektural dan laporan hasil penyelidikan tanah dari Biro Aset Universitas Muhammadiyah Yogyakarta dan laporan akhir penelitian sebelumnya yang dilakukan di gedung K.H Ibrahim Universitas Muhammadiyah Yogyakarta dengan denah struktur gedung pemodelan pada Gambar 1.

Kemudian data-data tersebut dikumpulkan dan dimasukkan kedalam pembebanan pada pemodelan nanti. Pembebanan mengacu pada Peraturan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung (PPURG) 1987 (DPU, 1987) dan SNI 1727-2012 (BSN, 2012). Pembebanan yang diberikan kepada model struktur mencakup beban mati, beban hidup, dan beban gempa.

Setelah data terkumpul kemudian dimodelkan menggunakan *software* SAP2000 dengan memasukkan data-data material, dimensi elemen struktur sesuai dengan data dan gambar perencanaan gedung. Bagian struktur yang dimodelkan hanya struktur atas rangka beton bertulang. Pada struktur atap hanya dimodelkan sebagai beban perletakan

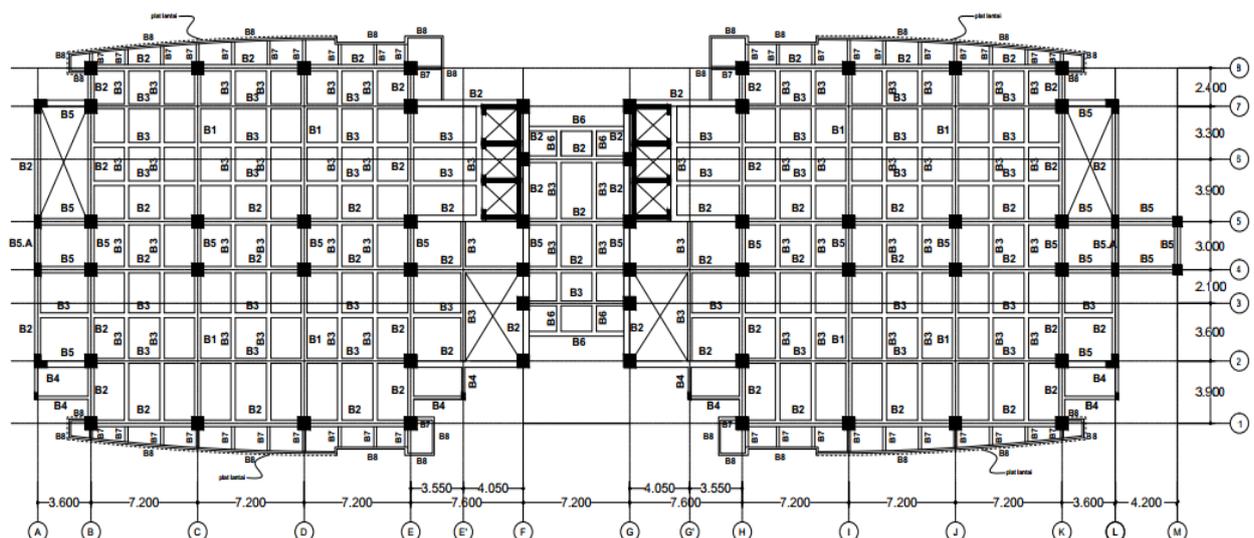
pada ringbalk, sedangkan bagian struktur minor yang tidak memiliki pengaruh besar terhadap struktur tidak ikut dimodelkan.

Setelah dilakukan pemodelan dan memasukkan beban dilakukan *run analysis* pertama (Analisis Linier). Analisis pertama digunakan sebelum *pushover analysis* untuk mengecek struktur gedung yang dimodelkan aman atau tidak (Gunawan dkk., 2004).

Setelah selesai dilakukan *run analysis*, maka tahap selanjutnya mengontrol dari hasil analisis, yaitu periode getar alami, gaya geser dasar (*base shear*), simpangan batas *ultimate* dan rasio tulangan. Setelah didapatkan informasi bahwa dari hasil analisis linier struktur bangunan gedung masih aman, maka dilanjutkan analisis *pushover*. Jika tidak, cek atau ulang kembali ke bagian 1.

Adapun langkah-langkah pada proses analisis *pushover* adalah:

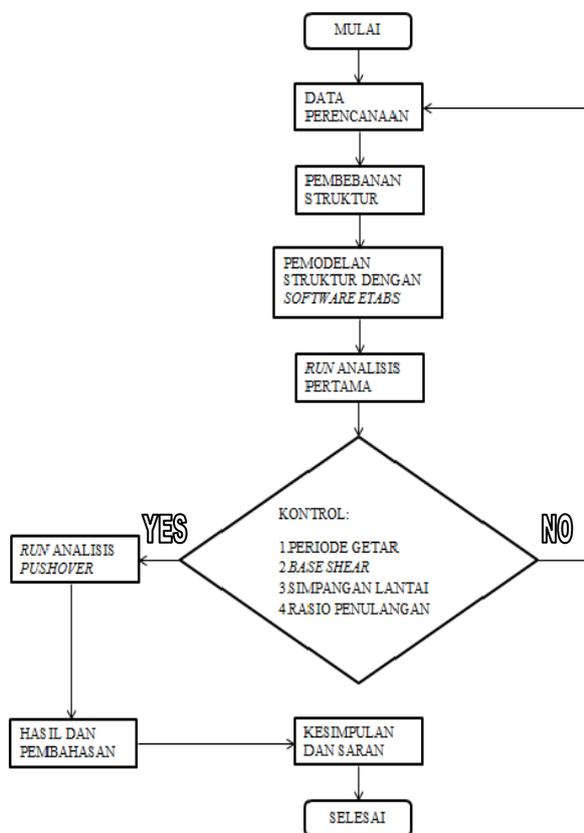
- Memasukkan *pushover case* pada *software* SAP2000.
- Menempatkan properti sendi pada ujung balok dan kolom untuk arah sumbu kuat dan sumbu lemah.
- Menentukan titik kontrol pada atap.
- Setelah langkah 1 sampai langkah 3 selesai dimasukkan, kemudian lakukan *run analysis static nonlinear pushover*.
- Analisis *pushover* dilakukan dalam 2 tahap, pertama struktur diberi beban gravitasi berupa beban mati dan beban hidup yang tereduksi. Analisis tahap pertama belum memperhitungkan kondisi nonlinier. Kedua struktur diberikan pola beban lateral bertahap.



Gambar 1 Denah Denah struktur gedung dengan skala 1:200

6. Pembebanan lateral ditingkatkan sampai komponen struktur yang paling lemah berdeformasi yang menyebabkan kekakuannya berubah secara signifikan (terjadi leleh dari penampang).
7. Proses pembebanan dilanjutkan sampai batas kinerja terdeteksi dari perpindahan titik kontrol pada atap. Langkah 5-7 dilakukan secara otomatis oleh program SAP2000.
8. Kurva *pushover* diplotkan agar menggambarkan respons perilaku nonlinier dalam menentukan target perpindahan.
9. Mengambil hasil dari analisis *pushover*.

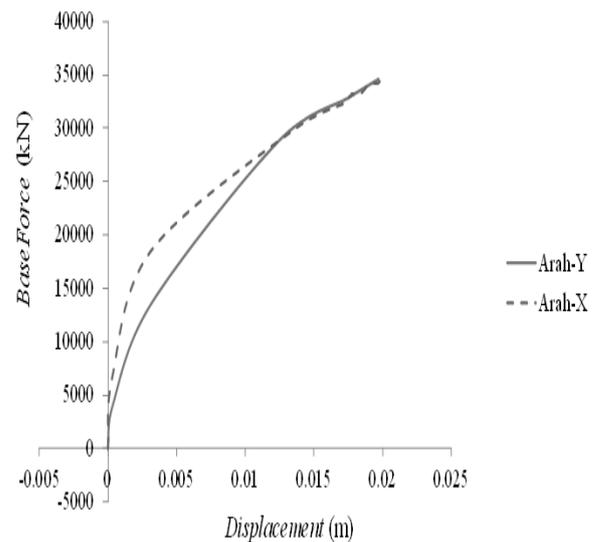
Hasil dari pemodelan tersebut yaitu didapat kurva *pushover*. Kurva *pushover* digunakan untuk menentukan titik kontrol besarnya perpindahan titik kontrol dan gaya geser dasar pada struktur (Utomo dkk. 2012).



Gambar 2 Bagan alir penelitian

3. Hasil dan Pembahasan Kurva Kapasitas (capacity curve)

Setelah analisis *pushover* akan mendapatkan hubungan antara perpindahan lateral atap dan gaya geser dasar yang menggambarkan kapasitas struktur dalam bentuk kurva. X



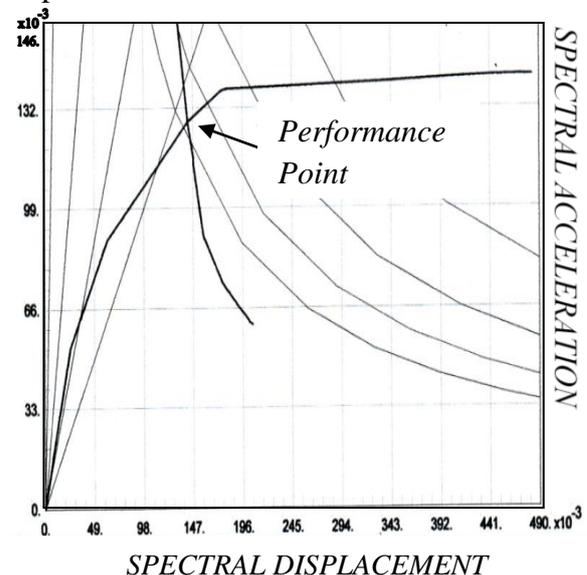
Gambar 2 Kurva Kapasitas arah-X dan Y Untuk arah-X pada kurva kapasitas, diperoleh analisis *pushover* berhenti pada *steps* ke-15, yaitu target *displacement* maksimum sebesar 0,676993 m dan gaya geser dasar sebesar 26807,871 kN.

Sedangkan pada arah-Y, analisis berhenti pada *steps* ke-24, yaitu target *displacement* maksimum sebesar 0.019708 m dan gaya geser dasar sebesar 34612,614 kN.

Target Perpindahan dengan Metode Spektrum Kapasitas (ATC-40)

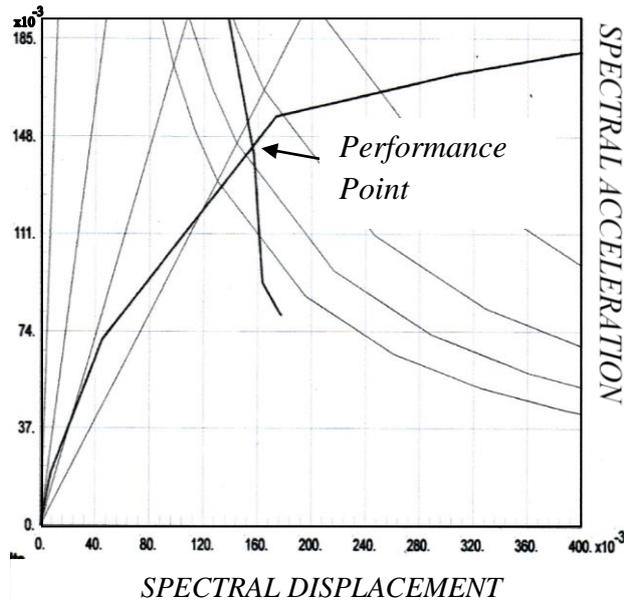
Estimasi besarnya perpindahan lateral saat gempa rencana adalah target perpindahan pada struktur bangunan.

Nilai target perpindahan dan gaya geser dasar pada titik kontrol tinjauan didapat *performance point* dari kurva Spektrum Kapasitas.



Gambar 3 Kurva Spektrum Kapasitas arah-X

Kurva pada Gambar 4 menunjukkan bahwa nilai *displacement* untuk arah-X sebesar 0,347 m dan nilai *Base Shear* sebesar 26032,184 kN.



Gambar 4 Kurva Kapasitas arah-Y

Sedangkan pada Gambar 5, kurva tersebut menunjukkan bahwa nilai *displacement* untuk arah-Y sebesar 0,015 m dengan nilai *Base Shear* sebesar 30930,721 kN.

Maka berdasarkan metode spektrum kapasitas perilaku struktur arah X dan Y pada gempa rencana telah mengalami in-elastis yang disebabkan pelelehan pada sendi plastisnya. Batasan maksimum displacement sebesar 0,02H (0,592 m), target hasil displacement dari analisis pushover untuk arah-X sebesar 0,347 m < 0,592 m dan arah-Y sebesar 0,015 m < 0,592 m sehingga gedung tersebut memenuhi syarat keamanan.

Evaluasi Kinerja Struktur

Level kinerja struktur (*structural performance levels*) ditentukan melalui kriteria *roof drift ratio* yang diperoleh pada saat target perpindahan tercapai dengan rumus:

$$\text{Roof drift ratio} = \frac{\text{Target perpindahan (m)}}{\text{Elevasi gedung (m)}} \times 100\%$$

Tabel 1 Perhitungan *drift ratio* berdasarkan perpindahan titik kontrol

Metode Spektrum Kapasitas	Elevasi Gedung (m)	Target Perpindahan (m)	Roof drift ratio (%)	Level Kinerja Gedung
Arah-X	29,6	0,347	1,172	IO
Arah-Y	29,6	0,015	0,050	IO

Mekanisme Pola Sendi Plastis

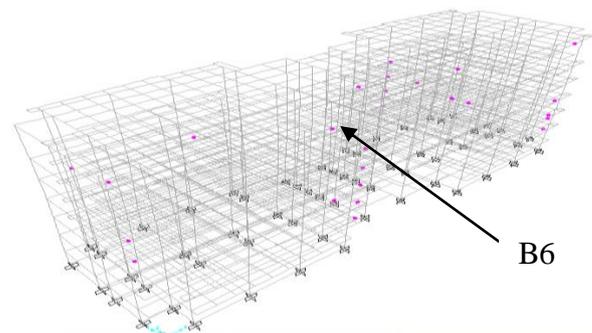
Analisis *pushover* akan didapatkan perilaku pola sendi plastis yang terjadi pada struktur yang akan mendekati keruntuhan. Hasil analisis akan memperlihatkan tahapan dan posisi terbentuknya sendi plastis pada saat elemen struktur pertama mengalami plastis hingga kolom lantai bawah dan seluruh struktur juga mengalami plastis hingga mencapai target perpindahan maksimum tercapai.

Hasil analisa yang dilakukan diketahui bahwa untuk arah-X letak sendi plastis yang terjadi pada struktur pada *step 1* sudah terlihat adanya sendi plastis yang terbentuk didaerah balok-balok ujung tiap lantai pada struktur yang ditinjau.

Tabel 2 Kurva *Pushover* arah-X *step 0-1*

Step	Displacement (m)	Base Force (kN)	A to B	B to IO	Total
0	0	0	5520	0	5520
1	0,000003367	0,132	5494	26	5520

Gambar 6 menunjukkan bahwa terjadi distribusi sendi plastis dari level kinerja B ke IO sebanyak 26 elemen dari total 5520 elemen dengan pergeseran sebesar $3,367 \times 10^{-7}$ m dan dibebani sebesar 1,295 kN.

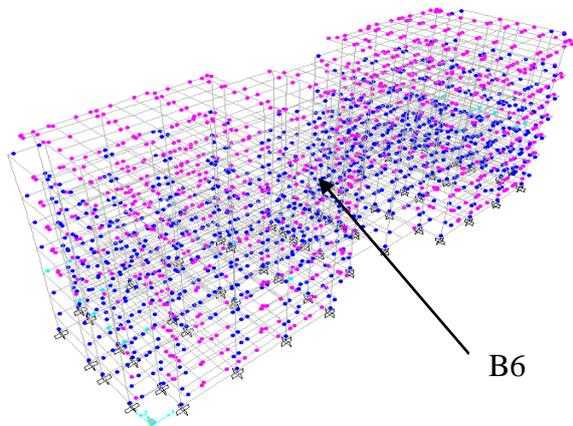


Gambar 5 Distribusi sendi plastis pada *step-1* pada arah-X

Tabel 3 Kurva *Pushover* arah-X *step* 5 –*step* 9

<i>Step</i>	<i>Displacement</i> (m)	<i>BaseForce</i>					Total
		(kN)	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	
5	0,232	25211,307	3787	1562	171	0	5520
6	0,240	25361,439	3762	1544	214	0	5520
7	0,330	25930,864	3641	1346	533	0	5520
8	0,461	26350,560	3590	879	1029	22	5520
9	0,580	26672,610	3577	603	954	386	5520

Pada *step* 5 mulai terbentuknya daerah balok terbentuk sendi plastis, hal ini menunjukkan bahwa sudah mulai terjadinya perubahan level kinerja struktur dari level IO ke LS dengan jumlah 171 elemen, level B ke IO sebanyak 1562 elemen dan level A ke B sebanyak 3787 elemen dari 5520 elemen dengan pembebanan sebesar 25211,307 kN dan pergesarannya yaitu 0,232 m yang ada di Tabel 3.



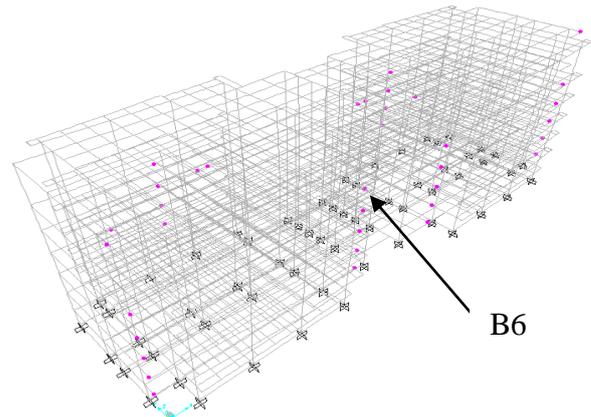
Gambar 5 Distribusi sendi plastis pada *step*-8 pada arah-X

Pada *step* 8 struktur dibebani sebesar 26350,560 kN terjadi perpindahan 0,461 m dan mulai berubah level kinerja struktur dari LS ke CP dengan jumlah 22 elemen, level IO ke LS sebanyak 1029 elemen, level B ke IO 879 dan level A ke B 3577 elemen dari total 5520 elemen.

Pada *step* 10, terjadi perubahan level kinerja CtoD sebanyak 87 elemen dan *step* 11

sebanyak 6 elemen pada level kinerja DtoE dan kemudian berhenti pada *step* 15 dilevel kinerja BeyondE sebanyak 0 elemen. Kemunculan pertama kali ada pada balok B6 lantai 3. Kemudian terhenti pada *step* 15 dengan *displacement* maksimum sebesar 0.6769 m dan gaya geser dasar sebesar 26807,871 kN.

Untuk arah-Y letak sendi plastis yang terjadi pada struktur pada *step* 1 juga mulai terbentuknya adanya sendi plastis yang terbentuk didaerah balok-balok ujung tiap lantainya. Warna tiap sendi balok dan kolom struktur gedung masih terlihat aman pada kejadian *step*-1. Komponen struktur juga masih dibatas aman.



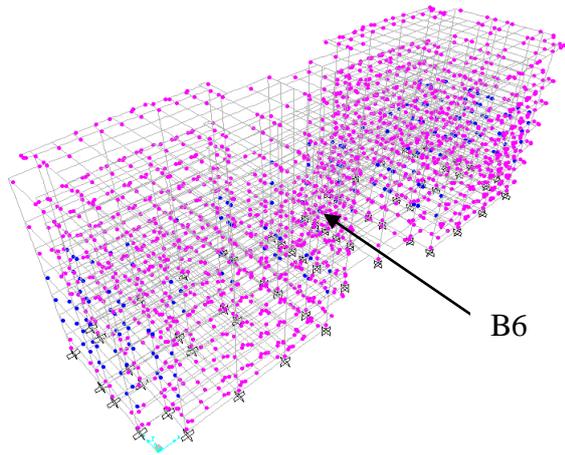
Gambar 6 Distribusi sendi plastis pada *step*-1 pada arah-Y

Hampir semua daerah balok terbentuk sendi plastis, hal ini menunjukkan bahwa distribusi sendi plastis hasil analisa *pushover* pada model gedung yang ditinjau hanya terjadi

Tabel 4 Level kinerja *Pushover* arah-X *step* 10,11 dan 15

<i>Step</i>	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	CPtoC	CtoD	DtoE	BeyondE	Total
10	3572	566	787	508	0	87	0	0	5520
11	3565	550	658	582	0	159	6	0	5520
15	3357	536	584	560	0	262	7	0	5520

pada daerah balok, sehingga tidak terjadi mekanisme kerusakan tingkat pada *step* 5.



Gambar 7 Distribusi sendi plastis pada *step*-5 pada arah-Y

elemen dari 5520 elemen dengan pembebanan sebesar 28635,386 kN dan pergesarannya yaitu 0,0123 m.

Kemudian pada *step* selanjutnya yaitu *step* 6 struktur dibebani sebesar 32742,127 kN terjadi perpindahan 0,0173 m dan mulai berubah level kinerja struktur dari LS ke CP dengan jumlah 6 elemen, level IO ke LS sebanyak 722 elemen, level B ke IO 1426 dan level A ke B 3364 elemen dari total 5520 elemen.

Untuk Tabel 6 pada *step* 15 ke 16 terjadi perubahan dari level C ke level D sebanyak 4 elemen.

Sampai *step* 20 arah-Y juga tetap pada level CtoD dengan perubahan 4 elemen, level DtoE sebanyak 2 elemen dan level Beyond E

Tabel 5 Kurva *Pushover* arah-Y *step* 0 – *step* 8

<i>Step</i>	<i>Displacement</i> m	<i>BaseForce</i> kN	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	Total
0	0	0	5520	0	0	0	5520
1	6,218E-08	2,094	5484	36	0	0	5520
2	0,000019	628,697	5440	80	0	0	5520
3	0,00031	3866,296	5220	300	0	0	5520
4	0,003115	13487,806	4476	1044	0	0	5520
5	0,012301	28635,386	3580	1764	176	0	5520
6	0,017341	32742,127	3364	1426	722	6	5520
7	0,01742	32776,302	3364	1413	735	6	5520
8	0,017448	32794,151	3364	1404	744	6	5520

Tabel 5 merupakan kurva *pushover* arah-Y *step* 0-*step* 8. *Step* 1 menunjukkan bahwa terjadi distribusi sendi plastis dari level kinerja B ke IO sebanyak 36 elemen dari total 5520 elemen dengan pergeseran sebesar $6,218 \times 10^{-08}$ m dan dibebani sebesar 2,094 kN.

Pada *step* 5 menjelaskan bahwa sudah mulai terjadinya perubahan level kinerja struktur dari level IO ke LS dengan jumlah 176 elemen, level B ke IO sebanyak 1426 elemen dan level A ke B sebanyak 3580

elemen. Kemudian berhenti pada *step* 24 dengan level AtoB sebanyak 3250 elemen, BtoIO sebanyak 1210 elemen, IOtoLS sebanyak 720 elemen, LStoCP sebanyak 314 elemen, CtoD sebanyak 22 elemen, DtoE sebanyak 2 elemen dan BeyondE sebanyak 2 elemen dari 5520 elemen.

Kesimpulan dari mekanisme pola sendi pada data tabel *pushover* arah-X dan arah-Y menyatakan bahwa perubahan setiap level muncul pertama kali terjadi di B6 lantai 3.

Tabel 6 Kurva *Pushover* arah-Y *step* 15, 16, 20 dan 24

<i>Step</i>	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	CPtoC	CtoD	DtoE	BeyondE	Total
15	3255	1253	744	266	0	0	0	0	5520
16	3250	1232	736	294	0	4	2	2	5520
20	3250	1226	730	306	0	4	2	2	5520
24	3250	1210	720	314	0	22	2	2	5520

4. Kesimpulan

Berdasarkan evaluasi kinerja gedung K.H Ibrahim Universitas Muhammadiyah Yogyakarta menggunakan metode analisa *pushover* dengan program SAP2000 diperoleh:

1. Perpindahan titik acuan/ *displacement* arah-X adalah 0,347 m dengan gaya geser dasar/ *base shear* yang terjadi 26032,184 kN, sedangkan pada arah-Y diperoleh titik kinerja gedung yaitu 0,015 m dengan gaya geser yang terjadi adalah 30930,7271 kN.
2. Titik kinerja yang diperoleh untuk rasio simpangan struktur (*structural-drift ratio*) yang terjadi akibat pembebanan gempa arah-X dan arah-Y adalah 1,172% dan 0,050%. Oleh karena itu, berdasarkan level kinerja struktur menurut oleh FEMA 356 dan ATC-40 ada pada di level *Immediate Occupancy*.
3. Distribusi sendi plastis yang terjadi pada saat titik kinerja tercapai memperlihatkan tidak ada komponen struktur yang melewati batas kinerja *Immediate Occupancy (IO)* sehingga dapat dikatakan kinerja komponen struktur masih dalam keadaan aman pada saat target perpindahan tercapai.

5. Daftar Pustaka

- Afandi, N. R., 2010. *Evaluasi Kinerja Seismik Struktur Beton Dengan Analisis Pushover Menggunakan Program Sap 2000 Studi Kasus : Gedung Rumah Sakit Di Surakarta Universitas Sebelas Maret Surakarta*, Tugas Akhir, Universitas Sebelas Maret Surakarta, Surakarta.
- ATC-40, 1996: *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Volume I*, Seismic Safety Commission State of California, California.
- BSN, 2012, SNI-1726-2012: *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- BSN, 2013, SNI-2847-2013: *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- Dewobroto, W., 2005. *Evaluasi Kinerja Struktur Baja Tahan Gempa dengan Analisa Pushover, Civil Engineering National Conference*, Unika Soegijapranata Semarang, Semarang, 17-18 Juni 2005, 1-28.
- Dewobroto, W., 2006. *Evaluasi Kinerja Bangunan Baja Tahan Gempa dengan SAP2000*. *Jurnal Teknik Sipil*, 3(1), 7-24.
- DPU, 1987, *Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung (PPURG)*, Jakarta.
- FEMA-273, 1997: *NEHRP Guidelines For the Seismic Rehabilitation of Buildings*, American Society of Civil Engineers, Virginia.
- FEMA-356, 2000: *Prestandard and Commentary For The Seismic Rehabilitation Of Buildings*, American Society of Civil Engineers, Virginia.
- FEMA-440, 2005: *Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures*, American Society of Civil Engineers, Virginia.
- Gunawan, I., Wijaya, E. dan Lumantarna, B., 2004. *Keandalan Analisa Pushover Untuk Meramal Prilaku Seismik Nonlinier Struktur Portal Terbuka Dengan Reentrant Corner*. *Civil Engineering Dimension* 6 (1), 1-6.
- Ismail, A., 2013, *Non linear static analysis of a retrofitted reinforced concrete building*, *HBRC Journal*, 10(1), 100-107, doi: [10.1016/j.hbrj.2013.07.002](https://doi.org/10.1016/j.hbrj.2013.07.002)
- Lesmana, D. V., 2016, *Evaluasi Sendi Plastis Dengan Analisis Pushover Pada Gedung Tidak Beraturan*, Tugas Akhir, Universitas Kristen Maranatha Bandung, Bandung.
- Mamesah, H. Y., Wallah S. E. dan Windah R. S., 2014. *Analisis Pushover Pada Bangunan Dengan Soft First Story*. *Jurnal Sipil Statik*, 2(4), 214-224.
- Manalip, H., Kumaat, E. J., Runtu, F. I., 2015. *Penempatan Dinding Geser Pada Bangunan Beton Bertulang Dengan Analisa Pushover*, *Jurnal Ilmiah Media Engineering*, 5(1), 283-293.
- Pranata, Y. A., 2006. *Evaluasi Kinerja Gedung Beton Bertulang Tahan Gempa dengan Pushover Analysis (Sesuai ATC-*

- 40, *FEMA 356 dan FEMA 440*). Jurnal Teknik Sipil, 3(1), 41-52.
- Pranata, Y. A., dan Wijaya, P. K., 2009. *Kajian Daktilitas Struktur Gedung Beton Bertulang dengan Analisis Riwayat Waktu dan Analisis Beban Dorong*. Jurnal Teknik Sipil Universitas Atma Jaya Yogyakarta, 8(3), 250-263.
- Riantoby, I. K., Budi, A. S. dan Purwanto, E., 2014. *Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Bertingkat Dengan Analisis Pushover Menggunakan Software Etabs (Studi Kasus : Hotel Di Wilayah Karanganyar)*. Matriks Teknik Sipil 2 (1), 116.
- Utomo, C., Susanto, R.I., Tudjono, S., dan Wibowo, H., 2012. *Evaluasi Struktur dengan PushOver Analysis pada Gedung Kalibata Residences Jakarta (The Evaluation Of The Structure by Using Pushover Analysis of Kalibata Residences Building Jakarta)*. Jurnal Karya Teknik Sipil, 1(1), 1-10.
- Wisnumurti, Cahya, I., dan Anas, A., 2008. *Analisis Pushover pada Gedung Tidak Beraturan Dengan Study Kasus pada Gedung Baru FIA Unibraw*. Rekayasa Sipil, 2 (1), 11-22.