

Evaluasi Simpangan Pada Bangunan Bertingkat Beton Bertulang berdasarkan Analisis *Pushover* dengan Metode ATC-40

Dermawan Zebua¹⁾, Leonardus Setia Budi Wibowo²⁾, M. Shofwan Donny Cahyono³⁾
dan Norman Ray⁴⁾

¹⁾ Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Widya Kartika
Jl. Sutorejo Prima Utara II/1 Surabaya, 60112

Email: dermawanzebua812@gmail.com

²⁾ Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Widya Kartika
Jl. Sutorejo Prima Utara II/1 Surabaya, 60112

Email: leonarduswibowo@widyakartika.ac.id

³⁾ Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Widya Kartika
Jl. Sutorejo Prima Utara II/1 Surabaya, 60112

Email: shofwandonny@gmail.com

⁴⁾ Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Widya Kartika
Jl. Sutorejo Prima Utara II/1 Surabaya, 60112

Email: gasman_f14@yahoo.com

Abstract

Indonesia is an area prone to earthquakes. Earthquakes caused by the movement of the earth's plates are the biggest cause of earthquakes that will cause damage to the building structure. Earthquakes occurring in Indonesia often cost lives. However, it is certain that the cause of the loss of life is not directly caused by the earthquake, but caused by the destruction of the building that caused the collapse in the building.

The purpose of writing the research is to determine the performance criteria of the university building's seismic performance from the performance point value using the ATC-40 code, showing the melamine scheme (plastic joint distribution) occurring from the calculation of the software program, knowing the collapse pattern of the building so it can be known the joints Suffered damage and suffered destruction of pushover analysis.

From the results of the study, the structure of the building is able to provide nonlinear behavior indicated by the initial phase and the majority of plastic joints occur in new beam elements and then column elements. The performance level of the structure enters the criterion of operational which means that minor structural and building damage can be reused immediately.

Keywords: Reinforced Concrete; Pushover; Nonlinear; Plastic Joints

Abstrak

Indonesia merupakan wilayah yang rawan terjadi gempa. Gempa bumi yang diakibatkan oleh pergerakan lempeng bumi merupakan penyebab terbesar dari gempa yang akan menimbulkan kerusakan pada struktur gedung. Gempa bumi yang terjadi di Indonesia sering kali memakan korban jiwa. Namun, dapat dipastikan bahwa penyebab adanya korban jiwa bukan diakibatkan secara langsung oleh gempa, tetapi diakibatkan oleh rusaknya bangunan yang menyebabkan keruntuhan pada bangunan tersebut.

Tujuan penulisan penelitian ini adalah menentukan kriteria kinerja seismik struktur gedung universitas dari hasil nilai performance point menggunakan code ATC-40, memperlihatkan skema kelelahan (distribusi sendi plastis) yang terjadi dari hasil perhitungan program software, mengetahui pola keruntuhan bangunan sehingga dapat diketahui joint-joint yang mengalami kerusakan dan mengalami kehancuran dari analisis pushover.

Dari hasil penelitian, Struktur bangunan mampu memberikan perilaku nonlinear yang ditunjukkan fase awal dan mayoritas terjadinya sendi-sendi plastis terjadi pada elemen balok baru kemudian elemen kolom. Level kinerja struktur masuk kriteria operasional yang berarti terjadi kerusakan kecil pada struktural dan bangunan dapat segera digunakan kembali.

Kata Kunci: Beton Bertulang; Pushover; Nonlinear; Sendi Plastis

PENDAHULUAN

Seiring dengan perkembangan penduduk di Indonesia, lahan pemukiman dan perkantoran semakin banyak, sehingga lahan kosong sedikit. Perkembangan populasi Indonesia dari tahun 1955 s/d 2019 semakin bertambah, dapat dilihat pada tahun 1955 jumlah penduduk sekitar +77.327.794 orang sedangkan pada tahun 2019 jumlah penduduk +269.536.482 orang (*World Population, 2019*). Maka dengan pembangunan dengan sistem vertikal menjadi solusinya. Oleh karena itu pembangunan bangunan tingkat tinggi atau lebih dikenal dengan *high rise building* sedang marak di kota - kota besar di Indonesia. High rise building ini memiliki sisi positif dalam segi efisiensi penggunaan lahan, namun dalam konstruksinya sangat rentan dalam beban lateral salah satunya gempa (Schueller, 1989).

Berhubungan dengan gempa, Indonesia merupakan salah satu negara yang terletak di wilayah *ring of fire* (Blair, 2010). Ring of Fire adalah wilayah yang sering dilanda gempa bumi dan letusan gunung berapi yang berada dalam cekungan Pasifik dan juga terletak pada wilayah yang rawan gempa, hal tersebut disebabkan karena Indonesia berada pada titik pertemuan 3 lempeng tektonik besar di dunia, yaitu lempeng Indo-Australia, lempeng Eurasia dan lempeng Pasifik. Kondisi ini yang mengharuskan sistem struktur yang dibangun di Indonesia harus mengikuti peraturan - peraturan yang ada, khususnya mengenai bangunan tahan gempa.

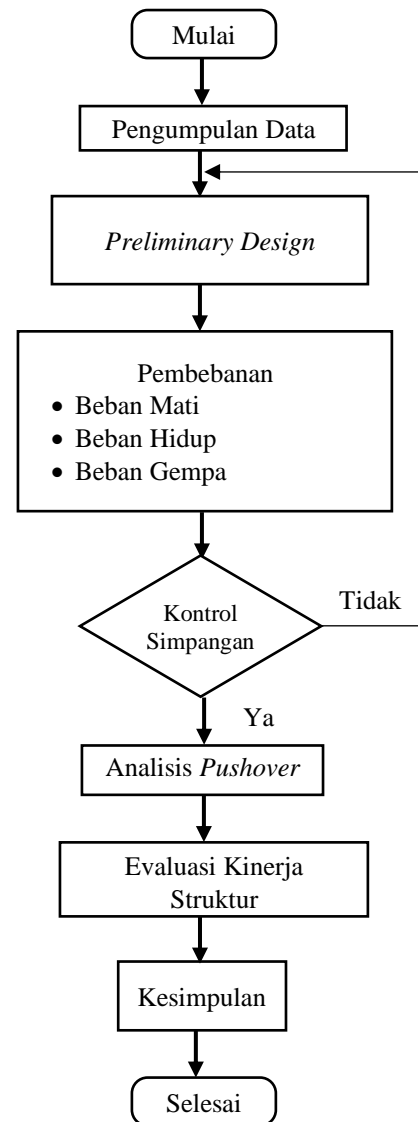
Dalam perkembangannya, standar yang ada untuk tata cara perencanaan ketahanan gempa bagi struktur bangunan saat ini, perlu diperbaharui dan dikembangkan untuk mengikuti perkembangan teknologi yang ada saat ini. Sehingga dapat disesuaikan dengan perkembangan ilmu pengetahuan Teknik Sipil. Selain itu, intensitas terjadinya gempa bumi yang meningkat menyebabkan tingginya keruntuhan gedung akibat gempa, karena beban gempa pada peraturan sebelumnya lebih kecil dari yang ditetapkan dalam peraturan gempa yang berlaku sekarang. Oleh karena itu akan dilakukan studi analisis peraturan SNI-1726:2012 pada bangunan gedung tinggi STKIP SANTO PAULUS RUTENG Kabupaten Manggarai Propinsi Nusa Tenggara Timur.

Rekayasa gempa merupakan pengetahuan yang amat luas dan berkaitan dengan efek gempa yang dapat ditimbulkan kepada manusia dan lingkungannya. Untuk mengurangi dampak akibat gempa tersebut, maka pada daerah - daerah rawan gempa perlu dilakukan suatu evaluasi dan analisis seismic. Metode yang dilakukan adalah Pushover Analysis (Pranata, 2006). Prosedur analisis ini bertujuan untuk mengetahui perilaku keruntuhan suatu bangunan terhadap gempa dengan memberikan suatu pola lateral statik pada struktur secara bertahap ditingkatkan dengan satu target perpindahan lateral dari satu titik acuan. Dalam analisis ini menggunakan metode Pushover Analysis yaitu ATC-40.

URAIAN PENELITIAN

Proses Penelitiann

Proses penelitian ini ditampilkan dalam sebuah diagram alir metodologi yang dapat dilihat pada diagram alir:



Gambar 1. Flowchart Penelitian

Jenis dan Konsep Penelitian

Penelitian ini melakukan perencanaan gedung sesuai peraturan SNI 1726-2012 terhadap bangunan STKIP Santo Paulus Ruteng yang berada di Nusa Tenggara Timur untuk mengetahui bagaimana perilaku struktur gedung tersebut terhadap peraturan yang dibuat. Metode yang digunakan untuk mengetahui tingkat keamanan dari gedung ini menggunakan metode Pushover analysis ATC-40.

Pembebanan

Penelitian ini menggunakan beban hidup, beban mati, beban gempa (*static linear*) dan beban gempa (*static nonlinear*) *pushover*. Untuk beban gempa yang menggunakan metode statik ekuivalen sesuai peraturan SNI 1726-2012.

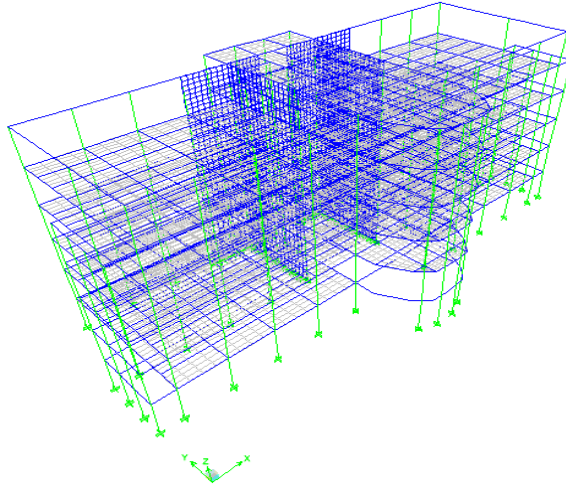
PEMBAHASAN

Data Struktur

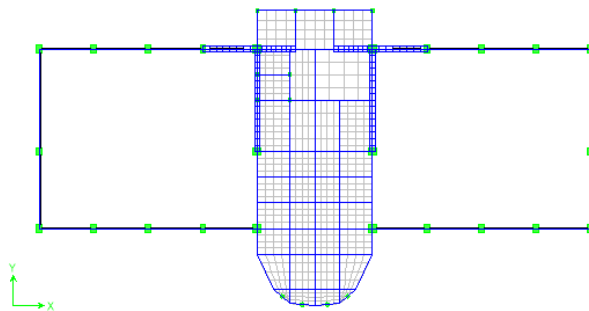
Mutu (f_c')	= 35 MPa
Mutu (f_y)	= 400 MPa
Balok	= 40x60cm, 30x40cm, 20x40cm

Kolom = 60x60cm, 40x60cm, 20x30 cm,
D30 cm

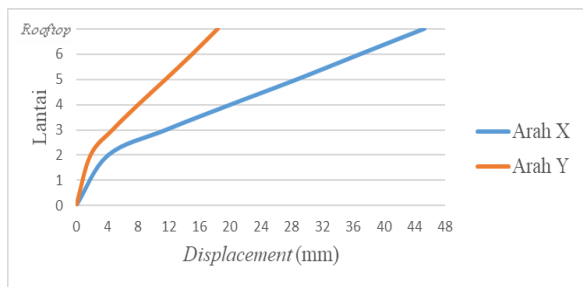
Tampak 3D dan atas pada gedung STKIP Santo Paulus Ruteng terdapat pada gambar 2 dan gambar 3.



Gambar 2. Tampak 3D Gedung



Gambar 3. Tampak Atas Gedung



Gambar 4. Displacement arah X dan arah Y

Dari hasil analisa *Displacement* gedung STKIP Santo Paulus Ruteng dapat dilihat pada gambar diatas bahwa displacement arah X lebih besar dari displacement arah Y.

Analisa Drift

Dari hasil perpindahan dilakukan perhitungan sesuai target perpindahan pada gedung STKIP Santo Paulus Ruteng dengan peraturan SNI 1726-2012 dikontrol sesuai rumus yang tertera dibawah ini :

$$\delta_s = \frac{C_d \times \delta_{se}}{I} \tag{1}$$

Dimana :

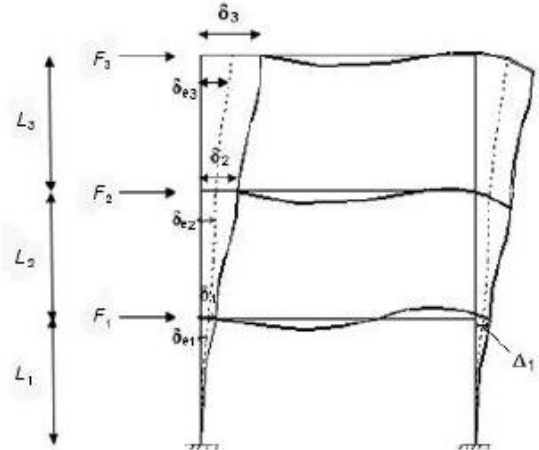
δ_{se} = perpindahan pada lantai ke-x

C_d = faktor pembesaran perpindahan (5.5)

I = faktor keutamaan gedung (1.5)

$$\Delta_1 = \delta_{s2} - \delta_{s1}$$

$$\Delta_a = 0.010hx$$



Gambar 5. Penentuan simpangan antar lantai
Sumber: SNI 1726-2012 (2019)

Tabel 1. Kontrol Kinerja Batas Struktur Akibat Beban Gempa Statik Ekuivalen arah X

Lantai	H (m)	$\delta_{e(x)}$	$\delta_{(x)}$	$\Delta_{(x)}$	Δ_a (0.01Hx)	Ket
Atap	3.8	45.3	166.1	30.5	38	Yes
6	3.8	37.01	135.7	30.2	38	Yes
5	3.8	28.7	105.4	31.7	38	Yes
4	3.8	20.1	73.72	30.9	38	Yes
3	3.8	11.6	42.82	27.5	38	Yes
2	3.8	4.16	15.24	15.2	38	Yes
Base	0	0	0	0	0	Yes

Sumber: Hasil pengolahan data (2019)

Tabel 2. Kontrol Kinerja Batas Struktur Akibat Beban Gempa Statik Ekuivalen arah Y

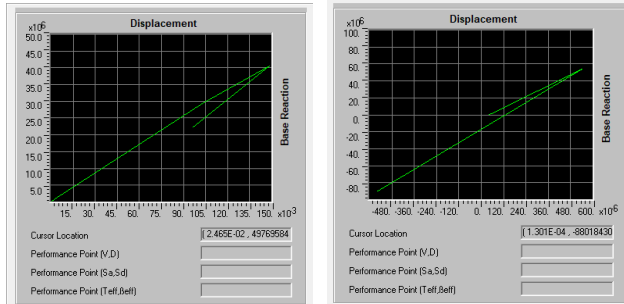
Lantai	H (m)	$\delta_{e(y)}$	$\delta_{(y)}$	$\Delta_{(y)}$	Δ_a (0.01Hy)	Ket
Atap	3.8	18.42	67.5	12.18	38	Yes
6	3.8	15.10	55.3	12.73	38	Yes
5	3.8	11.63	42.6	13.04	38	Yes
4	3.8	8.07	29.6	12.28	38	Yes
3	3.8	4.72	17.3	10.47	38	Yes
2	3.8	1.87	6.86	6.86	38	Yes
Base	0	0	0	0	0	Yes

Sumber: Hasil pengolahan data (2019)

Dari tabel diatas dapat disimpulkan bahwa drift arah X dan arah Y yang terjadi pada gedung STKIP Santo Paulus Ruteng memenuhi syarat peraturan SNI 1726-2012.

Analisis Pushover

Hasil analisa pushover pada struktur berupa kurva kapasitas struktur seperti dalam gambar di bawah ini :



Gambar 6. Kurva Kapasitas Struktur STKIP Santo Paulus Ruteng arah X dan Y

Nilai dari *pushover curve* diatas dapat seperti pada tabel dibawah ini :

Tabel 3. Output beban dorong arah x-x

Step	Displ. (mm)	Base Force (N)	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP	C-D
0	0.043	0	2367	79	0	0	0
1	2.656	915270.3	1676	634	130	6	0
2	103.1	29437824	1483	544	332	85	2
3	148.5	40501560	1483	544	332	85	2

Sumber: Hasil pengolahan data (2019)

Tabel 4. Output beban dorong arah y-y

Step	Displ. (mm)	Base Force (N)	A-B	B-IO	IO-LS	LS-CP
0	0.0431	0	2366	80	0	0
1	0.0562	1732932.25	2197	247	0	2
2	0.5418	54005080	1942	435	67	2

Sumber: Hasil pengolahan data (2019)

Dari tabel diatas diketahui bahwa pada arah X, keruntuhannya terjadi pada saat step 2 dan 3 dengan posisi C-D dan arah Y keruntuhannya terjadi pada saat step 1 dan 2 dengan posisi LS-CP.

Dalam menghitung metode spektrum kapasitas ATC-40 diperlukan titik kinerja bangunan (*performance point*). Untuk mendapatkan titik kinerja bangunan, diperlukan input berupa parameter gempa C_a dan C_v yang didapat dari *respon spectrum* desain berdasarkan rumus yang tertera di peraturan SNI 1726-2012, yaitu $C_a = 0.432$ dan $C_v = 0.96$. Kemudian, dari titik kinerja yang diperoleh gedung STKIP Santo Paulus Ruteng dapat dievaluasi terhadap kerusakan-kerusakan yang akan terjadi pada saat gempa di wilayah tersebut. Level kinerja bangunan terhadap gempa mengacu pada batasan simpangan pada Tingkat Kinerja Struktur ATC-40 yaitu; *Operational*, IO (*Immediate Occupancy*), LS (*Life Safety*), CP (*Collapse Prevention*) dan SS (*Structural Stability*).

Performance point yang dapat dari arah X = 85.289mm dan arah Y = 0.1053mm. Dari hasil itu dilakukan

perhitungan sesuai peraturan metode spektrum kapasitas ATC-40 seperti pada tabel dibawah ini :

Tabel 5. Hasil Tingkat Kinerja Struktur

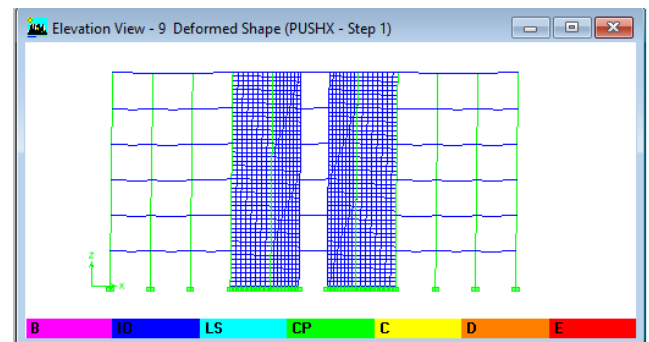
Arah	Parameter	Analysis ATC-40
Arah x-x	Target perpindahan Δm (mm)	85.289
	<i>Drift actual</i> ($\Delta m/T_{tot}$)	0.003740746
	Level Kinerja	Operasional
Arah y-y	Target perpindahan Δm (mm)	0.1053
	<i>Drift actual</i> ($\Delta m/T_{tot}$)	0.0000046053
	Level Kinerja	Operasional

Sumber: Hasil pengolahan data (2019)

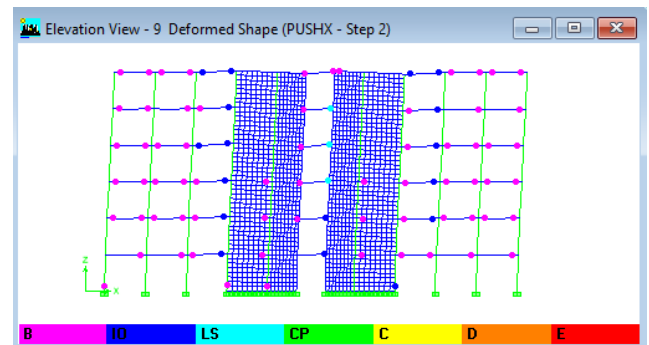
Dari tabel diatas diketahui bahwa Level Kinerja arah X dan Y berada pada *Operational* dimana bangunan aman saat terjadi gempa, resiko korban jiwa dan kegagalan struktur tidak terlalu berarti, gedung tidak mengalami berusakam berarti, dan dapat difungsikan kembali kira-kira hampir sama dengan kondisi sebelum gempa.

Mekanisme Sendi Plastis

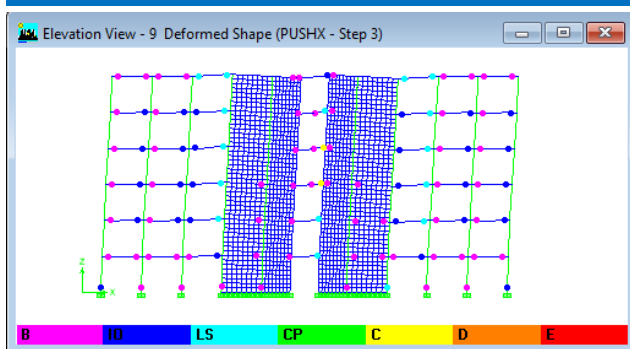
Pada gedung STKIP Santo Paulus Ruteng memiliki bentuk gedung yang tidak simetris sehingga mengalami sendi plastis berbeda antara arah X dan arah Y. Sendi plastis yang terjadi pada arah X terdapat pada Gambar 7-10 dan sendi plastis yang terjadi pada arah Y terdapat pada Gambar 11-13 yang terdapat dibawah ini:



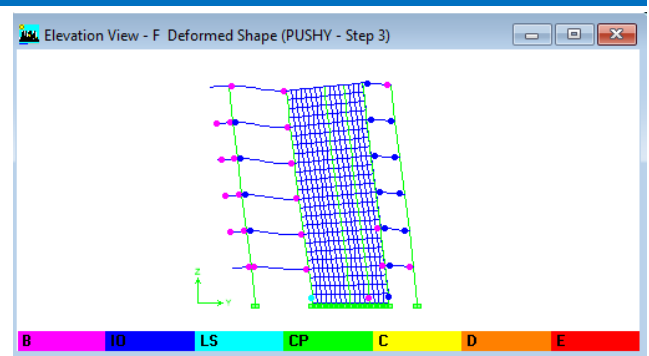
Gambar 7. Step 1 Pushover analysis arah X



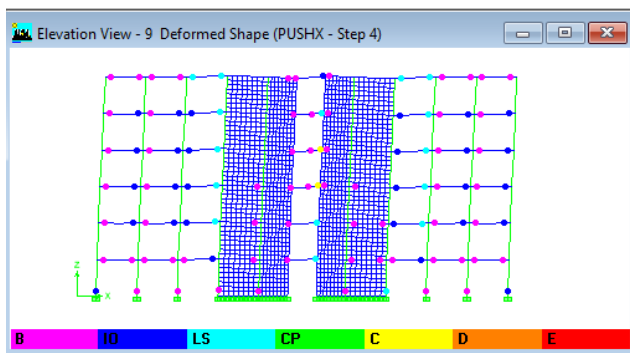
Gambar 8. Step 2 Pushover analysis arah X



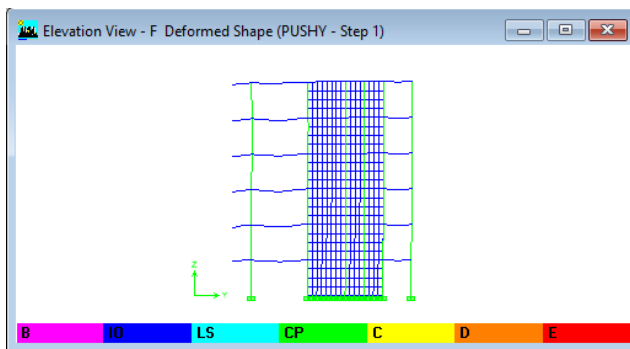
Gambar 9. Step 3 Pushover analysis arah X



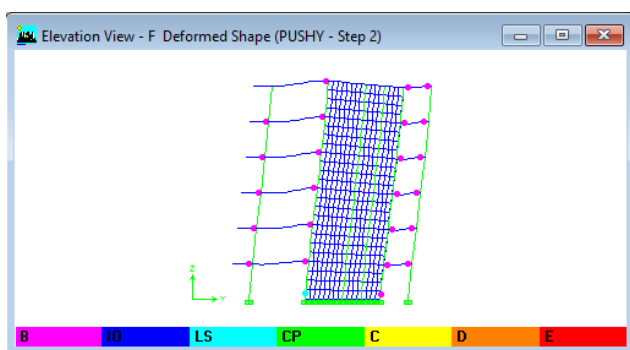
Gambar 13. Step 3 Pushover analysis arah Y



Gambar 10. Step 4 Pushover analysis arah X



Gambar 11. Step 1 Pushover analysis arah Y



Gambar 12. Step 2 Pushover analysis arah Y

Pada gambar diatas dapat dilihat bahwa keruntuhan arah X terjadi pada step 4 dimana beberapa balok telah masuk dalam kategori C-D dan keruntuhan arah Y terjadi pada step 3 dimana beberapa balok telah masuk dalam kategori IO-LS.

KESIMPULAN

Level Kinerja arah X dan Y berada pada *Operational* dimana bangunan aman saat terjadi gempa, resiko korban jiwa dan kegagalan struktur tidak terlalu berarti, dan dapat difungsikan kembali kira-kira hampir sama dengan kondisi sebelum gempa.

Keruntuhan arah X terjadi pada step 4 dimana beberapa balok telah masuk dalam kategori C-D dan keruntuhan arah Y terjadi pada step 3 dimana beberapa balok telah masuk dalam kategori IO-LS.

Performance point arah X = 0.085289 dan arah Y = 0.000105.

Hasil analisa pushover yang kritis adalah pada arah X bangunan STKIP Santo Paulus Ruteng karena bila dilihat dari hasil perpindahan lateral maupun sendi plastis memberikan nilai yang lebih besar ketimbang arah Y.

DAFTAR PUSTAKA

- <http://www.worldometers.info/worldpopulation/indonesia-population/>
- ATC 40, 1996. *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*. Redwood City, California, USA.
- Badan Standardisasi Nasional. (2012). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung*. SNI 1726-2012.
- Badan Standardisasi Nasional. (2013). *Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung Persyaratan dan Struktur Lain*. SNI 1727-2013.
- Blair, L., 2010 :“Ring of Fire An Indonesian Odyssey “.Editiona Didier Millet Pte.Ltd : Singapura
- Pranata, YA. 2010, Diktat Analisa Struktur 3. Universitas Kristen Maranatha : Bandung.
- Schueller, W., 1989. *Struktur Bangunan Bertingkat Tinggi*. PT Eresco : Bandung.
- Tavio & Wijaya, U. 2018. *Desain Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja*. CV. Andi Offset, Yogyakarta