

ANALYSIS PUSHOVER PADA BANGUNAN BERTINGKAT BETON BERTULANG 7 LANTAI MENGGUNAKAN METODE FEMA-356

Dermawan Zebua^{1*}, Leonardus Setia Budi Wibowo², M. Shofwan Donny Cahyono³ dan Norman Ray⁴.

^{1,2,3,4}Universitas Widya Kartika

Abstrak

Negara 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 adalah menentukan kriteria kinerja seismik struktur gedung universitas dari hasil nilai performance point menggunakan metode FEMA-356, 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; FEMA-356

Abstract

Indonesia is an earthquake-prone region. Earthquakes caused by the movement of the Earth plates are the biggest cause of the earthquake that will cause damage to the structure of the building. Earthquakes that occur in Indonesia often eat casualties. However, it is certain that the cause of the victim is not directly caused by the earthquake, but caused by the damage of the building that caused the collapse of the building. The purpose of the research writing is to determine the seismic performance criteria of the university building structure from the results of the performance point value using the FEMA-356 method, showing the scheme of plasticisation (the distribution of plastic joints) that occurred from the calculation of software programs, knowing the pattern of building collapse so that the joint-joint that suffered damage and experienced the destruction of the

From the results of the study, the structure of the building was able to provide nonlinear behaviour indicated by the initial phase and the majority of the plastic joints occurring on the new beam elements then the column elements. The performance Level of the entry structure of operational criteria means small damage to structural and building can be immediately reused.

Keywords: Reinforced concrete; Pushover; Nonlinear; Plastic joints; FEMA-356

PENDAHULUAN

Perkembangan penduduk yang semakin pesat di Indonesia, membuat lahan pemukiman maupun perkantoran semakin sedikit. Maka dengan pembangunan dengan sistem vertikal

menjadi solusinya. *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).

^{*}Penulis Korespondensi

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. Kondisi ini yang mengharuskan sistem struktur yang dibangun di Indonesia harus mengikuti peraturan yang ada, khususnya mengenai bangunan tahan gempa.

Standar yang ada untuk tata cara perencanaan ketahanan gempa bagi struktur bangunan saat ini, perlu diperbaharui dan dikembangkan untuk mengikuti perkembangan teknologi yang ada. Dimana 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 studi analisis menggunakan peraturan SNI-1726:2012 pada bangunan gedung tinggi STKIP SANTO PAULUS RUTENG Kabupaten Manggarai Propinsi Nusa Tenggara Timur.

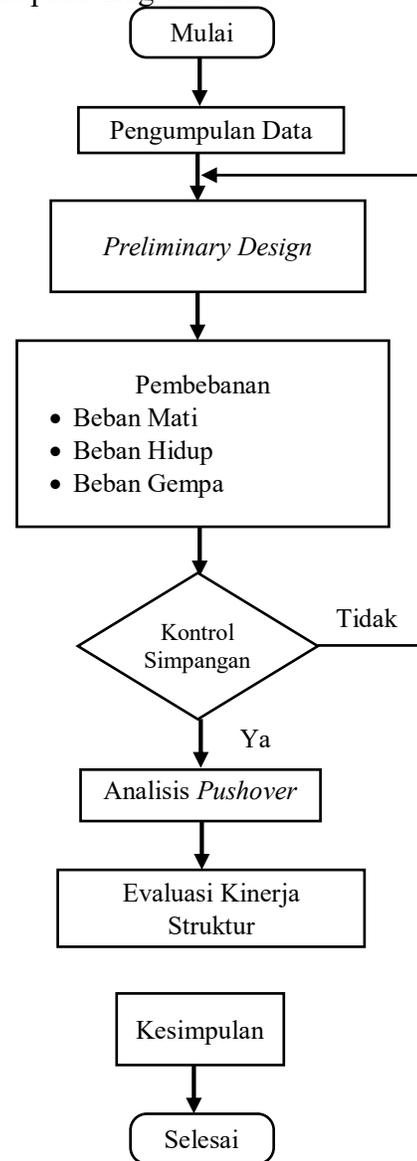
Rekayasa gempa merupakan pengetahuan yang amat luas dan berkaitan dengan efek gempa yang dapat ditimbulkan kepada manusia dan lingkungannya. Untuk mengurangi dampak akibat gempa tersebut, maka pada daerah - daerah rawan gempa perlu dilakukan suatu evaluasi dan analisis seismic. Metode yang dilakukan 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 FEMA-356.

METODE PENELITIAN

2.1. Proses Penelitian

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



Gambar 1. Flowchart Penelitian

2.2. 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

*)Penulis Korespondensi

mengetahui bagaimana perilaku struktur gedung tersebut terhadap peraturan yang dibuat. Metode yang digunakan untuk mengetahui tingkat keamanan dari gedung ini menggunakan metode Pushover analysis FEMA-356

2.3. Pembebanan

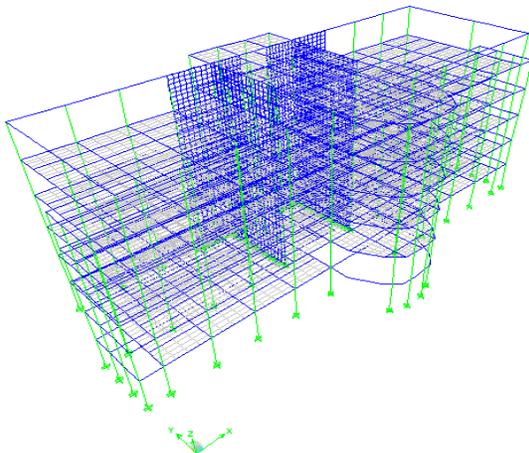
Penelitian ini menggunakan beban hidup, beban mati, beban gempa (*static linear*) dan beban gempa (*static nonlinear*) pushover. Untuk beban gempa yang menggunakan metode statik ekuivalen sesuai peraturan SNI 1726-2012.

HASIL DAN PEMBAHASAN

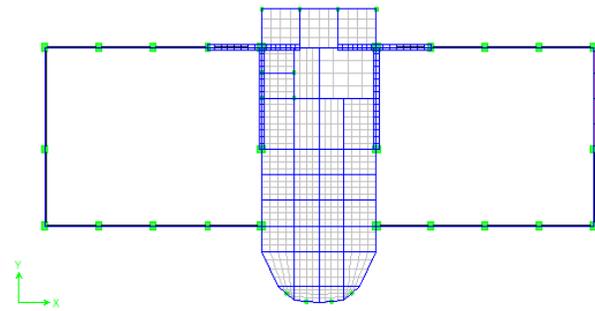
3.1. Data Struktur

- Mutu (f_c') = 35 MPa
- Mutu (f_y) = 400 MPa
- Balok = 40x60cm, 30x40cm,
- Kolom = 20x40cm 60x60cm, 40x60cm, 20x30 cm, D30 cm

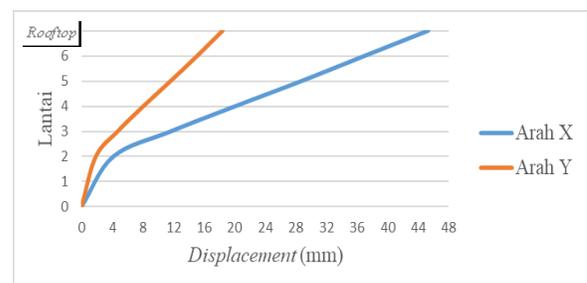
Tampak 3D dan atas pada gedung STKIP Santo Paulus Ruteng terdapat pada gambar 2 dan gambar 3.



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.

3.2. 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 :

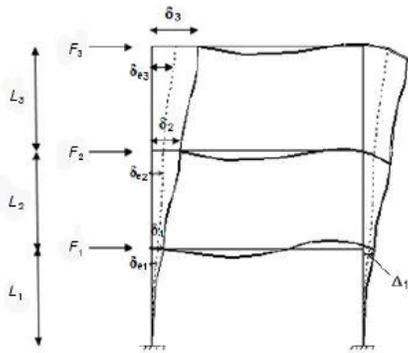
$$\delta_s = \frac{c_d \times \delta_{se}}{I} \quad (1)$$

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)

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

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

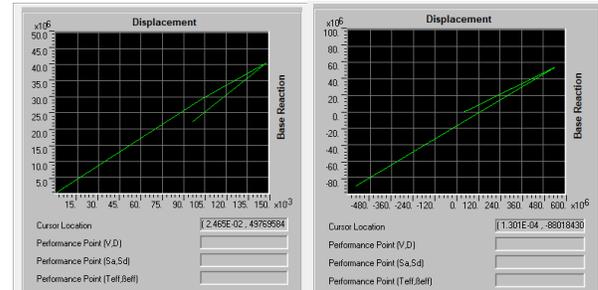
| Lantai | H (m) | $\delta_{e(y)}$ | $\delta_{(y)}$ | $\Delta_{(y)}$ | Δ_a (0.01Hy) | Ket |
|--------|-------|-----------------|----------------|----------------|---------------------|-----|
| Atap | 3.8 | 18.42 | 67.5 | 12.18 | 38 | Yes |
| 6 | 3.8 | 15.10 | 55.3 | 12.73 | 38 | Yes |
| 5 | 3.8 | 11.63 | 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

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.

3.3. Analisa 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

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

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 FEMA-356 harus terlebih dahulu

*)Penulis Korespondensi

mengetahui target perpindahan (δ_T) maka perlu menghitung dan memasukan parameter-parameter seperti pada **Tabel 5**. Hasil Perhitungan Parameter FEMA-356

Tabel 5. Hasil Perhitungan Parameter FEMA-356

| Arah X | | Arah Y | |
|--------|----------------------|--------|----------------------|
| C_0 | 1.44 | C_0 | 1.44 |
| C_1 | 2.0601 | C_1 | 7.7593 |
| C_2 | 1 | C_2 | 1 |
| C_3 | 1 | C_3 | 2 |
| S_a | 1.491 detik | S_a | 5.614 detik |
| T_e | 0.429 detik | T_e | 0.114 detik |
| π | 3.14 | π | 3.14 |
| g | 9.8 m/s ² | g | 9.8 m/s ² |

Target perpindahan (δ_T) yang dapat dari arah X= 202.19mm dan arah Y =202.37mm. Dari hasil itu dilakukan perhitungan sesuai peraturan metode spektrum kapasitas FEMA-350 seperti pada tabel dibawah ini :

Tabel 5. Hasil Tingkat Kinerja Struktur

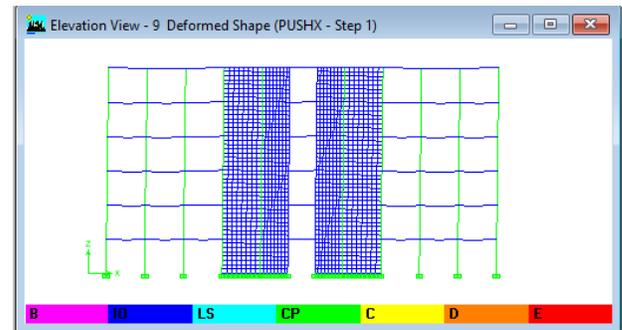
| Arah | Parameter | Analysis Fema-356 |
|----------|--|-------------------|
| Arah x-x | Target perpindahan Δm (mm) | 202.19 |
| | <i>Drift actual</i> ($\Delta m/T_{tot}$) | 0.008867982 |
| | Level Kinerja | Operasional |
| Arah y-y | Target perpindahan Δm (mm) | 202.37 |
| | <i>Drift actual</i> ($\Delta m/T_{tot}$) | 0.008875877 |
| | Level Kinerja | Operasional |

Sumber: Hasil pengolahan data

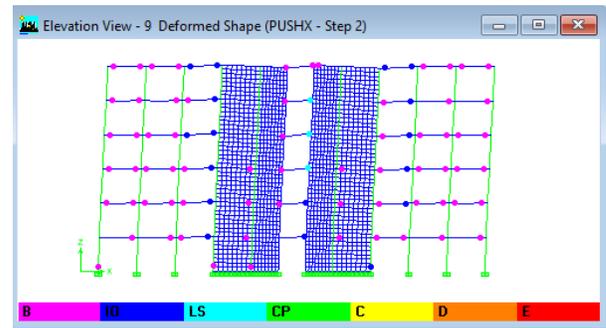
Dari tabel diatas diketahui bahwa Level Kinerja arah X = 0.0088679 dan Y = 0.0088758 berada pada *Operational* dimana bangunan aman saat terjadi gempa, resiko korban jiwa dan kegagalan struktur tidak terlalu berarti, gedung tidak mengalami berusakam berarti, dan dapat difungsikan kembali kira-kira hampir sama dengan kondisi sebelum gempa.

3.4 Mekanisme Sendi Plastis

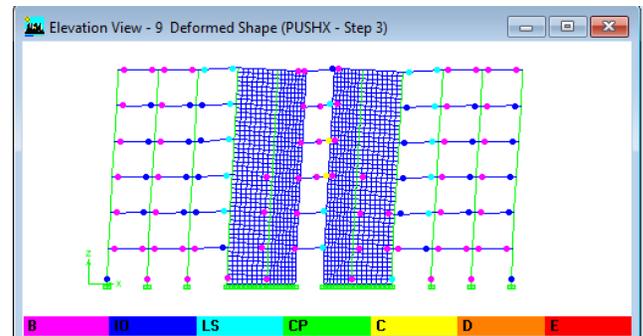
Pada gedung STKIP Santo Paulus Ruteng memiliki bentuk gedung yang tidak simetris sehingga mengalami sendi plastis berbeda antara arah X dan arah Y. Sendi plastis yang terjadi pada arah X terdapat pada Gambar 7-10 dan sendi plastis yang terjadi pada arah Y terdapat pada Gambar 11-13 yang terdapat dibawah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



Gambar 7. Step 1 Pushover analysis arah X

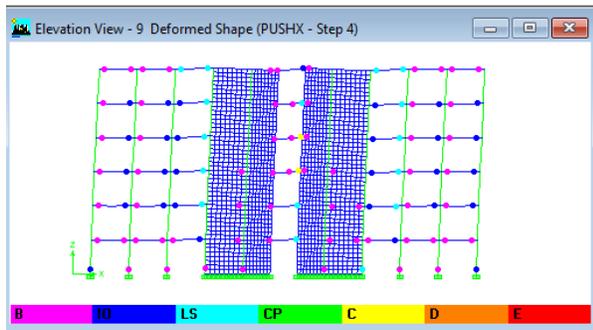


Gambar 8. Step 2 Pushover analysis arah X

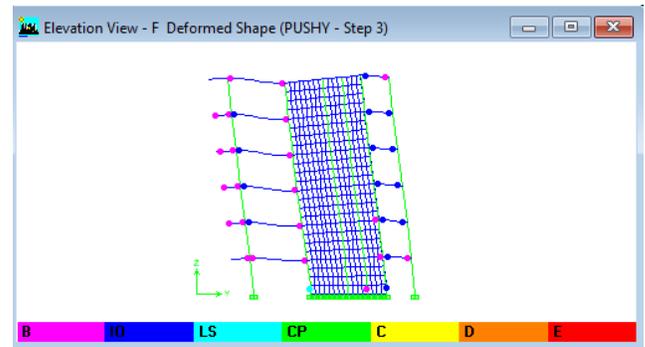


Gambar 9. Step 3 Pushover analysis arah X

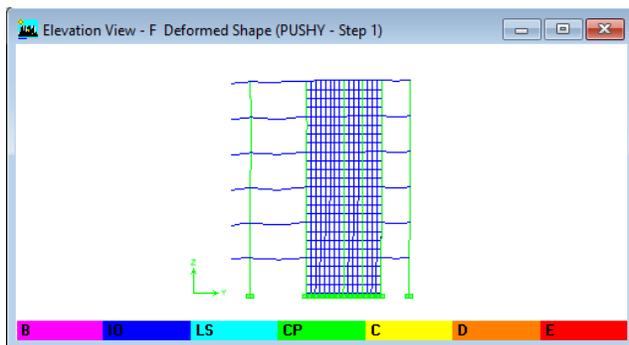
*)Penulis Korespondensi



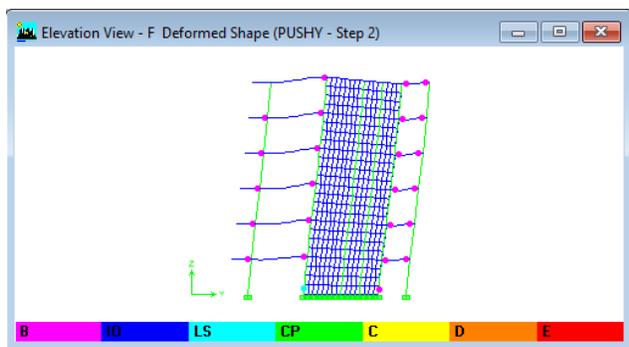
Gambar 10. Step 4 Pushover analysis arah X



Gambar 13. Step 3 Pushover analysis arah Y



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

1. Level Kinerja metode FEMA-356 arah X=0.008867 dan arah Y=0.0088758 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.
2. 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.
3. Target perpindahan (δ_T) arah X = 202.19mm dan arah Y = 202.37mm.
4. 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

- Badan Standardisasi Nasional. (2012). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung*. SNI 1726-2012.

*Penulis Korespondensi

- 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
- Federal Emergency Management Agency. 2000. FEMA 356 Prestandard and Commentary for The Seismic Rehabilitation of Buildings.*
- 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