

# Modifikasi Struktur Rangka Gedung Kuliah Fakultas Ekonomi Bisnis UPN “Veteran” Jawa Timur dengan Penambahan Tinggi Tingkat dan Balok Prategang

Rizka Abdillah Arisandi<sup>1</sup>, Sumaidi<sup>2</sup>, Cintantya Budi Casita<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup> Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik

Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur, Indonesia

( [1rizkaarisandi53@gmail.com](mailto:rizkaarisandi53@gmail.com) ; [2sumaidiwiwaja@gmail.com](mailto:sumaidiwiwaja@gmail.com) ; [3cintantyabudi.ts@upnjatim.ac.id](mailto:cintantyabudi.ts@upnjatim.ac.id) )

## ABSTRAK

Metode perencanaan yang tepat pada suatu struktur tahan gempa sangat diperlukan, terlebih jika mengingat bahwa Indonesia tidak jarang mengalami gempa. Penelitian ini melakukan modifikasi pada gedung Fakultas Ekonomi Bisnis UPN “Veteran” Jawa Timur dengan ruang perpustakaan yang terletak dilantai lima, dan menambah tinggi gedung sebesar 0,5 m, pula menghilangkan beberapa kolom sehingga menjadikan balok memiliki bentang yang cukup panjang. *Soft story* terjadi ketika suatu gedung memiliki perbedaan tinggi tingkat yang cukup besar jika dibandingkan dengan tingkat lainnya, sehingga mempengaruhi tingkat kekakuan lateral pada beberapa lantai. Salah satu penyebab keruntuhan bangunan adalah karena adanya ketidakberaturan vertikal yang dapat mengakibatkan terjadinya perbedaan kekakuan, sehingga menyebabkan terjadinya kegagalan struktur. Pada perencanaan ini, digunakan balok prategang karena adanya modifikasi bentang balok yang cukup panjang, yakni 21 m, akibat dihilangkannya kolom pada bentang tersebut. Metode balok prategang yang digunakan adalah post – tension (pasca tarik), dan digunakan analisis menggunakan *Performance Based Design (PBD)*. Penelitian ini juga dianalisis dengan metode *Capacity Spectrum Method (CSM)* menggunakan pushover analysis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai daktilitas gedung adalah sebesar 4,53 untuk arah X dan 3,08 untuk arah Y, sehingga dikategorikan sebagai daktilitas parsial. Level kinerja yang dihasilkan adalah *Damage Control (DC)* untuk arah X dan level kinerja *Immediate Occupancy (IO)* untuk arah Y, yang mana menunjukkan bahwa struktur gedung berada dalam keadaan stabil saat menerima beban gempa.

**Kata Kunci :** Beton Prategang, *Capacity Spectrum Method*, *Soft Story*

## ABSTRACT

Because Indonesia is prone to earthquakes, a system for planning and implementing earthquake-resistant development is required. Modifications to the building of the Faculty of Business Economics, UPN "Veteran" East Java, will be made in this research, including adding a complete library on the 5th floor, raising the level by 0.5 m, and removing long-span columns. A soft story can be created by buildings with different levels of height in relation to other levels. The amount of lateral stiffness that occurs on various floors is affected by soft stories. Vertical irregularities cause differences in stiffness, placing the column in risk of failing and causing the building to collapse. Due to modifications to the 5th floor resulting in a loss of columns in the span, prestressed beams are required to support 21 m of free span. The prestressed beam method used in its implementation is post-tensioning. PBD (Performance Based Design) is an earthquake load design method for both new and existing structures. The Capacity Spectrum Method (CSM) is used in this study to determine the structure's performance using pushover analysis. The building ductility values obtained from this investigation were 4.53 for the X direction and 3.08 for the Y direction, both of which were categorized as partial ductility.

**Keywords :** Prestressed Concrete, *Capacity Spectrum Method*, *Soft Story*

## I. PENDAHULUAN

Gempa dapat mengakibatkan kerugian dan menelan korban jiwa, sehingga diperlukan metode perencanaan pembangunan yang tahan gempa [8]. Penelitian ini

dilakukan di Gedung Fakultas Ekonomi Bisnis UPN “Veteran” Jawa Timur dengan memodifikasi bangunan pada lantai 5 menjadi perpustakaan dengan penambahan

tinggi tingkat dan menghilangkan beberapa kolom pada tengah bentang sehingga menimbulkan *soft story*. Perencanaan ini menggunakan sistem balok prategang akibat hilangnya kolom pada tengah bentang dengan bentang 21 m. Penelitian ini akan menggunakan analisa *pushover* dengan cara memberikan beban lateral statik yang ditingkatkan secara bertahap hingga mengalami kegagalan struktur [9]. Respons suatu struktur terhadap beban gempa memiliki beberapa faktor salah satunya kekakuan. *Soft story* memiliki pengaruh terhadap tingkat kekakuan lateral yang terjadi pada lantai – lantai tertentu [5]. Perencanaan pembangunan suatu gedung struktur harus memperhitungkan beban – beban yang akan diterima struktur diantaranya beban gempa, beban angin, dan lain – lain [6]. Sistem struktur dengan *soft story* cenderung menimbulkan perubahan gaya geser dan memicu cepatnya deformasi struktur keseluruhan [1].

## II. METODE

Pemodelan struktur gedung pada penelitian ini menggunakan analisis respon dinamik 3 dimensi yaitu analisis *response spectrum* digunakan untuk menentukan pengaruh beban gempa terhadap struktur gedung. Metode yang digunakan adalah *pushover analysis* untuk mengetahui tingkat kinerja struktur dan nilai dari daktilitas struktur serta gaya geser maksimum pada struktur gedung tersebut. ketidakberaturan kekakuan tingkat lunak pada lantai bawah memiliki nilai *safety* rendah dibandingkan lantai atas [2]. Kekakuan merupakan hubungan antara beban yang bekerja terhadap target perpindahan [10]. Struktur apabila terlalu kaku akan menyebabkan terjadinya sendi plastis karena beban yang diterima melebihi kapasitas yang dapat menyebabkan kegagalan struktur [7].

Level kinerja suatu struktur ditentukan berdasarkan target perpindahan dengan menggunakan metode spektrum kapasitas ATC-40 [4]. Perencanaan berbasis kinerja digunakan untuk mengetahui perilaku struktur pada saat terjadi gempa [3].

### 2.1 Data Perencanaan

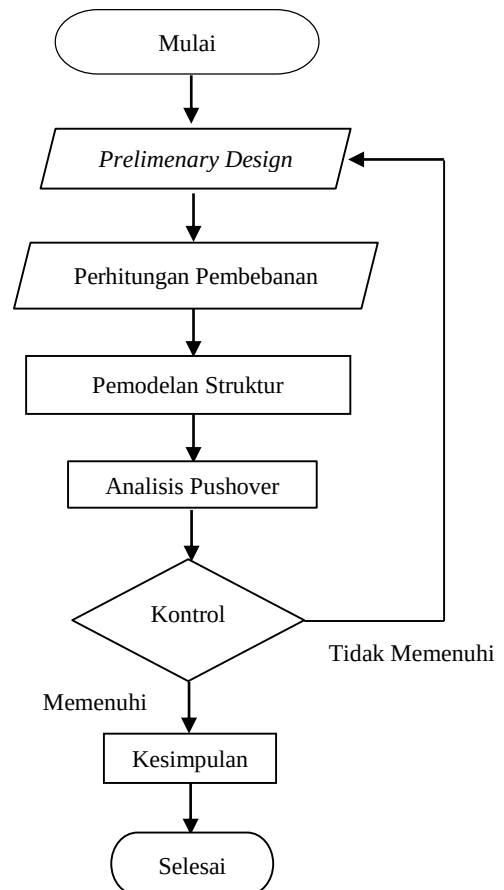
Pada penelitian ini digunakan data perencanaan sebagai berikut:

Nama gedung : Gedung kuliah bersama dan laboratorium UPN “Veteran” Jawa Timur  
 Lokasi gedung : Jl. Rungkut madya No. 1 Kec. Gunung anyar, Kota Surabaya, Jawa Timur  
 Fungsi gedung : Gedung sekolah  
 Jumlah tingkat : 9 lantai  
 Tinggi total : 36,5 m

Panjang gedung : 30 m  
 Lebar gedung : 31 m  
 Mutu kolom : 35 MPa  
 Mutu balok : 29 MPa  
 Mutu prategang : 40 MPa  
 Mutu baja : 240 MPa (BJTP)  
 Mutu baja : 390 MPa (BJTD)

### 2.2 Diagram Alir

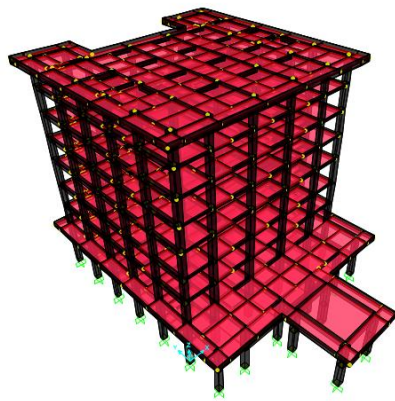
Diagram alir pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

### 2.3 Pemodelan Struktur

Pemodelan struktur pada penelitian ini menggunakan program bantu SAP2000 yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Pemodelan Struktur Gedung

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Ketidakberaturan Tingkat Lunak (*Soft Story*)

Dalam penelitian ini didapatkan kekakuan tiap tingkat yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kekakuan Tingkat

| Tingkat | Kekakuan<br>(N/mm) | Syarat           |                         | Keterangan Soft<br>Story |       |
|---------|--------------------|------------------|-------------------------|--------------------------|-------|
|         |                    | 70%<br>$K_{i+1}$ | 80%<br>$K_{rata}^{3It}$ | K<70%                    | K<80% |
| 1       | 8406581            | 5884607          | 6096975                 | FALSE                    | FALSE |
| 2       | 8406581            | 5884607          | 4855091                 | FALSE                    | FALSE |
| 3       | 8406581            | 4235345          | 4226801                 | FALSE                    | FALSE |
| 4       | 6050493            | 2624663          | 3794772                 | FALSE                    | FALSE |
| 5       | 3749519            | 4235345          | 3976336                 | TRUE                     | TRUE  |
| 6       | 6050493            | 3101269          | 3544307                 | FALSE                    | FALSE |
| 7       | 4430384            | 3101269          | 0                       | FALSE                    | FALSE |
| 8       | 4430384            | 3101269          | 0                       | FALSE                    | FALSE |
| 9       | 4430384            | 0                | 0                       | FALSE                    | FALSE |

Sumber: Hasil Penelitian

Berdasarkan Tabel 1 dapat disimpulkan bahwa lantai 5 mengalami *soft story* dikarenakan kekakuannya kurang dari 70% tingkat diatasnya atau kurang dari 80% kekakuan rata – rata tiga tingkat diatasnya.

#### 3.2 Kontrol Partisipasi Massa

Pada penelitian ini didapatkan besarnya nilai partisipasi massa yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Output Partisipasi Massa

| Output<br>Case | StepNum | Period<br>sec | SumUX   | SumUY   |
|----------------|---------|---------------|---------|---------|
| MODAL          | 18      | 0,219852      | 0,93417 | 0,91282 |
| MODAL          | 19      | 0,194981      | 0,93417 | 0,91922 |
| MODAL          | 20      | 0,184886      | 0,93417 | 0,94229 |

Sumber : Output SAP2000 v19.2.1

Berdasarkan Tabel 2 dapat disimpulkan nilai partisipasi massa untuk arah X dan Y telah memenuhi persyaratan dimana nilainya paling sedikit 90%.

#### 3.3 Gaya Geser Dasar

Pada penelitian ini didapatkan besarnya gaya geser dasar statik dan dinamik yang ditunjukkan pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3. Output Gaya Geser Dasar Dinamik

| Load Combo / Case | FX (kN)  | FY (kN)  |
|-------------------|----------|----------|
| Dx                | 2423,691 | 996,185  |
| Dy                | 727,107  | 3320,617 |

Sumber: Output SAP2000 v19.2.1

Tabel 4. Output Gaya Geser Dasar Statik

| Load Combo / Case | FX (kN)   | FY (kN)   |
|-------------------|-----------|-----------|
| Sx                | 6110,229  | 8,315E-10 |
| Sy                | 4,482E-11 | 6580,225  |

Sumber: Output SAP2000 v19.2.1

Kontrol gaya geser analisis ragam terhadap gaya geser metode statik ekuivalen dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Kontrol Gaya Geser Dasar

| Base<br>Shear | 100% V<br>(kN) | $V_t$<br>(kN) | Faktor<br>Skala<br>$V/V_t$ | Kontrol<br>$V_t > V$ |
|---------------|----------------|---------------|----------------------------|----------------------|
| Arah –<br>X   | 6110,229       | 2423,691      | 2,522                      | TM                   |
| Arah –<br>Y   | 6580,225       | 3320,617      | 1,982                      | TM                   |

Sumber: Hasil Perhitungan

Karena  $V_t < V$ , maka gaya geser dasar hasil analisis ragam harus dikalikan dengan faktor skala yang ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Gaya Geser Dasar Setelah Dikali Faktor Skala

| OutputCase | GlobalFX<br>(kN) | GlobalFY<br>(kN) |
|------------|------------------|------------------|
| Dx         | 6112,548         | 2512,379         |
| Dy         | 1441,127         | 6581,463         |
| Sx         | 6110,229         | 8,31E-10         |
| Sy         | 4,482E-11        | 6580,225         |

Sumber : Output SAP2000 v19.2.1

#### 3.4 Simpangan (*Drift*)

Persyaratan batas simpangan digunakan untuk meminimalisir perpindahan (*displacement*) yang terjadi akibat beban gempa dimana simpangan antar tingkat desain ( $\Delta$ ) tidak boleh melebihi simpangan ijin antar tingkat ( $\Delta_{ijin}$ ). Pada penelitian ini didapatkan nilai simpangan tiap lantai yang ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Simpangan Antar Tingkat

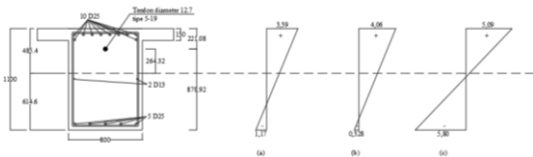
| Lantai | $h_{sx}$ | $\delta_x$ | $\delta_y$ | $\Delta_x$ | $\Delta_y$ | $\Delta_a$<br>(ijin) | Ket |
|--------|----------|------------|------------|------------|------------|----------------------|-----|
|        | (mm)     | (mm)       | (mm)       | (mm)       | (mm)       | (mm)                 |     |
| 9      | 4000     | 104,269    | 72,869     | 25,394     | 12,342     | 60                   | M   |
| 8      | 4000     | 97,343     | 69,503     | 33,504     | 19,626     | 60                   | M   |
| 7      | 4000     | 88,206     | 64,150     | 41,886     | 27,863     | 60                   | M   |
| 6      | 4000     | 76,782     | 56,551     | 58,188     | 35,378     | 60                   | M   |
| 5      | 4500     | 63,795     | 46,903     | 61,214     | 48,113     | 67,5                 | M   |
| 4      | 4000     | 47,101     | 33,781     | 56,625     | 41,606     | 60                   | M   |

|   |      |        |        |        |        |    |   |
|---|------|--------|--------|--------|--------|----|---|
| 3 | 4000 | 31,658 | 22,434 | 52,900 | 37,445 | 60 | M |
| 2 | 4000 | 17,230 | 12,222 | 43,554 | 29,744 | 60 | M |
| 1 | 4000 | 5,352  | 4,110  | 19,624 | 15,070 | 60 | M |

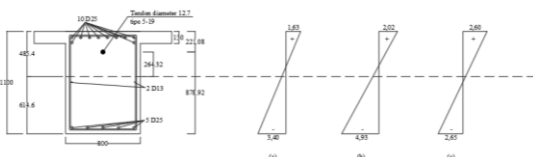
Sumber: Hasil Perhitungan

### 3.5 Beton Prategang

Pada penelitian ini direncanakan menggunakan 2 buah balok prategang dengan masing – masing bentang 21 m menggunakan metode pasca tarik (*post – tension*) dengan metode pengecoran monolit. Direncanakan eksentrisitas pada tumpuan sebesar 264,32 mm dan pada lapangan sebesar 300,83 mm. Didapatkan total kehilangan prategang sebesar 18,36% serta diagram tegangan setelah kehilangan prategang ditunjukkan pada Gambar 3 dan 4.



Gambar 3. Diagram Tegangan pada Tumpuan



Gambar 4. Diagram Tegangan pada Tengah Bentang

Pada penelitian ini didapatkan besarnya nilai PPR sebesar 65,07% dan termasuk kedalam beton prategang parsial.

### 3.6 Hubungan Balok – Kolom

Hubungan balok – kolom beton bertulang memenuhi persyaratan SNI dimana kapasitas geser nominal ( $\phi V_n$ ) lebih besar dari gaya geser joint ( $V_j$ ) yang terjadi. Dari hasil analisis yang dilakukan pada hubungan balok – kolom beton bertulang sebagai berikut:

$$V_j = T_1 + T_2 - V_u$$

(1)

$$V_j = 1435806,017 + 717903,0087 - 121986,5046 = 2031,723 \text{ kN}$$

$$\phi V_n = 1,7 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot A_j$$

(2)

$$\phi V_n = 0,75 \cdot 1,7 \cdot \sqrt{29} \cdot 900 \cdot 900 = 5561,529 \text{ kN}$$

Syarat:

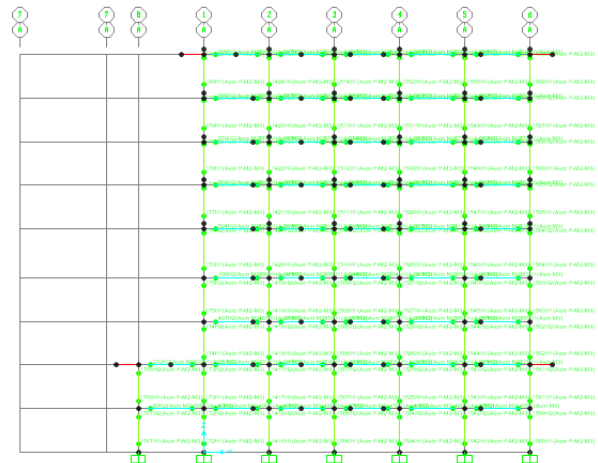
$$\phi V_n > V_j$$

$$5561,529 \text{ kN} > 2031,723 \text{ kN} \quad (\text{memenuhi})$$

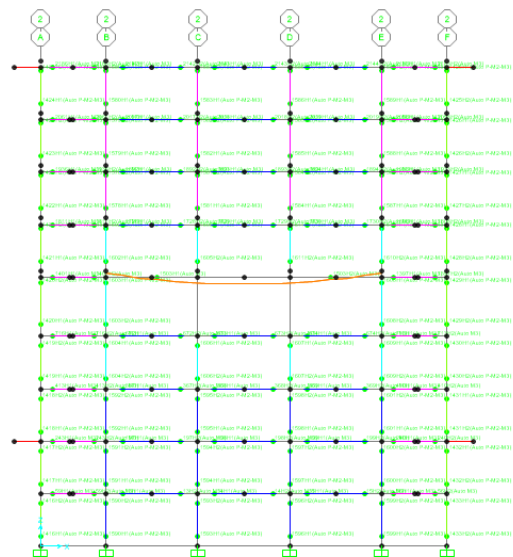
Sementara hasil analisis hubungan balok prategang dengan kolom beton bertulang telah memenuhi persyaratan dimana kapasitas geser nominal ( $\phi V_n$ ) sebesar 5160,84 kN lebih besar dari gaya geser joint yang terjadi ( $V_j$ ) sebesar 3412,2 kN.

### 3.7 Analisa Pushover

Analisa *pushover* dilakukan untuk mengetahui tingkat kinerja dan daktilitas struktur dengan memberikan beban dorong yang ditingkatkan secara bertahap hingga terjadi kegagalan struktur. Pemodelan sendi plastis untuk potongan memanjang dan melintang ditunjukkan pada Gambar 5 dan 6.



Gambar 5. Pemodelan Sendi Plastis Potongan Memanjang



Gambar 6. Pemodelan Sendi Plastis Potongan Melintang

Dari hasil analisa *pushover* didapatkan 23 step pola beban dorong untuk arah X yang diberikan pada struktur hingga mengalami keruntuhan yang ditunjukkan pada Tabel 8.

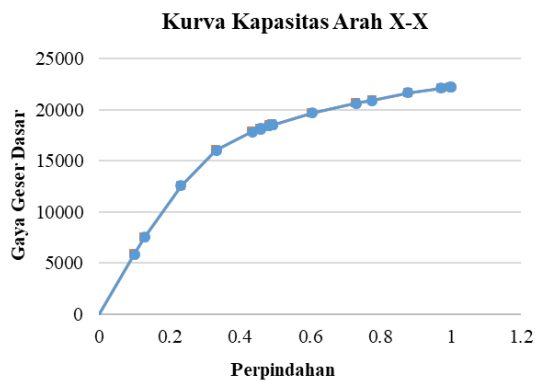
Tabel 8. Output Beban Dorong Arah X-X

| Step | Displacement | Base Force | A-B  | B-I  | I-O | L-S | C-P | C-D | D-E | >E | Total |
|------|--------------|------------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|----|-------|
| 0    | 0.00000241   | 0          | 2670 | 0    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 2670  |
| 1    | 0.099999     | 5842975    | 2670 | 0    | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 2670  |
| 2    | 0.128863     | 295012     | 2670 | 2670 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 2670  |
| 3    | 0.232346     | 54858      | 2670 | 720  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 2670  |
| 4    | 0.332378     | 8938       | 2670 | 695  | 6   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 2670  |
| 5    | 0.434294     | 802664     | 2670 | 3930 | 47  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 2670  |
| 6    | 0.457923     | 140212     | 2670 | 373  | 83  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 2670  |
| 7    | 0.457933     | 120552     | 2670 | 373  | 84  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 2670  |
| 8    | 0.457943     | 18099815   | 2670 | 373  | 84  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 2670  |
| 9    | 0.483358     | 459776     | 2670 | 373  | 200 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 2670  |
| 10   | 0.483367     | 421379     | 2670 | 373  | 200 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 2670  |
| 11   | 0.492723     | 18548      | 2670 | 373  | 200 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 2670  |

|       |        |      |      |   |   |   |   |   |   |   |      |
|-------|--------|------|------|---|---|---|---|---|---|---|------|
| 70318 | 0.4552 | 2393 | 2485 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2670 |
| 12    | 0.4552 | 2393 | 2485 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2670 |
| 13    | 0.4552 | 2393 | 2485 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2670 |
| 14    | 0.4552 | 2393 | 2485 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2670 |
| 15    | 0.4552 | 2393 | 2485 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2670 |
| 16    | 0.4552 | 2393 | 2485 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2670 |
| 17    | 0.4552 | 2393 | 2485 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2670 |
| 18    | 0.4552 | 2393 | 2485 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2670 |
| 19    | 0.4552 | 2393 | 2485 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2670 |
| 20    | 0.4552 | 2393 | 2485 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2670 |
| 21    | 0.4552 | 2393 | 2485 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2670 |
| 22    | 0.4552 | 2393 | 2485 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2670 |
| 23    | 0.4552 | 2393 | 2485 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2670 |

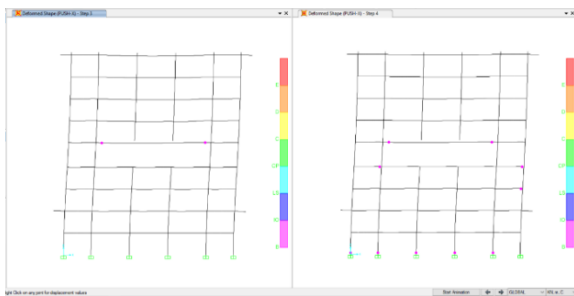
Sumber : Output SAP2000 v19.2.1

Dari Tabel 8 dapat dibuat grafik hubungan geser dasar dengan perpindahan atau disebut kurva kapasitas untuk arah X yang ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Kurva Kapasitas Arah X-X

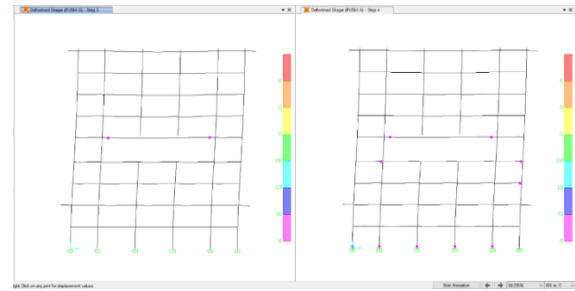
Elemen struktur pada saat mengalami mekanisme sendi plastis arah X ditunjukkan pada Gambar 8 dan 9.



Gambar 8. Push X Step 3 dan 4

Tabel 9. Output Beban Dorong Arah Y-Y

| Step | Displacement | Base Force | A-B  | B-I | I-O | L-S | C-P | C-D | D-E | >E | Total |
|------|--------------|------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|-------|
| 0    | 0.00058      | 0          | 2670 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 2670  |
| 1    | 0.05923      | 72         | 2670 | 2   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 2672  |
| 2    | 0.159468     | 192        | 2670 | 58  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 2675  |
| 3    | 0.21601      | 34         | 2670 | 4   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 2674  |
| 4    | 0.304543     | 65         | 2670 | 3   | 4   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 2677  |
| 5    | 0.341926     | 34         | 2670 | 3   | 5   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0  | 2679  |
| 6    | 0.341936     | 27         | 2670 | 2   | 5   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0  | 2678  |



Gambar 9. Push X Step 20 dan 23

Dari Gambar 6 dan 7 dapat disimpulkan bahwa pada step ke-3 elemen struktur pertama kali mengalami sendi plastis pada balok dan pada step ke-4 berlanjut pada pangkal kolom dan mekanisme sendi plastis ini akan naik terus seiring dengan pertambahannya beban dorong yang diberikan yang dapat dilihat pada step ke-20 dan ke-23, sehingga *Beam Sway Mechanism* terpenuhi.

Dari hasil analisa *pushover* didapatkan 21 step pola beban dorong untuk arah Y yang diberikan pada struktur hingga mengalami keruntuhan yang ditunjukkan pada Tabel 9.

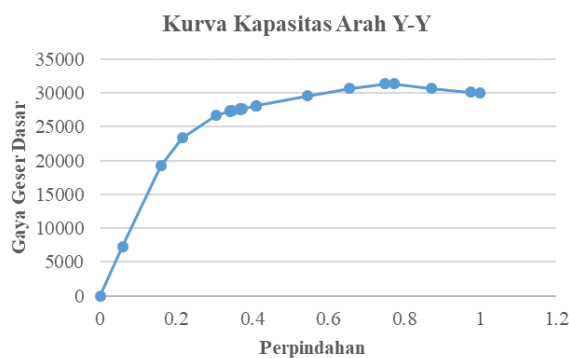
|    |          |    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|----|----------|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 7  | 0.34678  | 27 | 2 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 8  | 0.36978  | 27 | 2 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 9  | 0.36979  | 27 | 2 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 10 | 0.36980  | 27 | 2 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 11 | 0.373049 | 27 | 2 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 12 | 0.411151 | 27 | 2 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 13 | 0.411153 | 27 | 2 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 14 | 0.411158 | 27 | 2 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |



|   |     |     |   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|-----|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0.8 | 30  | 2 | 1 | 1 |   |   | 2 |   | 2 |
| 9 | 731 | 68  | 1 | 4 | 3 | 0 | 0 | 5 | 0 | 6 |
|   | 54  | 2.4 | 4 | 6 | 2 |   |   | 0 | 0 | 7 |
|   |     | 42  | 2 |   |   |   |   |   |   | 0 |
| 2 | 0.9 | 30  | 2 | 1 | 1 |   |   | 2 |   | 2 |
| 0 | 743 | 14  | 1 | 3 | 4 | 0 | 0 | 5 | 0 | 6 |
|   | 63  | 9.7 | 3 | 1 | 2 |   |   | 8 |   | 7 |
|   |     | 87  | 9 |   |   |   |   |   |   | 0 |
|   |     | 29  | 2 | 1 | 1 |   |   | 2 |   | 2 |
| 2 | 1.0 | 98  | 1 | 3 | 4 | 0 | 0 | 5 | 0 | 6 |
| 1 | 005 | 9.2 | 3 | 0 | 4 |   |   | 8 |   | 7 |
|   | 6   | 05  | 8 |   |   |   |   |   |   | 0 |

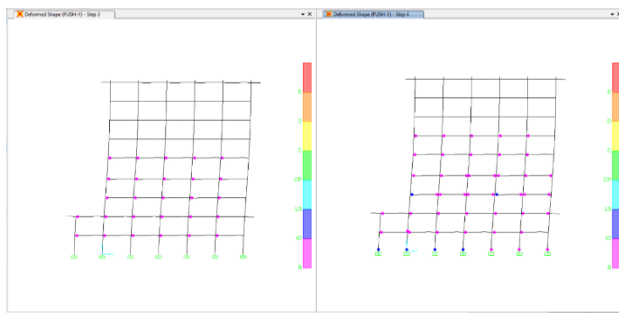
Sumber : Output SAP2000 v19.2.1

Dari Tabel 9 dapat dibuat grafik hubungan gaya geser dasar dengan perpindahan atau disebut kurva kapasitas untuk arah X yang ditunjukkan pada Gambar 10.

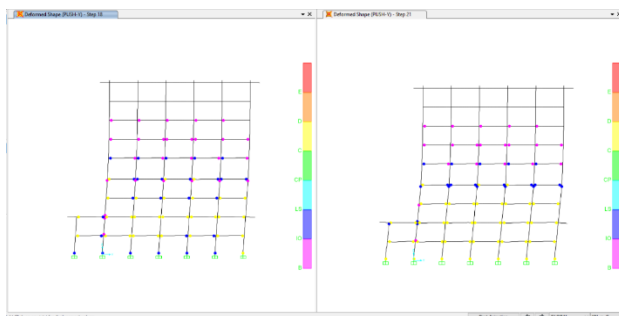


Gambar 10. Kurva Kapasitas Arah Y-Y

Elemen struktur pada saat mengalami mekanisme sendi plastis arah Y ditunjukkan pada Gambar 11 dan 12.



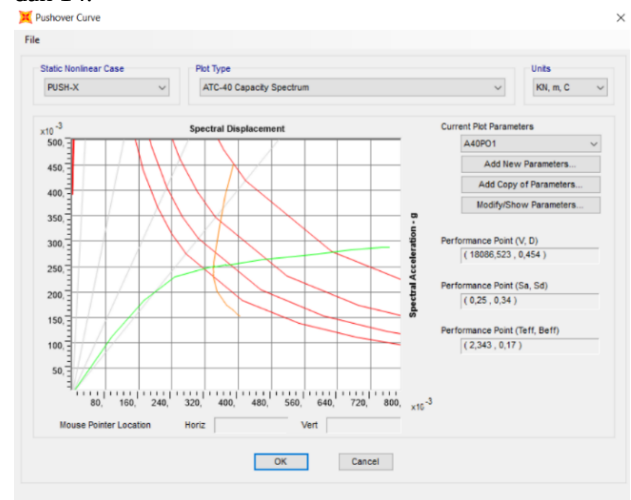
Gambar 11. Push Y Step 3 dan 4



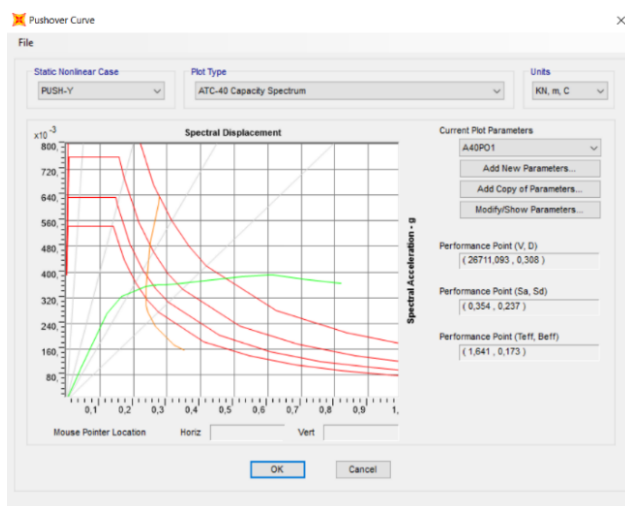
Gambar 12. Push Y Step 18 dan 21

Dari Gambar 9 dan 10 dapat disimpulkan bahwa pada step ke-3 elemen struktur pertama kali mengalami sendi plastis pada balok dan pada step ke-4 berlanjut pada pangkal kolom dan mekanisme sendi plastis ini akan naik terus seiring dengan pertambahannya beban dorong yang diberikan yang dapat dilihat pada step ke-18 dan ke-21, sehingga *Beam Sway Mechanism* terpenuhi.

Dari hasil analisa *pushover* didapatkan grafik perpotongan antara spektra *capacity* dan spektra *demand* untuk arah X dan Y. Grafik spektra *capacity* dan spektra *demand* yang ditunjukkan pada Gambar 13 dan 14.



Gambar 13. Grafik Spektra *Capacity* dan Spektra *Demand Arah – X*



Gambar 14. Grafik Spektra Capacity dan Spektra Demand Arah – Y

Dari grafik diatas dapat didapatkan target perpindahan dengan metode spektrum kapasitas yang ditunjukkan pada Tabel 10.

Tabel 10. Target Perpindahan dengan ATC-40

| Performance Point | Hasil Pushover      |                          |
|-------------------|---------------------|--------------------------|
|                   | X                   | Y                        |
| V (kN)            | 18086,5             | 26711,1                  |
| D, $\delta$ (m)   | 0,454               | 0,308                    |
| Sa                | 0,25                | 0,354                    |
| Sd                | 0,34                | 0,237                    |
| Teff              | 2,343               | 1,641                    |
| Beff              | 0,17                | 0,173                    |
| Daktilitas        | 4,53                | 3,08                     |
| Level Kinerja     | Damage Control (DC) | Immediate Occupancy (IO) |

Sumber : Output SAP2000 v19.2.1

#### IV. KESIMPULAN

Dari hasil analisa penelitian ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Struktur bangunan setelah dilakukan analisis *pushover* didapatkan level kinerja SP-2 *Damage Control* (DC) untuk arah X dan level kinerja SP-1 *Immediate Occupancy* (IO) untuk arah Y, hasil ini menggambarkan struktur masih dalam keadaan aman pada saat menerima beban gempa. Perbedaan level kinerja ini dapat dipengaruhi karena hilangnya beberapa kolom ditengah bentang yang menyebabkan terjadinya *soft story*. Dari analisis yang dilakukan diketahui bahwa gaya dalam pada struktur bangunan mempengaruhi jumlah kebutuhan serta dimensi tulangan. Semakin besar nilai gaya dalam maka kebutuhan tulangan maupun dimensi penampang akan semakin besar.
2. Nilai daktilitas yang didapatkan dari hasil analisis *pushover* untuk arah X dan Y adalah sebesar 4,53 dan 3,08. Hasil ini menunjukkan bahwa struktur bangunan termasuk kedalam daktilitas parsial.

3. Hubungan balok beton bertulang dengan kolom beton bertulang memenuhi syarat dimana kapasitas geser nominal ( $\phi V_n$ ) sebesar 4394,294 kN lebih besar dari gaya geser joint ( $V_j$ ) sebesar 2031,723 kN sesuai dengan aturan Standar Nasional Indonesia (SNI).
4. Hubungan balok prategang dengan kolom beton bertulang memenuhi syarat dimana kapasitas geser nominal ( $\phi V_n$ ) sebesar 5160,84 kN lebih besar dari gaya geser joint ( $V_j$ ) sebesar 3412,2 kN sesuai dengan aturan Standar Nasional Indonesia (SNI).

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Antonius dan Aref Widhianto. 2013. Efek *Soft Storey* Pada Respon Dinamik Struktur Gedung Beton Bertulang Tingkat Tinggi (199S). *Konferensi Nasional Teknik Sipil 7 (KoNTekS 7)* (pp.23-243). Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- [2] Budiono, Bambang dan Eko Budi Wicaksono. 2016. Perilaku Struktur Bangunan dengan Ketidakberaturan Vertikal Tingkat Lunak Berlebihan dan Massa Terhadap Beban Gempa. *Jurnal Teknik Sipil* 23(2): 113-114.
- [3] Dewobroto, Wiryanto. 2006. Evaluasi Kinerja Bangunan Baja Tahan Gempa dengan SAP2000. *Jurnal Teknik Sipil* 3(1): 8-9.
- [4] Mamesah, Hizkia Yehezkiel, dkk. 2014. Analisis *Pushover* Pada Bangunan Dengan *Soft First Story*. *Jurnal Sipil Statik* 2(4): 214-218.
- [5] Nurcahyo, Heru, dkk. 2016. Kajian Posisi Shear Wall Pada Gedung Tidak Beraturan Dengan Analisis Riwayat Waktu Beban Gempa. *Jurnal FTEKNIK* 3(1): 1.
- [6] Priambodo, Yudit Agus dan Marlina Kamis. 2019. Metode Perpindahan Langsung Pada Gedung Bertingkat Beton Bertulang Dengan Ketidakberaturan Vertikal. *Jurnal Sipil Sains* 9(17): 9-10.
- [7] Purnama, Dicki Dian dan Tommy Iduwin. 2019. Perilaku Gedung dengan Perbedaan Kekakuan Antar Lantai. *Jurnal Forum Mekanika* 8(1): 2.
- [8] Siajaya, Kiemberly, dkk. 2018. Respons Struktur Gedung Bertingkat Dengan Variasi Kekakuan Kolom Akibat Gempa Berdasarkan SNI 03-1726-2012. *Jurnal Sipil Statik* 6(6): 411-414.
- [9] Tavio dan Usman Wijaya. 2018. Desain Rekayasa Gempa Berbasis Kinerja (*Performance Based Design*). Yogyakarta: ANDI.
- [10] Tosari, Dessy S., dkk. 2016. Pengaruh Dinding Pengisi Pada Lantai Dasar Bangunan Tingkat Tinggi Terhadap Terjadinya Mekanisme *Soft Story*. *Jurnal Teknik Sipil* 5(1): 2-3.