

## **PERBANDINGAN STRUKTUR STATIS TIDAK TENTU DAN LUAS PENULANGAN BALOK BETON BERTULANG DENGAN SAP2000®**

***Brama Nalendra***

Mahasiswa Magister Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Andalas,

*bramanalendra13@gmail.com*

### **ABSTRAK**

Makalah ini menyajikan perbandingan sederhana gaya – gaya dalam statis tidak tentu dan luas penulangan balok beton. Gaya-gaya dalam balok statis tidak tentu, menggunakan metode clayperon, kemudian gaya-gaya dalam portal sederhana statis tidak tentu dengan metode basic stiffness method, dibandingkan dengan nilai hasil running menggunakan SAP2000®. Luas penulangan menggunakan peraturan SNI 2847:2013 dan dibandingkan dengan luas penulangan hasil running SAP2000

**Kata kunci** : statis tak tentu, perbandingan, gaya dalam, luas tulangan

---

### **1 PENDAHULUAN**

Kehadiran perangkat lunak seperti SAP2000® memberikan salah satu solusi yang cepat dan akurat didalam menganalisa dan mendesain struktur. Analisis SAP2000® menggunakan Finite Element Methode baik untuk static analysis maupun dynamic analysis (nonlinear analysis).

Engineering judgment berperan sangat penting didalam proses menganalisa dan mendesain suatu struktur, hal ini juga disampaikan oleh Prof. Edward L. Wilson didalam manual SAP90®, *No computer program can replace the engineering judgment of an experienced engineer. It is well said that an incapable engineer cannot do with a ton of computer output what a good engineer can do on the back of an envelope.*

Pada Makalah ini menyajikan perbandingan sederhana gaya – gaya dalam statis tak tentu dan luas penulangan balok beton. Gaya-gaya dalam balok statis tidak tentu, menggunakan metode clayperon, kemudian gaya-gaya dalam portal sederhana statis tidak tentu dengan metode basic stiffness method, kemudian dibandingkan dengan nilai hasil running menggunakan SAP2000®. Luas penulangan menggunakan peraturan SNI 2847:2013 dan dibandingkan dengan luas penulangan hasil running SAP2000®.

### **2 TINJAUAN PUSTAKA**

Metode Clayperon atau Metode Persamaan Tiga momen adalah metode yang mengekspresikan hubungan antara momen-momen lentur di tiga tumpuan atau lebih yang berurutan pada suatu balok atau portal kontinu yang ditujukan untuk memikul beban yang bekerja pada kedua bentangan yang bersebelahan, dengan atau tanpa penurunan- penurunan tumpuan yang tidak sama. Dimana kemiringan kurva elastis atau perputaran sudut (rotasi) diujung kanan elemen sebelah kiri harus sama dengan kemiringan kurva elastis atau perputaran sudut (rotasi) diujung kiri elemen sebelah kanan (Muhtar, 2020).

Metode matrix adalah suatu pemikiran baru pada Analisa struktur, yang berkembang bersamaan dengan makin populernya penggunaan komputer untuk perhitungan aritmatika (Supartono & Boen, 1987). Dengan metode kekakuan (stiffness method) ini sebenarnya dicari hubungan gaya dengan perpindahan, yang secara matematis dapat dinyatakan :

$$\{F\} = [K].\{D\}$$

dimana  $\{F\}$  menyatakan gaya-gaya yang timbul pada titik-titik diskrit akibat terjadinya perpindahan  $\{D\}$  pada titik-titik tersebut. Tentu saja gaya  $\{F\}$  merupakan gaya yang berhubungan (corresponding) dengan perpindahan  $\{D\}$ . Sedangkan  $[K]$  menyatakan kekakuan dari struktur.

### 3 METODOLOGI

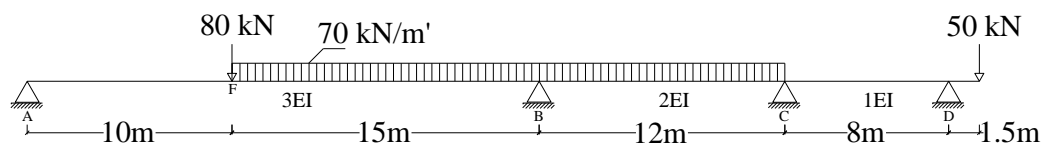
Pada penelitian ini dilakukan perbandingan terhadap dua hal yaitu gaya-gaya dalam dan luas tulangan pada balok. Gaya-gaya dalam dilakukan perbandingan terhadap hasil yang didapat dari metode clayperon dan hasil yang didapat dari analisis menggunakan program SAP2000.

Dari hasil gaya-gaya dalam tersebut dilakukan lagi analisis untuk mendapatkan luas tulangan balok yang diperlukan. Perbandingan dilakukan terhadap luas tulangan yang didapat Metode penelitian berisi tentang metode serta langkah-langkah dan cara kerja yang digunakan untuk memecahkan masalah yang dikaji.

### 4 HASIL PEMBAHASAN

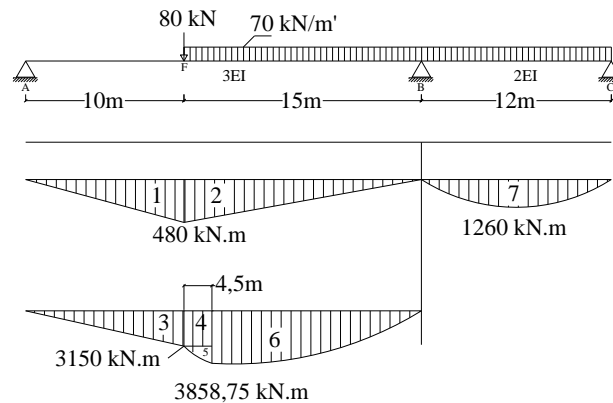
#### 4.1 GAYA-GAYA DALAM BALOK STATIS TIDAK TENTU DENGAN METODE CLAYPERON

Adapun bentuk strukturnya sebagai berikut :



**Gambar 1.** Struktur balok statis tidak tentu

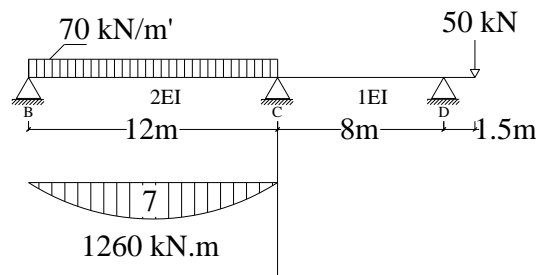
Persamaan 3 momen pada bentang A-B-C



**Gambar 2.** Persamaan 3 momen pada bentang A-B-C

$$28,667 MB + 6 MC = -85032,50 \quad \text{.....(1)}$$

Persamaan 3 momen pada bentang B-C-D



**Gambar 3.** Persamaan 3 momen pada bentang B-C-D

$$6 MB + 28 MC = -14520 \quad \text{.....(2)}$$

Eliminasi Persamaan 1 dan 2

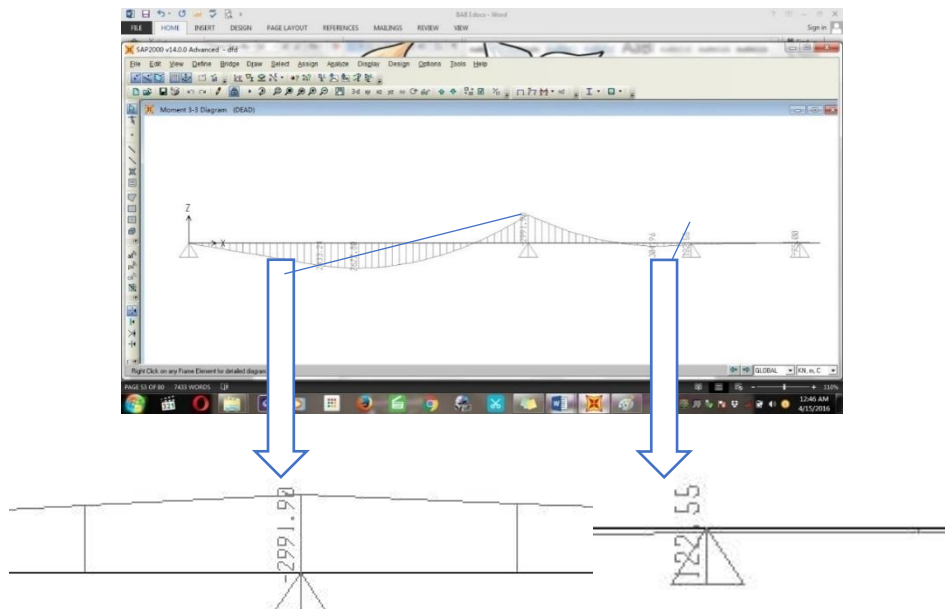
|                                 |         |                 |         |
|---------------------------------|---------|-----------------|---------|
| 28,667 MB                       | + 6 MC  | = -85032,50     | x 4,667 |
| 6 MB                            | + 28 MC | = -14520        | x 1     |
|                                 |         |                 |         |
| 133,778 MB                      | + 28 MC | = -396818,333   |         |
| 6 MB                            | + 28 MC | = - 14520       |         |
|                                 |         |                 |         |
| 127,778 MB                      |         | = -382298,333   |         |
| MB = -382298,33/127,778         |         | = -2991,90 kN.m |         |
| 28,667 MB                       | + 6 MC  | = -85032,50     |         |
| 28,667 (-2991,90)               | + 6 MC  | = -85032,50     |         |
| -85767,80                       | + 6 MC  | = -85032,50     |         |
| MC = (-85032,50 + 85767,80) / 6 |         | = 122,550 kN.m  |         |

Jadi, diperoleh momen di titik diskrit sebagai berikut :

- A = 0 kNm
- B = -2991, 90 kNm
- C = 122,55 kNm
- D = -75 kNm.

## 4.2 GAYA-GAYA DALAM MENGGUNAKAN SAP2000®

Untuk mempersingkat, berikut disajikan hasil *running* menggunakan SAP2000®



**Gambar 4.** Hasil *running* SAP2000®

**Tabel 1.** Hasil Output momen dititik diskrit dengan metode Clapeyron dan SAP2000®

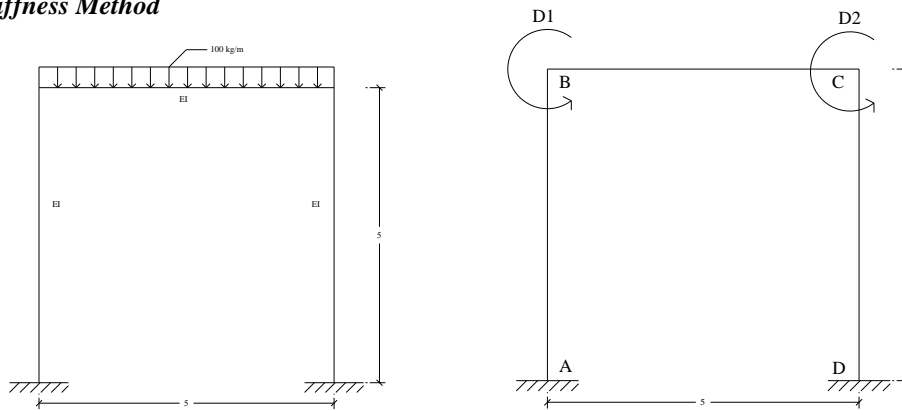
| Momen di Titik Diskrit | Clapeyron (M.Excel®)<br>(kNm) | SAP2000® V.14.0.0<br>(kNm) | Selisih |
|------------------------|-------------------------------|----------------------------|---------|
| A                      | 0                             | 0                          | 0 %     |
| B                      | - 2991,90                     | - 2991,90                  | 0 %     |
| C                      | 122,55                        | 122,55                     | 0 %     |
| D                      | -75                           | -75                        | 0 %     |

Sumber : Analisis Data, 2021

#### 4.3 GAYA-GAYA DALAM PORTAL SEDERHANA STATIS TIDAK TENTU

Pada makalah ini hanya diverifikasi gaya-gaya dalam momen lentur di titik diskrit. Pada perhitungan secara manual menggunakan metode *basic stiffness method* dengan deformasi axial diabaikan. Perhitungan dibantu dengan program Mathcad® V.15.0.

##### 4.3.1 Gaya-Gaya Dalam Di Titik Diskrit Portal Statis Tidak Tentu Dengan Metode Clapeyron *Basic Stiffness Method*



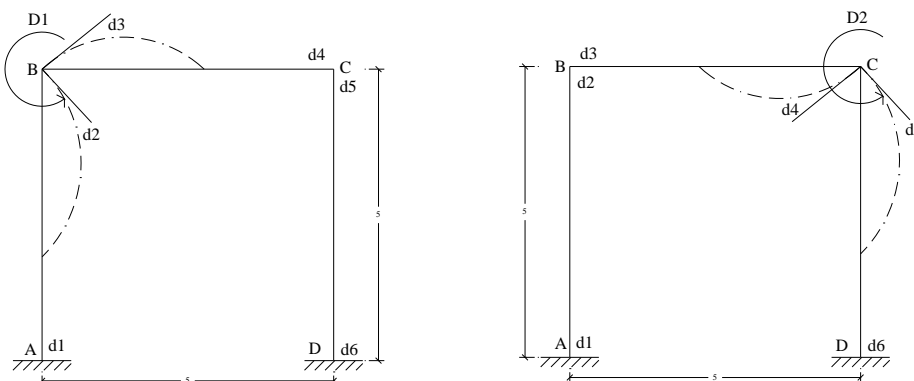
**Gambar 5.** Portal statis tidak tentu, dengan jumlah D.O.F = 2

Jumlah titik diskrit yang ditinjau ada 4 yaitu : A, B, C, dan D. Pada portal diperoleh jumlah D.O.F = 2, yaitu pada titik diskrit B dan C. FEM (*fix end moment*) hanya diperoleh pada bentang B-C, Pada bentang A-B dan C-D tidak diperoleh FEM dikarenakan tidak ada vektor gaya luar yang bekerja pada batang A-B dan C-D

Pada batang B-C

$$M^F_{BC} = -\frac{1}{12} \times q \times L^2 = -\frac{1}{12} \times 100 \times 5^2 = -208,333 \text{ kgm}$$

$$M^F_{CB} = +\frac{1}{12} \times q \times L^2 = +\frac{1}{12} \times 100 \times 5^2 = +208,333 \text{ kgm}$$



**Gambar 4.** Perubahan bentuk pada portal akibat *displacement* D1 dan D2

$$\{H\} = [S] \times [A] \times [D]$$

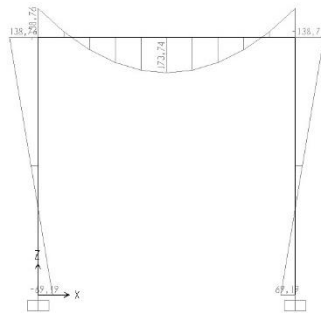
$$\begin{pmatrix} 0.8 & 0.4 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.4 & 0.8 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.8 & 0.4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.4 & 0.8 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.8 & 0.4 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.4 & 0.8 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -69.444 \\ -138.889 \\ -69.444 \\ 69.444 \\ 138.889 \\ 69.444 \end{pmatrix}$$

Sehingga diperoleh momen di titik diskrit sebagai berikut :

- MA =  $-69,444 - 0 = -69,444$  kgm
- MBA =  $-138,889 - 0 = -138,889$  kgm
- MBC =  $-69,444 - (-208,333) = 138,889$  kgm
- MCB =  $69,444 - 208,333 = -138,889$  kgm
- MCD =  $138,889 - 0 = 138,889$  kgm
- MD =  $69,444 - 0 = 69,444$  kgm

#### 4.4 GAYA-GAYA DALAM PORTAL SEDERHANA DENGAN SAP2000®

Untuk mempersingkat, berikut disajikan hasil *running* menggunakan SAP2000®



**Gambar 5.** Hasil diagram momen

**Tabel 2.** Hasil *Output* momen dititik diskrit dengan *Basic stiffness methode* dan SAP2000®

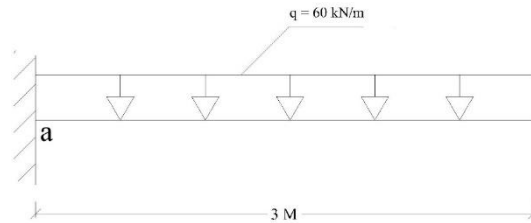
| Momen di Titik Diskrit | <i>Basic Stiffness Method</i><br>(kgm) | SAP2000® V.14.0.0<br>(kgm) | Selisih<br>(%) |
|------------------------|--|----------------------------|----------------|
| A-B                    | 69,44                                  | 69,19                      | 0,36 %         |
| B-A                    | 138,89                                 | 138,76                     | 0,09 %         |
| B-C                    | 138,89                                 | 138,76                     | 0,09 %         |
| C-B                    | 138,89                                 | 138,76                     | 0,09 %         |
| C-D                    | 138,89                                 | 138,76                     | 0,09 %         |
| D-C                    | 69,44                                  | 69,19                      | 0,36 %         |

Sumber : Analisis Data, 2021

#### 4.5 LUAS PENULANGAN BALOK BETON

Pada makalah ini hanya diverifikasi luas penulangan lentur dan geser, yang dimodelkan dengan balok konsol.

Diketahui balok konsol dengan beban terfaktor  $q_u = 60 \text{ kN/m}$  sudah termasuk berat sendiri.



**Gambar 6.** Balok konsol untuk luas tulangan secara manual

diperoleh Momen Maksimum pada titik Diskrit a = -270 kNm, dan Gaya Geser Maksimum pada titik diskrit a = 180 kN.

Menghitung  $\rho$

$$\rho_{\min} = \max \left[ \begin{aligned} &= \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035 \\ &= \frac{\sqrt{f_c}}{4 \times f_y} = \frac{\sqrt{28}}{4 \times 400} = 0,0033 \end{aligned} \right] \quad \text{Yang terbesar menentukan} = 0,0035$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \times \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{16,807} \times \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 16,807 \times 4,447 \frac{\text{n}}{\text{mm}^2}}{400 \text{ MPa}}} \right) = 0,0124 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{0,85 \times f'_c}{f_y} \times \beta_1 \times \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 28 \text{ MPa}}{400 \text{ MPa}} \times 0,85 \times \left( \frac{600}{600 + 400 \text{ MPa}} \right) = 0,0303 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{maks}} = 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,0303 = 0,0227$$

Check rasio penulangan,  $\rho_{\min} = 0,0035 < \rho = 0,0124 < \rho_{\text{maks}} = 0,0227$ , desain balok persegi tidak memerlukan penulangan rangkap, cukup dengan tulangan tunggal saja, dan dipakai rasio penulangan yang digunakan  $\rho = 0,0124$

$$A_s = \rho \times b \times d = 0,0124 \times 350 \text{ mm} \times 439 \text{ mm} = 1907,407 \text{ mm}^2$$

Jadi, diperoleh luas tulangan Lentur adalah  $1907,407 \text{ mm}^2$

## Tulangan Geser

$\mu_u = -270 \text{ kNm}$   
 $d_{asumsi} = 439 \text{ mm}$   
 $f'_c = 28 \text{ MPa}$   
 $\beta_1 = 0,85 (\leq 28 \text{ MPa})$   
 $\lambda = \text{faktor modifikasi beton, untuk beton normal } \lambda=1$

## Kekuatan Beton Menahan Geser ( $V_c$ )

$$V_c = \frac{1}{6} \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \times b_w \times d$$

$$= \frac{1}{6} \times 1 \times \sqrt{28 \text{ MPa}} \times 350 \text{ mm} \times 439 \text{ mm} = 135506,563 \text{ N}$$

## Kekuatan Geser yang disediakan oleh tulangan Geser ( $V_s$ )

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{180 \times 10^3 \text{ N}}{0,75} - 135506,563 \text{ N} = 104493,447 \text{ N}$$

$V_s > V_c$ , penampang bisa digunakan dan tidak perlu diperbesar.

## Kebutuhan Tulangan Geser ( $\text{mm}^2/\text{mm}$ )

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_s}{f_y \times d} = \frac{104493,447 \text{ N}}{400 \text{ MPa} \times 439 \text{ mm}} = 0,596 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

jadi, diperoleh kebutuhan tulangan geser adalah  $0,596 \text{ mm}^2/\text{mm}$

## 4.6 LUAS PENULANGAN BALOK DENGAN SAP2000®

Untuk mempersingkat, berikut disajikan hasil *running* menggunakan SAP2000®

|  |   |              |                 |                 |  |                 |  |                   |              |
|--|---|--------------|-----------------|-----------------|--|-----------------|--|-------------------|--------------|
| ACI 318-99 BEAM SECTION DESIGN Type: Sway Ordinary Units: N, mm, C (Summary) |   |              |                 |                 |  |                 |  |                   |              |
| L=3000.000   |   |              |                 |                 |  |                 |  |                   |              |
| Element  | : | 2            |                 | D=500.000       |  | B=350.000       |  | bf=350.000        |              |
| Station Loc  | : | 0.000        |                 | ds=0.000        |  | dct=61.000      |  | dcb=61.000        |              |
| Section ID   | : | balok350x500 |                 | E=24870.062     |  | fc=28.000       |  | Lt.Wt. Fac.=1.000 |              |
| Combo ID   | : | COMB1        |                 | fy=400.000      |  | fys=400.000     |  |                   |              |
| Phi(Bending): 0.900  |   |              |                 |                 |  |                 |  |                   |              |
| Phi(Shear): 0.750  |   |              |                 |                 |  |                 |  |                   |              |
| Phi(Torsion): 0.750  |   |              |                 |                 |  |                 |  |                   |              |
| Design Moments, M3   |   |              |                 |                 |  |                 |  |                   |              |
|  |   |              | Positive Moment | Negative Moment |  | Special +Moment |  | Special -Moment   |              |
|  |   |              | 0.000           | -270000.000     |  | 0.000           |  | 0.000             |              |
| Flexural Reinforcement for Moment, M3  |   |              |                 |                 |  |                 |  |                   |              |
|  |   |              | Required Rebar  | +Moment Rebar   |  | -Moment Rebar   |  | Minimum Rebar     |              |
| Top (+2 Axis)  |   |              | 1907.407        | 0.000           |  | 1907.407        |  | 529.690           |              |
| Bottom (-2 Axis)   |   |              | 0.000           | 0.000           |  | 0.000           |  | 0.000             |              |
| Shear Reinforcement for Shear, V2  |   |              |                 |                 |  |                 |  |                   |              |
|  |   |              | Design Rebar    | Shear Vu        |  | Shear phi*Uc    |  | Shear phi*Us      |              |
|  |   |              | 0.598           | 180000.000      |  | 101265.695      |  | 78734.305         |              |
| Reinforcement for Torsion, T   |   |              |                 |                 |  |                 |  |                   |              |
|  |   |              | Rebar At        | Rebar Al        |  | Torsion Tu      |  | Critical Phi*Tcr  |              |
|  |   |              | 0.000           | 0.000           |  | 0.000           |  | 5936452.064       |              |
|  |   |              |                 |                 |  |                 |  | Area Ao           | Perimeter Ph |
|  |   |              |                 |                 |  |                 |  | 91237.479         | 1344.400     |

**Gambar 7.** Hasil luas tulangan dengan SAP2000®

Jadi, diperoleh luas tulangan Lentur =  $1907,407 \text{ mm}^2$  dan Luas tulangan Geser =  $0,598 \text{ mm}^2/\text{mm}$ .

**Tabel 3.** Hasil *output* luas tulangan secara manual dan SAP2000®

| Tulangan                    | Manual (M.Excel®) | SAP2000®V.14.0.0 | Selisih |
|-----------------------------|-------------------|------------------|---------|
| Lentur (mm <sup>2</sup> )   | 1907,407          | 1907,407         | 0 %     |
| Geser (mm <sup>2</sup> /mm) | 0,596             | 0,598            | 0,33 %  |

Sumber : Analisis Data, 2021

## 5 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari perbandingan gaya-gaya dalam statis tidak tentu menggunakan metode clayperon dan basic stiffness method dengan hasil running SAP2000®, dan perbandingan perhitungan luas penulangan balok dengan aturan SNI 2847:2013 dengan analisis menggunakan SAP2000® diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari hasil analisis gaya-gaya dalam balok statis tidak tentu dengan metode clayperon, dengan hasil running SAP2000® tidak ditemukan selisih atau perbedaan, diperoleh hasil dengan nilai yang sama.
2. Dari hasil analisis gaya-gaya dalam portal statis tidak tentu dengan menggunakan basic stiffness method dengan SAP2000® diperoleh perbedaan, pada momen titik diskrit A-B dan D-C diperoleh selisih persentase 0,36%, momen titik diskrit B-A, B-C, C-B, C-D diperoleh selisih persentase 0,09%.
3. Dari hasil analisis luas penulangan balok lentur dan geser, pada luas penulangan lentur tidak ditemukan selisih nilai, sedangkan pada luas penulangan geser diperoleh selisih persentase 0,33%.
4. Pembahasan terhadap hasil penelitian dan pengujian yang diperoleh disajikan dalam bentuk uraian teoritik, baik secara kualitatif maupun kuantitatif. Hasil percobaan sebaiknya ditampilkan dalam berupa grafik atau pun tabel.

## DAFTAR RUJUKAN

- Badan Standarisasi Nasional. 2013. Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (SNI2847:2013), Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- Muhtar. 2020. Buku Ajar Strutkur Statis Tak Tentu untuk Teknik Sipil. Jember : Pustaka Abadi.
- Supartono, F.X. & Boen, T. 1987. Analisa Struktur dengan Metode Matrix. Jakarta : UI-Press.