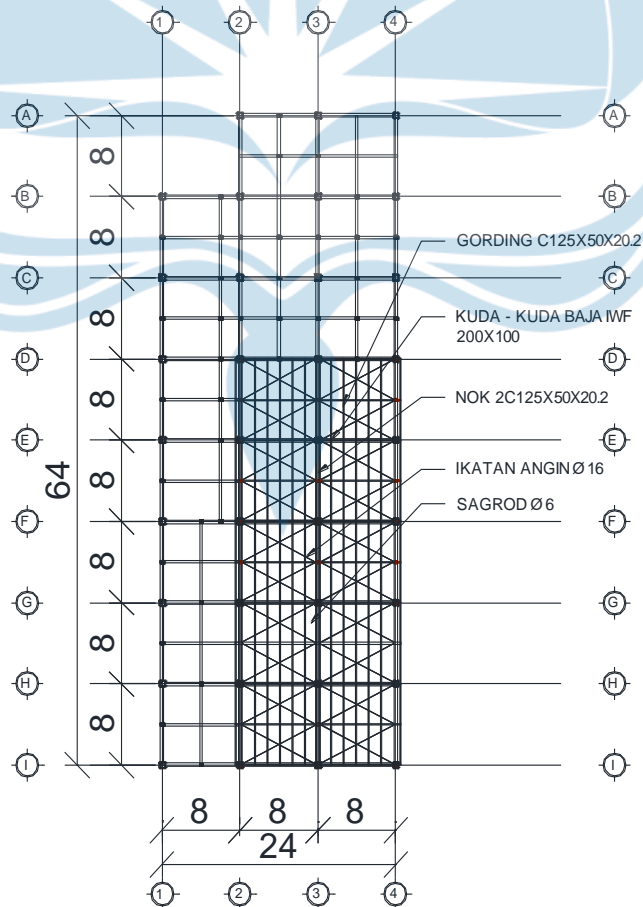


## BAB II

### PERANCANGAN STRUKTUR ATAS

#### 2.1 Perencanaan Atap

Dalam perencanaan sebuah struktur bangunan gedung, perencanaan struktur atap adalah perencanaan yang harus dihitung pertama kali pada perencanaan sebuah struktur bangunan gedung. Pada perencanaan atap ini menggunakan kuda-kuda baja dengan menggunakan bentuk pelana untuk bagian penutup atap yang dapat dilihat pada gambar untuk tampak atas rangka atap. Perhitungan struktur atap didasarkan pada panjang bentang kuda-kuda. Selain itu harus diperhitungkan juga terhadap beban yang bekerja, yaitu meliputi beban mati, beban hidup, beban angin, dan lainnya. Setelah diperoleh pembebanannya, kemudian dilakukan perhitungan serta perencanaan ukuran profil batang kuda-kuda yang akan digunakan.



Gambar 2.1 Denah Rencana Atap

### 2.1.1 Perencanaan Gording

Pada perencanaan gording, perencanaan yaitu meliputi beberapa tahapan: data perencanaan, pembebanan gording, kombinasi dan kontrol kekuatan profil pada gording.

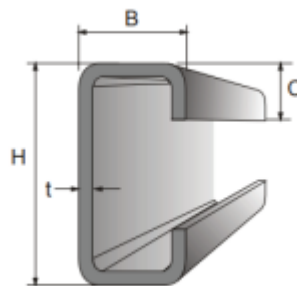
#### Data Perencanaan

1. Bentang kuda-kuda = 16 m
2. Jarak antar kuda-kuda (L) = 4 m
3. Jarak antar gording = 1,2 m
4. Sudut kemiringan atap ( $\alpha$ ) = 20°
5. Beban atap (bitumen) = 11 kg/m<sup>2</sup>
6. Beban angin = 25 kg/m<sup>2</sup>
7. Beban air hujan = 20 kg/m<sup>2</sup>
8. Beban hidup pekerja = 100 kg
9. Modulus Elastisitas (Es) =  $2 \times 10^6$  kg/cm<sup>2</sup>
10. Tegangan ijin baja (BJ-37)
  - Tegangan leleh (Fy) = 240 N/mm<sup>2</sup>
  - Tegangan Putus (Fu) = 370 N/mm<sup>2</sup>
11. Sambungan = baut

Digunakan Profil Lip Channels 125 × 50 × 20 × 2 dengan data sebagai berikut.

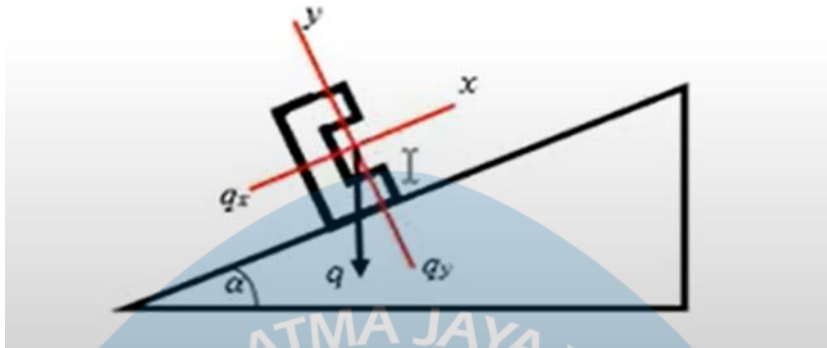
#### Data Profil

- W = 3,95 kg/m
- Z<sub>x</sub> = 19,3 cm<sup>3</sup>
- Z<sub>y</sub> = 5,5 cm<sup>3</sup>
- I<sub>x</sub> = 120 cm<sup>4</sup>
- I<sub>y</sub> = 18 cm<sup>4</sup>
- A = 5,04 cm<sup>2</sup>



Gambar 2.2 Perencanaan Penampang Gording

## 1. Pembebanan Gording



Gambar 2.3 Perencanaan Beban Gording

- **Beban Mati (DL)**

Berat Gording = 3,95 kg/m

Berat penutup atap bitumen = 11 kg/m

Berat atap =  $\frac{L}{\cos \alpha} \times \text{berat penutup atap}$

$$= \frac{1,2}{\cos 20^\circ} \times 11 = 14,05 \text{ kg/m}$$

Berat plafond =  $1,2 \times 18 = 21,6 \text{ kg/m}$

Berat Total (qDL) =  $3,95 + 14,05 + 21,6$   
 $= 39,6 \text{ kg/m} = 0,396 \text{ kN/m}$

Momen (M) yang bekerja pada gording:

$$\begin{aligned} M_x &= 1/8 \times q_y \times L^2 \\ &= 1/8 \times 0,396 \times \cos 20^\circ \times 4^2 \\ &= 0,744 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_y &= 1/8 \times q_x \times (L/2)^2 \\ &= 1/8 \times 0,396 \times \sin 20^\circ \times (4/2)^2 \\ &= 0,068 \text{ kNm} \end{aligned}$$

- **Beban Hidup (LL)**

Pekerja = 100 kg

Berat Air Hujan =  $20 \times 1,2 = 24 \text{ kg/m}^2$

Momen (M) yang bekerja pada gording:

$$\begin{aligned} M_x &= \frac{1}{4} \times P_y \times L \\ &= \frac{1}{4} \times 100 \times \cos 20^\circ \times 4 \\ &= 93,969 \text{ kg/m} \\ &= 0,940 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_y &= \frac{1}{4} \times P_x \times (L/2) \\ &= \frac{1}{4} \times 100 \times \sin 20^\circ \times (4/2) \\ &= 17,101 \text{ kg/m} \\ &= 0,171 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

- **Kombinasi Beban**

$$\begin{aligned} M_{ux} &= 1,4 M_{xD} \\ &= 1,4 \times 0,744 \\ &= 1,042 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{ux} &= 1,2 M_{xD} + 1,6 M_{xL} \\ &= 1,2 \times 0,744 + 1,6 \times 0,940 \\ &= 2,397 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{uy} &= 1,4 M_{yD} \\ &= 1,4 \times 0,068 \\ &= 0,095 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{uy} &= 1,2 M_{yD} + 1,6 M_{yL} \\ &= 1,2 \times 0,068 + 1,6 \times 0,171 \\ &= 0,355 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Dari kombinasi pembebanan di atas, diambil nilai maksimum:

$$M_{ux} = 2,397 \text{ kNm}$$

$$M_{uy} = 0,355 \text{ kNm}$$

## 2. Desain Gording

Perhitungan Momen Nominal ( $M_n$ )

Pengecekan rasio tebal terhadap lebar untuk mengklasifikasikan penampang (kompak atau non-kompak)

Pemeriksaan penampang profil Canal:

a. Penampang sayap (flanges)

$$\lambda = \frac{b}{t} = \frac{50}{2} = 25$$

$$\lambda_p = 0,38 \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 0,38 \times \sqrt{\frac{200000}{240}} = 10,97$$

$$\lambda_r = 1 \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1 \times \sqrt{\frac{200000}{240}} = 28,87$$

$\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$  : penampang tak kompak

b. Penampang badan (web)

$$\lambda = \frac{h}{t} = \frac{100}{2} = 50$$

$$\lambda_p = 3,76 \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 3,76 \times \sqrt{\frac{200000}{240}} = 108,54$$

$$\lambda_r = 5,7 \times \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 5,7 \times \sqrt{\frac{200000}{240}} = 164,54$$

$\lambda < \lambda_p \leq \lambda_r$  : penampang kompak

**Klasifikasi Keadaan Batas**

a. Momen nominal akibat leleh (yield)

$$S_x = 19300 \text{ mm}^3$$

$$Z_x = 1,12 \times S_x$$

$$= 1,12 \times 19300$$

$$= 21616 \text{ mm}^3$$

$$M_n = M_p = F_y \times Z_x$$

$$M_p = 240 \times 21616$$

$$= 5187840 \text{ Nmm} = 5,188 \text{ kNm}$$

Sehingga:

$$\phi_b M_n \geq M_u$$

$$0,9 \times 5,188 \text{ kNm} \geq 2,397 \text{ kNm}$$

$$4,669 \text{ kNm} \geq 2,397 \text{ kNm} \quad (\text{Memenuhi})$$

b. Momen nominal akibat Tekuk Lokal Sayap (FLB)

$$\begin{aligned} M_n &= M_p - (M_p - 0,7 F_y S_x) \left( \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right) \\ &= 5187840 - (5187840 - 0,7 \times 240 \times 19300) \left( \frac{25 - 10,973}{28,378 - 10,973} \right) \\ &= 3619975,198 \text{ Nmm} = 3,620 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Sehingga:

$$\phi b M_n \geq M_u$$

$$0,9 \times 3,620 \text{ kNm} \geq 0,355 \text{ kNm}$$

$$3,258 \text{ kNm} \geq 0,355 \text{ kNm} \quad (\text{Memenuhi})$$

- **Kontrol Penampang**

Syarat:

$$\frac{M_{ux}}{\phi M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi M_{ny}} < 1,00$$

$$\frac{2,397}{0,9 \times 4,669} + \frac{0,355}{0,9 \times 3,258} < 1,00$$

$$0,69 < 1,00 \quad (\text{Aman})$$

- **Cek Tegangan Profil C**

$$F_b = \frac{M_{ux}}{\phi W_x} \times \frac{M_{uy}}{\phi W_y} \leq F_y$$

$$= \frac{2,397 \times 10^6}{0,9 \times 19,3 \times 10^3} + \frac{0,355 \times 10^6}{0,9 \times 5,5 \times 10^3} \leq F_y$$

$$= 209,661 \text{ MPa} \leq 240 \text{ MPa} \quad (\text{Aman})$$

- **Cek Defleksi Gording**

$$\begin{aligned} \delta_y &= \frac{5}{384} \times \frac{q \cos \alpha (L)^4}{E \times I_x} + \frac{1}{48} \times \frac{P \cos \alpha (L)^3}{E \times I_x} \\ &= \frac{5}{384} \times \frac{0,396 \times \cos 20^\circ \times (4000)^4}{2 \times 10^5 \times 120 \times 10^4} + \frac{1}{48} \times \frac{1000 \times \cos 20^\circ \times (4000)^3}{2 \times 10^5 \times 120 \times 10^4} \\ &= 10,388 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\delta_x &= \frac{5}{384} \times \frac{q \sin x}{E \cdot I_y} \times \left(\frac{L}{2}\right)^4 + \frac{1}{48} \times \frac{P \sin x}{E \cdot I_y} \times \left(\frac{L}{2}\right)^3 \\ &= \frac{5}{384} \times \frac{0,396 \sin 20^\circ}{2 \times 10^5 \times 18 \times 10^4} \times \left(\frac{4000}{2}\right)^4 + \frac{1}{48} \times \frac{1000 \sin 20^\circ}{2 \times 10^5 \times 18 \times 10^4} \times \left(\frac{4000}{2}\right)^3 \\ &= 0,724 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\delta &= \sqrt{\delta_x^2 + \delta_y^2} \leq \frac{L}{240} \\ &= \sqrt{(0,724)^2 + (10,388)^2} \leq \frac{4000}{240} \\ &= 10,414 \text{ mm} \leq 16,67 \text{ mm (Aman)}\end{aligned}$$

### 3. Hitungan Sagrod

Jumlah gording (n) di bawah nok = 7 baris

$$\begin{aligned}\text{FtD} &= n (L/2 \times q \times \sin \alpha) \\ &= 7 (4/2 \times 0,396 \times \sin 20^\circ) \\ &= 1,896 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{FtL} &= n/2 \times P \times \sin \alpha \\ &= 7/2 \times 1 \times \sin 20^\circ \\ &= 1,197 \text{ kN}\end{aligned}$$

Kombinasi Beban

$$\begin{aligned}\text{FtU} &= 1,4 \text{ FtD} \\ &= 1,4 \times 1,896 \\ &= 2,654 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{FtU} &= 1,2 \text{ FtD} + 1,6 \text{ FtL} \\ &= 1,2 \times 1,896 + 1,6 \times 1,197 \\ &= 4,190 \text{ kN}\end{aligned}$$

Luas Batang Sagrod yang Diperlukan

$$\begin{aligned}\text{Asr} &= (\text{FtU} \times 10^3) / (\phi \times F_y) \\ &= (4,190 \times 10^3) / (0,9 \times 240) \\ &= 18,519 \text{ mm}^2 \quad (\text{Digunakan diameter sagrod } \phi 6 \text{ mm})\end{aligned}$$

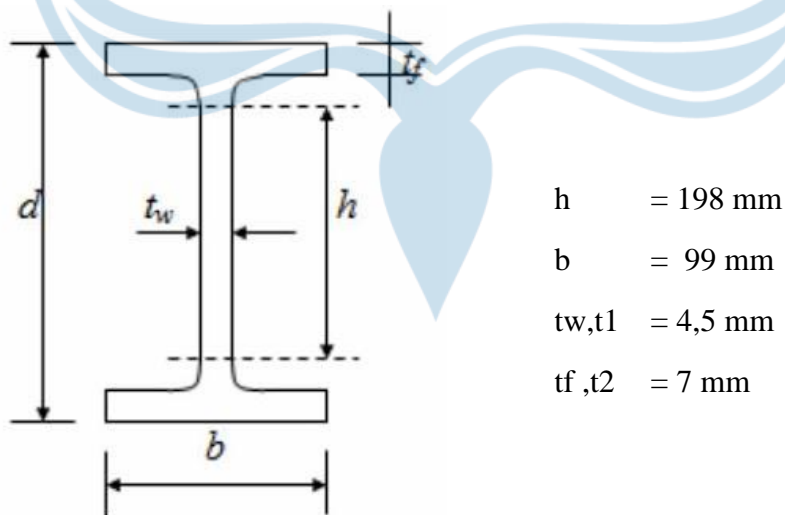
Digunakan batang ikatan angin  $\phi 16 \text{ mm}$ .

### 2.1.2 Perencanaan Kuda – Kuda

Dalam struktur atap ini, rata-rata memiliki bentuk dasar yang sama. Sebagai contoh dalam perhitungan, diambil salah satu kuda – kuda.

#### Data Perencanaan :

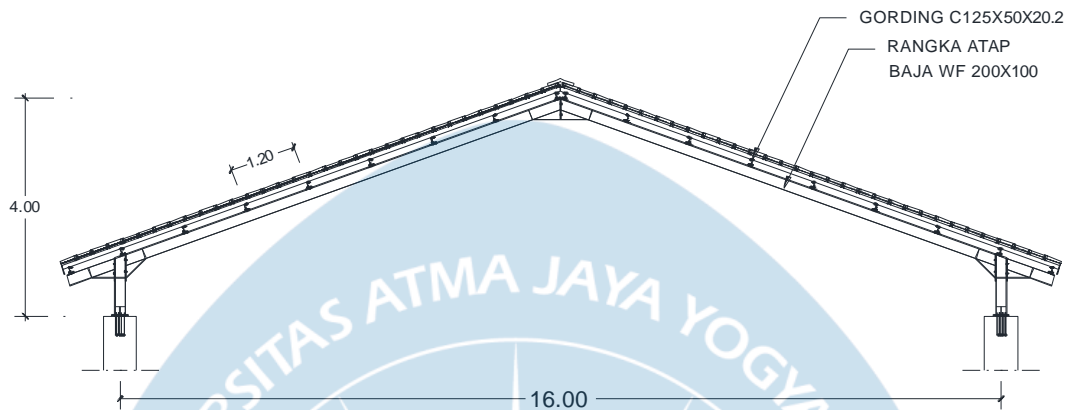
|                                      |                        |
|--------------------------------------|------------------------|
| Jarak antar kuda-kuda (L)            | = 4 m                  |
| Kemiringan Atap                      | = $\alpha = 20^\circ$  |
| Berat kuda-kuda                      | = 50 kg/m              |
| Berat gording                        | = 3,95 kg/m            |
| Berat atap                           | = 11 kg/m <sup>2</sup> |
| Berat plafon                         | = 18 kg/m <sup>2</sup> |
| a                                    | = 1,3 m                |
| b                                    | = 1,3 m                |
| C <sub>ti</sub>                      | = 0                    |
| Tekanan Angin Rencana Q <sub>w</sub> | = 25 kg/m <sup>2</sup> |
| C <sub>is</sub>                      | = -0,4                 |



Gambar 2.4 Rencana Penampang Kuda-Kuda



## 1. Perhitungan Pembebanan Kuda-Kuda



Gambar 2.5 Rencana Kuda – Kuda

### • Perhitungan Beban Mati :

Beban P<sub>1</sub> :

|                           |   |                   |
|---------------------------|---|-------------------|
| - berat sendiri kuda kuda | = $\frac{a}{2} \times$ berat kuda-kuda                                  | = 0,325 kN        |
| - berat gording           | = L1 $\times$ berat gording per m <sup>2</sup>                          | = 0,158 kN        |
| - berat atap              | = $\frac{(\frac{a}{2} + b)}{\cos \alpha} \times$ L1 $\times$ berat atap | = 0,913 kN        |
| - berat plafon            | = $(\frac{a}{b} + b) \times$ L1 $\times$ berat plafon                   | = 1,404 kN        |
|                           | <b>Beban P1</b>   | <b>= 2,800 kN</b> |

Beban P<sub>2</sub> :

|                           |   |                   |
|---------------------------|---|-------------------|
| - berat sendiri kuda-kuda | = a $\times$ berat kuda-kuda                            | = 0,650 kN        |
| - berat gording           | = L1 $\times$ berat gording per m <sup>2</sup>          | = 0,158 kN        |
| - berat atap              | = $\frac{a}{\cos \alpha} \times$ L1 $\times$ berat atap | = 0,609 kN        |
| - berat plafon            | = a $\times$ L1 $\times$ berat plafon                   | = 0,936 kN        |
|                           | <b>Beban P2</b>   | <b>= 2,353 kN</b> |

Beban P<sub>3</sub> :

|                           |   |            |
|---------------------------|---|------------|
| - berat sendiri kuda kuda | = a $\times$ berat kuda kuda                          | = 0,650 kN |
| - berat gording           | = 2 $\times$ L1 $\times$ berat gording/m <sup>2</sup> | = 0,316 kN |

$$\begin{aligned}
 - \text{berat atap} &= \frac{a}{\cos \alpha} \times L1 \times \text{berat atap} = 0,609 \text{ kN} \\
 - \text{berat plafon} &= a \times L1 \times \text{berat plafon} = 0,936 \text{ kN} \\
 \text{Beban P3} &= 2,511 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- **Perhitungan Beban Hidup :**

Beban ini adalah beban yang terdiri dari seorang yang bekerja beserta peralatannya, direncanakan sebesar 100 kg.

- Beban akibat pekerja = 100 kg = 1000 N

- **Perhitungan Beban Angin kiri dan kanan :**

$$\begin{aligned}
 - \text{Beban W1} &= \frac{\left(\frac{a}{2} + b\right)}{\cos \alpha} \times C_{ti} \times L1 \times Q_w = 0 \text{ kN} \\
 - \text{Beban W2} &= \frac{a}{\cos \alpha} \times C_{ti} \times L1 \times Q_w = 0 \text{ kN} \\
 - \text{Beban W3} &= \frac{1}{2} \times \frac{a}{\cos \alpha} \times C_{ti} \times L1 \times Q_w = 0 \text{ kN} \\
 - \text{Beban W4} &= \frac{1}{2} \times \frac{a}{\cos \alpha} \times C_{is} \times L1 \times Q_w = - 0,277 \text{ kN} \\
 - \text{Beban W5} &= \frac{a}{\cos \alpha} \times C_{is} \times L1 \times Q_w = - 0,553 \text{ kN} \\
 - \text{Beban W6} &= \frac{\left(\frac{a}{2} + b\right)}{\cos \alpha} \times C_{is} \times L1 \times Q_w = - 0,830 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

## 2. Perencanaan Balok WF

Data profil WF (Wide Flange) : 200 × 100

Panjang Batang = 8,513 m

Jenis Baja = Bj 37

Tegangan leleh =  $F_y = 2400 \text{ kg/cm}^2$

$F_u = 3700 \text{ kg/cm}^2$

H × B = 198 × 99 mm

tf = 0,7 cm

tw = 0,45 cm

r = 1,1 cm

$$\begin{aligned}
 A &= 23,18 \text{ cm}^2 \\
 E &= 200000 \text{ N} \\
 I_x &= 1580 \text{ cm}^4 \\
 I_y &= 114 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

- **Stabilitas Terhadap Tekuk Lokal**

Suatu penampang harus memiliki kestabilan dalam untuk menahan kemungkinan tekuk lokal. Kemampuan suatu balok WF harus stabil tergantung dengan ukuran kelangsingan masing-masing elemen pelatnya.

Batasan kelangsingan pelat sayap dan badan dalam stabilitas terhadap tekuk lokal :

$$\lambda_{pf} = \frac{170}{\sqrt{fy}} = \frac{170}{\sqrt{240}} = 10,97$$

$$\lambda_{pw} = \frac{1680}{\sqrt{fy}} = \frac{1680}{\sqrt{240}} = 108,44$$

Kelangsingan pelat sayap dan badan

$$\lambda_f = \frac{b}{tf} = \frac{9,9}{(0,7 \times 2)} = 7,071 < \lambda_{pf} \text{ (penampang kompak)}$$

$$\lambda_w = \frac{hw}{tw} = \frac{(19,8 - 2 \times 0,7)}{0,45} = 40,88 < \lambda_{pw} \text{ (penampang kompak)}$$

- **Stabilitas Terhadap Tekuk Lateral**

Suatu penampang harus memiliki kestabilan dalam untuk menahan kemungkinan tekuk lateral. Stabilitas tekuk lateral tergantung dengan panjang dimensi batang.

Batasan bentang diijinkan dalam stabilitas tekuk lateral :

$$L_p = 1,76r_y \sqrt{\frac{E}{fy}} = 1,76r_y \sqrt{\frac{E I_y}{A f y}} = 1,76r_y \sqrt{\frac{2E + 06 \times 114}{23,18 \times 2400}} = 112,67 \text{ cm}$$

Jarak pengekang lateral (L) = 106,418 cm < L<sub>p</sub>

Jarak pengekang lateral cukup dalam menopang stabilitas balok terhadap tekuk lateral

- **Kapasitas Momen Nominal**

Kapasitas momen yang diperhitungkan adalah kapasitas momen plastis, sehingga menggunakan modulus plastisitas penampang. Sesuai dengan perhitungan

stabilitas baik dengan tekuk local maupun lateral, penampang dapat dihitung secara plastis.

**Modulus plastis :**

$$\begin{aligned} Z_x &= (b \times t_f) \times (h - t_f) + (t_w \times (h/2 - t_f)^2) \\ &= (9,9 \times 0,7) \times (19,8 - 0,7) + (0,45 \times (19,8/2 - 0,7)^2) \\ &= 170,451 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

**Kontrol Kapasitas momen nominal penampang**

$$M_{u_x} = 206671 \text{ kgcm}$$

$$M_{u_x} < \phi M_{n_x}$$

$$206671 < \phi M_p$$

$$206671 < 0,9 \times F_y \times Z_x$$

$$206671 < 0,9 \times 2400 \times 170,451$$

$$206671 < 368174,2 \text{ ...OK}$$

- **Kapasitas Geser Nominal**

Sebuah komponen lentur mengakibatkan terjadinya gaya geser, pelat badan adalah elemen utama untuk memikul gaya geser pada penampang profil WF.

**Rasio kerampingan terhadap tekuk pada badan akibat geser**

$$\frac{h}{t_w} \leq 1,10 \sqrt{\frac{kn.E}{f_y}} = \frac{19,8}{0,45} \leq 1,10 \sqrt{\frac{5 \times 2E+06}{2400}} = 44 \leq 71$$

Karena memenuhi syarat maka  $V_n = 0,6 F_y A_w$

**Kapasitas geser penampang**

$$V_n = 0,6 F_y A_w$$

$$= 0,6 \times 2400 \times (0,45 \times 40,88)$$

$$= 26496 \text{ kg}$$

**Kontrol Kapasitas geser penampang**

$$V_u = 1273,32$$

$$V_u < \phi V_n$$

$$1273,32 < \phi V_n$$

$$1273,32 < 0,9 \times 26496$$

$1273,32 < 23846,4$  , penampang mampu menahan gaya geser ultimate.

- **Kapasitas Terhadap Gaya Tekan Tumpu**

Beban terpusat pada balok WF menyebabkan terjadinya perubahan bentuk pada balok WF, dalam kasus ini dilihat dalam tiga kategori :

- Lentur pelat sayap
- Pelelehan lokal badan
- Pelipatan badan

Dari ketiga kategori diatas masing-masing memiliki kuat tumpu nominal pelat badan ( $R_b$ ) yang berbeda. Gaya tumpu pelat badan harus memenuhi :  $R_u < \phi R_n$ . Dari ketiga kategori diatas, dipilih nilai  $R_b$  terkecil.

- Lentur pelat sayap**

$$R_b = 6,25 \times t_f^2 \times f_y$$

$$R_b = 6,25 \times 0,7^2 \times 2400$$

$$R_b = 7350 \text{ kg}$$

- Pelelehan lokal badan akibat beban terpusat**

Nilai  $n$  yang digunakan merupakan lebar gording  $125 \times 50$  sebagai landasan beban terpusat sebesar 5 cm.

$$R_b = (2,5k + N) t_f t_w$$

$$R_b = (2,5 \times (0,7 + 1,1) + 5) \times 2400 \times 0,45$$

$$R_b = 10260 \text{ kg}$$

- Pelipatan badan**

$$\begin{aligned} R_b &= 0,39 \cdot t_w^2 \cdot \left[ 1 + 3 \left( \frac{N}{d} \right) \left( \frac{t_w}{t_f} \right)^{1,5} \right] \sqrt{\frac{E \cdot f_y \cdot t_f}{t_w}} \\ &= 0,39 \cdot 0,45^2 \cdot \left[ 1 + 3 \left( \frac{5}{19,8} \right) \left( \frac{0,45}{0,7} \right)^{1,5} \right] \sqrt{\frac{2E+06 \times 2400 \times 0,7}{0,45}} \\ &= 9488,935 \text{ kg} \end{aligned}$$

Kontrol kapasitas penampang terhadap gaya tumpu

Nilai gaya tumpu perlu ( $R_u$ ).

$$R_u = 5119,14 \text{ kg}$$

$$R_u < \phi R_n$$

$$5119,14 < 0,9 \times 7350$$

$$5119,14 < 6615 \text{ kg, Penampang tidak mengalami perubahan bentuk}$$

akibat gaya tumpu.

- **Kekuatan Terhadap Interaksi Geser dan Lentur**

Interaksi geser dan lentur dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$\frac{M_{ux}}{\phi M_{nx}} + 0,625 \frac{V_u}{\phi V_n} \leq 1,375$$

$$\frac{206671}{368174,2} + 0,625 \frac{1273,32}{23846,4} \leq 1,375$$

$$0,594 \leq 1,375 \text{ ..OK}$$

Penampang dapat menahan gaya akibat kombinasi geser dan lentur.

- **Kontrol Lendutan**

**Defleksi yang diijinkan terjadi**

$$\Delta_{izin} = \frac{L}{240} = \frac{851,3422}{240} = 3,54 \text{ cm}$$

Defleksi yang terjadi pada pertengahan bentang

$$\Delta_{\text{pertengahan bentang}} = \frac{5.L^2}{48.E.I.g} (M_s - 0,1(M_a + M_b))$$

$$\Delta = \frac{5.851,3422^2}{48 \times 2E+06 \times 1580} (23527,09 - 0,1(28000,6453 + 25107,09))$$

$$\Delta = 0,435 \text{ cm} < \Delta_{izin} \text{ ... OK}$$

### 3. Kolom Baja (WF)

Desain kolom yang digunakan memakai profil baja WF yang sama seperti pada profil balok, balok WF yang digunakan sebagai kolom mendapatkan beban aksial dan gaya momen atau bisa dikatakan balok WF dijadikan sebagai kolom dengan kondisi struktural.

$$\text{Tinggi kolom : } L = 1,1 \text{ m} = 1100 \text{ cm}$$

$$\text{Gaya tekan akibat beban terfaktor : } N_u = 5119,14 \text{ kg}$$

- **Batas kelangsingan penampang**

$$\text{Flens } \frac{b/2}{t_f} = \frac{9,9/2}{0,7} = 7,07$$

$$\frac{250}{\sqrt{f_c}} = \frac{250}{\sqrt{240}} = 16,1374$$

$$\frac{b/2}{t_f} < \lambda_r \text{ ..OK}$$

$$\text{Web } \frac{h}{tw} = \frac{(19,8-2 \times 0,7)}{0,45} = 40,88$$

$$\frac{665}{\sqrt{fc}} = \frac{665}{\sqrt{240}} = 42,92$$

$$\frac{h}{tw} < \lambda_r \text{..OK}$$

#### Arah sumbu kuat

$$\lambda_x = \frac{k \times Lx}{rx} = 133,2$$

$$\lambda_x = \frac{\lambda_x}{\pi} \sqrt{\frac{fy}{E}} = \frac{133,2}{3,14} \sqrt{\frac{240}{2 \times 10^6}} = 0,5$$

$$0,25 < 0,5 < 1,2 \text{ maka } \omega_x = \frac{1,43}{1,6 - 0,67 \times 0,5} = 1,1$$

$$N_n = A_g \cdot f_{cr} = A_g \cdot f_y / \omega_x = 50141,9 \text{ kg}$$

- **Perencanaan Akibat Gaya Tekan**

$$\text{Nilai : } N_u = 5119,14 \text{ kg}$$

$$\phi_n = 0,85$$

$$N_n = 50141,9$$

$$N_u \leq \phi_n N_n$$

$$5119,14 < 0,85 \cdot 50141,9$$

$$5119,14 < 42620,64 \text{ kg ..OK}$$

### 2.1.3 Perencanaan Sambungan

Alat pengencang digunakan sebagai bagian dalam penyambung dari struktur baja. Alat pengencang yang kami gunakan dalam konstruksi atap ini adalah baut. Baut merupakan sebuah alat sambung yang memiliki bagian kepala, yang biasanya berpenampang segi enam, dan badan silinder berulir dimana ukuran badan ulir lebih kecil dari kepala. Baut yang umum digunakan pada konstruksi baja adalah tipe baut mutu tinggi.

Penggunaan baut ini karena pemasangannya yang relatif mudah, sehingga dapat menggeser penggunaan paku keling sebagai alat pengencang. Alat pengencang berupa baut memiliki beberapa tipe. Untuk tipe baut mutu tinggi terdapat baut dengan spesifikasi standar ASTM adalah tipe A325 dan A490. Baut ini memiliki keunggulan dengan bahannya yang masing-masing terbuat dari baja karbon untuk A325 dan baja alloy (A490). Selain itu juga terdapat baut mutu normal yaitu A307 yang terbuat dari baja dengan karbon yang lebih rendah.

Data Perencanaan (Sambungan Baut):

- Mutu Baut = A325
- Kuat Tarik Nominal,  $F_{nt}$  = 620 MPa
- Kuat Geser Nominal,  $F_{nv}$  = 372 MPa
- Diameter Baut ( $d_b$ ) = 20 mm
- Diameter Lubang ( $\emptyset$ ) = 22 mm
- Luas Baut ( $A_b$ ) = 314 mm<sup>2</sup>
- Mutu Plat Sambung = BJ37
- Tegangan leleh ( $F_y$ ) = 240 MPa
- Tegangan putus ( $F_u$ ) = 370 MPa
- Tebal Plat Sambung = 10 mm
- $A_g$  = 2318 mm<sup>2</sup>

Luasan Penampang Kotor (WF200×100)

- Gaya rencana, NU = 199,341 kN
- Tebal Plat WF,  $t_w$  = 4,5 mm

a. Pemeriksaan Leleh Tarik pada Penampang Bruto

$$\begin{aligned}\emptyset P_n &= 0,9F_yA_g \\ &= 0,9 \times 240 \times 2318 \\ &= 500688 \text{ N} \\ &= 500,69 \text{ kN} > 199,341 \text{ kN (AMAN)}\end{aligned}$$

b. Pemeriksaan Keruntuhan Tarik pada Penampang Netto

$A_n$ , Luas Penampang Netto =  $A_g - (n \times \emptyset \times t_w)$

$$A_n = 2318 - (2 \times 22 \times 4,5) = 2120 \text{ mm}^2$$

$$\text{Max } A_n = 0,85 \cdot A_g = 0,85 \times 2318 = 1970,3 \text{ mm}^2$$

$$A_e = \text{Max } A_n = 1970,3 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}\emptyset P_n &= 0,75 \cdot F_u \cdot A_e \\ &= 0,75 \times 370 \times 1970,3 \\ &= 546758 \text{ N} \\ &= 546,758 \text{ kN} > 199,341 \text{ kN (AMAN)}\end{aligned}$$



a. Kekuatan Tumpu Baut

Kekuatan tumpu baut merupakan kemampuan baut dalam menahan beban yang bekerja pada baut. Berikut merupakan perhitungan dari kuat tumpu baut.

$$\begin{aligned} Rn &= 2,4dtFu \\ &= 2,4 \times 20 \times 10 \times 370 \\ &= 177600 \text{ N} = 177,6 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \emptyset Rn &= 0,75 \times 177,6 \\ &= 133,2 \text{ kN} \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut didapatkan nilai kuat tumpu baut yaitu sebesar 133,2 kN.

b. Kekuatan Geser Baut

Kuat geser baut yaitu merupakan kemampuan baut dalam menahan gaya geser yang terjadi pada baut. Berikut merupakan perhitungan dari kuat geser baut.

$$\begin{aligned} Rn &= FnvAb \text{ (jumlah bidang geser)} \\ &= 372 \times 314 \times 2 \\ &= 233829 \text{ N} \\ &= 233,829 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \emptyset Rn &= 0,75 \times 233,829 \\ &= 175 \text{ kN} \end{aligned}$$

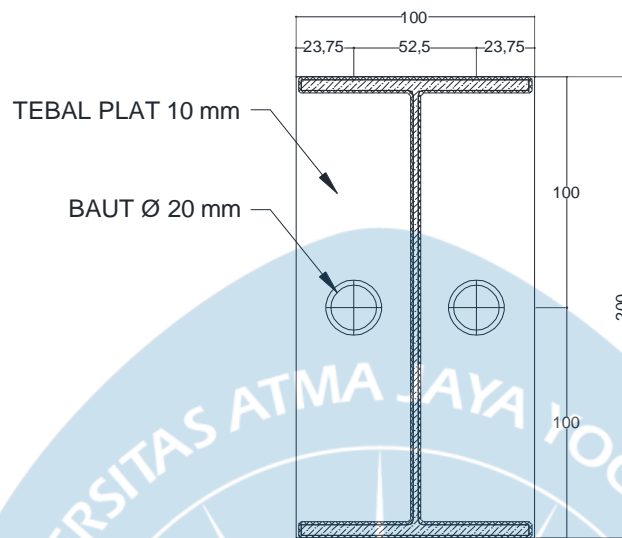
Berdasarkan perhitungan tersebut didapatkan nilai kuat geser baut yaitu sebesar 175 kN.

c. Perhitungan Jumlah Baut

Berdasarkan perhitungan tersebut dipilih nilai terkecil antara kuat tumpu baut dan kuat geser baut, dalam hal ini nilai terkecil yaitu pada kuat geser baut yakni sebesar 133,2 kN.

$$\begin{aligned} \text{Jumlah baut} &= 199,341 / 133,2 \\ &= 1,5 \approx 2 \text{ baut} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan tersebut didapatkan bahwa kebutuhan baut yang diperlukan untuk setiap sambungan yaitu sebanyak 2 buah baut.



Gambar 2.6 Sambungan Baut

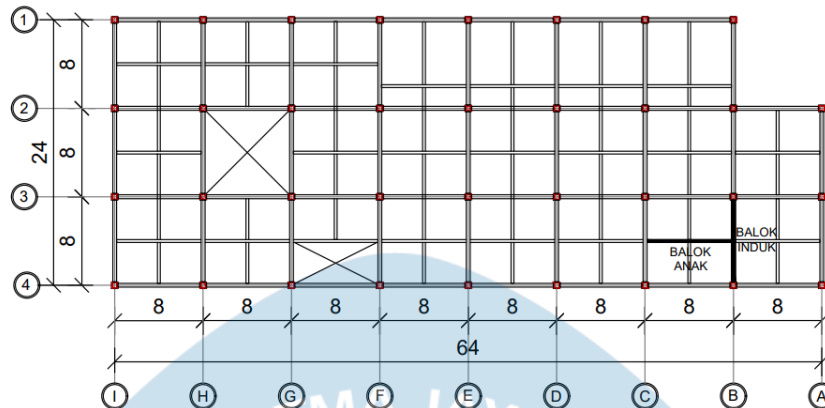
## 2.2 Preliminary Design

Bahan yang digunakan untuk struktur bangunan ini adalah beton bertulang dengan data-data sebagai berikut:

|                                      |                   |
|--------------------------------------|-------------------|
| Tipe bangunan                        | = Museum          |
| Tinggi bangunan                      | = 12 m (3 Lantai) |
| Luas bangunan                        | = 64 m x 24 m     |
| Mutu beton ( $f'_c$ ) kolom          | = 28 MPa          |
| Mutu beton ( $f'_c$ ) balok dan plat | = 28 MPa          |
| Mutu baja ulir ( $f_y$ )             | = 420 MPa         |
| Mutu baja sengkang ulir ( $f_y$ )    | = 420 MPa         |

### 2.2.1 Balok

Balok adalah komponen struktur yang berfungsi menahan lentur. Sesuai dengan SNI 2847-2013 ps 9.5(a), desain dimensi balok (tinggi minimum balok) adalah sebagai berikut:



Gambar 2.7 Denah Preliminary Design Balok

- Dimensi balok induk memanjang dan melintang (BI)

$$\text{Bentang (L)} = 8 \text{ m}$$

$$h = \frac{1}{12} L = \frac{1}{12} 8000 = 666,667 \text{ mm} = 700 \text{ mm}$$

$$b = \frac{1}{2} h = \frac{1}{2} 700 \approx 350 \text{ mm}$$

Jadi, dimensi balok induk memanjang dan melintang adalah 350/700 mm.

- Dimensi balok anak (BA)

$$\text{Bentang (L)} = 4 \text{ m}$$

$$h = \frac{1}{12} L \times \left(0,4 + \frac{f_y}{700}\right) = \frac{1}{12} 4000 \times \left(0,4 + \frac{420}{700}\right)$$

$$= 333,333 \text{ mm} \approx 450 \text{ mm}$$

$$b = \frac{1}{2} h = \frac{1}{2} 450$$

$$= 225 \text{ mm} \approx 250 \text{ mm}$$

Jadi, dimensi balok anak adalah 250/450 mm.

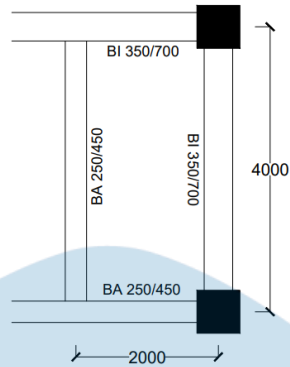
Tabel 2.1 Rekapitulasi Dimensi Balok

| Tipe Balok | Dimensi (mm) |     |
|------------|--------------|-----|
|            | b            | h   |
| BI         | 350          | 700 |
| BA         | 250          | 450 |

### 2.2.2 Pelat

- Desain tebal pelat lantai (4 m x 2 m)

Perhitungan pelat lantai sebagai berikut:



Gambar 2.8 Denah Pelat Lantai P2

$$L_y = 4000 \text{ mm}$$

$$L_x = 2000 \text{ mm}$$

$$L_n = 4000 - \left( \frac{350}{2} + \frac{350}{2} \right) = 3650$$

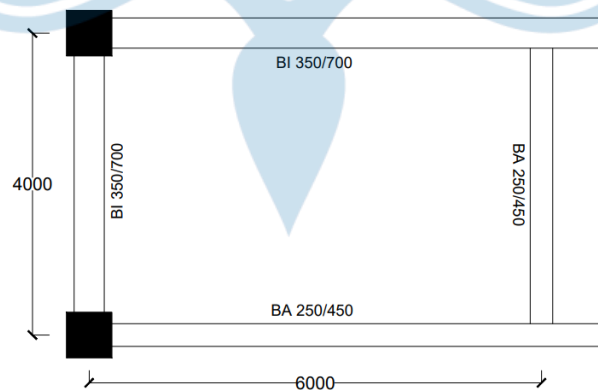
$$S_n = 2000 - \left( \frac{250}{2} + \frac{250}{2} \right) = 1750$$

$$\beta = \frac{L_n}{S_n} = \frac{3650}{1750} = 2,086 > 2$$

Maka termasuk dalam pelat 1 arah.

- Desain tebal pelat lantai (6 m x 4 m)

Perhitungan pelat lantai sebagai berikut:



Gambar 2.9 Denah Pelat Lantai P1

$$L_y = 6000 \text{ mm}$$

$$L_x = 4000 \text{ mm}$$

$$L_n = 6000 - \left( \frac{350}{2} + \frac{350}{2} \right) = 5650$$

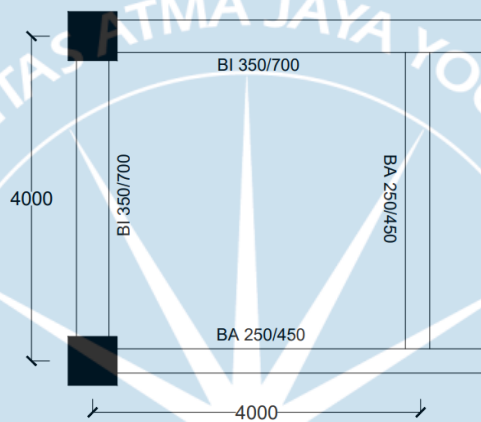
$$S_n = 4000 - \left( \frac{250}{2} + \frac{250}{2} \right) = 3750$$

$$\beta = \frac{L_n}{S_n} = \frac{5650}{3750} = 1,507 < 2$$

Maka termasuk dalam pelat 2 arah.

- Desain tebal pelat lantai (4 m x 4 m)

Perhitungan pelat lantai sebagai berikut:



Gambar 2.10 Denah Pelat Lantai P3

$$L_y = 4000 \text{ mm}$$

$$L_x = 4000 \text{ mm}$$

$$L_n = 4000 - \left( \frac{350}{2} + \frac{350}{2} \right) = 3650$$

$$S_n = 4000 - \left( \frac{250}{2} + \frac{250}{2} \right) = 3750$$

$$\beta = \frac{L_n}{S_n} = \frac{3650}{3750} = 0,973 < 2$$

Maka termasuk dalam pelat 2 arah.

Ketebalan minimum pelat solid satu dan dua arah nonprategang dengan satu ujung menerus:

$$\frac{l}{24} = \frac{2000}{24} = 83,333 \text{ mm}$$

Direncanakan:

$$\text{Tebal pelat} = 120 \text{ mm}$$

$$f'_c = 28 \text{ MPa}$$

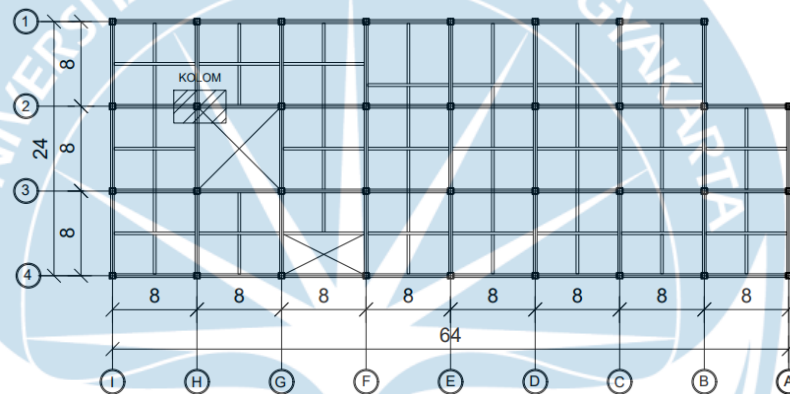
$$f_y = 420 \text{ MPa}$$

Tabel 2.2 Rekapitulasi Tebal Pelat

| Pelat          | Jenis  | Tebal (mm) |
|----------------|--------|------------|
| P2 (4 m x 2 m) | 1 arah | 120        |
| P1 (6 m x 4 m) | 2 arah | 120        |
| P3 (4 m x 4 m) | 2 arah | 120        |

### 2.2.3 Kolom

Menurut SNI 2847-2013 pasal 10.8.4 kolom harus direncanakan untuk memikul beban aksial terfaktor yang bekerja pada semua lantai atau atap dan momen maksimum dari beban terfaktor pada satu bentang terdekat dari lantai atau atap yang ditinjau.



Gambar 2.11 Denah Kolom yang Ditinjau

$$\text{Bentang (L)} = 8 \text{ m}$$

$$h = \frac{1}{15} L = \frac{1}{15} 8000 = 533,333 \text{ mm} \approx 600 \text{ mm}$$

$$b = h = 600 \text{ mm}$$

Jadi, dimensi balok induk memanjang dan melintang adalah 600/600 mm.

## 2.3 Desain Struktur

### 2.3.1 Perencanaan Balok

Dalam perhitungan penulangan balok, yang perlu diperhatikan adalah balok-balok yang mengalami nilai momen terbesar, nilai gaya geser terbesar, dan nilai torsi/ momen puntir terbesar. Sehingga diharapkan desain tulangan yang kita hasilkan mampu menahan gaya-gaya yang terjadi.

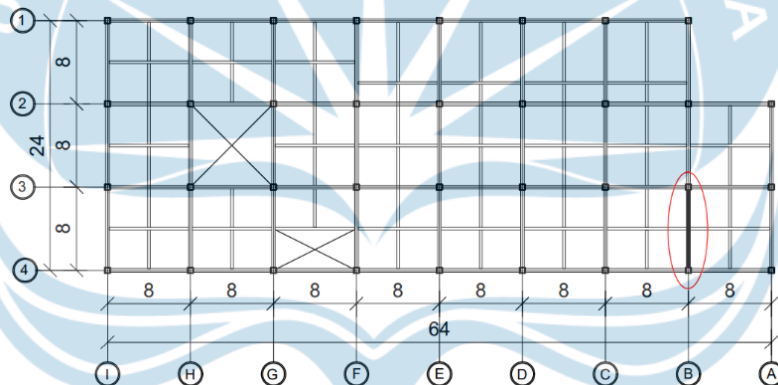
Untuk mendapatkan nilai momen pada elemen balok pada setiap lantai, digunakan bantuan Program ETABS dengan kombinasi pembebanan, kemudian didapat Output ETABS dari kombinasi pembebanan. Berikut rekapitulasi momen maksimum dari setiap lantai.

Dalam perencanaan sebuah bangunan, elemen struktur balok harus di desain dalam kondisi under reinforced (keruntuhan tarik). Kondisi dimana baja tulangan akan mengalami leleh terlebih dahulu dibandingkan beton, pada saat kapasitas maksimum balok terlampaui.

Dalam kenyataannya kondisi ini terlihat pada saat balok menerima beban maksimum, akan terjadi deformasi/ perubahan bentuk yang besar. Sehingga, diharapkan penghuni memiliki kesempatan untuk menyelamatkan diri pada saat kapasitas maksimum balok terlampaui.

### 2.3.1.1 Balok induk B4 elevasi $\pm 0,00$ m

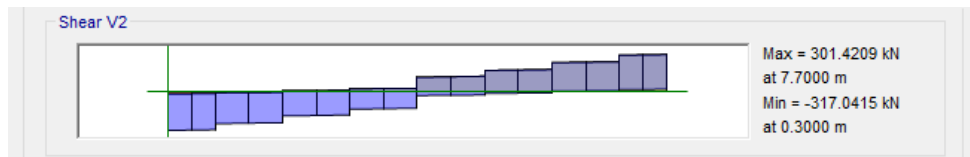
Berikut letak balok induk yang akan didesain.



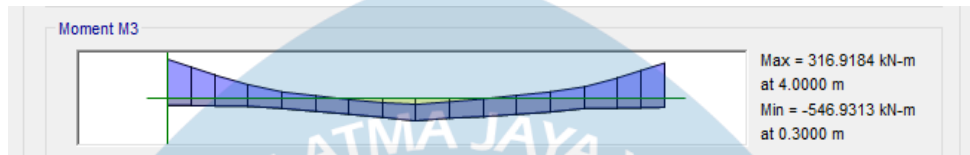
Gambar 2.12 Denah Balok Induk yang Ditinjau

Data Perencanaan:

|                          |           |
|--------------------------|-----------|
| Lebar balok (b)          | = 350 mm  |
| Tinggi balok (h)         | = 700 mm  |
| Bentang total (l)        | = 8000 mm |
| Bentang bersih (ln)      | = 7400 mm |
| Mutu beton ( $f'_c$ )    | = 28 MPa  |
| Selimut beton            | = 40 mm   |
| Diamater tulangan lentur | = 22 mm   |
| Diameter tulangan geser  | = 10 mm   |
| Mutu baja ( $f_y$ )      | = 420 MPa |



Gambar 2.13 Gaya Geser Balok Induk



Gambar 2.14 Gaya Momen Balok Induk

Berdasarkan analisis struktur program ETABS didapatkan gaya dalam balok seperti pada tabel berikut.

Tabel 2.3 Rekapitulasi Gaya Momen dan Geser Balok Induk B4

| Gaya          | Lokasi  |          |
|---------------|---------|----------|
|               | Tumpuan | Lapangan |
| $M_u^+$ (kNm) | 141,728 | 316,918  |
| $M_u^-$ (kNm) | 546,931 | 90,997   |
| $V_u$ (kN)    | 317,042 | 253,526  |

### Periksa ketentuan balok

Berdasarkan pasal 21.5.1 SNI 2847:2013, komponen struktur lentur rangka pemikul momen khusus memenuhi syarat sebagai berikut:

a. Gaya aksial terfaktor  $P_u$  tidak boleh melebihi  $A_g f'_c/10$

$$\begin{aligned} A_g &= b \cdot h \\ &= 350 \cdot 700 \\ &= 245000 \text{ mm}^2 \\ A_g f'_c/10 &= 245000 \cdot 28/10 \\ &= 686000 \text{ N} \\ &= 686 \text{ kN} \end{aligned}$$

Berdasarkan analisis ETABS nilai  $P_u = 0 \text{ kN}$ , maka  $P_u < A_g f'_c/10$

b. Bentang bersih untuk komponen struktur,  $l_n$  tidak boleh kurang dari empat kali tinggi efektifnya.



$$\begin{aligned} l_n &\geq 4d \\ 7400 &\geq 4(639) \\ 7400 &\geq 2556 \end{aligned}$$

c. Lebar komponen, bw tidak boleh kurang dari 0,3h dan 250 mm.

$$\begin{aligned} 350 \text{ mm} &> 0,3(700) \\ 350 \text{ mm} &> 210 \text{ mm dan} \\ 350 \text{ mm} &> 250 \text{ mm} \end{aligned}$$

### Tulangan longitudinal

Direncanakan tulangan D22 ( $f_y = 420 \text{ MPa}$ )

$$\beta_1 = 0,85$$

Selimut beton = 40 mm

$$\begin{aligned} d &= h - \text{sel. beton} - \text{dia. sengkang} - 0,5 \text{ dia. tulangan} \\ &= 700 - 40 - 10 - 0,5(22) \\ &= 639 \text{ mm} \end{aligned}$$

### Tulangan tarik tumpuan

$$\frac{M_u}{\phi b w d^2} = \frac{546,931 \cdot 10^6}{0,9 \cdot 350 \cdot 639^2} = 4,252$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{0,85 f_c}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2(-M_u)}{\phi b w d^2}} \right) \\ &= \frac{0,85 \cdot 28}{420} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 4,252}{0,85 \cdot 28}} \right) \\ &= 0,011 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{maks}} = 0,025$$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho b w d \\ &= 0,011 \cdot 350 \cdot 639 \\ &= 2460,15 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$A_s$  harus tidak boleh kurang dari  $A_s$  min di bawah:

$$A_s \text{ min} = \frac{\sqrt{f_c}}{4f_y} b w d$$

$$= \frac{\sqrt{28}}{4.420} 350.639$$

$$= 704,431 \text{ mm}^2$$

$$\text{As min} = \frac{1,4}{f_y} b d$$

$$= \frac{1,4}{420} 350.639$$

$$= 745,5 \text{ mm}^2$$

$$\text{Kebutuhan tulangan (n)} = \frac{A_{st}}{\frac{1}{4}\pi D^2}$$

$$= \frac{2460,15}{\frac{1}{4}\pi(22)^2}$$

$$= 6,472$$

Digunakan tulangan 7D22 ( $A_s = 2660,929 \text{ mm}^2$ )

Kontrol Jarak Tulangan

$$S = \frac{b - 2 \times \text{selimut beton} - 2d_{\text{senggang}} - nD}{n - 1}$$

$$= \frac{350 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - 7 \times 22}{7 - 1}$$

$$= 16 \text{ mm} < 25 \text{ mm}$$

Maka, tulangan dipasang dua lapis.

$$S_1 = \frac{b - 2 \times \text{selimut beton} - 2d_{\text{senggang}} - nD}{n - 1}$$

$$= \frac{350 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - 5 \times 22}{5 - 1}$$

$$= 35 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

$$S_2 = 25 \text{ mm}$$

$$d = h - \text{sel.beton} - \text{dia. sengkang} - (22+6,5)$$

$$= 700 - 40 - 10 - 28,5$$

$$= 621,5 \text{ mm}$$

Periksa nilai regangan tulangan tarik terluar  $\epsilon_t$  dan  $\phi$

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s f_y}{0,85 f_c b} \\ &= \frac{2660,929.420}{0,85.28.350} \\ &= 134,164 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= \frac{a}{\beta_1} \\ &= \frac{134,164}{0,85} \\ &= 157,84 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_t &= \frac{d - c}{c} 0,003 \\ &= \frac{621,5 - 157,84}{157,84} 0,003 \\ &= 0,009 > 0,005 \text{ (terkendali tarik, maka } \phi = 0,9) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 A_s f_y \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ &= 0,9.2660,929.420. \left(621,5 - \frac{134,164}{2}\right) \\ &= 557650901,2 \text{ Nmm} \\ &= 557,651 \text{ kNm} > M_u (546,931 \text{ kNm}) \quad \text{(memenuhi)} \end{aligned}$$

Jadi, dipasang tulangan pada daerah tumpuan tarik adalah 7 D22.

### Tulangan tekan tumpuan

$$M_u^+ \text{ tump} = 141,728 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} 0,5 M_u^- \text{ tump} &= 0,5(546,931) \\ &= 273,466 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Berdasarkan hitungan di atas  $M_u^+ \text{ tump}$  kurang dari  $0,5 M_u^- \text{ tump}$  maka nilai momen yang digunakan dalam perhitungan tulangan tekan tumpuan selanjutnya digunakan 273,466 kNm.

$$\frac{M_u}{\phi b w d^2} = \frac{273,466.10^6}{0,9.350.639^2} = 2,126$$

$$\rho = \frac{0,85 f_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \left(\frac{M_u}{\phi b w d^2}\right)}{0,85 f_c}}\right)$$

$$= \frac{0,85 \cdot 28}{420} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2,2,126}{0,85 \cdot 28}}\right)$$

$$= 0,005$$

$$\rho_{\text{maks}} = 0,025$$

$$A_s = \rho b w d$$

$$= 0,005 \cdot 350 \cdot 639$$

$$= 1118,25 \text{ mm}^2$$

As harus tidak boleh kurang dari As min di bawah:

$$A_{s \text{ min}} = \frac{\sqrt{f_c}}{4f_y} b w d$$

$$= \frac{\sqrt{28}}{4 \cdot 420} 350 \cdot 639$$

$$= 704,431 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ min}} = \frac{1,4}{f_y} b d$$

$$= \frac{1,4}{420} 350 \cdot 639$$

$$= 745,5 \text{ mm}^2$$

$$\text{Kebutuhan tulangan (n)} = \frac{A_{st}}{\frac{1}{4}\pi D^2}$$

$$= \frac{1118,25}{\frac{1}{4}\pi(22)^2}$$

$$= 2,942$$

Digunakan tulangan 4D22 ( $A_s = 1520,531 \text{ mm}^2$ )

Kontrol Jarak Tulangan

$$S = \frac{b - 2 \times \text{selimut beton} - 2d_{\text{senggang}} - nD}{n - 1}$$

$$= \frac{350 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - 4 \times 22}{4 - 1}$$

$$= 54 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Periksa nilai regangan tulangan tarik terluar  $\epsilon_t$  dan  $\phi$

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s f_y}{0,85 f'_{cb}} \\ &= \frac{1520,531.420}{0,85.28.350} \\ &= 76,665 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= \frac{a}{\beta_1} \\ &= \frac{76,665}{0,85} \end{aligned}$$

$$= 90,194 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_t &= \frac{d - c}{c} 0,003 \\ &= \frac{639 - 90,194}{90,194} 0,003 \end{aligned}$$

$$= 0,0183 > 0,005 \text{ (terkendali tarik, maka } \phi = 0,9)$$

$$\phi M_n = 0,9 A_s f_y \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 0,9.1520,531.420. \left( 639 - \frac{76,665}{2} \right)$$

$$= 345240083,6 \text{ Nmm}$$

$$= 345,240 \text{ kNm} > M_u (273,466 \text{ kNm}) \quad \text{(memenuhi)}$$

Jadi, dipasang tulangan pada daerah tumpuan tekan adalah 4 D22.

### Tulangan tarik lapangan

$$M_u^+ \text{ lapangan} = 316,918 \text{ kNm}$$

$$0,25 M_u^- \text{ tump} = 0,25(546,931)$$

$$= 136,733 \text{ kNm}$$

Berdasarkan hitungan di atas  $M_u^+ \text{ lapangan}$  lebih dari dari  $0,25 M_u^- \text{ tump}$  maka nilai momen yang digunakan dalam perhitungan tulangan tekan tumpuan selanjutnya digunakan 316,918 kNm.

$$\frac{M_u}{\phi b w d^2} = \frac{316,918.10^6}{0,9.350.639^2} = 2,464$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{0,85 f_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2\left(\frac{M_u}{\phi b w d^2}\right)}{0,85 f_c}}\right) \\ &= \frac{0,85 \cdot 28}{420} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 2.2464}{0,85 \cdot 28}}\right) \\ &= 0,006 \\ \rho_{maks} &= 0,025\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_s &= \rho b w d \\ &= 0,006 \cdot 350 \cdot 639 \\ &= 1341,9 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

As harus tidak boleh kurang dari As min di bawah:

$$\begin{aligned}A_{s \text{ min}} &= \frac{\sqrt{f_c}}{4 f_y} b w d \\ &= \frac{\sqrt{28}}{4 \cdot 420} 350 \cdot 639 \\ &= 704,431 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_{s \text{ min}} &= \frac{1,4}{f_y} b d \\ &= \frac{1,4}{420} 350 \cdot 639 \\ &= 745,5 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Kebutuhan tulangan (n)} &= \frac{A_{st}}{\frac{1}{4} \pi D^2} \\ &= \frac{1341,9}{\frac{1}{4} \pi (22)^2} \\ &= 3,53\end{aligned}$$

Digunakan tulangan 4D22 ( $A_s = 1520,531 \text{ mm}^2$ )

Kontrol Jarak Tulangan

$$S = \frac{b - 2 \times \text{selimut beton} - 2d_{sengkan} - nD}{n - 1}$$

$$= \frac{350 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - 4 \times 22}{4 - 1}$$

$$= 54 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Periksa nilai regangan tulangan tarik terluar  $\epsilon_t$  dan  $\phi$

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f'_{cb}}$$

$$= \frac{1520,531.420}{0,85.28.350}$$

$$= 76,665 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1}$$

$$= \frac{76,665}{0,85}$$

$$= 90,194 \text{ mm}$$

$$\epsilon_t = \frac{d - c}{c} 0,003$$

$$= \frac{639 - 90,194}{90,194} 0,003$$

$$= 0,0183 > 0,005 \text{ (terkendali tarik, maka } \phi = 0,9)$$

$$\phi M_n = 0,9 A_s f_y \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 0,9.1520,531.420. \left( 639 - \frac{76,665}{2} \right)$$

$$= 345240083,6 \text{ Nmm}$$

$$= 345,240 \text{ kNm} > M_u (316,918 \text{ kNm}) \quad (\text{memenuhi})$$

Jadi, dipasang tulangan pada daerah lapangan tarik adalah 4 D22.

### Tulangan tekan lapangan

$$M_u^- \text{ lapangan} = 90,997 \text{ kNm}$$

$$0,25 M_u^- \text{ tump} = 0,25(546,931)$$

$$= 136,733 \text{ kNm}$$

Berdasarkan hitungan di atas  $Mu^{-}$  lapangan kurang dari dari  $0,25 Mu^{-}$  tump maka nilai momen yang digunakan dalam perhitungan tulangan tekan tumpuan selanjutnya digunakan 136,733 kNm.

$$\frac{Mu}{\phi bwd^2} = \frac{136,733 \cdot 10^6}{0,9 \cdot 350 \cdot 639^2} = 1,063$$

$$\rho = \frac{0,85 f_c}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \left( \frac{Mu}{\phi bwd^2} \right)}{0,85 f_c}} \right)$$

$$= \frac{0,85 \cdot 28}{420} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 1,063}{0,85 \cdot 28}} \right)$$

$$= 0,003$$

$$\rho_{maks} = 0,025$$

$$As = \rho bwd$$

$$= 0,003 \cdot 350 \cdot 639$$

$$= 570,95 \text{ mm}^2$$

As harus tidak boleh kurang dari As min di bawah:

$$As_{min} = \frac{\sqrt{f_c}}{4f_y} bwd$$

$$= \frac{\sqrt{28}}{4 \cdot 420} 350 \cdot 639$$

$$= 704,431 \text{ mm}^2$$

$$As_{min} = \frac{1,4}{f_y} bd$$

$$= \frac{1,4}{420} 350 \cdot 639$$

$$= 745,5 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan tulangan (n)} &= \frac{As_t}{\frac{1}{4} \pi D^2} \\ &= \frac{745,5}{\frac{1}{4} \pi (22)^2} \\ &= 1,961 \end{aligned}$$



Digunakan tulangan 2D22 ( $A_s = 760,265 \text{ mm}^2$ )

Kontrol Jarak Tulangan

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{b - 2 \times \text{selimut beton} - 2d_{\text{sengkanng}} - nD}{n - 1} \\
 &= \frac{350 - 2 \times 40 - 2 \times 10 - 2 \times 22}{2 - 1} \\
 &= 206 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \quad (\text{OK})
 \end{aligned}$$

Periksa nilai regangan tulangan tarik terluar  $\epsilon_t$  dan  $\phi$

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{A_s f_y}{0,85 f_{cb}} \\
 &= \frac{760,265 \cdot 420}{0,85 \cdot 28 \cdot 350} \\
 &= 38,333 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 c &= \frac{a}{\beta_1} \\
 &= \frac{38,333}{0,85} \\
 &= 45,098 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \epsilon_t &= \frac{d - c}{c} 0,003 \\
 &= \frac{639 - 45,098}{45,098} 0,003 \\
 &= 0,0395 > 0,005 \text{ (terkendali tarik, maka } \phi = 0,9)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi M_n &= 0,9 A_s f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 0,9 \cdot 760,265 \cdot 420 \cdot \left( 639 - \frac{38,333}{2} \right) \\
 &= 178127865,6 \text{ Nmm} \\
 &= 178,128 \text{ kNm} > M_u (136,733 \text{ kNm}) \quad (\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$

Jadi, dipasang tulangan pada daerah lapangan tekan adalah 2 D22.

### Tulangan transversal

### Probable Moment ( $M_{pr}$ )

Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.5.4.1, geser rencana akibat gempa pada balok dihitung mengasumsikan sendi plastis terbentuk di ujung-ujung balok dengan tegangan lentur balok mencapai  $1,25f_y$  dan faktor reduksi kuat lentur  $\phi = 1$ .

### Perhitungan $M_{pr}^-$

$M_{pr}^-$  ditinjau dari tumpuan yang mengalami tarik dengan tulangan 7D22 ( $A_s = 2660,929 \text{ mm}^2$ )

$$A_{pr}^- = \frac{1,25 A_s f_y}{0,85 f'_{cbw}}$$

$$= \frac{1,25 \cdot 2660,929 \cdot 420}{0,85 \cdot 28.350}$$

$$= 167,706 \text{ mm}$$

$$M_{pr}^- = 1,25 A_s f_y \left( d - \frac{A_{pr}^-}{2} \right)$$

$$= 1,25 \cdot 2660,929 \cdot 420 \cdot \left( 639 - \frac{167,706}{2} \right)$$

$$= 775533544,6 \text{ Nmm}$$

$$= 775,534 \text{ kNm}$$

### Perhitungan $M_{pr}^+$

$M_{pr}^+$  ditinjau dari tumpuan yang mengalami tekan dengan tulangan 4D22 ( $A_s = 1520,531 \text{ mm}^2$ )

$$A_{pr}^+ = \frac{1,25 A_s f_y}{0,85 f'_{cbw}}$$

$$= \frac{1,25 \cdot 1520,531 \cdot 420}{0,85 \cdot 28.350}$$

$$= 95,832 \text{ mm}$$

$$M_{pr}^+ = 1,25 A_s f_y \left( d - \frac{A_{pr}^+}{2} \right)$$

$$= 1,25 \cdot 1520,531 \cdot 420 \cdot \left( 639 - \frac{95,832}{2} \right)$$

$$= 471849811,4 \text{ Nmm}$$

$$= 471,850 \text{ kNm}$$

#### Gaya geser akibat gaya gravitasi

Gaya geser akibat gravitasi dihitung dengan ETABS menggunakan kombinasi beban 1,2DL + 1,0LL, sehingga dari analisis diketahui nilai  $V_g = 223,991 \text{ kN}$ .

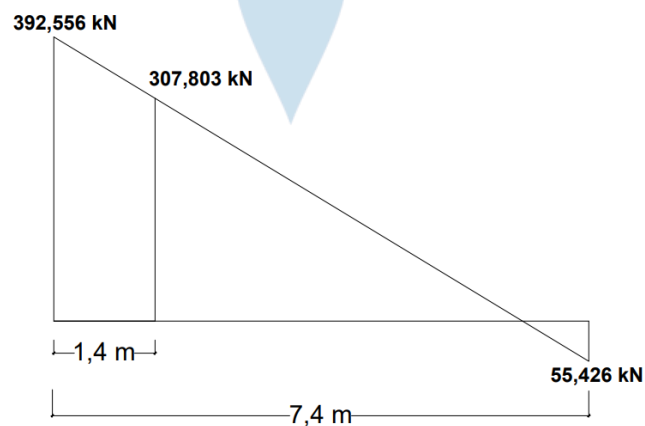
Perhitungan gaya geser akibat gempa

$$\begin{aligned} V_e &= \frac{M_{pr}^+ + M_{pr}^-}{l_n} \\ &= \frac{471,850 + 775,534}{7,4} \\ &= 168,565 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{e1} &= V_e + V_g \\ &= 168,565 + 223,991 \\ &= 392,556 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{e2} &= V_e - V_g \\ &= 168,565 - 223,991 \\ &= -55,426 \text{ kN} \end{aligned}$$

Untuk menentukan tulangan geser lapangan, ditentukan jarak tulangan geser dari muka kolom sebesar  $2h$ . Balok dengan tinggi ( $h$ ) = 0,7 m, maka  $2h = 1,4 \text{ m}$ .



Gambar 2.15 Gaya Geser Balok Induk B4

**Perhitungan kebutuhan tulangan daerah tumpuan**

$$V_u \text{ ETABS} = 317,042 \text{ kN}$$

$$V_u = 392,556 \text{ kN}$$

$$d = 639 \text{ mm}$$

nilai  $V_u$  digunakan 392,556 kN

Menurut SNI 2847:2013 Pasal 21.5.4.2,  $V_c$  dapat diasumsikan sama dengan nol bilamana gaya geser gempa mewakili setengah atau lebih dari kekuatan geser, perlu maksimum di sepanjang bentang.

$$\begin{aligned} 0,5V_u &= 0,5(392,556) \\ &= 196,278 \text{ kN} > V_e (168,565 \text{ kN}) \end{aligned}$$

$V_c$  perlu diperhitungkan, maka

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \lambda \sqrt{f_c} b_w d & \lambda &= 1 \\ &= 0,17 \cdot 1 \cdot \sqrt{28} \cdot 350 \cdot 639 \\ &= 201185,575 \text{ N} \\ &= 201,186 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{V_u}{\phi} - V_c \\ &= \frac{392,556}{0,75} - 201,186 \\ &= 322,222 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{smaks} &= 0,66 \sqrt{f_c} b_w d \\ &= 0,66 \cdot \sqrt{28} \cdot 350 \cdot 639 \\ &= 781073,411 \text{ N} \\ &= 781,073 \text{ kN} > V_s (322,222 \text{ kN}) && \text{(memenuhi)} \end{aligned}$$

Direncanakan sengkang 2D10 ( $A_s = 157,08 \text{ mm}^2$ )

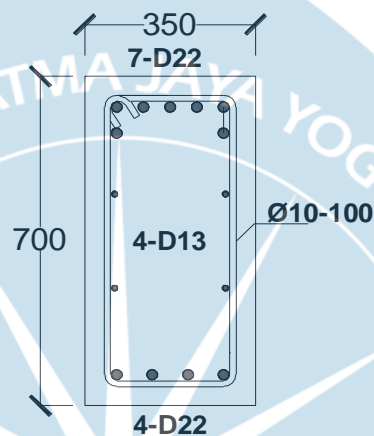
$$\begin{aligned} \text{sengkang (s)} &= \frac{A_s f_y d}{V_s} \\ &= \frac{157,08 \cdot 420 \cdot 639}{322,222 \cdot 10^3} \\ &= 130,833 \text{ mm} \end{aligned}$$

Pasal 21.5.3 SNI 2487:2013 memberi ketentuan jarak sengkang pertama dari muka komponen struktur penumpu tidak lebih dari 50 mm, jarak sengkang tidak boleh lebih dari:

$$d/4 = 639/4 = 159,75 \text{ mm}$$

$$6 \times \text{diameter tulangan lentur} = 6(22) = 132 \text{ mm dan } 150 \text{ mm}$$

Sehingga digunakan tulangan 2D10-100.



Gambar 2.16 Penampang Balok Induk daerah Tumpuan

### Perhitungan kebutuhan tulangan daerah lapangan

$$V_u \text{ ETABS} = 253,526 \text{ kN}$$

$$V_u = 307,803 \text{ kN}$$

$$d = 639 \text{ mm}$$

nilai  $V_u$  digunakan 307,803 kN

$$V_c = 0,17 \lambda \sqrt{f_c} b_w d \quad \lambda = 1$$

$$= 0,17 \cdot 1 \cdot \sqrt{28} \cdot 350 \cdot 639$$

$$= 201185,575 \text{ N}$$

$$= 201,186 \text{ kN}$$

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c$$

$$= \frac{307,803}{0,75} - 201,186$$

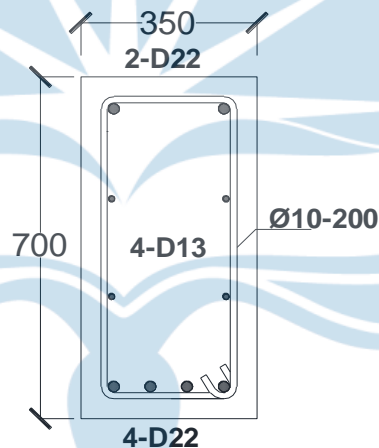
$$= 209,218 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 V_{\text{maks}} &= 0,66 \sqrt{f_c} b w d \\
 &= 0,66 \cdot \sqrt{28} \cdot 350 \cdot 639 \\
 &= 781073,411 \text{ N} \\
 &= 781,073 \text{ kN} > V_s (209,218 \text{ kN}) \quad (\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$

Direncanakan sengkang 2D10 ( $A_s = 157,08 \text{ mm}^2$ )

$$\begin{aligned}
 \text{Jarak sengkang (s)} &= \frac{A_s f_y d}{V_s} \\
 &= \frac{157,08 \cdot 420 \cdot 639}{209,218 \cdot 10^3} \\
 &= 201,499 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Pasal 21.3.4.3 SNI 2847:2013 di luar sendi plastis jarak tulangan tidak boleh melebihi  $d/2 = 639/2 = 319,5 \text{ mm}$ . Sehingga digunakan 2D10-200.



Gambar 2.17 Penampang Balok Induk daerah Lapangan

### Tulangan Susut Balok Induk

Tulangan susut diperlukan untuk menjaga mutu beton agar tetap baik setelah proses pengikatan (*setting time*) berlangsung atau dilapangan sering disebut dengan “tulangan peminggang”, di mana ada kemungkinan beton akan mengalami penyusutan dimensi dan mengurangi kualitasnya. Sesuai dengan ketentuan yang berlaku di mana diizinkan adanya jarak pada beton sebesar lebih dari 30 cm tanpa penulangan.

Perencanaan tulangan susut:

Dipakai tulangan susut D13.

$$A_d = \frac{1}{4}\pi(13)^2 = 132,665 \text{ mm}^2$$

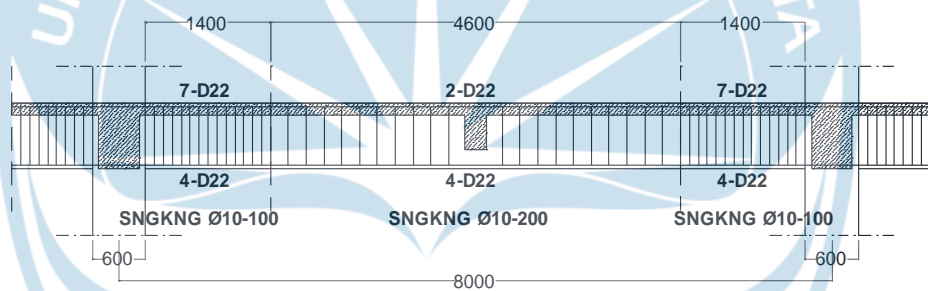
Mutu baja  $\geq$  BJTD-40, maka:

$$\begin{aligned} A_{sst} &= 0,0018 \times b \times h \times \frac{400}{f_y} \\ &= 0,0018 \times 350 \times 700 \times \frac{400}{420} \\ &= 420 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n &= \frac{A_{sst}}{A_d} \\ &= \frac{420}{132,665} \end{aligned}$$

$$= 3,166 \approx 4 \text{ buah}$$

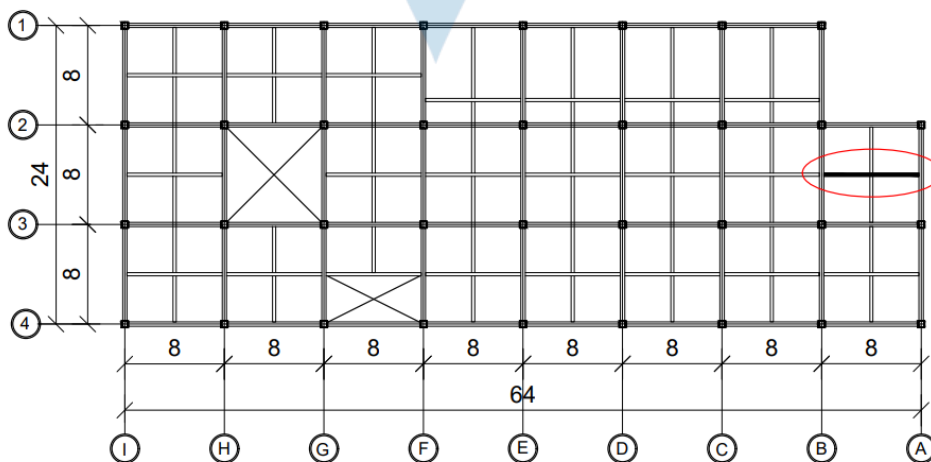
Dipakai 4 D13 untuk tulangan susut.



Gambar 2.18 Penampang Melintang Balok Induk

### 2.3.1.2 Balok anak B14 elevasi $\pm 8,00$ m

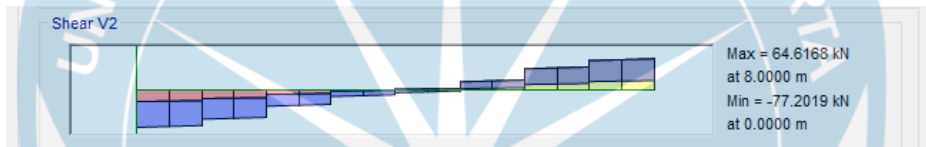
Berikut letak balok anak yang akan didesain



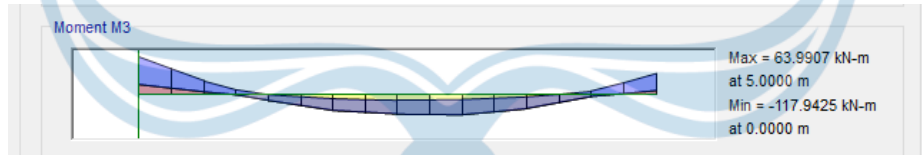
Gambar 2.19 Denah Balok Anak yang Ditinjau

Data Perencanaan:

|                          |           |
|--------------------------|-----------|
| Lebar balok (b)          | = 250 mm  |
| Tinggi balok (h)         | = 450 mm  |
| Bentang total (l)        | = 8000 mm |
| Bentang bersih (ln)      | = 8000 mm |
| Mutu beton ( $f'_c$ )    | = 28 MPa  |
| Selimut beton            | = 30 mm   |
| Diameter tulangan lentur | = 19 mm   |
| Diameter tulangan geser  | = 10 mm   |
| Mutu baja ( $f_y$ )      | = 420 MPa |



Gambar 2.20 Gaya Geser Balok Anak



Gambar 2.21 Gaya Momen Balok Anak

Berdasarkan analisis struktur program ETABS didapatkan gaya dalam balok seperti pada tabel berikut.

Tabel 2.4 Rekapitulasi Gaya Momen dan Geser Balok Anak B14

| Gaya          | Lokasi  |          |
|---------------|---------|----------|
|               | Tumpuan | Lapangan |
| $M_u^+$ (kNm) | 2,349   | 63,991   |
| $M_u^-$ (kNm) | 117,943 | 42,709   |
| $V_u$ (kN)    | 77,202  | 73,264   |



**Periksa ketentuan balok**

Berdasarkan pasal 21.5.1 SNI 2847:2013, komponen struktur lentur rangka pemikul momen khusus memenuhi syarat sebagai berikut:

- a. Gaya aksial terfaktor  $P_u$  tidak boleh melebihi  $A_g f'_c/10$

$$\begin{aligned} A_g &= b \cdot h \\ &= 250 \cdot 450 \\ &= 112500 \text{ mm}^2 \\ A_g f'_c/10 &= 112500 \cdot 28/10 \\ &= 315000 \text{ N} \\ &= 315 \text{ kN} \end{aligned}$$

Berdasarkan analisis ETABS nilai  $P_u = 0 \text{ kN}$ , maka  $P_u < A_g f'_c/10$

- b. Bentang bersih untuk komponen struktur,  $l_n$  tidak boleh kurang dari empat kali tinggi efektifnya.

$$\begin{aligned} l_n &\geq 4d \\ 8000 &\geq 4(400,5) \\ 8000 &\geq 1602 \end{aligned}$$

- c. Lebar komponen,  $b_w$  tidak boleh kurang dari  $0,3h$  dan  $250 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} 250 \text{ mm} &> 0,3(450) \\ 250 \text{ mm} &> 150 \text{ mm} \end{aligned}$$

**Tulangan longitudinal**

Direncanakan tulangan D22 ( $f_y = 420 \text{ MPa}$ )

$$\beta_1 = 0,85$$

Selimut beton =  $40 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} d &= h - \text{sel. beton} - \text{dia. sengkang} - 0,5 \text{ dia. tulangan} \\ &= 450 - 30 - 10 - 0,5(19) \\ &= 400,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

**Tulangan tekan tumpuan**

$$\frac{M_u}{\phi b w d^2} = \frac{117,943.10^6}{0,9.250.400,5^2} = 3,268$$

$$\rho = \frac{0,85 f_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \left(\frac{M_u}{\phi b w d^2}\right)}{0,85 f_c}}\right)$$

$$= \frac{0,85.28}{420} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2.3,268}{0,85.28}}\right)$$

$$= 0,008$$

$$\rho_{maks} = 0,025$$

$$A_s = \rho b w d$$

$$= 0,008.250.400,5$$

$$= 801 \text{ mm}^2$$

As harus tidak boleh kurang dari As min di bawah:

$$A_{s \text{ min}} = \frac{\sqrt{f_c}}{4 f_y} b w d$$

$$= \frac{\sqrt{28}}{4.420} 250.400,5$$

$$= 315,364 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ min}} = \frac{1,4}{f_y} b d$$

$$= \frac{1,4}{420} 250.400,5$$

$$= 333,75 \text{ mm}^2$$

$$\text{Kebutuhan tulangan (n)} = \frac{A_{st}}{\frac{1}{4} \pi D^2}$$

$$= \frac{801}{\frac{1}{4} \pi (19)^2}$$

$$= 2,825$$

Digunakan tulangan 3D19 ( $A_s = 850,586 \text{ mm}^2$ )

Kontrol Jarak Tulangan

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{b - 2 \times \text{selimut beton} - 2d_{\text{sengkanng}} - nD}{n - 1} \\
 &= \frac{250 - 2 \times 30 - 2 \times 10 - 3 \times 19}{3 - 1} \\
 &= 56,5 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \quad (\text{OK})
 \end{aligned}$$

Periksa nilai regangan tulangan tarik terluar  $\epsilon_t$  dan  $\phi$

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{A_s f_y}{0,85 f_c b} \\
 &= \frac{850,586.420}{0,85.28.250} \\
 &= 60,041 \text{ mm} \\
 c &= \frac{a}{\beta_1} \\
 &= \frac{60,041}{0,85} \\
 &= 70,636 \text{ mm} \\
 \epsilon_t &= \frac{d - c}{c} 0,003 \\
 &= \frac{400,5 - 70,636}{70,636} 0,003 \\
 &= 0,014 > 0,005 \text{ (terkendali tarik, maka } \phi = 0,9)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi M_n &= 0,9 A_s f_y \left(d - \frac{a}{2}\right) \\
 &= 0,9.850,586.420. \left(400,5 - \frac{60,041}{2}\right) \\
 &= 119117127,5 \text{ Nmm} \\
 &= 119,117 \text{ kNm} > M_u (117,943 \text{ kNm}) \quad (\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$

Jadi, dipasang tulangan pada daerah tumpuan tekan adalah 3 D19.

### Tulangan tarik tumpuan

$$M_u^+ \text{ tump} = 2,349 \text{ kNm}$$

$$0,5 M_u^- \text{ tump} = 0,5(117,943)$$

$$= 58,972 \text{ kNm}$$

Berdasarkan hitungan di atas  $Mu^+_{tump}$  kurang dari  $0,5 Mu^-_{tump}$  maka nilai momen yang digunakan dalam perhitungan tulangan tekan tumpuan selanjutnya digunakan 58,972 kNm.

$$\frac{Mu}{\phi bwd^2} = \frac{58,972 \cdot 10^6}{0,9 \cdot 250 \cdot 400,5^2} = 1,634$$

$$\rho = \frac{0,85 f_c}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \left( \frac{Mu}{\phi bwd^2} \right)}{0,85 f_c}} \right)$$

$$= \frac{0,85 \cdot 28}{420} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 1,634}{0,85 \cdot 28}} \right)$$

$$= 0,004$$

$$\rho_{maks} = 0,025$$

$$As = \rho bwd$$

$$= 0,004 \cdot 250 \cdot 400,5$$

$$= 400,5 \text{ mm}^2$$

As harus tidak boleh kurang dari As min di bawah:

$$As_{min} = \frac{\sqrt{f_c}}{4f_y} bwd$$

$$= \frac{\sqrt{28}}{4 \cdot 420} 250 \cdot 400,5$$

$$= 315,364 \text{ mm}^2$$

$$As_{min} = \frac{1,4}{f_y} bd$$

$$= \frac{1,4}{420} 250 \cdot 400,5$$

$$= 333,75 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan tulangan (n)} &= \frac{As_t}{\frac{1}{4} \pi D^2} \\ &= \frac{400,5}{\frac{1}{4} \pi (19)^2} \\ &= 1,413 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan 2D19 ( $A_s = 567,057 \text{ mm}^2$ )

Kontrol Jarak Tulangan

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{b - 2 \times \text{selimut beton} - 2d_{\text{sengkan}} - nD}{n - 1} \\
 &= \frac{250 - 2 \times 30 - 2 \times 10 - 2 \times 19}{2 - 1} \\
 &= 132 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \quad (\text{OK})
 \end{aligned}$$

Periksa nilai regangan tulangan tarik terluar  $\epsilon_t$  dan  $\phi$

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{A_s f_y}{0,85 f_{cb}} \\
 &= \frac{567,057 \cdot 420}{0,85 \cdot 28 \cdot 250} \\
 &= 40,028 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 c &= \frac{a}{\beta_1} \\
 &= \frac{40,028}{0,85} \\
 &= 47,092 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \epsilon_t &= \frac{d - c}{c} \cdot 0,003 \\
 &= \frac{400,5 - 47,092}{47,092} \cdot 0,003 \\
 &= 0,023 > 0,005 \text{ (terkendali tarik, maka } \phi = 0,9)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi M_n &= 0,9 A_s f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 0,9 \cdot 567,057 \cdot 420 \cdot \left( 400,5 - \frac{40,028}{2} \right) \\
 &= 81551925,68 \text{ Nmm} \\
 &= 81,552 \text{ kNm} > M_u (58,972 \text{ kNm}) \quad (\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$

Jadi, dipasang tulangan pada daerah tumpuan tarik adalah 2 D19.

### Tulangan tarik lapangan

$$M_u^+ \text{ lapangan} = 63,991 \text{ kNm}$$

$$0,25 Mu^{-tump} = 0,25(117,943) \\ = 29,486 \text{ kNm}$$

Berdasarkan hitungan di atas  $Mu^{+lapangan}$  lebih dari dari  $0,25 Mu^{-tump}$  maka nilai momen yang digunakan dalam perhitungan tulangan tekan tumpuan selanjutnya digunakan 63,991 kNm.

$$\frac{Mu}{\phi bwd^2} = \frac{63,991 \cdot 10^6}{0,9 \cdot 250 \cdot 400,5^2} = 1,773$$

$$\rho = \frac{0,85 f_c}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \left( \frac{Mu}{\phi bwd^2} \right)}{0,85 f_c}} \right)$$

$$= \frac{0,85 \cdot 28}{420} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 1,773}{0,85 \cdot 28}} \right)$$

$$= 0,004$$

$$\rho_{maks} = 0,025$$

$$As = \rho bwd$$

$$= 0,004 \cdot 250 \cdot 400,5$$

$$= 400,5 \text{ mm}^2$$

As harus tidak boleh kurang dari As min di bawah:

$$As \text{ min} = \frac{\sqrt{f_c}}{4f_y} bwd$$

$$= \frac{\sqrt{28}}{4 \cdot 420} 250 \cdot 400,5$$

$$= 315,364 \text{ mm}^2$$

$$As \text{ min} = \frac{1,4}{f_y} bd$$

$$= \frac{1,4}{420} 250 \cdot 400,5$$

$$= 333,75 \text{ mm}^2$$

$$\text{Kebutuhan tulangan (n)} = \frac{Ast}{\frac{1}{4}\pi D^2} \\ = \frac{400,5}{\frac{1}{4}\pi(19)^2} \\ = 1,413$$

Digunakan tulangan 2D19 ( $A_s = 567,057 \text{ mm}^2$ )

Kontrol Jarak Tulangan

$$S = \frac{b - 2 \times \text{selimut beton} - 2d_{\text{sengkan}} - nD}{n - 1}$$

$$= \frac{250 - 2 \times 30 - 2 \times 10 - 2 \times 19}{2 - 1}$$

$$= 132 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \quad (\text{OK})$$

Periksa nilai regangan tulangan tarik terluar  $\epsilon_t$  dan  $\phi$

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f_{cb}}$$

$$= \frac{567,057 \cdot 420}{0,85 \cdot 28 \cdot 250}$$

$$= 40,028 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1}$$

$$= \frac{40,028}{0,85}$$

$$= 47,092 \text{ mm}$$

$$\epsilon_t = \frac{d - c}{c} 0,003$$

$$= \frac{400,5 - 47,092}{47,092} 0,003$$

$$= 0,023 > 0,005 \text{ (terkendali tarik, maka } \phi = 0,9)$$

$$\phi M_n = 0,9 A_s f_y \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 0,9 \cdot 567,057 \cdot 420 \cdot \left( 400,5 - \frac{40,028}{2} \right)$$

$$= 81551925,68 \text{ Nmm}$$

$$= 81,552 \text{ kNm} > M_u (63,991 \text{ kNm}) \quad (\text{memenuhi})$$

Jadi, dipasang tulangan pada daerah lapangan tarik adalah 2 D19.

### Tulangan tekan lapangan

$$M_u^- \text{ lapangan} = 42,709 \text{ kNm}$$

$$0,25 M_u^- \text{ tump} = 0,25(117,943)$$

$$= 29,486 \text{ kNm}$$

Berdasarkan hitungan di atas  $Mu$ -lapangan lebih dari dari  $0,25 Mu$ -tump maka nilai momen yang digunakan dalam perhitungan tulangan tekan tumpuan selanjutnya digunakan 42,709 kNm.

$$\frac{Mu}{\phi b w d^2} = \frac{42,709 \cdot 10^6}{0,9 \cdot 250 \cdot 400,5^2} = 1,253$$

$$\rho = \frac{0,85 f_c}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \left( \frac{Mu}{\phi b w d^2} \right)}{0,85 f_c}} \right)$$

$$= \frac{0,85 \cdot 28}{420} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 1,253}{0,85 \cdot 28}} \right)$$

$$= 0,003$$

$$\rho_{maks} = 0,025$$

$$A_s = \rho b w d$$

$$= 0,003 \cdot 250 \cdot 400,5$$

$$= 300,375 \text{ mm}^2$$

$A_s$  harus tidak boleh kurang dari  $A_s$  min di bawah:

$$A_s \text{ min} = \frac{\sqrt{f_c}}{4 f_y} b w d$$

$$= \frac{\sqrt{28}}{4 \cdot 420} 250 \cdot 400,5$$

$$= 315,364 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ min} = \frac{1,4}{f_y} b d$$

$$= \frac{1,4}{420} 250 \cdot 400,5$$

$$= 333,75 \text{ mm}^2$$

$$\text{Kebutuhan tulangan (n)} = \frac{A_{st}}{\frac{1}{4} \pi D^2}$$

$$= \frac{333,75}{\frac{1}{4} \pi (19)^2}$$

$$= 1,177$$

Digunakan tulangan 2D19 ( $A_s = 567,057 \text{ mm}^2$ )

Kontrol Jarak Tulangan



$$\begin{aligned}
 S &= \frac{b - 2 \times \text{selimut beton} - 2d_{\text{senggang}} - nD}{n - 1} \\
 &= \frac{250 - 2 \times 30 - 2 \times 10 - 2 \times 19}{2 - 1} \\
 &= 132 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \quad (\text{OK})
 \end{aligned}$$

Periksa nilai regangan tulangan tarik terluar  $\epsilon_t$  dan  $\phi$

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{A_s f_y}{0,85 f_c b} \\
 &= \frac{567,057.420}{0,85.28.250} \\
 &= 40,028 \text{ mm} \\
 c &= \frac{a}{\beta_1} \\
 &= \frac{40,028}{0,85} \\
 &= 47,092 \text{ mm} \\
 \epsilon_t &= \frac{d - c}{c} 0,003 \\
 &= \frac{400,5 - 47,092}{47,092} 0,003 \\
 &= 0,023 > 0,005 \text{ (terkendali tarik, maka } \phi = 0,9) \\
 \phi M_n &= 0,9 A_s f_y \left(d - \frac{a}{2}\right) \\
 &= 0,9.567,057.420. \left(400,5 - \frac{40,028}{2}\right) \\
 &= 81551925,68 \text{ Nmm} \\
 &= 81,552 \text{ kNm} > M_u (42,709 \text{ kNm}) \quad (\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$

Jadi, dipasang tulangan pada daerah lapangan tekan adalah 2 D19.

### Tulangan transversal

#### Probable Moment ( $M_{pr}$ )

Menurut SNI 2847:2013 pasal 21.5.4.1, geser rencana akibat gempa pada balok dihitung mengansumsikan sendi plastis terbentuk di ujung-ujung balok dengan tegangan lentur balok mencapai  $1,25f_y$  dan faktor reduksi kuat lentur  $f = 1$ .

Perhitungan  $M_{pr}^-$

$M_{pr}^-$  ditinjau dari tumpuan yang mengalami tarik dengan tulangan 3D19 ( $A_s = 850,586 \text{ mm}^2$ )

$$\begin{aligned} A_{pr}^- &= \frac{1,25 A_s f_y}{0,85 f'_{cbw}} \\ &= \frac{1,25 \cdot 850,586 \cdot 420}{0,85 \cdot 28 \cdot 250} \\ &= 75,052 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{pr}^- &= 1,25 A_s f_y \left( d - \frac{A_{pr}^-}{2} \right) \\ &= 1,25 \cdot 850,586 \cdot 420 \cdot \left( 400,5 - \frac{75,052}{2} \right) \\ &= 162088816,5 \text{ Nmm} \\ &= 162,089 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Perhitungan  $M_{pr}^+$

$M_{pr}^+$  ditinjau dari tumpuan yang mengalami tekan dengan tulangan 2D19 ( $A_s = 567,057 \text{ mm}^2$ )

$$\begin{aligned} A_{pr}^+ &= \frac{1,25 A_s f_y}{0,85 f'_{cbw}} \\ &= \frac{1,25 \cdot 567,057 \cdot 420}{0,85 \cdot 28 \cdot 250} \\ &= 50,034 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{pr}^+ &= 1,25 A_s f_y \left( d - \frac{A_{pr}^+}{2} \right) \\ &= 1,25 \cdot 567,057 \cdot 420 \cdot \left( 400,5 - \frac{50,034}{2} \right) \\ &= 111783138,4 \text{ Nmm} \\ &= 111,783 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Gaya geser akibat gaya gravitasi

Gaya geser akibat gravitasi dihitung dengan ETABS menggunakan kombinasi beban 1,2DL + 1,0LL, sehingga dari analisis diketahui nilai  $V_g = 59,182 \text{ kN}$ .

Perhitungan gaya geser akibat gempa

$$V_e = \frac{M_{pr}^+ + M_{pr}^-}{l_n}$$

$$= \frac{111,783 + 162,089}{8}$$

$$= 34,234 \text{ kN}$$

$$V_{e1} = V_e + V_g$$

$$= 34,234 + 59,182$$

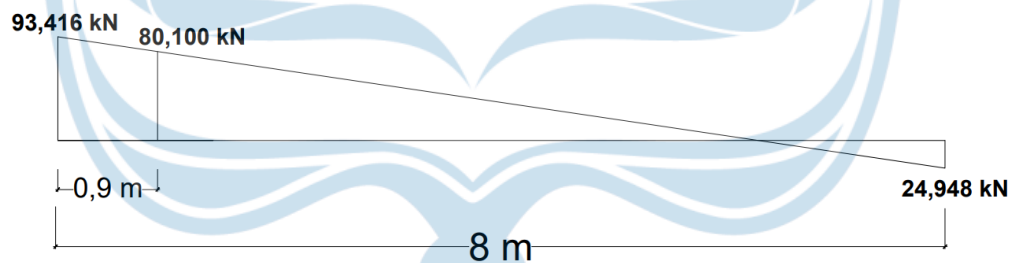
$$= 93,416 \text{ kN}$$

$$V_{e2} = V_e - V_g$$

$$= 34,234 - 59,182$$

$$= -24,948 \text{ kN}$$

Untuk menentukan tulangan geser lapangan, ditentukan jarak tulangan geser dari muka kolom sebesar  $2h$ . Balok dengan tinggi ( $h$ ) = 0,45 m, maka  $2h = 0,9$  m.



Gambar 2.22 Gaya Geser Balok Anak B14

### Perhitungan kebutuhan tulangan daerah tumpuan

$$V_u \text{ ETABS} = 77,202 \text{ kN}$$

$$V_u = 93,416 \text{ kN}$$

$$d = 400,5 \text{ mm}$$

nilai  $V_u$  digunakan 93,416 kN

Menurut SNI 2847:2013 Pasal 21.5.4.2,  $V_c$  dapat diasumsikan sama dengan nol bilamana gaya geser gempa mewakili setengah atau lebih dari kekuatan geser, perlu maksimum di sepanjang bentang.

$$\begin{aligned} 0,5V_u &= 0,5(93,416) \\ &= 46,708 \text{ kN} > V_e (34,234 \text{ kN}) \end{aligned}$$

$V_c$  perlu diperhitungkan, maka

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \lambda \sqrt{f_c} b_w d \quad \lambda = 1 \\ &= 0,17 \cdot 1 \cdot \sqrt{28} \cdot 250 \cdot 400,5 \\ &= 90067,989 \text{ N} \\ &= 90,068 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{V_u}{\phi} - V_c \\ &= \frac{93,416}{0,75} - 90,068 \\ &= 34,487 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{smaks} &= 0,66 \sqrt{f_c} b_w d \\ &= 0,66 \cdot \sqrt{28} \cdot 250 \cdot 400,5 \\ &= 349675,722 \text{ N} \\ &= 349,675 \text{ kN} > V_s (34,487 \text{ kN}) \quad (\text{memenuhi}) \end{aligned}$$

Direncanakan sengkang 2D10 ( $A_s = 157,08 \text{ mm}^2$ )

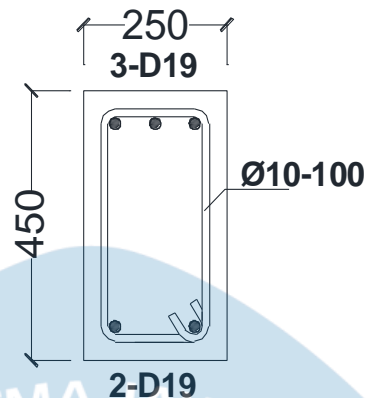
$$\begin{aligned} \text{sengkang (s)} &= \frac{A_s f_y d}{V_s} \\ &= \frac{157,08 \cdot 420 \cdot 400,5}{34,487 \cdot 10^3} \\ &= 766,156 \text{ mm} \end{aligned}$$

Pasal 21.5.3 SNI 2487:2013 memberi ketentuan jarak sengkang pertama dari muka komponen struktur penumpu tidak lebih dari 50 mm, jarak sengkang tidak boleh lebih dari:

$$d/4 = 400,5/4 = 100,125 \text{ mm}$$

$$6 \times \text{diameter tulangan lentur} = 6(19) = 114 \text{ mm dan } 150 \text{ mm}$$

Sehingga digunakan tulangan 2D10-100.



Gambar 2.23 Penampang Balok Anak daerah Tumpuan

**Perhitungan kebutuhan tulangan daerah lapangan**

$$V_u \text{ ETABS} = 73,264 \text{ kN}$$

$$V_u = 80,100 \text{ kN}$$

$$d = 400,5 \text{ mm}$$

nilai  $V_u$  digunakan 80,100 kN

$$V_c = 0,17 \lambda \sqrt{f_c} b_w d \quad \lambda = 1$$

$$= 0,17 \cdot 1 \cdot \sqrt{28} \cdot 250 \cdot 400,5$$

$$= 90067,989 \text{ N}$$

$$= 90,068 \text{ kN}$$

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c$$

$$= \frac{80,100}{0,75} - 90,068$$

$$= 16,732 \text{ kN}$$

$$V_{smaks} = 0,66 \sqrt{f_c} b_w d$$

$$= 0,66 \cdot \sqrt{28} \cdot 250 \cdot 400,5$$

$$= 349675,722 \text{ N}$$

$$= 349,675 \text{ kN} > V_s (16,732 \text{ kN}) \quad (\text{memenuhi})$$

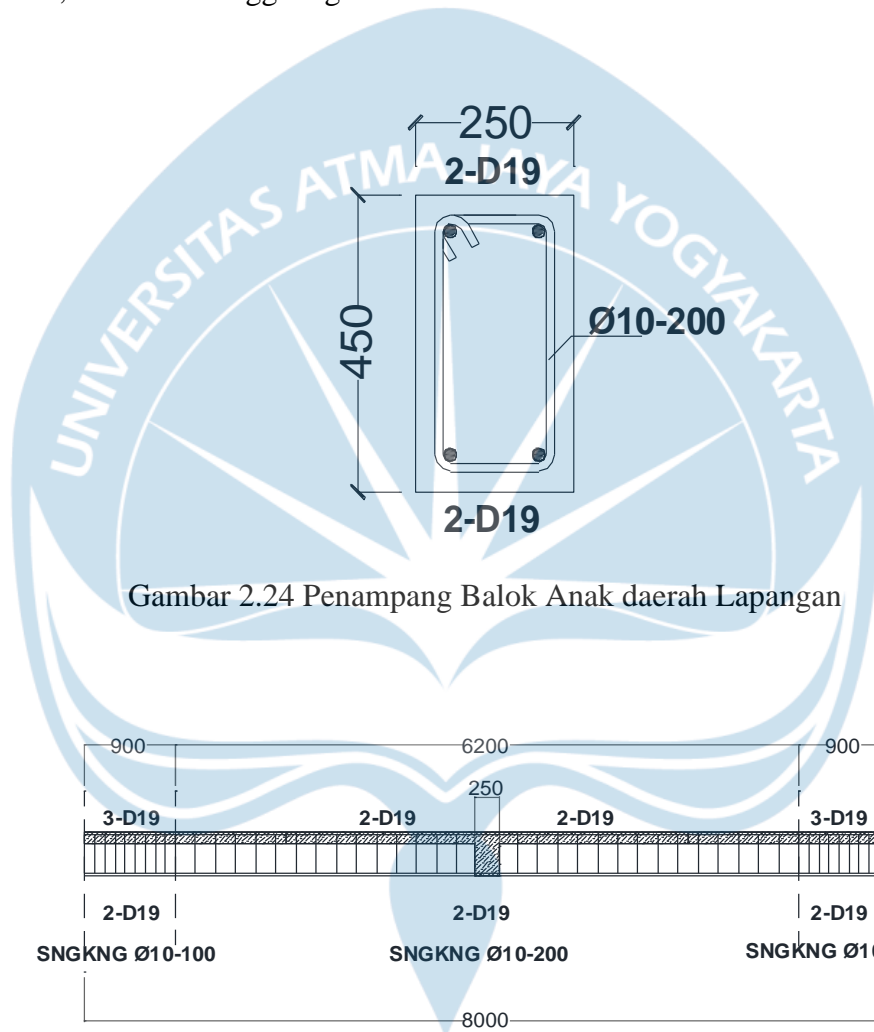
Direncanakan sengkang 2D10 ( $A_s = 157,08 \text{ mm}^2$ )

$$\text{Jarak sengkang (s)} = \frac{A_s f_y d}{V_s}$$

$$= \frac{157,08.420.400,5}{16,732.10^3}$$

$$= 1579,155 \text{ mm}$$

Pasal 21.3.4.3 SNI 2847:2013 di luar sendi plastis jarak tulangan tidak boleh melebihi  $d/2 = 400,5/2 = 200,25 \text{ mm}$ . Sehingga digunakan 2D10-200.



Gambar 2.24 Penampang Balok Anak daerah Lapangan

Gambar 2.25 Penampang Melintang Balok Anak

Tabel 2.5 Rekapitulasi Penulangan Balok

| Jenis Balok  | Penulangan Lentur |       |          |       | Penulangan Geser |          |
|--------------|-------------------|-------|----------|-------|------------------|----------|
|              | Tumpuan           |       | Lapangan |       | Tumpuan          | Lapangan |
|              | Tarik             | Tekan | Tarik    | Tekan |                  |          |
| BI (350/700) | 7D22              | 4D22  | 4D22     | 2D22  | 2Ø-100           | 2Ø-200   |
| BA (250/450) | 3D19              | 2D19  | 2D19     | 2D19  | 2Ø-100           | 2Ø-200   |

### 2.3.2 Perencanaan Kolom

Kolom merupakan struktur utama yang berfungsi memikul beban-beban yang diterima struktur, baik struktur sekunder, balok induk, dan berfungsi meneruskan beban yang diterima ke pondasi.

#### Data-data Perencanaan

|                  |                   |
|------------------|-------------------|
| Dimensi kolom    | = 600 mm × 600 mm |
| Tinggi kolom     | = 4000 mm         |
| Decking          | = 40 mm           |
| D.tul. utama     | = 25 mm           |
| D.tul. sengkang  | = 13 mm           |
| Mutu beton (f'c) | = 28 MPa          |
| Mutu baja (fy)   | = 420 Mpa         |

### 2.3.2 Perhitungan Tulangan Kolom

#### 1. Kontrol Dimensi

- Sisi terpendek kolom tidak kurang dari 300, sedang sisi terpendek kolom K1 600 mm.
- Rasio dimensi penampang tidak boleh kurang dari 0,4,
 
$$\begin{aligned} b/h &= 600/600 \\ &= 1 > 0,4 \end{aligned}$$

#### 2. Pemeriksaan tipe portal

Tipe portal arah x

Beban aksial lantai hasil output ETABS, P = 3966,2 kN

Gaya geser lantai hasil, V = 223,64 kN

Simpangan relatif lantai hasil output ETABS, Δ = 9,716 mm

$$\begin{aligned} Q_x &= \frac{P \Delta}{V l} \\ &= \frac{3926,3 \times 9,716}{223,64 \times 3300} \\ &= 0,05 \end{aligned}$$

Nilai  $Q_x < 0,05$  maka portal termasuk portal tak bergoyang.

Tipe portal arah y

Beban aksial lantai hasil output ETABS,  $P = 3966,2$  kN

Gaya geser lantai hasil,  $V = 241,78$  kN

Simpangan relatif lantai hasil output ETABS,  $\Delta = 8,39$  mm

$$\begin{aligned} Q_x &= \frac{P \Delta}{V l} \\ &= \frac{3926,3 \times 8,39}{241,78 \times 3300} \\ &= 0,04 \end{aligned}$$

Nilai  $Q_x < 0,05$  maka portal termasuk portal tak bergoyang.

### 3. Pemeriksaan kelangsingan kolom

#### a) Kekangan atas dan bawah

Kolom C46

$$b_w = 600 \text{ mm}$$

$$h = 600 \text{ mm}$$

$$l_k = 3400 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} I_{kx} &= 0,7 \frac{1}{12} b h^3 \\ &= 0,7 \times \frac{1}{12} \times 600 \times 600^3 \end{aligned}$$

$$= 7,56 \times 10^9 \text{ mm}^4$$

$$\begin{aligned} EI_{kx} &= 4700 \sqrt{f'_c I_{kx}} \\ &= 4700 \sqrt{28} \times 7,56 \times 10^9 \\ &= 1,88 \times 10^{14} \text{ mm}^2 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 I_{ky} &= 0,7 \frac{1}{12} hb^3 \\
 &= 0,7 \frac{1}{12} 600 \times 600^3 \\
 &= 7,56 \times 10^9 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 EI_{ky} &= 4700 \sqrt{f'c I_{kx}} \\
 &= 4700 \sqrt{28} \times 7,56 \times 10^9 \\
 &= 1,88 \times 10^{14} \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

**b) Faktor panjang efektif arah x**

Balok B4

$$bw = 350 \text{ mm}$$

$$h = 700 \text{ mm}$$

$$l_b = 8000 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 I_b &= 0,35 \frac{1}{12} bh^3 \\
 &= 0,3 \times \frac{1}{12} 350 \times 700^3 \\
 &= 3,50 \times 10^9 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 EI_b &= 4700 \sqrt{f'c I_b} \\
 &= 4700 \sqrt{28} \times 3,50 \times 10^9 \\
 &= 8,71 \times 10^{13} \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

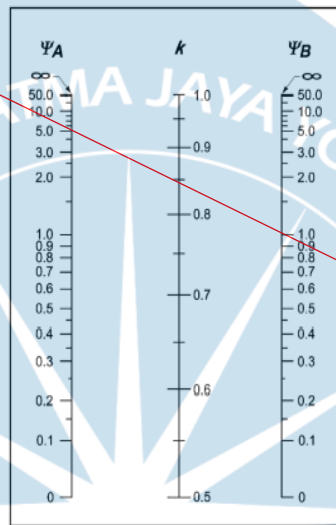
**c) Faktor kekangan kolom Lantai 1**

$$\begin{aligned}
 \Psi_{atas} &= \frac{\frac{EI_{kx}}{l_k} + \frac{EI_{kx}}{l_k}}{\frac{EI_b}{l_b} + \frac{EI_b}{l_b}} \\
 &= \frac{\frac{1,88 \times 10^{14}}{3300} + \frac{1,88 \times 10^{14}}{3300}}{\frac{8,71 \times 10^{13}}{8000} + \frac{8,71 \times 10^{13}}{8000}}
 \end{aligned}$$

$$= 5,23$$

$\Psi_{bawah} = 1$  (Pondasi Jepit)

Komponen struktur merupakan komponen struktur tak bergoyang, maka untuk mencari nilai  $k$ , dapat digunakan grafik (a) pada SN I 2847:2013 sehingga diperoleh nilai  $k = 0,85$



Sumber: SNI 2847:2013

Gambar 2.26 Faktor Panjang Efektif  $k$  Rangka Tidak Bergoyang Kolom C46  
Arah  $x$  dan  $y$

Periksa kolom C46 :

$$k = 0,85$$

$$lu = 3300 \text{ mm}$$

$$r = 0,3h = 0,3 \times (600) = 180 \text{ mm}$$

Untuk komponen struktur tekan yang tidak di-breising (braced) terhadap goyangan menyamping : SNI 2847-2013 pasal 10.10.1

$$= \frac{kl}{r} \leq 22$$

$$= \frac{0,85 \times 3300}{180} \leq 22$$

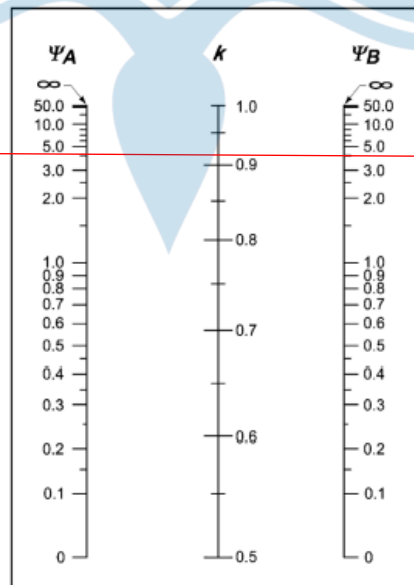
$$= 15,58 \leq 22, \text{ maka pengaruh kelangsingan boleh diabaikan.}$$

d) Faktor kekangan kolom Lantai 2

$$\begin{aligned}\Psi_{atas} &= \frac{\frac{EI_{ky}}{I_k} + \frac{EI_{ky}}{I_k}}{\frac{EI_b}{I_b} + \frac{EI_b}{I_b}} \\ &= \frac{\frac{1,88 \times 10^{14}}{3300} + \frac{1,88 \times 10^{14}}{3300}}{\frac{8,71 \times 10^{13}}{8000} + \frac{8,71 \times 10^{13}}{8000}} \\ &= 5,23\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Psi_{bawah} &= \frac{\frac{EI_{ky}}{I_k} + \frac{EI_{ky}}{I_k}}{\frac{EI_b}{I_b} + \frac{EI_b}{I_b}} \\ &= \frac{\frac{1,88 \times 10^{14}}{3300} + \frac{1,88 \times 10^{14}}{3300}}{\frac{8,71 \times 10^{13}}{8000} + \frac{8,71 \times 10^{13}}{8000}} \\ &= 5,23\end{aligned}$$

Komponen struktur merupakan komponen struktur tak bergoyang, maka untuk mencari nilai  $k$ , dapat digunakan grafik (a) pada SN I 2847:2013 sehingga diperoleh nilai  $k = 0,94$



Sumber: SNI 2847:2013

Gambar 2.27 Faktor Panjang Efektif  $k$  Rangka Tidak Bergoyang Kolom C46 Arah  $x$  dan  $y$

Periksa kolom C46 :

$$k = 0,94$$

$$lu = 3300 \text{ mm}$$

$$r = 0,3h = 0,3 \times (600) = 180 \text{ mm}$$

Untuk komponen struktur tekan yang tidak di-breising (braced) terhadap goyangan menyamping : SNI 2847-2013 pasal 10.10.1

$$= \frac{kl}{r} \leq 22$$

$$= \frac{0,94 \times 3300}{180} \leq 22$$

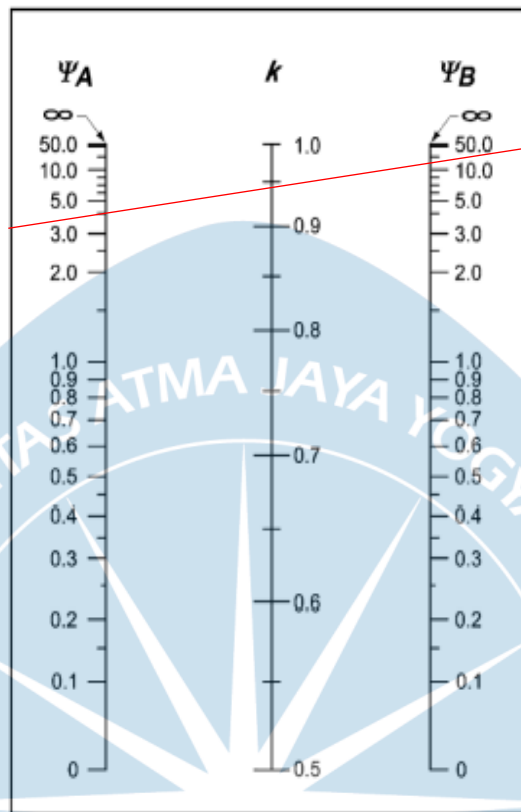
$$= 17,23 \leq 22, \text{ maka pengaruh kelangsingan boleh diabaikan.}$$

e) **Faktor kekangan kolom Lantai 3**

$$\begin{aligned} \Psi_{atas} &= \frac{\frac{EI_{kx}}{l_k}}{\frac{EI_b}{I_b} + \frac{EI_b}{I_b}} \\ &= \frac{\frac{1,88 \times 10^{14}}{3300}}{\frac{8,71 \times 10^{13}}{8000} + \frac{8,71 \times 10^{13}}{8000}} \\ &= 2,62 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Psi_{bawah} &= \frac{\frac{EI_{kx}}{l_k} + \frac{EI_{kx}}{l_k}}{\frac{EI_b}{I_b} + \frac{EI_b}{I_b}} \\ &= \frac{\frac{1,88 \times 10^{14}}{3300} + \frac{1,88 \times 10^{14}}{3300}}{\frac{8,71 \times 10^{13}}{8000} + \frac{8,71 \times 10^{13}}{8000}} \\ &= 5,23 \end{aligned}$$

Komponen struktur merupakan komponen struktur tak bergoyang, maka untuk mencari nilai  $k$ , dapat digunakan grafik (a) pada SN I 2847:2013 sehingga diperoleh nilai  $k = 0,91$



Sumber: SNI 2847:2013

Gambar 2.28 Faktor Panjang Efektif  $k$  Rangka Tidak Bergoyang Kolom C46  
Arah  $x$  dan  $y$

Periksa kolom C46 :

$$k = 0,91$$

$$lu = 3300 \text{ mm}$$

$$r = 0,3h = 0,3 \times (600) = 180 \text{ mm}$$

Untuk komponen struktur tekan yang tidak di-breising (braced) terhadap goyangan menyamping : SNI 2847-2013 pasal 10.10.1

$$\begin{aligned} &= \frac{kl}{r} \leq 22 \\ &= \frac{0,91 \times 3300}{180} \leq 22 \end{aligned}$$

$= 16,68 \leq 22$ , maka pengaruh kelangsingan boleh diabaikan.

#### 4. Output Gaya dalam

Tabel 2.6 Gaya Dalam Kolom

| Lokasi   | P          | M2        | M3        |
|----------|------------|-----------|-----------|
|          | kN         | kN-m      | kN-m      |
| Lantai 1 | -1207,6097 | 106,5586  | 112,9979  |
| Lantai 1 | -3966,1742 | -487,5672 | -559,8684 |
| Lantai 2 | -824,2467  | 214,1259  | 250,318   |
| Lantai 2 | -2690,9231 | -284,5435 | -341,0956 |
| Lantai 3 | -444,6886  | 176,3067  | 208,7607  |
| Lantai 3 | 1438,659   | -100,9142 | -130,0234 |

#### 5. Menentukan Tulangan longitudinal kolom

Sesuai 2847:2013 Ps.21.6.3.1, luas tulangan longitudinal tidak boleh kurang dari 0,01 Ag atau lebih dari 0,06 Ag. Dari analisa *trial error* menggunakan spColumn diperoleh 16D-25 dengan  $\rho = 0,022$ . Tulangan yang digunakan pada Lantai 1-3 dianggap sama.

$$A_{st} = \rho_g b h = 0,021 \times 600 \times 600 = 7853,98 \text{ mm}^2$$

$$0,01A_g \leq A_{st} \leq 0,06A_g$$

$$0,01 \times 600 \times 600 \leq \frac{1}{4} \times \pi \times 25^2 \times 16 \leq 0,06 \times 600 \times 600$$

$$3600 \text{ mm}^2 \leq 7853,98 \text{ mm}^2 \leq 21600 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Direncanakan menggunakan tulangan D25, maka jumlah tulangan yang dibutuhkan sebagai berikut :

$$n = \frac{A_{st}}{\frac{1}{4}\pi D^2} = \frac{7853,98}{\frac{1}{4}\pi 25^2} = 16, \text{ maka digunakan } 16D25$$

Jumlah tulangan sisi lebar 5D25, maka jarak antar tulangan sisi lebar dapat dihitung sebagai berikut :

$$S = \frac{600 - 2 \times 40 - 5 \times 25}{4} = 98,75 \text{ mm} > 40 \text{ mm}$$

#### 6. Cek Persyaratan Strong Column Weak Beam

Sesuai dengan filosofi desain kapasitas, maka SNI 2847:2013 Ps. 21.6.2.2 mensyaratkan bahwa:

$$\sum M_{nc} \geq (1.2) \sum M_{nb}$$

**a. Menentukan Nilai  $\Sigma M_{nb}$**

- Menentukan Dimensi balok

$$\text{Lebar balok (bw)} = 350 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi balok (hw)} = 700 \text{ mm}$$

- As tul atas balok = 7D22 (2660,93 mm<sup>2</sup>)
- As tul bawah balok = 4D22 (1520,53 mm<sup>2</sup>)

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_{spakai} \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c \cdot bw} \\ &= \frac{2660,93 \times 420}{0,85 \times 28 \times 350} \\ &= 134,16 \text{ mm} \\ M_{nb-} &= A_{spakai} \cdot f_y \cdot \left( d - \frac{a}{2} \right) = 2660,93 \times 420 \times \left( 639 - \frac{134,16}{2} \right) \\ &= 639,17 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_{spakai} \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c \cdot bw} \\ &= \frac{1520,93 \times 420}{0,85 \times 28 \times 350} = 76,67 \text{ mm} \\ M_{nb+} &= A_{spakai} \cdot f_y \cdot \left( d - \frac{a}{2} \right) = 1520,53 \times 420 \times \left( 639 - \frac{76,67}{2} \right) \\ &= 383,60 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma M_{nb} &= M_{nb-} + M_{nb+} \\ &= 639,17 + 383,60 \\ &= 1022,77 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (1.2) \Sigma M_{nb} &= 1,2 \times 1022,77 \text{ kNm} \\ &= 1227,32 \text{ kN} \end{aligned}$$

**b. Menentukan Nilai  $\Sigma M_{nc}$**

- Lantai 1

didapatkan nilai  $M_{nc}$  kolom atas dan  $M_{nc}$  kolom bawah yakni :

$$M_{nc} \text{ kolom atas} = 1061,51 \text{ kNm}$$

$$M_{nc} \text{ kolom bawah} = 1063,98 \text{ kNm}$$

$$\Sigma M_{nc} = M_{nc} \text{ atas} + M_{nc} \text{ bawah}$$

$$= 1061,51 \text{ kNm} + 1063,98 \text{ kNm}$$

$$= 2125,49 \text{ kNm}$$

Maka dilakukan cek syarat

$$\sum M_{nc} \geq 1,2 \sum M_{nb}$$

$$2125,49 \text{ kNm} \geq 1227,32 \text{ kNm}$$

Maka syarat “**Strong Column Weak Beam**” terpenuhi

- Lantai 2

didapatkan nilai  $M_{nc}$  kolom atas dan  $M_{nc}$  kolom bawah yakni :

$$M_{nc} \text{ kolom atas} = 999,21 \text{ kNm}$$

$$M_{nc} \text{ kolom bawah} = 1003,22 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} \sum M_{nc} &= M_{nc} \text{ atas} + M_{nc} \text{ bawah} \\ &= 999,21 \text{ kNm} + 1003,22 \text{ kNm} \\ &= 2002,43 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Maka dilakukan cek syarat

$$\sum M_{nc} \geq 1,2 \sum M_{nb}$$

$$2002,43 \text{ kNm} \geq 1227,32 \text{ kNm}$$

Maka syarat “**Strong Column Weak Beam**” terpenuhi

- Lantai 3

didapatkan nilai  $M_{nc}$  kolom atas dan  $M_{nc}$  kolom bawah yakni :

$$M_{nc} \text{ kolom atas} = 925,66 \text{ kNm}$$

$$M_{nc} \text{ kolom bawah} = 1083,07 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} \sum M_{nc} &= M_{nc} \text{ atas} + M_{nc} \text{ bawah} \\ &= 925,66 \text{ kNm} + 1083,07 \text{ kNm} \\ &= 2008,73 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Maka dilakukan cek syarat

$$\sum M_{nc} \geq 1,2 \sum M_{nb}$$

$$2008,73 \text{ kNm} \geq 1227,32 \text{ kNm}$$

Maka syarat “**Strong Column Weak Beam**” terpenuhi

## 7. Perhitungan Tulangan transversal sebagai Tulangan Confinement

- Daerah sendi plastis kolom

Penentuan panjang  $l_o$



Daerah pemasangan tulangan sengkang persegi (hoop). Tulangan hoop dipasang sepanjang  $l_o$  dari ujung-ujung kolom dengan  $l_o$  merupakan nilai terbesar dari 1,2 atau 3 sbb: (SNI 2847:2013 Ps.21.6.4.1)

- 1) Tinggi komponen struktur ( $h$ ) = 600 mm,
- 2)  $1/6$  bentang bersih komponen =  $1/6(3300) = 550$  mm,
- 3) 450 mm.

Maka digunakan panjang terbesar yaitu,  $l_o = 600$  mm.

#### Penentuan jarak tulangan sepanjang $l_o$

Spasi maksimum *hoop*,  $S_{max}$ , pada daerah sepanjang  $l_o$  dari ujung-ujung kolom. Nilai  $S_{max}$  tidak boleh melebihi dari nilai terkecil dari 1,2 dan 3 sbb: (SNI 2847:2013 Ps.21.6.4.3):

- 1)  $1/4b_w = 1/4(600) = 150$  mm,
- 2) 6 kali diameter tulangan =  $6(25) = 150$  mm,
- 3) Jarak horizontal maksimum untuk kaki-kaki Sengkang

$$S_o = 100 + \left( \frac{350 - h_x}{3} \right), \text{ dengan syarat } 100 \text{ mm} < S_o < 150 \text{ mm},$$

$$h_x = \frac{2}{3} h_c = \frac{2}{3} \times 520 = 346,7 \text{ mm},$$

$$S_o = 100 + \left( \frac{350 - 346,7}{3} \right), \text{ dengan syarat:}$$

$$100 \text{ mm} < 101,1 < 150 \text{ mm},$$

Maka digunakan spasi *hoop* ( $s_{max}$ ) = 150 mm (maksimum) sepanjang  $l_o$  dari ujung-ujung kolom.

#### Luas tulangan Confinement

Sesuai 2847:2013 Ps.21.6.4.4, untuk daerah sepanjang  $l_o$  dari ujung-ujung kolom total luas penampang *hoop* tidak boleh kurang dari salah satu yang terbesar antara a, dan b

$$\begin{aligned} bc &= \text{lebar inti penampang beton (yang terkekang)} \\ &= b_w - 2 \times (t + 0,5 \cdot d_b) \\ &= 600 \text{ mm} - 2 \times (40 \text{ mm} + 0,5 \times 13 \text{ mm}) \\ &= 507 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Ach &= \text{Luas penampang inti beton} \\ &= (b_w - 2 \cdot t) \times (b_w - 2 \cdot t) \\ &= (600 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm}) \times (600 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm}) \\ &= 270400 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Sehingga :

$$\frac{Ash1}{s} = 0,3 \frac{bc.fc}{fy} \left( \frac{Ag}{Ach} - 1 \right)$$

$$\begin{aligned} \frac{Ash1}{s} &= 0,3 \times \frac{507 \times 28}{420} \times \left( \frac{600 \times 600}{270400} - 1 \right) \\ &= 3,36 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

$$\frac{Ash2}{s} = 0,09 \frac{bc.fc}{fy}$$

$$\begin{aligned} \frac{Ash2}{s} &= 0,09 \times \frac{507 \times 28}{420} \\ &= 3,04 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

Maka dipakai yang terbesar yakni  $Ash/s = 3,36 \text{ mm}^2/\text{mm}$  Digunakan sengkang **3 kaki D13**

$$A_{sh} = 3 \times \left( \frac{1}{4} \times \pi \times 13^2 \right) = 398,2 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{398,2}{3,36} = 118,51 \text{ mm} \approx 120 \text{ mm}$$

Syarat :

$$S < S_{max}$$

$$120 \text{ mm} < 150 \text{ mm (OK)}$$

Jadi digunakan Sengkang **3 kaki D13-120 mm**

- **Daerah luar sendi plastis kolom**

Untuk daerah sepanjang sisa tinggi kolom bersih (tinggi kolom total dikurangi  $l_0$  di masing-masing ujung kolom) diberi hoops dengan spasi minimum yang terkecil antara 1 dan 2 sbb: (SNI 2847:2013 Ps.21.6.4.5) :

- 1) Enam kali diameter tulangan longitudinal terkecil

$$6d_b = 6 \times 25 = 150 \text{ mm}$$

- 2) 150 mm

Digunakan Sengkang (*hoop*) **3D13 – 150 mm**

## 8. Tulangan Transversal Sebagai Penahan Gaya Geser

- **Daerah sendi Plastis kolom**

$$M_{pr \text{ atas}} = 1186,7 \text{ kNm}$$

$$M_{pr \text{ bawah}} = 1189,4 \text{ kNm}$$

Maka  $V_e$  dapat dihitung :

$$V_e = \frac{(M_{pr \text{ atas}} + M_{pr \text{ bawah}})0,5}{l_n}$$

$$= \frac{(1186,7 + 1189,4) \times 0,5}{3,3}$$

$$= 360,01 \text{ kN}$$

$$V_u \text{ dari ETABS} = 198,08 \text{ kN}$$

### Menghitung Kebutuhan Tulangan Geser

Nilai  $V_c = 0$  untuk daerah sepanjang  $l_o$  dari ujung-ujung kolom bila mana syarat keduanya (a) dan (b) terpenuhi (SNI 2847:2013 ps. 11.2.1) :

- a) Gaya geser yang ditimbulkan gempa, mewakili setengah atau lebih dari kekuatan geser perlu maksimum dalam  $l_o$ .

$$50\% \times V_e > V_u$$

$$50\% \times 360,01 \text{ kN} > 198,0849 \text{ kN}$$

$$180,01 \text{ kN} < 198,0849 \text{ kN (NOT)}$$

- b) Gaya tekan Aksial terfaktor termasuk gaya aksial gempa tidak melampaui  $A_g f'_c / 20$ .

$$P_u < A_g f'_c / 20 = 0,8 \times 0,8 \times 35 (1000) / 20$$

$$3966,2 \text{ kN} > 504 \text{ kN (NOT)}$$

Maka diambil nilai  $V_c$  diperhitungkan :

$$d = b_w - \text{cover} - D \text{ Senggang} - D \text{ lentur} / 2$$

$$d = 600 - 40 - 13 - 25 / 2 = 534,5 \text{ mm}$$

$$V_c = 0,17 \left( 1 - \frac{N_u}{14 A_g} \right) \lambda \sqrt{f'_c} b_w d$$

$$V_c = 0,17 \left( 1 - \frac{3966,2}{14 \times 360000} \right) 1 \sqrt{28} \times 600 \times 534,5$$

$$= 288,71 \text{ kN}$$

Besarnya nilai  $V_s$  dihitung berdasarkan tulangan sengkang terpasang dari hasil perhitungan confinement yaitu 3 kaki D13-120 mm

$$A_{sh} = 3 \times \frac{1}{4} \times \pi \times (13)^2 = 398,20 \text{ mm}^2$$

Sehingga :

$$V_{\text{Spasang}} = \frac{A_{sh} \cdot f_y \cdot d}{s} = \frac{398,20 \times 420 \times 534,5}{120}$$

$$= 744926,7924 \text{ N} = 744,93 \text{ kN}$$

Maka :

$$\phi \cdot (V_c + V_s) = 0,75 \times (288,71 \text{ kN} + 744,93 \text{ kN})$$

$$= 775,23 \text{ kN} > 360,01 \text{ kN} \text{ (OK)}$$

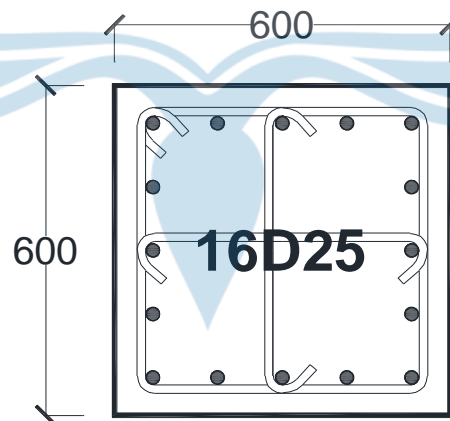
Maka, tulangan transversal penahan geser hasil perhitungan tulangan transversal sebagai confinement aman digunakan untuk menahan geser.

- **Daerah luar sendi plastis kolom**

Untuk daerah sepanjang sisa tinggi kolom bersih (tinggi kolom total dikurangi  $l_0$  di masing masing ujung kolom) diberi hoops dengan spasi minimum (SNI 2847:2013 ps.21.6.4.5) :

- 1) Enam kali diameter tulangan longitudinal terkecil  
 $= 6d_b = 6 \times 25 = 150 \text{ mm}$
- 2) 150 mm

Digunakan Sengkang (*hoop*) 3D13 – 150 mm



Gambar 2.29 Detail Kolom

### 2.3.3 Hubungan Balok Kolom (HBK)

#### a) Cek syarat Panjang joint

Dimensi kolom yang sejajar dengan tulangan balok tidak boleh kurang dari 20 kali diameter tulangan longitudinal terbesar berdasarkan SNI 2847:2013 ps.21.7.2.3

$$b = h = 600 \text{ mm}$$

$$20. db = 20 \times 25 \text{ mm} = 500 \text{ mm} < 800 \text{ mm}$$

### b) Menentukan luas efektif joint, $A_j$

$A_j$  merupakan perkalian tinggi joint dengan lebar joint efektif berdasarkan SNI 2847:2013 ps. 21.7.4.1

$$b \text{ balok} = 350 \text{ mm}$$

$$h \text{ kolom} = 600 \text{ mm}$$

$$x = (600-350)/2 = 125 \text{ mm}$$

Tinggi joint = tinggi keseluruhan kolom,  $h = 600 \text{ mm}$

Lebar joint efektif merupakan nilai terkecil dari :

$$b + h = 350 \text{ mm} + 600 \text{ mm} = 950 \text{ mm}$$

$$b + 2x = 350 \text{ mm} + 2 \times 125 \text{ mm} = 600 \text{ mm}$$

$$A_j = \text{tinggi joint} \times \text{lebar efektif joint} = 600 \text{ mm} \times 600 \text{ mm} = 360000 \text{ mm}^2$$

### c. Menghitung gaya geser pada joint

#### Hitung $M_e$

Balok yang memasuki joint memiliki  $M_{pr}(+) = 471,85 \text{ kNm}$ , dan  $M_{pr}(-) = 775,534 \text{ kNm}$ . Pada joint, kekakuan kolom atas dan kolom bawah sama.

$$M_e = \frac{M_{pr}(-) + M_{pr}(+)}{2} = \frac{775,534 + 471,85}{2} = 623,692 \text{ kNm}$$

#### Geser pada kolom atas

$$V_{\text{sway}} = \frac{M_e + M_e}{l_n} = \frac{623,692 + 623,692}{3,3} = 378 \text{ kNm}$$

#### Menghitung gaya-gaya pada tulangan balok longitudinal

- Gaya tarik pada tulangan balok di bagian kiri

$$A_s \text{ bagian atas balok } 7D22 = 2660,93 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} T1 &= 1,25 \cdot A_s \cdot f_y = 1,25 \times 2660,93 \text{ mm}^2 \times 420 \text{ Mpa} \\ &= 1396,99 \text{ kN} \end{aligned}$$

Gaya tekan yang bekerja pada balok ke arah kiri

$$T1 = C1 = 1396,99 \text{ kN}$$

- Gaya tarik pada tulangan balok di bagian kanan

$$A_s \text{ bagian bawah balok } 4D22 = 1520,53 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} T2 &= 1,25 \cdot A_s \cdot f_y = 1,25 \times 1520,53 \text{ mm}^2 \times 420 \text{ Mpa} \\ &= 798,28 \text{ kN} \end{aligned}$$

Gaya tekan yang bekerja pada balok ke arah kanan

$$T2 = C2 = 798,28 \text{ kN}$$

Hitung gaya geser pada joint

$$V_j = V_{\text{sway}} - T1 - C2$$

$$= 378 \text{ kN} - 1396,99 \text{ kN} - 798,28 \text{ kN} = -1817,27 \text{ kN}$$

**d. Cek kuat geser joint**

Kuat geser joint yang dikekang di keempat sisinya adalah sesuai SNI 2847:2013 ps 21.7.4.1

$$V_n = 1,7 \sqrt{f_c} \cdot A_j = 1,7 \sqrt{28} \times 360000$$

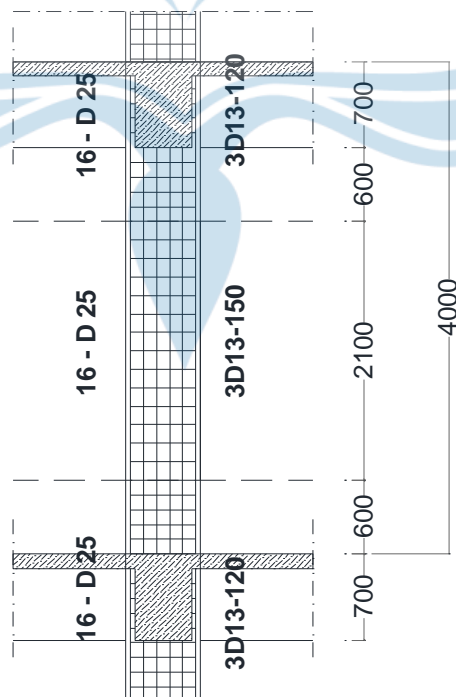
$$V_n = 3238,40 \text{ kN}$$

Syarat :

$$\phi V_n \geq V_u$$

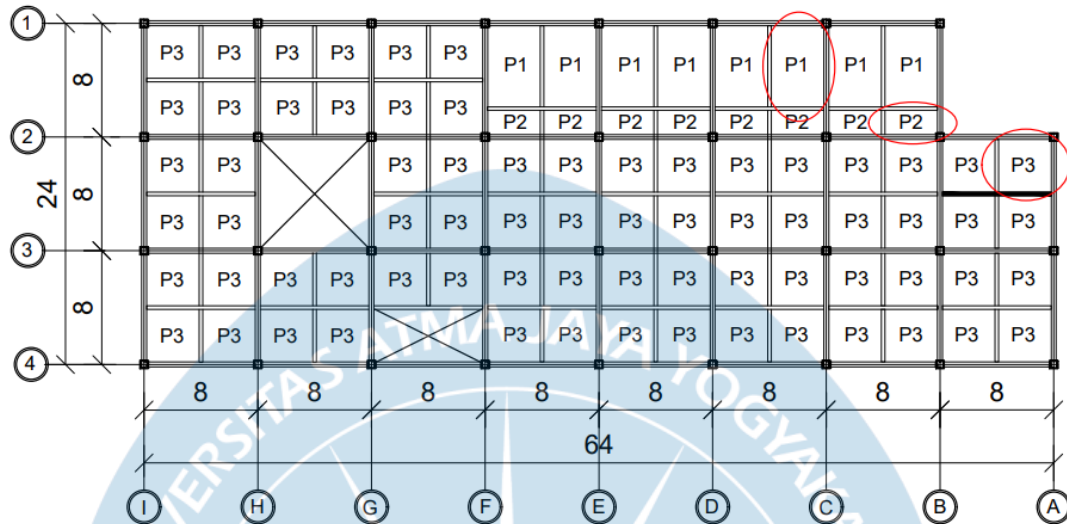
$$0,75 \times 3238,40 \text{ kN} \geq 1817,27 \text{ kN}$$

$$2428,80 \text{ kN} \geq 1817,27 \text{ kN} \quad \text{(OK)}$$



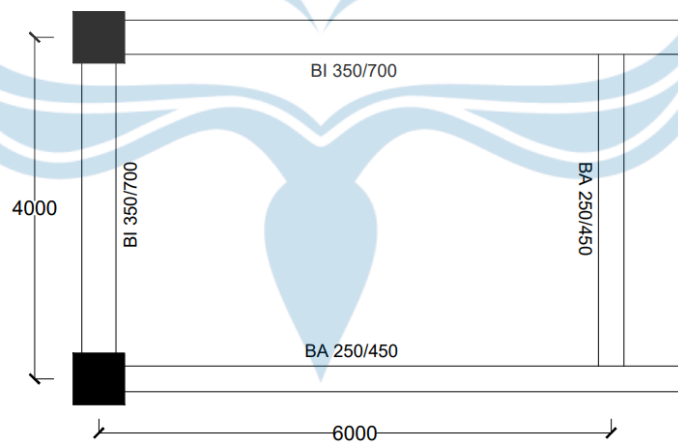
Gambar 2.30 Detail Melintang Kolom

### 2.3.4 Perencanaan Pelat Lantai



Gambar 2.31 Denah Pelat Lantai yang Ditinjau

#### Perencanaan Pelat Lantai P1



Gambar 2.32 Potongan pelat lantai P1 yang direncanakan pada lantai 1

#### 1. Pembebanan Pelat

$$\text{Berat pelat} = 0,12 \times 24 = 2,88 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Berat finishing lantai} = 0,05 \times 21 = 1,05 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Berat plafond} = 0,2 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Berat instalasi ME} = 0,5 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Beban mati, DL} = 4,63 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Beban hidup, LL} = 4,79 \text{ kN/m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Beban terfaktor, Wu} &= 1,2\text{DL} + 1,6\text{LL} \\ &= 1,2(4,63) + 1,6(4,79) \\ &= 13,22 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

## 2. Momen statik total

Dalam arah memanjang

$$\text{Mol} = \frac{qu l_2 (l_n)^2}{8} = \frac{13,22 \times 4 \times (6-0,6)^2}{8} = 192,748 \text{ kNm}$$

Dalam arah memendek

$$\text{Mos} = \frac{qu l_2 (l_n)^2}{8} = \frac{13,22 \times 6 \times (4-0,6)^2}{8} = 114,617 \text{ kNm}$$

Pelat dengan dua terkekang penuh, maka:

$$\text{Bagian lajur kolom} = 0,65$$

$$\text{Bagian lajur tengah} = 0,35$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 Tabel 8.10.5.1 dan Tabel 8.10.5.5, bagian momen negatif dan positif interior  $\mu$  di lajur kolom:

$$\frac{l_2}{l_1} = \frac{6}{4} = 1,5$$

Maka koefisiennya adalah:

$$\text{Negatif} = 0,69$$

$$\text{Positif} = 0,69$$

### Arah Memanjang

$$\begin{aligned} \text{Lajur kolom} &= (-0,65) \times \text{Mol} \times 0,69 = (-0,65) \times 192,748 \times 0,69 \\ &= -86,447 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sisi dari lajur kolom} &= (-0,65) \times \text{Mol} \times 0,31 = (-0,65) \times 192,748 \times 0,31 \\ &= -38,839 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lajur tengah} &= 0,35 \times \text{Mol} \times 0,69 = 0,35 \times 192,748 \times 0,69 \\ &= 46,549 \text{ kNm} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} \text{Sisi dari lajur kolom} &= 0,35 \times M_{ol} \times 0,31 = 0,35 \times 192,748 \times 0,31 \\ &= 20,913 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Tabel 2.7 Momen Pelat Lantai P1 Arah Memanjang

|                      | Negatif (kNm)                 | Positif (kNm)                 |
|----------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Momen balok          | $0,85 \times 86,447 = 73,480$ | $0,85 \times 46,549 = 39,566$ |
| Momen pelat          | $86,447 - 73,480 = 12,967$    | $46,549 - 39,566 = 6,982$     |
| Jumlah balok + pelat | $73,480 + 121,967 = 86,447$   | $39,566 + 6,982 = 46,549$     |
| Momen lajur tengah   | 38,839                        | 20,913                        |

Momen arah memanjang:

Lajur kolom

$$M_{u+} = 6,982 \text{ kNm}$$

$$M_{u-} = 12,967 \text{ kNm}$$

Lajur tengah

$$M_{u+} = 20,913 \text{ kNm}$$

$$M_{u-} = 38,839 \text{ kNm}$$

### 3. Hitung tulangan pelat

#### Lajur Kolom Negatif

$$M_{u-} = 12,967 \text{ kNm}$$

Lebar pelat asumsi (b)= 1000 mm

$$\beta_1 = 0,85$$

Selimut beton = 20 mm

$$d = \text{tebal pelat} - (\text{selimut beton} + 0,5D_{10})$$

$$= 120 - (20 + 0,5 \times 10)$$

$$= 95 \text{ mm}$$

$$\rho = \frac{0,85f_c}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{4M_u}{1,7\phi f_c b d^2}} \right)$$

$$= \frac{0,85 \times 28}{420} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{4 \times 12,967 \times 10^6}{1,7 \times 0,9 \times 28 \times 95^2}} \right)$$

$$= 0,004$$

$$\rho_{maks} = 0,429(0,85 f'c \beta_1 / f_y) = 0,429(0,85 \times 28 \times 0,85/420) = 0,021$$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho b d \\ &= 0,004 \times 1000 \times 95 \\ &= 380 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{smin} &= \frac{0,0018 \times 420}{f_y} b h \\ &= \frac{0,0018 \times 420}{420} 1000 \times 120 \\ &= 216 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S &= \frac{\frac{1}{4}\pi D^2 b}{A_{st}} \\ &= \frac{\frac{1}{4}\pi 10^2 \times 1000}{380} \\ &= 210,029 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat  $S_{maks} = 3h = 360 \text{ mm}$ . Jadi digunakan tulangan tumpuan D10 – 200.

Analisis kekuatan

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{\frac{1}{4}\pi D^2 b}{S_{pakai}} \\ &= \frac{\frac{1}{4}\pi 10^2 \times 1000}{200} \\ &= 392,699 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s f_y}{0,85 f'c b} \\ &= \frac{392,699 \times 420}{0,85 \times 28 \times 1000} \\ &= 6,93 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= A_s f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 392,699 \times 420 \times \left( 95 - \frac{6,93}{2} \right) \\ &= 15097195,25 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{6,93}{0,85} \\
 &= 8,153 \\
 \epsilon_t &= \frac{d - c}{c} 0,003 \\
 &= \frac{95 - 8,153}{8,153} 0,003 \\
 &= 0,032 > 0,005 \text{ (terkendali tarik, maka } \phi = 0,9) \\
 \phi M_n &= 0,9 \times 15097195,25 \\
 &= 13587475,73 \text{ Nmm} \\
 &= 13,587 \text{ kNm} > M_u (12,967 \text{ kNm}) \quad \text{(Memenuhi)}
 \end{aligned}$$

### Lajur Kolom Positif

$$\begin{aligned}
 M_u^+ &= 6,982 \text{ kNm} \\
 \text{Lebar pelat asumsi (b)} &= 1000 \text{ mm} \\
 \beta_1 &= 0,85 \\
 \text{Selimut beton} &= 20 \text{ mm} \\
 d &= \text{tebal pelat} - (\text{selimut beton} + 0,5D_{10}) \\
 &= 120 - (20 + 0,5 \times 10) \\
 &= 95 \text{ mm} \\
 \rho &= \frac{0,85f_c}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{4M_u}{1,7\phi f_c b d^2}} \right) \\
 &= \frac{0,85 \times 28}{420} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{4 \times 6,982 \times 10^6}{1,7 \times 0,9 \times 28 \times 95^2}} \right) \\
 &= 0,0021 \\
 \rho_{maks} &= 0,429(0,85 f_c \beta_1 / f_y) = 0,429(0,85 \times 28 \times 0,85/420) = 0,021 \\
 A_s &= \rho b d \\
 &= 0,0021 \times 1000 \times 95 \\
 &= 199,5 \text{ mm}^2 \\
 A_{smin} &= \frac{0,0018 \times 420}{f_y} b h \\
 &= \frac{0,0018 \times 420}{420} \times 1000 \times 120 \\
 &= 216 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{\frac{1}{4}\pi D^2 b}{A_{st}} \\
 &= \frac{\frac{1}{4}\pi 10^2 1000}{216} \\
 &= 363,610 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Syarat  $S_{maks} = 3h = 360 \text{ mm}$ . Jadi digunakan tulangan tumpuan D10 – 350.

Analisis kekuatan

$$\begin{aligned}
 A_s &= \frac{\frac{1}{4}\pi D^2 b}{S_{pakai}} \\
 &= \frac{\frac{1}{4}\pi 10^2 \times 1000}{350} \\
 &= 224,399 \text{ mm}^2 \\
 a &= \frac{A_s f_y}{0,85 f'_{cb}} \\
 &= \frac{224,399 \times 420}{0,85 \times 28 \times 1000} \\
 &= 3,96
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= A_s f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 224,399 \times 420 \left( 95 - \frac{3,96}{2} \right) \\
 &= 8766909,89 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 c &= \frac{a}{\beta_1} \\
 &= \frac{3,96}{0,85} \\
 &= 4,659
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \epsilon_t &= \frac{d - c}{c} 0,003 \\
 &= \frac{95 - 4,659}{4,659} \times 0,003 \\
 &= 0,058 > 0,005 \text{ (terkendali tarik, maka } \phi = 0,9)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi M_n &= 0,9 \times 8766909,89 \\
 &= 7890218,901 \text{ Nmm} \\
 &= 7,890 \text{ kNm} > M_u (6,982 \text{ kNm}) \quad \text{(Memenuhi)}
 \end{aligned}$$

### Lajur Tengah Negatif

$$M_u^- = 38,839 \text{ kNm}$$

Lebar pelat asumsi (b)= 1000 mm

$$\beta_1 = 0,85$$

Selimut beton = 20 mm

$$\begin{aligned} d &= \text{tebal pelat} - (\text{selimut beton} + 0,5D_{10}) \\ &= 120 - (20 + 0,5 \cdot 10) \\ &= 95 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{0,85f_c}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{4M_u}{1,7\phi f_c b d^2}} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 28}{420} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{4 \times 38,839 \times 10^6}{1,7 \times 0,9 \times 28 \times 95^2}} \right) \\ &= 0,013 \end{aligned}$$

$$\rho_{maks} = 0,429(0,85 f_c \beta_1 / f_y) = 0,429(0,85 \times 28 \times 0,85 / 420) = 0,021$$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho b d \\ &= 0,013 \times 1000 \times 95 \\ &= 1235 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{smin} &= \frac{0,0018 \times 420}{f_y} b h \\ &= \frac{0,0018 \times 420}{420} \times 1000 \times 120 \\ &= 216 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S &= \frac{\frac{1}{4}\pi D^2 b}{A_{st}} \\ &= \frac{\frac{1}{4}\pi 10^2 \times 1000}{1235} \\ &= 63,595 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat  $S_{maks} = 3h = 360 \text{ mm}$ . Jadi digunakan tulangan tumpuan D10 – 50.

Analisis kekuatan

$$A_s = \frac{\frac{1}{4}\pi D^2 b}{S_{pakai}}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\frac{1}{4}\pi 10^2 \times 1000}{50} \\
 &= 1570,796 \text{ mm}^2 \\
 a &= \frac{A_s f_y}{0,85 f'_{cb}} \\
 &= \frac{1570,796 \times 420}{0,85 \times 28 \times 1000} \\
 &= 27,72 \\
 M_n &= A_s \cdot f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 1570,796 \times 420 \times \left( 95 - \frac{27,72}{2} \right) \\
 &= 53530842,72 \text{ Nmm} \\
 c &= \frac{a}{\beta_1} \\
 &= \frac{27,72}{0,85} \\
 &= 32,61 \\
 \epsilon_t &= \frac{d - c}{c} 0,003 \\
 &= \frac{95 - 32,61}{32,61} 0,003 \\
 &= 0,0057 > 0,005 \text{ (terkendali tarik, maka } \phi = 0,9) \\
 \phi M_n &= 0,9 \times 53530842,72 \\
 &= 48177758,45 \text{ Nmm} \\
 &= 48,178 \text{ kNm} > M_u (38,839 \text{ kNm}) \quad \text{(Memenuhi)}
 \end{aligned}$$

### Lajur Tengah Positif

$$M_u^+ = 20,913 \text{ kNm}$$

Lebar pelat asumsi (b)= 1000 mm

$$\beta_1 = 0,85$$

Selimut beton = 20 mm

$$d = \text{tebal pelat} - (\text{selimut beton} + 0,5D_{10})$$

$$= 120 - (20 + 0,5 \cdot 10)$$

$$= 95 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{0,85f_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{4M_u}{1,7\phi f_c b d^2}}\right) \\ &= \frac{0,85 \times 28}{420} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{4 \times 20,913 \times 10^6}{1,7 \times 0,9 \times 28 \times 95^2}}\right) \\ &= 0,007\end{aligned}$$

$$\rho_{maks} = 0,429(0,85 f_c \beta_1 / f_y) = 0,429(0,85 \times 28 \times 0,85/420) = 0,021$$

$$\begin{aligned}A_s &= \rho b d \\ &= 0,007 \times 1000 \times 95 \\ &= 665 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_{smin} &= \frac{0,0018 \times 420}{f_y} b h \\ &= \frac{0,0018 \times 420}{420} \times 1000 \times 120 \\ &= 216 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}S &= \frac{\frac{1}{4}\pi D^2 b}{A_{st}} \\ &= \frac{\frac{1}{4}\pi 10^2 \times 1000}{665} \\ &= 118,105 \text{ mm}\end{aligned}$$

Syarat  $S_{maks} = 3h = 360 \text{ mm}$ . Jadi digunakan tulangan tumpuan D10 – 100.

Analisis kekuatan

$$\begin{aligned}A_s &= \frac{\frac{1}{4}\pi D^2 b}{S_{pakai}} \\ &= \frac{\frac{1}{4}\pi 10^2 \times 1000}{100} \\ &= 785,398 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}a &= \frac{A_s f_y}{0,85 f_c b} \\ &= \frac{785,398 \times 420}{0,85 \times 28 \times 1000} \\ &= 13,86\end{aligned}$$

$$M_n = A_s f_y \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$= 785,398 \times 420 \times \left(95 - \frac{13,86}{2}\right)$$

$$= 29051400,78 \text{ Nmm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1}$$

$$= \frac{13,86}{0,85}$$

$$= 16,31$$

$$\epsilon_t = \frac{d - c}{c} \times 0,003$$

$$= \frac{95 - 16,31}{16,31} \times 0,003$$

$$= 0,014 > 0,005 \text{ (terkendali tarik, maka } \phi = 0,9)$$

$$\phi M_n = 0,9 \times 29051400,78$$

$$= 26146260,7 \text{ Nmm}$$

$$= 26,146 \text{ kNm} > M_u (20,913 \text{ kNm}) \quad \text{(Memenuhi)}$$

### Arah Memendek

$$\begin{aligned} \text{Lajur kolom} &= (-0,65) \times M_{os} \times 0,69 = (-0,65) \times 114,617 \times 0,69 \\ &= -51,406 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sisi dari lajur kolom} &= (-0,65) \times M_{os} \times 0,31 = (-0,65) \times 114,617 \times 0,31 \\ &= -23,095 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lajur tengah} &= 0,35 \times M_{os} \times 0,69 = 0,35 \times 114,617 \times 0,69 \\ &= 27,680 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sisi dari lajur kolom} &= 0,35 \times M_{os} \times 0,31 = 0,35 \times 114,617 \times 0,31 \\ &= 12,436 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Tabel 2.8 Momen Pelat Lantai P1 Arah Memendek

|                      | Negatif (kNm)                 | Positif (kNm)                 |
|----------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Momen balok          | $0,85 \times 51,406 = 43,695$ | $0,85 \times 27,680 = 23,528$ |
| Momen pelat          | $51,406 - 43,695 = 7,711$     | $27,680 - 23,528 = 4,152$     |
| Jumlah balok + pelat | $43,695 + 7,711 = 51,406$     | $23,528 + 4,152 = 27,680$     |
| Momen lajur tengah   | 23,095                        | 12,436                        |



Momen arah memendek:

Lajur Kolom

$$M_u^+ = 4,152 \text{ kNm}$$

$$M_u^- = 7,711 \text{ kNm}$$

Lajur tengah

$$M_u^+ = 12,436 \text{ kNm}$$

$$M_u^- = 23,095 \text{ kNm}$$

#### 4. Hitung tulangan pelat

##### Lajur Kolom Negatif

$$M_u^- = 7,711 \text{ kNm}$$

Lebar pelat asumsi (b)= 1000 mm

$$\beta_1 = 0,85$$

Selimut beton = 20 mm

$$\begin{aligned} d &= \text{tebal pelat} - (\text{selimut beton} + 0,5D_{10}) \\ &= 120 - (20 + 0,5 \times 10) \\ &= 95 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{0,85f_c}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{4M_u}{1,7\phi f_c b d^2}} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 28}{420} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{4 \times 7,711 \times 10^6}{1,7 \times 0,9 \times 28 \times 95^2}} \right) \\ &= 0,0023 \end{aligned}$$

$$\rho_{maks} = 0,429(0,85 f_c \beta_1 / f_y) = 0,429(0,85 \times 28 \times 0,85/420) = 0,021$$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho b d \\ &= 0,0023 \times 1000 \times 95 \\ &= 218,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{smin} &= \frac{0,0018 \times 420}{f_y} b h \\ &= \frac{0,0018 \times 420}{420} \times 1000 \times 120 \\ &= 216 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{\frac{1}{4}\pi D^2 b}{A_{st}} \\
 &= \frac{\frac{1}{4}\pi 10^2 \times 1000}{218,5} \\
 &= 359,450 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Syarat  $S_{maks} = 3h = 360 \text{ mm}$ . Jadi digunakan tulangan tumpuan D10 – 350.

Analisis kekuatan

$$\begin{aligned}
 A_s &= \frac{\frac{1}{4}\pi D^2 b}{S_{pakai}} \\
 &= \frac{\frac{1}{4}\pi 10^2 \times 1000}{350} \\
 &= 224,399 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{A_s f_y}{0,85 f'_{cb}} \\
 &= \frac{224,399 \times 420}{0,85 \times 28 \times 1000} \\
 &= 3,96
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= A_s f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 224,399 \times 420 \times \left( 95 - \frac{3,96}{2} \right) \\
 &= 8766909,89 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 c &= \frac{a}{\beta_1} \\
 &= \frac{3,96}{0,85} \\
 &= 4,659
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \epsilon_t &= \frac{d - c}{c} 0,003 \\
 &= \frac{95 - 4,659}{4,659} \times 0,003 \\
 &= 0,058 > 0,005 \text{ (terkendali tarik, maka } \phi = 0,9)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi M_n &= 0,9 \times 8766909,89 \\
 &= 7890218,901 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$= 7,890 \text{ kNm} > M_u (7,711 \text{ kNm}) \quad (\text{Memenuhi})$$

### Lajur Kolom Positif

$$M_u^+ = 4,152 \text{ kNm}$$

Lebar pelat asumsi (b)= 1000 mm

$$\beta_1 = 0,85$$

Selimut beton = 20 mm

d = tebal pelat – (selimut beton + 0,5D10)

$$= 120 - (20 + 0,5 \cdot 10)$$

$$= 95 \text{ mm}$$

$$\rho = \frac{0,85f_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{4M_u}{1,7\phi f_c b d^2}}\right)$$

$$= \frac{0,85 \times 28}{420} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{4 \times 4,152 \times 10^6}{1,7 \times 0,9 \times 28 \times 95^2}}\right)$$

$$= 0,0012$$

$$\rho_{maks} = 0,429(0,85 f_c \beta_1 / f_y) = 0,429(0,85 \times 28 \times 0,85/420) = 0,021$$

$$A_s = \rho b d$$

$$= 0,0012 \times 1000 \times 95$$

$$= 114 \text{ mm}^2$$

$$A_{smin} = \frac{0,0018 \times 420}{f_y} b h$$

$$= \frac{0,0018 \times 420}{420} \times 1000 \times 120$$

$$= 216 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{\frac{1}{4}\pi D^2 b}{A_{st}}$$

$$= \frac{\frac{1}{4}\pi 10^2 \times 1000}{216}$$

$$= 363,610 \text{ mm}$$

Syarat  $S_{maks} = 3h = 360 \text{ mm}$ . Jadi digunakan tulangan tumpuan D10 – 350.

Analisis kekuatan

$$\begin{aligned}
 A_s &= \frac{\frac{1}{4}\pi D^2 b}{S_{pakai}} \\
 &= \frac{\frac{1}{4}\pi 10^2 \times 1000}{350} \\
 &= 224,399 \text{ mm}^2 \\
 a &= \frac{A_s f_y}{0,85 f'_{cb}} \\
 &= \frac{224,399 \times 420}{0,85 \times 28 \times 1000} \\
 &= 3,96 \\
 M_n &= A_s f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 224,399 \times 420 \times \left( 95 - \frac{3,96}{2} \right) \\
 &= 8766909,89 \text{ Nmm} \\
 c &= \frac{a}{\beta_1} \\
 &= \frac{3,96}{0,85} \\
 &= 4,659 \\
 \epsilon_t &= \frac{d - c}{c} \times 0,003 \\
 &= \frac{95 - 4,659}{4,659} \times 0,003 \\
 &= 0,058 > 0,005 \text{ (terkendali tarik, maka } \phi = 0,9) \\
 \phi M_n &= 0,9 \times 8766909,89 \\
 &= 7890218,901 \text{ Nmm} \\
 &= 7,890 \text{ kNm} > M_u (7,711 \text{ kNm}) \quad \text{(Memenuhi)}
 \end{aligned}$$

### **Lajur Tengah Negatif**

$$\begin{aligned}
 M_u^- &= 23,095 \text{ kNm} \\
 \text{Lebar pelat asumsi (b)} &= 1000 \text{ mm} \\
 \beta_1 &= 0,85 \\
 \text{Selimut beton} &= 20 \text{ mm} \\
 d &= \text{tebal pelat} - (\text{selimut beton} + 0,5D_{10})
 \end{aligned}$$

$$= 120 - (20 + 0,5 \cdot 10)$$

$$= 95 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{0,85f_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{4M_u}{1,7\phi f_c b d^2}}\right) \\ &= \frac{0,85 \times 28}{420} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{4 \times 23,095 \times 10^6}{1,7 \times 0,9 \times 28 \times 95^2}}\right) \\ &= 0,007 \end{aligned}$$

$$\rho_{maks} = 0,429(0,85 f_c \beta_1 / f_y) = 0,429(0,85 \times 28 \times 0,85/420) = 0,021$$

$$A_s = \rho b d$$

$$= 0,007 \times 1000 \times 95$$

$$= 665 \text{ mm}^2$$

$$A_{smin} = 0,0018bh$$

$$= 0,0018 \times 1000 \times 120$$

$$= 216 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{\frac{1}{4}\pi D^2 b}{A_{st}}$$

$$= \frac{\frac{1}{4}\pi 10^2 \times 1000}{665}$$

$$= 118,105 \text{ mm}$$

Syarat Smaks = 3h = 360 mm. Jadi digunakan tulangan tumpuan D10 – 100.

Analisis kekuatan

$$A_s = \frac{\frac{1}{4}\pi D^2 b}{S_{pakai}}$$

$$= \frac{\frac{1}{4}\pi 10^2 \times 1000}{100}$$

$$= 785,398 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f_c b}$$

$$= \frac{785,398 \times 420}{0,85 \times 28 \times 1000}$$

$$= 13,86$$

$$M_n = A_s f_y \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$= 785,398 \times 420 \left(95 - \frac{13,86}{2}\right)$$

$$= 29051400,78 \text{ Nmm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1}$$

$$= \frac{13,86}{0,85}$$

$$= 16,31$$

$$\epsilon_t = \frac{d - c}{c} 0,003$$

$$= \frac{95 - 16,31}{16,31} \times 0,003$$

$$= 0,014 > 0,005 \text{ (terkendali tarik, maka } \phi = 0,9)$$

$$\phi M_n = 0,9 \times 29051400,78$$

$$= 26146260,7 \text{ Nmm}$$

$$= 26,146 \text{ kNm} > M_u \text{ (23,095 kNm)} \quad \text{(Memenuhi)}$$

### **Lajur Tengah Positif**

$$M_u^+ = 12,436 \text{ kNm}$$

Lebar pelat asumsi (b) = 1000 mm

$$\beta_1 = 0,85$$

Selimut beton = 20 mm

$$d = \text{tebal pelat} - (\text{selimut beton} + 0,5D_{10})$$

$$= 120 - (20 + 0,5 \times 10)$$

$$= 95 \text{ mm}$$

$$\rho = \frac{0,85f_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{4M_u}{1,7\phi f_c b d^2}}\right)$$

$$= \frac{0,85 \times 28}{420} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{4 \times 12,436 \times 10^6}{1,7 \times 0,9 \times 28 \times 95^2}}\right)$$

$$= 0,004$$

$$\rho_{maks} = 0,429(0,85 f_c \beta_1 / f_y) = 0,429(0,85 \times 28 \times 0,85/420) = 0,021$$

$$A_s = \rho b d$$

$$= 0,004 \times 1000 \times 95$$

$$= 380 \text{ mm}^2$$

$$A_{smin} = \frac{0,0018 \times 420}{f_y} b h$$

$$= \frac{0,0018 \times 420}{420} \times 1000 \times 120$$

$$= 216 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{\frac{1}{4}\pi D^2 b}{A_{st}}$$

$$= \frac{\frac{1}{4}\pi 10^2 \times 1000}{380}$$

$$= 206,684 \text{ mm}$$

Syarat Smaks = 3h = 360 mm. Jadi digunakan tulangan tumpuan D10 – 200.

Analisis kekuatan

$$A_s = \frac{\frac{1}{4}\pi D^2 b}{S_{pakai}}$$

$$= \frac{\frac{1}{4}\pi 10^2 \times 1000}{200}$$

$$= 392,699 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f'_{cb}}$$

$$= \frac{392,699 \times 420}{0,85 \times 28 \times 1000}$$

$$= 6,93$$

$$M_n = A_s f_y \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 392,699 \times 420 \left( 95 - \frac{6,93}{2} \right)$$

$$= 15097195,25 \text{ Nmm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1}$$

$$= \frac{6,93}{0,85}$$

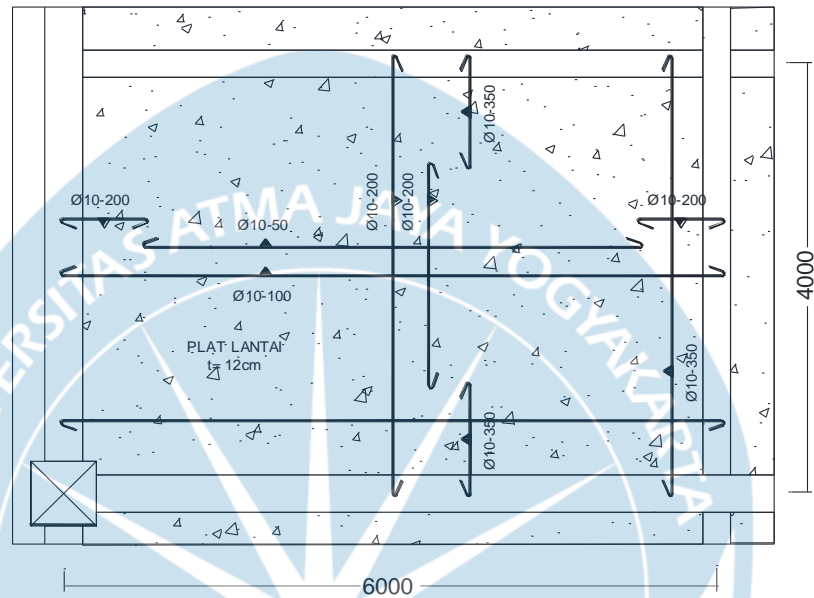
$$= 8,153$$

$$\epsilon_t = \frac{d - c}{c} \times 0,003$$

$$= \frac{95 - 8,153}{8,153} \times 0,003$$

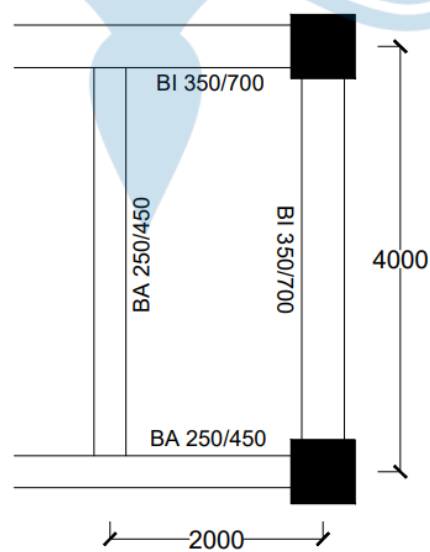
$$= 0,032 > 0,005 \text{ (terkendali tarik, maka } \phi = 0,9)$$

$$\begin{aligned}\phi M_n &= 0,9 \times 15097195,25 \\ &= 13587475,73 \text{ Nmm} \\ &= 13,587 \text{ kNm} > M_u (12,436 \text{ kNm}) \quad (\text{Memenuhi})\end{aligned}$$



Gambar 2.33 Penulangan Pelat Lantai P1

#### 2.3.4.1 Perencanaan Pelat Lantai P2



Gambar 2.34 Potongan pelat lantai P2 yang direncanakan pada lantai 1



## 1. Pembebanan pelat

$$\text{Berat pelat} = 0,12 \times 24 = 2,88 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Berat finishing lantai} = 0,05 \times 21 = 1,05 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Berat plafond} = 0,2 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Berat instalasi, ME} = 0,5 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Beban mati, DL} = 4,63 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Beban hidup, LL} = 4,79 \text{ kN/m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Beban terfaktor, } W_u &= 1,2DL + 1,6LL \\ &= 1,2(4,63) + 1,6(4,79) \\ &= 13,22 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

## 2. Tebal pelat minimum

Ketebalan minimum pelat solid satu arah nonprategang dengan satu ujung menerus:

$$\frac{1}{24} = \frac{2000}{24} = 83,333 \text{ mm}$$

$$\text{Tebal pelat} = 120 \text{ mm}$$

$$\beta_1 = 0,85$$

$$\text{Selimut beton} = 20 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} d &= \text{tebal pelat} - (\text{selimut beton} + 0,5D_{10}) \\ &= 120 - (20 + 0,5 \times 10) \\ &= 95 \text{ mm} \end{aligned}$$

## 3. Menghitung momen pelat

$$\text{Lebar pelat diasumsikan} = 1000 \text{ mm}$$

Dalam perencanaan pelat satu arah perhitungan dilakukan dengan tiga titik dengan koefisien yang berbeda:

**Titik A**

$$M_u = \frac{1}{24} \times 13,22 \times 2^2 = 2,203 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{0,85f_c}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{4M_u}{1,7\phi f_c b d^2}} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 28}{420} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{4 \times 2,203 \times 10^6}{1,7 \times 0,9 \times 28 \times 95^2}} \right) \\ &= 0,0006 \end{aligned}$$

$$\rho_{maks} = 0,429(0,85 f'c \beta_1 / f_y) = 0,429(0,85 \times 28 \times 0,85/420) = 0,021$$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho b d \\ &= 0,0006 \times 1000 \times 95 \\ &= 57 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{smin} &= \frac{0,0018 \times 420}{f_y} b h \\ &= \frac{0,0018 \times 420}{420} 1000 \cdot 120 \\ &= 216 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S &= \frac{\frac{1}{4}\pi D^2 b}{A_{st}} \\ &= \frac{\frac{1}{4}\pi 10^2 \times 1000}{216} \\ &= 363,610 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat  $S_{maks} = 3h = 360 \text{ mm}$ . Jadi digunakan tulangan tumpuan D10 – 350.

Analisis kekuatan

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{\frac{1}{4}\pi D^2 b}{S_{pakai}} \\ &= \frac{\frac{1}{4}\pi 10^2 \times 1000}{350} \\ &= 224,399 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s f_y}{0,85 f'c b} \\ &= \frac{224,399 \times 420}{0,85 \times 28 \times 1000} \\ &= 3,96 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= A_s f_y \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ &= 224,399 \times 420 \times \left(95 - \frac{3,96}{2}\right) \\ &= 8766909,89 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= \frac{a}{\beta_1} \\ &= \frac{3,96}{0,85} \end{aligned}$$

$$= 4,659$$

$$\begin{aligned}\epsilon_t &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{95 - 4,659}{4,659} \times 0,003\end{aligned}$$

$$= 0,058 > 0,005 \text{ (terkendali tarik, maka } \phi = 0,9)$$

$$\begin{aligned}\phi M_n &= 0,9 \times 8766909,89 \\ &= 7890218,901 \text{ Nmm} \\ &= 7,890 \text{ kNm} > M_u (2,203 \text{ kNm}) \quad \text{(Memenuhi)}\end{aligned}$$

### Titik B

$$M_u = \frac{1}{14} \times 13,22 \times 2^2 = 3,777 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned}\rho &= \frac{0,85f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{4M_u}{1,7\phi f'_c b d^2}}\right) \\ &= \frac{0,85 \times 28}{420} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{4 \times 3,777 \times 10^6}{1,7 \times 0,9 \times 28 \times 95^2}}\right) \\ &= 0,0011\end{aligned}$$

$$\rho_{maks} = 0,429(0,85 f'_c \beta_1 / f_y) = 0,429(0,85 \times 28 \times 0,85/420) = 0,021$$

$$\begin{aligned}A_s &= \rho b d \\ &= 0,0011 \times 1000 \times 95 \\ &= 104,5 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_{smin} &= \frac{0,0018 \times 420}{f_y} b h \\ &= \frac{0,0018 \times 420}{420} 1000 \times 120 \\ &= 216 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}S &= \frac{\frac{1}{4}\pi D^2 b}{A_{st}} \\ &= \frac{\frac{1}{4}\pi 10^2 \times 1000}{216} \\ &= 363,610 \text{ mm}\end{aligned}$$

Syarat  $S_{maks} = 3h = 360 \text{ mm}$ . Jadi digunakan tulangan tumpuan D10 – 350.

Analisis kekuatan

$$\begin{aligned}
 A_s &= \frac{\frac{1}{4}\pi D^2 b}{S_{pakai}} \\
 &= \frac{\frac{1}{4}\pi 10^2 \times 1000}{350} \\
 &= 224,399 \text{ mm}^2 \\
 a &= \frac{A_s f_y}{0,85 f'_{cb}} \\
 &= \frac{224,399 \times 420}{0,85 \times 28 \times 1000} \\
 &= 3,96 \\
 M_n &= A_s f_y \left(d - \frac{a}{2}\right) \\
 &= 224,399 \times 420 \times \left(95 - \frac{3,96}{2}\right) \\
 &= 8766909,89 \text{ Nmm} \\
 c &= \frac{a}{\beta_1} \\
 &= \frac{3,96}{0,85} \\
 &= 4,659 \\
 \epsilon_t &= \frac{d - c}{c} 0,003 \\
 &= \frac{95 - 4,659}{4,659} \times 0,003 \\
 &= 0,058 > 0,005 \text{ (terkendali tarik, maka } \phi = 0,9) \\
 \phi M_n &= 0,9 \times 8766909,89 \\
 &= 7890218,901 \text{ Nmm} \\
 &= 7,890 \text{ kNm} > M_u (2,203 \text{ kNm}) \quad \text{(Memenuhi)}
 \end{aligned}$$

### Titik C

$$\begin{aligned}
 M_u &= \frac{1}{9} \times 13,22 \times 2^2 = 5,876 \text{ kNm} \\
 \rho &= \frac{0,85 f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{4M_u}{1,7\phi f'_c b d^2}}\right) \\
 &= \frac{0,85 \times 28}{420} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{4,5,876 \times 10^6}{1,7 \times 0,9 \times 28 \times 95^2}}\right) \\
 &= 0,0017
 \end{aligned}$$

$$\rho_{maks} = 0,429(0,85 f'c \beta_1 / f_y) = 0,429(0,85 \times 28 \times 0,85/420) = 0,021$$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho b d \\ &= 0,0017 \times 1000 \times 95 \\ &= 161,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{smin} &= \frac{0,0018 \times 420}{f_y} b h \\ &= \frac{0,0018 \times 420}{420} 1000 \times 120 \\ &= 216 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S &= \frac{\frac{1}{4}\pi D^2 b}{A_{st}} \\ &= \frac{\frac{1}{4}\pi 10^2 \times 1000}{216} \\ &= 363,610 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat  $S_{maks} = 3h = 360 \text{ mm}$ . Jadi digunakan tulangan tumpuan D10 – 350.

Analisis kekuatan

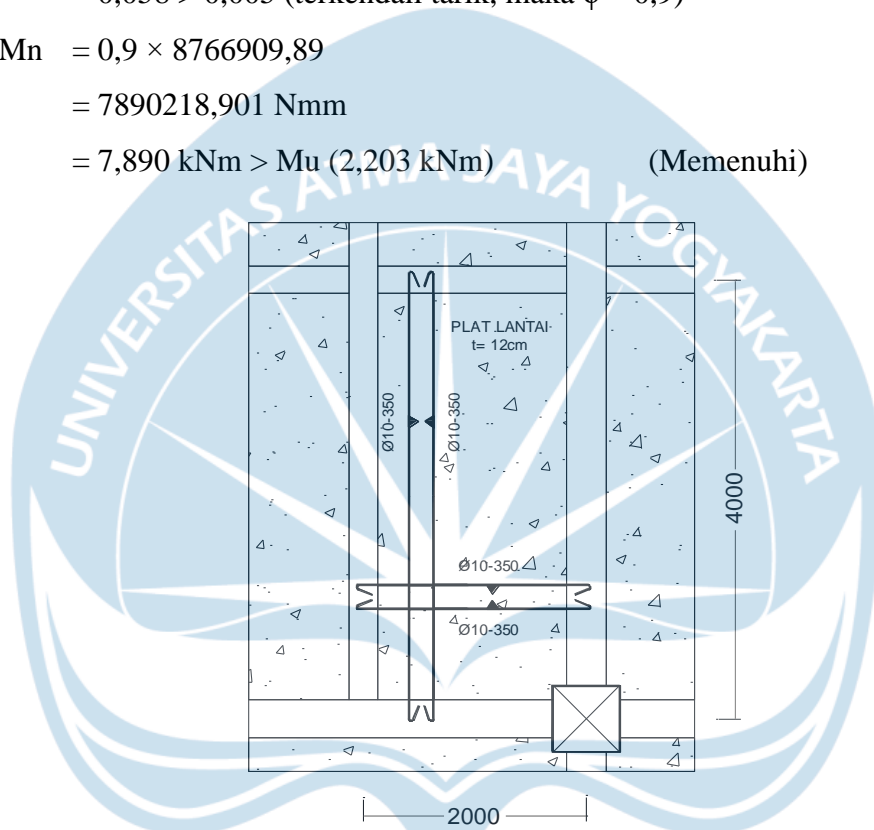
$$\begin{aligned} A_s &= \frac{\frac{1}{4}\pi D^2 b}{S_{pakai}} \\ &= \frac{\frac{1}{4}\pi 10^2 \times 1000}{350} \\ &= 224,399 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s f_y}{0,85 f'c b} \\ &= \frac{224,399 \times 420}{0,85 \times 28 \times 1000} \\ &= 3,96 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= A_s f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 224,399 \times 420 \left( 95 - \frac{3,96}{2} \right) \\ &= 8766909,89 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

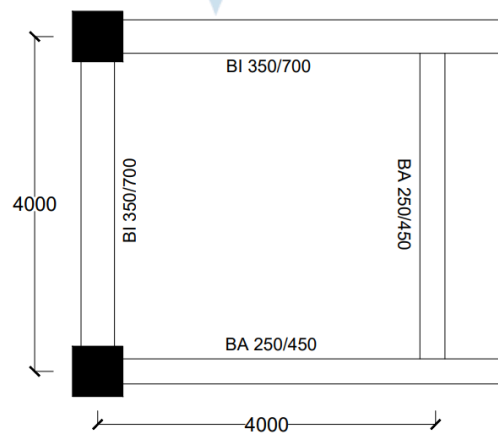
$$\begin{aligned} c &= \frac{a}{\beta_1} \\ &= \frac{3,96}{0,85} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 4,659 \\
 \epsilon_t &= \frac{d - c}{c} 0,003 \\
 &= \frac{95 - 4,659}{4,659} \times 0,003 \\
 &= 0,058 > 0,005 \text{ (terkendali tarik, maka } \phi = 0,9) \\
 \phi M_n &= 0,9 \times 8766909,89 \\
 &= 7890218,901 \text{ Nmm} \\
 &= 7,890 \text{ kNm} > M_u (2,203 \text{ kNm}) \quad \text{(Memenuhi)}
 \end{aligned}$$



Gambar 2.35 Penulangan Pelat Lantai P2

### 2.3.4.2 Perencanaan Pelat Lantai P3



Gambar 2.36 Potongan pelat lantai P3 yang direncanakan pada lantai 1

### 1. Pembebanan Pelat

$$\text{Berat pelat} = 0,12 \times 24 = 2,88 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Berat finishing lantai} = 0,05 \times 21 = 1,05 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Berat plafond} = 0,2 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Berat instalasi ME} = 0,5 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Beban mati, DL} = 4,63 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Beban hidup, LL} = 4,79 \text{ kN/m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Beban terfaktor, Wu} &= 1,2\text{DL} + 1,6\text{LL} \\ &= 1,2(4,63) + 1,6(4,79) \\ &= 13,22 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

### 2. Momen statik total

Dalam arah memanjang

$$\text{Mol} = \frac{qu l^2 (\ln 1)^2}{8} = \frac{13,22 \times 4 \times (4 - 0,6)^2}{8} = 76,412 \text{ kNm}$$

Dalam arah memendek

$$\text{Mos} = \frac{qu l^2 (\ln 1)^2}{8} = \frac{13,22 \times 4 \times (4 - 0,6)^2}{8} = 76,412 \text{ kNm}$$

Pelat dengan dua terkekang penuh, maka:

$$\text{Bagian lajur kolom} = 0,65$$

$$\text{Bagian lajur tengah} = 0,35$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 Tabel 8.10.5.1 dan Tabel 8.10.5.5, bagian momen negatif dan positif interior Mu di lajur kolom:

$$\frac{l_2}{l_1} = \frac{6}{4} = 1,5$$

Maka koefisiennya adalah:

$$\text{Negatif} = 0,69$$

$$\text{Positif} = 0,69$$

### Arah Memanjang dan Memendek

$$\begin{aligned} \text{Lajur kolom} &= (-0,65) \times \text{Mol} \times 0,69 = (-0,65) \times 76,412 \times 0,69 \\ &= -34,271 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sisi dari lajur kolom} &= (-0,65) \times \text{Mol} \times 0,31 = (-0,65) \times 76,412 \times 0,31 \\ &= -15,397 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lajur tengah} &= 0,35 \times M_{ol} \times 0,69 = 0,35 \times 76,412 \times 0,69 \\ &= 18,453 \text{ kNm} \\ \text{Sisi dari lajur kolom} &= 0,35 \times M_{ol} \times 0,31 = 0,35 \times 76,412 \times 0,31 \\ &= 8,291 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Tabel 2.9 Momen Pelat Lantai P3 Arah Memanjang dan Memendek

|                      | Negatif (kNm)                 | Positif (kNm)                 |
|----------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Momen balok          | $0,85 \times 34,271 = 29,130$ | $0,85 \times 18,453 = 15,685$ |
| Momen pelat          | $34,271 - 29,130 = 5,141$     | $18,453 - 15,685 = 2,768$     |
| Jumlah balok + pelat | $29,130 + 5,141 = 34,271$     | $15,685 + 2,768 = 18,453$     |
| Momen lajur tengah   | 15,397                        | 8,291                         |

Momen arah memanjang:

Lajur kolom

$$M_u^+ = 2,768 \text{ kNm}$$

$$M_u^- = 5,141 \text{ kNm}$$

Lajur tengah

$$M_u^+ = 8,291 \text{ kNm}$$

$$M_u^- = 15,397 \text{ kNm}$$

### Lajur Kolom Negatif

$$M_u^- = 5,141 \text{ kNm}$$

Lebar pelat asumsi (b)= 1000 mm

$$\beta_1 = 0,85$$

Selimut beton = 20 mm

$$\begin{aligned} d &= \text{tebal pelat} - (\text{selimut beton} + 0,5D_{10}) \\ &= 120 - (20 + 0,5 \times 10) \\ &= 95 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\rho = \frac{0,85f_c}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{4M_u}{1,7\phi f_c b d^2}} \right)$$



$$= \frac{0,85 \times 28}{420} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{4 \times 5,141 \times 10^6}{1,7 \times 0,9 \times 28 \times 95^2}} \right)$$

$$= 0,0015$$

$$\rho_{maks} = 0,429(0,85 f'c \beta_1 / f_y) = 0,429(0,85 \times 28 \times 0,85/420) = 0,021$$

$$A_s = \rho b d$$

$$= 0,0015 \times 1000 \times 95$$

$$= 145,108 \text{ mm}^2$$

$$A_{smin} = \frac{0,0018 \times 420}{f_y} b h$$

$$= \frac{0,0018 \times 420}{420} \times 1000 \times 120$$

$$= 216 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{\frac{1}{4}\pi D^2 b}{A_{st}}$$

$$= \frac{\frac{1}{4}\pi 10^2 \times 1000}{216}$$

$$= 359,757 \text{ mm}$$

Syarat  $S_{maks} = 3h = 360 \text{ mm}$ . Jadi digunakan tulangan tumpuan D10 – 350.

Analisis kekuatan

$$A_s = \frac{\frac{1}{4}\pi D^2 b}{S_{pakai}}$$

$$= \frac{\frac{1}{4}\pi 10^2 \times 1000}{350}$$

$$= 224,399 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f'c b}$$

$$= \frac{224,399 \times 420}{0,85 \times 28 \times 1000}$$

$$= 3,960$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= A_s f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= 224,399 \times 420 \times \left( 95 - \frac{3,960}{2} \right) \\
 &= 8766909,892 \text{ Nmm} \\
 c &= \frac{a}{\beta_1} \\
 &= \frac{3,96}{0,85} \\
 &= 4,659 \\
 \epsilon_t &= \frac{d - c}{c} \times 0,003 \\
 &= \frac{95 - 4,659}{4,659} \times 0,003 \\
 &= 0,058 > 0,005 \text{ (terkendali tarik, maka } \phi = 0,9) \\
 \phi M_n &= 0,9 \times 8766909,892 \\
 &= 7890218,903 \text{ Nmm} \\
 &= 7,890 \text{ kNm} > M_u (5,141 \text{ kNm}) \quad \text{(Memenuhi)}
 \end{aligned}$$

### Lajur Kolom Positif

$$\begin{aligned}
 M_u^+ &= 2,768 \text{ kNm} \\
 \text{Lebar pelat asumsi (b)} &= 1000 \text{ mm} \\
 \beta_1 &= 0,85 \\
 \text{Selimut beton} &= 20 \text{ mm} \\
 d &= \text{tebal pelat} - (\text{selimut beton} + 0,5D_{10}) \\
 &= 120 - (20 + 0,5 \times 10) \\
 &= 95 \text{ mm} \\
 \rho &= \frac{0,85 f_c}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{4M_u}{1,7 \phi f_c b d^2}} \right) \\
 &= \frac{0,85 \times 28}{420} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{4 \times 2,768 \times 10^6}{1,7 \times 0,9 \times 28 \times 95^2}} \right) \\
 &= 0,008 \\
 \rho_{maks} &= 0,429(0,85 f_c \beta_1 / f_y) = 0,429(0,85 \times 28 \times 0,85 / 420) = 0,021
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho b d \\ &= 0,008 \times 1000 \times 95 \\ &= 77,642 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{smin} &= \frac{0,0018 \times 420}{f_y} b h \\ &= \frac{0,0018 \times 420}{420} \times 1000 \times 120 \\ &= 216 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S &= \frac{\frac{1}{4}\pi D^2 b}{A_{st}} \\ &= \frac{\frac{1}{4}\pi 10^2 \times 1000}{216} \\ &= 363,757 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat Smaks = 3h = 360 mm. Jadi digunakan tulangan tumpuan D10 – 350.

Analisis kekuatan

$$\begin{aligned} A_s &= \frac{\frac{1}{4}\pi D^2 b}{S_{pakai}} \\ &= \frac{\frac{1}{4}\pi 10^2 \times 1000}{350} \\ &= 224,399 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s f_y}{0,85 f'_{cb}} \\ &= \frac{224,399 \times 420}{0,85 \times 28 \times 1000} \\ &= 3,960 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= A_s \cdot f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) \\ &= 224,399 \times 420 \times \left( 95 - \frac{3,960}{2} \right) \\ &= 8766909,892 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{3,96}{0,85} \\
 &= 4,659 \\
 \varepsilon_t &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\
 &= \frac{95 - 4,659}{4,659} \times 0,003 \\
 &= 0,058 > 0,005 \text{ (terkendali tarik, maka } \phi = 0,9) \\
 \phi M_n &= 0,9 \times 8766909,892 \\
 &= 7890218,903 \text{ Nmm} \\
 &= 7,890 \text{ kNm} > M_u \text{ (2,768 kNm)} \quad \text{(Memenuhi)}
 \end{aligned}$$

### Lajur Tengah Negatif

$$\begin{aligned}
 M_u^- &= 15,397 \text{ kNm} \\
 \text{Lebar pelat asumsi (b)} &= 1000 \text{ mm} \\
 \beta_1 &= 0,85 \\
 \text{Selimut beton} &= 20 \text{ mm} \\
 d &= \text{tebal pelat} - (\text{selimut beton} + 0,5D_{10}) \\
 &= 120 - (20 + 0,5 \times 10) \\
 &= 95 \text{ mm} \\
 \rho &= \frac{0,85f_c}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{4M_u}{1,7\phi f_c b d^2}} \right) \\
 &= \frac{0,85 \times 28}{420} \times \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{4 \times 15,397 \times 10^6}{1,7 \times 0,9 \times 28 \times 95^2}} \right) \\
 &= 0,0047 \\
 \rho_{maks} &= 0,429(0,85 f_c \beta_1 / f_y) = 0,429(0,85 \times 28 \times 0,85/420) = 0,021 \\
 A_s &= \rho b d \\
 &= 0,0047 \times 1000 \times 95 \\
 &= 447,352 \text{ mm}^2 \\
 A_{smin} &= \frac{0,0018 \times 420}{f_y} b h
 \end{aligned}$$

$$= \frac{0,0018 \times 420}{420} \times 1000 \times 120$$

$$= 216 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{\frac{1}{4}\pi D^2 b}{A_{st}}$$

$$= \frac{\frac{1}{4}\pi 10^2 \times 1000}{447,352}$$

$$= 175,637 \text{ mm}$$

Syarat  $S_{maks} = 3h = 360 \text{ mm}$ . Jadi digunakan tulangan tumpuan D10 – 150.

Analisis kekuatan

$$A_s = \frac{\frac{1}{4}\pi D^2 b}{S_{pakai}}$$

$$= \frac{\frac{1}{4}\pi 10^2 \times 1000}{150}$$

$$= 523,599 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f'_{cb}}$$

$$= \frac{523,599 \times 420}{0,85 \times 28 \times 1000}$$

$$= 9,240$$

$$M_n = A_s f_y \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 523,599 \times 420 \times \left( 95 - \frac{9,240}{2} \right)$$

$$= 18975608,6 \text{ Nmm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1}$$

$$= \frac{9,240}{0,85}$$

$$= 10,871$$

$$\epsilon_t = \frac{d - c}{c} \times 0,003$$

$$= \frac{95 - 10,871}{10,871} \times 0,003$$

$$= 0,023 > 0,005 \text{ (terkendali tarik, maka } \phi = 0,9)$$

$$\phi M_n = 0,9 \times 18975608,6$$

$$= 17078047,74 \text{ Nmm}$$

$$= 17,078 \text{ kNm} > M_u \text{ (15,397 kNm)} \quad \text{(Memenuhi)}$$

### Lajur Tengah Positif

$$M_{u^{+-}} = 8,291 \text{ kNm}$$

$$\text{Lebar pelat asumsi (b)} = 1000 \text{ mm}$$

$$\beta_1 = 0,85$$

$$\text{Selimut beton} = 20 \text{ mm}$$

$$d = \text{tebal pelat} - (\text{selimut beton} + 0,5D_{10})$$

$$= 120 - (20 + 0,5 \times 10)$$

$$= 95 \text{ mm}$$

$$\rho = \frac{0,85f_c}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{4M_u}{1,7\phi f_c b d^2}} \right)$$

$$= \frac{0,85 \times 28}{420} \times \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{4 \times 8,291 \times 10^6}{1,7 \times 0,9 \times 28 \times 95^2}} \right)$$

$$= 0,0025$$

$$\rho_{maks} = 0,429(0,85 f_c \beta_1 / f_y) = 0,429(0,85 \times 28 \times 0,85/420) = 0,021$$

$$A_s = \rho b d$$

$$= 0,0025 \times 1000 \times 95$$

$$= 263,048 \text{ mm}^2$$

$$A_{smin} = \frac{0,0018 \times 420}{f_y} \times b h$$

$$= \frac{0,0018 \times 420}{420} \times 1000 \times 120$$

$$= 216 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{\frac{1}{4}\pi D^2 b}{A_{st}}$$

$$= \frac{\frac{1}{4}\pi 10^2 \times 1000}{263,048}$$

$$= 332,862 \text{ mm}$$

Syarat Smaks = 3h = 360 mm. Jadi digunakan tulangan tumpuan D10 – 300.

Analisis kekuatan

$$A_s = \frac{\frac{1}{4}\pi D^2 b}{S_{pakai}}$$

$$= \frac{\frac{1}{4}\pi 10^2 \times 1000}{300}$$

$$= 261,799 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f'_{cb}}$$

$$= \frac{261,799 \times 420}{0,85 \times 28 \times 1000}$$

$$= 4,620$$

$$M_n = A_s f_y \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= 261,799 \times 420 \times \left( 95 - \frac{4,620}{2} \right)$$

$$= 10191782,71 \text{ Nmm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1}$$

$$= \frac{4,62}{0,85}$$

$$= 5,435$$

$$\epsilon_t = \frac{d - c}{c} \times 0,003$$

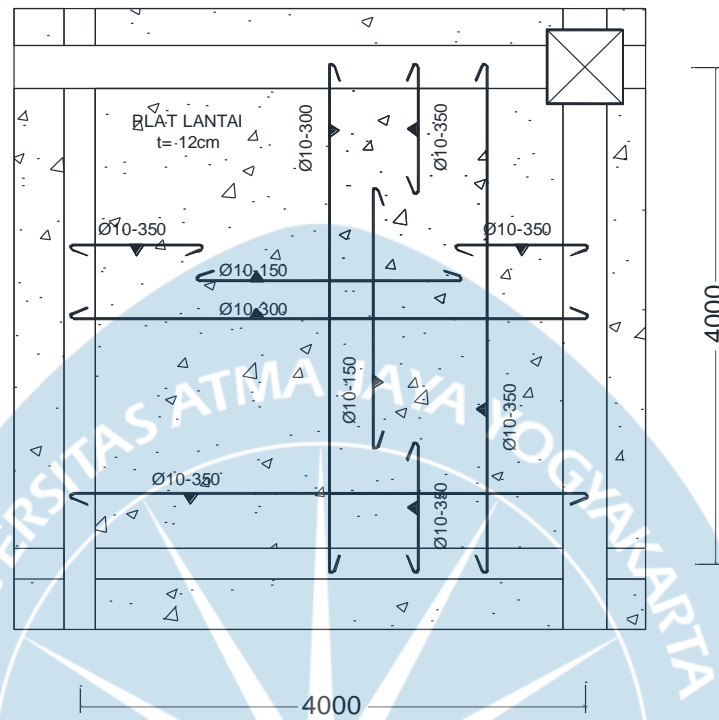
$$= \frac{95 - 5,435}{5,435} \times 0,003$$

$$= 0,049 > 0,005 \text{ (terkendali tarik, maka } \phi = 0,9)$$

$$\phi M_n = 0,9 \times 10191782,71$$

$$= 9172604,439 \text{ Nmm}$$

$$= 9,173 \text{ kNm} > M_u (8,291 \text{ kNm}) \quad \text{(Memenuhi)}$$



Gambar 2.37 Penulangan Pelat Lantai P3

- **Rekapitulasi Pelat**

Tabel 2.10 Rekapitulasi Penulangan Pelat satu arah

| Tipe | Tebal (mm) | Arah   | Titik | Penulangan |
|------|------------|--------|-------|------------|
| P2   | 120        | 1 arah | A     | D10-350    |
|      |            |        | B     | D10-350    |
|      |            |        | C     | D10-350    |

Tabel 2.11 Rekapitulasi Penulangan Pelat dua arah

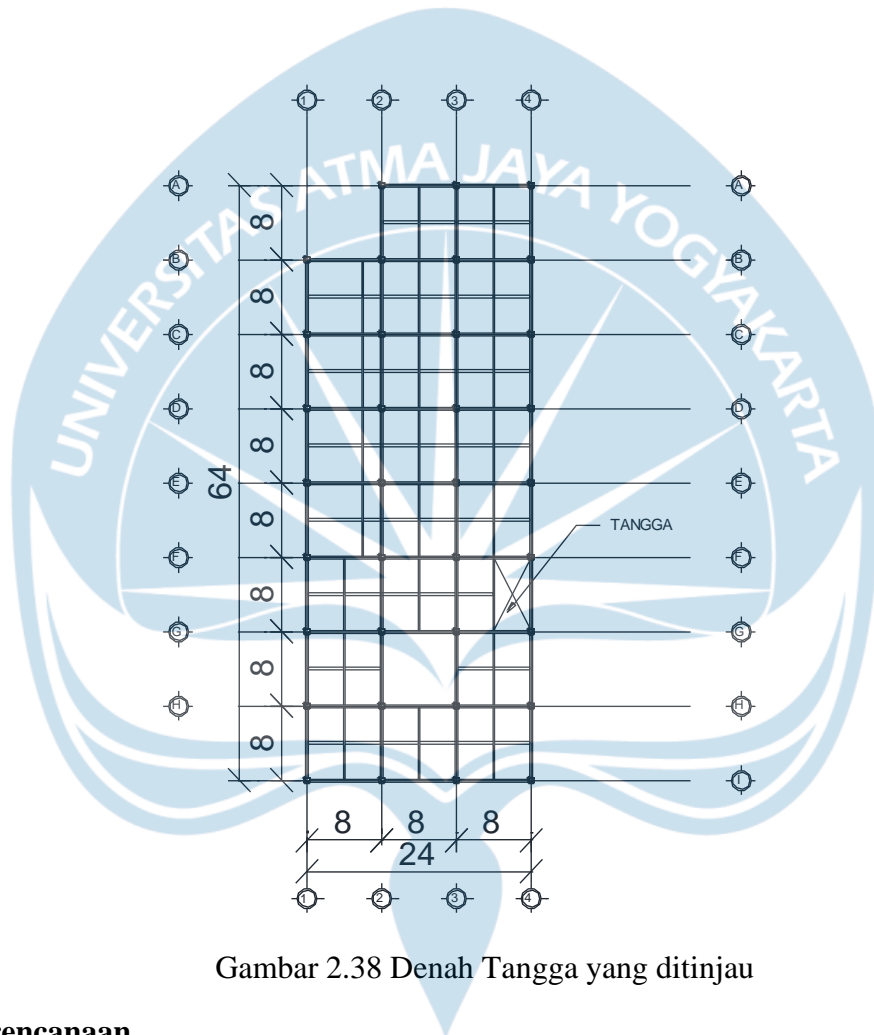
| Tipe | Tebal (mm) | Arah   |           | Bagian       |                    | Penulangan         |
|------|------------|--------|-----------|--------------|--------------------|--------------------|
| P1   | 120        | 2 arah | Memanjang | Lajur Kolom  | Positif<br>Negatif | D10-350<br>D10-200 |
|      |            |        |           | Lajur Tengah | Positif<br>Negatif | D10-100<br>D10-50  |
|      |            |        | Memendek  | Lajur Kolom  | Positif Negatif    | D10-350<br>D10-350 |
|      |            |        |           | Lajur Tengah | Positif Negatif    | D10-200<br>D10-100 |
| P3   | 120        | 2 arah | Memanjang | Lajur Kolom  | Positif<br>Negatif | D10-350<br>D10-350 |
|      |            |        |           | Lajur Tengah | Positif<br>Negatif | D10-300<br>D10-150 |
|      |            |        | Memendek  | Lajur Kolom  | Positif Negatif    | D10-350<br>D10-350 |
|      |            |        |           | Lajur Tengah | Positif Negatif    | D10-300<br>D10-150 |



## 2.3.5 Perencanaan Tangga dan Bordes

### 2.3.5.1 Desain Struktur Tangga

Struktur tangga dimodelkan sebagai frame statis tertentu dengan kondisi perletakan berupa sendi dan rol (rol diletakkan pada ujung bordes). Berikut letak tangga yang akan di desain :

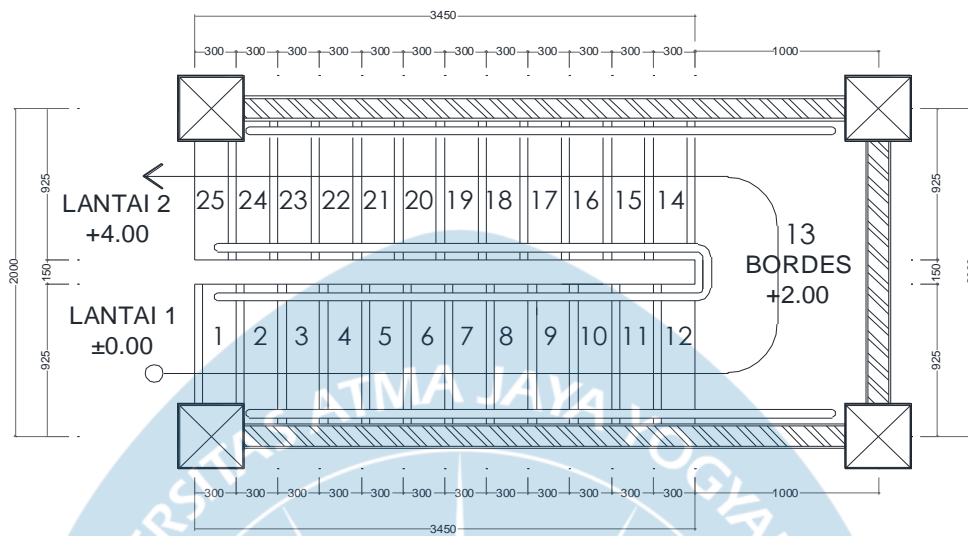


Gambar 2.38 Denah Tangga yang ditinjau

#### Data Perencanaan

Data – data desain yang dibutuhkan dalam perhitungan adalah sebagai berikut :

- Lebar Tangga = 2 m
- Tinggi Optrede = 160 mm
- Besar Antrede = 300 mm
- Lebar bordes = 1 m
- Panjang tangga = 3450 mm
- Tinggi Lantai = 4 m
- Tebal pelat tangga = 0,12 m



Gambar 2.39 Denah Tangga

### 1. Pembebanan tangga dan bordes

- Pembebanan tangga

Beban mati tangga

$$\text{Berat sendiri tangga} = \frac{0,12}{0,882} \times 24 = 3,264 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Berat anak tangga} = \left(\frac{1}{2} \times 0,16\right) \times 24 = 1,92 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Berat ubin \& spesi} = 0,05 \times 21 = 1,05 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Berat railing} = \underline{1 \text{ kN/m}^2} +$$

$$\text{Beban mati, DL} = 7,23 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Beban hidup tangga, LL} = 4,79 \text{ kN/m}^2$$

- Pembebanan bordes

Beban mati bordes

$$\text{Berat sendiri tangga} = 0,12 \times 24 = 2,88 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Berat ubin \& spesi} = 0,05 \times 21 = 1,05 \text{ kN/m}^2$$

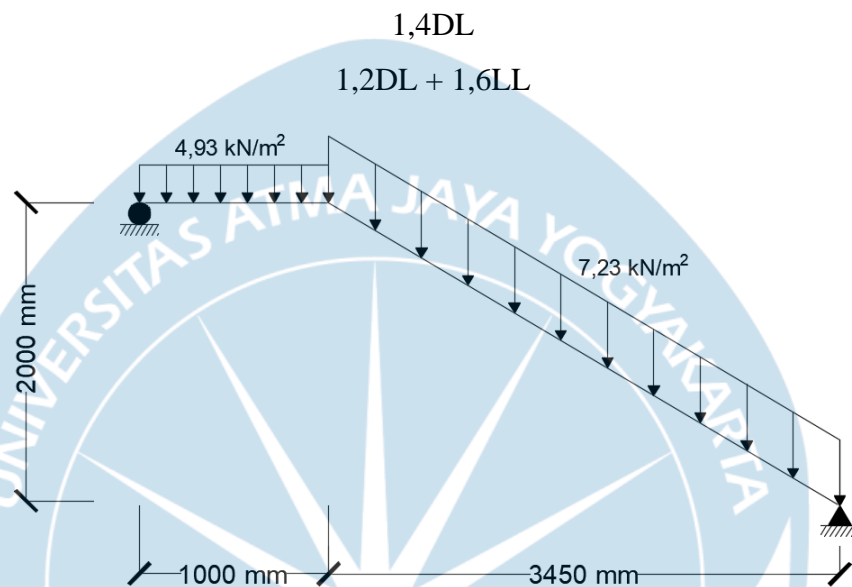
$$\text{Berat railing} = \underline{1 \text{ kN/m}^2} +$$

$$\text{Beban mati, DL} = 4,93 \text{ kN/m}^2$$

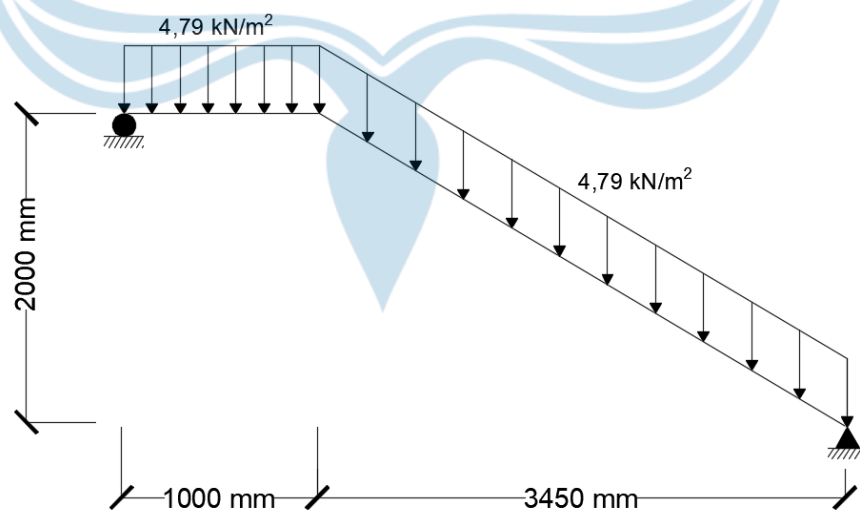
$$\text{Beban hidup bordes, LL} = 4,79 \text{ kN/m}^2$$

## 2. Analisa gaya pada tangga

Pada proses Analisis struktur tangga ini, menggunakan perhitungan statis tertentu dengan perletakan berupa sendi-rol. Gaya-gaya rencana dihitung dengan bantuan program SAP2000, menggunakan kombinasi beban sebagai berikut:



Gambar 2.40 Beban Mati Tangga



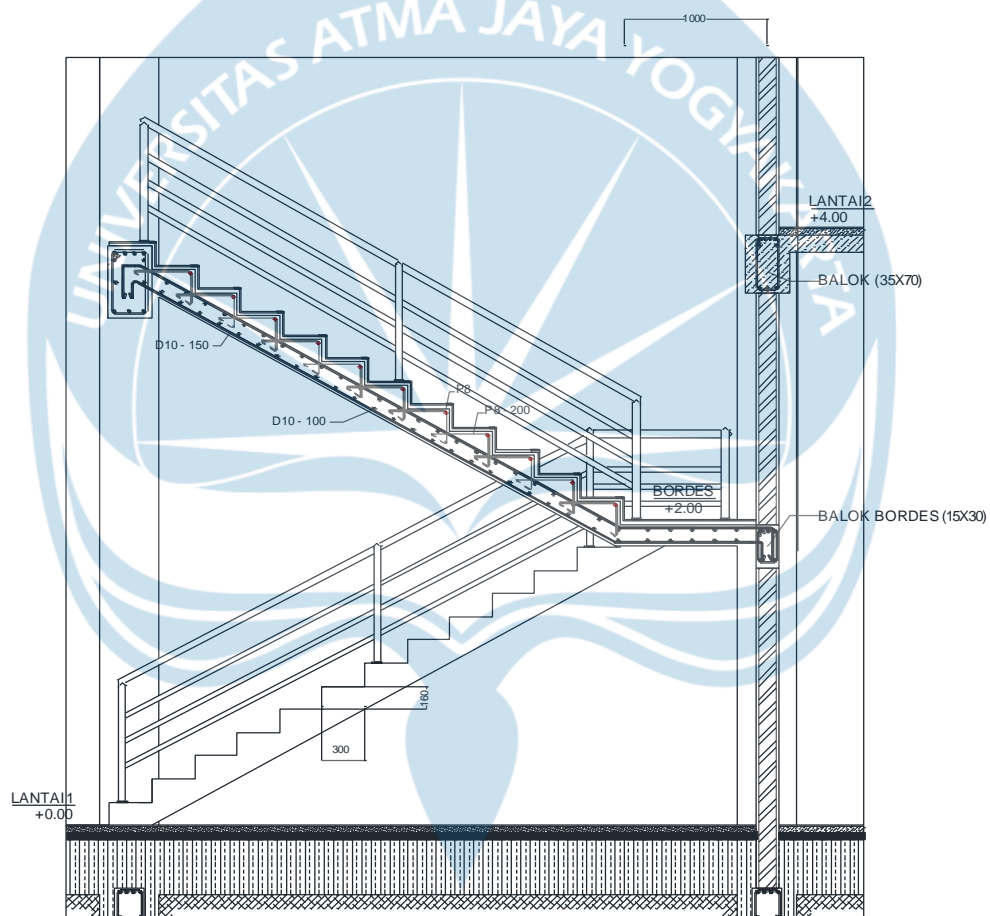
Gambar 2.41 Beban Hidup Tangga

Gaya dalam pelat diperoleh dari analisis program SAP2000 dengan kombinasi beban di atas, seperti pada tabel berikut.

Tabel 2.12 Gaya Dalam Tangga dan Bordes

| Gaya Dalam               |       |
|--------------------------|-------|
| Momen maksimum, Mu (kNm) | 31,78 |
| Gaya Geser, Vu (kN)      | 30,23 |

### 3. Perencanaan tulangan pelat tangga



Gambar 2.42 Potongan Tangga

#### Perencanaan tulangan tangga tumpuan

- Tulangan Pokok

$$M_{ux} = 0,5 \times 31,78 = 15,89 \text{ kNm}$$

Direncanakan tulangan D10 ( $f_y = 420 \text{ MPa}$ )

$$F'_c = 28 \text{ Mpa}$$

$$\begin{aligned}
 B &= 1000 \text{ mm} \\
 \text{Selimut beton} &= 20 \text{ mm} \\
 \text{htg (tebal pelat)} &= 120 \text{ mm} \\
 \beta_1 &= 0,85 \\
 d &= \text{tebal pelat} - \text{selimut beton} - (0,5 \times D_{10}) \\
 &= 120 - 20 - (0,5 \times 10) \\
 &= 95 \text{ mm} \\
 \rho &= \frac{0,85 \times f_c}{f_y} \times \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4M_u}{1,7\phi f_c \times B \times d^2}} \right] \\
 &= \frac{0,85 \times 28}{420} \times \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4 \times 15,89 \times 10^6}{1,7 \times 0,9 \times 28 \times 1000 \times 95^2}} \right] \\
 &= 0,0048675 \\
 \text{As min} &= 0,002 \times B \times \text{htg} \\
 &= 0,002 \times 1000 \times 120 \\
 &= 240 \text{ mm}^2 \\
 \text{As perlu} &= \rho \times B \times d \\
 &= 0,0048675 \times 1000 \times 95 \\
 &= 462,41 \text{ mm}^2 \\
 S &= \frac{0,25\pi D^2 b}{A_s} \\
 &= \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{462,41} \\
 &= 169,92 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Syarat,  $S_{maks} = 3htg = 360 \text{ mm}$ . Jadi digunakan tulangan D10-150.

Cek gaya geser :

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0,17 \lambda \sqrt{f_c} \times B \times d \\
 &= 0,17 \times 1 \times \sqrt{28} \times 1000 \times 95 \\
 &= 85.458 \text{ N} = 85,458 \text{ kN} \\
 \phi V_c &= 0,75 V_c \\
 &= 0,75 \times 85,458 \\
 &= 64,0933 \text{ kN} > V_u = 30,23 \text{ (aman)}
 \end{aligned}$$

- Tulangan Susut

Direncanakan tulangan P8 ( $f_y = 280 \text{ MPa}$ )

Luas Penampang Nominal (A) =  $50 \text{ mm}^2$

B =  $1000 \text{ mm}$

$$S = \frac{A \times B}{A_{s \text{ min}}} \\ = \frac{50 \times 1000}{240} \\ = 209,524 \text{ mm}$$

Syarat,  $S_{maks} = 3htg = 360 \text{ mm}$ . Jadi digunakan tulangan P8-200.

### Perencanaan tulangan tangga lapangan

- Tulangan Pokok

$M_{ux} = 0,8 \times 31,78 = 25,43 \text{ kNm}$

Direncanakan tulangan D10 ( $f_y = 420 \text{ MPa}$ )

$F'_c = 28 \text{ Mpa}$

B =  $1000 \text{ mm}$

Selimut beton =  $20 \text{ mm}$

htg (tebal pelat) =  $120 \text{ mm}$

$\beta_1 = 0,85$

d = tebal pelat – selimut beton –  $(0,5 \times D10)$   
 $= 120 - 20 - (0,5 \times 10)$   
 $= 95 \text{ mm}$

$$\rho = \frac{0,85 \times f_c}{f_y} \times \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4M_u}{1,7 \phi f_c \times B \times d^2}} \right] \\ = \frac{0,85 \times 28}{420} \times \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{4 \times 25,43 \times 10^6}{1,7 \times 0,9 \times 28 \times 1000 \times 95^2}} \right] \\ = 0,00802$$

$A_{s \text{ min}} = 0,002 \times B \times htg$   
 $= 0,002 \times 1000 \times 120$   
 $= 240 \text{ mm}^2$

$A_{s \text{ perlu}} = \rho \times B \times d$

$$\begin{aligned}
 &= 0,00544 \times 1000 \times 95 \\
 &= 762,01 \text{ mm}^2 \\
 S &= \frac{0,25\pi D^2 b}{A_s} \\
 &= \frac{0,25 \times \pi \times 10^2 \times 1000}{762,01} \\
 &= 103,11 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Syarat,  $S_{maks} = 3htg = 360 \text{ mm}$ . Jadi digunakan tulangan D10-100.

Cek gaya geser :

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0,17 \sqrt{f_c} \times B \times d \\
 &= 0,17 \times 1 \times \sqrt{28} \times 1000 \times 95 \\
 &= 85.458 \text{ N} = 85,458 \text{ kN} \\
 \phi V_c &= 0,75 V_c \\
 &= 0,75 \times 85,458 \\
 &= 64,0933 \text{ kN} > V_u = 30,23 \text{ (aman)}
 \end{aligned}$$

### 2.3.5.2 Perencanaan Balok Bordes

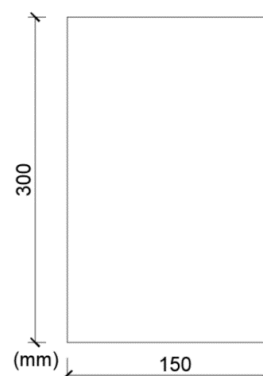
Total berat DL = 19,89 kN/m

Total berat LL = 10,39 kN/m

lebar balok (bw) = 150 mm

tinggi balok (h) = 300 mm

Direncanakan balok bordes ukuran  $15 \times 30$



Gambar 2.43 Rencana Dimensi Balok Bordes

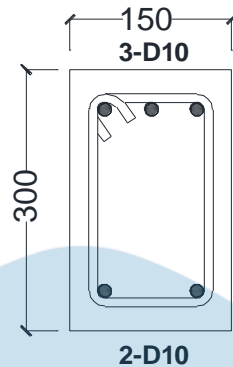
Tulangan Pokok = D10  
 Tulangan Sengkang = P8  
 Fy tul. Pokok = 420 Mpa  
 Fy tul. Sengkang = 280 Mpa  
 Selimut Beton = 20 mm  
 ds = tinggi balok – selimut beton – D8 – (0,5×D10)  
 = 300 – 20 – 8 – (0,5 × 10)  
 = 267 mm  
 Wu (1,2D + 1,6L) = 1,2 (19,89) + 1,6 (10,39)  
 = 40,492 kN/m  
 Mu (1/8WuL<sup>2</sup>) = 1/8 × 40,492 × 10,39<sup>2</sup>  
 = 20,246 kNm

#### Rencana Tulangan Tumpuan

Mux = 0,8 × 20,246 = 16,197 kNm  
 Rn =  $\frac{Mux \times 10^6}{0,9 \times bw \times ds^2} = \frac{16,197 \times 10^6}{0,9 \times 150 \times 267^2} = 1,68$   
 $\rho$  perlu =  $\frac{0,85 \times 25}{420} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2Rn}{0,85 \times 25}}\right)$   
 =  $\frac{0,85 \times 25}{420} \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1,68}{0,85 \times 25}}\right)$   
 = 0,00418  
 $\rho$  min = 1,4/Fy tul. Pokok  
 = 1,4/420 = 0,0033  
 As perlu =  $\rho$  perlu × bw × ds  
 = 0,00418 × 150 × 267 = 167,396 mm<sup>2</sup>  
 Jumlah tulangan (n) =  $\frac{As\ perlu}{1/4 \times \pi \times D10^2}$   
 =  $\frac{167,396}{1/4 \times \pi \times 10^2}$   
 = 2,13

Digunakan tulangan 3D10





Gambar 2.44 Detail Balok Bordes Tumpuan

**Rencana Tulangan Lapangan**

$$M_{ux} = 0,5 \times 20,246 = 10,123 \text{ kNm}$$

$$R_n = \frac{M_{ux} \times 10^6}{0,9 \times b_w \times d_s^2} = \frac{10,123 \times 10^6}{0,9 \times 150 \times 267^2} = 1,05$$

$$\rho_{\text{perlu}} = \frac{0,85 \times 25}{420} \times \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2R_n}{0,85 \times 25}} \right)$$

$$= \frac{0,85 \times 25}{420} \times \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 1,05}{0,85 \times 25}} \right)$$

$$= 0,0026$$

$$\rho_{\text{min}} = 1,4 / F_y \text{ tul. Pokok}$$

$$= 1,4 / 420 = 0,0033$$

$$A_s \text{ perlu} = \rho_{\text{perlu}} \times b_w \times d_s$$

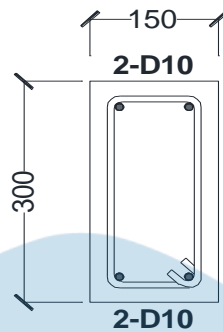
$$= 0,0026 \times 150 \times 267 = 102,9146 \text{ mm}^2$$

$$\text{Jumlah tulangan (n)} = \frac{A_s \text{ perlu}}{1/4 \times \pi \times D10^2}$$

$$= \frac{102,9146}{1/4 \times \pi \times 10^2}$$

$$= 1,309$$

Digunakan tulangan 2D10



Gambar 2.45 Detail Balok Bordes Lapangan

**Rencana Tulangan Sengkang Tumpuan**

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0,17 \times \sqrt{25} \times b_w \times d_s \times 10^{-3} \\
 &= 0,17 \times \sqrt{25} \times 150 \times 267 \times 10^{-3} \\
 &= 34,0425 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \theta V_c &= 0,75 \times V_c \\
 &= 0,75 \times 34,0425 = 25,53 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_u &= \frac{1}{2} \times W_u \times L_1 \\
 &= \frac{1}{2} \times 40,492 \times 2 \\
 &= 40,492 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_s &= \frac{V_u}{0,75} - \theta V_c \\
 &= \frac{40,492}{0,75} - 25,53 \\
 &= 28,46 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{s \text{ max}} &= 0,66 \times \sqrt{25} \times b_w \times d_s \times 10^{-3} \\
 &= 0,66 \times \sqrt{25} \times 150 \times 267 \times 10^{-3} \\
 &= 132,165 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$V_{s \text{ max}} > V_s$$

Direncanakan sengkang 2P8

$$\begin{aligned}
 A_s &= 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times P_8^2 \\
 &= 100,53 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$S \text{ (jarang sengkang)} = \frac{A_s \times F_y \text{ tul.sengkang} \times d_s}{V_s \times 10^3}$$

$$= \frac{100,53 \times 280 \times 267}{28,46 \times 10^3}$$

$$= 264,10 \text{ mm}$$

$$\text{Spasi max2} = 6.D10$$

$$= 6 \times 10 = 60 \text{ mm}$$

Jadi digunakan tulangan Senggang Tumpuan 2P8-50

### Rencana Tulangan Senggang Lapangan

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \times \sqrt{25} \times b_w \times d_s \times 10^{-3} \\ &= 0,17 \times \sqrt{25} \times 150 \times 267 \times 10^{-3} \\ &= 34,0425 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \theta V_c &= 0,75 \times V_c \\ &= 0,75 \times 34,0425 = 25,53 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_u &= 1/4 \times W_u \times L_1 \\ &= 1/4 \times 40,492 \times 2 \\ &= 20,246 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{V_u}{0,75} - \theta V_c \\ &= \frac{20,246}{0,75} - 25,53 \\ &= 1,46 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{s \text{ max}} &= 0,66 \times \sqrt{25} \times b_w \times d_s \times 10^{-3} \\ &= 0,66 \times \sqrt{25} \times 150 \times 267 \times 10^{-3} \\ &= 132,165 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$V_{s \text{ max}} > V_s$$

Direncanakan senggang 2P8

$$\begin{aligned} A_s &= 2 \times 1/4 \times \pi \times P8^2 \\ &= 100,53 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S \text{ (jarang senggang)} &= \frac{A_s \times F_y \text{ tul. senggang} \times d_s}{V_s \times 10^3} \\ &= \frac{100,53 \times 280 \times 267}{1,46 \times 10^3} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 2752,45 \text{ mm} \\
 \text{Spasi max} &= ds/2 \\
 &= \frac{267}{2} = 133,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Jadi digunakan tulangan Sengkang lapangan 2P8-100

## 2.4 Pembebanan dan Pemodelan Struktur

Dalam perencanaan gedung bertingkat perlu dilakukan adanya perencanaan pembebanan gravitasi maupun pembebanan gempa. Hal ini bertujuan agar struktur gedung tersebut mampu untuk memikul beban-beban yang terjadi. Pembebanan gravitasi mengacu pada ketentuan SNI 03-2847-2013, dan pembebanan gempa dengan mengacu pada SNI 03-1727-2013, yang didalamnya terdapat ketentuan dan persyaratan perhitungan beban gempa.

### 2.4.1 Pembebanan

Beban-beban yang terjadi meliputi beban mati, beban hidup, dan beban gempa.

#### 1. Beban Mati dan Beban Hidup

Beban mati terdiri dari berat sendiri elemen struktur dan berat sendiri tambahan.

Beban hidup berdasarkan SNI 1727-2013. Uraianya sebagai berikut:

Beban Mati

- Berat sendiri pelat atap = 2,88 kN/m<sup>2</sup>
- Waterproofing = 1,2 kN/m<sup>2</sup>
- Plafon dan lain-lain = 0,25 kN/m<sup>2</sup>
- Berat sendiri pelat lantai = 2,88 kN/m<sup>2</sup>
- Pasir 4 cm = 0,68 kN/m<sup>2</sup>
- Spesi 2 cm = 0,4 kN/m<sup>2</sup>
- Penutup Lantai = 0,24 kN/m<sup>2</sup>
- Partisi = 1 kN/m<sup>2</sup>

Beban Hidup

- Live Load = 4,79 kN/m<sup>2</sup>

## 2. Rekapitulasi Beban Mati Bangunan Gedung

Tabel 2.13 Beban Mati Struktur

| Lantai      | Komponen    | Berat (kN) | Berat Total (kN) |
|-------------|-------------|------------|------------------|
| 1           | Pelat       | 7499,2     | 11309,8          |
|             | Balok Induk | 2221,632   |                  |
|             | Balok Anak  | 379,36     |                  |
|             | Kolom       | 1209,6     |                  |
| 2           | Pelat       | 7499,2     | 11309,8          |
|             | Balok Induk | 2221,632   |                  |
|             | Balok Anak  | 379,36     |                  |
|             | Kolom       | 1209,6     |                  |
| 3           | Pelat       | 3880       | 6310,42          |
|             | Balok Induk | 1403,136   |                  |
|             | Balok Anak  | 282,4      |                  |
|             | Kolom       | 745,2      |                  |
| Berat Total |             |            | 28930            |

### 2.4.2 Beban Gempa

Desain beban gempa mengacu peraturan gempa terbaru yaitu SNI 1726-2019. Tahapan-tahapan dalam menentukan beban gempa dinamik diantaranya sebagai berikut :

#### 1. Menentukan Kategori Risiko Bangunan

Penentuan kategori risiko bangunan disesuaikan dengan fungsi dari bangunan itu sendiri.

| Jenis pemanfaatan   | Kategori risiko |
|---|-----------------|
| <p>Gedung dan nongedung yang dikategorikan sebagai fasilitas yang penting, termasuk, tetapi tidak dibatasi untuk:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Bangunan-bangunan monumental</b></li> <li>- Gedung sekolah dan fasilitas pendidikan</li> <li>- Rumah ibadah</li> <li>- Rumah sakit dan fasilitas kesehatan lainnya yang memiliki fasilitas bedah dan unit gawat darurat</li> <li>- Fasilitas pemadam kebakaran, ambulans, dan kantor polisi, serta garasi kendaraan darurat</li> <li>- Tempat perlindungan terhadap gempa bumi, tsunami, angin badai, dan tempat perlindungan darurat lainnya</li> <li>- Fasilitas kesiapan darurat, komunikasi, pusat operasi dan fasilitas lainnya untuk tanggap darurat</li> <li>- Pusat pembangkit energi dan fasilitas publik lainnya yang dibutuhkan pada saat keadaan darurat</li> <li>- Struktur tambahan (termasuk menara telekomunikasi, tangki penyimpanan bahan bakar, menara pendingin, struktur stasiun listrik, tangki air pemadam kebakaran atau struktur rumah atau struktur pendukung air atau material atau peralatan pemadam kebakaran) yang disyaratkan untuk beroperasi pada saat keadaan darurat</li> </ul> <p>Gedung dan nongedung yang dibutuhkan untuk mempertahankan fungsi struktur bangunan lain yang masuk ke dalam kategori risiko IV.</p> | IV              |

Gambar 2.46 Tabel Kategori Risiko

Bangunan Museum Tahan Gempa Yogyakarta ditentukan menggunakan kategori risiko IV, hal ini ditentukan karena museum termasuk bangunan monumental.

## 2. Menentukan Faktor Keutamaan Gempa ( $I_e$ )

Faktor keutamaan gempa didapatkan berdasarkan kategori risiko yang telah didapatkan pada langkah 1. Sehingga didapatkan faktor keutamaan gempa seperti berikut :

| Kategori risiko | Faktor keutamaan gempa, $I_e$ |
|-----------------|-------------------------------|
| I atau II       | 1.0                           |
| III             | 1.25                          |
| IV              | 1.50                          |

Gambar 2.47 Tabel Faktor Keutamaan Gempa

Sesuai dengan kategori risiko yang didapatkan berupa kategori risiko IV, maka faktor keutamaan gempa yang didapatkan sebesar 1,50.

## 3. Menentukan Klasifikasi Situs

Tabel 2.14 Klasifikasi Situs

| Elevasi (m) | d (tebal) | $N_{SPT}$ | (di/Ni) | $N^*$         | Su  | (di/Su) | Su            |
|-------------|-----------|-----------|---------|---------------|-----|---------|---------------|
| 3           | 3         | 29,5      | 0,0847  | <b>37,358</b> | 46  | 0,0543  | <b>89,081</b> |
| 6,5         | 3,5       | 33,75     | 0,1037  |               | 67  | 0,0522  |               |
| 10          | 3,5       | 30        | 0,1167  |               | 89  | 0,0393  |               |
| 15          | 5         | 27,5      | 0,1818  |               | 100 | 0,05    |               |
| 18,5        | 3,5       | 45,25     | 0,0663  |               | 110 | 0,0272  |               |
| 23,5        | 5         | 41,75     | 0,1198  |               | 91  | 0,0549  |               |
| 30          | 6,5       | 60        | 0,1083  |               | 132 | 0,0492  |               |
|             | 30        |           | 0,8093  |               |     | 0,3428  |               |

Dari klasifikasi situs tanah, maka diperoleh nilai  $N^*$  adalah 37,358 dan  $Su^*$  adalah 89,081. Berdasarkan persyaratan:

a.  $10 < N^* < 50$

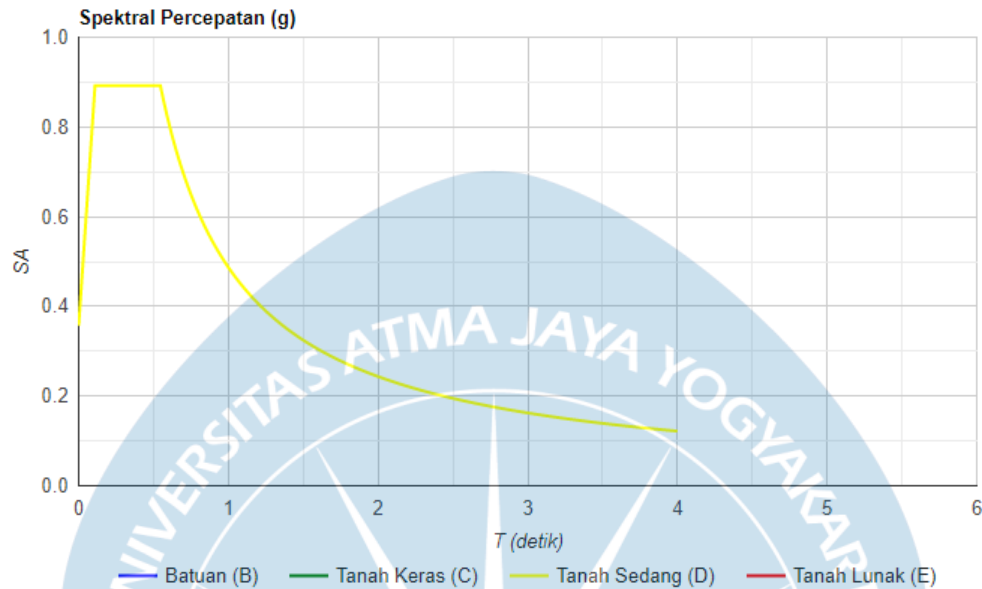
$$10 < 37,358 < 50$$

b.  $50 \text{ kPa} < Su^* < 100 \text{ kPa}$

$$50 \text{ kPa} < 89,081 \text{ kPa} < 100 \text{ kPa}$$

Dari kedua persyaratan tersebut di atas, maka nilai  $N^*$  dan  $Su^*$  memenuhi, maka klasifikasi tanah termasuk ke dalam tanah sedang dengan kelas situs SD (Tanah Sedang).

#### 4. Menentukan Parameter Percepatan Spektrum Desain (SDS dan SD1)



Gambar 2.48 Grafik Spektral Percepatan

Jenis Batuan  
Tanah Sedang (D)

| Variabel      | Nilai |
|---------------|-------|
| $S_{MS}$ (g)  | 1.339 |
| $S_{M1}$ (g)  | 0.731 |
| $S_{DS}$ (g)  | 0.893 |
| $S_{D1}$ (g)  | 0.487 |
| $T_0$ (detik) | 0.109 |
| $T_5$ (detik) | 0.546 |

Gambar 2.49 Grafik Nilai Percepatan

Dengan menggunakan *website* Desain Spektra Indonesia didapatkan nilai percepatan desain spektrum.

$$S_{DS} (g) = 0,893$$

$$S_{D1} (g) = 0,487$$

## 5. Menentukan Kategori Desain Seismik

Berdasarkan nilai yang didapatkan dari Desain Spektra Indonesia pada langkah sebelumnya maka, Gedung Museum Gempa Yogyakarta termasuk pada kategori desain seismik D menggunakan tabel 8 dan tabel 9 pada SNI 1726-2019. Pemilihan kategori desain sebagai berikut.

**Tabel 8 – Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek**

| Nilai $S_{DS}$             | Kategori risiko    |    |
|----------------------------|--------------------|----|
|                            | I atau II atau III | IV |
| $S_{DS} < 0,167$           | A                  | A  |
| $0,167 \leq S_{DS} < 0,33$ | B                  | C  |
| $0,33 \leq S_{DS} < 0,50$  | C                  | D  |
| $0,50 \leq S_{DS}$         | D                  | D  |

Gambar 2.50 Tabel 8 Kategori Desain Seismik

**Tabel 9 – Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode 1 detik**

| Nilai $S_{D1}$              | Kategori risiko    |    |
|-----------------------------|--------------------|----|
|                             | I atau II atau III | IV |
| $S_{D1} < 0,067$            | A                  | A  |
| $0,067 \leq S_{D1} < 0,133$ | B                  | C  |
| $0,133 \leq S_{D1} < 0,20$  | C                  | D  |
| $0,20 \leq S_{D1}$          | D                  | D  |

Gambar 2.51 Tabel 9 Kategori Desain Seismik

## 6. Menentukan Sistem Penahan Gempa

Berdasarkan tabel 9 pada SNI 1726-2019 sistem struktur akan menggunakan system rangka pemikul momen khusus. Pemilihan sistem penahan gempa tersebut diperlihatkan pula pada tabel berikut :

Berdasarkan diatas didapatkan pula data tambahan untuk desain struktur yaitu :

$R^a = 8$  (Koefisien Modifikasi Respon)

$\Omega_o^b = 3$  (Faktor Kuat Lebih Sistem)

$C_d^c = 5,5$  (Faktor Pembesaran Defleksi)



SNI 1726:2019

Tabel 12 – Faktor  $R$ ,  $C_d$ , dan  $\Omega_0$  untuk sistem pemikul gaya seismik (lanjutan)

| Sistem pemikul gaya seismik  | Koefisien modifikasi respons, $R^a$ | Faktor kuat lebih sistem, $\Omega_0^b$ | Faktor pembesaran defleksi, $C_d^c$ | Batasan sistem struktur dan batasan tinggi struktur, $h_n$ (m) <sup>d</sup> |    |                 |                 |                 |
|--|-------------------------------------|--|-------------------------------------|---|----|-----------------|-----------------|-----------------|
|  |                                     |  |                                     | Kategori desain seismik   |    |                 |                 |                 |
|  |                                     |  |                                     | B   | C  | D <sup>e</sup>  | E <sup>e</sup>  | F <sup>f</sup>  |
| 19. Dinding geser batu bata polos didetail   | 2                                   | 2%                                     | 2                                   | TB  | TI | TI              | TI              | TI              |
| 20. Dinding geser batu bata polos biasa  | 1%                                  | 2%                                     | 1%                                  | TB  | TI | TI              | TI              | TI              |
| 21. Dinding geser batu bata prategang  | 1%                                  | 2%                                     | 1%                                  | TB  | TI | TI              | TI              | TI              |
| 22. Dinding rangka ringan (kayu) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang dimaksudkan untuk tahanan geser   | 7                                   | 2%                                     | 4%                                  | TB  | TB | 22              | 22              | 22              |
| 23. Dinding rangka ringan (baja canai dingin) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang dimaksudkan untuk tahanan geser, atau dengan lembaran baja | 7                                   | 2%                                     | 4%                                  | TB  | TB | 22              | 22              | 22              |
| 24. Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya   | 2%                                  | 2%                                     | 2%                                  | TB  | TB | 10              | TB              | TB              |
| 25. Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk  | 8                                   | 2%                                     | 5                                   | TB  | TB | 48              | 48              | 30              |
| 26. Dinding geser pelat baja khusus  | 7                                   | 2                                      | 6                                   | TB  | TB | 48              | 48              | 30              |
| <b>C. Sistem rangka pemikul momen</b>  |                                     |  |                                     |   |    |                 |                 |                 |
| 1. Rangka baja pemikul momen khusus  | 8                                   | 3                                      | 5%                                  | TB  | TB | TB              | TB              | TB              |
| 2. Rangka batang baja pemikul momen khusus   | 7                                   | 3                                      | 5%                                  | TB  | TB | 48              | 30              | TI              |
| 3. Rangka baja pemikul momen menengah  | 4%                                  | 3                                      | 4                                   | TB  | TB | 10 <sup>e</sup> | TI <sup>e</sup> | TI <sup>e</sup> |
| 4. Rangka baja pemikul momen biasa   | 3%                                  | 3                                      | 3                                   | TB  | TB | TI <sup>e</sup> | TI <sup>e</sup> | TI <sup>e</sup> |
| 5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus <sup>g</sup>  | 8                                   | 3                                      | 5%                                  | TB  | TB | TB              | TB              | TB              |
| 6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah   | 5                                   | 3                                      | 4%                                  | TB  | TB | TI              | TI              | TI              |
| 7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa  | 3                                   | 3                                      | 2%                                  | TB  | TI | TI              | TI              | TI              |
| 8. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus   | 8                                   | 3                                      | 5%                                  | TB  | TB | TB              | TB              | TB              |
| 9. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah   | 5                                   | 3                                      | 4%                                  | TB  | TB | TI              | TI              | TI              |
| 10. Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen   | 6                                   | 3                                      | 5%                                  | 48  | 48 | 30              | TI              | TI              |
| 11. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa   | 3                                   | 3                                      | 2%                                  | TB  | TI | TI              | TI              | TI              |
| 12. Rangka baja canai dingin pemikul momen khusus dengan pembuatan <sup>h</sup>  | 3%                                  | 3 <sup>e</sup>                         | 3%                                  | 10  | 10 | 10              | 10              | 10              |

Gambar 2.52 Tabel 12 Sistem Penahan Gempa

## 7. Menentukan Perkiraan Periode Alami Fundamental

Berdasarkan SNI 1726 2019 Ps. 7.8.2 penentuan perkiraan perioda alami fundamental ( $T_a$ ) harus ditentukan dari persamaan 36 pada SNI 1726-2019. Dengan parameter  $C_t$  dan  $x$  diambil dari tabel 18 SNI 1726 2019, serta  $h_n$  merupakan total tinggi bangunan.

$$T_a = C_t h_n^x = 0,0466 \times 12^0 = 0,43616 \text{ detik}$$

Batas atas perioda struktur didapatkan dengan mengalikan nilai periode fundamental perkiraan dengan koefisien  $C_u$ . Berdasarkan nilai  $S_{D1}$  yang didapat dari perhitungan sebelumnya.

$$C_u = 1,4 \rightarrow C_u \text{ (Tabel 14 SNI 1726–2019)}$$

$$C_u \times T_a = 1,4 \times 0,43616 = 0,61063 \text{ detik.}$$

$T_c = 0,89495$  detik (dari permodelan struktur ETABS) Sehingga,

$$T_c > C_u \times T_a \rightarrow 0,89495 > 0,61063$$

Maka dipakai  $T = C_u \times T_a = 0,61063$  detik

## 8. Perhitungan Gaya Dasar Seismik (V)

Menurut SNI 1726-2019 ps. 7.8.1.1 koefisien Respon Seismik ( $C_s$ ) ditentukan dengan perumusan berikut :

$$C_s = \frac{S_{DS}}{R/I_e} = \frac{0,893}{8/1,5} = 0,167$$

Dan  $C_s$  tidak lebih dari :

$$C_s = \frac{S_{DS}}{T \left( \frac{R}{I_e} \right)} = \frac{0,893}{0,6106 \left( \frac{8}{1,5} \right)} = 0,150$$

Dan  $C_s$  tidak kurang dari :

$$C_s = 0,044 \times 0,893 \times 1,5 \geq 0,01$$

$$C_s = 0,058938 \geq 0,01$$

Maka, nilai  $C_s$  diambil 0,150

Berdasarkan SNI 1726-2019 Ps. 7.8.1 penentuan gaya dasar seismik (V) dihitung berdasarkan persamaan 30 pada SNI 1726-2019. Sebagaimana ditunjukkan pula pada rumus dibawah ini:

$$\begin{aligned} V &= C_s \times W = 0,150 \times 28930 \text{ kN} \\ &= 4326,15019 \text{ kN} \end{aligned}$$

## 9. Distribusi Vertikal Gaya Gempa

Gaya gempa lateral yang timbul pada semua tingkat harus ditentukan berdasarkan persamaan 40 pada SNI 1726-2019. Sebagaimana ditunjukkan pula pada rumus dibawah ini:

$$F_x = C_{vx} V$$

Dimana :

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n w_i h_i^k}$$

Untuk  $T < 0,5$  s; maka nilai  $k = 1$

$T > 2,5$  s; maka nilai  $k = 2$

$0,5 s < T < 2,5s$  ; maka nilai k diperoleh dengan cara interpolasi dari kedua nilai k di atas.

$T = 0,6106$  detik, maka nilai k adalah :

$$k = 1 + \left( \frac{0,6106-0,5}{2,5-0,5} \times (2-1) \right) = 1,05531$$

Maka, besarnya distribusi beban geser akibat gempa dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2.15 Gaya gempa ( $F_x$ ) pada tiap lantai

| Lantai | $H_x$ (m) | $W_x$ (kN) | $w_x h_x^k$ | $F_x$ (kN) |
|--------|-----------|------------|-------------|------------|
| Atap   | 12        | 6310,416   | 122867,4    | 1517,400   |
| 2      | 8         | 11309,792  | 151620,1    | 1872,500   |
| 1      | 4         | 11309,792  | 75810,3     | 936,250    |
| Jumlah |           | 28930      | 350298,4    | 4326,150   |

Tabel 2.16 Gaya gempa ( $F_y$ ) pada tiap lantai

| Lantai | $H_x$ (m) | $W_x$ (kN) | $w_x h_x^k$ | $F_x$ (kN) |
|--------|-----------|------------|-------------|------------|
| Atap   | 12        | 6310,416   | 122867,4    | 1517,400   |
| 2      | 8         | 11309,792  | 151620,1    | 1872,500   |
| 1      | 4         | 11309,792  | 75810,3     | 936,250    |
| Jumlah |           | 28930      | 350298,4    | 4326,150   |

### 2.4.3 Kombinasi Pembebanan

Kombinasi pembebanan yang diterapkan pada bangunan ini dibuat berdasarkan pada SNI 2847:2013 pasal 9.2.1 sebagai berikut :

- 1)  $U=1,4D$
- 2)  $U=1,2D + 1,6L + 0,5 (Lr \text{ atau } R)$
- 3)  $U=1,2D + 1,6 (Lr \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5 W)$
- 4)  $U=1,2D + 1W + L + 0,5 (Lr \text{ atau } R)$
- 5)  $U=1,2D + 1L + 1E$
- 6)  $U=0,9D + 1W$
- 7)  $U=0,9D + 1E$

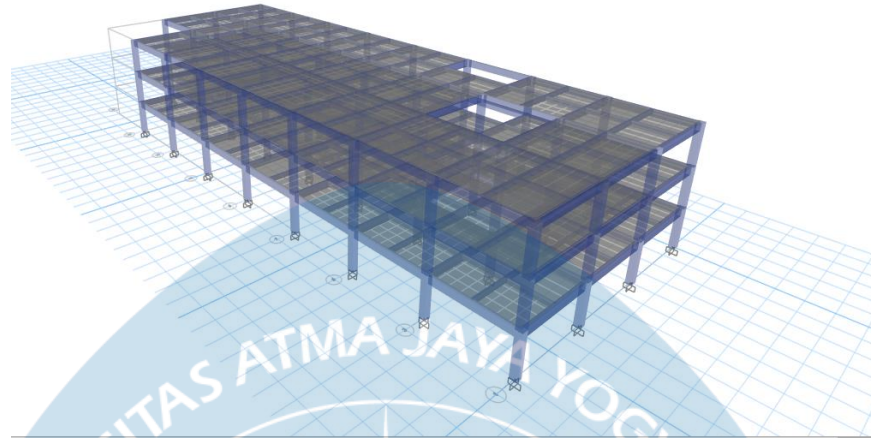
Untuk kombinasi beban gempa vertikal berdasarkan dan faktor reduksi maka kombinasi nomor 10,11,13, dan 14 dimodifikasi. Berdasarkan SNI 1726:2012 besarnya beban

gempa vertikal ditentukan sebesar  $E_v = 0,2S_d s_D$ , kemudian faktor redundansi berdasarkan SNI 1726:2012 pasal 7.3.4.2 didapatkan nilai  $\rho = 1,3$ . Untuk beban gempa, analisa terhadap arah gaya gempa yang berbalik arah. Maka modifikasi kombinasi pembebanan setelah mendapat pengaruh beban vertikal dan faktor redundansi yang digunakan adalah sebagai berikut :

- 1)  $1,4 D$
- 2)  $1,4 + 1,6 L$
- 3)  $1,379 D + 1,0 L + 1,3 E_{x1} + 0,39 E_{y1}$
- 4)  $1,379 D + 1,0 L + 1,3 E_{x1} - 0,39 E_{y1}$
- 5)  $1,379 D + 1,0 L - 1,3 E_{x1} + 0,39 E_{y1}$
- 6)  $1,379 D + 1,0 L - 1,3 E_{x1} - 0,39 E_{y1}$
- 7)  $1,379 D + 1,0 L + 0,39 E_{x1} + 1,3 E_{y1}$
- 8)  $1,379 D + 1,0 L - 0,39 E_{x1} + 1,3 E_{y1}$
- 9)  $1,379 D + 1,0 L + 0,39 E_{x1} - 1,3 E_{y1}$
- 10)  $1,379 D + 1,0 L - 0,39 E_{x1} - 1,3 E_{y1}$
- 11)  $0,72 D + 1,3 E_{x1} + 0,39 E_{y1}$
- 12)  $0,72 D + 1,3 E_{x1} - 0,39 E_{y1}$
- 13)  $0,72 D - 1,3 E_{x1} + 0,39 E_{y1}$
- 14)  $0,72 D - 1,3 E_{x1} - 0,39 E_{y1}$
- 15)  $0,72 D + 0,39 E_{x1} + 1,3 E_{y1}$
- 16)  $0,72 D - 0,39 E_{x1} + 1,3 E_{y1}$
- 17)  $0,72 D + 0,39 E_{x1} - 1,3 E_{y1}$
- 18)  $0,72 D - 0,39 E_{x1} - 1,3 E_{y1}$

#### 2.4.4 Pemodelan 3D Dimensi

Perhitungan analisis beban gempa perlu suatu permodelan struktur, dimana struktur gedung Museum Tahan Gempa Yogyakarta ini memiliki total 3 lantai, dengan tinggi masing-masing lantai 4 meter dan tinggi total gedung 12 meter. Memodelkan bangunan Gedung 3 lantai menggunakan struktur komposit dengan bantuan software ETABS, hasil output dari perhitungan program aplikasi ETABS diperoleh gaya eksternal dan internal yang timbul pada struktur gedung 3 lantai akibat beban yang ada



Gambar 2.53 Pemodelan 3 Dimensi

### Kontrol Simpangan (Drift)

Berdasarkan SNI 1726-2012 kontrol drift dan syarat drift harus ditentukan berdasarkan perumusan 34 pada SNI 1726-2012 Pasal 7.8.6 yaitu sebagai berikut :

$$\delta x = \frac{Cd \delta x_e}{I}$$

Dimana :

$\delta x$  = Defleksi pada lantai ke-x

$Cd$  = Faktor pembesaran defleksi (5,0)

$I$  = Faktor keutamaan gempa

Sedangkan untuk syarat simpangan antar lantai ijin pada SNI 1726-2012 Pasal 7.12.1,  $\Delta s = 0,020hs_x$  dengan  $\Delta s$  merupakan selisih antara defleksi yang ditunjukkan pada analisis struktur, ( $\delta x_e$ ) dengan defleksi akibat pembesaran, ( $\delta x$ ).

Hasil dari kontrol simpangan pada analisis struktur akibat gempa dinamik pada masing-masing arah diperlihatkan pada tabel berikut :

Tabel 2.17 Kontrol Simpangan Arah – X

| Lantai   | h <sub>x</sub> | h    | γ <sub>xe</sub> | Cd  | I <sub>e</sub> | Δ       | Δ <sub>i</sub> | Δ <sub>ijin</sub> | Ket |
|----------|----------------|------|-----------------|-----|----------------|---------|----------------|-------------------|-----|
|          | mm             | mm   | mm              |     |                | mm      | mm             | mm                |     |
| ATAP     | 12000          | 4000 | 31,839          | 5,5 | 1,5            | 116,743 | 31,735         | 60                | OK  |
| Lantai 2 | 8000           | 4000 | 23,184          | 5,5 | 1,5            | 85,008  | 49,515         | 60                | OK  |
| Lantai 1 | 4000           | 4000 | 9,68            | 5,5 | 1,5            | 35,493  | 35,493         | 60                | OK  |

Tabel 2.18 Kontrol Simpangan Arah – Y

| Lantai   | hx    | h    | yx <sub>e</sub> | Cd  | I <sub>e</sub> | Δ      | Δ <sub>i</sub> | Δ <sub>ijin</sub> | ket |
|----------|-------|------|-----------------|-----|----------------|--------|----------------|-------------------|-----|
|          | mm    | mm   | mm              |     |                | mm     | mm             | mm                |     |
| ATAP     | 12000 | 4000 | 26,712          | 5,5 | 1,5            | 97,944 | 25,696         | 60                | OK  |
| Lantai 2 | 8000  | 4000 | 19,704          | 5,5 | 1,5            | 72,248 | 41,558         | 60                | OK  |
| Lantai 1 | 4000  | 4000 | 8,37            | 5,5 | 1,5            | 30,690 | 30,690         | 60                | OK  |

## 2.5 Kesimpulan

Dari hasil perancangan struktur atas Gedung Museum Gempa Yogyakarta 2006 terdapat struktur atap dan struktur bangunan. Untuk struktur atap yang berbentuk pelana terdiri dari rangka kuda-kuda dan gording, elemen kuda-kuda yang dirancang menggunakan baja WF ukuran 200x100 yang memiliki bentang 16 m dengan jarak antar kuda-kuda yaitu 4 m, kemudian disetiap jarak kuda-kuda terdapat juga ikatan angin yang menggunakan baja dengan diameter 16 mm. Pada elemen Gording digunakan baja C125x50x20.2 dengan jarak antar gording 1,2 m dan terdapat juga Sagrod yang menggunakan baja berdiameter 6 mm sebagai penghubung antar gording.

Kemudian Struktur bangunan yang sudah dirancang terdiri dari balok, kolom, pelat lantai, dan tangga. Untuk Balok memiliki dua jenis yang pertama memiliki ukuran 35x70 cm yang pada tulangan tumpuan menggunakan tulangan utama 7D22 dan 4D22 dengan tulangan Sengkang  $\emptyset 10$  jarak 100 mm, kemudian untuk tulangan lapangan menggunakan tulangan utama 2D22 dan 4D22 dengan Sengkang  $\emptyset 10$  jarak 200 mm, lalu balok ini terdapat juga tulangan pinggang yang menggunakan D22. Kemudian untuk balok yang kedua memiliki ukuran 25x45 cm yang pada tulangan tumpuan menggunakan tulangan utama 3D19 dan 2D19 dengan tulangan Sengkang  $\emptyset 10$  jarak 100 mm, kemudian untuk tulangan lapangan menggunakan tulangan utama 2D19 dan 2D19 dengan Sengkang  $\emptyset 10$  jarak 200 mm. Elemen Kolom pada bangunan ini memiliki ukuran 60x60 cm dengan tulangan utama 16D25 dengan Sengkang 3D13 yang daerah Lo berjarak 120 mm dan Sengkang luar Lo berjarak 150 mm.

Elemen yang selanjutnya yaitu pelat lantai yang memiliki tiga tipe ukuran yaitu 6x4 m, 4x2 m, dan 4x4 m. Masing-masing pelat menggunakan tulangan  $\emptyset 10$  dengan tebal 12 cm. Kemudian bangunan ini terdapat satu jenis tangga yang memiliki tulangan pokok D10 pada tumpuan berjarak 150 mm dan pada tulangan lapangan berjarak 100 mm. Kemudian tulangan susutnya menggunakan tulangan P8 jarak 150 mm. Pada bagian tangga ini juga terdapat balok bordes yang memiliki ukuran 15x30 cm yang menggunakan tulangan utama 3D10 dan 2D10 dengan tulangan Sengkang P8 jarak 50 mm pada tumpuan dan P8 jarak 100 mm pada lapangan.