

## BAB II

### PERENCANAAN STRUKTUR

#### 2.1 Perencanaan Awal Struktur

##### 2.1.1 Estimasi Dimensi Balok

###### 1. Estimasi Dimensi Balok Induk

- a. Panjang bentang (L) = 8840 mm.  
Tinggi minimum (Hmin) =  $1/15 \times 8840 = 589,33$  mm.  
Lebar balok minimum (b) =  $0,5 \times h = 0,5 \times 600 = 300$  mm.  
Dimensi balok bentang 8840 mm diambil 350x600 mm.
- b. Panjang bentang (L) = 7452,426 mm.  
Tinggi minimum (Hmin) =  $1/15 \times 7452,426 = 496,8284$  mm.  
Lebar balok minimum (b) =  $0,5 \times h = 0,5 \times 500 = 250$  mm.  
Dimensi balok bentang mm diambil 350x500 mm.
- c. Panjang bentang (L) = 5261,34 mm.  
Tinggi minimum (Hmin) =  $1/15 \times 5261,34 = 350,756$  mm.  
Lebar balok minimum (b) =  $0,5 \times h = 0,5 \times 400 = 200$  mm.  
Dimensi balok bentang mm diambil 350x400 mm.

###### 2. Estimasi Dimensi Balok Anak

- a. Panjang bentang (L) = 7431 mm  
Tinggi Minimum (Hmin) =  $1/16 \times 7431 = 464,4$  mm  
Lebar balok minimum (b) =  $1/2 \times H \text{ min} = 232,2$  mm  
Digunakan balok anak dengan ukuran 300x550 mm.
- b. Panjang bentang (L) = 5000 mm  
Tinggi Minimum (Hmin) =  $1/16 \times 5000 = 312,5$  mm  
Lebar balok minimum (b) =  $1/2 \times H \text{ min} = 156,25$  mm  
Digunakan balok anak dengan ukuran 250x350 mm.

Dari hasil estimasi balok maka dalam perencanaan digunakan dimensi balok:

- a. Balok Induk : - 350/600 mm  
- 350/500 mm  
- 350/400 mm
- b. Balok Anak : - 300x550 mm  
- 250x350 mm

### 2.1.2 Estimasi Tebal Pelat Lantai Satu Arah

$$f_c = 25 \text{ Mpa}$$

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

- a. Lokasi: Area laundry

Tipe peletakan: satu ujung menerus

$$L_x = 3000 \text{ mm}$$

$$L_y = 6878 \text{ mm}$$

$$h_{\min} = L_x/24 = 3000/24 = 125 \text{ mm} \quad (\text{SNI } 2847:2019 \quad \text{Tabel}$$

7.3.1.1)

$$h_{\text{pelat dipakai}} = 125 \text{ mm}$$

- b. Lokasi: kamar bentang tengah

Tipe peletakan: satu ujung menerus

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

$$L_y = 5000 \text{ mm}$$

$$h_{\min} = L_x/24 = 2000/24 = 83,33 \text{ mm} \quad (\text{SNI } 2847:2019 \quad \text{Tabel}$$

7.3.1.1)

$$h_{\text{pelat dipakai}} = 125 \text{ mm}$$

### 2.1.3 Estimasi Tebal Pelat Lantai Dua Arah

Estimasi tinggi pelat lantai koridor dengan ukuran 3700 mm x 3550 mm.

Ukuran balok di sekeliling pelat:

Balok 1 : 350 mm x 500 mm (tepi)

Balok 2 : 350 mm x 500 mm

Balok 3 : 350 mm x 600 mm

Balok 4 : 350 mm x 400 mm

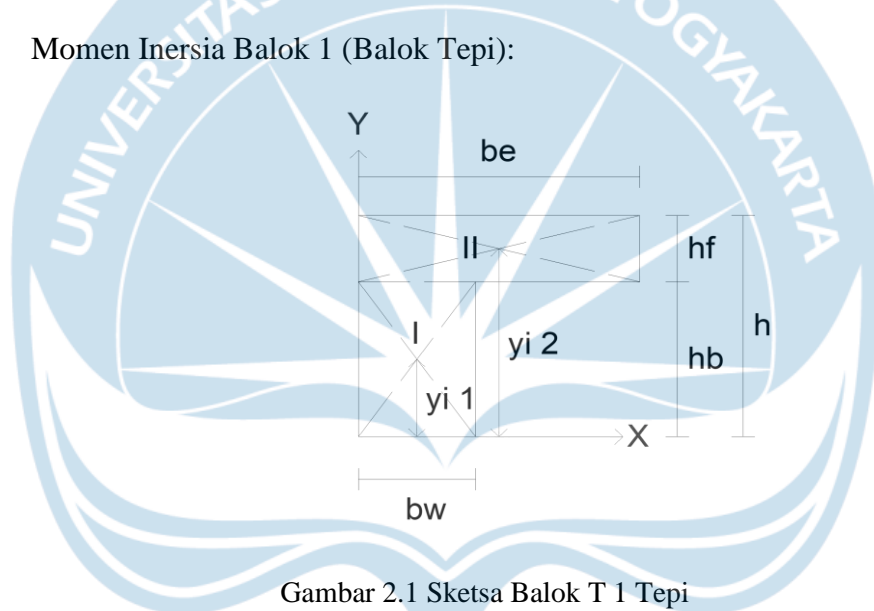
$$f'_c = 25 \text{ Mpa}$$

$$f_y = 280 \text{ Mpa}$$

$L_y / L_x = 3700 \text{ mm} / 3550 \text{ mm} = 1,042 < 2$ , maka termasuk pelat 2 arah.

Estimasi awal tebal pelat ( $h_f$ ) = 125 mm.

Momen Inersia Balok 1 (Balok Tepi):



Gambar 2.1 Sketsa Balok T 1 Tepi

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

$$h = 500 \text{ mm}$$

$$h_b = 500 - 125 = 375 \text{ mm}$$

$$b_e = 725 \text{ mm}$$

$$A_1 = 131250 \text{ mm}^2$$

$$A_2 = 90625 \text{ mm}^2$$

$$y_{i1} = 187,5 \text{ mm}$$

$$y_{i2} = 437,5 \text{ mm}$$

$$\bar{y} = 289,61 \text{ mm}$$

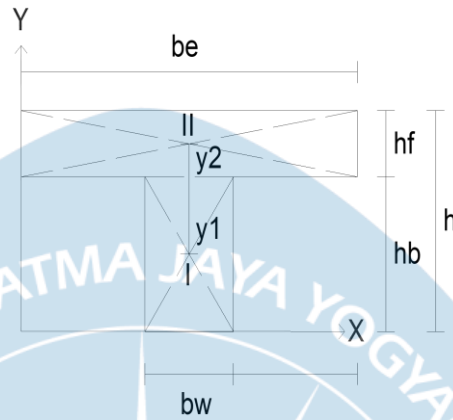
$$Y_1 = 102,11 \text{ mm}$$

$$Y_2 = 147,89 \text{ mm}$$

$$I_{b1} = \left[ \left( \frac{1}{12} \cdot b_w \cdot h_b^3 \right) + (A_1 \cdot Y_1) \right] + \left[ \left( \frac{1}{12} \cdot b_e \cdot h_f^3 \right) + (A_2 \cdot Y_2) \right]$$

$$I_{b1} = 5006659423 \text{ mm}^4$$

Momen Inersia Balok 2:



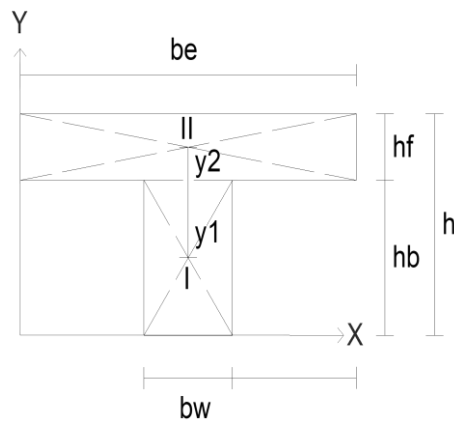
Gambar 2.2 Sketsa Balok T 2

$b_w$	= 350 mm	$y_{i1}$	= 187,5 mm
$h$	= 500 mm	$y_{i2}$	= 437,5 mm
$h_b$	= 500 - 125 = 375 mm	$\bar{y}$	= 315,41 mm
$b_e$	= 1100 mm	$Y_1$	= 127,91 mm
$A_1$	= 131250 mm <sup>2</sup>	$Y_2$	= 122,09 mm
$A_2$	= 137500 mm <sup>2</sup>		

$$I_{b2} = \left[ \left( \frac{1}{12} \cdot b_w \cdot h_b^3 \right) + (A_1 \cdot Y_1) \right] + \left[ \left( \frac{1}{12} \cdot b_e \cdot h_f^3 \right) + (A_2 \cdot Y_2) \right]$$

$$I_{b2} = 5914070070 \text{ mm}^4$$

Momen Inersia Balok 3:



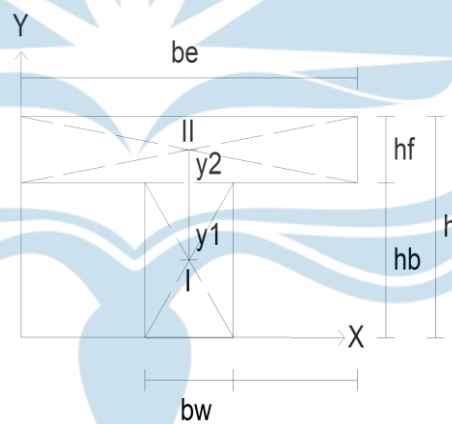
Gambar 2.3 Sketsa Balok T 3

$b_w$	$= 350 \text{ mm}$	$y_{i1}$	$= 237,5 \text{ mm}$
$h$	$= 600 \text{ mm}$	$y_{i2}$	$= 537,5 \text{ mm}$
$h_b$	$= 600 - 125 = 475 \text{ mm}$	$\bar{y}$	$= 385,79 \text{ mm}$
$b_e$	$= 1300 \text{ mm}$	$Y_1$	$= 148,29 \text{ mm}$
$A_1$	$= 166250 \text{ mm}^2$	$Y_2$	$= 151,71 \text{ mm}$
$A_2$	$= 162500 \text{ mm}^2$		

$$I_{b3} = \left[ \left( \frac{1}{12} \cdot b_w \cdot h_b^3 \right) + (A_1 \cdot Y_1) \right] + \left[ \left( \frac{1}{12} \cdot b_e \cdot h_f^3 \right) + (A_2 \cdot Y_2) \right]$$

$$I_{b3} = 10733347443 \text{ mm}^4$$

Momen Inersia Balok 4:



Gambar 2.4 Sketsa Balok T 4

$b_w$	$= 350 \text{ mm}$	$y_{i1}$	$= 137,5 \text{ mm}$
$h$	$= 400 \text{ mm}$	$y_{i2}$	$= 337,5 \text{ mm}$
$h_b$	$= 400 - 125 = 275 \text{ mm}$	$\bar{y}$	$= 245,28 \text{ mm}$
$b_e$	$= 900 \text{ mm}$	$Y_1$	$= 107,78 \text{ mm}$
$A_1$	$= 96250 \text{ mm}^2$	$Y_2$	$= 92,22 \text{ mm}$
$A_2$	$= 112500 \text{ mm}^2$		

$$I_{b4} = \left[ \left( \frac{1}{12} \cdot b_w \cdot h_b^3 \right) + (A_1 \cdot Y_1) \right] + \left[ \left( \frac{1}{12} \cdot b_e \cdot h_f^3 \right) + (A_2 \cdot Y_2) \right]$$

$$I_{b4} = 2827910195 \text{ mm}^4$$

Momen Inersia Pelat :

$$l_x = \frac{1}{2} L_x = \frac{1}{2} \times 3550 = 1775 \text{ mm}$$

$$l_y = \frac{1}{2} L_y = \frac{1}{2} \times 3700 = 1850 \text{ mm}$$

$$I_s = \frac{1}{12} \cdot l_y \cdot h_f^3$$

$$I_{s1} = \frac{1}{12} \times 1850 \times 125^3$$

$$= 301106771 \text{ mm}^4$$

$$I_s = \frac{1}{12} \cdot l_x \cdot h_f^3$$

$$I_{s2} = \frac{1}{12} \times 1775 \times 125^3$$

$$= 288899739,6 \text{ mm}^4$$

$$I_s = \frac{1}{12} \cdot l_y \cdot h_f^3$$

$$I_{s3} = \frac{1}{12} \times 1850 \times 125^3$$

$$= 301106770,8 \text{ mm}^4$$

$$I_s = \frac{1}{12} \cdot l_x \cdot h_f^3$$

$$I_{s4} = \frac{1}{12} \times 1775 \times 125^3$$

$$= 288899739,6 \text{ mm}^4$$

Menghitung rasio kekakuan balok ( $\alpha_f$ ):

$$E = 4700 \sqrt{f'c} = 4700 \sqrt{25} = 23500$$

$$E_{cb1} = E_{cb2} = E_{cb3} = E_{cb4} = E = 23500$$

$$\alpha_{f1} = \frac{Ecb1.Ib1}{Ecs2.Is1}$$

$$\alpha_{f1} = \frac{23500 \times 5006659423}{23500 \times 301106770,8} = 16,63$$

$$\alpha_{f2} = \frac{Ecb2.Ib2}{Ecs2.Is2}$$

$$\alpha_{f2} = \frac{23500 \times 5914070070}{23500 \times 288899739} = 20,47$$

$$\alpha_{f3} = \frac{Ecb3.Ib3}{Ecs3.Is3}$$

$$\alpha_{f3} = \frac{23500 \times 10733347443}{23500 \times 301106770,8} = 35,65$$

$$\alpha_{f4} = \frac{Ecb4.Ib4}{Ecs4.Is4}$$

$$\alpha_{f4} = \frac{23500 \times 2827910195}{23500 \times 288899739,6} = 9,79$$

Menghitung nilai  $\beta$ :

$$\beta = \frac{\text{bentang bersih dalam arah panjang (mm)}}{\text{bentang bersih dalam arah pendek (mm)}}$$

$$= \frac{3350}{3250}$$

$$= 1,03$$

Rasio kekakuan rata-rata ( $\alpha_{fm}$ ):

$$\alpha_{fm} = \frac{\alpha_{f1} + \alpha_{f2} + \alpha_{f3} + \alpha_{f4}}{4} = \frac{16,63 + 20,47 + 35,65 + 9,79}{4} = 20,63$$

Sehingga  $\alpha_{fm} > 2$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 8.3.1.2, karena  $\alpha_{fm} > 2$  maka untuk mencari ketebalan pelat digunakan persamaan berikut:

$$h = \frac{Ln(0,8 + (\frac{fy}{1400}))}{36 + 9\beta} = \frac{3350(0,8 + \frac{280}{1400})}{36 + (9 \times 1,03)} = 73,99 \text{ mm}$$

$$h_{\min} = 90 \text{ mm}$$

$$h_{\text{pakai}} = 125 \text{ mm} > h = 90 \text{ mm (OK)}$$

Maka tebal pelat lantai dua arah yang digunakan adalah 125 mm.

#### 2.1.4 Estimasi Dimensi Kolom

Preliminary design kolom dilakukan dengan menghitung kebutuhan dimensi kolom terhadap beban aksial yang dipikulnya. Pada gedung ini beban aksial yang bekerja adalah :

##### Lantai 4

Beban Mati Lantai 4:

##### a. Berat sendiri kolom

$$\text{Berat volume} = 24 \text{ kN/m}^3$$

$$\text{Volume} = 3,5 \times 0,5 \times 0,5 = 0,875 \text{ m}^3$$

$$\text{Beban} = 24 \times 0,875 = 21 \text{ kN}$$

##### b. Balok induk

$$\text{Berat volume} = 24 \text{ kN/m}^3$$

$$\text{Volume} = (5,5815 \times 0,6 \times 0,3) + (5,4 \times 0,6 \times 0,3) = 1,97667 \text{ m}^3$$

$$\text{Beban} = 24 \times 1,97667 = 47,44008 \text{ kN}$$

##### c. Balok anak

$$\text{Berat volume} = 24 \text{ kN/m}^3$$

$$\text{Volume} = (6,545 \times 0,5 \times 0,25) + (5,3 \times 0,5 \times 0,25) = 1,480625 \text{ m}^3$$

$$\text{Beban} = 24 \times 1,480625 = 35,535 \text{ kN}$$

##### d. Dinding hebel

$$= 1 \text{ kN/m}^3$$

##### e. Pelat atap

$$\text{Berat volume} = 24 \text{ kN/m}^3$$

$$\text{Volume} = 5,4 \times 5,58 \times 0,125 = 30,132 \text{ m}^3$$

$$\text{Beban} = 24 \times 30,132 = 90,396 \text{ kN}$$

##### f. Pasir



Berat volume		= 17 kN/m <sup>3</sup>
Volume	= 5,4 x 5,58 x 0,05	= 30,132 m <sup>3</sup>
Beban	= 17 x 30,132	= 25,6122 kN

g. Keramik

Berat volume		= 21 kN/m <sup>3</sup>
Volume	= 5,4 x 5,58	= 30,132 m <sup>3</sup>
Beban	= 21 x 0,02 x 30,132	= 12,65544 kN

h. Spesi

Berat volume		= 21 kN/m <sup>3</sup>
Volume	= 5,4 x 0,03 x 5,58	= 30,132 m <sup>3</sup>
Beban	= 21 x 0,03 x 30,132	= 18,98316 kN

i. Plafon

Berat volume		= 0,18 kN/m <sup>3</sup>
Volume	= 5,4 x 0,18 x 5,58	= 30,132 m <sup>3</sup>
Beban	= 0,18 x 30,132	= 5,42376 kN

j. MEP

Berat volume		= 0,05 kN/m <sup>3</sup>
Volume	= 5,4 x 0,05 x 5,58	= 30,132 m <sup>3</sup>
Beban	= 0,05 x 30,132	= 1,5066 kN

Total Dead Load (PD) = 258,552 kN

Beban Hidup Lantai 4:

a. Atap

Berat volume		= 0,96 kN/m <sup>3</sup>
Volume	= 5,4 x 5,58	= 30,132 m <sup>3</sup>
Beban	= 0,96 x 30,132	= 28,92672 kN

Total Live Load 4 (PL) = 28,927 kN

Pu lantai 4 = 1,2 PD + 1,6 PL  
= 1,2 x 258,55224 + 1,6 x 28,92672

$$= 356,54544 \text{ kN}$$

### Lantai 3

Beban mati lantai 3 :

a. Kolom berat sendiri

$$\text{Berat volume} = 24 \text{ kN/m}^3$$

$$\text{Volume} = 3,5 \times 0,5 \times 0,5 = 0,875 \text{ m}^3$$

$$\text{Beban} = 24 \times 0,875 = 21 \text{ kN}$$

b. Balok induk

$$\text{Berat volume} = 24 \text{ kN/m}^3$$

$$\text{Volume} = (5,5815 \times 0,6 \times 0,3) + (5,4 \times 0,6 \times 0,3) = 1,97667 \text{ m}^3$$

$$\text{Beban} = 24 \times 1,97667 = 47,44008 \text{ kN}$$

c. Balok anak

$$\text{Berat volume} = 24 \text{ kN/m}^3$$

$$\text{Volume} = (6,545 \times 0,5 \times 0,25) + (5,3 \times 0,5 \times 0,25) = 1,480625 \text{ m}^3$$

$$\text{Beban} = 24 \times 1,480625 = 35,535 \text{ kN}$$

d. Dinding hebel

$$= 1 \text{ kN/m}^3$$

e. Pelat atap

$$\text{Berat volume} = 24 \text{ kN/m}^3$$

$$\text{Volume} = 5,4 \times 0,125 \times 5,58 = 30,132 \text{ m}^3$$

$$\text{Beban} = 24 \times 0,125 \times 30,132 = 90,396 \text{ kN}$$

f. Pasir

$$\text{Berat volume} = 17 \text{ kN/m}^3$$

$$\text{Volume} = 5,4 \times 0,05 \times 5,58 = 30,132 \text{ m}^3$$

$$\text{Beban} = 17 \times 0,05 \times 30,132 = 25,6122 \text{ kN}$$

g. Keramik

$$\text{Berat volume} = 21 \text{ kN/m}^3$$

$$\text{Volume} = 5,4 \times 0,02 \times 5,58 = 30,132 \text{ m}^3$$

$$\text{Beban} = 21 \times 0,02 \times 30,132 = 12,65544 \text{ kN}$$

h. Spesi

Berat volume		= 21 kN/m <sup>3</sup>
Volume	= 5,4 x 0,03 x 5,58	= 30,132 m <sup>3</sup>
Beban	= 21 x 30,132	= 18,98316 kN

i. Plafon

Berat volume		= 0,18 kN/m <sup>3</sup>
Volume	= 5,4 x 5,58	= 30,132 m <sup>3</sup>
Beban	= 0,18 x 30,132	= 5,42376 kN

j. MEP

Berat volume		= 0,05 kN/m <sup>3</sup>
Volume	= 5,4 x 5,58	= 30,132 m <sup>3</sup>
Beban	= 0,05 x 30,132	= 1,5066 kN

Total Dead Load (PD) = 258,55224

Beban hidup lantai 3 :

a. Koridor

Berat volume		= 4,79 kN/m <sup>3</sup>
Volume		= 30,132 m <sup>3</sup>
Beban	= 4,79 x 30,132	= 144,33228

kN

Total Live Load (PL) = 144,33228

Pu lantai 3 = (1,2 PD + 1,6 PL) + Pu lantai 4  
= (1,2 x 258,55224 + 1,6 x 144,33228) + 356,54544  
= 897,73978 kN

**Lantai 2**

Beban mati lantai 2 :

a. Kolom berat sendiri

Berat volume		= 24 kN/m <sup>3</sup>
--------------	--	------------------------

Volume	$= 3,5 \times 0,5 \times 0,5$	$= 0,875 \text{ m}^3$
Beban	$= 24 \times 0,875$	$= 21 \text{ kN}$
<b>b. Balok induk</b>		
Berat volume		$= 24 \text{ kN/m}^3$
Volume	$= (5,5815 \times 0,6 \times 0,3) + (5,4 \times 0,6 \times 0,3)$	$= 1,97667 \text{ m}^3$
Beban	$= 24 \times 1,97667$	$= 47,44008 \text{ kN}$
<b>c. Balok anak</b>		
Berat volume		$= 24 \text{ kN/m}^3$
Volume	$= (6,545 \times 0,5 \times 0,25) + (5,3 \times 0,5 \times 0,25)$	$= 1,480625 \text{ m}^3$
Beban	$= 24 \times 1,480625$	$= 35,535 \text{ kN}$
<b>d. Dinding hebel</b>		
		$= 1 \text{ kN/m}^3$
<b>e. Pelat atap</b>		
Berat volume		$= 24 \text{ kN/m}^3$
Volume	$= 5,4 \times 0,125 \times 5,58$	$= 30,132 \text{ m}^3$
Beban	$= 24 \times 30,132$	$= 90,396 \text{ kN}$
<b>f. Pasir</b>		
Berat volume		$= 17 \text{ kN/m}^3$
Volume	$= 5,4 \times 0,05 \times 5,58$	$= 30,132 \text{ m}^3$
Beban	$= 17 \times 30,132$	$= 25,6122 \text{ kN}$
<b>g. Keramik</b>		
Berat volume		$= 21 \text{ kN/m}^3$
Volume	$= 5,4 \times 0,02 \times 5,58$	$= 30,132 \text{ m}^3$
Beban	$= 21 \times 30,132$	$= 12,65544 \text{ kN}$
<b>h. Spesi</b>		
Berat volume		$= 21 \text{ kN/m}^3$
Volume	$= 5,4 \times 0,03 \times 5,58$	$= 30,132 \text{ m}^3$
Beban	$= 21 \times 0,03 \times 30,132$	$= 18,98316 \text{ kN}$
<b>i. Plafon</b>		
Berat volume		$= 0,18 \text{ kN/m}^3$

$$\begin{aligned} \text{Volume} &= 5,4 \times 5,58 &&= 30,132 \text{ m}^3 \\ \text{Beban} &= 0,18 \times 30,132 &&= 5,42376 \text{ kN} \end{aligned}$$

j. MEP

$$\begin{aligned} \text{Berat volume} &&&= 0,05 \text{ kN/m}^3 \\ \text{Volume} &= 5,4 \times 5,58 &&= 30,132 \text{ m}^3 \\ \text{Beban} &= 0,05 \times 30,132 &&= 1,5066 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{Total Dead Load (PD)} = 258,55224$$

Beban hidup lantai 2 :

a. Koridor

$$\begin{aligned} \text{Berat volume} &&&= 4,79 \text{ kN/m}^3 \\ \text{Volume} &&&= 30,132 \text{ m}^3 \\ \text{Beban} &= 4,79 \times 30,132 &&= 144,33228 \\ &&&\text{kN} \end{aligned}$$

$$\text{Total Live Load (PL)} = 144,33228$$

$$\begin{aligned} \text{Pu lantai 2} &= (1,2 \text{ PD} + 1,6 \text{ PL}) + \text{Pu lantai 3} \\ &= (1,2 \times 258,55224 + 1,6 \times 144,33228) + 356,54544 \\ &= 1438,9341 \text{ kN} \end{aligned}$$

### Lantai 1

Beban mati lantai 1 :

a. Kolom berat sendiri

$$\begin{aligned} \text{Berat volume} &&&= 24 \text{ kN/m}^3 \\ \text{Volume} &= 3,75 \times 0,5 \times 0,5 &&= 0,9375 \text{ m}^3 \\ \text{Beban} &= 24 \times 0,9375 &&= 22,5 \text{ kN} \end{aligned}$$

b. Balok induk

$$\begin{aligned} \text{Berat volume} &&&= 24 \text{ kN/m}^3 \\ \text{Volume} &= (5,5815 \times 0,6 \times 0,3) + (5,4 \times 0,6 \times 0,3) &&= 1,97667 \text{ m}^3 \\ \text{Beban} &= 24 \times 1,97667 &&= 47,44008 \text{ kN} \end{aligned}$$

c. Balok anak		
Berat volume		= 24 kN/m <sup>3</sup>
Volume	= (6,545 x 0,5 x 0,25) + (5,3 x 0,5 x 0,25)	= 1,480625 m <sup>3</sup>
Beban	= 24 x 1,480625	= 35,535 kN
d. Dinding hebel		= 1 kN/m <sup>3</sup>
e. Pelat atap		
Berat volume		= 24 kN/m <sup>3</sup>
Volume	= 5,4 x 0,125 x 5,58	= 30,132 m <sup>3</sup>
Beban	= 24 x 30,132	= 90,396 kN
f. Pasir		
Berat volume		= 17 kN/m <sup>3</sup>
Volume	= 5,4 x 0,05 x 5,58	= 30,132 m <sup>3</sup>
Beban	= 17 x 30,132	= 25,6122 kN
g. Keramik		
Berat volume		= 21 kN/m <sup>3</sup>
Volume	= 5,4 x 0,02 x 5,58	= 30,132 m <sup>3</sup>
Beban	= 21 x 30,132	= 12,65544 kN
h. Spesi		
Berat volume		= 21 kN/m <sup>3</sup>
Volume	= 5,4 x 0,03 x 5,58	= 30,132 m <sup>3</sup>
Beban	= 21 x 30,132	= 18,98316 kN
i. Plafon		
Berat volume		= 0,18 kN/m <sup>3</sup>
Volume	= 5,4 x 5,58	= 30,132 m <sup>3</sup>
Beban	= 0,18 x 30,132	= 5,42376 kN
j. MEP		
Berat volume		= 0,05 kN/m <sup>3</sup>
Volume	= 5,4 x 5,58	= 30,132 m <sup>3</sup>

$$\text{Beban} = 0,05 \times 30,132 = 1,5066 \text{ kN}$$

$$\text{Total Dead Load (PD)} = 260,05224 \text{ kN}$$

Beban hidup lantai 1 :

a. Koridor

$$\text{Berat volume} = 4,79 \text{ kN/m}^3$$

$$\text{Volume} = 30,132 \text{ m}^3$$

$$\text{Beban} = 4,79 \times 30,132 = 144,33228$$

kN

$$\text{Total Live Load (PL)} = 144,33228$$

$$\begin{aligned} \text{Pu Total (lantai 1)} &= (1,2 \text{ PD} + 1,6 \text{ PL}) + \text{Pu lantai 2} \\ &= (1,2 \times 260,05224 + 1,6 \times 144,33228) + 1438,9341 \\ &= 1981,9284 \text{ kN} \end{aligned}$$

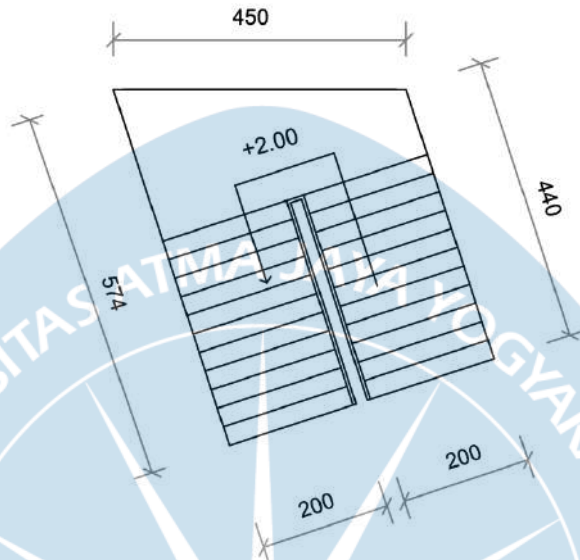
$$f'c = 25 \text{ Mpa}$$

$$A = \frac{3 \times Pu}{f'c} = \frac{3 \times 1981,9284}{25} = 237831,41 \text{ mm}^2$$

Maka estimasi ukuran kolom yang digunakan adalah 500 mm x 500 mm ( $A = 250000 \text{ mm}^2 > 237831,41 \text{ mm}^2$ )

## 2.1.5 Estimasi Dimensi Tangga

### 1. Dimensi Tangga A Lantai 1



Gambar 2.5 Denah Rencana Tangga A Lantai 1

#### 1) Data perencanaan

- Tinggi tangga = 400 cm
- Tinggi bordes = 200 cm
- Lebar tangga = 200 cm
- Lebar anak tangga (antrede) = 30 cm
- Tinggi anak tangga (optrade) = 16,6 cm
- Tebal pelat tangga = 15 cm
- Tebal pelat bordes = 15 cm

#### 2) Perhitungan Perencanaan Dimensi Tangga

##### a. Panjang tangga arah horizontal

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{Antrede}}{\text{Optrade}} \times \text{tinggi bordes} \\ &= \frac{30}{16,6} \times 200 \\ &= 361,446 \text{ cm} \end{aligned}$$



b. Panjang pelat miring

$$\begin{aligned} &= \sqrt{\text{panjang horizontal}^2 + \text{tinggi bordes}^2} \\ &= \sqrt{361,446^2 + 200^2} \\ &= 413 \text{ cm} \end{aligned}$$

c. Sudut kemiringan tangga

$$\begin{aligned} \alpha &= \text{Arc tan } \frac{\text{optrade}}{\text{antrede}} \\ &= \text{Arc tan } \frac{16,6}{30} \\ &= 28,96^\circ \end{aligned}$$

d. Jumlah anak tangga

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{tinggi tangga}}{\text{optrade}} \\ &= \frac{400}{16,6} \\ &= 24 \text{ buah} \end{aligned}$$

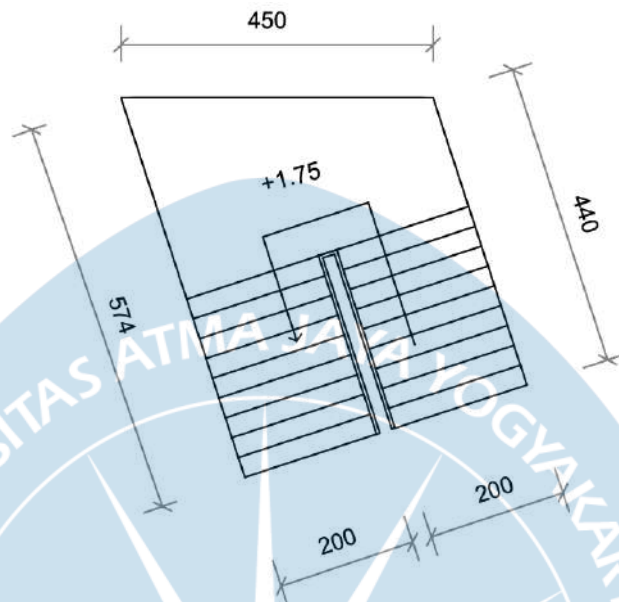
e. Panjang pelat total

$$\begin{aligned} &= \text{Panjang pelat miring} + \text{lebar bordes} \\ &= 413 \text{ cm} + 108 \text{ cm} \\ &= 521 \text{ cm} \end{aligned}$$

f. Tebal pelat ekuivalent tangga

$$\begin{aligned} &= \text{tebal pelat tangga} + \text{tebal ke titik berat} \\ &= 15 \text{ cm} + (0,5 \times \text{optrade} \times \cos \text{ sudut kemiringan tangga}) \\ &= 15 \text{ cm} + (0,5 \times 16,6 \text{ cm} \times \cos 28,96^\circ) \\ &= 15 \text{ cm} + 7,26 \text{ cm} \\ &= 22,26 \text{ cm} \end{aligned}$$

## 2. Dimensi Tangga A Lantai 2 dan 3



Gambar 2.6 Denah Rencana Tangga A Lantai 2 dan 3

### 1) Data perencanaan

- Tinggi tangga = 350 cm
- Tinggi bordes = 175 cm
- Lebar tangga = 200 cm
- Lebar anak tangga (antrede) = 30 cm
- Tinggi anak tangga (optrade) = 17,5 cm
- Tebal pelat tangga = 15 cm
- Tebal pelat bordes = 15 cm

### 2) Perhitungan Perencanaan Dimensi Tangga

#### a. Panjang tangga arah horizontal

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{Antrede}}{\text{Optrade}} \times \text{tinggi bordes} \\ &= \frac{30}{17,5} \times 175 \\ &= 300 \text{ cm} \end{aligned}$$

#### b. Panjang pelat miring

$$\begin{aligned}
&= \sqrt{\text{panjang horizontal}^2 + \text{tinggi bordes}^2} \\
&= \sqrt{300^2 + 175^2} \\
&= 347 \text{ cm}
\end{aligned}$$

c. Sudut kemiringan tangga

$$\begin{aligned}
\alpha &= \text{Arc tan } \frac{\text{optrade}}{\text{antrede}} \\
&= \text{Arc tan } \frac{17,5}{30} \\
&= 30,26^\circ
\end{aligned}$$

d. Jumlah anak tangga

$$\begin{aligned}
&= \frac{\text{tinggi tangga}}{\text{optrade}} \\
&= \frac{350}{17,5} \\
&= 20 \text{ buah}
\end{aligned}$$

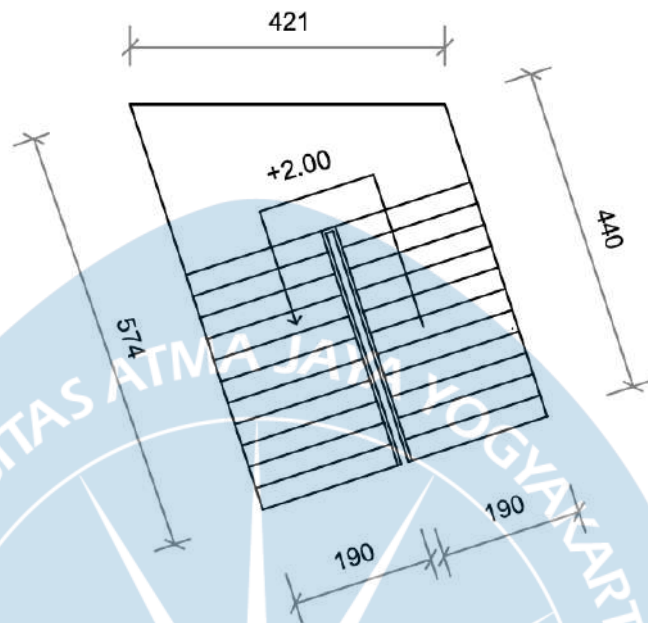
e. Panjang pelat total

$$\begin{aligned}
&= \text{Panjang pelat miring} + \text{lebar bordes} \\
&= 347 \text{ cm} + 170 \text{ cm} \\
&= 517 \text{ cm}
\end{aligned}$$

f. Tebal pelat ekuivalent tangga

$$\begin{aligned}
&= \text{tebal pelat tangga} + \text{tebal ke titik berat} \\
&= 15 \text{ cm} + (0,5 \times \text{optrede} \times \cos \text{sudut kemiringan tangga}) \\
&= 15 \text{ cm} + (0,5 \times 17,5 \text{ cm} \times \cos 30,26^\circ) \\
&= 15 \text{ cm} + 7,56 \text{ cm} \\
&= 22,56 \text{ cm}
\end{aligned}$$

### 3. Dimensi Tangga B Lantai 1



Gambar 2.7 Denah Rencana Tangga B Lantai 1

#### 1) Data perencanaan

- Tinggi tangga = 400 cm
- Tinggi bordes = 200 cm
- Lebar tangga = 190 cm
- Lebar anak tangga (antrede) = 30 cm
- Tinggi anak tangga (optrade) = 16,6 cm
- Tebal pelat tangga = 15 cm
- Tebal pelat bordes = 15 cm

#### 2) Perhitungan Perencanaan Dimensi Tangga

##### a. Panjang tangga arah horizontal

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{Antrede}}{\text{Optrade}} \times \text{tinggi bordes} \\ &= \frac{30}{16,6} \times 200 \\ &= 361,446 \text{ cm} \end{aligned}$$

##### b. Panjang pelat miring

$$\begin{aligned}
&= \sqrt{\text{panjang horizontal}^2 + \text{tinggi bordes}^2} \\
&= \sqrt{361,446^2 + 200^2} \\
&= 413 \text{ cm}
\end{aligned}$$

c. Sudut kemiringan tangga

$$\begin{aligned}
\alpha &= \text{Arc tan } \frac{\text{optrade}}{\text{antrede}} \\
&= \text{Arc tan } \frac{16,6}{30} \\
&= 28,96^\circ
\end{aligned}$$

e. Jumlah anak tangga

$$\begin{aligned}
&= \frac{\text{tinggi tangga}}{\text{optrade}} \\
&= \frac{400}{16,6} \\
&= 24 \text{ buah}
\end{aligned}$$

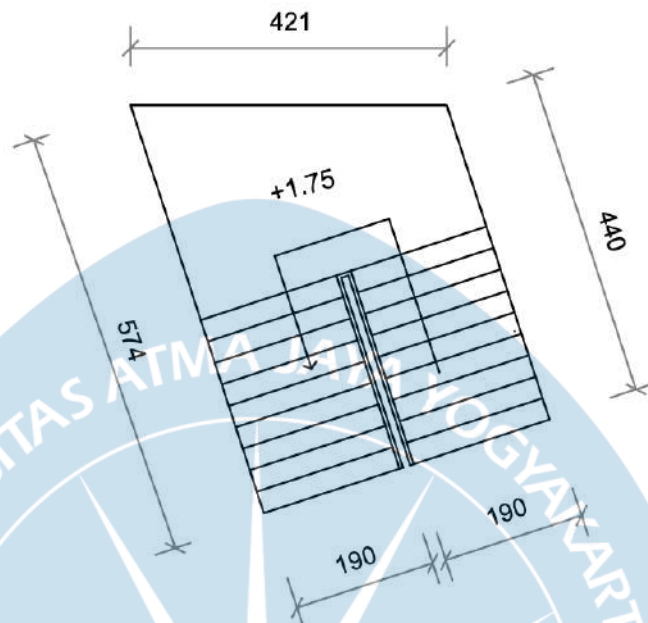
f. Panjang pelat bordes

$$\begin{aligned}
&= \text{Panjang pelat miring} + \text{lebar bordes} \\
&= 413 \text{ cm} + 108 \text{ cm} \\
&= 521 \text{ cm}
\end{aligned}$$

g. Tebal pelat ekuivalent tangga

$$\begin{aligned}
&= \text{tebal pelat tangga} + \text{tebal ke titik berat} \\
&= 15 \text{ cm} + (0,5 \times \text{optrade} \times \cos \text{sudut kemiringan tangga}) \\
&= 15 \text{ cm} + (0,5 \times 16,6 \text{ cm} \times \cos 28,96^\circ) \\
&= 15 \text{ cm} + 7,26 \text{ cm} \\
&= 22,26 \text{ cm}
\end{aligned}$$

#### 4. Dimensi Tangga B Lantai 2 dan 3



Gambar 2.8 Denah Rencana Tangga B Lantai 2 dan 3

##### 1) Data perencanaan

- Tinggi tangga = 350 cm
- Tinggi bordes = 175 cm
- Lebar tangga = 190 cm
- Lebar anak tangga (antrede) = 30 cm
- Tinggi anak tangga (optrade) = 17,5 cm
- Tebal pelat tangga = 15 cm
- Tebal pelat bordes = 15 cm

##### 2) Perhitungan Perencanaan Dimensi Tangga

###### a. Panjang tangga arah horizontal

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{Antrede}}{\text{Optrade}} \times \text{tinggi bordes} \\ &= \frac{30}{17,5} \times 175 \\ &= 300 \text{ cm} \end{aligned}$$

###### b. Panjang pelat miring

$$\begin{aligned}
&= \sqrt{\text{panjang horizontal}^2 + \text{tinggi bordes}^2} \\
&= \sqrt{300^2 + 175^2} \\
&= 347 \text{ cm}
\end{aligned}$$

c. Sudut kemiringan tangga

$$\begin{aligned}
\alpha &= \text{Arc tan } \frac{\text{optrade}}{\text{antrede}} \\
&= \text{Arc tan } \frac{17,5}{30} \\
&= 30,26^\circ
\end{aligned}$$

d. Jumlah anak tangga

$$\begin{aligned}
&= \frac{\text{tinggi tangga}}{\text{optrade}} \\
&= \frac{350}{17,5} \\
&= 20 \text{ buah}
\end{aligned}$$

e. Panjang pelat bordes

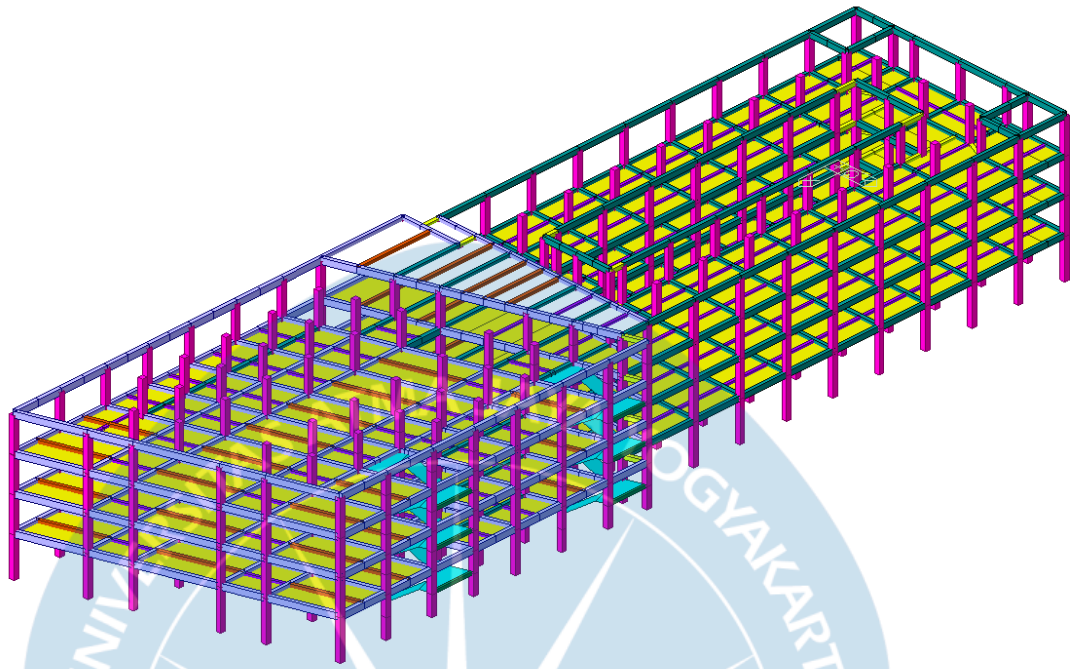
$$\begin{aligned}
&= \text{Panjang pelat miring} + \text{lebar bordes} \\
&= 347 \text{ cm} + 170 \text{ cm} \\
&= 517 \text{ cm}
\end{aligned}$$

f. Tebal pelat ekuivalent tangga

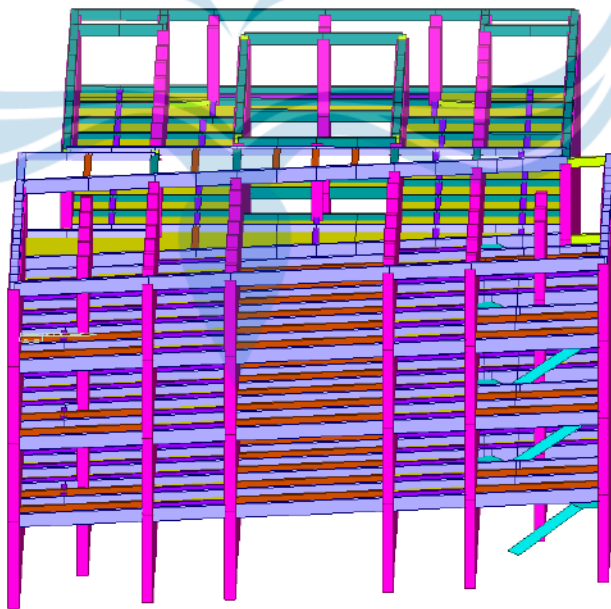
$$\begin{aligned}
&= \text{tebal pelat tangga} + \text{tebal ke titik berat} \\
&= 15 \text{ cm} + (0,5 \times \text{optrede} \times \cos \text{sudut kemiringan tangga}) \\
&= 15 \text{ cm} + (0,5 \times 17,5 \text{ cm} \times \cos 30,26^\circ) \\
&= 15 \text{ cm} + 7,56 \text{ cm} \\
&= 22,56 \text{ cm}
\end{aligned}$$

### 2.1.6 Pemodelan 3 Dimensi Struktur

Gedung *student dormitory* 4 lantai dengan struktur beton bertulang dengan panjang 89 meter dan lebar 26,5 meter. Tinggi struktur adalah 14,5 meter dengan menggunakan kuda-kuda atap baja.

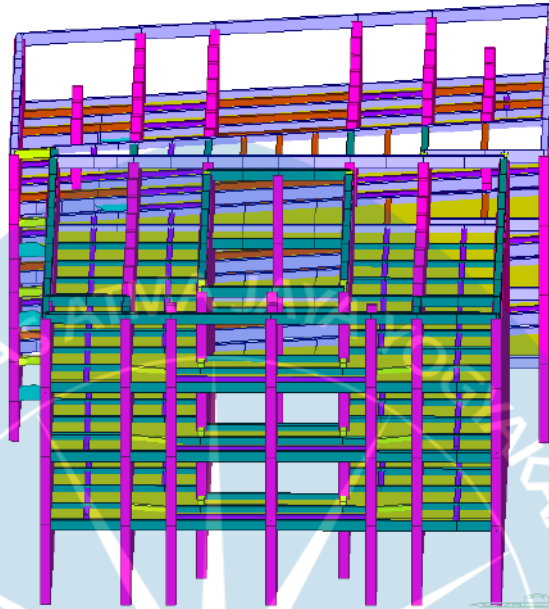


Gambar 2.9 Tampak Isometrik Struktur



Gambar 2.10 Tampak Depan Struktur





Gambar 2.11 Tampak Belakang Struktur

### 2.1.7 Mutu Bahan Struktur

Mutu bahan yang dipakai untuk dalam perencanaan struktur bangunan sebagai berikut:

1. Mutu beton untuk balok, kolom, pelat lantai, dan pelat atap

$$f'c = 25 \text{ Mpa}$$

2. Mutu baja tulangan yang digunakan

$$\text{BJTS 280} \quad : \quad F_y = 280 \text{ Mpa}, F_u = 350 \text{ Mpa}$$

$$\text{BjTS 420B} \quad : \quad F_y = 420 \text{ Mpa}, F_u = 525 \text{ Mpa}$$

### 2.2 Perhitungan Beban Struktur

Pembebanan pelat disesuaikan dengan peraturan beban yang mengacu pada SNI 1727:2020 tentang beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan.

## 2.2.1 Beban Mati

### 1. Beban Mati Pelat Lantai 2 - 4

- Berat sendiri pelat ( $t = 125 \text{ mm}$ )  $= 3 \text{ kN/m}^2$
- Pasir ( $t = 5 \text{ cm}$ )  $= 0,85 \text{ kN/m}^2$
- Spesi ( $t = 3 \text{ cm}$ )  $= 0,63 \text{ kN/m}^2$
- Ubin ( $t = 2 \text{ cm}$ )  $= 0,42 \text{ kN/m}^2$
- MEP  $= 0,05 \text{ kN/m}^2$
- Plafon  $= \underline{0,18 \text{ kN/m}^2}$
- Total Dead Load  $= 5,13 \text{ kN/m}^2$

### 2. Beban Mati Pelat Atap

- Berat sendiri pelat ( $t = 125 \text{ mm}$ )  $= 3 \text{ kN/m}^2$
- Waterproof  $= 0,12$
- MEP  $= 0,05 \text{ kN/m}^2$
- Plafon  $= \underline{0,18 \text{ kN/m}^2}$
- Total Dead Load  $= 3,35 \text{ kN/m}^2$

### 3. Beban Mati Pada Tangga Lantai 1

- Berat pelat ekuivalent ( $t = 254,4 \text{ mm}$ )  $= (0,2544 \text{ m} \times 24 \text{ kN/m}^3)$   
 $= 6,11 \text{ kN/m}^2$
- Berat ubin + spesi ( $t = 50 \text{ mm}$ )  $= (0,05 \text{ m} \times 21 \text{ kN/m}^3)$   $= 1,05 \text{ kN/m}^2$
- Berat pasir ( $t = 50 \text{ mm}$ )  $= (0,05 \text{ m} \times 17 \text{ kN/m}^3)$   $= 0,85 \text{ kN/m}^2$
- Berat *railing* (diperkirakan)  $= \underline{1 \text{ kN/m}^2}$
- Total Dead load  $= 9,01 \text{ kN/m}^2$

### 4. Beban Mati Pada Tangga Lantai 2 - 3

- Berat pelat ekuivalent ( $t = 261,2 \text{ mm}$ )  $= (0,2612 \text{ m} \times 24 \text{ kN/m}^3)$   
 $= 6,27 \text{ kN/m}^2$

- Berat ubin + spesi (t = 50 mm) =  $(0,05 \text{ m} \times 21 \text{ kN/m}^3)$  =  $1,05 \text{ kN/m}^2$
  - Berat pasir (t = 50 mm) =  $(0,05 \text{ m} \times 17 \text{ kN/m}^3)$  =  $0,85 \text{ kN/m}^2$
  - Berat *railing* (diperkirakan) =  $1 \text{ kN/m}^2$
- Total Dead load =  $9,17 \text{ kN/m}^2$

### 5. Beban Mati pada Pelat Bordes

- Berat sendiri pelat (t = 150 mm) =  $(0,15 \times 24 \text{ kN/m}^3)$  =  $3,6 \text{ kN/m}^2$
  - Berat ubin + spesi (t = 50 mm) =  $(0,05 \text{ m} \times 21 \text{ kN/m}^3)$  =  $1,05 \text{ kN/m}^2$
  - Berat pasir (t = 50 mm) =  $(0,05 \text{ m} \times 17 \text{ kN/m}^3)$  =  $0,85 \text{ kN/m}^2$
  - Berat *railing* (diperkirakan) =  $1 \text{ kN/m}^2$
- Total Dead load =  $6,5 \text{ kN/m}^2$

### 6. Beban Mati Merata Dinding Tepi

- Tinggi dinding tepi lantai 2 – 4 =  $3,5 \text{ m}$
- Berat dinding hebel =  $1 \text{ kN/m}^2$
- Beban merata dinding tepi lantai 2 – 4 =  $1 \text{ kN/m}^2 \times 3,5 \text{ m} = 3,5 \text{ kN/m}$

### 7. Beban Mati Merata Dinding Interior

- Tinggi lantai 2 – 4 =  $3,5 \text{ m}$
- Tinggi penggantung plafon =  $0,5 \text{ m}$
- Tinggi dinding interior lantai 2 – 4 =  $3,5 \text{ m} - 0,5 \text{ m} = 3 \text{ m}$
- Berat dinding hebel =  $1 \text{ kN/m}^2$
- Beban merata dinding interior lantai 2 – 4 =  $1 \text{ kN/m}^2 \times 3 \text{ m} = 3 \text{ kN/m}$

### 2.2.2 Beban Hidup

Perencanaan beban hidup menggunakan beban hidup yang telah ditetapkan dalam SNI 1727:2020. Pembebanan beban hidup adalah sebagai berikut:

1. Beban Hidup Kamar = 1,92 kN/m<sup>2</sup>
2. Beban Hidup Koridor = 4,79 kN/m<sup>2</sup>
3. Beban Hidup Perpustakaan = 2,87 kN/m<sup>2</sup>
4. Beban Hidup *Working Space* = 2,4 kN/m<sup>2</sup>
5. Beban. Hidup Toilet = 1,92 kN/m<sup>2</sup>

### 2.3 Analisa Desain Seismik

#### 2.3.1 Klasifikasi Situs

Lokasi data tanah hasil pengujian SPT di daerah Jl Adisucipto, Sleman, Yogyakarta Berikut ini hasil data tanah dari daerah Sleman Yogyakarta.

Tabel 2.1 Hasil Data Tanah Dari Daerah Sleman Yogyakarta

Kedalaman di permukaan	Ni	Kedalaman	di	di/Ni	N=
	0	0			
0 sd 2	12	2	2	0,166667	
2 sd 4	9	4	2	0,222222	
4 sd 6	9	6	2	0,222222	
6 sd 8	14	8	2	0,142857	
8 sd 10	15	10	2	0,133333	
10 sd 12	6	12	2	0,333333	
12 sd 14	9	14	2	0,222222	
14 sd 16	14	16	2	0,142857	
16 sd 18	52	18	2	0,038462	
18 sd 20	60	20	2	0,033333	
20 sd 22	60	22	2	0,033333	
22 sd 24	55	24	2	0,036364	
24 sd 26	56	26	2	0,035714	
26 sd 28	54	28	2	0,037037	
28 sd 30	54	30	2	0,037037	
$\Sigma$			30	1,836994	16,33102

Didapatkan N = 16,33102

Tabel 2.2 Klasifikasi Situs

Kelas situs	$\bar{v}_s$ (m/detik)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{ch}$	$\bar{s}_u$ (kPa)
SA (batuan keras)	>1500	N/A	N/A
SB (batuan)	750 sampai 1500	N/A	N/A
SC (tanah keras, sangat padat dan batuan lunak)	350 sampai 750	>50	$\geq 100$
<b>SD (tanah sedang)</b>	<b>175 sampai 350</b>	<b>15 sampai 50</b>	<b>50 sampai 100</b>
SE (tanah lunak)	< 175	<15	< 50
	Atau setiap profil tanah yang mengandung lebih dari 3 m tanah dengan karakteristik sebagai berikut : 1. Indeks plastisitas, $PI > 20$ , 2. Kadar air, $w \geq 40\%$ , 3. Kuat geser niralir $\bar{s}_u < 25$ kPa		
SF (tanah khusus,yang membutuhkan investigasi geoteknik spesifik dan analisis respons spesifik-situs yang mengikuti 0)	Setiap profil lapisan tanah yang memiliki salah satu atau lebih dari karakteristik berikut: - Rawan dan berpotensi gagal atau runtuh akibat beban gempa seperti mudah likuifaksi, lempung sangat sensitif, tanah tersementasi lemah - Lempung sangat organik dan/atau gambut (ketebalan $H > 3$ m)		

Dari tabel 5 SNI 1726-2019 tentang Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk bangunan Gedung dan Non Gedung, didapatkan bahwa tanah di Sleman, Yogyakarta termasuk dalam kelas situs tanah sedang (SD).

### 2.3.2 Menghitung Nilai $S_{Ds}$ dan $S_{D1}$

Berdasarkan RSA Ciptakakarya tahun 2021, untuk daerah Sleman, Yogyakarta didapatkan:

$$S_s = 0,9951 \text{ g}$$

$$S_1 = 0,4634 \text{ g}$$

Dalam menentukan koefisien situs periode pendek ( $F_a$ ) dan periode 1 detik ( $F_v$ ) sesuai dengan SNI 1726:2019 pada pasal 6.2 serta tabel 6 dan tabel 7.

d.  $F_a$

Pada tabel 6 SNI 1726:2019 dalam menghitung nilai  $F_a$  pada kelas situs SD dan nilai  $S_s$  antara  $S_s = 0,75$  dan  $S_s = 1$  perlu dicari menggunakan interpolasi.

$S_s$	$F_a$
0,75	1,2
0,9951	Y
1	1,1

Interpolasi nilai  $F_a$ :

$$\frac{x-x_1}{x_2-x_1} = \frac{y-y_1}{y_2-y_1}$$

$$\frac{0,9951-0,75}{1-0,75} = \frac{y-1,2}{1,1-1,2}$$

Dari perhitungan interpolasi, didapatkan bahwa nilai  $F_a = 1,10196$ .

e.  $F_v$

Pada tabel 7 SNI 1726:2019 dalam menghitung nilai  $F_v$  pada kelas situs SD dan nilai  $S_1$  antara  $S_1 = 0,4$  dan  $S_1 = 0,5$  perlu dicari menggunakan interpolasi.

S <sub>1</sub>	F <sub>v</sub>
0,4	1,9
0,4634	Y
0,5	1,8

Interpolasi nilai F<sub>v</sub>:

$$\frac{x-x_1}{x_2-x_1} = \frac{y-y_1}{y_2-y_1}$$

$$\frac{0,4634-0,4}{0,5-0,4} = \frac{y-1,9}{1,8-1,9}$$

Dari perhitungan interpolasi, didapatkan bahwa nilai F<sub>v</sub> = 1,8366.

Menentukan nilai S<sub>MS</sub>, S<sub>M1</sub>, S<sub>DS</sub>, dan S<sub>D1</sub>

- S<sub>MS</sub> = F<sub>a</sub> x S<sub>s</sub> = 1,10196 x 0,9951 = 1,0966
- S<sub>M1</sub> = F<sub>v</sub> x S<sub>1</sub> = 1,8366 x 0,4634 = 0,8511
- S<sub>DS</sub> =  $\frac{2}{3}$  x S<sub>MS</sub> =  $\frac{2}{3}$  x 1,0966 = 0,7310
- S<sub>D1</sub> =  $\frac{2}{3}$  x S<sub>M1</sub> =  $\frac{2}{3}$  x 0,8511 = 0,5674

### 2.3.3 Menentukan Kategori Risiko Bangunan Gedung

Bangunan gedung *dormitory* 4 lantai ini termasuk dalam kategori risiko II yaitu apartment atau rumah susun. Setelah kategori resiko bangunan didapat kita bisa menentukan faktor keutamaan gempa yaitu I<sub>e</sub> = 1.

Tabel 2.3 Kategori Resiko

Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori risiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk:	II
- Perumahan	
- Rumah toko dan rumah kantor	
- Pasar	
- Gedung perkantoran	
- Gedung apartemen/ rumah susun	
- Pusat perbelanjaan/ mall	
- Bangunan industri	
- Fasilitas manufaktur	
- Pabrik	

Berdasarkan SNI 1726:2019 tabel 3, kategori resiko pada bangunan Gedung Student Dormitory yaitu termasuk pada kategori resiko II. Hal ini

dikarenakan bangunan kami merupakan fasilitas tempat tinggal yang berupa rumah susun.

### 2.3.4 Menentukan Faktor Keutamaan Gempa

Tabel 2.4 Faktor Keutamaan Gempa

Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa, $I_e$
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,50

Berdasarkan SNI 1726:2019 tabel 4 dan dengan bangunan Gedung Student Dormitory yang termasuk ke dalam resiko II, maka faktor keutamaan gempa pada bangunan tersebut yaitu 1,0.

### 2.3.5 Menentukan Kategori Desain Seismik

Tabel 2.5 Kategori Desain Seismik

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

Dari perhitungan analisis diperoleh nilai  $S_{DS} = 0,7310$  dan termasuk gedung dengan kategori risiko II, maka kategori desain seismik untuk bangunan *dormitory* 4 lantai ini adalah Kategori Desain Seismik (KDS) D. Juga diperoleh nilai  $S_{D1} = 0,5674$  dan termasuk gedung dengan kategori risiko II, maka kategori desain seismik untuk bangunan *dormitory* 4 lantai ini adalah Kategori Desain Seismik (KDS) D. Sehingga didapatkan bahwa gedung *dormitory* 4 lantai ini memiliki Kategori Desain Seismik (KDS) D.

Jadi, dapat disimpulkan bahwa untuk desain Gedung *dormitory* di Sleman, Yogyakarta ini menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus yang mengacu pada SNI 1726:2019 Tabel 9. Hal ini dilihat dari Kategori Desain Seismik (KDS) D yang diijinkan untuk metode SRPMK (Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus).



### 2.3.6 Parameter Penahan Gaya Gempa

Tabel 2.6 Faktor  $R, C_d$ , dan  $\Omega_0$  untuk sistem pemikul gaya seismik

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	2½	2	TB	TI	TI	TI	TI
20. Dinding geser batu bata polos biasa	1½	2½	1¼	TB	TI	TI	TI	TI
21. Dinding geser batu bata prategang	1½	2½	1¼	TB	TI	TI	TI	TI
22. Dinding rangka ringan (kayu) yang dilapisi dengan panel struktur kayu yang dimaksudkan untuk tahanan geser	7	2½	4½	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	2½	4½	TB	TB	22	22	22
24. Dinding rangka ringan dengan panel geser dari semua material lainnya	2½	2½	2½	TB	TB	10	TB	TB
25. Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	8	2½	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	5½	TB	TB	TB	TB	TB
2. Rangka batang baja pemikul momen khusus	7	3	5½	TB	TB	48	30	TI
3. Rangka baja pemikul momen menengah	4½	3	4	TB	TB	10 <sup>h</sup>	TI <sup>h</sup>	TI <sup>h</sup>
4. Rangka baja pemikul momen biasa	3½	3	3	TB	TB	TI <sup>i</sup>	TI <sup>i</sup>	TI <sup>i</sup>
5. Rangka beton bertulang pemikul momen khusus <sup>m</sup>	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
6. Rangka beton bertulang pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
7. Rangka beton bertulang pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
8. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen khusus	8	3	5½	TB	TB	TB	TB	TB
9. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen menengah	5	3	4½	TB	TB	TI	TI	TI
10. Rangka baja dan beton komposit terkekang parsial pemikul momen	6	3	5½	48	48	30	TI	TI
11. Rangka baja dan beton komposit pemikul momen biasa	3	3	2½	TB	TI	TI	TI	TI
12. Rangka baja canai dingin pemikul momen khusus dengan pembautan <sup>n</sup>	3½	3 <sup>o</sup>	3½	10	10	10	10	10

Berdasarkan SNI 1726:2019 tabel 12, sistem pemikul gaya seismik bangunan Gedung Student Dormitory adalah rangka beton bertulang pemikul momen khusus, sehingga nilai  $R$ ,  $\Omega_0$ ,  $C_d$  untuk setiap tipe struktur sebagai berikut:

Arah sumbu-X :  $R = 8$ ;  $\Omega_0 = 3$ ;  $C_d = 5,5$

Arah sumbu-Y :  $R = 8$ ;  $\Omega_0 = 3$ ;  $C_d = 5,5$

### 2.3.7 Menentukan Periode Fundamental (T)

Tabel 2.7 Nilai Parameter Periode Pendekatan  $C_t$  dan  $x$

Tipe struktur	$C_t$	$x$
Sistem rangka pemikul momen di mana rangka memikul 100 % gaya seismik yang disyaratkan dan tidak dilingkupi atau dihubungkan dengan komponen yang lebih kaku dan akan mencegah rangka dari defleksi jika dikenai gaya seismik:		
• Rangka baja pemikul momen	0,0724	0,8
• Rangka beton pemikul momen	0,0466	0,9
Rangka baja dengan bresing eksentris	0,0731	0,75
Rangka baja dengan bresing terkekang terhadap tekuk	0,0731	0,75
Semua sistem struktur lainnya	0,0488	0,75

Bedasarkan SNI 1726:2019 tabel 18, tipe struktur pada bangunan Gedung Unit Rehabilitasi Maintenance yaitu rangka beton pemikul beton dengan nilai  $C_t = 0,0466$  dan  $x = 0,9$ .

$$h_n = 4 + 3,5 + 3,5 + 3,5 = 14,5 \text{ m}$$

$$T_a = C_b h_n^x = 0,0466 \times 14,5^{0,9} = 0,5171507$$

$$T_{cx} = 0,46 \text{ detik}$$

$$T_{cy} = 0,51 \text{ detik}$$

$$\begin{aligned} C_u T_a &= 1,4 \times T_a \\ &= 1,4 \times 0,517 \\ &= 0,724 \text{ detik} \end{aligned}$$

Periode fundamental struktur (T) yang digunakan:

- Jika  $T_c > C_u T_a$ , digunakan  $T = C_u T_a$
- Jika  $T_a < T_c < C_u T_a$ , digunakan  $T = T_c$
- Jika  $T_c < T_a$ , digunakan  $T = T_a$

Untuk Periode arah X didapati  $T_{cx} = 0,46$  detik

$$0,46 < T_a = 0,517$$

Maka periode sumbu-X digunakan  $T = 0,517$  detik

Untuk Periode arah Y didapati  $T_{cy} = 0,51$  detik

$0,51 < T_a = 0,517$

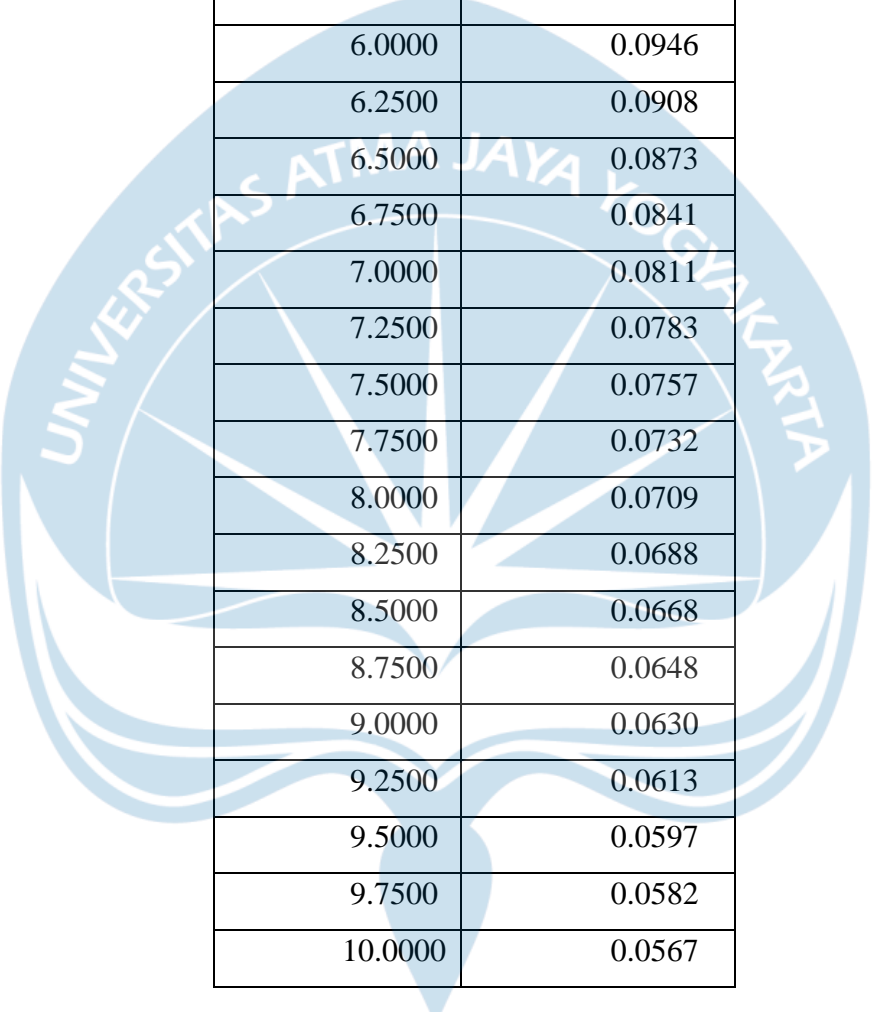
Maka untuk periode sumbu-Y digunakan  $T = 0,517$  detik

### 2.3.8 Desain Respon Spektra

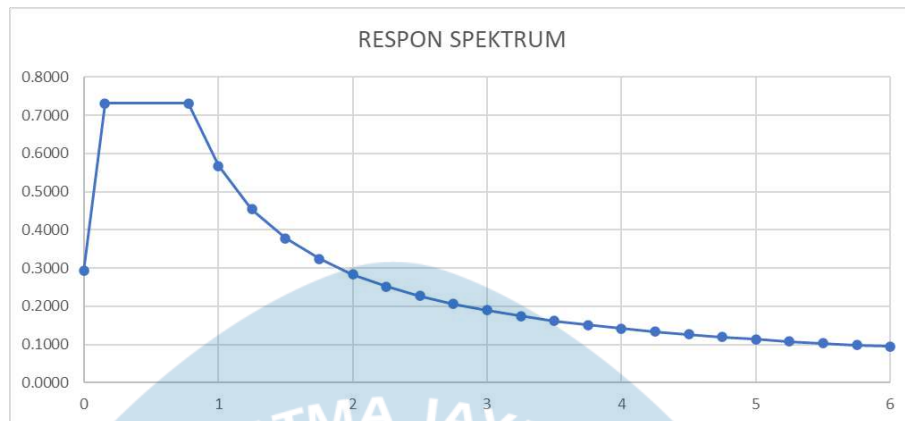
Berdasarkan website Desain Respon Spektra, diperoleh lokasi bangunan Student Dormitory 4 lantai di Jl. Adi Sucipto dengan koordinat - 7.798819438960091 Lintang, 110.39193636560294 Bujur dengan jenis tanah sedang (SD). Maka diperoleh data spektrum sebagai berikut:

Tabel 2.8 Desain Respon Spektrum

<b>T</b>	<b>Sa</b>
0	0.2924
0.1552	0.7310
0.7761	0.7310
1.0000	0.5674
1.2500	0.4539
1.5000	0.3783
1.7500	0.3242
2.0000	0.2837
2.2500	0.2522
2.5000	0.2270
2.7500	0.2063
3.0000	0.1891
3.2500	0.1746
3.5000	0.1621
3.7500	0.1513
4.0000	0.1418
4.2500	0.1335
4.5000	0.1261



4.7500	0.1194
5.0000	0.1135
5.2500	0.1081
5.5000	0.1032
5.7500	0.0987
6.0000	0.0946
6.2500	0.0908
6.5000	0.0873
6.7500	0.0841
7.0000	0.0811
7.2500	0.0783
7.5000	0.0757
7.7500	0.0732
8.0000	0.0709
8.2500	0.0688
8.5000	0.0668
8.7500	0.0648
9.0000	0.0630
9.2500	0.0613
9.5000	0.0597
9.7500	0.0582
10.0000	0.0567



Gambar 2.12 Grafik Respon Spektrum

### 2.3.9 Koefisien Respon Seismik

Nilai koefisien respon seismik:

$$C_s = \frac{SDS}{\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,731040264}{\left(\frac{8}{1}\right)} = 0,091380033$$

Nilai  $C_s$  tidak perlu lebih besar dari:

$$C_s = \frac{SD1}{T\left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,567387}{0,5171507\left(\frac{8}{1}\right)} = 0,137142558$$

Nilai  $C_s$  harus tidak kurang dari:

$$C_s \text{ min} = 0,044 S_{DS} I_e \geq 0,01$$

$$C_s \text{ min} = 0,044 \times 0,731040264 \times 1 = 0,032165772$$

Digunakan nilai  $C_s = 0,137142558$

### 2.3.10 Perhitungan Berat Seismik Efektif Bangunan

Dalam memperhitungkan berat seismik efektif bangunan, dihitung berdasarkan berat bangunan setiap lantai untuk mengetahui beban mati struktur.

1. Berat Luasan Pelat Lantai 2-4

$$\text{Berat Sendiri Pelat} = 0,125 \text{ m} \times 24 \text{ kN/m}^3 = 3 \text{ kN/m}^2$$

Pasir	= 0,05 m x 17 kN/m <sup>3</sup>	= 0,85 kN/m <sup>2</sup>
Spesi	= 0,03 m x 21 kN/m <sup>3</sup>	= 0,63 kN/m <sup>2</sup>
Ubin	= 0,02 m x 21 kN/m <sup>3</sup>	= 0,42 kN/m <sup>2</sup>
Plafon		= 0,18 kN/m <sup>2</sup>
MEP		= <u>0,05 kN/m<sup>2</sup></u>
Total		= 5,13 kN/m <sup>2</sup>

## 2. Berat Luasan Pelat Atap

Berat Sendiri Pelat	= 0,125 m x 24 kN/m <sup>3</sup>	= 3 kN/m <sup>2</sup>
Plafon		= 0,18 kN/m <sup>2</sup>
MEP		= <u>0,05 kN/m<sup>2</sup></u>
Total		= 3,23 kN/m <sup>2</sup>

## 3. Berat Satuan Balok dan Kolom

Balok induk 1 350 x 600	= 0,35 x (0,6) x 24	= 3,99 kN/m
Balok induk 2 350 x 500	= 0,35 x (0,5-),125) x 24	= 3,15 kN/m
Balok induk 3 350 x 400	= 0,35 x (0,4-0,125) x 24	= 2,31 kN/m
Balok anak 2 300 x 550	= 0,30 x (0,55-0,125) x 24	= 3,06 kN/m
Balok anak 1 250 x 350	= 0,25 x (0,35-0,125) x 24	= 1,35 kN/m
Balok bordes 200 x 300	= 0,2 x (0,3-0,15) x 24	= 0,72 kN/m
Kolom 500 x 500	= 0,5 x 0,5 x 24	= 6,00 kN/m

## Lantai 2

Pelat Lantai	= 1721,72 m <sup>2</sup> x 5,13 kN/m <sup>2</sup>	= 8832,42 kN
Pelat Tangga	= 25,542 m <sup>2</sup> x 8,32 kN/m <sup>2</sup>	= 212,48 kN
Pelat Bordes	= 14,525 m <sup>2</sup> x 5,65 kN/m <sup>2</sup>	= 82,07 kN
Balok Induk 1 350 x 600	= 226,11 m x 3,99 kN/m	= 902,18 kN
Balok Induk 2 350 x 500	= 694,29 m x 3,15 kN/m	= 2187,01 kN
Balok Induk 3 350 x 400	= 32,75 m x 2,31 kN/m	= 75,65 kN
Balok Anak 2 300 x 550	= 28,67 m x 3,06 kN/m	= 87,73 kN
Balok Anak 1 250 x 350	= 420,43 m x 1,35 kN/m	= 567,58 kN
Balok Bordes 200 x 300	= 8,71 m x 0,72 kN/m	= 6,27 kN

Kolom 500 x 500	= 468,75 m x 6 kN/m	= 2812,5 kN
Dinding Eksterior	= 238,58 m x 3,5 kN/m	= 835,03 kN
Dinding Interior	= 221,04 m x 3 kN/m	= <u>663,12 kN</u>
	W1	= 17264,04 kN

### Lantai 3

Pelat Lantai	= 1721,72 m <sup>2</sup> x 5,13 kN/m <sup>2</sup>	= 8832,42 kN
Pelat Tangga	= 25,542 m <sup>2</sup> x 8,32 kN/m <sup>2</sup>	= 212,48 kN
Pelat Bordes	= 14,525 m <sup>2</sup> x 5,65 kN/m <sup>2</sup>	= 82,07 kN
Balok Induk 1 350 x 600	= 226,11 m x 3,99 kN/m	= 902,18 kN
Balok Induk 2 350 x 500	= 694,29 m x 3,15 kN/m	= 2187,01 kN
Balok Induk 3 350 x 400	= 32,75 m x 2,31 kN/m	= 75,65 kN
Balok Anak 2 300 x 550	= 28,67 m x 3,06 kN/m	= 87,73 kN
Balok Anak 1 250 x 350	= 420,43 m x 1,35 kN/m	= 567,58 kN
Balok Bordes 200 x 300	= 8,71 m x 0,72 kN/m	= 6,27 kN
Kolom 500 x 500	= 437,5 m x 6 kN/m	= 2625 kN
Dinding Eksterior	= 238,58 m x 3,5 kN/m	= 835,03 kN
Dinding Interior	= 221,04 m x 3 kN/m	= <u>663,12 kN</u>
	W2	= 17076,5 kN

### Lantai 4

Pelat Lantai	= 1721,72 m <sup>2</sup> x 5,13 kN/m <sup>2</sup>	= 8832,42 kN
Pelat Bordes	= 14,525 m <sup>2</sup> x 5,65 kN/m <sup>2</sup>	= 82,07 kN
Balok Induk 1 350 x 600	= 226,11 m x 3,99 kN/m	= 902,18 kN
Balok Induk 2 350 x 500	= 694,29 m x 3,15 kN/m	= 2187,01 kN
Balok Induk 3 350 x 400	= 32,75 m x 2,31 kN/m	= 75,65 kN
Balok Anak 2 300 x 550	= 28,67 m x 3,06 kN/m	= 87,73 kN
Balok Anak 1 250 x 350	= 420,43 m x 1,35 kN/m	= 567,58 kN
Kolom 500 x 500	= 355,3 m x 6 kN/m	= 2131,5 kN
Dinding Eksterior	= 238,58 m x 3,5 kN/m	= 835,03 kN
Dinding Interior	= 221,04 m x 3 kN/m	= <u>663,12 kN</u>
	W3	= 16576,8 kN

## Atap

Pelat Lantai	= 186,37 m <sup>2</sup> x 3,23 kN/m <sup>2</sup>	= 601,983175 kN
Balok Induk 1 350 x 600	= 137,17 m x 3,99 kN/m	= 547,3083 kN
Balok Induk 2 350 x 500	= 265,13 m x 3,15 kN/m	= 835,1595 kN
Balok Induk 3 350 x 400	= 12,75 m x 2,31 kN/m	= 29,4525 kN
Balok Anak 2 300 x 550	= 28,67 m x 3,06 kN/m	= 87,7302 kN
Balok Anak 1 250 x 350	= 2,49 m x 1,35 kN/m	= 6,1965 kN
Kolom 500 x 500	= 136,5 m x 6 kN/m	= 819 kN
Kuda-kuda atap A	= 12 (26,72 kN + 21,95 kN)	= 584,04 kN
Kuda-kuda atap B	= 60 x 5,07 kN	= <u>304,2 kN</u>
	W4	= 3828,46 kN

### 2.3.11 Perhitungan Gaya Geser Dasar (V)

Setelah mendapatkan berat mati total bangunan, maka dilakukan perhitungan gaya geser dasar (V).

$$V = C_s \times W$$

$$C_s \text{ yang digunakan} = 0,137142558$$

$$W \text{ yang digunakan} = 54745,79971 \text{ kN}$$

Gaya geser dasar:

$$V_x = 0,137142558 \times 54745,79971 = 7507,978994 \text{ kN}$$

$$V_y = 0,137142558 \times 54745,79971 = 7507,978994 \text{ kN}$$

Dengan  $T_x = 0,517$ , maka untuk mencari nilai  $K = 0,5 \times T \times 0,75$

$$\text{Maka, } K = 0,5 \times 0,517 \times 0,75 = 1,008575351$$

Dengan  $T_y = 0,517$ , nilai  $K = 0,5 \times 0,517 \times 0,75 = 1,008575351$



Tabel 2.9 Distribusi Beban Gempa Statik Ekuivalen Arah Sumbu-X

Lantai	w	h	w.h <sup>k</sup>	Cvx	Fx	Vx
	kN	m			kN	kN
Atap	3828,457675	14,5	56800,34725	0,12818240	962,3907	962,39073
4	16576,76654	11	186132,7588	0,42004924	3153,721	4116,1116
3	17076,53774	7,5	130306,189	0,29406439	2207,829	6323,9409
2	17264,03774	4	69881,98682	0,15770397	1184,038	7507,979
	54745,79971		443121,2818		7507,979	

Tabel 2.10 Distribusi Beban Gempa Statik Ekuivalen Arah Sumbu-Y

Lantai	w	h	w.h <sup>k</sup>	Cvx	Fx	Vx
	kN	m			kN	kN
Atap	3828,457675	14,5	56800,34725	0,12818240	962,3907	962,39073
4	16576,76654	11	186132,7588	0,42004924	3153,721	4116,1116
3	17076,53774	7,5	130306,189	0,29406439	2207,829	6323,9409
2	17264,03774	4	69881,98682	0,15770397	1184,038	7507,979
	54745,79971		443121,2818		7507,979	

### 2.3.12 Pengaruh Beban Gempa Vertikal Pada Kombinasi Beban

Berdasarkan SNI 1726 : 2019 faktor reduksi  $\rho$ , untuk kategori desain seismik D,E dan F diambil sebesar 1,3 dan untuk A,B dan C diambil 1,0. Karena KDS D, sehingga digunakan nilai  $\rho = 1,3$ .

Menurut SNI 1726 : 2019 Pasal 7.4, Kombinasi pembebanan harus memperhatikan pengaruh gaya gempa horizontal maupun vertikal. Kombinasi pembebanan dijabarkan sebagai berikut :

- 1) 1,4D
- 2) 1,2D + 1,6L + 0,5 (Lr atau R)
- 3) 1,2D + 1,6 (Lr atau R) + (L atau 0,5W)
- 4) 1,2D + 1,0W + L + 0,5 (Lr atau R)
- 5) 1,2D + 1,0E + L
- 6) 0,9D + 1,0W
- 7) 0,9D + 1,0E

Untuk kombinasi 5 dan 7 dengan beban gempa diatur oleh SNI 1726 : 2019 Pasal 7.4. faktor dan kombinasi beban untuk beban mati nominal, beban hidup nominal dan beban gempa nominal, yaitu sebagai berikut :

- 1)  $(1,2+0,2S_{Ds}) D + L \pm 0,3\rho EX \pm 1\rho EY$
- 2)  $(1,2+0,2S_{Ds}) D + L \pm 1 \rho EX \pm 0,3\rho EY$
- 3)  $(0,9-0,2S_{Ds}) D \pm 0,3\rho EX \pm 1\rho EY$
- 4)  $(0,9-0,2S_{Ds}) D \pm 1\rho EX \pm 0,3\rho EY$

kombinasi beban dasar dipengaruhi oleh beban gempa vertikal sebagai berikut:

$$S_{DS} = 0,73104$$

$$\rho = 1,3$$

$$1,2 + 0,2 S_{DS} = 1,346208$$

$$0,9 - 0,2 S_{DS} = 0,753792$$

Tabel 2.11 Kombinasi Pembebanan Gempa Statik Ekvivalen

No	Kombinasi Beban
1	1,4D
2	1,2D + 1,6 L
3	1,346 D + 1 L + 0,39 Ex + 1,3 Ey
4	1,346 D + 1 L + 0,39 Ex - 1,3 Ey
5	1,346 D + 1 L - 0,39 Ex + 1,3 Ey
6	1,346 D + 1 L - 0,39 Ex - 1,3 Ey
7	1,346 D + 1 L + 1,3 Ex + 0,39 Ey
8	1,346 D + 1 L + 1,3 Ex - 0,39 Ey
9	1,346 D + 1 L - 1,3 Ex + 0,39 Ey
10	1,346 D + 1 L - 1,3 Ex - 0,39 Ey
11	0,754 D + 0,39 Ex + 1,3 Ey
12	0,754 D + 0,39 Ex - 1,3 Ey
13	0,754 D - 0,39 Ex + 1,3 Ey
14	0,754 D - 0,39 Ex - 1,3 Ey
15	0,754 D + 1,3 Ex + 0,39 Ey
16	0,754 D + 1,3 Ex - 0,39 Ey

17	$0,754 D - 1,3 E_x + 0,39 E_y$
18	$0,754 D - 1,3 E_x - 0,39 E_y$

### 2.3.13 Simpangan Antar Lantai

Pada simpangan antar lantai, tidak boleh melebihi  $\Delta a / \rho$ , karena merupakan simpangan ijin. Berdasarkan tabel SNI 1726:2019 Tabel 20 – Simpangan Antar Tingkat Izin,  $\Delta a$ , dengan Kategori Resiko Bangunan II, maka  $\Delta a = 0,025 h_{sx}$ , dengan nilai  $\rho = 1,3$ . Maka hitungan simpangan sebagai berikut untuk arah X dan arah Y.

Tabel 2.12 Simpangan Antar Lantai Arah X

Lantai	$h_x$	$h$	$\Delta x_e$	$\delta x$	$\Delta$	$\Delta_{ijin}$	Keterangan
	mm	mm	Mm	mm	mm	mm	
roof	14500	3500	6,313	34,7215	3,7565	67307,692	AMAN
4	11000	3500	5,63	30,965	7,414	67307,692	AMAN
3	7500	3500	4,282	23,551	11,275	67307,692	AMAN
2	4000	4000	2,232	12,276	12,276	76923,077	AMAN
1	0	0	0	0	0	0	AMAN

Tabel 2.13 Simpangan Antar Lantai Arah Y

Lantai	$h_x$	$h$	$\Delta y_e$	$\delta y$	$\Delta$	$\Delta_{ijin}$	Keterangan
	mm	mm	Mm	mm	Mm	mm	
roof	14500	3500	7,325	40,2875	5,4725	67307,692	AMAN
4	11000	3500	6,33	34,815	8,8055	67307,692	AMAN
3	7500	3500	4,729	26,0095	12,76	67307,692	AMAN
2	4000	4000	2,409	13,2495	13,2495	76923,076	AMAN
1	0	0	0	0	0	0	AMAN

### 2.3.14 Pengaruh P-Delta

Pengaruh P-Delta untuk analisis statik dan dinamik diatur menurut SNI 1726:2019 pasal 7.8.7. Pengaruh P-delta pada geser dan momen tingkat, gaya dan momen elemen struktur yang dihasilkan, dan simpangan antar lantai tingkat yang timbul oleh pengaruh ini tidak disyaratkan untuk diperhitungkan bila koefisien stabilitas ( $\theta$ ) seperti ditentukan dalam SNI 1726:2019 pasal 7.8.7 persamaan 45 sama dengan atau kurang dari 0,1.

Tabel 2.14 Pengaruh P-Delta Arah X

Lantai	Elevasi m	Px kN	$\delta x$ mm	Vx kN	$\Delta$ mm	$\theta$ rasio	$\theta$ maks	Kontrol
Atap	14,5	3565,57	34,7215	496,1662	3,7565	0,0003385	0,09091	OK
4	11	26623,31	30,965	2256,1602	7,414	0,0014461	0,09091	OK
3	7,5	51177,37	23,551	3630,5951	11,275	0,0038529	0,09091	OK
2	4	75609,02	12,276	4380,449	12,276	0,0096314	0,09091	OK

Tabel 2.15 Pengaruh P-Delta Arah Y

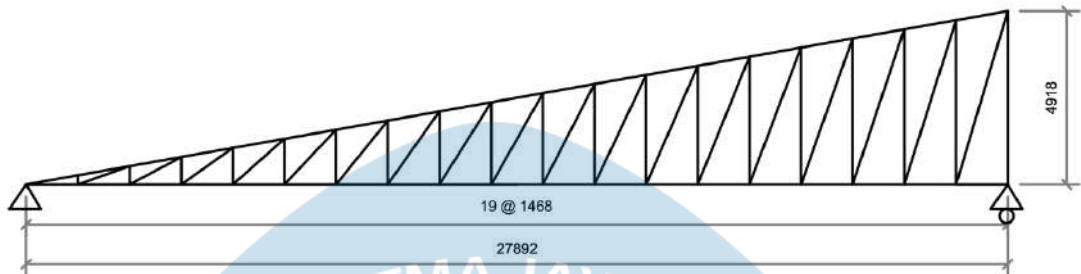
Lantai	Elevasi m	Py kN	$\delta y$ mm	Vy kN	$\Delta$ mm	$\theta$ rasio	$\theta$ maks	Kontrol
Atap	14,5	3565,57	$\delta y$	544,7317	5,4725	0,0004492	0,09091	OK
4	11	26623,31	mm	2299,8182	8,8055	0,0016849	0,09091	OK
3	7,5	51177,37	40,2875	3661,4397	12,76	0,0043237	0,09091	OK
2	4	75609,02	34,815	4382,9924	13,2495	0,0103891	0,09091	OK

## 2.4 Perencanaan Atap

### 2.4.1 Dasar Perencanaan

Konstruksi rangka atap yang direncanakan dalam perencanaan gedung ini terdiri dari konstruksi kuda-kuda dari baja dengan menggunakan profil baja double siku untuk atap A maupun B.

## 2.4.2 Data Rencana Atap A

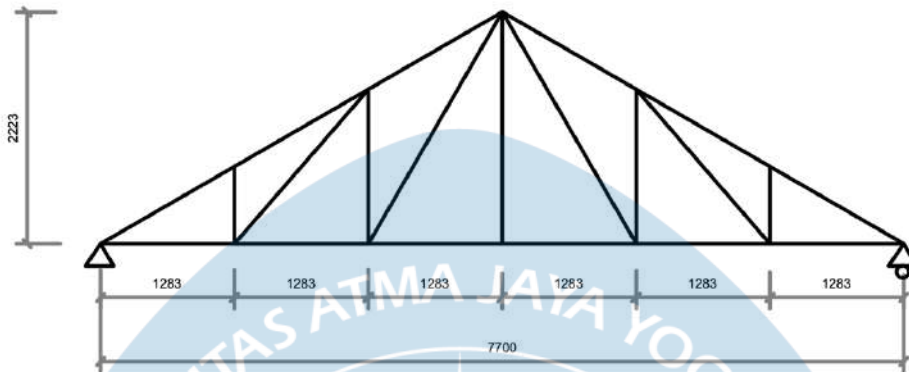


Gambar 2.13 Rencana Kuda-Kuda Atap A

Data konstruksi:

Bentang kuda-kuda	: 27,89 m
Tinggi kuda-kuda	: 4,92 m
Jarak antar kuda-kuda	: 5 m
Jarak antar gording	: 1,49 m
Sudut kemiringan atap	: $10^\circ$
Mutu baja	: BJ-37
Tegangan leleh ( $F_y$ )	: 240 Mpa
Tegangan putus ( $F_u$ )	: 370 Mpa
Sambungan	: Baut

### 2.4.3 Data Rencana Atap B



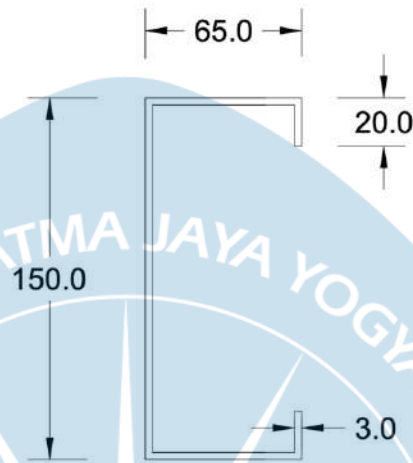
Gambar 2.14 Rencana Kuda-Kuda Atap B

Data konstruksi:

Bentang kuda-kuda	: 7,7 m
Tinggi kuda-kuda	: 2,22 m
Jarak antar kuda-kuda	: 3 m
Jarak antar gording	: 1,48 m
Sudut kemiringan atap	: 30°
Mutu baja	: BJ-37
Tegangan leleh (Fy)	: 240 Mpa
Tegangan putus (Fu)	: 370 Mpa
Sambungan	: Baut

#### 2.4.4 Perencanaan Gording Atap A

Gording atap A direncanakan menggunakan profil kanal C150.65.20.3



Gambar 2.15 Profil Gording Atap A C150.65.20.3

Data profil:

W	= 7,07 kg/m	Z <sub>x</sub>	= 41,8 cm <sup>3</sup>
I <sub>x</sub>	= 314 cm <sup>4</sup>	Z <sub>y</sub>	= 11,6 cm <sup>3</sup>
I <sub>y</sub>	= 51 cm <sup>4</sup>		

Data konstruksi:

Jarak kuda-kuda	= 3 m
Sudut kemiringan atap	= 10°
Jarak antar gording	= 1,491 m
Jarak horizontal antar gording	= 1,468 m
Jarak sag-rod	= 1 m
E	= 200.000 Mpa
F <sub>y</sub>	= 240 Mpa

## A. Beban Gording

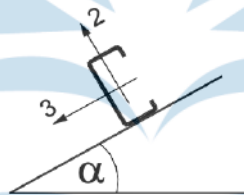
Beban Mati:

- Berat sendiri = 0,0707 kN/m = 0,0707 kN/m
  - Atap galvanum = 0,05 kN/m<sup>2</sup> x 1,491 m = 0,0746 kN/m
  - Plafon = 0,18 kN/m<sup>2</sup> x 1,468 m = 0,264 kN/m
- qD = 0,409 kN/m

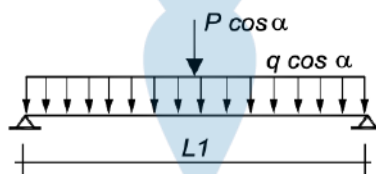
Beban Hidup

- Beban hidup pekerja (qL) = 1 kN

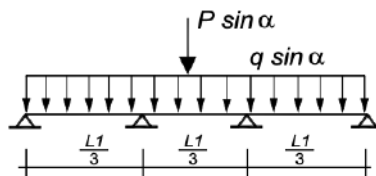
## B. Momen Gording



**Beban gording arah sb-2**



**Beban gording arah sb-3**



Momen arah 3 (x):

- MD = 1/8 x 0,409 sin 10 (1)<sup>2</sup> = 0,0089 kNm



- ML =  $1/4 \times 1 \sin 10 (1)$  = 0,043 kNm
- Mu1 = 1,4 MD = 0,0124 kNm
- Mu2 = 1,2MD + 1,6ML = 0,08 kNm
- Mu = 0,08 kNm

Momen arah 2 (y):

- MD =  $1/8 \times 0,409 \cos 10 (3)^2$  = 0,454 kNm
- ML =  $1/4 \times 1 \cos 10 (3)$  = 0,739 kNm
- Mu1 = 1,4 MD = 0,635 kNm
- Mu2 = 1,2MD + 1,6ML = 1,726 kNm
- Mu = 1,726 kNm

### C. Cek Tegangan Profil

$$fb = \frac{0,08}{(0,9)41800} + \frac{1,726}{(0,9)11600} = 167,47 \text{ Mpa} < Fy$$

$$= 240 \text{ Mpa (Aman)}$$

### D. Cek Defleksi Gording

$$\delta_3 = \frac{5 \times 0,409 \sin 10^\circ \times (1)^4}{384 \times EIx} + \frac{1}{48} \frac{1 \sin 10^\circ \times (1)^3}{EIx} = 0,0445 \text{ mm}$$

$$\delta_2 = \frac{5 \times 0,409 \cos 10^\circ \times (3)^4}{384 \times EIy} + \frac{1}{48} \frac{1 \cos 10^\circ \times (3)^3}{EIy} = 1,56 \text{ mm}$$

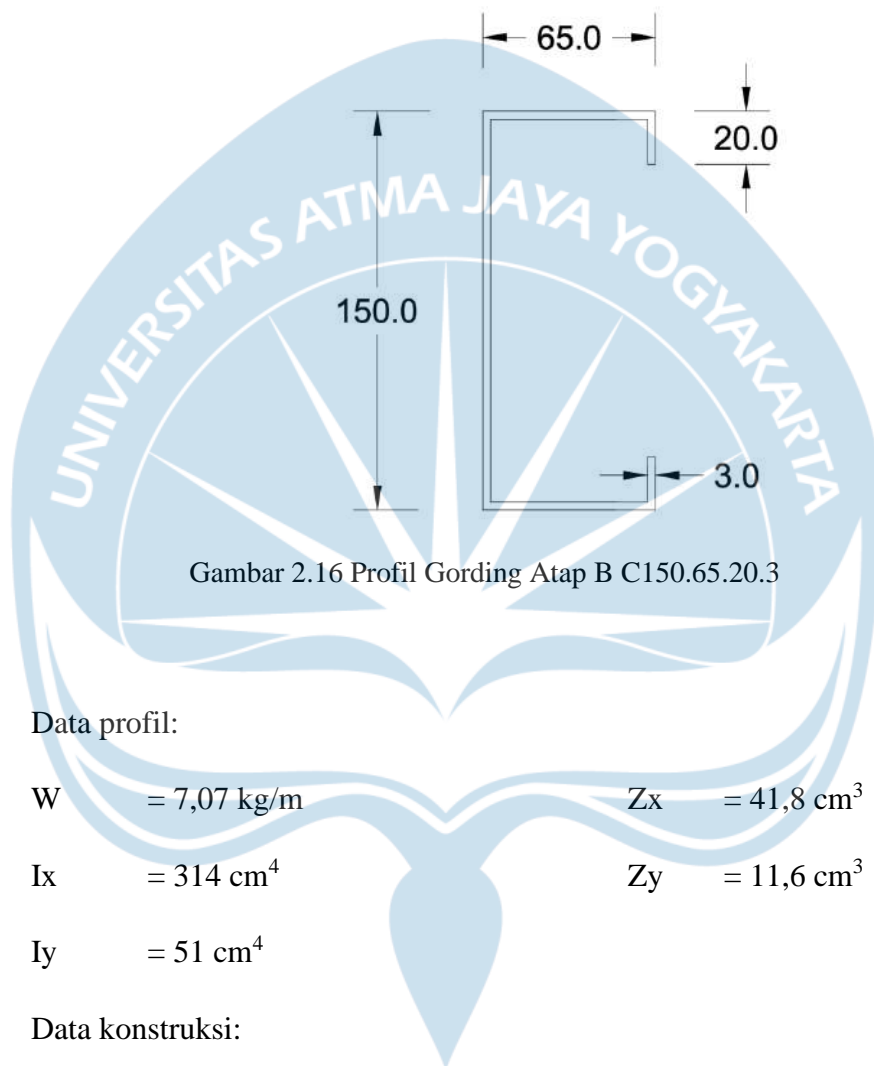
Defleksi ijin maksimum =  $L/240 = 3000/240 = 12,5 \text{ mm}$

$$\delta = \sqrt{\delta_3^2 + \delta_2^2} = 1,56 \text{ mm} < 12,5 \text{ mm (OK)}$$

Gording profil C150.65.20.3 aman digunakan untuk atap A

## 2.4.5 Perencanaan Gording Atap B

Gording atap B direncanakan menggunakan profil kanal C150.65.20.3



Gambar 2.16 Profil Gording Atap B C150.65.20.3

Data profil:

W	= 7,07 kg/m	Z <sub>x</sub>	= 41,8 cm <sup>3</sup>
I <sub>x</sub>	= 314 cm <sup>4</sup>	Z <sub>y</sub>	= 11,6 cm <sup>3</sup>
I <sub>y</sub>	= 51 cm <sup>4</sup>		

Data konstruksi:

Jarak kuda-kuda	= 3 m
Sudut kemiringan atap	= 30°
Jarak antar gording	= 1,483 m
Jarak horizontal antar gording	= 1,283 m
Jarak sag-rod	= 1 m

$$E = 200.000 \text{ Mpa}$$

$$F_y = 240 \text{ Mpa}$$

### 1. Pembebanan Gording

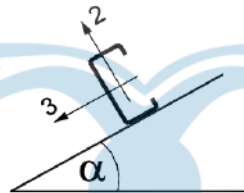
Beban Mati:

- Berat sendiri = 0,0707 kN/m = 0,0707 kN/m
  - Atap galvanum = 0,05 kN/m<sup>2</sup> x 1,483 m = 0,0742 kN/m
  - Plafon = 0,18 kN/m<sup>2</sup> x 1,283 m = 0,231 kN/m
- qD = 0,376 kN/m

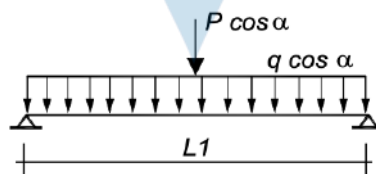
Beban Hidup

- Beban hidup pekerja (PL) = 1 kN

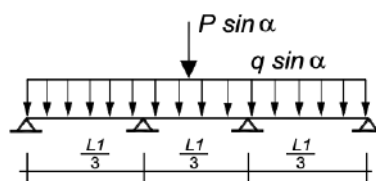
### 2. Momen Gording



**Beban gording arah sb-2**



**Beban gording arah sb-3**



Momen arah 3 (x):

- MD =  $1/8 \times 0,376 \sin 30 (1)^2$  = 0,0235 kNm
  - ML =  $1/4 \times 1 \sin 30 (1)$  = 0,125 kNm
  - Mu1 = 1,4 MD = 0,033 kNm
  - Mu2 = 1,2MD + 1,6ML = 0,228 kNm
- Mu(x) = 0,228 kNm

Momen arah 2 (y):

- MD =  $1/8 \times 0,376 \cos 30 (3)^2$  = 0,366 kNm
  - ML =  $1/4 \times 1 \cos 30 (3)$  = 0,65 kNm
  - Mu1 = 1,4 MD = 0,513 kNm
  - Mu2 = 1,2MD + 1,6ML = 1,479 kNm
- Mu(y) = 1,479 kNm

### 3. Cek Tegangan Profil

$$fb = \frac{0,228}{(0,9)41800} + \frac{1,479}{(0,9)11600} = 147,69 \text{ Mpa} < Fy$$
$$= 240 \text{ Mpa (Aman)}$$

### 4. Cek Defleksi Gording

$$\delta_3 = \frac{5 \times 0,376 \sin 30^\circ \times (1)^4}{384 \times EIx} + \frac{1}{48} \frac{1 \sin 30^\circ \times (1)^3}{EIx} = 0,126 \text{ mm}$$

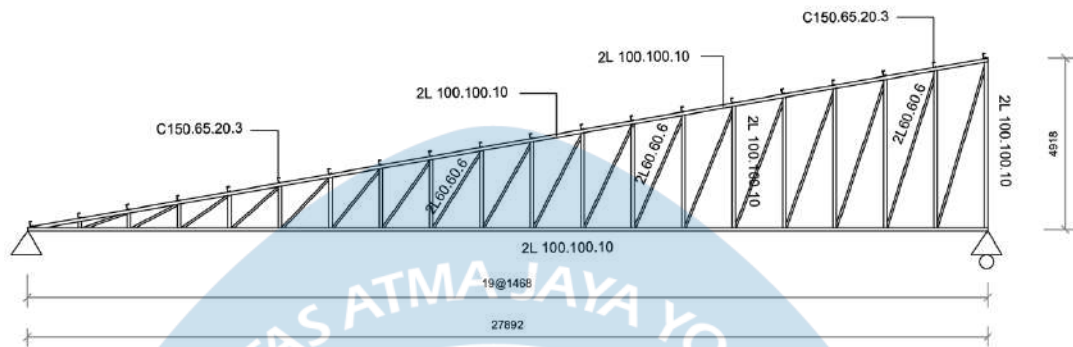
$$\delta_2 = \frac{5 \times 0,376 \cos 10^\circ \times (3)^4}{384 \times EIy} + \frac{1}{48} \frac{1 \cos 30^\circ \times (3)^3}{EIy} = 1,322 \text{ mm}$$

Defleksi ijin maksimum =  $L/240 = 3000/240 = 12,5 \text{ mm}$

$$\delta = \sqrt{\delta_3^2 + \delta_2^2} = 1,328 \text{ mm} < 12,5 \text{ mm (OK)}$$

Gording profil C150.65.20.3 aman digunakan untuk atap B

## 2.4.6 Perencanaan Kuda-Kuda Atap A



Gambar 2.17 Profil Kuda-Kuda Atap A

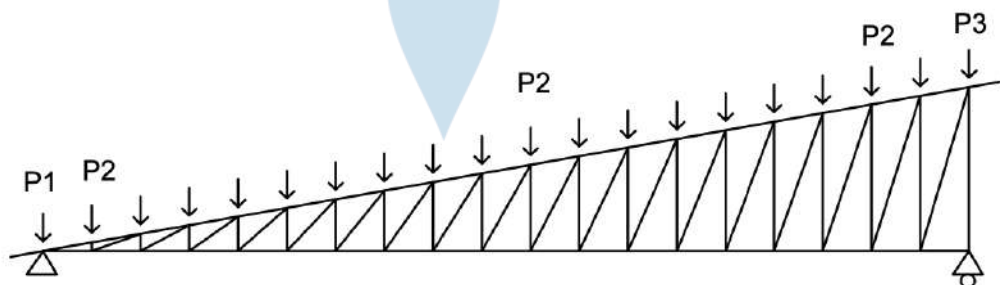
Profil batang tekan atas : 2L 100.100.10

Profil batang tarik bawah : 2L 100.100.10

Profil batang vertical : 2L 100.100.10

Profil batang miring : 2L 60.60.6

### 1. Pembebanan Atap



Gambar 2.18 Beban Mati dan Hidup Atap A

Jarak antar kuda-kuda = 3 m

- Jarak antar gording = 1,49 m
- Jarak horizontal gording = 1,468 m
- Ujung atap = 1 m

### Beban Mati

P1:

- Gording =  $0,0707 \text{ kN/m} \times 3$  = 0,212 kN
- Atap Galvalum =  $0,05 \text{ kN/m}^2 \times (1+1,49/2) \times 3$  = 0,262 kN
- Plafon =  $0,18 \text{ kN/m}^2 \times (1,468/2) \times 3$  = 0,396 kN  
= 0,87 kN

P2:

- Gording =  $0,0707 \text{ kN/m} \times 3$  = 0,212 kN
- Atap Galvalum =  $0,05 \text{ kN/m}^2 \times 1,49 \times 3$  = 0,224 kN
- Plafon =  $0,18 \text{ kN/m}^2 \times 1,468 \times 3$  = 0,793 kN  
= 1,228 kN

P3:

- Gording =  $0,0707 \text{ kN/m} \times 3$  = 0,212 kN
- Atap Galvalum =  $0,05 \text{ kN/m}^2 \times (1+1,49/2) \times 3$  = 0,262 kN
- Plafon =  $0,18 \text{ kN/m}^2 \times (1,49/2) \times 3$  = 0,396 kN  
= 0,87 kN

### Beban Hidup

- Beban hidup pekerja (P1, P2, P3) = 1 kN

### Beban Angin

Beban angin didesain berdasarkan SNI 1727:2020.

- V dasar = 32 m/s
- Tinggi bangunan = 14,5 m
- Tinggi atap = 4,94 m
- Tinggi bangunan total = 16,97 m
- Lebar bangunan = 27,9 m

$$\begin{aligned}\text{Sudut atap } (\theta) &= 10^\circ \\ h/L &= 16,97 / 27,9 = 0,6\end{aligned}$$

Daerah pinggiran kota, maka kekasaran permukaan = B

Eksposur bangunan = B

Faktor topografi (Kzt) = 1,0

Faktor arah angin (Kd) = 0,85

Faktor efek hembusan angin (G) = 0,85

Koefisien eksposur tekanan velositas diinterpolasi dari Tabel 26.10-1 dalam SNI 1727:2020 untuk  $h = 16,97$  m.

$$K_z = 0,81 + \frac{16,97 - 15,2}{18 - 15,2} \times (0,85 - 0,81) = 0,84$$

$$\begin{aligned}\text{Tekanan angin } (q_h) &= 0,613 \cdot K_z \cdot K_{zt} \cdot K_d \cdot V^2 \\ &= 0,613 \times 0,84 \times 1 \times 0,85 \times 32^2 \\ &= 445,67 \text{ N/m}^2\end{aligned}$$

Koefisien tekanan eksternal (Cp) didapatkan dari nilai yang diinterpolasi pada tabel koefisien tekanan atap pada Gambar 27.3-1 SNI 1727:2020 untuk  $h/L = 0,6$ .

$$C_p \text{ datang} = -0,18$$

$$C_p \text{ pergi} = -0,54$$

Koefisien tekanan internal (Gpci) didapatkan dari tabel 26.13-1 SNI 1727:2020 untuk bangunan terbuka sebagian.

$$G_{pci} = +0,18 \text{ dan } -0,18$$

Untuk  $G_{pci} = +0,18$ :

$$P \text{ datang} = q \cdot G \cdot C_p \text{ datang} - q \cdot G_{pci}$$

$$= 445,67 \times 0,85 \times (-0,18) - 445,67 \times 0,18 = -148,8 \text{ N/m}^2$$

$$P \text{ pergi} = q.G.Cp \text{ pergi} - q.Gcpi$$

$$= 445,67 \times 0,85 \times (-0,54) - 445,67 \times 0,18 = -286 \text{ N/m}^2$$

Untuk  $Gcpi = -0,18$ :

$$P \text{ datang} = q.G.Cp \text{ datang} - q.Gcpi$$

$$= 445,67 \times 0,85 \times (-0,18) - 445,67 \times (-0,18) = 12 \text{ N/m}^2$$

$$P \text{ pergi} = q.G.Cp \text{ pergi} - q.Gcpi$$

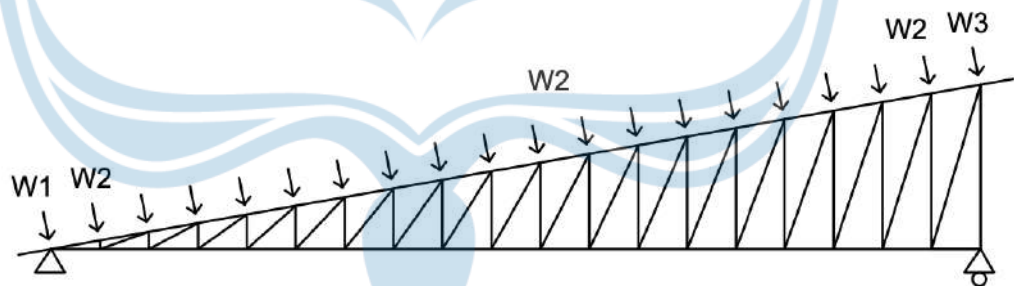
$$= 445,67 \times 0,85 \times (-0,54) - 445,67 \times (-0,18) = -125,6 \text{ N/m}^2$$

Karena atap miring 1 sisi digunakan beban terbesar dan terkecil

$$P \text{ kiri} = 12 \text{ N/m}^2 = 0,012 \text{ kN/m}^2$$

$$P \text{ kanan} = -286 \text{ N/m}^2 = -0,286 \text{ kN/m}^2$$

#### 1) Beban Angin Kiri ( $W_{ki}$ )



Gambar 2.19 Beban Angin Datang Atap A

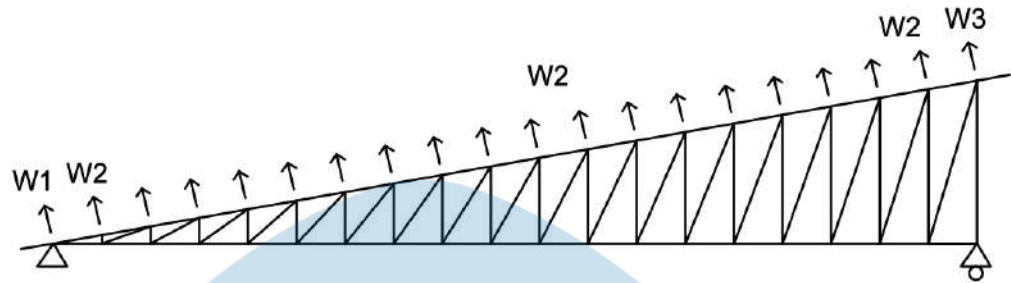
$$W1 = 0,25 \times P \text{ kiri} \times (1+1,49/2) \times 3 = 0,063 \text{ kN}$$

$$W2 = 0,25 \times P \text{ kiri} \times 1,49 \times 3 = 0,054 \text{ kN}$$

$$W3 = 0,25 \times P \text{ kiri} \times (1+1,49/2) \times 3 = 0,063 \text{ kN}$$



2) Beban Angin Kanan ( $W_{ka}$ )



Gambar 2.20 Beban Angin Pergi Atap A

$$W_1 = 0,25 \times P \text{ kanan} \times (1+1,49/2) \times 3 = -0,78 \text{ kN}$$

$$W_2 = 0,25 \times P \text{ kanan} \times 1,49 \times 3 = -0,67 \text{ kN}$$

$$W_3 = 0,25 \times P \text{ kanan} \times (1+1,49/2) \times 3 = -0,78 \text{ kN}$$

**2. Analisis Struktur**

Analisis struktur dilakukan dengan bantuan etabs dengan kombinasi pembebanan:

- a) 1,4DL
- b) 1,2DL + 1,6LL
- c) 1,2DL + 1,3Wkiri + 0,5LL
- d) 1,2DL + 1,3Wkanan + 0,5LL

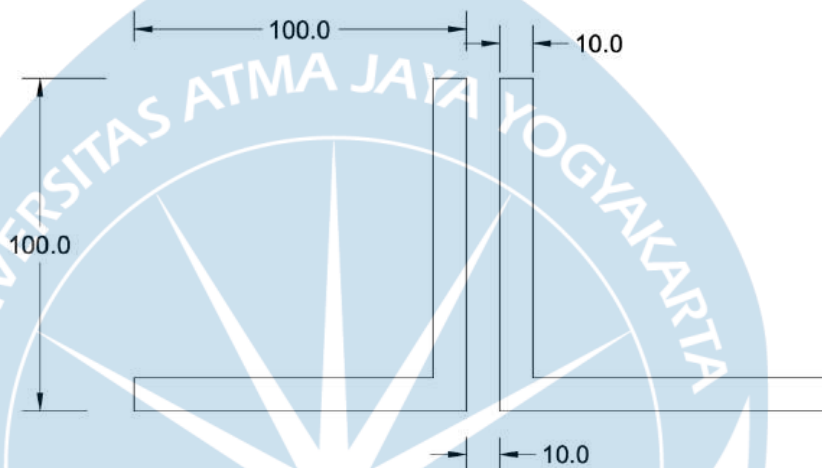
Didapatkan nilai gaya tekan dan tarik ultimate pada masing-masing profil dalam tabel berikut.

Tabel 2.16 Nilai Gaya Tekan dan Tarik Ultimate Pada Profil Atap A

Profil	Panjang Batang	Pu
2L 60.60.6	5,133 m	48,45 kN (Tarik)
2L 100.100.10	1,49 m	-225,8 kN (Tekan)
2L 100.100.10	1,468 m	222,31 (Tarik)

### 3. Kontrol Batang Tekan

Batang kuda-kuda baja yang mengalami tekan cuma terjadi pada profil 2L 100.100.10 dengan panjang 1,49 m dan jarak antar pelat sambung 0,497 m.



Gambar 2.21 Profil Batang Atap A 2L 100.100.10

Data profil tunggal:

$A_g$	$= 1900 \text{ mm}^2$	$C_y$	$= 28,2 \text{ mm}$
$I_x$	$= 1750000 \text{ mm}^4$	$r_x$	$= 30,35 \text{ mm}$
$I_y$	$= 1750000 \text{ mm}^4$	$r_y$	$= 30,35 \text{ mm}$

Data profil gabungan:

t plat	$= 10 \text{ mm}$
$A_g$	$= 2 \times 1900 = 3800 \text{ mm}^2$
$I_x$	$= 2 \times 1750000 = 3780000 \text{ mm}^4$
$I_y$	$= 2 \times 1750000 + 3800 (28,3 + 10/2)^2 = 7688512 \text{ mm}^4$
$r_x$	$= 30,35 \text{ mm}$
$r_y$	$= \sqrt{\frac{A_g}{I_y}} = 44,98 \text{ mm}$

Data konstruksi:

$$E = 200.000 \text{ Mpa}$$

$$F_y = 240 \text{ Mpa}$$

$$P_u = 225,8 \text{ kN}$$

$$L = 1490 \text{ mm}$$

### Pemeriksaan Kekompakan

$$\lambda r = 0,45 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 13 \quad (\text{SNI 1729: 2020 Tabel B4})$$

$$\frac{b}{t} = \frac{100}{10} = 10 < \lambda r \quad (\text{Kompak})$$

### Pemeriksaan Tekuk Lentur Sumbu X-X

$$4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 135,97$$

$$\frac{KL}{r_x} = \frac{1 \times 1490}{30,35} = 49 < 135,97 \quad \text{maka:}$$

$$F_e = \frac{\pi^2 \times E}{49^2} = 819 \text{ Mpa}$$

$$F_{cr} = 0,658^{(F_y/F_e)} = 212,3 \text{ Mpa}$$

### Pemeriksaan Tekuk Lentur Torsi

Pemeriksaan dilakukan pada sumbu simetris profil yaitu sumbu Y-Y

jarak antar pelat sambung (a) = 497 mm

$r_y$  profil tunggal = 30,35 mm

$$a/r_i = 497/30,35 = 33,06$$

$$\frac{3KL}{4r_y} = \frac{3 \times 1 \times 1490}{4 \times 25,41} = 43,97 > \frac{a}{r_i} \quad (\text{jumlah pelat sambung cukup})$$

$$\frac{KL}{r_{y_0}} = \frac{1 \times 1490}{30,35} = 33,13$$

karena  $a/ri < 40$ ; maka:

$$\left(\frac{KL}{r}\right)_m = \left(\frac{KL}{ry}\right)_0 = 33,13 < 135,97, \text{ maka:}$$

$$F_{e_y} = \frac{\pi^2 x E}{33,13^2} = 1798,94 \text{ Mpa}$$

$$G = 77200 \text{ Mpa} \quad (\text{Modulus geser baja})$$

$$J = \frac{2}{3} (2 \times 100 - 10) 10^3 = 126666 \text{ (konstanta torsi double siku)}$$

$$C_w = 0$$

$$x_o = 0 \text{ mm} \quad (\text{siku ganda } x_o = 0)$$

$$y_o = C_y - t/2 = 28,2 - 10/2 = 23,2 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} r_o^2 &= x_o^2 + y_o^2 + \frac{I_x + I_y}{Ag} = 23,2^2 + \frac{3780000 + 7688512}{3800} \\ &= 3482,6 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

(SNI 1729:2020 E4-9)

$$H = 1 - \frac{X_o^2 + y_o^2}{r_o^2} = 1 - \frac{0 + 23,2^2}{3482,6^2} = 0,845$$

$$F_{e_z} = \frac{G \cdot J}{A_g \cdot r_o^2} = \frac{77200 \times 126666}{3800 \times 3482,6} = 738,9 \text{ Mpa}$$

$$F_e = \left( \frac{F_{e_y} + F_{e_z}}{2H} \right) \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{4F_{e_y}F_{e_z}H}{(F_{e_y} + F_{e_z})^2}} \right)$$

$$\begin{aligned} F_e &= \left( \frac{1798,94 + 738,9}{2 \times 0,845} \right) \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{4 \times 1798,94 \times 738,9 \times 0,845}{(1798,94 + 738,9)^2}} \right) \\ &= 676 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$F_y/F_e = 240/676 = 0,355 < 2,5$ , maka:

$$F_{cr} = 0,658^{(F_y/F_e)} = 592,9 \text{ Mpa}$$

Digunakan  $F_{cr}$  terkecil = 212 Mpa

$$\phi P_n = 0,9 \cdot A_g \cdot F_{cr} = 0,9 \times 3800 \times 212 = 726047 \text{ N}$$

$$P_u = 225,8 \text{ kN} < \phi P_n = 726,05 \text{ kN} \quad (\text{OK})$$

#### Cek kelangsingan batang terpanjang

$$L = 4100 \text{ mm}$$

$$\frac{KL}{r} = \frac{1 \times 4100}{30,35} = 135 < 200 \quad (\text{OK})$$

Batang tekan profil 2L 100.100.10 aman terhadap gaya tekan ultimate

#### 4. Kontrol Batang Tarik

Batang kuda-kuda baja yang mengalami tarik terjadi pada 2 profil yaitu profil 2L100.100.10 dengan panjang 1,468 m dan profil 2L60.60.6 dengan panjang 5,13 m.

##### 1) Profil 2L 100.100.10

Data profil gabungan:

$A_g = 3800 \text{ mm}^2$	$C_y = 28,2 \text{ mm}$
$I_x = 3780000 \text{ mm}^4$	$r_x = 30,35 \text{ mm}$
$I_y = 7688512 \text{ mm}^4$	$r_y = 44,98 \text{ mm}$

$$F_y = 240 \text{ Mpa}$$

$$P_u \text{ tarik} = 222,31 \text{ kN}$$

$$\text{Panjang batang} = 1468 \text{ mm}$$

#### Kelangsingan Batang

$$L/r_{\min} = 1468/30,35 = 48,4 < 300 \quad (\text{OK})$$

### Pemeriksaan Leleh Tarik

$$\emptyset P_n = 0,9 \cdot A_g \cdot F_y = 0,9 \times 3800 \times 240 = 514944 \text{ N}$$

$$P_u = 222,31 \text{ kN} < \emptyset P_n = 514,9 \text{ kN} \text{ (OK)}$$

### Cek Kebutuhan Baut

Digunakan baut kelompok A ulir pada bidang geser

$$F_{nv} = 372 \text{ Mpa}$$

$$d \text{ baut} = 20 \text{ mm}$$

$$d \text{ hole} = 22 \text{ mm}$$

$$A_b = 0,25\pi d^2 = 0,25\pi \times 20^2 = 314 \text{ mm}^2$$

Kuat geser baut:

$$\emptyset R_n = 0,75 \cdot A_b \cdot F_{nv} = 0,75 \times 314 \times 372 = 87650 \text{ N} = 87,65 \text{ kN}$$

$$\text{Jumlah baut} = \frac{P_u}{\emptyset R_n} = \frac{222,31}{87,65} = 2,5 \text{ (3 baut)}$$

Digunakan 3 baut 20 mm dalam 1 baris

### Pemeriksaan Keruntuhan Tarik Penampang Netto

$$t \text{ profil tunggal} = 10 \text{ mm}$$

$$t \text{ profil ganda} = 2 \times 10 = 20 \text{ mm}$$

$$A_n = A_g - t \times d \text{ hole} = 3800 - 20 \times 22 = 3360 \text{ mm}^2$$

$$x \text{ (Cy)} = 28,2 \text{ mm}$$

$$L = 1468 \text{ mm}$$

$$U = 1 - x/L = 1 - 28,2/1468 = 0,981 \quad (\text{SNI 1729:2020 D3.1})$$

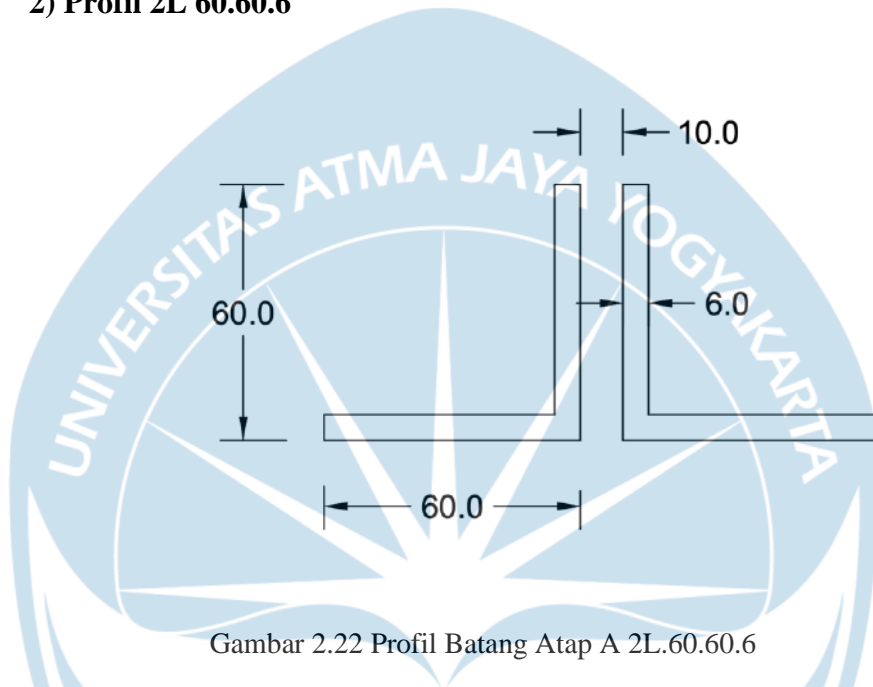
$$A_e = U \times A_n = 0,981 \times 3360 = 3295,46 \text{ mm}^2$$

$$\emptyset P_n = 0,75 \cdot A_e \cdot F_u = 0,75 \times 3295,46 \times 370 = 914488 \text{ N} = 914,5 \text{ kN}$$

$$P_u = 222,31 \text{ kN} < 914,5 \text{ kN} \quad (\text{OK})$$

Batang Tarik profil 2L 100.100.10 aman terhadap keruntuhan tarik.

## 2) Profil 2L 60.60.6



Gambar 2.22 Profil Batang Atap A 2L.60.60.6

Data profil tunggal:

$$A_g = 691 \text{ mm}^2$$

$$C_x = C_y = 17 \text{ mm}$$

$$I_x = 227900 \text{ mm}^4$$

$$r_x = r_y = 18,16 \text{ mm}$$

$$I_y = 227900 \text{ mm}^4$$

Data profil gabungan:

$$t \text{ kopel} = 10 \text{ mm}$$

$$A_g = 2 \times 691 = 1382 \text{ mm}^2$$

$$I_x = 2 \times 227900 = 455800 \text{ mm}^4$$

$$I_y = 2 \times 227900 + 1382 (17 + 10/2)^2 = 1124688 \text{ mm}^4$$

$$r_x = 18,16 \text{ mm}$$

$$r_y = \sqrt{\frac{1382}{1124688}} = 28,53 \text{ mm}$$

$$F_y = 240 \text{ Mpa}$$

$$P_u = 48,45 \text{ kN}$$

$$\text{Panjang batang} = 5133 \text{ mm}$$

### **Kelangsingan Batang**

$$L/r \text{ min} = 5133/18,16 = 282,64 < 300 \text{ (OK)}$$

### **Pemeriksaan Leleh Tarik**

$$\phi P_n = 0,9 \cdot A_g \cdot F_y = 0,9 \times 1382 \times 240 = 298512 \text{ N}$$

$$P_u = 48,45 \text{ kN} < \phi P_n = 298,51 \text{ kN} \text{ (Aman)}$$

Batang tarik profil 2L.60.60.6 aman terhadap gaya tarik ultimate.

### **Cek Kebutuhan Baut**

Digunakan baut kelompok A ulir pada bidang geser

$$F_{nv} = 372 \text{ Mpa}$$

$$d \text{ baut} = 16 \text{ mm}$$

$$d \text{ hole} = 18 \text{ mm}$$

$$A_b = 0,25\pi d^2 = 0,25\pi \times 16^2 = 201 \text{ mm}^2$$

Kuat geser baut:

$$\phi R_n = 0,75 \cdot A_b \cdot F_{nv} = 0,75 \times 201 \times 372 = 56096 \text{ N} = 56,1 \text{ kN}$$

$$\text{Jumlah baut} = \frac{P_u}{\phi R_n} = \frac{48,45}{56,1} = 0,86 \text{ (min 2 baut)}$$

Digunakan 2 baut 16 mm dalam 1 baris



## Pemeriksaan Keruntuhan Tarik Penampang Netto

t profil ganda = 2 x 6 mm = 12 mm

Rencana awal baut:

d baut = 16 mm

d lubang baut = 18 mm

$A_n = A_g - t \text{ profil} \times d \text{ hole} = 1382 - 12 \times 18 = 1166 \text{ mm}^2$

x (Cy tunggal) = 17 mm

L = 5133 mm

U =  $1 - x/L = 1 - 17/5133 = 0,997$  (SNI 1729:2020 D3.1)

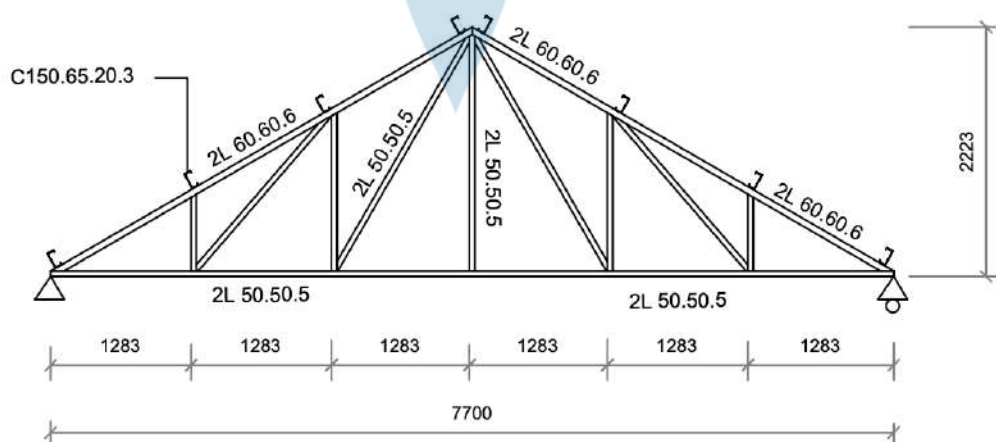
$A_e = U \times A_n = 0,997 \times 1166 = 1162 \text{ mm}^2$

$\phi P_n = 0,75 \cdot A_e \cdot F_u = 0,75 \times 1162 \times 370 = 322493 \text{ N} = 322,5 \text{ kN}$

$P_u = 222,31 \text{ kN} < 322,5 \text{ kN}$  (OK)

Batang tarik profil 2L.60.60.6 aman terhadap keruntuhan tarik.

## 2.4.7 Perencanaan Kuda-Kuda Atap B



Gambar 2.23 Denah Profil Kuda-kuda Atap B

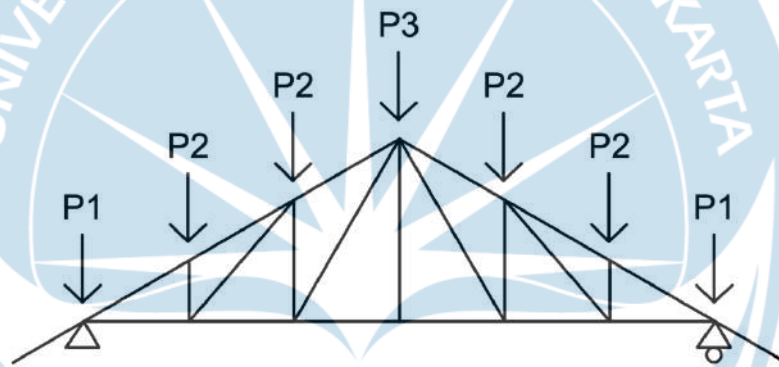
Profil batang tekan atas : 2L 60.60.6

Profil batang tarik bawah : 2L 50.50.5

Profil batang vertikal : 2L 50.50.5

Profil batang miring : 2L 50.50.5

### 1. Pembebanan Atap



Gambar 2.24 Beban Mati dan Hidup Atap B

Jarak antar kuda-kuda = 3 m

Jarak antar gording = 1,482 m

Jarak horizontal gording = 1,283 m

Ujung atap = 1 m

#### Beban Mati

P1:

- Gording =  $0,0707 \text{ kN/m} \times 3$  = 0,212 kN
- Atap Galvalum =  $0,05 \text{ kN/m}^2 \times (1+1,482/2) \times 3$  = 0,261 kN
- Plafon =  $0,18 \text{ kN/m}^2 \times (1,482/2) \times 3$  = 0,346 kN

$$= 0,82 \text{ kN}$$

P2:

- Gording =  $0,0707 \text{ kN/m} \times 3$  = 0,212 kN
  - Atap Galvalum =  $0,05 \text{ kN/m}^2 \times 1,482 \times 3$  = 0,222 kN
  - Plafon =  $0,18 \text{ kN/m}^2 \times 1,283 \times 3$  = 0,693 kN
- $$= 1,127 \text{ kN}$$

P3:

- Gording =  $2 \times (0,0707 \text{ kN/m} \times 3)$  = 0,424 kN
  - Atap Galvalum =  $0,05 \text{ kN/m}^2 \times 1,482 \times 3$  = 0,222 kN
  - Plafon =  $0,18 \text{ kN/m}^2 \times 1,283 \times 3$  = 0,396 kN
- $$= 1,229 \text{ kN}$$

### **Beban Hidup**

- Beban hidup pekerja (P1, P2, P3) = 1 kN

### **Beban Angin**

Beban angin didesain berdasarkan SNI 1727:2020.

- V dasar = 32 m/s
- Tinggi bangunan = 14,5 m
- Tinggi atap = 2,22 m
- Tinggi + 1/2 atap total = 16,61m
- Lebar bangunan = 7,7 m
- Sudut atap ( $\theta$ ) =  $30^\circ$
- h/L =  $16,61 / 7,7 = 2$

Daerah pinggiran kota, maka kekasaran permukaan = B

Eksposur bangunan = B

Faktor topografi ( $K_{zt}$ ) = 1,0

Faktor arah angin ( $K_d$ ) = 0,85

Faktor efek hembusan angin ( $G$ ) = 0,85

Koefisien eksposur tekanan velositas diinterpolasi dari Tabel 26.10-1 dalam SNI 1727:2020 untuk  $h = 16,61$  m.

$$K_z = 0,81 + \frac{16,61 - 15,2}{18 - 15,2} \times (0,85 - 0,81) = 0,816$$

$$\begin{aligned} \text{Tekanan angin (qh)} &= 0,613 \cdot K_z \cdot K_{zt} \cdot K_d \cdot V^2 \\ &= 0,613 \times 0,816 \times 1 \times 0,85 \times 32^2 \\ &= 435,3 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

Koefisien tekanan eksternal ( $C_p$ ) didapatkan dari tabel koefisien tekanan atap pada Gambar 27.3-1 SNI 1727:2020 untuk  $h/L = 2$ .

$$C_p \text{ datang} = 0,2$$

$$C_p \text{ pergi} = -0,6$$

Koefisien tekanan internal ( $G_{pci}$ ) didapatkan dari tabel 26.13-1 SNI 1727:2020 untuk bangunan terbuka sebagian.

$$G_{pci} = +0,18 \text{ dan } -0,18$$

Untuk angin kiri ( $G_{pci} = +0,18$ ):

$$\begin{aligned} P \text{ datang} &= q \cdot G \cdot C_p \text{ datang} - q \cdot G_{pci} \\ &= 435,3 \times 0,85 \times 0,2 - 435,3 \times 0,18 = -4,35 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

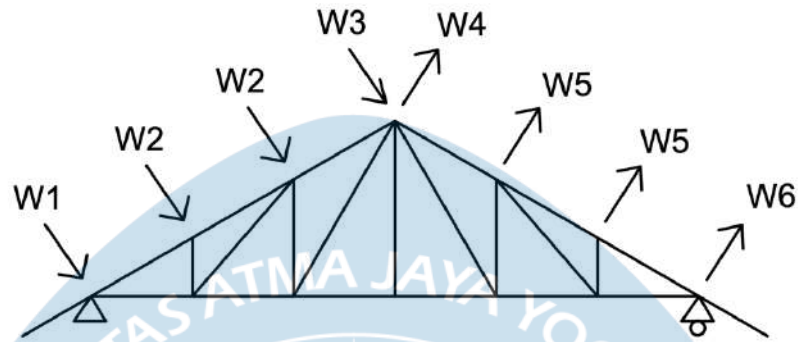
$$\begin{aligned} P \text{ pergi} &= q \cdot G \cdot C_p \text{ pergi} - q \cdot G_{pci} \\ &= 435,3 \times 0,85 \times (-0,6) - 435,3 \times 0,18 = -300,4 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

Untuk angin kanan ( $G_{pci} = -0,18$ ):

$$\begin{aligned} P \text{ datang} &= q \cdot G \cdot C_p \text{ datang} - q \cdot G_{pci} \\ &= 435,3 \times 0,85 \times 0,2 - 435,3 \times (-0,18) = 152,4 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P \text{ pergi} &= q \cdot G \cdot C_p \text{ pergi} - q \cdot G_{pci} \\ &= 435,3 \times 0,85 \times (-0,6) - 435,3 \times (-0,18) = -143,7 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

1) Beban Angin Kiri (Wki)



Gambar 2.25 Beban Angin Kiri Atap B

$$P \text{ datang} = -4,35 \text{ N/m}^2 = -0,00435 \text{ kN/m}^2$$

$$P \text{ pergi} = -300,4 \text{ N/m}^2 = -0,3 \text{ kN/m}^2$$

Angin datang:

$$W1 = 0,25 \times P \text{ datang} \times (1+1,482/2) \times 3 = -0,023 \text{ kN}$$

$$W2 = 0,25 \times P \text{ datang} \times 1,482 \times 3 = -0,2 \text{ kN}$$

$$W3 = 0,25 \times P \text{ datang} \times 1,482/2 \times 3 = -0,01 \text{ kN}$$

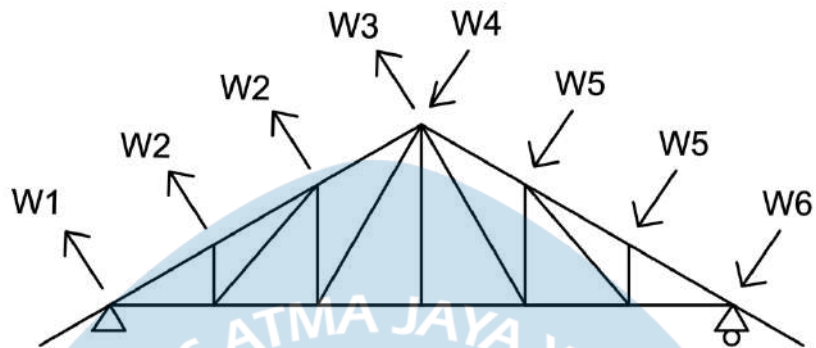
Angin pergi:

$$W4 = 0,25 \times P \text{ pergi} \times (1+1,482/2) \times 3 = -0,67 \text{ kN}$$

$$W5 = 0,25 \times P \text{ pergi} \times 1,482 \times 3 = -1,34 \text{ kN}$$

$$W6 = 0,25 \times P \text{ pergi} \times 1,482/2 \times 3 = -1,6 \text{ kN}$$

## 2) Beban Angin Kanan (Wka)



Gambar 2.26 Beban Angin Kanan Atap B

$$P \text{ datang} = 152,4 \text{ N/m}^2 = 0,152 \text{ kN/m}^2$$

$$P \text{ pergi} = -143,7 \text{ N/m}^2 = -0,144 \text{ kN/m}^2$$

Angin datang:

$$W6 = 0,25 \times C_t \times (1+1,482/2) \times 3 = 0,8 \text{ kN}$$

$$W5 = 0,25 \times C_t \times 1,482 \times 3 = 0,68 \text{ kN}$$

$$W4 = 0,25 \times C_t \times 1,482/2 \times 3 = 0,34 \text{ kN}$$

Angin pergi:

$$W3 = 0,25 \times C_i \times (1+1,482/2) \times 3 = -0,32 \text{ kN}$$

$$W2 = 0,25 \times C_i \times 1,482 \times 3 = -0,64 \text{ kN}$$

$$W1 = 0,25 \times C_i \times 1,482/2 \times 3 = -0,75 \text{ kN}$$

## 2. Analisis Struktur

Analisis struktur dilakukan dengan bantuan Etabs dengan kombinasi pembebanan:

a) 1,4DL

- b)  $1,2DL + 1,6LL$
- c)  $1,2DL + 1,3W_{kiri} + 0,5LL$
- d)  $1,2DL + 1,3W_{kanan} + 0,5LL$

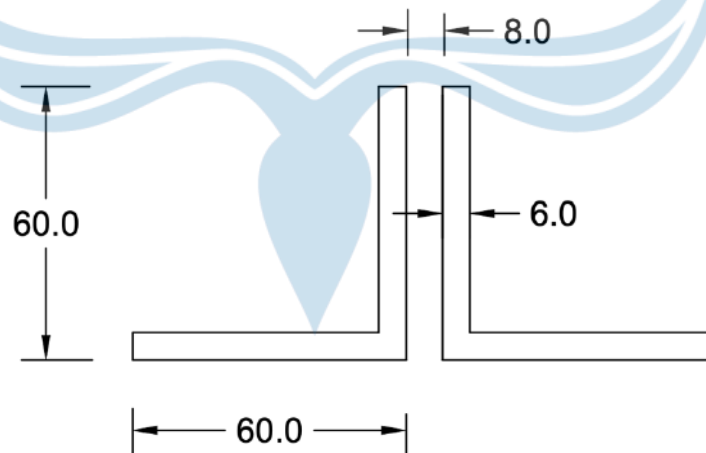
Didapatkan nilai gaya tekan dan tarik ultimate pada masing-masing profil dalam tabel berikut.

Tabel 2.17 Nilai Gaya Tekan dan Tarik Ultimate Pada Profil Atap B

Profil	Panjang Batang	Pu
2L 60.60.6	1,482 m	-17,92 kN (Tekan)
2L 50.50.5	1,283 m	15,51 kN (Tarik)

### 3. Kontrol Batang Tekan

Batang kuda-kuda baja yang mengalami tekan pada profil 2L 60.60.6 dengan panjang 1,482 m dengan tebal pelat sambung 8 mm dan jarak antar pelat sambung 0,494 m.



Gambar 2.27 Profil Batang Atap B 2L.60.60.6

Data profil tunggal:

$$A_g = 691 \text{ mm}^2$$

$$C_x = C_y = 17 \text{ mm}$$

$$I_x = 227900 \text{ mm}^4$$

$$r_x = r_y = 18,16 \text{ mm}$$

$$I_y = 227900 \text{ mm}^4$$

Data profil gabungan:

$$t \text{ kopel} = 8 \text{ mm}$$

$$A_g = 2 \times 691 = 1382 \text{ mm}^2$$

$$I_x = 2 \times 227900 = 455800 \text{ mm}^4$$

$$I_y = 2 \times 227900 + 1382 (17 + 8/2)^2 = 1065262 \text{ mm}^4$$

$$r_x = 18,16 \text{ mm}$$

$$r_y = \sqrt{\frac{1382}{1065262}} = 27,76 \text{ mm}$$

Data konstruksi:

$$E = 200.000 \text{ Mpa}$$

$$F_y = 240 \text{ Mpa}$$

$$P_u = 17,92 \text{ kN}$$

$$L = 1482 \text{ mm}$$

$$K = 1 \text{ (sendi-send)}$$

Karena penampang batang baja simetris 1 sisi saja, terjadi *flexural buckling* dan *flexural torsional buckling* (SNI 1729:2020 Tabel E1.1)

### Pemeriksaan Kekompakan

$$\lambda r = 0,45 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 12,99 \quad (\text{SNI 1729:2020 Tabel B4})$$

$$\frac{b}{t} = \frac{60}{6} = 10 < \lambda r \text{ (Kompak)}$$

### Pemeriksaan Tekuk Lentur Sumbu X-X (FB)

$$4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 135,97$$



$$\frac{KL}{rx} = \frac{1 \times 1482}{18,16} = 81,6 < 135,97 \text{ maka:}$$

$$Fe = \frac{\pi^2 x E}{81,6^2} = 296,41 \text{ Mpa}$$

$$Fcr = 0,658^{(Fy/Fe)} = 171,01 \text{ Mpa}$$

### Pemeriksaan Tekuk Lentur Torsi (FTB)

$$a = 494 \text{ mm} \text{ (jarak antar pelat sambung)}$$

$$ri = 18,16 \text{ mm} \text{ (r profil tunggal)}$$

$$a/ri = 27,2$$

$$\frac{3KL}{4ry} = \frac{3 \times 1 \times 1482}{4 \times 27,76} = 40,03 > \frac{a}{ri} \text{ (jumlah pelat sambung cukup)}$$

$$Ki = 0,5 \text{ (SNI 1729:2020.E6.1)}$$

$$\frac{KL}{ry_0} = \frac{1 \times 1482}{27,76} = 58,38$$

karena  $a/ri < 40$ ; maka:

$$\left(\frac{KL}{r}\right)_m = \left(\frac{KL}{ry}\right)_0 = 58,38 < 135,97$$

$$Fey = \frac{\pi^2 x E}{58,38^2} = 692,76 \text{ Mpa}$$

$$G = 77200 \text{ Mpa} \text{ (Modulus geser baja)}$$

$$J = \frac{2}{3} (2 \times 60 - 6) 6^3 = 16416 \text{ (konstanta torsi double siku)}$$

$$Cw = 0$$

$$x_0 = 0 \text{ mm} \text{ (siku ganda } x_0 = 0)$$

$$y_0 = Cy - t/2 = 17 - 6/2 = 14 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} r_{02} &= x_0^2 + y_0^2 + \frac{Ix + Iy}{Ag} = 14 + \frac{1065262 + 1065262}{1382} \\ &= 1296,62 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

(SNI 1729:2020 E4-9)

$$H = 1 - \frac{0 + 14^2}{1296,62^2} = 0,849 \quad (\text{SNI 1729: 2020 E4 - 8})$$

$$F_{ez} = \frac{77200 \times 16416}{1382 \times 1296,62} = 707,23 \text{ Mpa} \quad (\text{SNI 1729: 2020 E4 - 7})$$

$$F_e = \left( \frac{692,76 + 707,23}{2 \times 0,849} \right) \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{4 \times 692,76 \times 707,23}{(692,76 + 707,23)^2}} \right)$$
$$= 503,9 \text{ Mpa}$$

$F_y/F_e = 240/503,9 = 0,476 < 2,5$ , maka:

$$F_{cr} = 0,658^{(F_y/F_e)} = 441,95 \text{ Mpa}$$

$F_{cr \text{ control}} = 171,01 \text{ Mpa}$

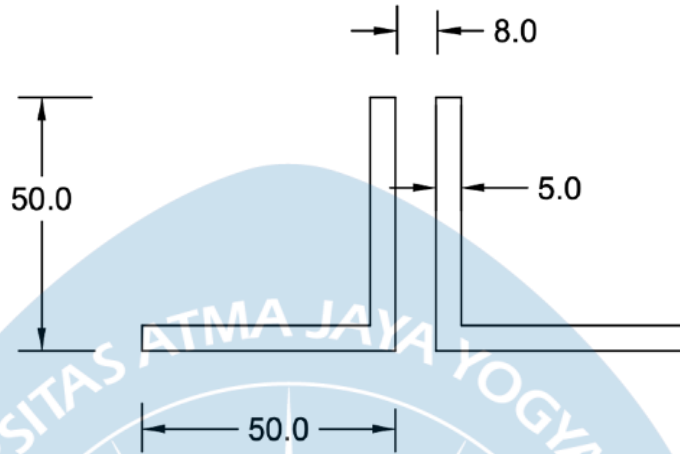
$$\phi P_n = 0,9 \cdot A_g \cdot F_{cr} = 0,9 \times 1382 \times 171,01 = 212707,86 \text{ N}$$

$$P_u = 17,92 \text{ kN} < \phi P_n = 212,7 \text{ kN} \quad (\text{Aman})$$

Batang tekan profil 2L 60.60.6 aman terhadap gaya tekan ultimatanya.

#### 4. Kontrol Batang Tarik

Batang kuda-kuda baja yang mengalami tarik pada profil 2L 50.50.5 dengan panjang 1,283 m.



Gambar 2.28 Profil Batang Atap B 2L.50.50.5

Data profil tunggal:

$A_g$	$= 480,2 \text{ mm}^2$	$C_x = C_y = 14,1 \text{ mm}$
$I_x$	$= 111000 \text{ mm}^4$	$r_x = r_y = 15,2 \text{ mm}$
$I_y$	$= 111000 \text{ mm}^4$	

Data profil gabungan:

$t$ kopel	$= 8 \text{ mm}$
$A_g$	$= 2 \times 480,2 = 960,4 \text{ mm}^2$
$I_x$	$= 2 \times 111000 = 222000 \text{ mm}^4$
$I_y$	$= 2 \times 111000 + 1382 (14,1 + 8/2)^2 = 536636,64$
	$\text{mm}^4$
$r_x$	$= 15,2 \text{ mm}$
$r_y$	$= \sqrt{\frac{960,4}{536636,64}} = 23,64 \text{ mm}$
$F_y$	$= 240 \text{ Mpa}$
$P_u$	$= 15,51 \text{ kN}$
Panjang batang	$= 1283 \text{ mm}$

### **Kelangsingan Batang**

$$L/r \text{ min} = 1283/15,2 = 84,39 < 300 \quad (\text{OK})$$

### **Pemeriksaan Leleh Tarik**

$$\phi P_n = 0,9 \cdot A_g \cdot F_y = 0,9 \times 960,4 \times 240 = 207446,4 \text{ N}$$

$$P_u = 15,51 \text{ kN} < \phi P_n = 207,45 \text{ kN} \quad (\text{Aman})$$

Batang Tarik profil 2L.50.50.5 aman terhadap gaya tarik ultimatanya.

### **Cek Kebutuhan Baut**

Digunakan baut kelompok A ulir pada bidang geser

$$F_{nv} = 372 \text{ Mpa}$$

$$d \text{ baut} = 16 \text{ mm}$$

$$d \text{ hole} = 18 \text{ mm}$$

$$A_b = 0,25\pi d^2 = 0,25\pi \times 16^2 = 201 \text{ mm}^2$$

Kuat geser baut:

$$\phi R_n = 0,75 \cdot A_b \cdot F_{nv} = 0,75 \times 201 \times 372 = 56096 \text{ N} = 56,1 \text{ kN}$$

$$\text{Jumlah baut} = \frac{P_u}{\phi R_n} = \frac{15,51}{56,1} = 0,3 \text{ (min 2 baut)}$$

Digunakan 2 baut 16 mm dalam 1 baris

### **Pemeriksaan Keruntuhan Tarik Penampang Netto**

$$t \text{ profil gabungan} = 2 \times 5 \text{ mm} = 10 \text{ mm}$$

Rencana awal baut:

$$d \text{ baut} = 16 \text{ mm}$$

$$d \text{ lubang baut} = 18 \text{ mm}$$

$$A_n = A_g - t \text{ profil} \times d \text{ hole} = 960,4 - 10 \times 18 = 780,4 \text{ mm}^2$$

$$x \text{ (Cy tunggal)} = 14,1 \text{ mm}$$

$$L = 1283 \text{ mm}$$

$$U = 1 - x/L = 1 - 14,1/1283 = 0,989 \quad (\text{SNI 1729:2020 D3.1})$$

$$A_e = U \times A_n = 0,989 \times 780,4 = 771,8 \text{ mm}^2$$

$$\phi P_n = 0,75 \cdot A_e \cdot F_u = 0,75 \times 771,8 \times 370 = 214181 \text{ N} = 214,2 \text{ kN}$$

$$P_u = 15,51 \text{ kN} < 214,2 \text{ kN} \quad (\text{OK})$$

Batang tarik profil 2L.60.60.6 aman terhadap keruntuhan tarik.

## 2.4.8 Perencanaan Sambungan Atap A

### 1. Perhitungan Sambungan Profil 2L 100.100.10

Direncanakan sambungan pada batang yang menggunakan profil 2UNP100.10.5.7,5, pelat mutu BJ37 dan menggunakan baut kelompok A diameter 20 mm dimana batang tersebut menerima gaya tarik sebesar 222,31 kN.

Data Perencanaan:

$$t \text{ ganda profil} = 20 \text{ mm}$$

$$t \text{ plat sambung} = 10 \text{ mm}$$

$$d \text{ baut (M20)} = 20 \text{ mm}$$

$$d \text{ lubang} = 22 \text{ mm}$$

$$F_y = 240 \text{ Mpa}$$

$$F_u = 370 \text{ Mpa}$$

### Kuat Geser Baut

Berdasarkan SNI 1729-2020 J3.3

$$F_{nv} = 372 \text{ Mpa (baut kelompok A)} \quad (\text{SNI 1729:2020 Tabel J3.2})$$

$$A_b = 0,25\pi \cdot d^2 = 0,25\pi \times 20^2 = 314,16 \text{ mm}^2$$

$$\phi R_n = 0,75 \cdot F_{nv} \cdot A_b = 0,75 \times 372 \times 314,16 = 87650 \text{ N} = 87,65 \text{ kN}$$

### **Kebutuhan Baut**

$$P_u \text{ tarik} = 222,31 \text{ kN}$$

$$\text{Jumlah Baut} = \frac{P_u}{\phi R_n} = \frac{222,31}{87,65} = 2,5 \approx 3 \text{ buah}$$

Digunakan 3 buah baut dalam 1 baris

### **Jarak Baut ke Tepi**

$$\text{Jarak minimum} = 26 \text{ mm} \quad (\text{SNI 1729:2020 Tabel J2.4M})$$

$$\text{Jarak pakai} = 30 \text{ mm} > 26 \text{ mm} \text{ (OK)}$$

### **Jarak Antar Baut As ke As**

$$\text{Jarak minimum} = 8/3 d = 8/3 \times 20 = 53,33 \text{ mm} \quad (\text{SNI 1729:2020 J3.3})$$

$$\text{Jarak ideal} = 3 \cdot d = 3 \times 20 = 60 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak pakai} = 60 \text{ mm} > 53,33 \text{ mm} \text{ (OK)}$$

### **Cek Kuat Tumpu dan Sobek pada Lubang Baut**

Kontrol gunakan tebal pelat sambung yang lebih tipis ( $t = 10 \text{ mm}$ )

#### **a. Kuat Sobek (SNI 1729-2020 J3-6c):**

$$l_c \text{ tepi} = \text{jarak tepi} - d_{\text{hole}}/2 = 30 - 22/2 = 19 \text{ mm}$$

$$l_c \text{ tengah} = \text{jarak as} - d_{\text{hole}} = 60 - 22 = 38 \text{ mm}$$

$$\phi R_n \text{ tepi} = 0,75 \cdot l_c \cdot t \cdot \delta b \cdot F_u = 0,75 \times 19 \times 10 \times 20 \times 370 = 1054500 \text{ N} = 1054,5 \text{ kN}$$

$$\phi R_n \text{ tengah} = 0,75 \cdot l_c \cdot t \cdot \delta b \cdot F_u = 0,75 \times 30 \times 10 \times 20 \times 370 = 2109000 \text{ N} = 2109 \text{ kN}$$

#### **b. Kuat Tumpu (SNI 1729-2020 J3-6a):**

$$\emptyset R_n = 0,75 \cdot 2,4 \cdot d \cdot t \cdot F_u = 0,75 \times 2,4 \times 20 \times 10 \times 370 = 133200 \text{ N} = 133,2 \text{ kN}$$

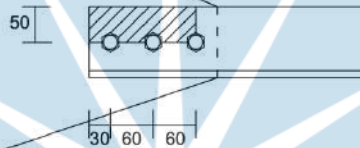
Diambil nilai  $R_n$  terkecil

$$\emptyset R_n \text{ total} = 1 \emptyset R_n \text{ tepi} + 2 \emptyset R_n \text{ tengah} = 1 (87,5) + 2 (87,5) = 262,95 \text{ kN}$$

$$P_u \text{ tarik} = 222,31 \text{ kN} < \emptyset R_n \text{ total} \quad (\text{OK})$$

### Cek Kuat Geser Blok

Berdasarkan SNI 1729-2020 J4.3



Keruntuhan blok terjadi pada batang profil

Tebal profil ganda = 20 mm

$$A_{gv} = 20 \times 150 = 3000 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = 20 \times (150 - 2,5(22)) = 1900 \text{ mm}^2$$

$$A_{nt} = 20 \times (50 - 0,5(22)) = 780 \text{ mm}^2$$

$$R_n = 0,6 \cdot F_u \cdot A_{nv} + U_{bs} \cdot F_u \cdot A_{nt} = 0,6 \times 370 \times 1900 + 1 \times 370 \times 780 = 710400 \text{ N}$$

Batas Atas:

$$R_n = 0,6 \cdot F_y \cdot A_{gv} + U_{bs} \cdot F_u \cdot A_{nt} = 0,6 \times 280 \times 3000 + 1 \times 370 \times 780 = 792600 \text{ N}$$

$$\text{Dipakai } R_n = 710400 \text{ N} = 710,4 \text{ kN}$$

$$\emptyset R_n = 0,75 \times 710,4 = 532,8 \text{ kN} > P_u \text{ tarik} = 222,31 \text{ kN} \quad (\text{OK})$$

## 2. Perhitungan Sambungan Profil 2L 60.60.6

Direncanakan sambungan pada batang yang menggunakan profil 2L 60.60.6 pelat mutu BJ37 dan menggunakan baut kelompok A diameter 16 mm dimana batang tersebut menerima gaya tarik sebesar 48,45 kN.

Data Perencanaan:

t ganda profil	= 12 mm
t plat sambung	= 10 mm
d baut	= 16 mm
d lubang	= 18 mm
Fy	= 240 Mpa
Fu	= 370 Mpa

### Kuat Geser Baut

Berdasarkan SNI 1729-2020 J3.3

$$F_{nv} = 372 \text{ Mpa (baut kelompok A)} \quad (\text{SNI 1729:2020 Tabel J3.2})$$

$$A_b = 0,25\pi \cdot d^2 = 0,25\pi \times 16^2 = 201,06 \text{ mm}^2$$

$$\phi R_n = 0,75 \cdot F_{nv} \cdot A_b = 0,75 \times 372 \times 201,06 = 56096,28 \text{ N} = 56,096 \text{ kN}$$

### Kebutuhan Baut

$$P_u \text{ tarik} = 48,45 \text{ kN}$$

$$\text{Jumlah Baut} = \frac{P_u}{\phi R_n} = \frac{48,45}{56,096} = 0,864 \approx \text{Digunakan 2 buah}$$

Digunakan 2 buah baut dalam 1 baris

### Jarak Baut ke Tepi

$$\text{Jarak minimum} = 22 \text{ mm} \quad (\text{SNI 1729:2020 Tabel J3.4M})$$

$$\text{Jarak pakai} = 25 \text{ mm} > 22 \text{ mm (OK)}$$

### Jarak Antar Baut As ke As



$$\text{Jarak minimum} = 8/3 d = 8/3 \times 16 = 42,67 \text{ mm} \quad (\text{SNI 1729:2020 J3.3})$$

$$\text{Jarak ideal} = 3.d = 3 \times 16 = 48 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak pakai} = 50 \text{ mm} > 42,67 \text{ mm} \text{ (OK)}$$

### **Cek Kuat Tumpu dan Sobek pada Lubang Baut**

Kontrol gunakan tebal pelat sambung yang lebih tipis ( $t = 10 \text{ mm}$ )

#### **a. Kuat Sobek (SNI 1729-2020 J3-6c):**

$$l_c \text{ tepi} = \text{jarak tepi} - d \text{ hole}/2 = 25 - 18/2 = 16 \text{ mm}$$

$$l_c \text{ tengah} = \text{jarak as} - d \text{ hole} = 50 - 18 = 32 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \emptyset R_n \text{ tepi} &= 0,75.l_c.t.db.F_u = 0,75 \times 16 \times 10 \times 16 \times 370 \\ &= 710400 \text{ N} = 710,4 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \emptyset R_n \text{ tengah} &= 0,75.l_c.t.db.F_u = 0,75 \times 32 \times 10 \times 16 \times 370 \\ &= 1420800 \text{ N} = 1420,8 \text{ kN} \end{aligned}$$

#### **b. Kuat Tumpu (SNI 1729-2020 J3-6a):**

$$\begin{aligned} \emptyset R_n &= 0,75.2,4.d.t.F_u = 0,75 \times 2,4 \times 16 \times 10 \times 370 \\ &= 106560 \text{ N} = 106,56 \text{ kN} \end{aligned}$$

Diambil nilai  $R_n$  terkecil

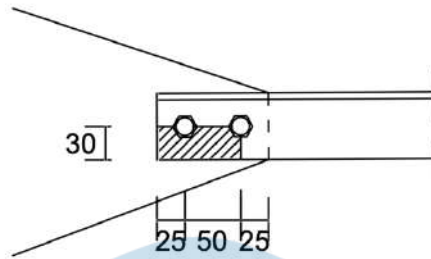
$$\emptyset R_n \text{ total} = 1 \emptyset R_n \text{ tepi} + 1 \emptyset R_n \text{ tengah}$$

$$= 1 (56,096) + 1 (56,096) = 112,2 \text{ kN}$$

$$P_u \text{ tarik} = 48,45 \text{ kN} < \emptyset R_n \text{ total} \quad (\text{OK})$$

### **Cek Kuat Geser Blok**

Berdasarkan SNI 1729-2020 J4.3



Keruntuhan blok terjadi pada batang profil

Tebal profil ganda = 12 mm

$$A_{gv} = 12 \times 75 = 900 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = 12 \times (75 - 1,5(18)) = 576 \text{ mm}^2$$

$$A_{nt} = 12 \times (30 - 0,5(18)) = 252 \text{ mm}^2$$

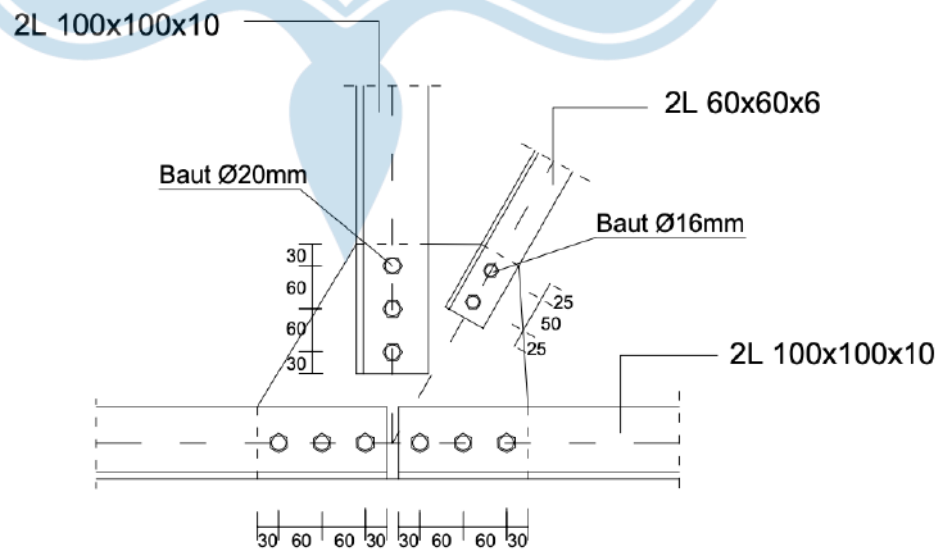
$$R_n = 0,6 \cdot F_u \cdot A_{nv} + U_{bs} \cdot F_u \cdot A_{nt} = 0,6 \times 370 \times 576 + 1 \times 370 \times 252 = 221112 \text{ N}$$

Batas Atas:

$$R_n = 0,6 \cdot F_y \cdot A_{gv} + U_{bs} \cdot F_u \cdot A_{nt} = 0,6 \times 280 \times 900 + 1 \times 370 \times 252 = 244440 \text{ N}$$

Dipakai  $R_n = 221112 \text{ N} = 221,11 \text{ kN}$

$$\phi R_n = 0,75 \times 221,11 = 165,83 \text{ kN} > P_u \text{ tarik} = 48,45 \text{ kN} \quad (\text{OK})$$



Gambar 2.29 Detail Sambungan Atap A

## 2.4.9 Perencanaan Sambungan Atap B

### Perhitungan Sambungan Profil 2L 50.50.5

Direncanakan sambungan pada batang yang menggunakan profil 2L 50.50.5 pelat mutu BJ37 dan menggunakan baut kelompok A diameter 16 mm dimana batang tersebut menerima gaya tarik sebesar 15,5 kN.

Data Perencanaan:

t ganda profil	= 10 mm
t plat sambung	= 8 mm
d baut	= 16 mm
d lubang	= 18 mm
Fy	= 240 Mpa
Fu	= 370 Mpa

#### Kuat Geser Baut

Berdasarkan SNI 1729-2020 J3.3

$$F_{nv} = 372 \text{ Mpa (baut kelompok A)} \quad (\text{SNI 1729:2020 Tabel J3.2})$$

$$A_b = 0,25\pi \cdot d^2 = 0,25\pi \times 16^2 = 201,06 \text{ mm}^2$$

$$\phi R_n = 0,75 \cdot F_{nv} \cdot A_b = 0,75 \times 372 \times 201,06 = 56096,28 \text{ N} = 56,096 \text{ kN}$$

#### Kebutuhan Baut

$$P_u = 15,5 \text{ kN}$$

$$\text{Jumlah Baut} = \frac{P_u}{\phi R_n \text{ kontrol}} = \frac{15,5}{53,28} = 0,291 \approx \text{Digunakan 2 buah}$$

Digunakan 2 buah baut dalam 1 baris

#### Jarak Baut ke Tepi

$$\text{Jarak minimum} = 22 \text{ mm} \quad (\text{SNI 1729:2020 Tabel J3.4M})$$

$$\text{Jarak pakai} = 25 \text{ mm} > 22 \text{ mm (OK)}$$

### Jarak Antar Baut As ke As

$$\text{Jarak minimum} = 8/3 d = 8/3 \times 16 = 42,67 \text{ mm} \quad (\text{SNI 1729:2020 J3.3})$$

$$\text{Jarak ideal} = 3.d = 3 \times 16 = 48 \text{ mm}$$

$$\text{Jarak pakai} = 50 \text{ mm} > 42,67 \text{ mm (OK)}$$

### Cek Kuat Tumpu dan Sobek pada Lubang Baut

Kontrol gunakan tebal pelat sambung yang lebih tipis ( $t = 8 \text{ mm}$ )

#### a. Kuat Sobek (SNI 1729-2020 J3-6c):

$$l_c \text{ tepi} = \text{jarak tepi} - d \text{ hole}/2 = 25 - 18/2 = 16 \text{ mm}$$

$$l_c \text{ tengah} = \text{jarak as} - d \text{ hole} = 50 - 18 = 32 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \phi R_n \text{ tepi} &= 0,75.l_c.t.db.F_u = 0,75 \times 16 \times 10 \times 16 \times 370 \\ &= 745920 \text{ N} = 745,92 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi R_n \text{ tengah} &= 0,75.l_c.t.db.F_u = 0,75 \times 32 \times 10 \times 16 \times 370 \\ &= 1136640 \text{ N} = 1136,64 \text{ kN} \end{aligned}$$

#### b. Kuat Tumpu (SNI 1729-2020 J3-6a):

$$\phi R_n = 0,75.2.4.d.t.F_u = 0,75 \times 2,4 \times 16 \times 8 \times 370 = 85248 \text{ N} = 85,2 \text{ kN}$$

Diambil nilai  $R_n$  terkecil

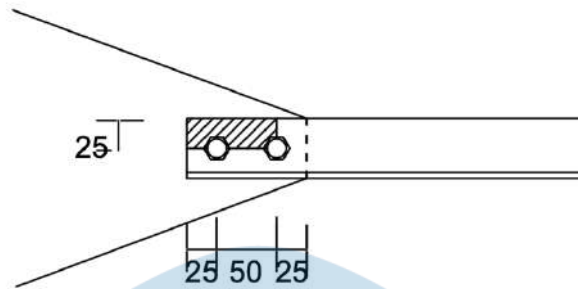
$$\phi R_n \text{ total} = 1 \phi R_n \text{ tepi} + 1 \phi R_n \text{ tengah}$$

$$= 1 (56,096) + 1 (56,096) = 112,2 \text{ kN}$$

$$P_u \text{ tarik} = 15,5 \text{ kN} < \phi R_n \text{ total (OK)}$$

### Cek Kuat Geser Blok

Berdasarkan SNI 1729-2020 J4.3



Keruntuhan blok terjadi pada batang profil

Tebal profil ganda = 10 mm

$$A_{gv} = 10 \times 75 = 750 \text{ mm}^2$$

$$A_{nv} = 10 \times (75 - 1,5(18)) = 480 \text{ mm}^2$$

$$A_{nt} = 10 \times (25 - 0,5(18)) = 160 \text{ mm}^2$$

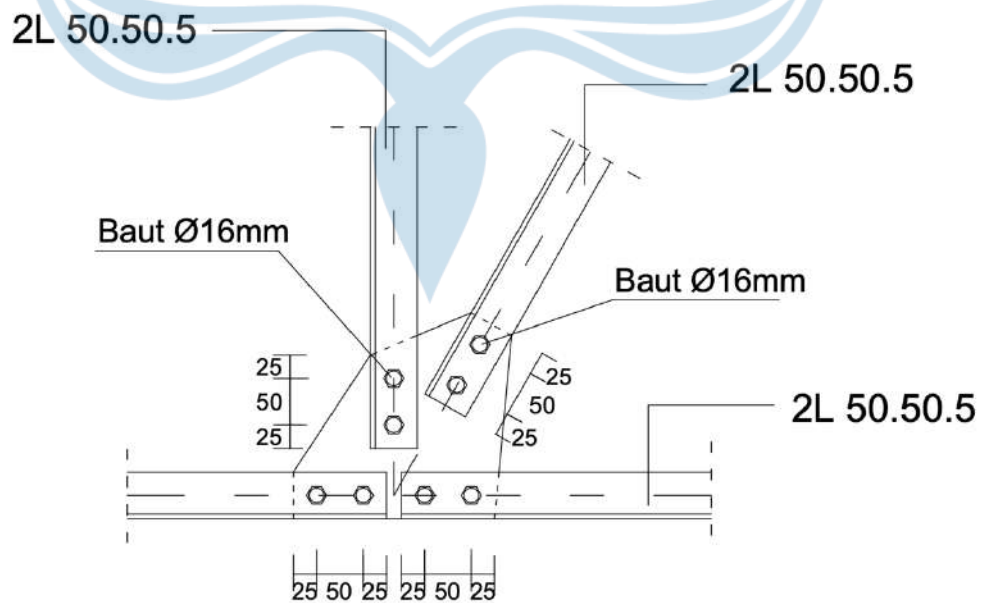
$$R_n = 0,6 \cdot F_u \cdot A_{nv} + U_{bs} \cdot F_u \cdot A_{nt} = 0,6 \times 370 \times 480 + 1 \times 370 \times 160 = 165760 \text{ N}$$

Batas Atas:

$$R_n = 0,6 \cdot F_y \cdot A_{gv} + U_{bs} \cdot F_u \cdot A_{nt} = 0,6 \times 280 \times 750 + 1 \times 370 \times 160 = 185200 \text{ N}$$

$$\text{Dipakai } R_n = 165760 \text{ N} = 165,76 \text{ kN}$$

$$\phi R_n = 0,75 \times 165,76 = 124,32 \text{ kN} > P_u \text{ tarik} = 15,5 \text{ kN} \quad (\text{OK})$$

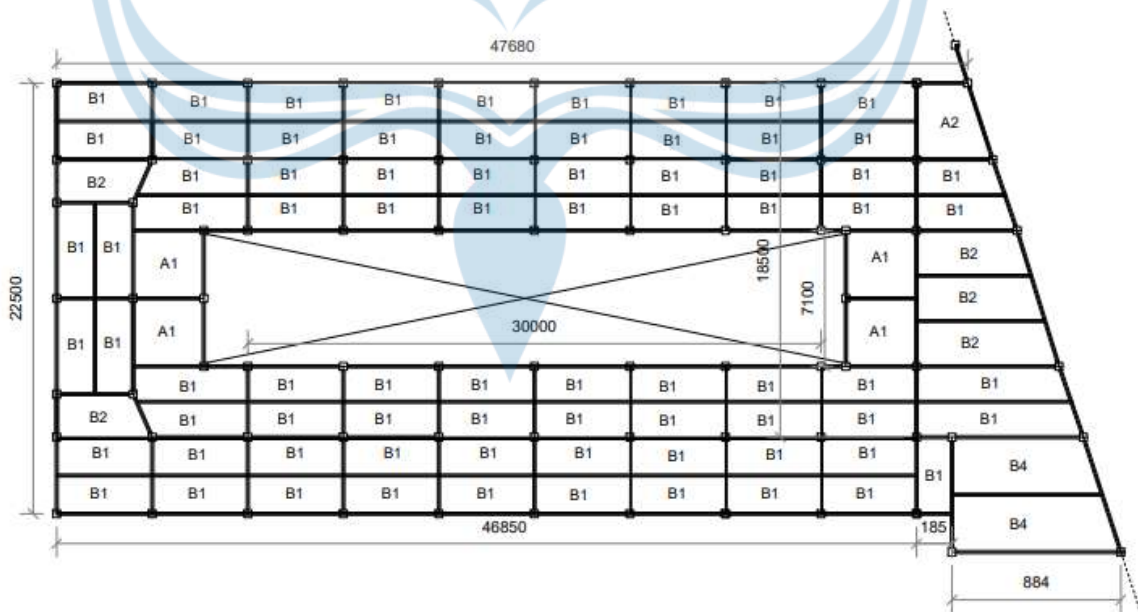


Gambar 2.30 Detail Sambungan Atap B

## 2.5 Perencanaan Pelat Lantai dan Pelat Atap



Gambar 2.31 Denah Pelat Potongan Bangunan A



Gambar 2.32 Denah Pelat Potongan Bangunan B

Keterangan: A = Pelat 2 arah

B = Pelat 1 arah

### 2.5.1 Perencanaan Pelat Lantai Satu Arah

Pelat / slab adalah bidang tipis yang menahan beban-beban transversal melalui aksi lentur ke masing-masing tumpuan. Jika perbandingan dari bentang panjang ( $L_y$ ) terhadap bentang pendek ( $L_x$ ) besarnya 2 kali lebar atau lebih, maka semua beban lantai menuju balok-balok sebagian kecil akan menyalur secara langsung ke gelagar. Sehingga pelat dapat direncanakan sebagai pelat satu arah (*one way slab*).

Dalam perhitungan ini digunakan pelat kamar lantai 2 dengan ukuran 2000 mm x 5000 mm. Berikut data perencanaan pelat satu arah:

• $f'_c$	= 25 Mpa
• $f_y$	= 280 Mpa
• Selimut beton	= 20 mm
• B	= 1000 mm
• $\beta_1$	= 0,85
• $\rho$ min	= 0,002 (SNI 2847:2019 Tabel 24.4.3.2)
• $\rho$ max	= $\frac{0,429 \times 0,85 \times 25 \times 0,85}{280} = 0,02767433$
• b	= 1000 mm
• h (tebal pelat)	= 125 mm
• $l_y$	= 5000 mm
• $l_x$	= 2000 mm
• D tulangan utama	= 10 mm
• D tulangan susut	= 10 mm
• d (tinggi efektif)	= $h - \text{sel beton} - \frac{d \text{ tulangan utama}}{2}$
	= 125 – 20 – 10/2
	= 100 mm

#### 1. Pembebanan Pelat Satu Arah

##### Beban Mati

- Berat sendiri pelat (t = 125 mm) = 3 kN/m<sup>2</sup>
  - Pasir (t = 5 cm) = 0,85 kN/m<sup>2</sup>
  - Spesi (t = 3 cm) = 0,63 kN/m<sup>2</sup>
  - Keramik (t = 2 cm) = 0,63 kN/m<sup>2</sup>
  - MEP = 0,05 kN/m<sup>2</sup>
  - Plafon = 0,18 kN/m<sup>2</sup>
- Total Dead Load (qDL) = 5,13 kN/m<sup>2</sup>

### Beban Hidup

- Beban hidup kamar (qLL) = 1,92 kN/m<sup>2</sup> (SNI 1727: 2020)

### Beban Ultimate Rencana

$$\begin{aligned}
 Q_{ultimate} &= 1,2 qDL + 1,6 qLL \\
 Q_{ultimate} &= 1,2 \times 5,13 + 1,6 \times 1,92 \\
 Q_{ultimate} &= 9,228 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

## 2. Momen Pelat Satu Arah

Pada pelat satu arah besar momen dapat dihitung dengan menggunakan koefisien sesuai ketentuan SNI 8900:2020 tabel 7.7.2 dan tabel 7.8.2.

$$l_n y = 5000 - (350/2) - (350/2) = 4650 \text{ mm}$$

$$l_n x = 2000 - (350/2) - (250/2) = 1700 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Mu Tumpuan 1} &= \frac{q_u \times l_n^2}{24} \quad (\text{SNI 8900:2020 Tabel 7.8.2})
 \end{aligned}$$

$$= \frac{((1,2 \times 5,13) + (1,6 \times 1,92)) \times (1,7 \text{ m})^2}{24}$$

$$= 1,111 \text{ kNm}$$



$$\text{Mu Tumpuan 2} = \frac{qu \times l_n^2}{10} \quad (\text{SNI 8900:2020 Tabel})$$

7.8.2)

$$= \frac{((1,2 \times 5,13) + (1,6 \times 1,92)) \times (1,7 \text{ m})^2}{10}$$

$$= 2,667 \text{ kNm}$$

$$\text{Mu Lapangan} = \frac{qu \times l_n^2}{11} \quad (\text{SNI 8900:2020 Tabel})$$

7.8.2)

$$= \frac{((1,2 \times 5,13) + (1,6 \times 1,92)) \times (1,7 \text{ m})^2}{11}$$

$$= 2,424 \text{ kNm}$$

### 3. Perhitungan Tulangan Tumpuan

#### a. Tulangan Tumpuan 1

$$\text{Mu Tumpuan} = 1,111 \text{ kNm}$$

$$k = \frac{Mu}{\phi \times b \times d^2}$$

$$= \frac{1,111 \times 10^6}{0,9 \times 1000 \times 100^2}$$

$$= 0,123$$

$$\rho = \frac{0,85 f'c}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2k}{0,85 f'c}} \right)$$

$$\rho = 0,00044 \quad (\rho < \rho \text{ min, maka dipakai } \rho \text{ min})$$

$$\rho \text{ use} = 0,002$$

$$\text{As req} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,002 \times 1000 \times 100$$

$$= 200 \text{ mm}^2$$

$$\text{As min} = 0,002 \times b \times h \text{ (karena } f_y < 420 \text{ Mpa) (SNI 2847:2019 tabel)}$$

7.6.1.1)

$$= 0,002 \times 1000 \times 125$$

$$= 250 \text{ mm}^2$$

$$\text{As use} = 200 \text{ mm}^2 \text{ (Karena } \text{As req} < \text{As min})$$

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

$$s = \frac{1}{4} \frac{\pi 10^2 1000}{250}$$

$$s = 314,16 \text{ mm}$$

$$s_{\text{max}} = 3 \times h$$

$$= 3 \times 125 \text{ mm}$$

$$= 375 \text{ mm}$$

Sehingga tulangan tumpuan 1 digunakan D10-250

### Cek Momen Nominal Pelat

$$A_s \text{ aktual} = \frac{b \times A_s \text{ tulangan}}{s}$$

$$= \frac{1000 \times 0,25 \times \pi \times 10^2}{250}$$

$$= 314,159 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{A_s \times F_y}{0,85 \times f'_c \times b}$$

$$= \frac{314,159 \times 420}{0,85 \times 20 \times 1000}$$

$$= 4,1395 \text{ mm}$$

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

$$= \frac{4,1395}{0,85}$$

$$= 4,87 \text{ mm}$$

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

$$= \frac{100-4,87}{4,87} \times 0,003$$

$$= 0,0586$$

Karena  $\epsilon_t > 0,005$ , maka penampang plat merupakan terkendali tarik dengan  $\phi = 0,9$ , sesuai dengan ketentuan tabel 21.2.2 SNI 2847:2019.

$$\begin{aligned} M_n &= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ &= 314,159 \times 420 \times \left(100 - \frac{4,1395}{2}\right) \\ &= 8614394,3 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= 8,6143943 \text{ kNm} \\ \phi M_n &= 0,9 \times M_n \\ &= 0,9 \times 8,6143943 \text{ kNm} \\ &= 7,7529548 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$\phi M_n > M_{ultimit \text{ tumpuan maksimum}} = 7,7529548 > 1,111$  (Tulangan Yang Dirancang Aman)

### b. Tulangan Tumpuan 2

$$M_u \text{ Tumpuan 2} = 2,667 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} k &= \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} \\ &= \frac{2,667 \times 10^6}{0,9 \times 1000 \times 100^2} \\ &= 0,296 \end{aligned}$$

$$\rho = \frac{0,85 f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2k}{0,85 f'_c}}\right)$$

$$\rho = 0,00107 \quad (\rho < \rho_{\min}, \text{ maka dipakai } \rho_{\min})$$

$$\rho_{\text{use}} = 0,002$$

$$\begin{aligned} A_s \text{ req} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,002 \times 1000 \times 100 \\ &= 200 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s \text{ min} &= 0,002 \times b \times h \text{ (karena } f_y < 420 \text{ Mpa) (SNI 2847:2019 tabel 7.6.1.1)} \\ &= 0,002 \times 1000 \times 125 \\ &= 250 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_s \text{ use} = 250 \text{ mm}^2 \quad (\text{Karena } A_s \text{ req} < A_s \text{ min})$$

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

$$s = \frac{1}{4} \frac{\pi 10^2 1000}{250}$$

$$s = 314,16 \text{ mm}$$

$$s \text{ max} = 3 \times h$$

$$= 3 \times 125 \text{ mm}$$

$$= 375 \text{ mm}$$

Sehingga tulangan tumpuan 2 digunakan D10-250

### Cek Momen Nominal Pelat

$$\begin{aligned} A_s \text{ aktual} &= \frac{b \times A_s \text{ tulangan}}{s} \\ &= \frac{1000 \times 0,25 \times \pi \times 10^2}{250} \end{aligned}$$

$$= 314,159 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \times F_y}{0,85 \times f'c \times b} \\ &= \frac{314,159 \times 420}{0,85 \times 20 \times 1000} \end{aligned}$$

$$= 4,1395 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} c &= \frac{a}{\beta} \\ &= \frac{4,1395}{0,85} \end{aligned}$$

$$= 4,87 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_t &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{100-4,87}{4,87} \times 0,003 \end{aligned}$$

$$= 0,0586$$

Karena  $\epsilon_t > 0,005$ , maka penampang plat merupakan terkendali tarik dengan  $\phi = 0,9$ , sesuai dengan ketentuan tabel 21.2.2 SNI 2847:2019.

$$\begin{aligned} M_n &= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ &= 314,159 \times 420 \times \left(100 - \frac{4,1395}{2}\right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 8614394,3 \text{ Nmm} \\
&= 8,6143943 \text{ kNm} \\
\phi M_n &= 0,9 \times M_n \\
&= 0,9 \times 8,6143943 \text{ kNm} \\
&= 7,7529548 \text{ kNm} \\
\phi M_n > M_{ultimit \text{ tumpuan}} \text{ maksimum} &= 7,7529548 > 2,667 \text{ (Tulangan Yang Dirancang Aman)}
\end{aligned}$$

#### 4. Perhitungan Tulangan Lapangan

$$\begin{aligned}
\text{Mu lapangan} &= 2,424 \text{ kNm} \\
k &= \frac{Mu}{\phi \times b \times d^2} \\
&= \frac{2,424 \times 10^6}{0,9 \times 1000 \times 100^2} \\
&= 0,269
\end{aligned}$$

$$\rho = \frac{0,85 f'c}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2k}{0,85 f'c}} \right)$$

$$\rho = 0,00097 \quad (\rho < \rho \text{ min, maka dipakai } \rho \text{ min})$$

$$\rho \text{ use} = 0,002$$

$$\begin{aligned}
A_s \text{ req} &= \rho \times b \times d \\
&= 0,002 \times 1000 \times 100 \\
&= 200 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
A_s \text{ min} &= 0,002 \times b \times h \text{ (karena } f_y < 420 \text{ Mpa) (SNI 2847:2019 tabel 7.6.1.1)} \\
&= 0,002 \times 1000 \times 125 \\
&= 250 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

$$A_s \text{ use} = 250 \text{ mm}^2 \text{ (Karena } A_s \text{ req} > A_s \text{ min)}$$

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

$$s = \frac{1}{4} \frac{\pi 10^2 1000}{250}$$

$$\begin{aligned}
 s &= 314,16 \text{ mm} \\
 s_{\text{max}} &= 3 \times h \\
 &= 3 \times 125 \text{ mm} \\
 &= 375 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Sehingga tulangan lapangan digunakan D10-250

### Cek Momen Nominal Pelat

$$\begin{aligned}
 \text{As aktual} &= \frac{b \times \text{As tulangan}}{s} \\
 &= \frac{1000 \times 0,25 \times \pi \times 10^2}{250} \\
 &= 314,159 \text{ mm}^2 \\
 a &= \frac{\text{As} \times F_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\
 &= \frac{314,159 \times 420}{0,85 \times 20 \times 1000} \\
 &= 4,1395 \text{ mm} \\
 c &= \frac{a}{\beta} \\
 &= \frac{4,1395}{0,85} \\
 &= 4,87 \text{ mm} \\
 \epsilon_t &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\
 &= \frac{100-4,87}{4,87} \times 0,003 \\
 &= 0,0586
 \end{aligned}$$

Karena  $\epsilon_t > 0,005$ , maka penampang plat merupakan terkendali tarik dengan  $\phi = 0,9$ , sesuai dengan ketentuan tabel 21.2.2 SNI 2847:2019.

$$\begin{aligned}
 M_n &= \text{As} \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\
 &= 314,159 \times 420 \times \left(100 - \frac{4,1395}{2}\right) \\
 &= 8614394,3 \text{ Nmm} \\
 &= 8,6143943 \text{ kNm} \\
 \phi M_n &= 0,9 \times M_n \\
 &= 0,9 \times 8,6143943 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$= 7,7529548 \text{ kNm}$$

$\phi M_n > M_{ultimit \text{ lapangan maksimum}} = 7,7529548 > 2,424$  (Tulangan Yang Dirancang Aman)

### 5. Tulangan Susut

$$D \text{ tul. susut} = 10 \text{ mm}$$

$$A_s \text{ min} = 250 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{1}{4} \frac{\pi D^2 b}{A_s \text{ min}}$$

$$= \frac{1}{4} \frac{\pi 10^2 1000}{250}$$

$$= 314,16 \text{ mm}$$

Sehingga tulangan susut digunakan D10-300.

### 6. Kontrol Geser Pelat

$$q_u = 9,228 \text{ kN/m}^2$$

$$l_n = 1700 \text{ mm} = 1,7 \text{ m}$$

$$V_u = 1,15 \times \frac{q_u \times l_n}{2} = \frac{9,228 \times 1,7}{2} = 9,02 \text{ kN}$$

$$V_c = 0,17 \lambda \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d = 0,17 \times 1 \times \sqrt{25} \times 1000 \times 100 = 85000 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 0,75 \times 85000 = 63750 \text{ N} = 63,75 \text{ kN}$$

$$\phi V_c > V_u \quad (\text{Aman})$$

Pelat lantai satu arah aman terhadap gaya geser.

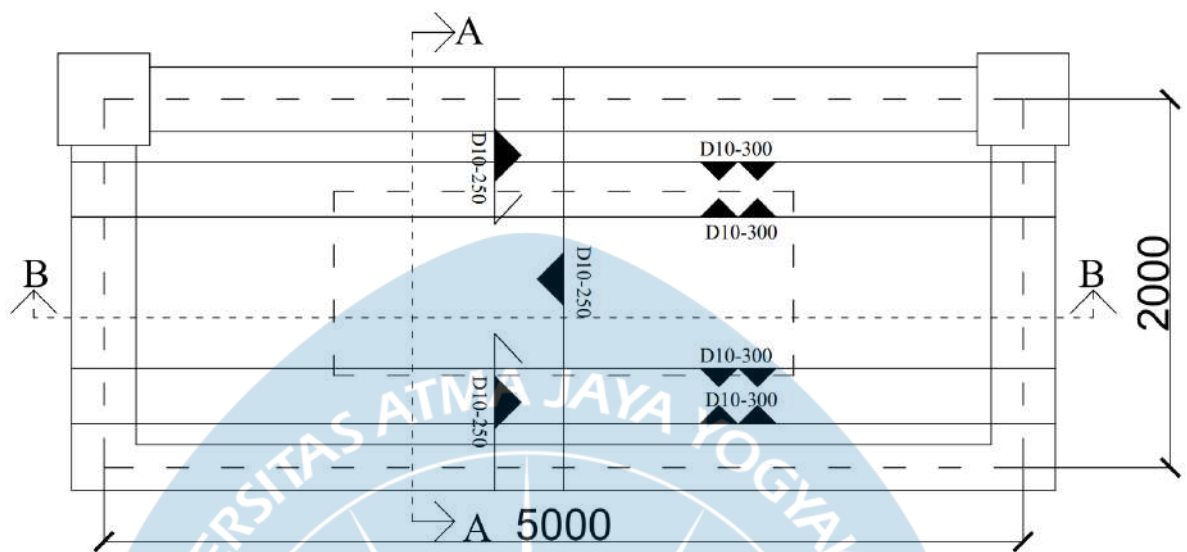
Digunakan tulangan pelat satu arah B1 sebagai berikut:

Tulangan utama

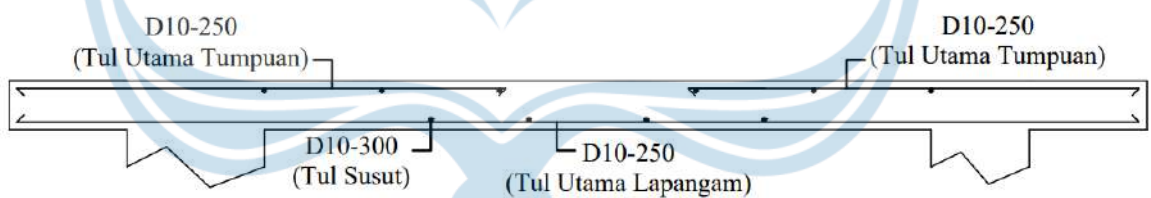
- Tumpuan 1 : D10-250
- Lapangan : D10-250
- Tumpuan 2 : D10-250

Tulangan susut

- D10-300



Gambar 2.33 Penulangan Pelat 1 Arah Tampak Atas



Gambar 2.34 Penulangan Pelat 1 Arah Potongan A-A

Dengan menggunakan metode yang sama, didapatkan hasil penulangan pelat 1 arah sebagai berikut:

Tabel 2.18 Hasil Penulangan Pelat 1 Arah

Tipe Pelat	Tulangan Utama		Tulangan Susut
	Tumpuan	Lapangan	
B1	D10-250	D10-250	D10-300



B2	D10-250	D10-250	D10-300
B3	D10-250	D10-250	D10-300
B4	D10-250	D10-250	D10-300

### 2.5.2 Perencanaan Pelat Lantai Dua Arah

Apabila perbandingan dari bentang panjang ( $L_y$ ) terhadap bentang pendek ( $L_x$ ) besarnya kurang dari 2, maka seluruh beban lantai menyebabkan permukaan lendutan pelat mempunyai kelengkungan ganda. Beban lantai dipikul dalam kedua arah oleh empat balok pendukung pendukung disekelilingnya, dengan demikian, panel disebut pelat 2 arah (*two way slab*), dengan tulangan utama dipasang 2 arah yaitu searah sumbu X dan searah sumbu Y.

Dalam perhitungan ini digunakan pelat koridor lantai 2 dengan ukuran 3550 mm x 3700 mm. Berikut parameter perencanaan pelat dua arah:

- $f'_c$  = 25 Mpa
- $f_y$  = 280 Mpa
- Sel beton = 20 mm
- D tulangan utama = 10 mm
- D tulangan susut = 10 mm
- B = 1000 mm
- $\beta_1$  = 0,85
- $\rho_{min}$  = 0,00200 (SNI 2847:2019 Tabel 24.4.3.2)
- $\rho_{max}$  =  $\frac{0,429 \times 0,85 \times 25 \times 0,85}{280} = 0,02767433$
- $b_w$  = 1000 mm
- h = 125 mm
- $l_y$  = 3700 mm
- $l_x$  = 3550 mm
- dx =  $h - \text{sel beton} - \frac{d \text{ tulangan utama}}{2}$

$$= 125 - 20 - 10/2$$

$$= 100$$

- $d_y$  =  $d_y - D$  tulangan utama

$$= 100 - 10$$

$$= 90 \text{ mm}$$

## 1. Pembebanan Pelat Dua Arah

### Beban Mati

- Berat sendiri pelat ( $t = 125 \text{ mm}$ ) =  $3 \text{ kN/m}^2$
  - Pasir ( $t = 5 \text{ cm}$ ) =  $0,85 \text{ kN/m}^2$
  - Spesi ( $t = 3 \text{ cm}$ ) =  $0,63 \text{ kN/m}^2$
  - Keramik ( $t = 2 \text{ cm}$ ) =  $0,63 \text{ kN/m}^2$
  - MEP =  $0,05 \text{ kN/m}^2$
  - Plafon =  $0,18 \text{ kN/m}^2$
- Total Dead Load (qDL) =  $5,13 \text{ kN/m}^2$

### Beban Hidup

- Beban hidup koridor (qLL) =  $4,79 \text{ kN/m}^2$

(SNI

1727: 2020)

### Beban Ultimate Rencana

$$Q_{\text{ultimate}} = 1,2 q_{\text{DL}} + 1,6 q_{\text{LL}}$$

$$Q_{\text{ultimate}} = 1,2 \times 5,13 + 1,6 \times 4,79$$

$$Q_{\text{ultimate}} = 13,82 \text{ kN/m}^2$$

## 2. Momen Pelat Dua Arah

Pada pelat dua arah besar momen dapat dihitung dengan menggunakan koefisien sesuai ketentuan SNI 8900:2020 tabel 7.9.2a sampai dengan tabel 7.8.2c.

$$\ln y = 3700 - (350/2) - (250/2) = 3400 \text{ mm}$$

$$\ln x = 3550 - (350/2) - (350/2) = 3200 \text{ mm}$$

$$\text{Mu tumpuan X} = \frac{qu \times lnx^2}{25,8} \quad (\text{SNI 8900:2020 Tabel})$$

7.9.2c)

$$= \frac{13,82 \times (3,2 \text{ m})^2}{25,8}$$

$$= 5,48 \text{ kNm}$$

$$\text{Mu tumpuan Y} = \frac{qu \times lny^2}{17,8} \quad (\text{SNI 8900:2020 Tabel})$$

7.9.2c)

$$= \frac{13,82 \times (3,4 \text{ m})^2}{17,8}$$

$$= 8,975 \text{ kNm}$$

$$\text{Mu lapangan X} = \frac{qu \times lnx^2}{34,8} \quad (\text{SNI 8900:2020 Tabel})$$

7.9.2c)

$$= \frac{13,82 \times (3,2 \text{ m})^2}{34,8}$$

$$= 4,067 \text{ kNm}$$

$$\text{Mu lapangan Y} = \frac{qu \times lny^2}{38} \quad (\text{SNI 8900:2020 Tabel})$$

7.9.2c)

$$= \frac{13,82 \times (3,4 \text{ m})^2}{38}$$

$$= 4,2 \text{ kNm}$$

### 3. Perhitungan Tulangan Tumpuan

#### a. Tulangan Tumpuan Arah X (sisi pendek)

$$\text{Mu tumpuan X} = 5,48 \text{ kNm}$$

$$k = \frac{Mu}{\phi \times b \times d^2}$$

$$= \frac{5,48 \times 10^6}{0,9 \times 1000 \times 100^2}$$

$$= 0,609$$

$$\rho = \frac{0,85 f'c}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2k}{0,85 f'c}} \right)$$

$$\rho = 0,0022088 \quad (\rho > \rho \text{ min, maka dipakai } \rho)$$

$$\rho \text{ use} = 0,0022088$$

$$\begin{aligned} \text{As req} &= \rho \times b \times dx \\ &= 0,0022088 \times 1000 \times 100 \\ &= 220,879 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{As min} = 0,002 \times b \times h \text{ (karena } f_y < 420 \text{ Mpa) (SNI 2847:2019 tabel 7.6.1.1)}$$

$$= 0,002 \times 1000 \times 125$$

$$= 250 \text{ mm}^2$$

$$\text{As use} = 250 \text{ mm}^2 \text{ (Karena } \text{As req} < \text{As min)}$$

$$s = \frac{1}{4} \frac{\pi D^2 b}{\text{As}}$$

$$s = \frac{1}{4} \frac{\pi 10^2 1000}{250}$$

$$s = 314,16 \text{ mm}$$

$$s \text{ max} = 3 \times h \text{ (SNI 2847:2019 ps 8.7.2.2)}$$

$$= 3 \times 125 \text{ mm}$$

$$= 375 \text{ mm}$$

Sehingga pada tumpuan arah X digunakan tulangan utama D10-250.

### Cek Momen Nominal Pelat

$$\begin{aligned} \text{As aktual} &= \frac{b \times \text{As tulangan}}{s} \\ &= \frac{1000 \times 0,25 \times \pi \times 10^2}{250} \\ &= 314,159 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{\text{As} \times F_y}{0,85 \times f'c \times b} \\ &= \frac{314,159 \times 420}{0,85 \times 20 \times 1000} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 4,1395 \text{ mm} \\
 c &= \frac{a}{\beta} \\
 &= \frac{4,1395}{0,85} \\
 &= 4,87 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \epsilon_t &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\
 &= \frac{100-4,87}{4,87} \times 0,003 \\
 &= 0,0586
 \end{aligned}$$

Karena  $\epsilon_t > 0,005$ , maka penampang plat merupakan terkendali tarik dengan  $\phi = 0,9$ , sesuai dengan ketentuan tabel 21.2.2 SNI 2847:2019.

$$\begin{aligned}
 M_n &= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\
 &= 314,159 \times 420 \times \left(100 - \frac{4,1395}{2}\right) \\
 &= 8614394,3 \text{ Nmm} \\
 &= 8,6143943 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi M_n &= 0,9 \times M_n \\
 &= 0,9 \times 8,6143943 \text{ kNm} \\
 &= 7,7529548 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$\phi M_n > M_{\text{tumpuan maksimum}} = 7,7529548 > 5,4851$  (Tulangan Yang Dirancang Aman)

#### **b. Tulangan Tumpuan Arah Y (sisi panjang)**

$$M_u \text{ tumpuan Y} = 8,975 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned}
 k &= \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} \\
 &= \frac{8,975 \times 10^6}{0,9 \times 1000 \times 90^2} \\
 &= 1,23
 \end{aligned}$$

$$\rho = \frac{0,85 f'c}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2k}{0,85 f'c}} \right)$$

$$\rho = 0,0045324 \quad (\rho > \rho \text{ min, maka dipakai } \rho)$$

$$\rho \text{ use} = 0,0045324$$

$$\begin{aligned} A_s \text{ req} &= \rho \times b \times d_y \\ &= 0,0045324 \times 1000 \times 90 \\ &= 407,914 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_s \text{ min} = 0,002 \times b \times h \text{ (karena } f_y < 420 \text{ Mpa) (SNI 2847:2019 tabel$$

7.6.1.1)

$$= 0,002 \times 1000 \times 125$$

$$= 250 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ use} = 407,914 \text{ mm}^2 \text{ (Karena } A_s \text{ req} > A_s \text{ min)}$$

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

$$s = \frac{1}{4} \frac{\pi 10^2 1000}{407,914}$$

$$s = 192,54 \text{ mm}$$

$$s \text{ max} = 3 \times h \quad (\text{SNI 2847:2019 ps 8.7.2.2})$$

$$= 3 \times 125 \text{ mm}$$

$$= 375 \text{ mm}$$

Sehingga pada tumpuan arah Y digunakan tulangan utama D10-150.

### Cek Momen Nominal Pelat

$$\begin{aligned} A_s \text{ aktual} &= \frac{b \times A_s \text{ tulangan}}{s} \\ &= \frac{1000 \times 0,25 \times \pi \times 10^2}{150} \\ &= 523,599 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \times F_y}{0,85 \times f'c \times b} \\ &= \frac{523,599 \times 420}{0,85 \times 20 \times 1000} \\ &= 6,8992 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= \frac{a}{\beta} \\ &= \frac{6,8992}{0,85} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 8,1167 \text{ mm} \\
 \varepsilon_t &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\
 &= \frac{90-8,1167}{8,1167} \times 0,003 \\
 &= 0,03026
 \end{aligned}$$

Karena  $\varepsilon_t > 0,005$ , maka penampang plat merupakan terkendali tarik dengan  $\phi = 0,9$ , sesuai dengan ketentuan tabel 21.2.2 SNI 2847:2019.

$$\begin{aligned}
 M_n &= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\
 &= 523,599 \times 420 \times \left(90 - \frac{6,8992}{2}\right) \\
 &= 14155029 \text{ Nmm} \\
 &= 14,155029 \text{ kNm} \\
 \phi M_n &= 0,9 \times M_n \\
 &= 0,9 \times 14,155029 \text{ kNm} \\
 &= 12,7395 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$\phi M_n > M_{ultimit \text{ tumpuan maksimum}} = 12,7395 > 8,9752$  (Tulangan Yang Dirancang Aman)

#### 4. Perhitungan Tulangan Lapangan

##### a. Tulangan Lapangan Arah X (sisi pendek)

$$M_u \text{ lapangan X} = 4,067 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned}
 k &= \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} \\
 &= \frac{4,067 \times 10^6}{0,9 \times 1000 \times 100^2} \\
 &= 0,452
 \end{aligned}$$

$$\rho = \frac{0,85 f'c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2k}{0,85 f'c}}\right)$$

$$\rho = 0,001631 \quad (\rho < \rho_{\min}, \text{ maka dipakai } \rho_{\min})$$

$$\rho_{\text{use}} = 0,002$$

$$\begin{aligned} A_s \text{ req} &= \rho \times b \times dx \\ &= 0,002 \times 1000 \times 100 \\ &= 200 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_s \text{ min} = 0,002 \times b \times h \text{ (karena } f_y < 420 \text{ Mpa) (SNI 2847:2019 tabel 7.6.1.1)}$$

$$\begin{aligned} &= 0,002 \times 1000 \times 125 \\ &= 250 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_s \text{ use} = 250 \text{ mm}^2 \text{ (Karena } A_s \text{ req} < A_s \text{ min)}$$

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

$$s = \frac{1}{4} \frac{\pi 10^2 1000}{500}$$

$$s = 314,16 \text{ mm}$$

$$s \text{ max} = 3 \times h \text{ (SNI 2847:2019 ps 8.7.2.2)}$$

$$= 3 \times 125 \text{ mm}$$

$$= 375 \text{ mm}$$

Sehingga pada lapangan arah X digunakan tulangan utama D10-250.

### Cek Momen Nominal Pelat

$$A_s \text{ aktual} = \frac{b \times A_s \text{ tulangan}}{s}$$

$$= \frac{1000 \times 0,25 \times \pi \times 10^2}{250}$$

$$= 314,159 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{A_s \times F_y}{0,85 \times f'c \times b}$$

$$= \frac{314,159 \times 420}{0,85 \times 20 \times 1000}$$

$$= 4,1395 \text{ mm}$$

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

$$= \frac{4,1395}{0,85}$$

$$= 4,87 \text{ mm}$$



$$\begin{aligned}\epsilon_t &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{100-4,87}{4,87} \times 0,003 \\ &= 0,0586\end{aligned}$$

Karena  $\epsilon_t > 0,005$ , maka penampang plat merupakan terkendali tarik dengan  $\phi = 0,9$ , sesuai dengan ketentuan tabel 21.2.2 SNI 2847:2019.

$$\begin{aligned}M_n &= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ &= 314,159 \times 420 \times \left(100 - \frac{4,1395}{2}\right) \\ &= 8614394,3 \text{ Nmm} \\ &= 8,6143943 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi M_n &= 0,9 \times M_n \\ &= 0,9 \times 8,6143943 \text{ kNm} \\ &= 7,7529548 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$\phi M_n > M_{\text{ultimit lapangan maksimum}} = 7,7529548 > 4,06657$  (Tulangan Yang Dirancang Aman)

#### **b. Tulangan Lapangan Arah Y (sisi panjang)**

$$M_u \text{ lapangan Y} = 4,2 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned}k &= \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} \\ &= \frac{8,975 \times 10^6}{0,9 \times 1000 \times 100^2} \\ &= 0,577\end{aligned}$$

$$\rho = \frac{0,85 f'c}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2k}{0,85 f'c}} \right)$$

$$\rho = 0,002088 \quad (\rho > \rho_{\text{min}}, \text{ maka dipakai } \rho)$$

$$\rho_{\text{use}} = 0,002088$$

$$A_{s \text{ req}} = \rho \times b \times d_y$$

$$= 0,002088 \times 1000 \times 90$$

$$= 187,956 \text{ mm}^2$$

$$As_{\min} = 0,002 \times b \times h \text{ (karena } f_y < 420 \text{ Mpa) (SNI 2847:2019 tabel$$

7.6.1.1)

$$= 0,002 \times 1000 \times 125$$

$$= 250 \text{ mm}^2$$

$$As_{\text{use}} = 250 \text{ mm}^2 \quad (\text{Karena } As_{\text{req}} < As_{\min})$$

$$s = \frac{1}{4} \frac{\pi D^2 b}{As}$$

$$s = \frac{1}{4} \frac{\pi 10^2 1000}{250}$$

$$s = 314,16 \text{ mm}$$

$$s_{\max} = 3 \times h \quad (\text{SNI 2847:2019 ps 8.7.2.2})$$

$$= 3 \times 125 \text{ mm}$$

$$= 375 \text{ mm}$$

Sehingga pada lapangan arah Y digunakan tulangan utama D10-250.

### Cek Momen Nominal Pelat

$$As_{\text{aktual}} = \frac{b \times As_{\text{tulangan}}}{s}$$

$$= \frac{1000 \times 0,25 \times \pi \times 10^2}{250}$$

$$= 314,159 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{As \times F_y}{0,85 \times f'_c \times b}$$

$$= \frac{314,159 \times 420}{0,85 \times 20 \times 1000}$$

$$= 4,1395 \text{ mm}$$

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

$$= \frac{4,1395}{0,85}$$

$$= 4,87 \text{ mm}$$

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

$$= \frac{90-4,87}{4,87} \times 0,003$$

$$= 0,05244$$

Karena  $\epsilon_t > 0,005$ , maka penampang plat merupakan terkendali tarik dengan  $\phi = 0,9$ , sesuai dengan ketentuan tabel 21.2.2 SNI 2847:2019.

$$\begin{aligned} M_n &= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ &= 314,159 \times 420 \times \left(90 - \frac{4,1395}{2}\right) \\ &= 8614394,3 \text{ Nmm} \\ &= 8,6143943 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 \times M_n \\ &= 0,9 \times 8,6143943 \text{ kNm} \\ &= 7,7529548 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$\phi M_n > M_{\text{ultimit lapangan maksimum}} = 7,7529548 > 4,2042$  (Tulangan Yang Dirancang Aman)

## 5. Tulangan Susut

$$\begin{aligned} D \text{ tul. susut} &= 10 \text{ mm} \\ A_s \text{ min} &= 250 \text{ mm}^2 \\ s &= \frac{1}{4} \frac{\pi D^2 b}{A_s \text{ min}} \\ &= \frac{1}{4} \frac{\pi 10^2 1000}{250} \\ &= 314,16 \text{ mm} \end{aligned}$$

Sehingga tulangan susut digunakan D10-300.

## 6. Kontrol Geser Pelat

$$\begin{aligned} q_u &= 13,82 \text{ kN/m}^2 \\ l_n &= 3200 \text{ mm} = 3,2 \text{ m} \\ V_u &= \frac{q_u \times l_n}{2} = \frac{13,82 \times 3,2}{2} = 22,112 \text{ kN} \\ V_c &= 0,17 \lambda \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d = 0,17 \times 1 \times \sqrt{25} \times 1000 \times 100 = 85000 \text{ N} \\ \phi V_c &= 0,75 \times 85000 = 63750 \text{ N} = 63,75 \text{ kN} \\ \phi V_c &> V_u \quad (\text{Aman}) \end{aligned}$$

Pelat lantai dua arah aman terhadap gaya geser.

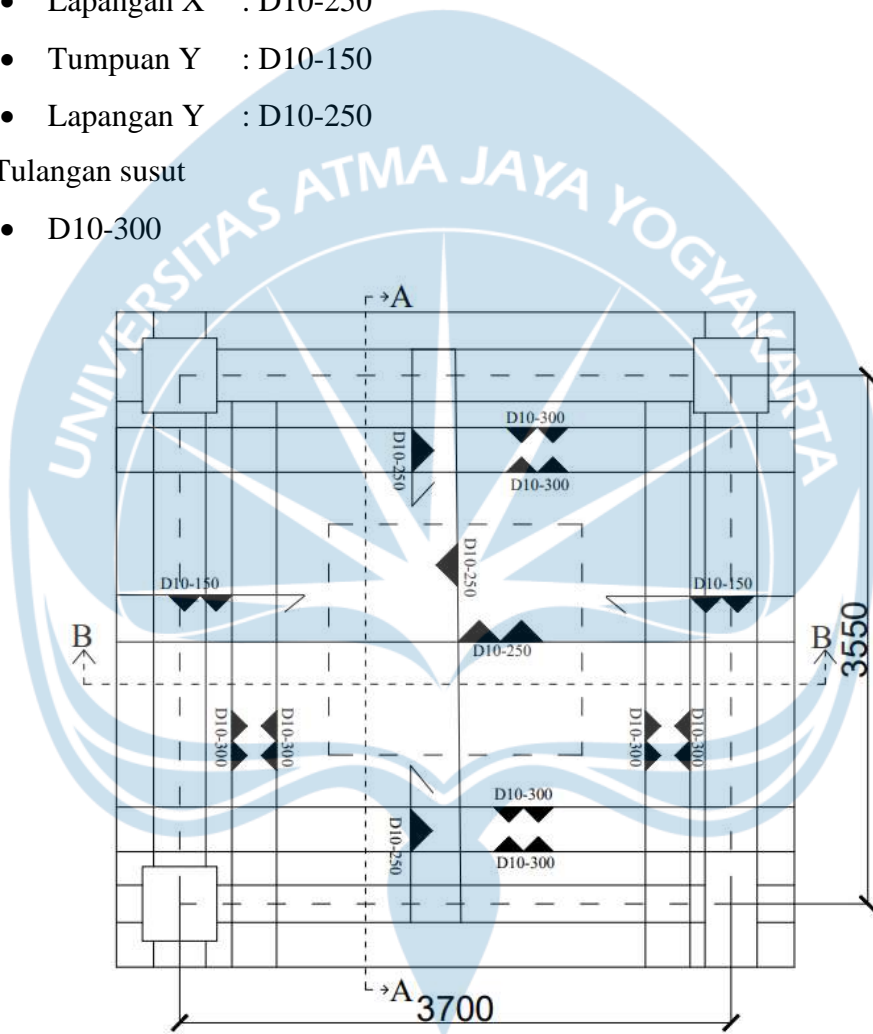
Digunakan tulangan pelat dua arah A1 sebagai berikut:

Tulangan utama

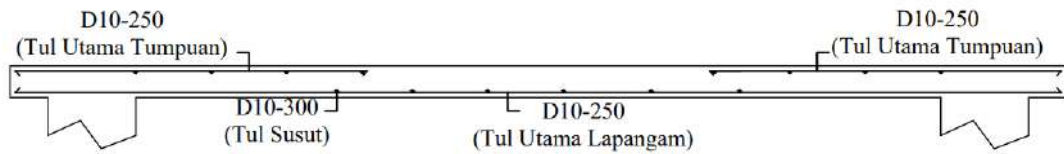
- Tumpuan X : D10-250
- Lapangan X : D10-250
- Tumpuan Y : D10-150
- Lapangan Y : D10-250

Tulangan susut

- D10-300



Gambar 2.35 Penulangan Pelat 2 Arah Tampak Atas



Gambar 2.36 Penulangan Pelat 2 Arah Potongan A-A

Dengan menggunakan metode yang sama, didapatkan hasil penulangan pelat 2 arah sebagai berikut:

Tabel 2.19 Hasil Penulangan Pelat 2 Arah

Tipe Pelat	Arah X (sisi pendek)		Arah Y (sisi panjang)		Tulangan Susut
	Tump	Lap.	Tump	Lap.	
A1	D10-250	D10-250	D10-150	D10-250	D10-300
A2	D10-250	D10-250	D10-150	D10-250	D10-300

### 2.5.3 Perencanaan Pelat Atap

Pelat / slab adalah bidang tipis yang menahan beban-beban transversal melalui aksi lentur ke masing-masing tumpuan. Jika perbandingan dari bentang panjang ( $L_y$ ) terhadap bentang pendek ( $L_x$ ) besarnya 2 kali lebar atau lebih, maka semua beban lantai menuju balok-balok sebagian kecil akan menyalur secara langsung ke gelagar. Sehingga pelat dapat direncanakan sebagai pelat satu arah (*one way slab*).

Dalam perhitungan ini digunakan pelat atap dengan ukuran 2370 mm x 6741 mm. Berikut data perencanaan pelat atap satu arah:

- $f'_c$  = 25 Mpa
- $f_y$  = 280 Mpa
- Selimut beton = 20 mm
- B = 1000 mm
- $\beta_1$  = 0,85

- $\rho$  min = 0,002 (SNI 2847:2019 Tabel 24.4.3.2)
- $\rho$  max =  $\frac{0,429 \times 0,85 \times 25 \times 0,85}{280} = 0,02767433$
- b = 1000 mm
- h (tebal pelat) = 125 mm
- $l_y$  = 5000 mm
- $l_x$  = 2000 mm
- D tulangan utama = 10 mm
- D tulangan susut = 10 mm
- d (tinggi efektif) =  $h - \text{sel beton} - \frac{d \text{ tulangan utama}}{2}$   
 $= 125 - 20 - 10/2$   
 $= 100 \text{ mm}$

### 1. Pembebanan Pelat Atap Satu Arah

#### Beban Mati

- Berat sendiri pelat ( $t = 125 \text{ mm}$ ) =  $3 \text{ kN/m}^2$
- *Waterproof* =  $0,12 \text{ kN/m}^2$
- MEP =  $0,05 \text{ kN/m}^2$
- Plafon =  $0,18 \text{ kN/m}^2$
- Total Dead Load (qDL) =  $3,35 \text{ kN/m}^2$

#### Beban Hidup

- Beban hidup kamar (qLL) =  $0,96 \text{ kN/m}^2$  (SNI 1727: 2020)

#### Beban Ultimate Rencana

$$q_{\text{ultimate}} = 1,2 q_{\text{DL}} + 1,6 q_{\text{LL}}$$

$$q_{\text{ultimate}} = 1,2 \times 3,35 + 1,6 \times 0,96$$

$$q_{\text{ultimate}} = 5,556 \text{ kN/m}^2$$

## 2. Momen Pelat Atap Satu Arah

Pada pelat satu arah besar momen dapat dihitung dengan menggunakan koefisien sesuai ketentuan SNI 8900:2020 tabel 7.7.2 dan tabel 7.8.2.

$$l_n y = 6741 - (350/2) - (350/2) = 6391 \text{ mm}$$

$$l_n x = 2370 - (350/2) - (250/2) = 2070 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Mu Tumpuan 1} &= \frac{q_u \times l_n^2}{24} && \text{(SNI 8900:2020 Tabel 7.8.2)} \\ &= \frac{((1,2 \times 3,35) + (1,6 \times 0,96)) \times (2,07 \text{ m})^2}{24} \\ &= 0,945 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mu Tumpuan 2} &= \frac{q_u \times l_n^2}{10} && \text{(SNI 8900:2020 Tabel 7.8.2)} \\ &= \frac{((1,2 \times 3,35) + (1,6 \times 0,96)) \times (2,07 \text{ m})^2}{10} \\ &= 2,267 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mu Lapangan} &= \frac{q_u \times l_n^2}{11} && \text{(SNI 8900:2020 Tabel 7.8.2)} \\ &= \frac{((1,2 \times 3,35) + (1,6 \times 0,96)) \times (2,07 \text{ m})^2}{11} \\ &= 2,061 \text{ kNm} \end{aligned}$$

## 3. Perhitungan Tulangan Tumpuan

### a. Tulangan Tumpuan 1

$$\text{Mu Tumpuan} = 0,945 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} k &= \frac{Mu}{\phi \times b \times d^2} \\ &= \frac{0,945 \times 10^6}{0,9 \times 1000 \times 100^2} \end{aligned}$$

$$= 0,105$$

$$\rho = \frac{0,85 f'c}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2k}{0,85 f'c}} \right)$$

$$\rho = 0,00038 \quad (\rho < \rho \text{ min, maka dipakai } \rho \text{ min})$$

$$\rho \text{ use} = 0,002$$

$$\begin{aligned} \text{As req} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,002 \times 1000 \times 100 \\ &= 200 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{As min} = 0,002 \times b \times h \text{ (karena } f_y < 420 \text{ Mpa) (SNI 2847:2019 tabel 7.6.1.1)}$$

$$\begin{aligned} &= 0,002 \times 1000 \times 125 \\ &= 250 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{As use} = 200 \text{ mm}^2 \text{ (Karena } \text{As req} < \text{As min)}$$

$$s = \frac{1}{4} \frac{\pi D^2 b}{\text{As}}$$

$$s = \frac{1}{4} \frac{\pi 10^2 1000}{250}$$

$$s = 314,16 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} s \text{ max} &= 3 \times h \\ &= 3 \times 125 \text{ mm} \\ &= 375 \text{ mm} \end{aligned}$$

Sehingga tulangan tumpuan 1 digunakan D10-250

### Cek Momen Nominal Pelat

$$\begin{aligned} \text{As aktual} &= \frac{b \times \text{As tulangan}}{s} \\ &= \frac{1000 \times 0,25 \times \pi \times 10^2}{250} \\ &= 314,159 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 a &= \frac{As \times Fy}{0,85 \times f'c \times b} \\
 &= \frac{314,159 \times 420}{0,85 \times 20 \times 1000} \\
 &= 4,1395 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 c &= \frac{a}{\beta} \\
 &= \frac{4,1395}{0,85} \\
 &= 4,87 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \epsilon_t &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\
 &= \frac{100-4,87}{4,87} \times 0,003 \\
 &= 0,0586
 \end{aligned}$$

Karena  $\epsilon_t > 0,005$ , maka penampang plat merupakan terkendali tarik dengan  $\phi = 0,9$ , sesuai dengan ketentuan tabel 21.2.2 SNI 2847:2019.

$$\begin{aligned}
 Mn &= As \times fy \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\
 &= 314,159 \times 420 \times \left(100 - \frac{4,1395}{2}\right) \\
 &= 8614394,3 \text{ Nmm} \\
 &= 8,6143943 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi Mn &= 0,9 \times Mn \\
 &= 0,9 \times 8,6143943 \text{ kNm} \\
 &= 7,7529548 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$\phi Mn > M_{\text{ultimit tumpuan maksimum}} = 7,7529548 > 0,945$  (Tulangan Yang Dirancang Aman)

## **b. Tulangan Tumpuan 2**

$$\text{Mu Tumpuan 2} = 2,267 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} k &= \frac{Mu}{\phi \times b \times d^2} \\ &= \frac{2,267 \times 10^6}{0,9 \times 1000 \times 100^2} \\ &= 0,252 \end{aligned}$$

$$\rho = \frac{0,85 f'c}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2k}{0,85 f'c}} \right)$$

$$\rho = 0,00091 \quad (\rho < \rho \text{ min, maka dipakai } \rho \text{ min})$$

$$\rho \text{ use} = 0,002$$

$$\begin{aligned} \text{As req} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,002 \times 1000 \times 100 \\ &= 200 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As min} &= 0,002 \times b \times h \text{ (karena } f_y < 420 \text{ Mpa) (SNI 2847:2019 tabel 7.6.1.1)} \\ &= 0,002 \times 1000 \times 125 \\ &= 250 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{As use} = 250 \text{ mm}^2 \quad (\text{Karena } \text{As req} < \text{As min})$$

$$s = \frac{1}{4} \frac{\pi D^2 b}{\text{As}}$$

$$s = \frac{1}{4} \frac{\pi 10^2 1000}{250}$$

$$s = 314,16 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} s \text{ max} &= 3 \times h \\ &= 3 \times 125 \text{ mm} \\ &= 375 \text{ mm} \end{aligned}$$

Sehingga tulangan tumpuan 2 digunakan D10-250

### Cek Momen Nominal Pelat

$$\begin{aligned} \text{As aktual} &= \frac{b \times \text{As tulangan}}{s} \\ &= \frac{1000 \times 0,25 \times \pi \times 10^2}{250} \\ &= 314,159 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$a = \frac{\text{As} \times F_y}{0,85 \times f'c \times b}$$

$$= \frac{314,159 \times 420}{0,85 \times 20 \times 1000}$$

$$= 4,1395 \text{ mm}$$

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

$$= \frac{4,1395}{0,85}$$

$$= 4,87 \text{ mm}$$

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

$$= \frac{100-4,87}{4,87} \times 0,003$$

$$= 0,0586$$

Karena  $\epsilon_t > 0,005$ , maka penampang plat merupakan terkendali tarik dengan  $\phi = 0,9$ , sesuai dengan ketentuan tabel 21.2.2 SNI 2847:2019.

$$M_n = A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$= 314,159 \times 420 \times \left(100 - \frac{4,1395}{2}\right)$$

$$= 8614394,3 \text{ Nmm}$$

$$= 8,6143943 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 0,9 \times M_n$$

$$= 0,9 \times 8,6143943 \text{ kNm}$$

$$= 7,7529548 \text{ kNm}$$

$\phi M_n > M_{ultimit \text{ tumpuan maksimum}} = 7,7529548 > 2,267$  (Tulangan Yang Dirancang Aman)

#### 4. Perhitungan Tulangan Lapangan

$$Mu \text{ lapangan} = 2,061 \text{ kNm}$$

$$k = \frac{Mu}{\phi \times b \times d^2}$$

$$= \frac{2,061 \times 10^6}{0,9 \times 1000 \times 100^2}$$

$$= 0,229$$

$$\rho = \frac{0,85 f'c}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2k}{0,85 f'c}} \right)$$

$$\rho = 0,00082 \quad (\rho < \rho \text{ min, maka dipakai } \rho \text{ min})$$

$$\rho \text{ use} = 0,002$$

$$\begin{aligned} \text{As req} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,002 \times 1000 \times 100 \\ &= 200 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{As min} &= 0,002 \times b \times h \text{ (karena } f_y < 420 \text{ Mpa) (SNI 2847:2019 tabel 7.6.1.1)} \\ &= 0,002 \times 1000 \times 125 \\ &= 250 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{As use} = 250 \text{ mm}^2 \text{ (Karena } \text{As req} > \text{As min)}$$

$$s = \frac{1}{4} \frac{\pi D^2 b}{\text{As}}$$

$$s = \frac{1}{4} \frac{\pi 10^2 1000}{250}$$

$$s = 314,16 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} s \text{ max} &= 3 \times h \\ &= 3 \times 125 \text{ mm} \\ &= 375 \text{ mm} \end{aligned}$$

Sehingga tulangan lapangan digunakan D10-250

### Cek Momen Nominal Pelat

$$\begin{aligned} \text{As aktual} &= \frac{b \times \text{As tulangan}}{s} \\ &= \frac{1000 \times 0,25 \times \pi \times 10^2}{250} \\ &= 314,159 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{\text{As} \times F_y}{0,85 \times f'c \times b} \\ &= \frac{314,159 \times 420}{0,85 \times 20 \times 1000} \\ &= 4,1395 \text{ mm} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
&= \frac{4,1395}{0,85} \\
&= 4,87 \text{ mm} \\
\varepsilon_t &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\
&= \frac{100-4,87}{4,87} \times 0,003 \\
&= 0,0586
\end{aligned}$$

Karena  $\varepsilon_t > 0,005$ , maka penampang plat merupakan terkendali tarik dengan  $\phi = 0,9$ , sesuai dengan ketentuan tabel 21.2.2 SNI 2847:2019.

$$\begin{aligned}
M_n &= A_s \times f_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\
&= 314,159 \times 420 \times \left(100 - \frac{4,1395}{2}\right) \\
&= 8614394,3 \text{ Nmm} \\
&= 8,6143943 \text{ kNm} \\
\phi M_n &= 0,9 \times M_n \\
&= 0,9 \times 8,6143943 \text{ kNm} \\
&= 7,7529548 \text{ kNm}
\end{aligned}$$

$\phi M_n > M_{\text{ultimit lapangan maksimum}} = 7,7529548 > 2,424$  (Tulangan Yang Dirancang Aman)

## 5. Tulangan Susut

$$\begin{aligned}
D \text{ tul. susut} &= 10 \text{ mm} \\
A_s \text{ min} &= 250 \text{ mm}^2 \\
s &= \frac{1}{4} \frac{\pi D^2 b}{A_s \text{ min}} \\
&= \frac{1}{4} \frac{\pi 10^2 1000}{250} \\
&= 314,16 \text{ mm}
\end{aligned}$$

Sehingga tulangan susut digunakan D10-300.

## 6. Kontrol Geser Pelat

$$q_u = 5,556 \text{ kN/m}^2$$

$$l_n = 2070 \text{ mm} = 2,07 \text{ m}$$

$$V_u = 1,15 \times \frac{q_u \times l_n}{2} = \frac{5,556 \times 2,07}{2} = 6,4533 \text{ kN}$$

$$V_c = 0,17 \lambda \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d = 0,17 \times 1 \times \sqrt{25} \times 1000 \times 100 = 85000 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 0,75 \times 85000 = 63750 \text{ N} = 63,75 \text{ kN}$$

$$\phi V_c > V_u \quad (\text{Aman})$$

Pelat atap satu arah aman terhadap gaya geser.

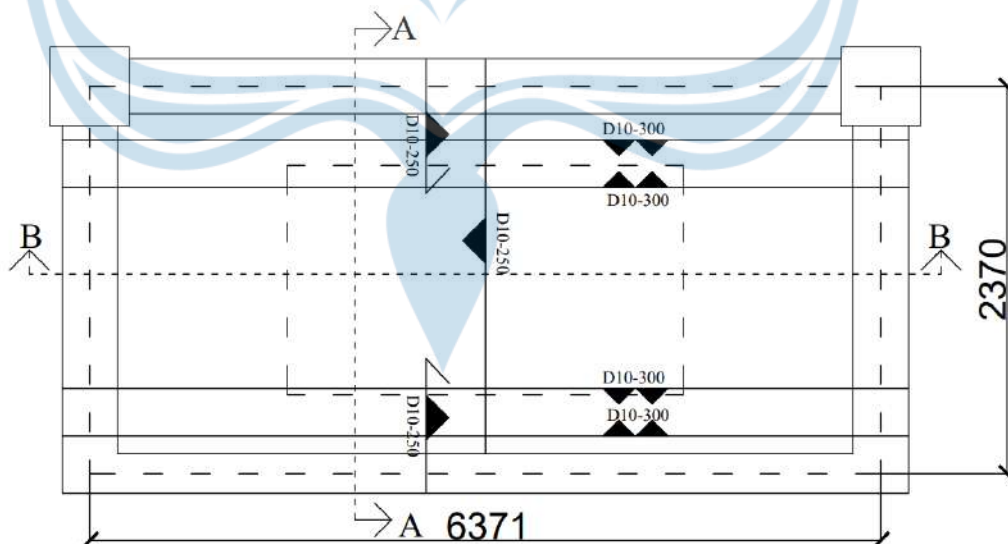
Digunakan tulangan pelat satu arah B1 sebagai berikut:

Tulangan utama

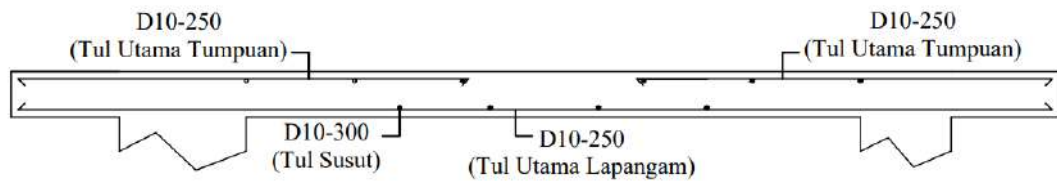
- Tumpuan 1 : D10-250
- Lapangan : D10-250
- Tumpuan 2 : D10-250

Tulangan susut

- D10-300



Gambar 2.37 Penulangan Pelat 1 Arah Tampak Atas



Gambar 2.38 Penulangan Pelat 1 Arah Atap Potongan A-A

## 2.6 Perencanaan Tangga

Perhitungan penulangan pada tangga pada umumnya sama seperti perhitungan penulangan pada pelat. Permodelan tangga menggunakan bantuan program Midas Gen dengan asumsi frame 2 dimensi dengan perletakan sendi-roll. Tangga pada gedung *dormitory* ini terdapat dua tipe yaitu tipe A dan tipe B. Tangga terletak pada lantai dasar sampai lantai empat. Tangga tipe A dan tipe B memiliki dimensi yang hampir sama hanya saja lebarnya yang berbeda. Untuk penulangan tangga, tangga tipe A dan tipe B memiliki momen yang sama sehingga untuk penulangannya juga sama.

### 2.6.1 Perencanaan Tangga Lantai 1

#### 1. Data Perencanaan

Tinggi tangga	= 400 cm
Tinggi bordes	= 200 cm
Lebar tangga A	= 200 cm
Lebar tangga B	= 190 cm
Lebar anak tangga (antrede)	= 30 cm
Tinggi anak tangga (optrade)	= 16,6 cm
Tebal pelat tangga	= 15 cm
Tebal pelat bordes	= 15 cm
$f'_c$	= 25 MPa
$F_y$ tulangan utama	= 420 MPa
$F_y$ tulangan susut	= 280 MPa

$$D \text{ tulangan utama} = 13 \text{ mm}$$

$$D \text{ tulangan susut} = 10 \text{ mm}$$

### Tinggi pelat efektif

$$d = \text{tinggi pelat} - \text{selimut beton} - \frac{1}{2} \times D \text{ tulangan}$$

$$d = 150 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - (0,5 \times 13)$$

$$d = 123,5 \text{ mm}$$

### Rasio tulangan minimum dan maksimum

$$\rho_{\min} = 0,002 \text{ (SNI 2847:2019 Tabel 24.4.3.2)}$$

$$\rho_{\max} = 0,429 \frac{0,85 f'c \beta_1}{f_y}$$

$$= 0,429 \frac{0,85 \times 25 \times 0,85}{420}$$

$$= 0,01845$$

## 2. Pembebanan Struktur Tangga

### a. Beban Pelat Tangga

#### Beban Mati

- Berat ekuivalen tangga = 6,11 kN/m<sup>2</sup>
  - Keramik + Spesi = 1,05 kN/m<sup>2</sup>
  - Pasir = 0,85 kN/m<sup>2</sup>
  - Railing / Pegangan tangga = 1 kN/m<sup>2</sup>
- Total Dead Load (qDL) = 9,01 kN/m<sup>2</sup>
- qDL per 1 meter lebar = 9,01 kN/m

#### Beban Hidup

- Beban hidup tangga (qLL) = 4,79 kN/m<sup>2</sup> (SNI 1727: 2020)



$$q_{LL} \text{ per 1 meter lebar} = 4,79 \text{ kN/m}$$

### b. Beban Pelat Bordes

#### Beban Mati

- Berat sendiri pelat bordes = 3,6 kN/m<sup>2</sup>
  - Keramik + Spesi = 1,05 kN/m<sup>2</sup>
  - Pasir = 0,85 kN/m<sup>2</sup>
  - Railing / Pegangan tangga = 1 kN/m<sup>2</sup>
- Total Dead Load (qDL) = 6,5 kN/m<sup>2</sup>
- qDL per 1 meter lebar = 6,5 kN/m

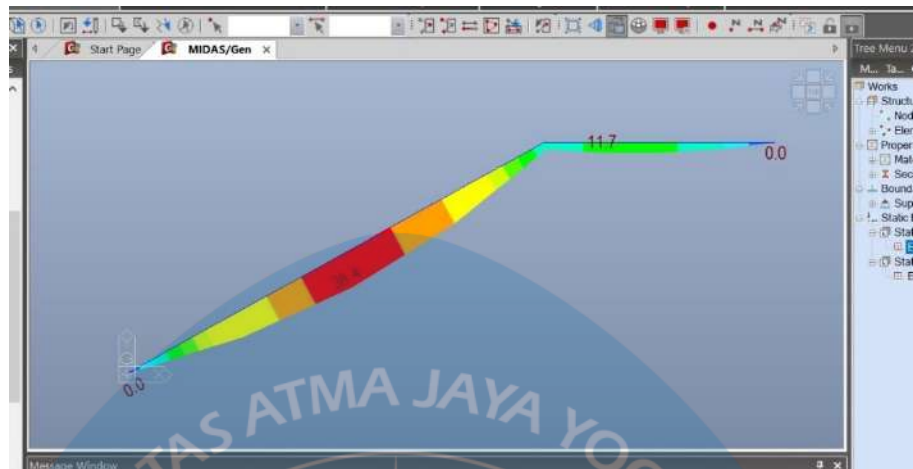
#### Beban Hidup

- Beban hidup tangga (qLL) = 4,79 kN/m<sup>2</sup> (SNI 1727: 2020)
- qLL per 1 meter lebar = 4,79 kN/m

### 3. Analisis Struktur Tangga

Dalam analisis pelat tangga dan bordes ini perletakan pada ujung ujung bordes dan tangga akan di asumsikan sebagai sendi-rol. Sedangkan untuk menentukan gaya-gaya dalam yang terjadi pada tangga digunakan bantuan software Midas secara 2 dimensi.

Perhitungan momen dicari dengan menggunakan kombinasi pembebanan 1,4 DL dan 1,2 DL +1,6 LL. Dari hasil analisis struktur, didapatkan hasil momen ultimate sebagai berikut:



Gambar 2.39 Hasil Analisis Struktur Momen Tangga Lantai 1 oleh Midas Gen

#### 4. Perhitungan Tulangan Tangga Lantai 1

##### a. Tulangan Tumpuan Tangga

$$\begin{aligned}
 M_y &= 0,5 \times M_u \text{ Midas} \\
 &= 0,5 \times 38,4 \text{ kNm} \\
 &= 19,2 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 k &= \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} \\
 &= \frac{19,2 \times 10^6}{0,9 \times 1000 \times 123,5^2} \\
 &= 1,399
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{0,85 f'c}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2k}{0,85 f'c}} \right) \\
 &= 0,00345 \quad (\rho > \rho_{\min}, \text{ maka dipakai } \rho)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{use}} &= 0,00345 \\
 A_{s \text{ req}} &= \rho \times b \times d \\
 &= 0,00345 \times 1000 \times 123,5 \\
 &= 425,792 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$A_{s \text{ min}} = \text{Terbesar dari } \frac{0,0018 \times 420}{f_y} \times b \times h \text{ atau } = 0,0014 \times b \times h$$

(karena  $f_y=420$  Mpa) (SNI 2847:2019 tabel 7.6.1.1)

$$= \frac{0,0018 \times 420}{420} \times 1000 \times 150 \text{ atau } 0,0014 \times 1000 \times 150$$

$$= 270 \text{ mm}^2 \text{ atau } 210 \text{ mm}^2 \quad \text{maka diambil}$$

As min = 270 mm<sup>2</sup>

As use = 425,792 mm<sup>2</sup> (Karena As req > As min)

$$s = \frac{1}{4} \frac{\pi D^2 b}{As}$$

$$= \frac{1}{4} \frac{\pi 13^2 1000}{425,792}$$

s = 311,73 mm

s max = terkecil dari 3 x h atau 450 mm (SNI 2847:2019 ps

7.7.2.3)

$$= 3 \times 150 \text{ mm atau } 450 \text{ mm}$$

$$= 450 \text{ mm}$$

Sehingga tulangan utama digunakan D13-300 (Tumpuan)

### Cek Momen Nominal Pelat Tangga

As aktual =  $\frac{b \times As \text{ Tulangan}}{s}$

$$= \frac{1000 \times 0,25 \times \pi \times 13^2}{300}$$

$$= 442,441 \text{ mm}^2$$

a =  $\frac{As \times F_y}{0,85 \times F'_c \times b}$

$$= \frac{442,441 \times 420}{0,85 \times 25 \times 1000}$$

$$= 8,7447 \text{ mm}$$

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

$$= \frac{8,7447}{0,85}$$

$$= 10,2879 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}\epsilon t &= 0,003 \times \left(\frac{d-c}{c}\right) \\ &= 0,003 \times \left(\frac{123,5-10,2879}{10,2879}\right) \\ &= 0,03301\end{aligned}$$

Karena  $\epsilon t > 0,005$ , maka penampang pelat pada kondisi terkendali tarik dengan  $\phi = 0,9$ , sesuai dengan ketentuan tabel 21.2.2 SNI 2847:2019.

$$\begin{aligned}M_n &= A_s \times F_y \times \left(\frac{d-a}{2}\right) \\ &= 442,441 \times 420 \times \left(\frac{123,5-8,7447}{2}\right) \\ &= 22136919 \text{ Nmm} \\ &= 22,136919 \text{ kNm} \\ \phi M_n &= \phi \times M_n \\ &= 0,9 \times 22,136919 \\ &= 19,9232 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$\phi M_n > M_{uy} = 19,9232 > 19,2 \text{ (Tulangan Yang Dirancang Aman)}$$

#### **b. Tulangan Lapangan Tangga**

$$\begin{aligned}M_{y+} &= 0,8 \times M_u \text{ midas} \\ &= 0,8 \times 38,4 \text{ kNm} \\ &= 30,72 \text{ kNm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}k &= \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} \\ &= \frac{30,72 \times 10^6}{0,9 \times 1000 \times 123,5^2} \\ &= 2,238\end{aligned}$$

$$\rho = \frac{0,85 f'c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2k}{0,85 f'c}}\right)$$

$$\rho = 0,00564 \quad (\rho > \rho \text{ min, maka dipakai } \rho)$$

$$\rho \text{ use} = 0,00564$$

$$\begin{aligned} \text{As req} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,00564 \times 1000 \times 123,5 \\ &= 696,921 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{As min} = \text{Terbesar dari } \frac{0,0018 \times 420}{f_y} \times b \times h \text{ atau } = 0,0014 \times b \times h$$

(karena  $f_y=420$  Mpa) (SNI 2847:2019 tabel 7.6.1.1)

$$\begin{aligned} &= \frac{0,0018 \times 420}{420} \times 1000 \times 150 \text{ atau } = 0,0014 \times 1000 \times 150 \\ &= 270 \text{ mm}^2 \text{ atau } 210 \text{ mm}^2 \text{ maka diambil} \end{aligned}$$

$$\text{As min} = 270 \text{ mm}^2$$

$$\text{As use} = 696,921 \text{ mm}^2 \text{ (Karena As req} > \text{As min)}$$

$$\begin{aligned} s &= \frac{1}{4} \frac{\pi D^2 b}{\text{As}} \\ &= \frac{1}{4} \frac{\pi 13^2 1000}{696,921} \\ &= 190,46 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$s \text{ max} = \text{terkecil dari } 3 \times h \text{ atau } 450 \text{ mm} \text{ (SNI 2847:2019 ps}$$

7.7.2.3)

$$\begin{aligned} &= 3 \times 150 \text{ mm atau } 450 \text{ mm} \\ &= 450 \text{ mm} \end{aligned}$$

Sehingga tulangan utama digunakan D13-150 (Lapangan)

### Cek Momen Nominal Pelat Tangga

$$\begin{aligned} \text{As aktual} &= \frac{b \times \text{As Tulangan}}{s} \\ &= \frac{1000 \times 0,25 \times \pi \times 13^2}{150} \\ &= 884,882 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{\text{As} \times F_y}{0,85 \times F'_c \times b} \\ &= \frac{884,882 \times 420}{0,85 \times 25 \times 1000} \end{aligned}$$

$$= 17,4894 \text{ mm}$$

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

$$= \frac{17,4894}{0,85}$$

$$= 20,5758 \text{ mm}$$

$$\epsilon_t = 0,003 \times \left( \frac{d-c}{c} \right)$$

$$= 0,003 \times \left( \frac{123,5-20,5758}{20,5758} \right)$$

$$= 0,01501$$

Karena  $\epsilon_t > 0,005$ , maka penampang pelat pada kondisi terkendali tarik dengan  $\phi = 0,9$ , sesuai dengan ketentuan tabel 21.2.2 SNI 2847:2019.

$$M_n = A_s \times F_y \times \left( \frac{d-a}{2} \right)$$

$$= 884,882 \times 420 \times \left( \frac{123,5-17,4894}{2} \right)$$

$$= 42648849 \text{ Nmm}$$

$$= 42,648849 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = \phi \times M_n$$

$$= 0,9 \times 42,648849$$

$$= 38,384 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n > M_{uy} = 38,384 > 30,72 \text{ (Tulangan Yang Dirancang Aman)}$$

### **Tulangan susut**

$$A_{s \text{ min}} = 0,002 \times b \times h \text{ (karena } f_y < 420 \text{ Mpa) (SNI 2847:2019 tabel 7.6.1.1)}$$

$$= 0,002 \times 1000 \times 150$$

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

$$\begin{aligned}
 s &= \frac{1}{4} \frac{\pi D^2 b}{As_{min}} \\
 &= \frac{1}{4} \frac{\pi 10^2 1000}{300} \\
 &= 261,80 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Tulangan susut digunakan D10-250

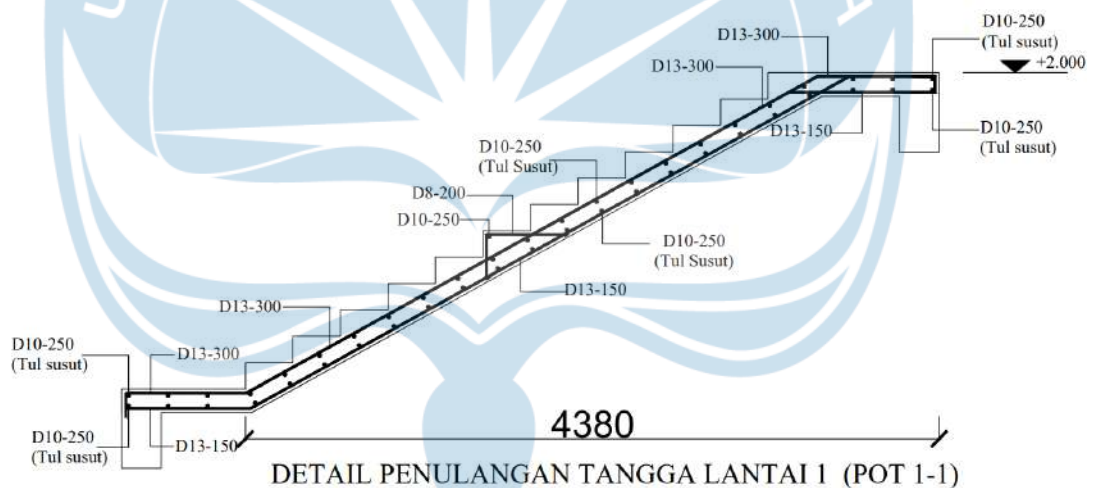
Kesimpulan: Dari hasil analisis, digunakan tulangan sebagai berikut:

**Tulangan utama**

- Tumpuan : D13-300
- Lapangan : D13-150

**Tulangan susut**

- D10-250



Gambar 2.40 Detail Penulangan Tangga Lantai 1

**2.6.2 Perencanaan Tangga Lantai 2 dan 3**

**1. Data Perencanaan**

Tinggi tangga	= 350 cm
Tinggi bordes	= 175 cm
Lebar tangga A	= 200 cm
Lebar tangga B	= 190 cm

Lebar anak tangga (antrede)	= 30 cm
Tinggi anak tangga (optrade)	= 17,5 cm
Tebal pelat tangga	= 15 cm
Tebal pelat bordes	= 15 cm
$f'c$	= 25 MPa
$F_y$ tulangan utama	= 420 MPa
$F_y$ tulangan susut	= 280 MPa
D tulangan utama	= 13 mm
D tulangan susut	= 10 mm

#### **Tinggi pelat efektif**

$$d = \text{tinggi pelat} - \text{selimut beton} - \frac{1}{2} \times D \text{ tulangan}$$

$$d = 150 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - (0,5 \times 13)$$

$$d = 123,5 \text{ mm}$$

#### **Rasio tulangan minimum dan maksimum**

$$\rho_{\min} = 0,002 \text{ (SNI 2847:2019 Tabel 24.4.3.2)}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,429 \frac{0,85 f'c \beta_1}{f_y} \\ &= 0,429 \frac{0,85 \times 25 \times 0,85}{420} \\ &= 0,01845 \end{aligned}$$

## **2. Pembebanan Struktur Tangga**

### **a. Beban Pelat Tangga**

#### **Beban Mati**

- Berat ekuivalen tangga = 6,27 kN/m<sup>2</sup>
- Keramik + Spesi = 1,05 kN/m<sup>2</sup>



• Pasir	= 0,85 kN/m <sup>2</sup>
• Railing / Pegangan tangga	= <u>1 kN/m<sup>2</sup></u>
Total Dead Load (qDL)	= 9,17 kN/m <sup>2</sup>
qDL per 1 meter lebar	= 9,17 kN/m

#### **Beban Hidup**

• Beban hidup tangga (qLL)	= 4,79 kN/m <sup>2</sup>	(SNI
1727: 2020)		
qLL per 1 meter lebar	= 4,79 kN/m	

#### **b. Beban Pelat Bordes**

##### **Beban Mati**

• Berat sendiri pelat bordes	= 3,6 kN/m <sup>2</sup>
• Keramik + Spesi	= 1,05 kN/m <sup>2</sup>
• Pasir	= 0,85 kN/m <sup>2</sup>
• Railing / Pegangan tangga	= <u>1 kN/m<sup>2</sup></u>
Total Dead Load (qDL)	= 6,5 kN/m <sup>2</sup>
qDL per 1 meter lebar	= 6,5 kN/m

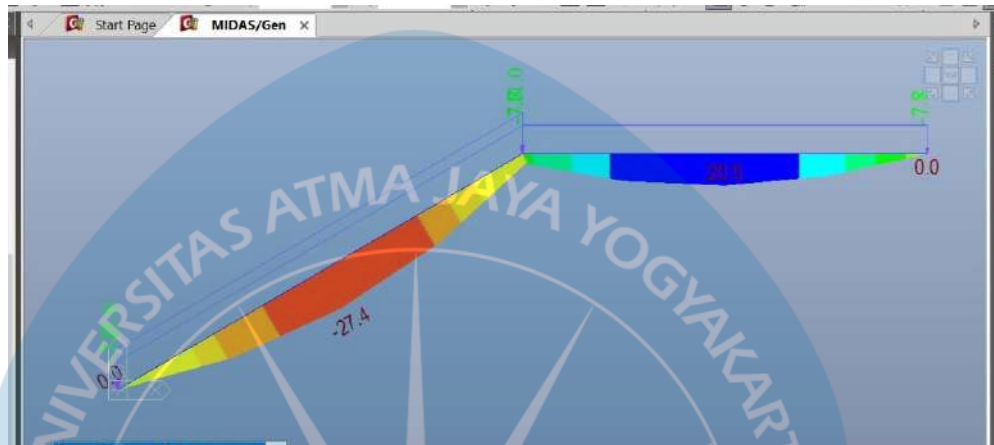
##### **Beban Hidup**

• Beban hidup tangga (qLL)	= 4,79 kN/m <sup>2</sup>	(SNI
1727: 2020)		
qLL per 1 meter lebar	= 4,79 kN/m	

### **3. Analisis Struktur Tangga**

Dalam analisi pelat tangga dan bordes ini perletakan pada ujung ujung bordes dan tangga akan di asumsikan sebagai sendi-rol. Sedangkan untuk menentukan gaya-gaya dalam yang terjadi pada tangga digunakan bantuan software Midas secara 2 dimensi.

Perhitungan momen dicari dengan menggunakan kombinasi pembebanan 1,4 DL dan 1,2 DL +1,6 LL. Dari hasil analisis struktur, didapatkan hasil momen ultimate sebagai berikut:



Gambar 2.41 Hasil Analisis Struktur Momen Tangga Lantai 2 dan 3

#### 4. Penulangan Tangga Lantai 2 dan 3

##### a. Tulangan Tumpuan Tangga

$$\begin{aligned} M_y- &= 0,5 \times M_u \text{ midas} \\ &= 0,5 \times 27,4 \text{ kNm} \\ &= 13,7 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} k &= \frac{M_u}{\phi \times b \times d^2} \\ &= \frac{13,7 \times 10^6}{0,9 \times 1000 \times 123,5^2} \\ &= 0,998 \end{aligned}$$

$$\rho = \frac{0,85 f'c}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2k}{0,85 f'c}} \right)$$

$$\rho = 0,00243 \quad (\rho > \rho_{\min}, \text{ maka dipakai } \rho)$$

$$\rho_{\text{use}} = 0,00243$$

$$\begin{aligned} A_s \text{ req} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,00243 \times 1000 \times 123,5 \\ &= 300,704 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s \text{ min} &= \text{Terbesar dari } \frac{0,0018 \times 420}{f_y} \times b \times h \text{ atau } = 0,0014 \times b \times h \\ &\text{(karena } f_y = 420 \text{ Mpa) (SNI 2847:2019 tabel 7.6.1.1)} \\ &= \frac{0,0018 \times 420}{420} \times 1000 \times 150 \text{ atau } = 0,0014 \times 1000 \times 150 \\ &= 270 \text{ mm}^2 \text{ atau } 210 \text{ mm}^2 \quad \text{maka diambil} \end{aligned}$$

$$A_s \text{ min} = 270 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ use} = 300,704 \text{ mm}^2 \text{ (Karena } A_s \text{ req} > A_s \text{ min)}$$

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

$$s = \frac{1}{4} \frac{\pi 13^2 1000}{300,704}$$

$$s = 441,40 \text{ mm}$$

$$s \text{ max} = \text{terkecil dari } 3 \times h \text{ atau } 450 \text{ mm} \quad \text{(SNI 2847:2019 ps}$$

7.7.2.3)

$$= 3 \times 150 \text{ mm atau } 450 \text{ mm}$$

$$= 450 \text{ mm}$$

Sehingga tulangan utama digunakan D13-300 (Tumpuan)

### Cek Momen Nominal Pelat Tangga

$$\begin{aligned} A_s \text{ aktual} &= \frac{b \times A_s \text{ Tulangan}}{s} \\ &= \frac{1000 \times 0,25 \times \pi \times 13^2}{300} \end{aligned}$$

$$= 442,441 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{A_s \times F_y}{0,85 \times F'_c \times b}$$

$$= \frac{442,441 \times 420}{0,85 \times 25 \times 1000}$$

$$= 8,7447 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 c &= \frac{a}{\beta_1} \\
 &= \frac{8,7447}{0,85} \\
 &= 10,2879 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \epsilon_t &= 0,003 \times \left( \frac{d-c}{c} \right) \\
 &= 0,003 \times \left( \frac{123,5-10,2879}{10,2879} \right) \\
 &= 0,03301
 \end{aligned}$$

Karena  $\epsilon_t > 0,005$ , maka penampang pelat pada kondisi terkendali tarik dengan  $\phi = 0,9$ , sesuai dengan ketentuan tabel 21.2.2 SNI 2847:2019.

$$\begin{aligned}
 M_n &= A_s \times F_y \times \left( \frac{d-a}{2} \right) \\
 &= 884,882 \times 420 \times \left( \frac{123,5-8,7447}{2} \right) \\
 &= 22136919 \text{ Nmm} \\
 &= 22,136919 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi M_n &= \phi \times M_n \\
 &= 0,9 \times 22,136919 \\
 &= 19,9232 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$\phi M_n > M_{uy} = 19,9232 > 13,7$  (Tulangan Yang Dirancang Aman)

#### **b. Tulangan Lapangan Tangga**

$$\begin{aligned}
 M_y^+ &= 0,8 \times M_u \text{ midas} \\
 &= 0,8 \times 27,4 \text{ kNm} \\
 &= 21,92 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$k = \frac{Mu}{\phi \times b \times d^2}$$

$$= \frac{21,92 \times 10^6}{0,9 \times 1000 \times 123,5^2}$$

$$= 1,597$$

$$\rho = \frac{0,85 f'c}{fy} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2k}{0,85 f'c}} \right)$$

$$\rho = 0,00396 \quad (\rho > \rho_{\min}, \text{ maka dipakai } \rho)$$

$$\rho_{\text{use}} = 0,00396$$

$$\begin{aligned} \text{As req} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,00396 \times 1000 \times 123,5 \\ &= 488,657 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{As min} = \text{Terbesar dari } \frac{0,0018 \times 420}{fy} \times b \times h \text{ atau } = 0,0014 \times b \times h$$

(karena  $f_y=420$  Mpa) (SNI 2847:2019 tabel 7.6.1.1)

$$\begin{aligned} &= \frac{0,0018 \times 420}{420} \times 1000 \times 150 \text{ atau } = 0,0014 \times 1000 \times 150 \\ &= 270 \text{ mm}^2 \text{ atau } 210 \text{ mm}^2 \quad \text{maka diambil} \end{aligned}$$

$$\text{As min} = 270 \text{ mm}^2$$

$$\text{As use} = 411,667 \text{ mm}^2 \quad (\text{Karena } \text{As req} > \text{As min})$$

$$s = \frac{1}{4} \frac{\pi D^2 b}{As}$$

$$s = \frac{1}{4} \frac{\pi 13^2 1000}{488,657}$$

$$s = 271,63 \text{ mm}$$

$$s_{\max} = \text{terkecil dari } 3 \times h \text{ atau } 450 \text{ mm} \quad (\text{SNI } 2847:2019 \text{ ps } 7.7.2.3)$$

$$= 3 \times 150 \text{ mm atau } 450 \text{ mm}$$

$$= 450 \text{ mm}$$

Sehingga tulangan utama digunakan D13-250 (Lapangan)

### Cek Momen Nominal Pelat Tangga

$$\begin{aligned} \text{As aktual} &= \frac{b \times \text{As Tulangan}}{s} \\ &= \frac{1000 \times 0,25 \times \pi \times 13^2}{250} \\ &= 530,929 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{\text{As} \times F_y}{0,85 \times F'_c \times b} \\ &= \frac{530,929 \times 420}{0,85 \times 25 \times 1000} \\ &= 10,4937 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= \frac{a}{\beta_1} \\ &= \frac{10,4937}{0,85} \\ &= 12,3455 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_t &= 0,003 \times \left( \frac{d-c}{c} \right) \\ &= 0,003 \times \left( \frac{123,5-12,3455}{12,3455} \right) \\ &= 0,02701 \end{aligned}$$

Karena  $\epsilon_t > 0,005$ , maka penampang pelat pada kondisi terkendali tarik dengan  $\phi = 0,9$ , sesuai dengan ketentuan tabel 21.2.2 SNI 2847:2019.

$$\begin{aligned} M_n &= \text{As} \times F_y \times \left( \frac{d-a}{2} \right) \\ &= 442,441 \times 420 \times \left( \frac{123,5-10,4937}{2} \right) \\ &= 26369304 \text{ Nmm} \\ &= 26,369304 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\phi M_n = \phi \times M_n$$

$$= 0,9 \times 26,369304$$

$$= 23,7324 \text{ kNm}$$

$\phi M_n > M_{uy} = 23,7324 > 21,92$  (Tulangan Yang Dirancang Aman)

### Tulangan susut

$A_{s \text{ min}} = 0,002 \times b \times h$  (karena  $f_y < 420 \text{ Mpa}$ ) (SNI 2847:2019 tabel

7.6.1.1)

$$= 0,002 \times 1000 \times 150$$

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

$$s = \frac{1}{4} \frac{\pi D^2 b}{A_{s \text{ min}}}$$

$$= \frac{1}{4} \frac{\pi 10^2 1000}{300}$$

$$= 261,80 \text{ mm}$$

Tulangan susut digunakan D10-250

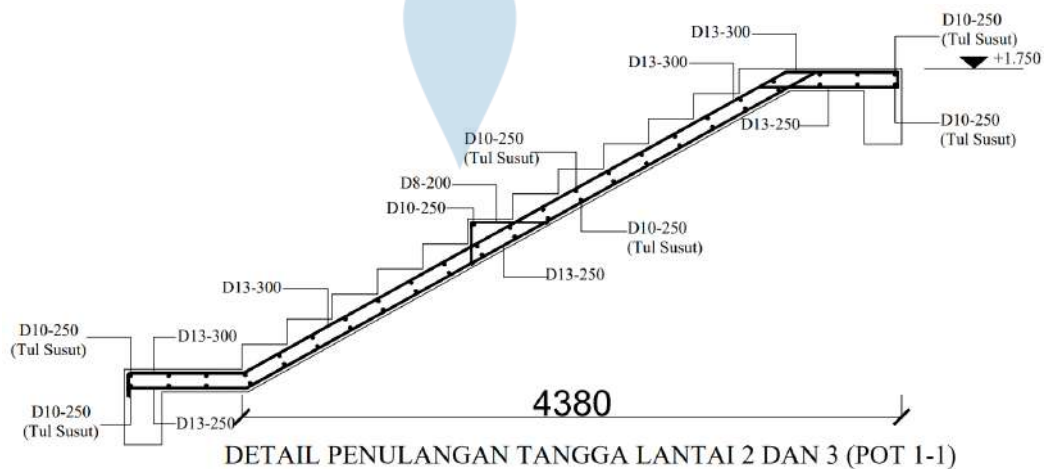
Kesimpulan: Dari hasil analisis, digunakan tulangan sebagai berikut:

### Tulangan utama

- Tumpuan : D13-300
- Lapangan : D13-250

### Tulangan susut

- D10-250



Gambar 2.42 Detail Penulangan Tangga Lantai 2 dan 3





- D. tul. torsi = 13 mm
- $f_y$  = 420 Mpa
- Tinggi efektif (d) =  $600 - 40 - 10 - 19 / 2$   
= 540,5 mm

Hasil analisis struktur balok BI 1:

Tabel 2.20 Hasil Analisis Struktur Balok BI1

	Tumpuan	Lapangan
$M_u^-$	267 kNm	0 kNm
$M_u^+$	60,14 kNm	170,1 kNm
$T_u$	8,8 kNm	
$V_u$	183,8 kN	
$P_u$	0 kN	

### Batasan Dimensi

- $L_n \geq 4d$   
 $4d = 4 \times 540,5 = 2162 \text{ mm}$   
 $L_n = 6970 \text{ mm} > 4d \text{ (OK)}$
- $b_w > 250 \text{ mm}$   
 $b_w = 350 \text{ mm} > 250 \text{ mm (OK)}$
- $b/h > 0,3$   
 $b/h = 350/600 = 0,58 > 0,3 \text{ (OK)}$

### 1. Tulangan Longitudinal

#### a. Tulangan Negatif Tumpuan

$\phi = 0,9$  (diasumsikan terkendali tarik)

$$M_u^- \text{ tum} = 267 \text{ kNm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{0,9}$$

$$= \frac{267}{0,9} = 296,6667 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{d - \sqrt{d^2 - 2|Mn.req|}}{0,85 f_c' b} \\
 &= \frac{540,5 - \sqrt{(540,5)^2 - (2 \times 296,6667 \times 10^6)}}{0,85 \times 25 \times 350} \\
 &= 79,670 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 c &= \frac{a}{\beta_1} \\
 &= \frac{79,670}{0,85} = 93,7293 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \epsilon_s &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\
 &= \frac{(0,003 \times (540,5 - 93,7293))}{93,7293} \\
 &= 0,014
 \end{aligned}$$

$$A_{Sreq} = \frac{0,85 \times f_c' \times a \times b}{f_y} = \frac{0,85 \times 25 \times 79,670 \times 350}{420} = 1410,822 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 A_{Smin1} &= \frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{f_y} b_w d \\
 &= \frac{0,25 \sqrt{25}}{420} 350 \times 540,5 = 563,020833 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{Smin2} &= \frac{1,4}{f_y} b_w d \\
 &= \frac{1,4}{420} 350 \times 540,5 = 630,583333 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$A_{Smin} = A_{Smin} \text{ diambil yang terbesar} = 630,583333 \text{ mm}^2$$

$$A_{Smax} = \frac{0,36 \times 0,85 \times 25 \times 350 \times 540,5}{420} = 3445,6875 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 A_s &= A_{Smin} \text{ lebih kecil daripada } A_{Sreg} \text{ sehingga } A_s \text{ yang} \\
 &\text{digunakan } A_{Smin} = 1410,822 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{A_s \times 4}{\pi \times D^2} = \frac{1410,822 \times 4}{\pi \times 19^2} \\
 &= 4,98 \text{ dibulatkan menjadi } 5
 \end{aligned}$$

$$A_s \text{ Use} = \frac{n \times \pi \times D^2}{4} = \frac{5 \times \pi \times 19^2}{4} = 1417,6437 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 s &= \\
 &= \frac{b - (2 \times \text{selimut beton}) - (2 \times D \text{ sengkang}) - (n \times D \text{ tul utama})}{n-1}
 \end{aligned}$$

$$= \frac{350 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (5 \times 19)}{5 - 1} = 38,75 \text{ mm}^2$$

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 25.2, jarak bersih antara tulangan yang sejajar tidak boleh kurang dari 25 mm.

$$S_{\max} = \text{terkecil dari } 380 \left( \frac{280}{f_s} \right) - 2,5 \text{ selimut beton dan } 300 \left( \frac{280}{f_s} \right)$$

$$= 380 \left( \frac{280}{\frac{2}{3} \times 420} \right) - 2,5 \times 40 \text{ dan } 300 \left( \frac{280}{\frac{2}{3} \times 420} \right)$$

$$= 280 \text{ dan } 300 \text{ maka}$$

$$S_{\max} = 280 \text{ mm}$$

### Cek Momen Nominal Balok

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f_c b}$$

$$= \frac{1417,64 \times 420}{0,85 \times 25 \times 350}$$

$$= 80,05 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{b_1}$$

$$= \frac{80,05}{0,85} = 94,18 \text{ mm}$$

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

$$= \frac{(0,003 \times (540,5 - 94,18))}{94,18}$$

$$= 0,0142$$

Karena  $\epsilon_t > 0,005$ , maka penampang merupakan penampang terkendali tarik dengan  $\phi = 0,9$  yang dimana sudah sesuai dengan tabel SNI 2847:2019 pada Tabel 21.2.2 - Faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ) untuk momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial

$$M_n = A_s \times F_y \times \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= \frac{1417,64 \times 420 \times (540,5 - \frac{96,066}{2})}{1000000}$$

$$= 297,986 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 0,9 \times 297,986 = 268,188 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 268,188 \text{ kNm} > M_u = 267 \text{ kNm} \text{ (OK)}$$

Maka digunakan tulangan longitudinal 5D19 pada daerah tumpuan negatif.

### b. Tulangan Positif Tumpuan

$$M_u^+ \text{ tum} = 60,14 \text{ kNm}$$

$$1/2 M_u^- \text{ tum} = 0,5 \times M_u$$

$$= 0,5 \times 267 = 133,5 \text{ kNm}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.6.3.2, karena pada balok ini  $M^+$  tum (60,14 kNm) <  $1/2 M^-$  tum (267 kNm) maka  $M_u$  yang digunakan untuk menentukan tulangan positif tumpuan adalah  $1/2 M^-$  tum = 133,5 kNm.

$$M_u = 133,5 \text{ kNm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{0,9}$$

$$= \frac{133,5}{0,9} = 148,333 \text{ kNm}$$

$$a = \frac{d - \sqrt{d^2 - 2|M_n \text{ req}|}}{0,85 f_c / b}$$

$$= \frac{540,5 - \sqrt{(540,5)^2 - (2 \times 148,333 \times 10^6)}}{0,85 \times 25 \times 350}$$

$$= 38,253 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{b_1}$$

$$= \frac{79,670}{0,85} = 45,0032 \text{ mm}$$

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

$$= \frac{(0,003 \times (540,5 - 45,0032))}{45,0032}$$

$$= 0,033$$

$$A_{S \text{ req}} = \frac{0,85 \times f_c' \times a \times b}{f_y} = \frac{0,85 \times 25 \times 38,253 \times 350}{420} = 677,393 \text{ mm}^2$$

$$A_{S \text{ min1}} = \frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{f_y} b_w d$$

$$= \frac{0,25 \sqrt{25}}{420} 350 \times 540,5 = 563,020833 \text{ mm}^2$$

$$A_{S_{min2}} = \frac{1,4}{f_y} b_w d$$

$$= \frac{1,4}{420} 350 \times 540,5 = 630,583333 \text{ mm}^2$$

$$A_{S_{min}} = A_{S_{min}} \text{ diambil yang terbesar} = 630,583333 \text{ mm}^2$$

$$A_{S_{max}} = \frac{0,36 \times 0,85 \times 25 \times 350 \times 540,5}{420} = 3445,6875 \text{ mm}^2$$

$A_s$  =  $A_{S_{req}}$  lebih kecil daripada  $A_{S_{min}}$  sehingga  $A_s$  yang digunakan  $A_{S_{min}} = 677,393 \text{ mm}^2$

$$n = \frac{A_s \times 4}{\pi \times D^2} = \frac{677,393 \times 4}{\pi \times 19^2}$$

$$= 2,39 \text{ dibulatkan menjadi } 3$$

$$A_{s \text{ Use}} = \frac{n \times \pi \times D^2}{4} = \frac{3 \times \pi \times 19^2}{4} = 850,586 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{b - (2 \times \text{selimut beton}) - (2 \times D \text{ sengkang}) - (n \times D \text{ tul utama})}{n - 1}$$

$$= \frac{350 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (5 \times 19)}{3 - 1} = 96,5 \text{ mm}^2$$

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 25.2, jarak bersih antara tulangan yang sejajar tidak boleh kurang dari 25 mm.

$$S_{max} = \text{terkecil dari } 380 \left( \frac{280}{f_s} \right) - 2,5 \text{ selimut beton dan } 300 \left( \frac{280}{f_s} \right)$$

$$= 380 \left( \frac{280}{\frac{2}{3} \times 420} \right) - 2,5 \times 40 \text{ dan } 300 \left( \frac{280}{\frac{2}{3} \times 420} \right)$$

$$= 280 \text{ dan } 300 \text{ maka}$$

$$S_{max} = 280 \text{ mm}$$

### Cek Momen Nominal Balok

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f'c b}$$

$$= \frac{850,586 \times 420}{0,85 \times 25 \times 350}$$

$$\begin{aligned}
 &= 48,03 \text{ mm} \\
 c &= \frac{a}{b_1} \\
 &= \frac{48,03}{0,85} = 56,5 \text{ mm} \\
 \varepsilon_s &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\
 &= \frac{0,003 \times (540,5 - 56,5)}{56,5} \\
 &= 0,0257
 \end{aligned}$$

Karena  $\varepsilon_t > 0,005$ , maka penampang merupakan penampang terkendali tarik dengan  $\phi = 0,9$  yang dimana sudah sesuai dengan tabel SNI 2847:2019 pada Tabel 21.2.2 - Faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ) untuk momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial

$$\begin{aligned}
 M_n &= A_s \times F_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\
 &= 850,586 \times 420 \times \left(540,5 - \frac{48,03}{2}\right) \\
 &= 184,512 \text{ kNm} \\
 \phi M_n &= 0,9 \times M_n \\
 &= 0,9 \times 184,512 = 166,061 \text{ kNm} \\
 \phi M_n &= 166,061 \text{ kNm} > M_u = 133,5 \text{ kNm (OK)}
 \end{aligned}$$

Maka digunakan tulangan longitudinal 3D19 pada daerah tumpuan positif.

### c. Tulangan Negatif Lapangan

$$\begin{aligned}
 M_u^- \text{ lap} &= 0 \\
 \frac{1}{4} M_u^- \text{ tum} &= \frac{M_u}{4} \\
 &= \frac{267}{4} = 66,75 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.6.3.2, karena pada balok ini  $M^- \text{ lap} = 0$  maka  $M_u$  yang digunakan untuk menentukan lapangan tekan adalah  $\frac{1}{4} M^- \text{ tum} = 66,75 \text{ kNm}$

$$M_u = 66,75 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= \frac{Mu}{0,9} \\
 &= \frac{66,75}{0,9} \\
 &= 74,167 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{d - \sqrt{d^2 - 2|M_n \cdot \text{req}|}}{0,85 f_c b} \\
 &= \frac{540,5 - \sqrt{(540,5)^2 - (2 \times 74,167 \times 10^6)}}{(0,85 \times 25 \times 350)} \\
 &= 18,776 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 c &= \frac{a}{b_1} \\
 &= \frac{18,776}{0,85} = 22,0890 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \epsilon_s &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\
 &= \frac{(0,003 \times (540,5 - 22,0890))}{22,0890} \\
 &= 0,070
 \end{aligned}$$

$$A_{s\text{req}} = \frac{0,85 \times f_c' \times a \times b}{f_y} = \frac{0,85 \times 25 \times 18,776 \times 350}{420} = 332,486 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 A_{s\text{min}1} &= \frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{f_y} b_w d \\
 &= \frac{0,25 \sqrt{25}}{420} 350 \times 540,5 = 563,020833 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s\text{min}2} &= \frac{1,4}{f_y} b_w d \\
 &= \frac{1,4}{420} 350 \times 540,5 = 630,583333 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$A_{s\text{min}} = A_{s\text{min}} \text{ diambil yang terbesar} = 630,583333 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\text{max}} = \frac{0,36 \times 0,85 \times 25 \times 350 \times 540,5}{420} = 3445,6875 \text{ mm}^2$$

$A_s$  =  $A_{s\text{req}}$  lebih kecil daripada  $A_{s\text{min}}$  sehingga  $A_s$  yang digunakan  $A_{s\text{min}} = 630,583 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{A_s \times 4}{\pi \times D^2} = \frac{630,583 \times 4}{\pi \times 19^2} \\
 &= 2,22 \text{ dibulatkan menjadi } 3
 \end{aligned}$$

$$A_s \text{ Use} = \frac{n \times \pi \times D^2}{4} = \frac{3 \times \pi \times 19^2}{4} = 850,586211 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{b - (2 \times \text{selimut beton}) - (2 \times D \text{ sengkang}) - (n \times D \text{ tul utama})}{n - 1}$$

$$= \frac{350 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (5 \times 19)}{3 - 1} = 96,5 \text{ mm}^2$$

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 25.2, jarak bersih antara tulangan yang sejajar tidak boleh kurang dari 25 mm.

$S_{\max}$  = terkecil dari  $380 \left( \frac{280}{f_s} \right) - 2,5 \text{ selimut beton}$  dan

$$300 \left( \frac{280}{f_s} \right)$$

$$= 380 \left( \frac{280}{\frac{2}{3} \times 420} \right) - 2,5 \times 40 \text{ dan } 300 \left( \frac{280}{\frac{2}{3} \times 420} \right)$$

$$= 280 \text{ dan } 300 \text{ maka}$$

$$S_{\max} = 280 \text{ mm}$$

### Cek Momen Nominal Balok

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f'_c b}$$

$$= \frac{850,586 \times 420}{0,85 \times 25 \times 350}$$

$$= 48,03 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{b_1}$$

$$= \frac{48,03}{0,85} = 56,5 \text{ mm}$$

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

$$= \frac{0,003 \times (540,5 - 56,5)}{56,5}$$

$$= 0,0257$$

Karena  $\epsilon_t > 0,005$ , maka penampang merupakan penampang terkendali tarik dengan  $\phi = 0,9$  yang dimana sudah sesuai dengan tabel SNI 2847:2019 pada



Tabel 21.2.2 - Faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ) untuk momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial

$$\begin{aligned} M_n &= A_s \times F_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ &= 850,586 \times 420 \times \left(540,5 - \frac{48,03}{2}\right) \\ &= 184,512 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 \times M_n \\ &= 0,9 \times 184,512 = 166,061 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\phi M_n = 166,061 \text{ kNm} > M_u = 66,75 \text{ kNm (OK)}$$

Maka digunakan tulangan longitudinal 3D19 pada daerah lapangan negatif.

#### d. Tulangan Positif Lapangan

$$\begin{aligned} M_u^+ \text{ lap} &= 170,1 \text{ kNm} \\ \frac{1}{4} M_u^- \text{ tum} &= \frac{1}{4} \times M_u \\ &= \frac{1}{4} \times 267 = 102,2 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.6.3.2, karena pada balok ini  $M^+$  lap (170,1) >  $\frac{1}{4} M^-$  tum (102,2 kNm) maka  $M_u$  yang digunakan untuk menentukan lapangan tekan adalah  $M^+$  lap = 170,1 kNm.

$$M_u = 170,1 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_u}{0,9} \\ &= \frac{170,1}{0,9} = 189,000 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{d - \sqrt{d^2 - 2|M_n \text{ req}|}}{0,85 f_c' b} \\ &= \frac{540,5 - \sqrt{(540,52)^2 - (2 \times 189,000 \times 10^6)}}{(0,85 \times 25 \times 350)} \\ &= 49,260 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= \frac{a}{b_1} \\ &= \frac{49,260}{0,85} = 57,9530 \text{ mm} \end{aligned}$$

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

$$= \frac{(0,003 \times (540,5 - 57,9530))}{57,9530}$$

$$= 0,025$$

$$A_{sreq} = \frac{0,85 \times f_c' \times a \times b}{f_y} = \frac{0,85 \times 25 \times 49,260 \times 350}{420} = 872,313 \text{ mm}^2$$

$$A_{smin1} = \frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{f_y} b_w d$$

$$= \frac{0,25 \sqrt{25}}{420} 350 \times 540,5 = 563,020833 \text{ mm}^2$$

$$A_{smin2} = \frac{1,4}{f_y} b_w d$$

$$= \frac{1,4}{420} 350 \times 540,5 = 630,583333 \text{ mm}^2$$

$$A_{smin} = A_{smin} \text{ diambil yang terbesar} = 630,583333 \text{ mm}^2$$

$$A_{smax} = \frac{0,36 \times 0,85 \times 25 \times 350 \times 540,5}{420} = 3445,6875 \text{ mm}^2$$

$A_s$  =  $A_{smin}$  lebih kecil daripada  $A_{sreg}$  sehingga  $A_s$  yang digunakan  $A_{smin} = 872,313 \text{ mm}^2$

$$n = \frac{A_s \times 4}{\pi \times D^2} = \frac{872,313 \times 4}{\pi \times 19^2}$$

$$= 3,08 \text{ dibulatkan menjadi } 4$$

$$A_s \text{ Use} = \frac{n \times \pi \times D^2}{4} = \frac{4 \times \pi \times 19^2}{4} = 1134,11495 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{b - (2 \times \text{selimut beton}) - (2 \times D \text{ sengkang}) - (n \times D \text{ tul utama})}{n-1}$$

$$= \frac{350 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (5 \times 19)}{4-1} = 58 \text{ mm}^2$$

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 25.2, jarak bersih antara tulangan yang sejajar tidak boleh kurang dari 25 mm.

$$S_{max} = \text{terkecil dari } 380 \left( \frac{280}{f_s} \right) - 2,5 \text{ selimut beton dan}$$

$$300 \left( \frac{280}{f_s} \right)$$

$$= 380 \left( \frac{280}{\frac{2}{3} \times 420} \right) - 2,5 \times 40 \text{ dan } 300 \left( \frac{280}{\frac{2}{3} \times 420} \right)$$

$$= 280 \text{ dan } 300 \text{ maka}$$

$$S_{\max} = 280 \text{ mm}$$

### Cek Momen Nominal Balok

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f'c b}$$

$$= \frac{1134,115 \times 420}{(0,85 \times 25 \times 350)}$$

$$= 64,04 \text{ mm}$$

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

$$= \frac{64,06}{0,85} = 75,35 \text{ mm}$$

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

$$= \frac{(0,003 \times (540,5 - 75,35))}{75,35}$$

$$= 0,0185$$

Karena  $\epsilon_t > 0,005$ , maka penampang merupakan penampang terkendali tarik dengan  $\phi = 0,9$  yang dimana sudah sesuai dengan tabel SNI 2847:2019 pada Tabel 21.2.2 - Faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ) untuk momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial

$$M_n = A_s \times F_y \times (d - \frac{a}{2})$$

$$= \frac{1134,115 \times 420 \times (540,5 - \frac{64,04}{2})}{1000000}$$

$$= 242,202 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 0,9 \times M_n$$

$$= 0,9 \times 242,202 = 217,982 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 217,982 > M_u = 170,1 \text{ kNm (OK)}$$

Maka digunakan tulangan longitudinal 4D19 pada daerah lapangan positif.

## 2. Tulangan Torsi

$$T_u \text{ hasil analisis midas} = 8,8 \text{ kNm}$$

$$V_u \text{ hasil analisis midas} = 183,8 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} A_{cp} &= b \times h \\ &= 350 \times 600 = 210000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{cp} &= 2 \times (b \times h) \\ &= 2 \times (350 + 600) = 1900 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Phi T_{th} &= \frac{0,75 \times 0,083 \times 1 \times \sqrt{f'c} \times A_{cp}^2}{P_{cp}} \\ &= \frac{0,75 \times 0,083 \times 1 \times \sqrt{25} \times 210000^2}{1900} \\ &= 7224276,316 \text{ Nmm} \\ &= 7,224276316 \text{ kNm} < T_u \end{aligned}$$

$\Phi T_{th} < T_u$ , dibutuhkan tambahan tulangan torsi

$$\begin{aligned} x_1 &= \frac{b - 2 \times (\text{selimut beton} + \text{diameter tulangan sengkang})}{2} \\ &= \frac{350 - 2 \times (40 + 10)}{2} \\ &= 260 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y_1 &= \frac{h - 2 \times (\text{selimut beton} + \text{diameter tulangan sengkang})}{2} \\ &= \frac{600 - 2 \times (40 + 10)}{2} \\ &= 510 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{oh} &= x_1 \cdot y_1 \\ &= 260 \times 519 = 132600 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_o &= 0,85 \times A_{oh} \\ &= 0,85 \times 132600 = 112710 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_h &= 2 \times (x_1 + y_1) \\ &= 2 \times (260 + 510) = 1540 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \times \lambda \sqrt{f'c} b_w d \\ &= 0,17 \times 1 \times \sqrt{25} \times (350) \times (540,5) \\ &= 160798,8 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Batasan 1} &= \frac{\sqrt{V_u} \times 10^3}{(b \times d)^2} + \frac{T_u \times P_h}{(1,7 \times A_{oh}^2)^2} \\ &= \frac{\sqrt{183,8} \times 10^3}{(350 \times 540,5)^2} + \frac{8,8 \times 1540}{(1,7 \times 132600^2)^2} \\ &= 0,972 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Batasan 2} &= 0,75 \frac{V_c}{(b \times d) + 0,66 \times \sqrt{(f'c)^2}} \\
 &= 0,75 \frac{160798,8}{(350 \times 540,5) + 0,66 \times \sqrt{(28)^2}} \\
 &= 3,113 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_n &= \frac{T_u}{\theta} \\
 &= \frac{8,8 \times 10^6}{0,7521} \\
 &= 11733333,33 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\theta = 45$$

$$\begin{aligned}
 A_t/s &= \frac{T_n}{2A_o F_{yt} \cot \theta} \\
 &= \frac{11733333,33}{2 \times 112710 \times 420 \times \cot(45)} \\
 &= 0,124 \text{ mm}^2/\text{mm}
 \end{aligned}$$

Tulangan Transversal Tumpuan:

$$\begin{aligned}
 V_s &= \frac{V_u - (0,75 \times V_c / 1000)}{0,75} \\
 &= \frac{183,8 - (0,75 \times 160798,8 / 1000)}{0,75} \\
 &= 84,26791667 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_v/s &= \frac{V_u \times 1000}{F_{yt} \times d} \\
 &= \frac{84,26791667 \times 1000}{420 \times 540,5} \\
 &= 0,37120795 \text{ mm}^2/\text{mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Ask/ s req} &= 2 (A_t/s) + A_v/s \\
 &= (2 \times 0,125) + 0,37120795 \\
 &= 0,619069789 \text{ mm}^2/\text{mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 s &= 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times d \text{ tul sengkang} / \text{Ask/s req} \\
 &= 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 / 0,619069789 \\
 &= 253,7349349 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 s \text{ max} &= \frac{Ph}{8} \\
 &= \frac{1540}{8} = 192,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 s \text{ pakai} &= 125 \text{ mm} \\
 \text{As min 1} &= \frac{0,062 \times \sqrt{(f'c \times b \times s \text{ pakai})^2}}{Fyt} \\
 &= \frac{0,062 \times \sqrt{(25 \times 350 \times 125)^2}}{420} \\
 &= 32,29166667 \text{ mm}^2 \\
 \text{As min 2} &= \frac{0,35 \times b \times s \text{ pakai}}{Fyt} \\
 &= \frac{0,35 \times 350 \times 125}{420} \\
 &= 36,45833333 \text{ mm}^2 \\
 \text{As use} &= 2 \times \frac{1}{4} \times d \text{ tul sengkang}^2 \times \pi \\
 &= 2 \times \frac{1}{4} \times 10^2 \times \pi \\
 &= 157,0796327 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

Tulangan Longitudinal Tumpuan:

$$\begin{aligned}
 \text{Al} &= \frac{At/s \times Ph \times Fyt}{Fy \times \text{COT}^2 \theta} \\
 &= \frac{0,124 \times 1540 \times 420}{420 \times \text{COT}^2(45)} \\
 &= 190,85 \text{ mm}^2 \\
 \text{Al min} &= \frac{0,42 \times \sqrt{(f'c \times Acp)}}{Fy - At/s \times Ph \times Fyt/Fy} \\
 &= \frac{0,42 \times \sqrt{(25 \times 210000)}}{420 - 0,124 \times 1540 \times 420/420} \\
 &= 895,15 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Karena Al min lebih besar daripada Al maka Al use digunakan Al min yaitu 895,15 mm<sup>2</sup>

Tambahan kebutuhan torsi:

$$\begin{aligned}
 \text{Sisi Atas} &= \frac{\text{Al use}}{4} \\
 &= \frac{895,15}{4} \\
 &= 214,79 \text{ mm}^2 \\
 \text{Sisi Bawah} &= \frac{\text{Al use}}{4}
 \end{aligned}$$

$$= \frac{895,15}{4}$$

$$= 214,79 \text{ mm}^2$$

Sisi Tengah

$$= \frac{Al \text{ use}}{2}$$

$$= \frac{895,15}{2}$$

$$= 429,57 \text{ mm}^2$$

Tambahan tulangan longitudinal tumpuan negatif:

$$\text{As perlu} + \text{Al atas} = 1410,822 + 214,79 = 1625,6 \text{ mm}^2$$

$$n = 1625,6 / (0,25\pi \times 19^2) = 5,73 \text{ (6)}$$

Tulangan longitudinal tumpuan negatif ditambah menjadi 6D19 (As = 1701,17 mm<sup>2</sup>)

Tambahan tulangan longitudinal tumpuan positif:

$$\text{As perlu} + \text{Al bawah} = 677,39 + 214,79 = 892,18 \text{ mm}^2$$

$$n = 892,18 / (0,25\pi \times 19^2) = 3,15 \text{ (4)}$$

Tulangan longitudinal tumpuan positif ditambah menjadi 4D19 (As = 1134,11 mm<sup>2</sup>)

Tulangan torsi di tengah balok:

$$\text{Al tengah} = 429,57 \text{ mm}$$

Digunakan tulangan torsi tengah 4D13 (As = 530,93 mm<sup>2</sup>)

### 3. Tulangan Transversal

$$\text{As dari tul Tarik tumpuan} = 1701,172 \text{ mm}^2$$

$$\text{As dari tul tekan tumpuan} = 1134,114998 \text{ mm}^2$$

$$\text{Vu tumpuan midas} = 183,8 \text{ kN}$$

$$\text{Apr- (Tarik)} = \frac{1,25 \times Fy \times As}{0,85 \times f'c \times b}$$

$$= \frac{1,25 \times 1701,172 \times 420}{0,85 \times 25 \times 350}$$

$$= 120,0827592 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 M_{pr-} &= 1,25 \times F_y \times A_s \times \left( d - \left( \frac{a_{pr}}{2} \right) \right) \\
 &= \frac{1,25 \times 1701,172 \times \left( 420 \left( \frac{540,5}{2} \right) \right)}{10^6} \\
 &= 339,7934992 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{pr} \text{ (tekan)} &= \frac{1,25 \times F_y \times A_s}{0,85 \times f'c \times b} \\
 &= \frac{1,25 \times 1134,114948 \times 420}{0,85 \times 25 \times 350} \\
 &= 80,0551728 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{pr+} &= 1,25 \times F_y \times A_s \times \left( d - \left( \frac{a_{pr}}{2} \right) \right) \\
 &= 1,25 \times 1134,114948 \times \left( 420 - \left( \frac{540,5}{2} \right) \right) \\
 &= 238,4454 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_g \text{ midas} &= 158,7 \text{ kN} \\
 v_e &= \frac{M_{pr-} + M_{pr+}}{\frac{ln}{1000}} \\
 &= \frac{339,7934992 + 238,4454}{\frac{6970}{1000}} \\
 &= 82,96111 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 v_{e1} &= v_e + V_g \text{ midas} \\
 &= 82,96111 + 158,7 \\
 &= 241,6611073 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 v_{e2} &= v_e - V_g \text{ midas} \\
 &= 82,96111 - 158,7 \\
 &= -75,7389 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Nilai  $v_u$  diambil hasil terbesar dari  $v_u$  tumpuan midas,  $v_{e1}$ ,  $v_{e2}$ , nilai  $v_{e1}$  merupakan nilai terbesar sehingga nilai  $v_u$  adalah 241,6611073 kN

$$\begin{aligned}
 v_u \text{ lapangan} &= \frac{(ln - 2 \times h) \times (v_u - v_{e2})}{ln + v_{e2}} \\
 &= \frac{(6970 - 2 \times 600) \times (241,6611073 - (-75,7389))}{6970 + 75,7389} \\
 &= 185,015483 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

### Tumpuan Plastis

Cek  $0,5 v_u < v_e$



$$\begin{aligned}
 0,5 v_u &= 0,5 \times v_u \\
 &= 0,5 \times 241,6611073 \\
 &= 120,830554
 \end{aligned}$$

$$0,5 v_e = 89,96111$$

$$\begin{aligned}
 V_c &= \frac{0,17 \times 1 \times \sqrt{f'c \times b \times d}^2}{1000} \\
 &= \frac{0,17 \times 1 \times \sqrt{(25 \times 350 \times 540,5)^2}}{1000} \\
 &= 160,79875 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\phi = 0,75$$

$$\begin{aligned}
 v_s &= \frac{v_u}{\phi} - v_c \\
 &= \frac{241,6611073}{0,75} - 160,79875 \\
 &= 161,4160598
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{Smaks} &= \frac{0,66 \times \sqrt{f'c \times b \times d}^2}{1000} \\
 &= \frac{0,66 \times \sqrt{(25 \times 350 \times 540,5)^2}}{1000} \\
 &= 624,2775 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Diameter sengkang (direncanakan Sengkang 2D10) 10 mm

$$\begin{aligned}
 A_s &= 2 \times 0,25 \times \pi \times d \text{ sengkang}^2 \\
 &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 10^2 \\
 &= 157,0796327 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{A_s \times f_y \times d}{v_s \times 1000} \\
 &= \frac{157,0796327 \times 280 \times 540,5}{161,4160598 \times 1000} \\
 &= 220,9114 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{maks1} &= \frac{d}{4} \\
 &= \frac{540,5}{4} \\
 &= 135,125 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{maks2} &= 6 \times d \text{ tul utama} \\
 &= 6 \times 19 \\
 &= 114 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$S_{maks3} = 150 \text{ mm}$$

Nilai  $S_{maks}$  tumpuan plastis diambil dari nilai terkecil  $S_{maks1}$ ,  $S_{maks2}$ ,  $S_{maks3}$  pada tumpuan plastis dan nilai  $S_{maks2}$  merupakan nilai terkecil sehingga  $S_{maks}$  adalah 114 mm

Maka digunakan tulangan transversal 2D10-100 di daerah tumpuan

### Lapangan

$$\begin{aligned}
 0,5 v_u &= 0,5 \times v_u \\
 &= 0,5 \times 187,015483 \\
 &= 93,5077416 \\
 0,5 v_e &= 82,96111 \\
 V_c &= \frac{0,17 \times 1 \times \sqrt{f'c \times b \times d}^2}{1000} \\
 &= \frac{0,17 \times 1 \times \sqrt{f'c \times b \times d}^2}{1000} \\
 &= \frac{0,17 \times 1 \times \sqrt{(25 \times 350 \times 540,5)^2}}{1000} \\
 &= 160,79875 \text{ kN} \\
 \phi &= 0,75 \\
 v_s &= \frac{v_u}{\phi} - v_c \\
 &= \frac{187,015483}{0,75} - 160,79875 \\
 &= 88,55522765 \\
 V_{Smaks} &= \frac{0,66 \times \sqrt{f'c \times b \times d}^2}{1000} \\
 &= \frac{0,66 \times \sqrt{(25 \times 350 \times 540,5)^2}}{1000} \\
 &= 624,2775 \text{ kN} \\
 A_s &= 2 \times 0,25 \times \pi \times d \text{ sengkang}^2 \\
 &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 10^2 \\
 &= 157,0796327 \text{ mm}^2 \\
 S &= \frac{A_s \times f_y \times d}{v_s \times 1000}
 \end{aligned}$$

$$= \frac{157,0796327 \times 280 \times 540,5}{88,55522765 \times 1000}$$

$$= 402,6713 \text{ mm}$$

$$S_{\text{maks1}} = \frac{d}{2}$$

$$= \frac{540,5}{2}$$

$$= 270,25 \text{ mm}$$

$$S_{\text{maks2}} = 300 \text{ mm}$$

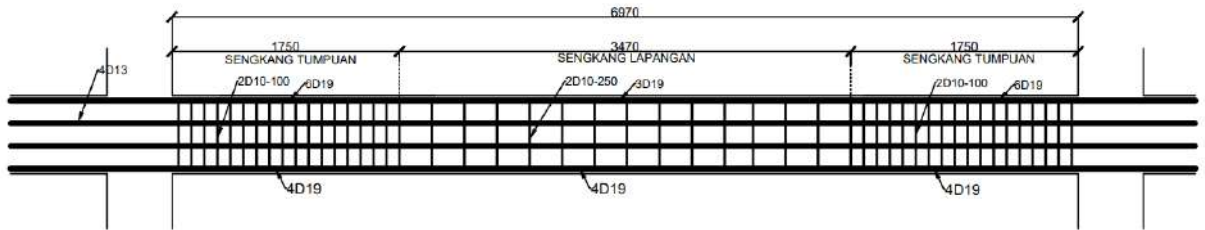
(Berdasarkan SNI 2847 2019 pasal 9.7.6.2.2 jika  $V_s \leq 0,33 \sqrt{f_c}$  maka  $S_{\text{maks}}$  yang diambil adalah yang terkecil dari  $d/2$  atau 600 mm)

Nilai  $S_{\text{maks}}$  lapangan diambil dari nilai terkecil  $S_{\text{maks1}}$ ,  $S_{\text{maks2}}$ ,  $S_{\text{maks3}}$  lapangan dan nilai  $S_{\text{maks1}}$  merupakan nilai terkecil sehingga  $S_{\text{maks}}$  adalah 270,25 mm.

Maka digunakan tulangan transversal 2D10-250 di daerah lapangan.

BALOK	TULANGAN		
	TUMPUAN KIRI	LAPANGAN	TUMPUAN KANAN
BI 1			
UKURAN BALOK	350 X 600 mm		
TULANGAN ATAS	6D19	3D19	6D19
TULANGAN BAWAH	4D19	4D19	4D19
TULANGAN SAMPING	4D13	4D13	4D13
SENGKANG	2D10-100	2D10-250	2D10-100

Gambar 2.44 Potongan Balok Induk BI 1 350x600 mm



Gambar 2.45 Penampang Melintang Balok Induk BI 1 350x600 mm

### 2.7.2 Perencanaan Balok Induk BI2 350x600

Data perencanaan balok induk BI2 ukuran 350mm x 600mm dengan panjang bentang 7,1 m sebagai berikut:

- Mutu beton ( $f'_c$ ) = 25 Mpa
- Lebar balok ( $b$ ) = 350 mm
- Tinggi balok ( $h$ ) = 600 mm
- Panjang balok ( $l$ ) = 7100 mm
- Panjang balok bersih ( $l_n$ ) = 6600 mm
- D. tul. longitudinal = 19 mm
- $f_y$  = 420 Mpa
- D. tul. transversal = 10 mm
- $f_y$  = 280 Mpa
- D. tul. torsi = 13 mm
- $f_{yt}$  = 420 Mpa
- Tinggi efektif ( $d$ ) = 540,5 mm

Hasil analisis struktur balok BI 2:

Tabel 2.21 Hasil Analisis Struktur Balok BI2

	Tumpuan	Lapangan
$Mu^-$	240,2 kNm	0 kNm
$Mu^+$	53,69 kNm	170,9 kNm
$Tu$	21,1 kNm	

Vu	169,8 kN
Pu	0 kN

### Batasan Dimensi

- $L_n \geq 4d$   
 $4d = 4 \times 540,5 = 2162 \text{ mm}$   
 $L_n = 6970 \text{ mm} > 4d \text{ (OK)}$
- $b_w > 250 \text{ mm}$   
 $b_w = 350 \text{ mm} > 250 \text{ mm (OK)}$
- $b/h > 0,3$   
 $b/h = 350/600 = 0,58 > 0,3 \text{ (OK)}$

### 1. Tulangan Longitudinal

#### a. Tulangan Negatif Tumpuan

$\phi = 0,9$  (diasumsikan terkendali tarik)

$$M_{u- \text{tum}} = 240,2 \text{ kNm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{0,9}$$

$$= \frac{240,2}{0,9} = 266,8889 \text{ kNm}$$

$$a = \frac{d - \sqrt{d^2 - 2|M_n \cdot \text{req}|}}{0,85 f_c' b}$$

$$= \frac{540,5 - \sqrt{(540,5)^2 - (2 \times 266,8889 \times 10^6)}}{0,85 \times 25 \times 350}$$

$$= 71,062 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{b_1}$$

$$= \frac{71,8889}{0,85} = 83,6026 \text{ mm}$$

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

$$= \frac{(0,003 \times (540,5 - 83,6026))}{83,6026}$$

$$= 0,016$$

$$A_{S_{req}} = \frac{0,85 \times f_c' \times a \times b}{f_y} = \frac{0,85 \times 25 \times 71,026 \times 350}{420} = 1258,394$$

mm<sup>2</sup>

$$A_{S_{min1}} = \frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{f_y} b_w d$$

$$= \frac{0,25 \sqrt{25}}{420} 350 \times 540,5 = 563,02083 \text{ mm}^2$$

$$A_{S_{min2}} = \frac{1,4}{f_y} b_w d$$

$$= \frac{1,4}{420} 350 \times 540,5 = 630,5833333 \text{ mm}^2$$

$$A_{S_{min}} = A_{S_{min}} \text{ diambil yang terbesar} = 630,5833333 \text{ mm}^2$$

$$A_{S_{max}} = \frac{0,36 \times 0,85 \times 25 \times 350 \times 540,5}{420} = 3445,6875 \text{ mm}^2$$

As  
digunakan As<sub>min</sub> = As<sub>req</sub> lebih kecil daripada As<sub>min</sub> sehingga As yang digunakan As<sub>min</sub> = 1258,394 mm<sup>2</sup>

$$n = \frac{As \times 4}{\pi \times D^2} = \frac{1258,394 \times 4}{\pi \times 19^2}$$

$$= 4,44 \text{ dibulatkan menjadi } 5$$

$$A_{S \text{ Use}} = \frac{n \times \pi \times D^2}{4} = \frac{5 \times \pi \times 19^2}{4} = 1417,6437 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{b - (2 \times \text{selimut beton}) - (2 \times D \text{ sengkang}) - (n \times D \text{ tul utama})}{n-1}$$

$$= \frac{350 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (5 \times 19)}{5-1} = 38,75 \text{ mm}^2$$

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 25.2, jarak bersih antara tulangan yang sejajar tidak boleh kurang dari 25 mm.

$$S_{max} = \text{terkecil dari } 380 \left( \frac{280}{f_s} \right) - 2,5 \text{ selimut beton dan } 300 \left( \frac{280}{f_s} \right)$$

$$= 380 \left( \frac{280}{\frac{2}{3} \times 420} \right) - 2,5 \times 40 \text{ dan } 300 \left( \frac{280}{\frac{2}{3} \times 420} \right)$$

$$= 280 \text{ dan } 300 \text{ maka}$$

$$S_{max} = 280 \text{ mm}$$

### Cek Momen Nominal Balok

$$\begin{aligned} a &= \frac{As f_y}{0,85 f'c b} \\ &= \frac{1417,64 \times 420}{0,85 \times 25 \times 350} \\ &= 80,05 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= \frac{a}{\beta_1} \\ &= \frac{80,05}{0,85} = 94,18 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_s &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{(0,003 \times (540,5 - 94,18))}{94,18} \\ &= 0,0142 \end{aligned}$$

Karena  $\epsilon_t > 0,005$ , maka penampang merupakan penampang terkendali tarik dengan  $\phi = 0,9$  yang dimana sudah sesuai dengan tabel SNI 2847:2019 pada Tabel 21.2.2 - Faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ) untuk momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial

$$\begin{aligned} M_n &= As \times F_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ &= \frac{1417,6437 \times 420 \times \left(540,5 - \frac{80,05}{2}\right)}{1000000} \\ &= 300,6637 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 \times M_n \\ &= 0,9 \times 297,99 = 268,19 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\phi M_n = 268,19 \text{ kNm} > M_u = 240,2 \text{ kNm} \text{ (OK)}$$

Maka digunakan tulangan longitudinal 5D19 pada daerah tumpuan negatif.

### b. Tulangan Positif Tumpuan

$$M_u^+ \text{ tum} = 53,69 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} 1/2 M_u^- \text{ tum} &= 1/2 \times M_n \\ &= 1/2 \times 240,2 = 120,1 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.6.3.2, karena pada balok ini  $M^+$  tum (53,69 kNm) <  $1/2 M^-$  tum (120,1 kNm) maka  $M_u$  yang digunakan untuk menentukan tulangan positif tumpuan adalah  $1/2 M^-$  tum = 120,1 kNm.

$$M_u = 120,1 \text{ kNm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{0,9}$$

$$= \frac{120,1}{0,9} = 133,444 \text{ kNm}$$

$$a = \frac{d - \sqrt{d^2 - 2|M_n \cdot \text{req}|}}{0,85 f_c' b}$$

$$= \frac{540,5 - \sqrt{(540,52 - (2 \times 133,444 \times 10^6))}}{0,85 \times 25 \times 350}$$

$$= 34,283 \text{ mm}$$

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

$$= \frac{34,283}{0,85} = 40,3325 \text{ mm}$$

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

$$= \frac{(0,003 \times (540,5 - 40,3325))}{40,3325}$$

$$= 0,037$$

$$A_{s\text{req}} = \frac{0,85 \times f_c' \times a \times b}{f_y} = \frac{0,85 \times 25 \times 34,283 \times 350}{420} = 607,088 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\text{min}1} = \frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{f_y} b_w d$$

$$= \frac{0,25 \sqrt{25}}{420} 350 \times 540,5 = 563,02083 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\text{min}2} = \frac{1,4}{f_y} b_w d$$

$$= \frac{1,4}{420} 350 \times 540,5 = 630,5833333 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\text{min}} = A_{s\text{min}} \text{ diambil yang terbesar} = 630,5833333 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\text{max}} = \frac{0,36 \times 0,85 \times 25 \times 350 \times 540,5}{420} = 3445,6875 \text{ mm}^2$$

$A_s = A_{s\text{req}}$  lebih kecil daripada  $A_{s\text{min}}$  sehingga  $A_s$  yang digunakan  $A_{s\text{min}} = 630,5833333 \text{ mm}^2$



$$n = \frac{As \times 4}{\pi \times D^2} = \frac{630,583 \times 4}{\pi \times 19^2}$$

= 2,22 dibulatkan menjadi 3

$$As_{Use} = \frac{n \times \pi \times D^2}{4} = \frac{3 \times \pi \times 19^2}{4} = 850,586211 \text{ mm}^2$$

$$s =$$

$$\frac{b - (2 \times \text{selimut beton}) - (2 \times D \text{ sengkang}) - (n \times D \text{ tul utama})}{n-1}$$

$$= \frac{350 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (5 \times 19)}{3-1} = 96,5 \text{ mm}^2$$

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 25.2, jarak bersih antara tulangan yang sejajar tidak boleh kurang dari 25 mm.

$$S_{max} = \text{terkecil dari } 380 \left( \frac{280}{f_s} \right) - 2,5 \text{ selimut beton dan}$$

$$300 \left( \frac{280}{f_s} \right)$$

$$= 380 \left( \frac{280}{\frac{2}{3} \times 420} \right) - 2,5 \times 40 \text{ dan } 300 \left( \frac{280}{\frac{2}{3} \times 420} \right)$$

$$= 280 \text{ dan } 300 \text{ maka}$$

$$S_{max} = 280 \text{ mm}$$

### Cek Momen Nominal Balok

$$a = \frac{As f_y}{0,85 f'_c b}$$

$$= \frac{850,586 \times 420}{0,85 \times 25 \times 350}$$

$$= 48,03 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{b_1}$$

$$= \frac{48,03}{0,85} = 56,5 \text{ mm}$$

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

$$= \frac{0,003 \times (540,5 - 56,5)}{56,5}$$

$$= 0,0257$$

Karena  $\epsilon_t > 0,005$ , maka penampang merupakan penampang terkendali tarik dengan  $\phi = 0,9$  yang dimana sudah sesuai dengan tabel SNI 2847:2019 pada Tabel 21.2.2 - Faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ) untuk momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial

$$M_n = A_s \times F_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$= \frac{850,58621 \times 420 \times \left(540,5 - \frac{48,03}{2}\right)}{10^6}$$

$$= 184,5 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 0,9 \times M_n$$

$$= 0,9 \times 184,5 = 166,06 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 166,06 \text{ kNm} > M_u = 120,1 \text{ kNm} \text{ (OK)}$$

Maka digunakan tulangan lognitudinal 3D19 pada daerah tumpuan positif.

### c. Tulangan Negatif Lapangan

$$M_u^{\text{lap}} = 0 \text{ kNm}$$

$$1/4 M_u^{\text{tum}} = 60,05 \text{ kNm}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.6.3.2, karena pada balok ini  $M^{\text{lap}} = 0$  maka  $M_u$  yang digunakan untuk menentukan tulangan positif tumpuan adalah  $1/4 M^{\text{tum}} = 60,05 \text{ kNm}$ .

$$M_u = 60,05 \text{ kNm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{0,9}$$

$$= \frac{60,05}{0,9} = 66,722 \text{ kNm}$$

$$a = \frac{d - \sqrt{d^2 - 2|M_n \text{ req}|}}{0,85 f_c / b}$$

$$= \frac{540,5 - \sqrt{(540,5)^2 - (2 \times 66,722 \times 10^6)}}{(0,85 \times 25 \times 350)}$$

$$= 16,861 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{b_1}$$

$$= \frac{16,861}{0,85} = 19,8361 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
\varepsilon_s &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\
&= \frac{(0,003 \times (540,5 - 19,8361))}{19,8361} \\
&= 0,079 \\
A_{sreq} &= \frac{0,85 \times f_c' \times a \times b}{f_y} = \frac{0,85 \times 25 \times 16,861 \times 350}{420} = 298,575 \text{ mm}^2 \\
A_{smin1} &= \frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{f_y} b_w d \\
&= \frac{0,25 \sqrt{25}}{420} 350 \times 540,5 = 563,02083 \text{ mm}^2 \\
A_{smin2} &= \frac{1,4}{f_y} b_w d \\
&= \frac{1,4}{420} 350 \times 540,5 = 630,5833333 \text{ mm}^2 \\
A_{smin} &= A_{smin} \text{ diambil yang terbesar} = 630,5833333 \text{ mm}^2 \\
A_{smax} &= \frac{0,36 \times 0,85 \times 25 \times 350 \times 540,5}{420} = 3445,6875 \text{ mm}^2 \\
A_s &= A_{sreq} \text{ lebih kecil daripada } A_{smin} \text{ sehingga } A_s \text{ yang} \\
&\text{digunakan } A_{smin} = 630,583 \text{ mm}^2 \\
n &= \frac{A_s \times 4}{\pi \times D^2} = \frac{630,583 \times 4}{\pi \times 19^2} \\
&= 2,22 \text{ dibulatkan menjadi } 3 \\
A_s \text{ Use} &= \frac{n \times \pi \times D^2}{4} = \frac{3 \times \pi \times 19^2}{4} = 850,586211 \text{ mm}^2 \\
s &= \frac{b - (2 \times \text{selimut beton}) - (2 \times D \text{ sengkang}) - (n \times D \text{ tul utama})}{n-1} \\
&= \frac{350 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (5 \times 19)}{3-1} = 96,5 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 25.2, jarak bersih antara tulangan yang sejajar tidak boleh kurang dari 25 mm.

$$\begin{aligned}
S_{max} &= \text{terkecil dari } 380 \left( \frac{280}{f_s} \right) - 2,5 \text{ selimut beton dan} \\
&300 \left( \frac{280}{f_s} \right)
\end{aligned}$$

$$= 380 \left( \frac{280}{\frac{2}{3} \times 420} \right) - 2,5 \times 40 \text{ dan } 300 \left( \frac{280}{\frac{2}{3} \times 420} \right)$$

$$= 280 \text{ dan } 300 \text{ maka}$$

$$S_{\max} = 280 \text{ mm}$$

### Cek Momen Nominal Balok

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s f_y}{0,85 f'c b} \\ &= \frac{850,586 \times 420}{0,85 \times 25 \times 350} \\ &= 48,03 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= \frac{a}{\beta_1} \\ &= \frac{48,03}{0,85} = 56,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_s &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{0,003 \times (540,5 - 56,5)}{56,5} \\ &= 0,0257 \end{aligned}$$

Karena  $\epsilon_t > 0,005$ , maka penampang merupakan penampang terkendali tarik dengan  $\phi = 0,9$  yang dimana sudah sesuai dengan tabel SNI 2847:2019 pada Tabel 21.2.2 - Faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ) untuk momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial

$$\begin{aligned} M_n &= A_s \times F_y \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \\ &= \frac{850,58621 \times 420 \times \left( 540,5 - \frac{48,03}{2} \right)}{10^6} \\ &= 184,5 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 \times M_n \\ &= 0,9 \times 184,5 = 166,06 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\phi M_n = 166,06 \text{ kNm} > M_u = 60,05 \text{ kNm (OK)}$$

Maka digunakan tulangan longitudinal 3D19 pada daerah lapangan negatif.

#### d. Tulangan Positif Lapangan

$$Mu^+ \text{ lap} = 170,9 \text{ kNm}$$

$$1/4 Mu^- \text{ tum} = 60,05 \text{ kNm}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.6.3.2, karena pada balok ini  $M^+$  lap (170,9 kNm) >  $1/4 M^-$  tum (60,05 kNm) maka  $Mu$  yang digunakan untuk menentukan tulangan positif tumpuan adalah  $M^+$  lap = 170,9 kNm.

$$Mu = 170,9 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} Mn &= \frac{Mu}{0,9} \\ &= \frac{170,9}{0,9} = 189,889 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{d - \sqrt{d^2 - 2|Mn.req|}}{0,85 f_c/b} \\ &= \frac{540,5 - \sqrt{(540,5)^2 - (2 \times 189,889 \times 10^6)}}{(0,85 \times 25 \times 350)} \\ &= 49,503 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= \frac{a}{b_1} \\ &= \frac{49,503}{0,85} = 58,2393 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_s &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{(0,003 \times (540,5 - 58,2393))}{58,2393} \end{aligned}$$

$$= 0,025$$

$$As_{req} = \frac{0,85 \times f_c' \times a \times b}{f_y} = \frac{0,85 \times 25 \times 49,503 \times 350}{420} = 876,622 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} As_{min1} &= \frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{f_y} b_w d \\ &= \frac{0,25 \sqrt{25}}{420} 350 \times 540,5 = 563,02083 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} As_{min2} &= \frac{1,4}{f_y} b_w d \\ &= \frac{1,4}{420} 350 \times 540,5 = 630,5833333 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$As_{min} = As_{min} \text{ diambil yang terbesar} = 630,5833333 \text{ mm}^2$$

$$A_{smax} = \frac{0,36 \times 0,85 \times 25 \times 350 \times 540,5}{420} = 3445,6875 \text{ mm}^2$$

$A_s$  =  $A_{sreq}$  lebih kecil daripada  $A_{smin}$  sehingga  $A_s$  yang digunakan  $A_{smin} = 876,622 \text{ mm}^2$

$$n = \frac{A_s \times 4}{\pi \times D^2} = \frac{876,622 \times 4}{\pi \times 19^2} = 3,09 \text{ dibulatkan menjadi } 4$$

$$A_s \text{ Use} = \frac{n \times \pi \times D^2}{4} = \frac{4 \times \pi \times 19^2}{4} = 1134,11495 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{b - (2 \times \text{selimut beton}) - (2 \times D \text{ sengkang}) - (n \times D \text{ tul utama})}{n - 1} = \frac{350 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (5 \times 19)}{4 - 1} = 58 \text{ mm}^2$$

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 25.2, jarak bersih antara tulangan yang sejajar tidak boleh kurang dari 25 mm.

$$S_{max} = \text{terkecil dari } 380 \left( \frac{280}{f_s} \right) - 2,5 \text{ selimut beton dan } 300 \left( \frac{280}{f_s} \right)$$

$$= 380 \left( \frac{280}{\frac{2}{3} \times 420} \right) - 2,5 \times 40 \text{ dan } 300 \left( \frac{280}{\frac{2}{3} \times 420} \right) = 280 \text{ dan } 300 \text{ maka}$$

$$S_{max} = 280 \text{ mm}$$

### Cek Momen Nominal Balok

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f_c' b} = \frac{1134,11495 \times 420}{(0,85 \times 25 \times 350)} = 64,04 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{64,04}{0,85} = 75,35 \text{ mm}$$

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

$$= \frac{(0,003 \times (540,5 - 75,35))}{75,35}$$

$$= 0,0185$$

Karena  $\epsilon_t > 0,005$ , maka penampang merupakan penampang terkendali tarik dengan  $\phi = 0,9$  yang dimana sudah sesuai dengan tabel SNI 2847:2019 pada Tabel 21.2.2 - Faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ) untuk momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial

$$M_n = A_s \times F_y \times (d - \frac{a}{2})$$

$$= \frac{1134,11495 \times 420 \times (540,5 - \frac{64,04}{2})}{1000000}$$

$$= 242,2 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 0,9 \times M_n$$

$$= 0,9 \times 242,2 = 217,98 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 217,98 \text{ kNm} > M_u = 170,9 \text{ kNm (OK)}$$

Maka digunakan tulangan longitudinal 4D19 pada daerah lapangan positif.

## 2. Tulangan Torsi

$$T_u \text{ hasil analisis midas} = 21,1 \text{ kNm}$$

$$V_u \text{ hasil analisis midas} = 169,8 \text{ kN}$$

$$A_{cp} = b \times h$$

$$= 350 \times 600 = 210000$$

$$P_{cp} = 2 \times (350 + 600) = 1900$$

$$\Phi T_{th} = \frac{0,75 \times 0,083 \times 1 \times \sqrt{25} \times 210000^2}{1900}$$

$$= 7224276,316 \text{ Nmm}$$

$$= 7,224276316 \text{ kNm} < T_u$$

$\Phi T_{th} < T_u$ , dibutuhkan tambahan tulangan torsi

$$x_1 = \frac{b - 2 \times (\text{selimut beton} + \text{diameter tulangan sengkang})}{2}$$

$$= \frac{350 - 2 \times (40 + 10)}{2}$$

$$\begin{aligned}
&= 260 \text{ mm} \\
y_1 &= \frac{h-2 \times (\text{selimut beton} + \text{diameter tulangan sengkang})}{2} \\
&= \frac{600-2 \times (40+10)}{2} \\
&= 510 \text{ mm} \\
A_{oh} &= x_1 \cdot y_1 \\
&= 260 \times 510 = 132600 \text{ mm}^2 \\
A_o &= 0,85 \times A_{oh} \\
&= 0,85 \times 132600 = 112710 \text{ mm}^2 \\
P_h &= 2 \times (x_1 + y_1) \\
&= 2 \times (260 + 510) = 1540 \text{ mm} \\
V_c &= 0,17 \times \lambda \sqrt{f_c'} b_w d \\
&= 0,17 \times 1 \times \sqrt{(25 \times 350 \times 540,5)^2} \\
&= 160798,8 \text{ N} \\
\text{Batasan 1} &= \frac{\sqrt{V_u} \times 10^3}{(b \times d)^2} + \frac{T_u \times P_h}{(1,7 \times A_{oh}^2)^2} \\
&= \frac{\sqrt{169,8} \times 10^3}{(350 \times 540)^2} + \frac{21,1 \times 1540}{(1,7 \times 132600^2)^2} \\
&= 0,898 \text{ N/mm}^2 \\
\text{Batasan 2} &= 0,75 \frac{V_c}{(b \times d) + 0,66 \times \sqrt{(f_c')^2}} \\
&= 0,75 \frac{160798,8}{(350 \times 540,5) + 0,66 \times \sqrt{(28)^2}} \\
&= 3,113 \text{ N/mm}^2 \\
T_n &= \frac{T_u}{\theta} \\
&= \frac{21,1 \times 10^6}{0,7521} \\
&= 28133333,33 \text{ Nmm} \\
\theta &= 45 \\
\text{At/s} &= \frac{T_n}{2A_o F_y t \text{ COT} \theta} \\
&= \frac{28133333,33}{2 \times 112710 \times 420 \times \text{COT}(45)} \\
&= 0,297 \text{ mm}^2/\text{mm}
\end{aligned}$$



### Tulangan Transversal Tumpuan

$$\begin{aligned}
 V_s &= \frac{Vu - (0,75 \times Vc / 1000)}{0,75} \\
 &= \frac{169,8 - (0,75 \times 160798,8 / 1000)}{0,75} \\
 &= 65,60125 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_v/s &= \frac{Vu \times 1000}{F_{yt} \times d} \\
 &= \frac{65,60125 \times 1000}{420 \times 540,5} \\
 &= 0,28897956 \text{ mm}^2/\text{mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{sk/s \text{ req}} &= 2 (A_t/s) + A_v/s \\
 &= (2 \times 0,297) + 0,28897956 \\
 &= 0,883284653 \text{ mm}^2/\text{mm} \\
 s &= 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times d \text{ tul sengkang} / A_{sk/s \text{ req}} \\
 &= 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 / 0,883284653 \\
 &= 177,8357998 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 s_{\text{max}} &= \frac{Ph}{8} \\
 &= \frac{1540}{8} = 192,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$s_{\text{pakai}} = 125 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ min}1} &= \frac{0,062 \times \sqrt{(f'c \times b \times s_{\text{pakai}})^2}}{F_{yt}} \\
 &= \frac{0,062 \times \sqrt{(25 \times 350 \times 125)^2}}{420} \\
 &= 32,29166667 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ min}2} &= \frac{0,35 \times b \times s_{\text{pakai}}}{F_{yt}} \\
 &= \frac{0,35 \times 350 \times 125}{420} \\
 &= 36,45833333 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ use}} &= 2 \times \frac{1}{4} \times d \text{ tul sengkang}^2 \times \pi \\
 &= 2 \times \frac{1}{4} \times 10^2 \times \pi \\
 &= 157,0796327 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Tulangan Longitudinal Tumpuan:

$$\begin{aligned} A_l &= \frac{A_t/s \times Ph \times F_{yt}}{F_y \times COT^2 \theta} \\ &= \frac{0,297 \times 1540 \times 420}{420 \times COT^2(45)} \\ &= 457,61 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_l \text{ min} &= \frac{0,42 \times \sqrt{f'c \times A_{cp}}}{F_y - A_t/s \times Ph \times F_{yt}/F_y} \\ &= \frac{0,42 \times \sqrt{25 \times 210000}}{420 - 0,297 \times 1540 \times 420/420} \\ &= 592,39 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Karena  $A_l \text{ min}$  lebih besar daripada  $A_l$  maka  $A_l$  use digunakan  $A_l \text{ min}$  yaitu  $592,39 \text{ mm}^2$

Tambahan kebutuhan torsi:

$$\begin{aligned} \text{Sisi Atas} &= \frac{A_l \text{ use}}{4} \\ &= \frac{592,39}{4} \\ &= 148,10 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sisi Bawah} &= \frac{A_l \text{ use}}{4} \\ &= \frac{592,39}{4} \\ &= 148,10 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sisi Tengah} &= \frac{A_l \text{ use}}{2} \\ &= \frac{592,39}{2} \\ &= 296,19 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tambahan tulangan longitudinal tumpuan negatif:

$$\text{As perlu} + A_l \text{ atas} = 1258,4 + 148,1 = 1406,49 \text{ mm}^2$$

Tulangan longitudinal tumpuan negatif tetap digunakan 5D19 ( $A_s = 1417,64 \text{ mm}^2 > 1406,49 \text{ mm}^2$ )

Tambahan tulangan longitudinal tumpuan positif:

$$\text{As perlu} + A_l \text{ bawah} = 607,09 + 148,1 = 755,18 \text{ mm}^2$$

Tulangan longitudinal tumpuan positif tetap digunakan 3D19 ( $A_s = 850,586 \text{ mm}^2 > 755,18 \text{ mm}^2$ )

Tulangan torsi di tengah balok:

$$A_l \text{ tengah} = 296,19 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan torsi tengah 4D13 ( $A_s = 530,93 \text{ mm}^2 > 296,19 \text{ mm}^2$ )

### 3. Tulangan Transversal

$$A_s \text{ dari tul Tarik tumpuan} = 1417,644 \text{ mm}^2$$

$$A_s \text{ dari tul tekan tumpuan} = 850,586211 \text{ mm}^2$$

$$V_u \text{ tumpuan midas} = 169,8 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{Apr- (Tarik)} &= \frac{1,25 \times F_y \times A_s}{0,85 \times f'_c \times b} \\ &= \frac{1,25 \times 1417,644 \times 420}{0,85 \times 25 \times 350} \end{aligned}$$

$$= 100,068966 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Mpr-} &= 1,25 \times F_y \times A_s \times \left( d - \left( \frac{\text{apr}}{2} \right) \right) \\ &= \frac{1,25 \times 1417,644 \times \left( 420 \left( \frac{540,5}{2} \right) \right)}{10^6} \end{aligned}$$

$$= 365,035305 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} \text{Apr- (tekan)} &= \frac{1,25 \times F_y \times A_s}{0,85 \times f'_c \times b} \\ &= \frac{1,25 \times 850,586211 \times 420}{0,85 \times 25 \times 350} \end{aligned}$$

$$= 60,04138 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Mpr+} &= 1,25 \times F_y \times A_s \times \left( d - \left( \frac{\text{apr}}{2} \right) \right) \\ &= 1,25 \times 850,586211 \times \left( 420 - \left( \frac{540,5}{2} \right) \right) \end{aligned}$$

$$= 227,9585 \text{ kNm}$$

$$V_g \text{ midas} = 148,7 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} v_e &= \frac{\text{Mpr-} + \text{Mpr+}}{\frac{ln}{1000}} \\ &= \frac{365,035305 + 227,9585}{\frac{6600}{1000}} \end{aligned}$$

$$= 89,8475459 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} v_{e1} &= v_e + V_g \text{ midas} \\ &= 89,8475459 + 148,7 \\ &= 238,5475459 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} v_{e2} &= v_e - V_g \text{ midas} \\ &= -58,8525 \text{ kN} \end{aligned}$$

Nilai  $v_u$  diambil hasil terbesar dari  $v_u$  tumpuan midas,  $v_{e1}$ ,  $v_{e2}$ , nilai  $v_{e1}$  merupakan nilai terbesar sehingga nilai  $v_u$  adalah 238,5475459 kN

$$\begin{aligned} v_u \text{ lapangan} &= \frac{(l_n - 2 \times h) \times (v_u - v_{e2})}{l_n + v_{e2}} \\ &= \frac{(6600 - 2 \times 600) \times (238,5475459 - (-58,8525))}{6600 + 58,8525} \\ &= 148,474819 \text{ kN} \end{aligned}$$

### Tumpuan Plastis

Cek  $0,5 v_u < v_e$

$$\begin{aligned} 0,5 v_u &= 0,5 \times v_u \\ &= 0,5 \times 238,5475 \\ &= 119,27377 \end{aligned}$$

$$0,5 v_e = 89,8475459$$

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{0,17 \times 1 \times \sqrt{f'_c \times b \times d}^2}{1000} \\ &= \frac{0,17 \times 1 \times \sqrt{(25 \times 350 \times 540,5)^2}}{1000} \\ &= 160,79875 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\phi = 0,75$$

$$\begin{aligned} v_s &= \frac{v_u}{\phi} - v_c \\ &= \frac{238,5475}{0,75} - 160,79875 \\ &= 157,2646445 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{Smaks} &= \frac{0,66 \times \sqrt{f'_c \times b \times d}^2}{1000} \\ &= \frac{0,66 \times \sqrt{(25 \times 350 \times 540,5)^2}}{1000} \\ &= 624,2775 \text{ kN} \end{aligned}$$

Diameter sengkang (direncanakan Sengkang 2D10) 10 mm

$$\begin{aligned}
 A_s &= 2 \times 0,25 \times \pi \times d \text{ sengkang}^2 \\
 &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 10^2 \\
 &= 157,0796327 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{A_s \times f_y \times d}{v_s \times 1000} \\
 &= \frac{157,0796327 \times 280 \times 540,5}{157,264644 \times 1000} \\
 &= 151,162 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{\text{maks1}} &= \frac{d}{4} \\
 &= \frac{540,5}{4} \\
 &= 135,125 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{\text{maks2}} &= 6 \times d \text{ tul utama} \\
 &= 6 \times 19 \\
 &= 114 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$S_{\text{maks3}} = 150 \text{ mm}$$

Nilai  $S_{\text{maks}}$  tumpuan plastis diambil dari nilai terkecil  $S_{\text{maks1}}$ ,  $S_{\text{maks2}}$ ,  $S_{\text{maks3}}$  pada tumpuan plastis dan nilai  $S_{\text{maks2}}$  merupakan nilai terkecil sehingga  $S_{\text{maks}}$  adalah 114 mm.

Maka digunakan tulangan transversal 2D10-75 pada daerah tumpuan.

### Lapangan

$$\begin{aligned}
 0,5 v_u &= 0,5 \times v_u \\
 &= 0,5 \times 184,474819 \\
 &= 92,237409
 \end{aligned}$$

$$0,5 v_e = 89,8475459$$

$$\begin{aligned}
 V_c &= \frac{0,17 \times 1 \times \sqrt{f'c \times b \times d}}{1000} \\
 &= \frac{0,17 \times 1 \times \sqrt{(25 \times 350 \times 540,5)^2}}{1000} \\
 &= 160,79875 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\phi = 0,75$$

$$\begin{aligned}
 v_s &= \frac{v_u}{\theta} - v_c \\
 &= \frac{184,474819}{0,75} - 160,79875 \\
 &= 85,16767478
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{S_{maks}} &= \frac{0,66 \times \sqrt{f'c \times b \times d}}{1000} \\
 &= \frac{0,66 \times \sqrt{(25 \times 350 \times 540,5)^2}}{1000} \\
 &= 624,2775 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$n = 2 \text{ kaki}$$

$$\begin{aligned}
 A_s &= 2 \times 0,25 \times \pi \times d \text{ sengkang}^2 \\
 &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 10^2 \\
 &= 157,0796327 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{A_s \times f_y \times d}{v_s \times 1000} \\
 &= \frac{157,0796327 \times 280 \times 540,5}{85,1676748 \times 1000} \\
 &= 279,1251 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

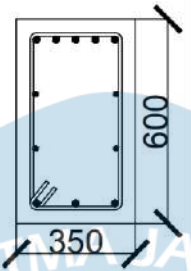
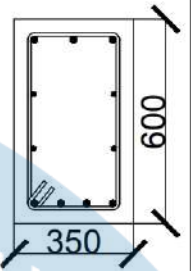
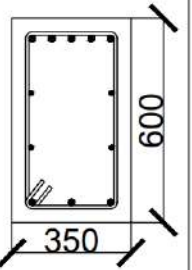
$$\begin{aligned}
 S_{maks1} &= \frac{d}{2} \\
 &= \frac{540,5}{2} \\
 &= 270,25 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$S_{maks2} = 600 \text{ mm}$$

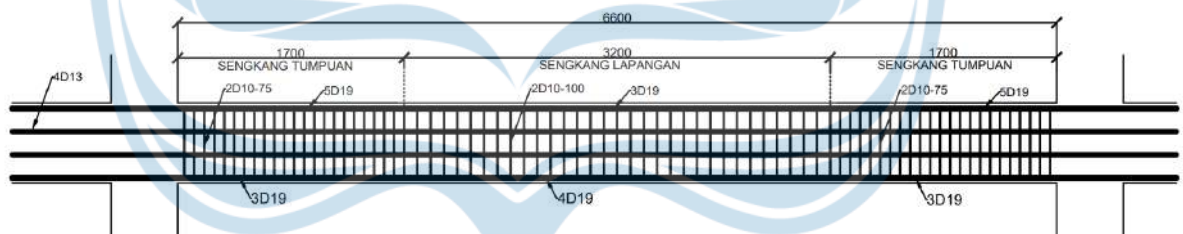
(Berdasarkan SNI 2847 2019 pasal 9.7.6.2.2 jika  $V_s \leq 0,33 \sqrt{f'c} b_w d$  maka  $S_{maks}$  yang diambil adalah yang terkecil dari  $d/2$  atau 600 mm)

Nilai  $S_{maks}$  lapangan diambil dari nilai terkecil  $S_{maks1}$ ,  $S_{maks2}$ ,  $S_{maks3}$  lapangan dan nilai  $S_{maks1}$  merupakan nilai terkecil sehingga  $S_{maks}$  adalah 270,25 mm

Maka digunakan tulangan transversal 2D10-100 pada daerah lapangan.

BALOK	TULANGAN		
	TUMPUAN KIRI	LAPANGAN	TUMPUAN KANAN
BI 2			
UKURAN BALOK	350 X 600 mm		
TULANGAN ATAS	5D19	3D19	5D19
TULANGAN BAWAH	3D19	4D19	3D19
TULANGAN SAMPING	4D13	4D13	4D13
SENGKANG	2D10-75	2D10-100	2D10-75

Gambar 2.46 Gambar Potongan Balok Induk BI2 350x600 mm



Gambar 2.47 Gambar Penampang Melintang Balok Induk BI2 350x600 mm

### 2.7.3 Perencanaan Balok Induk BI3 350x600

Data perencanaan balok induk BI3 ukuran 350mm x 600mm dengan panjang bentang 3,7 m sebagai berikut:

- Mutu beton ( $f_c$ ) = 25 Mpa
- Lebar balok ( $b$ ) = 350 mm
- Tinggi balok ( $h$ ) = 600 mm
- Panjang balok ( $l$ ) = 3700 mm
- Panjang balok bersih ( $l_n$ ) = 3200 mm

- D. tul. longitudinal = 19 mm
- $f_y$  = 420 Mpa
- D. tul. transversal = 10 mm
- $f_y$  = 420 Mpa
- D. tul. torsi = 13 mm
- $f_{yt}$  = 420 Mpa
- Tinggi efektif (d) = 540,5 mm

Hasil analisis struktur balok BI3:

Tabel 2.22 Hasil Analisis Struktur Balok BI3

	Tumpuan	Lapangan
$M_u^-$	125,4 kNm	23,42 kNm
$M_u^+$	0 kNm	59,9 kNm
$T_u$	13,1 kNm	
$V_u$	109,5 kN	
$P_u$	0 kN	

### Batasan Dimensi

- $L_n \geq 4d$   
 $4d = 4 \times 540,5 = 2162 \text{ mm}$   
 $L_n = 6970 \text{ mm} > 4d \text{ (OK)}$
- $b_w > 250 \text{ mm}$   
 $b_w = 350 \text{ mm} > 250 \text{ mm (OK)}$
- $b/h > 0,3$   
 $b/h = 350/600 = 0,58 > 0,3 \text{ (OK)}$

### 1. Tulangan Longitudinal

#### a. Tulangan Negatif Tumpuan

$\phi = 0,9$  (diasumsikan terkendali tarik)

$M_u^- \text{ tum} = 125,4 \text{ kNm}$



$$\begin{aligned}
 M_n &= \frac{Mu}{0,9} \\
 &= \frac{125,4}{0,9} = 133,3333 \text{ kNm} \\
 a &= \frac{d - \sqrt{d^2 - 2|M_n \cdot req|}}{0,85 f_c' b} \\
 &= \frac{540,5 - \sqrt{(540,5)^2 - (2 \times 133,3333 \times 10^6)}}{0,85 \times 25 \times 350} \\
 &= 35,849 \text{ mm} \\
 c &= \frac{a}{\beta_1} \\
 &= \frac{35,849}{0,85} = 42,1755 \text{ mm} \\
 \epsilon_s &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\
 &= \frac{(0,003 \times (540,5 - 42,1755))}{42,1755} \\
 &= 0,035 \\
 A_{Sreq} &= \frac{0,85 \times f_c' \times a \times b}{f_y} = \frac{0,85 \times 25 \times 35,849 \times 350}{420} = 634,829 \text{ mm}^2 \\
 A_{Smin1} &= \frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{f_y} b_w d \\
 &= \frac{0,25 \sqrt{25}}{420} 350 \times 540,5 = 563,02083 \text{ mm}^2 \\
 A_{Smin2} &= \frac{1,4}{f_y} b_w d \\
 &= \frac{1,4}{420} 350 \times 540,5 = 630,5833333 \text{ mm}^2 \\
 A_{Smin} &= A_{Smin} \text{ diambil yang terbesar} = 630,5833333 \text{ mm}^2 \\
 A_{Smax} &= \frac{0,36 \times 0,85 \times 25 \times 350 \times 540,5}{420} = 3445,6875 \text{ mm}^2 \\
 A_s &= A_{Sreq} \text{ lebih kecil daripada } A_{Smin} \text{ sehingga } A_s \text{ yang} \\
 &\text{digunakan } A_{Smin} = 630,6833333 \text{ mm}^2 \\
 n &= \frac{A_s \times 4}{\pi \times D^2} = \frac{634,829 \times 4}{\pi \times 19^2} \\
 &= 2,24 \text{ digunakan } n = 5 \\
 A_s \text{ Use} &= \frac{n \times \pi \times D^2}{4} = \frac{5 \times \pi \times 19^2}{4} = 1417,644 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 s &= \frac{b - (2 \times \text{selimut beton}) - (2 \times D \text{ sengkang}) - (n \times D \text{ tul utama})}{n - 1} \\
 &= \frac{350 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (3 \times 19)}{3 - 1} = 96,5 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 25.2, jarak bersih antara tulangan yang sejajar tidak boleh kurang dari 25 mm.

$$\begin{aligned}
 S_{\max} &= \text{terkecil dari } 380 \left( \frac{280}{f_s} \right) - 2,5 \text{ selimut beton dan } 300 \left( \frac{280}{f_s} \right) \\
 &= 380 \left( \frac{280}{\frac{2}{3} \times 420} \right) - 2,5 \times 40 \text{ dan } 300 \left( \frac{280}{\frac{2}{3} \times 420} \right) \\
 &= 280 \text{ dan } 300 \text{ maka} \\
 S_{\max} &= 280 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

#### Cek Momen Nominal Balok

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{A_s f_y}{0,85 f'c b} \\
 &= \frac{1417,644 \times 420}{0,85 \times 25 \times 350} \\
 &= 80,05 \text{ mm} \\
 c &= \frac{a}{\beta_1} \\
 &= \frac{80,05}{0,85} = 94,18 \text{ mm} \\
 \epsilon_s &= \frac{d - c}{c} \times 0,003 \\
 &= \frac{(0,003 \times (540,5 - 94,18))}{94,18} \\
 &= 0,0142
 \end{aligned}$$

Karena  $\epsilon_t > 0,005$ , maka penampang merupakan penampang terkendali tarik dengan  $\phi = 0,9$  yang dimana sudah sesuai dengan tabel SNI 2847:2019 pada Tabel 21.2.2 - Faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ) untuk momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial

$$M_n = A_s \times F_y \times \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= \frac{1417,644 \times 420 \times (540,5 - \frac{80,05}{2})}{1000000}$$

$$= 297,99 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 0,9 \times M_n$$

$$= 0,9 \times 297,99 = 268,19 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 268,19 \text{ kNm} > 125,4 \text{ kNm (OK)}$$

Maka digunakan tulangan longitudinal 5D19 pada daerah tumpuan negatif.

### b. Tulangan Positif Tumpuan

$$M_u^+ \text{ tum} = 0 \text{ kNm}$$

$$1/2 M_u^- \text{ tum} = 1/2 \times 125,4 = 62,7 \text{ kNm}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.6.3.2, karena pada balok ini  $M^+$  tum = 0 maka  $M_u$  yang digunakan untuk menentukan tulangan positif tumpuan adalah  $1/2 M^- \text{ tum} = 62,7 \text{ kNm}$ .

$$M_u = 62,7 \text{ kNm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{0,9}$$

$$= \frac{62,7}{0,9} = 69,667 \text{ kNm}$$

$$a = \frac{d - \sqrt{d^2 - 2|M_n \text{ req}|}}{0,85 f_c' b}$$

$$= \frac{540,5 - \sqrt{(540,5)^2 - (2 \times 69,667 \times 10^6)}}{0,85 \times 25 \times 350}$$

$$= 79,617 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{b_1}$$

$$= \frac{79,617}{0,85} = 20,7262 \text{ mm}$$

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

$$= \frac{(0,003 \times (540,5 - 20,7262))}{20,7262}$$

$$= 0,075$$

$$A_{s \text{ req}} = \frac{0,85 f_c' a x b}{f_y} = \frac{0,85 \times 25 \times 79,617 \times 350}{420} = 311,972 \text{ mm}^2$$

$$A_{Smin1} = \frac{0,25\sqrt{f'c'}}{f_y} b_w d$$

$$= \frac{0,25\sqrt{25}}{420} 350 \times 540,5 = 563,02083 \text{ mm}^2$$

$$A_{Smin2} = \frac{1,4}{f_y} b_w d$$

$$= \frac{1,4}{420} 350 \times 540,5 = 630,5833333 \text{ mm}^2$$

$$A_{Smin} = A_{Smin} \text{ diambil yang terbesar} = 630,5833333 \text{ mm}^2$$

$$A_{Smax} = \frac{0,36 \times 0,85 \times 25 \times 350 \times 540,5}{420} = 3445,6875 \text{ mm}^2$$

$A_S$  =  $A_{Sreq}$  lebih kecil daripada  $A_{Smin}$  sehingga  $A_S$  yang digunakan  $A_{Smin} = 630,5833333 \text{ mm}^2$

$$n = \frac{A_S \times 4}{\pi \times D^2} = \frac{630,5833333 \times 4}{\pi \times 19^2}$$

$$= 2,22 \text{ dibulatkan menjadi } 3$$

$$A_S \text{ Use} = \frac{n \times \pi \times D^2}{4} = \frac{3 \times \pi \times 19^2}{4} = 850,58 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{b - (2 \times \text{selimut beton}) - (2 \times D \text{ sengkang}) - (n \times D \text{ tul utama})}{n - 1}$$

$$= \frac{350 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (3 \times 19)}{3 - 1} = 96,5 \text{ mm}^2$$

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 25.2, jarak bersih antara tulangan yang sejajar tidak boleh kurang dari 25 mm.

$$S_{max} = \text{terkecil dari } 380 \left( \frac{280}{f_s} \right) - 2,5 \text{ selimut beton dan}$$

$$300 \left( \frac{280}{f_s} \right)$$

$$= 380 \left( \frac{280}{\frac{2}{3} \times 420} \right) - 2,5 \times 40 \text{ dan } 300 \left( \frac{280}{\frac{2}{3} \times 420} \right)$$

$$= 280 \text{ dan } 300 \text{ maka}$$

$$S_{max} = 280 \text{ mm}$$

### Cek Momen Nominal Balok

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{As f_y}{0,85 f'c b} \\
 &= \frac{850,586 \times 420}{0,85 \times 25 \times 350} \\
 &= 48,03 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 c &= \frac{a}{\beta_1} \\
 &= \frac{48,03}{0,85} = 56,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \epsilon_s &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\
 &= \frac{0,003 \times (540,5 - 56,5)}{56,5} \\
 &= 0,0257
 \end{aligned}$$

Karena  $\epsilon_t > 0,005$ , maka penampang merupakan penampang terkendali tarik dengan  $\phi = 0,9$  yang dimana sudah sesuai dengan tabel SNI 2847:2019 pada Tabel 21.2.2 - Faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ) untuk momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial

$$\begin{aligned}
 M_n &= As \times F_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\
 &= \frac{850,58621 \times 420 \times \left(540,5 - \frac{48,03}{2}\right)}{10^6} \\
 &= 184,5 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi M_n &= 0,9 \times M_n \\
 &= 0,9 \times 184,5 = 166,06 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\phi M_n = 166,06 \text{ kNm} > M_u = 62,7 \text{ kNm} \text{ (OK)}$$

Maka digunakan tulangan longitudinal 3D19 pada daerah tumpuan positif.

### c. Tulangan Negatif Lapangan

$$M_u^- \text{ lap} = 23,42 \text{ kNm}$$

$$\frac{1}{4} M_u^- \text{ tum} = 125,4 / 4 = 31,35 \text{ kNm}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.6.3.2, karena pada balok ini  $M^- \text{ lap}$  (23,42 kNm)  $<$   $\frac{1}{4} M^- \text{ tum}$  (31,35 kNm) maka  $M_u$  yang digunakan untuk menentukan lapangan tekan adalah  $\frac{1}{4} M^- \text{ tum} = 31,35 \text{ kNm}$

$$M_u = 31,35 \text{ kNm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{0,9}$$

$$= \frac{33,5}{0,9} = 34,833 \text{ kNm}$$

$$a = \frac{d - \sqrt{d^2 - 2|M_n \cdot \text{req}|}}{0,85 f_c' b}$$

$$= \frac{540,5 - \sqrt{(540,5)^2 - (2 \times 34,833 \times 10^6)}}{(0,85 \times 25 \times 350)}$$

$$= 8,736 \text{ mm}$$

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

$$= \frac{8,736}{0,85} = 10,2773 \text{ mm}$$

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

$$= \frac{(0,003 \times (540,5 - 10,2773))}{10,2773}$$

$$= 0,155$$

$$A_{s \text{ req}} = \frac{0,85 f_c' a x b}{f_y} = \frac{0,85 \times 25 \times 8,736 \times 350}{420} = 154,694 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ min1}} = \frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{f_y} b_w d$$

$$= \frac{0,25 \sqrt{25}}{420} 350 \times 540,5 = 563,02083 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ min2}} = \frac{1,4}{f_y} b_w d$$

$$= \frac{1,4}{420} 350 \times 540,5 = 630,5833333 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ min}} = A_{s \text{ min}} \text{ diambil yang terbesar} = 630,5833333 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ max}} = \frac{0,36 \times 0,85 \times 25 \times 350 \times 540,5}{420} = 3445,6875 \text{ mm}^2$$

$A_s$  =  $A_{s \text{ req}}$  lebih kecil daripada  $A_{s \text{ min}}$  sehingga  $A_s$  yang digunakan  $A_{s \text{ min}} = 630,5833333 \text{ mm}^2$

$$n = \frac{A_s \times 4}{\pi \times D^2} = \frac{630,5833333 \times 4}{\pi \times 19^2}$$

$$= 2,22 \text{ dibulatkan menjadi } 3$$

$$A_s \text{ Use} = \frac{n \times \pi \times D^2}{4} = \frac{3 \times \pi \times 19^2}{4} = 850,58 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 s &= \frac{b - (2 \times \text{selimut beton}) - (2 \times D \text{ sengkang}) - (n \times D \text{ tul utama})}{n-1} \\
 &= \frac{350 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (3 \times 19)}{3-1} = 96,5 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 25.2, jarak bersih antara tulangan yang sejajar tidak boleh kurang dari 25 mm.

$$S_{\max} = \text{terkecil dari } 380 \left( \frac{280}{f_s} \right) - 2,5 \text{ selimut beton dan}$$

$$300 \left( \frac{280}{f_s} \right)$$

$$= 380 \left( \frac{280}{\frac{2}{3} \times 420} \right) - 2,5 \times 40 \text{ dan } 300 \left( \frac{280}{\frac{2}{3} \times 420} \right)$$

$$= 280 \text{ dan } 300 \text{ maka}$$

$$S_{\max} = 280 \text{ mm}$$

### Cek Momen Nominal Balok

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{A_s f_y}{0,85 f_c b} \\
 &= \frac{850,586 \times 420}{0,85 \times 25 \times 350} \\
 &= 48,03 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 c &= \frac{a}{b_1} \\
 &= \frac{48,03}{0,85} = 56,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \epsilon_s &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\
 &= \frac{0,003 \times (540,5 - 56,5)}{56,5} \\
 &= 0,0257
 \end{aligned}$$

Karena  $\epsilon_t > 0,005$ , maka penampang merupakan penampang terkendali tarik dengan  $\phi = 0,9$  yang dimana sudah sesuai dengan tabel SNI 2847:2019 pada Tabel 21.2.2 - Faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ) untuk momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial

$$M_n = A_s \times F_y \times \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= \frac{850,58621 \times 420 \times (540,5 - \frac{48,03}{2})}{10^6}$$

$$= 184,5 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 0,9 \times M_n$$

$$= 0,9 \times 184,5 = 166,06 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 166,06 \text{ kNm} > M_u = 31,35 \text{ kNm (OK)}$$

Maka digunakan tulangan longitudinal 3D19 pada daerah lapangan negatif.

#### d. Tulangan Positif Lapangan

$$M_{u+ \text{ lap}} = 59,9 \text{ kNm}$$

$$\frac{1}{4} M_{u- \text{ tum}} = \frac{M_u}{4}$$

$$= \frac{125,4}{4} = 31,35 \text{ kNm}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.6.3.2, karena pada balok ini  $M^+$  lap (59,9 kNm) >  $\frac{1}{4} M^-$  tum (31,35 kNm) maka  $M_u$  yang digunakan untuk menentukan lapangan tekan adalah  $M^+$  lap = 59,9 kNm

$$M_u = 59,9 \text{ kNm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{0,9}$$

$$= \frac{59,9}{0,9} = 66,556 \text{ kNm}$$

$$a = \frac{d - \sqrt{d^2 - 2|M_n.req|}}{0,85 f_c/b}$$

$$= \frac{540,5 - \sqrt{(540,5)^2 - (2 \times 66,556 \times 10^6)}}{(0,85 \times 25 \times 350)}$$

$$= 16,818 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{b_1}$$

$$= \frac{16,818}{0,85} = 19,7857 \text{ mm}$$

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

$$= \frac{(0,003 \times (540,5 - 19,7857))}{19,7857}$$

$$= 0,079$$



$$A_{sreq} = \frac{0,85 \times f_c' \times a \times b}{f_y} = \frac{0,85 \times 25 \times 16,818 \times 350}{420} = 297,817 \text{ mm}^2$$

$$A_{smin1} = \frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{f_y} b_w d$$

$$= \frac{0,25 \sqrt{25}}{420} 350 \times 540,5 = 563,02083 \text{ mm}^2$$

$$A_{smin2} = \frac{1,4}{f_y} b_w d$$

$$= \frac{1,4}{420} 350 \times 540,5 = 630,5833333 \text{ mm}^2$$

$$A_{smin} = A_{smin} \text{ diambil yang terbesar} = 630,5833333 \text{ mm}^2$$

$$A_{smax} = \frac{0,36 \times 0,85 \times 25 \times 350 \times 540,5}{420} = 3445,6875 \text{ mm}^2$$

$A_s$  =  $A_{sreq}$  lebih kecil daripada  $A_{smin}$  sehingga  $A_s$  yang digunakan  $A_{smin} = 630,5833333 \text{ mm}^2$

$$n = \frac{A_s \times 4}{\pi \times D^2} = \frac{630,5833333 \times 4}{\pi \times 19^2}$$

$$= 2,22 \text{ dibulatkan menjadi } 3$$

$$A_s \text{ Use} = \frac{n \times \pi \times D^2}{4} = \frac{3 \times \pi \times 19^2}{4} = 850,586 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{b - (2 \times \text{selimut beton}) - (2 \times D \text{ sengkang}) - (n \times D \text{ tul utama})}{n - 1}$$

$$= \frac{350 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (3 \times 19)}{3 - 1} = 96,5 \text{ mm}^2$$

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 25.2, jarak bersih antara tulangan yang sejajar tidak boleh kurang dari 25 mm.

$$S_{max} = \text{terkecil dari } 380 \left( \frac{280}{f_s} \right) - 2,5 \text{ selimut beton dan } 300 \left( \frac{280}{f_s} \right)$$

$$= 380 \left( \frac{280}{\frac{2}{3} \times 420} \right) - 2,5 \times 40 \text{ dan } 300 \left( \frac{280}{\frac{2}{3} \times 420} \right)$$

$$= 280 \text{ dan } 300 \text{ maka}$$

$$S_{max} = 280 \text{ mm}$$

### Cek Momen Nominal Balok

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s f_y}{0,85 f'_c b} \\ &= \frac{850,586 \times 420}{0,85 \times 25 \times 350} \\ &= 48,03 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= \frac{a}{\beta_1} \\ &= \frac{48,03}{0,85} = 56,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_s &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{0,003 \times (540,5 - 56,5)}{56,5} \\ &= 0,0257 \end{aligned}$$

Karena  $\epsilon_t > 0,005$ , maka penampang merupakan penampang terkendali tarik dengan  $\phi = 0,9$  yang dimana sudah sesuai dengan tabel SNI 2847:2019 pada Tabel 21.2.2 - Faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ) untuk momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial

$$\begin{aligned} M_n &= A_s \times F_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ &= \frac{850,58621 \times 420 \times \left(540,5 - \frac{48,03}{2}\right)}{10^6} \\ &= 184,5 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 \times M_n \\ &= 0,9 \times 184,5 = 166,06 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\phi M_n = 166,06 \text{ kNm} > M_u = 59,9 \text{ kNm (OK)}$$

Maka digunakan tulangan longitudinal 3D19 pada daerah tumpuan positif.

### 2. Tulangan Torsi

$$T_u \text{ hasil analisis midas} = 13,1 \text{ kNm}$$

$$V_u \text{ hasil analisis midas} = 109,5 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} A_{cp} &= b \times h \\ &= 350 \times 600 = 210000 \end{aligned}$$

$$P_{cp} = 2 \times (350 + 600) = 1900$$

$$\Phi T_{th} = \frac{0,75 \times 0,083 \times 1 \times \sqrt{25} \times 210000^2}{1900}$$

$$= 7224276,316 \text{ Nmm}$$

$$= 7,224276316 \text{ kNm}$$

$\Phi T_{th} < T_u$ , dibutuhkan tambahan tulangan torsi

$$x_1 = \frac{b - 2 \times (\text{selimut beton} + \text{diameter tulangan sengkang})}{2}$$

$$= \frac{350 - 2 \times (40 + 10)}{2}$$

$$= 260 \text{ mm}$$

$$y_1 = \frac{h - 2 \times (\text{selimut beton} + \text{diameter tulangan sengkang})}{2}$$

$$= \frac{600 - 2 \times (40 + 10)}{2}$$

$$= 510 \text{ mm}$$

$$A_{oh} = x_1 \cdot y_1$$

$$= 260 \times 510 = 132600 \text{ mm}^2$$

$$A_o = 0,85 \times A_{oh}$$

$$= 0,85 \times 132600 = 112710 \text{ mm}^2$$

$$P_h = 2 \times (x_1 + y_1)$$

$$= 2 \times (260 + 510) = 1540 \text{ mm}$$

$$V_c = 0,17 \times \lambda \sqrt{f_c'} b_w d$$

$$= 0,17 \times 1 \times \sqrt{(25 \times 350 \times 540,5)^2}$$

$$= 160799 \text{ N}$$

$$\text{Batasan 1} = \frac{\sqrt{V_u} \times 10^3}{(b \times d)^2} + \frac{T_u \times P_h}{(1,7 \times A_{oh}^2)^2}$$

$$= \frac{\sqrt{109} \times 10^3}{(350 \times 540)^2} + \frac{13,1 \times 1540}{(1,7 \times 132600^2)^2}$$

$$= 0,579 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Batasan 2} = 0,75 \frac{V_c}{(b \times d) + 0,66 \times \sqrt{(f_c')^2}}$$

$$= 0,75 \frac{160799}{(350 \times 540,5) + 0,66 \times \sqrt{(25)^2}}$$

$$= 3,113 \text{ N/mm}^2$$

$$T_n = \frac{T_u}{\theta}$$

$$= \frac{13,1 \times 10^6}{0,75}$$

$$= 17466666,7 \text{ Nmm}$$

$$\theta = 45^\circ$$

$$\text{At/s} = \frac{T_n}{2A_o F_{yt} \text{COT}\theta}$$

$$= \frac{17466666,7}{2 \times 112710 \times 420 \times \text{COT}(45)}$$

$$= 0,184 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Tulangan Transversal Tumpuan:

$$V_s = \frac{V_u - (0,75 \times V_c / 1000)}{0,75}$$

$$= \frac{109,5 - (0,75 \times 160799 / 1000)}{0,75}$$

$$= -14,79875 \text{ kN}$$

$$\text{Av/s} = \frac{V_u \times 1000}{F_{yt} \times d}$$

$$= \frac{-14,79875 \times 1000}{420 \times 540,5}$$

$$= -0,065189859 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\text{Ask/ s req} = 2 (\text{At/s}) + \text{Av/s}$$

$$= (2 \times 0,184) - 0,065189859$$

$$= 0,303786288 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$s = 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times d \text{ tul sengkang} / \text{Ask/s req}$$

$$= 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 / 0,303786288$$

$$= 517,0728201 \text{ mm}$$

$$s \text{ max} = \frac{Ph}{8}$$

$$= \frac{1540}{8} = 192,5 \text{ mm}$$

$$s \text{ pakai} = 150 \text{ mm}$$

$$\text{Ask min1} = \frac{0,062 \times \sqrt{(f'c \times b \times s \text{ pakai})^2}}{F_{yt}}$$

$$= \frac{0,062 \times \sqrt{(25 \times 350 \times 150)^2}}{420}$$

$$= 38,75 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Ask min 2} &= \frac{0,35 \times b \times s \text{ pakai}}{F_{yt}} \\ &= \frac{0,35 \times 350 \times 150}{420} \\ &= 43,75 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Ask use} &= 2 \times \frac{1}{4} \times 10^2 \times \pi \\ &= 157,0796327 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tulangan Longitudinal Tumpuan:

$$\begin{aligned} A_l &= \frac{A_t/s \times Ph \times F_{yt}}{F_y \times COT^2 \theta} \\ &= \frac{0,184 \times 1540 \times 420}{420 \times COT^2(45)} \\ &= 284,11 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{l \text{ min}} &= \frac{0,42 \times \sqrt{f_{rc} \times A_{cp}}}{F_y - A_t/s \times Ph \times F_{yt}/F_y} \\ &= \frac{0,42 \times \sqrt{(25 \times 210000)}}{420 - 0,184 \times 1540 \times 420/420} \\ &= 765,89 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Karena  $A_l$  min lebih besar daripada  $A_l$  maka  $A_l$  use digunakan  $A_l$  min yaitu  $765,89 \text{ mm}^2$

Tambahan kebutuhan torsi:

$$\begin{aligned} \text{Sisi Atas} &= \frac{A_l \text{ use}}{4} \\ &= \frac{765,89}{4} \\ &= 191,47 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sisi Bawah} &= \frac{A_l \text{ use}}{4} \\ &= \frac{765,89}{4} \\ &= 191,47 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tengah} &= \frac{A_l \text{ use}}{2} \\ &= \frac{765,89}{2} \\ &= 382,94 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tambahan tulangan longitudinal tumpuan negatif:

$$\text{As perlu} + \text{Al atas} = 634,83 + 191,47 = 826,3 \text{ mm}^2$$

Tulangan longitudinal tumpuan negatif tetap digunakan 5D19 ( $\text{As} = 1417,64 \text{ mm}^2 > 826,3 \text{ mm}^2$ )

Tambahan tulangan longitudinal tumpuan positif:

$$\text{As perlu} + \text{Al bawah} = 311,97 + 191,47 = 503,44 \text{ mm}^2$$

Tulangan longitudinal tumpuan positif tetap digunakan 3D19 ( $\text{As} = 850,58 \text{ mm}^2 > 503,44 \text{ mm}^2$ )

Tulangan torsi di tengah balok:

$$\text{Al tengah} = 382,94 \text{ mm}$$

Digunakan tulangan torsi tengah 4D13 ( $\text{As} = 530,93 \text{ mm}^2 > 382,94 \text{ mm}^2$ )

### 3. Tulangan Transversal

$$\text{As dari tul Tarik tumpuan} = 1417,644 \text{ mm}^2$$

$$\text{As dari tul tekan tumpuan} = 850,586211 \text{ mm}^2$$

$$\text{Vu tumpuan midas} = 109,5 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{Apr- (Tarik)} &= \frac{1,25 \times F_y \times \text{As}}{0,85 \times f'_c \times b} \\ &= \frac{1,25 \times 1417,644 \times 420}{0,85 \times 25 \times 350} \end{aligned}$$

$$= 100,068966 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Mpr-} &= 1,25 \times F_y \times \text{As} \times \left( d - \left( \frac{\text{apr}}{2} \right) \right) \\ &= 1,25 \times 1417,744 \times \left( 420 - \left( \frac{540,5}{2} \right) \right) \end{aligned}$$

$$= 365,035305 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} \text{Apr- (tekan)} &= \frac{1,25 \times F_y \times \text{As}}{0,85 \times f'_c \times b} \\ &= \frac{1,25 \times 850,586211 \times 420}{0,85 \times 25 \times 350} \end{aligned}$$

$$= 60,0414 \text{ mm}$$

$$\text{Mpr+} = 1,25 \times F_y \times \text{As} \times \left( d - \left( \frac{\text{apr}}{2} \right) \right)$$

$$= \frac{1,25 \times 850,586211 \times \left(420 \left(\frac{540,5}{2}\right)\right)}{10^6}$$

$$= 227,958 \text{ kNm}$$

$$V_g \text{ midas} = 94,7 \text{ kN}$$

$$v_e = \frac{M_{pr-} + M_{pr+}}{\frac{ln}{1000}}$$

$$= \frac{365,035305 + 227,958}{\frac{3200}{1000}}$$

$$= 185,331056 \text{ kN}$$

$$v_{e1} = v_e + V_g \text{ midas}$$

$$= 185,331056 + 94,7$$

$$= 280,010563 \text{ kN}$$

$$v_{e2} = v_e - V_g \text{ midas}$$

$$= 185,331056 - 94,7$$

$$= 90,6106 \text{ kN}$$

Nilai  $v_u$  diambil hasil terbesar dari  $v_u$  tumpuan midas,  $v_{e1}$ ,  $v_{e2}$ , nilai  $v_{e1}$  merupakan nilai terbesar sehingga nilai  $v_u$  adalah 280,010563 kN

$$v_u \text{ lapangan} = \frac{(ln - 2 \times h) \times (v_u - v_{e2})}{ln + v_{e2}}$$

$$= \frac{(3200 - 2 \times 600) \times (280,010563 - 90,6106)}{3200 - 90,6106}$$

$$= 208,98556 \text{ kN}$$

### Tumpuan Plastis

Cek  $0,5 v_u < v_c$

$$0,5 v_u = 0,5 \times v_u$$

$$= 0,5 \times 280,0106$$

$$= 140,0053$$

$$0,5 v_c = 185,3106$$

$V_c = 0$  (berdasarkan SNI 2847 2019 pasal

18.6.5.2 bahwa  $v_c = 0$  jika  $0,5 V_u$  kurang

dari nilai  $V_c$ )

$$\phi = 0,75$$

$$v_s = \frac{v_u}{\phi} - v_c$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{280,0106}{0,75} - 0 \\
&= 373,3474178 \\
V_{Smaks} &= \frac{0,66 \times \sqrt{(f_r c \times b \times d)^2}}{1000} \\
&= \frac{0,66 \times \sqrt{(25 \times 350 \times 540,5)^2}}{1000} \\
&= 624,2775 \text{ kN}
\end{aligned}$$

Diameter sengkang (direncanakan Sengkang 3D10) 10 mm

$$\begin{aligned}
A_s &= 2 \times 0,25 \times \pi \times d \text{ sengkang}^2 \\
&= 3 \times 0,25 \times \pi \times 10^2 \\
&= 235,619449 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
S &= \frac{A_s \times f_y \times d}{v_s \times 1000} \\
&= \frac{235,610449 \times 280 \times 440,5}{373,3474178 \times 1000} \\
&= 95,510631 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
S_{maks1} &= \frac{d}{4} \\
&= \frac{540,5}{4} \\
&= 135,125 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
S_{maks2} &= 6 \times d \text{ tul utama} \\
&= 6 \times 19 \\
&= 114 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$S_{maks3} = 150 \text{ mm}$$

Nilai  $S_{maks}$  tumpuan plastis diambil dari nilai terkecil  $S_{maks1}$ ,  $S_{maks2}$ ,  $S_{maks3}$  pada tumpuan plastis dan nilai  $S_{maks2}$  merupakan nilai terkecil sehingga  $S_{maks2}$  adalah 114 mm.

Maka digunakan tulangan transversal 3D10-75 di bagian tumpuan.

### Lapangan

$$\begin{aligned}
0,5 v_u &= 0,5 \times v_u \\
&= 0,5 \times 208,98556
\end{aligned}$$



$$= 104,4928$$

$$0,5 v_e = 185,3106$$

$$V_c = 0 \text{ (berdasarkan SNI 2847 2019 pasal 18.6.5.2 bahwa } v_c = 0 \text{ jika } 0,5 V_u \text{ kurang dari nilai } V_e)$$

$$\phi = 0,75$$

$$v_s = \frac{v_u}{\phi} - v_c = \frac{208,98556}{0,75} - 0 = 278,6474178$$

$$V_{S_{maks}} = \frac{0,66 \times \sqrt{(25 \times 350 \times 540,5)^2}}{1000} = 624,2775 \text{ kN}$$

$$A_s = 2 \times 0,25 \times \pi \times d \text{ sengkang}^2 = 3 \times 0,25 \times \pi \times 10^2 = 235,619449 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{A_s \times f_y \times d}{v_s \times 1000} = \frac{235,619449 \times 280 \times 540,5}{278,6474178 \times 1000} = 127,97 \text{ mm}$$

$$S_{maks1} = \frac{d}{2} = \frac{540,5}{2} = 270,25 \text{ mm}$$

$$S_{maks2} = 300 \text{ mm}$$

(Berdasarkan SNI 2847 2019 pasal 9.7.6.2.2 jika  $V_s \leq 0,33 \sqrt{f_c} \cdot b_w d$ , maka  $S_{maks}$  yang diambil adalah yang terkecil dari  $d/2$  atau 600 mm)

Nilai  $S_{maks}$  lapangan diambil dari nilai terkecil  $S_{maks1}$ ,  $S_{maks2}$ , lapangan dan nilai  $S_{maks1}$  merupakan nilai terkecil sehingga  $S_{maks}$  adalah 220,25 mm.

Maka digunakan tulangan transversal 3D10-100 di bagian lapangan.

#### 4. Panjang Penyaluran Tulangan

##### a. Tulangan Tarik

Panjang penyaluran batang tulangan ulir dalam kondisi tarik diatur dalam SNI 2847:2019 Pasal 25.4.2

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

$$f'_c = 25 \text{ Mpa}$$

$$\lambda = 1$$

$$\Psi_e = 1 \quad (\text{SNI 2847:2019 Tabel 25.4.2.4})$$

$$\Psi_s = 0,8 \quad (\text{SNI 2847:2019 Tabel 25.4.2.4})$$

$$\Psi_t = 1,3 \quad (\text{SNI 2847:2019 Tabel 25.4.2.4})$$

$$D_b = 19 \text{ mm}$$

$$D_{\text{Sengkang}} = 10 \text{ mm}$$

$$C_b = \text{Selimut beton} + \text{diameter Sengkang} + \frac{\text{diameter longitudinal}}{2}$$
$$= 40 + 10 + \frac{19}{2}$$
$$= 59,5 \text{ mm}$$

$$\left(\frac{C_b + K_{tr}}{D_b}\right) = \left(\frac{59,5 + 0}{19}\right) \quad (K_{tr} \text{ dianggap } 0 \text{ untuk penyederhanaan design})$$

$$= 3,13 > 2,5 \text{ maka}$$

$$= 2,5 \quad (\text{SNI 2847:2019 Pasal 25.4.2.3b})$$

$$l_d = \left(\frac{f_y}{1,1\lambda\sqrt{f'_c}} \cdot \frac{\Psi_t \Psi_e \Psi_s}{\left(\frac{C_b + K_{tr}}{D_b}\right)}\right) \times d_b$$

$$= \left(\frac{420}{1,1 \times 1 \times \sqrt{25}} \cdot \frac{1,3 \times 1 \times 0,8}{2,5}\right) \times 19$$

$$= 650 \text{ mm}$$

##### b. Tulangan Tekan

Panjang penyaluran batang tulangan ulir dalam kondisi tekan diatur dalam SNI 2847:2019 Pasal 25.4.9

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

$$f'_c = 25 \text{ Mpa}$$

$$\lambda = 1$$

$$\Psi_r = 1 \quad (\text{SNI 2847:2019 Tabel 25.4.9.3})$$

$$d_b = 19 \text{ mm}$$

$$D \text{ Sengkang} = 10 \text{ mm}$$

$$l_{dc1} = \left( \frac{0,24 f_y \Psi_r}{\lambda \sqrt{f'_c}} \right) \times d_b$$

$$= \left( \frac{0,24 \times 420 \times 0,75}{1 \times \sqrt{25}} \right) \times 19$$

$$= 287,28 \text{ mm}$$

$$l_{dc2} = 0,043 \times f_y \times \Psi_r \times d_b$$

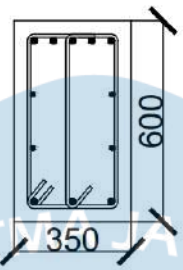
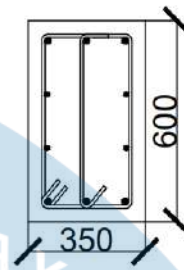
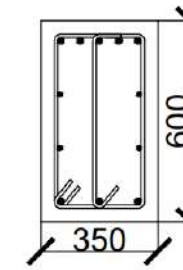
$$= 0,043 \times 420 \times 0,75 \times 19$$

$$= 257,355 \text{ mm}$$

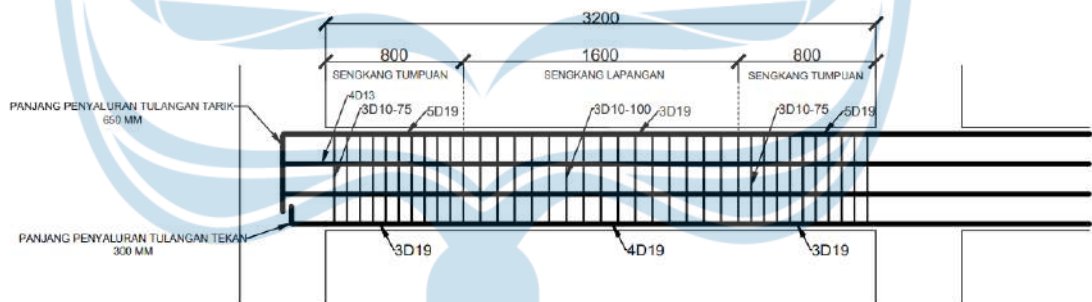
$$l_{dc3} = 200 \text{ mm}$$

$$\text{Maka dipakai } l_{dc} = 287,28 \text{ mm}$$

$$= 300 \text{ mm}$$

BALOK	TULANGAN		
	TUMPUAN KIRI	LAPANGAN	TUMPUAN KANAN
BI 3			
UKURAN BALOK	350 X 600 mm		
TULANGAN ATAS	5D19	3D19	5D19
TULANGAN BAWAH	3D19	3D19	3D19
TULANGAN SAMPING	4D13	4D13	4D13
SENGKANG	3D10-75	3D10-100	3D10-75

Gambar 2.48 Potongan Balok Induk BI3 350x600 mm



Gambar 2.49 Potongan Melintang Balok Induk BI3 350x600 mm

#### 2.7.4 Perencanaan Balok Induk BI4 350x500

Data perencanaan balok induk BI 4 ukuran 350mm x 500mm dengan panjang bentang 7,45 m sebagai berikut:

- Mutu beton ( $f'_c$ ) = 25 Mpa
- Lebar balok ( $b$ ) = 350 mm
- Tinggi balok ( $h$ ) = 500 mm
- Panjang balok ( $l$ ) = 7450 mm

- Panjang balok bersih ( $l_n$ ) = 6950 mm
- D. tul. longitudinal = 19 mm
- $f_y$  = 420 Mpa
- D. tul. transversal = 10 mm
- $f_y$  = 280 Mpa
- D. tul. torsi = 13 mm
- $f_{yt}$  = 420 Mpa
- Tinggi efektif ( $d$ ) = 440,5 mm

Hasil analisis struktur balok BI 4:

Tabel 2.23 Hasil Analisis Struktur Balok BI4

	Tumpuan	Lapangan
$M_u^-$	96,9 kNm	0 kNm
$M_u^+$	39,88 kNm	53,6 kNm
$T_u$	5,2 kNm	
$V_u$	78,1 kN	
$P_u$	0 kN	

### Batasan Dimensi

- $l_n \geq 4d$   
 $4d = 4 \times 440,5 = 1726 \text{ mm}$   
 $l_n = 6970 \text{ mm} > 4d \text{ (OK)}$
- $b_w > 250 \text{ mm}$   
 $b_w = 350 \text{ mm} > 250 \text{ mm (OK)}$
- $b/h > 0,3$   
 $b/h = 350/600 = 0,58 > 0,3 \text{ (OK)}$

### 1. Tulangan Longitudinal

#### a. Tulangan Negatif Tumpuan

$$\phi = 0,9 \text{ (diasumsikan terkendali tarik)}$$

$$\begin{aligned}
\text{Mu} &= 96,9 \text{ kNm} \\
\text{Mn} &= \frac{\text{Mu}}{0,9} \\
&= \frac{96,9}{0,9} = 107,6667 \text{ kNm} \\
a &= \frac{d - \sqrt{d^2 - 2|\text{Mn.req}|}}{0,85 f_c' b} \\
&= \frac{440,5 - \sqrt{(440,5)^2 - (2 \times 107,6667 \times 106)}}{0,85 \times 25 \times 350} \\
&= 34,190 \text{ mm} \\
c &= \frac{a}{b_1} \\
&= \frac{34,190}{0,85} = 40,2235 \text{ mm} \\
\varepsilon_s &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\
&= \frac{(0,003 \times (440,5 - 40,2235))}{40,2235} \\
&= 0,030 \\
A_{S\text{req}} &= \frac{0,85 \times f_c' \times a \times b}{f_y} = \frac{0,85 \times 25 \times 34,190 \times 350}{420} = 605,447 \text{ mm}^2 \\
A_{S\text{min1}} &= \frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{f_y} b_w d \\
&= \frac{0,25 \sqrt{25}}{420} 350 \times 440,5 = 458,8542 \text{ mm}^2 \\
A_{S\text{min2}} &= \frac{1,4}{f_y} b_w d \\
&= \frac{1,4}{420} 350 \times 440,5 = 513,916667 \text{ mm}^2 \\
A_{S\text{min}} &= A_{S\text{min}} \text{ diambil yang terbesar} = 513,916667 \text{ mm}^2 \\
A_{S\text{max}} &= \frac{0,36 \times 0,85 \times 25 \times 350 \times 440,5}{420} = 2808,188 \text{ mm}^2 \\
A_s &= A_{S\text{min}} \text{ lebih kecil daripada } A_{S\text{req}} \text{ sehingga } A_s \text{ yang} \\
&\text{digunakan } A_{S\text{min}} = 605,447 \text{ mm}^2 \\
n &= \frac{A_s \times 4}{\pi \times D^2} = \frac{605,447 \times 4}{\pi \times 19^2} \\
&= 2,14 \text{ dibulatkan menjadi } 3 \\
A_s \text{ Use} &= \frac{n \times \pi \times D^2}{4} = \frac{3 \times \pi \times 19^2}{4} = 850,5862 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
s &= \frac{b - (2 \times \text{selimut beton}) - (2 \times D \text{ sengkang}) - (n \times D \text{ tul utama})}{n-1} \\
&= \frac{350 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (3 \times 19)}{3-1} = 96,5 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 25.2, jarak bersih antara tulangan yang sejajar tidak boleh kurang dari 25 mm.

$$\begin{aligned}
S_{\max} &= \text{terkecil dari } 380 \left( \frac{280}{f_s} \right) - 2,5 \text{ selimut beton dan } 300 \left( \frac{280}{f_s} \right)
\end{aligned}$$

$$= 380 \left( \frac{280}{\frac{2}{3} \times 420} \right) - 2,5 \times 40 \text{ dan } 300 \left( \frac{280}{\frac{2}{3} \times 420} \right)$$

$$= 280 \text{ dan } 300, \text{ maka:}$$

$$S_{\max} = 280 \text{ mm}$$

### Cek Momen Nominal Balok

$$\begin{aligned}
a &= \frac{A_s f_y}{0,85 f_c' b} \\
&= \frac{850,586 \times 420}{0,85 \times 25 \times 350} \\
&= 48,03 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
c &= \frac{a}{b_1} \\
&= \frac{48,03}{0,85} = 56,5 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\varepsilon_s &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\
&= 0,0204
\end{aligned}$$

Karena  $\varepsilon_t > 0,005$ , maka penampang merupakan penampang terkendali tarik dengan  $\phi = 0,9$  yang dimana sudah sesuai dengan tabel SNI 2847:2019 pada Tabel 21.2.2 - Faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ) untuk momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial

$$\begin{aligned}
M_n &= A_s \times F_y \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \\
&= \frac{850,5862 \times 420 \times \left( 440,5 - \frac{48,03}{2} \right)}{1000000} \\
&= 148,79 \text{ kNm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi M_n &= 0,9 \times M_n \\ &= 0,9 \times 148,79 = 133,9 \text{ kNm} \\ \phi M_n &= 133,9 \text{ kNm} > M_u = 96,9 \text{ kNm} \text{ (OK)}\end{aligned}$$

Maka digunakan tulangan longitudinal 3D19 pada daerah tumpuan negatif.

### b. Tulangan Positif Tumpuan

$$\begin{aligned}M_u^+ \text{ tum} &= 39,88 \text{ kNm} \\ 1/2 M_u^- \text{ tum} &= 1/2 \times M_u \\ &= 1/2 \times 96,9 = 48,45 \text{ kNm}\end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.6.3.2, karena pada balok ini  $M^+$  tum (39,88 kNm) <  $0,5 M^-$  tum (48,45 kNm) maka  $M_u$  yang digunakan untuk menentukan tulangan positif tumpuan adalah  $0,5 M^-$  tum = 48,45 kNm.

$$\begin{aligned}M_u &= 48,45 \text{ kNm} \\ M_n &= \frac{M_u}{0,9} \\ &= \frac{48,5}{0,9} = 53,833 \text{ kNm} \\ a &= \frac{d - \sqrt{d^2 - 2|M_n \cdot \text{req}|}}{0,85 f_c' b} \\ &= \frac{440,5 - \sqrt{(440,5)^2 - (2 \times 53,833 \times 10^6)}}{0,85 \times 25 \times 350} \\ &= 16,750 \text{ mm} \\ c &= \frac{a}{b_1} \\ &= \frac{16,750}{0,85} = 19,7059 \text{ mm} \\ \epsilon_s &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{(0,003 \times (440,5 - 19,7059))}{19,7059} \\ &= 0,064 \\ A_{s\text{req}} &= \frac{0,85 \times f_c' \times a \times b}{f_y} = \frac{0,85 \times 25 \times 16,750 \times 350}{420} = 296,615 \text{ mm}^2\end{aligned}$$



$$A_{S_{min1}} = \frac{0,25\sqrt{f'c'}}{f_y} b_w d$$

$$= \frac{0,25\sqrt{25}}{420} 350 \times 440,5 = 458,8542 \text{ mm}^2$$

$$A_{S_{min2}} = \frac{1,4}{f_y} b_w d$$

$$= \frac{1,4}{420} 350 \times 440,5 = 513,916667 \text{ mm}^2$$

$$A_{S_{min}} = A_{S_{min}} \text{ diambil yang terbesar} = 513,916667 \text{ mm}^2$$

$$A_{S_{max}} = \frac{0,36 \times 0,85 \times 25 \times 350 \times 440,5}{420} = 2808,188 \text{ mm}^2$$

$A_S$  =  $A_{S_{req}}$  lebih kecil daripada  $A_{S_{min}}$  sehingga  $A_S$  yang digunakan  $A_{S_{min}} = 513,916667 \text{ mm}^2$

$$n = \frac{A_S \times 4}{\pi \times D^2} = \frac{513,916667 \times 4}{\pi \times 19^2}$$

$$= 1,81 \text{ dibulatkan menjadi } 2$$

$$A_{S \text{ Use}} = \frac{n \times \pi \times D^2}{4} = \frac{2 \times \pi \times 19^2}{4} = 567,0575 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{b - (2 \times \text{selimut beton}) - (2 \times D \text{ sengkang}) - (n \times D \text{ tul utama})}{n - 1}$$

$$= \frac{350 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 19)}{2 - 1} = 212 \text{ mm}^2$$

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 25.2, jarak bersih antara tulangan yang sejajar tidak boleh kurang dari 25 mm.

$$S_{max} = \text{terkecil dari } 380 \left( \frac{280}{f_s} \right) - 2,5 \text{ selimut beton dan}$$

$$300 \left( \frac{280}{f_s} \right)$$

$$= 380 \left( \frac{280}{\frac{2}{3} \times 420} \right) - 2,5 \times 40 \text{ dan } 300 \left( \frac{280}{\frac{2}{3} \times 420} \right)$$

$$= 280 \text{ dan } 300 \text{ maka}$$

$$S_{max} = 280 \text{ mm}$$

### Cek Momen Nominal Balok

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{A_s f_y}{0,85 f_c' b} \\
 &= \frac{567,0575 \times 420}{0,85 \times 25 \times 350} \\
 &= 32,02 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 c &= \frac{a}{\beta_1} \\
 &= \frac{32,02}{0,85} = 37,67 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \epsilon_s &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\
 &= \frac{(0,003 \times (440,5 - 37,67))}{19,7059} \\
 &= 0,032
 \end{aligned}$$

Karena  $\epsilon_t > 0,005$ , maka penampang merupakan penampang terkendali tarik dengan  $\phi = 0,9$  yang dimana sudah sesuai dengan tabel SNI 2847:2019 pada Tabel 21.2.2 - Faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ) untuk momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial

$$\begin{aligned}
 M_n &= A_s \times F_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\
 &= \frac{567,0575 \times 420 \times \left(440,5 - \frac{32,02}{2}\right)}{1000000} \\
 &= 101,1 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi M_n &= 0,9 \times M_n \\
 &= 0,9 \times 101,1 = 90,99 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\phi M_n = 90,99 \text{ kNm} > M_u = 48,45 \text{ kNm (OK)}$$

Maka digunakan tulangan longitudinal 2D19 pada daerah tumpuan positif

### c. Tulangan Negatif Lapangan

$$M_u^{\text{lap}} = 0$$

$$\frac{1}{4} M_u^{\text{tum}} = \frac{1}{4} \times 96,9 = 24,225 \text{ kNm}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.6.3.2, karena pada balok ini  $M^{\text{lap}} = 0$  maka  $M_u$  yang digunakan untuk menentukan lapangan tekan adalah  $\frac{1}{4} M^{\text{tum}} = 24,225 \text{ kNm}$ .

$$\begin{aligned}
 \mu &= 24,225 \text{ kNm} \\
 M_n &= \frac{\mu}{0,9} \\
 &= \frac{24,225}{0,9} = 26,917 \text{ kNm} \\
 a &= \frac{d - \sqrt{d^2 - 2|M_n \cdot \text{req}|}}{0,85 f_c' b} \\
 &= \frac{440,5 - \sqrt{(440,5)^2 - (2 \times 26,917 \times 10^6)}}{(0,85 \times 25 \times 350)} \\
 &= 8,294 \text{ mm} \\
 c &= \frac{a}{\beta_1} \\
 &= \frac{8,294}{0,85} = 9,7575 \text{ mm} \\
 \epsilon_s &= \frac{d - c}{c} \times 0,003 \\
 &= \frac{(0,003 \times (440,5 - 9,7575))}{9,7575} \\
 &= 0,132 \\
 A_{s \text{ req}} &= \frac{0,85 f_c' a x b}{f_y} = \frac{0,85 \times 25 \times 8,294 \times 350}{420} = 146,870 \text{ mm}^2 \\
 A_{s \text{ min1}} &= \frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{f_y} b_w d \\
 &= \frac{0,25 \sqrt{25}}{420} 350 \times 440,5 = 458,8542 \text{ mm}^2 \\
 A_{s \text{ min2}} &= \frac{1,4}{f_y} b_w d \\
 &= \frac{1,4}{420} 350 \times 440,5 = 513,916667 \text{ mm}^2 \\
 A_{s \text{ min}} &= A_{s \text{ min}} \text{ diambil yang terbesar} = 513,916667 \text{ mm}^2 \\
 A_{s \text{ max}} &= \frac{0,36 \times 0,85 \times 25 \times 350 \times 440,5}{420} = 2808,188 \text{ mm}^2 \\
 A_s &= A_{s \text{ req}} \text{ lebih kecil daripada } A_{s \text{ min}} \text{ sehingga } A_s \text{ yang} \\
 &\text{digunakan } A_{s \text{ min}} = 513,916667 \text{ mm}^2 \\
 n &= \frac{A_s \times 4}{\pi \times D^2} = \frac{513,916667 \times 4}{\pi \times 19^2} \\
 &= 1,81 \text{ dibulatkan menjadi } 2 \\
 A_s \text{ Use} &= \frac{n \times \pi \times D^2}{4} = \frac{2 \times \pi \times 19^2}{4} = 567,0575 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 s &= \frac{b - (2 \times \text{selimut beton}) - (2 \times D \text{ sengkang}) - (n \times D \text{ tul utama})}{n-1} \\
 &= \frac{350 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 19)}{2-1} = 212 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 25.2, jarak bersih antara tulangan yang sejajar tidak boleh kurang dari 25 mm.

$$S_{\max} = \text{terkecil dari } 380 \left( \frac{280}{f_s} \right) - 2,5 \text{ selimut beton dan}$$

$$300 \left( \frac{280}{f_s} \right)$$

$$= 380 \left( \frac{280}{\frac{2}{3} \times 420} \right) - 2,5 \times 40 \text{ dan } 300 \left( \frac{280}{\frac{2}{3} \times 420} \right)$$

$$= 280 \text{ dan } 300 \text{ maka}$$

$$S_{\max} = 280 \text{ mm}$$

### Cek Momen Nominal Balok

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{A_s f_y}{0,85 f_c b} \\
 &= \frac{567,0575 \times 420}{0,85 \times 25 \times 350} \\
 &= 32,02 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 c &= \frac{a}{b_1} \\
 &= \frac{32,02}{0,85} = 37,67 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \epsilon_s &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\
 &= \frac{(0,003 \times (440,5 - 37,67))}{19,7059} \\
 &= 0,032
 \end{aligned}$$

Karena  $\epsilon_t > 0,005$ , maka penampang merupakan penampang terkendali tarik dengan  $\phi = 0,9$  yang dimana sudah sesuai dengan tabel SNI 2847:2019 pada Tabel 21.2.2 - Faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ) untuk momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial

$$M_n = A_s \times F_y \times \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

$$= \frac{567,0575 \times 420 \times (440,5 - \frac{32,02}{2})}{1000000}$$

$$= 101,1 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 0,9 \times M_n$$

$$= 0,9 \times 101,1 = 90,99 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 90,99 \text{ kNm} > M_u = 24,225 \text{ kNm (OK)}$$

Maka digunakan tulangan longitudinal 2D19 pada daerah negatif lapangan.

#### d. Tulangan Positif Lapangan

$$M_u^+ \text{ lap} = 53,6 \text{ kNm}$$

$$1/4 M_u^- \text{ tum} = 1/4 \times M_u$$

$$= 1/4 \times 96,9 = 24,225 \text{ kNm}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.6.3.2, karena pada balok ini  $M^+ \text{ lap}$  ( $53,6 \text{ kNm}$ )  $>$   $1/4 M^- \text{ tum}$  ( $24,225 \text{ kNm}$ ) maka  $M_u$  yang digunakan untuk menentukan lapangan tekan adalah  $M_u^+ \text{ lap} = 53,6 \text{ kNm}$ .

$$M_u = 53,6 \text{ kNm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{0,9}$$

$$= \frac{53,6}{0,9} = 59,556 \text{ kNm}$$

$$a = \frac{d - \sqrt{d^2 - 2|M_n \text{ req}|}}{0,85 f_c / b}$$

$$= \frac{440,5 - \sqrt{(440,5)^2 - (2 \times 59,556 \times 10^6)}}{(0,85 \times 25 \times 350)}$$

$$= 18,570 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{b_1}$$

$$= \frac{18,570}{0,85} = 21,8465 \text{ mm}$$

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

$$= \frac{(0,003 \times (440,5 - 21,8465))}{21,8465}$$

$$= 0,057$$

$$A_{sreq} = \frac{0,85 \times f_c' \times a \times b}{f_y} = \frac{0,85 \times 25 \times 18,570 \times 350}{420} = 328,836 \text{ mm}^2$$

$$A_{smin1} = \frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{f_y} b_w d$$

$$= \frac{0,25 \sqrt{25}}{420} 350 \times 440,5 = 458,8542 \text{ mm}^2$$

$$A_{smin2} = \frac{1,4}{f_y} b_w d$$

$$= \frac{1,4}{420} 350 \times 440,5 = 513,916667 \text{ mm}^2$$

$$A_{smin} = A_{smin} \text{ diambil yang terbesar} = 513,916667 \text{ mm}^2$$

$$A_{smax} = \frac{0,36 \times 0,85 \times 25 \times 350 \times 440,5}{420} = 2808,188 \text{ mm}^2$$

$A_s$  =  $A_{sreq}$  lebih kecil daripada  $A_{smin}$  sehingga  $A_s$  yang digunakan  $A_{smin} = 513,916667 \text{ mm}^2$

$$n = \frac{A_s \times 4}{\pi \times D^2} = \frac{513,916667 \times 4}{\pi \times 19^2}$$

$$= 1,81 \text{ dibulatkan menjadi } 2$$

$$A_s \text{ Use} = \frac{n \times \pi \times D^2}{4} = \frac{2 \times \pi \times 19^2}{4} = 567,0575 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{b - (2 \times \text{selimut beton}) - (2 \times D \text{ sengkang}) - (n \times D \text{ tul utama})}{n - 1}$$

$$= \frac{350 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 19)}{2 - 1} = 212 \text{ mm}^2$$

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 25.2, jarak bersih antara tulangan yang sejajar tidak boleh kurang dari 25 mm.

$$S_{max} = \text{terkecil dari } 380 \left( \frac{280}{f_s} \right) - 2,5 \text{ selimut beton dan}$$

$$300 \left( \frac{280}{f_s} \right)$$

$$= 380 \left( \frac{280}{\frac{2}{3} \times 420} \right) - 2,5 \times 40 \text{ dan } 300 \left( \frac{280}{\frac{2}{3} \times 420} \right)$$

$$= 280 \text{ dan } 300 \text{ maka}$$

$$S_{max} = 280 \text{ mm}$$

### Cek Momen Nominal Balok

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s f_y}{0,85 f_c' b} \\ &= \frac{567,0575 \times 420}{0,85 \times 25 \times 350} \\ &= 32,02 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= \frac{a}{\beta_1} \\ &= \frac{32,02}{0,85} = 37,67 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_s &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{(0,003 \times (440,5 - 37,67))}{19,7059} \\ &= 0,032 \end{aligned}$$

Karena  $\epsilon_t > 0,005$ , maka penampang merupakan penampang terkendali tarik dengan  $\phi = 0,9$  yang dimana sudah sesuai dengan tabel SNI 2847:2019 pada Tabel 21.2.2 - Faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ) untuk momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial

$$\begin{aligned} M_n &= A_s \times F_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ &= \frac{567,0575 \times 420 \times \left(440,5 - \frac{32,02}{2}\right)}{1000000} \\ &= 101,1 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 \times M_n \\ &= 0,9 \times 101,1 = 90,99 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\phi M_n = 90,99 \text{ kNm} > M_u = 53,6 \text{ kNm (OK)}$$

Maka digunakan tulangan longitudinal 2D19 pada daerah lapangan positif.

### 2. Tulangan Torsi

$$T_u \text{ hasil analisis midas} = 5,2 \text{ kNm}$$

$$V_u \text{ hasil analisis midas} = 78,1 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} A_{cp} &= b \times h \\ &= 350 \times 500 = 175000 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
P_{cp} &= 2 \times (350 + 500) = 1700 \\
\Phi T_{th} &= \frac{0,75 \times 0,083 \times 1 \times \sqrt{25} \times 175000^2}{1700} \\
&= 560,7077,206 \text{ Nmm} \\
&= 5,60 \text{ kNm} > T_u
\end{aligned}$$

Karena  $\Phi T_{th} > T_u$ , maka tidak diperlukan penambahan tulangan torsi.

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.6.4.2 dikatakan bahwa spasi lateral tulangan longitudinal tidak boleh melebihi 350 mm.

$$\begin{aligned}
\text{Spasi tulangan atas dan bawah} &= 500 - 2(40) - 2(10) - 2(19) \\
&= 362 \text{ mm} > 350 \text{ mm}
\end{aligned}$$

Karena spasi melebihi 350 mm, maka ditambahkan tulangan longitudinal pada tengah penampang 4D13.

### 3. Tulangan Transversal

$$\text{As dari tul Tarik tumpuan} = 850,586211 \text{ mm}^2$$

$$\text{As dari tul tekan tumpuan} = 567,057474 \text{ mm}^2$$

$$V_u \text{ tumpuan midas} = 78,1 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
A_{pr-} \text{ (Tarik)} &= \frac{1,25 \times F_y \times A_s}{0,85 \times f'c \times b} \\
&= \frac{1,25 \times 850,586211 \times 420}{0,85 \times 25 \times 350} \\
&= 60,0413796 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
M_{pr-} &= 1,25 \times F_y \times A_s \times \left( d - \left( \frac{a_{pr}}{2} \right) \right) \\
&= 1,25 \times 850,586211 \times \left( 420 - \left( \frac{440,5}{2} \right) \right) \\
&= 183,3027216 \text{ kNm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
A_{pr-} \text{ (tekan)} &= \frac{1,25 \times F_y \times A_s}{0,85 \times f'c \times b} \\
&= \frac{1,25 \times 850,586211 \times 420}{0,85 \times 25 \times 350} \\
&= 40,0276 \text{ mm}
\end{aligned}$$

$$M_{pr+} = 1,25 \times F_y \times A_s \times \left( d - \left( \frac{a_{pr}}{2} \right) \right)$$



$$= \frac{1,25 \times 850,586211 \times \left(420 \left(\frac{440,5}{2}\right)\right)}{10^6}$$

$$= 125,181 \text{ kNm}$$

$$V_g \text{ midas} = 67,8 \text{ kN}$$

$$v_e = \frac{M_{pr-} + M_{pr+}}{\frac{ln}{1000}}$$

$$= \frac{183,3027216 + 125,181}{\frac{6950}{1000}}$$

$$= 44,386135 \text{ kN}$$

$$v_{e1} = v_e + V_g \text{ midas}$$

$$= 44,386135 + 67,8$$

$$= 112,186135 \text{ kN}$$

$$v_{e2} = v_e - V_g \text{ midas}$$

$$= 44,386135 - 67,8$$

$$= -23,4139 \text{ kN}$$

Nilai  $v_u$  diambil hasil terbesar dari  $v_u$  tumpuan midas,  $v_{e1}$ ,  $v_{e2}$ , nilai  $v_{e1}$  merupakan nilai terbesar sehingga nilai  $v_u$  adalah 112,1861 kN

$$v_u \text{ lapangan} = \frac{(ln - 2 \times h) \times (v_u - v_{e2})}{ln + v_{e2}}$$

$$= \frac{(6950 - 2 \times 500) \times (112,186135 - 23,4139)}{6950 - 23,4139}$$

$$= 92,675344 \text{ kN}$$

### Tumpuan Plastis

Cek  $0,5 v_u < v_e$

$$0,5 v_u = 0,5 \times v_u$$

$$= 0,5 \times 112,1861$$

$$= 56,09307$$

$$0,5 v_e = 44,38614$$

$$V_c = \frac{0,17 \times 1 \times \sqrt{f'c \times b \times d}}{1000}$$

$$= \frac{0,17 \times 1 \times \sqrt{25 \times 350 \times 440,5}}{1000}$$

$$= 131,04875 \text{ kN}$$

$$\phi = 0,75$$

$$\begin{aligned}
 v_s &= \frac{vu}{\theta} - vc \\
 &= \frac{112,1861}{0,75} - 131,04875 \\
 &= 18,53276384
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{S_{maks}} &= \frac{0,66 \times \sqrt{(f'c \times b \times d)^2}}{1000} \\
 &= \frac{0,66 \times \sqrt{(25 \times 350 \times 440,5)^2}}{1000} \\
 &= 508,7775 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Diameter sengkang (direncanakan Sengkang 2D10) 10 mm

$$\begin{aligned}
 A_s &= 2 \times 0,25 \times \pi \times d \text{ sengkang}^2 \\
 &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 10^2 \\
 &= 157,0796327 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{A_s \times f_y \times d}{v_s \times 1000} \\
 &= \frac{157,0796327 \times 280 \times 440,5}{18,53276384 \times 1000} \\
 &= 1045,4027 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{maks1} &= \frac{d}{4} \\
 &= \frac{440,5}{4} \\
 &= 110,125 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{maks2} &= 6 \times d \text{ tul utama} \\
 &= 6 \times 19 \\
 &= 114 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$S_{maks3} = 150 \text{ mm}$$

Nilai  $S_{maks}$  tumpuan plastis diambil dari nilai terkecil  $S_{maks1}$ ,  $S_{maks2}$ ,  $S_{maks3}$  pada tumpuan plastis dan nilai  $S_{maks2}$  merupakan nilai terkecil sehingga  $S_{maks1}$  adalah 11,125 mm.

Maka digunakan tulangan transversal 2D10-75 pada daerah tumpuan.

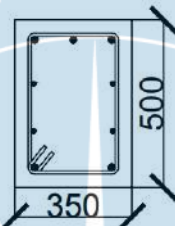
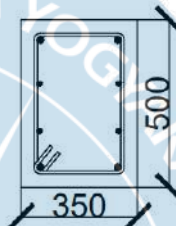
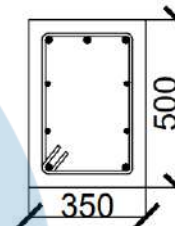
## Lapangan

$$\begin{aligned}
0,5 v_u &= 0,5 \times v_u \\
&= 0,5 \times 92,675344 \\
&= 46,33767 \\
0,5 v_e &= 44,38614 \\
V_c &= \frac{0,17 \times 1 \times \sqrt{(f'c \times b \times d)^2}}{1000} \\
&= \frac{0,17 \times 1 \times \sqrt{(25 \times 350 \times 440,5)^2}}{1000} \\
&= 131,04875 \text{ kN} \\
\phi &= 0,75 \\
v_s &= \frac{v_u}{\phi} - v_c \\
&= \frac{92,675344}{0,75} - 131,04875 \\
&= -7,48162465 \\
V_{Smaks} &= \frac{0,66 \times \sqrt{(f'c \times b \times d)^2}}{1000} \\
&= \frac{0,66 \times \sqrt{(25 \times 350 \times 440,5)^2}}{1000} \\
&= 508,7775 \text{ kN} \\
A_s &= 2 \times 0,25 \times \pi \times d \text{ sengkang}^2 \\
&= 2 \times 0,25 \times \pi \times 10^2 \\
&= 157,0796327 \text{ mm}^2 \\
S &= \frac{A_s \times f_y \times d}{v_s \times 1000} \\
&= \frac{157,0796327 \times 280 \times 440,5}{-7,48162465 \times 1000} \\
&= -2589,571 \text{ mm} \\
S_{maks1} &= \frac{d}{2} \\
&= \frac{440,5}{2} \\
&= 220,25 \text{ mm} \\
S_{maks2} &= 300 \text{ mm}
\end{aligned}$$

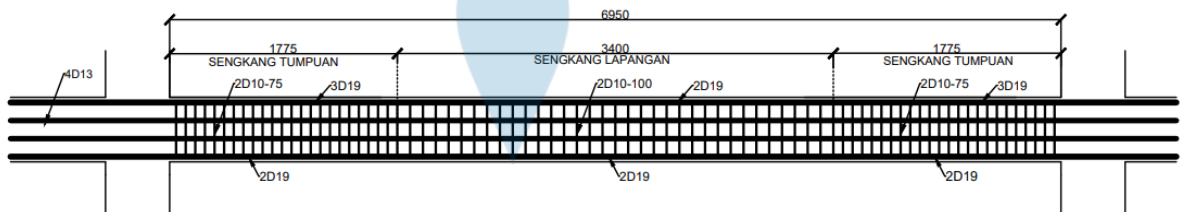
(Berdasarkan SNI 2847 2019 pasal 9.7.6.2.2 jika  $V_s \leq 0,33 \sqrt{f'c} b_w d$  maka  $S_{maks}$  yang diambil adalah yang terkecil dari  $d/2$  atau 600 mm)

Nilai  $S_{maks}$  lapangan diambil dari nilai terkecil  $S_{maks1}$ ,  $S_{maks2}$ , lapangan dan nilai  $S_{maks1}$  merupakan nilai terkecil sehingga  $S_{maks}$  adalah 220,25 mm.

Maka digunakan tulangan transversal 2D10-100 pada daerah lapangan.

BALOK	TULANGAN		
	TUMPUAN KIRI	LAPANGAN	TUMPUAN KANAN
BI 4			
UKURAN BALOK	350 X 500 mm		
TULANGAN ATAS	3D19	2D19	3D19
TULANGAN BAWAH	2D19	2D19	2D19
TULANGAN SAMPING	4D13	4D13	4D13
SENGKANG	2D10-75	2D10-100	2D10-75

Gambar 2.50 Gambar Potongan Balok Induk BI4 350x500 mm



Gambar 2.51 Gambar Penampang Melintang Balok Induk BI4 350x500 mm

### 2.7.5 Perencanaan Balok Induk BI5 350x400

Data perencanaan balok induk BI5 ukuran 350mm x 400mm dengan panjang bentang 3,7 m sebagai berikut:

- Mutu beton ( $f_c$ ) = 25 Mpa

- Lebar balok (b) = 350 mm
- Tinggi balok (h) = 400 mm
- Panjang balok (l) = 3700 mm
- Panjang balok bersih (ln) = 3200 mm
- D. tul. longitudinal = 19 mm
- fy = 420 Mpa
- D. tul. transversal = 10 mm
- fy = 420 Mpa
- D. tul. torsi = 13 mm
- fyt = 420 Mpa
- Tinggi efektif (d) =  $400 - 40 - 10 - 19 / 2 = 340,5$  mm

Hasil analisis struktur balok BI 5:

Tabel 2.24 Hasil Analisis Struktur Balok BI5

	Tumpuan	Lapangan
Mu <sup>-</sup>	27,9 kNm	2,36 kNm
Mu <sup>+</sup>	4,128 kNm	6,3 kNm
Tu	4,1 kNm	
Vu	28 kN	
Pu	0 kN	

### Batasan Dimensi

- $L_n \geq 4d$   
 $4d = 4 \times 340,5 = 1362$  mm  
 $L_n = 6970$  mm > 4d (OK)
- $b_w > 250$  mm  
 $b_w = 350$  mm > 250 mm (OK)
- $b/h > 0,3$   
 $b/h = 350/600 = 0,58 > 0,3$  (OK)

## 1. Tulangan Longitudinal

### a. Tulangan Negatif Tumpuan

$$\phi = 0,9 \text{ (diasumsikan terkendali tarik)}$$

$$M_u = 27,9 \text{ kNm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{0,9} = \frac{27,9}{0,9} = 310000 \text{ kNm}$$

$$a = \frac{d - \sqrt{d^2 - 2|M_n \cdot \text{req}|}}{0,85 f_c / b} = \frac{340,5 - \sqrt{(540,5^2 - (2 \times 310,000 \times 10^6))}}{0,85 \times 25 \times 350} = 9,566 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{9,566}{0,85} = 11,2541 \text{ mm}$$

$$\epsilon_s = \frac{d-c}{c} \times 0,003 = \frac{(0,003 \times (340,5 - 11,2541))}{11,2541} = 0,114$$

$$A_{S \text{req}} = \frac{0,85 \times f_c' \times a \times b}{f_y} = \frac{0,85 \times 25 \times 9,566 \times 350}{420} = 169,398 \text{ mm}^2$$

$$A_{S \text{min}1} = \frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{f_y} b_w d = \frac{0,25 \sqrt{25}}{420} 350 \times 340,5 = 354,6875 \text{ mm}^2$$

$$A_{S \text{min}2} = \frac{1,4}{f_y} b_w d = \frac{1,4}{420} 350 \times 340,5 = 397,25 \text{ mm}^2$$

$$A_{S \text{min}} = A_{S \text{min}} \text{ diambil yang terbesar} = 397,25 \text{ mm}^2$$

$$A_{S \text{max}} = \frac{0,36 \times 0,85 \times 25 \times 350 \times 340,5}{420} = 2170,688 \text{ mm}^2$$

$$A_s = A_{S \text{req}} \text{ lebih kecil daripada } A_{S \text{min}} \text{ sehingga } A_s \text{ yang digunakan} = 397,250 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{A_s \times 4}{\pi \times D^2} = \frac{397,250 \times 4}{\pi \times 19^2}$$

= 1,40 digunakan 3 buah

$$\text{As Use} = \frac{n \times \pi \times D^2}{4} = \frac{3 \times \pi \times 19^2}{4} = 850,5862 \text{ mm}^2$$

$$s =$$

$$\frac{b - (2 \times \text{selimut beton}) - (2 \times D \text{ sengkang}) - (n \times D \text{ tul utama})}{n - 1}$$

$$= \frac{350 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 19)}{2 - 1} = 212 \text{ mm}^2$$

$$s_{\min} = 25 \text{ mm}$$

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 25.2, jarak bersih antara tulangan yang sejajar tidak boleh kurang dari 25 mm.

$$s_{\max} = \text{terkecil dari } 380 \left( \frac{280}{f_s} \right) - 2,5 \text{ selimut beton dan } 300 \left( \frac{280}{f_s} \right)$$

$$= 380 \left( \frac{280}{\frac{2}{3} \times 420} \right) - 2,5 \times 40 \text{ dan } 300 \left( \frac{280}{\frac{2}{3} \times 420} \right)$$

$$= 280 \text{ dan } 300 \text{ maka}$$

$$s_{\max} = 280 \text{ mm}$$

### Cek Momen Nominal Balok

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f_c' b}$$

$$= \frac{850,586 \times 420}{0,85 \times 25 \times 350}$$

$$= 48,03 \text{ mm}$$

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

$$= \frac{48,03}{0,85} = 56,5 \text{ mm}$$

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

$$= \frac{(0,003 \times (340,5 - 56,5))}{56,5}$$

$$= 0,015$$

Karena  $\epsilon_t > 0,005$ , maka penampang merupakan penampang terkendali tarik dengan  $\phi = 0,9$  yang dimana sudah sesuai dengan tabel SNI 2847:2019 pada

Tabel 21.2.2 - Faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ) untuk momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial

$$\begin{aligned}
 M_n &= A_s \times F_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\
 &= \frac{850,5862 \times 420 \times \left(340,5 - \frac{48,03}{2}\right)}{1000000} \\
 &= 113,06 \text{ kNm} \\
 \phi M_n &= 0,9 \times M_n \\
 &= 0,9 \times 113,06 = 101,76 \text{ kNm} \\
 \phi M_n &= 101,76 \text{ kNm} > M_u = 27,9 \text{ kNm (OK)}
 \end{aligned}$$

Maka digunakan tulangan longitudinal 3D19 pada daerah tumpuan negatif.

#### b. Tulangan Positif Tumpuan

$$\begin{aligned}
 M_u^+ \text{ tum} &= 4,128 \text{ kNm} \\
 1/2 M_u^- \text{ tum} &= 1/2 \times M_u \\
 &= 1/2 \times 27,9 = 13,95 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.6.3.2, karena pada balok ini  $M^+$  tum (4,128 kNm) <  $1/2 M^-$  tum (13,95 kNm) maka  $M_u$  yang digunakan untuk menentukan tulangan positif tumpuan adalah  $1/2 M^-$  tum = 13,95 kNm.

$$\begin{aligned}
 M_u &= 13,95 \text{ kNm} \\
 M_n &= \frac{M_u}{0,9} \\
 &= \frac{13,95}{0,9} = 15,500 \text{ kNm} \\
 a &= \frac{d - \sqrt{d^2 - 2|M_n \text{ req}|}}{0,85 f_c' b} \\
 &= \frac{340,5 - \sqrt{(340,5)^2 - (2 \times 15,500 \times 10^6)}}{0,85 \times 25 \times 350} \\
 &= 4,757 \text{ mm} \\
 c &= \frac{a}{b_1} \\
 &= \frac{4,757}{0,85} = 5,5962 \text{ mm}
 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
\varepsilon_s &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\
&= \frac{(0,003 \times (340,5 - 5,5962))}{5,5962} \\
&= 0,233 \\
A_{sreq} &= \frac{0,85 \times f_c' \times a \times b}{f_y} = \frac{0,85 \times 25 \times 4,757 \times 350}{420} = 84,234 \text{ mm}^2 \\
A_{smin1} &= \frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{f_y} b_w d \\
&= \frac{0,25 \sqrt{25}}{420} 350 \times 340,5 = 354,6875 \text{ mm}^2 \\
A_{smin2} &= \frac{1,4}{f_y} b_w d \\
&= \frac{1,4}{420} 350 \times 340,5 = 397,25 \text{ mm}^2 \\
A_{smin} &= A_{smin} \text{ diambil yang terbesar} = 397,25 \text{ mm}^2 \\
A_{smax} &= \frac{0,36 \times 0,85 \times 25 \times 350 \times 340,5}{420} = 2170,688 \text{ mm}^2 \\
A_s &= A_{sreq} \text{ lebih kecil daripada } A_{smin} \text{ sehingga } A_s \text{ yang} \\
\text{digunakan} &= 397,250 \text{ mm}^2 \\
n &= \frac{A_s \times 4}{\pi \times D^2} = \frac{397,250 \times 4}{\pi \times 19^2} \\
&= 1,40 \text{ dibulatkan menjadi } 2 \\
A_s \text{ Use} &= \frac{n \times \pi \times D^2}{4} = \frac{2 \times \pi \times 19^2}{4} = 567,0575 \text{ mm}^2 \\
s &= \frac{b - (2 \times \text{selimut beton}) - (2 \times D \text{ sengkang}) - (n \times D \text{ tul utama})}{n-1} \\
&= \frac{350 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 19)}{2-1} = 212 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 25.2, jarak bersih antara tulangan yang sejajar tidak boleh kurang dari 25 mm.

$$\begin{aligned}
S_{max} &= \text{terkecil dari } 380 \left( \frac{280}{f_s} \right) - 2,5 \text{ selimut beton dan} \\
&300 \left( \frac{280}{f_s} \right) \\
&= 380 \left( \frac{280}{\frac{2}{3} \times 420} \right) - 2,5 \times 40 \text{ dan } 300 \left( \frac{280}{\frac{2}{3} \times 420} \right) \\
&= 280 \text{ dan } 300 \text{ maka}
\end{aligned}$$

$$S_{\max} = 280 \text{ mm}$$

### Cek Momen Nominal Balok

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f_c' b}$$

$$= \frac{567,06 \times 420}{0,85 \times 25 \times 350}$$

$$= 32,02 \text{ mm}$$

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

$$= \frac{32,02}{0,85} = 37,67 \text{ mm}$$

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

$$= \frac{(0,003 \times (340,5 - 37,67))}{56,5}$$

$$= 0,024$$

Karena  $\epsilon_t > 0,005$ , maka penampang merupakan penampang terkendali tarik dengan  $\phi = 0,9$  yang dimana sudah sesuai dengan tabel SNI 2847:2019 pada Tabel 21.2.2 - Faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ) untuk momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial

$$M_n = A_s \times F_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$= \frac{567,0575 \times 420 \times \left(340,5 - \frac{32,02}{2}\right)}{1000000}$$

$$= 77,28 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 0,9 \times M_n$$

$$= 0,9 \times 77,28 = 69,55 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 69,55 \text{ kNm} > M_u = 13,95 \text{ kNm (OK)}$$

Maka digunakan tulangan longitudinal 2D19 pada daerah tumpuan positif.

### c. Tulangan Negatif Lapangan

$$M_u^{\text{lap}} = 2,36 \text{ kNm}$$

$$\frac{1}{4} M_u^{\text{tum}} = \frac{1}{2} \times M_u$$

$$= \frac{1}{4} \times 27,9 = 6,975 \text{ kNm}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.6.3.2, karena pada balok ini  $M^{\text{lap}} (2,36 \text{ kNm}) < \frac{1}{4} M^{\text{tump}} (6,975 \text{ kNm})$  maka  $M_u$  yang digunakan untuk menentukan tulangan positif tumpuan adalah  $\frac{1}{4}M^{\text{tump}} = 6,975 \text{ kNm}$ .

$$M_u = 6,975 \text{ kNm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{0,9} = \frac{6,975}{0,9} = 7,750 \text{ kNm}$$

$$a = \frac{d - \sqrt{d^2 - 2|M_n \cdot \text{req}|}}{0,85 f_c' b} = \frac{340,5 - \sqrt{(340,5)^2 - (2 \times 7,750 \times 10^6)}}{(0,85 \times 25 \times 350)} = 2,372 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{2,372}{0,85} = 2,7905 \text{ mm}$$

$$\epsilon_s = \frac{d-c}{c} \times 0,003 = \frac{(0,003 \times (340,5 - 2,7905))}{2,7905} = 0,471$$

$$A_{s\text{req}} = \frac{0,85 \times f_c' \times a \times b}{f_y} = \frac{0,85 \times 25 \times 2,372 \times 350}{420} = 42,003 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\text{min1}} = \frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{f_y} b_w d = \frac{0,25 \sqrt{25}}{420} 350 \times 340,5 = 354,6875 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\text{min2}} = \frac{1,4}{f_y} b_w d = \frac{1,4}{420} 350 \times 340,5 = 397,25 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\text{min}} = A_{s\text{min}} \text{ diambil yang terbesar} = 397,25 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\text{max}} = \frac{0,36 \times 0,85 \times 25 \times 350 \times 340,5}{420} = 2170,688 \text{ mm}^2$$

As = As<sub>req</sub> lebih kecil daripada As<sub>min</sub> sehingga As yang digunakan 397,250 mm<sup>2</sup>

$$n = \frac{As \times 4}{\pi \times D^2} = \frac{397,250 \times 4}{\pi \times 19^2}$$

$$= 1,40 \text{ dibulatkan menjadi } 2$$

$$As \text{ Use} = \frac{n \times \pi \times D^2}{4} = \frac{2 \times \pi \times 19^2}{4} = 567,0575 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{b - (2 \times \text{selimut beton}) - (2 \times D \text{ sengkang}) - (n \times D \text{ tul utama})}{n - 1}$$

$$= \frac{350 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 19)}{2 - 1} = 212 \text{ mm}^2$$

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 25.2, jarak bersih antara tulangan yang sejajar tidak boleh kurang dari 25 mm.

$$S_{\max} = \text{terkecil dari } 380 \left( \frac{280}{f_s} \right) - 2,5 \text{ selimut beton dan } 300 \left( \frac{280}{f_s} \right)$$

$$= 380 \left( \frac{280}{\frac{2}{3} \times 420} \right) - 2,5 \times 40 \text{ dan } 300 \left( \frac{280}{\frac{2}{3} \times 420} \right)$$

$$= 280 \text{ dan } 300 \text{ maka}$$

$$S_{\max} = 280 \text{ mm}$$

### Cek Momen Nominal Balok

$$a = \frac{As \times f_y}{0,85 \times f_c \times b}$$

$$= \frac{567,06 \times 420}{0,85 \times 25 \times 350}$$

$$= 32,02 \text{ mm}$$

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

$$= \frac{32,02}{0,85} = 37,67 \text{ mm}$$

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

$$= \frac{(0,003 \times (340,5 - 37,67))}{56,5}$$

$$= 0,024$$

Karena  $\epsilon_t > 0,005$ , maka penampang merupakan penampang terkendali tarik dengan  $\phi = 0,9$  yang dimana sudah sesuai dengan tabel SNI 2847:2019 pada Tabel 21.2.2 - Faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ) untuk momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial

$$\begin{aligned} M_n &= A_s \times F_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ &= \frac{567,0575 \times 420 \times \left(340,5 - \frac{32,02}{2}\right)}{1000000} \\ &= 77,28 \text{ kNm} \\ \phi M_n &= 0,9 \times M_n \\ &= 0,9 \times 77,28 = 69,55 \text{ kNm} \\ \phi M_n &= 69,55 \text{ kNm} > M_u = 6,975 \text{ kNm (OK)} \end{aligned}$$

Maka digunakan tulangan longitudinal 2D19 pada daerah lapangan negatif.

#### d. Tulangan Positif Lapangan

$$\begin{aligned} M_u^+ \text{ lap} &= 6,3 \text{ kNm} \\ \frac{1}{4} M_u^- \text{ tum} &= \frac{1}{4} \times M_u \\ &= \frac{1}{4} \times 27,9 = 6,975 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.6.3.2, karena pada balok ini  $M^+ \text{ lap}$  (6,3 kNm)  $<$   $\frac{1}{4} M^- \text{ tum}$  (6,975 kNm) maka  $M_u$  yang digunakan untuk menentukan tulangan positif tumpuan adalah  $\frac{1}{4} M^- \text{ tum} = 6,975 \text{ kNm}$ .

$$\begin{aligned} M_u &= 6,975 \text{ kNm} \\ M_n &= \frac{M_u}{0,9} \\ &= \frac{6,975}{0,9} = 7,750 \text{ kNm} \\ a &= \frac{d - \sqrt{d^2 - 2|M_n \cdot \text{req}|}}{0,85 f_c / b} \\ &= \frac{340,5 - \sqrt{(340,5)^2 - (2 \times 7,750 \times 10^6)}}{(0,85 \times 25 \times 350)} \\ &= 2,372 \text{ mm} \\ c &= \frac{a}{b_1} \end{aligned}$$

$$= \frac{2,372}{0,85} = 2,7905 \text{ mm}$$

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

$$= \frac{(0,003 \times (340,5 - 2,7905))}{2,7905}$$

$$= 0,471$$

$$A_{sreq} = \frac{0,85 \times f_c' \times a \times b}{f_y} = \frac{0,85 \times 25 \times 2,372 \times 350}{420} = 42,003 \text{ mm}^2$$

$$A_{smin1} = \frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{f_y} b_w d$$

$$= \frac{0,25 \sqrt{25}}{420} 350 \times 340,5 = 354,6875 \text{ mm}^2$$

$$A_{smin2} = \frac{1,4}{f_y} b_w d$$

$$= \frac{1,4}{420} 350 \times 340,5 = 397,25 \text{ mm}^2$$

$$A_{smin} = A_{smin} \text{ diambil yang terbesar} = 397,25 \text{ mm}^2$$

$$A_{smax} = \frac{0,36 \times 0,85 \times 25 \times 350 \times 340,5}{420} = 2170,688 \text{ mm}^2$$

As digunakan =  $A_{sreq}$  lebih kecil daripada  $A_{smin}$  sehingga As yang digunakan  $397,250 \text{ mm}^2$

$$n = \frac{A_s \times 4}{\pi \times D^2} = \frac{397,250 \times 4}{\pi \times 19^2}$$

$$= 1,40 \text{ dibulatkan menjadi } 2$$

$$A_s \text{ Use} = \frac{n \times \pi \times D^2}{4} = \frac{2 \times \pi \times 19^2}{4} = 567,0575 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{b - (2 \times \text{selimut beton}) - (2 \times D \text{ sengkang}) - (n \times D \text{ tul utama})}{n-1}$$

$$= \frac{350 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 19)}{2-1} = 212 \text{ mm}^2$$

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 25.2, jarak bersih antara tulangan yang sejajar tidak boleh kurang dari 25 mm.

$$S_{max} = \text{terkecil dari } 380 \left( \frac{280}{f_s} \right) - 2,5 \text{ selimut beton dan } 300 \left( \frac{280}{f_s} \right)$$

$$= 380 \left( \frac{280}{\frac{2}{3} \times 420} \right) - 2,5 \times 40 \text{ dan } 300 \left( \frac{280}{\frac{2}{3} \times 420} \right)$$

$$= 280 \text{ dan } 300 \text{ maka}$$

$$S_{\max} = 280 \text{ mm}$$

### Cek Momen Nominal Balok

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{A_s f_y}{0,85 f_c b} \\
 &= \frac{567,06 \times 420}{0,85 \times 25 \times 350} \\
 &= 32,02 \text{ mm} \\
 c &= \frac{a}{\beta_1} \\
 &= \frac{32,02}{0,85} = 37,67 \text{ mm} \\
 \epsilon_s &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\
 &= \frac{(0,003 \times (340,5 - 37,67))}{56,5} \\
 &= 0,024
 \end{aligned}$$

Karena  $\epsilon_t > 0,005$ , maka penampang merupakan penampang terkendali tarik dengan  $\phi = 0,9$  yang dimana sudah sesuai dengan tabel SNI 2847:2019 pada Tabel 21.2.2 - Faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ) untuk momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial

$$\begin{aligned}
 M_n &= A_s \times F_y \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \\
 &= \frac{567,0575 \times 420 \times \left( 340,5 - \frac{32,02}{2} \right)}{1000000} \\
 &= 77,28 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi M_n &= 0,9 \times M_n \\
 &= 0,9 \times 77,28 = 69,55 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\phi M_n = 69,55 \text{ kNm} > M_u = 6,975 \text{ kNm (OK)}$$

Maka digunakan tulangan longitudinal 2D19 pada daerah lapangan positif

## 2. Tulangan Torsi

$$Tu \text{ hasil analisis midas} = 4,1 \text{ kNm}$$

$$Vu \text{ hasil analisis midas} = 28 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} A_{cp} &= b \times h \\ &= 350 \times 400 = 140000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$P_{cp} = 2 \times (350 + 400) = 1500$$

$$\begin{aligned} \Phi T_{th} &= \frac{0,75 \times 0,083 \times 1 \times \sqrt{25} \times 140000^2}{1500} \\ &= 4067000 \text{ Nmm} \\ &= 4,067 \text{ kNm} < Tu \end{aligned}$$

$\Phi T_{th} < Tu$ , dibutuhkan tambahan tulangan torsi

$$\begin{aligned} x_1 &= \frac{b - 2 \times (\text{selimut beton} + \text{diameter tulangan sengkang})}{2} \\ &= \frac{350 - 2 \times (40 + 10)}{2} \\ &= 260 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y_1 &= \frac{h - 2 \times (\text{selimut beton} + \text{diameter tulangan sengkang})}{2} \\ &= \frac{400 - 2 \times (40 + 10)}{2} \\ &= 310 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{oh} &= x_1 \cdot y_1 \\ &= 260 \times 310 = 80600 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_o &= 0,85 \times A_{oh} \\ &= 0,85 \times 80600 = 68510 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_h &= 2 \times (x_1 + y_1) \\ &= 2 \times (260 + 310) = 1140 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \times \lambda \sqrt{f_c'} b_w d \\ &= 0,17 \times 1 \times \sqrt{(25 \times 350 \times 340,5)^2} \\ &= 101299 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Batasan 1} &= \frac{\sqrt{Vu} \times 10^3}{(b \times d)^2} + \frac{Tu \times Ph}{(1,7 \times A_{oh}^2)^2} \\ &= \frac{\sqrt{28} \times 10^3}{(350 \times 340)^2} + \frac{4,1 \times 1140}{(1,7 \times 68510^2)^2} \end{aligned}$$



$$= 0,235 \text{ N/mm}^2$$

Batasan 2

$$= 0,75 \frac{V_c}{(b \times d) + 0,66 \times \sqrt{(f'c)^2}}$$

$$= 0,75 \frac{101299}{(350 \times 340,5) + 0,66 \times \sqrt{(25)^2}}$$

$$= 3,113 \text{ N/mm}^2$$

Tn

$$= \frac{Tu}{\theta}$$

$$= \frac{4,1 \times 10^6}{0,75}$$

$$= 5466666,7 \text{ Nmm}$$

$\theta$

$$= 45$$

At/s

$$= \frac{Tn}{2A_o F_{yt} \text{COT}\theta}$$

$$= \frac{5466666,7}{2 \times 68510 \times 420 \times \text{COT}(45)}$$

$$= 0,095 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Tulangan Transversal Tumpuan:

Vs

$$= \frac{Vu - (0,75 \times Vc/1000)}{0,75}$$

$$= \frac{28 - (0,75 \times 101299/1000)}{0,75}$$

$$= -63,96541667 \text{ kN}$$

Av/s

$$= \frac{Vu \times 1000}{F_{yt} \times d}$$

$$= \frac{-63,96541667 \times 1000}{420 \times 340,5}$$

$$= -0,447279328 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Ask/ s req

$$= 2 (\text{At/s}) + \text{Av/s}$$

$$= (2 \times 0,095) - 0,447279328$$

$$= -0,257294318 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

s

$$= 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times d \text{ tul sengkang} / \text{Ask/s req}$$

$$= 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 / -0,257294318$$

$$= -610,5056414 \text{ mm}$$

s max

$$= \frac{Ph}{8}$$

$$= \frac{1140}{8} = 142,5 \text{ mm}$$

s pakai = 150 mm

$$\text{As min1} = \frac{0,062 \times \sqrt{(f'c \times b \times s \text{ pakai})^2}}{Fyt}$$

$$= \frac{0,062 \times \sqrt{(25 \times 350 \times 150)^2}}{420}$$

$$= 38,75 \text{ mm}^2$$

As min 2 =  $\frac{0,35 \times b \times s \text{ pakai}}{Fyt}$

$$= \frac{0,35 \times 350 \times 150}{420}$$

$$= 43,75 \text{ mm}^2$$

As use =  $2 \times \frac{1}{4} \times d \text{ tul sengkang}^2 \times \pi$

$$= 2 \times \frac{1}{4} \times 10^2 \times \pi$$

$$= 157,0796327 \text{ mm}^2$$

Tulangan Longitudinal Tumpuan:

Al =  $\frac{At/s \times Ph \times Fyt}{Fy \times \text{COT}^2 \theta}$

$$= \frac{0,184 \times 1140 \times 420}{420 \times \text{COT}(45)^2}$$

$$= 108,29 \text{ mm}^2$$

Al min =  $\frac{0,42 \times \sqrt{f'c \times Acp}}{Fy - At/s \times Ph \times Fyt/Fy}$

$$= \frac{0,42 \times \sqrt{(25 \times 140000)}}{420 - 0,095 \times 1140 \times 420/420}$$

$$= 591,71 \text{ mm}^2$$

Karena Al min lebih besar daripada Al maka Al use digunakan Al min yaitu 591,71 mm<sup>2</sup>

Tambahan kebutuhan torsi:

Sisi Atas =  $\frac{Al \text{ use}}{4}$

$$= \frac{591,71}{4}$$

$$= 147,93 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 \text{Sisi Bawah} &= \frac{A_l \text{ use}}{4} \\
 &= \frac{591,71}{4} \\
 &= 147,93 \text{ mm}^2 \\
 \text{Torsi} &= \frac{591,71}{2} \\
 &= 295,85 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Tambahan tulangan longitudinal tumpuan negatif:

$$\text{As perlu + Al atas} = 169,398 + 147,93 = 317,325 \text{ mm}^2$$

Tulangan longitudinal tumpuan negatif tetap digunakan 3D19 (As = 850,586 mm<sup>2</sup> > 317,325 mm<sup>2</sup>)

Tambahan tulangan longitudinal tumpuan positif:

$$\text{As perlu + Al bawah} = 84,23 + 147,93 = 232,161 \text{ mm}^2$$

Tulangan longitudinal tumpuan positif tetap digunakan 2D19 (As = 567,06 mm<sup>2</sup> > 232,161 mm<sup>2</sup>)

Tulangan torsi di tengah balok:

$$\text{Al tengah} = 295,85 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan torsi tengah 4D13 (As = 530,93 mm<sup>2</sup> > 295,85 mm<sup>2</sup>)

### 3. Tulangan Transversal

$$\text{As dari tul Tarik tumpuan} = 850,586211 \text{ mm}^2$$

$$\text{As dari tul tekan tumpuan} = 567,057474 \text{ mm}^2$$

$$\text{Vu tumpuan midas} = 28 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Apr- (Tarik)} &= \frac{1,25 \times F_y \times A_s}{0,85 \times f'_c \times b} \\
 &= \frac{1,25 \times 850,586211 \times 420}{0,85 \times 25 \times 350} \\
 &= 60,0413796 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\text{Mpr-} = 1,25 \times F_y \times A_s \times \left( d - \left( \frac{\text{apr}}{2} \right) \right)$$

$$= 1,25 \times 850,586211 \times \left( 420 - \left( \frac{340,5}{2} \right) \right)$$

$$= 138,6469455 \text{ kNm}$$

Apr- (tekan)

$$= \frac{1,25 \times Fy \times As}{0,85 \times f'c \times b}$$

$$= \frac{1,25 \times 567,057474 \times 420}{0,85 \times 25 \times 350}$$

$$= 40,0276 \text{ mm}$$

Mpr+

$$= 1,25 \times Fy \times As \times \left( d - \left( \frac{apr}{2} \right) \right)$$

$$= 1,25 \times 567,057474 \times \left( 420 - \left( \frac{340,5}{2} \right) \right)$$

$$= 95,4104 \text{ kNm}$$

Vg midas

$$= 22,3 \text{ kN}$$

ve

$$= \frac{Mpr- + Mpr+}{\frac{ln}{1000}}$$

$$= \frac{138,6469455 + 95,4104}{\frac{3200}{1000}}$$

$$= 73,14292 \text{ kN}$$

ve1

$$= ve + Vg \text{ midas}$$

$$= 73,14292 + 22,3$$

$$= 95,442921 \text{ kN}$$

ve2

$$= ve + Vg \text{ midas}$$

$$= 73,14292 - 22,3$$

$$= 50,8429 \text{ kN}$$

Nilai vu diambil hasil terbesar dari vu tumpuan midas, ve1, ve2, nilai ve1 merupakan nilai terbesar sehingga nilai vu adalah 95,442921 kN

vu lapangan

$$= \frac{(ln - 2 \times h) \times (vu - ve2)}{ln + ve2}$$

$$= \frac{(3200 - 2 \times 400) \times (95,442921 - 95,4429)}{3200 - 95,4429}$$

$$= 84,29292 \text{ kN}$$

**Tumpuan**

Cek  $0,5 vu < ve$

$0,5 vu$

$$= 0,5 \times 95,4429$$

$$= 47,7215$$

$$0,5 v_e = 73,1429$$

$$V_c = 0 \text{ (berdasarkan SNI 2847 2019 pasal 18.6.5.2 bahwa } v_c = 0 \text{ jika } 0,5 V_u \text{ kurang dari nilai } V_e)$$

$$\phi = 0,75$$

$$v_s = \frac{95,4429}{0,75} = 127,257228 \text{ kN}$$

$$V_{S_{maks}} = \frac{0,66 \times \sqrt{(25 \times 350 \times 340,5)^2}}{1000} = 393,2775 \text{ kN}$$

Diameter sengkang (direncanakan Sengkang 3D10) 10 mm

$$A_s = 2 \times 0,25 \times \pi \times d \text{ sengkang}^2$$

$$= 2 \times 0,25 \times \pi \times 10^2$$

$$= 157,079633 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{A_s \times f_y \times d}{v_s \times 1000}$$

$$= \frac{157,079633 \times 280 \times 340,5}{127,257228 \times 1000}$$

$$= 117,6827 \text{ mm}$$

$$S_{maks1} = \frac{d}{4}$$

$$= \frac{340,5}{4}$$

$$= 85,125 \text{ mm}$$

$$S_{maks2} = 6 \times d \text{ tul utama}$$

$$= 6 \times 19$$

$$= 114 \text{ mm}$$

$$S_{maks3} = 150 \text{ mm}$$

Nilai  $S_{maks}$  tumpuan plastis diambil dari nilai terkecil  $S_{maks1}$ ,  $S_{maks2}$ ,  $S_{maks3}$  pada tumpuan plastis dan nilai  $S_{maks1}$  merupakan nilai terkecil sehingga  $S_{maks1}$  adalah 85,125 mm.

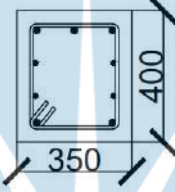
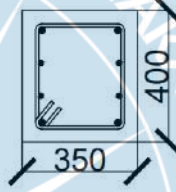
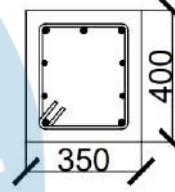
Maka digunakan tulangan transversal 2D10-75 di daerah tumpuan.

## Lapangan

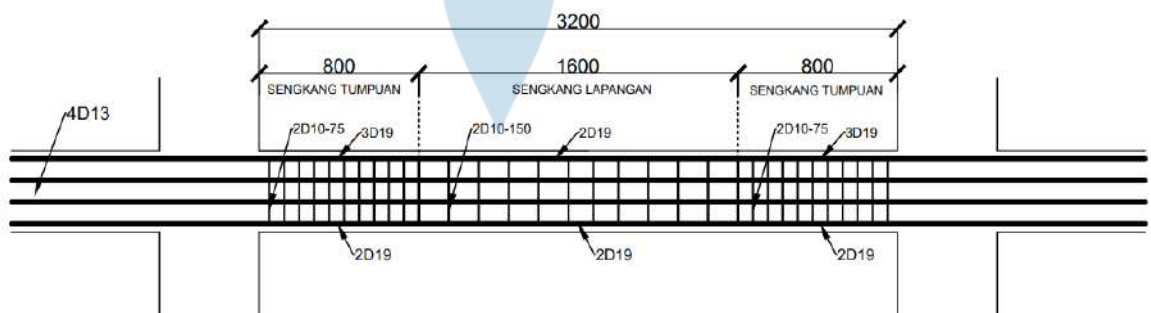
$$\begin{aligned}0,5 v_u &= 0,5 \times v_u \\ &= 0,5 \times 84,29292 \\ &= 104,4928 \\0,5 v_e &= 73,1429 \\V_c &= 0 \text{ (berdasarkan SNI 2847 2019 pasal} \\ & \text{18.6.5.2 bahwa } v_c = 0 \text{ jika } 0,5 V_u \text{ kurang} \\ & \text{dari nilai } V_e) \\ \phi &= 0,75 \\ v_s &= \frac{v_u}{\phi} - v_c \\ &= \frac{84,29292}{0,75} - 0 \\ &= 112,390561 \\V_{S_{maks}} &= \frac{0,66 \times \sqrt{(f'c \times b \times d)^2}}{1000} \\ &= \frac{0,66 \times \sqrt{(25 \times 350 \times 340,5)^2}}{1000} \\ &= 393,2775 \text{ kN} \\A_s &= 2 \times 0,25 \times \pi \times d \text{ sengkang}^2 \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 10^2 \\ &= 157,079633 \text{ mm}^2 \\S &= \frac{A_s \times f_y \times d}{v_s \times 1000} \\ &= \frac{157,0796327 \times 280 \times 540,5}{112,390561 \times 1000} \\ &= 133,2494 \text{ mm} \\S_{maks1} &= \frac{d}{2} \\ &= \frac{540,5}{2} \\ &= 270,25 \text{ mm} \\S_{maks2} &= 300 \text{ mm}\end{aligned}$$

(Berdasarkan SNI 2847 2019 pasal 9.7.6.2.2 jika  $V_s \leq 0,33 \sqrt{f_c'} b_w d$  maka  $S_{maks}$  yang diambil adalah yang terkecil dari  $d/2$  atau 600 mm)

Nilai  $S_{maks}$  lapangan diambil dari nilai terkecil  $S_{maks1}$ ,  $S_{maks2}$ , lapangan dan nilai  $S_{maks1}$  merupakan nilai terkecil sehingga  $S_{maks}$  adalah 170,25 mm. Maka digunakan tulangan transversal 2D10-150 di daerah lapangan.

BALOK	TULANGAN		
	TUMPUAN KIRI	LAPANGAN	TUMPUAN KANAN
BI 5			
UKURAN BALOK	350 X 400 mm		
TULANGAN ATAS	3D19	2D19	3D19
TULANGAN BAWAH	2D19	2D19	2D19
TULANGAN SAMPING	4D13	4D13	4D13
SENGKANG	2D10-75	2D10-150	2D10-75

Gambar 2.52 Gambar Potongan Balok Induk BI5 350x400 mm



Gambar 2.53 Gambar Penampang Melintang Balok Induk BI5 350x400 mm

### 2.7.6 Perencanaan Balok Anak BA1 200x350

Data perencanaan balok induk BA1 ukuran 200mm x 350mm dengan panjang bentang 5 m sebagai berikut:

- Mutu beton ( $f_c$ ) = 25 Mpa
- Lebar balok ( $b$ ) = 200 mm
- Tinggi balok ( $h$ ) = 350 mm
- Panjang balok ( $l$ ) = 5000 mm
- Panjang balok bersih ( $l_n$ ) = 4650 mm
- D. tul. longitudinal = 19 mm
- $f_y$  = 420 Mpa
- D. tul. transversal = 10 mm
- $f_{ys}$  = 280 Mpa
- D. tul. torsi = 13 mm
- $f_{yt}$  = 420 Mpa
- Tinggi efektif ( $d$ ) =  $350 - 40 - 10 - 19 / 2 = 290,5$  mm

Hasil analisis struktur balok BA1:

Tabel 2.25 Hasil Analisis Struktur Balok BA1

	Tumpuan	Lapangan
$M_u^-$	7,4 kNm	0 kNm
$M_u^+$	1,6 kNm	3,7 kNm
$T_u$	0,4 kNm	
$V_u$	8 kN	
$P_u$	0 kN	

#### Batasan Dimensi

- $l_n \geq 4d$   
 $4d = 4 \times 290,5 = 1162$  mm  
 $l_n = 6970$  mm >  $4d$  (OK)
- $b_w > 250$  mm



$$b_w = 350 \text{ mm} > 250 \text{ mm (OK)}$$

- $b/h > 0,3$

$$b/h = 350/600 = 0,58 > 0,3 \text{ (OK)}$$

## 1. Tulangan Longitudinal

### a. Tulangan Negatif Tumpuan

$$\phi = 0,9 \text{ (diasumsikan terkendali tarik)}$$

$$M_u \text{ tumpuan} = 7,4 \text{ kNm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{0,9} = \frac{7,4}{0,9} = 8,2222 \text{ kNm}$$

$$a = \frac{d - \sqrt{d^2 - 2|M_n \text{ req}|}}{0,85 f_c' b} = \frac{290,5 - \sqrt{(290,5)^2 - (2 \times 8,2222 \times 10^6)}}{0,85 \times 25 \times 200} = 3,189 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{3,189}{0,85} = 3,7515 \text{ mm}$$

$$\epsilon_s = \frac{d-c}{c} \times 0,003 = \frac{(0,003 \times (290,5 - 3,7515))}{3,7515} = 0,229$$

$$A_{S \text{ req}} = \frac{0,85 \times f_c' \times a \times b}{f_y} = \frac{0,85 \times 25 \times 3,189 \times 200}{420} = 32,267 \text{ mm}^2$$

$$A_{S \text{ min1}} = \frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{f_y} b_w d = \frac{0,25 \sqrt{25}}{420} 200 \times 290,5 = 172,916667 \text{ mm}^2$$

$$A_{S \text{ min2}} = \frac{1,4}{f_y} b_w d = \frac{1,4}{420} 200 \times 290,5 = 193,6666667 \text{ mm}^2$$

$$A_{S \text{ min}} = A_{S \text{ min}} \text{ diambil yang terbesar} = 193,6666667 \text{ mm}^2$$

$$A_{s_{\max}} = \frac{0,36 \times 0,85 \times 25 \times 200 \times 290,5}{420} = 1058,25 \text{ mm}^2$$

As digunakan = As<sub>req</sub> lebih kecil daripada As<sub>min</sub> sehingga As yang digunakan 193,6666667 mm<sup>2</sup>

$$n = \frac{A_s \times 4}{\pi \times D^2} = \frac{290,5 \times 4}{\pi \times 19^2} = 0,68 \text{ digunakan } 2$$

$$A_s \text{ Use} = \frac{n \times \pi \times D^2}{4} = \frac{2 \times \pi \times 19^2}{4} = 567,05747 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{b - (2 \times \text{selimut beton}) - (2 \times D \text{ sengkang}) - (n \times D \text{ tul utama})}{n - 1} = \frac{200 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 19)}{2 - 1} = 62 \text{ mm}^2$$

$$S_{\min} = 25 \text{ mm}$$

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 25.2, jarak bersih antara tulangan yang sejajar tidak boleh kurang dari 25 mm.

$$S_{\max} = \text{terkecil dari } 380 \left( \frac{280}{f_s} \right) - 2,5 \text{ selimut beton dan } 300 \left( \frac{280}{f_s} \right)$$

$$= 380 \left( \frac{280}{\frac{2}{3} \times 420} \right) - 2,5 \times 40 \text{ dan } 300 \left( \frac{280}{\frac{2}{3} \times 420} \right) = 280 \text{ dan } 300 \text{ maka}$$

$$S_{\max} = 280 \text{ mm}$$

### Cek Momen Nominal Balok

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f_c' b} = \frac{567,06 \times 420}{0,85 \times 25 \times 200} = 56,04 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{56,04}{0,85} = 65,93 \text{ mm}$$

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

$$= \frac{(0,003 \times (290,5 - 65,93))}{65,93}$$

$$= 0,0102$$

Karena  $\epsilon_t > 0,005$ , maka penampang merupakan penampang terkendali tarik dengan  $\phi = 0,9$  yang dimana sudah sesuai dengan tabel SNI 2847:2019 pada Tabel 21.2.2 - Faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ) untuk momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial

$$M_n = A_s \times F_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$= \frac{567,05747 \times 420 \times \left(290,5 - \frac{56,04}{2}\right)}{1000000}$$

$$= 62,51 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 0,9 \times 62,51 = 56,26 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 56,26 \text{ kNm} > M_u = 7,4 \text{ kNm (OK)}$$

Maka digunakan tulangan longitudinal 2D19 pada daerah tumpuan negatif.

#### b. Tulangan Positif Tumpuan

$$M_u^+ \text{ tum} = 1,6 \text{ kNm}$$

$$1/2 M_u^- \text{ tum} = 1/2 \times 7,4 = 3,7 \text{ kNm}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.6.3.2, karena pada balok ini  $M^+ \text{ tum}$  (1,6 kNm)  $<$   $1/2 M^- \text{ tum}$  (3,7 kNm) maka  $M_u$  yang digunakan untuk menentukan tulangan positif tumpuan adalah  $1/2 M^- \text{ tum} = 3,7 \text{ kNm}$ .

$$M_u = 3,7 \text{ kNm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{0,9}$$

$$= \frac{3,7}{0,9} = 4,111 \text{ kNm}$$

$$a = \frac{d - \sqrt{d^2 - 2|M_n \text{ req}|}}{0,85 f_c / b}$$

$$= \frac{290,5 - \sqrt{(290,5)^2 - (2 \times 4,111 \times 10^6)}}{0,85 \times 25 \times 200}$$

$$= 1,590 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{b_1}$$

$$= \frac{1,590}{0,85} = 1,8706 \text{ mm}$$

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

$$= \frac{(0,003 \times (290,5 - 1,8706))}{1,8706}$$

$$= 0,463$$

$$A_{sreq} = \frac{0,85 \times f_c' \times a \times b}{f_y} = \frac{0,85 \times 25 \times 1,590 \times 200}{420} = 16,089 \text{ mm}^2$$

$$A_{smin1} = \frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{f_y} b_w d$$

$$= \frac{0,25 \sqrt{25}}{420} 200 \times 290,5 = 172,916667 \text{ mm}^2$$

$$A_{smin2} = \frac{1,4}{f_y} b_w d$$

$$= \frac{1,4}{420} 200 \times 290,5 = 193,6666667 \text{ mm}^2$$

$$A_{smin} = A_{smin} \text{ diambil yang terbesar} = 193,6666667 \text{ mm}^2$$

$$A_{smax} = \frac{0,36 \times 0,85 \times 25 \times 200 \times 290,5}{420} = 1058,25 \text{ mm}^2$$

As digunakan =  $A_{sreq}$  lebih kecil daripada  $A_{smin}$  sehingga As yang digunakan  $193,6666667 \text{ mm}^2$

$$n = \frac{A_s \times 4}{\pi \times D^2} = \frac{290,5 \times 4}{\pi \times 19^2}$$

$$= 0,68 \text{ dibulatkan menjadi } 2$$

$$A_s \text{ Use} = \frac{n \times \pi \times D^2}{4} = \frac{2 \times \pi \times 19^2}{4} = 567,05747 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{b - (2 \times \text{selimut beton}) - (2 \times D \text{ sengkang}) - (n \times D \text{ tul utama})}{n-1}$$

$$= \frac{200 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 19)}{2-1} = 62 \text{ mm}^2$$

$$S_{min} = 25 \text{ mm}$$

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 25.2, jarak bersih antara tulangan yang sejajar tidak boleh kurang dari 25 mm.

$$S_{max} = \text{terkecil dari } 380 \left( \frac{280}{f_s} \right) - 2,5 \text{ selimut beton dan } 300 \left( \frac{280}{f_s} \right)$$

$$= 380 \left( \frac{280}{\frac{2}{3} \times 420} \right) - 2,5 \times 40 \text{ dan } 300 \left( \frac{280}{\frac{2}{3} \times 420} \right)$$

$$= 280 \text{ dan } 300 \text{ maka}$$

$$S_{\max} = 280 \text{ mm}$$

### Cek Momen Nominal Balok

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s f_y}{0,85 f_c' b} \\ &= \frac{567,06 \times 420}{0,85 \times 25 \times 200} \\ &= 56,04 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= \frac{a}{\beta_1} \\ &= \frac{56,04}{0,85} = 65,93 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_s &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{(0,003 \times (290,5 - 65,93))}{65,93} \\ &= 0,0102 \end{aligned}$$

Karena  $\epsilon_t > 0,005$ , maka penampang merupakan penampang terkendali tarik dengan  $\phi = 0,9$  yang dimana sudah sesuai dengan tabel SNI 2847:2019 pada Tabel 21.2.2 - Faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ) untuk momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial

$$\begin{aligned} M_n &= A_s \times F_y \times \left( d - \frac{a}{2} \right) \\ &= \frac{567,05747 \times 420 \times \left( 290,5 - \frac{56,04}{2} \right)}{1000000} \\ &= 62,51 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 \times M_n \\ &= 0,9 \times 62,51 = 56,26 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\phi M_n = 56,26 \text{ kNm} > M_u = 3,7 \text{ kNm (OK)}$$

Maka digunakan tulangan longitudinal 2D19 pada daerah tumpuan positif.

### c. Tulangan Negatif Lapangan

$$\begin{aligned} \text{Mu- lap} &= 0 \\ \frac{1}{4} \text{ Mu- tum} &= \frac{1}{4} \times \text{Mu} \\ &= \frac{1}{4} \times 7,4 = 1,85 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.6.3.2, karena pada balok ini  $M^{\text{lap}} = 0$  maka  $\text{Mu}$  yang digunakan untuk menentukan tulangan positif tumpuan adalah  $\frac{1}{4} M^{\text{tum}} = 1,85 \text{ kNm}$ .

$$\begin{aligned} \text{Mu} &= 1,85 \text{ kNm} \\ \text{Mn} &= \frac{\text{Mu}}{0,9} \\ &= \frac{1,85}{0,9} = 2,056 \text{ kNm} \\ a &= \frac{d - \sqrt{d^2 - 2|\text{Mn.req}|}}{0,85 f_c' b} \\ &= \frac{290,5 - \sqrt{(290,5)^2 - (2 \times 2,056 \times 10^6)}}{(0,85 \times 25 \times 200)} \\ &= 0,794 \text{ mm} \\ c &= \frac{a}{b_1} \\ &= \frac{0,794}{0,85} = 0,9340 \text{ mm} \\ \epsilon_s &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{(0,003 \times (290,5 - 0,9340))}{0,9340} \\ &= 0,930 \\ A_{S\text{req}} &= \frac{0,85 f_c' a x b}{f_y} = \frac{0,85 \times 25 \times 0,794 \times 200}{420} = 8,034 \text{ mm}^2 \\ A_{S\text{min1}} &= \frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{f_y} b_w d \\ &= \frac{0,25 \sqrt{25}}{420} 200 \times 290,5 = 172,916667 \text{ mm}^2 \\ A_{S\text{min2}} &= \frac{1,4}{f_y} b_w d \\ &= \frac{1,4}{420} 200 \times 290,5 = 193,6666667 \text{ mm}^2 \\ A_{S\text{min}} &= A_{S\text{min}} \text{ diambil yang terbesar} = 193,6666667 \text{ mm}^2 \\ A_{S\text{max}} &= \frac{0,36 \times 0,85 \times 25 \times 200 \times 290,5}{420} = 1058,25 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

As = As<sub>req</sub> lebih kecil daripada As<sub>min</sub> sehingga As yang digunakan 193,6666667 mm<sup>2</sup>

$$n = \frac{As \times 4}{\pi \times D^2} = \frac{290,5 \times 4}{\pi \times 19^2}$$

= 0,68 dibulatkan menjadi 2

$$As \text{ Use} = \frac{n \times \pi \times D^2}{4} = \frac{2 \times \pi \times 19^2}{4} = 567,05747 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{b - (2 \times \text{selimut beton}) - (2 \times D \text{ sengkang}) - (n \times D \text{ tul utama})}{n - 1}$$

$$= \frac{200 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 19)}{2 - 1} = 62 \text{ mm}^2$$

$$S_{min} = 25 \text{ mm}$$

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 25.2, jarak bersih antara tulangan yang sejajar tidak boleh kurang dari 25 mm.

$$S_{max} = \text{terkecil dari } 380 \left( \frac{280}{f_s} \right) - 2,5 \text{ selimut beton dan}$$

$$300 \left( \frac{280}{f_s} \right)$$

$$= 380 \left( \frac{280}{\frac{2}{3} \times 420} \right) - 2,5 \times 40 \text{ dan } 300 \left( \frac{280}{\frac{2}{3} \times 420} \right)$$

$$= 280 \text{ dan } 300 \text{ maka}$$

$$S_{max} = 280 \text{ mm}$$

### Cek Momen Nominal Balok

$$a = \frac{As f_y}{0,85 f_c' b}$$

$$= \frac{567,06 \times 420}{0,85 \times 25 \times 200}$$

$$= 56,04 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{b_1}$$

$$= \frac{56,04}{0,85} = 65,93 \text{ mm}$$

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

$$= \frac{(0,003 \times (290,5 - 65,93))}{65,93}$$

$$= 0,0102$$

Karena  $\epsilon_t > 0,005$ , maka penampang merupakan penampang terkendali tarik dengan  $\phi = 0,9$  yang dimana sudah sesuai dengan tabel SNI 2847:2019 pada Tabel 21.2.2 - Faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ) untuk momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial

$$M_n = A_s \times F_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$= \frac{567,05747 \times 420 \times \left(290,5 - \frac{56,04}{2}\right)}{1000000}$$

$$= 62,51 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 0,9 \times M_n$$

$$= 0,9 \times 62,51 = 56,26 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 56,26 \text{ kNm} > M_u = 1,85 \text{ kNm (OK)}$$

Maka digunakan tulangan longitudinal 2D19 pada daerah lapangan negatif.

#### d. Tulangan Positif Lapangan

$$M_{u+ \text{ tum}} = 3,7 \text{ kNm}$$

$$\frac{1}{4} M_{u- \text{ tum}} = \frac{1}{4} \times M_u$$

$$= \frac{1}{4} \times 7,4 = 1,85 \text{ kNm}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.6.3.2, karena pada balok ini  $M^+ \text{ tum}$  (3,7 kNm)  $>$   $\frac{1}{4} M^- \text{ tum}$  (1,85 kNm) maka  $M_u$  yang digunakan untuk menentukan tulangan positif tumpuan adalah  $M^+ \text{ tum} = 3,7 \text{ kNm}$ .

$$M_u = 3,7 \text{ kNm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{0,9}$$

$$= \frac{3,7}{0,9} = 4,111 \text{ kNm}$$

$$a = \frac{d - \sqrt{d^2 - 2|M_n \cdot req|}}{0,85 f_c' / b}$$

$$= \frac{290,5 - \sqrt{(290,5)^2 - (2 \times 4,111 \times 10^6)}}{0,85 \times 25 \times 200}$$



$$\begin{aligned}
&= 1,590 \text{ mm} \\
c &= \frac{a}{b_1} \\
&= \frac{1,590}{0,85} = 1,8706 \text{ mm} \\
\varepsilon_s &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\
&= \frac{(0,003 \times (290,5 - 1,8706))}{1,8706} \\
&= 0,463 \\
A_{sreq} &= \frac{0,85 \times f'c' \times a \times b}{f_y} = \frac{0,85 \times 25 \times 1,590 \times 200}{420} = 16,089 \text{ mm}^2 \\
A_{smin1} &= \frac{0,25 \sqrt{f'c'}}{f_y} b_w d \\
&= \frac{0,25 \sqrt{25}}{420} 200 \times 290,5 = 172,916667 \text{ mm}^2 \\
A_{smin2} &= \frac{1,4}{f_y} b_w d \\
&= \frac{1,4}{420} 200 \times 290,5 = 193,6666667 \text{ mm}^2 \\
A_{smin} &= A_{smin} \text{ diambil yang terbesar} = 193,6666667 \text{ mm}^2 \\
A_{smax} &= \frac{0,36 \times 0,85 \times 25 \times 200 \times 290,5}{420} = 1058,25 \text{ mm}^2 \\
A_s &= A_{sreq} \text{ lebih kecil daripada } A_{smin} \text{ sehingga } A_s \text{ yang} \\
&\text{digunakan} \quad 193,6666667 \text{ mm}^2 \\
n &= \frac{A_s \times 4}{\pi \times D^2} = \frac{290,5 \times 4}{\pi \times 19^2} \\
&= 0,68 \text{ dibulatkan menjadi } 2 \\
A_s \text{ Use} &= \frac{n \times \pi \times D^2}{4} = \frac{2 \times \pi \times 19^2}{4} = 567,05747 \text{ mm}^2 \\
s &= \\
&\frac{b - (2 \times \text{selimut beton}) - (2 \times D \text{ sengkang}) - (n \times D \text{ tul utama})}{n-1} \\
&= \frac{200 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 19)}{2-1} = 62 \text{ mm}^2 \\
S_{min} &= 25 \text{ mm}
\end{aligned}$$

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 25.2, jarak bersih antara tulangan yang sejajar tidak boleh kurang dari 25 mm.

$$S_{\max} = \text{terkecil dari } 380\left(\frac{280}{f_s}\right) - 2,5 \text{ selimut beton dan } 300\left(\frac{280}{f_s}\right)$$

$$= 380\left(\frac{280}{\frac{2}{3} \times 420}\right) - 2,5 \times 40 \text{ dan } 300\left(\frac{280}{\frac{2}{3} \times 420}\right)$$

$$= 280 \text{ dan } 300 \text{ maka}$$

$$S_{\max} = 280 \text{ mm}$$

### Cek Momen Nominal Balok

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f_c' b} = \frac{567,06 \times 420}{0,85 \times 25 \times 200} = 56,04 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{56,04}{0,85} = 65,93 \text{ mm}$$

$$\epsilon_s = \frac{d-c}{c} \times 0,003 = \frac{(0,003 \times (290,5 - 65,93))}{65,93} = 0,0102$$

Karena  $\epsilon_t > 0,005$ , maka penampang merupakan penampang terkendali tarik dengan  $\phi = 0,9$  yang dimana sudah sesuai dengan tabel SNI 2847:2019 pada Tabel 21.2.2 - Faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ) untuk momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial

$$M_n = A_s \times F_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) = \frac{567,05747 \times 420 \times \left(290,5 - \frac{56,04}{2}\right)}{1000000} = 62,51 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 0,9 \times M_n = 0,9 \times 62,51 = 56,26 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 56,26 \text{ kNm} > M_u = 3,7 \text{ kNm (OK)}$$

Maka digunakan tulangan longitudinal 2D19 pada daerah lapangan positif.

## 2. Tulangan Torsi

$$T_u \text{ hasil analisis midas} = 0,4 \text{ kNm}$$

$$V_u \text{ hasil analisis midas} = 8 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} A_{cp} &= b \times h \\ &= 200 \times 350 = 70000 \end{aligned}$$

$$P_{cp} = 2 \times (200 + 350) = 1100$$

$$\begin{aligned} \Phi T_{th} &= \frac{0,75 \times 0,083 \times 1 \times \sqrt{25} \times 70000^2}{1100} \\ &= 1386477,273 \text{ Nmm} \\ &= 1,386477273 \text{ kNm} > T_u \end{aligned}$$

Karena  $\Phi T_{th} > T_u$ , maka tidak diperlukan penambahan tulangan torsi.

Namun tetap ditambahkan tulangan longitudinal pada tengah penampang 2D13.

## 3. Tulangan Transversal

$$V_u \text{ Midas} = 8 \text{ kN}$$

$$D \text{ tul utama} = 19 \text{ mm}$$

$$D \text{ tul sengkang} = 10 \text{ mm}$$

$$d = 290,5$$

$$\begin{aligned} V_c &= \frac{(0,71 \times 1 \times \sqrt{25} \times 200 \times 290,5)^2}{1000} \\ &= 49,385 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\phi = 0,75$$

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{8}{0,75} - 49,385 \\ &= -38,7183 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s \text{ maks} &= \frac{(0,66 \times \sqrt{25} \times 200 \times 290,5)^2}{1000} \\ &= 191,93 \text{ kN (OK)} \end{aligned}$$

## Tumpuan

$$\begin{aligned}A_s &= 2 \times 0,25 \times \pi \times d^2 \\ &= 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 \\ &= 157,0796 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}s &= \frac{157,0796 \times 280 \times 290,5 / -38,7183}{1000} \\ &= -329,995 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}0,33 \times \sqrt{f_c} \times b_w \times d &= \frac{0,33 \times \sqrt{25} \times 300 \times 290,5^2}{1000} \\ &= 95,865\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}S_{\text{maks1}} &= 95,865, 290,5/2 \times 290,5/4 \\ &= 145,25 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$S_{\text{maks2}} = 600 \text{ mm}$$

(Berdasarkan SNI 2847 2019 pasal 9.7.6.2.2 jika  $V_s \leq 0,33 \sqrt{f_c} b_w d$  maka  $S_{\text{maks}}$  yang diambil adalah yang terkecil dari  $d/2$  atau 600 mm).

Maka digunakan tulangan transversal 2D10-125 pada daerah tumpuan.

## Lapangan

$$\begin{aligned}A_s &= 2 \times 0,25 \times \pi \times d^2 \\ &= 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 \\ &= 157,0796 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}s &= \frac{157,0796 \times 280 \times 290,5 / -38,7183}{1000} \\ &= -329,995 \text{ mm}\end{aligned}$$

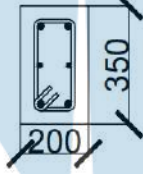

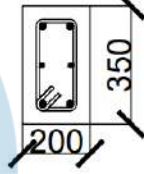
$$\begin{aligned}0,33 \times \sqrt{f_c} \times b_w \times d &= \frac{0,33 \times \sqrt{25} \times 300 \times 290,5^2}{1000} \\ &= 95,865\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}S_{\text{maks1}} &= \frac{d}{2} \\ &= \frac{290,5}{2} \\ &= 145,25 \text{ mm}\end{aligned}$$

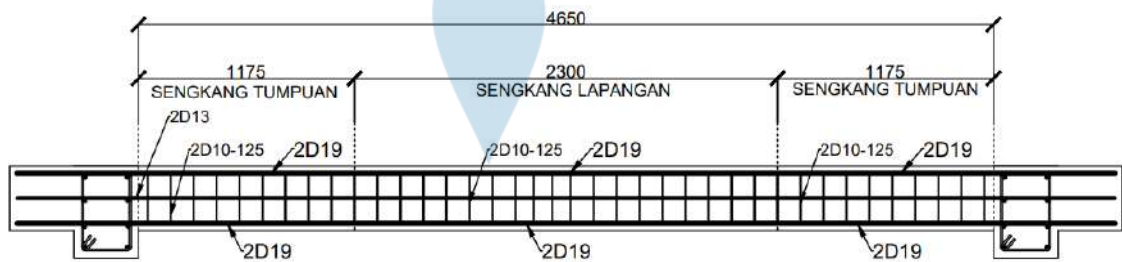
$$S_{maks2} = 600 \text{ mm}$$

(Berdasarkan SNI 2847 2019 pasal 9.7.6.2.2 jika  $V_s \leq 0,33 \sqrt{f_c'} b_w d$  maka  $S_{maks}$  yang diambil adalah yang terkecil dari  $d/2$  atau 600 mm).

Maka digunakan tulangan transversal 2D10-125 pada daerah lapangan.

BALOK	TULANGAN		
	TUMPUAN KIRI	LAPANGAN	TUMPUAN KANAN
BA 1			
UKURAN BALOK	200 X 350 mm		
TULANGAN ATAS	2D19	2D19	2D19
TULANGAN BAWAH	2D19	2D19	2D19
TULANGAN SAMPING	2D13	2D13	2D13
SENGKANG	2D10-125	2D10-125	2D10-125

Gambar 2.54 Gambar Potongan Balok Anak BA 1 200x350 mm



Gambar 2.55 Gambar Penampang Melintang Balok Anak BA 1 200x350 mm

### 2.7.7 Perencanaan Balok Anak BA2 300x550

Data perencanaan balok induk BA 2 ukuran 300mm x 550mm dengan panjang bentang 8,09 m sebagai berikut:

- Mutu beton ( $f_c$ ) = 25 Mpa
- Lebar balok ( $b$ ) = 300 mm
- Tinggi balok ( $h$ ) = 550 mm
- Panjang balok ( $l$ ) = 8090 mm
- Panjang balok bersih ( $l_n$ ) = 7740 mm
- D. tul. longitudinal = 19 mm
- $f_y$  = 420 Mpa
- D. tul. transversal = 10 mm
- $f_{ys}$  = 280 Mpa
- D. tul. torsi = 13 mm
- $f_{yt}$  = 420 Mpa
- Tinggi efektif ( $d$ ) =  $550 - 40 - 10 - 19 / 2 = 490,5$  mm

Hasil analisis struktur balok BA 2:

Tabel 2.26 Hasil Analisis Struktur Balok BA2

	Tumpuan	Lapangan
$M_u^-$	30,5 kNm	0 kNm
$M_u^+$	15,09 kNm	37,2 kNm
$T_u$	5,9 kNm	
$V_u$	28,4 kN	
$P_u$	0 kN	

#### Batasan Dimensi

- $l_n \geq 4d$   
 $4d = 4 \times 490,5 = 1962$  mm  
 $l_n = 6970$  mm >  $4d$  (OK)
- $b_w > 250$  mm

$$b_w = 350 \text{ mm} > 250 \text{ mm (OK)}$$

- $b/h > 0,3$

$$b/h = 350/600 = 0,58 > 0,3 \text{ (OK)}$$

## 1. Tulangan Longitudinal

### a. Tulangan Negatif Tumpuan

$$\phi = 0,9 \text{ (diasumsikan terkendali tarik)}$$

$$M_u \text{ tum} = 30,5 \text{ kNm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{0,9} = \frac{30,5}{0,9} = 33,8889 \text{ kNm}$$

$$a = \frac{d - \sqrt{d^2 - 2|M_n \cdot \text{req}|}}{0,85 f_c' b} = \frac{490,5 - \sqrt{(490,5)^2 - (2 \times 33,889 \times 10^6)}}{0,85 \times 25 \times 300} = 10,960 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{10,960}{0,85} = 10,960 \text{ mm}$$

$$\epsilon_s = \frac{d-c}{c} \times 0,003 = \frac{(0,003 \times (490,5 - 10,960))}{10,960}$$

$$= 0,111$$

$$A_{S_{\text{req}}} = \frac{0,85 f_c' a x b}{f_y} = \frac{0,85 \times 25 \times 10,960 \times 300}{420} = 166,360 \text{ mm}^2$$

$$A_{S_{\text{min1}}} = \frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{f_y} b_w d = \frac{0,25 \sqrt{25}}{420} 300 \times 490,5 = 473,9464 \text{ mm}^2$$

$$A_{S_{\text{min2}}} = \frac{1,4}{f_y} b_w d = \frac{1,4}{420} 300 \times 490,5 = 490,5 \text{ mm}^2$$

$$A_{S_{\text{min}}} = A_{S_{\text{min}}} \text{ diambil yang terbesar} = 490,5 \text{ mm}^2$$

$$A_{S_{\text{max}}} = \frac{0,36 \times 0,85 \times 25 \times 300 \times 490,5}{420} = 2680,232 \text{ mm}^2$$

As = As<sub>req</sub> lebih kecil daripada As<sub>min</sub> sehingga As yang digunakan 490,500 mm<sup>2</sup>

$$n = \frac{As \times 4}{\pi \times D^2} = \frac{490,5 \times 4}{\pi \times 19^2} = 1,73 \text{ digunakan } 3$$

$$As \text{ Use} = \frac{n \times \pi \times D^2}{4} = \frac{3 \times \pi \times 19^2}{4} = 850,59 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{b - (2 \times \text{selimut beton}) - (2 \times D \text{ sengkang}) - (n \times D \text{ tul utama})}{n - 1} = \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (3 \times 19)}{3 - 1} = 612 \text{ mm}^2$$

$$s_{min} = 25 \text{ mm}$$

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 25.2, jarak bersih antara tulangan yang sejajar tidak boleh kurang dari 25 mm.

$$s_{max} = \text{terkecil dari } 380 \left( \frac{280}{f_s} \right) - 2,5 \text{ selimut beton dan}$$

$$300 \left( \frac{280}{f_s} \right) = 380 \left( \frac{280}{\frac{2}{3} \times 420} \right) - 2,5 \times 40 \text{ dan } 300 \left( \frac{280}{\frac{2}{3} \times 420} \right) = 280 \text{ dan } 300 \text{ maka}$$

$$s_{max} = 280 \text{ mm}$$

### Cek Momen Nominal Balok

$$a = \frac{As f_y}{0,85 f_c' b} = \frac{850,59 \times 420}{0,85 \times 25 \times 300} = 56,04 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{56,04}{0,85} = 65,93 \text{ mm}$$

$$\epsilon_s = \frac{d - c}{c} \times 0,003 = \frac{(0,003 \times (490,5 - 65,93))}{65,93}$$



$$= 0,0193$$

Karena  $\epsilon_t > 0,005$ , maka penampang merupakan penampang terkendali tarik dengan  $\phi = 0,9$  yang dimana sudah sesuai dengan tabel SNI 2847:2019 pada Tabel 21.2.2 - Faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ) untuk momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial

$$\begin{aligned} M_n &= A_s \times F_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ &= \frac{850,59 \times 420 \times (490,5 - \frac{56,04}{2})}{1000000} \\ &= 165,22 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 \times M_n \\ &= 0,9 \times 165,22 = 148,7 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\phi M_n = 148,7 \text{ kNm} > M_u = 30,5 \text{ kNm} \text{ (OK)}$$

Maka digunakan tulangan longitudinal 3D19 pada daerah tumpuan negatif.

#### b. Tulangan Positif Tumpuan

$$\begin{aligned} M_u^+ \text{ tum} &= 15,09 \text{ kNm} \\ \frac{1}{2} M_u^- \text{ tum} &= \frac{1}{2} \times M_u \\ &= \frac{1}{2} \times 30,5 = 15,25 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.6.3.2, karena pada balok ini  $M^+ \text{ tum} (15,09 \text{ kNm}) < \frac{1}{2} M^- \text{ tum} (15,25 \text{ kNm})$  maka  $M_u$  yang digunakan untuk menentukan tulangan positif tumpuan adalah  $\frac{1}{2} M^- \text{ tum} = 15,25 \text{ kNm}$ .

$$\begin{aligned} M_u &= 15,27 \text{ kNm} \\ M_n &= \frac{M_u}{0,9} \\ &= \frac{15,27}{0,9} = 16,944 \text{ kNm} \\ a &= \frac{d - \sqrt{d^2 - 2|M_n \text{ req}|}}{0,85 f_c / b} \\ &= \frac{490,5 - \sqrt{(490,5)^2 - (2 \times 16,944 \times 10^6)}}{0,85 \times 25 \times 300} \\ &= 5,449 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$c = \frac{a}{b_1} = \frac{5,449}{0,85} = 6,4107 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_s = \frac{d-c}{c} \times 0,003 = \frac{(0,003 \times (490,5 - 6,4107))}{6,4107} = 0,227$$

$$A_{sreq} = \frac{0,85 \times f_c' \times a \times b}{f_y} = \frac{0,85 \times 25 \times 5,449 \times 300}{420} = 82,710 \text{ mm}^2$$

$$A_{smin1} = \frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{f_y} b_w d = \frac{0,25 \sqrt{25}}{420} 300 \times 490,5 = 473,9464 \text{ mm}^2$$

$$A_{smin2} = \frac{1,4}{f_y} b_w d = \frac{1,4}{420} 300 \times 490,5 = 490,5 \text{ mm}^2$$

$$A_{smin} = A_{smin} \text{ diambil yang terbesar} = 490,5 \text{ mm}^2$$

$$A_{smax} = \frac{0,36 \times 0,85 \times 25 \times 300 \times 490,5}{420} = 2680,232 \text{ mm}^2$$

As =  $A_{sreq}$  lebih kecil daripada  $A_{smin}$  sehingga As yang digunakan  $490,500 \text{ mm}^2$

$$n = \frac{A_s \times 4}{\pi \times D^2} = \frac{490,5 \times 4}{\pi \times 19^2} = 1,73 \text{ dibulatkan menjadi } 3$$

$$A_s \text{ Use} = \frac{n \times \pi \times D^2}{4} = \frac{3 \times \pi \times 19^2}{4} = 850,59 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{b - (2 \times \text{selimut beton}) - (2 \times D \text{ sengkang}) - (n \times D \text{ tul utama})}{n-1} = \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 19)}{2-1} = 612 \text{ mm}^2$$

$$s_{min} = 25 \text{ mm}$$

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 25.2, jarak bersih antara tulangan yang sejajar tidak boleh kurang dari 25 mm.

$$S_{\max} = \text{terkecil dari } 380\left(\frac{280}{f_s}\right) - 2,5 \text{ selimut beton dan } 300\left(\frac{280}{f_s}\right)$$

$$= 380\left(\frac{280}{\frac{2}{3} \times 420}\right) - 2,5 \times 40 \text{ dan } 300\left(\frac{280}{\frac{2}{3} \times 420}\right)$$

$$= 280 \text{ dan } 300 \text{ maka}$$

$$S_{\max} = 280 \text{ mm}$$

### Cek Momen Nominal Balok

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f_c' b} = \frac{850,59 \times 420}{0,85 \times 25 \times 300}$$

$$= 56,04 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{56,04}{0,85} = 65,93 \text{ mm}$$

$$\epsilon_s = \frac{d-c}{c} \times 0,003 = \frac{(0,003 \times (490,5 - 65,93))}{65,93}$$

$$= 0,0193$$

Karena  $\epsilon_t > 0,005$ , maka penampang merupakan penampang terkendali tarik dengan  $\phi = 0,9$  yang dimana sudah sesuai dengan tabel SNI 2847:2019 pada Tabel 21.2.2 - Faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ) untuk momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial

$$M_n = A_s \times F_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) = \frac{850,59 \times 420 \times \left(490,5 - \frac{56,04}{2}\right)}{1000000}$$

$$= 165,22 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 0,9 \times M_n$$

$$= 0,9 \times 165,22 = 148,7 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 148,7 \text{ kNm} > M_u = 15,25 \text{ kNm (OK)}$$

Maka digunakan tulangan longitudinal 2D19 pada daerah tumpuan positif.

### c. Tulangan Negatif Lapangan

$$\begin{aligned} M_u^{\text{lap}} &= 0 \\ \frac{1}{4} M_u^{\text{tum}} &= \frac{1}{4} \times M_u \\ &= \frac{1}{4} \times 30,5 = 7,625 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.6.3.2, karena pada balok ini  $M^{\text{lap}} = 0$  maka  $M_u$  yang digunakan untuk menentukan tulangan positif tumpuan adalah  $\frac{1}{4} M^{\text{tum}} = 7,625 \text{ kNm}$ .

$$\begin{aligned} M_u &= 7,625 \text{ kNm} \\ M_n &= \frac{M_u}{0,9} \\ &= \frac{7,625}{0,9} = 8,472 \text{ kNm} \\ a &= \frac{d - \sqrt{d^2 - 2|M_n \cdot \text{req}|}}{0,85 f_c' b} \\ &= \frac{490,5 - \sqrt{(490,5)^2 - (2 \times 8,472 \times 10^6)}}{(0,85 \times 25 \times 300)} \\ &= 2,717 \text{ mm} \\ c &= \frac{a}{b_1} \\ &= \frac{2,717}{0,85} = 3,1964 \text{ mm} \\ \epsilon_s &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{(0,003 \times (490,5 - 3,1964))}{3,1964} \\ &= 0,457 \\ A_{S\text{req}} &= \frac{0,85 \times f_c' \times a \times b}{f_y} = \frac{0,85 \times 25 \times 2,717 \times 300}{420} = 41,240 \text{ mm}^2 \\ A_{S\text{min1}} &= \frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{f_y} b_w d \\ &= \frac{0,25 \sqrt{25}}{420} 300 \times 490,5 = 473,9464 \text{ mm}^2 \\ A_{S\text{min2}} &= \frac{1,4}{f_y} b_w d \end{aligned}$$

$$= \frac{1,4}{420} 300 \times 490,5 = 490,5 \text{ mm}^2$$

$$A_{S_{\min}} = A_{S_{\min}} \text{ diambil yang terbesar} = 490,5 \text{ mm}^2$$

$$A_{S_{\max}} = \frac{0,36 \times 0,85 \times 25 \times 300 \times 490,5}{420} = 2680,232 \text{ mm}^2$$

$A_s$  =  $A_{s_{\text{req}}}$  lebih kecil daripada  $A_{S_{\min}}$  sehingga  $A_s$  yang digunakan  $490,500 \text{ mm}^2$

$$n = \frac{A_s \times 4}{\pi \times D^2} = \frac{490,5 \times 4}{\pi \times 19^2} = 1,73 \text{ dibulatkan menjadi } 2$$

$$A_s \text{ Use} = \frac{n \times \pi \times D^2}{4} = \frac{2 \times \pi \times 19^2}{4} = 567,0575 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{b - (2 \times \text{selimut beton}) - (2 \times D \text{ sengkang}) - (n \times D \text{ tul utama})}{n - 1} = \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 19)}{2 - 1} = 612 \text{ mm}^2$$

$$S_{\min} = 25 \text{ mm}$$

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 25.2, jarak bersih antara tulangan yang sejajar tidak boleh kurang dari 25 mm.

$$S_{\max} = \text{terkecil dari } 380 \left( \frac{280}{f_s} \right) - 2,5 \text{ selimut beton dan } 300 \left( \frac{280}{f_s} \right)$$

$$= 380 \left( \frac{280}{\frac{2}{3} \times 420} \right) - 2,5 \times 40 \text{ dan } 300 \left( \frac{280}{\frac{2}{3} \times 420} \right)$$

$$= 280 \text{ dan } 300 \text{ maka}$$

$$S_{\max} = 280 \text{ mm}$$

### Cek Momen Nominal Balok

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f_c b} = \frac{567,0575 \times 420}{(0,85 \times 25 \times 300)} = 37,36 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{b_1} = \frac{37,36}{0,85} = 43,95 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_s &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{(0,003 \times (490,5 - 43,95))}{43,95} \\ &= 0,0305 \end{aligned}$$

Karena  $\epsilon_t > 0,005$ , maka penampang merupakan penampang terkendali tarik dengan  $\phi = 0,9$  yang dimana sudah sesuai dengan tabel SNI 2847:2019 pada Tabel 21.2.2 - Faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ) untuk momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial

$$\begin{aligned} M_n &= A_s \times F_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ &= \frac{567,0575 \times 420 \times \left(490,5 - \frac{37,36}{2}\right)}{1000000} \\ &= 112,37 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 \times M_n \\ &= 0,9 \times 112,37 = 101,13 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\phi M_n = 101,13 \text{ kNm} > M_u = 7,625 \text{ kNm (OK)}$$

Maka digunakan tulangan longitudinal 2D19 pada daerah lapangan negatif.

#### d. Tulangan Positif Lapangan

$$M_u^+ \text{ lap} = 37,2 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{4} M_u^- \text{ tum} &= \frac{1}{4} \times m_u \\ &= \frac{1}{4} \times 30,5 = 7,625 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.6.3.2, karena pada balok ini  $M^+ \text{ lap}$  (37,2 kNm)  $>$   $\frac{1}{4} M^- \text{ tum}$  (7,625 kNm). maka  $M_u$  yang digunakan untuk menentukan tulangan positif tumpuan adalah  $M^+ \text{ lap} = 37,2 \text{ kNm}$ .

$$M_u = 37,2 \text{ kNm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{0,9}$$

$$= \frac{37,2}{0,9} = 41,333 \text{ kNm}$$

a

$$= \frac{d - \sqrt{d^2 - 2|Mn.req|}}{0,85 f_c/b}$$

$$= \frac{490,5 - \sqrt{(490,5)^2 - (2 \times 41,333 \times 10^6)}}{(0,85 \times 25 \times 300)}$$

$$= 13,402 \text{ mm}$$

c

$$= \frac{a}{b_1}$$

$$= \frac{13,402}{0,85} = 15,7665 \text{ mm}$$

$\epsilon_s$

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

$$= \frac{(0,003 \times (490,5 - 15,7665))}{15,7665}$$

$$= 0,090$$

$A_{sreq}$

$$= \frac{0,85 \times f_c' \times a \times b}{f_y} = \frac{0,85 \times 25 \times 13,402 \times 300}{420} = 203,416 \text{ mm}^2$$

$A_{smin1}$

$$= \frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{f_y} b_w d$$

$$= \frac{0,25 \sqrt{25}}{420} 300 \times 490,5 = 473,9464 \text{ mm}^2$$

$A_{smin2}$

$$= \frac{1,4}{f_y} b_w d$$

$$= \frac{1,4}{420} 300 \times 490,5 = 490,5 \text{ mm}^2$$

$A_{smin}$

$$= A_{smin} \text{ diambil yang terbesar} = 490,5 \text{ mm}^2$$

$A_{smax}$

$$= \frac{0,36 \times 0,85 \times 25 \times 300 \times 490,5}{420} = 2680,232 \text{ mm}^2$$

$A_s$

$A_s$  digunakan  $A_{sreq}$  lebih kecil daripada  $A_{smin}$  sehingga  $A_s$  yang digunakan  $490,500 \text{ mm}^2$

n

$$= \frac{A_s \times 4}{\pi \times D^2} = \frac{490,5 \times 4}{\pi \times 19^2}$$

$$= 1,73 \text{ dibulatkan menjadi } 2$$

$A_s \text{ Use}$

$$= \frac{n \times \pi \times D^2}{4} = \frac{2 \times \pi \times 19^2}{4} = 567,0575 \text{ mm}^2$$

s

$$= \frac{b - (2 \times \text{selimut beton}) - (2 \times D \text{ sengkang}) - (n \times D \text{ tul utama})}{n-1}$$

$$= \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 19)}{2 - 1} = 612 \text{ mm}^2$$

$$S_{\min} = 25 \text{ mm}$$

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 25.2, jarak bersih antara tulangan yang sejajar tidak boleh kurang dari 25 mm.

$$S_{\max} = \text{terkecil dari } 380 \left( \frac{280}{f_s} \right) - 2,5 \text{ selimut beton dan } 300 \left( \frac{280}{f_s} \right)$$

$$= 380 \left( \frac{280}{\frac{2}{3} \times 420} \right) - 2,5 \times 40 \text{ dan } 300 \left( \frac{280}{\frac{2}{3} \times 420} \right)$$

$$= 280 \text{ dan } 300 \text{ maka}$$

$$S_{\max} = 280 \text{ mm}$$

### Cek Momen Nominal Balok

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f_c' b}$$

$$= \frac{567,0575 \times 420}{(0,85 \times 25 \times 300)}$$

$$= 37,36 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{b_1}$$

$$= \frac{37,36}{0,85} = 43,95 \text{ mm}$$

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

$$= \frac{(0,003 \times (490,5 - 43,95))}{43,95}$$

$$= 0,0305$$

Karena  $\epsilon_t > 0,005$ , maka penampang merupakan penampang terkendali tarik dengan  $\phi = 0,9$  yang dimana sudah sesuai dengan tabel SNI 2847:2019 pada Tabel 21.2.2 - Faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ) untuk momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial

$$M_n = A_s \times F_y \times \left( d - \frac{a}{2} \right)$$



$$= \frac{567,0575 \times 420 \times (490,5 - \frac{37,36}{2})}{1000000}$$

$$= 112,37 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 0,9 \times 112,37 = 101,13 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 101,13 \text{ kNm} > M_u = 37,2 \text{ kNm (OK)}$$

Maka digunakan tulangan longitudinal 2D19 pada daerah lapangan positif.

## 2. Tulangan Torsi

$$T_u \text{ hasil analisis midas} = 5,9 \text{ kNm}$$

$$V_u \text{ hasil analisis midas} = 28,4 \text{ kN}$$

$$A_{cp} = b \times h$$

$$= 300 \times 550 = 165000$$

$$P_{cp} = 2 \times (300 + 550) = 1700$$

$$\phi T_{th} = \frac{0,75 \times 0,083 \times 1 \times \sqrt{25} \times 165000^2}{1700}$$

$$= 4984577,206 \text{ Nmm}$$

$$= 4,984577206 \text{ kNm} < T_u$$

$\phi T_{th} < T_u$ , dibutuhkan tambahan tulangan torsi

$$x_1 = \frac{b - 2 \times (\text{selimut beton} + \text{diameter tulangan sengkang})}{2}$$

$$= \frac{300 - 2 \times (40 + 10)}{2}$$

$$= 210 \text{ mm}$$

$$y_1 = \frac{b - 2 \times (\text{selimut beton} + \text{diameter tulangan sengkang})}{2}$$

$$= \frac{550 - 2 \times (40 + 10)}{2}$$

$$= 460 \text{ mm}$$

$$A_{oh} = x_1 \cdot y_1$$

$$= 210 \times 460 = 96600 \text{ mm}^2$$

$$A_o = 0,85 \times A_{oh}$$

$$= 0,85 \times 96600 = 82110 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} Ph &= 2 \times (x_1 + y_1) \\ &= 2 \times (210 + 460) = 1340 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \times \lambda \sqrt{f_c'} b_w d \\ &= 0,17 \times 1 \times \sqrt{(25 \times 300 \times 490,5)^2} \\ &= 125078 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Batasan 1} &= \frac{\sqrt{V_u} \times 10^3}{(b \times d)^2} + \frac{T_u \times Ph}{(1,7 \times A_o h^2)^2} \\ &= \frac{\sqrt{28,4} \times 10^3}{(300 \times 490,5)^2} + \frac{5,9 \times 1340}{(1,7 \times 96600^2)^2} \\ &= 0,193 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Batasan 2} &= 0,75 \frac{V_c}{(b \times d) + 0,66 \times \sqrt{(f_c')^2}} \\ &= 0,75 \frac{125078}{(300 \times 490,5) + 0,66 \times \sqrt{(25)^2}} \\ &= 3,113 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_n &= \frac{T_u}{\theta} \\ &= \frac{5,9 \times 10^6}{0,75} \\ &= 7866666,67 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\theta = 45$$

$$\begin{aligned} A_t/s &= \frac{T_n}{2A_o F_{yt} \cot \theta} \\ &= \frac{7866666,67}{2 \times 82110 \times 420 \times \cot(45)} \\ &= 0,114 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

#### Tulangan Transversal Tumpuan

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{V_u - (0,75 \times V_c/1000)}{0,75} \\ &= \frac{28,4 - (0,75 \times 125078/1000)}{0,75} \\ &= -87,21083333 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_v/s &= \frac{V_u \times 1000}{F_{yt} \times d} \\ &= \frac{-87,21083333 \times 1000}{420 \times 490,5} \\ &= -0,42333301 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Ask/ s req} &= 2 (At/s) + Av/s \\
 &= (2 \times 0,114) - 0,42333301 \\
 &= -0,195222442 \text{ mm}^2/\text{mm} \\
 s &= 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times d \text{ tul sengkang} / \text{Ask/s req} \\
 &= 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 / -0,195222442 \\
 &= -804,6187273 \text{ mm} \\
 s \text{ max} &= \frac{Ph}{8} \\
 &= \frac{1340}{8} = 167,5 \text{ mm} \\
 s \text{ pakai} &= 150 \text{ mm} \\
 \text{As min 1} &= \frac{0,062 \times \sqrt{(f'c \times b \times s \text{ pakai})^2}}{Fyt} \\
 &= \frac{0,062 \times \sqrt{(25 \times 300 \times 150)^2}}{420} \\
 &= 33,21428571 \text{ mm}^2 \\
 \text{As min 2} &= \frac{0,35 \times b \times s \text{ pakai}}{Fyt} \\
 &= \frac{0,35 \times 300 \times 150}{420} \\
 &= 37,5 \text{ mm}^2 \\
 \text{As use} &= 2 \times \frac{1}{4} \times d \text{ tul sengkang}^2 \times \pi \\
 &= 2 \times \frac{1}{4} \times 10^2 \times \pi \\
 &= 157,0796327 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Tulangan Longitudinal Tumpuan:

$$\begin{aligned}
 \text{Al} &= \frac{At/s \times Ph \times Fyt}{Fy \times \text{COT}^2 \theta} \\
 &= \frac{0,114 \times 1340 \times 420}{420 \times \text{COT}(45)^2} \\
 &= 152,83 \text{ mm}^2 \\
 \text{Al min} &= \frac{0,42 \times \sqrt{(f'c \times Acp)}}{Fy - At/s \times Ph \times Fyt/Fy} \\
 &= \frac{0,42 \times \sqrt{(25 \times 165000)}}{420 - 0,114 \times 1340 \times 420/420} \\
 &= 672,17 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Karena  $A_l$  min lebih besar daripada  $A_l$  maka  $A_l$  use digunakan  $A_l$  min yaitu  $672,17 \text{ mm}^2$

Tambahan Kebutuhan Torsi:

$$\begin{aligned} \text{Sisi Atas} &= \frac{A_l \text{ use}}{4} \\ &= \frac{672,17}{4} \\ &= 168,04 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sisi Bawah} &= \frac{A_l \text{ use}}{4} \\ &= \frac{672,17}{4} \\ &= 168,04 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sisi Tengah} &= \frac{A_l \text{ use}}{2} \\ &= \frac{672,17}{2} \\ &= 336,08 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tambahan tulangan longitudinal tumpuan negatif:

$$\text{As perlu} + A_l \text{ atas} = 166,36 + 168,04 = 334,4 \text{ mm}^2$$

Tulangan longitudinal tumpuan negatif tetap digunakan 3D19 ( $A_s = 850,59 \text{ mm}^2 > 334,4 \text{ mm}^2$ )

Tambahan tulangan longitudinal tumpuan positif:

$$\text{As perlu} + A_l \text{ bawah} = 82,71 + 168,04 = 205,75 \text{ mm}^2$$

Tulangan longitudinal tumpuan positif tetap digunakan 3D19 ( $A_s = 850,59 \text{ mm}^2 > 205,75 \text{ mm}^2$ )

Tulangan torsi di tengah balok:

$$A_l \text{ tengah} = 336,08 \text{ mm}^2$$

Digunakan tulangan torsi tengah 4D13 ( $A_s = 530,93 \text{ mm}^2 > 336,08 \text{ mm}^2$ )

### 3. Tulangan Transversal

$$\begin{aligned}
V_u \text{ Midas} &= 28,4 \text{ kN} \\
D \text{ tul utama} &= 19 \text{ mm} \\
D \text{ tul sengkang} &= 10 \text{ mm} \\
d &= 490,5 \\
V_c &= \frac{(0,71 \times 1 \sqrt{25} \times 300 \times 490,5)^2}{1000} \\
&= 125,0775 \text{ kN} \\
\phi &= 0,75 \\
V_s &= \frac{28,4}{0,75} - 125,0775 \\
&= -87,2108 \text{ kN} \\
V_s \text{ maks} &= \frac{(0,66 \times \sqrt{25} \times 300 \times 490,5)^2}{1000} \\
&= 485,595 \text{ kN (OK)} \\
\text{Tumpuan} \\
A_s &= 2 \times 0,25 \times \pi \times d^2 \\
&= 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 \\
&= 157,0796 \text{ mm}^2 \\
S &= \frac{157,0796 \times 280 \times 490,5 / -87,2108}{1000} \\
&= -247,37 \text{ mm} \\
0,33 \times \sqrt{f_c} \times b_w \times d &= \frac{0,33 \times \sqrt{25} \times 300 \times 490,5)^2}{1000} \\
&= 242,7975 \\
S_{\text{maks1}} &= 490,5/2 \times 490,5/4 \\
&= 245,25 \text{ mm} \\
S_{\text{maks2}} &= 600 \text{ mm}
\end{aligned}$$

(Berdasarkan SNI 2847 2019 pasal 9.7.6.2.2 jika  $V_s \leq 0,33 \sqrt{f_c} b_w d$  maka  $S_{\text{maks}}$  yang diambil adalah yang terkecil dari  $d/2$  atau 600 mm)

Maka digunakan tulangan transversal 2D10-200 pada daerah tumpuan.

Lapangan

$$A_s = 2 \times 0,25 \times \pi \times d^2$$

$$\begin{aligned}
 &= 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 \\
 &= 157,0796 \text{ mm}^2 \\
 S &= \frac{157,0796 \times 280 \times 490,5 / -87,2108}{1000} \\
 &= -247,3696894 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

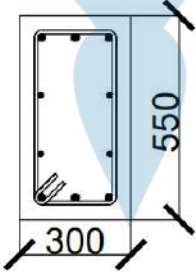
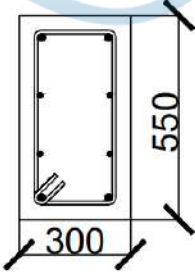
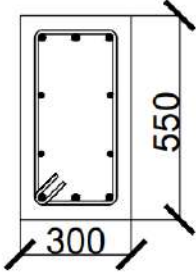
$$\begin{aligned}
 0,33 \times \sqrt{f_c} \times b_w \times d &= \frac{0,33 \times \sqrt{25} \times 300 \times 490,5)^2}{1000} \\
 &= 242,7975
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{\text{maks1}} &= \frac{d}{2} \\
 &= \frac{490,5}{2} \\
 &= 245,25 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$S_{\text{maks2}} = 600 \text{ mm}$$

(Berdasarkan SNI 2847 2019 pasal 9.7.6.2.2 jika  $V_s \leq 0,33 \sqrt{f_c} b_w d$  maka  $S_{\text{maks}}$  yang diambil adalah yang terkecil dari  $d/2$  atau 600 mm).

Maka digunakan tulangan transversal 2D10-200 pada daerah lapangan.

BALOK	TULANGAN		
	TUMPUAN KIRI	LAPANGAN	TUMPUAN KANAN
BA 2			
UKURAN BALOK	300 X 550 mm		
TULANGAN ATAS	3D19	2D19	3D19
TULANGAN BAWAH	3D19	2D19	3D19
TULANGAN SAMPING	4D13	4D13	4D13
SENGKANG	2D10-200	2D10-200	2D10-200

Gambar 2.56 Gambar Potongan Balok Anak BA 2 300x550 mm



Gambar 2.57 Gambar Penampang Melintang Balok Anak BA 2 300x550 mm

### 2.7.8 Perencanaan Balok Bordes BB1 350x500

Data perencanaan balok induk BB 1 ukuran 350mm x 500mm dengan panjang bentang 4,5 m sebagai berikut:

- Mutu beton ( $f'_c$ ) = 25 Mpa
- Lebar balok ( $b$ ) = 350 mm
- Tinggi balok ( $h$ ) = 500 mm
- Panjang balok ( $l$ ) = 4500 mm
- Panjang balok bersih ( $l_n$ ) = 4000 mm
- D. tul. longitudinal = 19 mm
- $f_y$  = 420 Mpa
- D. tul. transversal = 10 mm
- $\beta_1$  = 0,85
- $f_y$  = 280 Mpa
- D. tul. torsi = 13 mm
- $f_{yt}$  = 420 Mpa
- Tinggi efektif ( $d$ ) = 440,5 mm

Hasil analisis struktur balok BB 1:

Tabel 2.27 Hasil Analisis Struktur Balok BB1

	Tumpuan	Lapangan
$M_u^-$	23,9 kNm	0 kNm

Mu <sup>+</sup>	3,9 kNm	4 kNm
Tu	0,2 kNm	
Vu	23,7 kN	
Pu	0 kN	

### Batasan Dimensi

- $L_n \geq 4d$   
 $4d = 4 \times 440,5 = 1726 \text{ mm}$   
 $L_n = 6970 \text{ mm} > 4d \text{ (OK)}$
- $b_w > 250 \text{ mm}$   
 $b_w = 350 \text{ mm} > 250 \text{ mm (OK)}$
- $b/h > 0,3$   
 $b/h = 350/600 = 0,58 > 0,3 \text{ (OK)}$

### 1. Tulangan Longitudinal

#### a. Tulangan Negatif Tumpuan

$\phi = 0,9$  (diasumsikan terkendali tarik)

$$Mu^{\text{tump}} = 23,9 \text{ kNm}$$

$$Mn = \frac{Mu}{0,9} = \frac{23,9}{0,9} = 26,5556 \text{ kNm}$$

$$a = \frac{d - \sqrt{d^2 - 2|Mn.req|}}{0,85 f_c' b} = \frac{440,5 - \sqrt{(440,5)^2 - (2 \times 26,5556 \times 10^6)}}{0,85 \times 25 \times 350}$$

$$= 8,182 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{b_1} = \frac{8,182}{0,85} = 9,6253 \text{ mm}$$

$$\epsilon_s = \frac{d-c}{c} \times 0,003 = \frac{(0,003 \times (440,5 - 9,6253))}{9,6253}$$



$$= 0,134$$

$$A_{S_{req}} = \frac{0,85 \times f_c' \times a \times b}{f_y} = \frac{0,85 \times 25 \times 8,182 \times 350}{420} = 144,881 \text{ mm}^2$$

$$A_{S_{min1}} = \frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{f_y} b_w d$$

$$= \frac{0,25 \sqrt{25}}{420} 350 \times 440,5 = 458,85417 \text{ mm}^2$$

$$A_{S_{min2}} = \frac{1,4}{f_y} b_w d$$

$$= \frac{1,4}{420} 350 \times 440,5 = 513,916667 \text{ mm}^2$$

$$A_{S_{min}} = A_{S_{min}} \text{ diambil yang terbesar} = 513,916667 \text{ mm}^2$$

$$A_{S_{max}} = \frac{0,36 \times 0,85 \times 25 \times 350 \times 440,5}{420} = 2808,1875 \text{ mm}^2$$

$$A_s = A_{S_{min}} \text{ lebih kecil daripada } A_{S_{req}} \text{ sehingga } A_s \text{ yang digunakan } A_{S_{min}} = 605,447 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{A_s \times 4}{\pi \times D^2} = \frac{513,916667 \times 4}{\pi \times 19^2}$$

$$= 1,81 \text{ dibulatkan menjadi } 2$$

$$A_s \text{ Use} = \frac{n \times \pi \times D^2}{4} = \frac{2 \times \pi \times 19^2}{4} = 567,057 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{b - (2 \times \text{selimut beton}) - (2 \times D \text{ sengkang}) - (n \times D \text{ tul utama})}{n - 1}$$

$$= \frac{350 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 19)}{2 - 1} = 212 \text{ mm}^2$$

$$S_{min} = 25 \text{ mm}$$

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 25.2, jarak bersih antara tulangan yang sejajar tidak boleh kurang dari 25 mm.

$$S_{max} = \text{terkecil dari } 380 \left( \frac{280}{f_s} \right) - 2,5 \text{ selimut beton dan } 300 \left( \frac{280}{f_s} \right)$$

$$= 380 \left( \frac{280}{\frac{2}{3} \times 420} \right) - 2,5 \times 40 \text{ dan } 300 \left( \frac{280}{\frac{2}{3} \times 420} \right)$$

$$= 280 \text{ dan } 300 \text{ maka}$$

$$S_{max} = 280 \text{ mm}$$

### Cek Momen Nominal Balok

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s f_y}{0,85 f_c' b} \\ &= \frac{567,057 \times 420}{0,85 \times 25 \times 350} \\ &= 32,02 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= \frac{a}{\beta_1} \\ &= \frac{32,02}{0,85} = 37,67 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_s &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{(0,003 \times (440,5 - 37,67))}{37,67} \\ &= 0,032 \end{aligned}$$

Karena  $\epsilon_t > 0,005$ , maka penampang merupakan penampang terkendali tarik dengan  $\phi = 0,9$  yang dimana sudah sesuai dengan tabel SNI 2847:2019 pada Tabel 21.2.2 - Faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ) untuk momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial

$$\begin{aligned} M_n &= A_s \times F_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ &= \frac{567,057 \times 420 \times \left(440,5 - \frac{32,02}{2}\right)}{1000000} \\ &= 101,1 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 \times M_n \\ &= 0,9 \times 101,1 = 90,99 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\phi M_n = 90,99 \text{ kNm} > M_u = 23,9 \text{ kNm (OK)}$$

Maka digunakan tulangan longitudinal 2D19 pada daerah tumpuan negatif.

### b. Tulangan Positif Tumpuan

$$M_u^+ \text{ tum} = 3,9 \text{ kNm}$$

$$1/2 M_u^- \text{ tum} = 1/2 \times M_n$$

$$= 1/2 \times 23,9 = 11,95 \text{ kNm}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.6.3.2, karena pada balok ini  $M^+$  tum (3,9 kNm) <  $1/2 M^-$  tum (11,95 kNm) maka  $M_u$  yang digunakan untuk menentukan tulangan positif tumpuan adalah  $1/2 M^-$  tum = 11,95 kNm.

$$M_u = 11,95 \text{ kNm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{0,9}$$

$$= \frac{11,95}{0,9} = 13,278 \text{ kNm}$$

$$a = \frac{d - \sqrt{d^2 - 2|M_n \cdot \text{req}|}}{0,85 f_c' b}$$

$$= \frac{440,5 - \sqrt{(440,5)^2 - (2 \times 13,278 \times 10^6)}}{0,85 \times 25 \times 350}$$

$$= 4,072 \text{ mm}$$

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

$$= \frac{4,7901}{0,85} = 4,7901 \text{ mm}$$

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

$$= \frac{(0,003 \times (440,5 - 4,7901))}{4,7901}$$

$$= 0,273$$

$$A_{s\text{req}} = \frac{0,85 \times f_c' \times a \times b}{f_y} = \frac{0,85 \times 25 \times 4,072 \times 350}{420} = 72,101 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\text{min1}} = \frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{f_y} b_w d$$

$$= \frac{0,25 \sqrt{25}}{420} 350 \times 440,5 = 458,85417 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\text{min2}} = \frac{1,4}{f_y} b_w d$$

$$= \frac{1,4}{420} 350 \times 440,5 = 513,916667 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\text{min}} = A_{s\text{min}} \text{ diambil yang terbesar} = 513,916667 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\text{max}} = \frac{0,36 \times 0,85 \times 25 \times 350 \times 440,5}{420} = 2808,1875 \text{ mm}^2$$

$$A_s = A_{s\text{min}} \text{ lebih kecil daripada } A_{s\text{req}} \text{ sehingga } A_s \text{ yang}$$

$$\text{digunakan } A_{s\text{min}} = 605,447 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{As \times 4}{\pi \times D^2} = \frac{513,916667 \times 4}{\pi \times 19^2}$$

$$= 1,81$$

$$= 2$$

$$As \text{ Use} = \frac{n \times \pi \times D^2}{4} = \frac{2 \times \pi \times 19^2}{4} = 567,057 \text{ mm}^2$$

$$s =$$

$$\frac{b - (2 \times \text{selimut beton}) - (2 \times D \text{ sengkang}) - (n \times D \text{ tul utama})}{n - 1}$$

$$= \frac{350 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 19)}{2 - 1} = 212 \text{ mm}^2$$

$$S_{\min} = 25 \text{ mm}$$

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 25.2, jarak bersih antara tulangan yang sejajar tidak boleh kurang dari 25 mm.

$$S_{\max} = \text{terkecil dari } 380 \left( \frac{280}{f_s} \right) - 2,5 \text{ selimut beton dan}$$

$$300 \left( \frac{280}{f_s} \right)$$

$$= 380 \left( \frac{280}{\frac{2}{3} \times 420} \right) - 2,5 \times 40 \text{ dan } 300 \left( \frac{280}{\frac{2}{3} \times 420} \right)$$

$$= 280 \text{ dan } 300 \text{ maka}$$

$$S_{\max} = 280 \text{ mm}$$

### Cek Momen Nominal Balok

$$a = \frac{As f_y}{0,85 f_c b}$$

$$= \frac{567,057 \times 420}{0,85 \times 25 \times 350}$$

$$= 32,02 \text{ mm}$$

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

$$= \frac{32,02}{0,85} = 37,67 \text{ mm}$$

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

$$= \frac{(0,003 \times (440,5 - 37,67))}{37,67}$$

$$= 0,032$$

Karena  $\epsilon_t > 0,005$ , maka penampang merupakan penampang terkendali tarik dengan  $\phi = 0,9$  yang dimana sudah sesuai dengan tabel SNI 2847:2019 pada Tabel 21.2.2 - Faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ) untuk momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial

$$M_n = A_s \times F_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$= \frac{567,057 \times 420 \times \left(440,5 - \frac{32,02}{2}\right)}{1000000}$$

$$= 101,1 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 0,9 \times M_n$$

$$= 0,9 \times 101,1 = 90,99 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 90,99 \text{ kNm} > M_u = 11,95 \text{ kNm (OK)}$$

Maka digunakan tulangan longitudinal 2D19 pada daerah tumpuan positif.

### c. Tulangan Negatif Lapangan

$$M_u^{\text{lap}} = 0$$

$$\frac{1}{4} M_u^{\text{tum}} = \frac{1}{4} \times M_u$$

$$= \frac{1}{4} \times 23,9 = 5,975 \text{ kNm}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.6.3.2, karena pada balok ini  $M^{\text{tum}} = 0$  maka  $M_u$  yang digunakan untuk menentukan tulangan positif tumpuan adalah  $\frac{1}{4} M^{\text{tum}} = 5,975 \text{ kNm}$ .

$$M_u = 5,975 \text{ kNm}$$

$$M_n = 6,639 \text{ kNm}$$

$$a = \frac{d - \sqrt{d^2 - 2|M_n \text{ req}|}}{0,85 f_c / b}$$

$$= \frac{440,5 - \sqrt{(440,5)^2 - (2 \times 6,639 \times 10^6)}}{(0,85 \times 25 \times 350)}$$

$$= 2,031 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{b_1} = \frac{2,031}{0,85} = 2,3895 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_s = \frac{d-c}{c} \times 0,003 = \frac{(0,003 \times (440,5 - 2,3895))}{2,3895} = 0,550$$

$$A_{S_{req}} = \frac{0,85 \times f_c' \times a \times b}{f_y} = \frac{0,85 \times 25 \times 2,031 \times 350}{420} = 35,967 \text{ mm}^2$$

$$A_{S_{min1}} = \frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{f_y} b_w d = \frac{0,25 \sqrt{25}}{420} 350 \times 440,5 = 458,85417 \text{ mm}^2$$

$$A_{S_{min2}} = \frac{1,4}{f_y} b_w d = \frac{1,4}{420} 350 \times 440,5 = 513,916667 \text{ mm}^2$$

$$A_{S_{min}} = A_{S_{min}} \text{ diambil yang terbesar} = 513,916667 \text{ mm}^2$$

$$A_{S_{max}} = \frac{0,36 \times 0,85 \times 25 \times 350 \times 440,5}{420} = 2808,1875 \text{ mm}^2$$

$$A_s = A_{S_{min}} \text{ lebih kecil daripada } A_{S_{req}} \text{ sehingga } A_s \text{ yang digunakan } A_{S_{min}} = 605,447 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{A_s \times 4}{\pi \times D^2} = \frac{513,916667 \times 4}{\pi \times 19^2} = 1,81 \text{ dibulatkan menjadi } 2$$

$$A_s \text{ Use} = \frac{n \times \pi \times D^2}{4} = \frac{2 \times \pi \times 19^2}{4} = 567,057 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{b - (2 \times \text{selimut beton}) - (2 \times D \text{ sengkang}) - (n \times D \text{ tul utama})}{n-1} = \frac{350 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 19)}{2-1} = 212 \text{ mm}^2$$

$$S_{min} = 25 \text{ mm}$$

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 25.2, jarak bersih antara tulangan yang sejajar tidak boleh kurang dari 25 mm.

$$S_{\max} = \text{terkecil dari } 380\left(\frac{280}{f_s}\right) - 2,5 \text{ selimut beton dan } 300\left(\frac{280}{f_s}\right)$$

$$= 380\left(\frac{280}{\frac{2}{3} \times 420}\right) - 2,5 \times 40 \text{ dan } 300\left(\frac{280}{\frac{2}{3} \times 420}\right)$$

$$= 280 \text{ dan } 300 \text{ maka}$$

$$S_{\max} = 280 \text{ mm}$$

### Cek Momen Nominal Balok

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s f_y}{0,85 f_c' b} \\ &= \frac{567,057 \times 420}{0,85 \times 25 \times 350} \\ &= 32,02 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c &= \frac{a}{\beta_1} \\ &= \frac{32,02}{0,85} = 37,67 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_s &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{(0,003 \times (440,5 - 37,67))}{37,67} \\ &= 0,032 \end{aligned}$$

Karena  $\epsilon_t > 0,005$ , maka penampang merupakan penampang terkendali tarik dengan  $\phi = 0,9$  yang dimana sudah sesuai dengan tabel SNI 2847:2019 pada Tabel 21.2.2 - Faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ) untuk momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial

$$\begin{aligned} M_n &= A_s \times F_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\ &= \frac{567,057 \times 420 \times (440,5 - \frac{32,02}{2})}{1000000} \\ &= 101,1 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_n &= 0,9 \times M_n \\ &= 0,9 \times 101,1 = 90,99 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\phi M_n = 90,99 \text{ kNm} > M_u = 5,975 \text{ kNm (OK)}$$

Maka digunakan tulangan longitudinal 2D19 pada daerah lapangan negatif.

#### d. Tulangan Positif Lapangan

$$\begin{aligned} \text{Mu}^+ \text{ lap} &= 4 \text{ kNm} \\ \frac{1}{4} \text{ Mu}^- \text{ tum} &= \frac{1}{4} \times \text{Mu} \\ &= \frac{1}{4} \times 23,9 = 5,975 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.6.3.2, karena pada balok ini  $M^+$  tum (4 kNm) <  $\frac{1}{4} M^-$  tum (5,975 kNm) maka  $\text{Mu}$  yang digunakan untuk menentukan tulangan positif tumpuan adalah  $\frac{1}{4} M^-$  tum = 5,975 kNm.

$$\begin{aligned} \text{Mu} &= 5,975 \text{ kNm} \\ \text{Mn} &= 6,639 \text{ kNm} \\ a &= \frac{d - \sqrt{d^2 - 2|Mn.req|}}{0,85 f_c' b} \\ &= \frac{440,5 - \sqrt{(440,5)^2 - (2 \times 6,639 \times 10^6)}}{(0,85 \times 25 \times 350)} \\ &= 2,031 \text{ mm} \\ c &= \frac{a}{b_1} \\ &= \frac{2,031}{0,85} = 2,3895 \text{ mm} \\ \epsilon_s &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\ &= \frac{(0,003 \times (440,5 - 2,3895))}{2,3895} \\ &= 0,550 \\ A_{Sreq} &= \frac{0,85 f_c' a x b}{f_y} = \frac{0,85 \times 25 \times 2,031 \times 350}{420} = 35,967 \text{ mm}^2 \\ A_{Smin1} &= \frac{0,25 \sqrt{f_c'}}{f_y} b_w d \\ &= \frac{0,25 \sqrt{25}}{420} 350 \times 440,5 = 458,85417 \text{ mm}^2 \\ A_{Smin2} &= \frac{1,4}{f_y} b_w d \\ &= \frac{1,4}{420} 350 \times 440,5 = 513,916667 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$



$$A_{S_{\min}} = A_{S_{\min}} \text{ diambil yang terbesar} = 513,916667 \text{ mm}^2$$

$$A_{S_{\max}} = \frac{0,36 \times 0,85 \times 25 \times 350 \times 440,5}{420} = 2808,1875 \text{ mm}^2$$

$$A_s = A_{S_{\min}} \text{ lebih kecil daripada } A_{S_{\text{req}}} \text{ sehingga } A_s \text{ yang digunakan } A_{S_{\min}} = 605,447 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{A_s \times 4}{\pi \times D^2} = \frac{513,916667 \times 4}{\pi \times 19^2} = 1,81 \text{ dibulatkan menjadi } 2$$

$$A_s \text{ Use} = \frac{n \times \pi \times D^2}{4} = \frac{2 \times \pi \times 19^2}{4} = 567,057 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{b - (2 \times \text{selimut beton}) - (2 \times D \text{ sengkang}) - (n \times D \text{ tul utama})}{n - 1} = \frac{350 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 19)}{2 - 1} = 212 \text{ mm}^2$$

$$S_{\min} = 25 \text{ mm}$$

Sesuai dengan SNI 2847:2019 pasal 25.2, jarak bersih antara tulangan yang sejajar tidak boleh kurang dari 25 mm.

$$S_{\max} = \text{terkecil dari } 380 \left( \frac{280}{f_s} \right) - 2,5 \text{ selimut beton dan } 300 \left( \frac{280}{f_s} \right)$$

$$= 380 \left( \frac{280}{\frac{2}{3} \times 420} \right) - 2,5 \times 40 \text{ dan } 300 \left( \frac{280}{\frac{2}{3} \times 420} \right) = 280 \text{ dan } 300 \text{ maka}$$

$$S_{\max} = 280 \text{ mm}$$

### Cek Momen Nominal Balok

$$a = \frac{A_s f_y}{0,85 f_c' b} = \frac{567,057 \times 420}{0,85 \times 25 \times 350} = 32,02 \text{ mm}$$

$$c = \frac{a}{b_1}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{32,02}{0,85} = 37,67 \text{ mm} \\
\varepsilon_s &= \frac{d-c}{c} \times 0,003 \\
&= \frac{(0,003 \times (440,5 - 37,67))}{37,67} \\
&= 0,032
\end{aligned}$$

Karena  $\varepsilon_t > 0,005$ , maka penampang merupakan penampang terkendali tarik dengan  $\phi = 0,9$  yang dimana sudah sesuai dengan tabel SNI 2847:2019 pada Tabel 21.2.2 - Faktor reduksi kekuatan ( $\phi$ ) untuk momen, gaya aksial, atau kombinasi momen dan gaya aksial

$$\begin{aligned}
M_n &= A_s \times F_y \times \left(d - \frac{a}{2}\right) \\
&= \frac{567,057 \times 420 \times \left(440,5 - \frac{32,02}{2}\right)}{1000000} \\
&= 101,1 \text{ kNm} \\
\phi M_n &= 0,9 \times M_n \\
&= 0,9 \times 101,1 = 90,99 \text{ kNm} \\
\phi M_n &= 90,99 \text{ kNm} > M_u = 5,975 \text{ kNm (OK)}
\end{aligned}$$

Maka digunakan tulangan longitudinal 2D19 pada daerah lapangan positif.

## 2. Tulangan Torsi

$$\begin{aligned}
T_u \text{ hasil analisis midas} &= 0,2 \text{ kNm} \\
V_u \text{ hasil analisis midas} &= 23,7 \text{ kN} \\
A_{cp} &= b \times h \\
&= 350 \times 500 = 175000 \text{ mm}^2 \\
P_{cp} &= 2 \times (350 + 500) = 1700 \\
\Phi T_{th} &= \frac{0,75 \times 0,083 \times 1 \times \sqrt{25} \times 175000^2}{1700} \\
&= 560,7077,206 \text{ Nmm} \\
&= 5,60 \text{ kNm} > T_u
\end{aligned}$$

Karena  $\Phi T_{th} > T_u$ , maka tidak diperlukan penambahan tulangan torsi.

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.6.4.2 dikatakan bahwa spasi lateral tulangan longitudinal tidak boleh melebihi 350 mm.

$$\begin{aligned} \text{Spasi tulangan atas dan bawah} &= 500 - 2(40) - 2(10) - 2(19) \\ &= 362 \text{ mm} > 350 \text{ mm} \end{aligned}$$

Karena spasi melebihi 350 mm, maka ditambahkan tulangan longitudinal pada tengah penampang 4D13.

### 3. Tulangan Transversal

$$\text{As dari tul Tarik tumpuan} = 567,057 \text{ mm}^2$$

$$\text{As dari tul tekan tumpuan} = 567,057474 \text{ mm}^2$$

$$\text{Vu tumpuan midas} = 23,7 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{Apr- (Tarik)} &= \frac{1,25 \times F_y \times A_s}{0,85 \times f'_c \times b} \\ &= \frac{1,25 \times 567,057 \times 420}{0,85 \times 25 \times 350} \end{aligned}$$

$$= 40,0275864 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Mpr-} &= 1,25 \times F_y \times A_s \times \left( d - \left( \frac{apr}{2} \right) \right) \\ &= 1,25 \times 567,057 \times \left( 420 - \left( \frac{440,5}{2} \right) \right) \end{aligned}$$

$$= 125,1809193 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} \text{Apr- (tekan)} &= \frac{1,25 \times F_y \times A_s}{0,85 \times f'_c \times b} \\ &= \frac{1,25 \times 567,057474 \times 420}{0,85 \times 25 \times 350} \end{aligned}$$

$$= 40,0275864 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Mpr+} &= 1,25 \times F_y \times A_s \times \left( d - \left( \frac{apr}{2} \right) \right) \\ &= 1,25 \times 567,057474 \times \left( 420 - \left( \frac{440,5}{2} \right) \right) \end{aligned}$$

$$= 125,1809 \text{ kNm}$$

$$\text{Vg midas} = 16,8 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{ve} &= \frac{\text{Mpr-} + \text{Mpr+}}{\frac{ln}{1000}} \\ &= \frac{125,1809193 + 125,1809}{\frac{4000}{1000}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 62,59046 \text{ kN} \\
 v_{e1} &= v_e + V_g \text{ midas} \\
 &= 62,59046 \text{ kN} + 16,8 \\
 &= 79,39045965 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 v_{e2} &= v_e - V_g \text{ midas} \\
 &= 62,59046 \text{ kN} - 16,8 \\
 &= 45,7905 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Nilai  $v_u$  diambil hasil terbesar dari  $v_u$  tumpuan midas,  $v_{e1}$ ,  $v_{e2}$ , nilai  $v_{e2}$  merupakan nilai terbesar sehingga nilai  $v_u$  adalah 79,3905 kN

$$\begin{aligned}
 v_u \text{ lapangan} &= \frac{(l_n - 2 \times h) \times (v_u - v_{e2})}{l_n + v_{e2}} \\
 &= \frac{(4000 - 2 \times 500) \times (79,39045965 - 45,7905)}{4000 - 45,7905} \\
 &= 70,9904596 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

### Tumpuan Plastis

Cek  $0,5 v_u < v_e$

$$\begin{aligned}
 0,5 v_u &= 0,5 \times v_u \\
 &= 0,5 \times 79,3905 \\
 &= 39,6952298
 \end{aligned}$$

$$0,5 v_e = 62,59046$$

$$V_c = 0$$

$$\phi = 0,75$$

$$\begin{aligned}
 v_s &= \frac{v_u}{\phi} - v_c \\
 &= \frac{79,3905}{0,75} - 0
 \end{aligned}$$

$$= 105,8539462 \text{ kN}$$

$$V_{Smaks} = \frac{0,66 \times \sqrt{f'c \times b \times d}}{1000}$$

$$= \frac{0,66 \times \sqrt{(25 \times 350 \times 440,5)^2}}{1000}$$

$$= 508,7775 \text{ kN}$$

Diameter sengkang (direncanakan Sengkang 2D10) 10 mm

$$\begin{aligned}
 A_s &= 2 \times 0,25 \times \pi \times d \text{ sengkang}^2 \\
 &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 10^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 157,0796327 \text{ mm}^2 \\
 S &= \frac{As \times fy \times d}{vs \times 1000} \\
 &= \frac{157,0796327 \times 280 \times 440,5}{105,8539462 \times 1000} \\
 &= 183,0277 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{\text{maks1}} &= \frac{d}{4} \\
 &= \frac{440,5}{4} \\
 &= 110,125 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_{\text{maks2}} &= 6 \times d \text{ tul utama} \\
 &= 6 \times 19 \\
 &= 114 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$S_{\text{maks3}} = 150 \text{ mm}$$

Nilai  $S_{\text{maks}}$  tumpuan plastis diambil dari nilai terkecil  $S_{\text{maks1}}$ ,  $S_{\text{maks2}}$ ,  $S_{\text{maks3}}$  pada tumpuan plastis dan nilai  $S_{\text{maks2}}$  merupakan nilai terkecil sehingga  $S_{\text{maks1}}$  adalah 110,125 mm.

Maka digunakan tulangan transversal 2D10-100 pada daerah tumpuan.

### Lapangan

$$\begin{aligned}
 0,5 v_u &= 0,5 \times v_u \\
 &= 0,5 \times 70,9904596 \\
 &= 35,4942298
 \end{aligned}$$

$$0,5 v_e = 62,59046$$

$$V_c = 0 \text{ kN}$$

$$\phi = 0,75$$

$$\begin{aligned}
 v_s &= \frac{v_u}{\phi} - v_c \\
 &= \frac{70,9904596}{0,75} - 0 \\
 &= 94,65394619
 \end{aligned}$$

$$V_{S_{\text{maks}}} = \frac{0,66 \times \sqrt{f'c} \times b \times d^2}{1000}$$

$$= \frac{0,66 \times \sqrt{(25 \times 350 \times 440,5)^2}}{1000}$$

$$= 508,7775 \text{ kN}$$

$$A_s = 2 \times 0,25 \times \pi \times d \text{ sengkang}^2$$

$$= 2 \times 0,25 \times \pi \times 10^2$$

$$= 157,0796327 \text{ mm}^2$$

$$S = \frac{A_s \times f_y \times d}{v_s \times 1000}$$

$$= \frac{157,0796327 \times 280 \times 440,5}{94,56394619 \times 1000}$$

$$= 204,6846 \text{ mm}$$

$$S_{\text{maks1}} = \frac{d}{2}$$

$$= \frac{440,5}{2}$$

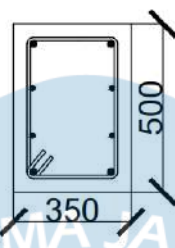
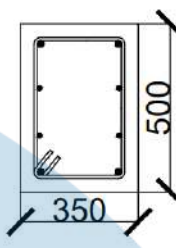
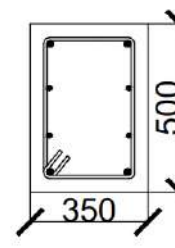
$$= 220,25 \text{ mm}$$

$$S_{\text{maks2}} = 300 \text{ mm}$$

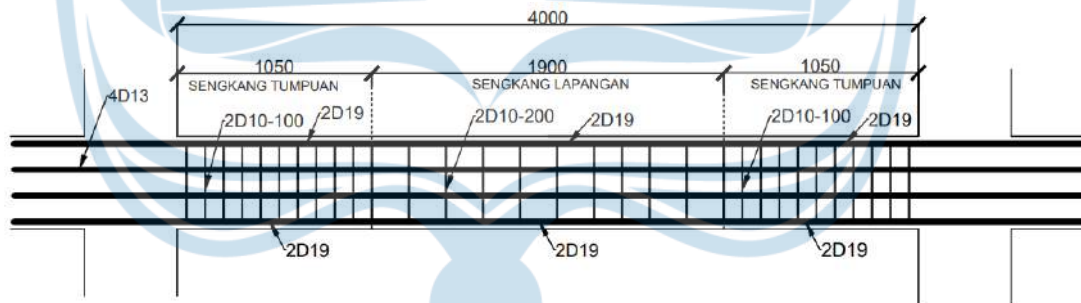
(Berdasarkan SNI 2847 2019 pasal 9.7.6.2.2 jika  $V_s \leq 0,33 \sqrt{f_c'}$   $b_w d$  maka  $S_{\text{maks}}$  yang diambil adalah yang terkecil dari  $d/2$  atau 600 mm)

Nilai  $S_{\text{maks}}$  lapangan diambil dari nilai terkecil  $S_{\text{maks1}}$ ,  $S_{\text{maks2}}$ , lapangan dan nilai  $S_{\text{maks1}}$  merupakan nilai terkecil sehingga  $S_{\text{maks}}$  adalah 220,25 mm.

Maka digunakan tulangan transversal 2D10-200 pada daerah lapangan.

BALOK	TULANGAN		
	TUMPUAN KIRI	LAPANGAN	TUMPUAN KANAN
BB 1			
UKURAN BALOK	350 X 500 mm		
TULANGAN ATAS	2D19	2D19	2D19
TULANGAN BAWAH	2D19	2D19	2D19
TULANGAN SAMPING	4D13	4D13	4D13
SENGKANG	2D10-100	2D10-200	2D10-100

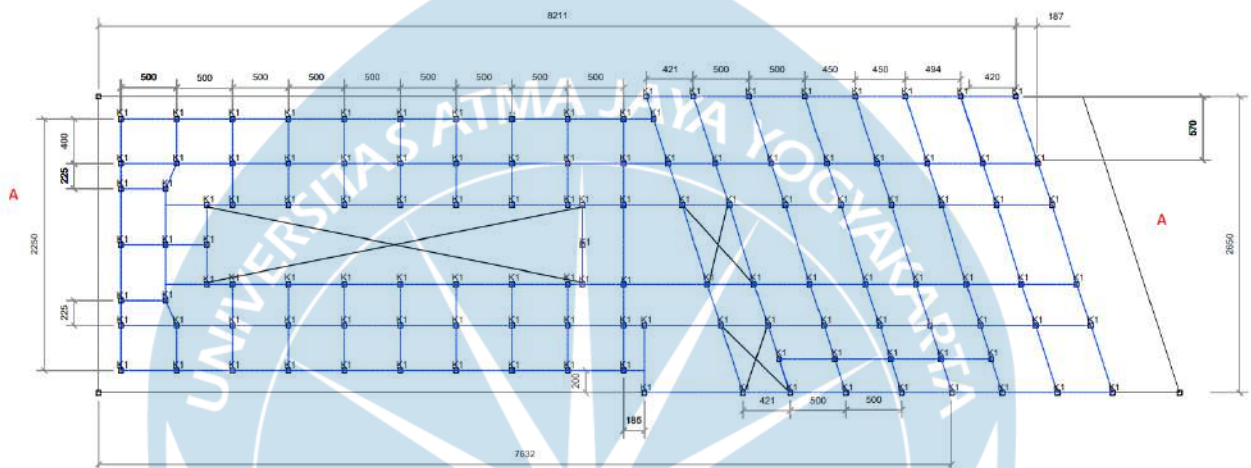
Gambar 2.58 Gambar Potongan Balok Bordes BB1 350x500 mm



Gambar 2.59 Gambar Penampang Melintang Balok Bordes BB1 350x500 mm

## 2.8 Perencanaan Kolom

Kolom dirancang sesuai dengan ketentuan Sistem Pemikul Rangka Momen Khusus (SRPMK). Penulangan kolom dilakukan setelah mendapat gaya-gaya dalam yang terjadi pada analisa struktur utama dari hasil analisa struktur dengan bantuan program Midas Gen.



Gambar 2.60 Denah Rencana Kolom

### 2.8.1 Perencanaan Kolom K1 Lantai 1

Data perencanaan kolom K1 lantai 1 dengan ukuran 500 mm x 500 mm dengan tinggi 4 m sebagai berikut:

- Mutu beton ( $f'_c$ ) = 25 Mpa
- Dimensi kolom = 500 mm x 500 mm
- Selimut kolom = 40 mm
- Tinggi kolom ( $l$ ) = 4000 mm
- Tinggi bersih kolom ( $l_n$ ) = 3400 mm
- D. tulangan longitudinal = 22 mm
- $f_y$  = 420 Mpa
- D. tulangan transversal = 13 mm
- $f_{yt}$  = 420 Mpa
- $d$  =  $500 - 40 - 13/2 = 453,5$  mm



Berikut adalah hasil analisis struktur kolom:

$$P_u \text{ kolom atas} = 1271,5 \text{ kN}$$

$$P_u \text{ kolom desain} = 1922,3 \text{ kN}$$

$$M_x \text{ desain} = 46,8 \text{ kN}$$

$$M_y \text{ desain} = 57,6 \text{ kN}$$

$$V_u = 23,4 \text{ kN}$$

$$N_u \text{ (komb. aksial kecil)} = 767,2 \text{ kN}$$

### Batasan Dimensi

- Sisi terpendek kolom tidak kurang dari 300 mm (SNI 2847:2019 18.7.2.1a)

$$\text{Sisi terpendek} = b = 500 \text{ mm} > 300 \text{ mm (OK)}$$

- Rasio dimensi penampang tidak kurang dari 0,4 (SNI 2847:2019 18.7.2.1b)

$$\frac{b}{h} = \frac{500}{500} = 1 > 0,4 \text{ (OK)}$$

### 1. Estimasi Tulangan Longitudinal

Rasio tulangan longitudinal  $\rho$  dibatasi tidak boleh kurang dari 0.01 dan tidak boleh lebih dari 0.06 (SNI 2847:2019 pasal 18.7.4.1). Untuk estimasi awal digunakan tulangan 12D22.

Data tulangan kolom longitudinal:

$$\text{Diameter} = 22 \text{ mm}$$

$$\text{Jumlah} = 12 \text{ buah}$$

$$A_s = 12 \times 0,25\pi \times 22^2 = 4559,3 \text{ mm}^2$$

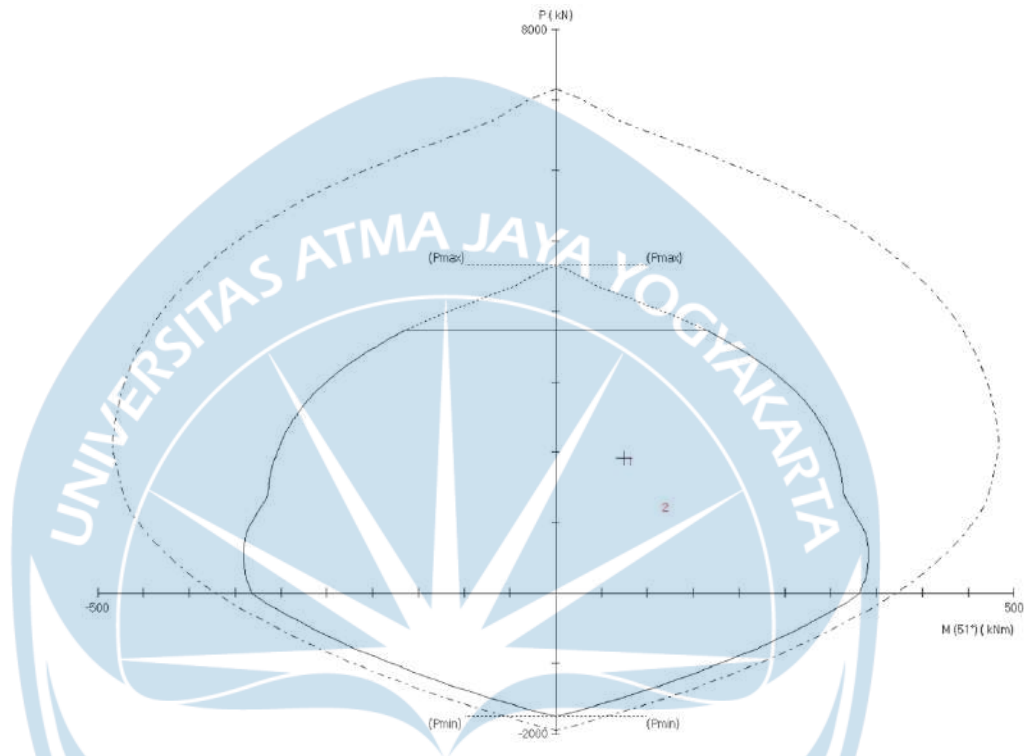
$$A_g = 500 \times 500 = 250000 \text{ mm}^2$$

$$\rho = \frac{A_s}{A_g} = \frac{4559,3}{250000} = 0,182$$

$$0,01 < \rho < 0,06 \text{ (OK)}$$

### Kuat Kolom Rencana

Dilakukan perhitungan kuat kolom rencana dengan bantuan program spcolumn dan didapatkan hasil seperti berikut:



Gambar 2.61 Output Diagram Interaksi SP Column K1 Lantai 1

Kolom sudah kuat menahan interaksi gaya axial ultimate  $P_u$  dan momen ultimate arah X dan Y.

### 2. Cek Syarat *Strong Column Weak Beam*

Kuat lentur kolom harus memenuhi  $\Sigma M_{nk} \geq 1.2 \Sigma M_{nb}$  (SNI 2847:2019 pasal 18.7.3.2). Karena kolom berbentuk persegi, momen nominal kolom arah X dan arah Y sama.

Hasil perhitungan momen nominal kolom :

No	Pu	Mux	$\phi M_{nx}$	$\phi M_n/\mu$	NA Depth	dt Depth	zt	$\phi$
	kN	kNm	kNm		mm	mm		
1	1922.30	46.80	355.17	7.589	295	440	0.00146	0.650
2	1271.00	65.30	422.40	6.469	211	440	0.00326	0.750
3	670.20	48.20	434.36	9.012	147	440	0.00595	0.900
4	272.60	51.40	384.65	7.484	121	440	0.00787	0.900

Gambar 2.62 Output Tabel SP Column K1 Lantai 1

$$\phi M_n \text{ kolom atas} = 422,4 \text{ kNm}$$

$$\phi \text{ kolom atas} = 0,75$$

$$\phi M_n \text{ kolom desain} = 355,17 \text{ kNm}$$

$$\phi \text{ kolom desain} = 0,65$$

$$M_n \text{ kolom atas} = 422,4/0,75 = 563,2 \text{ kNm}$$

$$M_n \text{ kolom desain} = 355,17/0,65 = 546,42 \text{ kNm}$$

$$\Sigma M_n \text{ kolom} = 563,2 + 546,42 = 1109,62 \text{ kNm}$$

### Tinjaun Arah X

Balok dengan dimensi 350x400 dan 350x500 menumpu pada arah X kolom.

$$M_{nb}^- \text{ 350x400} = 113,06 \text{ kNm}$$

$$M_{nb}^+ \text{ 350x500} = 101,098 \text{ kN}$$

$$\Sigma M_n \text{ kolom} = 1109,62 \text{ kNm}$$

$$1,2 \Sigma M_n \text{ balok} = 1,2 (113,06 + 101,098) = 256,99 \text{ kNm}$$

$$\Sigma M_n \text{ kolom} > 1,2 \Sigma M_n \text{ balok (OK)}$$

### Tinjaun Arah Y

Balok dengan dimensi 350x600 bentang 7,1 m dan 350x600 bentang 3,7 m menumpu pada arah Y kolom.

$$M_{nb}^- \text{ 350x600} = 297,99 \text{ kNm}$$

$$M_{nb}^+ \text{ 350x600} = 184,51 \text{ kN}$$

$$\Sigma M_n \text{ kolom} = 1109,62 \text{ kNm}$$

$$1,2 \Sigma M_n \text{ balok} = 1,2 (297,99 + 184,51) = 579 \text{ kNm}$$

$$\Sigma M_n \text{ kolom} > 1,2 \Sigma M_n \text{ balok (OK)}$$

### 3. Perhitungan Tulangan Transversal

#### a. Tulangan di Daerah Sendi Plastis ( $l_0$ )

$$\begin{aligned} bc &= bw - (2 \times \text{selimut beton}) \\ &= 500 - (2 \times 40) \\ &= 420 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$A_g = 500 \times 500 = 250000 \text{ mm}^2$$

$$A_{ch} = 420 \times 420 = 176400 \text{ mm}^2$$

$$0,3 f'_c A_g = 0,3 \times 25 \times 250000 = 1875000 \text{ N} = 1875 \text{ kN}$$

$$P_u = 1922,3 \text{ kN}$$

$$P_u > 0,3 f'_c A_g$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.7.5.4 karena  $P_u > 0,3 f'_c A_g$  maka:

$$\begin{aligned} \frac{A_{sh}}{s bc} (1) &= 0,3 \left( \frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \left( \frac{f'_c}{f_{yt}} \right) = 0,3 \left( \frac{250000}{176400} - 1 \right) \left( \frac{25}{420} \right) \\ &= 0,0075 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

$$\frac{A_{sh}}{s bc} (2) = 0,09 \left( \frac{f'_c}{f_{yt}} \right) = 0,09 \left( \frac{25}{420} \right) = 0,0054 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$k_f = \frac{f'_c}{175} + 0,6 = \frac{25}{175} + 0,6 = 0,74 < 1$$

$$k_f = 1$$

$$n_l = 12 \text{ buah}$$

$$k_n = \frac{n_l}{n_l - 2} = \frac{12}{12 - 2} = 1,2$$

$$\begin{aligned} \frac{A_{sh}}{s bc} (3) &= 0,2 k_f k_n \frac{P_u}{f_{yt} A_{ch}} = 0,2 \times 1 \times 1,2 \times \frac{1922,3 \times 1000}{420 \times 176400} \\ &= 0,0063 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

Jadi diambil nilai terbesar  $A_{sh}/s.bc = 0,0075 \text{ mm}^2/\text{mm}$

$$\frac{A_{sh}}{s} = 0,0075 \times 420 = 3,129 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.7.5.2.f setiap batang tulangan longitudinal harus memiliki tumpuan lateral, baik oleh sudut sengkang pengegang atau kait gempap, maka jumlah kaki = 4.

$$D \text{ sengkang} = 10 \text{ mm}$$

$$A_{sh} = 4 \times 0,25\pi \times 13^2 = 530,93 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{A_{sh}}{A_{sh}/s} = \frac{530,93}{3,129} = 169,67 \text{ mm}$$

Jarak spasi maksimum menurut SNI 2847:2019 Pasal 18.7.5.3 adalah nilai terkecil dari:

$$s1 = 1/4 \times 500 = 125 \text{ mm}$$

$$s2 = 6 \times 22 = 132 \text{ mm}$$

$$hx = x1 = \frac{500 - 2 \times 40 - 2 \times 13 - 22}{4 - 1} = 124 \text{ mm}$$

$$s3 = 100 + \left( \frac{350 - 124}{3} \right) = 175,33 \text{ mm} > 150 \text{ mm}$$

$$s3 = 150 \text{ mm}$$

Diambil tulangan maksimal  $s = 125 \text{ mm}$

Maka digunakan tulangan transversal 4D - 100 didaerah sendi plastis (lo).

### **Panjang Sendi Plastis**

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.5.1, nilai lo dipilih terbesar antara:

$l_{o1} = \text{sisi terlebar kolom} = 500 \text{ mm}$

$l_{o2} = 1/6 l_n = 1/6 \times 3400 = 566,67 \text{ mm}$

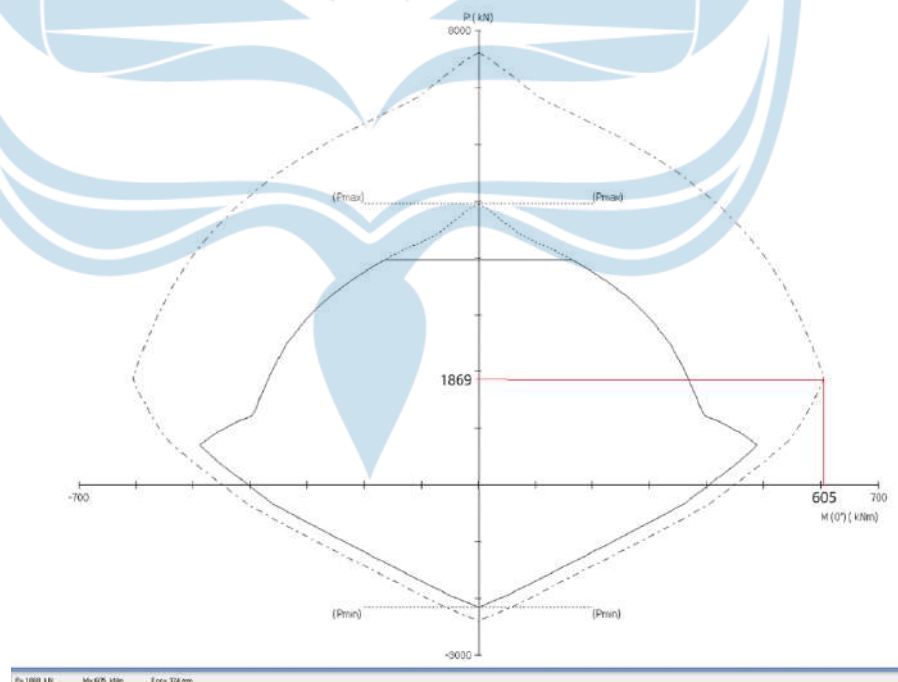
$l_{o3} = 450 \text{ mm}$

maka  $l_o = 566,67 \text{ mm}$

Diambil nilai  $l_o = 650 \text{ mm} > 566,67 \text{ mm}$  (OK)

### b. Kuat Geser Kolom

Nilai Mpr kolom diambil dari nilai momen nominal kemungkinan terbesar dengan  $f_y$  diperbesar  $1,25f_y$ . Nilai Mpr kolom yang didapatkan dari program SPcolumn sebagai berikut:



Gambar 2.63 Diagram Interaksi untuk Mpr Kolom K1 Lantai 1

Mpr kolom = 605 kNm

Diambil nilai Mpr balok dari arah dengan Mpr terbesar yaitu arah Y.

$$M_{prb}^- 350 \times 600 = 365,04 \text{ kNm}$$

$$M_{prb}^+ 350 \times 600 = 227,96 \text{ kNm}$$

$$\Sigma M_{pr} \text{ balok} = 365,04 + 227,96 = 593 \text{ kNm}$$

Karena penampang kolom atas dan bawah sama tapi tinggi berbeda, maka untuk mencari faktor distribusi momen atas:

$$DF_{atas} = \frac{1/4}{1/4 + 1/3,5} = 0,467$$

Ve berdasarkan Mpr kolom:

$$V_e(1) = \frac{M_{prk} \text{ bawah} + M_{prk} \text{ atas}}{l_n} = \frac{605 + 605}{3,4} = 355,88 \text{ kN}$$

Geser kolom tersebut di atas tidak perlu melebihi nilai geser yang dihitung dari kekuatan joint berdasarkan Mpr balok yang merangka ke joint (SNI 2047:2019 pasal 18.7.6.1.1). Khusus kolom lantai 1 digunakan Mpr kolom pada joint bawah karena tidak ada balok yang merangka.

$$V_e(2) = \frac{M_{prk} \text{ bawah} + DF \times \Sigma M_{pr} \text{ balok}}{l_n} = \frac{605 + 0,467 \times 593}{3,4} = 259,33 \text{ kN}$$

maka  $V_e = 259,33 \text{ kN} > V_{u \text{ as}} = 23,4 \text{ kN}$  (OK) (SNI 2847:2019 18.7.6.1.1)

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.7.6.2.1,  $V_c$  dianggap 0 apabila:

- $V_e > 1/2 V_{u \text{ as}}$

$$V_e = 259,33 \text{ kN} > 1/2 V_{u \text{ as}} = 11,7 \text{ kN} \text{ (OK)}$$

- $P_u < A_g f_c / 20$

$$A_g f_c / 20 = 250000 \times 25 / 20 = 312500 \text{ N} = 312,5 \text{ kN}$$

$$P_u = 1922,3 \text{ kN} > 312,5 \text{ kN} \text{ (Not OK)}$$

Maka  $V_c$  dihitung.

$$N_u = 767,2 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \left( 1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) \lambda \sqrt{f'_c} b w d \\ &= 0,17 \left( 1 + \frac{767,2}{14 \times 250000} \right) 1 \sqrt{25} \times 500 \times 453,5 \\ &= 234985,56 \text{ N} \\ &= 234,99 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\phi V_c = 0,75 \times 234,99 = 194,5 \text{ kN}$$

$$V_u = V_e = 259,33 \text{ kN}$$

$V_u > \phi V_c$ , maka  $V_s$  dihitung (SNI 2847:2019 22.5.10.1)

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c = \frac{259,33}{0,75} - 235,76 = 110,79 \text{ kN}$$

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_s}{f_{yt} d} = \frac{110,01 \times 1000}{420 \times 455} = 0,582 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$0,33 \sqrt{f'_c} b w d = 0,33 \times \sqrt{25} \times 500 \times 453,5 = 374137,5 \text{ N} = 374,14 \text{ kN}$$

$$V_s = 110,79 < 0,33 \sqrt{f'_c} b w d$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 10.7.6.5.2 jika  $V_s < 0,33 \sqrt{f'_c} b w d$ , maka:

$$s_{\text{max}} = d/2 = 453,5/2 = 226,75 \text{ mm}$$

$$s_{\text{pakai}} = 100 \text{ mm} < 277,5 \text{ mm (OK)}$$

$$A_v = 0,582 \times 100 = 58,2 \text{ mm}^2$$

$$0,5 \phi V_c = 97,25 \text{ kN}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 10.7.6.5.2, jika  $V_u = 259,33 \text{ kN} > 0,5$

$\phi V_c$ , maka  $A_v$  min dihitung dari yang terbesar dari:



$$A_{v \min 1} = 0,062 \sqrt{f'c} \frac{bw s}{f_{yt}} = 0,062 \sqrt{25} \frac{500 \times 100}{420} = 36,9 \text{ mm}^2$$

$$A_{v \min 2} = 0,35 \frac{bw s}{f_{yt}} = 0,35 \frac{500 \times 100}{420} = 41,67 \text{ mm}^2$$

$$A_{v \min} = 41,67 \text{ mm}^2$$

Luas tulangan transversal yang dipakai:

$$A_{v \text{ req}} = 58,2 \text{ mm}^2$$

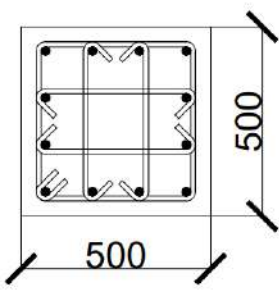
$$A_{v \text{ pakai}} = 4 \times 0,25\pi \times 13^2 = 530,93 \text{ mm}^2 > A_{v \text{ req}} \text{ (OK)}$$

Maka tulangan transversal di daerah sendi plastis tetap menggunakan 4 kaki D10-100 mm.

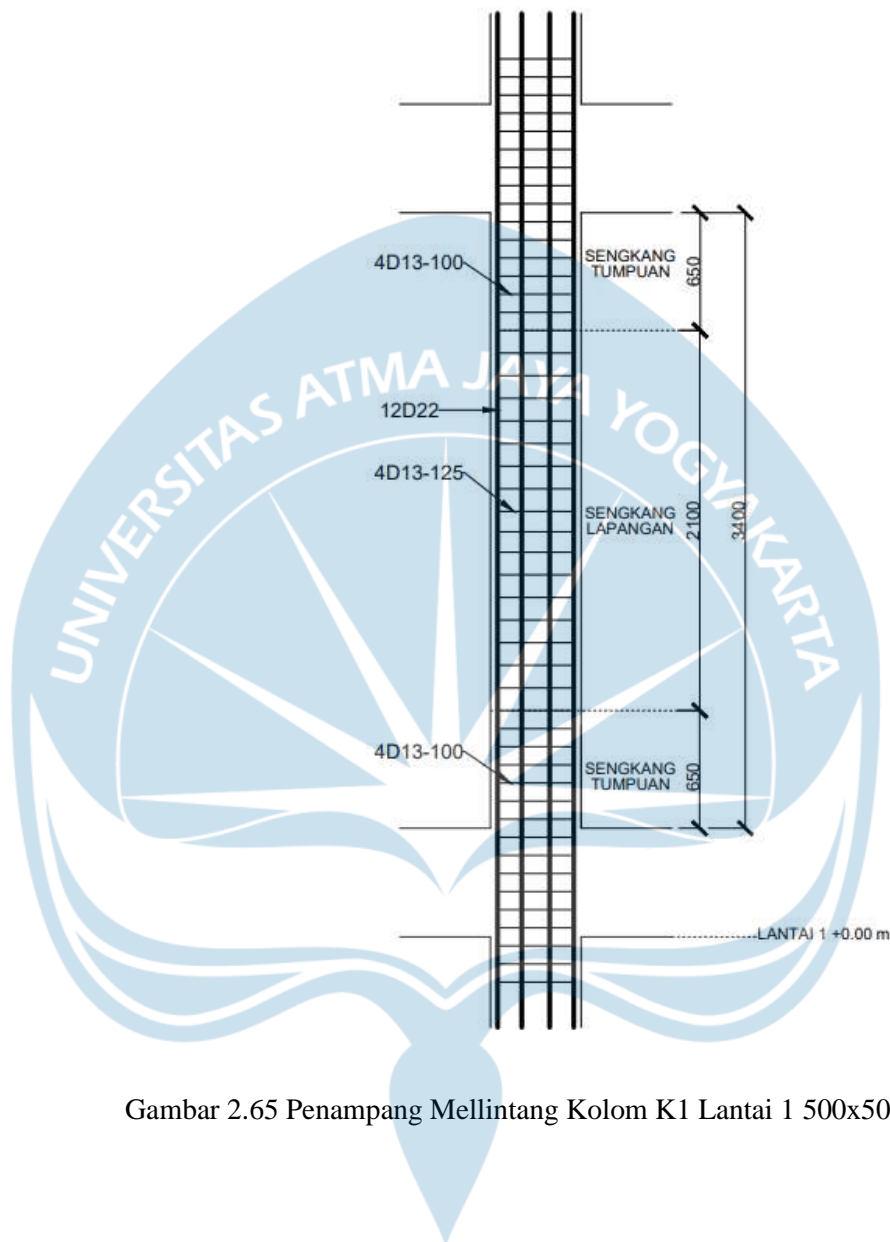
### c. Tulangan di Luar Daerah Sendi Plastis (luar lo)

Untuk tulangan transversal di luar sendi plastis digunakan spasi tidak melebihi nilai terkecil dari 6D tul. longitudinal dan 150 mm. (SNI 2847:2019 18.7.5.5) 6D tul. longitudinal = 6 x 22 = 132 mm

Maka untuk tulangan transversal di luar daerah sendi plastis (luar lo) digunakan 4 kaki D13-125 mm.

KOLOM	TULANGAN
K 1	
UKURAN KOLOM	500 X 500 mm
TULANGAN LONGITUDINAL	12D22
SENGKANG TUMPUAN ATAS	4D13-100
SENGKANG LAPANGAN	4D13-125
SENGKANG TUMPUAN BAWAH	4D13-100

Gambar 2.64 Potongan Kolom K1 Lantai 1 500x500 mm



Gambar 2.65 Penampang Mellintang Kolom K1 Lantai 1 500x500 mm

### 3. Hubungan Balok Kolom

Data perencanaan:

$$\text{In kolom atas} = 3500 - 600 = 2900 \text{ mm}$$

$$\text{Tul. atas balok kiri} = 5D19$$

$$\text{As}^- \text{ kiri} = 5 \times 0,25\pi \times 19^2 = 1417,64 \text{ mm}^2$$

$$\text{Mprb}^- \text{ kiri} = 365,04 \text{ kNm}$$

$$\text{Tul. atas balok kanan} = 3D19$$

$$\text{As}^+ \text{ kanan} = 3 \times 0,25\pi \times 19^2 = 850,59 \text{ mm}^2$$

$$M_{prb}^+ \text{ kanan} = 227,96 \text{ kNm}$$

#### a. Luas Efektif Joint (A<sub>j</sub>)

$$\text{lebar balok (b)} = 350 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi joint (h)} = h \text{ kolom} = 500 \text{ mm}$$

$$x = (h - b)/2 = (500 - 350)/2 = 75 \text{ mm}$$

$$b+h = 350 + 500 = 850 \text{ mm}$$

$$b+2x = 350 + 2(75) = 500 \text{ mm}$$

$$b+h > b+2x$$

$$\text{Lebar efektif} = b+2x = 500 \text{ mm}$$

$$\text{Luas joint efektif (A}_j\text{)} = \text{lebar efektif} \times \text{tinggi joint} = 500 \times 500 = 250000 \text{ mm}^2$$

#### b. Tulangan Transversal

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.8.3.2, kebutuhan tulangan dapat dikurangi setengah dan spasi bisa ditingkatkan hingga 150 mm jika:

- Terdapat balok yang merangka pada keempat sisi HBK (OK)
- Lebar balok setidaknya 3/4 lebar kolom

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

$$3/4 \text{ b kolom} = 3/4 \times 500 = 375 \text{ mm}$$

$$\text{Lebar balok} < 3/4 \text{ lebar kolom (Not OK)}$$

Maka kebutuhan tulangan transversal di HBK tetap sama seperti yang digunakan di daerah sendi plastis kolom.

$$\frac{A_{sh}}{s} = 3,129 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$s \text{ pakai} = 100 \text{ mm}$$

$$\text{jumlah kaki} = 4 \text{ kaki}$$

$$D \text{ transversal} = 10 \text{ mm}$$

$$A_{sh \text{ req}} = 3,129 \times 100 = 312,93 \text{ mm}^2$$

$$\text{Ash pakai} = 4 \times 0,25\pi \times 13^2 = 530,93 \text{ mm}^2$$

Ash pakai > Ash req (OK)

Maka digunakan 4 kaki tulangan D13-100 mm di HBK

### c. Kuat Geser

$$M_{prb^- ki} = 365,04 \text{ kNm}$$

$$M_{prb^+ ka} = 227,96 \text{ kNm}$$

$$\Sigma M_{pr} \text{ balok} = 365,04 + 227,96 = 593 \text{ kNm}$$

Karena penampang sama tapi tinggi berbeda, maka faktor distribusi di kolom atas dan kolom bawah hbk menjadi:

$$DF \text{ atas} = \frac{1/3,5}{1/4 + 1/3,5} = 0,533$$

$$DF \text{ bawah} = \frac{1/4}{1/4 + 1/3,5} = 0,467$$

$$\begin{aligned} V_{sway} &= \frac{DF \text{ atas} \times \Sigma M_{prb} + DF \text{ bawah} \times \Sigma M_{prb}}{ln \text{ kolom atas}} \\ &= \frac{0,533 \times 593 + 0,467 \times 593}{2,9} \\ &= 204,48 \text{ kN} \end{aligned}$$

Gaya tarik tulangan atas kiri HBK:

$$A_s^- ki = 1417,64 \text{ mm}^2$$

$$T1 = 1,25 A_s f_y = 1,25 \times 1417,64 \times 420 = 744262,93 \text{ N} = 744,26 \text{ kN}$$

Gaya tekan di sisi kiri HBK:

$$C1 = T1 = 744,26 \text{ kN}$$

Gaya tarik tulangan bawah di sisi kanan HBK:

$$A_s^+ ka = 850,59 \text{ mm}^2$$

$$T2 = 1,25 A_s f_y = 1,25 \times 850,59 \times 420 = 446557,76 \text{ N} = 446,56 \text{ kN}$$

Gaya tekan di sisi kanan HBK:

$$C2 = T2 = 446,56 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} V_j &= T1 + C2 - V_{\text{sway}} \\ &= 744,26 + 466,56 - 204,48 \\ &= 1392,07 \text{ kN} \end{aligned}$$

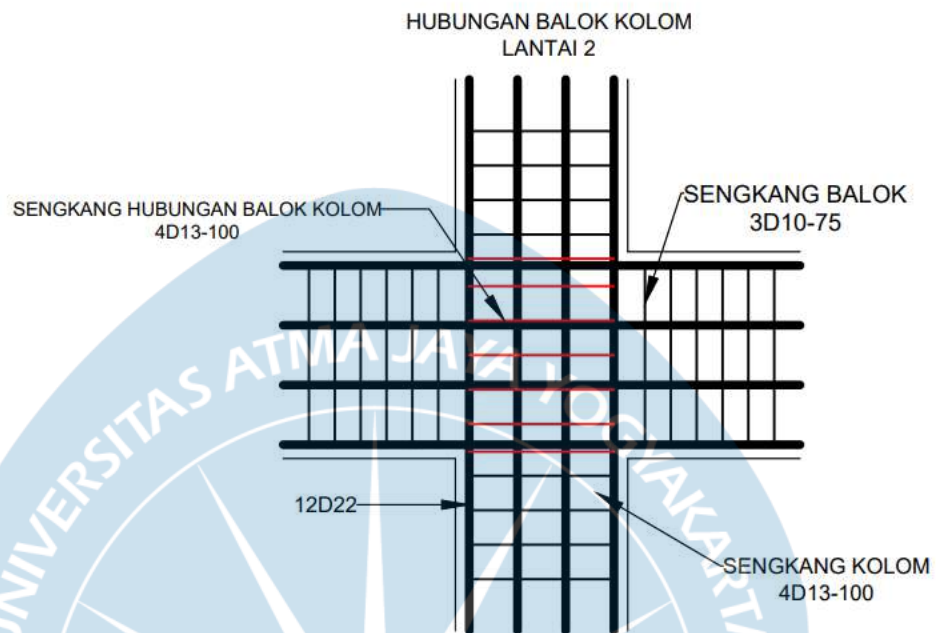
Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.8.4.1, kuat geser HBK yang terkekang oleh balok-balok pada keempat sisinya:

$$\begin{aligned} V_n &= 1,7\lambda \sqrt{f'c} A_j \\ &= 1,7 \times 1 \times \sqrt{25} \times 250000 \\ &= 2125000 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\phi V_n = 0,85 \times 2125000 = 1806250 \text{ N}$$

$$\phi V_n = 1806,25 \text{ kN} > V_j = 1392,07 \text{ kN (OK)}$$

Maka dimensi pada HBK mencukupi dan dipasang tulangan transversal 4 kaki D13 jarak 100 mm.



Gambar 2.66 Potongan Hubungan Balok Kolom Lantai 2

### 2.8.2 Perencanaan Kolom K1 Lantai 2

Data perencanaan kolom K1 lantai 2 dengan ukuran 500 mm x 500 mm dengan tinggi 3,5 m sebagai berikut:

- Mutu beton ( $f'_c$ ) = 25 Mpa
- Dimensi kolom = 500 mm x 500 mm
- Selimut kolom = 40 mm
- Tinggi kolom ( $l$ ) = 3500 mm
- Tinggi bersih kolom ( $l_n$ ) = 2900 mm
- D. tulangan longitudinal = 22 mm
- $f_y$  = 420 Mpa
- D. tulangan transversal = 13 mm
- $f_{yt}$  = 280 Mpa
- $d$  =  $500 - 40 - 13/2 = 453,5$  mm

Berikut adalah hasil analisis struktur kolom:

Pu kolom atas	= 670,2 kN
Pu kolom desain	= 1271,5 kN
Mx desain	= 65,3 kN
My desain	= 90,7 kN
Vu	= 51,6 kN
Nu (komb. aksial kecil)	= 509 kN

### Batasan Dimensi

- Sisi terpendek kolom tidak kurang dari 300 mm (SNI 2847:2019 18.7.2.1a)  
Sisi terpendek =  $b = 500 \text{ mm} > 300 \text{ mm}$  (OK)
- Rasio dimensi penampang tidak kurang dari 0,4 (SNI 2847:2019 18.7.2.1b)  
 $\frac{b}{h} = \frac{500}{500} = 1 > 0,4$  (OK)

### 1. Estimasi Tulangan Longitudinal

Rasio tulangan longitudinal  $\rho$  dibatasi tidak boleh kurang dari 0.01 dan tidak boleh lebih dari 0.06 (SNI 2847:2019 pasal 18.7.4.1). Untuk estimasi awal digunakan tulangan 12D22.

Data tulangan kolom longitudinal:

$$\text{Diameter} = 22 \text{ mm}$$

$$\text{Jumlah} = 12 \text{ buah}$$

$$A_s = 12 \times 0,25\pi \times 22^2 = 4559,3 \text{ mm}^2$$

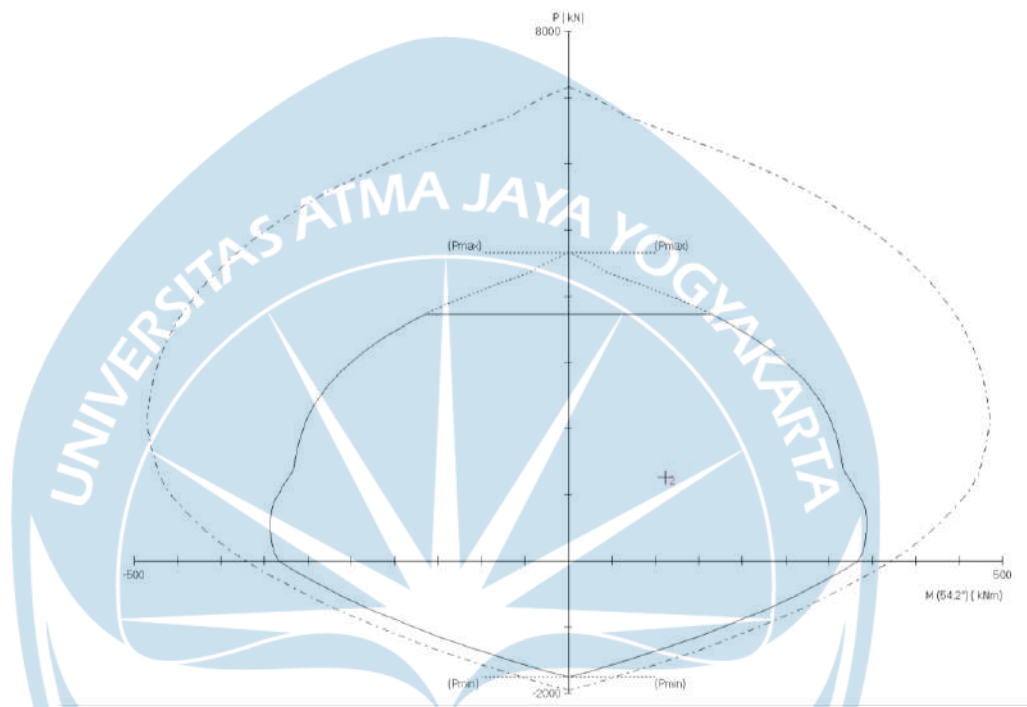
$$A_g = 500 \times 500 = 250000 \text{ mm}^2$$

$$\rho = \frac{A_s}{A_g} = \frac{4559,3}{250000} = 0,0182$$

$$0,01 < \rho < 0,06 \text{ (OK)}$$

### Kuat Kolom Rencana

Dilakukan perhitungan kuat kolom rencana dengan bantuan program spcolumn dan didapatkan hasil seperti berikut:



Gambar 2.67 Output Diagram Interaksi SP Column K1 Lantai 2

Kolom sudah kuat menahan interaksi gaya axial ultimate  $P_u$  dan momen ultimate arah X dan Y.

## 2. Cek Syarat *Strong Column Weak Beam*

Kuat lentur kolom harus memenuhi  $\Sigma M_{nk} \geq 1.2 \Sigma M_{nb}$  (SNI 2847:2019 pasal 18.7.3.2). Karena kolom berbentuk persegi, momen nominal kolom arah X dan arah Y sama.

Hasil perhitungan momen nominal kolom :



No	Pu	Mux	$\phi M_{nx}$	$\phi M_n/M_u$	NA Depth	dt Depth	ct	$\phi$
	kN	kNm	kNm		mm	mm		
1	1922.30	46.80	355.17	7.589	295	440	0.00146	0.650
2	1271.50	65.30	422.31	6.467	211	440	0.00326	0.750
3	670.20	48.20	434.36	9.012	147	440	0.00595	0.900
4	272.60	51.40	384.65	7.484	121	440	0.00787	0.900

Gambar 2.68 Output Tabel SP Column K1 Lantai 2

$$\phi M_n \text{ kolom atas} = 434,36 \text{ kNm}$$

$$\phi \text{ kolom atas} = 0,9$$

$$\phi M_n \text{ kolom desain} = 422,31 \text{ kNm}$$

$$\phi \text{ kolom desain} = 0,75$$

$$M_n \text{ kolom atas} = 434,36 / 0,9 = 482,62 \text{ kNm}$$

$$M_n \text{ kolom desain} = 422,31 / 0,75 = 563,2 \text{ kNm}$$

$$\Sigma M_n \text{ kolom} = 563,2 + 482,62 = 1045,82 \text{ kNm}$$

#### Tinjaun Arah X

Balok dengan dimensi 350x400 dan 350x500 menumpu pada arah X kolom.

$$M_{nb}^- \text{ 350x400} = 113,06 \text{ kNm}$$

$$M_{nb}^+ \text{ 350x500} = 101,098 \text{ kN}$$

$$\Sigma M_n \text{ kolom} = 1045,82 \text{ kNm}$$

$$1,2 \Sigma M_n \text{ balok} = 1,2 (113,06 + 101,098) = 256,99 \text{ kNm}$$

$$\Sigma M_n \text{ kolom} > 1,2 \Sigma M_n \text{ balok (OK)}$$

#### Tinjaun Arah Y

Balok dengan dimensi 350x600 bentang 7,1 m dan 350x600 bentang 3,7 m menumpu pada arah Y kolom.

$$M_{nb}^- \text{ 350x600} = 297,99 \text{ kNm}$$

$$M_{nb}^+ \text{ 350x600} = 184,51 \text{ kN}$$

$$\Sigma M_n \text{ kolom} = 1045,82 \text{ kNm}$$

$$1,2 \Sigma M_n \text{ balok} = 1,2 (297,99 + 184,51) = 579 \text{ kNm}$$

$$\Sigma M_n \text{ kolom} > 1,2 \Sigma M_n \text{ balok (OK)}$$

### 3. Perhitungan Tulangan Transversal

#### a. Tulangan di Daerah Sendi Plastis ( $l_0$ )

$$bc = bw - (2 \times \text{selimut beton})$$

$$= 500 - (2 \times 40)$$

$$= 420 \text{ mm}$$

$$A_g = 500 \times 500 = 250000 \text{ mm}^2$$

$$A_{ch} = 420 \times 420 = 176400 \text{ mm}^2$$

$$0,3 f'_c A_g = 0,3 \times 25 \times 250000 = 1875000 \text{ N} = 1875 \text{ kN}$$

$$P_u = 1271,5 \text{ kN}$$

$$P_u < 0,3 f'_c A_g$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.7.5.4 karena  $P_u < 0,3 f'_c A_g$  maka:

$$\begin{aligned} \frac{A_{sh}}{s bc} (1) &= 0,3 \left( \frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \left( \frac{f'_c}{f_{yt}} \right) = 0,3 \left( \frac{250000}{176400} - 1 \right) \left( \frac{25}{420} \right) \\ &= 0,0075 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

$$\frac{A_{sh}}{s bc} (2) = 0,09 \left( \frac{f'_c}{f_{yt}} \right) = 0,09 \left( \frac{25}{420} \right) = 0,0054 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Diambil nilai terbesar  $A_{sh}/s.bc = 0,0075 \text{ mm}^2/\text{mm}$

$$\frac{A_{sh}}{s} = 0,0075 \times 420 = 3,129 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Digunakan jumlah kaki pada tulangan transversal = 4 kaki

$$D \text{ sengkang} = 13 \text{ mm}$$

$$A_{sh} = 4 \times 0,25\pi \times 13^2 = 530,93 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{A_{sh}}{A_{sh}/s} = \frac{530,93}{3,129} = 169,67 \text{ mm}$$

Jarak spasi maksimum menurut SNI 2847:2019 Pasal 18.7.5.3, adalah nilai terkecil dari:

$$s1 = 1/4 \times 500 = 125 \text{ mm}$$

$$s2 = 6 \times 22 = 132 \text{ mm}$$

$$hx = x1 = \frac{500 - 2 \times 40 - 2 \times 13 - 22}{4 - 1} = 124 \text{ mm}$$

$$s3 = 100 + \left( \frac{350 - 124}{3} \right) = 175,33 \text{ mm} > 150 \text{ mm}$$

$$s3 = 150 \text{ mm}$$

Diambil spasi maksimum  $s_{\max} = 125 \text{ mm}$

Maka digunakan tulangan transversal 4D13 - 100 didaerah sendi plastis ( $l_0$ ).

### **Panjang Sendi Plastis**

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.5.1, nilai  $l_0$  dipilih terbesar antara:

$$l_{01} = \text{sisi terlebar kolom} = 500 \text{ mm}$$

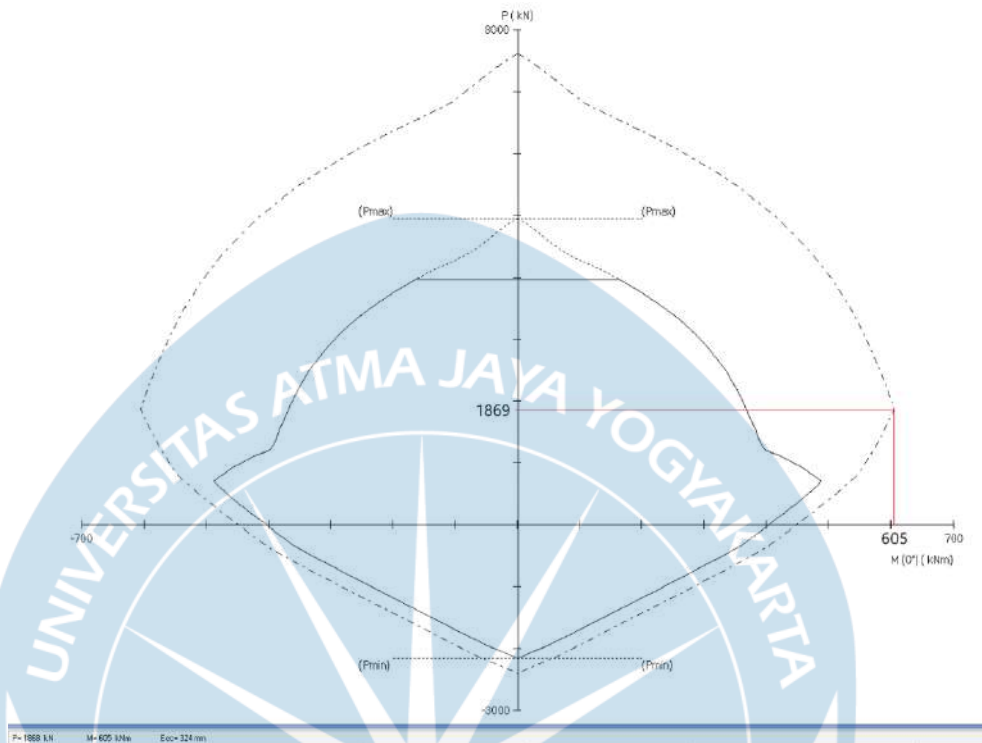
$$l_{02} = 1/6 l_n = 1/6 \times 2900 = 483,33 \text{ mm}$$

$$l_{03} = 450 \text{ mm}$$

$$\text{maka } l_0 = 500 \text{ mm}$$

### **b. Kuat Geser Kolom**

Nilai  $M_{pr}$  kolom diambil dari nilai momen nominal kemungkinan terbesar dengan  $f_y$  diperbesar  $1,25f_y$ . Nilai  $M_{pr}$  kolom yang didapatkan dari program SPcolumn sebagai berikut:



Gambar 2.69 Diagram Interaksi untuk Mpr Kolom K1 Lantai 2

$$M_{pr} \text{ kolom} = 605 \text{ kNm}$$

Diambil nilai Mpr balok dari arah dengan Mpr terbesar yaitu arah Y.

$$M_{pr}^- \text{ 350x600} = 365,04 \text{ kNm}$$

$$M_{pr}^+ \text{ 350x600} = 227,96 \text{ kNm}$$

$$\Sigma M_{pr} \text{ balok} = 365,04 + 227,96 = 593 \text{ kNm}$$

Karena penampang dan tinggi kolom desain dan atas sama maka faktor distribusi momen atas:

$$DF_{\text{atas}} = 0,5$$

Karena penampang kolom desain dan bawah sama tapi tinggi berbeda, maka untuk mencari faktor distribusi momen bawah:

$$DF_{\text{bawah}} = \frac{1/3,5}{1/4 + 1/3,5} = 0,53$$

Ve berdasarkan Mpr kolom:

$$Ve(1) = \frac{Mpr\ bawah + Mpr\ atas}{ln} = \frac{605 + 605}{2,9} = 417,29\ kN$$

Geser kolom tersebut di atas tidak perlu melebihi nilai geser yang dihitung dari kekuatan joint berdasarkan Mpr balok yang merangka ke joint (SNI 2047:2019 pasal 18.7.6.1.1).

$$\begin{aligned} Ve(2) &= \frac{DF\ bawah \times \Sigma Mpr\ balok + DF\ atas \times \Sigma Mpr\ balok}{ln} \\ &= \frac{0,53 \times 593 + 0,5 \times 593}{2,9} \\ &= 211,3\ kN \end{aligned}$$

maka  $Ve = 211,3\ kN > Vu\ as = 51,6\ kN$  (OK) (SNI 2847:2019 18.7.6.1.1)

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.7.6.2.1, Vc dianggap 0 apabila:

- $Ve > 1/2 Vu\ as$

$$Ve = 211,3\ kN > 1/2 Vu\ as = 25,8\ kN\ (OK)$$

- $Pu < Ag f'c / 20$

$$Ag f'c / 20 = 250000 \times 25 / 20 = 312500\ N = 312,5\ kN$$

$$Pu = 1271,5\ kN > 312,5\ kN\ (Not\ OK)$$

Maka Vc dihitung.

$$Nu = 509\ kN$$

$$\begin{aligned} Vc &= 0,17 \left( 1 + \frac{Nu}{14Ag} \right) \lambda \sqrt{f'c} bw d \\ &= 0,17 \left( 1 + \frac{509}{14 \times 250000} \right) 1 \sqrt{25} \times 500 \times 453,5 \\ &= 220767,039\ N \\ &= 220,77\ kN \end{aligned}$$

$$\Phi V_c = 0,75 \times 220,77 = 165,58 \text{ kN}$$

$$V_u = V_e = 211,3 \text{ kN}$$

Karena  $V_u > \Phi V_c$ , maka  $V_s$  dihitung (SNI 2847:2019

22.5.10.1)

$$V_s = \frac{V_u}{\Phi} - V_c = \frac{211,3}{0,75} - 220,77 = 60,96 \text{ kN}$$

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_s}{f_{yt} d} = \frac{60,96 \times 1000}{420 \times 453,55} = 0,320 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$0,33\sqrt{f'_c} b_w d = 0,33 \times \sqrt{25} \times 500 \times 453,5 = 374137,5 \text{ N} = 374,14 \text{ kN}$$

$$V_s = 60,23 \text{ kN} < 0,33\sqrt{f'_c} b_w d$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 10.7.6.5.2 jika  $V_s < 0,33\sqrt{f'_c} b_w d$ , maka spasi maksimal:

$$s_{\text{max}} = d/2 = 453,5/2 = 226,75 \text{ mm}$$

$$s_{\text{pakai}} = 100 \text{ mm} < 226,75 \text{ mm (OK)}$$

$$A_v = 0,32 \times 100 = 32 \text{ mm}^2$$

$$0,5 \Phi V_c = 82,79 \text{ kN}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 10.7.6.5.2, jika  $V_u = 211,3 \text{ kN} > 0,5$

$\Phi V_c$ , maka  $A_v$  min dihitung dari yang terbesar dari:

$$A_v \text{ min1} = 0,062\sqrt{f'_c} \frac{b_w s}{f_{yt}} = 0,062\sqrt{25} \frac{500 \times 100}{420} = 36,9 \text{ mm}^2$$

$$A_v \text{ min2} = 0,35 \frac{b_w s}{f_{yt}} = 0,35 \frac{500 \times 100}{420} = 41,67 \text{ mm}^2$$

$$A_v \text{ min} = 41,67 \text{ mm}^2$$

Luas tulangan transversal yang dipakai:

$$A_v \text{ req} = 41,67 \text{ mm}^2$$

$$A_v \text{ pakai} = 4 \times 0,25\pi \times 13^2 = 530,93 \text{ mm}^2 > A_v \text{ req (OK)}$$

Maka tulangan transversal di daerah sendi plastis tetap menggunakan 4 kaki D13-100 mm.

### c. Tulangan di Luar Daerah Sendi Plastis (luar lo)

Untuk tulangan transversal di luar sendi plastis digunakan spasi tidak melebihi nilai terkecil dari 6D tul. longitudinal dan 150 mm. (SNI 2847:2019 18.7.5.5)

$$6D \text{ tul. longitudinal} = 6 \times 22 = 132 \text{ mm}$$

Maka untuk tulangan transversal di luar daerah sendi plastis (luar lo) digunakan 4 kaki D13-125 mm.

#### Panjang Sambungan Lewatan

Panjang penyaluran batang tulangan ulir dalam kondisi tarik diatur dalam SNI 2847:2019 Pasal 25.5.4.1. Berikut adalah data perencanaan sambungan lewatan:

$$s = 100 \text{ mm}$$

$$\lambda = 1$$

$$\begin{aligned} A_b &= 0,25 \times \pi \times d_{\text{senggang}}^2 \\ &= 0,25 \times \pi \times 13^2 \\ &= 132,7323 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Panjang sambungan lewatan ( $l_{st}$ ) diambil terbesar dari:

$$l_{st1} = s + 50 \text{ mm}$$

$$l_{st2} = 1,5 \times l_d$$

$$l_{st3} = 150 \text{ mm}$$

Di mana panjang  $l_d$  dihitung pada pasal 25.4.7.2

$$\begin{aligned} l_d &= 3,3 \left( \frac{f_y}{\lambda \sqrt{f_c'}} \right) \left( \frac{A_b}{s} \right) \\ &= 3,3 \left( \frac{420}{1 \sqrt{25}} \right) \left( \frac{132,7323}{100} \right) \end{aligned}$$

$$= 294,371 \text{ mm}$$

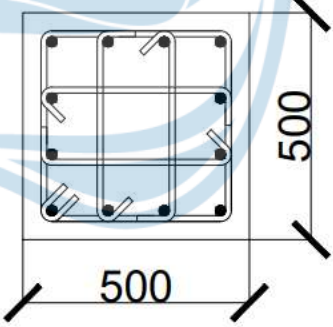
$$= 300 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} I_{st1} &= s + 50 \text{ mm} \\ &= 100 + 50 \text{ mm} \\ &= 150 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{st2} &= 1,5 \times l_d \\ &= 1,5 \times 300 \text{ mm} \\ &= 450 \text{ mm} \end{aligned}$$

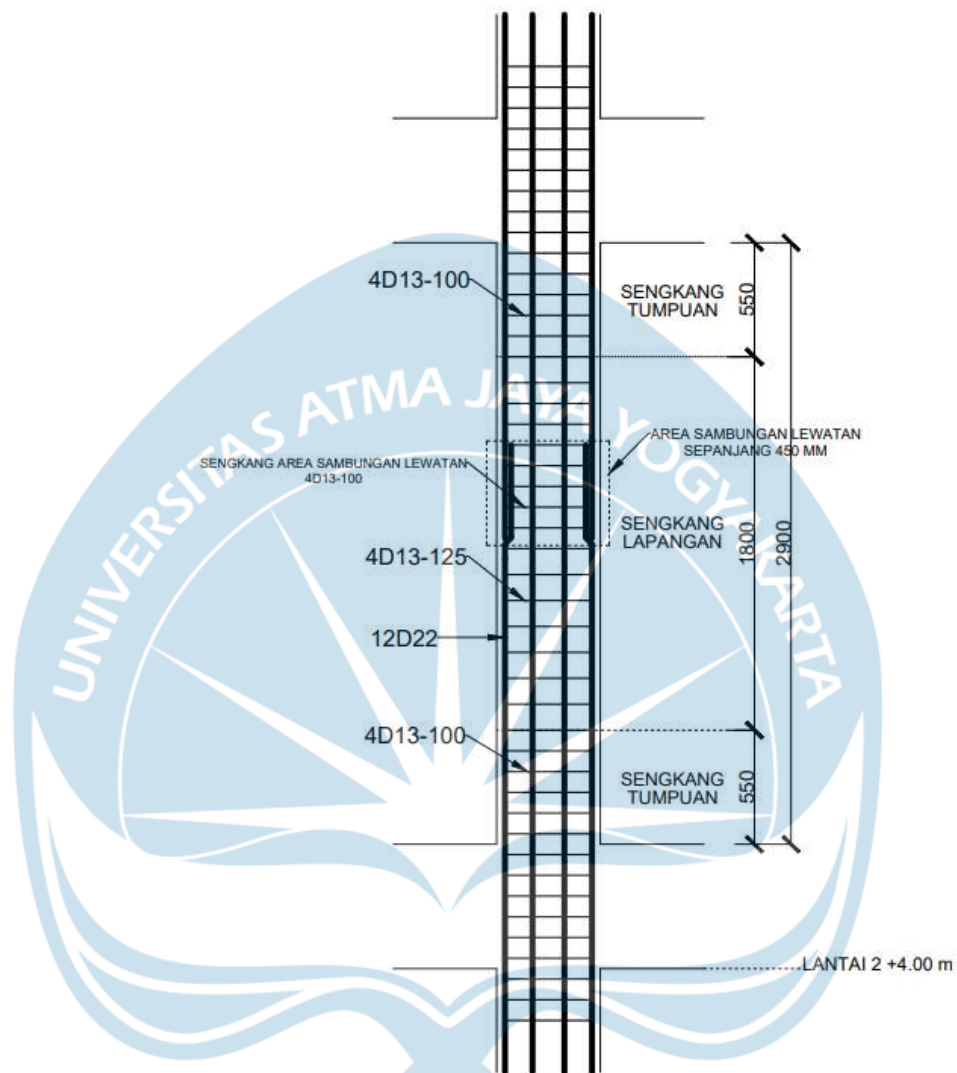
$$I_{st3} = 150 \text{ mm}$$

Jadi,  $I_{st}$  dipakai 450 mm

KOLOM	TULANGAN
K 1	
UKURAN KOLOM	500 X 500 mm
TULANGAN LONGITUDINAL	12D22
SENGKANG TUMPUAN ATAS	4D13-100
SENGKANG LAPANGAN	4D13-125
SENGKANG TUMPUAN BAWAH	4D13-100

Gambar 2.70 Potongan Kolom K1 Lantai 2 500x500 mm





Gambar 2.71 Penampang Melintang Kolom K1 Lantai 2 500x500 mm

### 3. Hubungan Balok Kolom

Data perencanaan:

In kolom atas = 2900 mm

Tul. atas balok kiri = 5D19

$As^-$  kiri =  $5 \times 0,25\pi \times 19^2 = 1417,64 \text{ mm}^2$

$Mprb^-$  kiri = 365,04 kNm

Tul. atas balok kanan = 3D19

$As^+$  kanan =  $3 \times 0,25\pi \times 19^2 = 850,59 \text{ mm}^2$

$$M_{prb}^+ \text{ kanan} = 227,96 \text{ kNm}$$

**a. Luas Efektif Joint (Aj)**

$$\begin{aligned} \text{lebar balok (b)} &= 350 \text{ mm} \\ \text{Tinggi joint (h)} &= h \text{ kolom} = 500 \text{ mm} \\ x &= (h - b)/2 = (500 - 350)/2 = 75 \text{ mm} \\ b+h &= 350 + 500 = 850 \text{ mm} \\ b+2x &= 350 + 2(75) = 500 \text{ mm} \\ b+h > b+2x \\ \text{Lebar efektif} &= b+2x = 500 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Luas joint efektif (Aj)} = \text{lebar efektif} \times \text{tinggi joint} = 500 \times 500 = 250000 \text{ mm}^2$$

**b. Tulangan Transversal**

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.8.3.2, kebutuhan tulangan dapat dikurangi setengah dan spasi bisa ditingkatkan hingga 150 mm jika:

- Terdapat balok yang merangka pada keempat sisi HBK (OK)
- Lebar balok setidaknya 3/4 lebar kolom

$$\begin{aligned} \text{Lebar balok} &= 350 \text{ mm} \\ 3/4 \text{ b kolom} &= 3/4 \times 500 = 375 \text{ mm} \end{aligned}$$

Lebar balok < 3/4 lebar kolom (Not OK)

Maka kebutuhan tulangan transversal di HBK tetap sama seperti yang digunakan di daerah sendi plastis kolom.

$$\frac{A_{sh}}{s} = 3,129 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$\begin{aligned} s \text{ pakai} &= 100 \text{ mm} \\ \text{jumlah kaki} &= 4 \text{ kaki} \\ D \text{ transversal} &= 13 \text{ mm} \\ A_{sh \text{ req}} &= 3,129 \times 100 = 312,9 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Ash pakai} = 4 \times 0,25\pi \times 13^2 = 530,93 \text{ mm}^2$$

Ash pakai > Ash req (OK)

Maka digunakan 4 kaki tulangan D13-100 mm di HBK

### c. Kuat Geser

$$M_{prb^- ki} = 365,04 \text{ kNm}$$

$$M_{prb^+ ka} = 227,96 \text{ kNm}$$

$$\Sigma M_{pr} \text{ balok} = 365,04 + 227,96 = 593 \text{ kNm}$$

Karena penampang dan tinggi kolom bawah dan atas HBK sama, maka faktor distribusi momen atas bawah sama:

$$DF = 0,5$$

$$\begin{aligned} V_{sway} &= \frac{DF \text{ atas} \times \Sigma M_{prb} + DF \text{ bawah} \times \Sigma M_{prb}}{ln \text{ kolom atas}} \\ &= \frac{0,5 \times 593 + 0,5 \times 593}{2,9} \\ &= 204,48 \text{ kN} \end{aligned}$$

Gaya tarik tulangan atas kiri HBK:

$$A_s^- ki = 1417,64 \text{ mm}^2$$

$$T1 = 1,25 A_s f_y = 1,25 \times 1417,64 \times 420 = 744262,93 \text{ N} = 744,26 \text{ kN}$$

Gaya tekan di sisi kiri HBK:

$$C1 = T1 = 744,26 \text{ kN}$$

Gaya tarik tulangan bawah di sisi kanan HBK:

$$A_s^+ ka = 850,59 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} T2 &= 1,25 A_s f_y = 1,25 \times 850,59 \times 420 = 446557,76 \text{ N} = \\ &446,56 \text{ kN} \end{aligned}$$

Gaya tekan di sisi kanan HBK:

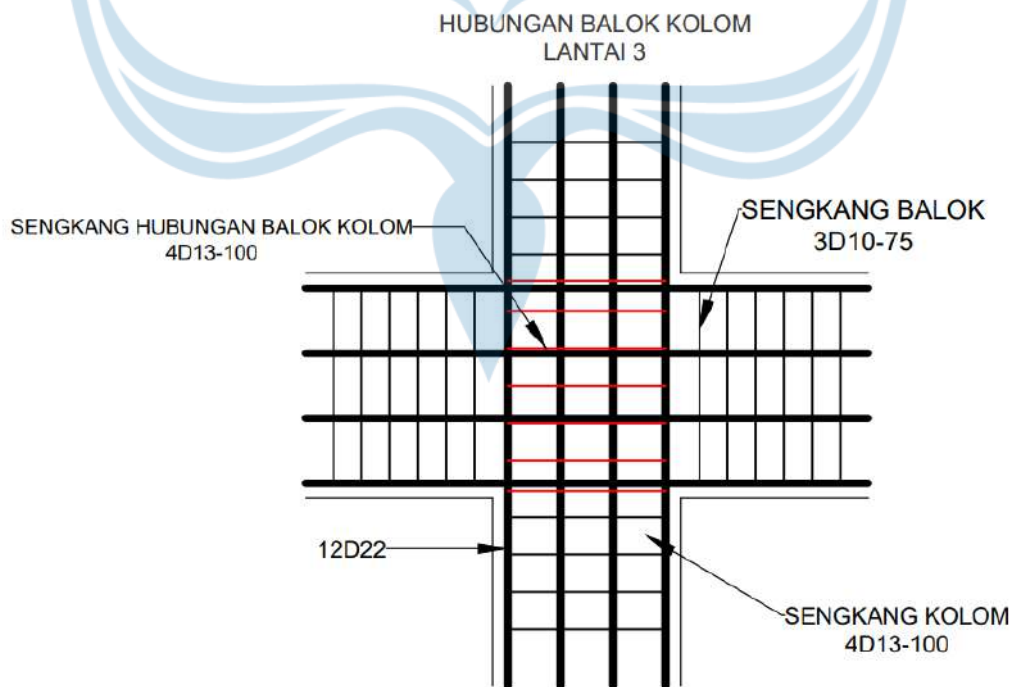
$$C2 = T2 = 446,56 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 V_j &= T_1 + C_2 - V_{\text{sway}} \\
 &= 744,26 + 466,56 - 204,48 \\
 &= 986,34 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.8.4.1, kuat geser HBK yang terkekang oleh balok-balok pada keempat sisinya:

$$\begin{aligned}
 V_n &= 1,7\lambda \sqrt{f'_c} A_j \\
 &= 1,7 \times 1 \times \sqrt{25} \times 250000 \\
 &= 2125000 \text{ N} \\
 \phi V_n &= 0,85 \times 2125000 = 1806250 \text{ N} \\
 \phi V_n &= 1806,25 \text{ kN} > V_j = 986,34 \text{ kN (OK)}
 \end{aligned}$$

Maka dimensi pada HBK mencukupi dan dipasang tulangan transversal 4 kaki D13 jarak 100 mm.



Gambar 2.72 Potongan Hubungan Balok Kolom Lantai 3

### 2.8.3 Perencanaan Kolom K1 Lantai 3

Data perencanaan kolom K1 lantai 3 dengan ukuran 500 mm x 500 mm dengan tinggi 3,5 m sebagai berikut:

- Mutu beton ( $f_c$ ) = 25 Mpa
- Dimensi kolom = 500 mm x 500 mm
- Selimut kolom = 40 mm
- Tinggi kolom ( $l$ ) = 3500 mm
- Tinggi bersih kolom ( $l_n$ ) = 2900 mm
- D. tulangan longitudinal = 22 mm
- $f_y$  = 420 Mpa
- D. tulangan transversal = 13 mm
- $f_{yt}$  = 420 Mpa
- $d$  =  $500 - 40 - 13/2 = 453,5$  mm

Berikut adalah hasil analisis struktur kolom:

- Pu kolom atas = 272,6 kN
- Pu kolom desain = 670,2 kN
- Mx desain = 48,2 kN
- My desain = 81 kN
- Vu = 44,2 kN
- Nu (komb. aksial kecil) = 272,6 kN

#### Batasan Dimensi

- Sisi terpendek kolom tidak kurang dari 300 mm (SNI 2847:2019 18.7.2.1a)  
Sisi terpendek =  $b = 500$  mm > 300 mm (OK)
- Rasio dimensi penampang tidak kurang dari 0,4 (SNI 2847:2019 18.7.2.1b)

$$\frac{b}{h} = \frac{500}{500} = 1 > 0,4 \text{ (OK)}$$

## 1. Estimasi Tulangan Longitudinal

Rasio tulangan longitudinal  $\rho$  dibatasi tidak boleh kurang dari 0.01 dan tidak boleh lebih dari 0.06 (SNI 2847:2019 pasal 18.7.4.1). Untuk estimasi awal digunakan tulangan 12D22.

Data tulangan kolom longitudinal:

$$\text{Diameter} = 22 \text{ mm}$$

$$\text{Jumlah} = 12 \text{ buah}$$

$$A_s = 12 \times 0,25\pi \times 22^2 = 4559,3 \text{ mm}^2$$

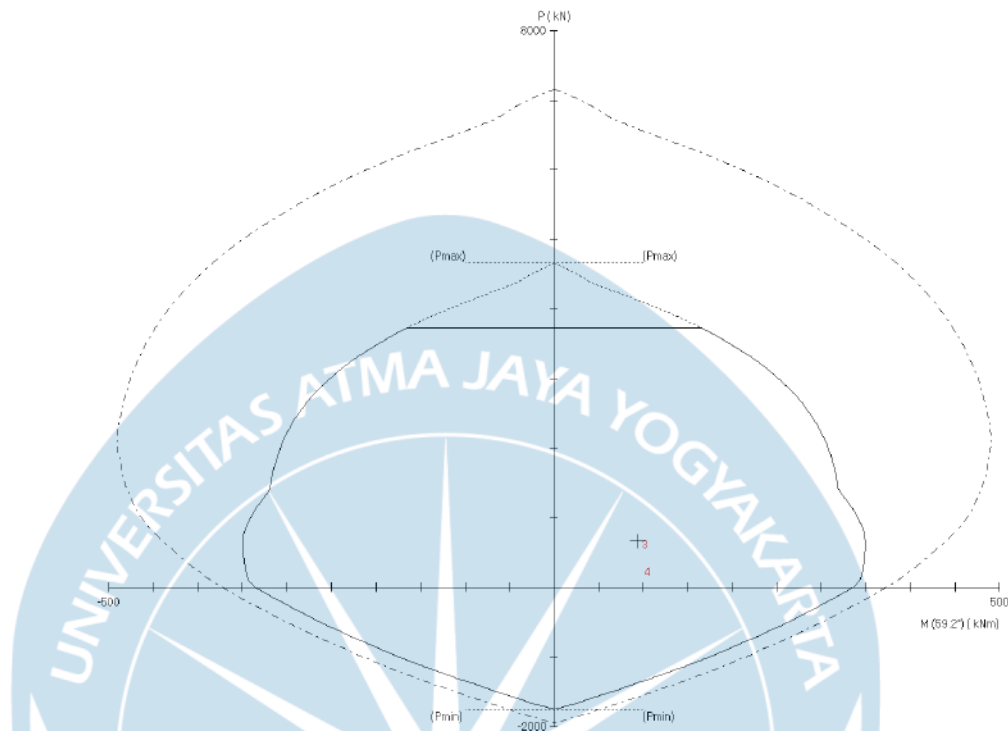
$$A_g = 500 \times 500 = 250000 \text{ mm}^2$$

$$\rho = \frac{A_s}{A_g} = \frac{4559,3}{250000} = 0,182$$

$$0,01 < \rho < 0,06 \text{ (OK)}$$

### Kuat Kolom Rencana

Dilakukan perhitungan kuat kolom rencana dengan bantuan program spcolumn dan didapatkan hasil seperti berikut:



Gambar 2.73 Output Diagram Interaksi SP Column K1 Lantai 3

Kolom sudah kuat menahan interaksi gaya axial ultimate  $P_u$  dan momen ultimate arah X dan Y.

## 2. Cek Syarat *Strong Column Weak Beam*

Kuat lentur kolom harus memenuhi  $\sum M_{nk} \geq 1.2 \sum M_{nb}$  (SNI 2847:2019 pasal 18.7.3.2). Karena kolom berbentuk persegi, momen nominal kolom arah X dan arah Y sama.

Hasil perhitungan momen nominal kolom:

No	$P_u$	$M_{ux}$	$\phi M_{nx}$	$\phi M_n / M_u$	NA Depth	dt Depth	et	$\phi$
	kN	kNm	kNm		mm	mm		
1	1922.30	46.80	355.17	7.589	295	440	0.00146	0.650
2	1271.50	65.30	422.31	6.467	211	440	0.00326	0.750
3	670.20	48.20	434.36	9.012	147	440	0.00595	0.900
4	272.60	51.40	384.65	7.484	121	440	0.00787	0.900

Gambar 2.74 Output Tabel SP Column K1 Lantai 3

$$\phi \text{ Mn kolom atas} = 384,65 \text{ kNm}$$

$$\phi \text{ kolom atas} = 0,9$$

$$\phi \text{ Mn kolom desain} = 434,36 \text{ kNm}$$

$$\phi \text{ kolom desain} = 0,9$$

$$\text{Mn kolom atas} = 384,65/0,9 = 427,39 \text{ kNm}$$

$$\text{Mn kolom desain} = 434,36/0,9 = 482,62 \text{ kNm}$$

$$\Sigma \text{Mn kolom} = 427,39 + 482,62 = 910,01 \text{ kNm}$$

### **Tinjaun Arah X**

Balok dengan dimensi 350x400 dan 350x500 menumpu pada arah X kolom.

$$\text{Mnb}^- \text{ 350x400} = 113,06 \text{ kNm}$$

$$\text{Mnb}^+ \text{ 350x500} = 101,098 \text{ kN}$$

$$\Sigma \text{Mn kolom} = 910,01 \text{ kNm}$$

$$1,2 \Sigma \text{Mn balok} = 1,2 (113,06 + 101,098) = 256,99 \text{ kNm}$$

$$\Sigma \text{Mn kolom} > 1,2 \Sigma \text{Mn balok (OK)}$$

### **Tinjaun Arah Y**

Balok dengan dimensi 350x600 bentang 7,1 m dan 350x600 bentang 3,7 m menumpu pada arah Y kolom.

$$\text{Mnb}^- \text{ 350x600} = 297,99 \text{ kNm}$$

$$\text{Mnb}^+ \text{ 350x600} = 184,51 \text{ kN}$$

$$\Sigma \text{Mn kolom} = 910,01 \text{ kNm}$$

$$1,2 \Sigma \text{Mn balok} = 1,2 (297,99 + 184,51) = 579 \text{ kNm}$$

$$\Sigma \text{Mn kolom} > 1,2 \Sigma \text{Mn balok (OK)}$$

## **3. Perhitungan Tulangan Transversal**

### **a. Tulangan di Daerah Sendi Plastis ( $l_0$ )**



$$\begin{aligned}
 bc &= bw - (2 \times \text{selimut beton}) \\
 &= 500 - (2 \times 40) \\
 &= 420 \text{ mm} \\
 Ag &= 500 \times 500 = 250000 \text{ mm}^2 \\
 Ach &= 420 \times 420 = 176400 \text{ mm}^2 \\
 0,3 f'c Ag &= 0,3 \times 25 \times 250000 = 1875000 \text{ N} = 1875 \text{ kN} \\
 Pu &= 670,2 \text{ kN} \\
 Pu &< 0,3f'cAg
 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.7.5.4 karena  $P_u < 0,3f'cA_g$  maka:

$$\begin{aligned}
 \frac{A_{sh}}{s bc} (1) &= 0,3 \left( \frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \left( \frac{f'c}{f_{yt}} \right) = 0,3 \left( \frac{250000}{176400} - 1 \right) \left( \frac{25}{420} \right) \\
 &= 0,0075 \text{ mm}^2/\text{mm}
 \end{aligned}$$

$$\frac{A_{sh}}{s bc} (2) = 0,09 \left( \frac{f'c}{f_{yt}} \right) = 0,09 \left( \frac{25}{420} \right) = 0,0054 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Diambil nilai terbesar  $A_{sh}/s.bc = 0,0075 \text{ mm}^2/\text{mm}$

$$\frac{A_{sh}}{s} = 0,0075 \times 420 = 3,129 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Digunakan jumlah kaki pada tulangan transversal = 4 kaki

$$D \text{ sengkang} = 13 \text{ mm}$$

$$A_{sh} = 4 \times 0,25\pi \times 13^2 = 530,93 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{A_{sh}}{A_{sh}/s} = \frac{530,93}{3,129} = 169,67 \text{ mm}$$

Jarak spasi maksimum menurut SNI 2847:2019 Pasal 18.7.5.3, adalah nilai terkecil dari:

$$s_1 = 1/4 \times 500 = 125 \text{ mm}$$

$$s_2 = 6 \times 22 = 132 \text{ mm}$$

$$hx = x1 = \frac{500 - 2 \times 40 - 2 \times 13 - 22}{4 - 1} = 124 \text{ mm}$$

$$s3 = 100 + \left( \frac{350 - 124}{3} \right) = 175,33 \text{ mm} > 150 \text{ mm}$$

$$s3 = 150 \text{ mm}$$

Diambil spasi maksimum  $s_{\max} = 125 \text{ mm}$

Maka digunakan tulangan transversal 4D13 - 100 didaerah sendi plastis

(lo).

### **Panjang Sendi Plastis**

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.5.1, nilai lo dipilih terbesar antara:

$$lo_1 = \text{sisi terlebar kolom} = 500 \text{ mm}$$

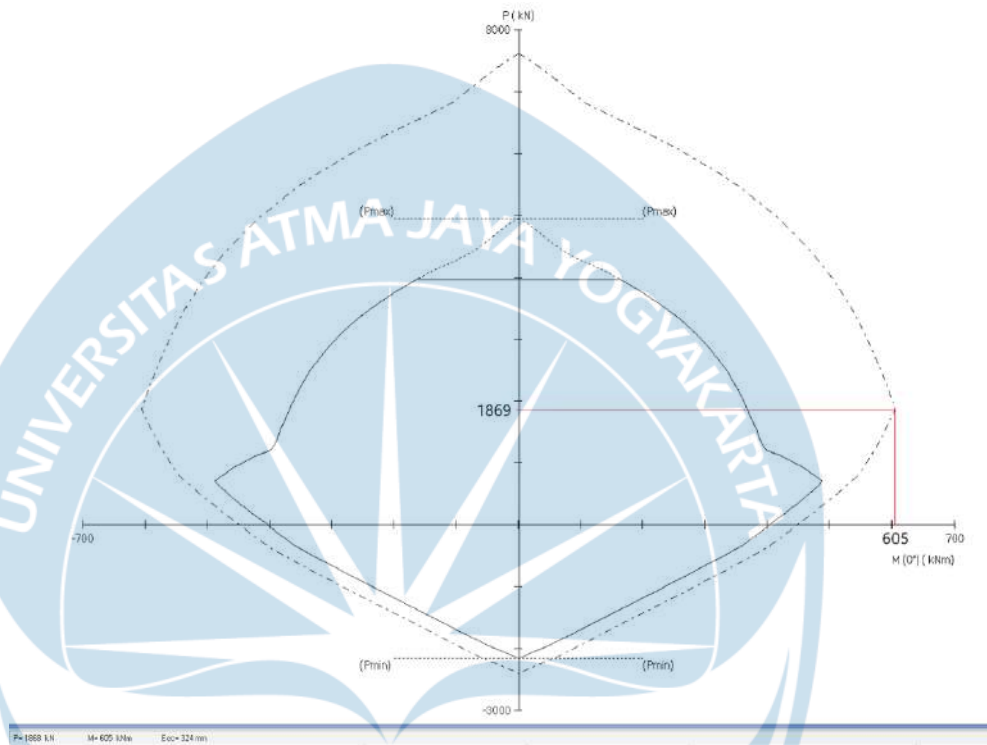
$$lo_2 = \frac{1}{6} l_n = \frac{1}{6} \times 2900 = 483,33 \text{ mm}$$

$$lo_3 = 450 \text{ mm}$$

$$\text{maka } lo = 500 \text{ mm}$$

### **b. Kuat Geser Kolom**

Nilai Mpr kolom diambil dari nilai momen nominal kemungkinan terbesar dengan  $f_y$  diperbesar  $1,25f_y$ . Nilai Mpr kolom yang didapatkan dari program SPcolumn sebagai berikut:



Gambar 2.75 Diagram Interaksi untuk Mpr Kolom K1 Lantai 3

$$M_{pr} \text{ kolom} = 605 \text{ kNm}$$

Diambil nilai Mpr balok dari arah dengan Mpr terbesar yaitu arah Y.

$$M_{pr}^- \text{ 350x600} = 365,04 \text{ kNm}$$

$$M_{pr}^+ \text{ 350x600} = 227,96 \text{ kNm}$$

$$\Sigma M_{pr} \text{ balok} = 365,04 + 227,96 = 593 \text{ kNm}$$

Karena penampang dan tinggi kolom desain, kolom bawah dan atas sama maka faktor distribusi momen atas dan bawah sama:

$$DF = 0,5$$

Ve berdasarkan Mpr kolom:

$$Ve(1) = \frac{Mpr\text{ bawah} + Mpr\text{ atas}}{ln} = \frac{605 + 605}{2,9} = 417,29\text{ kN}$$

Geser kolom tersebut di atas tidak perlu melebihi nilai geser yang dihitung dari kekuatan joint berdasarkan Mpr balok yang merangka ke joint (SNI 2047:2019 pasal 18.7.6.1.1).

$$\begin{aligned} Ve(2) &= \frac{DF\text{ bawah} \times \Sigma Mpr\text{ balok} + DF\text{ atas} \times \Sigma Mpr\text{ balok}}{ln} \\ &= \frac{0,5 \times 593 + 0,5 \times 593}{2,9} \\ &= 204,48\text{ kN} \end{aligned}$$

maka  $Ve = 204,48\text{ kN} > Vu\text{ as} = 44,2\text{ kN}$  (OK) (SNI 2847:2019 18.7.6.1.1)

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.7.6.2.1, Vc dianggap 0 apabila:

- $Ve > 1/2 Vu\text{ as}$   
 $Ve = 204,48\text{ kN} > 1/2 Vu\text{ as} = 25,8\text{ kN}$  (OK)
- $Pu < Ag f'c / 20$   
 $Ag f'c / 20 = 250000 \times 25 / 20 = 312500\text{ N} = 312,5\text{ kN}$   
 $Pu = 670,2\text{ kN} > 312,5\text{ kN}$  (Not OK)

Maka Vc dihitung.

$$Nu = 272,6\text{ kN}$$

$$\begin{aligned} Vc &= 0,17 \left( 1 + \frac{Nu}{14Ag} \right) \lambda \sqrt{f'c} bw d \\ &= 0,17 \left( 1 + \frac{272,6}{14 \times 250000} \right) 1 \sqrt{25} \times 500 \times 453,5 \\ &= 207748,998\text{ N} \\ &= 207,75\text{ kN} \end{aligned}$$

$$\Phi V_c = 0,75 \times 207,75 = 155,81 \text{ kN}$$

$$V_u = V_e = 204,48 \text{ kN}$$

Karena  $V_u > \Phi V_c$ , maka  $V_s$  dihitung (SNI 2847:2019

22.5.10.1)

$$V_s = \frac{V_u}{\Phi} - V_c = \frac{204,48}{0,75} - 207,75 = 64,89 \text{ kN}$$

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_s}{f_{yt} d} = \frac{60,96 \times 1000}{420 \times 453,55} = 0,341 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$0,33\sqrt{f'_c} b_w d = 0,33 \times \sqrt{25} \times 500 \times 453,5 = 374137,5 \text{ N} = 374,14 \text{ kN}$$

$$V_s = 64,89 \text{ kN} < 0,33\sqrt{f'_c} b_w d$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 10.7.6.5.2 jika  $V_s < 0,33\sqrt{f'_c} b_w d$ , maka spasi maksimal:

$$s_{\text{max}} = d/2 = 453,5/2 = 226,75 \text{ mm}$$

$$s_{\text{pakai}} = 100 \text{ mm} < 226,75 \text{ mm (OK)}$$

$$A_v = 0,341 \times 100 = 34,1 \text{ mm}^2$$

$$0,5 \Phi V_c = 77,9 \text{ kN}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 10.7.6.5.2, jika  $V_u = 204,48 \text{ kN} > 0,5$

$\Phi V_c$ , maka  $A_v$  min dihitung dari yang terbesar dari:

$$A_{v \text{ min}1} = 0,062\sqrt{f'_c} \frac{b_w s}{f_{yt}} = 0,062\sqrt{25} \frac{500 \times 100}{420} = 36,9 \text{ mm}^2$$

$$A_{v \text{ min}2} = 0,35 \frac{b_w s}{f_{yt}} = 0,35 \frac{500 \times 100}{420} = 41,67 \text{ mm}^2$$

$$A_{v \text{ min}} = 41,67 \text{ mm}^2$$

Luas tulangan transversal yang dipakai:

$$A_{v \text{ req}} = 41,67 \text{ mm}^2$$

$$A_{v \text{ pakai}} = 4 \times 0,25\pi \times 13^2 = 530,93 \text{ mm}^2 > A_{v \text{ req}} \text{ (OK)}$$

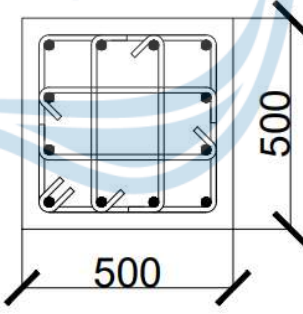
Maka tulangan transversal tetap menggunakan 4 kaki D13-100 mm di daerah sendi plastis.

**c. Tulangan di Luar Daerah Sendi Plastis (luar lo)**

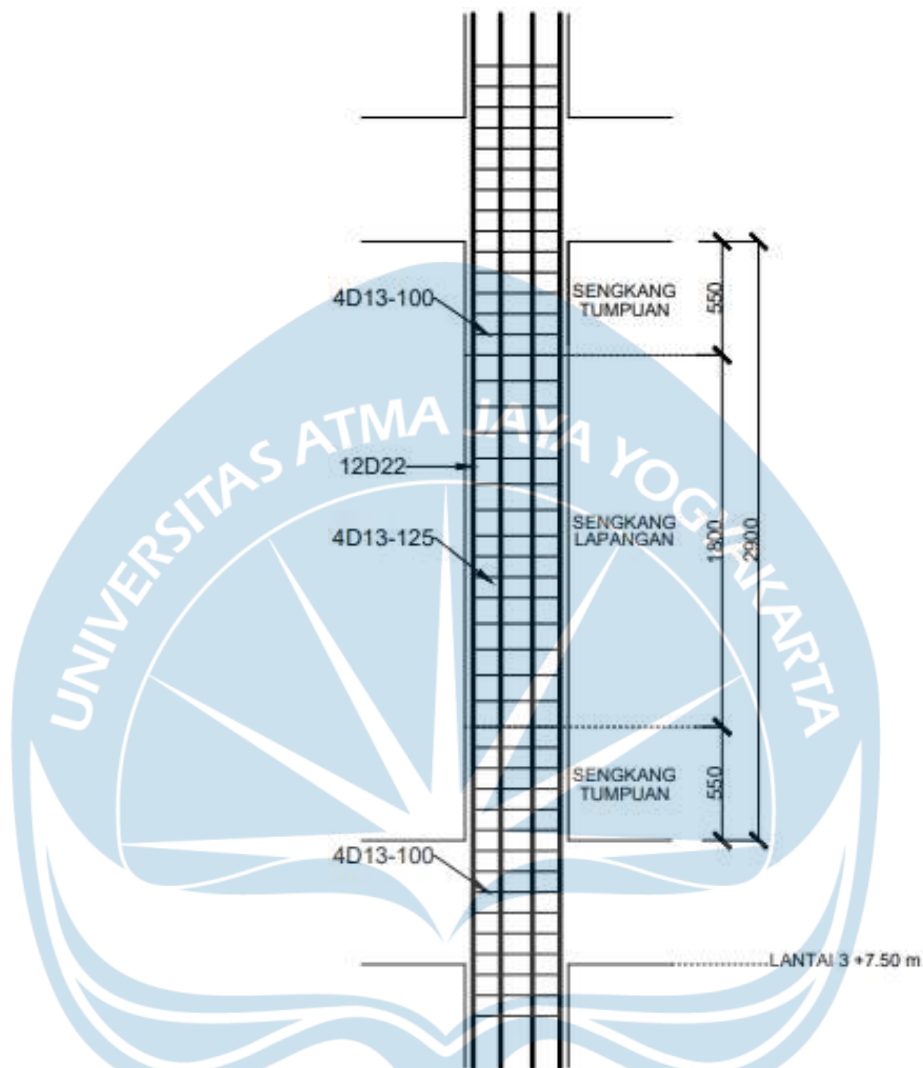
Untuk tulangan transversal di luar sendi plastis digunakan spasi tidak melebihi nilai terkecil dari 6D tul. longitudinal dan 150 mm. (SNI 2847:2019 18.7.5.5)

$$6D \text{ tul. longitudinal} = 6 \times 22 = 132 \text{ mm}$$

Maka untuk tulangan transversal di luar daerah sendi plastis (luar lo) digunakan 4 kaki D13-125 mm.

KOLOM	TULANGAN
K 1	
UKURAN KOLOM	500 X 500 mm
TULANGAN LONGITUDINAL	12D22
SENGKANG TUMPUAN ATAS	4D13-100
SENGKANG LAPANGAN	4D13-125
SENGKANG TUMPUAN BAWAH	4D13-100

Gambar 2.76 Potongan Kolom K1 Lantai 3 500x500 mm



Gambar 2.77 Penampang Melintang Kolom K1 Lantai 3 500x500 mm

### 3. Hubungan Balok Kolom

Data perencanaan:

Tinggi bersih kolom = 2900 mm

Tul. atas balok kiri = 5D19

$As^-$  kiri =  $5 \times 0,25\pi \times 19^2 = 1417,64 \text{ mm}^2$

$Mprb^-$  kiri = 365,04 kNm

Tul. atas balok kanan = 3D19

$As^+$  kanan =  $3 \times 0,25\pi \times 19^2 = 850,59 \text{ mm}^2$

$Mprb^+$  kanan = 227,96 kNm

### a. Luas Efektif Joint (A<sub>j</sub>)

$$\begin{aligned}\text{lebar balok (b)} &= 350 \text{ mm} \\ \text{Tinggi joint (h)} &= h \text{ kolom} = 500 \text{ mm} \\ x &= (h - b)/2 = (500 - 350)/2 = 75 \text{ mm} \\ b+h &= 350 + 500 = 850 \text{ mm} \\ b+2x &= 350 + 2(75) = 500 \text{ mm} \\ b+h > b+2x \\ \text{Lebar efektif} &= b+2x = 500 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\text{Luas joint efektif (A}_j\text{)} = \text{lebar efektif} \times \text{tinggi joint} = 500 \times 500 = 250000 \text{ mm}^2$$

### b. Tulangan Transversal

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.8.3.2, kebutuhan tulangan dapat dikurangi setengah dan spasi bisa ditingkatkan hingga 150 mm jika:

- Terdapat balok yang merangka pada keempat sisi HBK (OK)
- Lebar balok setidaknya 3/4 lebar kolom

$$\begin{aligned}\text{Lebar balok} &= 350 \text{ mm} \\ 3/4 \text{ b kolom} &= 3/4 \times 500 = 375 \text{ mm}\end{aligned}$$

Lebar balok < 3/4 lebar kolom (Not OK)

Maka kebutuhan tulangan transversal di HBK tetap sama seperti yang digunakan di daerah sendi plastis kolom.

$$\frac{A_{sh}}{s} = 3,129 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$s \text{ pakai} = 100 \text{ mm}$$

$$\text{jumlah kaki} = 4 \text{ kaki}$$

$$D \text{ transversal} = 13 \text{ mm}$$

$$A_{sh \text{ req}} = 3,129 \times 100 = 312,9 \text{ mm}^2$$

$$A_{sh \text{ pakai}} = 4 \times 0,25\pi \times 13^2 = 530,93 \text{ mm}^2$$

Ash pakai > Ash req (OK)



Maka digunakan 4 kaki tulangan D13-100 mm di HBK

**c. Kuat Geser**

$$M_{prb^- ki} = 365,04 \text{ kNm}$$

$$M_{prb^+ ka} = 227,96 \text{ kNm}$$

$$\Sigma M_{pr} \text{ balok} = 365,04 + 227,96 = 593 \text{ kNm}$$

Karena penampang dan tinggi kolom desain dan atas sama, maka faktor distribusi momen atas bawah sama:

$$DF = 0,5$$

$$\begin{aligned} V_{sway} &= \frac{DF \text{ atas} \times \Sigma M_{prb} + DF \text{ bawah} \times \Sigma M_{prb}}{ln \text{ kolom atas}} \\ &= \frac{0,5 \times 593 + 0,5 \times 593}{2,9} \\ &= 204,48 \text{ kN} \end{aligned}$$

Gaya tarik tulangan atas kiri HBK:

$$A_s^- ki = 1417,64 \text{ mm}^2$$

$$T1 = 1,25 A_s f_y = 1,25 \times 1417,64 \times 420 = 744262,93 \text{ N} = 744,26 \text{ kN}$$

Gaya tekan di sisi kiri HBK:

$$C1 = T1 = 744,26 \text{ kN}$$

Gaya tarik tulangan bawah di sisi kanan HBK:

$$A_s^+ ka = 850,59 \text{ mm}^2$$

$$T2 = 1,25 A_s f_y = 1,25 \times 850,59 \times 420 = 446557,76 \text{ N} = 446,56 \text{ kN}$$

Gaya tekan di sisi kanan HBK:

$$C2 = T2 = 446,56 \text{ kN}$$

$$V_j = T1 + C2 - V_{sway}$$

$$= 744,26 + 446,56 - 204,48$$

$$= 986,34 \text{ kN}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.8.4.1, kuat geser HBK yang terkekang oleh balok-balok pada keempat sisinya:

$$V_n = 1,7\lambda \sqrt{f'_c} A_j$$

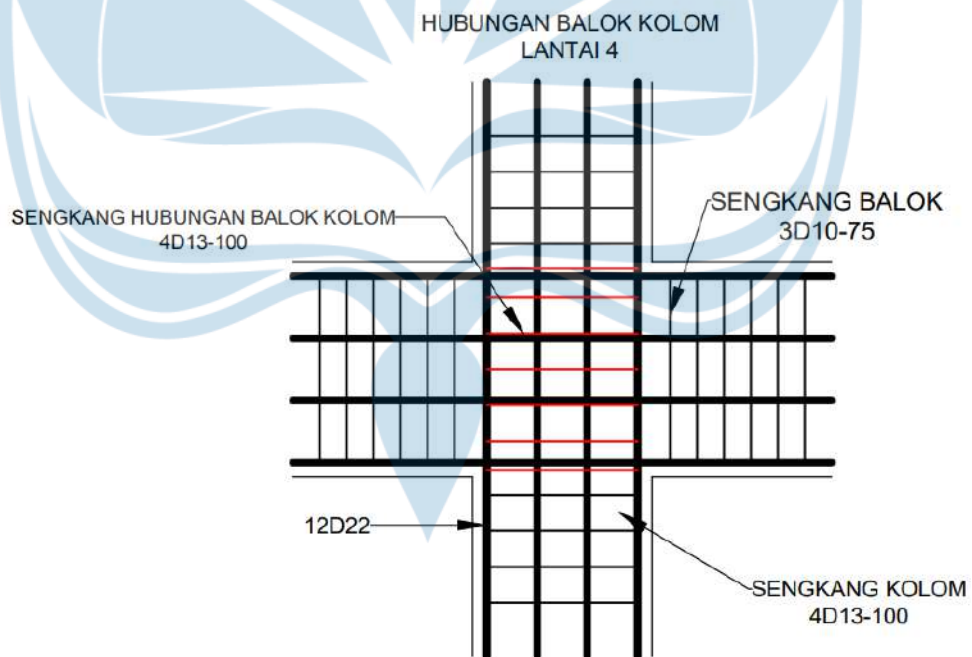
$$= 1,7 \times 1 \times \sqrt{25} \times 250000$$

$$= 2125000 \text{ N}$$

$$\phi V_n = 0,85 \times 2125000 = 1806250 \text{ N}$$

$$\phi V_n = 1806,25 \text{ kN} > V_j = 986,34 \text{ kN (OK)}$$

Maka dimensi pada HBK mencukupi dan dipasang tulangan transversal 4 kaki D13 jarak 100 mm.



Gambar 2.78 Potongan Hubungan Balok Kolom Lantai 4

#### 2.8.4 Perencanaan Kolom K1 Lantai 4

Data perencanaan kolom K1 lantai 4 dengan ukuran 500 mm x 500 mm dengan tinggi 3,5 m sebagai berikut:

- Mutu beton ( $f'_c$ ) = 25 Mpa
- Dimensi kolom = 500 mm x 500 mm
- Selimut kolom = 40 mm
- Tinggi kolom ( $l$ ) = 3500 mm
- Tinggi bersih kolom ( $l_n$ ) = 2900 mm
- D. tulangan longitudinal = 22 mm
- $f_y$  = 420 Mpa
- D. tulangan transversal = 19 mm
- $f_{yt}$  = 420 Mpa
- $d$  =  $500 - 40 - 13/2 = 453,5$  mm

Berikut adalah hasil analisis struktur kolom:

- $P_u$  kolom desain = 272,6 kN
- $M_x$  desain = 51,4 kN
- $M_y$  desain = 82,1 kN
- $V_u$  = 46,2 kN
- $N_u$  (komb. aksial kecil) = 108,3 kN

#### Batasan Dimensi

- Sisi terpendek kolom tidak kurang dari 300 mm (SNI 2847:2019 18.7.2.1a)

Sisi terpendek =  $b = 500$  mm > 300 mm (OK)

- Rasio dimensi penampang tidak kurang dari 0,4 (SNI 2847:2019 18.7.2.1b)

$$\frac{b}{h} = \frac{500}{500} = 1 > 0,4 \text{ (OK)}$$

#### 1. Estimasi Tulangan Longitudinal

Rasio tulangan longitudinal  $\rho$  dibatasi tidak boleh kurang dari 0.01 dan tidak boleh lebih dari 0.06 (SNI 2847:2019 pasal 18.7.4.1). Untuk estimasi awal digunakan tulangan 12D22.

Data tulangan kolom longitudinal:

Diameter = 22 mm

Jumlah = 12 buah

$A_s = 12 \times 0,25\pi \times 22^2 = 4559,3 \text{ mm}^2$

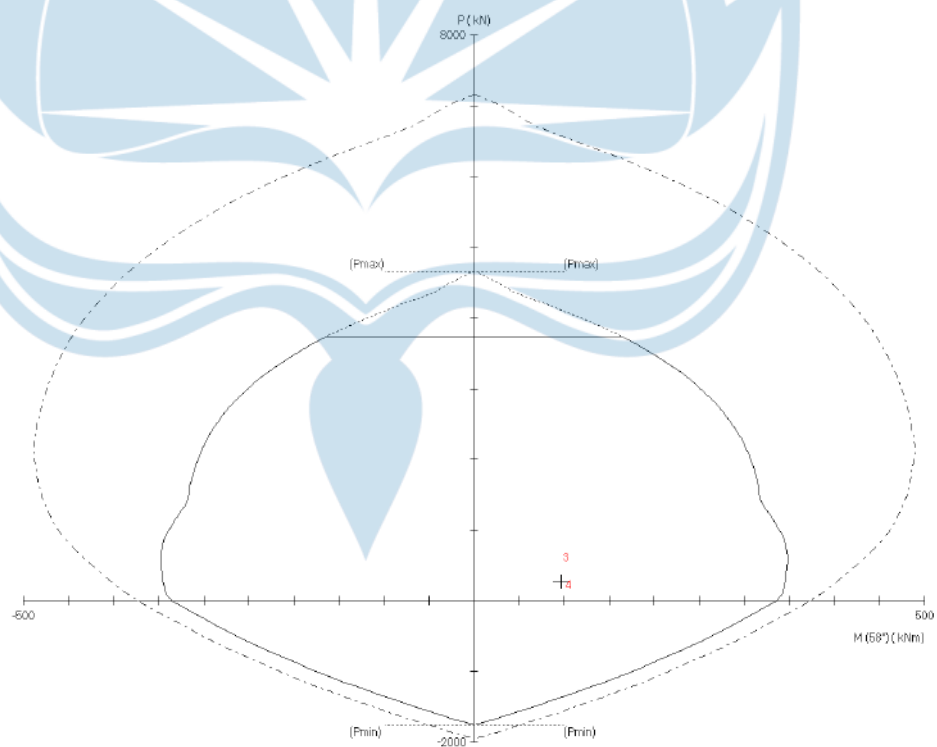
$A_g = 500 \times 500 = 250000 \text{ mm}^2$

$$\rho = \frac{A_s}{A_g} = \frac{4559,3}{250000} = 0,0182$$

$0,01 < \rho < 0,06$  (OK)

### Kuat Kolom Rencana

Dilakukan perhitungan kuat kolom rencana dengan bantuan program spcolumn dan didapatkan hasil seperti berikut:



Gambar 2.79 Output Diagram Interaksi SP Column K1 Lantai 4

Kolom sudah kuat menahan interaksi gaya axial ultimate  $P_u$  dan momen ultimate arah X dan Y.

## 2. Perhitungan Tulangan Transversal

### a. Tulangan di Daerah Sendi Plastis ( $l_o$ )

$$\begin{aligned} b_c &= b_w - (2 \times \text{selimut beton}) \\ &= 500 - (2 \times 40) \\ &= 420 \text{ mm} \\ A_g &= 500 \times 500 = 250000 \text{ mm}^2 \\ A_{ch} &= 420 \times 420 = 176400 \text{ mm}^2 \\ 0,3 f'_c A_g &= 0,3 \times 25 \times 250000 = 1875000 \text{ N} = 1875 \text{ kN} \\ P_u &= 272,6 \text{ kN} \\ P_u &< 0,3 f'_c A_g \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.7.5.4 karena  $P_u < 0,3 f'_c A_g$  maka:

$$\begin{aligned} \frac{A_{sh}}{s bc} (1) &= 0,3 \left( \frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \left( \frac{f'_c}{f_{yt}} \right) = 0,3 \left( \frac{250000}{176400} - 1 \right) \left( \frac{25}{420} \right) \\ &= 0,0075 \text{ mm}^2/\text{mm} \end{aligned}$$

$$\frac{A_{sh}}{s bc} (2) = 0,09 \left( \frac{f'_c}{f_{yt}} \right) = 0,09 \left( \frac{25}{420} \right) = 0,0054 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Diambil nilai terbesar  $A_{sh}/s.bc = 0,0075 \text{ mm}^2/\text{mm}$

$$\frac{A_{sh}}{s} = 0,0075 \times 420 = 3,129 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Digunakan jumlah kaki pada tulangan transversal = 4 kaki

D sengkang = 13 mm

$$A_{sh} = 4 \times 0,25\pi \times 13^2 = 530,93 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{A_{sh}}{A_{sh}/s} = \frac{530,93}{3,129} = 169,67 \text{ mm}$$

Jarak spasi maksimum menurut SNI 2847:2019 Pasal 18.7.5.3, adalah nilai terkecil dari:

$$s1 = 1/4 \times 500 = 125 \text{ mm}$$

$$s2 = 6 \times 22 = 132 \text{ mm}$$

$$hx = x1 = \frac{500 - 2 \times 40 - 2 \times 13 - 22}{4 - 1} = 124 \text{ mm}$$

$$s3 = 100 + \left( \frac{350 - 124}{3} \right) = 175,33 \text{ mm} > 150 \text{ mm}$$

$$s3 = 150 \text{ mm}$$

Diambil spasi maksimum  $s_{\max} = 125 \text{ mm}$

Maka digunakan tulangan transversal 4D13 - 100 didaerah sendi plastis ( $l_0$ ).

### **Panjang Sendi Plastis**

Berdasarkan SNI 2847:2019 Pasal 18.7.5.1, nilai  $l_0$  dipilih terbesar antara:

$$l_{01} = \text{sisi terlebar kolom} = 500 \text{ mm}$$

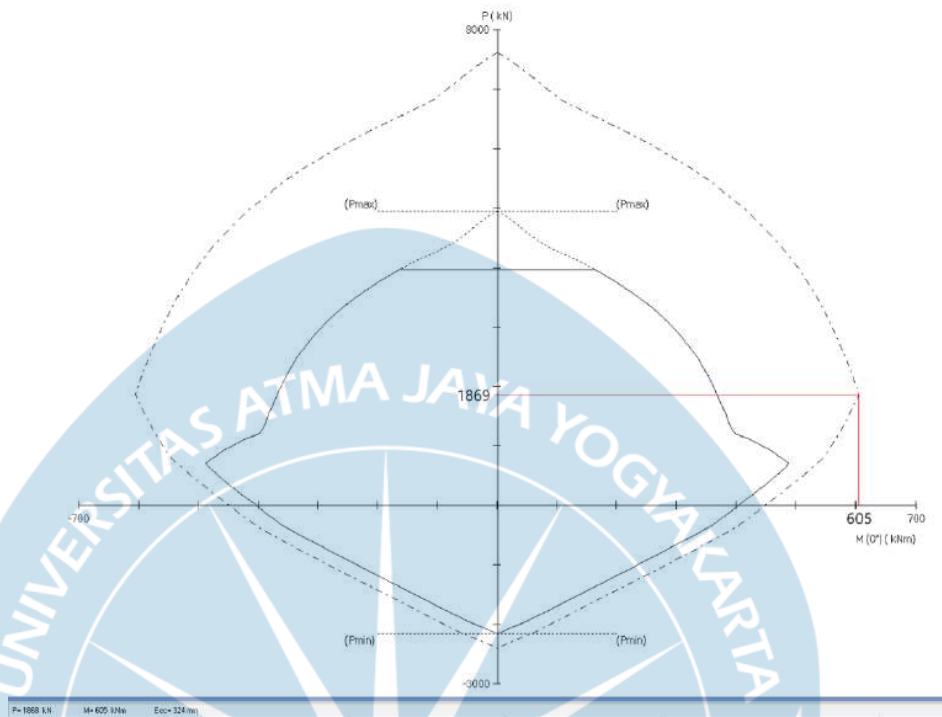
$$l_{02} = 1/6 l_n = 1/6 \times 2900 = 483,33 \text{ mm}$$

$$l_{03} = 450 \text{ mm}$$

$$\text{maka } l_0 = 500 \text{ mm}$$

### **b. Kuat Geser Kolom**

Nilai  $M_{pr}$  kolom diambil dari nilai momen nominal kemungkinan terbesar dengan  $f_y$  diperbesar  $1,25f_y$ . Nilai  $M_{pr}$  kolom yang didapatkan dari program SPcolumn sebagai berikut:



Gambar 2.80 Diagram Interaksi untuk Mpr Kolom K1 Lantai 4

Mpr kolom = 605 kNm

Diambil nilai Mpr balok dari arah dengan Mpr terbesar yaitu arah Y.

$Mpr^- 350 \times 600 = 365,04 \text{ kNm}$

$Mpr^+ 350 \times 600 = 227,96 \text{ kNm}$

$\Sigma Mpr \text{ balok} = 365,04 + 227,96 = 593 \text{ kNm}$

Karena penampang kolom desain, dan kolom bawah sama maka faktor distribusi momen bawah:

DF bawah = 0,5

Karena di atas kolom desain tidak ada kolom, maka faktor distribusi momen atas:

DF atas = 1

Ve berdasarkan Mpr kolom:

$$Ve(1) = \frac{Mpr\ bawah + Mpr\ atas}{ln} = \frac{605 + 605}{2,9} = 417,29\ kN$$

Geser kolom tersebut di atas tidak perlu melebihi nilai geser yang dihitung dari kekuatan joint berdasarkan Mpr balok yang merangka ke joint (SNI 2047:2019 pasal 18.7.6.1.1).

$$\begin{aligned} Ve(2) &= \frac{DF\ bawah \times \Sigma Mpr\ balok + DF\ atas \times \Sigma Mpr\ balok}{ln} \\ &= \frac{0,5 \times 593 + 1 \times 593}{2,9} \\ &= 306,72\ kN \end{aligned}$$

maka  $Ve = 306,72\ kN > Vu\ as = 46,2\ kN$  (OK) (SNI 2847:2019 18.7.6.1.1)

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 18.7.6.2.1,  $Vc = 0$  apabila:

- $Ve > 1/2 Vu\ as$   
 $Ve = 306,72\ kN > 1/2 Vu\ as = 46,2\ kN$  (OK)
- $Pu < Ag f'c / 20$   
 $Ag f'c / 20 = 250000 \times 25 / 20 = 312500\ N = 312,5\ kN$   
 $Pu = 272,6\ kN < 312,5\ kN$  (OK)

Maka  $Vc = 0$

$$Vu = Ve = 306,72\ kN$$

$$Vs = \frac{Vu}{\phi} - Vc = \frac{306,72}{0,75} - 0 = 408,97\ kN$$

$$\frac{Av}{s} = \frac{Vs}{fyt \cdot d} = \frac{408,97 \times 1000}{420 \times 453,55} = 2,147\ mm^2/mm$$



$$0,33\sqrt{f'c} bw d = 0,33 \times \sqrt{25} \times 500 \times 453,5 = 374137,5 \text{ N} = 374,14 \text{ kN}$$

$$V_s = 408,97 \text{ kN} > 0,33\sqrt{f'c} bw d$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 10.7.6.5.2 jika  $V_s > 0,33\sqrt{f'c} bw d$ , maka spasi maksimal:

$$s_{\max} = d/4 = 453,5/4 = 113,38 \text{ mm}$$

$$s_{\text{pakai}} = 100 \text{ mm} < 113,38 \text{ mm (OK)}$$

$$A_v = \frac{A_v}{s} \times s = 2,147 \times 100 = 214,7 \text{ mm}^2$$

$$V_c = 0$$

Berdasarkan SNI 2847:2019 pasal 10.7.6.5.2, jika  $V_u > 0,5 \Phi V_c$ , maka

$A_v$  min dihitung dari yang terbesar dari:

$$A_{v \min 1} = 0,062\sqrt{f'c} \frac{bw s}{f_{yt}} = 0,062\sqrt{25} \frac{500 \times 100}{420} = 36,9 \text{ mm}^2$$

$$A_{v \min 2} = 0,35 \frac{bw s}{f_{yt}} = 0,35 \frac{500 \times 100}{420} = 41,67 \text{ mm}^2$$

$$A_{v \min} = 41,67 \text{ mm}^2$$

Luas tulangan transversal yang dipakai:

$$A_{v \text{ req}} = 214,7 \text{ mm}^2$$

$$A_{v \text{ pakai}} = 4 \times 0,25\pi \times 13^2 = 530,93 \text{ mm}^2 > A_{v \text{ req}} \text{ (OK)}$$

Maka tulangan transversal di daerah sendi plastis tetap menggunakan 4 kaki D13-100 mm.

### c. Tulangan di Luar Daerah Sendi Plastis (luar lo)

Untuk tulangan transversal di luar sendi plastis digunakan spasi tidak melebihi nilai terkecil dari 6D tul. longitudinal dan 150 mm. (SNI 2847:2019 18.7.5.5)

$$6D \text{ tul. longitudinal} = 6 \times 22 = 132 \text{ mm}$$

Maka untuk tulangan transversal di luar daerah sendi plastis (luar lo) digunakan 4 kaki D13-125 mm.

### 3. Panjang Penyaluran Tulangan Kolom

Panjang penyaluran batang tulangan ulir untuk kolom diatur dalam SNI 2847:2019 Pasal 25.4.2.

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

$$f'_c = 25 \text{ Mpa}$$

$$\lambda = 1$$

$$\Psi_e = 1 \quad (\text{SNI 2847:2019 Tabel 25.4.2.4})$$

$$\Psi_s = 0,8 \quad (\text{SNI 2847:2019 Tabel 25.4.2.4})$$

$$\Psi_t = 1,3 \quad (\text{SNI 2847:2019 Tabel 25.4.2.4})$$

$$D_b = 22 \text{ mm}$$

$$D \text{ Sengkang} = 13 \text{ mm}$$

$$C_b = \text{Selimut beton} + \text{diameter Sengkang} + \frac{\text{diameter longitudinal}}{2}$$

$$= 40 + 13 + \frac{22}{2}$$

$$= 64 \text{ mm}$$

$$\left(\frac{C_b + K_{tr}}{D_b}\right) = \left(\frac{64 + 0}{22}\right) \quad (\text{K}_{tr} \text{ dianggap } 0 \text{ untuk penyederhanaan design})$$

$$= 2,909 > 2,5 \text{ maka}$$

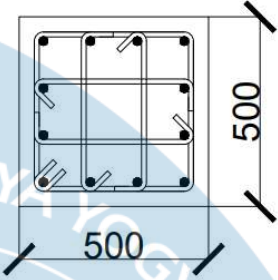
$$= 2,5 \quad (\text{SNI 2847:2019 Pasal 25.4.2.3b})$$

$$l_d = \left(\frac{f_y}{1,1\lambda\sqrt{f'_c}} \cdot \frac{\Psi_t \Psi_e \Psi_s}{\left(\frac{C_b + K_{tr}}{D_b}\right)}\right) \times d_b$$

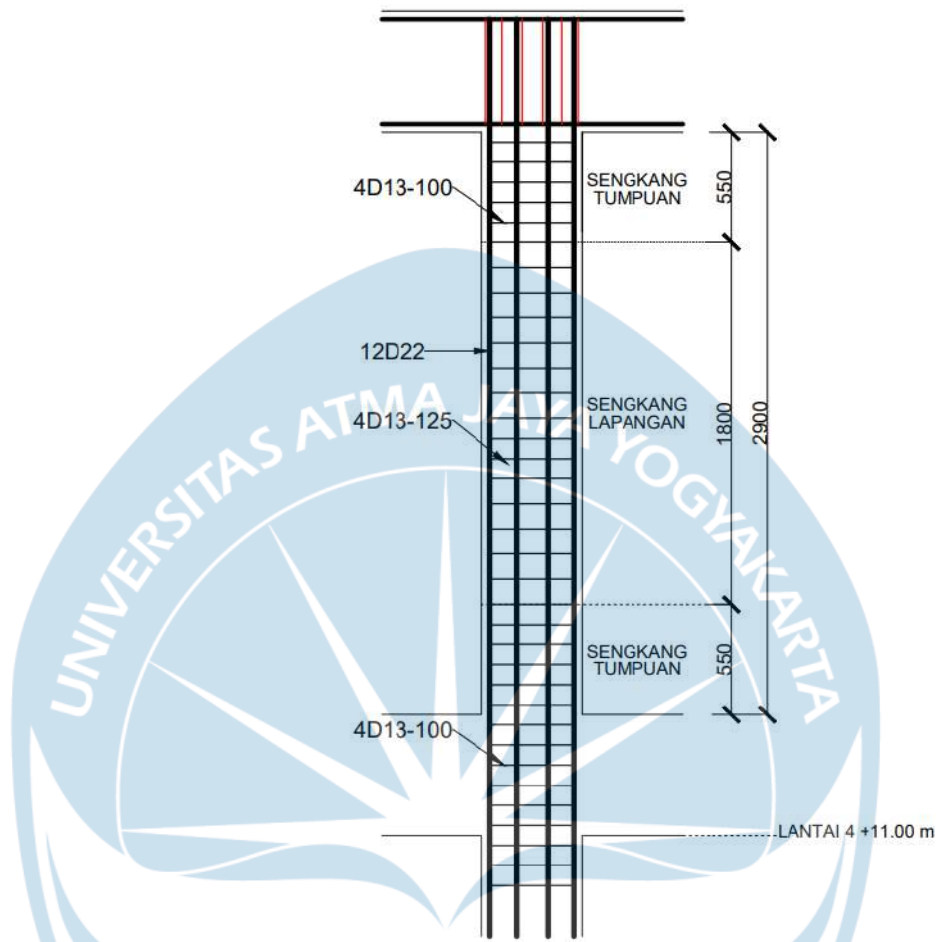
$$= \left(\frac{420}{1,1 \times 1 \times \sqrt{25}} \cdot \frac{1,3 \times 1 \times 1}{2,5}\right) \times 22$$

$$= 873,6 \text{ mm}$$

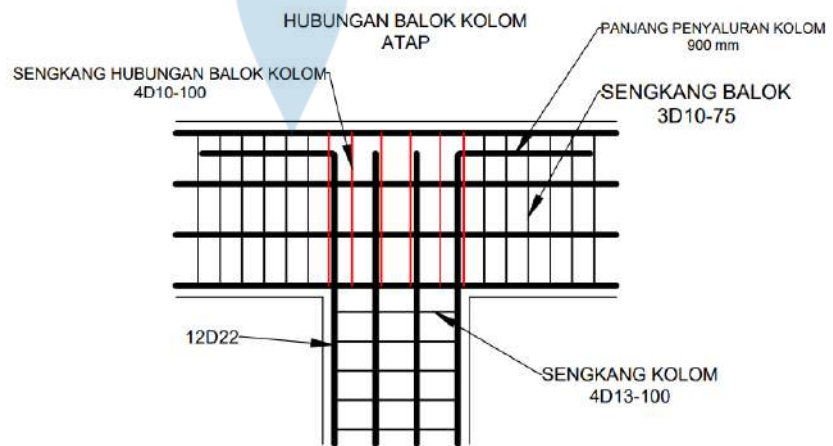
$$= 900 \text{ mm}$$

KOLOM	TULANGAN
K 1	
UKURAN KOLOM	500 X 500 mm
TULANGAN LONGITUDINAL	12D22
SENGKANG TUMPUAN ATAS	4D13-100
SENGKANG LAPANGAN	4D13-125
SENGKANG TUMPUAN BAWAH	4D13-100

Gambar 2.81 Potongan Kolom K1 Lantai 4 500x500 mm



Gambar 2.82 Penampang Melintang Kolom K1 Lantai 4 500x500 mm



Gambar 2.83 Potongan Hubungan Balok Kolom Atap